

博士論文

日本列島の下部地殻の岩石学的実体

Petrologic nature of the lower crust beneath the Japan arcs

金沢大学自然科学研究科  
環境科学専攻

1223142006

武内 美佑紀

主任指導教官 海野 進

平成 27 年 1 月 9 日

## 目次

1. はじめに	1
2. 一ノ目瀉	2
2.1. 地質概説	2
2.2. 岩石記載	3
2.2.1. 輝石 - ホルンブレンドガブロ	4
2.2.2. 輝石 - ホルンブレンドガブロノーライト	5
2.3. 鉱物化学組成	6
2.3.1. 主要元素組成	6
2.3.2. 微量元素組成	9
2.4. 平衡温度	11
2.5. 議論	11
2.5.1. 輝石 - スピネルシンプレクタイトの成因	11
2.5.2. 交代作用について	13
2.5.3. 火成的な一ノ目瀉ガブロの鉱物組み合わせ	15
2.5.4. まとめ	16
3. 黒瀬	18
3.1. 地質概説	18
3.2. 岩石記載	18
3.2.1. グラニュライト	19
3.2.2. スピネルに富むウェブステライト	21
3.2.3. スピネルに富むレールゾライト	23
3.3. 鉱物化学組成	24
3.3.1. 主要元素組成	24
3.3.2. 微量元素組成	28
3.4. 平衡温度	30
3.5. 議論	30
3.5.1. スピネルに富む岩石の成因	30
3.5.2. 変成前の鉱物組み合わせの見積もり	32
3.5.3. まとめ	32
4. 東北日本弧と西南日本弧との比較	34
5. 結論	36
6. 謝辞	38
7. 引用文献	39
8. 図版	46
9. 附表	87

## 1. はじめに

マグマに捕獲され、地表にもたらされた深部起源の捕獲岩は、我々にその直下の地殻やマントルに関する物質そのものや地殻・上部マントルプロセスに関する直接的な情報をもたらすことが期待される。そのうち、マントルウェッジ由来のものは顕著なマントル交代作用を記録しており、様々な研究がなされている (e.g. Arai and Kida 2000; Abe et al. 1998; Ishimaru et al. 2007; Kawamoto et al. 2013).

東北日本弧、一ノ目潟から得られる超マフィック捕獲岩は含水鉱物を含んでおり (e.g. Kuno 1967), それらの内少なくとも一部は二次的なものである (Arai and Saeki, 1980; Takahashi, 1986) ということはよく知られ、マントル捕獲岩に記録されたマントル交代作用についてよく検討がされている (e.g. Arai 1986; 阿部ほか 1992). 一方で、マフィック捕獲岩についての研究は比較的少なく (e.g. Aoki, 1971; Fukuyama 1985), 特に交代作用についての記載はわずかである (Yamamoto et al. 2013). Takahashi (1978) では、東北日本弧の深部は、一ノ目潟や渡島大島などその他の東北日本弧西側の地域からも角閃石を含むガブロが存在していることから含水量が比較的高いと指摘されている。これは、地震波で推定された東北日本弧の地下構造と一致する (e.g. Iwasaki et al. 2001; Nishimoto et al. 2005). しかし一方で、一ノ目潟から約 2.5 km 離れた三ノ目潟から得られる超マフィック - マフィック捕獲岩は一ノ目潟よりも角閃石の含有量が少なく、そのことから角閃石を形成するような交代作用の不均質性が指摘されている (Arai and Saeki 1980; 荒井ほか 2005). このように下部地殻でも交代作用が起こり、鉱物組み合わせなどが火成的なものから変化していると考えられるが、詳細に検討した例はない。

一方、西南日本弧では、様々な地域から超マフィック - マフィック捕獲岩が報告されている。マフィック捕獲岩としては、Takahashi (1978) では隠岐島後からマフィック捕獲岩としてガブロ類やグラニュライトを記載し、その他の地域でもガブロやグラニュライト (壱岐, Aoki 1968, 平井・荒井 1982; 高島, Arai and Kobayashi 1981; 吉備高原・世羅台地, Nozaka 1997) が報告されている。これらのマフィック捕獲岩について詳細な研究は少なく、グラニュライトの原岩の性質等の検討はほとんどなされていない。Arai et al. (2001) では、緑色を呈する Al スピネルに富むグラニュライトについて、かんらん石と斜長石の反応由来ということを指摘しているが、詳しく言及していない。一ノ目潟のマフィック捕獲岩と異なり、西南日本弧のグラニュライトには交代作用による鉱物組み合わせの変化はないと考えられるが、火成岩とは異なる性質を有することが予想され

る.

マフィック捕獲岩の火成的な状態を再現することができれば、関与したマグマの性質が検討でき、下部地殻の岩石学的実体に関する有益な情報が得られると期待される。本研究では、東北日本弧の一ノ目潟から得られたマフィック捕獲岩と、西南日本弧黒瀬から得られた超マフィック - マフィック捕獲岩について、詳細な検討を行い、交代作用や変成作用について明らかにしたい。また、火成岩的性質の復元も試みる。

## 2. 一ノ目潟

### 2.1. 地質概説

目潟火山は東北日本弧秋田県男鹿半島に位置し、一ノ目潟、二ノ目潟、三ノ目潟と呼ばれる3つのマール(火口)からなる。そのうち本研究地域の一ノ目潟は一番大きく、直径は600 mである(Fig. 1.1)。東北日本弧では、かんらん岩捕獲岩は目潟火山と渡島大島(二ノ宮・荒井 1992)の2地点からのみ報告されており、西南日本弧と比較して非常に少ない(e.g. 荒井ほか 2005)。一ノ目潟の形成時期について、堀江(1964)は一ノ目潟湖岸段丘中の埋木を用いた $C^{14}$ 法による年代測定結果から約一万年前に形成されたとしたが、海岸段丘との比較による層序学的な研究によると約6万年 - 8万年前に形成されたと推定された(北村 1990)。噴出年代は第四紀を示し、西南日本弧から得られる超マフィック - マフィック捕獲岩を含む岩石の年代に比べて非常に新しい(e.g. 宇都 1995)。本質噴出物は一ノ目潟、二ノ目潟からはカルクアルカリ安山岩 - デイサイト、三ノ目潟からは高アルミナ玄武岩である(Katsui et al. 1979)。これらのマグマはマントル捕獲岩を含むものとしては稀な島弧性のものである。

一ノ目潟は、超マフィック - マフィック捕獲岩の産地として広く知られており、古くから様々な研究がなされている(e.g. 林 1955; Kuno 1967)。捕獲岩全体に占める超マフィック・マフィック捕獲岩の割合は、Takahashi(1986)が行った捕獲岩1000個についての集計によると0.5%以下で、その中での超マフィック捕獲岩とマフィック捕獲岩の割合は1:9である。また、それらの捕獲岩から東北日本弧の地下深部、上部マントルから地殻の岩石学的モデルについての推定がなされており(e.g. Takahashi 1978; Kushiro 1987)、深部からスピネルルールズライト、斜長石スピネルルールズライト、かんらん



石ウェブステライト・ウェブステライト，ホルンブレンドガブロ・角閃岩，花こう岩の順で分布しておりモホは 25 km 付近であるとされている (Takahashi 1978, 1986).

本研究試料は一ノ目潟湖畔で得られたものであり，2005 年に行った調査で得られた試料と金沢大学理工学域自然システム学類地球学コースで保管されていた荒井特任教授の試料である．

## 2.2. 岩石記載

マフィック捕獲岩は Aoki (1971) によると，角閃石を様々な量比で含み，岩相は角閃岩から火成的なガブロまで変化するとされている．今回処理したマフィック捕獲岩では，Aoki (1971) と同様にグラノブラスティック組織を示す角閃岩とそれらより粗粒で火成的な組織を示すホルンブレンダイトやガブロを認識できた．本研究ではガブロ，その中でも斜方輝石や単斜輝石，角閃石，ぜん虫状のスピネル，または斜方輝石や角閃石，ぜん虫状のスピネルと 3 または 4 種類の鉱物からなる細粒鉱物集合体を特徴的に含む岩石について記載する．これらは Aoki (1971) で輝石 - スピネルシンプレクタイトであるとされており，また佐伯 (1986MS) では，この細粒鉱物集合体はかんらん石と斜長石の間に形成されるとしている．本研究では試料にかんらん石が存在しない場合でも，この組み合わせの細粒鉱物集合体を輝石 - スピネルシンプレクタイト (以下，シンプレクタイト) とする．

本研究で用いたガブロは 11 試料で，これらの捕獲岩の大きさは，長径が 3–10 cm 程度である．角閃石と単斜輝石，斜方輝石 (±)，斜長石，スピネル (±)，磁鉄鉱 (±)，かんらん石 (±) から構成されており (Table 1.1)，輝石 - ホルンブレンドガブロと，輝石 - ホルンブレンドガブロノーライトに分類される (Fig. 1.2)．これらは記載的性質や鉱物化学組成の点からそれぞれ，Aoki (1971) や青木・吉田 (1986) で記載された普通角閃石はんれい岩と輝石はんれい岩に相当する．青木・吉田 (1986) で指摘されているように，輝石 - ホルンブレンドガブロノーライト (輝石はんれい岩) は，輝石 - ホルンブレンドガブロ (角閃石はんれい岩) に比べてまれである．なお，Ich-M038 は長径 3cm 程度の小さな岩片で主にかんらん石と斜長石，その境界にあるシンプレクタイトからなる岩石で，かんらん石や斜長石の化学組成が輝石 - ホルンブレンドガブロに類似していることから以下から Ich-M038 は輝石 - ホルンブレンドガブロとして記載する．

角閃石や輝石類，スピネルを産状によって分類した．角閃石は独立粒子状のもの (Discrete type ; D-type) と単斜輝石の粒界やラメラを置き換えているもの (Replacement type ; R-type), シンプレクタイト中のもの (Symplectite type; S-type) の3種類に，単斜輝石と斜方輝石，スピネルは，独立粒子状のもの (D-type) とシンプレクタイト中のもの (S-type) の2種類に分類している．ガブロ中の D-type スピネル粒子には磁鉄鉱部分が含まれるが，モード組成を求める際，これらは全てスピネルとしてカウントされている．

D-type スピネル粒子における磁鉄鉱部分が占める割合を，西本 (1996) のモード測定の手法に基づき，画像処理ソフト "Adobe Photoshop™" を用いて測定した．まず，試料中に含まれる D-type スピネル粒子について，光学顕微鏡で反射像を撮影する．そしてスピネル部分と磁鉄鉱部分との反射光の色相の違いを利用して，画像処理ソフトを用い磁鉄鉱の領域を選択しピクセル数を得ておき，D-type スピネル粒子全体のピクセル数と割ることで磁鉄鉱の割合を得た．さらに一部の試料について，シンプレクタイトを構成する鉱物の割合も同様に求めた．測定を行ったのはかんらん石を含む試料内の，かんらん石と斜長石の間に存在するシンプレクタイトである．シンプレクタイト部分について，電子顕微鏡の反射電子像または光学顕微鏡のオープンニコル像を撮影し，組成の違いによる反射電子像の色相の違いを利用して斜方輝石と単斜輝石，角閃石，スピネルのそれぞれの領域を選択した．得られたピクセル数からシンプレクタイトを構成する粒子全体におけるそれぞれの割合を得た．シンプレクタイトが単斜輝石を含まない場合，反射電子像では斜方輝石と角閃石との間で色相の違いがみられないので，オープンニコル像について同様の操作を行った．同一試料内でもシンプレクタイトごとに単斜輝石と角閃石などの構成鉱物の割合が変化するので，偏りを防ぐため測定は4か所以上で行い，合計した結果から割合を求めた．これらの結果も Table 1.1 に付け加える．

### 2.2.1. 輝石 - ホルンブレンドガブロ

輝石 - ホルンブレンドガブロは，他形の角閃石と単斜輝石，斜方輝石，斜長石，スピネル，磁鉄鉱からなり，かんらん石はわずかに含まれるか，含まれないこともある (Fig. 1.3)．斜方輝石はシンプレクタイト中以外には存在しない．角閃石と斜長石のモード量はそれぞれ，30–80，10–40 vol%まで変化する．鉱物がレンズ状に濃集しており，面構造がみられる．また，これらの岩石は特徴的にシンプレクタイトを含み，それらはか

かんらん石と斜長石の間、または斜長石に囲まれてかんらん石を伴わず存在する。シンプレクタイトは多角形状の斜方輝石と単斜輝石、角閃石、ぜん虫状のスピネルから構成されている。多角形状の斜方輝石はかんらん石側にみられ、かんらん石が存在しない場合は斜長石に遠い側にみられる。シンプレクタイト中の単斜輝石と角閃石の割合は様々に変化し、単斜輝石が含まれないこともある (Fig. 1.3b-d)。

かんらん石はシンプレクタイトの付近に稀に存在し、まったく含まれない試料もある。モード量は試料によって大きく異なる。多角形状の S-type 斜方輝石に取り囲まれて存在することが多い。赤褐色に風化している様子もしばしばみられ、粗粒なものではキンクバンドが顕著にみられる。

斜方輝石は細粒な S-type のみであり、淡緑色 - 淡赤色の多色性を示す。

単斜輝石は、粗粒な D-type と細粒で多角形状の S-type が観察される。D-type はしばしば波動消光を示し、離溶ラメラを持つ。そのラメラが角閃石に置換されている様子もみられる。

斜長石は D-type のみで、アルバイト双晶を示すことがあり、粗粒な斜長石はしばしば波動消光をしめす。

角閃石は独立粒子状の粗粒な D-type と単斜輝石を置き換えている R-type (Fig. 1.3e)、シンプレクタイト中の細粒な S-type が観察される。D-type, R-type は鏡下では緑色 - 茶褐色の多色性を示し、インクルージョンを多く有する。D-type はスピネルの離溶ラメラを持つことがある。一方、S-type は細粒で多角形状に近い形状で、鏡下では緑色 - 茶褐色の多色性を呈し、インクルージョンを含むことは稀であることから、D-type や S-type と識別することができる。

スピネルは多形の D-type と細粒でぜん虫状の S-type が観察され、ともに鏡下では濃い暗緑色を示し、ほとんど不透明に見える (Fig. 1.3a, b)。しばしば D-type のスピネル粒子の一部、または大部分が磁鉄鉱となっていることがある (Fig. 1.3f, g)。この不均質な組成を示すスピネル粒子中における磁鉄鉱の割合を試料ごとに求めると、0% から 57.86% まで変化し磁鉄鉱部分が多い試料と少ない試料とがあり、また統一試料内でも粒子ごとに磁鉄鉱部分の割合が変化する。

### 2.2.2. 輝石 - ホルンブレンドガブローライト

この岩石種は 1 試料のみであるが、輝石 - ホルンブレンドガブローとは異なる特徴を示す。

他形の単斜輝石と斜方輝石，斜長石，角閃石，かんらん石，スピネルからなり，独立粒子状の角閃石やスピネルを含まない (Fig. 1.4a)．比較的等粒状で，面構造，線構造などは認められない．シンプレクタイトは，角閃石とぜん虫状のスピネルと多角形状の斜方輝石からなり，単斜輝石を含まない (Fig. 1.4c)．

かんらん石はほとんど含まれないが，シンプレクタイトの付近で多角形状の斜方輝石に取り囲まれて存在する．赤褐色に風化している様子もみられ，粗粒な粒子には弱いキックバンドがみられる．

斜方輝石は粗粒な D-type と細粒で多角形状の S-type があり，ともに淡緑色 - 淡赤色の多色性を示す．D-type の両輝石は波動消光やキックバンド，ラメラが屈曲するなど，変形している様子がみられる．

単斜輝石は D-type のみで離溶ラメラが発達しており，しばしば角閃石がラメラを置換している (Fig. 1.4d)．

斜長石は，リムと中心部では干渉色が異なり，累帯構造を示す．しばしば波動消光を示し，アルバイト双晶を示すものがある (Fig. 1.4b)．

角閃石は単斜輝石をリムに沿って存在または，単斜輝石中のラメラとして存在する R-type (Fig. 1.4d) と，シンプレクタイト中の S-type (Fig. 1.4c) が観察される．ともに鏡下では緑色 - 茶褐色の多色性を示し，インクルージョンが多く含まれている．

スピネルはぜん虫状の S-type が観察され，鏡下では暗緑色を示す．輝石 - ホルンブレンドガブロ中のものと比較すると，ぜん虫状のスピネルは細く，色もやや明るい．

## 2.3. 鉱物化学組成

### 2.3.1. 主要元素組成

鉱物の主要元素組成は，金沢大学地球学コースの EPMA (日本電子社製 JXR-8800R) を用いて決定した．鉱物についての分析条件は加速電圧 20 kV，電流値 20 nA，プローブ径 3  $\mu\text{m}$  である．ZAF 法プログラムを用いて定量分析値の補正を行った．スピネル及び磁鉄鉱の  $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  を算出する際には，それらに含まれる Ti はウルボスピネル ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ) 成分となすとし，ストイキオメトリーを仮定して求めた．ケイ酸塩鉱物では Fe は全て  $\text{Fe}^{2+}$  とした．以下では，Mg# は  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$  原子比，Cr# は  $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$  原子

比, かんらん石の Fo は 100Mg#を示す.  $Y_{Fe}$  と  $Y_{Cr}$  はそれぞれ  $Fe^{3+}/(Cr + Al + Fe^{3+})$  原子比と  $Cr/(Cr + Al + Fe^{3+})$  原子比である.

### 輝石 - ホルンブレンドガブロ

これらの試料は Aoki (1971) で報告された一ノ目瀉ガブロの組成と一致し, スピネルを含むすべての鉱物はほぼ Cr を含まない. スピネル粒子を除いて, 鉱物の化学組成は粒子内で均質である. 角閃石や輝石類は, 産状により化学組成 (特に  $TiO_2$  含有量) が異なる.

かんらん石の Fo 値は 77–79 (Fig. 1.5) で, CaO, MnO 含有量はそれぞれ 0.04–0.05, 0.35–0.49 wt% である. NiO は 0.06 wt% 以下でほとんど含まれず,  $Al_2O_3$  や  $Cr_2O_3$  は含まれない.

斜方輝石は S-type のみで, Mg#0.75–0.80,  $Al_2O_3$  含有量は 2.0–5.0 wt% である.  $Cr_2O_3$  は含まれない.

単斜輝石の Mg# はかんらん石と同程度で, また角閃石より高い値を示す.  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  含有量は D-type と S-type で異なり, また  $SiO_2$  含有量と反比例の関係にある.  $Cr_2O_3$  を含まない. D-type は Mg# が 0.76–0.81 で,  $Na_2O$  含有量は 0.15–0.30 wt% である.  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  含有量は幅広い値を示す (それぞれ, 5.5–7.3 wt%, 0.5–1.0 wt%; Fig. 1.6b, c). S-type は Mg# が 0.77–0.83,  $Na_2O$  含有量が 0.15–0.32 wt% で D-type とほとんど同様である. 一方,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  含有量はそれぞれ, 2.6–6.9 wt%, 0.1–0.3 wt% (Fig. 1.6b, c) で D-type より低い値を示す.

斜長石は An 値 87–98 と幅広い組成をとるが, ほとんどが An 値 95–97 のアノーサイトである (Fig. 1.5). An 値 87–89 を示す比較的 Na に富むものは Ich-M038 のみに含まれており, 斜長石が濃集している領域の粗粒な粒子の中心部から得られた.  $K_2O$  は含まれない.

角閃石は全体的にパーガサイトの組成を示す. 産状の違いによって,  $TiO_2$  含有量が増加する. D-type は Mg# が 0.69–0.75 である.  $Na_2O$ ,  $K_2O$  含有量はそれぞれ 1.9–2.5 wt%, 0.10–0.42 wt% であり,  $TiO_2$  含有量は一番高く, 1.0–2.5 wt% まで増加する (Fig. 1.6a). R-type は Mg# が 0.70–0.75 で,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  含有量はそれぞれ 1.9–2.3 wt%, 0.04–0.40 wt% である.  $TiO_2$  含有量は D-type よりもやや低く, 0.7–1.7 wt% である (Fig. 1.6a). S-type は Mg# が 0.69–0.76,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  含有量はそれぞれ 1.8–2.6 wt%, 0.02–0.46 wt% である.

TiO<sub>2</sub>含有量はもっとも低く、0.3–1.6 wt%である (Fig. 1.6a). いずれのタイプの角閃石も Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を含まない.

スピネルについては、D-type の粒子は Al に富むスピネル部分と Fe<sup>3+</sup>に富む磁鉄鉱部分に分けられる. これらと S-type スピネルでは、Mg#や TiO<sub>2</sub> 含有量、Y<sub>Fe</sub> に違いがみられる (Fig. 1.7). またすべてのタイプでほとんど Cr を含まず、ほとんど 0 に近い Y<sub>Cr</sub> を示す. S-type と D-type のスピネル部分、磁鉄鉱部分の Mg#はそれぞれ 0.52–0.62, 0.49–0.56, 0.16–0.21 で、S-type が一番高い. また、TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ < 0.23, 0.09–0.32, 1.8–6.8 wt%, Y<sub>Fe</sub> は 0.09–0.14, 0.11–0.15, 0.74–0.76 で、磁鉄鉱部分が一番高い.

### 輝石 - ホルンブレンドガブローライト

この試料の組成は Aoki (1971) で報告された一ノ目瀉ガブローの組成範囲に含まれる. 輝石 - ホルンブレンドガブローと異なり構成鉱物はわずかに Cr を含む. 角閃石や輝石類は、産状により化学組成 (特に TiO<sub>2</sub> 含有量) が異なる様子が認められる.

かんらん石の Fo 値は 81 程度で、CaO, MnO 含有量はそれぞれ 0.02–0.04, 0.19–0.24 wt%である. NiO 含有量は 0.25–0.56 wt%とばらつきがあり、輝石 - スピネルシンプレクタイト付近に存在する粒径の小さいかんらん石ほど NiO 含有量が高い傾向がある. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は含まれない.

斜方輝石は D-type と S-type とで組成差がみられる. D-type は Mg#0.78 程度で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 含有量は 3.12–3.46, 0.07–0.13, 0.16–0.21 wt%である. 一方、S-type は Mg #は D-type よりやや高く 0.81 程度である. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は 2.88–4.55 wt%で D-type と比較して高く、一方 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や TiO<sub>2</sub> はほとんど含まれない.

単斜輝石は D-type のみで S-type は存在しない. Mg#はかんらん石と同程度かやや高く、また角閃石より高く 0.81–0.83 で、Cr#は 0.03–0.04 である. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O 含有量はそれぞれ、4.36–5.75, 0.24–0.29, 0.54–0.85 wt%で、Cr をわずかに含む. TiO<sub>2</sub> 含有量は 0.39–0.72 wt%である (Fig. 1.6b, c).

斜長石は顕著な累帯構造を示し、コアでは An 値 64–66 のラブラドナイトであるが、リムでは An 値 76–90 (バイトウナイト) と幅広い値を示す (Fig. 1.5). K<sub>2</sub>O は含まれない.

角閃石は全体的にパーガサイトの組成を示す. 産状の違いによって TiO<sub>2</sub> 含有量が

変化する。R-type は Mg# が 0.76 程度で、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 含有量はそれぞれ 2.5–2.7 wt%、0.08–0.13 wt% である。TiO<sub>2</sub> 含有量は 0.8–2.2 wt% で (Fig. 1.6a)、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は 0.16–0.35 wt% である。S-type は Mg# が 0.77 程度で、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 含有量はそれぞれ 2.7 wt%、0.07–0.12 wt% である。TiO<sub>2</sub> 含有量は R-type よりも低く 0.11–0.15 wt% である (Fig. 1.6a)。S-type は Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を含まない。

スピネルは S-type のみで、Mg# は 0.65–0.67 である。また、TiO<sub>2</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を含まず、Y<sub>Fe</sub> は 0.05–0.07 と Al に富む組成を示す。

### 2.3.2. 微量元素組成

Ich-M038 を含む輝石 - ホルンブレンドガブロ 5 試料と輝石 - ホルンブレンドガブロノーライト 1 試料に含まれる輝石類と角閃石、斜長石、かんらん石について微量元素分析を行った。これらの微量元素組成は、金沢大学地球学コースに設置されているレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計 (LA-ICP-MS) を用いて測定された。レーザーには 193nm ArF Excimer laser (MicroLas 社製 GeoLas Q-Puls) を、ICP-MS は四重極型 (横河アナリティカルシステムズ社製 Agilent 7500s) を使用した (Ishida et al. 2004)。レーザー側の条件は、照射率 5 または 6 Hz、エネルギー密度 8 J/cm<sup>2</sup>、単斜輝石と角閃石については直径 50 μm、斜長石と斜方輝石、かんらん石については直径 100 または 120 μm の条件で照射した。NIST SRM 612 ガラスを標準試料とし、EPMA 分析により得られた SiO<sub>2</sub> 含有量を用いて、<sup>29</sup>Si を内標準元素とした。NIST SRM 612 ガラスの分析値は Pearce et al. (1997) を用いた。LA-ICP-MS 分析の詳細は、Morishita et al. (2005) に報告されている。

### 輝石 - ホルンブレンドガブロ

D-type と S-type の単斜輝石、D-type と S-type、R-type の角閃石、斜長石、かんらん石、S-type の斜方輝石について分析を行った。

D-type の単斜輝石と角閃石は希土類元素 (REE) や微量元素について比較的均質な組成を示すが、S-type のそれらは試料によってばらつきが比較的大きい (Fig. 1.8)。D-type の単斜輝石や角閃石はコンドライトで規格化した時、LREE から MREE にかけて右上がり、MREE から HREE にかけてわずかに右下がりの上に凸パターンを示す。一方 S-type

の場合、REE パターンは比較的平坦で、特徴的に Eu に正の異常を示す (Fig. 1.8). また、MREE から HREE の含有量は S-type の単斜輝石や角閃石と比較して、D-type のものの方が明らかに高い (Fig. 1.8). S-type の単斜輝石や角閃石は D-type と比較して LILE は同程度含むが、Zr や Hf, Ti などの HFSE の含有量は低い (Figs. 1.9, 10). ただし、S-type の単斜輝石は LILE の内、Ba と Sr の含有量がそれぞれ  $< 2.6$  ppm, 21–52 ppm で、D-type の Ba と Sr の含有量(それぞれ  $< 0.26$  ppm, 12–24 ppm) よりも高い値を示す。また、R-type の角閃石は D-type と比較して、わずかに LREE に富むがほぼ同様な REE や微量元素パターンを示す (Fig. 1.10b).

かんらん石は、REE やその他の微量元素をほとんど含まない (Fig. 1.11b).

S-type の斜方輝石は右上がりの直線的な REE パターンを示す (Fig. 1.11c). S-type の単斜輝石や角閃石のように Eu の異常はみられず、La から Tb までの LREE から MREE に乏しい。

斜長石は右下がりの REE パターンを示し、Eu に強い正の異常を示す (Fig. 1.11a). HREE をほとんど含まず、Ba や Sr に富み、それぞれ含有量は 2.8–8.5 ppm, 360–820 ppm である。Ich-M038 に含まれる比較的 Na に富む斜長石は、その他斜長石の粒子と比較して LREE-MREE に富む。

## 輝石 - ホルンブレンドガブローライト

D-type の単斜輝石、R-type と S-type の角閃石、斜長石、かんらん石について分析を行った。

D-type の単斜輝石は、LREE から MREE にかけて右上がり、MREE から HREE にかけてわずかに右下がり、全体的に上に凸の REE パターンを示し、ガブロと比較して LREE 含有量はやや低い (Fig. 1.8a).

R-type の角閃石も同様に、上に凸の REE パターンを示し、比較的 LREE の値は低い。S-type の角閃石は、Eu に強い正の異常を示し、REE の濃度は R-type と比較して全体的に低い (Figs. 1.8a, 10c).

かんらん石は、REE やその他の微量元素をほとんど含まない (Fig. 1.11b).

D-type の斜方輝石は右上がりの直線的な REE パターンを示す (Fig. 1.11c).

斜長石は右下がりの REE パターンで (Fig. 1.11a), Eu に強い正の異常を示すなど、輝石 - ホルンブレンドガブロのものによく似ている。HREE をほとんど含まず、Ba や Sr



に富み、それぞれ含有量は 15 ppm 程度、400–470 ppm である。

## 2.4. 平衡温度

共存する斜方輝石と単斜輝石とのソルバスに基づいた Wells (1977)の方法を用い、平衡温度を求めた。輝石 - ホルンブレンドガブロはシンプレクタイト中にもみ斜方輝石が含まれるので、計算には S-type の両輝石を用いた。一方、ガブロノーライトは、S-type の単斜輝石を含まないので、D-type の両輝石を用いた。

輝石 - ホルンブレンドガブロは 840–890 °C とほぼ均質な値を示す。輝石 - ホルンブレンドガブロノーライトからは 890–970 °C の平衡温度が得られ、前者と比較してわずかに平衡温度が高い。これらの平衡温度は Takahashi (1986) で示された斑れい岩の平衡温度 (880–1000 °C) と同様である。

## 2.5. 議論

### 2.5.1. 輝石 - スピネルシンプレクタイトの成因

輝石 - スピネルシンプレクタイトは一ノ目瀉かんらん岩やウェブステライト中にも存在し、Kuno (1967) や Aoki and Shiba (1984) などではザクロ石の分解物であると考えられた。しかし、Takahashi (1978, 1986) は、このシンプレクタイトの化学組成はキンバーライト中のかんらん岩捕獲岩に含まれるパイロープの化学組成 (Nixon and Boyd 1973) と比較して Ca や Na に富み、Cr や Ti に乏しく、Mg に富むかんらん石と Ca に富む斜長石とを合わせたものに近いということを明らかにした。このことから、かんらん岩中にみられるシンプレクタイトはザクロ石ではなく、かんらん石と斜長石との間に以下の反応がおこり形成されたものであると結論付けた (Takahashi 1986)。

Olivine + Plagioclase → Orthopyroxene + Clinopyroxene + Spinel (e.g. Kushiro and Yoder, 1966)

一ノ目瀉ガブロ中でもかんらん岩と同様にシンプレクタイトがみられ、佐伯 (1986MS) は、かんらん石と斜長石の間には常にシンプレクタイトが観察されると述べている。これらの産状から考えて Aoki (1971) が指摘しているように、かんらん岩中のものと同様、かんらん石と斜長石との反応生成物であると考えられるが、鉍物化学組成の面から言及

したものはない。

本研究でも、先行研究と同様にかんらん石と斜長石の間に存在するものやかんらん石を伴わず斜長石の周囲に分布するシンプレクタイトが認められた。また、かんらん岩中の両輝石とスピネルからなるシンプレクタイトとは異なり、ガブロ類で観察されるものは斜方輝石と単斜輝石 (±)、スピネル、角閃石からなる。同様の鉱物組み合わせのシンプレクタイトはメタガブロから報告されており、上記のかんらん石と斜長石の反応に  $H_2O$  が関与することで形成される (Lang et al. 2004; Cruciani et al. 2008;  $OI + Pl + H_2O \rightarrow Cpx + Amp + Spl + Opx$ ) と思われる。本研究でみられたシンプレクタイトがザクロ石の分解物である可能性を探るため、これらのシンプレクタイトを構成する S-type 鉱物とザクロ石かんらん岩捕獲岩中のパイロープ成分に富むザクロ石の化学組成 (Nixon and boyd 1973; Ionov et al. 1993) について比較を行った (Fig. 1.12)。その結果、ザクロ石と比較して、S-type 鉱物は Ti については同程度か富んでいることを除いて、Takahashi (1978, 1986) で指摘されたものと同様に Na や Ca に富み、Cr に乏しいという結果が得られた。特に S-type 鉱物が Cr をほとんど含まない、Na を一定量含んでいることは (Fig. 1.12a) は、シンプレクタイトがザクロ石由来というよりも Cr を含まない斜長石とかんらん石由来であることを強く支持する。また、シンプレクタイト中 (S-type) の単斜輝石と角閃石にのみ、試料ごとの差はあるものの Eu の正異常がみられた (Fig. 1.8)。斜長石は強い Eu 正異常を示すことから (Fig. 1.11)、これらの Eu の正異常をもつ単斜輝石や角閃石を含むシンプレクタイト形成には斜長石が関与していると考えられる。以上の様に、岩石組織と鉱物化学組成の点から、本研究試料中でみられたシンプレクタイトはかんらん石と斜長石との反応によって形成された輝石 - スピネルシンプレクタイトであると考えられる。この反応は温度低下か、圧力上昇か、またはその両方によって斜長石安定領域からスピネル安定領域へと変化することで引き起こされる (e.g. Kushiro and Yoder 1966)。マントルかんらん岩では温度低下によるシンプレクタイト形成が指摘されている (Takahashi 1986) が、ガブロ中のこれらの形成にも温度低下が関係している可能性が高い。

この温度低下は、本研究試料中にみられる不均質な D-type スピネルにも記録されている。この不均質な D-type スピネル粒子には Al に富むスピネル部分と  $Fe^{3+}$  に富む磁鉄鉱部分が混在する (Fig. 1.3f, g)。このような不均質なスピネルはしばしば変成超マフィック岩中のクロミタイトで記載されており (e.g. Loferski and Lipin 1983), Al に富むスピ

ネルと  $\text{Fe}^{3+}$  に富むスピネルの間にある不混和領域 (Sack and Ghiorso 1991) によって、比較的  $\text{Fe}^{3+}$  に富む均質なスピネルが冷却に伴って 2 相に分かれることで形成される (e.g. Tamura and Arai 2005). 従って、本研究試料の不均質な D-type スピネル粒子も同様に冷却によって形成されたと考えられる. D-type スピネル粒子について、磁鉄鉱部分が占める割合は粒子ごとに異なり、さらに不均質なものだけではなくすべてが Al に富むスピネルのみからなる均質な粒子も存在するなど、同一試料内でも非常に変化する. 不均質なスピネル粒子のバルク組成は、均質なスピネル粒子と比較して  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}^*$  含有量や、 $\text{Fe}^{3+} / (\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})$  原子比が高い (Figs. 1.7, 13). このことから、Ti や Fe (特に  $\text{Fe}^{3+}$ ) に富んだスピネル粒子のみが、下部地殻の温度低下によりスピネル中の不混和領域が拡大したために磁鉄鉱とスピネルに離溶した (Fig. 1.14) と考えられる.

### 2.5.2. 交代作用について

本研究ではガブロ中には産状によって分けられた D-type と R-type, S-type の 3 種類の鉱物が存在し、そのうち S-type の斜方輝石と単斜輝石、角閃石、スピネルは前章で述べたように火成起源のかんらん石と斜長石とのサブソリダス反応に  $\text{H}_2\text{O}$  が加わることによって形成された鉱物であるとみなされる. また R-type の角閃石は、単斜輝石の縁に沿って存在し、特に単斜輝石中のラメラを置換していることから、これもサブソリダスで単斜輝石に  $\text{H}_2\text{O}$  などが付加することによって形成されたと考えられる. これらの S-type, R-type の角閃石は明らかに交代作用によって形成された二次的な生成物である. これらの角閃石形成に伴って交代作用による元素の付加があったかどうか検討したい. 同様の検討は阿部ほか (1992) で一ノ目瀉かんらん岩について行われており、その結果、角閃石を形成するには、かんらん岩中の初生鉱物に  $\text{H}_2\text{O}$  を加えるだけでなく、少なくとも、Ti, Na, K が付加されたことを明らかにした.

検討は、輝石 - ホルンブレンドガブロノーライト中の R-type の角閃石について行った. 輝石 - ホルンブレンドガブロ中にも R-type 角閃石は存在するが、火成的と考えられる D-type 角閃石が含まれるため R-type 角閃石を形成するのに必要な元素は岩石内で調達できると考えられる. また、R-type 角閃石の化学組成は D-type 角閃石とほぼ同じで (Figs. 1.6a, 10b), 平衡に達していると考えられるので、輝石 - ホルンブレンドガブロ中の R-type 角閃石については検討を行わない.

輝石 - ホルンブレンドガブロノーライト中では R-type 角閃石は単斜輝石を置換する

ように産するので、D-type の単斜輝石、またその周囲に存在する D-type 斜方輝石とかんらん石、斜長石の化学組成と比較した。その結果、R-type 角閃石と比較してその他の鉱物は Ti や K, Rb, Ba に乏しい。特に K や Rb, Ba は角閃石以外の鉱物にほとんど含まれないが、R-type 角閃石には一定量含まれている (Fig. 1.15)。Na については、比較的細粒な斜長石や粗粒な斜長石のリムでは不足するが、粗粒な斜長石の中心部では不足しない。しばしば R-type 角閃石と斜長石は接していることから、斜長石の中心部に比較して Na に乏しいリムの組成は角閃石形成によって改変されたもので、粗粒な粒子の中心部の組成は初生的な組成を示していると考えられる。また微量元素について R-type 角閃石の値を D-type 単斜輝石の値で割った値は、ドイツ、アイフェルのガラスに富む捕獲岩から得られた角閃石と単斜輝石との分配係数 (Downes et al. 2004) とほぼ等しい (Fig. 1.16)。このことから Sr や Nb などの微量元素について、R-type 角閃石に D-type 単斜輝石と比較して多く含まれるが (Fig. 1.16b)、角閃石と単斜輝石の間で平衡に達した結果である可能性がある。しかし、K や Rb については角閃石のみに含まれており、これらの元素は新たに付加されたと考えられる。

また、これらのガブロ類に含まれる S-type の鉱物はかんらん石と斜長石との反応生成物であるので、S-type 角閃石と、かんらん石、斜長石の化学組成について比較を行った。かんらん石や斜長石には MREE から HREE などの微量元素が含まれない (Fig. 1.11) にもかかわらず、S-type の角閃石や単斜輝石には MREE から HREE が含まれている (Fig. 1.8)。しかし、これらの元素はシンプレクタイトの周囲にある D-type の単斜輝石や角閃石には含まれていることから、化学平衡によってこれらの元素に乏しい S-type 鉱物へ D-type 鉱物から供給された可能性もある。ただし、D-type と S-type のそれらはパターンが一致しない (Figs. 1.9, 10a, c) ので、完全には平衡に達していないようである。

また、交代作用は D-type スピネル粒子にも記録されている。2.5.1. で議論した不均質な D-type スピネル粒子と均質なスピネル粒子が同一試料内に共存していることから、元来は均質なスピネル粒子と同等な Al に富む組成であったものが、流体によって Ti や Fe が付加され、また酸化的な条件がもたらされることによる Fe<sup>3+</sup>比が増大し (Fig. 1.13)、Fe<sup>3+</sup>に富むスピネル粒子となったことで、不均質なスピネル粒子の前身のスピネルが形成されたと考えられる。

以上から一ノ目湯ガブロ類に H<sub>2</sub>O と共に少なくとも K と Rb, Fe, Ti がメルトまたは流体によって付加されたと考えられる。このメルトまたは流体は酸化的であり、イン

コンパティブル元素の中でも特に LIL 元素に富むことから、島弧マグマに関係したものであると考えられる。この性質は阿部ほか (1992) によって指摘された上部マントル交代作用をもたらしたメルトの性質と同様である。かんらん岩中でみられたホルンブレンド脈や、その脈とかんらん石の間に生じる斜方輝石の縁のような、メルトそのものの関与を示す組織などは本研究試料中では確認できなかった。したがって、これらの加水作用をもたらしたものは島弧マグマから放出された流体であった可能性が高い。

### 2.5.3. 火成的な一ノ目瀉ガブロの鉱物組み合わせ

2.5.1 や 2.5.2 から交代作用によって形成された二次的な角閃石の存在が明らかになり、一ノ目瀉ガブロに含まれる角閃石の内、少なくとも一部はマグマから晶出したものではないことが分かった。また、シンプレクタイトはかんらん石と斜長石の反応物であることから、ガブロ中の鉱物のうち火成起源と考えられるものは D-type 鉱物であるといえる。すなわち、輝石-ホルンブレンドガブロではかんらん石、斜長石、D-type 角閃石、D-type 単斜輝石、D-type スピネルであり、輝石-ホルンブレンドガブロノーライトではかんらん石、斜長石、D-type 単斜輝石、D-type 斜方輝石である。これらのガブロ類はシンプレクタイトをモード量で 10–45 vol%, R-type 角閃石を 2–20 vol% 含むことから、火成的な鉱物組み合わせと現在の鉱物組み合わせは異なると考えられる。以下、この時初生的なガブロがどのような岩石になるのかを推定したい。R-type 角閃石は単斜輝石を置き換えたものとして、初生的には D-type 単斜輝石とし、またシンプレクタイトを構成する S-type 鉱物は初生的にはかんらん石と斜長石とする。

シンプレクタイトについては Lang et al. (2004) を参考に、 $Ol + Pl + H_2O = Cpx (\pm) + Amp + Spl + Opx$  という反応式が成り立つとし、このモデル式が成り立つような鉱物量比を求め、反応前後の鉱物の体積量を求めた。これらの検討を行ったのは、斜長石とかんらん石を含む試料についてで、計算に使用した各鉱物の値は粒子のコアで測定した値の平均値である (Table 1.13)。ただし、斜長石の組成は粒子ごとに  $Na_2O$  含有量が変わるので、もっとも Na に富む粒子の組成を用いた。

まず、最小二乗法を用いた GENMIX プログラム (Le Maitre 1981; 亀谷ほか, 2001, 2009) を用い、モデル式の両辺にある成分について過不足がないような各鉱物の量比を求めた。この時、議論の中で Ti, Na, K は交代作用によって外部から加わった可能性が指摘されているので、それ以外の  $SiO_2$  と  $Al_2O_3$ , FeO, MnO, MgO, CaO の元素を用

いて計算を行った。計算結果は重量パーセントであるので、それを各鉱物の原子量で割ることで反応式の係数を得た。そこに、1 mol あたりの体積量 (Helgeson et al. 1978) を用いて、反応にかかわった各鉱物の体積と体積比を求めた。これらをまとめて Table 1.13 に示す。

これらの推定が現実的であるかどうか、一部の試料ではあるが、実際の反応生成物であるシンプレクタイトを構成する鉱物量比と計算によって求めた値を比較した (Table 1.13)。例えば、Ich-M031 では、実測値では角閃石と単斜輝石、スピネル、斜方輝石はそれぞれ、20.4, 30.8, 14.5, 34.3 vol%であるが、一方計算で求めた値は 16.7, 30.1, 15.9, 37.3 vol% と完全には一致しないものの、同じような割合を示すことから、計算結果は完全ではないが信頼性があると考えた。この計算結果を利用して反応前のかんらん石と斜長石の割合を求めた。反応する前のかんらん石と斜長石の割合はそれぞれ、44.6–48.3, 51.7–55.4 vol%とほぼ一定である。かんらん石を含まないため推定できなかった試料については、これらの中で平均的な値を有する Ich-M050 の値を用いた。

以上から、R-type 角閃石を単斜輝石として、S-type 鉱物をかんらん石と斜長石として推定した初生的な一ノ目瀉ガブロは、現在のものよりも角閃石に乏しく、かんらん石と斜長石に富み (Fig. 1.17)、特にかんらん石は 4.4–22 vol% まで含まれると考えられる。現在では一ノ目瀉直下の下部地殻では輝石 - ホルンブレンドガブロや輝石 - ホルンブレンドガブロノーライトがみられるが、交代作用が起こる以前は無水のガブロノーライトやトロクトライト、かんらん石を含むホルンブレンド - 輝石ガブロが分布していた可能性がある。

#### 2.5.4. まとめ

斜長石の An 値とかんらん石の Fo 値の関係をみると、一ノ目瀉から得られる輝石 - ホルンブレンドガブロと輝石 - ホルンブレンドガブロノーライトは異なると言え、Aoki (1971) で報告されたホルンブレンドガブロと輝石ガブロも同様に異なる性質を示す (Fig. 1.5)。一つは、An 値 90 以上の Ca に富む斜長石を含むガブロで、Beard (1986) で島弧に特徴的とされた角閃石を含むガブロに等しい。もう一つは An 値が 70 程度とやや低くで Fo 値もやや高い傾向にある。また、この比較的低い An 値の斜長石は、三ノ目瀉から得られる輝石ガブロ中の斜長石 (Pl An 76.3 Cpx Mg# 0.72; Arai and Saeki 1980) と

類似する。一ノ目瀉から 2.5 km 離れた地点にある三ノ目瀉の直下の上部マントルから下部地殻は、一ノ目瀉と比較して角閃石が少ないことが指摘されている (Arai and Saeki 1980; 荒井ほか 2005) ことから、一ノ目瀉直下にも三ノ目瀉と類似した比較的無水に近いガブロも一部分布していたと考えられ、それは 2.5.3. で推定したような無水のガブロノーライトの存在と整合的である (Fig. 1.17)。そして、交代作用によって二次的な角閃石が形成され、またかんらん石と斜長石のサブソリダス反応が起こることで、現在みられるようなガブロ類が一ノ目瀉直下に形成されたと考えられる。これらの二次的な角閃石の形成、温度低下によるかんらん石と斜長石の反応などの変化は、マントルかんらん岩にも記録されている (阿部ほか 1992)。一方、三ノ目瀉では二次的な角閃石の形成はみられない。以上のことから、東北日本弧直下では、上部マントルから下部地殻にかけて垂直方向に広く、しかし水平方向には不均質に鉱物化学組成や鉱物組み合わせの変化が起こったと考えられる (Fig. 1.18)。

Takahashi (1978) では、東北日本弧では一ノ目瀉以外の地域からも角閃石に富むガブロが得られることから下部地殻物質は角閃石に富むガブロ類からなるとした。しかし、上記のことから東北日本弧の下部地殻物質として、比較的角閃石の乏しいガブロやガブロノーライト、かんらん石ガブロも存在している可能性が強い。

### 3. 黒瀬

#### 3.1. 地質概説

黒瀬は西南日本弧福岡県玄界灘の玄界島から北に 400 m に位置し、大きさは径 150 m 程度の小さな岩礁である (Fig. 2.1). アルカリ玄武岩からなっており、岩礁上で数 m 離れた 2 地点から採取した玄武岩試料からは、K-Ar 年代  $1.13 \pm 0.12$  Ma が得られた (宇都ほか 1993). 西南日本に存在するその他のかんらん岩捕獲岩を含むアルカリ玄武岩の年代がほとんど 12Ma 以降で中新世であるのに対し (e.g. 宇都 1995), この年代は第四紀を示し、比較的新しい.

黒瀬は、超マフィック - マフィック捕獲岩の産地として Yamaguchi (1964), Arai and Hirai (1983) などによって記載がなされている. 露頭で 1700 個以上の捕獲岩をサイズと岩石種を測定し求めた体積比によると、超マフィック・マフィック岩は捕獲岩全体の 97%, 超マフィック岩だけでも全体の約 90% を占め (Arai et al. 2001), マフィック岩の割合は一ノ目瀉と比較すると非常に少ない. Arai et al. (2000) は捕獲岩の種類から上部マントルから下部地殻までの地下構造を推定しており、それによると黒瀬の上部マントルから下部地殻には、深部からレールズライト・ハルツバージャイト, ダナイト - ウェールライト・輝岩, グラニュライトが分布しているとされている. また、荒戸山 (e.g. 藤原・荒井 1982) や黒瀬から約 30 km 西南方向に位置する高島 (e.g. Arai and Kobayashi 1981) などのその他の捕獲岩産地と比較して、黒瀬は火成的な性質を示す Group II (Frey and Prinz 1978) 捕獲岩が極めて少なく、先行するマグマ活動の影響が少ないとされている (e.g. Arai and Kobayashi 1981). このことから、西南日本弧の比較的新しい集積岩とは異なる地下深部物質の性質が得られることが期待される.

本研究試料は黒瀬のアルカリ玄武岩中から得られたものであり、2014 年に行った調査で得られた試料と金沢大学理工学域自然システム学類地球学コースで保管されていた荒井特任教授の試料である. その一部は Arai et al. (2001) によってすでに記載されている.

#### 3.2. 岩石記載

今回処理したマフィック捕獲岩は、主に斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, スピネル ( $\pm$ )



からなっており、細粒等粒状で Arai et al. (2001) ではグラニューライトと記載されていることから以下でもグラニューライトと記載する。以下に記載するように、鉱物組み合わせと鉱物化学組成の点から、本研究ではグラニューライトを3種類に分類した；スピネルを含まないもの (Spl-free Granulite)、スピネルに乏しいもの (Spl-poor Granulite)、スピネルに富むもの (Spl-rich Granulite) の3種類である。超マフィック捕獲岩についてはレールゾライトやハルツバージャイト、ダナイトなど様々な岩石種が報告されているが (Arai et al. 2001)、本研究では特にスピネルの含有量が高いものについて記載した。黒瀬から得られたこれらの超マフィック - マフィック捕獲岩は一の目潟から得られる捕獲岩とは異なり、かんらん石と斜長石が共存しないことが特徴である (Arai et al. 2001)。また、角閃石や金雲母などの含水鉱物を含まない。一部の試料に、単斜輝石、ぜん虫状のスピネルという細粒な鉱物集合体が斜長石の周囲に存在する様子がみられ、これは一ノ目潟ガブロにみられた輝石 - スピネルシンプレクタイトの組織と非常によく似ている。今回検討を行ったのはそれぞれ、スピネルを欠くグラニューライト2試料、スピネルに乏しいグラニューライト6試料、スピネルに富むグラニューライトが5試料、スピネルに富むウェブステライトが3試料、スピネルに富むレールゾライト4試料についてである。

### 3.2.1. グラニューライト

グラニューライトは斜長石、単斜輝石、斜方輝石、スピネル ( $\pm$ )、硫化鉱物 ( $\pm$ ) からなっており、含水鉱物を含まない。上記のようにスピネルの量比や、後述するように斜長石と単斜輝石の化学組成をもとに3種類に分類している。鉱物化学組成によってスピネルに乏しいものとしたものの内、一部はスピネルに富む試料よりもスピネルを多く含む場合がある。これらのモード組成を比較すると、どのタイプのグラニューライトも同じ領域にプロットされ、全体的に斜方輝石よりも単斜輝石に富んでおり、ガブロノーライトからガブロに分類されるような鉱物組み合わせである (Fig. 2.2a)。

#### スピネルを欠くグラニューライト (Spl-free Granulite)

斜長石、単斜輝石、斜方輝石からなりスピネルを全く含まない (Fig. 2.3a)。グラノブラスティック組織が発達しており、斜長石と輝石類との粒界は曲線的であり、特に斜方輝石ではその傾向が強い。斜長石同士や単斜輝石同士など同種の鉱物との粒界は直線的である。面構造や線構造は認められない。

斜方輝石は、粒径 0.3–2 mm 程度で、淡緑色–淡赤色の多色性を呈す。離溶ラメラはみられず、また、斜長石や単斜輝石との粒界に反応縁がみられる。

単斜輝石は粒径 0.3–2 mm 程度で、粒径離溶ラメラはみられず、まれに波動消光を示すものがある。

斜長石は粒径 0.3–4 mm 程度で、斜長石が比較的多く含まれる試料の方が粗粒である。アルバイト双晶を示すことがあり、弱い累帯構造も認められる。

#### スピネルに乏しいグラニュライト (Spl-poor Granulite)

斜長石、単斜輝石、斜方輝石、スピネル、硫化鉍物からなる (Fig. 2.3b)。グラノブラスティック組織が発達しており、鉍物粒界は曲線的であるが、斜長石同士や単斜輝石同士など同種の鉍物との粒界は直線的である様子がみられる。斜長石や輝石類の分布によりごく弱い面構造が認められる。また、斜方輝石と斜長石の境界にぜん虫状のスピネルと単斜輝石からなるコロナ状組織 (Fig. 2.3d) がみられるものが多い。スピネルはモード量で 5 vol%まで含む。

斜方輝石は、粒径 0.4–2 mm で、淡緑色–淡赤色の多色性を呈す。また、斜長石や単斜輝石との粒界に反応縁がみられ、その発達の程度は試料ごとによって異なる。

単斜輝石は、粒径 0.3–2 mm で、離溶ラメラはみられない。まれに波動消光を示す粒子がある。コロナ状組織中の単斜輝石 (C-type Cpx) は、一ノ目湯のシンプレクタイト中の単斜輝石の様に多角形状ではなく、特定の形をとるわけではない。

斜長石はアルバイト双晶を示すことがあり、ごく弱い累帯構造がみられる。粒径は 0.5–3 mm 程度である。

スピネルは、形状によって 2 種類に分けられる。コロナ状組織を示すもの (C-type Spl) は、単斜輝石に伴いぜん虫状で、比較的細粒で最大でも長径 0.5 mm 程度である (Fig. 2.3d)。それ以外は、その他の鉍物と同様に単独で存在しており、不定形または比較的自形に近いような塊粒状で、後者のものが多い。C-type と比較して比較粗粒であり、粒径は 0.1–0.8 mm である。形状にかかわらず、共に緑色を示す。

硫化鉍物は輝石類中に面状に分布する微粒のインクルージョンとして存在する。鉍物粒界にも存在が認められる。大きさは >10 μm 程度である。

#### スピネルに富むグラニュライト (Spl-rich Granulite)

斜長石，単斜輝石，斜方輝石，スピネル，硫化鉍物からなる (Fig. 2.3c). スピネルはモード量で3–9 vol%まで含まれる．斜長石とスピネルのモード量には負の相関がみられる (Fig. 2.4a). グラノブラスティック組織が発達しており，斜長石と輝石類との粒界は曲線的であるが，斜長石同士や単斜輝石同士など同種の鉍物との粒界は直線的である．斜長石や輝石類がレンズ状に分布している様子や，スピネルが伸長している様子などがみられ，面構造が発達している．

斜方輝石は，淡緑色 - 淡赤色の多色性を呈す．また，その他のグラニュライトと同様に斜長石や単斜輝石との粒界に反応縁がみられ，その発達の程度は試料ごとによって異なる．離溶ラメラはみられず，波動消光を示すものもある．粒径は0.5–2 mm程度である．

単斜輝石には離溶ラメラはみられない．波動消光を示すものもある．粒径は0.5–2 mm程度である．まれに，0.2–0.5 mm程度の細粒多角形状のものがみられ，それらには楕円形からぜん虫状の細粒なスピネルを伴っている．

斜長石はアルバイト双晶を示すことがある．累帯構造などはほとんどみられない．粒径0.5–2.5 mm程度と輝石類と比較的して粗粒である．

スピネルは緑色を示し，不定形である．粒径は0.05–1 mm程度と同一試料内でばらつきがある．比較的粗粒な粒子は，伸長して扁平な形を示す．また，まれに0.2 mm程度のぜん虫状または楕円形状の比較的小さな粒子が単斜輝石に伴って存在している．

硫化鉍物は，輝石類中に単独のインクルージョンとして，または面状に分布する微粒のインクルージョンとして存在する．鉍物粒界にも存在が認められる．大きさは < 10  $\mu\text{m}$  程度である．

### 3.2.2. スピネルに富むウェブステライト

単斜輝石，斜方輝石，スピネル，斜長石 ( $\pm$ )，かんらん石 ( $\pm$ )，硫化鉍物からなり含水鉍物は含まれない (Fig. 2.5a). 塊状で面構造などの構造は認められない．スピネルの含有量が特徴的に高く，9–15 vol%程度である．全体的に細粒かつ等粒状であるが，粗粒な粒子が含まれて，粒径が不均質なことがある (KR-011). 輝石類の鉍物粒界は直線的である．詳細に記載しないが，スピネルを全く含まないウェブステライトも存在する．

今回処理した3試料は，斜長石をほとんど含んでおらず，ウェブステライトに分類される (Fig. 2.2). 本研究ではスピネルに富むウェブステライトとグラニュライトの間に，

斜長石含有量のギャップがあり (Fig. 2.4a), 関係性を見つけることはむずかしい. しかし Arai et al. (2001) では両者の間に, 斜長石の増加に伴いスピネルが減少していくという連続的な変化がみられると指摘している.

また, KR-22 は Arai et al. (2001) にも記載されており斜長石を含むとされている. 本研究では KR-22 に斜長石が認められなかったが, かんらん石の存在が認められた (Fig. 2.5b). 斜長石とかんらん石が接していないので, その境界の構造は不明だが, 一つの試料の中にかんらん石と斜長石が存在する唯一の試料である.

KR-026 中には斜長石が一部含まれ, その周囲には比較的細粒な単斜輝石, ぜん虫状のスピネルからなる鉱物集合体 (Fig. 2.5c) がみられる. 周囲に多角形状の斜方輝石がみられないが, 一ノ目瀉ガブロでみられたシンプレクタイトと非常によく似ている. また斜長石周囲ではない部分にも, 比較的細粒な単斜輝石と細粒で楕円状のスピネルからなる S-type によく似たもの (Fig. 2.5d) も認められる. 以下これらの単斜輝石やスピネルについて前者に含まれるものを S-type, 後者に含まれるものを S'-type として別に記載する.

かんらん石は KR-22 のみでみられ, 250–500  $\mu\text{m}$  程度で赤褐色に風化している様子もしばしばみられる (Fig. 2.5b). キンクバンドはみられない.

斜方輝石も単斜輝石と同様に 0.5–1.5 mm 程度の細粒なものがほとんどで, まれに最大で 3 mm 程度の粗粒な粒子が存在する. 共に, 淡緑色 - 淡赤色の多色性を呈する. 単斜輝石やスピネルとの境界に反応縁がみられる.

単斜輝石は, 0.5–1.5 mm 程度の細粒なものがほとんどで, まれに最大で 3 mm 程度の粗粒な粒子が存在する. 離溶ラメラはみられず, まれに波動消光を示す. KR-026 にみられる S-type 単斜輝石は 0.25–1.0 mm でその他の粒子より比較的細粒で, ぜん虫状のスピネルを伴うのが特徴である. S'-type は 0.5 mm 程度の多角形状であり, S-type とその他の粒子の中間的な組織をしている (Fig. 2.5d). 共に離溶ラメラや波動消光は示さない.

斜長石は KR-026 のみでみられる. アルバイト双晶を示し, 累帯構造はみられない.

スピネルは, 不定形で長径が 0.05–2 mm と大きさにばらつきがある. 粗粒な粒子は伸張していることが多い (Fig. 2.5a). 一方, KR-026 でみられる単斜輝石に伴う S-type スピネルは 0.05–0.3 mm 程度と比較的細粒で, ぜん虫状, または楕円形状である (Fig. 2.5c). また, S'-type は 0.1 mm 程度の楕円形に近い不定形を示す (Fig. 2.5d). 産状にか

かわらず、濃い緑色を示す。

硫化鉍物は鉍物中のインクルージョンとして、または粒界に沿って面状に分布する微粒子として存在する。共に球状で、インクルージョンタイプは 40  $\mu\text{m}$  程度、粒界に存在するものは 10  $\mu\text{m}$  程度である。

### 3.2.3. スピネルに富むレールゾライト

かんらん石、単斜輝石、斜方輝石、スピネル (±)、硫化鉍物からなっており、含水鉍物を含まない (Fig. 2.5e)。スピネルやかんらん石の伸びによる弱い線構造がみられる。スピネルに富まない一般的なハルツバージャイトやレールゾライトと比較して、全体的に細粒で等粒状であること、輝石類、特に単斜輝石とスピネルに富むこと、スピネルの色が緑褐色を呈していることで明瞭に区別できる。単斜輝石とスピネルの含有量はそれぞれ 20–28, 9–15 vol% である。かんらん石と単斜輝石やスピネルのモード量には負の相関がみられる (Fig. 2.4b,c)。

これらのレールゾライトは、Arai et al. (2001) では輝石に富む細粒レールゾライトとして記載されており、本研究で扱った KR-383 も記載されている。

かんらん石は、その他の構成鉍物と比較して伸長した粗粒な粒子 (長径 < 3 mm) がレンズ状に分布している様子がみられる。その他の輝石類が伴う細粒な部分では、0.2–0.5 mm 程度の比較的細粒な粒子がみられる。全体的にキンクバンドが発達している (Fig. 2.5f)。

斜方輝石も細粒なかんらん石と同様な大きさで、0.2–0.5 mm 程度と細粒な粒子がほとんどで、まれに粗粒な粒子が存在する。離溶ラメラはなく、多色性も示さない。

単斜輝石は、細粒なかんらん石と同様な大きさで、0.2–0.5 mm 程度と細粒な粒子がほとんどで、まれに粗粒な粒子も存在する。離溶ラメラはみられず、まれに波動消光を示す。

スピネルは不定形で伸長した形をしており、0.1–1.5 mm である。緑褐色を呈す (Fig. 2.5e) が、KR-1401 中のもののみは茶褐色である。

硫化鉍物は、かんらん石や単斜輝石中に円形のインクルージョンとして存在する。粒径は < 20  $\mu\text{m}$  程度である。

### 3.3. 鈹物化学組成

#### 3.3.1. 主要元素組成

鈹物の主要元素組成は、金沢大学地球学コースの EPMA (日本電子社製 JXR-8800R) を用いて決定した。鈹物についての分析条件は加速電圧 20 kV, 電流値 20 nA, プローブ径 3  $\mu\text{m}$  である。ZAF 法プログラムを用いて定量分析値の補正を行った。スピネルの  $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  を算出する際には、それらに含まれる Ti はウルボスピネル ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ) 成分となすとし、ストイキオメトリーを仮定して求めた。ケイ酸塩鈹物では Fe は全て  $\text{Fe}^{2+}$  とした。以下では、Mg#は  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$  原子比, Cr#は  $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$  原子比, かんらん石の Fo は  $100\text{Mg}\#$  を示す。  $Y_{\text{Fe}}$  と  $Y_{\text{Cr}}$ ,  $Y_{\text{Al}}$  はそれぞれ  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$  と  $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$ ,  $\text{Al}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$  原子比である。

#### グラニュライト

岩石中に含まれるスピネルの量比で鈹物化学組成の違いが認められる。スピネルを欠く、または乏しいグラニュライトはスピネルに富むグラニュライトと比較して斜長石の An 値が高く、輝石類の Mg #が低い傾向がみられる (Fig. 2.6)。また比較的低 Al の輝石類を含む 2 試料を除いて、これらの鈹物化学組成は Arai et al. (2001) で報告されている値と一致する。

#### スピネルを欠くグラニュライト (Spl-free Granulite)

2 試料について分析を行ったが、Al の含有量が異なることから組成を分けて記載する。

斜方輝石は Mg#0.72–0.73 または 0.74–0.75 である (Fig. 2.7)。  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含有量は試料によって違いが顕著で、粒子のコアではそれぞれ 5.66–5.80, 4.47–5.30 wt% で、またリムではそれぞれ 5.92–6.23, 5.07–5.70 wt% とやや高い傾向がある。  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  は含まれず、  $\text{TiO}_2$  含有量は  $< 0.18$  wt% である。

単斜輝石の Mg#は 0.74–0.76 または 0.77–0.78 (Fig. 2.8) で、斜方輝石より高い値を示す。  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含有量は試料によって違いが顕著で、粒子のコアではそれぞれ 6.93–7.20, 5.12–5.20 wt% であり、またリムではそれぞれ 7.48–7.67, 5.67–5.79 wt% とやや高い傾向がある。  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含有量は共にきわめて低く 0.07 wt% 以下である。  $\text{TiO}_2$  含有量も試料によって違いが顕著で、それぞれ 0.54–0.76, 0.27–0.36 wt% である。  $\text{Na}_2\text{O}$  含有量は 0.37

−0.76 wt%で、NiO は含まれない。

斜長石はバイトウナイトである (Fig. 2.6)。ごく弱い累帯構造を示し、粒子のコアでは An 値 83–84 または 89–91 であるが、リムでは An 値 81–83 また 88–89 とやや Na に富む。K<sub>2</sub>O 含有量は 0.04–0.12 wt% である。

#### スピネルに乏しいグラニュライト (Spl-poor Granulite)

ほとんどの試料で構成鉱物の累帯構造はみられず、粒子内で化学組成はほぼ均質である。KR-008 のみ、斜長石や輝石類の化学組成の特徴が異なるので、別に記載する。

斜方輝石は Mg#0.71–0.78 である (Fig. 2.7)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は 6.21–7.73 wt% で、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ <0.15, <0.18 wt% である。KR-008 では Mg# は 0.73–0.75 で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は粒子のコアでは 3.20–4.86 wt% で、リムでは 3.15–6.23 wt% である。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ <0.05, 0.07–0.14 wt% である。

単斜輝石はコロナ状の C-type のものとその他のものとで組成の違いはない (Table 2.4)。Mg# は 0.74–0.81 で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は 7.45–8.86 wt% で、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は非常に低く <0.21 wt% である (Fig. 2.8)。Na<sub>2</sub>O や TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 0.36–0.84, 0.23–0.56 wt% で、NiO は含まれない。KR-008 では Mg# は 0.77–0.79 で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は粒子のコアでは 4.41–5.30 wt% で、リムでは 5.30–6.32 wt% とその他と比較して低い。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は <0.11 wt% で、Na<sub>2</sub>O や TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 0.38–0.71, 0.30–0.44 wt% で、NiO は含まれない。

斜長石は An 値 90–93 のアノーツサイト (Fig. 2.6) で、K<sub>2</sub>O 含有量は <0.07 wt% である。KR-008 では斜長石は累帯構造を示し、粒子のコアでは An 値 91–92 であるが、リムでは An 値 84–88 と Na にやや富む。

スピネルは塊状の粒子とぜん虫状の C-type とで、化学組成の違いがみられる。塊状のスピネルの Mg# は 0.61–0.65 (Fig. 2.9) で、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 0.06–0.66, 0.05–0.13 wt% である。一方 C-type スピネルは Mg# は 0.56–0.71 で、一つの試料内での変化がみられる。また、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や TiO<sub>2</sub> 含有量は <0.74, 0.10–0.28 wt% と、塊状粒子より Ti と Cr に富む。共に Y<sub>Al</sub> や Y<sub>Fe</sub> は同様の値で、それぞれ 0.95–0.99, 0.03–0.08 と Al に富む組成を示す。

#### スピネルに富むグラニュライト (Spl-rich Granulite)

すべての試料で累帯構造はみられず、粒子内で化学組成的にほぼ均質である。輝石類の Mg# はグラニューライトの中では比較的高い値を示す (Figs. 2.7, 8)

斜方輝石は Mg# 0.78–0.86 である (Fig. 2.7)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量はそれぞれ 6.42–7.16, <0.11 wt% で Cr はほとんど含まれない。TiO<sub>2</sub> 含有量は <0.11 wt% である。

単斜輝石の Mg# は 0.80–0.87 (Fig. 2.8) で、斜方輝石より高い値を示す。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は 7.52–8.36 wt% で、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はほとんど含まれず <0.20 wt% である。TiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O 含有量はそれぞれ 0.22–0.46, 0.69–0.90 wt% である。NiO はほとんど含まない。

斜長石は An 値 78–85 のバイトウナイトである (Fig. 2.6)。弱い逆累帯構造を示すものあり、それらの試料の斜長石は粒子のコアでは An 値 82–85 であるが、リムでは An 値 81–83 とやや Na に富む。K<sub>2</sub>O 含有量は <0.09 wt% でほとんど含まない。

スピネルの Mg# は 0.66–0.77 である (Fig. 2.9)。また、TiO<sub>2</sub> 含有量は <0.10 wt% である。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は 0.27–3.19 wt% と幅広い値をとる。一つの試料内で粒子ごとに Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量が異なることがあり、もっとも変化が大きい試料では 0.40 から 3.19 wt% まで変化する (Table 2.6)。Y<sub>Fe</sub> は 0.01–0.03 と Al に富む組成を示す (Fig. 2.9)。

### スピネルに富むウェブステライト

得られた鉱物化学組成は、単斜輝石の Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量がやや少なく、斜長石の An が高い値を示すが、それ以外は Arai et al. (2001) で報告されている値と一致する。

かんらん石は KR-22 のみでみられた。Fo 値は 81 程度で、CaO, MnO 含有量はそれぞれ 0.10–0.12, 0.19–0.24 wt% である。NiO 含有量は 0.15–0.17 wt% とマントルかんらん石の値と比較して低い (Fig. 2.10a)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は含まれない。

斜方輝石は Mg# 0.79–0.83 (Fig. 2.7) , 特に KR-22 では 0.82–0.83 とかんらん石の Mg# (0.81) よりも高い。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 4.88–7.39, <0.13, 0.05–0.12 wt% である。

単斜輝石の Mg# は 0.81–0.85 (Fig. 2.8) で、KR-22 では 0.84–0.85 とかんらん石の Mg# よりも高く、斜方輝石の Mg# と同程度かやや高い。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量はそれぞれ 5.48–7.83, <0.17 wt% で、Cr をほとんど含まない。TiO<sub>2</sub> や Na<sub>2</sub>O 含有量は 0.30–0.45, 0.49–0.72 wt% である。KR-026 中で斜長石の周囲に存在する S-type 単斜輝石は Cr を全く含まないこと、Ti にやや乏しいことを除いてその他の単斜輝石と組成的にほぼ等しい。

S'-type 単斜輝石も S-type と同様の性質を示すが、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や TiO<sub>2</sub> 含有量については S-type



粒子とその他の粒子の中間の値を示す (Fig. 2.11a,b). Mg#は 0.83, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は 6.62–7.77 wt%で, Cr は含まない. TiO<sub>2</sub> や Na<sub>2</sub>O 含有量は 0.25–0.31, 0.47–0.63 wt%である.

斜長石は KR-026 のみでみられ, An 値 90.8 程度のアノーサイトである. K<sub>2</sub>O 含有量は <0.07 wt%である. Arai et al. (2001) では KR-22 にも斜長石が含まれていると報告しており, それは An78.4 のバイトウナイトである.

スピネルの Mg#と Cr#はそれぞれ 0.67–0.74, <0.04 で (Fig. 2.9), グラニューライト中のものと比較してやや Cr に富む. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 0.14–3.58, 0.04–0.12 wt%で, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は一つの試料の中で大きく変化することがある (Table 2.6). Y<sub>Al</sub> や Y<sub>Fe</sub> はそれぞれ 0.93–0.96, 0.02–0.04 と Al に富む. KR-026 に含まれるぜん虫状の S-type スピネルは Cr や Ti に乏しく, Mg#はその他の粒子より高い値を示す (Fig. 2.11c). S'-type スピネルも S-type と同様の性質を示すが, Mg#や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 含有量については S-type 粒子とその他の粒子の中間の値を示す (Fig. 2.11c). S-type, S'-type スピネルの Mg#は 0.73 程度で, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 0.05–0.81, 0.03–0.06 wt%である.

### スピネルに富むレールゾライト

得られた鉱物化学組成は Arai et al. (2001) の輝石に富むレールゾライトと報告されている値と一致する. また, マントルかんらん岩のハルツバージャイトやレールゾライト (Abe et al. 1998; Arai et al. 2001; Yoshikawa et al. 2010) と比較すると, かんらん石や輝石類の Mg#は低く Fe に富んでおり, スピネルは Cr に乏しい傾向がある (Fig. 2.12).

かんらん石の Fo 値は 86–88 で, CaO, MnO 含有量はそれぞれ 0.04–0.12, 0.13–0.24 wt%である. NiO 含有量は 0.20–0.30 wt%とマントルかんらん岩の値と比較してやや低い (Fig. 2.10). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は含まれない.

斜方輝石は Mg#0.87–0.89 である (Fig. 2.7). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 含有量はそれぞれ 3.66–4.69, 0.15–0.40, <0.10 wt%である. 前述のグラニューライトやウェブステライトと比較して, 輝石類の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は低く, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量は高い傾向がある.

単斜輝石の Mg#は 0.88–0.90 で (Fig. 2.8), かんらん石の Mg#よりも高い. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量はそれぞれ 4.56–6.40, 0.28–0.70 wt%である. TiO<sub>2</sub> や Na<sub>2</sub>O 含有量は 0.07–0.34, 0.72–1.56 wt%で, Na はマントルかんらん岩中のものよりも多く含む.

スピネルの Mg#と Cr#はそれぞれ 0.74–0.79, 0.06–0.18 で, グラニューライトやウェ

ブステライト中のものと比較して Cr に富む (Fig. 2.9).  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含有量は 0.04–0.12, 0.14–3.58 wt% で,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含有量は 5.81–7.81 wt% であるが, KR-1401 のみが 16 wt% と高い値を示す.  $\text{TiO}_2$  含有量は <0.15 wt% である.  $Y_{\text{Al}}$  や  $Y_{\text{Fe}}$ ,  $Y_{\text{Cr}}$  はそれぞれ 0.90–0.92, 0.01–0.03, 0.06–0.08 と Al に富む組成を示す. 一方, KR-1401 は  $Y_{\text{Al}}$  や  $Y_{\text{Fe}}$  はそれぞれ 0.80, 0.03 程度で,  $Y_{\text{Cr}}$  は 0.17 程度と比較的高い値を示す.

### 3.3.2. 微量元素組成

それぞれの岩石種に含まれる単斜輝石と斜長石の微量元素組成について, 一ノ目湯ガブロと同様に金沢大学地球学コースに設置されている LA-ICP-MS を用いて測定した. レーザー側の条件は, 照射率 6 Hz, エネルギー密度  $8 \text{ J/cm}^2$ , 単斜輝石については直径 50  $\mu\text{m}$ , 斜長石については直径 120  $\mu\text{m}$  の条件で照射した. NIST SRM 612 ガラス (Pearce et al. 1997) を標準試料とし, EPMA 分析により得られた  $\text{SiO}_2$  含有量を用いて,  $^{29}\text{Si}$  を内標準元素とした.

### グラニュライト

単斜輝石と斜長石について分析を行った. 斜長石については, スピネルの含有量によって分類した 3 種類からそれぞれ 1 試料 (KR018, KR014, KR320) について微量元素を求めた.

単斜輝石をコンドライトで規格化した時, LREE から MREE にかけて右上がり, MREE から HREE にかけてわずかに右下がりのパターンを示す (Fig. 2.13a,b). その中でもスピネルに富むグラニュライトはその他のグラニュライトと比較して La から Nd までの LREE に乏しく, またわずかに Eu に正の異常を示し, その他のグラニュライトと REE パターンが異なる. 微量元素パターンでは, スピネル含有量が低いグラニュライトでは Sr に負の異常がみられるが, スピネルに富むものではスパイクがほとんど見られない (Fig. 2.14 a,b). Sr の含有量はスピネルを欠くグラニュライトでは 11 ppm, スピネルに乏しいグラニュライトでは 13–27 ppm, スピネルに富むグラニュライトでは 18–32 ppm と, スピネルに富むものほどわずかに高くなる傾向がある. スピネルに乏しいグラニュライトに含まれる C-type 単斜輝石は, 同一試料中のその他の単斜輝石と比較して, 微量元素がわずかに乏しいがほぼ同じ組成を示す (Table 2.7).

斜長石は右下がりの REE パターンを示し，Eu に強い正の異常を示す．HREE をほとんど含まず，Sr や Ba, Pb に富み (Fig. 2.14)，それぞれ含有量は 300–890，11–29，0.38–1.10 ppm である．KR-018 に含まれる斜長石はその他よりも LREE に富み，その中でも比較的 Na に富む斜長石はその他斜長石の粒子と比較して LREE-MREE に富む．

### スピネルに富むウェブステライト

2つの試料中の単斜輝石と KR-026 に含まれる斜長石について分析を行った．

単斜輝石をコンドライトで規格化した時，LREE から MREE にかけて右上がり，MREE から HREE にかけてわずかに右下がりのパターンを示し，また Eu に正の異常を示す (Fig. 2.13c)．また，微量元素パターンでは，Sr に正の異常がみられ，Sr の含有量は 58–140 ppm と粒子によってばらつきがある．KR-026 でみられるぜん虫状のスピネルを伴う S-type 単斜輝石は，KR-026 のその他の単斜輝石とほぼ同じ REE パターンを示すが，MREE-HREE までやや低い値を示し，Sr 含有量が 160 ppm 程度と比較的高い．S'-type 単斜輝石はその他の単斜輝石と S-type 単斜輝石の間の組成を示す (Fig. 2.16)．

斜長石は右下がりの REE パターンを示し，Eu に強い正の異常を示す．HREE をほとんど含まず，Sr や Ba, Pb に富み (Fig. 2.14)，それぞれ含有量は 3800–5000，50–56，0.92–1.02 ppm である．

### スピネルに富むレールゾライト

3つの試料中の単斜輝石について分析を行った．

単斜輝石をコンドライトで規格化すると様々な REE パターンがみられた．KR-383 は MREE から LREE にかけて減少する左下がりのパターンで，KR-1401 は同様に左下がりだが，La と Ce にやや富む．KR-2 はほぼフラットなパターンを示し，いずれも Eu に正の異常を示す (Fig. 2.13d)．また，微量元素パターンでは，Sr と Pb に正の異常がみられ，Sr や Pb の含有量はそれぞれ 68–377，0.18–0.76 ppm である．

Abe et al. (1998) や Yoshikawa et al. (2010) で報告されているハルツバージャイトは右下がり，または U 字型の REE パターンを示し，Eu の異常は認められない．Sr 含有量も 0.5–52 ppm と低く，スピネルに富むレールゾライトとは異なっている．

### 3.4. 平衡温度

共存する斜方輝石と単斜輝石とのソルバスに基づいた Wells (1977)の方法を用い、平衡温度を求めた。スピネルを欠くグラニュライトからは 960–1010 °C、スピネルが乏しいグラニュライトからは 960–1000 °C、スピネルに富むグラニュライトからは 980–1000 °C が得られた。また、スピネルに富むウェブステライトからは 970–1000 °C、スピネルに富むレールズライトからは 960–1010 °C の平衡温度が得られ、グラニュライトと超マフィック岩類では平衡温度に違いがみられない。また、Arai et al. (2001) ではレールズライトから 1030–1060 °C と、今回求めた値と比較してわずかに高い平衡温度を報告している。

### 3.5. 議論

#### 3.5.1. スピネルに富む岩石の成因

Arai et al. (2001) では、輝石に富むレールズライト (本研究におけるスピネルに富むレールズライト) とスピネルウェブステライト (同、スピネルに富むウェブステライト) について、メルトによって斜長石に富むようになったかんらん岩やトロクトライト中のかんらん石と斜長石とのサブソリダス反応が起こり、斜長石がすべて反応し両輝石とスピネルが増えたことでできた変成超マフィック岩であるということを指摘しているが、詳しい検討はなされていない。

本研究でも、同様な特徴を示すレールズライトやウェブステライトが得られた。その中でも、スピネルに富むウェブステライトの KR-026 では、斜長石の周囲に分布する比較的細粒な S-type 単斜輝石とそれに伴うぜん虫状の S-type スピネルからなる鉱物集合体が観察された (Fig. 2.5c)。この組織は多角形状の斜方輝石こそ伴わないものの、一ノ目瀉ガブロで観察されたかんらん石と斜長石の反応生成物である輝石 - スピネルシンプレクタイトによく似ている。しかし、西南日本弧では、しばしばグラニュライト捕獲岩からザクロ石の報告がある (e.g. 小屋口・藤井 1981; Nozaka 1997) ことから、この鉱物集合体はザクロ石の分解物である可能性もある。しかし一ノ目瀉ガブロのシンプレクタイトを構成する単斜輝石と同様に、この S-type 単斜輝石にも Eu や Sr の正異常がみられる (Fig. 2.16) ことは、この鉱物集合体の成因に斜長石の関与を示し、S-type 単斜輝石とスピネルは一ノ目瀉ガブロと同様にかんらん石と斜長石の反応によって形成された

と考えられる。

またこの Eu の正異常は, KR-026 だけではなくその他のスピネルに富むウェブステライトに含まれる単斜輝石すべてでみられることから, ウェブステライト中の単斜輝石はすべてまたは一部がかんらん石 + 斜長石起源である可能性がある。しかし, KR-026 をもとに考えると, 単斜輝石はすべてがかんらん石と斜長石起源ではなさそうである。KR-026 の S'-type の単斜輝石の  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  含有量や REE パターンは S-type とその他の粒子の中間を示している (Figs. 2.11, 16)。また, こういった傾向はスピネルで特に顕著で, S-type のスピネルは  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  をほとんど含まない (0.06 wt%) が, その他の粗粒なスピネルは 3 wt%程度含み, また S'-type やその付近にある粗粒なスピネルは 0.34–0.85 wt%程度含み, 漸移的に変化している (Fig. 2.16)。Mg#についても, 同様な変化がみられる。KR-026 は粒径にばらつきがあり, グラニューラー組織が発達していないことから, 岩石全体が組織的にも組成的にも平衡になる途中の段階を見ている可能性がある。KR-026 から得られた結果から考えると, 単斜輝石の内, S-type や S'-type のような一部の粒子がサブソリダス反応起源であり, それらと反応前から存在していた単斜輝石とが平衡になることで単斜輝石全体が Eu の正異常を示すようになったのではないかと考えられる。

以上のことから, 同様に単斜輝石が Eu や Sr の正異常を示すスピネルに富むレールズライトやグラニューライトについても少なくとも一部の単斜輝石は斜長石 + かんらん石由来であると考えることができる。スピネルに富むレールズライトでは, マントルかんらん岩とみなされているハルツバージャイトやレールズライトと比較して単斜輝石が多く含まれる (Fig. 2.2b)。またかんらん石とスピネルまたは単斜輝石のモード比には負の相関がみられる (Fig. 2.4b,c) ことは, サブソリダス反応によってかんらん石を消費してスピネルや単斜輝石を含むシンプレクタイトが形成されたということと整合的である。同様に, スピネルに富むグラニューライトでもスピネルと斜長石のモード比の間に負の相関関係がみられる (Fig. 2.4a) ことも, 斜長石とかんらん石とのサブソリダス反応を支持する。ウェブステライトやレールズライトでは斜長石が, グラニューライトではかんらん石が含まれず, かんらん石と斜長石が共存しないのはこの反応が完全に進みきったことを示す。この反応は温度低下か, 圧力上昇か, または両方によって引き起こされた (e.g. Kushiro and Yoder 1966) と考えられ, グラニューライト変成作用と同時かもしれない。

### 3.5.2. 変成前の鉱物組み合わせの見積もり

3.5.1. から、一ノ目瀉と同様に、黒瀬でもかんらん石と斜長石のサブソリダス反応が起こっていることが明らかになったので、反応が起こる前の鉱物組み合わせを検討したい。2.5.3. と同じ手法を用い、 $Ol + Pl = Cpx + Spl + Opx$  という反応が成り立つとし、GENMIX プログラム (Le Maitre 1981; 亀谷ほか 2001, 2009) を使用した。かんらん石と斜長石が共存している試料は KR-22 のみであるが、本研究では、同一薄片上で両者が存在しているのを確認できていない。斜長石の組成は Arai et al. (2001) から、かんらん石の組成は本研究からの報告値を用いた。また、KR-22 では交代作用の形跡が認められないため、各鉱物の化学組成はすべての元素について平均値を用いて計算を行った。結果を Table 2.13 に示す。

求めた値についてモード組成と比較すると、スピネルの値は一致するものの、両輝石の割合は大きく異なり、この計算結果は信頼性があるとは言えない。この理由として、3.5.1. で議論したように KR-026 から指摘される、サブソリダス反応起源ではなく、それ以前から存在したおそらく火成的な単斜輝石やスピネルの存在が考えられる。実際、スピネルや単斜輝石がすべてかんらん石と斜長石起源であれば Cr を含まないと考えられるが、Cr を含んでおり、特にスピネルは  $Cr_2O_3$  含有量にばらつきがみられる。計算結果から、KR-22 の鉱物がすべて反応起源であるとする、単斜輝石より斜方輝石の方が多く含まれるはずだが、実際は単斜輝石の方が多く含まれ (Table 2.13)、その特徴はその他の大部分の試料でも同様である (Fig. 2.2) こととも整合的である。

以上より、スピネルに富む岩石について、反応前の鉱物量の具体的な見積もりはできなかった。反応前の鉱物組み合わせとして、レーブルライトは斜長石を含むかんらん岩またはかんらん石に富むトロクトライト (Ol, Pl, Cpx, Spl, Opx?), ウェブステライトはトロクトライト (Ol, Pl, Cpx, Spl, Opx?), グラニュライトはかんらん石ガブロまたは斜長石に富むトロクトライト (Pl, Ol, Cpx, Opx?, Spl?) で、全体的に斜方輝石に比較的乏しいと予想される。この結果は Arai et al. (2001) で指摘されているものと同様である。

### 3.5.3. まとめ

黒瀬直下の下部地殻には、スピネル含有量の異なるグラニュライトが存在していること

が明らかになった。その内スピネルに富むグラニュライトは、変成作用が起こる前はかんらん石ガブロまたは斜長石に富むトロクトライトであった。また現在は最上部マントルを構成していると考えられるスピネルに富むウェブステライトやレールズライトは、トロクトライトとして最下部地殻を構成していたと考えられる。このように黒瀬直下の下部地殻は、変成作用によって鉱物組み合わせが大きく変化し、その結果モホ面が上方に移動したと考えられる (Fig. 2.17)。

また、同じく西南日本弧の隠岐島後から得られる下部地殻捕獲岩はかんらん石ガブロや輝石ガブロ、ノーライトやグラニュライトであった。かんらん石と斜長石が共存している (Takahashi 1978) が、黒瀬の超マフィック - マフィック捕獲岩から推定されたようなトロクトライト的な岩石の記載はない。また、吉備高原や世羅台地から得られる捕獲岩からは輝石グラニュライトが報告されているが、黒瀬のような Al-スピネルに富まない (Nozaka 1997) ことから、黒瀬のスピネルに富むグラニュライトとは原岩が異なるものであろう。Nozaka (1997) ではほかに、Group II (Frey and Prinz 1978) に分類される比較的新しく定置したアルカリ玄武岩質マグマ由来のザクロ石ガブロや輝岩、マグマと変堆積岩とが反応して形成された Al に富むコランダムなどを含むアノーソサイトを報告している。また、荒戸山 (藤原・荒井 1982) や高島 (Arai and Kobayashi 1981) でも Group II (Frey and Prinz 1978) に分類される輝岩類がみられる。このように西南日本弧では、様々な種類の岩石が島弧深部を形成しており、Arai et al. (2001) でも指摘されるように、非常に不均質であると考えられる。

また、かんらん石と斜長石の鉱物化学組成を様々なセッティングで見られるものと比較した (Fig. 2.18)。かんらん石と斜長石両方を含むのは、スピネルに富むウェブステライト 1 試料のみであるが、その他のスピネルに富むグラニュライトやウェブステライト、レールズライトも変成作用を受ける前はかんらん石を含んでいたと考えられる。かんらん石と単斜輝石が共存しているウェブステライトでは、かんらん石と単斜輝石の Mg# がほぼ等しいことから、かんらん石を含まない岩石についてはかんらん石の Fo 値の代わりにそれと同様な値を示すと予想される単斜輝石の Mg# を用いた。スピネルに富むウェブステライトの組成は、Beard (1986) で指摘されたような島弧の性質を示さない (Fig. 2.18a)。また、海洋底で見つかるガブロ類とよく似た組成を示すが、陸上に定置した島弧であるコヒスタン弧 (Jagoutz et al. 2007) から得られるガブロ類ともよく似ている (Fig. 2.18)。これらのスピネルに富む岩石を構成する鉱物の化学組成はかんらん石と

斜長石のサブソリダス反応によって変化しており、特に単斜輝石の微量元素組成を見ると斜長石の影響を強く受けていることがわかる (Fig. 2.13). これから、平衡メルトの推定等は不可能であり、火成的な性質を推察することは難しい。しかし、トロクトライトやかんらん石ガブロは海洋底に特徴的な岩石であり、黒瀬の深部には MORB のようなメルトから形成された海洋底的なまたは海洋底起源の下部地殻が存在している可能性がある。

#### 4. 東北日本弧と西南日本弧との比較

斜長石の An 値は、一ノ目瀉の輝石 - ホルンブレンドガブロでは 90 以上と高いが、黒瀬のスピネルに富む岩石ではスピネルに富むウェブステライト 1 試料 (KR-026, An 値 91) を除くと、78-84 と比較的低い (Fig. 2.18). An90 以上の Ca に富む斜長石は含水の島弧マグマ、または CaO/Na<sub>2</sub>O 値が高い (> 8) マグマから晶出するということが実験から明らかになっている (Sisson and Grove 1993; Panjasawatwong et al. 1995). この An 値の違いは東北日本弧の下部地殻が角閃石を多く含み含水状態で、西南日本弧の下部地殻が角閃石をほとんど含まない無水状態であるという事実と整合的であり、一ノ目瀉の輝石 - ホルンブレンドガブロは含水の島弧マグマ起源である可能性が高い。一方で、一ノ目瀉の輝石 - ホルンブレンドガブロノーライトや三ノ目瀉から得られるガブロ類中の斜長石は比較的低い An 値 (65-85; Fig. 1.5) を、黒瀬のスピネルを欠くグラニュライトとスピネルに乏しいグラニュライト中の斜長石は高い An 値 (90-93; Fig. 2.6) を示し、上記の性質とは異なり、それぞれの地域で含水量の異なるマグマが存在していた可能性がある。しかし全岩主要組成や微量元素組成についての研究から、一ノ目瀉のマフィック捕獲岩は島弧カルク - アルカリマグマ (Fukuyama 1985) または島弧ソレイトマグマ (Aoki, 1971; Tanaka and Aoki 1981; 青木・吉田 1986) からの集積岩であるとされており、一連のマグマ活動の産物であるとされている。一ノ目瀉の異なる岩相のマフィック岩の全岩または単斜輝石の微量組成 (Tanaka and Aoki 1981; 青木・吉田 1986; 本研究) を比較しても、違いは認められず、またそれは黒瀬のグラニュライトでも同様であることから、今後さらなる検討が必要であると考えられる。

また、一ノ目瀉直下では、かんらん石と斜長石のサブソリダス反応と二次的な角閃石を形成したような交代作用によって上部マントルから下部地殻まで広く鉱物組み合わせ



せと鉍物化学組成が変化している。一方、黒瀬直下では、下部地殻でのかんらん石と斜長石のサブソリダス反応が認められた。また、黒瀬のマントルかんらん岩ではモード組成が変化しない交代作用を受けていることが指摘されている (Yoshikawa et al. 2010)。以上のことから、日本弧直下の上部マントルから下部地殻では、鉍物組み合わせや鉍物化学組成の変化が起こっており、その程度は地域によって差があり非常に不均質であると考えられる。

本研究で扱った一ノ目瀉と黒瀬の下部地殻捕獲岩とそれぞれの地域のマントル捕獲岩 (一ノ目瀉, Takahashi 1986; 黒瀬, Arai et al. 2001) の研究結果から、東北日本弧と西南日本弧の地下構造について検討を行った (Fig. 2.19)。一ノ目瀉のガブロ類や斜長石レーズライト中では斜長石とかんらん石が残存していること、またそれらの反応物である輝石 - スピネルシンプレクタイトも含まれることから、斜長石安定領域とスピネル安定領域の境界付近で形成されたと考えられる。一方、黒瀬ではグラニュライトやウェブステライト、かんらん岩中にはかんらん石と斜長石がほとんど共存せず、スピネル安定領域で形成されたと推測される。特に本研究で扱ったスピネルに富む岩石は、火成的な状態では斜長石安定領域に存在していたが、変成作用によってスピネル安定領域へと温度圧力条件が変化したということを示す。輝石温度計 (Wells 1977) から求めた平衡温度と組み合わせた結果 (Fig. 2.19) は、東北日本弧、一ノ目瀉よりも西南日本弧、黒瀬の方が地温勾配は高いことが推定され、Takahashi (1978) の隠岐島後と一ノ目瀉の捕獲岩とを比較した結果と等しい。ここから推定した圧力を用いて、それぞれの地域の酸化還元状態をかんらん石 - 斜方輝石 - スピネル酸素圧力計 (Bullhaus et al. 1991) に基づいて求めた。一ノ目瀉については、輝石 - スピネルホルンブレンドの 4 試料、黒瀬についてはスピネルに富むウェブステライト 1 試料とスピネルに富むレーズライトの 4 試料について検討を行った。推定した圧力は一ノ目瀉で 0.7 GPa、黒瀬で 0.8 GPa である。一ノ目瀉のガブロについては、粒子がスピネル部分と磁鉄鉍部分に分かれているので、粒子中のスピネル部分と磁鉄鉍部分の割合とそれぞれの組成から推定した化学組成を利用した。その他の化学組成はそれぞれの平均値である。それぞれの地域のマントルかんらん岩の酸素フガシティーデータは、Arai and Ishimaru (2008) で計算されたものである。これらについて比較すると、一ノ目瀉のマントル・下部地殻捕獲岩から得られた値は黒瀬と比較して高い (Fig. 2.20)。このことは、本研究で報告した一ノ目瀉ガブロ類に含まれるスピネル部分と磁鉄鉍部分からなる不均質な D-type スピネル粒子の存在や、一ノ

目瀉かんらん岩中の角閃石の増加に伴うクロムスピネルの  $\text{Fe}^{3+}$  の増加 (阿部ほか 1992) などの交代作用による酸化条件への変化を示す事実と一致する。交代作用によって、一ノ目瀉直下の上部マントルから下部地殻までより酸化状態になったと推測される。

## 5. 結論

- (1) 東北日本弧，一ノ目瀉から得られるガブロ類にはしばしば輝石 - スピネルシンプレクタイトがみられる。このシンプレクタイトは，単斜輝石や角閃石の化学組成や Eu に正異常を示すなどの特徴から，かんらん石と斜長石とのサブソリダス反応によって形成されたものである。

二次的に形成された角閃石が存在している。二次的な角閃石を形成した交代作用には，酸化条件の流体が関与しており，斑れい岩に  $\text{H}_2\text{O}$  と共に Ti や Fe, LIL 元素 (K, Rb) などを付加した。これらの加水作用に関与した流体は島弧マグマに関与したものであると考えられる。

温度低下と交代作用による鉱物組み合わせと化学組成の変化が起こったことから，火成的なガブロの鉱物組み合わせを推定した。その結果，角閃石を含まないかんらん石ガブロや最大 22 vol% までかんらん石を含む輝石 - ホルンブレンドガブロ，トロクトライトが一ノ目瀉直下に分布していた可能性があり，東北日本弧直下にも無水の下部地殻が少なくとも一部には分布している。

一ノ目瀉の上部マントル捕獲岩からも同様な温度変化や交代作用が報告されている。また，三ノ目瀉から得られる捕獲岩との比較によって，東北日本弧直下では，上部マントルから下部地殻にかけて垂直方向に広く，しかし水平方向には不均質に鉱物化学組成や鉱物組み合わせの変化が起こったと考えられる。

- (2) 西南日本弧，黒瀬から得られるグラニュライトやウェブステライト，レールズライトにはしばしば Al に富むスピネルが含まれており，最大で 15 vol% 程度含まれる。

スピネルに富むグラニュライトやウェブステライト，レールズライト中のすべての単斜輝石には Eu や Sr の正異常が認められ，また一部の試料ではシンプレクタイト的な組織がみられること，スピネルと斜長石やかんらん石とスピネルのモ

ード比の関係から、かんらん石と斜長石のサブソリダス反応が起こったと考えられる。スピネルに富む岩石に含まれる輝石類やスピネルのうち少なくとも一部はかんらん石と斜長石由来である。

温度圧力条件の変化が起こったとして、火成的なガブロの鉱物組み合わせを推定した。反応組織が保存されておらず、一ノ目瀉のように詳細な鉱物量比を求めることはできなかったが、スピネルに富むグラニュライトはかんらん石ガブロまたは斜長石に富むトロクトライト、スピネルに富むウェブステライトはトロクトライト、スピネルに富むレールゾライトは斜長石を含むかんらん岩またはかんらん石に富むトロクトライトであると推定される。また、この変化によって、モホ面が上方に移動したと考えられる。

西南日本弧のその他の地域からはグラニュライトやガブロ、変堆積岩など様々な種類の下部地殻捕獲岩が報告されており、西南日本弧直下の下部地殻は非常に不均質であると考えられる。

- (3) 東北日本弧と西南日本弧では、下部地殻から上部マントルを構成する岩石中の含水鉱物の量が異なり、東北日本弧では含水、西南日本弧ではほぼ無水状態である。また、上部マントルから下部地殻にかけて一ノ目瀉直下の方が、黒瀬直下より酸化しており、地温勾配は、一ノ目瀉よりも黒瀬の方が高い。共に、温度圧力条件の変化による鉱物組み合わせの変化や交代作用を受けていることから、日本列島直下の地下深部は非常に不均質である。

一ノ目瀉のガブロ捕獲岩は島弧マグマ起源である可能性がある。一方、黒瀬のスピネルに富むマフィック捕獲岩は、変成作用によって単斜輝石を中心に化学組成が変化しており、火成的な性質の詳細は推定できない。しかし、トロクトライトやかんらん石ガブロ起源と考えられる岩石があることから、海洋底的な地殻が分布していた可能性がある。

## 6. 謝辞

本研究を進めるにあたって、金沢大学大学院自然自然システム学系、荒井章司特任教授には1年次2年次は指導教員として、また3年次は指導役として大変お世話になった。一ノ目潟や黒瀬・高島など野外での調査、分析などの研究の進め方、結果からの議論の展開について、そのつど有益な助言や適切な指導をしていただいた。また、論文などの研究のまとめに際しては、そのつど稚拙な文章や図表について添削していただき、心から感謝する。また、オマーンやフィリピン、バタン諸島での野外調査や国内外の学会に参加する機会を与えていただいたことにも感謝する。

また、金沢大学自然科学研究科の海野進教授、森下知晃教授、水上知行博士や元同研究科 石渡明教授 (現原子力規制委員会) にも多くの議論、提言をしていただいた。特に、海野進教授には3年次から指導教員として様々な手続きに関わっていただき、非常に感謝する。

目潟調査では、当研究室の石丸聡子博士 (現熊本大学)、岩田勇也氏に同行していただき、多くの捕獲岩を採取できた。黒瀬における調査では、芳川雅子博士 (京都大学地球熱学研究施設)、石丸聡子博士 (熊本大学)、犀川雄二氏 (熊本大学)、当研究室の三浦真氏に同行していただき、様々な種類の捕獲岩を採取できた。目潟火山の現状を考えると、また本研究では、荒井教授がさまざまな機会に多くの元悪政と共に採取した試料も使用した。

また、LA-ICP-MS の使用の際は田村明弘博士にはオペレーターとして付き添っていただき、データ解析の方法まで指導していただいた。

金沢大学理工学域地球学コース岩石学・火山学グループの皆様からは研究を行なうにあたり、日頃から様々なご援助をうけた。特に三浦真氏には日頃から議論に付き合っていていただくなどして、支えていただいた。

以上の多くの方々に記して、厚く御礼申し上げます。

## 7. 引用文献

- 阿部なつ江, 荒井章司, 佐伯泰広 (1992) 目潟かんらん岩捕獲岩に見られる島弧マンツルの加水作用. 岩鉱 87, 305-317.
- Abe N, Arai S, Yurimoto H (1998) Geochemical characteristics of the uppermost mantle beneath the Japan island arcs: implications for upper mantle evolution. *Phys. Earth Planet. Inter.* 107, 233-248.
- 阿部志保, 山元正継 (1999) 一ノ目潟と黒瀬のマンツルかんらん岩捕獲岩の Rb-Sr 鉱物アイソクロン年代. 岩鉱 94, 295-310.
- Aoki K (1968) Petrogenesis of ultrabasic and basic inclusions in alkali basalts, Iki island, Japan. *Am. Mineral.* 58, 241-256.
- Aoki K (1971) Petrology of mafic inclusions from Ichinome-gata, Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.* 30, 314-331.
- Aoki K, Shiba I. (1974) Petrology of websterite inclusions of Itinome-gata, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III* 12, 395-417.
- 青木謙一郎, 吉田武義 (1986) 秋田県一の目潟の火山岩と地殻下部由来捕獲岩の微量成分. 核理研研究報告 19, 279-287.
- Arai S, Saeki Y (1980) Ultramafic-mafic inclusions from Sannomegata crater, Oga peninsula, Japan, with special reference to the petrographical difference from the Ichinomegata inclusion. *J. Geol. Soc. Japan* 86, 705-708.
- Arai S, Kobayashi Y (1981) Frequency of ultramafic rocks as inclusions in some alkali basalts from southwestern Japan and its bearing on the constitution of the upper mantle. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba.* 7, 66-69.
- Arai S, Hirai H (1983) petrographical notes on deep-seated and related rocks (1) Mantle peridotites from Kurose and Noyamadake alkali basalts, southwestern Japan. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba.* 9, 65-67
- Arai S (1986) K/Na variation in phlogopite and amphibole of upper mantle peridotites due to fractionation of the metasomatizing fluids. *J. Geol.*, 94, 436-444.
- Arai S (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chem. Geol.* 113, 191-204.

- Arai S, Kida M (2000) Origin of fine-grained peridotite xenoliths from Iraya volcano of Batan Island, Philippines: deserpentinization or metasomatism at the wedge mantle beneath an incipient arc? *Island Arc*, 9, 458–471.
- Arai S, Hirai H, Uto K (2000) Mantle peridotite xenoliths from the Southwest Japan arc: a model for the sub-arc upper mantle structure and composition of the Western Pacific rim. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 95, 9-23.
- Arai S, Abe N, Hirai H, Shimizu Y (2001) Geological, petrographical and petrological characteristics of ultramafic-mafic xenoliths in Kurose and Takashima, northern Kyushu, southwestern Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.* 46, 9-38.
- 荒井章司, 平井寿敏, 阿部なつ江 (2005) かんらん岩捕獲岩の地質学的側面: 日本列島の例. *岩石鉱物科学* 34, 133-142.
- Arai S, Ishimaru S (2008) Insights into petrological characteristics of the Lithosphere of mantle wedge beneath arcs through peridotite xenoliths: a review. *J. Petrol.*, 49, 665–695.
- Beard JS (1986) Characteristic mineralogy of arc-related cumulate gabbros: implication for the tectonic setting of gabbroic plutons and for andesite genesis. *Geology* 14, 848-851.
- Bullhaus C, Berry RF, Green DH (1991) High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contrib. Mineral. Petrol* 107, 27-40.
- Cruciani G, Franceschelli M, Groppo C, Brogioni N, Vaselli O (2008) Formation of clinopyroxene + spinel and amphibole + spinel symplectites in coronitic gabbros from the Sierra de San Luis (Argentina): A key to post-magmatic evolution. *J. Metamorph. Geol.* 26, 759-774.
- Dick HJB, Ozawa K, Meyer PS, Niu Y, Robinson PT, Constantin M, Hebert R, Maeda J, Natland JH, Hirth G, Mackie S (2002) Primary silicate mineral chemistry of a 1.5-km section of very slow spreading lower ocean crust: ODP Hole 735B, Southwest Indian Ridge. In: Natland, J. H., Dick, H. J. B., Miller, D. J. & Von Herzen, R. (eds) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 176*. College Station, TX: Ocean Drilling Program, pp. 1-60.
- Downes H, Beard A, Hinton R (2004) Natural experimental charges: an ion-microprobe study of trace element distribution coefficients in glass-rich hornblendite and clinopyroxenite

- xenoliths. *Lithos* 75, 1-17.
- Frey FA, Prinz M (1978) Ultramafic inclusions from San Carlos, Arizona: petrologic and geochemical data bearing on their Petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 38, 129-176.
- 藤原正人・荒井章司 (1982) 岡山県, 荒戸山のアルカリ玄武岩中の超マフィック捕獲岩 島弧の上部マントル物質. *岩鉱特別号* 3, 219-227.
- Fukuyama H (1985) Gabbroic inclusion of Ichinomegata tuff cone: bulk chemical composition. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Ser II*, 21, 67-80.
- Gasparik T (1987) Orthopyroxene thermobarometry in spinel and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.* 96, 357-370.
- Green AR, De Bari SM, Kelemen PB, Blusztajn J, Clift PD (2006) A detailed geochemical study of island arc crust: the Talkeetna arc section, South-Central Alaska. *J. Petrol.* 47, 1051-1093.
- 林宏 (1955) 秋田県男鹿半島一の目瀉周辺の火山抛出物について. *地質学雑誌* 61, 240-248.
- Helgeson HC, Delaney JM, Nesbitt HW, Bird DK (1978) Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals. *Am. J. Sci.* 278A, pp. 229
- 平井寿敏・荒井章司 (1982) 壱岐島の厚仮玄武岩中の捕獲岩. *火山* 27, 217-228.
- 堀江正治 (1964) 湖沼発達史研究上の年代資料. *科学* 34, 98.
- Ionov DA, Ashchepkov IV, Stosch H-G, Witt-Eickschen G, Seck HA (1993) Garnet peridotite xenoliths from the Vitim volcanic field, Baikal region: the nature of the garnet-spinel peridotite transition zone in the continental mantle. *J. Petrol.* 34, 1141-1175.
- Ishida Y, Morisita T, Arai S, Shirasaka M (2004) Simultaneous in-situ multi-element analysis of minerals on thin section using LA-ICP-MS. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.* 48, 31-42.
- Ishimaru S, Arai S, Ishida Y, Shirasaka S, Okrugin VM (2007) Melting and multi-stage metasomatism in the mantle wedge beneath a frontal arc inferred from highly depleted peridotite xenoliths from the Avacha volcano, southern Kamchatka. *J. Petrol.*, 48, 395-433.
- Iwasaki T, Kato W, Moriya T, Hasemi A, Umino N, Okada T, Miyashita K, Mizogami T, Takeda T, Sekine S, Matushima T, Tashiro K, Miyauchi H (2001) Extensional structure in northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling.

- Geophys. Res. Lett. 28, 2329-2332.
- Jagoutz O, Müntener O, Ulmer P, Pettko T, Burg J-P, Dawood H, Hussain S (2007) Petrology and mineral chemistry of lower crustal intrusions: the Chilas complex, Kohistan (NW Pakistan). *J. Petrol.* 48, 1895-1953.
- Katsui Y, Yamamoto M, Nemoto S, Niida K (1979) Genesis of calc-alkaline andesites from Oshima-Ōshima and Ichinomegata volcanoes, North Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.* 19, 157-168.
- 亀谷敦, 早坂康隆, 今岡照喜 (2001) GENMIX プログラム (岩石モデル解析) の再開発. *山口博物館研究報告* 27, 21-34.
- 亀谷敦, 今岡照喜, 西川祐輔 (2009) Windows 版の GENMIX プログラム (岩石モデル解析). *山口博物館研究報告* 35, 17-24.
- Kawamoto T, Yoshikawa M, Kumagai Y, Mirabueno MHT, Okuno M, Kobayashi T (2013) Mantle wedge infiltrated with saline fluids from dehydration and decarbonation of subducting slab. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 110, 9663-9668.
- 北村繁 (1990) 男鹿半島目潟の形成年代. *東北地理* 42, 161-167.
- 小屋口剛博, 藤井敏嗣 (1981) 山口県豊浦郡鳩島アルカリ玄武岩中のザクロ石捕獲岩の岩石学的記載. *地質学雑誌* 87, 489-492.
- Kuno H (1967) Mafic and ultramafic nodules from Ichinome-gata, Japan. In: Wyllie PJ (ed) *Ultramafic and Related Rocks*. Wiley, New York, pp 337-346.
- Kushiro I, Yoder HS Jr. (1966) Anorthite-forsterite and Anorthite-enstatite reactions and their bearing on the basalt-eclogite transformation. *J. Petrol.* 7, 337-362.
- Kushiro I (1987) A petrological model of the mantle wedge and lower crust in the Japanese island arcs. In: Mysen BO (ed) *Magmatic Processes: Physicochemical Principles*. Geochem. Soc. Spec. Publ. 1. Geochemical Society, University Park, pp 165-181.
- Lang HM, Wachter AJ, Peterson VL, Ryan JG (2004) Coexisting clinopyroxene/spinel and amphibole/spinel symplectite in metatroctolites from the Buck Creek ultramafic body, North Carolina Blue Ridge. *Am. Mineral.* 89, 20-30.
- Le Maitre (1981) GENMIX-a generalized petrological mixing model program. *Comput. Geosci.* 7, 229-247.
- Loferski PJ, Lipin BR (1983) Exsolution in metamorphosed chromite from the Red Lodge

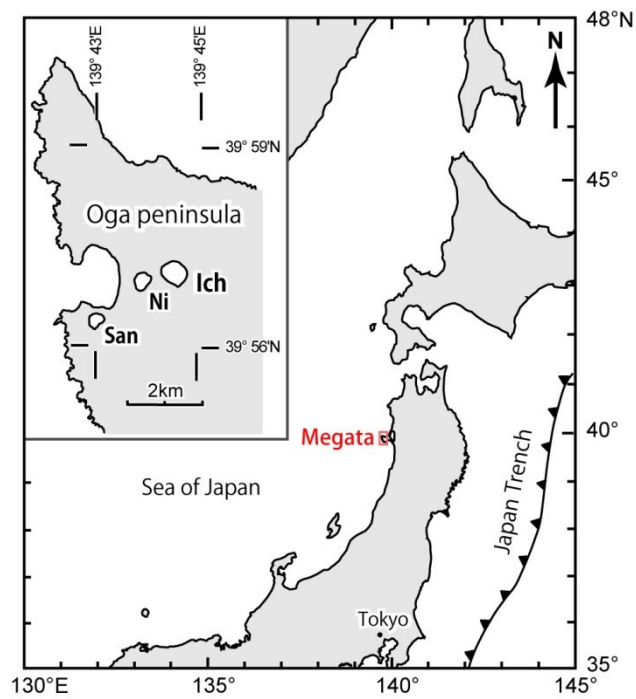


- district, Montana, *Am. Mineral.* 68, 777-789.
- Morishita T, Ishida Y, Arai S, Shirasaka M (2005) Determination of multiple trace element compositions in thin (< 30  $\mu\text{m}$ ) layers of NIST SRM 614 and 616 using laser ablation-ICP-MS. *Geostand. Geoanal. Res.* 29, 107-122.
- 二ノ宮淳, 荒井章司 (1992) 渡島大島火山の安山岩中に見いだされた複合捕獲岩中のハルツバークライト岩片. *火山* 37, 269-273.
- 西本昌司 (1996) 画像処理ソフト “Adobe photoshop<sup>TM</sup>” を用いた花崗岩質岩石のモード測定. *岩鉱* 91, 235-241.
- Nishimoto S, Ishikawa M, Arima M, Yoshida T (2005) Laboratory measurement of P-wave velocity in crustal and upper mantle xenoliths from Ichinomegata, NE Japan: ultrabasic hydrous lower crust beneath the NE Honshu arc. *Tectonophysics* 396, 245-259.
- Nixon PH, Boyd FR (1973) Petrogenesis of the granular and sheared ultrabasic nodule suite in kimberlite. In: Nixon PH (ed) *Lesotho Kimberlites*. Lesotho Nat. Dev. Corp., Lesotho, pp 48-57.
- Nozaka T (1997) Structure and development of the lower crust and upper mantle of Southwestern Japan: Evidence from petrology of deep-seated xenoliths. *Island arc* 6, 404-420.
- Ohara Y, Fujioka K, Ishii T, Yurimoto H (2003) Peridotites and gabbros from the Parece Vela backarc basin: Unique tectonic window in an extinct backarc spreading ridge. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4. doi: 10.1029/2002GC000429
- Pearce NJG, Perkins WT, Westgate JA, Gorton MP, Jackson SE, Neal CR, Chenery SP (1997) A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials. *Geostand. Newsl.* 21, 114-144.
- Panjasawatwong Y, Danyushevsky LV, Crawford AJ, Harris KL (1995) An experimental study of the effects of melt composition on plagioclase-melt equilibria at 5 and 10 kbar: implications for the origin of magmatic high-An plagioclase. *Contrib. Mineral. Petrol.* 118, 420-432.
- Sack RO, Ghiorso MS (1991) Chromian spinels as petrogenetic indicators: Thermodynamics and Petrological applications. *Am. Mineral.* 76, 827-247.
- Sun SS, McDonough WF (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts:

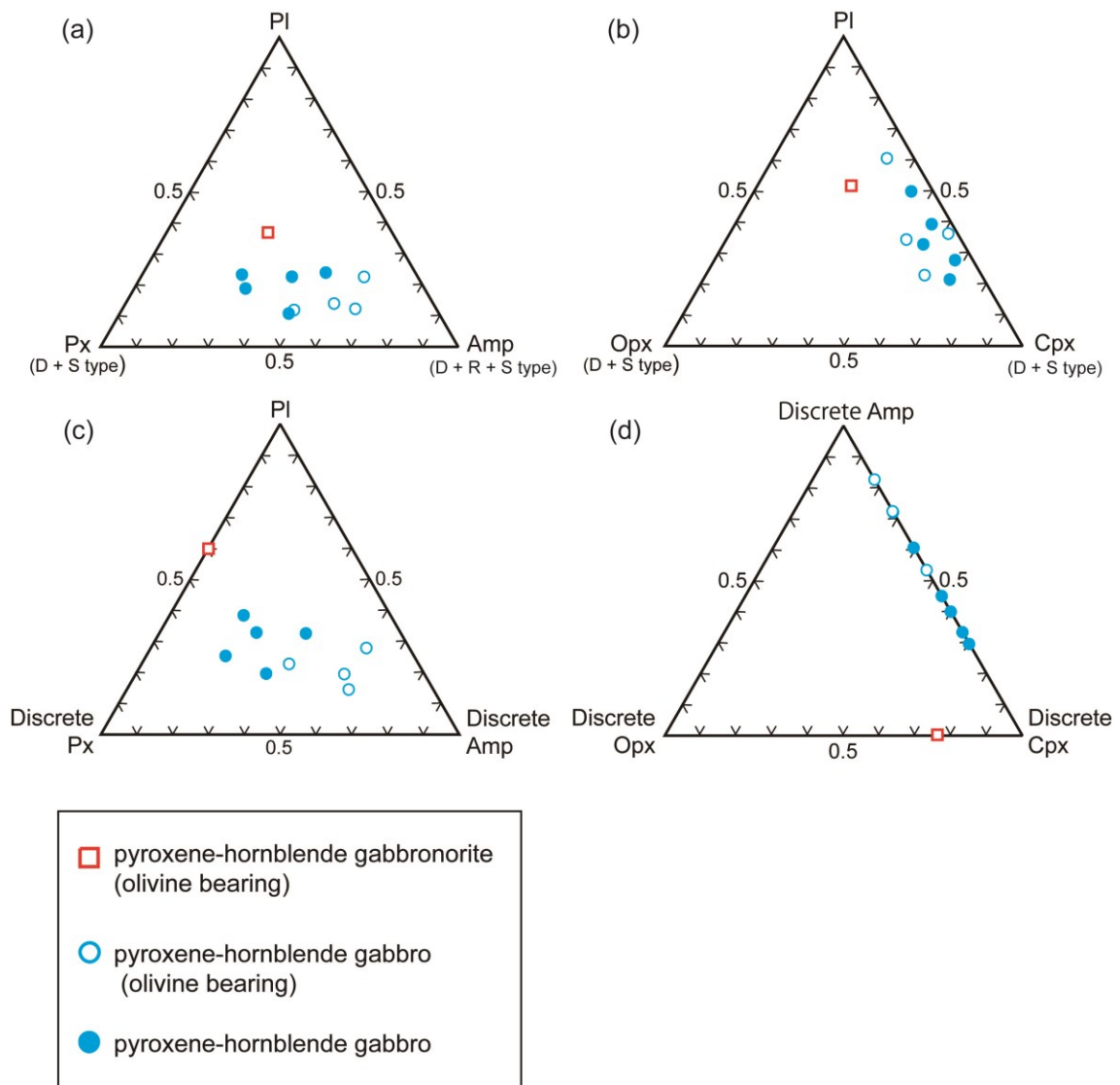
- implications for mantle composition and processes. In *Magmatism in the Ocean Basins* (Saunders, A.D. and Norry, M.J. Eds.). pp. 398, Geological Society Special Publication 42, Geological Society, London, 313–345.
- Sanfilippo A, Dick HJB, Ohara Y (2013) Melt-Rock Reaction in the Mantle: Mantle Troctolites from the PareceVela Ancient Back-Arc Spreading Center. *J. Petrol.* 54, 861-885.
- Sisson TW, Grove TL (1993) Experimental investigations of the role of H<sub>2</sub>O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism. *Contrib. Mineral. Petrol.* 113, 143-166.
- 佐伯泰広 (1986) 秋田県一の目瀉及び三の目瀉より得られた捕獲岩の研究. 静岡大学理学部卒業論文.
- Senda R, Tanaka T, Suzuki K (2007) Os, Nd, and Sr isotopic and chemical compositions of ultramafic xenoliths from Kurose, SW Japan: Implications for contribution of slab-derived material to wedge mantle. *Lithos* 95, 229-242.
- Takahashi E (1978) Petrologic model of the crust and upper mantle of the Japanese Island arcs. *Bull. Volcanol.* 41, 529-546.
- Takahashi E (1986) Genesis of calc-alkali andesite magma in a hydrous mantle-crust boundary: petrology of lherzolite xenoliths from the Ichinomegata crater, Oga Peninsula, northeast Japan, part II. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 29, 355-395.
- Tamura A, Arai S (2005) Unmixed spinel in chromitite from the Iwanai-dake peridotite complex, Hokkaido, Japan: a reaction between peridotite and highly oxidized magma in the mantle wedge. *Am. Mineral.* 90, 473-480.
- Tanaka T, Aoki K (1981) Petrogenic implications of REE and Ba data on mafic and ultramafic inclusions from Itinome-gata, Japan. *J. Geol.* 89, 369-390.
- 宇都浩三, 平井寿敏, 荒井章司 (1993) 福岡県玄界灘黒瀬及び山口県下関貴船の第4紀アルカリ玄武岩の K-Ar 年代. *地調月報* 44, 693-698.
- 宇都浩三 (1995) 火山と年代測定: K-Ar, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年代測定の現状と将来. *火山* 40, S27-S46.
- Wells PRA (1977) Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.* 62, 129-139.
- Yamaguchi M (1964) Petrogenic Significance of ultrabasic inclusions in basaltic rocks from southwest Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geology* 1, 163-219.

- Yamamoto M, Kagami H, Narita A, Maruyama T, Kondo A, Abe S, Takeda R (2013) Sr and Nd isotopic compositions of mafic xenoliths and volcanic rocks from the Oga Peninsula, North Japan Arc: Genetic relationship between Lower crust and arc magmas. *Lithos*, 162, 88–106.
- Yoshikawa M, Arai S, Ishida Y, Tamura A, Shimizu Y (2010) Trace element and Sr-Nd isotopic features of ultramafic xenoliths from Kurose, Southwest Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 105, 346-351.

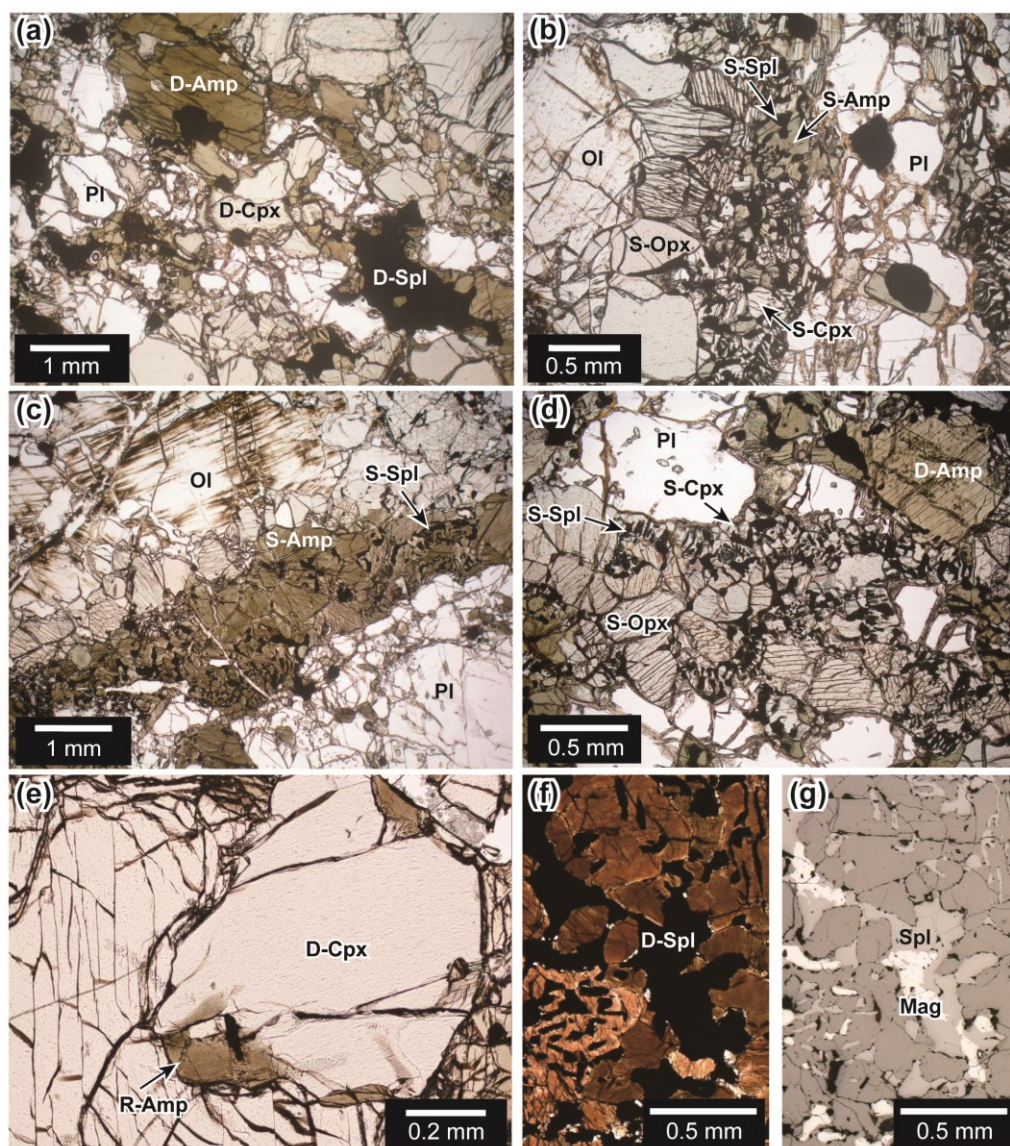
## 8. 図版



**Figure 1.1.** Location of Ichinomegata (Ich) of Megata volcano, Northeast Japan arc. Ni, Ninomegata; San, Sannomegata.



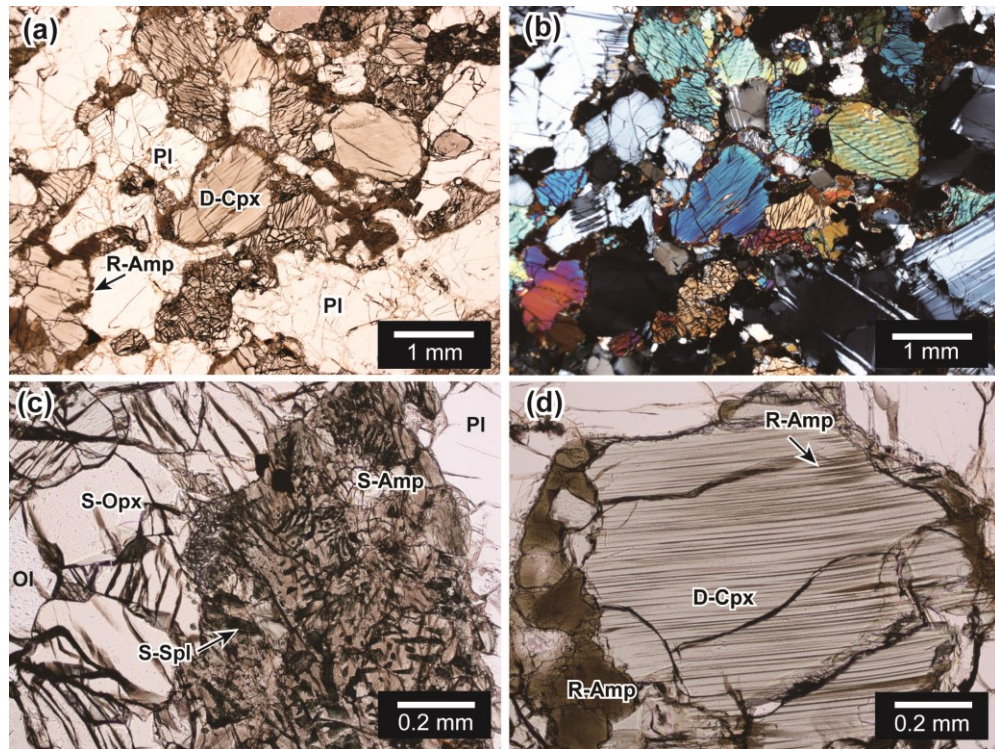
**Figure 1.2.** Modal amounts of plagioclase, amphibole and pyroxenes in gabbroic xenoliths from Ichinomegata. D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type. (a) Modal amounts of plagioclase, all types of amphibole and all types of pyroxenes. (b) Modal amounts of plagioclase, all types of orthopyroxene and all types of clinopyroxene. (c) Modal amounts of plagioclase, D-type amphibole and D-type pyroxene. (d) Modal amounts of D-type amphibole, D-type orthopyroxene and D-type clinopyroxene.



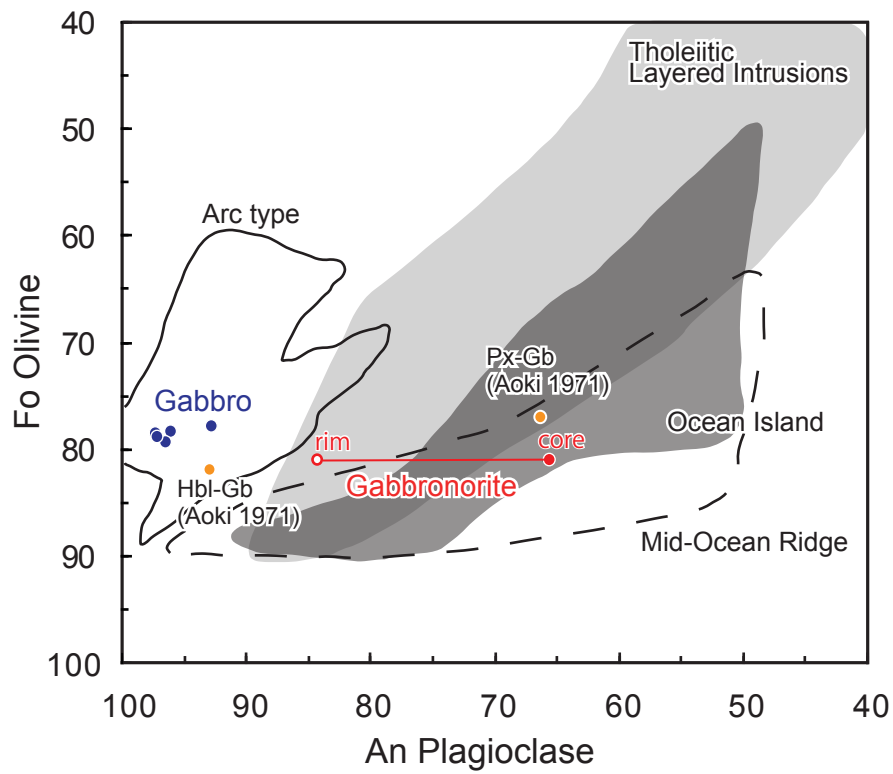
**Figure 1.3.** Photomicrographs of pyroxene-hornblende gabbros from Ichinomegata. Ol, olivine; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Pl, plagioclase; Amp, amphibole; Spl, spinel; Mag, magnetite; D-, D-type; R-, R-type; S-, S-type. (a) Granular texture (plane-polarized light; Ich-2001). D-type spinel is black (dark-green) in color. (b) Pyroxene-spinel symplectite composed of S-type orthopyroxene, clinopyroxene, spinel and amphibole (plane-polarized light; Ich-M031). It is characteristically observed between plagioclase and olivine. Note the difference in size between S-type minerals and D-type minerals (a). S-type orthopyroxene (polygonal) exists solely along coarse-grained olivine. (c) Symplectite composed of S-type orthopyroxene, spinel and amphibole without clinopyroxene (plane-polarized light; Ich-M038). (d) Olivine-free symplectite (plane-polarized light; Ich-M2001), which otherwise shows the

same mineral assemblage as in (b). (e) R-type amphibole formed along the grain boundaries of D-type clinopyroxene (plane-polarized light; Ich-M031). (f), (g) D-type spinel grain with inhomogeneous texture (plane-polarized light and reflected light, respectively; Ich-M006). The spinel grain has two phases, light-colored magnetite and dark-colored spinel (g).

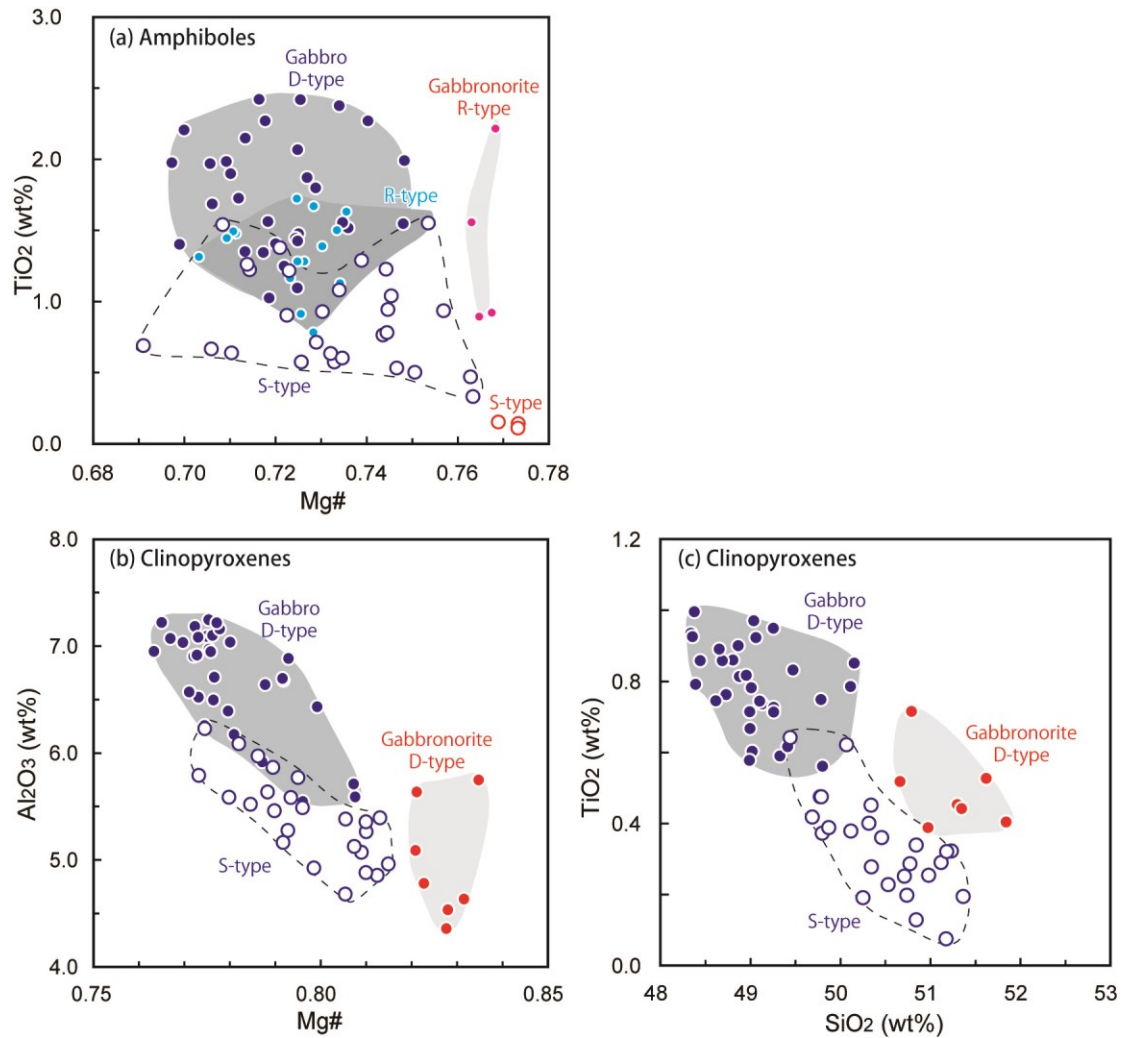




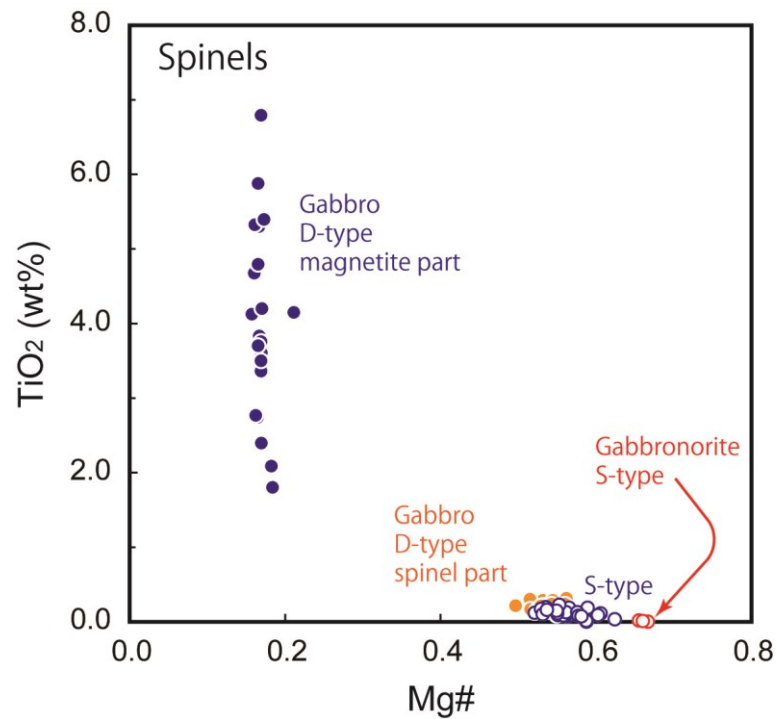
**Figure 1.4.** Photomicrographs of pyroxene-hornblende gabbronorite (Ich-M046) from Ichinomegata. Ol, olivine; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Pl, plagioclase; Amp, amphibole; Spl, spinel; D-, D-type; R-, R-type; S-, S-type. (a), (b) Granular texture (plane-polarized and crossed-polarized light, respectively) of the hornblende-pyroxene gabbronorite. Plagioclase shows albite twin and zonal structure. (c) Pyroxene-spinel symplectite composed of S-type orthopyroxene, spinel and amphibole (plane-polarized light). It is characteristically observed between plagioclase and olivine in the same manner as in pyroxene-hornblende gabbros. Note the difference in size of S-type spinel between gabbro (Fig. 3b-d) and gabbronorite. (d) R-type amphibole formed along the grain boundaries of clinopyroxene (plane-polarized light). Exsolution lamellae in clinopyroxene were also replaced by amphibole.



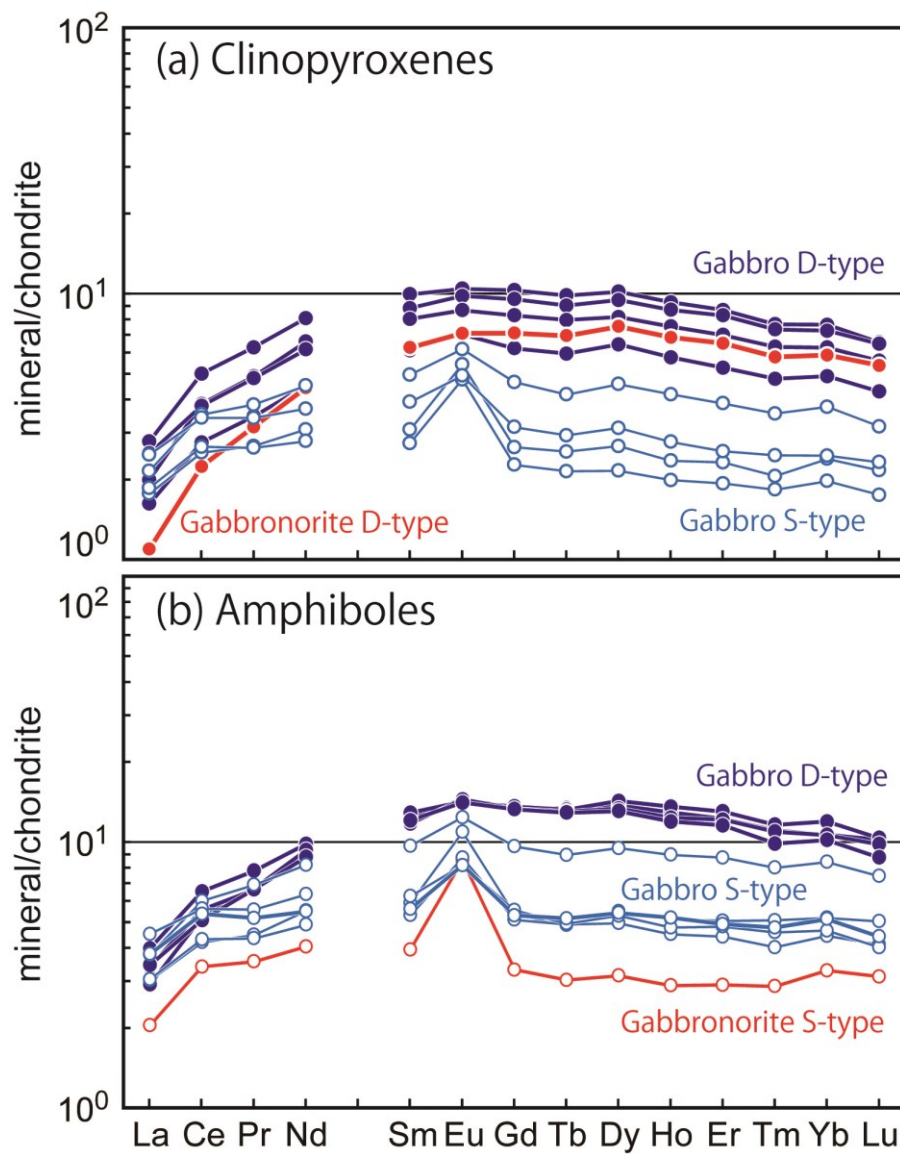
**Figure 1.5.** Relationships between Fo content of olivine and An content of plagioclase. Ranges for gabbros from various settings (Beard, 1986) are shown for comparison. Hornblende gabbro (Hbl-Gb) and Pyroxene gabbro (Px-Gb) are from Ichinomegata (Aoki 1971).



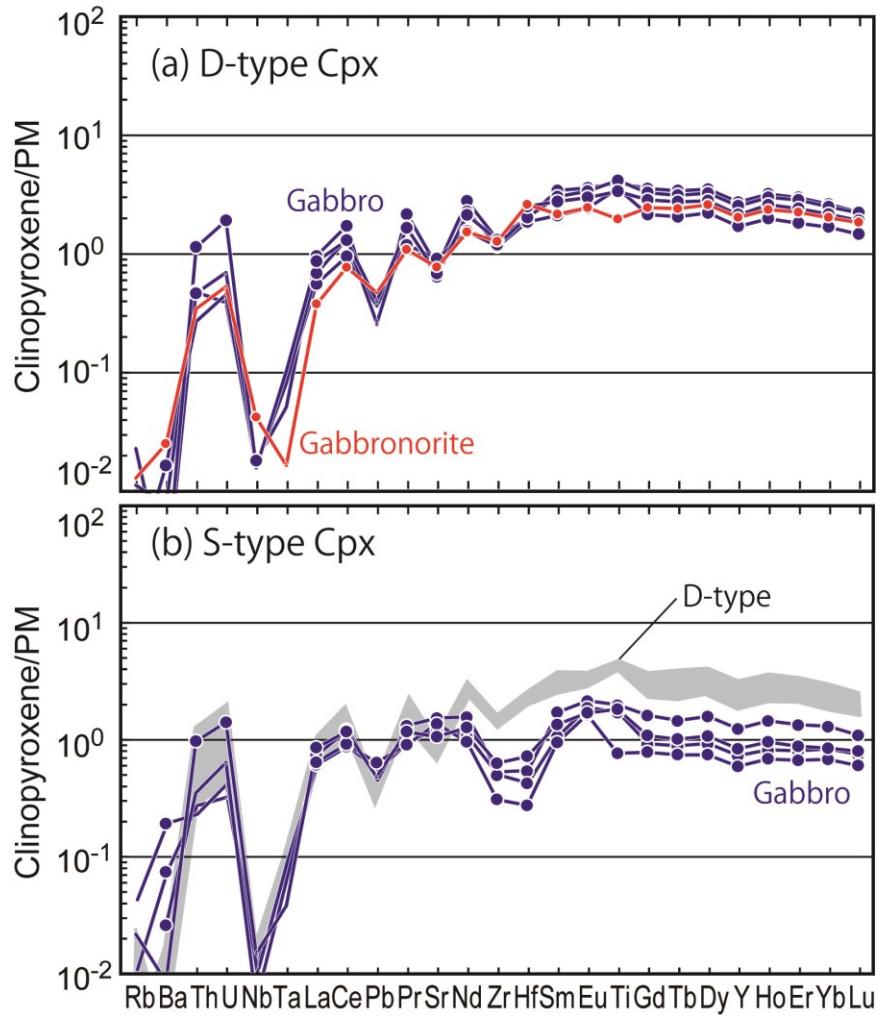
**Figure 1.6.** Chemical characteristics of amphiboles and clinopyroxenes. D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type. (a) TiO<sub>2</sub>-Mg# relationship between D-type Amp, R-type Amp and S-type Amp. Note the difference in TiO<sub>2</sub> content. (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Mg# relationship between D-type Cpx and S-type Cpx. S-type Cpx shows lower Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents than D-type one. (c) TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> relationship between D-type Cpx and S-type Cpx. The TiO<sub>2</sub> content increases with a decrease of the SiO<sub>2</sub> content.



**Figure 1.7.** Relationships between the Mg# and the TiO<sub>2</sub> content in spinels in gabbroic rocks from Ichinomegata. D-type spinel is composed of two phases, Ti, Fe-rich magnetite part and Mg-rich spinel part. S-type spinels show higher Mg#s and lower TiO<sub>2</sub> contents than D-type.

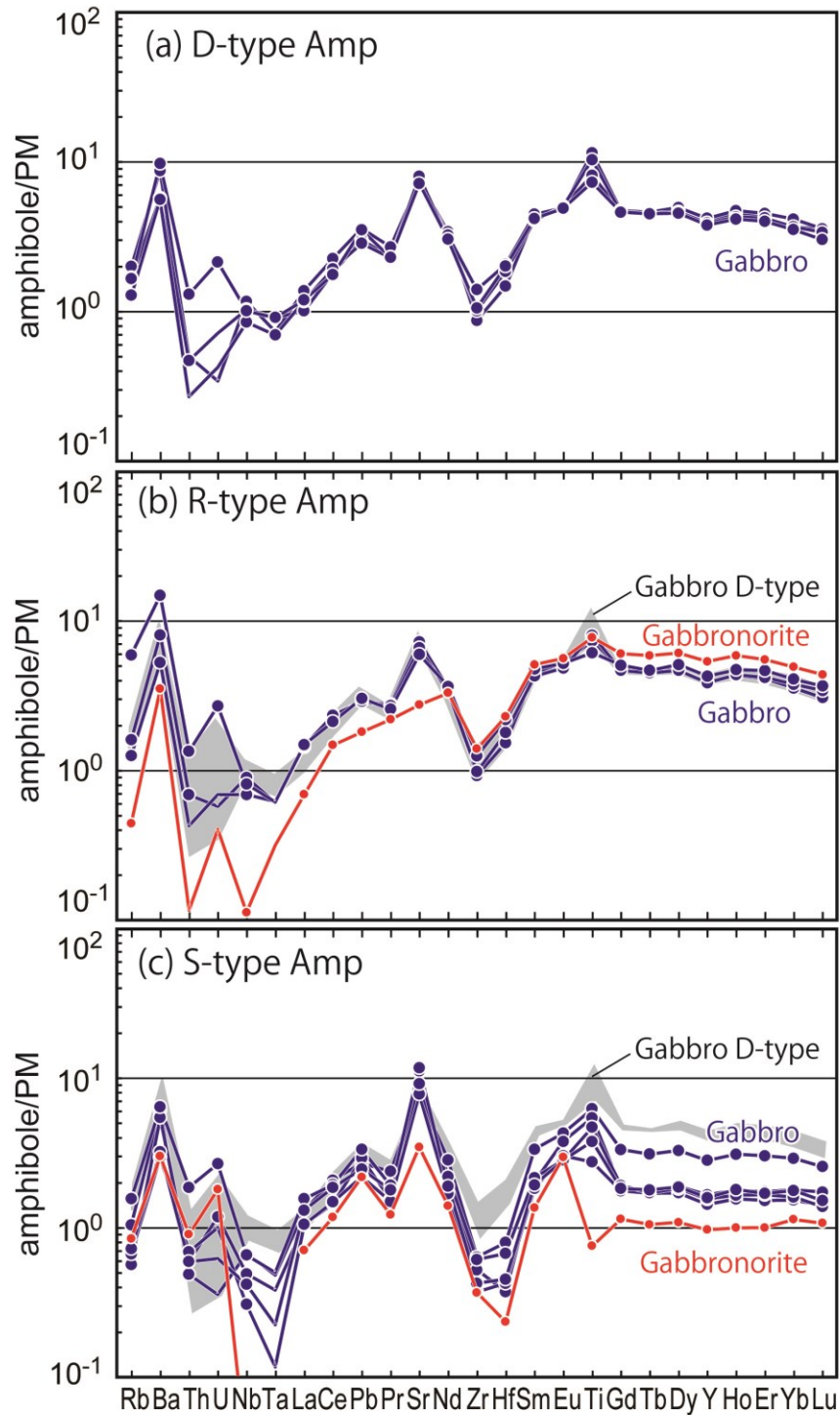


**Figure 1.8.** Chondrite-normalized rare earth element (REE) patterns of clinopyroxenes (a) and amphiboles (b). Discrete minerals and symplectite minerals show different patterns and levels. Chondrite values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample.

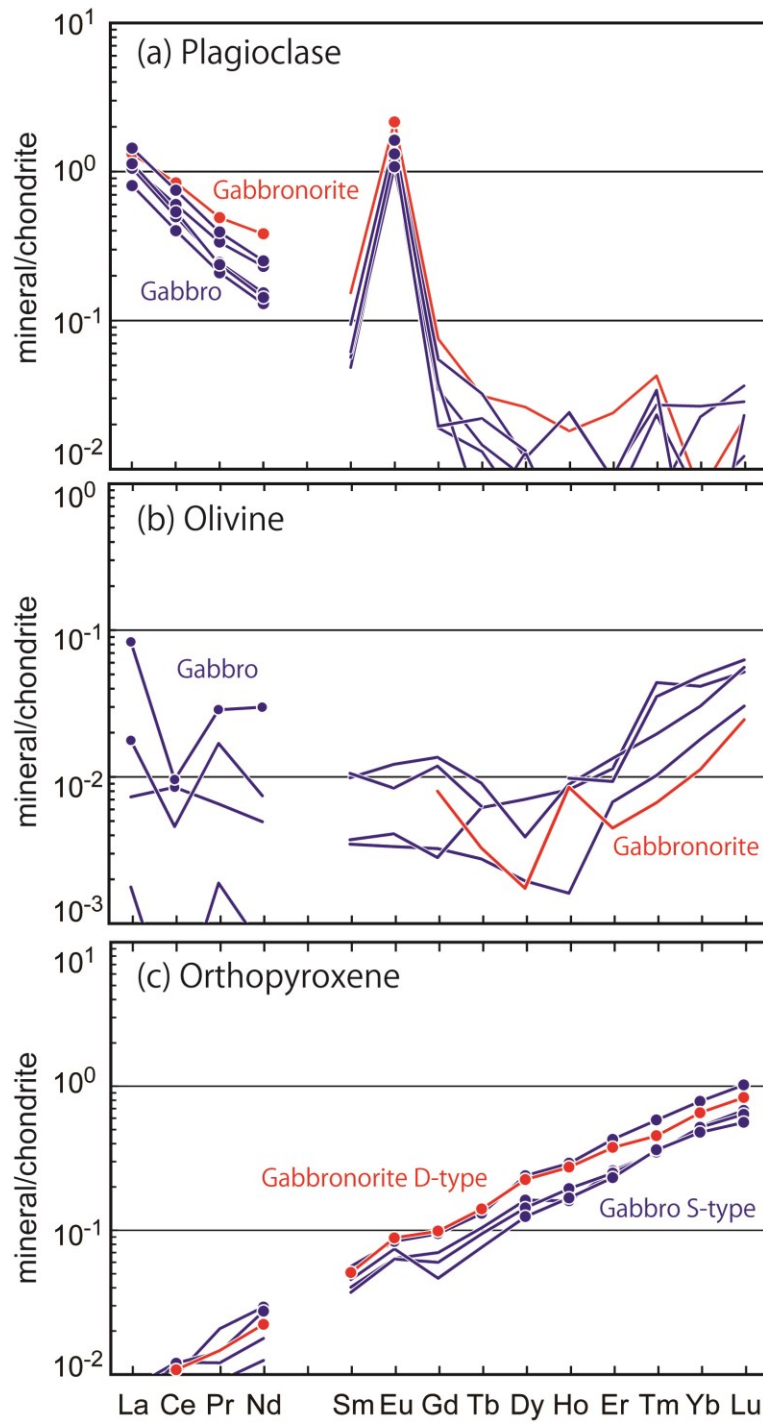


**Figure 1.9.** Primitive mantle (PM)-normalized trace element patterns of discrete type (D-type) clinopyroxenes (a) and symplectite (S-type) clinopyroxenes (b). Primitive mantle values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample. No symbols were put on patterns if below detection limits for the elements.



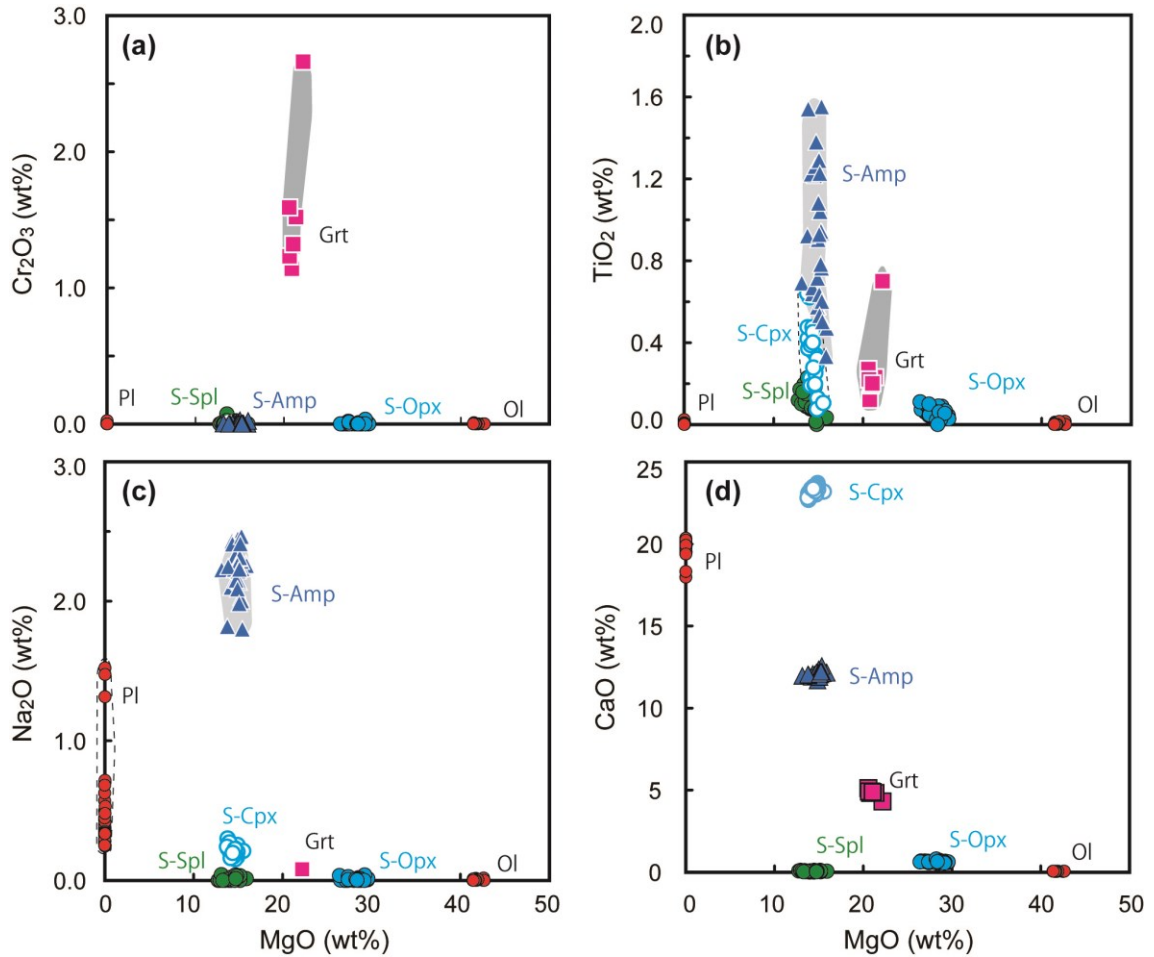


**Figure 1.10.** Primitive mantle (PM)-normalized trace element patterns of discrete type (D-type) amphiboles (a), replacement type (R-type) amphiboles (b) and symplectite type (S-type) amphiboles (c). Primitive mantle values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample. No symbols were put on patterns if below detection limits for the elements.

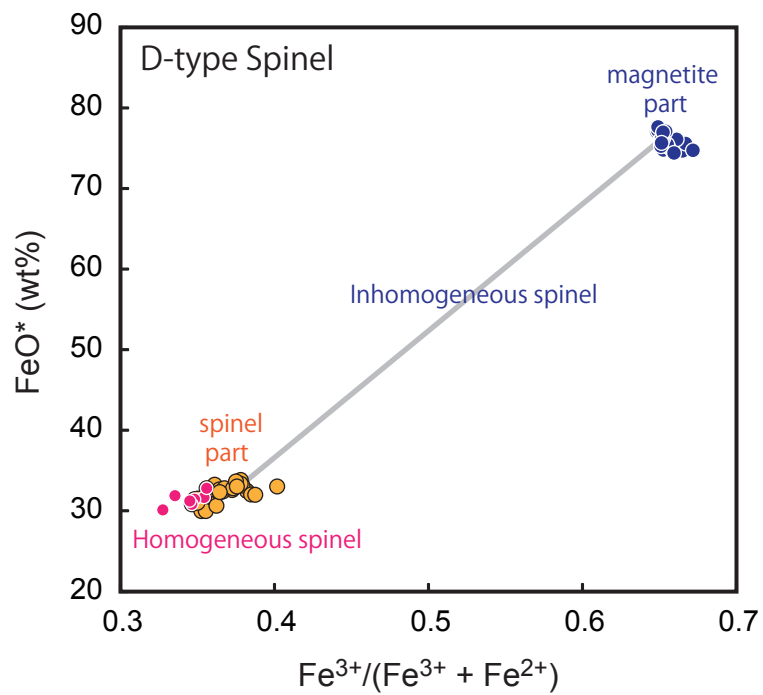


**Figure 1.11.** Chondrite-normalized rare earth element (REE) patterns of plagioclases (a), olivines (b) and orthopyroxenes (c). Chondrite values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample. No symbols were put on patterns if below detection limits for the elements. Note the positive Eu anomaly in plagioclase and the low contents of trace elements in olivine and orthopyroxene.

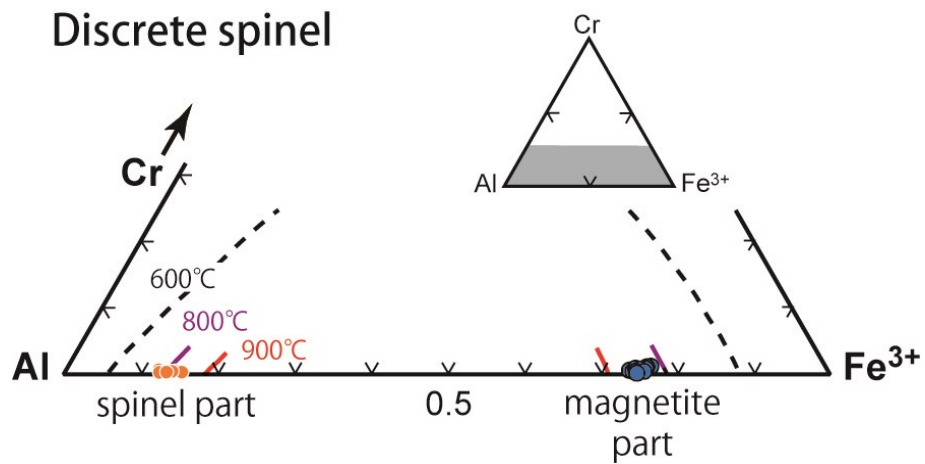




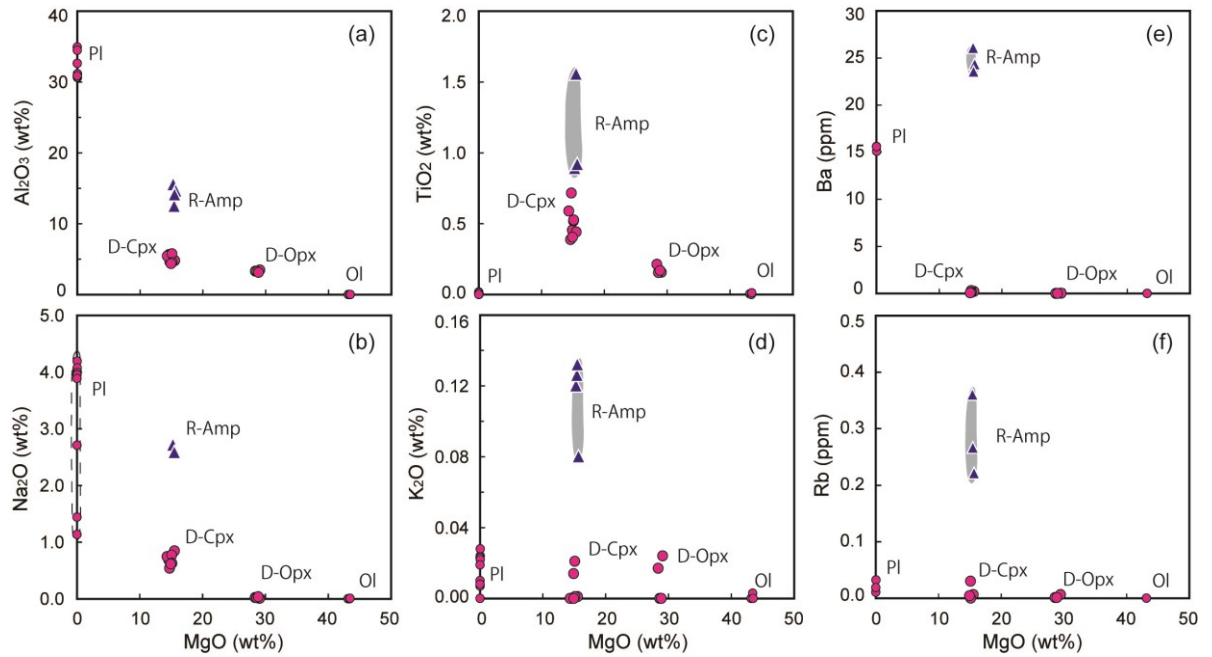
**Figure 1.12.** Chemical compositions of symplectite type (S-type) minerals, plagioclase, olivine and garnet. Grt, garnet; Pl, plagioclase; Ol, olivine; S-Amp, S-type amphibole; S-Cpx, S-type clinopyroxene; S-Opx, S-type orthopyroxene; S-Spl, S-type spinel. Garnet compositions in garnet peridotite xenoliths are from Nixon and Boyd (1973) and Ionov et al. (1993). Note the difference between the garnet composition and the S-type mineral compositions, especially in  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{CaO}$  contents.



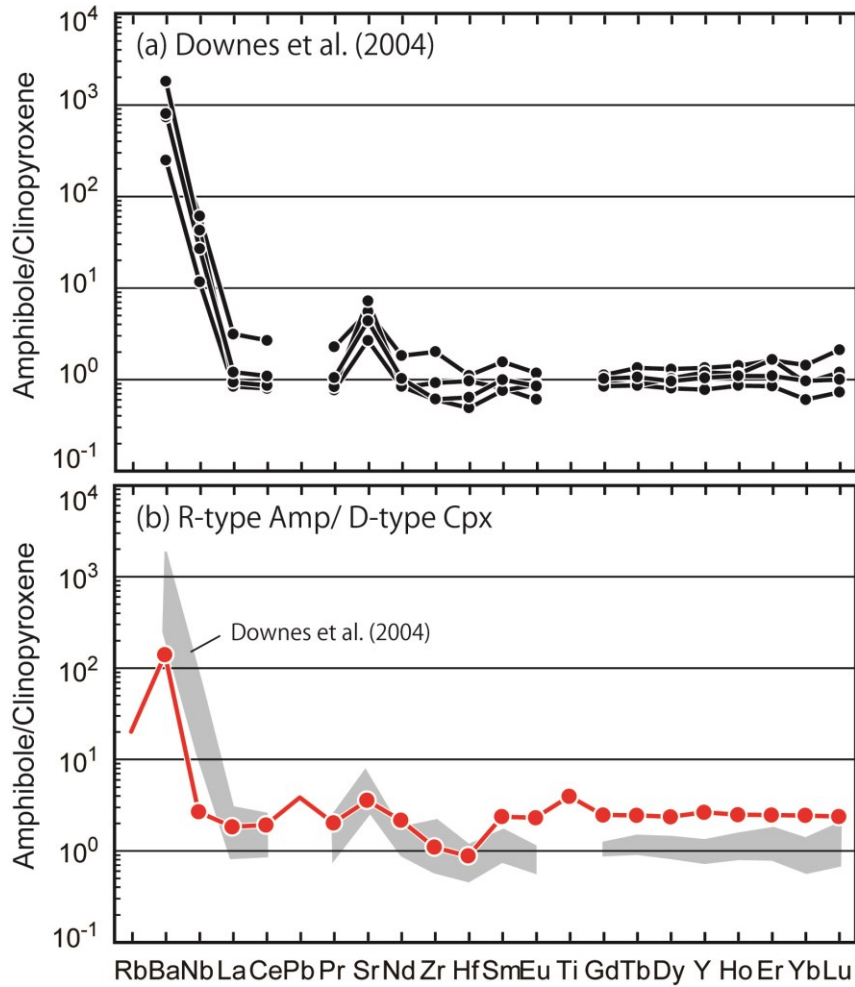
**Figure 1.13.** Relationships between the FeO\* content and  $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$  atomic ratio in D-type spinels in Px-Hbl gabbro. Spinel grains with inhomogeneous texture have higher FeO content and  $Fe^{3+}/total\ Fe$  atomic ratio than homogeneous spinel grains.



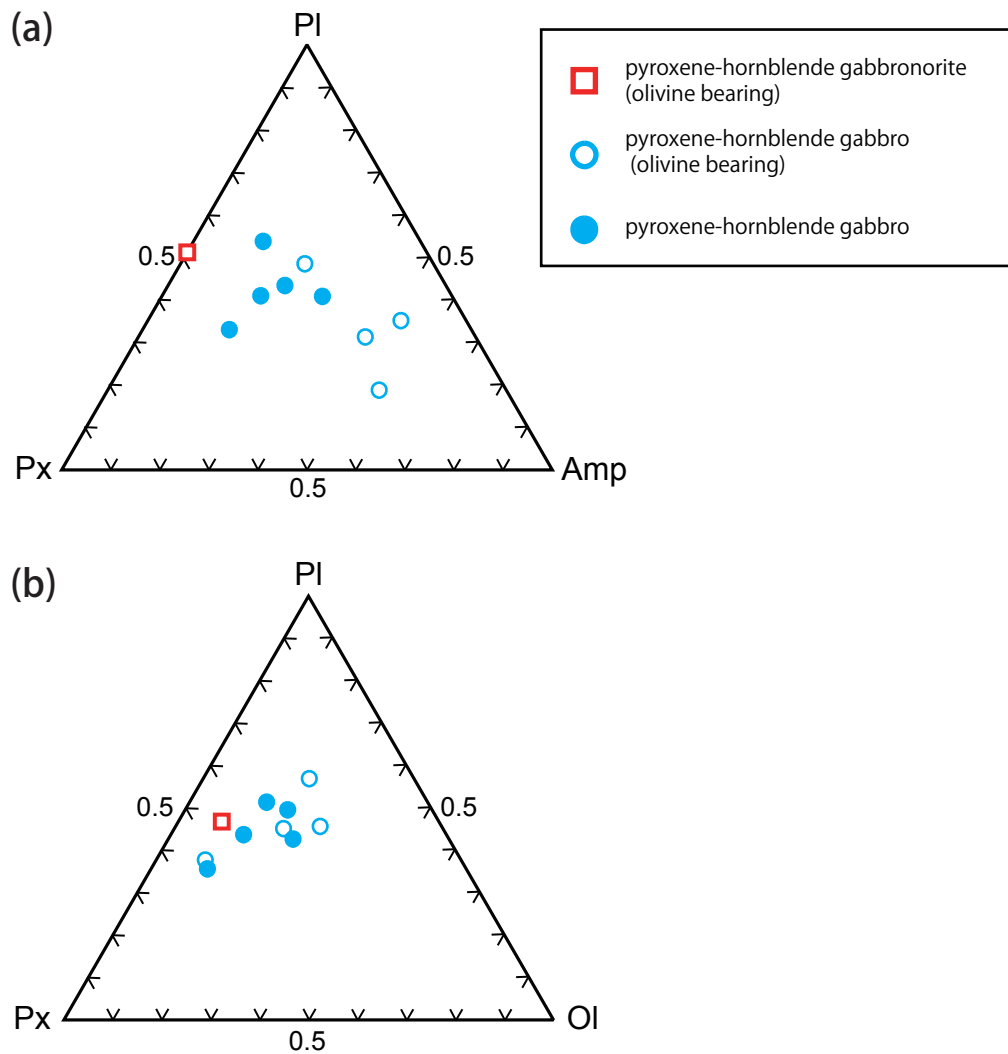
**Figure 1.14.** Compositional relations between the spinel and magnetite parts in D-type inhomogeneous spinel grains. The solvi were obtained from thermodynamic calculations assuming spinels coexisting with Fo<sub>80</sub> olivine (Sack and Ghiorso 1991).



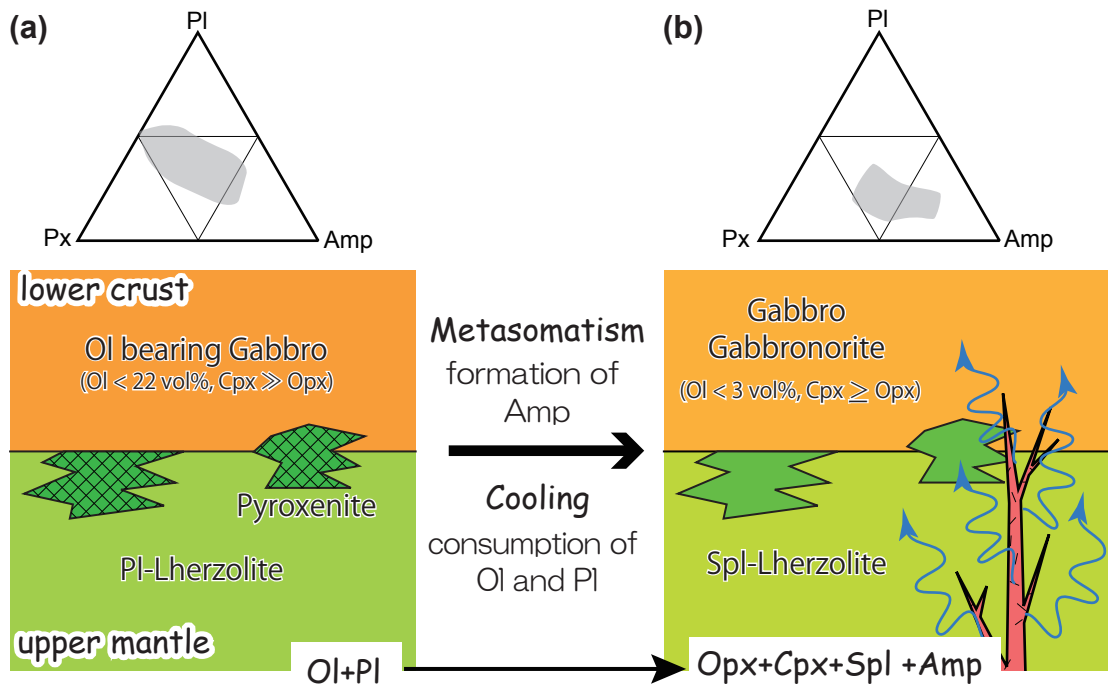
**Figure 1.15.** Variation diagrams to illustrate compositional relationships between discrete type (D-type) minerals and replacement type (R-type) amphiboles in Px-Hbl gabbronorite. Pl, plagioclase; Ol, olivine; R-Amp, R-type amphibole; S-Cpx, S-type clinopyroxene; S-Opx, S-type orthopyroxene. Note the difference in chemistry between D-type minerals and R-type amphiboles.



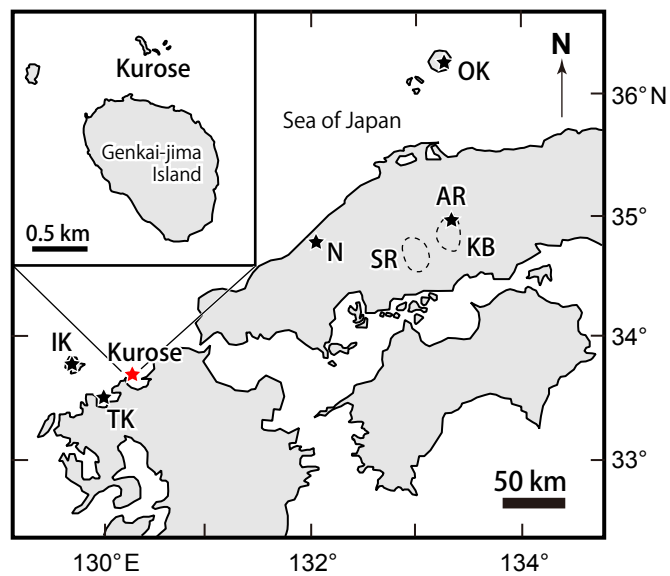
**Figure 1.16.** Comparison between amphiboles and clinopyroxenes in the trace-element contents. The R-type amphibole/D-type clinopyroxene value from Ichinomegata gabbro-norite is similar to inter-mineral distribution coefficients from glass-rich hornblende and clinopyroxene xenoliths from Eifel (Downes et al. 2004).



**Figure 1.17.** Estimated modal amounts of plagioclase, amphibole and pyroxenes in gabbroic xenoliths from Ichinomegata. (a) Estimated modal amounts of plagioclase, amphibole and pyroxenes. (b) Estimated modal amounts of plagioclase, pyroxenes and olivine.

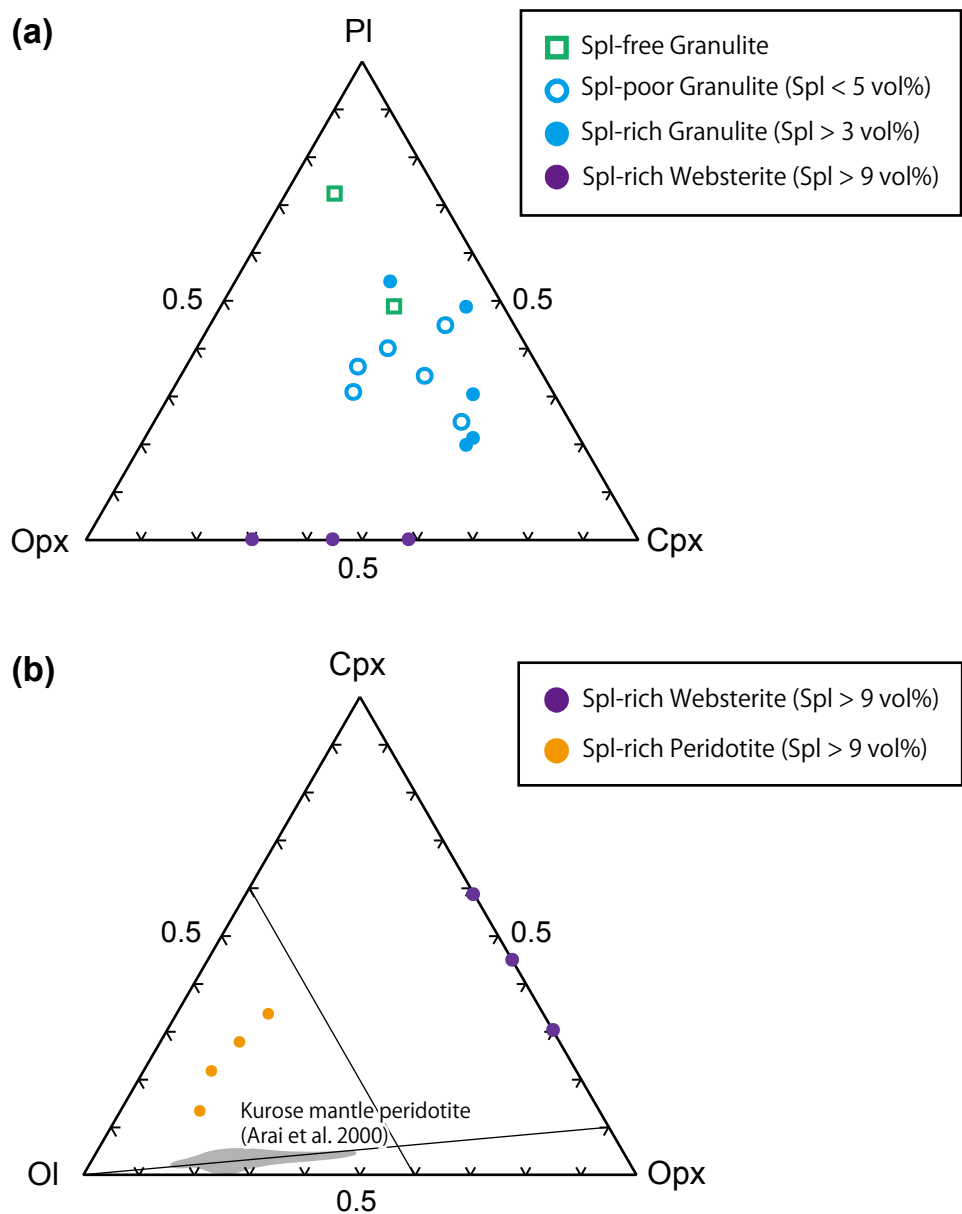


**Figure 1.18.** Schematic diagram to illustrate the change of the upper mantle-lower crust structure beneath Ichinomegata. Ol, olivine; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Pl, plagioclase; Amp, amphibole; Spl, spinel. (a) Lower crust initially composed of gabbro, olivine gabbro and rarely amphibole-free gabbro and troctolite. (b) Lower crust composed of pyroxene-hornblende gabbro and pyroxene-hornblende gabbro-norite. Olivine was consumed by subsolidus reaction. The modal amount of amphibole increased by metasomatism. Pyroxene-spinel symplectite composed of Opx, Cpx, Spl and Amp means that cooling and metasomatism occur at the same time.

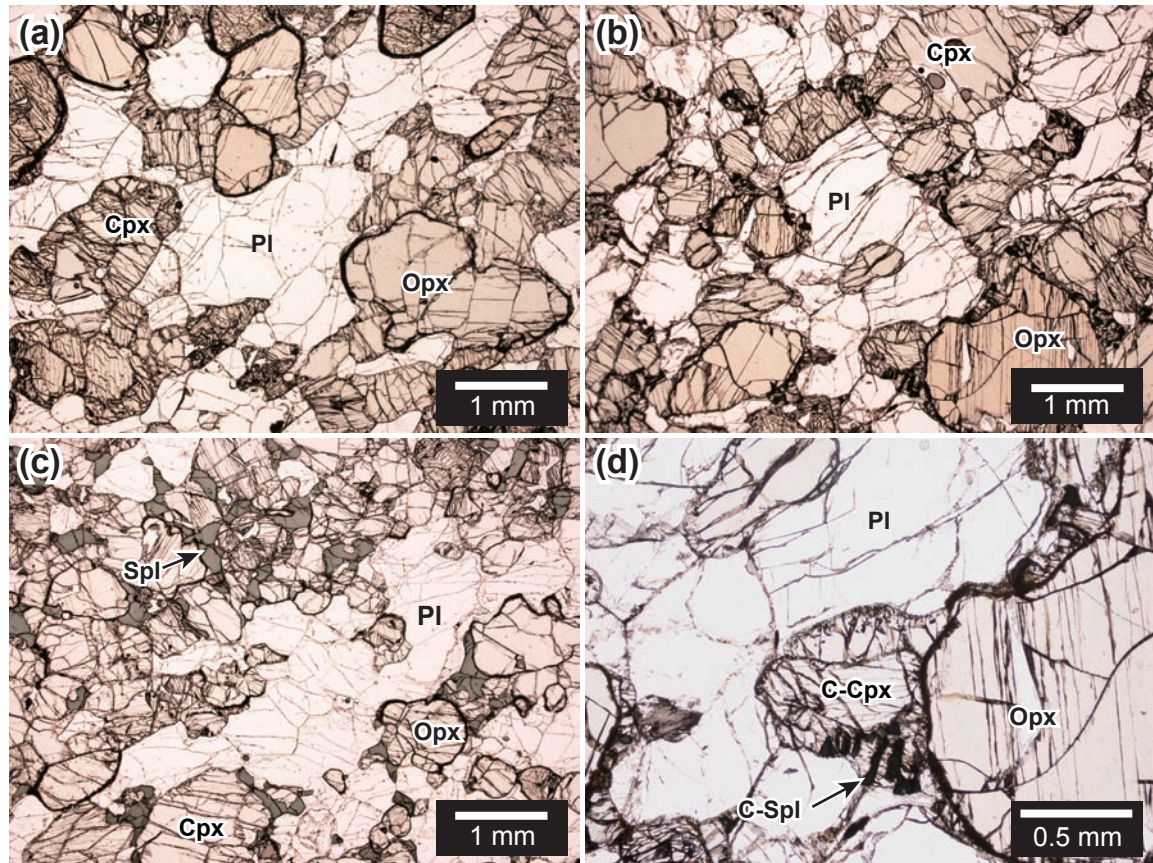


**Figure 2.1.** Location of Kurose and other ultramafic-mafic xenolith localities in the Southwest Japan arc. IK, Iki (Aoki 1968, Hirai and Arai 1982); OK, Oki-Dogo (Takahashi, 1978); AR, Aratoyama (Fujiwara and Arai, 1982), TK, Takashima (Arai and Kobayashi, 1981); N, Noyamadake (Arai and Hirai, 1983); SR, Sera plateau; KB, Kibi plateau (Nozaka, 1997).

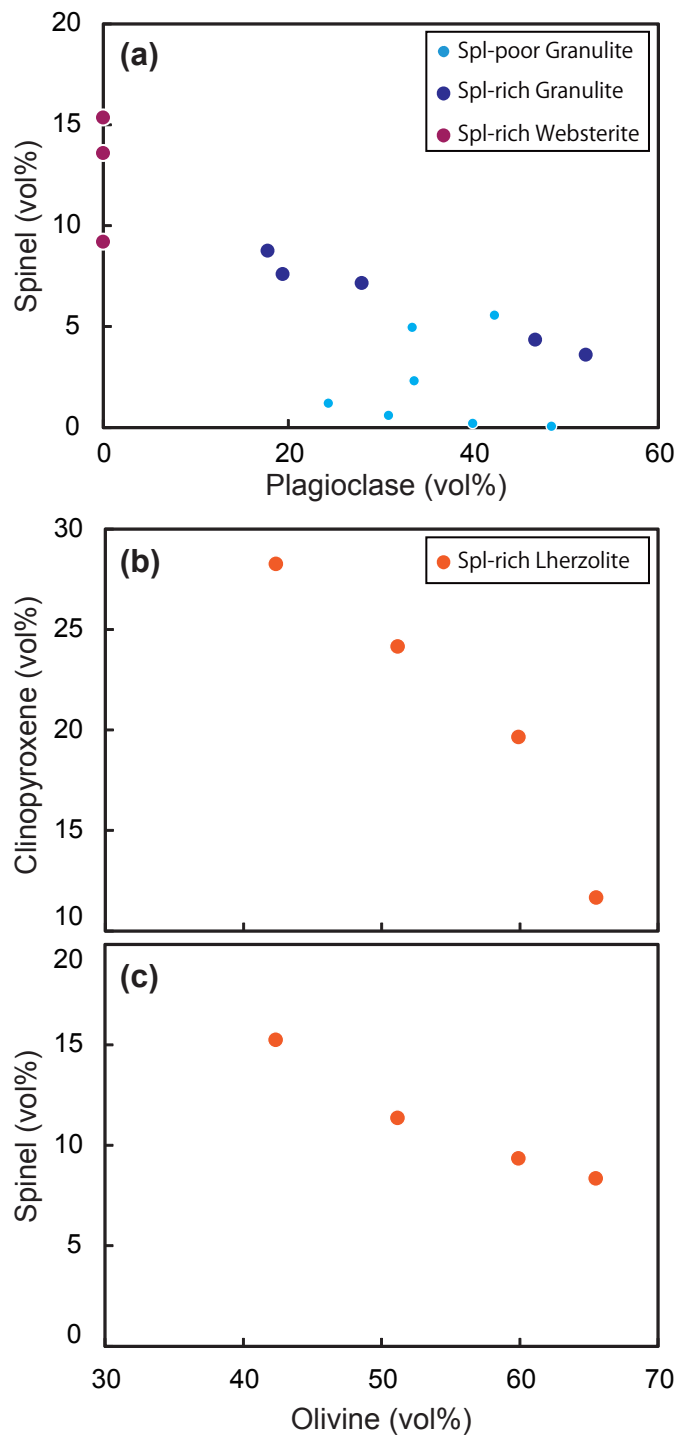




**Figure 2.2.** Modal amounts of plagioclase, pyroxenes and olivine in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose. (a) Modal amounts of plagioclase and pyroxenes. (b) Modal amounts of olivine and pyroxenes. The ranges for Kurose mantle peridotites (Arai et al. 2000) are shown for comparison.

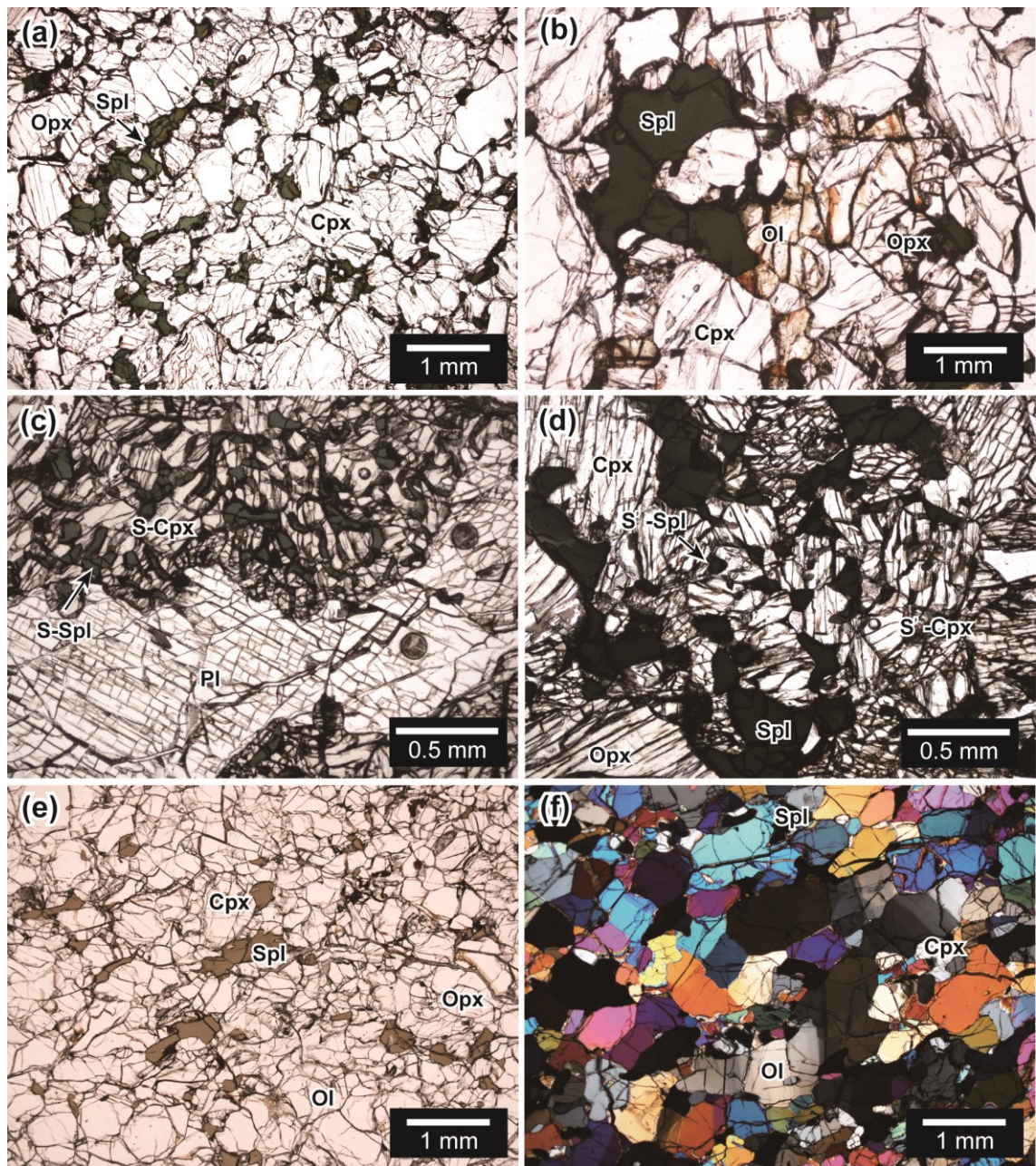


**Figure 2.3.** Photomicrographs of granulites from Kurose. Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Pl, plagioclase; Spl, spinel. (a) Granoblastic texture of Spl-free granulite (plane-polarized light; KR-018). (b) Granoblastic texture of Spl-poor granulite (plane-polarized light; KR-004). (c) Granoblastic texture of Spl-rich granulite (plane-polarized light; KR-015). Note the difference in amount of green spinel between these granulites (a-c). (d) Close-up of Spl-poor granulite (plane-polarized light; KR-004). The corona like texture composed of clinopyroxene (C-Cpx) and vermicular-shape spinel (C-Spl) are often observed around orthopyroxene.



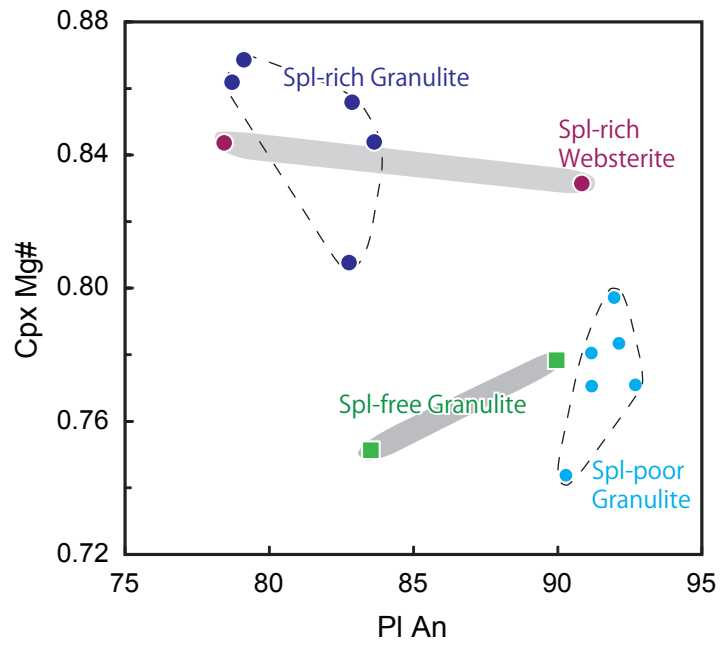
**Figure 2.4.** Relationships between the modal amounts of plagioclase and spinel (a), olivine and clinopyroxene (b) and olivine and spinel (c). (a) Note that the modal amounts of spinel increase with a decrease of plagioclase in Spl-rich granulite. (b), (c) The modal amounts of clinopyroxene and spinel are inversely proportional to the amount of olivine in Spl-rich lherzolite.



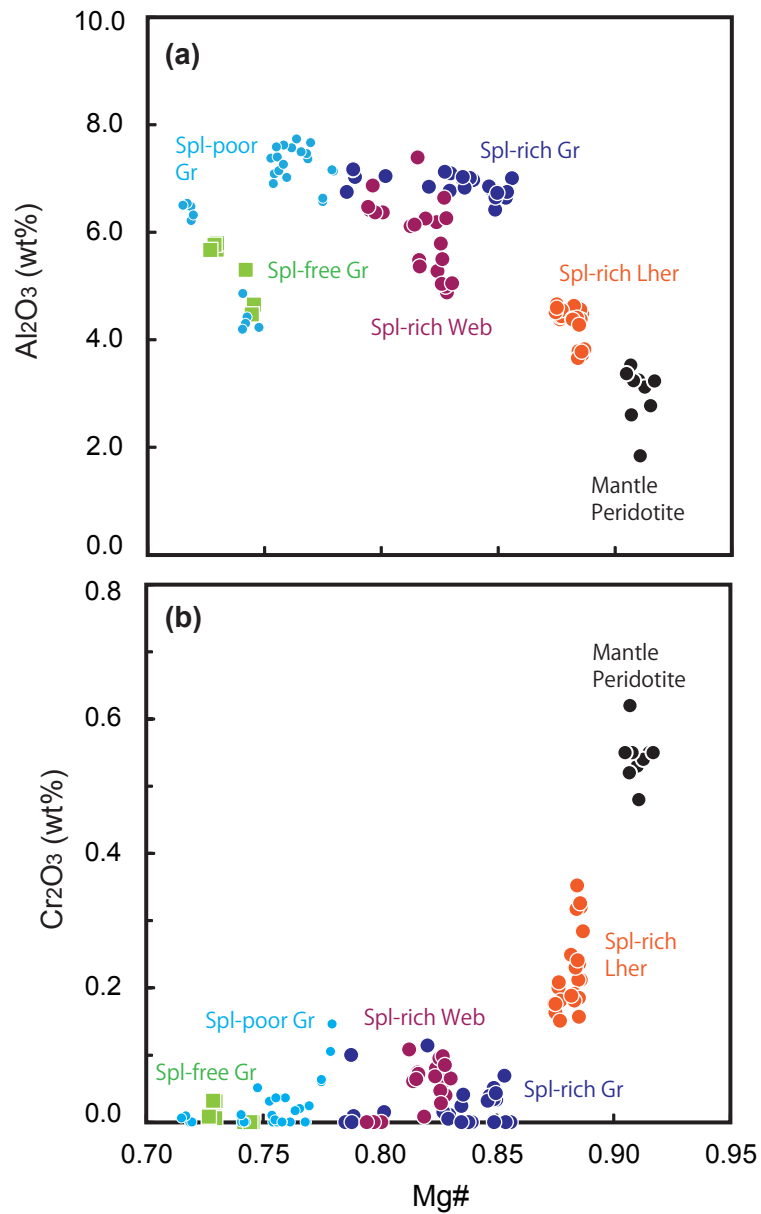


**Figure 2.5.** Photomicrographs of spinel-rich ultramafic rocks from Kurose. Ol, olivine; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Pl, plagioclase; Spl, spinel. (a) Equigranular texture of Spl-rich websterite (plane-polarized light; KR-22). Note the large amount of green spinels. (b) Olivine grains in Spl-rich websterite (plane-polarized light; KR-22). (c) Symplectic fine-grained mineral assemblage around plagioclase in Spl-rich websterite (plane-polarized light; KR-026). Fine-grained clinopyroxene (S-Cpx) is associated with fine-grained vermicular spinel (S-Spl). (d) Fine-grained polygonal clinopyroxene (S'-Cpx) and fine-grained spinel (S'-Spl) in Spl-rich websterite (plane-polarized light; KR-026). Note the shape of S'-type spinel,

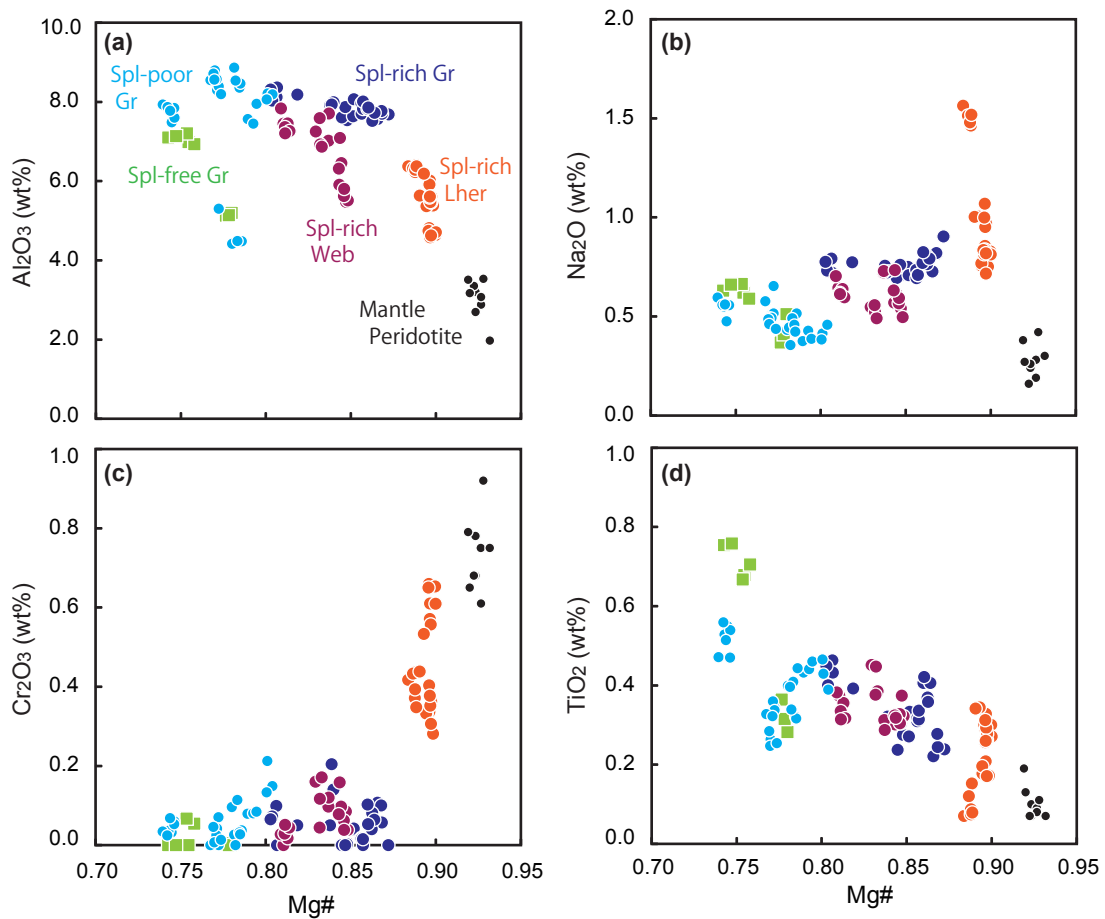
which is different from that of S-type spinel. (e) Fine-grained Spl-rich lherzolite (plane-polarized light; KR-P001). Note the difference in color of spinel between granulite and websterite (Figs. 2.3c and 2.5a). (f) Olivine-rich coarse-grained part in Spl-rich lherzolite (closed-polarized light; KR-P001). Olivine grains are elongated and kinked.



**Figure 2.6.** Relationships between Mg# of clinopyroxene and An content of plagioclase. Average core compositions were used for of each sample.

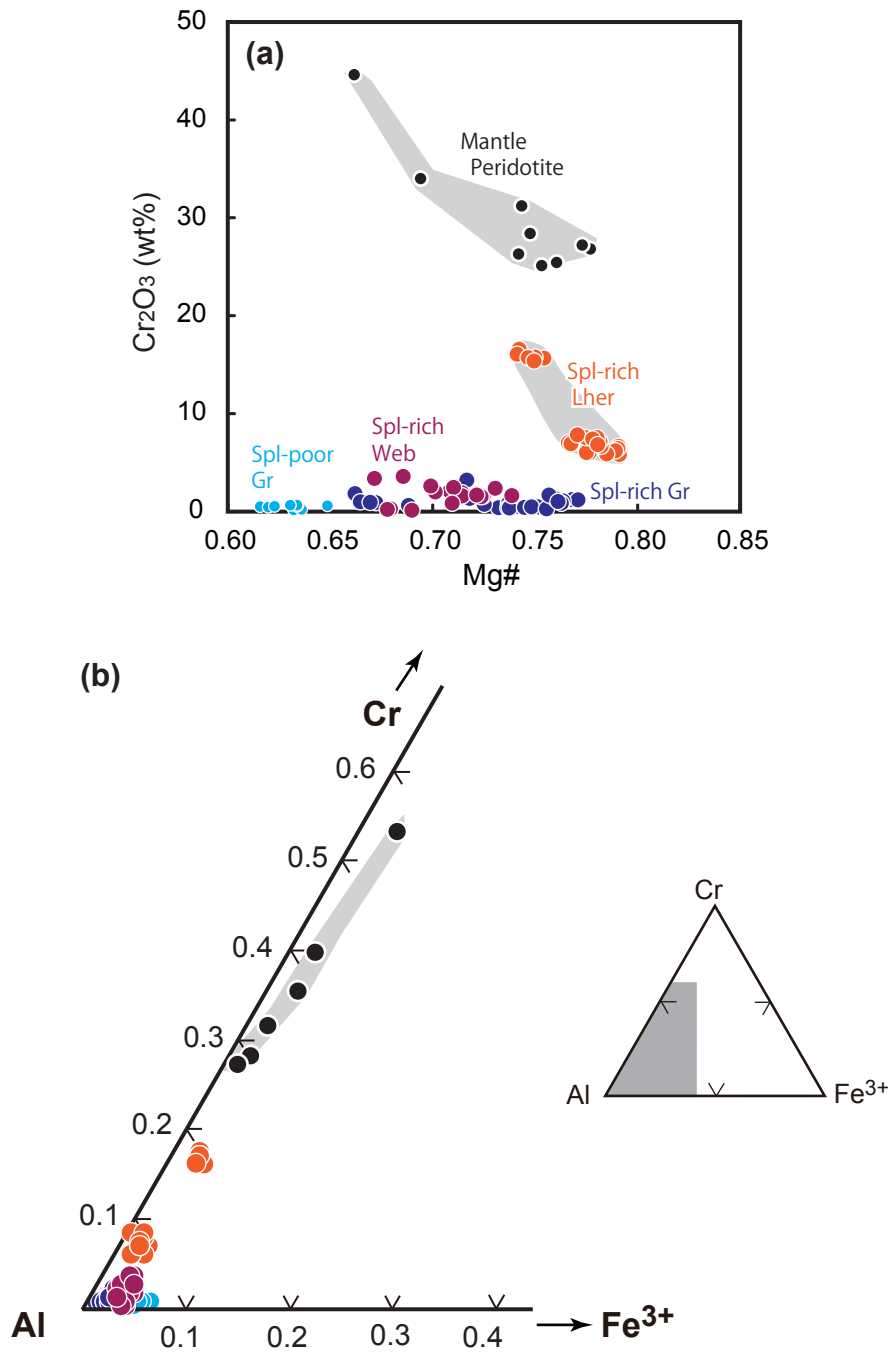


**Figure 2.7.** Chemical characteristics of orthopyroxene. Mg#-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) and Mg#-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (b) relationships between Spl-free granulite, Spl-poor granulite, Spl-rich granulite, Spl-rich websterite and Spl-rich lherzolite. Gr, granulite; Web, websterite; Lher, lherzolite. Data for mantle peridotites from Kurose (Arai and Hirai 1983; Abe and Yamamoto 1999; Arai et al. 2000, 2001; Senda et al. 2007) are shown for comparison.

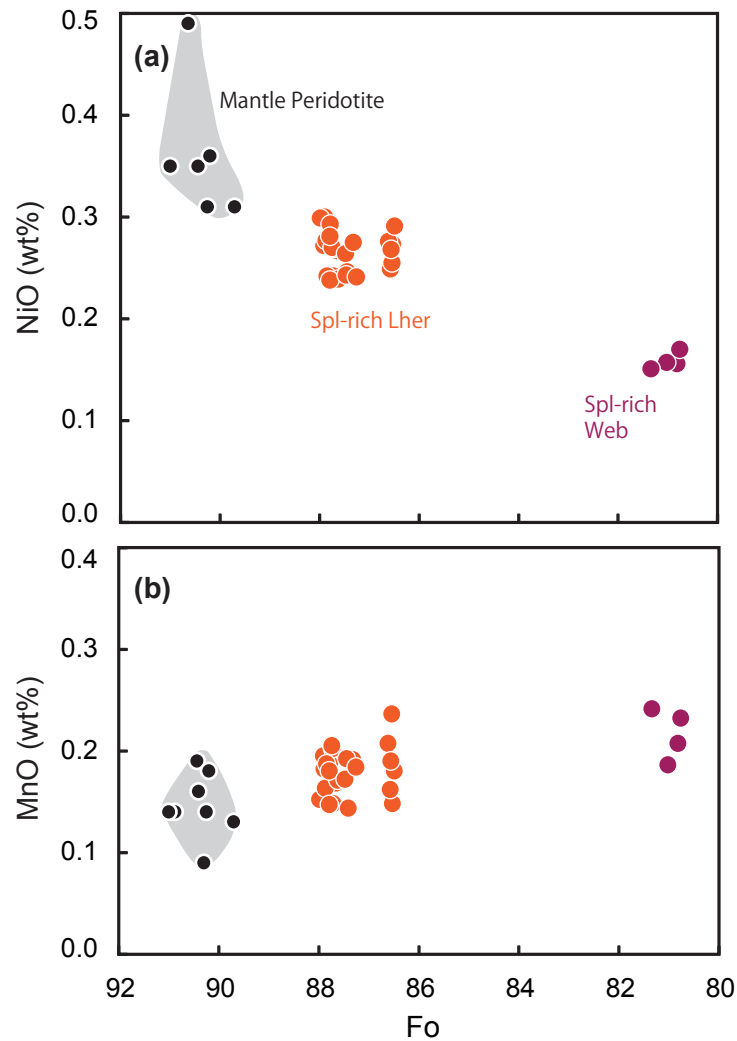


**Figure 2.8.** Chemical characteristics of clinopyroxene. Mg#-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a), Mg#-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (b) Mg#-Na<sub>2</sub>O (c) and Mg#-TiO<sub>2</sub> (d) relationships between Spl-free granulite, Spl-poor granulite, Spl-rich granulite, Spl-rich websterite and Spl-rich lherzolite. Gr, granulite; Web, websterite; Lher, lherzolite. Data for mantle peridotites from Kurose (Arai and Hirai 1983; Abe and Yamamoto 1999; Arai et al. 2000, 2001; Senda et al. 2007) are shown for comparison.

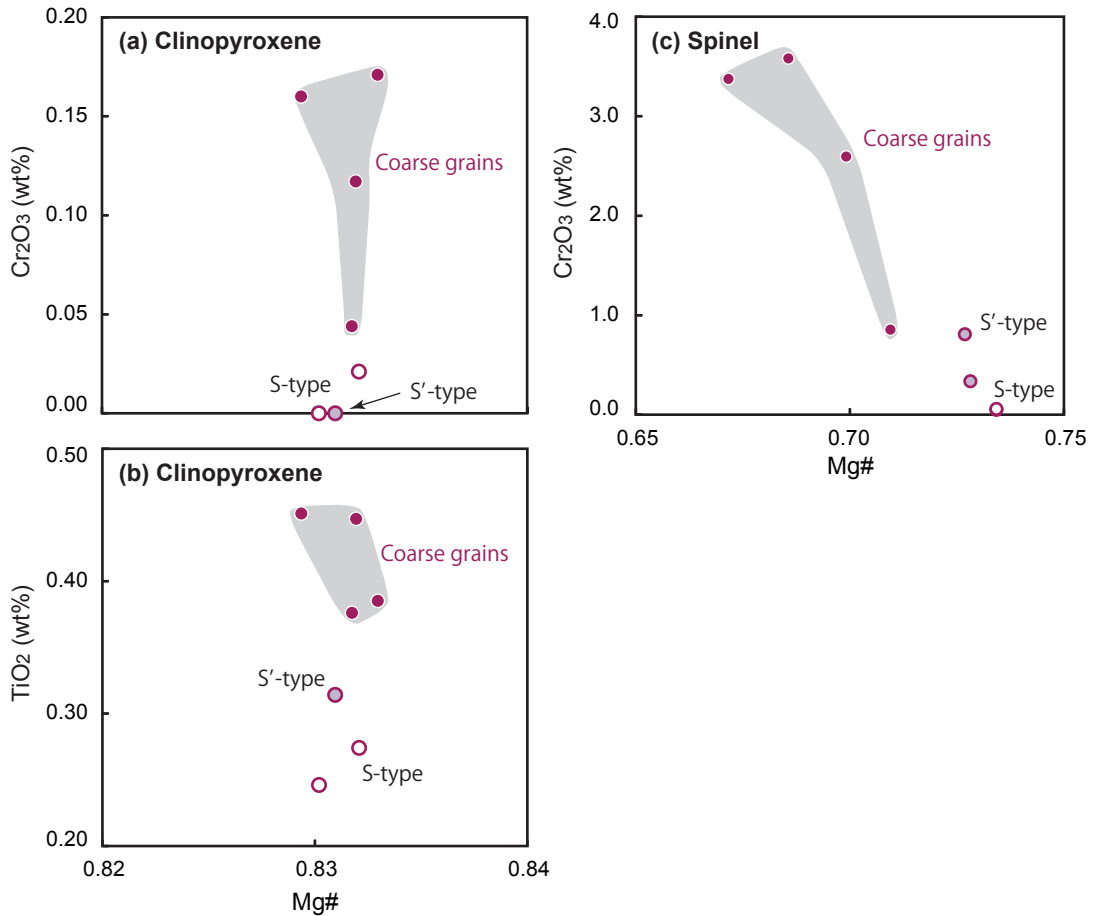




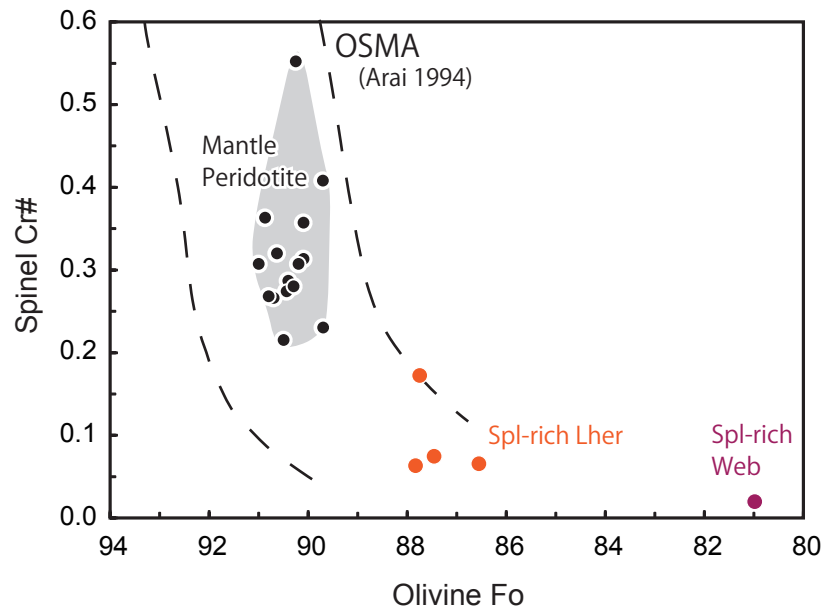
**Figure 2.9.** Chemical characteristics of spinel from Spl-poor granulite, Spl-rich granulite, Spl-rich websterite and Spl-rich lherzolite. Gr, granulite; Web, websterite; Lher, lherzolite. (a) Mg#-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relationships. (b) Al-Cr-Fe<sup>3+</sup> atomic ratios. Data for mantle peridotites from Kurose (Arai and Hirai 1983; Abe and Yamamoto 1999; Arai et al. 2000, 2001; Senda et al. 2007) are shown for comparison. Spinel is almost Cr-free in granulites and Cr-poor in Spl-rich lherzolite than in mantle peridotites.



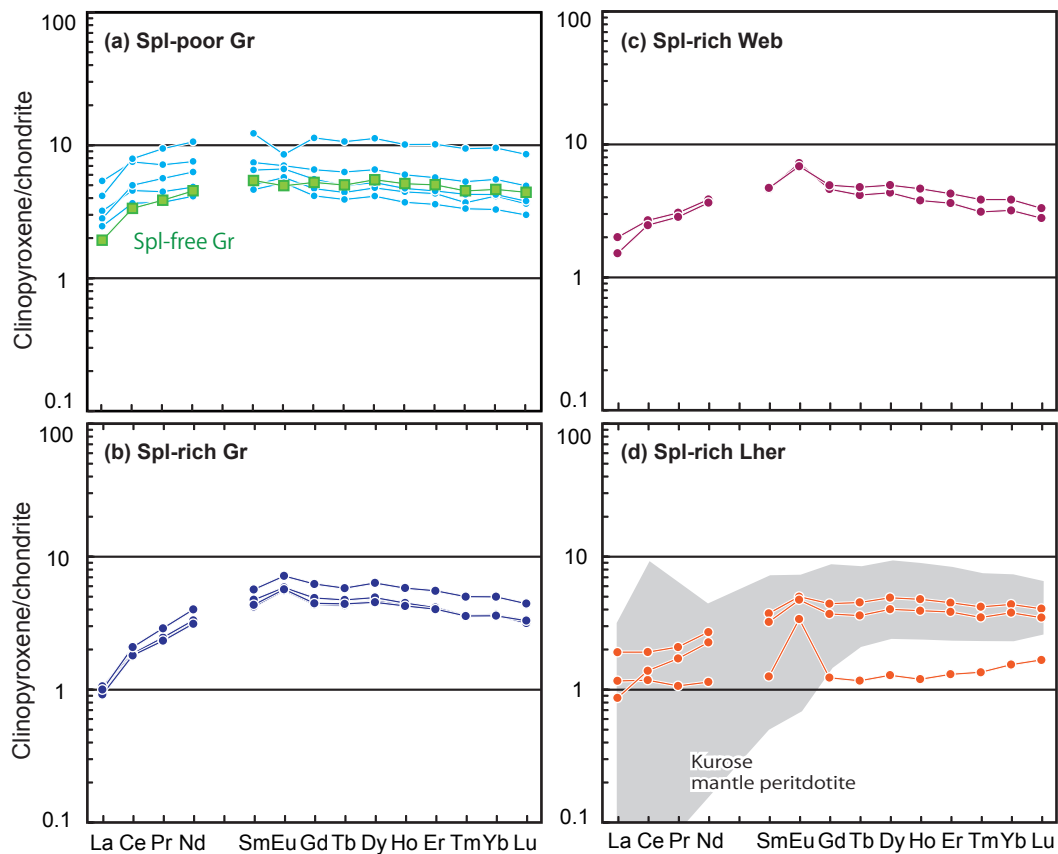
**Figure 2.10.** Chemical characteristics of olivine. Mg#-NiO (a) and Mg#-MnO (b) relationships between Spl-rich websterite and Spl-rich lherzolite. Web, websterite; Lher, lherzolite. Data for mantle peridotites from Kurose (Arai and Hirai 1983; Abe and Yamamoto 1999; Arai et al. 2000, 2001; Senda et al. 2007) are shown for comparison. Note the difference between Spl-rich lherzolite and mantle peridotite.



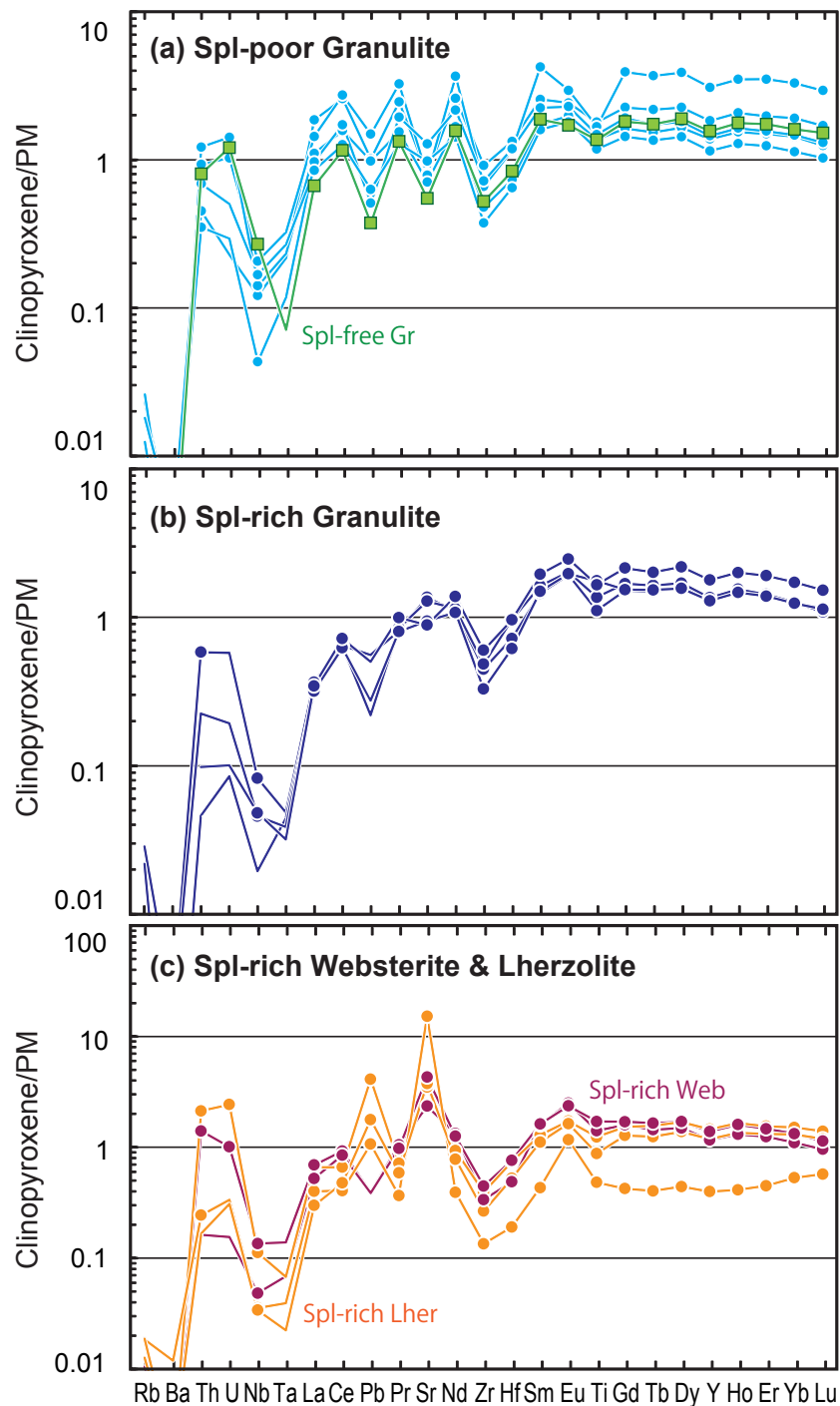
**Figure 2.11.** Chemical characteristics of clinopyroxenes and spinels in Spl-rich websterite (KR-026). (a) Mg#-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relationship between various clinopyroxenes. S-type Cpx is free from Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (b) Mg#-TiO<sub>2</sub> relationship between various clinopyroxenes. S-type Cpx shows lowest Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents and S'-type show value intermediate between coarse Cpx and S-type Cpx. (c) Mg#-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relationship between various spinels. S-type Spl is almost free from Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents and S'-type show an intermediate character between the coarse Spl and S-type Spl.



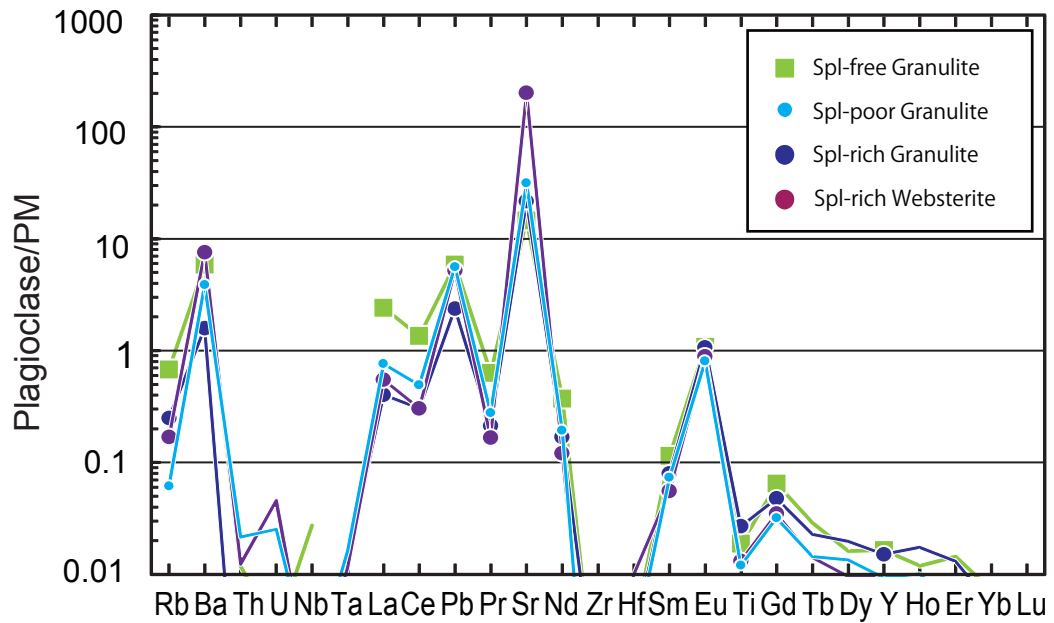
**Figure 2.12.** Relationships between Fo content of olivine and Cr# of spinel. Web, websterite; Lher, lherzolite. Data for mantle peridotites from Kurose (Arai and Hirai 1983; Abe and Yamamoto 1999; Arai et al. 2000, 2001; Senda et al. 2007; Yoshikawa et al. 2010) are shown for comparison.



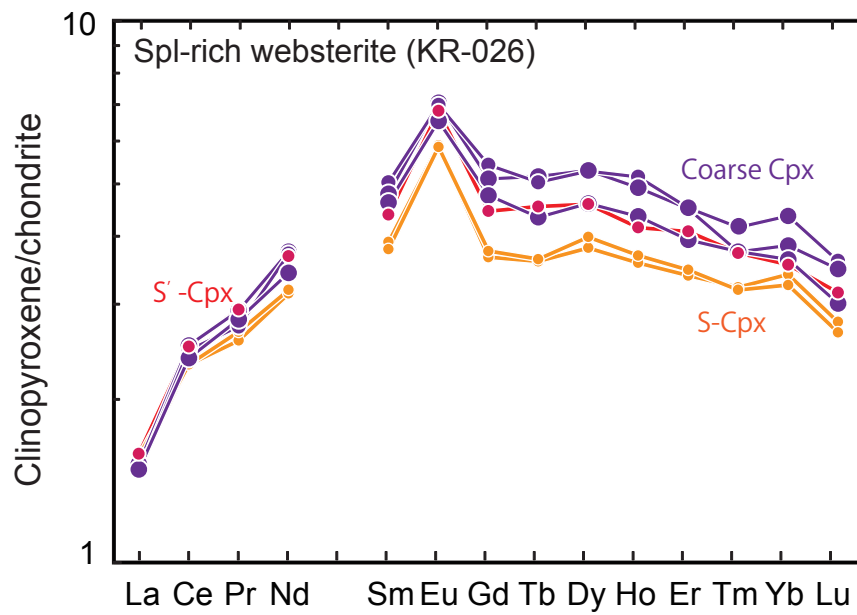
**Figure 2.13.** Chondrite-normalized rare earth element (REE) patterns of clinopyroxene in Spl-free granulite and Spl-poor granulite (a), Spl-rich granulite (b), Spl-rich websterite (c) and Spl-rich lherzolite (d). Chondrite values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample. Data for mantle peridotites from Kurose (Abe et al. 1998; Yoshikawa et al. 2010) are shown for comparison.



**Figure 2.14.** Primitive mantle (PM)-normalized trace element patterns of clinopyroxene in Spl-free granulite and Spl-poor granulite (a), Spl-rich granulite (b), Spl-rich websterite (c) and Spl-rich lherzolite (d). Primitive mantle values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample. No symbols were put on patterns if below detection limits for the elements.

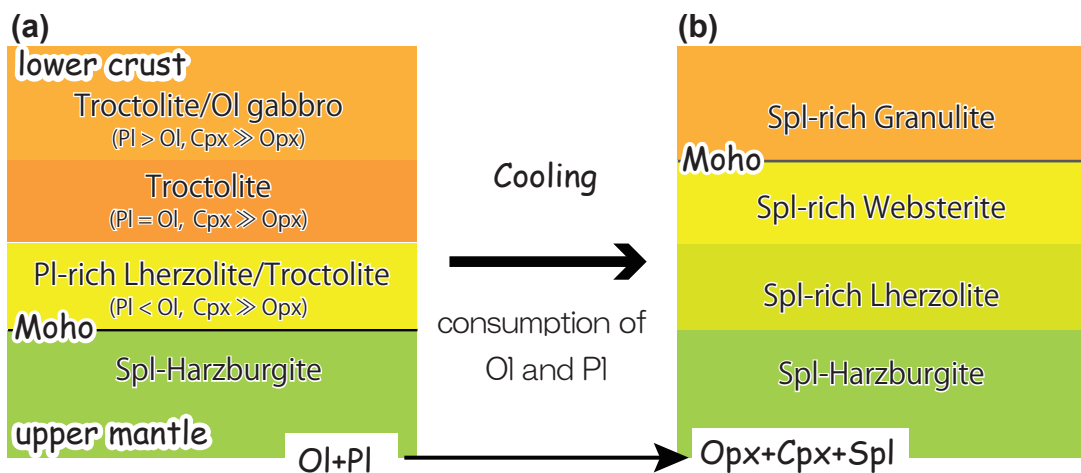


**Figure 2.15.** Primitive mantle (PM)-normalized trace element patterns of plagioclase. Primitive mantle values are from Sun and McDonough (1989). Data were averaged for each sample. No symbols were put on patterns if below detection limits for the elements. Note the positive Eu and Sr anomalies in plagioclase.

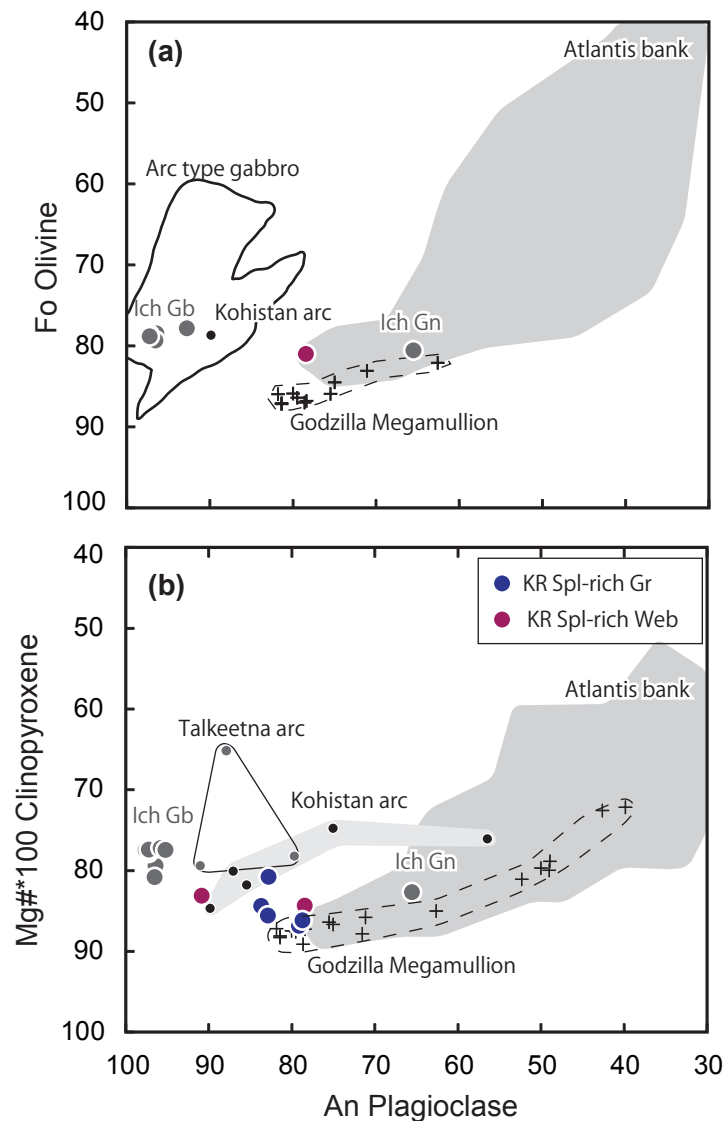


**Figure 2.16.** Chondrite-normalized rare earth element (REE) patterns of clinopyroxene in Spl-rich websterite (KR-026). Chondrite values are from Sun and McDonough (1989). Note that S'-type Cpx shows values intermediate between the coarse Cpx and S-type Cpx.

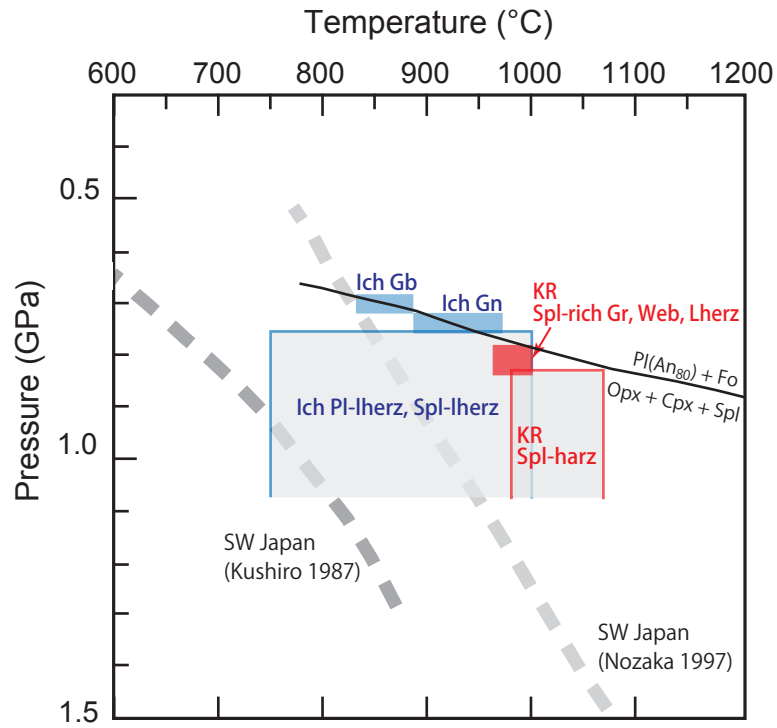




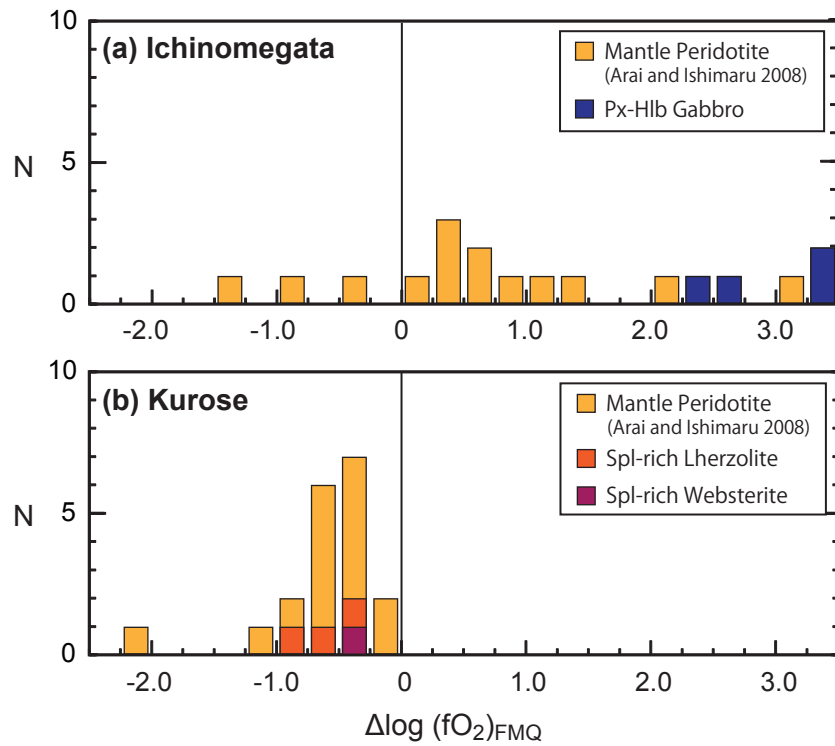
**Figure 2.17.** Schematic diagram to show metamorphic change of the upper mantle-lower crust structure beneath Kurose, Southwest Japan. Ol, olivine; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Pl, plagioclase; Spl, spinel. (a) The lower crust initially composed of gabbro, olivine gabbro and troctolites. (b) The lower crust composed of granulite formed by metamorphism. Troctolites were metamorphosed into spinel-rich websterite and spinel-rich lherzolite.



**Figure 2.18.** Relationships between Fo content of olivine and An content of plagioclase (a) and between Mg#\*100 of clinopyroxene and An content of plagioclase (b). Ich, Ichinomegata; KR, Kurose; Gb, gabbro; Gn, gabbro; Gr, granulite; Web, websterite. Ranges for arc-related gabbros (Beard 1986) and gabbros from Atlantis Bank (Dick et al. 2002) are shown for comparison. Data for gabbros from Godzilla Megamullion (Ohara et al. 2003; Sanfilippo et al. 2013), Kohistan arc (Jagoutz et al. 2007) and Talkeetna arc (Green et al. 2006) are also shown for comparison.



**Figure 2.19.** Equilibrium P-T conditions of xenoliths from Ichinomegata, Northeast Japan and Kurose, Southwest Japan. Ich, Ichinomegata; KR, Kurose; Gb, gabbro; Gn, gabbro-norite; Gr, granulite; Web, websterite; Lherz, lherzolite; Harz, harzburgite; Pl, plagioclase; Fo, forsterite; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Spl, spinel. Geothermal gradients for Southwest Japan from Kushiuro (1987) and Nozaka (1997). The boundary between Pl+ Fo and Opx + Cpx + Spl is from Gasparik (1987).



**Figure 2.20.** Histograms of the calculated oxygen fugacity (Ballhause et al. 1991), assuming a pressure of 0.7 GPa for Ichinomegata gabbros (a) and 0.8 GPa for Kurose ultramafic rocks (b). Mantle peridotite data compiled and calculated by Arai and Ishimaru (2008) are also shown. D-type spinel compositions in Ichinomegata gabbros are estimated from compositions of spinel part and magnetite part using their area ratios in thin section.

## 9. 附表

**Table 1.1.** Mineral assemblages of gabbros from Ichinomegata.

	<i>sample No.</i>	Pl	Ol	D-Opx	D-Cpx	D-Amp	D-type Spl		R-Amp	symplectite				Mgt/Spl (%)	Area ratio of minerals in symplectite (%)			
							Spl	Mgt		Opx	Cpx	Amp	Spl		Opx	Cpx	Amp	Spl
<i>Px-Hbl gabbro</i>	Ich-2001	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.45				
	Ich-2014	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	10.96				
	Ich-M006	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	42.62	34.30	30.84	20.40	14.45
	Ich-M030	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	57.86				
	Ich-M031	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	2.30				
	Ich-M038	+	+								+		+		34.98		54.81	10.21
	Ich-M047	+			+	+	+		+	+	+	+	+	0.00				
	Ich-M048	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	30.02				
	Ich-M050	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	4.71				
	Ich-M052	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	4.49				
<i>Px-Hbl gabbro</i>	Ich-M046	+	+	+	+				+	+		+	+					

Mgt/Spl, areal ratio of magnetite and whole D-type spinel grain. see text.

**Table 1.2.** Major-element compositions (in wt%) of olivines in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro									Pyroxene-hornblende gabbro					
	Ich-M006			Ich-M030			Ich-M031			Ich-M038					
	core	core	core	core	core	core	core	rim	rim	core	core	core	rim	rim	rim
SiO <sub>2</sub>	39.58	39.41	39.55	39.37	39.14	39.10	38.89	39.22	39.03	39.39	39.53	39.21	39.30	39.36	38.94
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	20.26	19.64	19.80	19.84	20.49	20.17	20.53	20.36	20.49	20.86	21.00	20.90	20.73	20.95	20.92
MnO	0.49	0.35	0.38	0.35	0.45	0.41	0.37	0.39	0.40	0.42	0.38	0.41	0.42	0.39	0.36
MgO	41.72	42.54	42.62	42.67	41.71	41.82	41.49	41.83	42.00	41.73	41.41	41.43	41.49	41.71	41.20
CaO	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.05	0.06	0.04	0.04	0.02	0.05	0.03	0.01	0.03	0.06	0.02	0.05	0.02	0.03	0.02
total	102.15	102.05	102.47	102.33	101.87	101.58	101.39	101.88	102.02	102.53	102.38	102.06	102.01	102.48	101.49
Si	0.997	0.991	0.991	0.988	0.991	0.991	0.989	0.991	0.986	0.992	0.996	0.992	0.993	0.991	0.991
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.427	0.413	0.415	0.416	0.434	0.428	0.437	0.430	0.433	0.439	0.442	0.442	0.438	0.441	0.445
Mn	0.010	0.007	0.008	0.007	0.010	0.009	0.008	0.008	0.009	0.009	0.008	0.009	0.009	0.008	0.008
Mg	1.567	1.595	1.592	1.597	1.574	1.580	1.574	1.576	1.583	1.566	1.556	1.563	1.564	1.566	1.563
Ca	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Na	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
total	3.003	3.009	3.009	3.012	3.010	3.009	3.010	3.009	3.014	3.008	3.004	3.008	3.006	3.009	3.009
Fo	78.6	79.4	79.3	79.3	78.4	78.7	78.3	78.6	78.5	78.1	77.9	77.9	78.1	78.0	77.8

Fo, 100\*Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.

**Table 1.2.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbrobronite					
	Ich-M050			Ich-M046		
	core	core	core	core	core	core
SiO <sub>2</sub>	38.80	39.02	39.42	39.21	39.06	39.31
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
FeO*	19.95	20.15	19.86	18.18	18.00	18.14
MnO	0.37	0.36	0.38	0.24	0.19	0.24
MgO	41.59	41.62	41.98	43.17	43.42	43.49
CaO	0.04	0.04	0.05	0.04	0.02	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.01	0.04	0.03	0.25	0.34	0.56
total	100.77	101.25	101.73	101.10	101.05	101.78
Si	0.991	0.992	0.995	0.990	0.986	0.987
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.426	0.428	0.419	0.384	0.380	0.381
Mn	0.008	0.008	0.008	0.005	0.004	0.005
Mg	1.583	1.577	1.580	1.625	1.635	1.627
Ca	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.001	0.001	0.005	0.007	0.011
total	3.009	3.008	3.005	3.010	3.013	3.013
Fo	78.8	78.6	79.0	80.9	81.1	81.0

Fo, 100\*Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.



**Table 1.3.** Major-element compositions (in wt%) of orthopyroxenes in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																
	Ich-2001					Ich-2014			Ich-M006		Ich-M030			Ich-M031			
	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	53.05	52.74	52.94	54.05	53.78	52.98	52.81	52.70	55.01	55.46	53.63	53.67	53.62	54.09	54.63	54.26	53.94
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.07	0.09	0.06	0.06	0.06	0.07	0.05	0.03	0.03	0.09	0.04	0.06	0.04	0.04	0.07	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.74	4.67	4.79	3.55	3.82	4.38	4.05	4.14	2.12	2.07	4.08	4.11	4.46	4.42	3.84	4.30	4.25
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	15.00	15.11	15.70	14.31	14.02	14.68	15.00	14.65	13.18	13.23	13.55	13.92	13.92	13.55	13.34	13.64	13.41
MnO	0.32	0.36	0.34	0.35	0.30	0.52	0.44	0.49	0.48	0.45	0.38	0.35	0.39	0.42	0.38	0.38	0.38
MgO	27.31	26.63	26.75	28.54	28.88	26.98	27.31	27.43	29.25	29.59	28.83	28.46	28.40	28.80	29.37	28.77	28.62
CaO	0.60	0.65	0.66	0.64	0.57	0.67	0.65	0.64	0.66	0.63	0.57	0.59	0.53	0.67	0.61	0.60	0.71
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
total	101.10	100.26	101.28	101.52	101.45	100.29	100.34	100.12	100.73	101.49	101.13	101.16	101.40	101.99	102.21	102.04	101.36
Si	1.886	1.893	1.885	1.908	1.897	1.898	1.895	1.893	1.947	1.947	1.895	1.898	1.891	1.894	1.905	1.898	1.899
Ti	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001
Al	0.199	0.198	0.201	0.148	0.159	0.185	0.171	0.175	0.088	0.085	0.170	0.171	0.185	0.183	0.158	0.177	0.177
Cr	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.446	0.453	0.468	0.422	0.414	0.440	0.450	0.440	0.390	0.389	0.400	0.412	0.411	0.397	0.389	0.399	0.395
Mn	0.010	0.011	0.010	0.010	0.009	0.016	0.013	0.015	0.014	0.014	0.011	0.011	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011
Mg	1.448	1.425	1.420	1.502	1.519	1.441	1.461	1.469	1.543	1.549	1.518	1.500	1.493	1.503	1.527	1.501	1.502
Ca	0.023	0.025	0.025	0.024	0.022	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.021	0.022	0.020	0.025	0.023	0.022	0.027
Na	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
total	4.013	4.007	4.012	4.017	4.022	4.008	4.018	4.019	4.008	4.010	4.018	4.016	4.015	4.014	4.015	4.011	4.012
Mg#	0.765	0.759	0.752	0.781	0.786	0.766	0.765	0.770	0.798	0.799	0.791	0.785	0.784	0.791	0.797	0.790	0.792

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.3. continued**

Pyroxene-hornblende gabbro																	
Sample No.	Ich-M038					Ich-M047			Ich-M048			Ich-M050			Ich-M052		
	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	53.88	54.00	53.85	53.83	53.60	52.94	52.97	52.47	52.96	52.79	52.73	52.32	52.94	54.26	53.28	53.38	53.45
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.02	0.06	0.05	0.00	0.09	0.07	0.11	0.04	0.05	0.10	0.07	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.56	3.82	4.27	3.28	3.77	4.93	4.59	4.74	4.44	4.22	4.43	4.41	4.47	3.62	4.82	4.00	4.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00
FeO*	14.09	14.12	13.70	13.28	13.67	15.34	14.31	15.75	14.21	15.08	14.94	15.22	13.12	12.73	15.44	14.39	13.17
MnO	0.39	0.40	0.42	0.38	0.37	0.33	0.33	0.34	0.41	0.45	0.47	0.42	0.41	0.37	0.36	0.39	0.44
MgO	28.65	28.24	28.52	29.17	28.38	27.15	27.69	26.41	28.04	27.44	27.38	26.52	28.47	29.23	27.41	27.39	28.71
CaO	0.60	0.79	0.67	0.55	0.64	0.62	0.64	0.62	0.59	0.62	0.62	0.67	0.66	0.58	0.57	0.63	0.59
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03	0.02
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
NiO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02
total	101.22	101.41	101.51	100.55	100.43	101.45	100.63	100.47	100.70	100.65	100.71	99.65	100.17	100.95	101.94	100.25	100.45
Si	1.906	1.907	1.896	1.911	1.908	1.879	1.887	1.885	1.886	1.889	1.885	1.892	1.886	1.912	1.882	1.909	1.899
Ti	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.002	0.003	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
Al	0.148	0.159	0.177	0.137	0.158	0.206	0.193	0.201	0.186	0.178	0.187	0.188	0.188	0.150	0.200	0.169	0.168
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Fe	0.417	0.417	0.404	0.394	0.407	0.455	0.426	0.473	0.423	0.451	0.447	0.460	0.391	0.375	0.456	0.430	0.391
Mn	0.012	0.012	0.013	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.012	0.014	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.012	0.013
Mg	1.511	1.487	1.497	1.543	1.505	1.437	1.471	1.414	1.488	1.464	1.459	1.430	1.512	1.535	1.443	1.460	1.520
Ca	0.023	0.030	0.025	0.021	0.025	0.024	0.024	0.024	0.023	0.024	0.024	0.026	0.025	0.022	0.022	0.024	0.022
Na	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.002	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
total	4.018	4.013	4.014	4.019	4.014	4.015	4.015	4.013	4.020	4.021	4.019	4.012	4.017	4.012	4.017	4.007	4.017
Mg#	0.784	0.781	0.788	0.797	0.787	0.759	0.775	0.749	0.779	0.764	0.766	0.756	0.795	0.804	0.760	0.772	0.795

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.3. continued**

Pyroxene-hornblende gabbroiorite							
Sample No.	Ich-M046						
	D-type	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	53.85	54.59	53.78	53.86	54.72	53.56	54.04
TiO <sub>2</sub>	0.21	0.16	0.16	0.17	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.31	3.46	3.27	3.12	2.88	4.55	4.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.07	0.09	0.13	0.00	0.00	0.00
FeO*	13.82	13.30	13.40	13.44	12.25	12.15	12.54
MnO	0.36	0.31	0.33	0.28	0.24	0.24	0.27
MgO	28.38	29.09	28.61	28.87	29.88	29.17	29.45
CaO	0.64	0.62	0.61	0.58	0.48	0.39	0.41
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04
total	100.73	101.65	100.29	100.51	100.51	100.11	100.83
Si	1.913	1.915	1.915	1.914	1.930	1.896	1.903
Ti	0.006	0.004	0.004	0.005	0.000	0.000	0.000
Al	0.139	0.143	0.137	0.131	0.120	0.190	0.169
Cr	0.003	0.002	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000
Fe	0.410	0.390	0.399	0.399	0.361	0.360	0.369
Mn	0.011	0.009	0.010	0.008	0.007	0.007	0.008
Mg	1.503	1.521	1.519	1.529	1.572	1.540	1.546
Ca	0.024	0.023	0.023	0.022	0.018	0.015	0.015
Na	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
total	4.012	4.010	4.012	4.015	4.010	4.009	4.012
Mg#	0.785	0.796	0.792	0.793	0.813	0.811	0.807

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.4.** Major-element compositions (in wt%) of clinopyroxenes in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro													
	Ich-2001										S-type	S-type	S-type	S-type
	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	D-type rim	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	48.81	47.91	48.69	48.88	48.73	48.95	49.63	48.93	49.21	50.12	49.69	49.78	49.06	50.84
TiO <sub>2</sub>	0.86	0.78	0.86	0.81	0.76	0.82	0.51	0.72	0.68	0.38	0.42	0.48	0.72	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.64	6.96	7.04	7.03	7.09	7.18	5.59	6.32	6.52	5.64	5.52	5.79	6.86	4.68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
FeO*	6.39	6.85	6.63	7.12	6.86	7.02	6.83	6.94	7.27	6.79	6.76	7.23	6.99	6.33
MnO	0.17	0.19	0.18	0.17	0.16	0.18	0.19	0.20	0.20	0.20	0.17	0.17	0.17	0.13
MgO	13.31	13.15	13.20	13.36	13.26	13.37	13.63	13.24	13.41	14.19	13.81	13.83	13.62	14.70
CaO	23.11	22.69	22.98	23.10	22.86	22.85	22.94	22.99	22.75	23.13	23.08	22.69	23.11	23.02
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.22	0.25	0.20	0.24	0.25	0.24	0.23	0.25	0.21	0.23	0.30	0.25	0.20
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
total	99.53	98.74	99.81	100.68	99.97	100.62	99.58	99.56	100.28	100.66	99.69	100.27	100.81	100.25
Si	1.819	1.804	1.811	1.806	1.810	1.807	1.850	1.827	1.825	1.848	1.850	1.845	1.810	1.875
Ti	0.024	0.022	0.024	0.023	0.021	0.023	0.014	0.020	0.019	0.010	0.012	0.013	0.020	0.009
Al	0.292	0.309	0.308	0.306	0.310	0.313	0.246	0.278	0.285	0.245	0.242	0.253	0.298	0.203
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.199	0.216	0.206	0.220	0.213	0.217	0.213	0.217	0.225	0.209	0.211	0.224	0.216	0.195
Mn	0.005	0.006	0.006	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004
Mg	0.739	0.738	0.732	0.736	0.734	0.736	0.758	0.737	0.741	0.780	0.767	0.764	0.749	0.809
Ca	0.923	0.916	0.915	0.915	0.910	0.904	0.917	0.920	0.904	0.914	0.921	0.901	0.913	0.910
Na	0.018	0.016	0.018	0.014	0.018	0.018	0.017	0.017	0.018	0.015	0.017	0.021	0.018	0.014
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
total	4.020	4.027	4.020	4.025	4.022	4.022	4.021	4.022	4.023	4.027	4.025	4.027	4.030	4.020
Mg#	0.788	0.774	0.780	0.770	0.775	0.772	0.781	0.773	0.767	0.788	0.785	0.773	0.777	0.805
Cr#	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al), D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.4.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																	
	Ich-2014									Ich-M006								
	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	D-type rim	
SiO <sub>2</sub>	49.02	49.13	49.10	49.80	48.44	50.53	50.25	50.46	50.11	49.33	49.00	49.24	49.41	49.65	50.10	49.33	49.76	
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.74	0.74	0.56	0.86	0.23	0.19	0.36	0.39	0.59	0.67	0.64	0.62	0.57	0.51	0.66	0.56	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.95	6.71	6.39	5.92	7.22	5.46	5.28	5.58	5.09	6.52	6.57	6.29	6.17	6.17	5.67	6.52	5.88	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	
FeO*	7.30	7.02	6.98	6.77	7.29	6.70	6.60	6.63	6.68	7.05	7.10	6.87	6.83	6.87	6.51	6.94	6.71	
MnO	0.23	0.25	0.19	0.23	0.25	0.21	0.26	0.25	0.22	0.26	0.23	0.20	0.18	0.21	0.21	0.18	0.21	
MgO	13.21	13.69	13.85	14.04	13.31	14.13	14.17	14.30	14.11	13.47	13.42	13.49	13.67	13.58	14.12	13.39	13.85	
CaO	23.09	23.35	23.10	23.33	22.90	23.35	23.04	23.06	23.51	23.70	23.80	23.68	23.53	23.61	23.75	23.51	23.51	
Na <sub>2</sub> O	0.22	0.17	0.22	0.17	0.21	0.19	0.21	0.20	0.22	0.22	0.22	0.24	0.23	0.24	0.22	0.26	0.28	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	
total	100.62	101.06	100.58	100.83	100.48	100.80	100.01	100.84	100.34	101.17	101.03	100.67	100.70	100.90	101.10	100.80	100.75	
Si	1.814	1.810	1.816	1.835	1.796	1.859	1.863	1.854	1.856	1.817	1.809	1.821	1.826	1.830	1.841	1.821	1.836	
Ti	0.017	0.020	0.021	0.016	0.024	0.006	0.005	0.010	0.011	0.016	0.019	0.018	0.017	0.016	0.014	0.018	0.015	
Al	0.303	0.291	0.279	0.257	0.315	0.237	0.230	0.242	0.222	0.283	0.286	0.274	0.269	0.268	0.246	0.283	0.256	
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
Fe	0.226	0.216	0.216	0.209	0.226	0.206	0.205	0.204	0.207	0.217	0.219	0.213	0.211	0.212	0.200	0.214	0.207	
Mn	0.007	0.008	0.006	0.007	0.008	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	
Mg	0.728	0.752	0.763	0.771	0.736	0.775	0.783	0.783	0.779	0.740	0.739	0.744	0.753	0.746	0.773	0.737	0.762	
Ca	0.915	0.922	0.916	0.921	0.910	0.920	0.915	0.908	0.933	0.935	0.942	0.938	0.931	0.933	0.935	0.930	0.929	
Na	0.016	0.012	0.016	0.012	0.015	0.014	0.015	0.014	0.016	0.016	0.016	0.017	0.016	0.017	0.016	0.018	0.020	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	4.026	4.031	4.032	4.027	4.030	4.023	4.024	4.022	4.030	4.033	4.037	4.032	4.031	4.028	4.030	4.028	4.031	
Mg#	0.763	0.777	0.780	0.787	0.765	0.790	0.793	0.793	0.790	0.773	0.771	0.778	0.781	0.779	0.795	0.775	0.786	
Cr#	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al), D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.4.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																	
	Ich-M030									Ich-M031								
	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	D-type rim	S-type	S-type	S-type	
SiO <sub>2</sub>	50.15	49.78	50.11	50.22	50.49	50.78	51.12	51.23	49.47	48.86	48.85	49.02	49.04	49.06	50.84	51.18	50.98	
TiO <sub>2</sub>	0.85	0.75	0.79	0.77	0.72	0.29	0.29	0.32	0.83	0.90	0.86	0.80	0.97	0.92	0.13	0.08	0.25	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.71	5.59	5.55	5.73	5.49	5.07	5.13	4.96	6.43	6.88	6.82	7.13	6.68	6.70	5.39	5.26	5.36	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FeO*	6.16	6.16	6.55	6.28	6.25	6.17	6.29	6.04	6.38	6.45	6.78	6.44	6.42	6.53	6.12	6.21	6.14	
MnO	0.16	0.17	0.19	0.16	0.16	0.21	0.18	0.18	0.23	0.21	0.17	0.18	0.18	0.22	0.23	0.23	0.21	
MgO	14.47	14.51	14.36	14.59	14.58	14.66	14.80	14.93	14.24	13.86	13.88	13.83	13.70	13.92	14.93	14.86	14.69	
CaO	23.07	23.33	22.98	23.37	23.28	23.31	23.44	23.33	23.45	23.69	23.31	23.49	23.56	23.37	23.42	23.70	23.43	
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.21	0.19	0.21	0.21	0.23	0.20	0.20	0.23	0.22	0.24	0.25	0.22	0.22	0.25	0.22	0.20	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
NiO	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	
total	100.81	100.52	100.72	101.35	101.17	100.71	101.44	101.20	101.28	101.10	100.90	101.13	100.78	100.96	101.30	101.75	101.28	
Si	1.841	1.836	1.844	1.836	1.847	1.865	1.864	1.870	1.813	1.798	1.801	1.800	1.808	1.806	1.857	1.862	1.861	
Ti	0.023	0.021	0.022	0.021	0.020	0.008	0.008	0.009	0.023	0.025	0.024	0.022	0.027	0.026	0.004	0.002	0.007	
Al	0.247	0.243	0.240	0.247	0.237	0.220	0.220	0.213	0.278	0.298	0.296	0.308	0.290	0.291	0.232	0.226	0.231	
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Fe	0.189	0.190	0.202	0.192	0.191	0.190	0.192	0.184	0.195	0.199	0.209	0.198	0.198	0.201	0.187	0.189	0.188	
Mn	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.007	0.007	0.005	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.006	
Mg	0.791	0.798	0.787	0.795	0.795	0.803	0.804	0.812	0.778	0.760	0.763	0.757	0.753	0.764	0.813	0.806	0.800	
Ca	0.907	0.922	0.906	0.915	0.912	0.917	0.916	0.913	0.921	0.934	0.921	0.924	0.931	0.922	0.916	0.924	0.916	
Na	0.017	0.015	0.014	0.015	0.015	0.016	0.014	0.014	0.016	0.016	0.017	0.018	0.016	0.016	0.018	0.015	0.014	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	4.021	4.030	4.021	4.027	4.022	4.025	4.025	4.022	4.033	4.036	4.036	4.033	4.028	4.031	4.033	4.031	4.024	
Mg#	0.807	0.808	0.796	0.806	0.806	0.809	0.807	0.815	0.799	0.793	0.785	0.793	0.792	0.792	0.813	0.810	0.810	
Cr#	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al), D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.4.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																	
	Ich-M047			Ich-M048						Ich-M050								
	D-type core	D-type core	D-type core	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	48.66	49.01	49.26	50.07	50.34	49.44	48.34	48.36	48.38	50.35	49.87	50.32	48.39	48.99	48.61	49.80	49.79	51.18
TiO <sub>2</sub>	0.89	0.78	0.95	0.62	0.45	0.64	0.94	0.93	1.00	0.28	0.39	0.40	0.79	0.58	0.75	0.37	0.48	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.08	7.07	7.10	6.09	5.77	6.23	7.25	7.16	7.22	5.49	5.86	5.97	6.90	6.26	6.49	5.59	5.38	4.86
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
FeO*	7.00	7.22	6.93	6.97	6.63	7.14	7.00	6.88	6.80	6.60	6.74	6.97	6.99	7.08	6.94	6.99	6.19	6.12
MnO	0.19	0.16	0.18	0.16	0.19	0.20	0.18	0.15	0.20	0.18	0.20	0.21	0.17	0.21	0.20	0.18	0.23	0.19
MgO	13.37	13.32	13.48	14.02	14.42	13.76	13.56	13.51	13.31	14.46	14.18	14.39	13.29	13.64	13.52	13.89	14.37	14.88
CaO	22.98	22.84	23.18	23.21	23.10	22.81	23.26	23.13	23.35	23.43	23.38	23.37	23.11	22.94	23.04	23.13	23.49	23.62
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.24	0.26	0.27	0.22	0.24	0.19	0.19	0.21	0.17	0.16	0.20	0.24	0.26	0.21	0.23	0.19	0.17
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
NiO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
total	100.42	100.63	101.33	101.41	101.13	100.48	100.72	100.30	100.47	100.98	100.80	101.85	99.90	99.96	99.78	100.20	100.10	101.35
Si	1.802	1.810	1.806	1.834	1.845	1.829	1.788	1.794	1.792	1.849	1.837	1.835	1.804	1.824	1.813	1.847	1.845	1.868
Ti	0.025	0.022	0.026	0.017	0.012	0.018	0.026	0.026	0.028	0.008	0.011	0.011	0.022	0.016	0.021	0.010	0.013	0.009
Al	0.309	0.308	0.307	0.263	0.249	0.272	0.316	0.313	0.315	0.238	0.255	0.257	0.303	0.274	0.285	0.244	0.235	0.209
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Fe	0.217	0.223	0.212	0.213	0.203	0.221	0.216	0.213	0.211	0.203	0.208	0.213	0.218	0.220	0.216	0.217	0.192	0.187
Mn	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006
Mg	0.738	0.734	0.737	0.766	0.788	0.759	0.747	0.747	0.735	0.792	0.779	0.782	0.738	0.757	0.752	0.768	0.794	0.810
Ca	0.912	0.904	0.911	0.911	0.907	0.904	0.922	0.919	0.927	0.922	0.923	0.913	0.923	0.915	0.921	0.919	0.932	0.924
Na	0.017	0.017	0.019	0.019	0.016	0.017	0.014	0.014	0.015	0.012	0.011	0.014	0.017	0.018	0.015	0.016	0.014	0.012
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
total	4.027	4.022	4.024	4.027	4.026	4.026	4.035	4.031	4.030	4.030	4.030	4.032	4.031	4.032	4.031	4.029	4.031	4.024
Mg#	0.773	0.767	0.776	0.782	0.795	0.775	0.775	0.778	0.777	0.796	0.790	0.786	0.772	0.774	0.776	0.780	0.806	0.813
Cr#	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al), D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

**Table 1.4.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro						Pyroxene-hornblende gabbronorite							
	Ich-M052						Ich-M046							
	D-type core	D-type core	D-type core	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim
SiO <sub>2</sub>	49.26	49.26	48.99	51.36	50.71	50.74	50.79	50.97	51.30	51.35	50.66	51.62	50.95	51.84
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.71	0.71	0.19	0.25	0.20	0.72	0.39	0.45	0.44	0.52	0.53	0.59	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.97	6.92	6.95	5.16	4.93	4.88	4.63	5.64	5.09	4.78	5.75	4.53	5.43	4.36
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.28	0.26	0.29	0.24	0.25	0.27	0.27
FeO*	7.08	7.12	7.05	6.85	6.59	6.13	5.32	5.68	5.79	5.97	5.33	5.60	5.82	5.55
MnO	0.23	0.18	0.18	0.22	0.21	0.20	0.16	0.18	0.17	0.19	0.14	0.18	0.14	0.16
MgO	13.72	13.58	13.69	14.61	14.67	14.65	14.75	14.62	14.90	15.54	15.10	15.13	14.35	14.94
CaO	23.21	23.51	23.19	23.22	23.55	23.48	22.78	21.87	22.22	20.99	21.80	22.40	22.48	22.40
Na <sub>2</sub> O	0.18	0.16	0.23	0.18	0.15	0.23	0.54	0.68	0.76	0.85	0.77	0.63	0.74	0.61
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.04
total	101.38	101.44	101.01	101.80	101.06	100.50	99.99	100.31	100.97	100.42	100.36	100.90	100.77	100.57
Si	1.807	1.807	1.805	1.869	1.862	1.869	1.873	1.869	1.873	1.881	1.856	1.884	1.865	1.897
Ti	0.020	0.020	0.020	0.005	0.007	0.005	0.020	0.011	0.012	0.012	0.014	0.014	0.016	0.011
Al	0.301	0.299	0.302	0.221	0.213	0.212	0.201	0.244	0.219	0.206	0.248	0.195	0.234	0.188
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.008
Fe	0.217	0.218	0.217	0.208	0.202	0.189	0.164	0.174	0.177	0.183	0.163	0.171	0.178	0.170
Mn	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.006	0.004	0.005	0.004	0.005
Mg	0.750	0.743	0.752	0.793	0.803	0.804	0.811	0.799	0.811	0.849	0.825	0.823	0.783	0.815
Ca	0.912	0.924	0.915	0.905	0.926	0.926	0.900	0.859	0.869	0.824	0.856	0.876	0.882	0.878
Na	0.013	0.012	0.016	0.013	0.011	0.016	0.039	0.048	0.053	0.060	0.055	0.044	0.053	0.043
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
total	4.028	4.029	4.033	4.022	4.030	4.028	4.022	4.018	4.028	4.030	4.030	4.022	4.024	4.016
Mg#	0.775	0.773	0.776	0.792	0.799	0.810	0.832	0.821	0.821	0.823	0.835	0.828	0.815	0.828
Cr#	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.032	0.034	0.039	0.028	0.036	0.032	0.040

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al), D-type, discrete type; S-type, symplectite type.



**Table 1.5.** Major-element compositions (in wt%) of plagioclases in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																
	Ich-2001						Ich-2014		Ich-M006				Ich-M006				
	core	core	core	core	rim	rim	core	core	core	core	core	core	rim	rim	rim	rim	
SiO <sub>2</sub>	43.38	43.74	44.15	43.88	43.45	43.88	43.67	43.83	43.97	43.93	44.15	43.99	43.96	43.75	43.15	44.06	43.93
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.40	35.65	35.59	35.89	35.76	35.84	35.88	35.97	35.92	36.10	35.98	35.93	35.68	35.91	35.58	35.81	35.87
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	0.22	0.24	0.27	0.22	0.23	0.25	0.25	0.22	0.23	0.23	0.26	0.23	0.23	0.27	0.26	0.30	0.32
MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
MgO	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
CaO	19.85	19.93	19.80	19.70	19.91	19.73	20.15	20.02	20.09	19.91	20.11	19.96	19.87	20.30	20.04	20.00	19.95
Na <sub>2</sub> O	0.28	0.28	0.44	0.35	0.27	0.34	0.27	0.29	0.32	0.25	0.33	0.35	0.33	0.29	0.26	0.32	0.31
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00
total	99.17	99.87	100.28	100.04	99.66	100.06	100.24	100.40	100.54	100.43	100.86	100.51	100.11	100.58	99.31	100.55	100.39
Si	2.028	2.030	2.040	2.031	2.022	2.031	2.021	2.024	2.027	2.026	2.029	2.029	2.035	2.019	2.017	2.032	2.029
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.951	1.950	1.938	1.958	1.961	1.955	1.957	1.958	1.952	1.962	1.949	1.953	1.946	1.954	1.960	1.946	1.953
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.008	0.009	0.010	0.009	0.009	0.010	0.010	0.008	0.009	0.009	0.010	0.009	0.009	0.010	0.010	0.012	0.012
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Mg	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Ca	0.994	0.991	0.980	0.977	0.992	0.979	0.999	0.990	0.993	0.984	0.991	0.986	0.985	1.004	1.004	0.988	0.987
Na	0.026	0.025	0.040	0.031	0.024	0.030	0.024	0.026	0.029	0.022	0.029	0.031	0.030	0.026	0.023	0.029	0.028
K	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
total	5.009	5.007	5.010	5.006	5.010	5.007	5.012	5.010	5.011	5.004	5.010	5.011	5.007	5.017	5.015	5.009	5.009
An	97.5	97.5	96.0	96.9	97.6	97.0	97.6	97.4	97.2	97.8	97.2	96.8	97.0	97.4	97.7	97.1	97.2

An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 1.5. continued**

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																	
	Ich-M030				Ich-M031								Ich-M038					
	core	core	core	rim	core	core	core	core	core	core	rim	rim	core	core	core	core	core	core
SiO <sub>2</sub>	44.04	43.72	43.92	44.10	44.23	44.13	44.35	43.72	43.72	43.86	43.64	44.16	44.00	44.00	43.53	43.37	45.81	45.79
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.58	35.73	35.89	35.81	36.02	35.60	35.82	35.96	35.96	35.72	36.04	35.96	35.47	36.10	35.91	35.69	33.86	33.99
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	0.25	0.21	0.22	0.25	0.18	0.22	0.26	0.23	0.23	0.22	0.30	0.25	0.20	0.20	0.22	0.20	0.35	0.36
MnO	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
MgO	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03
CaO	19.48	20.01	19.87	19.76	20.30	19.77	20.06	20.34	20.34	19.89	20.23	20.07	19.65	20.16	20.23	19.91	17.97	17.98
Na <sub>2</sub> O	0.50	0.37	0.35	0.38	0.29	0.37	0.43	0.27	0.27	0.57	0.29	0.33	0.63	0.34	0.34	0.33	1.52	1.48
K <sub>2</sub> O	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	99.90	100.09	100.33	100.30	101.02	100.13	100.94	100.52	100.52	100.29	100.54	100.82	99.98	100.82	100.26	99.55	99.55	99.63
Si	2.041	2.026	2.029	2.036	2.030	2.041	2.037	2.019	2.019	2.029	2.015	2.030	2.040	2.024	2.016	2.021	2.124	2.121
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.943	1.952	1.954	1.949	1.948	1.941	1.939	1.957	1.957	1.947	1.961	1.949	1.938	1.957	1.960	1.960	1.850	1.855
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.010	0.008	0.008	0.010	0.007	0.009	0.010	0.009	0.009	0.009	0.012	0.010	0.008	0.008	0.008	0.008	0.013	0.014
Mn	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Mg	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Ca	0.967	0.994	0.983	0.977	0.998	0.980	0.987	1.006	1.006	0.986	1.001	0.989	0.976	0.993	1.004	0.994	0.893	0.893
Na	0.045	0.033	0.031	0.034	0.026	0.033	0.039	0.024	0.024	0.051	0.026	0.030	0.056	0.031	0.031	0.030	0.137	0.132
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
total	5.010	5.015	5.010	5.006	5.009	5.005	5.013	5.015	5.015	5.023	5.016	5.010	5.019	5.013	5.020	5.015	5.019	5.017
An	95.5	96.7	96.9	96.7	97.5	96.7	96.2	97.7	97.7	95.0	97.5	97.1	94.6	97.0	97.0	97.0	86.7	87.1

An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 1.5. continued**

Pyroxene-hornblende gabbro																	
Sample No.					Ich-M047			Ich-M048			Ich-M050			Ich-M052			
	core	core	rim	rim	core	core	core	core	core	core	core	core	core	core	core	core	
SiO <sub>2</sub>	43.93	45.29	43.99	44.65	44.98	44.28	43.97	44.00	44.09	43.52	43.36	43.45	43.64	44.53	44.38	44.77	
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.15	33.92	35.36	36.11	35.17	35.58	35.37	35.74	35.74	36.04	35.48	35.03	35.06	35.24	35.71	34.82	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FeO*	0.23	0.34	0.23	0.20	0.33	0.25	0.17	0.28	0.33	0.27	0.19	0.25	0.27	0.39	0.26	0.42	
MnO	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	
MgO	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.06	0.03	0.04	
CaO	19.39	18.31	19.87	20.05	19.67	20.04	20.01	19.91	19.76	20.18	20.34	20.13	19.95	19.89	20.21	19.51	
Na <sub>2</sub> O	0.68	1.32	0.54	0.35	0.70	0.37	0.40	0.45	0.48	0.25	0.25	0.34	0.38	0.53	0.42	0.72	
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.02	0.00	
total	99.40	99.23	100.00	101.40	100.91	100.59	99.94	100.38	100.45	100.27	99.70	99.24	99.35	100.66	101.04	100.28	
Si	2.047	2.109	2.040	2.039	2.065	2.041	2.040	2.032	2.035	2.014	2.020	2.033	2.038	2.052	2.038	2.069	
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
Al	1.931	1.862	1.933	1.943	1.903	1.932	1.933	1.945	1.944	1.966	1.948	1.931	1.930	1.914	1.932	1.896	
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Fe	0.009	0.013	0.009	0.008	0.013	0.010	0.007	0.011	0.013	0.010	0.007	0.010	0.010	0.015	0.010	0.016	
Mn	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mg	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.002	0.003	
Ca	0.968	0.914	0.987	0.981	0.968	0.989	0.995	0.985	0.977	1.001	1.015	1.009	0.998	0.982	0.994	0.966	
Na	0.062	0.119	0.048	0.031	0.063	0.033	0.036	0.040	0.043	0.023	0.022	0.031	0.034	0.047	0.037	0.064	
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	
total	5.018	5.020	5.018	5.005	5.014	5.009	5.011	5.015	5.014	5.014	5.017	5.016	5.014	5.015	5.015	5.015	
An	94.0	88.4	95.3	96.9	93.9	96.8	96.5	96.1	95.8	97.8	97.9	97.0	96.7	95.4	96.4	93.8	

An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 1.5. continued**

Pyroxene-hornblende gabbronorite									
Sample No.	Ich-M046								
	core	core	core	core	core	core	rim	rim	rim
SiO <sub>2</sub>	51.74	51.65	51.70	51.75	51.54	51.25	45.52	48.60	45.67
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.62	30.89	31.00	31.16	30.67	30.88	34.92	32.62	34.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	0.15	0.15	0.13	0.18	0.10	0.14	0.19	0.18	0.21
MnO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
MgO	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
CaO	13.79	13.90	14.06	13.97	13.50	13.70	18.60	15.86	17.94
Na <sub>2</sub> O	4.19	4.04	4.07	3.99	3.96	3.89	1.13	2.71	1.44
K <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01
NiO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
total	100.57	100.70	101.03	101.09	99.84	99.90	100.39	100.00	99.77
Si	2.343	2.335	2.331	2.331	2.346	2.334	2.093	2.226	2.110
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.634	1.646	1.648	1.654	1.645	1.657	1.892	1.760	1.878
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.006	0.006	0.005	0.007	0.004	0.005	0.007	0.007	0.008
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Ca	0.669	0.673	0.679	0.674	0.658	0.668	0.916	0.778	0.888
Na	0.368	0.354	0.356	0.348	0.349	0.343	0.101	0.241	0.129
K	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
total	5.024	5.019	5.023	5.017	5.006	5.010	5.011	5.014	5.015
An	64.4	65.4	65.5	65.8	65.3	66.0	90.1	76.4	87.3

An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 1.6.** Major-element compositions (in wt%) of amphiboles in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																Ich-2014				
	Ich-2001																				
	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	D-type rim	D-type rim	D-type rim	R-type	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	S-type
SiO <sub>2</sub>	42.02	41.39	42.23	41.90	41.55	42.14	41.61	42.38	41.88	41.53	41.82	41.44	41.66	42.67	42.89	42.95	42.59	41.71	42.05	42.74	43.29
TiO <sub>2</sub>	1.69	1.73	1.48	1.56	1.97	1.35	1.57	1.39	1.70	1.48	1.49	1.44	1.31	1.22	1.22	1.26	1.41	1.98	1.90	0.57	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.01	14.95	14.87	15.19	15.43	14.65	14.60	14.85	15.02	15.27	14.95	14.98	15.02	14.80	14.80	14.83	14.83	15.41	15.11	14.52	14.50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	10.22	10.10	9.80	9.87	10.66	9.90	9.96	10.03	10.42	10.21	10.17	10.35	10.52	9.96	10.13	10.46	9.97	10.51	10.43	9.68	9.86
MnO	0.09	0.16	0.14	0.13	0.18	0.13	0.16	0.15	0.12	0.10	0.17	0.12	0.17	0.17	0.12	0.19	0.17	0.20	0.16	0.16	0.16
MgO	13.77	14.00	14.49	14.12	13.77	14.62	14.13	14.46	13.92	14.12	14.03	14.18	13.98	14.59	14.21	14.64	14.38	14.39	14.33	14.91	15.12
CaO	12.08	12.25	12.19	12.47	12.02	12.05	12.43	12.29	11.97	12.12	12.36	12.33	12.30	12.03	11.90	11.96	11.96	12.19	12.05	11.68	11.88
Na <sub>2</sub> O	2.19	2.18	2.19	2.11	2.30	2.32	2.14	2.14	2.27	2.24	2.24	2.31	2.17	2.23	2.10	2.32	2.15	2.30	2.22	2.26	2.14
K <sub>2</sub> O	0.22	0.24	0.10	0.18	0.30	0.13	0.24	0.13	0.24	0.18	0.16	0.22	0.40	0.11	0.14	0.13	0.09	0.20	0.22	0.04	0.05
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00
total	97.28	97.01	97.49	97.51	98.18	97.29	96.84	97.81	97.53	97.24	97.39	97.38	97.55	97.80	97.53	98.74	97.54	98.89	98.48	96.60	97.62
Si	6.137	6.077	6.143	6.102	6.039	6.148	6.116	6.150	6.111	6.076	6.111	6.070	6.096	6.184	6.226	6.179	6.185	6.016	6.079	6.252	6.266
Ti	0.184	0.189	0.160	0.170	0.214	0.147	0.172	0.151	0.185	0.161	0.163	0.158	0.144	0.132	0.133	0.136	0.152	0.213	0.205	0.063	0.069
Al	2.563	2.565	2.531	2.587	2.618	2.503	2.510	2.523	2.562	2.614	2.557	2.568	2.575	2.514	2.518	2.499	2.521	2.595	2.551	2.498	2.466
Cr	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	1.238	1.230	1.183	1.193	1.283	1.201	1.216	1.209	1.261	1.241	1.234	1.260	1.279	1.201	1.223	1.251	1.202	1.256	1.250	1.181	1.190
Mn	0.011	0.019	0.017	0.016	0.022	0.016	0.020	0.018	0.014	0.012	0.021	0.015	0.020	0.021	0.015	0.023	0.021	0.024	0.020	0.019	0.020
Mg	2.975	3.039	3.121	3.043	2.956	3.159	3.074	3.107	3.004	3.058	3.034	3.074	3.031	3.134	3.058	3.120	3.092	3.065	3.062	3.242	3.251
Ca	1.875	1.912	1.886	1.931	1.854	1.871	1.943	1.898	1.857	1.886	1.921	1.922	1.917	1.858	1.841	1.832	1.848	1.867	1.850	1.826	1.837
Na	0.614	0.615	0.614	0.591	0.642	0.651	0.605	0.599	0.638	0.632	0.631	0.652	0.613	0.623	0.588	0.644	0.602	0.638	0.616	0.639	0.598
K	0.041	0.045	0.019	0.033	0.056	0.023	0.045	0.024	0.044	0.034	0.029	0.041	0.075	0.021	0.026	0.024	0.017	0.036	0.040	0.008	0.008
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.000
total	15.639	15.692	15.674	15.666	15.685	15.721	15.701	15.679	15.676	15.713	15.701	15.760	15.749	15.688	15.629	15.707	15.641	15.709	15.674	15.733	15.704
Mg#	0.71	0.71	0.73	0.72	0.70	0.72	0.72	0.72	0.70	0.71	0.71	0.71	0.70	0.72	0.71	0.71	0.72	0.71	0.71	0.73	0.73
K#	0.06	0.07	0.03	0.05	0.08	0.03	0.07	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06	0.11	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01	0.01

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; K#, K/(Na+K), D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type.

**Table 1.6.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																			
	Ich-M006														Ich-M030					
	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	D-type rim	D-type rim	D-type rim	S-type	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	42.46	42.30	41.69	41.93	41.47	42.77	42.27	42.43	42.42	41.85	42.02	41.20	42.04	42.33	42.21	41.95	42.82	42.71	42.68	42.88
TiO <sub>2</sub>	1.25	1.09	1.02	1.40	1.35	1.16	0.88	1.09	1.39	0.58	0.64	0.69	0.67	2.42	2.27	2.38	2.01	1.04	1.29	1.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.56	15.38	15.08	14.37	14.88	14.64	15.62	14.33	14.27	15.85	16.35	16.04	15.98	14.47	14.52	14.58	14.12	14.80	14.79	15.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	10.33	9.94	10.00	10.53	10.32	10.34	9.68	9.92	10.42	10.09	10.42	10.49	10.66	9.81	9.36	9.47	8.92	9.26	9.51	9.30
MnO	0.16	0.16	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.16	0.16	0.17	0.20	0.19	0.11	0.10	0.14	0.13	0.12	0.12	0.14	0.13
MgO	15.05	14.69	14.33	13.71	14.41	14.81	15.01	14.78	14.34	14.97	14.33	13.17	14.35	14.54	14.97	14.66	15.34	15.21	15.09	15.19
CaO	12.22	12.46	12.57	12.63	12.42	12.32	12.31	12.31	12.41	12.27	12.04	11.94	12.07	12.23	12.33	12.16	12.09	12.04	12.05	12.12
Na <sub>2</sub> O	2.33	2.31	2.13	2.10	2.22	2.37	2.45	2.28	2.15	2.45	2.43	2.23	2.41	2.39	2.42	2.26	2.32	2.31	2.25	2.31
K <sub>2</sub> O	0.18	0.15	0.35	0.34	0.21	0.18	0.15	0.31	0.32	0.33	0.46	0.43	0.42	0.23	0.20	0.23	0.19	0.06	0.07	0.07
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00
total	98.54	98.48	97.36	97.21	97.43	98.74	98.53	97.65	97.88	98.53	98.89	96.39	98.73	98.52	98.43	97.83	97.95	97.54	97.87	98.24
Si	6.134	6.101	6.099	6.158	6.071	6.162	6.086	6.179	6.176	6.047	6.051	6.090	6.070	6.107	6.088	6.087	6.178	6.185	6.168	6.166
Ti	0.135	0.118	0.112	0.154	0.148	0.125	0.095	0.119	0.151	0.062	0.069	0.076	0.072	0.260	0.244	0.257	0.216	0.113	0.139	0.132
Al	2.465	2.602	2.588	2.472	2.551	2.472	2.640	2.447	2.433	2.691	2.767	2.786	2.711	2.433	2.442	2.465	2.379	2.513	2.504	2.530
Cr	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	1.241	1.193	1.218	1.285	1.255	1.239	1.160	1.202	1.261	1.215	1.251	1.293	1.283	1.170	1.117	1.136	1.066	1.115	1.142	1.112
Mn	0.020	0.019	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.020	0.019	0.021	0.024	0.023	0.013	0.011	0.017	0.016	0.015	0.015	0.017	0.016
Mg	3.222	3.142	3.111	2.983	3.124	3.164	3.208	3.193	3.092	3.215	3.068	2.892	3.079	3.092	3.186	3.135	3.270	3.267	3.232	3.236
Ca	1.879	1.916	1.961	1.974	1.935	1.891	1.891	1.911	1.923	1.894	1.853	1.886	1.862	1.869	1.886	1.870	1.852	1.858	1.854	1.856
Na	0.648	0.641	0.600	0.595	0.625	0.659	0.682	0.641	0.602	0.683	0.677	0.636	0.673	0.661	0.669	0.627	0.644	0.645	0.627	0.641
K	0.033	0.028	0.065	0.063	0.038	0.032	0.027	0.057	0.059	0.060	0.084	0.081	0.078	0.042	0.037	0.042	0.034	0.011	0.012	0.013
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.003	0.000	0.002	0.000
total	15.776	15.759	15.775	15.709	15.768	15.763	15.809	15.772	15.716	15.888	15.845	15.764	15.844	15.647	15.687	15.639	15.656	15.722	15.697	15.703
Mg#	0.72	0.72	0.72	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.71	0.73	0.71	0.69	0.71	0.73	0.74	0.73	0.75	0.75	0.74	0.74
K#	0.05	0.04	0.10	0.10	0.06	0.05	0.04	0.08	0.09	0.08	0.11	0.11	0.10	0.06	0.05	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; K#, K/(Na+K), D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type.

Table 1.6. continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																			
	Ich-M031										Ich-M038		Ich-M047							
	D-type core	D-type core	D-type core	D-type core	D-type rim	D-type rim	R-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	D-type core	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	41.78	41.97	42.69	41.36	41.72	42.65	42.30	44.02	44.06	43.10	42.85	42.83	42.21	41.85	41.32	42.48	42.37	42.70	42.41	42.74
TiO <sub>2</sub>	2.27	2.42	1.99	1.52	1.95	1.75	1.55	0.33	0.47	0.94	0.76	0.78	1.80	2.15	2.21	1.67	1.50	1.72	1.38	1.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.13	15.11	14.23	15.75	15.44	14.73	14.35	14.94	14.95	14.32	15.09	14.95	15.41	15.11	15.17	14.50	14.78	14.55	14.61	15.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	10.06	10.04	9.18	9.44	10.17	9.49	8.96	8.78	8.84	8.83	9.46	9.34	9.80	10.15	10.55	9.71	9.49	10.06	10.19	10.20
MnO	0.16	0.16	0.13	0.16	0.16	0.16	0.14	0.15	0.13	0.16	0.12	0.20	0.12	0.10	0.14	0.14	0.13	0.13	0.16	0.12
MgO	14.36	14.24	15.31	14.76	14.11	14.85	15.37	15.89	15.95	15.43	15.39	15.26	14.78	14.17	13.81	14.62	14.65	14.86	14.78	13.90
CaO	12.31	12.27	12.12	12.65	12.39	12.25	12.56	12.16	12.14	12.12	12.21	12.21	12.41	12.20	12.19	12.47	12.18	12.29	12.16	11.98
Na <sub>2</sub> O	2.48	2.37	2.34	2.41	2.44	2.41	2.29	2.27	2.26	2.23	2.46	2.41	2.28	2.14	2.29	2.12	2.18	2.30	2.15	2.25
K <sub>2</sub> O	0.22	0.23	0.18	0.16	0.17	0.18	0.12	0.04	0.07	0.12	0.10	0.06	0.37	0.32	0.41	0.15	0.22	0.13	0.19	0.19
NiO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03
total	98.79	98.81	98.17	98.19	98.55	98.52	97.64	98.61	98.90	97.26	98.44	98.04	99.19	98.19	98.08	97.87	97.51	98.73	98.06	97.99
Si	6.028	6.047	6.155	5.988	6.031	6.139	6.135	6.274	6.262	6.247	6.159	6.178	6.050	6.066	6.021	6.158	6.155	6.144	6.148	6.187
Ti	0.244	0.259	0.214	0.164	0.210	0.188	0.168	0.035	0.050	0.102	0.082	0.084	0.192	0.232	0.239	0.180	0.163	0.185	0.149	0.167
Al	2.545	2.537	2.396	2.669	2.607	2.478	2.436	2.506	2.499	2.436	2.547	2.532	2.582	2.555	2.578	2.458	2.513	2.447	2.480	2.546
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	1.202	1.196	1.097	1.134	1.219	1.134	1.079	1.045	1.049	1.066	1.133	1.122	1.165	1.218	1.272	1.168	1.145	1.201	1.228	1.226
Mn	0.019	0.020	0.016	0.019	0.019	0.020	0.018	0.018	0.015	0.020	0.015	0.024	0.014	0.012	0.018	0.017	0.016	0.015	0.019	0.015
Mg	3.056	3.023	3.261	3.162	3.014	3.161	3.299	3.371	3.374	3.319	3.286	3.270	3.132	3.030	2.968	3.134	3.151	3.161	3.173	2.978
Ca	1.883	1.872	1.854	1.948	1.901	1.874	1.937	1.855	1.846	1.874	1.874	1.880	1.890	1.875	1.884	1.922	1.883	1.880	1.876	1.845
Na	0.686	0.654	0.648	0.671	0.677	0.667	0.638	0.626	0.621	0.625	0.684	0.672	0.629	0.596	0.639	0.591	0.609	0.636	0.601	0.626
K	0.040	0.042	0.032	0.030	0.032	0.034	0.022	0.007	0.012	0.021	0.017	0.011	0.066	0.059	0.075	0.028	0.040	0.024	0.035	0.035
Ni	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.003	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.003
total	15.704	15.650	15.674	15.785	15.710	15.699	15.732	15.740	15.732	15.712	15.798	15.774	15.723	15.643	15.694	15.658	15.675	15.692	15.713	15.629
Mg#	0.72	0.72	0.75	0.74	0.71	0.74	0.75	0.76	0.76	0.76	0.74	0.74	0.73	0.71	0.70	0.73	0.73	0.72	0.72	0.71
K#	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.05	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.10	0.09	0.10	0.05	0.06	0.04	0.06	0.05

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; K#, K/(Na+K), D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type.

Table 1.6. continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro															
	Ich-M048								Ich-M050							
	D-type core	D-type core	D-type core	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type	D-type core	D-type core	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	42.85	41.92	41.80	42.74	42.82	42.55	43.96	43.28	41.63	42.15	42.92	42.77	42.60	42.91	42.54	42.71
TiO <sub>2</sub>	1.55	1.87	2.07	1.39	1.13	1.63	0.50	0.93	1.97	1.55	1.28	0.91	1.16	0.90	0.94	1.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.23	15.15	15.06	14.65	14.64	14.27	14.40	14.33	14.98	14.31	14.55	14.14	14.91	14.68	14.32	14.83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03
FeO*	9.69	9.65	9.84	9.82	9.67	9.50	9.16	9.96	10.20	9.21	9.98	9.93	9.87	10.26	9.35	9.71
MnO	0.15	0.16	0.15	0.14	0.16	0.14	0.16	0.12	0.15	0.12	0.15	0.13	0.14	0.16	0.18	0.17
MgO	15.06	14.41	14.54	14.92	14.99	14.84	15.46	15.13	13.72	15.34	14.86	14.74	14.47	14.99	15.31	15.03
CaO	12.40	12.38	12.41	12.22	12.11	12.34	12.13	12.07	12.22	12.13	12.32	12.29	12.27	12.17	12.14	12.35
Na <sub>2</sub> O	1.89	1.93	2.06	1.98	1.95	2.03	1.80	1.98	2.04	2.22	2.12	1.96	2.05	2.22	2.03	2.15
K <sub>2</sub> O	0.16	0.19	0.17	0.10	0.04	0.11	0.03	0.03	0.30	0.21	0.25	0.09	0.17	0.08	0.22	0.15
NiO	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
total	98.01	97.66	98.10	97.98	97.52	97.39	97.62	97.82	97.23	97.24	98.42	96.98	97.66	98.39	97.04	98.22
Si	6.194	6.087	6.055	6.177	6.206	6.186	6.329	6.255	6.095	6.141	6.189	6.248	6.182	6.189	6.204	6.162
Ti	0.168	0.203	0.223	0.150	0.122	0.177	0.054	0.100	0.215	0.168	0.138	0.100	0.126	0.098	0.103	0.117
Al	2.407	2.571	2.546	2.479	2.488	2.426	2.437	2.430	2.561	2.439	2.458	2.425	2.537	2.486	2.450	2.510
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003
Fe	1.163	1.161	1.180	1.180	1.166	1.147	1.100	1.198	1.237	1.114	1.196	1.208	1.191	1.233	1.136	1.166
Mn	0.018	0.019	0.018	0.017	0.020	0.017	0.019	0.015	0.018	0.015	0.018	0.016	0.017	0.019	0.022	0.021
Mg	3.221	3.092	3.109	3.195	3.222	3.190	3.312	3.244	2.966	3.307	3.174	3.196	3.113	3.210	3.313	3.218
Ca	1.906	1.909	1.908	1.880	1.870	1.907	1.867	1.861	1.900	1.879	1.891	1.916	1.897	1.873	1.888	1.901
Na	0.525	0.540	0.574	0.552	0.545	0.567	0.502	0.553	0.575	0.622	0.588	0.553	0.574	0.617	0.571	0.598
K	0.029	0.034	0.031	0.017	0.008	0.019	0.006	0.005	0.056	0.039	0.046	0.017	0.032	0.014	0.041	0.027
Ni	0.004	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002
total	15.636	15.617	15.645	15.650	15.648	15.635	15.629	15.662	15.625	15.724	15.697	15.680	15.669	15.741	15.728	15.725
Mg#	0.73	0.73	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.73	0.71	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.74	0.73
K#	0.05	0.06	0.05	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.09	0.06	0.07	0.03	0.05	0.02	0.07	0.04

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; K#, K/(Na+K), D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type.



**Table 1.6.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro									Pyroxene-hornblende gabbronorite						
	Ich-M052									Ich-M046						
	D-type core	D-type core	D-type core	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type	S-type	R-type	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	42.53	42.37	42.44	42.93	43.53	42.71	43.99	43.34	42.96	42.75	44.28	43.76	43.92	42.74	42.96	43.13
TiO <sub>2</sub>	1.34	1.45	1.42	1.28	0.78	1.20	0.60	0.71	0.53	0.89	2.21	0.92	1.56	0.14	0.11	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.72	15.13	15.20	14.73	14.62	14.64	14.63	14.69	14.46	15.50	12.43	14.59	14.06	16.24	16.22	16.73
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.16	0.24	0.00	0.00	0.00
FeO*	9.91	10.03	9.72	10.00	10.00	9.91	9.92	9.90	9.16	8.37	8.29	8.47	8.58	8.28	8.30	8.53
MnO	0.19	0.14	0.21	0.14	0.18	0.15	0.16	0.18	0.13	0.13	0.10	0.15	0.11	0.13	0.12	0.11
MgO	14.11	14.79	14.36	14.78	15.04	14.56	15.40	14.95	15.15	15.27	15.42	15.69	15.50	15.85	15.88	15.91
CaO	12.34	12.48	12.50	12.52	12.21	12.24	12.11	12.12	12.22	11.82	11.71	11.80	11.83	11.20	11.43	11.04
Na <sub>2</sub> O	2.01	2.08	2.06	2.14	2.07	2.04	2.00	2.09	2.23	2.71	2.56	2.59	2.58	2.69	2.73	2.70
K <sub>2</sub> O	0.23	0.27	0.28	0.22	0.08	0.17	0.09	0.05	0.08	0.12	0.13	0.08	0.13	0.12	0.07	0.11
NiO	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.04	0.07	0.04	0.06	0.04	0.09	0.04
total	97.38	98.76	98.21	98.76	98.54	97.63	98.91	98.04	96.92	97.60	97.55	98.22	98.55	97.43	97.90	98.45
Si	6.195	6.098	6.132	6.171	6.251	6.200	6.280	6.251	6.256	6.164	6.387	6.263	6.274	6.152	6.157	6.140
Ti	0.146	0.155	0.154	0.138	0.084	0.130	0.064	0.077	0.058	0.096	0.238	0.099	0.166	0.015	0.012	0.016
Al	2.511	2.549	2.571	2.481	2.465	2.490	2.455	2.489	2.475	2.623	2.095	2.452	2.354	2.755	2.739	2.806
Cr	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.018	0.027	0.000	0.000	0.000
Fe	1.199	1.199	1.166	1.195	1.196	1.197	1.180	1.190	1.113	1.006	0.992	1.010	1.019	0.997	0.995	1.014
Mn	0.024	0.017	0.026	0.017	0.022	0.018	0.019	0.021	0.016	0.015	0.012	0.018	0.013	0.015	0.014	0.013
Mg	3.044	3.152	3.072	3.149	3.208	3.134	3.269	3.202	3.280	3.270	3.289	3.336	3.281	3.399	3.392	3.376
Ca	1.914	1.912	1.922	1.918	1.871	1.893	1.847	1.867	1.902	1.818	1.795	1.803	1.801	1.727	1.755	1.682
Na	0.563	0.577	0.574	0.592	0.575	0.571	0.553	0.582	0.628	0.755	0.710	0.715	0.711	0.749	0.757	0.745
K	0.042	0.050	0.052	0.040	0.014	0.031	0.016	0.009	0.014	0.022	0.023	0.015	0.024	0.022	0.013	0.021
Ni	0.000	0.000	0.001	0.004	0.003	0.002	0.002	0.000	0.000	0.004	0.008	0.004	0.007	0.005	0.010	0.005
total	15.639	15.712	15.671	15.705	15.690	15.667	15.685	15.688	15.743	15.774	15.589	15.733	15.677	15.836	15.846	15.818
Mg#	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.72	0.73	0.73	0.75	0.76	0.77	0.77	0.76	0.77	0.77	0.77
K#	0.07	0.08	0.08	0.06	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03

Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; K#, K/(Na+K), D-type, discrete type; R-type, replacement type; S-type, symplectite type.

**Table 1.7.** Major-element compositions (in wt%) of spinels in gabbros from Ichinomegata.

Pyroxene-hornblende gabbro														
Sample No.	Ich-2001													
	D-type		D-type		D-type		D-type		D-type		S-type	S-type	S-type	S-type
	Spl part	Spl part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part				
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.19	0.22	0.27	4.67	0.30	4.79	0.22	4.12	0.10	0.15	0.20	0.19	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.08	55.69	54.54	52.35	10.45	51.90	9.81	51.24	10.55	56.63	55.67	55.48	54.78	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.06	0.08	0.08	0.07	0.16	0.07	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.32	20.37	20.63	20.62	31.46	19.96	31.16	21.37	31.37	19.04	19.98	20.75	19.44	
FeO	11.72	10.82	11.72	13.27	48.07	14.48	48.26	13.17	49.54	10.61	10.65	11.55	12.85	
MnO	0.21	0.21	0.23	0.17	0.27	0.20	0.24	0.22	0.26	0.18	0.19	0.20	0.19	
MgO	12.61	13.52	13.18	12.78	3.37	13.30	3.47	11.83	3.29	14.49	13.64	13.41	14.18	
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.10	0.05	0.10	0.03	
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.04	0.04	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04	0.03	0.00	0.05	
total	100.26	100.84	100.63	99.56	98.40	100.28	97.97	98.12	99.29	101.21	100.38	101.70	101.69	
Si	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.004	0.004	0.004	0.006	0.126	0.006	0.130	0.005	0.110	0.002	0.003	0.004	0.004	0.004
Al	1.745	1.770	1.747	1.708	0.442	1.683	0.417	1.706	0.443	1.779	1.774	1.755	1.730	
Cr	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>3+</sup>	0.242	0.220	0.240	0.276	1.298	0.300	1.312	0.280	1.327	0.213	0.217	0.233	0.259	
Fe <sup>2+</sup>	0.488	0.459	0.469	0.477	0.944	0.459	0.941	0.505	0.934	0.424	0.452	0.466	0.436	
Mn	0.005	0.005	0.005	0.004	0.008	0.005	0.007	0.005	0.008	0.004	0.004	0.005	0.004	
Mg	0.515	0.543	0.534	0.527	0.180	0.545	0.187	0.498	0.174	0.576	0.550	0.536	0.567	
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.003	0.001	0.003	0.001	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	
total	3.001	3.001	3.002	3.001	3.002	3.002	3.002	3.001	3.001	3.002	3.002	3.002	3.002	
Mg#	0.513	0.542	0.532	0.525	0.160	0.543	0.166	0.497	0.157	0.576	0.549	0.535	0.565	
Cr#	0.001	0.000	0.001	0.001	0.005	0.001	0.011	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	
Y <sub>Cr</sub>	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	
Y <sub>Al</sub>	0.878	0.890	0.879	0.860	0.254	0.848	0.241	0.858	0.250	0.893	0.891	0.883	0.870	
Y <sub>Fe</sub>	0.122	0.110	0.121	0.139	0.745	0.151	0.757	0.141	0.749	0.107	0.109	0.117	0.130	
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.335	0.328	0.345	0.373	0.653	0.402	0.659	0.361	0.651	0.337	0.328	0.338	0.377	

D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. Y<sub>R<sup>3+</sup></sub>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometric

**Table 1.7. continued**

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro												Pyroxene-hornblende gabbro							
	Ich-2014				Ich-M006				S-type	S-type	S-type	Ich-M006		D-type		D-type		D-type		
	D-type		D-type		D-type		D-type					D-type	D-type	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part			
	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part				D-type	D-type	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part			
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.02	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01			
TiO <sub>2</sub>	0.19	3.36	0.23	3.61	0.25	4.20	0.26	3.85	0.08	0.08	0.13	0.15	0.19	0.14	2.40	0.13	2.74			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52.30	10.85	52.55	11.00	52.46	10.55	52.17	10.38	55.69	55.60	55.39	52.54	52.78	52.23	11.39	52.32	11.17			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.06	0.07	0.00	0.08	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.19	0.23	0.09	0.09			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.69	30.21	20.90	30.56	20.68	30.85	19.87	30.55	19.46	19.71	19.49	21.13	20.18	21.00	29.90	20.73	30.30			
FeO	13.79	50.27	13.03	50.01	12.98	49.20	13.47	49.84	10.92	11.74	11.53	14.08	13.62	13.88	52.32	13.70	52.04			
MnO	0.25	0.32	0.24	0.30	0.22	0.27	0.26	0.35	0.28	0.25	0.26	0.30	0.32	0.35	0.36	0.34	0.40			
MgO	12.76	3.45	12.59	3.50	12.67	3.55	13.15	3.46	13.94	13.97	14.00	12.64	13.18	12.56	3.43	12.67	3.35			
CaO	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.03	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.04	0.02	0.00	0.04	0.00			
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00			
NiO	0.02	0.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.06	0.02	0.05	0.04			
total	100.04	98.53	99.65	99.08	99.32	98.96	99.30	98.61	100.43	101.37	100.89	101.02	100.37	100.45	100.04	100.05	100.13			
Si	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Ti	0.004	0.091	0.005	0.096	0.005	0.112	0.005	0.104	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.003	0.064	0.003	0.073			
Al	1.701	0.458	1.714	0.461	1.715	0.442	1.703	0.438	1.771	1.757	1.757	1.697	1.706	1.697	0.473	1.703	0.464			
Cr	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.002	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004	0.006	0.002	0.002			
Fe <sup>3+</sup>	0.287	1.354	0.271	1.339	0.271	1.318	0.281	1.343	0.222	0.237	0.233	0.290	0.281	0.288	1.388	0.285	1.381			
Fe <sup>2+</sup>	0.478	0.904	0.484	0.909	0.480	0.918	0.460	0.915	0.439	0.442	0.439	0.484	0.463	0.484	0.881	0.479	0.894			
Mn	0.006	0.010	0.006	0.009	0.005	0.008	0.006	0.010	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.008	0.011	0.008	0.012			
Mg	0.525	0.184	0.519	0.185	0.524	0.189	0.543	0.185	0.561	0.558	0.562	0.517	0.539	0.516	0.180	0.521	0.176			
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Na	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.000	0.002	0.000			
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000			
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001			
total	3.002	3.004	3.003	3.003	3.002	2.999	3.003	3.002	3.002	3.002	3.002	3.004	3.003	3.003	3.003	3.004	3.003			
Mg#	0.524	0.169	0.518	0.169	0.522	0.170	0.541	0.168	0.561	0.558	0.562	0.516	0.538	0.516	0.170	0.521	0.165			
Cr#	0.000	0.003	0.001	0.004	0.000	0.005	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.013	0.001	0.005			
Y <sub>Cr</sub>	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.003	0.001	0.001			
Y <sub>Al</sub>	0.856	0.252	0.863	0.256	0.864	0.251	0.858	0.246	0.889	0.881	0.883	0.853	0.858	0.853	0.253	0.856	0.251			
Y <sub>Fe</sub>	0.144	0.747	0.137	0.743	0.136	0.748	0.142	0.753	0.111	0.119	0.117	0.146	0.141	0.145	0.743	0.143	0.748			
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.379	0.652	0.364	0.652	0.366	0.656	0.385	0.655	0.337	0.351	0.350	0.378	0.382	0.376	0.648	0.376	0.649			

D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 1.7.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																
				Ich-M030						Ich-M031							
	S-type	S-type	S-type	D-type		D-type		D-type		S-type	S-type	D-type		D-type		D-type	
				Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part			Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.09	0.12	0.32	6.80	0.31	6.79	0.24	5.88	0.09	0.09	0.24	0.27	5.30	0.30	5.32	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55.15	54.46	52.88	55.01	9.51	54.88	9.44	54.95	9.84	56.89	57.38	54.50	54.08	10.38	53.36	10.43	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.14	0.22	0.21	0.23	0.25	0.23	0.00	0.00	0.01	0.05	0.06	0.00	0.06	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.41	19.78	20.89	19.61	33.13	19.51	33.32	19.68	32.77	17.83	17.87	20.60	20.60	32.25	20.69	32.31	
FeO	12.35	12.33	13.71	11.50	46.07	11.60	46.90	12.14	48.06	10.15	9.77	12.28	12.68	48.45	12.81	47.84	
MnO	0.25	0.30	0.34	0.23	0.32	0.25	0.35	0.26	0.32	0.21	0.23	0.27	0.28	0.35	0.29	0.33	
MgO	14.11	13.64	12.77	14.01	3.73	14.05	3.81	14.05	3.65	15.14	15.22	13.33	13.31	3.61	13.02	3.48	
CaO	0.01	0.03	0.07	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.02	0.01	0.04	0.06	0.02	0.07	0.03	0.05	0.02	0.07	0.07	0.05	0.06	0.01	0.01	0.04	
total	101.37	100.65	100.82	100.91	99.82	100.91	100.90	101.62	100.81	100.52	100.76	101.28	101.33	100.43	100.47	99.87	
Si	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	
Ti	0.002	0.002	0.002	0.006	0.181	0.006	0.179	0.005	0.155	0.002	0.002	0.005	0.005	0.140	0.006	0.142	
Al	1.744	1.741	1.707	1.747	0.397	1.744	0.390	1.737	0.407	1.787	1.796	1.737	1.726	0.430	1.721	0.435	
Cr	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.002	
Fe <sup>3+</sup>	0.249	0.252	0.283	0.233	1.228	0.235	1.238	0.245	1.269	0.204	0.195	0.250	0.258	1.282	0.264	1.273	
Fe <sup>2+</sup>	0.436	0.449	0.479	0.442	0.982	0.440	0.977	0.441	0.962	0.397	0.397	0.466	0.466	0.948	0.473	0.955	
Mn	0.006	0.007	0.008	0.005	0.010	0.006	0.010	0.006	0.009	0.005	0.005	0.006	0.006	0.011	0.007	0.010	
Mg	0.564	0.551	0.521	0.563	0.197	0.565	0.199	0.562	0.191	0.602	0.602	0.537	0.537	0.189	0.531	0.183	
Ca	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Na	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	
total	3.002	3.002	3.003	3.002	3.002	3.002	3.003	3.002	3.002	3.003	3.003	3.002	3.002	3.002	3.002	3.003	
Mg#	0.564	0.551	0.521	0.560	0.167	0.562	0.169	0.560	0.165	0.602	0.603	0.536	0.535	0.166	0.529	0.161	
Cr#	0.000	0.000	0.000	0.002	0.015	0.003	0.016	0.003	0.015	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.004	
Y <sub>Cr</sub>	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.002	0.004	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	
Y <sub>Al</sub>	0.875	0.874	0.858	0.881	0.243	0.879	0.239	0.874	0.242	0.898	0.902	0.874	0.869	0.251	0.867	0.254	
Y <sub>Fe</sub>	0.125	0.126	0.142	0.118	0.753	0.119	0.757	0.123	0.754	0.102	0.098	0.126	0.130	0.748	0.133	0.745	
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.366	0.362	0.374	0.353	0.665	0.356	0.667	0.362	0.661	0.341	0.332	0.354	0.362	0.658	0.364	0.655	

D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 1.7.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro													
					Ich-M038				Ich-M047					
	D-type		S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	
	Spl part	Mgt part												
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	
TiO <sub>2</sub>	0.27	4.69	0.03	0.11	0.08	0.07	0.00	0.01	0.29	0.29	0.30	0.23	0.13	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53.30	10.68	58.75	56.62	56.26	57.18	57.72	56.22	54.27	55.06	53.45	55.42	56.69	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.04	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.01	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.15	31.51	17.10	17.71	18.62	18.49	18.54	18.46	20.67	20.31	21.31	19.90	18.97	
FeO	12.84	48.12	8.93	10.52	11.21	9.96	9.58	11.34	11.95	11.65	12.74	11.18	10.10	
MnO	0.23	0.33	0.22	0.20	0.20	0.26	0.22	0.22	0.19	0.22	0.25	0.19	0.20	
MgO	12.73	3.45	15.92	15.22	14.71	14.82	14.84	14.75	13.17	13.62	12.70	13.80	14.46	
CaO	0.00	0.00	0.06	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.02	0.02	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	
total	100.58	98.88	101.09	100.45	101.22	100.93	101.01	101.08	100.58	101.25	100.79	100.85	100.63	
Si	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	
Ti	0.005	0.126	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.005	0.003	
Al	1.721	0.449	1.818	1.781	1.768	1.793	1.805	1.768	1.741	1.748	1.722	1.760	1.787	
Cr	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	
Fe <sup>3+</sup>	0.265	1.291	0.176	0.211	0.225	0.199	0.191	0.228	0.245	0.236	0.262	0.227	0.203	
Fe <sup>2+</sup>	0.484	0.940	0.375	0.395	0.415	0.412	0.411	0.412	0.471	0.458	0.487	0.448	0.424	
Mn	0.005	0.010	0.005	0.004	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.006	0.004	0.004	
Mg	0.520	0.183	0.623	0.606	0.584	0.588	0.587	0.587	0.534	0.547	0.517	0.554	0.577	
Ca	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	
Na	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	
total	3.002	3.002	3.002	3.002	3.003	3.003	3.003	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.001	
Mg#	0.517	0.163	0.624	0.605	0.585	0.588	0.588	0.587	0.532	0.544	0.515	0.553	0.576	
Cr#	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	
Y <sub>Cr</sub>	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	
Y <sub>Al</sub>	0.866	0.258	0.912	0.894	0.887	0.900	0.904	0.886	0.877	0.880	0.868	0.886	0.898	
Y <sub>Fe</sub>	0.133	0.742	0.088	0.106	0.113	0.100	0.096	0.114	0.123	0.119	0.132	0.114	0.102	
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.359	0.653	0.321	0.351	0.353	0.328	0.318	0.356	0.348	0.346	0.356	0.341	0.327	

D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 1.7.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro															
	Ich-M048					Ich-M050										
	D-type		D-type		D-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type		D-type	S-type	S-type		
Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part				Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part				
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.22	4.15	0.24	5.39	0.21	3.70	0.07	0.15	0.16	0.21	0.20	3.83	0.23	3.50	0.19	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.26	10.46	54.75	10.42	53.55	10.87	56.52	54.71	54.25	53.67	53.32	11.01	52.49	10.88	54.41	53.96
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.05	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.16	0.06	0.05	0.06	0.09	0.00	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.61	29.53	20.28	31.74	20.68	30.70	18.77	19.95	20.44	20.68	20.86	30.75	20.89	30.60	18.22	19.74
FeO	12.10	50.15	11.87	47.35	12.92	49.87	10.82	12.12	12.45	13.42	13.23	49.37	13.83	50.65	12.69	12.32
MnO	0.28	0.36	0.25	0.37	0.26	0.36	0.24	0.23	0.27	0.27	0.20	0.29	0.21	0.29	0.21	0.25
MgO	13.17	4.44	13.51	3.72	13.05	3.41	14.63	13.65	13.29	13.26	12.93	3.46	12.77	3.49	14.68	13.55
CaO	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.04	0.01	0.02
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.04	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.04	0.02	0.05	0.02	0.06	0.01	0.03	0.03
total	100.71	99.21	100.98	99.06	100.72	98.93	101.14	100.86	100.92	101.69	100.88	98.82	100.58	99.60	100.51	100.12
Si	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000
Ti	0.005	0.110	0.005	0.144	0.004	0.099	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.103	0.005	0.093	0.004	0.003
Al	1.739	0.436	1.745	0.437	1.722	0.457	1.776	1.744	1.735	1.711	1.715	0.463	1.699	0.454	1.730	1.735
Cr	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002
Fe <sup>3+</sup>	0.248	1.334	0.242	1.267	0.265	1.338	0.217	0.247	0.254	0.273	0.272	1.324	0.286	1.350	0.258	0.253
Fe <sup>2+</sup>	0.469	0.873	0.459	0.944	0.472	0.916	0.419	0.451	0.464	0.468	0.476	0.917	0.480	0.906	0.411	0.450
Mn	0.006	0.011	0.006	0.011	0.006	0.011	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.009	0.005	0.009	0.005	0.006
Mg	0.534	0.234	0.545	0.197	0.531	0.181	0.581	0.550	0.537	0.535	0.526	0.184	0.523	0.184	0.590	0.551
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Na	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003	0.000	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001
total	3.002	3.003	3.002	3.002	3.002	3.003	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.003	3.002	3.004	3.001	3.002
Mg#	0.532	0.211	0.543	0.173	0.529	0.165	0.581	0.550	0.537	0.533	0.525	0.167	0.521	0.169	0.589	0.550
Cr#	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.003	0.001	0.005	0.000	0.001
Y <sub>Cr</sub>	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
Y <sub>Al</sub>	0.875	0.246	0.878	0.256	0.866	0.254	0.891	0.876	0.872	0.861	0.863	0.259	0.855	0.251	0.870	0.872
Y <sub>Fe</sub>	0.125	0.753	0.122	0.744	0.133	0.746	0.109	0.124	0.128	0.137	0.137	0.741	0.144	0.747	0.130	0.127
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.350	0.672	0.350	0.659	0.364	0.651	0.343	0.357	0.358	0.373	0.368	0.651	0.378	0.652	0.390	0.363

D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 1.7.** continued

Sample No.	Ich-M052									Pyroxene-hornblende gabbronorite		
	D-type		D-type		D-type		S-type	S-type	S-type	Ich-M046		
	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part	Spl part	Mgt part				S-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.04	0.00	0.01	0.02	0.08	0.03	0.03	0.06	0.01	0.00	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.17	2.77	0.09	1.80	0.15	2.09	0.10	0.11	0.08	0.02	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52.55	11.01	52.83	11.09	52.54	11.38	53.86	53.72	54.72	61.79	61.02	62.41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.12	0.09	0.13	0.10	0.11	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.13	30.47	19.64	28.77	20.72	29.19	20.62	19.73	18.55	15.75	15.34	15.75
FeO	13.88	52.34	13.68	53.61	13.66	53.01	13.10	12.85	11.60	4.74	6.75	5.32
MnO	0.25	0.33	0.28	0.33	0.32	0.31	0.26	0.22	0.25	0.13	0.12	0.13
MgO	12.64	3.31	13.44	3.64	12.77	3.65	13.14	13.53	14.24	16.80	17.22	17.19
CaO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.06	0.01	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.02	0.00	0.03	0.04	0.05	0.01	0.06	0.03	0.07	0.27	0.31	0.23
total	100.83	100.45	100.09	99.43	100.36	99.90	101.27	100.26	99.63	99.57	100.78	101.09
Si	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.003	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001
Ti	0.003	0.073	0.002	0.048	0.003	0.055	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
Al	1.699	0.457	1.708	0.464	1.703	0.472	1.722	1.727	1.753	1.901	1.863	1.892
Cr	0.004	0.003	0.002	0.004	0.002	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>3+</sup>	0.286	1.386	0.282	1.430	0.283	1.405	0.267	0.264	0.237	0.093	0.132	0.103
Fe <sup>2+</sup>	0.485	0.897	0.451	0.853	0.477	0.860	0.468	0.450	0.422	0.344	0.332	0.339
Mn	0.006	0.010	0.007	0.010	0.007	0.009	0.006	0.005	0.006	0.003	0.003	0.003
Mg	0.517	0.174	0.549	0.192	0.524	0.192	0.531	0.550	0.577	0.654	0.665	0.659
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Na	0.001	0.004	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.005
total	3.002	3.004	3.002	3.003	3.002	3.003	3.003	3.001	3.002	3.003	3.003	3.002
Mg#	0.516	0.162	0.549	0.184	0.524	0.182	0.532	0.550	0.578	0.655	0.667	0.660
Cr#	0.002	0.007	0.001	0.008	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y <sub>Cr</sub>	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y <sub>Al</sub>	0.854	0.247	0.857	0.244	0.857	0.251	0.866	0.867	0.881	0.953	0.934	0.948
Y <sub>Fe</sub>	0.144	0.751	0.142	0.754	0.142	0.747	0.134	0.132	0.119	0.047	0.066	0.052
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.375	0.649	0.388	0.654	0.376	0.652	0.366	0.372	0.362	0.213	0.284	0.233

D-type, discrete type; S-type, symplectite type.

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 1.8.** Trace-element compositions (in ppm) of clinopyroxenes in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																	
	Ich-2001						Ich-M030						Ich-M031					
	D-type	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	S-type
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.070	-	-	-	-	-	-
Sr	17.215	15.782	17.201	15.804	51.420	23.728	21.543	16.662	17.094	24.067	26.810	30.360	12.865	14.481	13.188	23.855	31.635	31.080
Y	11.614	11.075	12.722	14.299	6.120	5.056	5.665	5.805	10.754	6.790	3.390	3.456	11.728	13.274	9.638	2.976	2.425	2.697
Zr	13.892	14.926	14.517	15.569	6.823	4.729	6.142	12.345	15.300	11.217	6.155	6.192	13.615	13.264	13.264	4.393	2.619	3.362
Nb	0.012	0.013	0.013	0.014	0.013	-	-	0.011	-	-	-	-	-	0.015	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	1.219	0.328	-	0.263	-	1.286	2.661	-	-	-	-	-	0.468
La	0.619	0.628	0.682	0.712	0.535	0.498	0.501	0.324	0.408	0.422	0.394	0.403	0.471	0.507	0.442	0.439	0.436	0.449
Ce	2.746	2.978	3.068	3.457	2.323	2.073	2.053	1.488	1.939	1.638	1.518	1.432	2.301	2.677	2.089	1.659	1.628	1.589
Pr	0.549	0.553	0.602	0.681	0.398	0.344	0.348	0.275	0.401	0.310	0.241	0.238	0.463	0.524	0.405	0.255	0.243	0.253
Nd	3.453	3.558	3.804	4.287	2.352	2.017	1.949	1.770	2.670	1.874	1.393	1.447	3.071	3.612	2.558	1.367	1.163	1.378
Sm	1.415	1.427	1.523	1.720	0.855	0.681	0.737	0.763	1.244	0.804	0.457	0.462	1.379	1.506	1.164	0.430	0.385	0.445
Eu	0.558	0.577	0.608	0.677	0.379	0.346	0.351	0.331	0.488	0.405	0.295	0.294	0.587	0.647	0.470	0.252	0.283	0.292
Gd	2.004	1.936	2.130	2.394	1.076	0.858	0.930	0.986	1.733	1.120	0.530	0.624	1.986	2.176	1.713	0.508	0.437	0.457
Tb	0.348	0.339	0.374	0.412	0.173	0.130	0.165	0.170	0.304	0.193	0.085	0.106	0.347	0.372	0.293	0.091	0.071	0.079
Dy	2.457	2.363	2.591	2.926	1.255	1.047	1.177	1.228	2.223	1.458	0.702	0.717	2.477	2.684	2.045	0.580	0.514	0.552
Ho	0.507	0.482	0.531	0.581	0.256	0.225	0.229	0.244	0.455	0.279	0.130	0.142	0.497	0.565	0.413	0.117	0.106	0.115
Er	1.382	1.301	1.450	1.609	0.681	0.583	0.655	0.657	1.190	0.770	0.370	0.419	1.378	1.565	1.170	0.373	0.271	0.317
Tm	0.172	0.177	0.207	0.227	0.094	0.089	0.087	0.099	0.169	0.098	0.060	0.059	0.185	0.217	0.158	0.047	0.043	0.051
Yb	1.243	1.129	1.311	1.506	0.644	0.579	0.689	0.636	1.137	0.724	0.393	0.440	1.203	1.445	1.050	0.350	0.311	0.346
Lu	0.147	0.138	0.189	0.193	0.094	0.067	0.081	0.090	0.141	0.095	0.053	0.055	0.164	0.195	0.135	0.049	0.035	0.049
Hf	0.673	0.628	0.579	0.639	0.168	0.137	0.194	0.464	0.693	0.567	0.128	0.166	0.586	0.606	0.688	0.100	0.089	0.065
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.227
Th	0.037	0.044	0.035	0.046	0.034	-	-	0.024	0.022	0.022	0.022	0.026	-	0.058	0.033	-	0.030	-
U	-	0.010	0.009	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.022	-	-	-	-

-, below detection limits.



**Table 1.8.** continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro						Pyroxene-hornblende gabbronorite			
	Ich-M050						Ich-M046			
	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type	D-type
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	13.038	14.170	15.997	22.373	23.499	21.432	15.025	16.741	17.741	15.740
Y	10.328	10.006	8.892	3.776	4.308	3.329	10.457	9.131	7.014	10.378
Zr	15.932	15.691	12.507	6.100	8.399	6.678	15.550	11.933	13.342	16.315
Nb	-	-	-	-	-	-	0.028	-	0.037	0.032
Ba	-	-	-	-	0.121	-	0.226	0.303	-	-
La	0.516	0.724	0.545	0.631	0.592	0.543	0.259	0.231	0.277	0.273
Ce	2.084	2.684	2.183	2.114	2.245	1.903	1.478	1.269	1.284	1.453
Pr	0.428	0.493	0.448	0.329	0.342	0.300	0.335	0.276	0.282	0.306
Nd	2.984	3.014	2.648	1.650	1.931	1.592	2.303	2.050	1.804	2.125
Sm	1.264	1.239	1.185	0.571	0.667	0.560	1.049	0.966	0.785	1.040
Eu	0.506	0.503	0.499	0.266	0.320	0.269	0.461	0.376	0.363	0.446
Gd	1.842	1.731	1.529	0.623	0.745	0.576	1.595	1.410	1.176	1.662
Tb	0.318	0.317	0.259	0.102	0.125	0.102	0.292	0.244	0.194	0.309
Dy	2.237	2.171	1.810	0.791	0.924	0.665	2.104	1.913	1.494	2.137
Ho	0.440	0.454	0.385	0.161	0.184	0.126	0.422	0.379	0.292	0.458
Er	1.205	1.231	1.037	0.426	0.482	0.361	1.225	1.050	0.816	1.216
Tm	0.167	0.169	0.147	0.053	0.076	0.059	0.175	0.145	0.109	0.161
Yb	1.171	1.058	0.968	0.419	0.486	0.350	1.182	0.992	0.746	1.071
Lu	0.150	0.142	0.134	0.063	0.068	0.046	0.170	0.133	0.097	0.147
Hf	0.818	0.824	0.692	0.217	0.264	0.188	0.793	0.669	0.860	0.911
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.110	-	-	0.105	-	-	0.120	-	-	-
Th	0.122	0.083	0.086	0.086	0.076	0.085	0.059	0.058	-	-
U	0.045	0.040	0.036	0.026	0.028	0.035	0.022	-	-	-

-, below detection limits.

**Table 1.9.** Trace-element compositions (in ppm) of amphiboles in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro																		
	Ich-2001								Ich-M030					Ich-M031					
	D-type	D-type	D-type	R-type	R-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type	D-type	R-type	R-type
Rb	1.802	0.967	1.052	1.231	0.812	0.664	0.609	0.723	1.088	1.068	1.047	0.313	0.409	0.676	0.811	0.859	0.915	0.557	0.883
Sr	157.38	148.23	164.85	160.37	146.89	142.49	181.69	177.69	172.92	140.76	156.07	252.12	219.62	168.63	176.96	162.15	167.36	127.20	143.71
Y	19.216	17.676	17.073	16.684	18.743	15.258	11.273	12.079	18.555	19.269	19.450	8.322	6.803	14.650	19.661	20.774	16.001	18.110	18.019
Zr	13.483	7.696	8.104	9.788	11.007	9.230	5.938	6.265	15.968	15.481	15.649	6.275	5.458	9.401	12.761	14.604	8.560	10.551	11.929
Nb	1.128	0.682	0.682	0.620	0.666	0.541	0.436	0.464	0.687	0.768	0.753	0.404	0.297	0.528	0.629	0.713	0.547	0.423	0.547
Ba	66.881	63.360	52.729	66.481	46.505	38.717	45.140	43.444	39.292	40.416	39.968	32.710	43.619	36.699	39.187	34.449	46.262	26.542	35.914
La	1.026	0.916	0.897	0.982	0.998	0.959	0.885	0.850	0.660	0.738	0.681	0.700	0.737	0.690	0.755	0.755	1.031	0.747	1.144
Ce	4.464	3.787	3.780	4.100	4.355	4.223	3.479	3.374	3.041	3.413	3.186	2.636	2.527	3.064	3.261	3.576	3.774	3.470	4.532
Pr	0.816	0.703	0.715	0.756	0.779	0.765	0.613	0.600	0.597	0.678	0.642	0.431	0.422	0.577	0.625	0.684	0.642	0.681	0.795
Nd	5.095	4.388	4.369	4.730	4.880	4.586	3.502	3.458	3.895	4.782	4.454	2.661	2.515	3.684	4.320	4.524	3.983	4.248	4.790
Sm	2.003	1.928	1.773	2.008	2.023	1.818	1.318	1.327	1.778	2.108	2.060	0.957	0.854	1.613	1.990	1.971	1.654	1.844	1.967
Eu	0.886	0.863	0.785	0.832	0.933	0.808	0.660	0.699	0.756	0.898	0.832	0.653	0.619	0.738	0.882	0.987	0.769	0.821	0.835
Gd	2.926	2.803	2.653	2.730	2.958	2.514	1.751	1.700	2.629	2.982	2.829	1.241	0.965	2.499	3.021	2.939	2.542	2.797	2.878
Tb	0.530	0.501	0.478	0.486	0.517	0.418	0.279	0.311	0.471	0.512	0.510	0.208	0.159	0.429	0.540	0.538	0.451	0.517	0.489
Dy	3.724	3.502	3.295	3.333	3.624	2.954	2.033	2.282	3.501	3.625	3.819	1.582	1.216	2.867	3.841	3.900	3.034	3.505	3.524
Ho	0.804	0.713	0.689	0.701	0.723	0.610	0.446	0.473	0.743	0.779	0.799	0.321	0.264	0.554	0.755	0.839	0.661	0.748	0.710
Er	2.200	1.985	1.925	1.904	2.053	1.760	1.211	1.387	2.177	2.119	2.214	0.943	0.736	1.650	2.257	2.375	1.806	2.092	2.048
Tm	0.309	0.268	0.271	0.245	0.271	0.248	0.189	0.179	0.290	0.298	0.305	0.148	0.112	0.227	0.311	0.331	0.253	0.295	0.282
Yb	2.024	1.747	1.693	1.689	1.828	1.727	1.270	1.312	2.087	1.945	2.093	0.965	0.804	1.404	2.039	2.197	1.626	1.931	1.877
Lu	0.299	0.250	0.233	0.219	0.237	0.220	0.170	0.180	0.258	0.260	0.275	0.138	0.118	0.214	0.267	0.300	0.222	0.273	0.247
Hf	0.531	0.421	0.415	0.444	0.507	0.331	0.189	0.219	0.641	0.622	0.654	0.111	0.120	0.454	0.604	0.703	0.532	0.494	0.598
Ta	0.034	-	-	0.031	-	-	-	-	0.037	0.040	0.035	-	-	-	-	-	0.031	-	0.029
Pb	0.778	0.618	0.601	0.594	0.479	0.440	0.570	0.496	0.562	0.569	0.533	0.553	0.529	0.446	0.479	0.511	0.673	0.363	0.647
Th	0.046	0.045	-	0.060	0.057	0.059	-	-	0.043	0.038	0.039	0.051	0.050	-	-	-	-	-	0.048
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.033	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.

Table 1.9. continued

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro												Pyroxene-hornblende gabbro					
	Ich-M031				Ich-M038		Ich-M050				Ich-M046							
	R-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type	R-type	S-type	S-type	S-type	R-type	R-type	R-type	S-type	S-type	S-type
Rb	0.965	0.570	0.337	0.368	0.318	0.601	-	-	3.775	0.882	1.463	0.631	0.360	0.221	0.266	0.201	0.096	1.318
Sr	148.64	196.32	153.07	146.84	245.07	250.26	168.12	134.74	126.47	233.28	195.59	154.32	60.97	53.29	60.60	63.31	114.21	42.15
Y	16.786	8.629	4.699	6.243	8.373	6.111	15.777	18.657	19.516	6.609	9.026	5.643	37.142	14.454	21.747	4.346	3.076	5.829
Zr	10.619	6.017	3.031	3.483	4.457	5.069	10.959	12.698	14.059	5.845	9.056	5.721	21.706	11.178	14.185	3.745	2.758	5.890
Nb	0.512	0.382	0.127	0.148	-	-	0.701	0.739	0.581	0.441	0.621	0.345	0.121	0.035	0.085	0.036	0.016	0.012
Ba	48.662	24.731	19.176	18.404	20.623	24.527	64.200	71.791	104.248	44.787	53.384	37.079	26.056	24.317	23.527	16.375	18.376	28.371
La	1.136	0.824	0.673	0.677	0.871	0.932	0.787	0.853	1.027	1.076	1.201	0.943	0.512	0.451	0.469	0.433	0.432	0.592
Ce	4.514	3.131	2.409	2.399	3.083	3.515	2.971	3.288	3.781	3.346	4.123	2.883	3.339	2.096	2.472	2.131	1.639	2.493
Pr	0.774	0.498	0.371	0.373	0.461	0.526	0.580	0.690	0.711	0.489	0.661	0.442	0.825	0.452	0.544	0.363	0.239	0.414
Nd	4.690	2.746	1.992	2.132	2.433	2.708	3.684	4.567	4.949	2.829	3.709	2.405	6.485	3.057	3.911	2.026	1.216	2.442
Sm	1.915	1.056	0.658	0.730	0.922	0.798	1.699	2.014	2.124	0.871	1.226	0.786	3.410	1.388	2.018	0.589	0.393	0.833
Eu	0.790	0.617	0.412	0.497	0.495	0.459	0.756	0.886	0.878	0.478	0.548	0.404	1.282	0.677	0.886	0.515	0.361	0.620
Gd	2.709	1.386	0.782	0.991	1.302	0.883	2.517	2.975	3.021	1.098	1.387	0.943	5.466	2.178	3.182	0.693	0.453	0.901
Tb	0.454	0.238	0.134	0.180	0.224	0.164	0.458	0.513	0.506	0.172	0.236	0.148	0.983	0.374	0.551	0.108	0.079	0.153
Dy	3.318	1.663	0.886	1.237	1.633	1.127	3.128	3.557	3.775	1.242	1.705	1.092	6.842	2.649	4.022	0.800	0.577	1.025
Ho	0.698	0.340	0.187	0.241	0.363	0.227	0.626	0.733	0.776	0.249	0.347	0.216	1.465	0.569	0.864	0.162	0.114	0.216
Er	1.919	0.951	0.538	0.706	0.946	0.685	1.729	2.119	2.243	0.746	1.008	0.641	4.056	1.567	2.340	0.500	0.334	0.610
Tm	0.261	0.135	0.071	0.103	0.134	0.110	0.227	0.280	0.309	0.102	0.155	0.094	0.572	0.245	0.330	0.075	0.052	0.093
Yb	1.778	1.004	0.562	0.705	0.968	0.785	1.533	1.946	2.020	0.752	0.984	0.641	3.781	1.406	2.126	0.567	0.384	0.731
Lu	0.243	0.139	0.076	0.100	0.117	0.108	0.185	0.262	0.272	0.087	0.127	0.093	0.499	0.205	0.270	0.085	0.056	0.098
Hf	0.577	0.160	0.083	0.152	0.173	0.107	0.613	0.629	0.677	0.138	0.345	0.142	0.952	0.468	0.717	0.060	0.065	0.092
Ta	-	-	-	-	-	-	-	0.040	-	-	0.030	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.604	0.449	0.387	0.387	0.457	0.459	0.652	0.648	0.563	0.714	0.615	0.530	0.292	0.430	0.285	0.246	0.298	0.668
Th	-	0.081	0.055	0.040	0.053	0.048	0.102	0.119	0.115	0.180	0.165	0.131	-	-	-	-	-	0.218
U	-	0.031	-	-	-	-	0.044	0.046	0.057	0.061	0.055	0.053	-	-	-	-	0.022	0.090

-, below detection limits.

**Table 1.10.** Trace-element compositions (in ppm) of plagioclases in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro															Pyroxene-hornblende gabbrobronite		
	Ich-2001			Ich-M030			Ich-M031			Ich-M038			Ich-M050			Ich-M046		
Rb	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	453.60	416.79	478.52	542.93	391.30	525.12	375.29	411.42	389.17	819.80	577.82	625.91	368.72	441.94	369.08	467.28	398.83	403.54
Y	0.027	0.018	0.019	0.010	0.012	0.008	0.015	0.016	0.029	0.012	0.007	0.008	0.016	0.006	0.010	0.029	0.032	0.046
Zr	-	-	-	-	-	-	0.001	-	-	0.007	-	-	-	-	0.003	-	-	-
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	5.862	8.267	5.348	4.953	2.819	5.483	4.134	5.578	5.922	3.614	6.103	7.167	8.454	5.076	5.504	15.105	15.597	15.573
La	0.317	0.405	0.297	0.206	0.140	0.226	0.212	0.258	0.296	0.270	0.273	0.259	0.267	0.214	0.264	0.305	0.331	0.301
Ce	0.466	0.521	0.385	0.244	0.208	0.284	0.286	0.351	0.464	0.321	0.346	0.317	0.362	0.261	0.289	0.449	0.586	0.503
Pr	0.041	0.036	0.034	0.019	0.019	0.022	0.023	0.030	0.043	0.022	0.025	0.020	0.028	0.022	0.020	0.038	0.053	0.049
Nd	0.128	0.125	0.098	0.062	0.059	0.061	0.076	0.103	0.144	0.064	0.078	0.058	0.094	0.058	0.063	0.152	0.185	0.197
Sm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	-	-	-	-	0.028
Eu	0.095	0.100	0.086	0.072	0.062	0.066	-	0.099	0.118	0.048	0.097	0.083	0.076	0.056	0.056	0.096	0.129	0.149
Gd	-	-	-	-	-	-	-	-	0.019	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.425	0.635	0.442	0.502	0.479	0.512	0.313	0.342	0.395	0.457	0.505	0.560	0.491	0.470	0.539	0.932	0.922	0.815
Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.

**Table 1.11.** Trace-element compositions (in ppm) of olivines in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro					Px-Hbl gabbronorite					
	Ich-M030		Ich-M031		Ich-M038	Ich-M050			Ich-M046		
Rb	-	-	-	-	-	0.066	-	-	-	-	-
Sr	-	0.014	-	0.003	-	0.248	0.004	0.042	0.002	0.027	-
Y	0.009	0.019	0.005	0.004	0.004	0.045	0.015	0.004	0.006	0.026	0.003
Zr	0.009	0.013	0.005	0.006	0.004	0.094	-	0.007	0.010	0.015	0.006
Nb	-	-	-	-	0.001	-	-	-	-	-	-
Ba	-	0.230	-	0.011	-	0.442	0.035	-	0.023	0.149	-
La	-	0.004	-	-	-	0.034	0.005	-	-	0.012	-
Ce	-	0.010	-	-	-	0.006	-	-	0.001	0.007	-
Pr	-	0.002	-	-	-	0.005	-	-	-	0.003	-
Nd	-	-	-	-	-	0.021	0.007	-	-	0.008	-
Sm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.043	0.034	0.038	0.032	0.020	-	-	0.023	0.048	0.056	-
Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.

**Table 1.12.** Trace-element compositions (in ppm) of olivines in gabbros from Ichinomegata.

Sample No.	Pyroxene-hornblende gabbro									Pyroxene-hornblende gabbronorite			
	Ich-2001			Ich-M030			Ich-M031		Ich-M038		Ich-M046		
	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	S-type	D-type	D-type	D-type
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	-
Sr	0.058	0.018	0.070	0.040	0.032	0.057	0.026	0.033	0.108	0.062	0.028	0.129	0.018
Y	0.431	0.502	0.463	0.252	0.292	0.307	0.282	0.278	0.277	0.211	0.267	0.524	0.497
Zr	0.426	0.755	0.581	0.421	0.486	0.494	0.431	0.410	0.379	0.364	0.468	0.880	0.611
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.010	0.012
Ba	0.073	-	0.179	0.105	-	0.121	-	0.033	0.146	0.011	-	0.023	-
La	-	-	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-	0.003	-
Ce	-	0.005	-	0.010	0.003	0.009	-	0.005	0.007	0.007	0.002	0.015	0.003
Pr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	-
Nd	-	-	-	0.009	0.007	0.009	-	-	-	-	-	0.018	0.009
Sm	-	-	-	0.007	-	-	-	-	-	-	-	0.014	-
Eu	0.007	-	-	0.004	0.003	0.004	-	-	-	-	0.003	0.007	0.006
Gd	0.016	0.020	-	0.013	0.010	0.013	0.016	-	0.014	-	0.010	0.030	0.020
Tb	0.006	0.006	-	0.003	0.003	0.004	-	-	-	-	0.003	0.007	0.006
Dy	0.049	0.069	0.064	0.033	0.037	0.038	0.039	0.043	0.032	0.031	0.037	0.072	0.063
Ho	0.016	0.019	-	0.010	0.012	0.011	0.008	0.010	0.011	0.008	0.010	0.019	0.017
Er	0.065	0.070	0.077	0.038	0.043	0.043	0.045	0.041	0.041	0.036	0.041	0.075	0.071
Tm	0.013	0.016	0.015	0.009	0.009	0.009	0.010	0.008	0.010	0.008	0.007	0.014	0.014
Yb	0.118	0.147	0.136	0.085	0.084	0.095	0.082	0.096	0.082	0.080	0.076	0.128	0.130
Lu	0.022	0.031	0.024	0.015	0.018	0.016	0.019	0.015	0.016	0.013	0.015	0.023	0.025
Hf	0.011	0.022	-	0.008	0.014	0.014	-	-	-	-	0.031	0.055	0.033
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.058	-	-	0.039	-	0.056	-	-	-	-	-	0.036	-
Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.

**Table 1.13.** Volume calculations of reactants and products in model reaction (Ol + Pl = Opx + Spl + Cpx + Amp).

Sample No.						Estimated compositions			
	Ol	Pl	Amp	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals	
Ich-M006									
	SiO <sub>2</sub>	39.58	43.99	41.78	0.00	55.23	41.7	41.843	-0.143
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.93	16.05	54.16	2.09	17.27	15.534	1.736
	FeO	20.26	0.23	10.41	31.56	13.21	10.632	12.982	-2.349
	MnO	0.49	0.02	0.17	0.30	0.47	0.264	0.262	0.002
	MgO	41.72	0.00	14.20	13.50	29.42	21.667	18.264	3.403
	CaO	0.04	19.96	12.08	0.04	0.64	9.615	7.948	1.666
	total	102.09	100.13	94.69	99.56	101.06	101.148	96.833	4.315
	Proportions	51.93	48.07	64.33	8.57	27.09	RSS = 22.910		
	molecular weight	154.60	278.57	855.94	164.49	214.13			
	Proportions (wt%)	51.93	48.07	64.33	8.57	27.09	estimated from Genmix (Le Maitre 1981)		
	Proportions (mol)	0.34	0.17	0.08	0.05	0.13	Proportions / Molecular weight		
	cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	273.5	39.71	62.55	(Helgeson et al. 1978)		
	cm <sup>3</sup>	14.71	17.39	20.56	2.07	7.91			
	Vol%	45.82	54.18	67.31	6.78	25.91			

Sample No.	Chemical compositions for calculation					Estimated compositions			
	Ol	Pl	Amp	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals	
Ich-M006									
	SiO <sub>2</sub>	39.58	43.99	41.78	0.00	55.23	41.700	41.839	-0.139
	TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.64	0.09	0.03	0.001	0.534	-0.532
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.93	16.05	54.16	2.09	17.689	16.325	1.364
	FeO	20.26	0.23	10.41	31.56	13.21	10.497	12.062	-1.565
	MnO	0.49	0.02	0.17	0.30	0.47	0.201	0.183	0.019
	MgO	41.72	0.00	14.20	13.50	29.42	20.592	18.103	2.489
	CaO	0.04	19.96	12.08	0.04	0.64	9.780	8.661	1.119
	Na <sub>2</sub> O	0.00	0.35	2.38	0.00	0.01	0.349	1.721	-1.372
	K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.41	0.00	0.00	0.005	0.066	-0.062
	total	102.10	100.50	98.12	99.65	101.10	100.81	99.49	1.320
	Estimated Vol%	45.82	54.18	67.31	6.78	25.91	RSS = 13.943		

**Table 1.13.** continued.

Sample No.	Chemical compositions for calculation						Estimated compositions		
Ich-M030	OI	PI	Amp	Cpx	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.45	44.04	42.76	51.04	0.01	53.64	41.544	41.833	-0.288
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.58	14.87	5.05	57.13	4.22	16.236	15.255	0.981
FeO	19.76	0.25	9.35	6.17	26.83	13.79	10.857	13.707	-2.850
MnO	0.36	0.03	0.13	0.19	0.22	0.38	0.209	0.279	-0.070
MgO	42.61	0.01	15.16	14.80	15.18	28.56	23.171	20.925	2.246
CaO	0.05	19.48	12.07	23.36	0.09	0.56	8.916	8.582	0.334
total	102.23	99.39	94.34	100.61	99.46	101.15	100.933	100.581	0.353
Proportions	54.37	45.63	0.53	35.33	20.19	43.94	RSS = 14.330		
molecular weight	154.28	278.22	849.16	222.23	160.98	214.79	estimated from Genmix (Le Maitre 1981) Proportions / Molecular weight (Helgeson et al. 1978)		
Proportions (wt%)	54.37	45.63	0.53	35.33	20.19	43.94			
Proportions (mol)	0.35	0.16	0.00	0.16	0.13	0.20			
cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	273.5	66.09	39.71	62.55			
cm <sup>3</sup>	15.43	16.53	0.17	10.51	4.98	12.80			
Vol%	48.28	51.72	0.60	36.93	17.50	44.97			

Sample No.	Chemical compositions for calculation						Estimated compositions		
Ich-M030	OI	PI	Amp	Cpx	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.45	44.04	42.76	51.04	0.01	53.64	41.544	41.830	-0.286
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	1.18	0.30	0.09	0.06	0.001	0.157	-0.155
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.58	14.87	5.05	57.13	4.22	17.689	15.252	2.437
FeO	19.76	0.25	9.35	6.17	26.83	13.79	10.497	13.706	-3.208
MnO	0.36	0.03	0.13	0.19	0.22	0.38	0.201	0.279	-0.078
MgO	42.61	0.01	15.16	14.80	15.18	28.56	20.592	20.923	-0.331
CaO	0.05	19.48	12.07	23.36	0.09	0.56	9.780	8.581	1.199
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.50	2.29	0.21	0.03	0.00	0.349	0.092	0.257
K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.005	0.000	0.004
total	102.25	99.91	97.88	101.12	99.58	101.21	100.659	100.821	-0.162
Estimated Vol%	48.28	51.72	0.60	36.93	17.50	44.97	RSS = 17.958		



**Table 1.13.** continued.

Sample No.	Chemical compositions for calculation						Estimated compositions		
Ich-M031	Ol	Pl	Amp	Cpx	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.04	43.86	43.37	51.00	0.00	54.07	41.303	41.502	-0.200
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.72	14.64	5.34	57.69	4.14	16.768	16.032	0.735
FeO	20.40	0.22	8.85	6.16	26.16	13.41	10.927	12.975	-2.048
MnO	0.41	0.02	0.15	0.22	0.21	0.39	0.227	0.271	-0.044
MgO	41.67	0.00	15.66	14.83	15.57	28.94	22.109	20.326	1.783
CaO	0.04	19.89	12.25	23.51	0.04	0.64	9.358	8.973	0.385
total	101.56	99.71	94.92	101.06	99.67	101.59	100.692	100.079	0.611
Proportions	53.06	46.94	14.96	29.33	18.62	37.09	RSS = 8.10626		
molecular weight	154.90	278.81	846.73	222.32	160.27	214.43			
Proportions (wt%)	53.06	46.94	14.96	29.33	18.62	37.09	estimated from Genmix (Le Maitre 1981)		
Proportions (mol)	0.34	0.17	0.02	0.13	0.12	0.17	Proportions / Molecular weight		
cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	273.5	66.09	39.71	62.55	(Helgeson et al. 1978)		
cm <sup>3</sup>	15.00	16.97	4.83	8.72	4.61	10.82			
Vol%	46.92	53.08	16.67	30.08	15.92	37.33			

Sample No.	Chemical compositions for calculation						Estimated compositions		
Ich-M031	Ol	Pl	Amp	Cpx	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.04	43.86	43.37	51.00	0.00	54.07	41.303	41.501	-0.199
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.82	0.15	0.07	0.05	0.001	0.198	-0.197
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.72	14.64	5.34	57.69	4.14	17.689	16.034	1.655
FeO	20.40	0.22	8.85	6.16	26.16	13.41	10.497	12.975	-2.478
MnO	0.41	0.02	0.15	0.22	0.21	0.39	0.201	0.271	-0.070
MgO	41.67	0.00	15.66	14.83	15.57	28.94	20.592	20.325	0.267
CaO	0.04	19.89	12.25	23.51	0.04	0.64	9.780	8.973	0.807
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.57	2.26	0.22	0.01	0.00	0.349	0.404	-0.055
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.09	0.00	0.00	0.00	0.005	0.013	-0.009
total	101.57	100.29	98.09	101.43	99.75	101.64	100.417	100.695	-0.278
Estimated Vol%	46.92	53.08	16.67	30.08	15.92	37.33	RSS = 9.689		
Measured Vol%			20.40	30.84	14.45	34.30			

**Table 1.13.** continued.

Sample No. Ich-M038	Chemical compositions for calculation					Estimated compositions		
	Ol	Pl	Amp	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.27	45.81	42.84	0.00	53.83	42.481	42.237	0.244
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	33.86	15.02	56.84	3.74	16.625	15.452	1.173
FeO	21.06	0.35	9.40	28.01	13.77	10.891	12.26	-1.369
MnO	0.40	0.01	0.16	0.22	0.39	0.209	0.231	-0.022
MgO	41.53	0.03	15.33	14.78	28.59	21.153	19.05	2.103
CaO	0.05	17.97	12.21	0.04	0.65	8.849	7.867	0.982
total	102.31	98.03	94.96	99.89	100.97	100.208	97.097	3.111
Proportions	50.90	49.10	62.89	8.70	28.42	RSS = 8.700		
molecular weight	155.28	277.35	850.08	161.64	214.93			
Proportions (wt%)	50.9	49.1	62.89	8.7	28.42	estimated from Genmix (Le Maitre 1981)		
Proportions (mol)	0.33	0.18	0.07	0.05	0.13	Proportions / Molecular weight		
cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	273.5	39.71	62.55	(Helgeson et al. 1978)		
cm <sup>3</sup>	14.35	17.84	20.23	2.14	8.27			
Vol%	44.58	55.42	66.03	6.98	26.99			

Sample No. Ich-M038	Chemical compositions for calculation					Estimated compositions		
	Ol	Pl	Amp	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.27	45.81	42.84	0.00	53.83	42.481	42.241	0.241
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.77	0.04	0.04	0.001	0.534	-0.532
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	33.86	15.02	56.84	3.74	17.689	16.325	1.364
FeO	21.06	0.35	9.40	28.01	13.77	10.497	12.062	-1.565
MnO	0.40	0.01	0.16	0.22	0.39	0.201	0.183	0.019
MgO	41.53	0.03	15.33	14.78	28.59	20.592	18.103	2.489
CaO	0.05	17.97	12.21	0.04	0.65	9.780	8.661	1.119
Na <sub>2</sub> O	0.00	1.52	2.44	0.03	0.00	0.349	1.721	-1.372
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.005	0.066	-0.062
total	102.31	99.55	98.25	99.96	101.01	101.60	99.90	1.700
Estimated Vol%	44.58	55.42	66.03	6.98	26.99	RSS = 13.982		
Measured Vol%			54.81	10.21	34.98			

**Table 1.13.** continued.

Sample No. Ich-M050	Ol	Pl	Chemical compositions for calculation				Estimated compositions		
			Amp	Cpx	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.08	43.64	42.72	50.26	0.03	53.17	41.275	41.429	-0.154
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.06	14.61	5.27	53.81	4.16	16.876	15.240	1.636
FeO	19.99	0.27	9.78	6.43	30.99	13.69	10.498	13.130	-2.632
MnO	0.37	0.00	0.17	0.20	0.24	0.40	0.192	0.250	-0.058
MgO	41.73	0.02	15.11	14.38	13.73	28.07	21.653	18.631	3.022
CaO	0.04	19.95	12.22	23.42	0.05	0.64	9.624	8.746	0.877
total	101.21	98.94	94.61	99.96	98.85	100.13	100.118	97.426	2.691
Proportions	51.87	48.13	45.72	12.67	12.41	29.21	RSS = 19.532		
molecular weight	154.58	278.74	851.62	222.77	164.22	214.83	estimated from Genmix (Le Maitre 1981)		
Proportions (wt%)	51.87	48.13	45.72	12.67	12.41	29.21			
Proportions (mol)	0.34	0.17	0.05	0.06	0.08	0.14	Proportions / Molecular weight		
cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	273.5	66.09	39.71	62.55	(Helgeson et al. 1978)		
cm <sup>3</sup>	14.69	17.40	14.68	3.76	3.00	8.50			
Vol%	45.78	54.22	49.03	12.55	10.02	28.40			

Sample No. Ich-M050	Chemical compositions for calculation						Estimated compositions		
	Ol	Pl	Amp	Cpx	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.08	43.64	42.72	50.26	0.03	53.17	41.275	41.434	-0.159
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.98	0.39	0.17	0.08	0.001	0.542	-0.540
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	35.06	14.61	5.27	53.81	4.16	17.689	15.240	2.449
FeO	19.99	0.27	9.78	6.43	30.99	13.69	10.497	13.131	-2.633
MnO	0.37	0.00	0.17	0.20	0.24	0.40	0.201	0.250	-0.048
MgO	41.73	0.02	15.11	14.38	13.73	28.07	20.592	18.633	1.959
CaO	0.04	19.95	12.22	23.42	0.05	0.64	9.780	8.747	1.032
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.38	2.13	0.19	0.01	0.01	0.349	1.002	-0.653
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.15	0.01	0.00	0.00	0.005	0.070	-0.065
total	101.23	99.32	97.87	100.55	99.03	100.22	100.389	99.050	1.340
Estimated Vol%	45.78	54.22	49.03	12.55	10.02	28.40	RSS = 18.583		

**Table 1.13.** continued.

Sample No.	Chemical compositions for calculation					Estimated compositions		
Ich-M046	Ol	Pl	Amp	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.19	51.74	42.94	0.01	54.10	45.160	44.954	0.206
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	30.62	16.40	61.74	3.84	14.566	13.952	0.614
FeO	18.11	0.15	8.37	20.66	12.31	9.566	10.752	-1.185
MnO	0.22	0.01	0.12	0.13	0.25	0.120	0.175	-0.054
MgO	43.36	0.03	15.88	17.07	29.50	22.748	21.600	1.148
CaO	0.03	13.79	11.22	0.03	0.42	6.576	6.061	0.515
total	100.91	96.34	94.93	99.64	100.42	98.736	97.494	1.244
Proportions	52.43	47.57	52.45	6.09	41.46	RSS = 3.411		
molecular weight	153.47	273.60	842.66	156.40	213.11			
Proportions (wt%)	52.43	47.57	52.45	6.09	41.46	estimated from Genmix (Le Maitre 1981)		
Proportions (mol)	0.34	0.17	0.06	0.04	0.19	Proportions / Molecular weight		
cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	273.5	39.71	62.55	(Helgeson et al. 1978)		
cm <sup>3</sup>	14.96	17.52	17.02	1.55	12.17			
Vol%	46.05	53.95	55.38	5.03	39.59			

Sample No.	Chemical compositions for calculation					Estimated compositions		
Ich-M046	Ol	Pl	Amp	Spl	Opx	Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	39.19	51.74	42.94	0.01	54.10	45.160	44.952	0.208
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.13	0.01	0.00	0.001	0.534	-0.532
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	30.62	16.40	61.74	3.84	17.689	16.325	1.364
FeO	18.11	0.15	8.37	20.66	12.31	10.497	12.062	-1.565
MnO	0.22	0.01	0.12	0.13	0.25	0.201	0.183	0.019
MgO	43.36	0.03	15.88	17.07	29.50	20.592	18.103	2.489
CaO	0.03	13.79	11.22	0.03	0.42	9.780	8.661	1.119
Na <sub>2</sub> O	0.00	4.19	2.70	0.01	0.00	0.349	1.721	-1.372
K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.10	0.00	0.00	0.005	0.066	-0.062
total	100.92	100.56	97.86	99.66	100.42	104.27	102.61	1.667
Estimated Vol%	46.05	53.95	55.38	5.03	39.59	RSS = 13.967		

**Table 2.1.** Mineral assemblages of mafic-ultramafic rocks from Kurose.

	<i>sample No.</i>	Ol	Pl	Opx	Cpx	Spl
<i>Spl-free granulite</i>	KR-14		+	+	+	
	KR-018		+	+	+	
<i>Spl-poor granulite</i>	KR-322		+	+	+	+
	KR-004		+	+	+	+
	KR-008		+	+	+	+
	KR-014		+	+	+	+
	KR-029		+	+	+	+
	KR-032		+	+	+	+
<i>Spl-rich granulite</i>	KR-320		+	+	+	+
	KR-005		+	+	+	+
	KR-015		+	+	+	+
	KR-027		+	+	+	+
	KR-031		+	+	+	+
<i>Spl-rich granulite</i>	KR-22	+	+	+	+	+
	KR-011			+	+	+
	KR-026		+	+	+	+
<i>Spl-rich granulite</i>	KR-2	+		+	+	+
	KR-383	+		+	+	+
	KR-1401	+		+	+	+
	KR-P001	+		+	+	+

**Table 2.2.** Major-element compositions (in wt%) of olivines in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-rich websterite		Spl-rich lherzolite													
	KR22		KR-2		KR383				KR1401				KR P001			
	core n = 4	1 $\sigma$	core n = 6	1 $\sigma$	core n = 7	1 $\sigma$	rim n = 3	1 $\sigma$	core n = 5	1 $\sigma$	rim n = 4	1 $\sigma$	core n = 6	1 $\sigma$	rim n = 3	1 $\sigma$
SiO <sub>2</sub>	40.05	0.11	40.67	0.20	40.98	0.27	41.00	0.43	40.91	0.15	40.83	0.09	40.84	0.17	40.80	0.27
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
FeO*	18.32	0.31	13.23	0.04	12.05	0.10	12.01	0.06	12.08	0.10	12.07	0.04	12.33	0.17	12.55	0.12
MnO	0.22	0.02	0.19	0.03	0.17	0.02	0.19	0.03	0.19	0.01	0.15	0.01	0.17	0.02	0.19	0.05
MgO	43.76	0.12	47.76	0.12	48.78	0.21	48.70	0.07	48.50	0.27	48.18	0.26	48.25	0.20	48.18	0.38
CaO	0.11	0.01	0.07	0.02	0.08	0.01	0.09	0.02	0.06	0.02	0.09	0.03	0.07	0.01	0.08	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.16	0.01	0.27	0.02	0.28	0.02	0.26	0.01	0.25	0.02	0.23	0.03	0.26	0.02	0.26	0.03
total	102.63	0.32	102.20	0.28	102.35	0.18	102.28	0.57	102.02	0.46	101.60	0.31	101.93	0.32	102.09	0.71
Si	0.994		0.991		0.992		0.993		0.994		0.996		0.994		0.993	
Ti	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Al	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Cr	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Fe	0.380		0.270		0.244		0.243		0.245		0.246		0.251		0.255	
Mn	0.005		0.004		0.004		0.004		0.004		0.003		0.004		0.004	
Mg	1.620		1.736		1.760		1.758		1.756		1.751		1.750		1.748	
Ca	0.003		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002	
Na	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.001		0.000		0.000	
Ni	0.003		0.005		0.005		0.005		0.005		0.005		0.005		0.005	
total	3.006		3.009		3.008		3.007		3.006		3.005		3.006		3.007	
Fo	81.0		86.6		87.8		87.8		87.7		87.7		87.5		87.2	

n, number of analysis; Fo, 100\*Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.

**Table 2.3.** Major-element compositions (in wt%) of orthopyroxenes in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-free granulite								Spl-poor granulite					
	KR-14				KR-018				KR-332		KR-004			
	core n = 5		rim n = 4		core n = 3		rim n = 2		core n = 7	l $\sigma$	core n = 8		rim n = 4	
		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$				l $\sigma$		l $\sigma$
SiO <sub>2</sub>	52.10	0.29	51.84	0.45	53.75	0.17	53.40	0.04	52.25	0.17	52.19	0.20	52.19	0.07
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.02	0.13	0.01	0.07	0.03	0.08	0.01	0.13	0.02	0.05	0.01	0.08	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.71	0.06	6.03	0.14	4.81	0.44	5.39	0.44	6.42	0.14	7.16	0.16	7.01	0.11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01
FeO*	16.62	0.10	16.80	0.20	16.00	0.09	15.90	0.39	17.39	0.13	15.12	0.20	15.16	0.16
MnO	0.31	0.02	0.33	0.03	0.30	0.02	0.29	0.03	0.32	0.03	0.26	0.02	0.27	0.02
MgO	25.06	0.20	24.86	0.11	26.08	0.13	25.82	0.28	24.81	0.15	26.19	0.10	26.23	0.18
CaO	1.01	0.01	1.03	0.02	1.03	0.01	1.02	0.01	0.96	0.04	0.84	0.04	0.91	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.04	0.01	0.03	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
total	101.05	0.36	101.10	0.63	102.09	0.16	101.95	0.14	102.34	0.33	101.89	0.41	101.88	0.16
Si	1.869		1.861		1.900		1.889		1.856		1.842		1.843	
Ti	0.004		0.003		0.002		0.002		0.003		0.001		0.002	
Al	0.242		0.255		0.200		0.225		0.269		0.298		0.292	
Cr	0.001		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Fe	0.499		0.504		0.473		0.470		0.517		0.446		0.448	
Mn	0.009		0.010		0.009		0.009		0.010		0.008		0.008	
Mg	1.340		1.331		1.374		1.362		1.314		1.378		1.381	
Ca	0.039		0.040		0.039		0.039		0.037		0.032		0.034	
Na	0.003		0.004		0.003		0.003		0.002		0.003		0.002	
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Ni	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
total	4.007		4.009		4.000		3.998		4.007		4.009		4.010	
Mg#	0.73		0.73		0.74		0.74		0.72		0.76		0.76	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.

**Table 2.3.** continued

Sample No.	Spl-poor granulite															
	KR-008				KR-014				KR-029				KR-032			
	core n = 5		rim n = 4		core n = 6		rim n = 3		core n = 4		rim n = 3		core n = 4		rim n = 4	
		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$		l $\sigma$
SiO <sub>2</sub>	53.86	0.10	53.29	0.42	51.99	0.24	52.23	0.50	52.44	0.11	52.31	0.01	51.72	0.22	52.06	0.26
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.03	0.09	0.02	0.06	0.01	0.08	0.01	0.08	0.01	0.08	0.02	0.06	0.03	0.05	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.40	0.27	5.49	0.60	7.55	0.14	7.19	0.02	6.87	0.32	6.91	0.20	7.46	0.17	7.15	0.17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.04	0.09	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
FeO*	16.22	0.17	16.17	0.19	14.32	0.13	14.19	0.03	13.84	0.16	14.05	0.27	14.91	0.18	14.98	0.10
MnO	0.34	0.02	0.31	0.02	0.26	0.02	0.26	0.01	0.25	0.02	0.24	0.01	0.27	0.03	0.31	0.02
MgO	26.27	0.26	25.93	0.26	26.34	0.24	26.47	0.30	27.09	0.08	26.85	0.20	26.04	0.21	26.33	0.10
CaO	1.06	0.01	1.04	0.03	0.82	0.05	0.88	0.01	0.82	0.03	0.88	0.02	0.87	0.03	0.90	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.01	0.05	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
total	102.35	0.30	102.42	0.31	101.36	0.28	101.35	0.83	101.54	0.22	101.45	0.30	101.37	0.76	101.83	0.39
Si	1.902		1.880		1.837		1.845		1.847		1.846		1.834		1.839	
Ti	0.003		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.001		0.001	
Al	0.183		0.228		0.314		0.299		0.285		0.287		0.312		0.297	
Cr	0.000		0.001		0.000		0.000		0.003		0.002		0.000		0.000	
Fe	0.479		0.477		0.423		0.419		0.408		0.415		0.442		0.442	
Mn	0.010		0.009		0.008		0.008		0.007		0.007		0.008		0.009	
Mg	1.383		1.364		1.388		1.394		1.422		1.413		1.377		1.386	
Ca	0.040		0.039		0.031		0.033		0.031		0.033		0.033		0.034	
Na	0.004		0.004		0.001		0.001		0.002		0.002		0.002		0.002	
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Ni	0.000		0.000		0.000		0.001		0.001		0.001		0.000		0.000	
total	4.005		4.005		4.004		4.004		4.008		4.008		4.010		4.012	
Mg#	0.74		0.74		0.77		0.77		0.78				0.76		0.76	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.



**Table 2.3.** continued

Sample No.	Spl-rich granulite															
	KR-320				KR-005				KR-015				KR-027			
	core n = 5		rim n = 4		core n = 4		rim n = 5		core n = 5		rim n = 3		core n = 5			
SiO <sub>2</sub>	54.16	0.18	54.04	0.23	53.58	0.38	53.72	0.48	53.89	0.16	54.12	0.21	54.14	0.27		
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.00	0.07	0.02	0.07	0.01	0.06	0.02	0.06	0.01	0.07	0.00	0.05	0.01		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.76	0.08	6.59	0.07	6.96	0.18	6.74	0.13	6.96	0.08	6.88	0.12	6.71	0.21		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03		
FeO*	9.74	0.11	9.64	0.16	11.01	0.16	11.01	0.19	10.38	0.11	10.36	0.06	9.45	0.21		
MnO	0.17	0.01	0.17	0.02	0.19	0.01	0.20	0.01	0.17	0.02	0.16	0.01	0.18	0.03		
MgO	30.52	0.20	30.43	0.15	29.46	0.49	29.58	0.42	29.81	0.17	29.76	0.08	30.62	0.20		
CaO	0.75	0.03	0.78	0.01	0.79	0.03	0.85	0.02	0.78	0.02	0.82	0.03	0.71	0.00		
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0.06	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01		
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01		
NiO	0.04	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01		
total	102.30	0.35	101.84	0.22	102.19	0.69	102.28	0.69	102.12	0.22	102.24	0.24	101.98	0.52		
Si	1.856		1.860		1.849		1.853		1.855		1.860		1.858			
Ti	0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.001			
Al	0.273		0.267		0.283		0.274		0.282		0.279		0.271			
Cr	0.001		0.000		0.001		0.001		0.000		0.000		0.001			
Fe	0.279		0.278		0.318		0.318		0.299		0.298		0.271			
Mn	0.005		0.005		0.006		0.006		0.005		0.005		0.005			
Mg	1.559		1.561		1.516		1.521		1.529		1.524		1.567			
Ca	0.028		0.029		0.029		0.031		0.029		0.030		0.026			
Na	0.003		0.004		0.003		0.003		0.003		0.003		0.003			
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000			
Ni	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001			
total	4.007		4.007		4.008		4.010		4.004		4.001		4.006			
Mg#	0.85		0.85		0.83		0.83		0.84		0.84		0.85			

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.

**Table 2.3.** continued

Sample No.	Spl-rich granulite				Spl-rich websterite											
	KR-031				KR-22				KR-011				KR-026			
	core		rim		core		rim		core		rim		core		rim	
	n = 5	1σ	n = 5	1σ	n = 10	1σ	n = 4	1σ	n = 4	1σ	n = 4	1σ	n = 6	1σ	n = 4	1σ
SiO <sub>2</sub>	52.60	0.39	52.66	0.36	54.02	0.57	54.13	0.34	53.17	0.26	53.16	0.29	53.55	0.30	53.79	0.59
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.02	0.07	0.01	0.07	0.01	0.07	0.02	0.07	0.01	0.07	0.02	0.07	0.02	0.10	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.03	0.17	6.79	0.13	5.56	0.62	5.46	0.42	6.45	0.29	6.43	0.05	6.12	0.72	5.59	0.31
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.04	0.03	0.04	0.07	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.08	0.04
FeO*	13.01	0.43	12.99	0.33	11.09	0.15	11.08	0.11	12.71	0.05	12.88	0.12	11.70	0.13	11.66	0.02
MnO	0.22	0.02	0.22	0.02	0.19	0.02	0.20	0.02	0.22	0.01	0.21	0.02	0.20	0.01	0.20	0.01
MgO	27.50	0.29	27.57	0.33	29.66	0.30	29.65	0.26	28.20	0.27	28.11	0.08	29.03	0.32	29.07	0.51
CaO	0.82	0.03	0.90	0.01	0.84	0.05	0.89	0.02	0.84	0.08	0.87	0.04	0.83	0.06	0.88	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
NiO	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	0.05	0.01
total	101.36	0.71	101.32	0.64	101.59	0.45	101.58	0.27	101.72	0.48	101.79	0.50	101.65	0.43	101.44	0.90
Si	1.848		1.851		1.877		1.881		1.859		1.858		1.865		1.877	
Ti	0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.003	
Al	0.291		0.281		0.228		0.223		0.266		0.265		0.251		0.230	
Cr	0.001		0.001		0.002		0.001		0.000		0.000		0.002		0.002	
Fe	0.382		0.382		0.322		0.322		0.372		0.377		0.341		0.340	
Mn	0.006		0.007		0.006		0.006		0.007		0.006		0.006		0.006	
Mg	1.440		1.445		1.536		1.536		1.470		1.465		1.507		1.512	
Ca	0.031		0.034		0.031		0.033		0.031		0.032		0.031		0.033	
Na	0.002		0.003		0.002		0.003		0.003		0.002		0.002		0.002	
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Ni	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001	
total	4.005		4.007		4.008		4.007		4.008		4.009		4.008		4.005	
Mg#	0.79		0.79		0.83		0.83		0.80		0.80		0.82		0.82	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.

**Table 2.3.** continued

Sample No.	Spl-rich lherzolite													
	KR-2		KR383				KR-1401				KR -P001			
	core n = 7	1σ	core n = 6	1σ	rim n = 3	1σ	core n = 5	1σ	rim n = 4	1σ	core n = 7	1σ	rim n = 4	1σ
SiO <sub>2</sub>	55.78	0.13	55.86	0.23	55.52	0.20	55.79	0.40	55.77	0.26	55.40	0.13	55.33	0.11
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.04	0.01	0.04	0.01	0.08	0.03	0.08	0.01	0.07	0.01	0.05	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.51	0.10	4.58	0.05	4.65	0.04	3.75	0.07	3.79	0.06	4.37	0.05	4.35	0.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.02	0.19	0.02	0.17	0.03	0.32	0.02	0.36	0.03	0.22	0.03	0.21	0.00
FeO*	8.13	0.07	7.61	0.11	7.58	0.13	7.56	0.11	7.51	0.09	7.63	0.10	7.62	0.04
MnO	0.19	0.02	0.16	0.02	0.17	0.02	0.17	0.02	0.18	0.03	0.18	0.02	0.17	0.02
MgO	32.22	0.12	32.68	0.19	32.70	0.30	32.77	0.26	32.64	0.08	32.40	0.17	32.49	0.21
CaO	0.75	0.03	0.76	0.02	0.80	0.02	0.79	0.01	0.82	0.04	0.79	0.02	0.79	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.06	0.02	0.07	0.01
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.06	0.01	0.06	0.02	0.07	0.01	0.07	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	0.08	0.02
total	101.96	0.17	102.00	0.43	101.76	0.54	101.35	0.77	101.27	0.34	101.18	0.34	101.18	0.39
Si	1.904		1.902		1.896		1.913		1.914		1.903		1.901	
Ti	0.001		0.001		0.001		0.002		0.002		0.002		0.001	
Al	0.181		0.184		0.187		0.152		0.153		0.177		0.176	
Cr	0.005		0.005		0.004		0.009		0.010		0.006		0.006	
Fe	0.232		0.217		0.216		0.217		0.215		0.219		0.219	
Mn	0.005		0.005		0.005		0.005		0.005		0.005		0.005	
Mg	1.640		1.659		1.664		1.675		1.670		1.659		1.664	
Ca	0.028		0.028		0.029		0.029		0.030		0.029		0.029	
Na	0.007		0.003		0.003		0.002		0.003		0.004		0.004	
K	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000		0.000	
Ni	0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002	
total	4.006		4.004		4.009		4.006		4.005		4.006		4.009	
Mg#	0.88		0.88		0.88		0.89		0.89		0.88		0.88	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio.

**Table 2.4.** Major-element compositions (in wt%) of clinopyroxenes in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-free granulite								Spl-poor granulite							
	KR-14				KR-018				KR-332				KR-004			
	core		rim		core		rim		core		C-type		core		rim	
	n = 6	1 $\sigma$	n = 3	1 $\sigma$	n = 3	1 $\sigma$	n = 2	1 $\sigma$	n = 7	1 $\sigma$		n = 3	1 $\sigma$	n = 2	1 $\sigma$	
SiO <sub>2</sub>	50.15	0.15	50.18	0.55	52.32	0.15	52.16	0.07	50.46	0.26	49.97	50.12	0.56	50.36	0.37	
TiO <sub>2</sub>	0.70	0.05	0.58	0.05	0.32	0.04	0.30	0.03	0.52	0.04	0.47	0.34	0.02	0.29	0.01	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.15	0.23	7.59	0.10	5.15	0.04	5.73	0.08	7.76	0.16	8.82	8.41	0.13	8.13	0.07	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	
FeO*	7.93	0.19	8.10	0.12	7.49	0.10	7.49	0.07	8.22	0.10	8.23	7.14	0.14	7.10	0.07	
MnO	0.19	0.01	0.20	0.01	0.21	0.02	0.17	0.01	0.20	0.02	0.20	0.14	0.02	0.16	0.02	
MgO	13.45	0.13	13.52	0.09	14.75	0.06	14.46	0.01	13.37	0.10	13.05	13.44	0.10	13.71	0.09	
CaO	20.57	0.14	20.30	0.28	20.77	0.15	20.62	0.03	20.78	0.09	20.61	21.11	0.22	20.80	0.11	
Na <sub>2</sub> O	0.64	0.03	0.73	0.03	0.43	0.07	0.51	0.00	0.55	0.04	0.68	0.53	0.04	0.61	0.00	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	
NiO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	
total	100.81	0.41	101.23	0.99	101.45	0.28	101.46	0.01	101.92	0.49	102.04	101.28	0.80	101.17	0.38	
Si	1.840		1.833		1.899		1.891		1.832		1.812	1.823		1.832		
Ti	0.019		0.016		0.009		0.008		0.014		0.013	0.009		0.008		
Al	0.309		0.327		0.220		0.245		0.332		0.377	0.361		0.349		
Cr	0.001		0.001		0.000		0.000		0.001		0.000	0.000		0.000		
Fe	0.243		0.247		0.227		0.227		0.249		0.250	0.217		0.216		
Mn	0.006		0.006		0.006		0.005		0.006		0.006	0.004		0.005		
Mg	0.735		0.736		0.798		0.781		0.724		0.705	0.729		0.743		
Ca	0.809		0.794		0.808		0.801		0.808		0.801	0.823		0.811		
Na	0.046		0.051		0.030		0.036		0.039		0.048	0.038		0.043		
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	0.000		0.000		
Ni	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	0.001		0.000		
total	4.009		4.013		3.997		3.996		4.006		4.011	4.006		4.007		
Mg#	0.75		0.75		0.78		0.77		0.74		0.74	0.77		0.77		
Cr#	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	0.00		0.00		

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al).

**Table 2.4.** continued

Sample No.	Spl-poor granulite															
	KR-004			KR-008				KR-014								
	C-type	C-type	C-type	core n = 4		rim n = 4		C-type	C-type	C-type	C-type	core n = 4		rim n = 3		
				1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$						1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	1 $\sigma$	
SiO <sub>2</sub>	49.99	50.90	50.81	52.60	0.18	52.22	0.46	51.05	51.30	51.44	50.76	49.88	0.33	50.27	0.06	
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.23	0.26	0.40	0.04	0.35	0.05	0.34	0.33	0.32	0.34	0.34	0.04	0.31	0.04	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.31	7.74	7.66	4.67	0.42	5.63	0.47	7.60	7.83	7.37	7.83	8.55	0.22	8.10	0.15	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.08	0.03	0.08	0.03	0.00	0.00	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.02	
FeO*	7.08	7.11	7.33	7.48	0.16	7.53	0.14	7.58	7.30	7.43	7.44	6.70	0.05	6.69	0.16	
MnO	0.14	0.13	0.18	0.21	0.03	0.21	0.01	0.16	0.22	0.21	0.21	0.15	0.02	0.16	0.02	
MgO	13.68	14.11	14.08	14.92	0.21	14.69	0.24	13.55	13.63	13.86	13.68	13.59	0.17	13.85	0.16	
CaO	20.84	20.82	20.99	21.13	0.20	20.68	0.08	20.44	20.65	20.55	20.57	20.99	0.27	20.97	0.09	
Na <sub>2</sub> O	0.56	0.65	0.59	0.52	0.09	0.60	0.15	0.79	0.84	0.76	0.71	0.42	0.05	0.44	0.02	
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.00	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	
total	100.90	101.72	101.91	102.03	0.15	102.01	0.62	101.52	102.09	101.96	101.61	100.65	0.64	100.85	0.39	
Si	1.824	1.841	1.838	1.901		1.886		1.852	1.849	1.857	1.841	1.821		1.832		
Ti	0.008	0.006	0.007	0.011		0.009		0.009	0.009	0.009	0.009	0.009		0.008		
Al	0.358	0.330	0.326	0.199		0.240		0.325	0.333	0.313	0.335	0.368		0.348		
Cr	0.000	0.000	0.000	0.002		0.002		0.000	0.000	0.001	0.002	0.001		0.000		
Fe	0.216	0.215	0.222	0.226		0.227		0.230	0.220	0.224	0.226	0.205		0.204		
Mn	0.004	0.004	0.005	0.007		0.007		0.005	0.007	0.006	0.006	0.005		0.005		
Mg	0.744	0.761	0.759	0.804		0.791		0.733	0.732	0.746	0.739	0.740		0.752		
Ca	0.815	0.807	0.813	0.819		0.800		0.794	0.797	0.795	0.799	0.821		0.819		
Na	0.040	0.046	0.041	0.037		0.042		0.055	0.059	0.053	0.050	0.030		0.031		
K	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000		
Ni	0.000	0.000	0.001	0.000		0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.001		
total	4.009	4.010	4.012	4.006		4.005		4.004	4.005	4.004	4.007	4.000		4.001		
Mg#	0.78	0.78	0.77	0.78		0.78		0.76	0.77	0.77	0.77	0.78		0.79		
Cr#	0.00	0.00	0.00	0.01		0.01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al).

**Table 2.4.** continued

Sample No.	Spl-poor granulite						Spl-rich granulite							
	KR-029		rim		C-type		KR-032		rim		KR-320		rim	
	core n = 6	1σ	n = 3	1σ			core n = 5	1σ	n = 4	1σ	core n = 5	1σ	n = 3	1σ
SiO <sub>2</sub>	50.36	0.19	50.36	0.29	50.97	50.12	50.13	0.34	50.02	0.27	51.65	0.19	51.68	0.12
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.03	0.39	0.02	0.39	0.40	0.27	0.03	0.25	0.02	0.39	0.03	0.37	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.90	0.32	8.04	0.25	7.77	8.08	8.57	0.23	8.09	0.17	7.73	0.13	7.63	0.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.05	0.15	0.02	0.04	0.14	0.02	0.02	0.03	0.01	0.07	0.02	0.08	0.03
FeO*	6.39	0.19	6.42	0.10	6.22	6.25	7.13	0.02	7.19	0.09	4.29	0.05	4.25	0.03
MnO	0.16	0.02	0.15	0.04	0.15	0.14	0.17	0.02	0.15	0.02	0.10	0.02	0.11	0.03
MgO	14.07	0.09	14.01	0.09	14.41	13.78	13.45	0.16	13.75	0.04	15.00	0.05	15.02	0.04
CaO	21.60	0.10	21.41	0.24	21.39	21.40	21.43	0.13	21.29	0.10	21.54	0.07	21.43	0.13
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.03	0.46	0.04	0.48	0.52	0.47	0.02	0.46	0.02	0.79	0.03	0.79	0.02
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01
total	101.45	0.35	101.41	0.58	101.83	100.84	101.65	0.48	101.22	0.61	101.59	0.12	101.39	0.12
Si	1.826		1.826		1.837	1.827	1.818		1.823		1.850		1.854	
Ti	0.012		0.011		0.011	0.011	0.007		0.007		0.011		0.010	
Al	0.338		0.343		0.330	0.347	0.366		0.347		0.326		0.322	
Cr	0.004		0.004		0.001	0.004	0.001		0.001		0.002		0.002	
Fe	0.194		0.195		0.187	0.191	0.216		0.219		0.128		0.127	
Mn	0.005		0.005		0.005	0.004	0.005		0.005		0.003		0.003	
Mg	0.760		0.757		0.774	0.749	0.727		0.747		0.801		0.803	
Ca	0.839		0.832		0.826	0.836	0.833		0.831		0.826		0.823	
Na	0.029		0.033		0.034	0.037	0.033		0.032		0.055		0.055	
K	0.000		0.000		0.000	0.000	0.000		0.000		0.000		0.000	
Ni	0.000		0.000		0.000	0.000	0.000		0.000		0.001		0.001	
total	4.006		4.006		4.004	4.005	4.008		4.012		4.003		4.002	
Mg#	0.80		0.80		0.81	0.80	0.77		0.77		0.86		0.86	
Cr#	0.01		0.01		0.00	0.01	0.00		0.00		0.01		0.01	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al).

**Table 2.4.** continued

Sample No.	Spl-rich granulite													
	KR-005				KR-015				KR-027		KR-031			
	core		rim		core		rim		core		core		rim	
	n = 7	1 $\sigma$	n = 5	1 $\sigma$	n = 5	1 $\sigma$	n = 3	1 $\sigma$	n = 4	1 $\sigma$	n = 5	1 $\sigma$	n = 5	1 $\sigma$
SiO <sub>2</sub>	51.31	0.41	51.45	0.66	51.82	0.13	51.93	0.04	51.91	0.28	50.29	0.54	50.70	0.43
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.03	0.28	0.02	0.32	0.01	0.31	0.02	0.25	0.02	0.43	0.03	0.38	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.78	0.18	7.64	0.17	7.91	0.15	7.84	0.02	7.68	0.08	8.20	0.14	7.86	0.11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.08	0.11	0.09	0.02	0.02	0.00	0.00	0.07	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04
FeO*	4.91	0.14	4.94	0.09	4.50	0.08	4.54	0.02	4.05	0.10	5.93	0.20	5.98	0.09
MnO	0.12	0.01	0.11	0.03	0.11	0.01	0.09	0.02	0.10	0.02	0.13	0.02	0.12	0.01
MgO	14.89	0.25	14.95	0.24	14.97	0.08	15.08	0.17	15.00	0.14	13.96	0.18	14.22	0.27
CaO	21.47	0.19	21.25	0.14	21.43	0.03	21.24	0.02	21.61	0.12	20.78	0.20	20.58	0.14
Na <sub>2</sub> O	0.73	0.03	0.74	0.02	0.71	0.02	0.75	0.02	0.82	0.07	0.76	0.03	0.76	0.02
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
NiO	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
total	101.58	0.47	101.50	0.89	101.79	0.23	101.81	0.25	101.49	0.58	100.55	0.79	100.67	0.69
Si	1.843		1.849		1.851		1.854		1.858		1.832		1.843	
Ti	0.008		0.008		0.009		0.008		0.007		0.012		0.010	
Al	0.329		0.324		0.333		0.330		0.324		0.352		0.337	
Cr	0.002		0.003		0.001		0.000		0.002		0.002		0.001	
Fe	0.147		0.148		0.134		0.136		0.121		0.181		0.182	
Mn	0.004		0.003		0.003		0.003		0.003		0.004		0.004	
Mg	0.797		0.801		0.797		0.803		0.800		0.758		0.770	
Ca	0.826		0.818		0.820		0.813		0.829		0.811		0.802	
Na	0.051		0.052		0.049		0.052		0.057		0.054		0.053	
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Ni	0.001		0.001		0.000		0.001		0.001		0.001		0.001	
total	4.009		4.006		3.998		3.999		4.001		4.006		4.004	
Mg#	0.84		0.84		0.86		0.86		0.87		0.81		0.81	
Cr#	0.01		0.01		0.00		0.00		0.01		0.00		0.00	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al).

**Table 2.4.** continued

Sample No.	Spl-rich websterite														
	KR-22				KR-011				KR-026				S-type	S-type	S'-type
	core n = 10	1σ	rim n = 4	1σ	core n = 6	1σ	rim n = 2	1σ	core n = 4	1σ	rim n = 3	1σ			
SiO <sub>2</sub>	51.82	0.51	51.98	0.33	50.88	0.14	50.88	0.28	50.78	0.22	51.50	0.31	51.31	51.47	51.47
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.02	0.32	0.02	0.35	0.03	0.31	0.02	0.41	0.04	0.39	0.05	0.27	0.25	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.29	0.77	6.21	0.50	7.43	0.22	7.37	0.20	7.16	0.33	6.56	0.46	7.68	7.72	6.62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.04	0.09	0.03	0.03	0.02	0.07	0.01	0.12	0.06	0.13	0.01	0.02	0.00	0.00
FeO*	5.10	0.08	5.18	0.05	5.98	0.09	5.97	0.09	5.34	0.05	5.54	0.16	5.25	5.44	5.47
MnO	0.12	0.02	0.11	0.03	0.13	0.02	0.16	0.05	0.12	0.02	0.15	0.00	0.15	0.11	0.11
MgO	15.42	0.39	15.48	0.20	14.43	0.10	14.47	0.03	14.77	0.16	15.09	0.24	14.60	14.92	15.09
CaO	21.54	0.22	21.33	0.12	21.14	0.14	21.00	0.03	21.49	0.16	21.45	0.10	21.54	21.52	21.63
Na <sub>2</sub> O	0.62	0.08	0.61	0.08	0.64	0.04	0.68	0.01	0.53	0.03	0.51	0.01	0.63	0.60	0.47
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	0.04
total	101.34	0.45	101.33	0.57	101.01	0.55	100.90	0.02	100.75	0.48	101.35	0.08	101.46	102.05	101.21
Si	1.869		1.873		1.846		1.848		1.845		1.861		1.848	1.844	1.861
Ti	0.009		0.009		0.009		0.008		0.011		0.011		0.007	0.007	0.009
Al	0.267		0.264		0.318		0.315		0.306		0.279		0.326	0.326	0.282
Cr	0.002		0.002		0.001		0.002		0.004		0.004		0.001	0.000	0.000
Fe	0.154		0.156		0.181		0.181		0.162		0.167		0.158	0.163	0.165
Mn	0.004		0.003		0.004		0.005		0.004		0.004		0.004	0.003	0.003
Mg	0.829		0.832		0.781		0.783		0.800		0.813		0.784	0.797	0.813
Ca	0.832		0.824		0.822		0.817		0.837		0.830		0.831	0.826	0.838
Na	0.043		0.043		0.045		0.048		0.037		0.036		0.044	0.042	0.033
K	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	0.000	0.000
Ni	0.001		0.001		0.000		0.000		0.001		0.001		0.000	0.001	0.001
total	4.010		4.006		4.007		4.009		4.007		4.005		4.003	4.008	4.006
Mg#	0.84		0.84		0.81		0.81		0.83		0.83		0.83	0.83	0.83
Cr#	0.01		0.01		0.00		0.01		0.01		0.01		0.00	0.00	0.00

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al).



**Table 2.4.** continued

Sample No.	Spl-rich lherzolite													
	KR-2		KR-383				KR-1401				KR-P001			
	core n = 6	1 $\sigma$	core n = 6	1 $\sigma$	rim n = 4	1 $\sigma$	core n = 7	1 $\sigma$	rim n = 4	1 $\sigma$	core n = 6	1 $\sigma$	rim n = 6	1 $\sigma$
SiO <sub>2</sub>	53.37	0.19	53.20	0.33	53.14	0.07	53.19	0.20	53.14	0.14	52.76	0.23	52.89	0.19
TiO <sub>2</sub>	0.10	0.03	0.20	0.03	0.21	0.01	0.29	0.02	0.29	0.03	0.30	0.03	0.29	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.33	0.07	5.61	0.28	5.54	0.12	4.69	0.08	4.65	0.06	5.68	0.25	5.59	0.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40	0.04	0.33	0.04	0.33	0.03	0.62	0.04	0.63	0.05	0.41	0.07	0.39	0.06
FeO*	3.53	0.08	3.36	0.05	3.45	0.08	3.32	0.06	3.32	0.05	3.33	0.06	3.28	0.10
MnO	0.12	0.02	0.11	0.02	0.09	0.03	0.12	0.01	0.11	0.00	0.10	0.02	0.10	0.01
MgO	15.57	0.13	16.29	0.18	16.38	0.13	16.31	0.10	16.44	0.03	15.94	0.20	16.05	0.03
CaO	20.29	0.20	21.68	0.11	21.55	0.07	21.28	0.14	21.13	0.08	21.53	0.17	21.46	0.10
Na <sub>2</sub> O	1.50	0.04	0.75	0.02	0.78	0.04	0.83	0.02	0.80	0.02	1.00	0.04	1.04	0.04
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01
total	101.25	0.34	101.58	0.33	101.53	0.28	100.70	0.42	100.53	0.21	101.10	0.26	101.12	0.25
Si	1.906		1.898		1.897		1.915		1.915		1.893		1.896	
Ti	0.003		0.005		0.006		0.008		0.008		0.008		0.008	
Al	0.266		0.236		0.233		0.199		0.197		0.240		0.236	
Cr	0.011		0.009		0.009		0.018		0.018		0.012		0.011	
Fe	0.105		0.100		0.103		0.100		0.100		0.100		0.098	
Mn	0.003		0.003		0.003		0.004		0.003		0.003		0.003	
Mg	0.829		0.866		0.872		0.875		0.883		0.853		0.858	
Ca	0.776		0.829		0.824		0.821		0.816		0.828		0.824	
Na	0.104		0.052		0.054		0.058		0.056		0.069		0.072	
K	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000		0.000	
Ni	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001	
total	4.005		4.001		4.003		3.998		3.998		4.008		4.008	
Mg#	0.89		0.90		0.89		0.90		0.90		0.90		0.90	
Cr#	0.04		0.04		0.04		0.08		0.08		0.05		0.04	

n, number of analysis; Mg#, Mg/(Mg+Fe) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr+Al).

**Table 2.5.** Major-element compositions (in wt%) of plagioclases in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-free granulite								Spl-poor granulite									
	KR-14				KR-018				KR-332				KR-004				KR-008	
	core n = 5		rim n = 4		core n = 3		rim n = 2		core n = 5		core n = 4		rim n = 2		core n = 5			
		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		1 $\sigma$		
SiO <sub>2</sub>	47.45	0.08	47.88	0.15	46.68	0.30	47.01	0.20	46.28	0.14	46.04	0.16	46.66	0.45	46.17	0.26		
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.78	0.17	33.56	0.21	35.36	0.24	34.97	0.07	35.29	0.15	35.14	0.26	34.42	0.09	35.34	0.30		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
FeO*	0.15	0.01	0.14	0.02	0.11	0.00	0.17	0.00	0.15	0.01	0.14	0.02	0.14	0.03	0.10	0.01		
MnO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01		
MgO	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01		
CaO	17.03	0.09	16.80	0.15	18.17	0.09	17.89	0.19	18.52	0.06	18.62	0.17	17.89	0.08	18.73	0.21		
Na <sub>2</sub> O	1.86	0.04	2.02	0.12	1.12	0.10	1.26	0.06	1.10	0.03	1.00	0.08	1.39	0.00	1.00	0.11		
K <sub>2</sub> O	0.12	0.01	0.10	0.01	0.08	0.02	0.06	0.03	0.04	0.01	0.03	0.00	0.05	0.01	0.05	0.01		
NiO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
total	100.40	0.25	100.53	0.21	101.56	0.31	101.41	0.02	101.40	0.25	101.01	0.39	100.60	0.57	101.43	0.29		
Si	2.171		2.186		2.114		2.131		2.103		2.101		2.134		2.098			
Ti	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000			
Al	1.821		1.805		1.888		1.869		1.890		1.890		1.856		1.893			
Cr	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000			
Fe	0.006		0.005		0.004		0.006		0.006		0.005		0.006		0.004			
Mn	0.000		0.000		0.000		0.001		0.000		0.000		0.001		0.000			
Mg	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.002			
Ca	0.835		0.821		0.882		0.869		0.902		0.910		0.877		0.912			
Na	0.165		0.179		0.098		0.111		0.097		0.088		0.123		0.088			
K	0.007		0.006		0.005		0.003		0.002		0.002		0.003		0.003			
Ni	0.000		0.000		0.000		0.001		0.000		0.000		0.000		0.000			
total	5.005		5.004		4.993		4.991		5.001		4.999		5.001		5.000			
An	83.0		81.7		89.6		88.4		90.1		91.0		87.4		90.9			

n, number of analysis; An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 2.5.** continued

Sample No.	Spl-poor granulite														Spl-rich granulite	
	KR-008		KR-014		KR-029		KR-029		KR-032		KR-032		KR-320		KR-320	
	rim n = 4	1σ	core n = 5	1σ	rim n = 3	1σ	core n = 4	1σ	rim n = 4	1σ	core n = 5	1σ	rim n = 4	1σ	core n = 5	1σ
SiO <sub>2</sub>	47.06	0.84	45.84	0.18	45.75	0.04	45.47	0.12	45.52	0.12	45.62	0.20	45.61	0.24	49.36	0.21
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.66	0.72	35.59	0.14	35.79	0.19	35.38	0.27	35.44	0.24	35.53	0.17	35.59	0.05	33.33	0.14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	0.17	0.04	0.16	0.02	0.19	0.05	0.12	0.02	0.15	0.04	0.15	0.02	0.18	0.01	0.12	0.02
MnO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
MgO	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01
CaO	17.94	0.61	18.46	0.06	18.69	0.15	18.65	0.21	18.69	0.08	19.01	0.15	18.90	0.04	16.18	0.05
Na <sub>2</sub> O	1.41	0.38	0.87	0.04	0.79	0.06	0.90	0.05	0.91	0.05	0.83	0.05	0.92	0.06	2.42	0.05
K <sub>2</sub> O	0.07	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.03	0.00	0.07	0.02
NiO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
total	101.35	0.19	100.99	0.27	101.28	0.18	100.61	0.47	100.79	0.23	101.21	0.17	101.25	0.33	101.51	0.19
Si	2.136		2.090		2.082		2.085		2.083		2.080		2.079		2.225	
Ti	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Al	1.855		1.913		1.919		1.911		1.912		1.910		1.912		1.770	
Cr	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Fe	0.006		0.006		0.007		0.004		0.006		0.006		0.007		0.004	
Mn	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Mg	0.002		0.002		0.001		0.001		0.001		0.002		0.001		0.002	
Ca	0.873		0.902		0.911		0.916		0.917		0.929		0.923		0.781	
Na	0.124		0.077		0.070		0.080		0.081		0.073		0.081		0.211	
K	0.004		0.001		0.002		0.003		0.003		0.002		0.001		0.004	
Ni	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
total	5.001		4.992		4.994		5.001		5.002		5.002		5.006		4.998	
An	87.2		92.0		92.7		#NAME?		91.7		92.5		91.8		78.4	

n, number of analysis; An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 2.5.** continued

Sample No.	Spl-rich granulite																Spl-rich websterite	
	KR-320		KR-005		KR-015		KR-015		KR-027		KR-031		KR-031		KR-026			
	rim n = 4	lσ	core n = 4	lσ	rim n = 3	lσ	core n = 5	lσ	rim n = 3	lσ	core n = 6	lσ	core n = 4	lσ	rim n = 4	lσ	core n = 2	lσ
SiO <sub>2</sub>	49.31	0.27	48.21	0.15	48.40	0.14	48.39	0.15	48.89	0.42	49.05	0.26	47.80	0.42	48.19	0.27	46.06	0.15
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.11	0.09	34.13	0.15	33.88	0.08	34.10	0.19	33.87	0.15	33.13	0.38	33.49	0.18	33.15	0.19	35.19	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
FeO*	0.12	0.02	0.09	0.02	0.14	0.04	0.08	0.02	0.11	0.01	0.05	0.03	0.12	0.02	0.13	0.02	0.08	0.01
MnO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
MgO	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01
CaO	16.12	0.06	17.16	0.21	16.86	0.02	16.76	0.07	16.43	0.14	16.26	0.21	16.78	0.03	16.38	0.12	18.27	0.02
Na <sub>2</sub> O	2.45	0.04	1.85	0.08	2.03	0.04	1.91	0.03	2.11	0.04	2.37	0.08	1.93	0.09	2.13	0.05	1.02	0.04
K <sub>2</sub> O	0.07	0.01	0.08	0.00	0.08	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.09	0.01	0.05	0.02	0.08	0.01	0.06	0.02
NiO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
total	101.21	0.31	101.57	0.41	101.44	0.26	101.30	0.19	101.48	0.57	100.99	0.67	100.20	0.64	100.09	0.65	100.72	0.14
Si	2.229		2.178		2.188		2.187		2.204		2.223		2.187		2.205		2.105	
Ti	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Al	1.764		1.817		1.805		1.816		1.800		1.770		1.806		1.788		1.895	
Cr	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Fe	0.004		0.003		0.005		0.003		0.004		0.002		0.005		0.005		0.003	
Mn	0.000		0.000		0.001		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
Mg	0.001		0.002		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.002	
Ca	0.781		0.831		0.817		0.812		0.794		0.790		0.823		0.803		0.895	
Na	0.215		0.162		0.178		0.168		0.184		0.208		0.171		0.189		0.090	
K	0.004		0.004		0.005		0.002		0.003		0.005		0.003		0.005		0.003	
Ni	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
total	4.998		4.997		5.001		4.989		4.990		4.999		4.997		4.997		4.994	
An	78.1		83.3		81.7		82.7		80.9		78.7		82.5		80.6		90.5	

n, number of analysis; An, 100\*Ca/(Ca+Na+K) atomic ratio.

**Table 2.6.** Major-element compositions (in wt%) of spinels in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-poor granulite													
	KR-332				KR-004				KR-008					
	C-type	C-type	C-type	C-type			C-type	C-type	C-type	C-type	C-type	C-type	C-type	
SiO <sub>2</sub>	0.03	0.08	0.04	0.07	0.01	0.06	0.07	0.08	0.06	0.40	0.04	0.03	0.06	
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.18	0.23	0.35	0.05	0.11	0.11	0.11	0.22	0.10	0.28	0.10	0.21	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59.88	59.46	61.66	60.88	62.06	61.88	60.76	61.05	63.82	62.30	65.84	62.50	62.88	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.06	0.10	0.00	0.17	0.22	0.18	0.13	0.07	0.09	0.06	0.10	0.16	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.69	18.38	20.28	19.75	16.99	16.83	15.39	15.77	18.66	17.52	18.18	16.89	16.92	
FeO	8.76	8.54	5.48	6.27	5.12	5.23	6.67	6.68	3.07	5.61	1.69	5.91	4.71	
MnO	0.22	0.29	0.22	0.21	0.16	0.17	0.15	0.15	0.24	0.15	0.19	0.14	0.19	
MgO	16.12	15.55	14.64	14.92	16.39	16.51	17.22	17.12	15.78	16.34	16.55	16.85	16.81	
CaO	0.07	0.17	0.09	0.15	0.03	0.07	0.11	0.09	0.12	0.57	0.07	0.02	0.10	
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	
NiO	0.10	0.11	0.05	0.08	0.07	0.08	0.09	0.06	0.05	0.05	0.08	0.07	0.05	
total	103.07	102.84	102.80	102.68	101.06	101.17	100.75	101.25	102.10	103.14	103.00	102.64	102.10	
Si	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.010	0.001	0.001	0.001	
Ti	0.003	0.004	0.004	0.007	0.001	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.005	0.002	0.004	
Al	1.818	1.816	1.877	1.857	1.892	1.884	1.856	1.858	1.924	1.867	1.951	1.877	1.893	
Cr	0.001	0.001	0.002	0.000	0.003	0.005	0.004	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	
Fe <sup>3+</sup>	0.170	0.167	0.106	0.122	0.100	0.102	0.130	0.130	0.059	0.107	0.032	0.113	0.091	
Fe <sup>2+</sup>	0.381	0.398	0.438	0.427	0.368	0.364	0.334	0.341	0.399	0.373	0.382	0.360	0.361	
Mn	0.005	0.006	0.005	0.005	0.003	0.004	0.003	0.003	0.005	0.003	0.004	0.003	0.004	
Mg	0.619	0.601	0.564	0.576	0.632	0.636	0.665	0.659	0.602	0.619	0.621	0.640	0.640	
Ca	0.002	0.005	0.002	0.004	0.001	0.002	0.003	0.002	0.003	0.016	0.002	0.001	0.003	
Na	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	
total	3.002	3.003	3.002	3.002	3.002	3.002	3.001	3.001	3.002	3.000	3.002	3.001	3.001	
Mg#	0.62	0.60	0.56	0.57	0.63	0.64	0.67	0.66	0.60	0.62	0.62	0.64	0.64	
Cr#	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Y <sub>Cr</sub>	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	
Y <sub>Al</sub>	0.914	0.915	0.945	0.938	0.948	0.947	0.933	0.933	0.970	0.945	0.983	0.942	0.953	
Y <sub>Fe</sub>	0.085	0.084	0.054	0.062	0.050	0.051	0.065	0.065	0.030	0.054	0.016	0.057	0.046	
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.312	0.299	0.199	0.228	0.214	0.221	0.283	0.279	0.131	0.226	0.079	0.242	0.204	

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 2.6.** continued

Sample No.	Spl-poor granulite													
	KR-014				KR-029				KR-032					
					C-type	C-type	C-type	C-type						
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.03	0.01	0.01	0.05	0.09	0.06	0.10	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.09	0.05	0.07	0.16	0.13	0.11	0.15	0.08	0.06	0.05	0.13	0.09	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63.47	63.52	63.43	62.95	62.40	62.68	63.30	62.16	62.90	63.83	61.88	62.36	62.37	62.37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.61	0.54	0.66	0.65	0.51	0.20	0.48	0.74	0.56	0.51	0.59	0.45	0.53	0.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.14	17.10	17.10	17.22	14.30	14.66	13.94	13.93	17.89	18.10	16.56	17.87	17.63	17.63
FeO	3.86	3.39	3.56	4.06	5.70	5.40	5.50	5.66	5.30	3.95	7.00	5.81	5.30	5.30
MnO	0.13	0.13	0.12	0.16	0.16	0.15	0.14	0.15	0.20	0.15	0.15	0.16	0.19	0.19
MgO	16.67	16.61	16.61	16.49	18.38	18.11	18.83	18.53	16.40	16.28	17.15	16.35	16.33	16.33
CaO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.14	0.10	0.14	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.07	0.08	0.08	0.05	0.14	0.12	0.12	0.08	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03
total	102.04	101.52	101.64	101.66	101.85	101.68	102.56	101.66	103.40	102.98	103.46	103.19	102.51	102.51
Si	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Ti	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002
Al	1.908	1.917	1.913	1.903	1.869	1.880	1.877	1.864	1.881	1.909	1.850	1.872	1.881	1.881
Cr	0.012	0.011	0.013	0.013	0.010	0.004	0.009	0.015	0.011	0.010	0.012	0.009	0.011	0.011
Fe <sup>3+</sup>	0.074	0.065	0.069	0.078	0.109	0.104	0.104	0.108	0.101	0.075	0.134	0.111	0.102	0.102
Fe <sup>2+</sup>	0.366	0.366	0.366	0.369	0.304	0.312	0.293	0.296	0.380	0.384	0.351	0.381	0.377	0.377
Mn	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004
Mg	0.634	0.634	0.634	0.631	0.697	0.687	0.706	0.703	0.620	0.616	0.648	0.621	0.623	0.623
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.003	0.004	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001
total	3.001	3.001	3.001	3.001	3.002	3.001	3.001	3.002	3.001	3.001	3.001	3.001	3.001	3.001
Mg#	0.63	0.63	0.63	0.63	0.70	0.69	0.71	0.70	0.62	0.62	0.65	0.62	0.62	0.62
Cr#	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Y <sub>Cr</sub>	0.006	0.005	0.007	0.007	0.005	0.002	0.005	0.007	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005
Y <sub>Al</sub>	0.957	0.962	0.959	0.954	0.940	0.946	0.943	0.938	0.944	0.957	0.927	0.940	0.943	0.943
Y <sub>Fe</sub>	0.037	0.033	0.034	0.039	0.055	0.052	0.052	0.055	0.051	0.038	0.067	0.056	0.051	0.051
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.170	0.153	0.159	0.176	0.268	0.252	0.265	0.272	0.212	0.165	0.277	0.229	0.215	0.215

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 2.6.** continued

		Spl-rich granulite														
Sample No.	KR-320					KR-005					KR-015					
SiO <sub>2</sub>	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.05	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.06	0.04	0.02	0.02	0.03	0.06	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65.04	65.15	64.81	65.55	65.64	65.54	65.84	65.34	64.70	61.71	66.87	66.78	67.13	66.57	66.77	67.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.07	1.31	1.68	0.84	1.03	0.40	0.73	0.81	1.34	3.19	0.49	0.36	0.35	0.41	0.47	0.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.25	11.48	11.58	11.31	11.44	12.72	13.14	12.53	13.40	13.17	12.07	12.60	12.67	12.29	12.19	11.89
FeO	2.65	2.60	2.31	2.31	2.36	2.44	2.26	2.60	2.78	3.08	2.46	1.31	1.67	2.25	2.29	2.56
MnO	0.12	0.11	0.10	0.05	0.10	0.11	0.08	0.14	0.11	0.11	0.08	0.09	0.09	0.09	0.13	0.11
MgO	20.40	20.36	20.22	20.42	20.45	19.52	19.46	19.70	19.15	18.69	20.46	19.78	19.96	20.13	20.32	20.62
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
NiO	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	0.20	0.20	0.21	0.21	0.20	0.14	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13
total	100.84	101.31	101.01	100.79	101.30	100.97	101.79	101.39	101.75	100.23	102.63	101.09	102.05	101.95	102.39	102.73
Si	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Al	1.923	1.920	1.917	1.935	1.930	1.942	1.938	1.930	1.916	1.870	1.941	1.965	1.959	1.946	1.943	1.941
Cr	0.021	0.026	0.033	0.017	0.020	0.008	0.014	0.016	0.027	0.065	0.009	0.007	0.007	0.008	0.009	0.005
Fe <sup>3+</sup>	0.050	0.049	0.044	0.044	0.044	0.046	0.043	0.049	0.053	0.060	0.046	0.025	0.031	0.042	0.043	0.047
Fe <sup>2+</sup>	0.236	0.240	0.243	0.237	0.239	0.267	0.275	0.263	0.282	0.283	0.249	0.263	0.262	0.255	0.252	0.244
Mn	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
Mg	0.763	0.759	0.756	0.762	0.761	0.731	0.725	0.736	0.717	0.716	0.751	0.736	0.737	0.744	0.748	0.755
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ni	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
total	3.001	3.002	3.001	3.002	3.002	3.002	3.001	3.002	3.001	3.002	3.002	3.002	3.002	3.001	3.002	3.001
Mg#	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.73	0.73	0.74	0.72	0.72	0.75	0.74	0.74	0.74	0.75	0.76
Cr#	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>Cr</sub>	0.011	0.013	0.017	0.008	0.010	0.004	0.007	0.008	0.013	0.033	0.005	0.004	0.003	0.004	0.005	0.003
Y <sub>Al</sub>	0.964	0.963	0.961	0.970	0.968	0.973	0.971	0.967	0.960	0.938	0.972	0.984	0.981	0.975	0.974	0.974
Y <sub>Fe</sub>	0.025	0.024	0.022	0.022	0.022	0.023	0.021	0.025	0.026	0.030	0.023	0.012	0.016	0.021	0.021	0.024
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.176	0.170	0.154	0.156	0.158	0.148	0.135	0.158	0.158	0.175	0.156	0.086	0.106	0.142	0.146	0.164

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 2.6.** continued

Sample No.	Spl-rich granulite							Spl-rich websterite							
	KR-027		KR-031					KR-22							
SiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.01	0.06	0.10	0.07	0.09	0.09	0.12	0.12	0.08	0.08	0.05	0.09	0.11	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65.16	66.55	63.80	62.16	62.44	63.48	63.20	62.55	62.40	62.94	61.64	62.40	63.05	62.95	63.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.23	1.18	0.62	1.82	1.00	0.89	0.94	2.08	1.90	1.55	2.36	1.63	2.08	1.99	1.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.05	11.12	14.58	15.63	15.47	15.31	15.44	13.66	13.44	13.01	12.57	12.22	13.78	14.02	13.57
FeO	2.59	2.36	3.14	3.20	3.52	3.13	3.52	3.81	4.34	4.49	4.36	4.30	3.76	3.21	3.98
MnO	0.13	0.10	0.12	0.10	0.12	0.16	0.14	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.13	0.09
MgO	20.56	20.99	18.06	17.19	17.22	17.63	17.55	18.70	18.85	19.21	19.12	19.38	18.79	18.47	19.05
CaO	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.21	0.24	0.19	0.18	0.17	0.16	0.20	0.18	0.25	0.21	0.16	0.23	0.21	0.15	0.20
total	101.01	102.56	100.59	100.42	100.04	100.92	101.09	101.21	101.42	101.62	100.44	100.37	101.89	101.07	102.25
Si	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
Ti	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
Al	1.922	1.929	1.921	1.893	1.905	1.914	1.906	1.877	1.870	1.877	1.861	1.878	1.880	1.890	1.887
Cr	0.024	0.023	0.013	0.037	0.020	0.018	0.019	0.042	0.038	0.031	0.048	0.033	0.042	0.040	0.032
Fe <sup>3+</sup>	0.049	0.044	0.060	0.062	0.068	0.060	0.068	0.073	0.083	0.086	0.084	0.083	0.072	0.062	0.075
Fe <sup>2+</sup>	0.231	0.229	0.311	0.338	0.335	0.327	0.330	0.291	0.286	0.275	0.269	0.261	0.291	0.299	0.285
Mn	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
Mg	0.767	0.770	0.688	0.662	0.664	0.672	0.669	0.710	0.715	0.725	0.730	0.738	0.709	0.702	0.714
Ca	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.004	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003	0.004
total	3.002	3.002	3.001	3.001	3.002	3.002	3.002	3.001	3.002	3.002	3.001	3.002	3.002	3.002	3.001
Mg#	0.77	0.77	0.69	0.66	0.66	0.67	0.67	0.71	0.71	0.72	0.73	0.74	0.71	0.70	0.71
Cr#	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Y <sub>Cr</sub>	0.012	0.011	0.006	0.019	0.010	0.009	0.010	0.021	0.019	0.016	0.024	0.017	0.021	0.020	0.016
Y <sub>Al</sub>	0.963	0.967	0.963	0.950	0.955	0.961	0.956	0.942	0.939	0.941	0.934	0.942	0.943	0.949	0.946
Y <sub>Fe</sub>	0.024	0.022	0.030	0.031	0.034	0.030	0.034	0.037	0.042	0.043	0.042	0.041	0.036	0.031	0.038
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.175	0.161	0.164	0.157	0.171	0.157	0.172	0.203	0.228	0.239	0.240	0.242	0.199	0.173	0.210

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. Y<sub>R<sup>3+</sup></sub>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.



**Table 2.6.** continued

Sample No.	Spl-rich websterite													
	KR-22			KR-011			KR-026				S'-type	S'-type	S-type	S-type
SiO <sub>2</sub>	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	0.00	0.04	0.07	0.04	0.03
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.10	0.12	0.08	0.04	0.06	0.06	0.06	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63.65	64.17	63.09	63.28	63.20	63.87	61.24	61.43	62.08	64.85	64.05	64.12	65.50	65.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.52	1.69	2.47	0.14	0.27	0.23	3.58	3.38	2.59	0.85	0.81	0.34	0.05	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.06	13.16	13.63	14.53	14.99	15.16	14.67	15.30	14.15	13.87	13.00	12.93	12.82	12.80
FeO	3.54	2.60	3.01	4.66	4.44	4.07	3.66	3.35	4.26	3.51	4.41	4.71	4.31	4.26
MnO	0.10	0.12	0.14	0.13	0.15	0.11	0.13	0.12	0.11	0.13	0.14	0.10	0.12	0.12
MgO	19.19	19.13	18.74	18.14	17.83	17.91	17.95	17.56	18.45	19.01	19.41	19.43	19.86	19.84
CaO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NiO	0.18	0.22	0.18	0.14	0.17	0.14	0.24	0.28	0.28	0.22	0.22	0.24	0.22	0.23
total	101.35	101.17	101.32	101.13	101.13	101.60	101.60	101.57	102.02	102.49	102.19	102.06	103.02	102.93
Si	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001
Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Al	1.896	1.911	1.888	1.902	1.903	1.911	1.849	1.857	1.859	1.912	1.893	1.896	1.911	1.914
Cr	0.030	0.034	0.050	0.003	0.005	0.005	0.073	0.068	0.052	0.017	0.016	0.007	0.001	0.001
Fe <sup>3+</sup>	0.067	0.049	0.057	0.089	0.085	0.078	0.071	0.065	0.081	0.066	0.083	0.089	0.080	0.079
Fe <sup>2+</sup>	0.276	0.278	0.289	0.310	0.320	0.322	0.314	0.328	0.301	0.290	0.273	0.271	0.265	0.265
Mn	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
Mg	0.723	0.720	0.709	0.689	0.679	0.678	0.685	0.671	0.699	0.709	0.726	0.727	0.733	0.733
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
Na	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.005	0.006	0.006	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005
total	3.001	3.002	3.001	3.001	3.002	3.001	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002
Mg#	0.72	0.72	0.71	0.69	0.68	0.68	0.69	0.67	0.70	0.71	0.73	0.73	0.73	0.73
Cr#	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Y <sub>Cr</sub>	0.015	0.017	0.025	0.001	0.003	0.002	0.036	0.034	0.026	0.008	0.008	0.003	0.000	0.001
Y <sub>Al</sub>	0.951	0.958	0.946	0.954	0.955	0.959	0.928	0.933	0.933	0.958	0.950	0.952	0.959	0.960
Y <sub>Fe</sub>	0.034	0.025	0.029	0.045	0.043	0.039	0.035	0.032	0.041	0.033	0.042	0.045	0.040	0.040
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.198	0.152	0.166	0.225	0.212	0.196	0.186	0.167	0.215	0.186	0.236	0.249	0.234	0.231

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 2.6.** continued

Sample No.	Spl-rich lherzolite															
	KR-2					KR-383					KR-1401					
SiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	0.03	0.01	0.00	0.03	0.03	0.03	0.04	0.00	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.05	0.04	0.05	0.03	0.06	0.11	0.15	0.12	0.14	0.13	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62.15	61.09	61.50	61.57	61.83	60.80	61.77	61.40	61.69	62.24	51.40	50.49	50.84	51.22	51.30	51.45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.00	7.03	6.90	6.25	6.03	6.67	5.81	6.42	6.19	5.88	15.65	16.58	16.06	15.77	15.71	15.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.64	11.05	11.05	10.66	10.70	9.89	9.93	9.97	10.02	10.29	11.17	11.63	11.58	11.29	11.41	11.26
FeO	2.15	1.90	1.92	2.31	2.40	2.68	2.65	2.66	2.38	2.43	3.72	3.22	2.56	3.00	2.77	2.72
MnO	0.13	0.12	0.10	0.09	0.13	0.12	0.10	0.13	0.14	0.11	0.12	0.13	0.13	0.19	0.14	0.10
MgO	20.73	20.31	20.45	20.60	20.67	20.98	21.10	21.10	21.04	21.07	19.25	18.80	18.63	18.99	18.88	18.91
CaO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
NiO	0.29	0.30	0.30	0.30	0.34	0.32	0.32	0.30	0.32	0.26	0.24	0.24	0.23	0.19	0.22	0.25
total	102.12	101.85	102.33	101.80	102.16	101.57	101.75	102.09	101.84	102.36	101.72	101.31	100.18	100.84	100.56	100.19
Si	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003
Al	1.836	1.818	1.820	1.827	1.829	1.809	1.828	1.815	1.826	1.832	1.592	1.577	1.600	1.599	1.605	1.613
Cr	0.119	0.140	0.137	0.124	0.120	0.133	0.115	0.127	0.123	0.116	0.325	0.347	0.339	0.330	0.330	0.323
Fe <sup>3+</sup>	0.041	0.036	0.036	0.044	0.045	0.051	0.050	0.050	0.045	0.046	0.074	0.064	0.051	0.060	0.055	0.054
Fe <sup>2+</sup>	0.223	0.233	0.232	0.224	0.224	0.209	0.209	0.209	0.210	0.215	0.246	0.258	0.259	0.250	0.253	0.250
Mn	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002
Mg	0.775	0.765	0.766	0.773	0.773	0.789	0.790	0.789	0.788	0.784	0.754	0.743	0.741	0.750	0.747	0.750
Ca	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
Ni	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005
total	3.002	3.002	3.003	3.003	3.002	3.002	3.003	3.002	3.003	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002
Mg#	0.78	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.75	0.74	0.74	0.75	0.75	0.75
Cr#	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
Y <sub>Cr</sub>	0.060	0.070	0.069	0.062	0.060	0.067	0.058	0.064	0.062	0.058	0.163	0.175	0.170	0.166	0.166	0.162
Y <sub>Al</sub>	0.920	0.912	0.913	0.916	0.917	0.908	0.917	0.911	0.916	0.919	0.800	0.793	0.804	0.804	0.806	0.810
Y <sub>Fe</sub>	0.020	0.018	0.018	0.022	0.023	0.026	0.025	0.025	0.023	0.023	0.037	0.032	0.026	0.030	0.028	0.027
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.154	0.134	0.136	0.163	0.169	0.198	0.195	0.195	0.177	0.177	0.234	0.204	0.169	0.197	0.183	0.182

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 2.6.** continued

Spl-rich lherzolite						
Sample No.	KR-P001					
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.06	0.05	0.08	0.05	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	61.27	60.84	60.49	60.25	60.05	60.71
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.65	7.15	7.56	7.83	7.53	7.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.28	10.32	10.58	10.76	10.29	10.49
FeO	1.66	1.94	1.61	1.35	1.98	1.96
MnO	0.13	0.12	0.15	0.11	0.09	0.13
MgO	20.70	20.71	20.43	20.28	20.50	20.63
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
NiO	0.31	0.32	0.30	0.28	0.31	0.32
total	101.08	101.46	101.19	100.96	100.83	101.71
Si	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Al	1.828	1.813	1.810	1.809	1.804	1.808
Cr	0.133	0.143	0.152	0.158	0.152	0.148
Fe <sup>3+</sup>	0.032	0.037	0.031	0.026	0.038	0.037
Fe <sup>2+</sup>	0.218	0.218	0.225	0.229	0.219	0.222
Mn	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003
Mg	0.781	0.781	0.773	0.770	0.779	0.777
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007
total	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002	3.002
Mg#	0.78	0.78	0.77	0.77	0.78	0.78
Cr#	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
Y <sub>Cr</sub>	0.067	0.072	0.076	0.079	0.076	0.074
Y <sub>Al</sub>	0.917	0.910	0.908	0.908	0.905	0.907
Y <sub>Fe</sub>	0.016	0.018	0.015	0.013	0.019	0.019
Fe <sup>3+</sup> /total Fe	0.128	0.146	0.122	0.103	0.148	0.145

Mg#, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Cr#, Cr/(Cr + Al) atomic ratio. YR<sup>3+</sup>, R<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> were calculated based on spinel stoichiometry.

**Table 2.7.** Trace-element compositions (in ppm) of clinopyroxenes in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-free granulite			Spl-poor granulite						KR-008						KR-014			
	KR-018			KR-004			C-type		C-type		C-type		C-type		C-type		C-type		
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sr	11.52	11.72	11.45	13.65	15.31	15.79	13.93	15.30	16.81	16.75	16.34	16.30	17.15	16.31	27.16	27.40	27.20	26.48	
Y	6.779	7.388	7.125	6.474	6.414	5.939	5.719	5.621	14.972	14.389	12.763	13.918	10.686	9.907	7.286	6.307	6.471	6.367	
Zr	5.429	6.781	5.369	5.724	5.394	4.925	4.988	4.646	7.717	9.016	6.044	6.746	4.779	4.666	8.524	7.643	8.037	7.982	
Nb	0.267	0.168	0.140	0.131	0.095	0.074	0.059	0.075	0.163	0.141	0.149	0.137	0.329	0.254	0.039	0.032	0.026	0.026	
Ba	-	0.005	0.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
La	0.436	0.464	0.471	0.693	0.779	0.806	0.609	0.711	1.062	1.012	0.879	0.992	0.813	0.736	0.621	0.654	0.677	0.711	
Ce	1.992	2.082	2.072	2.552	2.904	2.923	2.293	2.557	5.255	4.714	4.643	4.774	3.978	3.650	3.119	2.904	3.062	3.148	
Pr	0.358	0.377	0.364	0.402	0.447	0.427	0.360	0.386	0.957	0.858	0.840	0.932	0.711	0.614	0.561	0.512	0.530	0.539	
Nd	2.049	2.199	2.113	2.243	2.372	2.173	1.986	2.028	5.320	4.759	4.659	5.095	3.797	3.448	3.101	2.830	2.888	2.930	
Sm	0.782	0.865	0.845	0.807	0.758	0.747	0.734	0.669	2.037	1.941	1.675	1.858	1.356	1.283	1.090	0.928	0.949	1.014	
Eu	0.271	0.299	0.292	0.345	0.347	0.305	0.280	0.267	0.520	0.484	0.472	0.499	0.418	0.373	0.431	0.335	0.371	0.400	
Gd	1.016	1.140	1.083	0.984	0.983	0.942	0.903	0.884	2.487	2.369	2.126	2.357	1.592	1.476	1.215	1.126	1.098	1.123	
Tb	0.174	0.192	0.198	0.180	0.170	0.147	0.153	0.152	0.440	0.410	0.360	0.384	0.255	0.257	0.192	0.182	0.181	0.188	
Dy	1.324	1.478	1.386	1.265	1.245	1.133	1.161	1.123	3.115	2.958	2.555	2.815	2.034	1.966	1.457	1.252	1.312	1.310	
Ho	0.279	0.303	0.291	0.268	0.256	0.235	0.240	0.228	0.622	0.609	0.509	0.553	0.437	0.408	0.300	0.253	0.248	0.270	
Er	0.793	0.875	0.836	0.752	0.731	0.671	0.648	0.650	1.825	1.735	1.474	1.689	1.255	1.160	0.843	0.727	0.729	0.698	
Tm	0.113	0.118	0.116	0.094	0.102	0.087	0.087	0.093	0.273	0.254	0.227	0.208	0.191	0.158	0.116	0.105	0.103	0.111	
Yb	0.745	0.846	0.782	0.738	0.688	0.689	0.634	0.618	1.715	1.674	1.442	1.657	1.364	1.253	0.784	0.703	0.729	0.678	
Lu	0.111	0.111	0.115	0.093	0.096	0.089	0.089	0.084	0.235	0.223	0.206	0.205	0.214	0.164	0.102	0.094	0.101	0.089	
Hf	0.218	0.342	0.216	0.230	0.245	0.207	0.231	0.167	0.442	0.377	0.290	0.326	0.169	0.245	0.384	0.331	0.384	0.369	
Ta	0.002	0.006	0.000	-	-	-	-	-	-	0.038	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pb	0.080	0.070	0.057	0.140	0.141	0.263	0.143	0.180	0.275	0.250	0.305	0.271	0.223	0.168	-	-	-	-	
Th	0.070	0.061	0.073	0.097	0.085	0.128	0.118	0.130	0.087	0.091	0.081	0.057	0.203	0.122	-	-	-	-	
U	0.021	0.018	0.036	-	0.027	0.041	0.030	0.030	0.028	-	-	-	0.034	0.043	-	-	-	-	

-, below detection limits.

**Table 2.7.** continued

Sample No.	Spl-poor granulite					Spl-rich granulite														
	KR-029		C-type			KR-032					KR-320					KR-015				
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sr	17.06	16.43	17.52	19.52	19.75	20.80	20.51	20.83	20.78	20.40	18.60	18.09	18.96	19.14	18.80	26.06	26.69	27.23	28.19	27.38
Y	8.548	8.368	8.114	7.632	7.648	5.254	5.145	5.331	5.461	4.893	7.841	7.320	8.464	8.659	8.270	6.029	6.120	6.164	6.037	6.475
Zr	10.617	10.100	9.991	9.415	9.073	4.035	4.056	4.214	4.320	4.303	6.549	5.996	7.109	7.098	6.860	5.230	5.431	5.327	5.313	5.771
Nb	0.094	0.093	0.072	0.136	0.099	0.058	0.131	0.079	0.126	0.202	0.032	0.032	0.039	0.029	0.040	0.016	0.014	0.013	0.013	0.014
Ba	-	-	-	0.109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La	1.380	1.213	1.232	1.174	1.161	0.741	0.559	0.562	0.458	0.597	0.235	0.222	0.248	0.250	0.230	0.208	0.222	0.216	0.223	0.227
Ce	5.022	4.372	4.373	4.266	4.197	2.781	2.069	2.144	1.861	2.338	1.281	1.216	1.305	1.289	1.291	1.133	1.136	1.147	1.122	1.158
Pr	0.725	0.662	0.647	0.647	0.623	0.410	0.331	0.343	0.328	0.355	0.272	0.259	0.284	0.281	0.276	0.230	0.235	0.232	0.230	0.243
Nd	3.678	3.475	3.424	3.249	3.134	2.010	1.798	1.913	2.018	1.906	1.857	1.791	1.983	1.902	1.817	1.516	1.558	1.516	1.571	1.579
Sm	1.159	1.182	1.063	1.125	1.003	0.702	0.659	0.690	0.750	0.744	0.851	0.776	0.922	0.894	0.886	0.738	0.703	0.728	0.712	0.740
Eu	0.409	0.416	0.395	0.343	0.336	0.301	0.288	0.308	0.337	0.278	0.425	0.403	0.426	0.416	0.407	0.334	0.328	0.346	0.326	0.366
Gd	1.364	1.386	1.289	1.280	1.225	0.823	0.813	0.918	0.891	0.828	1.266	1.196	1.345	1.315	1.275	0.975	1.005	0.982	1.000	1.057
Tb	0.246	0.230	0.229	0.218	0.201	0.153	0.135	0.164	0.143	0.136	0.197	0.209	0.221	0.241	0.216	0.175	0.190	0.168	0.164	0.187
Dy	1.741	1.660	1.590	1.545	1.472	1.064	1.020	1.104	1.108	0.963	1.570	1.440	1.690	1.678	1.678	1.216	1.241	1.224	1.235	1.336
Ho	0.350	0.333	0.335	0.322	0.300	0.198	0.204	0.226	0.233	0.193	0.318	0.292	0.345	0.350	0.336	0.234	0.260	0.248	0.257	0.269
Er	0.986	0.938	0.912	0.849	0.855	0.616	0.602	0.623	0.589	0.547	0.902	0.829	0.939	0.983	0.923	0.671	0.685	0.658	0.677	0.732
Tm	0.138	0.140	0.129	0.129	0.123	0.090	0.084	0.081	0.091	0.079	0.118	0.119	0.130	0.132	0.138	0.089	0.081	0.098	0.091	0.100
Yb	0.951	0.935	0.934	0.896	0.819	0.560	0.549	0.551	0.594	0.539	0.779	0.770	0.939	0.851	0.904	0.608	0.625	0.595	0.596	0.681
Lu	0.128	0.123	0.126	0.120	0.114	0.079	0.073	0.078	0.081	0.069	0.107	0.103	0.110	0.118	0.125	0.077	0.080	0.083	0.080	0.081
Hf	0.445	0.404	0.385	0.364	0.372	0.192	0.181	0.216	0.212	0.200	0.274	0.267	0.319	0.300	0.322	0.290	0.281	0.287	0.294	0.340
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.182	0.188	0.191	0.229	0.192	0.181	-	0.137	-	-	-	-	0.147	-	0.128	-	-	-	-	-
Th	0.041	0.035	0.039	0.042	0.028	0.074	0.062	0.069	0.043	0.045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.

Table 2.7. continued

Sample No.	Spl-rich granulite								Spl-rich websterite								
	KR-027			KR-031					KR-011					KR-026			
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	30.63	23.68	31.88	22.36	19.84	19.01	18.59	19.54	50.51	49.41	47.13	52.77	49.49	47.93	58.51	76.43	84.91
Y	5.766	5.981	6.321	4.932	6.636	5.888	5.939	6.020	5.353	5.300	5.565	5.200	5.191	5.198	6.588	6.901	5.931
Zr	4.758	4.919	5.366	3.097	3.952	3.813	3.738	3.815	3.805	3.822	4.055	3.726	3.556	3.736	5.258	5.402	4.906
Nb	0.059	0.059	0.058	0.034	0.030	0.036	0.031	0.032	0.088	0.093	0.100	0.099	0.104	0.094	0.043	0.035	0.031
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La	0.247	0.248	0.256	0.210	0.217	0.216	0.224	0.224	0.539	0.488	0.455	0.457	0.449	0.463	0.360	0.350	0.352
Ce	1.091	1.129	1.216	1.053	1.094	1.127	1.128	1.131	1.838	1.653	1.642	1.595	1.548	1.582	1.540	1.510	1.460
Pr	0.209	0.226	0.234	0.201	0.221	0.229	0.227	0.228	0.292	0.288	0.302	0.297	0.276	0.290	0.277	0.259	0.267
Nd	1.391	1.469	1.620	1.311	1.429	1.487	1.530	1.540	1.825	1.785	1.852	1.806	1.766	1.763	1.750	1.735	1.600
Sm	0.604	0.640	0.691	0.597	0.682	0.633	0.731	0.678	0.713	0.660	0.738	0.725	0.703	0.696	0.733	0.770	0.707
Eu	0.327	0.294	0.352	0.310	0.340	0.319	0.341	0.337	0.418	0.427	0.440	0.414	0.415	0.404	0.409	0.405	0.379
Gd	0.862	0.875	0.963	0.754	1.005	0.957	0.936	0.926	0.947	0.978	0.964	0.947	0.896	0.959	1.050	1.114	0.978
Tb	0.152	0.163	0.169	0.136	0.180	0.170	0.174	0.165	0.155	0.160	0.169	0.154	0.150	0.146	0.193	0.188	0.162
Dy	1.116	1.147	1.278	0.914	1.291	1.186	1.185	1.187	1.114	1.073	1.186	1.061	1.045	1.124	1.345	1.341	1.168
Ho	0.223	0.235	0.274	0.207	0.259	0.243	0.251	0.244	0.209	0.216	0.223	0.216	0.213	0.209	0.278	0.291	0.246
Er	0.633	0.684	0.722	0.564	0.725	0.661	0.690	0.689	0.608	0.567	0.662	0.591	0.589	0.578	0.745	0.748	0.652
Tm	0.091	0.091	0.093	0.078	0.101	0.096	0.089	0.091	0.076	0.081	0.086	0.084	0.073	0.076	0.096	0.106	0.096
Yb	0.602	0.580	0.664	0.496	0.674	0.648	0.594	0.644	0.570	0.518	0.570	0.521	0.561	0.514	0.654	0.742	0.617
Lu	0.080	0.087	0.087	0.064	0.094	0.084	0.086	0.090	0.064	0.076	0.074	0.071	0.071	0.069	0.088	0.092	0.076
Hf	0.214	0.206	0.247	0.145	0.218	0.187	0.196	0.203	0.151	0.138	0.175	0.151	0.131	0.158	0.278	0.268	0.225
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Th	0.075	0.057	-	0.042	-	-	-	-	0.113	0.123	0.145	0.109	0.109	0.116	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.

Table 2.7. continued

Sample No.	Spl-rich websterite			Spl-rich lherzolite													
	KR-026			KR-2					KR-383					KR-1401			
	S'-type	S-type	S-type														
Rb	-	0.012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	142.44	159.82	157.17	272.52	377.31	298.20	309.00	350.90	75.87	81.47	79.97	77.06	81.10	75.75	68.46	74.75	76.45
Y	5.811	5.076	4.998	1.895	1.978	1.999	1.644	1.556	5.379	5.821	5.517	5.150	5.151	6.150	7.750	6.559	6.034
Zr	4.473	3.827	3.903	1.590	1.550	1.671	1.402	1.326	3.136	3.269	2.942	2.745	2.761	4.141	5.378	4.331	3.749
Nb	0.029	0.025	0.032	0.030	0.027	0.022	0.021	0.027	0.030	0.024	0.022	0.025	0.020	0.084	0.088	0.073	0.074
Ba	0.012	0.016	-	-	0.274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La	0.377	0.361	0.372	0.273	0.291	0.279	0.257	0.278	0.194	0.211	0.213	0.207	0.202	0.583	0.359	0.360	0.509
Ce	1.533	1.420	1.420	0.689	0.760	0.740	0.711	0.704	0.864	0.895	0.849	0.820	0.810	1.264	1.173	1.065	1.188
Pr	0.278	0.244	0.253	0.097	0.111	0.107	0.096	0.095	0.165	0.169	0.162	0.159	0.159	0.186	0.217	0.197	0.193
Nd	1.716	1.465	1.488	0.513	0.587	0.574	0.489	0.498	1.059	1.122	1.067	0.985	1.048	1.204	1.427	1.237	1.191
Sm	0.671	0.598	0.580	0.184	0.218	0.213	0.177	0.168	0.507	0.523	0.488	0.495	0.460	0.555	0.688	0.528	0.519
Eu	0.395	0.341	0.339	0.196	0.198	0.212	0.195	0.183	0.276	0.287	0.285	0.258	0.267	0.278	0.303	0.292	0.287
Gd	0.915	0.752	0.772	0.261	0.267	0.278	0.230	0.227	0.790	0.786	0.784	0.712	0.737	0.858	1.125	0.866	0.790
Tb	0.170	0.135	0.136	0.050	0.053	0.045	0.038	0.032	0.141	0.141	0.135	0.127	0.130	0.156	0.201	0.164	0.155
Dy	1.165	0.968	1.013	0.334	0.374	0.356	0.282	0.283	1.016	1.090	1.044	0.957	0.994	1.146	1.524	1.215	1.103
Ho	0.235	0.202	0.209	0.070	0.075	0.078	0.058	0.059	0.220	0.246	0.216	0.211	0.217	0.263	0.318	0.258	0.244
Er	0.676	0.560	0.574	0.238	0.239	0.225	0.186	0.191	0.628	0.670	0.668	0.620	0.588	0.685	0.849	0.748	0.695
Tm	0.095	0.082	0.081	0.041	0.034	0.040	0.028	0.030	0.096	0.094	0.090	0.080	0.085	0.103	0.121	0.109	0.095
Yb	0.603	0.578	0.553	0.282	0.286	0.292	0.238	0.213	0.658	0.674	0.661	0.617	0.611	0.717	0.844	0.734	0.681
Lu	0.080	0.071	0.068	0.045	0.044	0.045	0.041	0.036	0.085	0.095	0.092	0.080	0.089	0.098	0.124	0.100	0.090
Hf	0.174	0.153	0.149	0.072	0.056	0.072	0.054	0.041	0.199	0.185	0.123	0.152	0.152	0.200	0.297	0.238	0.185
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	0.175	0.220	0.184	0.201	0.209	0.267	0.284	0.327	0.441	0.324	0.751	0.809	0.754	0.730
Th	-	-	-	-	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.221	0.148	0.169	0.186
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.052	0.049	0.048	0.055

-, below detection limits.

**Table 2.8.** Trace-element compositions (in ppm) of plagioclases in mafic-ultramafic xenoliths from Kurose.

Sample No.	Spl-free granulite			Spl-poor granulite			Spl-rich granulite			Spl-rich websterite		
	KR-018			KR-014			KR-320			KR-026		
Rb	0.302	0.468	0.525	0.030	0.046	0.042	0.147	0.150	0.178	0.118	0.090	0.112
Sr	305.33	316.43	302.14	653.61	689.04	658.39	457.73	456.41	457.50	3829.0	3829.8	5068.4
Y	0.060	0.093	0.073	0.039	0.044	0.044	0.063	0.074	0.069	0.040	0.045	0.048
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb	0.015	0.029	0.015	-	-	-	0.001	0.000	0.001	-	-	-
Ba	17.002	71.692	34.642	25.207	27.436	28.838	11.155	11.033	11.080	52.024	50.187	56.038
La	0.510	3.250	1.223	0.480	0.535	0.553	0.276	0.280	0.273	0.379	0.381	0.374
Ce	0.834	4.624	1.752	0.798	0.879	0.947	0.544	0.551	0.533	0.541	0.550	0.528
Pr	0.071	0.329	0.125	0.070	0.081	0.080	0.056	0.059	0.062	0.045	0.047	0.046
Nd	0.261	0.889	0.364	0.245	0.264	0.281	0.217	0.236	0.231	0.173	0.161	0.157
Sm	0.032	0.073	0.048	0.033	0.027	0.038	0.032	0.043	0.031	0.025	0.026	0.024
Eu	0.153	0.239	0.152	0.139	0.135	0.133	0.172	0.183	0.183	0.147	0.149	0.151
Gd	0.024	0.053	0.039	0.014	0.017	0.025	0.027	0.035	0.023	0.018	0.026	0.018
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy	0.009	0.019	0.008	-	-	-	0.016	0.015	0.012	-	-	-
Ho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er	0.007	0.007	0.007	-	-	-	-	0.008	0.006	-	-	-
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0.920	1.333	1.018	0.920	1.113	1.077	0.376	0.450	0.492	0.945	1.025	0.920
Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-, below detection limits.



**Table 2.9.** Volume calculations of reactants and products in model reaction (Ol + Pl = Opx + Cpx + Spl) in Spl-rich websterite (KR-22). Plagioclase compositions are from Arai et al. (2001), other compositions are average value.

Sample No. KR-22	Ol	Pl	Cpx	Spl	Opx	Estimated compositions		
						Reactants	Products	Residuals
SiO <sub>2</sub>	40.05	48.09	51.82	0.02	54.02	43.919	44.216	-0.297
TiO <sub>2</sub>	0	0	0.32	0.08	0.07	0	0.159	-0.159
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	31.45	6.29	62.95	5.56	15.141	15.415	-0.274
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0.09	1.9	0.07	0	0.383	-0.383
FeO	18.32	0.27	5.1	16.67	11.09	9.633	9.919	-0.286
MnO	0.22	0	0.12	0.11	0.19	0.114	0.152	-0.038
MgO	43.76	0	15.42	18.97	29.66	22.7	22.871	-0.171
CaO	0.11	15.93	21.54	0	0.84	7.724	7.97	-0.246
Na <sub>2</sub> O	0	2.42	0.62	0	0.03	1.165	0.232	0.932
K <sub>2</sub> O	0	0.12	0	0	0	0.058	0	0.058
NiO	0.16	0	0.02	0.2	0.04	0.083	0.06	0.023
total	102.63	98.28	101.34	100.90	101.57	100.537	101.377	-0.841
Proportions	51.87	48.13	35.12	16.72	48.15	RSS = 1.382		
molecular weight	153.12	275.48	219.57	154.46	212.10			
Proportions (wt%)	51.87	48.13	35.12	16.72	48.15	estimated from Genmix (Le Maitre 1981)		
Proportions (mol)	0.34	0.17	0.16	0.11	0.23	Proportions / Molecular weight		
cm <sup>3</sup> /mol	43.79	100.79	66.09	39.71	62.55	(Helgeson et al. 1978)		
cm <sup>3</sup>	14.83	17.61	10.57	4.30	14.20			
Estimated Vol%	45.72	54.28	36.36	14.79	48.85			
Modal amounts (Vol%)			50.5	13.6	35.9			