

氏名	市山 祐司
学位の種類	博士 (理学)
学位記番号	博甲第 696 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 22 日
学位授与の要件	課程博士 (学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	Petrology of the Permian mafic and ultramafic rocks in the Inner Zone of southwestern Japan (西南日本内帯に産するペルム紀苦鉄質・超苦鉄質岩の岩石学)
論文審査委員(主査)	石渡 明 (自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副査)	荒井 章司 (自然科学研究科・教授), 木原 國昭 (自然科学研究科・教授), 佐藤 努 (自然計測応用研究センター・助教授), 周藤 賢治 (新潟大学・教授)

### 学 位 論 文 要 旨

**Abstract** To understand the oceanic magmatism in the Permian time, the greenstones from the Mino-Tamba belt and the Yakuno ophiolite, southwestern Japan are examined petrologically and geochemically in detail. The greenstones from the Mino-Tamba belt are divided into three distinct series (LTS, TS and HTS) based on the mode of occurrence and geochemical characteristics ( $\text{TiO}_2$  content varies such like  $\text{LTS} < \text{TS} < \text{HTS}$ ). The tholeiitic LTS is associated with limestone and chert, and is characterized by the less enriched geochemistry and isotopic compositions, which is similar to the oceanic plateau basalts. The TS is mainly associated with chert and shows enriched geochemistry and isotopic compositions, which are similar to those of oceanic island basalts. The LTS and TS both formed in Early Permian. The HTS including picrites and ferropicrites occur as sills intruding into the Middle Permian chert covering the LTS greenstones and as dikes intruding into the TS greenstones. The HTS are characterized by very enriched geochemical and isotopic signature similar to HIMU-type basalts. The preferred model for the formation of the greenstones from the Mino-Tamba belt is as the following: (1) The LTS and TS were produced by the melting of the hotter and cooler parts respectively of a mantle plume head in Early Permian. (2) After this magmatism, the HTS was produced by melting of a cooler tail of the mantle plume with the recycled (Fe-rich) eclogite in Middle Permian. These successive magmatic events would have resulted from the Permian superplume activity in an oceanic domain in addition to the known Permian superplume products on the Eurasian continent. On the other hand, the field occurrence of greenstones from the Yakuno ophiolite shows the eruption of lavas on the unconsolidated mud. The geochemistry of the greenstones is more enriched in trace element than normal MORB, but shows some depletion in  $\text{TiO}_2$  and

Nb. This result support that the Yakuno ophiolite has not been originated from oceanic plateau and hence not directly related to the Permian superplume, but formed in a back-arc setting in spite of the unusual original thickness of its oceanic crust.

### はじめに

地球上には大量の玄武岩質溶岩から構成される巨大火成岩岩石区 (LIP) が点在する。これらはスーパープルームと呼ばれる地球深部からの巨大なマントルプルームによってもたらされたと考えられている (例えば Larson, 1991; Coffin and Eldholm, 1994)。スーパープルームの活動期はスーパークロンと一致し、大陸の分裂や黒色泥岩の生成、海水準の上昇など、地球表層の環境に大きく影響をもたらす (例えば Larson, 1991; Condie, 2004)。従って、過去の地球におけるスーパープルーム活動を明らかにすることは地球の大きなパルスを明らかにする上で重要である。しかしながら、ジュラ紀以前の海洋地殻はすべて沈み込んでしまったため、現在の地球上には存在しない。付加体やオフィオライトは、沈み込み帯に露出する海洋地殻の断片であり、付加体やオフィオライトを構成する火山岩 (緑色岩) は海洋地域で起きた過去の火成活動を読みとる上で重要な情報を保持していると考えられる。本研究では、西南日本内帯に分布する美濃・丹波帯、及び夜久野オフィオライト (Fig. 1) のペルム紀緑色岩の岩石学的、地球化学的研究を行い、ペルム紀の海洋地域における火成活動を明らかにする。

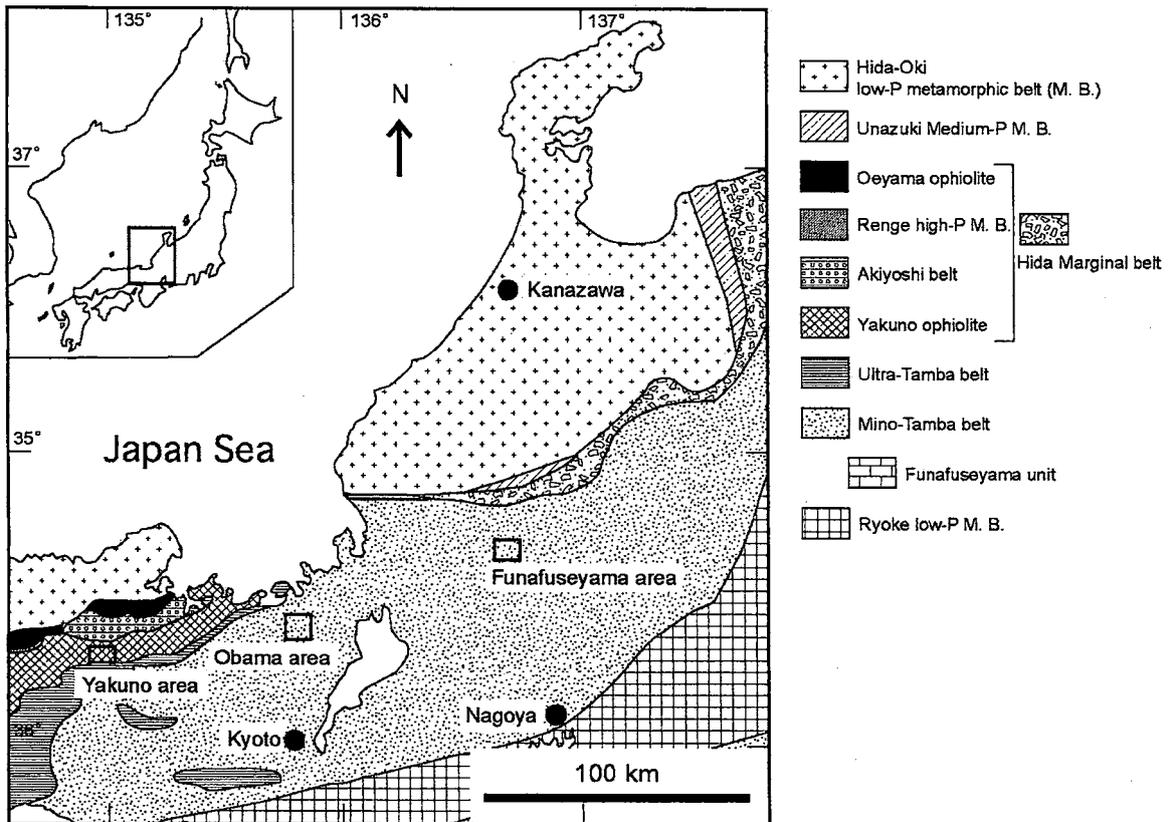


Fig. 1 Geotectonic map of the Inner Zone of southwestern Japan and location of study areas.

## 美濃・丹波帯

ジュラ紀付加体である美濃・丹波帯は西南日本内帯に広く分布する。美濃・丹波帯の緑色岩については過去に海嶺起源、海洋島起源、海台起源などが提唱されてきた(佐野・田崎, 1989; Jones et al., 1993; Sano et al., 2000)。美濃・丹波帯は構造的にいくつかのナップに分類され、緑色岩は舟伏山・灰屋ナップで最も卓越する。本研究では岐阜県舟伏山地域(美濃帯)と福井県小浜地域(丹波帯)の舟伏山・灰屋ナップを構成する緑色岩について研究を行った。

舟伏山地域の舟伏山・灰屋ナップでは、基底部にある大規模な緑色岩の上にペルム紀前期以降の石灰岩、ドロマイト、チャートが覆っている。緑色岩は一般に玄武岩質の塊状溶岩であり、枕状溶岩やハイアロクラスタイトは比較的稀である。大規模緑色岩を覆うペルム紀中期のチャートには、ピクライト、アンカラマイト、ベイサナイトの岩床がチャートに貫入している。同一層準には、角礫を含むハイアロクラスタイトがチャート中に調和的に挟まれている。小浜地域では大規模緑色岩は主にチャートを伴い、石灰岩は少量のブロックとしてのみ産する。玄武岩質の緑色岩は塊状溶岩、枕状溶岩、ハイアロクラスタイトとして産する。この玄武岩質緑色岩をピクライト質の岩脈が貫いている。

舟伏山地域の緑色岩は単斜輝石と斜長石を主な斑晶とし、かんらん石斑晶は少ない。粗粒で結晶質なものが多く、オフィチック組織を示すものもある。クロムスピネルは斜長石中の包有物としてのみ見られる。ピクライトは多量の自形で細粒のかんらん石斑晶(仮像)を含み、クロムスピネルや球状包有物が含まれる。単斜輝石斑晶はチタン普通輝石で、ケルースト閃石によって取り囲まれる。斜長石斑晶はごく稀である。石基は燐灰石、黒雲母、ガラス(緑泥石化)からなる。小浜地域の緑色岩は細粒で無斑晶質のものが多く、斑晶はかんらん石(仮像)、単斜輝石と、斜長石である。かんらん石にはクロムスピネルがしばしば包有される。ピクライトはかんらん石斑晶に非常に富むものと、やや富むものがある。いずれも記載岩石学的には舟伏山地域のものに類似するが、かんらん石に富むものは、ポイキリティック組織を呈し、リーベック閃石が単斜輝石のリムやかんらん石中の包有物として含まれる。かんらん石が少ないものはクロムスピネルを欠き、斜長石が一般的である。また、エジル輝石が単斜輝石(チタン普通輝石)を縁取る。

本研究で得られた全岩化学組成と過去に報告されたデータに基づいて、美濃・丹波帯に産する緑色岩を3つの異なる系列に分類した。低Ti系列(LTS)はソレアイト質であり、低いHFSE (high field strength element, Ti, Zr, Nb など)量と微量元素比、平坦な微量元素パターンを示す。同位体初生比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が低く、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比が高いやや枯渇した値を示す(Fig. 2)。中間系列(TS)はやや高いHFSE量と微量元素比で特徴づけられ、左上がりのエンリッチした微量元素パターンを示す。Sr-Nd同位体初生比はエンリッチした値を示す(Fig. 2)。高Ti系列はピクライトを含み、美濃帯のピクライトはMgOが15-21 wt.%、丹波帯のものは12-27 wt.%である。特筆すべきことは、丹波帯に非常にFeO\*に富む(最大20 wt.%)鉄ピクライトが産することである。HTSは非常に高いHFSE量と微量元素比、そして左上がりの急傾斜した微量元素比を持つ。Sr-Nd同位体初生値はやや枯渇した値を示し、これらの特徴はHIMUタイプ玄武岩に類似する(Fig. 2)。

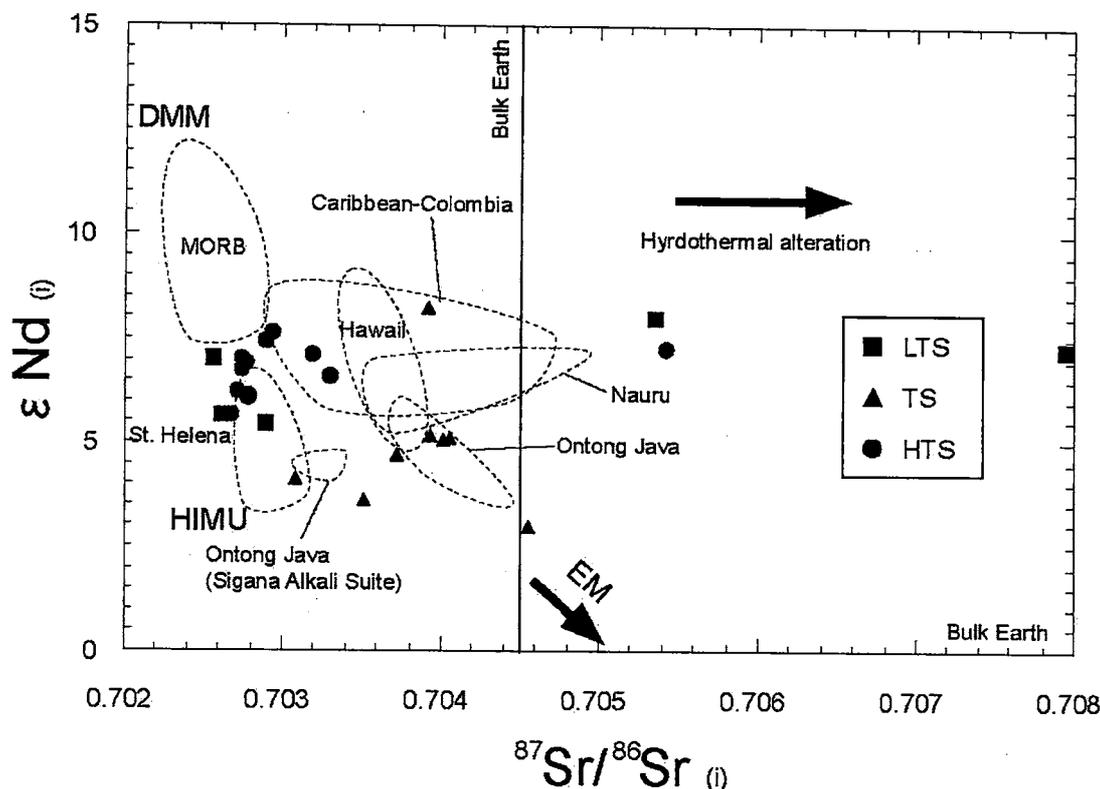


Fig. 2 Sr and Nd isotopic compositions for the greenstones from the Mino-Tamba belt. The data of LTS and TS include Sano and Tazaki (1989). The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$  and  $\epsilon \text{Nd}_{(t)}$  was calculated by 280 Ma (LTS and TS) and 265 Ma (HTS).  $\epsilon \text{Nd}_{(t)}$  indicates the difference between  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$  of rock and that of chondrite at the time of formation of the rock in permill. DMM (depleted MORB mantle), EM (enriched mantle) and HIMU (high  $\mu$ ) are the isotopic mantle end members.

美濃・丹波帯の緑色岩は、通常の中央海嶺玄武岩 (MORB) とは明らかに異なり、マンテラブルームに関連して生成されたと考えられる。LTS は石灰岩とチャートの両方を密接に伴うことから、その溶岩は深海から浅海に及ぶ大規模な火山体を形成したと考えられる。一方で、TS と HTS はチャートのみを伴うので、その噴出量はより少なかったであろう。いくつかの微量元素比は、ハワイやレユニオンの海洋島玄武岩 (OIB) とは明らかに異なる。また、LTS の Nb/Y、Zr/Y 比はソース・マンテラ物質中にざくろ石を含むマンテラが高温で溶融することで LTS が生成したことを示し、オントングジャワ海台やカリブ・コロンビア海台を構成する玄武岩に類似する。TS のこれらの比は高い値を示し、LTS よりも低温で高圧におけるマンテラの溶融によって生成したことを示す。HTS はピクライトを親マグマとし、高い MgO 量、微量元素量、微量元素比は、リサイクル玄武岩成分 (エクロジャイト) を含むかんらん岩が高圧 (4.5 GPa) で低温の溶融によって生成したマグマに由来することを示している。また、鉄ピクライトの形成にはエクロジャイトが鉄に富んでいたことを必要とする。

HTS のような HIMU タイプの火山岩はスーパーブルームを特徴づける岩石である (Tatsumi et al., 1998)。実際、美濃・丹波帯に産するような HFSE に富むピクライトや鉄ピクライトは地球上では稀であるが、スーパーブルームによって形成された洪水玄武岩地域において特徴的に産出する (例えばシベリア、東グリーンランド)。LTS は海台玄武岩に類似した特徴を示し、美濃・丹波帯の緑色岩はペルム紀のスーパーブルームによって形成されたことを示す。LTS と TS は

ペルム紀前期のブルーム頭部の溶融によって形成されたであろう。LTS はブルーム頭部のより高温部（中心部）の溶融によって生成され、TS は低温部（縁辺部）で形成された。これらの火成活動の後、ペルム紀中期に HTS がより低温のブルームの尾部の溶融によって生成されたと考えられる。

ペルム紀前期における美濃・丹波海台の形成に加え、ペルム紀のシベリアと中国の洪水玄武岩やリフティングに関連する火成活動などはスーパーブルーム活動に関連していると考えられる。ペルム紀は白亜紀同様、地球のブルーム活動が活発な時代であったと考えられる。ペルム紀前期のスーパークローン、黒色泥岩の生成、海水準の上昇とペルム紀末の大量絶滅はこれらの一連のスーパーブルーム活動に関連しているのかもしれない。

### 夜久野オフィオライト

夜久野オフィオライトは福井県大島半島から岡山県にかけて帯状に分布するペルム紀のオフィオライトである。夜久野オフィオライトは厚い海洋地殻を有し、背弧海盆に由来すると考えられてきたが（例えば Ishiwatari et al., 1990）、海台起源も提唱されている（Isozaki, 1997）。もし海台起源ならば、美濃丹波帯の緑色岩と同様にペルム紀のスーパーブルームによってもたらされた可能性がある。本研究では、これを検証するため、これまで詳細な岩石学的研究が行われていなかった京都府夜久野地域の緑色岩と変斑れい岩について岩石学的、地球化学的研究を行った。夜久野地域では下位に向かって黒色泥岩、緑色岩、変斑れい岩が重なり、これらが向斜構造をなす。緑色岩は泥岩を密接に伴い、未固結な泥の上に溶岩が流れた様子が確認される。緑色岩の全岩化学組成は T-MORB や E-MORB の特徴を示すが、それらに比べ  $\text{TiO}_2$  に乏しく、微量元素組成パターンでは Nb の負異常が認められる。微量元素比は海台玄武岩や MORB ではなく、背弧海盆玄武岩に類似する。また、緑色岩に含まれるクロムスピネルの組成も MORB や海台玄武岩ではなく、背弧海盆玄武岩に類似する。これらの産状や化学組成は夜久野オフィオライトが海台ではなく背弧海盆に由来することを示している。さらに本研究では、変斑れい岩に貫入するトロクトライト岩床の存在を明らかにした。このトロクトライトはオフリッジの N-MORB 火成作用で形成された後期貫入岩であると考えられる。

以上のことから、夜久野オフィオライトは異常に厚い海洋地殻を持っているにもかかわらず、スーパーブルームとは直接のマグマ成因論的關係がないことがはっきりした。このように、美濃・丹波帯緑色岩は、沈み込む海洋プレートの断片が付加したものであり、夜久野オフィオライトは沈み込み帯の上で形成された海洋プレートの断片であるが、ペルム紀にはスーパーブルームによってプレート運動が活発化し、沈み込み帯上のマグマ活動も活発になって、厚い海洋地殻が形成された可能性はある。

## 学位論文審査結果の要旨

提出された学位論文及び参考資料を各審査委員が個別に審査し、平成17年1月26日に審査委員全員出席のもとに口頭発表会と質疑応答を行い、それらの結果に基づき同日審査委員会を開催して審議した結果、次の通り判定した。本論文は西南日本内帯、美濃・丹波帯の付加体に産する古生代ペルム紀の緑色岩（変質した苦鉄質・超苦鉄質岩）及び夜久野オフィオライトのペルム紀緑色岩の詳細な地質学的、岩石学的、地球化学的研究に基づき、プレート運動により現在の海洋底から証拠が全く失われている古生代ペルム紀の海洋底マグマ活動の解明を目的とする。本論文は、日本初の鉄ピクライトの報告とその成因論をはじめ、付加体のチャート層中のHFSEに富むピクライト岩床、夜久野オフィオライト中のトロクトライトなど、新発見の岩石について全岩・鉱物化学組成、同位体組成などの豊富なデータを提示し、岩石熔融実験の結果や世界各地の類似岩との比較検討に基づいて岩石成因論を展開し、ペルム紀のスーパープルーム及び沈み込み帯の活動による対照的な海洋マグマ活動をよく描き出した。本論文の夜久野オフィオライトに関する部分は既に国際学術誌に印刷済みであり、ピクライトに関する部分も投稿中で、その同位体組成及び付加体の玄武岩質緑色岩に関する部分も投稿可能なレベルに達している。本論文の研究成果は世界の緑色岩研究を大きく進歩させるものであり、博士の学位に十分値すると判断される。