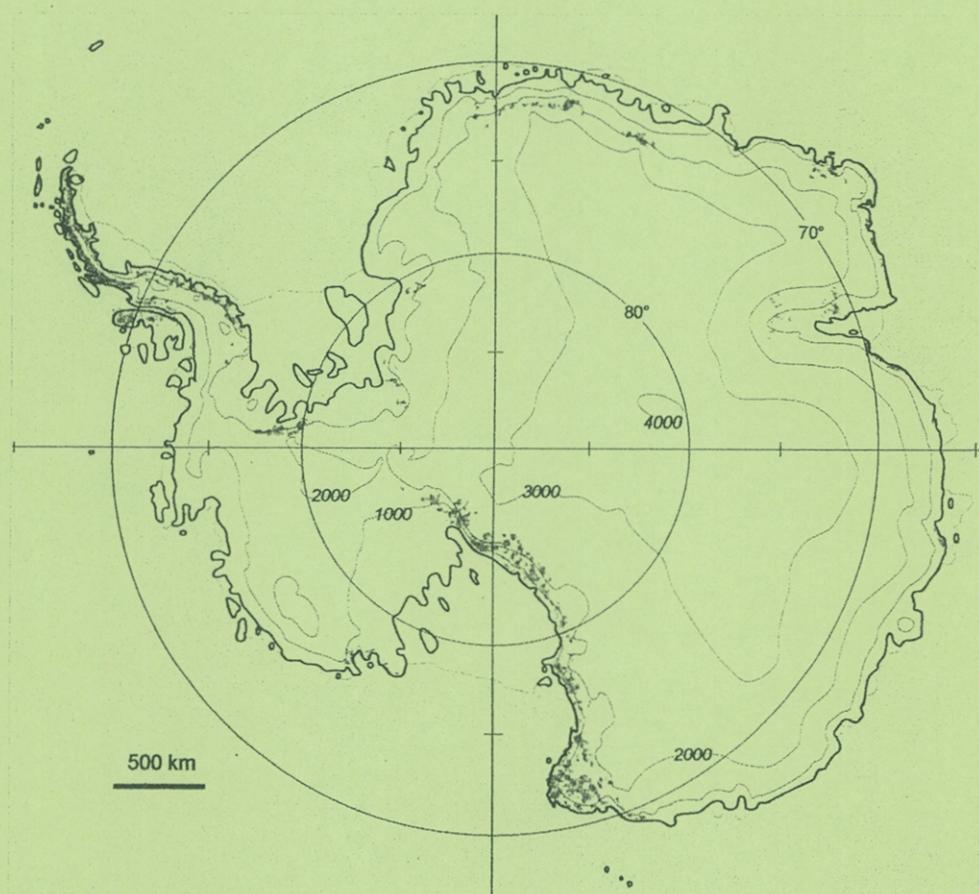


# 第26回極域地学シンポジウム プログラム・講演要旨

The 26th Symposium on Polar Geosciences  
Program and Abstracts

12-13 October 2006



国立極地研究所

National Institute of Polar Research  
Tokyo, Japan

第26回極域地学シンポジウム(2006)日程表

10月12日(木) 12 Oct. (Thursday)	10月13日(金) 13 Oct. (Friday)
<p>極地研所長挨拶 Opening address by Director-General, NIPR 9:50-10:00</p> <p>I. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (1) Gondwana evolution and dispersion (1) 2講演 (1-2) 10:00-10:40 (40分) 座長: 白石和行 SHIRAISHI, Kazuyuki</p> <p>II. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (2) Gondwana evolution and dispersion (2) 3講演 (3-5) 10:40-11:40 (60分) 座長: 金尾政紀 KANAO, Masaki</p> <p>III. ポスター説明 Poster presentations 23件 (101p-123p) 11:40-12:26 (46分) 座長: 青山雄一 AOYAMA, Yuichi</p>	<p>VIII. 地形・第四紀・新生代地質 (1) Geomorphology, Quaternary and Cenozoic geology (1) 2講演 (17-18) 10:20-11:00 (40分) 座長: 森脇喜一 MORIWAKI, Kiichi</p> <p>IX. 地形・第四紀・新生代地質 (2) Geomorphology, Quaternary and Cenozoic geology (2) 3講演 (19-21) 11:00-12:00 (60分) 座長: 高田将志 TAKADA, Masashi</p>
<p>昼食 Lunch (12:26-13:30)</p>	<p>昼食 Lunch (12:00-13:00)</p>
<p>IV. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (3) Gondwana evolution and dispersion (3) 3講演 (6-8) 13:30-14:40 (70分) 座長: 小山内康人 OSANAI, Yasuhito</p> <p>V. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (4) Gondwana evolution and dispersion (4) 4講演 (9-12) 14:40-16:00 (80分) 座長: 外田智千 HOKADA, Tomokazu</p>	<p>X. 測地・固体地球物理 (1) Geodesy and geophysics (1) 4講演 (22-25) 13:00-14:20 (80分) 座長: 土井浩一郎 DOI, Koichiro</p> <p>XI. 測地・固体地球物理 (2) Geodesy and geophysics (2) 3講演 (26-28) 14:20-15:20 (60分) 座長: 佐藤忠弘 SATO, Tadahiro</p>
<p>休憩 Coffee break (16:00-16:20)</p>	<p>休憩 Coffee break (15:20-15:40)</p>
<p>VI. 岩石学・鉱物学 (1) Petrology and mineralogy (1) 2講演 (13-14) 16:20-17:00 (40分) 座長: 川崎智佑 KAWASAKI, Toshisuke</p> <p>VII. 岩石学・鉱物学 (2) Petrology and mineralogy (2) 2講演 (15-16) 17:00-17:40 (40分) 座長: 本吉洋一 MOTOYOSHI, Yoichi</p>	<p>XII. 総合討論「新船就航に向けて」 Discussion 15:40-16:30 (50分) 座長/司会: 野木義史 NOGI, Yoshifumi</p>
<p>懇親会 Conference party (18:00-19:00)</p>	

第26回極域地学シンポジウムプログラム(2006年度)  
Program for the 26th Symposium on Polar Geosciences, 2006

12 October (Thursday, 9:50-17:40) & 13 October (Friday, 10:20-16:30)

開会 (9:50 - 10:00) 挨拶 極地研究所所長  
Opening address Director-General, Naional Institute of Polar Research: Y. Fujii

I. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (1) Gondwana evolution and dispersion (1) 座長: 白石 和行

1 (10:00 - 10:20) 南極昭和基地近傍での日独共同航空地球物理観測

Japan-Germany Joint Airborne Geophysical Surveys around Syowa Station, Antarctica

野木 義史	Nogi, Y.	極地研	NIPR
	Daniel Steinhage		AWI
	Sven Riedel		AWI
北田 数也	Kitada, K.	神戸大・院・自然科学	Kobe Univ.
白石 和行	Shiraishi, K.	極地研	NIPR
渋谷 和雄	Shibuya, K.	極地研	NIPR
	Wilfried Jokat		AWI

2 (10:20 - 10:40) 第47次隊における海底地球物理観測

Seafloor geophysical surveys during the JARE47

野木 義史	Nogi, Y.	極地研	NIPR
北田 数也	Kitada, K.	神戸大・院・自然科学	Kobe Univ.
島 伸和	Seama, N.	神戸大・内海域センター	Kobe Univ.

II. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (2) Gondwana evolution and dispersion (2) 座長: 金尾政紀

3 (10:40 - 11:00) みずほ高原における広帯域周波数電磁探査

Wide-band frequency magnetotelluric survey at Mizuho Plateau

坂中 伸也	Sakanaka, S.	秋田大・工学資源	Akita Univ.
船木 實	Funaki, M.	極地研	NIPR
山崎 哲秀	Yamasaki, T.		
三宅 八朗	Miyake, H.	関電工	Kandenko
佐藤 高晴	Sato, T.	広島大・総合科学	Hiroshima Univ.
江川 晋子	Egawa, K.	日本水路協会	JHA
上村 剛史	Uemura, T.	総研大	SOKENDAI

4 (11:00 - 11:20) Insights into large scale metallogenic and tectonic processes in an ancient Archaean nucleus, the Yilgarn Craton of Western Australia and its Australian and Antarctic margins.

Bruce Goleby	Geoscience Australia
Richard Blewett	Geoscience Australia
Paul Henson	Geoscience Australia
Masaki Kanao	NIPR

5 (11:20 - 11:40) Are the Numerical Modeling Faults Inheritor of Earthquakes in the Eastern Himalaya? : Insights from Two Dimensional Finite Element Method

Farhad Howladar, M.	Univ. America-Bangladesh
Sharmin Afroz	Univ. America-Bangladesh

III. ポスター説明 Poster presentations (11:40 - 12:30)

101P (11:40 - 11:42) Rundvågshetta 産黒雲母-ザクロ石片麻岩の Rb-Sr・Sm-Nd 鉱物年代

Rb-Sr and Sm-Nd mineral ages of biotite-garnet gneiss from Rundvågshetta, East Antarctica

宮本 知治	Miyamoto, T.	九大・理	Kyushu Univ.
吉村 康隆	Yoshimura, Y.	高知大・理	Kochi Univ.
本吉 洋一	Motoyoshi, Y.	極地研	NIPR
	Dunkley, D.J.	極地研	NIPR

- 102P ( 11:42 - 11:44 ) 東南極・セールロンダーネ山地北東部に産出するザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩に見られる離溶組織  
Exsolution textures in Grt-Sil-Bt gneiss from the northeastern group of the Sør Rondane Mountains East Antarctica  
足立 達朗 Adachi, T. 総研大 SOKENDAI
- 
- 103P ( 11:44 - 11:46 ) 南極ナピア岩体中の石英中の ferropseudobrookite 離溶組織  
Ferropseudobrookite exsolution in quartz from Napier Complex, East Antarctica  
三宅 亮 Miyake, A. 京都大・理 Kyoto Univ.  
外田 智千 Hokada, T. 極地研 NIPR  
鳥越 洋平 Torigoe, Y. 京都大・理 Kyoto Univ.
- 
- 104P ( 11:46 - 11:48 ) Reflection imaging of the crust and the lithospheric mantle in the Lützow-Holm Complex, Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica, derived from SEAL transect  
Kanao, M. NIPR  
Fujiwara, A. GEOSYS Inc.  
Miyamachi, H. Kagoshima Univ.  
Toda, S. Aichi Univ. of Education  
Ito, K. DPRI, Kyoto Univ.  
Tomura, M. GEOSYS Inc.  
Ikawa, T. GEOSYS Inc.
- 
- 105P ( 11:48 - 11:50 ) ラングホブデ GPS 固定点による露岩域変動測定(V)  
Monitoring Local Crustal Deformation by using the GPS Remote Base Station in Langhovde (V)  
岡村 盛司 Okamura, S. 地理院 GSI  
平岡 喜文 Hiraoka, Y. 地理院 GSI  
木村 勲 Kimura, I. 地理院 GSI  
白井 宏樹 Shirai, H. 地理院 GSI
- 
- 106P ( 11:50 - 11:52 ) GPS 観測による南極大陸 S16 周辺の氷床変動  
Measurement of Ice sheet Movement around S16, Antarctica by GPS Observation  
岡村 盛司 Okamura, S. 地理院 GSI  
平岡 喜文 Hiraoka, Y. 地理院 GSI
- 
- 107P ( 11:52 - 11:54 ) 昭和基地周辺の地震計記録から得たT相と非地震性振動  
T phase and non-tectonic signals from seismograms at and around Syowa Station  
名和 一成 Nawa, K. 産総研 GSJ, AIST  
須田 直樹 Suda, N. 広島大 Hiroshima Univ.  
金尾 政紀 Kanao, M. 極地研 NIPR
- 
- 108P ( 11:54 - 11:56 ) 東南極リュツォ・ホルム岩体明るい岬の花崗岩の成因  
Genesis of granitic rocks from Akarui Point in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica  
加々島 慎一 Kagashima, S. 山形大・理 Yamagata Univ.  
サティッシュ・クマール Satish-Kumar, M. 静岡大・理 Shizuoka Univ.  
隅田 祥光 Suda, Y. 極地研 NIPR  
本吉 洋一 Motoyoshi, Y. 極地研 NIPR  
廣井 美邦 Hiroi, Y. 千葉大・理 Chiba Univ.  
石川 尚人 Ishikawa, N. 京都大・人間・環境 Kyoto Univ.
- 
- 109P ( 11:56 - 11:58 ) Sr, C and O isotopes and REE geochemistry of marbles from Lützow Holm Complex, East Antarctica  
Satish-Kumar, M. Shizuoka Univ.  
Miyamoto, T. Kyushu Univ.  
Hermann, J. ANU, Australia  
Motoyoshi, Y. NIPR  
Osana, Y. Kyushu Univ.

第26回極域地学シンポジウムプログラム(2006年度)

- 110P ( 11:58 - 12:00 ) GIS を用いたセールロンダーネ山地质概説  
 Outline of geology in the Sør Rondane Mountains with GIS  
 高橋 裕平 Takahashi, Y. 産総研 AIST Tohoku Collaboration Center
- 
- 111P ( 12:00 - 12:02 ) 東南極リュッツホルム岩体スカーレン地域に産する珪長質片麻岩中のザクロ石の結晶粒径分布と化学組成  
 Crystal size distribution and chemical composition of garnet in quartzofeldspathic gneisses of the Lützow-Holm Complex in Skallen, East Antarctica  
 池田 剛 Ikeda, T. 九大・理 Kyushu Univ.  
 後藤 さおり Goto, S. 九大 Kyushu Univ.
- 
- 112P ( 12:02 - 12:04 ) 南極・昭和基地周辺での海および湖沼への地下水流出調査報告  
 Report on surveys of groundwater discharge into the ocean and lakes near Syowa Station, Antarctica  
 上村 剛史 Uemura, T. 総研大 SOKENDAI  
 谷口 真人 Taniguchi, M. 地球研 RIHN  
 瀬戸 浩二 Seto, K. 島根大・汽水域 ReCCLE, Shimane Univ.  
 澁谷 和雄 Shibuya, K. 極地研 NIPR
- 
- 113P ( 12:04 - 12:06 ) 含サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトの原岩形成場  
 Tectonic setting of precursory rock of sapphirine-bearing garnet-orthopyroxene granulite.  
 馬場 壮太郎 Baba, S. 琉球大・教育 Univ. Ryukyus  
 Windley, Brian F. Univ. Leicester
- 
- 114P ( 12:06 - 12:08 ) 東南極リュツォ・ホルム岩体 Rundvågshetta に産する超高温変成岩類の鉱物化学組成  
 Mineral chemistry of the ultrahigh-temperature metamorphic rocks from Rundvågshetta in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica  
 吉村 康隆 Yoshimura, Y. 高知大・理 Kochi Univ.  
 宮本 知治 Miyamoto, T. 九大・理 Kyushu Univ.  
 本吉 洋一 Motoyoshi, Y. 極地研 NIPR
- 
- 115P ( 12:08 - 12:10 ) 東南極、プリンスオラフ海岸地域日の出岬の岩石の古地磁気測定結果  
 Paleomagnetic results from rocks at Cape Hinode in the Prince Olav Coast area, East Antarctica  
 石川 尚人 Ishikawa, N. 京都大・人間・環境学 Kyoto Univ.  
 本吉 洋一 Motoyoshi, Y. 極地研 NIPR  
 廣井美邦 Hiroi, Y. 千葉大・理 Chiba Univ.  
 サティッシュ・クマール Satish-Kumar, M. 静岡大・理 Shizuoka Univ.  
 加々島慎一 Kagashima, S. 山形大・理 Yamagata Univ.  
 隅田祥光 Suda, Y. 極地研 NIPR
- 
- 116P ( 12:10 - 12:12 ) 東南極リュツォ・ホルム岩体に産する超苦鉄質、苦鉄質変成岩類の成因とマグマプロセス  
 Petrogenesis and magmatic processes of metamorphosed ultrabasic and basic rocks in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica  
 隅田 祥光 Suda, Y. 極地研 NIPR  
 川野 良信 Kawano, Y. 佐賀大・文化教育 Saga Univ.
- 
- 117P ( 12:12 - 12:14 ) 東南極ドロンニングモードランドの変成・火成作用  
 Metamorphic and magmatic processes in Dronning Maud Land, East Antarctica  
 大和田 正明 Owada, M. 山口大・理 Yamaguchi Univ.  
 馬場 壮太郎 Baba, S. 琉球大・教育 Univ. Ryukyus  
 小山内 康人 Osanai, Y. 九大・比較社会文化 Kyushu Univ.  
 白石 和行 Shiraiishi, K. 極地研 NIPR  
 加々美 寛雄 Kagami, H. 新潟大・自然科学 Niigata Univ.

第26回極域地学シンポジウムプログラム(2006年度)

118P ( 12:14 - 12:16 ) スリランカ産 corundum 中の流体包有物の産状と特性

The mode of occurrence and the characteristics of fluid inclusions in corundum from Sri Lanka

鳥本 准司	Torimoto, J.	北大・院・理	Hokkaido Univ.
松枝 大治	Matsueda, H.	北大・総合博物館	Hokkaido Univ. Museum
田口 幸洋	Taguchi, S.	福岡大・理	Fukuoka Univ.
	Francis, M.D.P.L.	北大	Hokkaido Univ.

119P ( 12:16 - 12:18 ) 東南極ナピア岩体ブリーストリー・ピークの超高温グラニュライトに含まれる流体包有物

Fluid inclusions in ultrahigh-temperature granulites from Priestley Peak in the Napier Complex, East Antarctica

角替 敏昭	Tsunogae, T.	筑波大・生命環境	Univ. Tsukuba
小山内 康人	Osanai, Y.	九州大	Kyushu Univ.
大和田 正明	Owada, M.	山口大	Yamaguchi Univ.
豊島 剛志	Toyoshima, T.	新潟大	Niigata Univ.
外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
	Crowe, W.A.	西オーストラリア大	Univ. W. Australia

120P ( 12:18 - 12:20 ) 南極観測用小型無人航空機 Ant-Plane 4 号機による 500km の連続飛行と空中磁気探査

A continuous flight to 500km with a magnetometer by a small unmanned aerial vehicle, Ant-Plane 4 for Antarctic Research

船木 實	Funaki, M.	極地研	NIPR
Ant-Planeグループ	Ant-Plane Group		
	Milligan, P.		Geoscience Australia
フジ・インバックス	Fuji Imvac		

121P ( 12:20 - 12:22 ) 隕石衝突と残留磁化: インド、ロナー・クレーター

Impact of impact on remanent magnetization: Lonar crater in India

西岡 文維	Nishioka, I.	総研大	SOKENDAI
船木 實	Funaki, M.	極地研	NIPR

P122 ( 12:22 - 12:24 ) UHT crustal processes: a view from felsic rock

外田 智千	Hokada, T.	極地研	NIPR
鈴木 里子	Suzuki, S.	名古屋大	Nagoya Univ.

123P ( 12:24 - 12:26 ) リュッツォホルム湾沖における海底圧力計観測

Ocean bottom pressure measurement of Lützow-Holm Bay, Antarctic Ocean

青山 雄一	Aoyoma, Y.	極地研	NIPR
野木 義史	Nogi, Y.	極地研	NIPR
土井 浩一郎	Doi, K.	極地研	NIPR
渋谷 和雄	Shibuya, K.	極地研	NIPR
石川 尚人	Ishikawa, N.	京大・人間・環境学	Kyoto Univ.

( 12:26 - 13:30 )

昼食 Lunch

第26回極域地学シンポジウムプログラム(2006年度)

- IV. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (3) Gondwana evolution and dispersion (3) 座長: 小山内康人
- 6 ( 13:30 - 14:00 ) The evolution of the Mozambique Belt and comparisons with Dronning Maud Land, Antarctica and Sri Lanka
- |                 |   |
|-----------------|---|
| Grantham, G.H.  | Central Regions, Council for Geoscience   |
| Macey, P.H.     | Western Cape Unit, Council for Geoscience |
| Ingram, B.A.    | Central Regions, Council for Geoscience   |
| Roberts, M.P.   | Eastern Cape Unit, Council for Geoscience |
| Armstrong, R.A. | Australian National Univ.                 |
| Shiraishi, K.   | NIPR                                      |
| Hokada, T.      | NIPR                                      |
| Jackson, C.     |   |
| Manhica, V.     | Direcção Nacional de Geologia             |
- 
- 7 ( 14:00 - 14:20 ) 東南極リュツォ・ホルム岩体、ルンドボークスヘッタの超高温泥質グラニュライトのモナザイト年代  
Monazite datings from UHT metapelitic granulites from Rundvågshetta, Lützow-Holm Complex, East Antarctica
- |             |                  |       |                |
|-------------|------------------|-------|----------------|
| 本吉 洋一       | Motoyoshi, Y.    | 極地研   | NIPR           |
| 廣井 美邦       | Hiroi, Y.        | 千葉大・理 | Chiba Univ.    |
| サティッシュ・クマール | Satish-Kumar, M. | 静岡大・理 | Shizuoka Univ. |
| 外田 智千       | Hokada, T.       | 極地研   | NIPR           |
- 
- 8 ( 14:20 - 14:40 ) Sr isotope heterogeneity in dolomitic marbles from Skallevikshalsen, Lützow Holm Complex, East Antarctica
- |                  |                |
|------------------|----------------|
| Satish-Kumar, M. | Shizuoka Univ. |
| Mizuochi, H.     | Shizuoka Univ. |
| Kagami, H.       | Niigata Univ.  |
| Motoyoshi, Y.    | NIPR           |
- 
- V. 南極から見た Gondwana の形成と分裂 (4) Gondwana evolution and dispersion (4) 座長: 外田智千
- 9 ( 14:40 - 15:00 ) Constraints on peak metamorphic temperature and halogen content from marbles in Skallevikshalsen, East Antarctica
- |                  |                |
|------------------|----------------|
| Mizuochi, H.     | Shizuoka Univ. |
| Satish-Kumar, M. | Shizuoka Univ. |
| Tsunogae, T.     | Univ. Tsukuba  |
| Motoyoshi, Y.    | NIPR           |
- 
- 10 ( 15:00 - 15:20 ) セルロンダーネ山地の年代学  
Geochronology of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica
- |        |               |     |               |
|--------|---------------|-----|---------------|
| 白石 和行  | Shiraishi, K. | 極地研 | NIPR          |
| 外田 智千  | Hokada, T.    | 極地研 | NIPR          |
|        | Fanning, C.M. |     | ANU           |
| 加々美 寛雄 | Kagami, H.    | 新潟大 | Niigata Univ. |
- 
- 11 ( 15:20 - 15:40 ) 周東南極変動帯とヒマラヤ: Gondwana テクトニクスへの示唆  
The Circum East Antarctic Orogen and the Himalaya: implication to the Gondwanaland tectonics
- |      |                    |                 |                       |
|------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| 吉田 勝 | Yoshida, M.        | Gondwana 地質環境研究 | Gondwana Institut     |
|      | Bishal Nath Upreti | トリブバン大          | Tribhuvan Univ. Nepal |
- 
- 12 ( 15:40 - 16:00 ) Geochemical behaviour of major elements and trace elements in weathered gneiss rock from Schimarcher Oasis, East Antarctica
- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| Baba Musta    | Unive. Malaysia Sabah |
| Sanudin Tahir | Unive. Malaysia Sabah |
- 
- ( 16:00 - 16:20 ) 休憩 Coffee Break

VI. 岩石学・鉱物学(1) Petrology and mineralogy (1) 座長:川崎 智佑

- 13 ( 16:20 - 16:40 ) リュツォ・ホルム岩体,明るい岬に見出されたザクロ石-コランダムグラニュライト  
Garnet and corundum-bearing granulite in the Lützow-Holm Complex at Akarui Point
- |      |              |            |             |
|------|--------------|------------|-------------|
| 是永 浩 | Korenaga, H. | 千葉大・院・自然科学 | Chiba Univ. |
| 廣井美邦 | Hiroii, Y.   | 千葉大・理      | Chiba Univ. |

- 14 ( 16:40 - 17:00 ) 東南極リュツォ・ホルム岩体スカレビークスハルセン産 Grt-Sil gneiss 中の Grt に見られる P の不規則ゾーニングについて  
Irregular phosphorus zoning in garnet from Grt-Sil gneiss in Lützow-Holm Complex at Skallevikshalsen, East Antarctica
- |       |              |       |             |
|-------|--------------|-------|-------------|
| 河上 哲生 | Kawakami, T. | 京都大・理 | Kyoto Univ. |
| 外田 智千 | Hokada, T.   | 極地研   | NIPR        |

VII. 岩石学・鉱物学(2) Petrology and mineralogy (2) 座長:本吉洋一

- 15 ( 17:00 - 17:20 ) ザクロ石-珪線石フェルシック片麻岩の融解実験:温度上昇に伴うザクロ石分解とサフィリン形成との関係  
Melting experiments of garnet-sillimanite felsic gneisses: Relation between sapphirine-formation and garnet-breakdown with increasing of temperature
- |       |               |       |                   |
|-------|---------------|-------|-------------------|
| 佐藤 桂  | Sato, K.      | 東工大・理 | Tokyo Inst. Tech. |
| 吉村 康隆 | Yoshimura, Y. | 高知大・理 | Kochi Univ.       |
| 山本 伸次 | Yamamoto, S.  | 東工大・理 | Tokyo Inst. Tech. |

- 16 ( 17:20 - 17:40 ) 超高温変成岩類を特徴づける鉱物間の Ti の分配  
Ti partitioning among minerals in UHT granulites
- |       |              |       |             |
|-------|--------------|-------|-------------|
| 川崎 智佑 | Kawasaki, T. | 愛媛大・理 | Ehime Univ. |
|-------|--------------|-------|-------------|

( 18:00 - 19:00 ) 懇親会 Conference Party

VIII. 地形・第四紀・新生代地質(1) Geomorphology, Quaternary and Cenozoic geology(1) 座長:森脇喜一

- 17 ( 10:20 - 10:40 ) プライボークニツバ広江池湖岸における春期の未凍結水面出現について  
The surface of the water appeared in spring around the shore of Lake Hiroe, Breidvagnipa
- |       |               |          |   |
|-------|---------------|----------|---|
| 佐藤 高晴 | Sato, T.      | 広島大・総合科学 | Hiroshima Univ.                           |
| 坂中 伸也 | Sakanaka, S.  | 秋田大・工学資源 | Akita Univ.                               |
| 佐藤 健  | Sato, T.      | 札幌管区気象台  | Sapporo District Meteorological Observato |
| 田阪 茂樹 | Tasaka, S.    | 岐阜大・教育   | Gifu Univ.                                |
| 高橋 博  | Takahashi, H. | 気象庁・地震火山 | JMA                                       |
| 藤井 純一 | Fujii, J.     |          |   |

- 18 ( 10:40 - 11:00 ) 親指池堆積物に見られた最近のテナルド石析出について  
A recent deposition event of thenardite appeared in sediment cores from Lake Oyayubi
- |        |              |          |                                |
|--------|--------------|----------|--------------------------------|
| 佐藤 高晴  | Sato, T.     | 広島大・総合科学 | Hiroshima Univ.                |
| 竹田 一彦  | Takeda, K.   | 広島大・生物圏  | Hiroshima Univ.                |
| 大川 真紀雄 | Ookawa, M.   | 広島大・理    | Hiroshima Univ.                |
| 瀬戸 浩二  | Seto, K.     | 島根大・汽水域  | ReCCLE, Shimane Univ.          |
| 坂中 伸也  | Sakanaka, S. | 秋田大・工学資源 | Akita Univ.                    |
| 上村 剛史  | Uemura, T.   | 総研大      | SOKENDAI                       |
| 江川 晋子  | Egawa, K.    | 水路協会     | Japan Hydrographic Association |

- IX. 地形・第四紀・新生代地質(2) Geomorphology, Quaternary and Cenozoic geology(2) 座長: 高田将志
- 19 ( 11:00 - 11:20 ) 東南極氷床における中期完新世以降の氷床変動と温暖化イベント  
Glacial fluctuation and warming event since mid-Holocene in the East Antarctica
- |       |              |        |                 |
|-------|--------------|--------|-----------------|
| 前杵 英明 | Maemoku, H.  | 広島大・教育 | Hiroshima Univ. |
| 三浦 英樹 | Miura, H.    | 極地研    | NIPR            |
| 岩崎 正吾 | Iwasaki, S.  | 極地研    | NIPR            |
| 横山 祐典 | Yokoyama, Y. | 東大・理   | Univ. Tokyo     |
- 
- 20 ( 11:20 - 11:40 ) 宇宙線生成核種を用いた第四紀後期の東南極スカルプスネス地域の氷床変動の解明  
East Antarctic Glaciations during the Late Quaternary recorded in cosmogenic nuclides along the Skarvnes coast.
- |       |               |        |                 |
|-------|---------------|--------|-----------------|
| 山根 雅子 | Yamane, M.    | 東大・院・理 | Univ. Tokyo     |
| 横山 祐典 | Yokoyama, Y.  | 東大・理   | Univ. Tokyo     |
| 三浦 英樹 | Miura, H.     | 極地研    | NIPR            |
| 前杵 英明 | Maemoku, H.   | 広島・教育  | Hiroshima Univ. |
| 岩崎 正吾 | Iwasaki, S.   | 極地研    | NIPR            |
| 松崎 浩之 | Matsuzaki, H. | 東大・工   | Univ. Tokyo     |
- 
- 21 ( 11:40 - 12:00 ) 長頭山北壁のモレーンはいつ作られたのか?  
When was a moraine formed on the north wall of Mount Tyôtd, Langhovde?
- |       |              |     |      |
|-------|--------------|-----|------|
| 森脇 喜一 | Moriwaki, K. | 極地研 | NIPR |
|-------|--------------|-----|------|
- 
- ( 12:00 - 13:00 ) 昼食 Lunch
- 
- X. 測地・固体地球物理(1) Geodesy and geophysics (1) 座長: 土井浩一郎
- 22 ( 13:00 - 13:20 ) 昭和基地における地電流連続観測  
Telluric current monitoring at Syowa Station
- |       |              |          |             |
|-------|--------------|----------|-------------|
| 坂中 伸也 | Sakanaka, S. | 秋田大・工学資源 | Akita Univ. |
| 野木 義史 | Nogi, Y.     | 極地研      | NIPR        |
| 門倉 昭  | Kadokura, A. | 極地研      | NIPR        |
| 上村 剛史 | Uemura, T.   | 総研大      | SOKENDAI    |
- 
- 23 ( 13:20 - 13:40 ) 南極昭和基地におけるGPSブイ潮位観測  
Tidal Observation with GPS buoy at Syowa station, Antarctica
- |        |              |          |                                |
|--------|--------------|----------|--------------------------------|
| 江川 晋子  | Egawa, K.    | 日本水路協会   | Japan Hydrographic Association |
| 上村 剛史  | Uemura, T.   | 総研大      | SOKENDAI                       |
| 坂中 伸也  | Sakanaka, S. | 秋田大・工学資源 | Akita Univ.                    |
| 渋谷 和雄  | Shibuya, K.  | 極地研      | NIPR                           |
| 土井 浩一郎 | Doi, K.      | 極地研      | NIPR                           |
| 青山 雄一  | Aoyama, Y.   | 極地研      | NIPR                           |
- 
- 24 ( 13:40 - 14:00 ) GRACEの衛星重力データをを用いた南極の地域的な氷床変動の研究  
A study of regional ice sheet mass variation in Antarctica using GRACE data
- |       |              |         |             |
|-------|--------------|---------|-------------|
| 山本 圭香 | Yamamoto, K. | 京都大・院・理 | Kyoto Univ. |
| 福田 洋一 | Fukuda, Y.   | 京都大・理   | Kyoto Univ. |
- 
- 25 ( 14:00 - 14:20 ) Regional isostasy of Southeast Indian Ridge
- |                     |               |
|---------------------|---------------|
| Khamis, Hamad Bakar | Univ. Ryukyus |
| Matsumoto, T.       | Univ. Ryukyus |
| Nogi, Y.            | NIPR          |

XI. 測地・固体地球物理(2) Geodesy and geophysics (2)		座長:佐藤忠弘	
26 ( 14:20 - 14:40 )	海底地形・地磁気異常に基づく南西インド洋海嶺の発達史 The evolution of Southwest Indian Ridge based on seafloor topography and geomagnetic anomaly	松本 剛	Matsumoto, T. 琉球大・理 Univ. Ryukyus Baines, A. Graham ワイオミング大 Univ. Wyoming Cheadle, Michael J. ワイオミング大 Univ. Wyoming Dick, Henry J. B. ウッズホール海洋研 Woods Hole Oceanographic Institution Scheiren, A. 米地質調査所 U.S. Geological Survey
27 ( 14:40 - 15:00 )	SKS 波スプリッティングパラメータを用いた南極プレート下の上部マントル異方性 Upper mantle anisotropy beneath the Antarctic plate using splitting parameter of teleseismic SKS phases	臼井 佑介 金尾 政紀	Usui, Y. 機構・融合センター TRIC Kanao, M. 極地研 NIPR
28 ( 15:00 - 15:20 )	レシーバー関数解析から求めたリュツォ・ホルム湾沿岸域のマントル不連続面の構造 The structure of mantle discontinuities under the Lützow-Holm Bay region estimated from receiver function analyses	井上 智史 趙 大鵬 山田 朗 金尾 政紀 臼井 佑介	Inoue, T. 愛媛大学 GRC, Ehime Univ. Zhao Dapeng 愛媛大学 GRC, Ehime Univ. Yamada, A. 愛媛大学 GRC, Ehime Univ. Kanao, M. 極地研 NIPR Usui, Y. 機構・融合センター TRIC
( 15:20 - 15:40 )	休憩 Coffee Break		
XII. 総合討論「新船就航にむけて」 Discussion		座長/司会:野木義史	
( 15:40 - 16:30 )			

第 26 回極域地学シンポジウム

口頭発表要旨

The 26<sup>th</sup> Symposium on Polar Geosciences

Abstracts for Oral Presentation

## 南極昭和基地近傍での日独共同航空地球物理観測

野木義史(極地研)・Daniel Steinhage (AWI)・Sven Riedel (AWI)・北田数也(神戸大自然科学)  
白石和行(極地研)・渋谷和雄(極地研)・Wilfried Jokat (AWI)

## Japan-Germany Joint Airborne Geophysical Surveys around Syowa Station, Antarctica

Yoshifumi Nogi (NIPR), Daniel Steinhage (AWI), Sven Riedel (AWI),  
Kazuya Kitada (Graduate School of Science and Technology, Kobe University),  
Kazuyuki Shiraishi (NIPR), Kazuo Shibuya(NIPR) and Wilfried Jokat (AWI)

南極大陸、特に東南極は、は約 40 億年前までさかのぼれる古い地殻が存在している。また、その周囲の海底には Gondwana 大陸分裂の履歴が残っている。南極大陸はこの意味で、地球科学の大きな問題の一つである、大陸の成長と離合集散のメカニズムを解明するために不可欠な長さの時間軸を有している場である。しかし、南極大陸の 98% は氷に覆われており、南極大陸の基盤地形や地質は、ほんの一部しか明らかでない。氷下の構造を広範囲に明らかにするためには、航空機による氷床レーダー観測、地磁気や重力異常等の地球物理学的マッピングが有効な手段である。

「Gondwana 大陸の形成と分裂」および「しらせ氷河流域を例とした東南極氷床の流動機構」の解明を目的として、第 47 次南極地域観測夏隊(2005 年 11 月-2006 年 12 月)において、日独共同で昭和基地周辺地域の航空機観測を行った。この共同観測は、日本隊として昭和基地近傍で初めて行った大規模な国際共同観測である。今回の観測では、ドイツのアルフレッド・ウェーゲナー極地海洋研究所保有の航空機であるドルニエ機 (Polar-2) を使用し、昭和基地近傍の大陸氷床上の S17 を航空観測拠点として、南北測線を基本とした測線間隔約 20km の昭和基地周辺の面的な氷床レーダー、地磁気および重力の調査を行った。その結果、天候に恵まれ (観測期間中ブリザード 1 回)、また航空機および観測機器等の目立った故障もなく、ほぼ予定通りの測線上での観測を行い、予定観測飛行時間 100 時間を上回る計 111 時間 34 分の観測飛行により、それぞれの測線上で。氷床レーダ

一、地磁気および重力異常の良好なデータを得ることができた(図)。

本講演では、第 47 次で行われた日独共同航空機観測の初期的なデータ解析をもとに、特徴的な構造等を紹介し、この地域の Gondwana の形成と分裂に関する議論を行う。

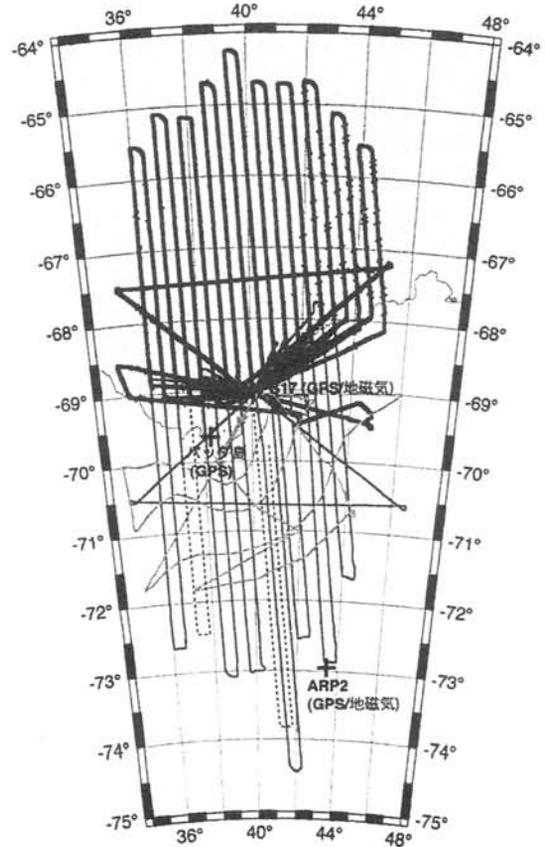


図 日独共同航空機観測実施測線 (黒色の線：海洋域の測線、灰色の線；内陸域の測線)。パッダ島、S17 および ARP2 は、地磁気および GPS の参照点を示す。

野木義史(極地研)・北田数也(神戸大自然科学)・島伸和(神戸大内海域環境教育研究センター)

### Seafloor geophysical surveys during the JARE47

Yoshifumi Nogi (NIPR), Kazuya Kitada (Graduate School of Science and Technology, Kobe University) and Nobukazu Seama (Research Center for Inland Seas, Kobe University)

南インド洋は、オーストラリア、インド、マダガスカル、アフリカといった Gondwana を形成していた主要な大陸の南極からの分裂によって形成された海洋であり、初期の Gondwana 分裂過程の履歴が残っている海域である。しかしながら、この海域は、未だ観測が不十分であり、Gondwana 分裂に伴う海洋底拡大史がほとんど解明されていない海域でもある。南インド洋、特にエンダビー海盆の海洋底拡大史を明らかにするために、砕氷艦しらせでは、毎年しらせ航路上で船上地磁気 3 成分観測および重力観測を行っており、南インド洋のデータを蓄積している。第 47 次南極地域観測夏隊(2005 年 11 月-2006 年 12 月)では、これらの観測に加えて、海底電位磁力計観測を行った。また、第 47 次では、エンダビー海盆の海洋底拡大史の鍵となる地磁気異常プロファイルを得るために、地磁気・重力測線として、特別に北西から南東方向の測線での観測を行った(図)。

海底電位磁力計は、リュッコホルム湾沖に海底圧力計と同地点に 2 台設置し、第 47 次

でのしらせ往路に投入し、帰路回収を行い、良好なデータを取得した(図)。現在、海底電位磁力計観測のデータから、海底下の電気伝導度構造を見積もるための解析を行っている。電気伝導度は、地震波速度とは異なった物理量であり、地下の水の存在や部分熔融等に敏感な物理量である。この観測から、この海域のリソスフェアの厚さが見積もられ、プレートの成長という観点から海洋底の年代や分裂形態等の情報が得られることが期待される。

また、今回特別に行った北西から南東方向の地磁気・重力測線では、海底拡大軸の走向の変化および活動を停止した海嶺軸の存在が示唆される地磁気異常プロファイルが得られた。

本講演では、これまでのしらせによる船上地磁気 3 成分観測および重力観測の結果とともに、第 47 次で得られた新たな結果を加えて、エンダビー海盆全域の Gondwana 分裂過程に関する議論を行う。

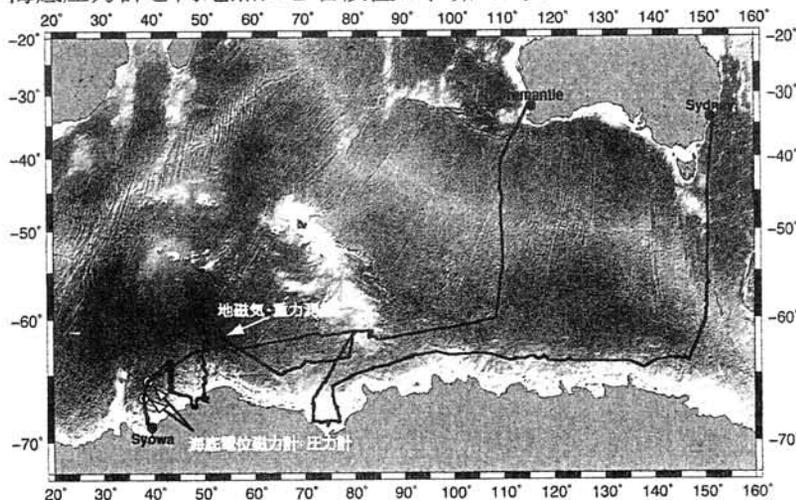


図 第 47 次南極地域観測夏隊のしらせ航跡と海底地形のイメージ。白丸は、海底電位磁力計および圧力計の設置地点を示す。

## みずほ高原における広帯域周波数電磁探査

坂中伸也 (秋田大)、船木實・山崎哲秀・三宅八朗 (極地研)、  
佐藤高晴 (広島大)、江川晋子 (日本水路協会)、上村剛史 (総研大)

## Wide-band frequency magnetotelluric survey at Mizuho Plateau

Shin'ya Sakanaka (Akita Univ.), Minoru Funaki, Tetsuhide Yamasaki, Hachiro Miyake (NIPR),  
Takaharu Sato (Hiroshima Univ.), Kuniko Egawa (Japan Hydrographic Association),  
and Takeshi Uemura (Graduate Univ. for Advanced Studies)

みずほ高原の氷床下数十 km までの地下の電気伝導度構造をさぐるため、計 16 地点で MT 法電磁探査を行った。2005 年 8 月 19 日 - 27 日に H68 地点で試験観測を行い、9 月 21 日 - 10 月 10 日にみずほ高原周辺の内陸ルート上の計 14 測点、11 月 20 日 - 22 日にとつき岬においてデータを取得した。内陸旅行中は、1 つの測点につき、夕方観測機材をセットしてデータ収録を開始、翌朝撤収し、次の観測点に向かうという方法で観測を遂行した。

観測システムは Phoenix 社の MTU-5 を用いたが、このシステムは 3 成分の磁場、水平 2 成分の電場を数百 Hz から 0.001 Hz 程度の周波数にわたって記録する。磁場の水平成分用に長さ約 1.6 m の棒状コイル、磁場の鉛直成分用には 1 辺約 6 m の四角形ループコイルを用いた。電導性の低い雪面に対応するために、1 辺 60 cm のチタン板電極を用いて電場を取得した。雪面を 30 ~ 50 cm 掘り下げて底を平らにした後、粘土鉱物ベントナイトをまんべんなく敷き広げ、塩水で浸した上からチタン板電極を水平に置いた。その上に雪を元通りかぶせて踏み固めたが、接地抵抗は 1 M  $\Omega$  程度であった。雪面では接地抵抗が大きいため、電極にプリアンプを併用するシステムを持ち込んで使用した。

収録システムの電源としてシール型鉛蓄電池 (BTR 製 G70EP : 12V : 70Ah) を用い

た。鉛蓄電池を使用後雪上車の中で充電して繰り返し用いたが、低温のため充電効率が悪かったため、鉛蓄電池を 2 個並列接続して使用することにした。

内陸旅行では、ときには気温が -40°C を下回る中でケーブルを設置したが、一部耐寒性のないビニル被覆導線を用いていたため、低温でケーブルが硬直、たびたび折れて破損し、毎日のように修理が必要であった。

各観測点のサウンディングカーブから、高周波数部分の見掛け抵抗が 10 万  $\Omega$  m にも及ぶことが見てとれる。これは比抵抗の高い氷床の部分の反映しているものと考えられる。

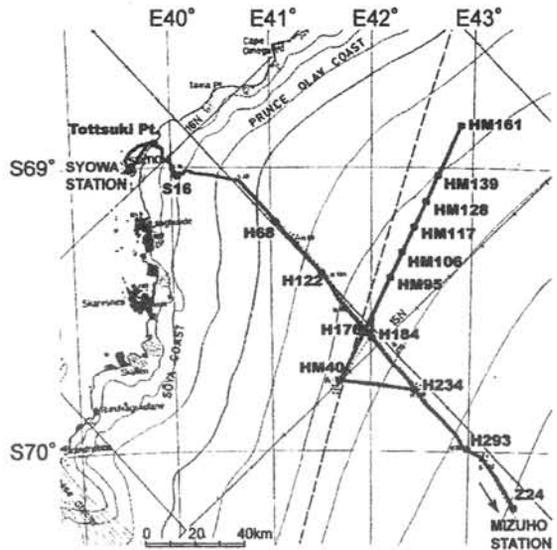


図 1 2005 年 9 月 - 10 月の旅行を中心に行った、みずほ高原における MT 観測点と旅行ルート。

## **Insights into large scale metallogenic and tectonic processes in an ancient Archaean nucleus, the Yilgarn Craton of Western Australia and its Australian and Antarctic margins.**

Bruce Goleby<sup>1</sup>, Richard Blewett<sup>1</sup>, Paul Henson<sup>1</sup> and Masaki Kanao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geoscience Australia, GPO Box 378, Canberra, ACT, 2601

<sup>2</sup> National Institute of Polar Research, 1-9-10 kaga, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515, Japan

The Yilgarn Craton of Western Australia is an Archaean nucleus surrounded by Proterozoic orogenic belts that include the Capricorn belt to the north, the Albany-Fraser Orogen to the east and Wilkes Land in Antarctica. The Yilgarn Craton itself preserves large-scale geodynamic signatures within the crust and mantle that reflect its tectonic and metallogenic evolution.

Integration of geophysical datasets such as broad-band tomographic images of the lithosphere, receiver function velocity profiles of the crust, seismic reflection deduced crustal architectures, together with geology, geochemical and geochronological datasets has provided insights into the processes of formation of the craton at the largest scales and within the three-dimensional architecture of the region at the time the mineral system were operating.

### **The 3D architecture of the Yilgarn Craton**

The one critical element in defining the 3D architecture of any area, and the element least known, is the depth dimension. Using the wealth of seismic data within the Yilgarn Craton, researchers (e.g. Blewett et al., 2004; Blewett, 2005, Henson et al., 2005, Goleby et al., 2006;) have developed a well constrained craton-scale three-dimensional Yilgarn model that is now being used to answer questions about why mineral deposits are found within certain parts of the Yilgarn Craton and not others. They suggest that lithospheric scale processes are responsible for the current Yilgarn Craton architecture.

### **Craton-scale Yilgarn Craton seismic data**

Tomographic S-wave velocity results (Fishwick et al., 2005; Goleby et al., 2006) map large-scale lithospheric velocity variations and suggest lithosphere beneath the

Yilgarn Craton is in the order of 220 km thick. The results indicate the lithosphere contains a region of fast material,  $> 4.8 \text{ km.s}^{-1}$ , within the upper mantle. This body occurs as an east-dipping body that is faulted into a series of east-side down stepped bodies whose edges approximately coincide with near-surface geological boundaries as well as regions of significant mineralisation within the Yilgarn Craton. The top of this high-velocity region occurs at a depth of  $\sim 70$  km in the west; increasing to  $\sim 100$  km beneath the Ida Fault (major terrane boundary fault), then  $\sim 120$  km in the east.

Receiver Function profiles within any terrane are internally-consistent; however, overall show marked differences between terranes. This is attributed to fundamental changes in the composition of the crust within each terrane (Reading et al., 2006; Goleby et al., 2006). Crustal scale seismic refraction results in the southwest part of the Yilgarn Craton (Dentith et al., 2000) indicate the middle and lower crust is predominately felsic in composition.

An extensive deep seismic reflection coverage (Goleby et al., 2004; Goleby et al., 2006) across the eastern half of the Yilgarn Craton has provided crustal scale architectural constraints and shows the Yilgarn crust is approximately 33 km thick beneath the central Yilgarn, thickening to 42 km in the eastern third and 46 km at the eastern end of the seismic traverse, near the Albany-Fraser orogenic belt. This change in depth to Moho is consistent with that obtained from the receiver function analysis and is achieved through a series of ramps and flats. The Moho is generally sub-horizontal for long sections, then ramps downwards over short distances. The crust is divided into three distinct sub-horizontal layers, which has a superimposed.

Within this east-dipping fabric, four prominent east-dipping shear zones occur and subdivide the eastern Yilgarn Craton into distinct terranes. These terranes are the same as those defined by the receiver function analysis. Each crustal penetrating shear zone provides an excellent fluid pathway from the mantle to the upper crust and suggests that the formation of mineral systems involved deeply sourced fluid utilising crustal-penetrating shear zones before being focussed into sites located above fault-breached domal regions in the upper crust (Blewett, 2005; Henson et al., 2005; Goleby et al., 2006).

### **Proterozoic orogenic belts surrounding the Yilgarn Craton**

Prior to break-up of East Gondwana, the Yilgarn Craton was juxtaposed to the East Antarctica coast line. In a reconstruction of East Gondwana (e.g. Fitsimons, 2000), the Albany Fraser orogenic belt has correlatives within the Bungar Hills and Wilkes Land regions of Antarctica. Duebendorfer (2002) concluded that the Albany Fraser orogenic belt and the Bungar Hills have similar structural styles, metamorphic grade, and deformational events.

The limited seismic available from the East Antarctica margin in the Bungar Hills-Wilkes Land region (e.g. Reading, 2002) suggests that the crustal thickness under the Wilkes Land region is ~30 km and has a well defined Moho. Reading (2002), using seismic data also concluded that the structure of the Wilkes Land lithosphere is comparable to that of the Albany Fraser orogenic belt.

Within the Lützow-Holm Complex (LHC) 500 km western of the Archaean Napier Complex, the receiver function analysis and DSS results suggest the area is part of a Pan-African collision zones resulting from the last stage of the formation of Gondwana (Kanao et al., 2002; Kano et al., 2004).

The Prince Charlies Mountains (PCM) - Princess Elizabeth Land profile by the Russian DSS has obtained clearly the graven structure beneath the Amery Ice Shelf (Kurinin and Grikurov, 1982). The Lambert graven and the underlying rift structure in the center part of the profile have seem to be

associated with the Cretaceous break-up as suggested by the brittle faulting of the PCM (Boger and Wilson, 2003).

Several tectonic evolution models in Enderby Land with its nucleus at the Napier Complex have been formed associated with the existence of hidden sutures beneath continental ice-sheet which crossing over East Antarctica.

Seismic results within the Napier Complex suggest the existence of large-scale sutures that cross over the inland of East Antarctica, similar to the crustal penetrating shear zones imaged within the Yilgarn Craton, and which has implications for Archaean and Proterozoic deformation styles.

### **Insights into large scale tectonic processes**

The later phases of Archaean evolution of the Yilgarn Craton were controlled by craton wide delamination of the basal part of the lower crust. The heat introduced into the base of the crust resulted in both widespread emplacement of late low-Ca granites and late gold-rich fluids moving into the upper crust across the entire Yilgarn Craton during late-stage orogenesis (e.g. Blewett, 2005). Such a lithospheric scale process is consistent with many of seismic and geological observations, including the presence of a thin crust, an easterly dipping Moho, a fast easterly dipping S-wave velocity layer body at 100-120 km depth and an apparent simple layering within the crust and upper mantle (Goleby et al., 2006). The predominately felsic crust also supports the suggestion that the dense garnet-rich lower crust that was needed for the production of the high-Ca granites has delaminated and is now the high-velocity layer within the upper mantle (Goleby et al., 2006).

The presence of craton scale deep-penetrating shear zones suggests the mantle-derived mineral system operated at lithospheric scales. Once these fluids have migrated into the crust, they used the prominent east-dipping crustal-penetrating shear zones as suitable fluid pathways along which large volumes of fluid flowed may have flowed until they pond at favourable locations within the upper crust (e.g. lower stress regions; Henson et al., 2005). This is supported by the observation that most of the larger gold deposits and known mineral fields in the

Yilgarn are located within a corridor along the surface expression of these shear zones.

### Acknowledgements

In the Australian seismic datasets, ANSIR (National Research Facility for Earth Sounding) is acknowledged. This paper is published with the permission of the Chief Executive Officer, Geoscience Australia. Australian Government copyright retained.

### References

- Blewett, R.S., 2005. The 5Q's synthesis and predictive mineral discovery. *In*: Blewett, R.S. and Hitchman, A.P. (Eds.), Final report – 3D Geological models of the eastern Yilgarn Craton. Predictive Mineral Discovery Cooperative Research Centre, Unpublished Report.
- Blewett, R.S., Cassidy, K.F., Champion, D.C., Henson, P.A., Goleby B.R. and Kalinowski, A.A., 2004. An orogenic surge model for the eastern Yilgarn Craton: implications for gold mineralising systems. *In*: Muhling, J. et al., (Eds.), SEG 2004, Predictive Mineral Discovery Under Cover. Centre for Global Metallogeny, The University of Western Australia, Publication 33: 321-324.
- Boger, S. D. and Wilson, C. J. L., 2003. Brittle faulting in the Prince Charles Mountains, East Antarctica: Cretaceous transtensional tectonics related to the break-up of Gondwana. *Tectonophysics*, 367, 173-186.
- Dentith, M.C., Dent, V.F. and Drummond, B.J., 2000. Deep crustal structure in the southwestern Yilgarn Craton, Western Australia. *Tectonophysics*, 325: 227-255.
- Duebendorfer, E. M., 2002. Regional correlation of Mesoproterozoic structures and deformational events in the Albany-Fraser Orogen, Western Australia. *Precambrian Research*, 116, 129-154.
- Fishwick, S., Kennett, B.L.N. and Reading, A.M. 2005. Contrasts in lithospheric structure within the Australian craton—insights from surface wave tomography. *Earth and Planetary Science Letters*, 231, 163-176.
- Fitzsimons, I.C.W., 2003. Proterozoic basement provinces of southwestern Australia and their correlation with Antarctica. *in*: Y. Yoshida, B.F. Windley, S. Dasgupta (Editors.), *Proterozoic of East Gondwana: Supercontinent Assembly and Breakup*, Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 206., 93-130.
- Goleby, B.R., Blewett, R.S., Korsch, R.J., Champion, D.C., Cassidy, K.F., Jones, L.E.A., Groenewald, P.B. and Henson, P., 2004. Deep seismic reflection profiling in the Archaean northeastern Yilgarn Craton, Western Australia: implications for crustal architecture and mineral potential. *Tectonophysics*, 388, 119-133.
- Goleby, B.R., Blewett, R.S., Fomin, T., Fishwick, S., Reading, A.M., Henson, P.A., Kennett, B.L.N., Champion, D.C., Jones, L., Drummond, B.J. and Nicoll, M., 2006. An integrated multi-scale 3D seismic model of the Archaean Yilgarn Craton, Australia. *Tectonophysics*, 420, 75-90.
- Henson, P.A., Blewett, R.S., Champion, D.C., Goleby, B.R., Cassidy, Drummond, B.J., Korsch, R.J., Brennan, T., and Nicoll, M., 2005. Domes: the characteristic 3D architecture of the world-class lode-Au deposits of the Eastern Yilgarn. *In*: Hancock et al. (ed) *Structure, Tectonics and Ore Mineralisation Processes*, Economic Geology Research Unit Contribution 64, p. 60.
- Kanao, M., Kubo, A., Shibutani, T., Negishi, H. and Tono, Y., 2002. Crustal structure around the Antarctic margin by teleseismic receiver function analyses. *In*: J. Gamble, D. N. B. Skinner and S. Henrys (Eds.), *Antarctica at the close of a Millennium*, Bull. R. Soc. N.Z., 35, 485-491.
- Kanao, M., Ishikawa, M., Yamashita, M., Kaminuma, K. and Brown, L.D., 2004. Structure and evolution of the East Antarctic lithosphere: tectonic implications for the development and dispersal of Gondwana. *Gondwana Research*, 7, 31-42.
- Kurinin, R. G. and Grikurov, G. E., 1982. Crustal structure of part of East Antarctica from geophysical data. *Antarctic Geoscience*, ed. By C. Craddock, Madison, Univ. Wisconsin Press, 895-901.
- Reading, A.M., 2002. The Seismic Structure of Wilkes Land/Terre Adelie, East Antarctica and Comparison with Australia: First Steps in Reconstructing the Deep Lithosphere of Gondwana. *Gondwana Research*, 7, 21-30.
- Reading, A.M., Kennett, B.L.N. and Goleby, B.R., 2006. The deep seismic structure of Precambrian terranes within the West Australian Craton and implications for crustal formation and evolution. *Precambrian Research*. (in press).

## Are the Numerical Modeling Faults Inheritor of Earthquakes in the Eastern Himalaya? : Insights from Two Dimensional Finite Element Method

M. Farhad HOWLADAR and Sharmin Afroz

Dept. of Civil and Environmental Engineering  
University of America-Bangladesh  
Salbagan, Sapura, Rajshahi,  
Bangladesh.  
Tel.- 88-0721-750502  
E-mail- dmfh75@yahoo.com

The Himalayan mountain region is the most active continent-continent collision zone in the world. Various part of this territory experienced different level and types of earthquake activity. For example, four great earthquakes have been occurred during the last century of which epicenters are broadly confined to the eastern and western Himalayas. On the other hand, the central Himalaya has been relatively quite. The source mechanisms of most of the earthquakes in the Himalayan arc are predominantly thrust and normal types. In view of this point, this study performed a plane strain analysis of stress and faults in these earthquakes potential region are based on the seismic geologic cross profile appealing the two-dimensional finite element method under elastic material state with Mohr Coulomb failure criterion. The results show that the faults are intensely localized along the detachment MHT in the deeper level of lesser Himalaya and these faults spread towards south in the shallower depth along the MBT and MFT and finally in

Sub-Himalaya to the Indian Gagetit plane region. The concentration of the simulated faults is well corresponded and matched with the distribution of seismic data and earthquakes events of the area. Thus, from these features it can be concluded that the simulated faults and the earthquakes are the inheritor to each other. Furthermore, the intense deformation along the MHT, MBT and MFT keeps these areas seismically active which might have a significant role to generate the earthquakes in the region.

**Key words: Eastern Himalayas, finite element method, fault concentration, seismicity, earthquakes**

## The evolution of the Mozambique Belt and comparisons with Dronning Maud Land, Antarctica and Sri Lanka

Grantham G.H.<sup>1</sup>, Macey P.H.<sup>2</sup>, Ingram B.A.<sup>1</sup>, Roberts M.P.<sup>3</sup>, Armstrong R.A.<sup>4</sup>, Shiraishi K.<sup>5</sup>, Hokada T.<sup>5</sup>, Jackson C.<sup>6</sup>, Manhica V.<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Central Regions, Council for Geoscience, P/Bag X112, Pretoria, S. Africa.  
grantham@geoscience.org.za

<sup>2</sup>Western Cape Unit, Council for Geoscience, P.O. Box , Bellville, South Africa.

<sup>3</sup>Eastern Cape Unit, Council for Geoscience, P.O. Box , Walmer, South Africa

<sup>4</sup>RSES, Australian National University, Canberra, Australia,

<sup>5</sup>National Institute of Polar Research, 1-9-10 Kaga, Itabashi-ku, Tokyo, Japan

<sup>6</sup> 51 St David's Rd, Claremont 7708, Cape Town, South Africa

<sup>7</sup>Direcção Nacional de Geologia, Caixa Postal no 217, Maputo, 1100, Mozambique

Recent reconnaissance mapping by CGS and DNG personnel from 2000 to 2005 in NE Mozambique (14°-17°S and 37°-41°E) has been supplemented by extensive geochemical, structural and geochronological studies. The field characteristics, chemistry and ages of the rocks from the area show strong similarities to those from W. and Central Dronning Maud Land, Antarctica (DML) supporting geological correlations between the two areas prior to Gondwana break-up (Grantham et al., 1991; 1995, 2003). These similarities include juvenile supracrustal para- and orthogneisses as well as intrusive orthogneisses. The orthogneisses commonly show calc-alkaline tonalitic compositions and have SHRIMP crystallisation ages between ~1100Ma - ~1140Ma. These gneisses are intruded by a variety of granitoids. One of the dominant varieties typically has A-type chemistries and is commonly exposed as highly strained augen- gneisses but locally is charnockitic. SHRIMP crystallisation ages from the augen-gneisses are typically ~1070Ma - ~1090Ma. Varying degrees of migmatisation of these two major units is evident in the field. SHRIMP ages from zircon rims from the gneisses and migmatite veins show similar ~1070Ma- ~1090Ma ages resulting from metamorphism coincident with the high temperature A-type intrusions. The ~1140-1070Ma gneisses contain upper amphibolite facies mineralogy except for localised anhydrous charnockitic and granulite enclaves of uncertain origin. The ~1100Ma gneisses represent the lithologies generated during the amalgamation of the Kalahari Craton

with an as yet unidentified crustal province comprising the East Antarctic Shield to the east to form Rodinia.

The ~1140--1070Ma-age gneisses are intruded by younger granites including weakly deformed to undeformed intrusions with medium grained-equigranular to coarse-grained porphyritic varieties as well as pegmatites. The SHRIMP crystallisation ages for the younger granites vary from ~450Ma - ~530Ma. They contain older inherited discordant zircons which commonly yield upper intercepts of ~1000-1100Ma. The chemical compositions of these intrusions vary from peraluminous types to hornblende-bearing varieties with I-type, verging on A-type, chemistries. The granitoid intrusions are largely concentrated in the Nampula terrane, S. of the Lurio shearzone, a prominent linearment on aeromagnetic and Landsat images. Two poorly exposed areas, underlain largely by granulite grade gneisses, are interpreted as klippen namely the Monapo and Mugeba Klippen (Pinna et al., 1993, Sacchi et al., 2000 ). These rocks are thought to have been thrust faulted south- and eastwards from the Lurio Belt, located to the NW. A SHRIMP zircon study from the mylonitic Mugeba granulites shows a complex history with concordant ~556Ma zircons and discordant ~1100Ma protolith zircons. The ~556Ma grains are interpreted to represent the high grade metamorphic emplacement of the rocks. Besides granulite grade gneisses, the Monapo Complex contains subordinate alkaline rocks including carbonatites, nepheline syenites, nepheline pyroxenites and alkali granites.

Zircons from some of these rock types have yielded ~635Ma crystallisation ages with metamorphic zircon growth at ~570Ma. P-T calculations from meta-pelitic and metabasic granulites from Mugeba have yielded peak estimates of ~900°C and ~10kb respectively followed by post-tectonic re-equilibration to ~700°C and ~8kb (Roberts et al., 2005). Structural and aeromagnetic data show the area S. of the Lurio Belt is complexly folded with many macro-scale interference structures evident. The dominant deformation is thought to have involved tight isoclinal NE-SW striking NW dipping axial planes with top to SE vergence, folded by open folds with NW-SE oriented fold axes. Lineations plunge dominantly between W and N. Progressing southward from the Lurio Belt the structural attitude varies from an initial dominantly NW dipping direction to bi-modal NW and SE dipping orientations. The data are interpreted to indicate that Lurio Belt rocks have been thrust over the Nampula Terrane to the S and SE. The thrust-faulting probably involved sinistral transpression between the Nampula Terrane in the S. and the Tanzania-Irumide block in the N at ~550Ma.

In a broader Gondwana context the SE verging structures of Mozambique show structural orientations similar to those from W. Sverdrupfjella (HUS), Dronning Maud Land, Antarctica where earlier recumbent NW verging fold structures are deformed by younger upright SE verging folds yielding similar bi-modal structural orientations. Granitoids with ~490Ma ages in HUS and are interpreted to have been emplaced syntectonically (Grantham et al., 1991). The granites are restricted to NHUS, Gjelsvkfjella and the Muhlig Hofmanfjella areas to the east but are not recognised further south in Kirwanveggan.

Similarly, in a broader Gondwana setting, Grantham et al. (2001) suggested that the Lurio Belt probably continues into Sri Lanka and defines the boundary between the Central Highlands Complex and Vijayan. Complex in Sri Lanka. Granulite klippe of Highland Complex gneisses overlying the Vijayan Complex occupy a similar structural setting to those of Mugeba and Monapo. The

geochronology of Sri Lanka has been summarised by Kroner (1991) who demonstrated that there are strong geochronological similarities between the Mozambique and Sri Lanka. The structures and klippe in Mozambique and Sri Lanka and structures of NW HUS in Antarctica are interpreted as resulting from continental collision during the Pan Africa at ~550Ma involving the transpressional "obduction" of the northern Tanzanian-Congo block (Northern Gondwana) over the southern Dronning Maud Land- Kalahari Craton block. This collision can be traced through the Tete area into the Zambesi Valley and beyond into the Damara Belt of Namibia.

The ~450-530Ma granites which characterise the Nampula terrane, northern and central Dronning Maud Land, Antarctica and Sri-Lanka were probably generated by partial melting of the country rock in the footwall or subducted southern block. The crustal section from Mugeba, Mozambique in the north to southern Kirwanveggan, DML Antarctica in the south shows crustal depth variation at ~550Ma from ~8kb to surface with southern Kirwanveggan being overlain by the weakly deformed ~550Ma old Urfjell sandstones and conglomerates. Emplacement depths for ~490Ma old granites in HUS were estimated at ~6kb (Grantham et al., 1991) whereas those in northern Kirwanveggan were estimated at ~6kb (Grantham et al., 2001). Comparison of the zircon populations from the three crustal blocks namely N of Lurio block, the Nampula terrane in Mozambique and WDML, Antarctica show that superficial similarities exist but that the former area differs significantly from the latter two areas. The zircons from the N. of the Lurio block show a wide range of crystallisation ages from Paleoproterozoic ages, Mesoproterozoic ages around ~1050Ma, Neoproterozoic ages of ~630Ma-800Ma and Pan African ages of ~550Ma. No ~1050-1100Ma metamorphic ages are recorded in the rocks with most metamorphic ages being ~550Ma. In contrast the Nampula and WDML blocks have almost identical zircon populations which are characterised by no significant Paleoproterozoic zircons, significant >1050-1125Ma age Mesoproterozoic zircons of both primary igneous and metamorphic origins, virtually no

zircons in the age range 600-900Ma and significant igneous and metamorphic zircons in the age range ~450-580Ma. Comparisons of these zircon age groups with surrounding areas from Sri Lanka and Central DML show that in Sri Lanka, the Central Highlands Complex has zircon populations similar to the N of the Lurio block with the Vijayan Complex having similar zircon populations to the Nampula and WDML blocks. In Sor Rondane, CDML, the northern Sor Rondane is separated from the south by a ~10km wide shear zone (Shiraishi et al., 1999). Preliminary data on the zircon population from N Sor Rondane shows similarities to those of the N. of the Lurio Block whereas those from the S. Sor Rondane are comparable to the Nampula and WDML blocks.

These data imply a continental orogenic collision between north and south Gondwana at 550-570Ma along a front from the Damara, Namibia ~15°E in the west through the Zambesi Belt, along the Lurio Belt, through Sri Lanka into central DML in the east. The mountain belt formed during that collision has subsequently been eroded to supply the voluminous dominantly quartz arenites exposed in the Cape Fold Belt, the Natal Group sandstones, the Transantarctic Mountains and various units along the east and west coasts of Australia which are dominated by zircon populations of ~500-700Ma.

#### References

- Grantham, G.H., Eglinton, B.M., Thomas, R.J. and Mendonidis P. (2001) The nature of the Grenville-age Charnockitic A-type magmatism from the Natal, Namaqua and Maud Belts of southern Africa and western Dronning Maud Land, Antarctica. National Institute of Polar Research, Tokyo, Special Issue 55, 59-86
- Grantham, G.H., Groenewald, P.B. and Hunter, D.R.(1988) Geology of the northern H.U. Sverdrupfjella, western Dronning Maud land and implications for Gondwana reconstructions. S. Afr. J. Ant. Res., 18, 2-10.
- Grantham, G.H., Jackson, C., Moyes, A.B., Groenewald, P.B., Harris, P.D., Ferrar, G. & Krynauw, J.R., (1995) The tectonothermal evolution of the Kirwanveggan-H.U. Sverdrupfjella areas, Dronning Maud Land, Antarctica. Precambrian Research, 75, 209-230.
- Grantham, G.H., Maboko, M. and Eglinton, B.M.(2003) A review of the evolution of the Mozambique Belt and implications for the amalgamation of Rodinia and Gondwana. pp401 - 426 in Proterozoic East Gondwana: Supercontinent Assembly and Breakup. Yoshida M., Windley B.F. & Dasgupta S.(eds), Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 206.
- Grantham, G.H., Moyes, A.B. and Hunter, D.R.(1991) The age, petrogenesis and emplacement of the Dalmatian Granite, H.U. Sverdrupfjella, Dronning Maud Land, Antarctica. Antarctic Science, 3, 197-204.
- Kriegsman L.M. (1995). The Pan-African event in East Antarctica: a view from Sri Lanka and the Mozambique Belt. Precambrian Research, 75, 263-277.
- Kroner, A. (1991) African linkage of Precambrian Sri Lanka. Geologische Rundschau, 80, 429-440
- Pinna, P., Jourde, G., Calvez, J.Y., Mroz, J.P. & Marques, J.M.(1993) The Mozambique Belt in northern Mozambique: Neoproterozoic (1100-850 Ma) crustal growth and tectogenesis, and superimposed Pan-African (800-550 Ma) tectonism. Precambrian Research, 62, 1-59.
- Sacchi, R., Cadoppi P. and Costa, M. (2000). Pan-African reactivation of the Lurio segment of the Kibaran Belt system: a reappraisal from recent age determinations in northern Mozambique. Journal of African Earth Sciences, 30, 629-639.
- Shiraishi, K., Fanning, C.M., Armstrong R., and Motoyoshi, Y. (1999) New Evidence for polymetamorphic events in the Sor -Rondane Mountains, East Antarctica. p280 in Abstracts to 8th International Symposium on Antarctic Earth Sciences, July, 1999, Wellington, New Zealand.
- Roberts M. P., Grantham G.H., Cronwright M., Sacchi R., Ingram B.A., Azevedo S., Walliser A. and August R.B. (2005) Preliminary Pressure Temperature Determinations on Granulite-facies Rocks of the Mugeba Klippe, North Central Moçambique. Geo2005, p193-194, extended abs.University of Natal, Durban, South Africa

## 東南極リュツォ・ホルム岩体、ルンドボークスヘッタの 超高温泥質グラニュライトのモナザイト年代

本吉洋一(極地研)、廣井美邦(千葉大)、M. Satish-Kumar(静岡大)、外田智千(極地研)

### Monazite datings from UHT metapelitic granulites from Rundvågshetta, Lützow-Holm Complex, East Antarctica

Y. Motoyoshi (NIPR), Y. Hiroi (Chiba Univ.), M. Satish-Kumar (Shizuoka Univ.) and T. Hokada (NIPR)

#### 1. はじめに

東南極リュツォ・ホルム岩体南部に位置するルンドボークスヘッタには、リュツォ・ホルム岩体では最高変成度を記録した各種変成岩が露出しており、一部にはザクロ石 + 斜方輝石 + 珪線石、スピネル + 石英、サファイリン + 石英 (ただしザクロ石中の包有物) といった超高温変成条件を示す鉱物共生が報告されている (たとえば Kawasaki *et al.*, 1993; Motoyoshi and Ishikawa, 1997; 吉村ほか, 2003)。

Shiraishi *et al.* (2004)によると、ルンドボークスヘッタからは  $521 \pm 9$  Ma というジルコンの U-Pb SHRIMP 年代が報告されており、ピーク変成作用の年代を示すと解釈されている。また、リュツォ・ホルム岩体のほかの主要露岩からの年代値もおおむね 550–520 Ma を示すことから、リュツォ・ホルム岩体はいわゆるパンアフリカン変動を被った地質体として位置づけられてきた。しかし、リュツォ・ホルム岩体を構成する岩石には、変成条件の変化にともなう鉱物反応組織がしばしば保存されており、変成履歴の観点からは、年代値と変成履歴との対応については、検討の余地が残されている。本研究では、とりわけ鉱物反応組織が顕著に残されているルンドボークスヘッタの超高温泥質グラニュライトに含まれるモナザイトの年代値とその産状を対比させ、リュツォ・ホルム岩体の変成履歴のより詳細な検討を試みる。

#### 2. 分析結果

分析に用いた試料は、第46次夏期観測で採集された泥質グラニュライト7点である。これらに含まれるモナザイトの EPMA 分析を行い、年代値を算出した。モナザイトの分析方法は、Hokada and Motoyoshi (2006) によった。Fig.1 にモナザイトの産状とその年代値の代表例を示した。以下、その結果を記す。

- 1) 全試料から得られた年代値の範囲は、670 Ma から 530 Ma となった。それより古い年代値は検出されなかった。
- 2) 累帯構造を示すモナザイトについては、コアで 670–620 Ma、リムで 600–530 Ma というバイモーダルな年代が得られたことから、モナザイトの成長ステージが少なくとも2回あったことが示唆される。
- 3) ザクロ石に完全に包有されるモナザイトには累帯構造は見られず、年代値は 660–620 Ma を示す。

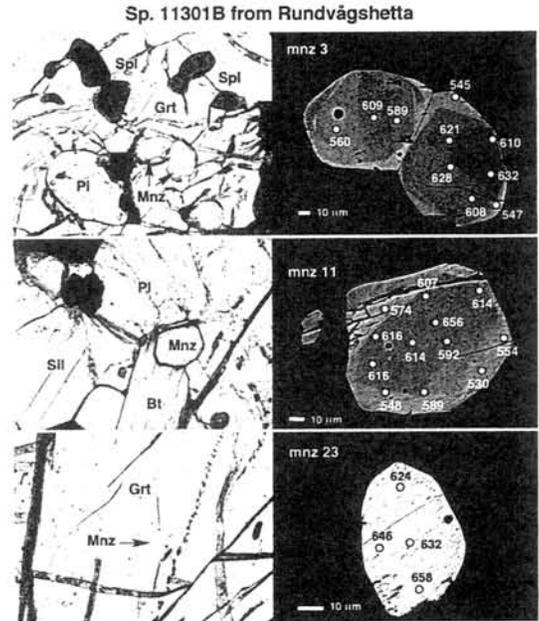


Fig. 1. Representative mode of occurrence of monazite and apparent ages (Sp. 11301B).

#### 3. 考察

過去リュツォ・ホルム岩体からはモナザイト年代は報告されていなかったが、最近 Hokada and Motoyoshi (2006) によってスカーレンからのモナザイト年代が報告された。その結果、650–580 Ma、560–500 Ma というバイモーダルな年代分布が認められ、本研究同様それぞれ異なる条件下でのモナザイトの成長があったことが確認された。さらに、580 Ma より古い年代を示すモナザイトは、それより若い年代を示すモナザイトに比べて Nd, Sm, Gd, Dy といった MREE に富み、Si, Ca, Th に枯渇していることから、ザクロ石の関与しない環境下で形成されたとし、その意味ではピーク変成条件以前の年代を示している可能性を指摘した。ルンドボークスヘッタとスカーレンとは距離的にも近く、ともにリュツォ・ホルム岩体の高温部を構成していることから、おそらく同様な解釈が可能であろう。つまりルンドボークスヘッタにおいては、600 Ma 以前の年代はプログレードステージを、それより若い年代についてはピーク変成時あるいはそれ以降の年代を示している可能性が高い。

## Sr isotope heterogeneity in dolomitic marbles from Skallevikshalsen, Lützow Holm Complex, East Antarctica

M. Satish-Kumar, (Shizuoka University); H. Mizuochi (Shizuoka University);

H. Kagami (Niigata University); Y. Motoyoshi, (NIPR)

The Lützow Holm Complex is characterized by the occurrence of thick sequence of metasedimentary rocks. In particular, the Skallevikshalsen-Skallen region exposes thick layers of marbles interlayered with metapelitic rocks. We report here new results on the Sr isotope geochemistry of dolomitic marbles from the Skallevikshalsen outcrop. Skallevikshalsen, about 70 km southwest of the Syowa Base, exposes SSE dipping layers of basement rocks such as gneisses, marbles and metabasites, metamorphosed under granulite facies conditions (770-960°C and 0.6-1.2Gpa), which were subsequently deformed during the retrograde metamorphism (Yoshimura, *et al.*, 2004; Kawakami & Ikeda, 2004).

In this study we examined two major dolomitic marble layers from the Skallevikshalsen area. The mineralogy and metamorphic conditions of these marble layers will be presented by Mizuochi *et al.* (this volume). Carbon and oxygen isotope composition and Sr isotope composition were measured from geologically well constrained samples. Furthermore, grain-scale analyses were also carried out on polished slabs of hand specimens. An example is illustrated in Figure 1, which shows the results of carbon, oxygen and strontium isotopic composition.

The two dolomitic marble layers from Skallevikshalsen show extremely different Sr isotope compositions irrespective of similar carbon and oxygen isotopic compositions. Both calcite and dolomite in the marble layer from the northern area gave similar Sr isotope ratio of 0.7099. However, the marble layer in the south displays extreme variation in Sr isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.720 \sim 0.732$ ). In addition, appreciable Sr isotope variations were noted between calcite and dolomite (Fig. 1). The carbon and oxygen isotopic composition are homogenous and comparable to those reported for the normal Proterozoic carbonate sediments.

The causes for such large scale Sr isotope variations are unclear. However, the results are analogous to a layer of dolomitic marbles from

Skallen, where layer scale isotope alterations possibly resulted from the prograde fluid-rock interaction. We discuss the present results in the context of fluid-rock interaction during different stages of metamorphism, especially in the presence of Cl-rich fluids in the early stages of metamorphism in the region (Satish-Kumar *et al.*, 2006).

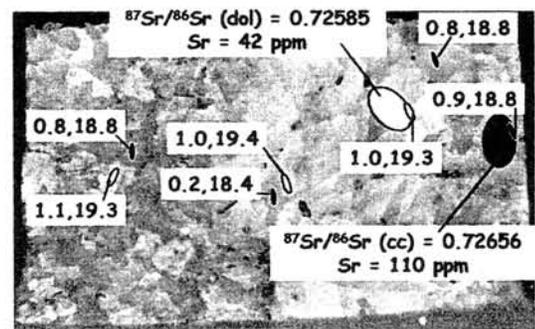


Fig. 1. Carbon and oxygen isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) and Sr isotope ratios for calcite and dolomite in sample 20-1-1(4). Note the difference in Sr isotope ratios, despite similar C and O isotopic compositions.

### References

- Kawakami, T. and Ikeda, T., 2004, Timing of ductile deformation and peak metamorphism in Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, 17, 1-11.
- Satish-Kumar, M., Hermann, J., Osanai, Y. and Tsunogae, T. 2006, Carbonation of Cl-rich scapolite boudins in Skallen, East Antarctica: Evidence for changing fluid condition in the continental crust. *Journal of Metamorphic Geology*, 24, 241-261.
- Yoshimura, Y., Motoyoshi, Y., Miyamoto, T., Grew, E. S., Carson, C. J. and Dunkley, D. J., 2004, High-grade metamorphic rocks from Skallevikshalsen in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: metamorphic conditions and possibility of partial melting. *Polar Geoscience*, 17, 57-87.

## Constraints on peak metamorphic temperature and halogen content from marbles in Skallevikshalsen, East Antarctica

H. Mizuochi, (Shizuoka Univ.); M. Satish-Kumar, (Shizuoka Univ.);  
T. Tsunogae (Tsukuba Univ.); Y. Motoyoshi (NIPR)

### Introduction

Skallevikshalsen is located in the Lützow-Holm Bay coast, about 70km southwest of Syowa base. The basement rocks in this region composes of a variety of metasedimentary and metaigneous rocks. This exposure is important for understanding the geological evolution of the eastern Dronning Maud Land because the rocks here have experienced high temperature metamorphism and exhumed from middle crustal depth. In this research, we estimate the peak metamorphic temperature of marbles from Skallevikshalsen by using calcite-dolomite solvus geothermometry and compare it with existing estimates. In addition, to assess the fluid composition during peak metamorphism, the halogen element content in coexisting hydrous minerals in marbles were analyzed.

### General geology

Skallevikshalsen is underlain by layers of metamorphic rocks including gneisses, marble, skarn and metabasite (Yoshida *et al.*, 1976). Skarn occurs between marble and leuco gneiss. Marble commonly includes block of adjacent lithologies. All the lithological units have NE-SW strike with a gentle dip toward SE. Kawakami and Ikeda (2004) identified four deformational events during retrograde

stage in this region namely: Dm-2, Dm-1, Dm, Dm+1. Peak metamorphic temperature and pressure condition of Skallevikshalsen is estimated at 770-960 °C and 0.6-1.2GPa (Yoshimura *et al.*, 2004).

### Petrology of marbles

Marbles at Skallevikshalsen contain primary mineral assemblage of calcite + dolomite + forsterite + diopside. Additionally, phlogopite, pargasite, apatite, spinel, rutile, and graphite are observed in some layers. Calcite and dolomite that composes >90% of the marbles are granoblastic and medium to coarse grained. Within the marbles, prominent layering is identified. In the layer that contain abundant silicate minerals, calcite is the dominant carbonate phase. On the other hand, dolomite is predominant in layers in which silicate minerals are scarce. Most of the carbonates show remarkable exsolution texture (Fig. 1). This texture develop during cooling of high magnesian calcite, exsolving dolomite crystals or vice versa. Forsterite + spinel assemblage is observed in Skallevikshalsen and is characteristic of granulite grade metamorphic condition. Surrounding forsterite, thin reaction rims of dolomite and diopside can be observed. This texture indicates that forsterite was replaced

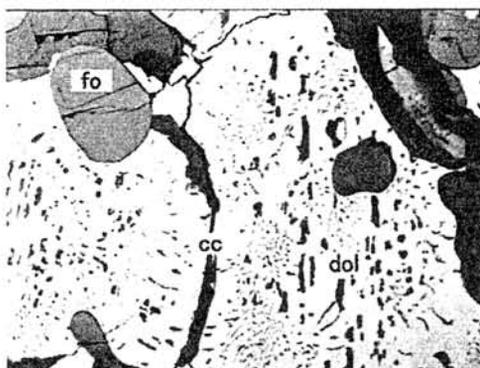


Fig. 1. BSE image of exsolution texture in calcite (matrix) from marble (width of photograph~2.8mm).

by dolomite and diopside during the retrograde metamorphism, which in turn suggests that forsterite was a stable phase during peak metamorphism.

#### Calcite-dolomite solvus geothermometry

In the presence of dolomite, the magnesium content in calcite depends on the temperature (Anovitz and Essen, 1987). And, this geothermometer has been widely used in medium grade metamorphic rocks (e.g. Droop and Al-Filali, 1996). However, due to the retrograde reequilibration of Ca and Mg between calcite and dolomite, the calcite-dolomite solvus geothermometer is not considered as a suitable one for high-grade rocks. The majority of calcite in the matrix (Fig. 1) gave temperature in the range 500-700 °C. Reintegration of calcite-dolomite exsolution is very difficult because of the heterogeneity in the exsolved phase and possible presence of preexisting dolomite (Fig. 1). This estimate is considerably lower than the temperature estimates in metapelitic rock (Yoshimura *et al.*, 2004). Therefore, the calcite in the matrix can not be of much use for peak

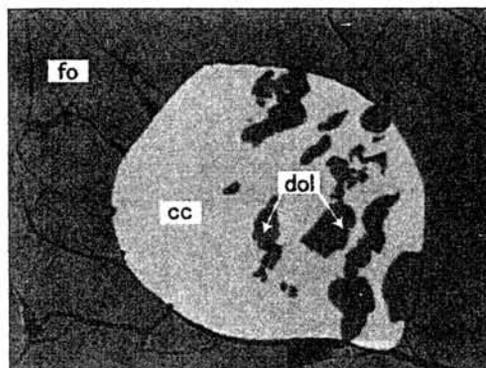


Fig. 2. BSE image of inclusion in forsterite from marble (width of photograph~350µm).

metamorphic temperature estimation. Therefore, we paid attention to the carbonate that existed in forsterite as inclusions (Fig. 2). As mentioned above, forsterite is considered to have formed during the peak metamorphic condition. There is a possibility that the carbonate inclusion preserve the peak metamorphic temperature. If we reintegrate the dolomite to calcite within an inclusion, the calcite-dolomite solvus geothermometry yield temperatures between 850-950 °C. These results are comparable to those reported in Yoshimura *et al.* (2004).

#### Halogen(F,Cl) contents in hydrous minerals

Under granulite facies *P-T* conditions, generally, hydrous minerals such as phlogopite and amphibole are not stable. However, phlogopite and pargasitic amphibole are observed commonly in the Skallevikshalsen marble. These minerals have a possibility of containing halogen elements such as fluorine and chlorine. Especially, the fluorine content is directly related to the higher stability of the hydrous minerals in the granulite facies (Motoyoshi and Hensen, 2001).

We have analyzed the F and Cl content of phlogopite and pargasite in the marbles. As for phlogopite, the fluorine content was 1.0-1.4wt% and chlorine content was 0.1wt%. And for pargasite, we got values of 0.5-0.8wt% and 0.15-0.18wt% for F and Cl respectively. High F content of hydrous minerals suggest that during peak metamorphism the coexisting fluids had high halogen fugacities. Further, the high F content is consistent with the stability of phlogopite and amphibole at peak metamorphism around 900°C.

### Summary

Carbonate mineral inclusions are potential candidates for the estimation peak metamorphic temperature condition in high-grade marbles. The hydrous minerals were stable during high-grade metamorphism because of its high F content.

### Reference

- Anovitz, L. M. and Essene, E. J., 1987. Phase equilibria in the system  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$ . *Journal of Petrology*, 28, 389-414.
- Droop, G. T. R. and Al-Filali, I. Y., 1996. Interaction of aqueous fluids with calcareous metasediments during high-T, Low-P regional metamorphism in the Qadda area, southern Arabian Shield. *Journal of Metamorphic Geology*, 14, 613-634.
- Kawakami, T. and Ikeda, T., 2004. Timing of ductile deformation and peak metamorphism in Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, 17, 1-11.
- Motoyoshi, Y. and Hensen, B. J., 2001. F-rich phlogopite stability in ultra-high-temperature metapelites from the Napier Complex, East Antarctica. *American Mineralogist*, 86, 1404-1413.
- Yoshida, M., Yoshida, Y., Ando, H., Ishikawa, T. and Tatsumi, T., 1976. Explanatory Text of Geological Map of Skallen, Antarctica. Antarctic Geological Map Series Sheet 9 Skallen, Tokyo, National Institute of Polar Research.
- Yoshimura, Y., Motoyoshi, Y., Miyamoto, T., Grew, E. S., Carson, C. J., Dunkley, D. J., 2004. High-grade metamorphic rocks from Skallevikshalsen in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: metamorphic conditions and possibility of partial melting. *Polar Geoscience*, 17, 57-87.

## セル・ロンダーネ山地の年代学

白石和行 (極地研)、外田智千 (極地研)、加々美寛雄 (新潟大)

Geochronology of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

K. Shiraishi, T. Hokada (NIPR), C.M.Fanning (ANU), H. Kagami (Niigata Univ.)

The Sør Rondane Mountains (71.5°-72.5°S, 22°-28°E) are mainly underlain by high- to medium-grade metamorphic rocks associated with extensive granitic, syenite and diorite intrusions. Geochronological studies have been performed for K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd and U-Pb on various minerals and whole rock samples (e.g. Takigami and Funaki, 1993; Takahashi et al., 1990; Arakawa et al., 1994; Grew et al., 1992; Shiraishi and Kagami, 1992; Asami et al., 1996, 1997, 2005).

It is now well known that Pan-African events (~600-500Ma) was commonly recognized not only by pervasive plutonic activities but also high-grade metamorphism. Grenvillian-ages (~1000 Ma) were documented by Rb-Sr whole rock isochron, Sm-Nd whole rock isochron on some granulites and U-Pb CHIME and SHRIMP ages on zircon cores (Shiraishi and Kagami, 1992, Asami et al., 1996, 2005, Shiraishi unpub. data). However, a question arose that ~1000Ma ages were whether protolith formation age or an earlier high-grade metamorphism (Asami et al., 2005).

We re-examine the previous data as well as unpublished Sm-Nd and SHRIMP U-Pb data from the Sor Rondane Mountains and focus the pre-Pan-African events in the Sor Rondane Mountains.

SHRIMP U-Pb zircon and titanite ages on twelve rocks (six paragneisses, four orthogneisses, one leucosome of migmatite and one granite) were so far obtained from extensive area of the mountains. Orthogneisses may include both metavolcanics and plutonic rocks.

Many zircons from the gneisses document ~920-1120Ma core ages but older ages are very rare. Pan-African ages for zircon rims or homogeneous new grains ranges 630-550 Ma, which are probably subdivided into two stages (630-600Ma and 570-550 Ma). Moreover, it is worth to note that ~780 magmatic overgrowth zircon are found in two paragneisses in the

northwestern part of the mountains.

Two titanite ages from orthogneisses in central part of the mountains show 497±6 and 504±15Ma, respectively. One post-metamorphic granite mylonite from the western part of the mountains shows 563Ma euhedral zircon, whereas migmatitic leucosome from the eastern part includes 515 Ma new zircons.

Osanai et al. (1992) suggested that the Sør Rondane Mountains area is an accreted arc terrane with protoliths of island arcs and continental margin meta-igneous rocks and supracrustal rocks. Nd model ages of ~1.3-1.0Ga imply the age of juvenile crust formation. Orthogneisses with ~1000Ma inherited zircon ages document the crystallization of the igneous rocks. In the central part of the area, ~1100 Ma overgrowth is recognized on rare Archean to Mesoproterozoic inherited cores from a paragneiss. The ~780Ma zircon growth on paragneisses constrains the sedimentation of the protolith in the north western part of the area. It is possible that ~780Ma event is related to the break-up of the Grenvillian-age continent. Thus the most of the Sør Rondane Mountains area is reactivated Grenvillian-age crust during the Pan-African event.

In the central Dronning Maud Land (DML) to the west of the Sør Rondane, both Grenville-age crystallization and metamorphic growth of zircons were documented (Jacobs et al., 1998), whereas ~1000Ma metamorphic event is not always recognized in Lutzow-Holm Complex (LHC) to the east (Shiraishi et al, 2003). It is a good contrast with the LHC, suggesting the two area were under the different tectonic scheme. The boundary between the Sør Rondane area and LHC might be a major suture in the Pan-African tectonism.

周東南極変動帯とヒマラヤ： Gondwana テクトニクスへの示唆

吉田勝（Gondwana地質環境研究所）

Bishal Nath Upreti（トリブバン大学トリチャンドラキャンパス地質学教室）

## The Circum East Antarctic Orogen and the Himalaya: implication to the Gondwanaland tectonics

Masaru Yoshida (Gondwana Institute for Geology and Environment, Japan)

Bishal Nath Upreti (Department of Geology, Trichandra Campus, Tribhuvan University, Nepal)

The late Mesoproterozoic Circum East Antarctic Orogen (CEAO) took a principal role in assembling East Gondwana during from 1300 to 1000 Ma (Yoshida et al., 2003). Two major Pan-African orogens traverse the CEAO at Pinjarra Orogen - Prydz Bay belt and Lützow-Holm Bay to Central Dronning Maud Land belt, superimposing the pre-existed CEAO (Fitzsimons, 2003). The CEAO is composed of the eastern older belt (Albany-Fraser Belt) and the central to western younger belt (Pinjarra Orogen - Rayner Belt - Lützow Holm Bay -

Central to Western Dronning Maud Land).

Recent detrital zircon data (e.g., DeCelles et al., 2000; Myrow et al., 2003; Martin et al., 2005; Gehrels et al., in press a, b) from the Himalayan Orogen give new constraints on the origin of the Himalaya in relation to Gondwanaland tectonics (Yoshida and Upreti, 2004). It is found that the detrital zircons in rocks of the Lesser Himalayan Metasediments (Early to late Proterozoic) show age populations of zircons older than ca 1.6 Ga and are considered to have been derived from the North Indian Craton (e.g.,

Valdia, 1995; DeCelles et al., 2000). In contrast, zircon age populations of the Higher Himalayan Gneisses (Neoproterozoic to Cambrian) have clear maxima around 1000-1400 Ma with sub maxima around 2.5 Ga and are considered to have been derived from the Circum East Antarctic Orogen. Those of the Tethys Sedimentary Sequence (early Palaeozoic to early Cenozoic) are very similar to those of the Higher Himalayan Gneisses, except an additional ca 500 Ma population and are considered to have been derived mostly from the Higher Himalayan Gneisses, but also from the Circum East Antarctic Orogen as well as the Arabian Nubian Shield (Yoshida and Upreti,

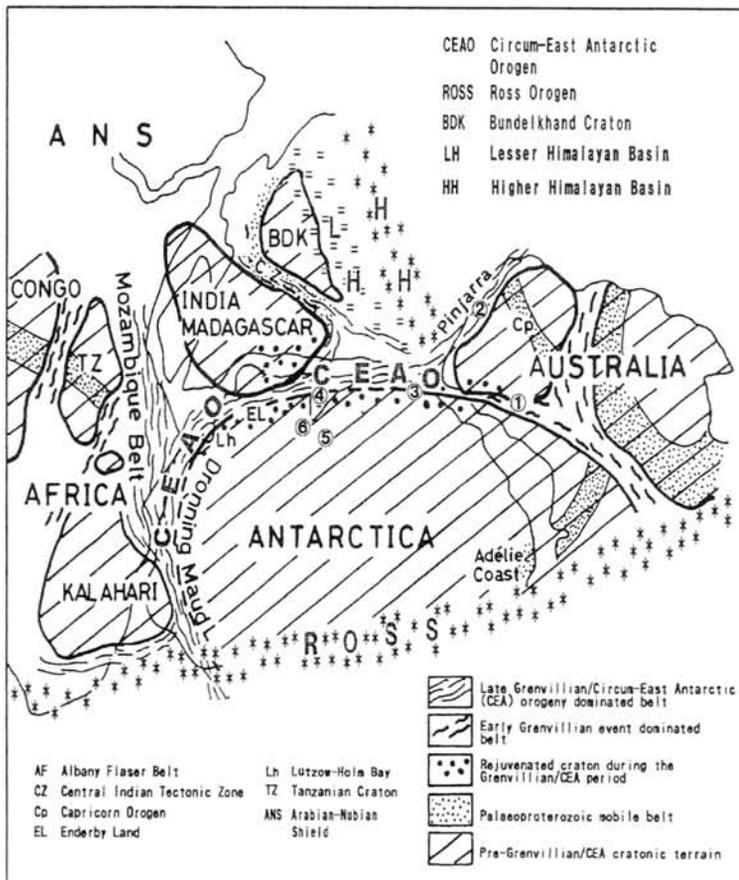
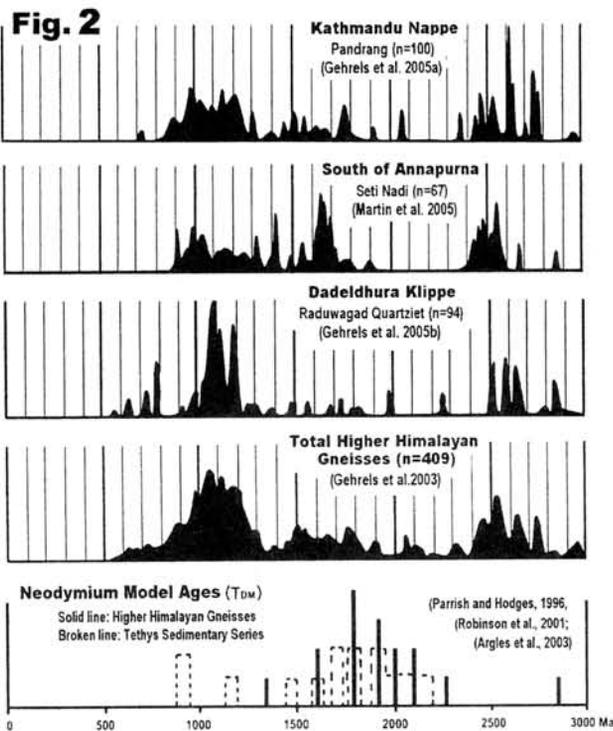
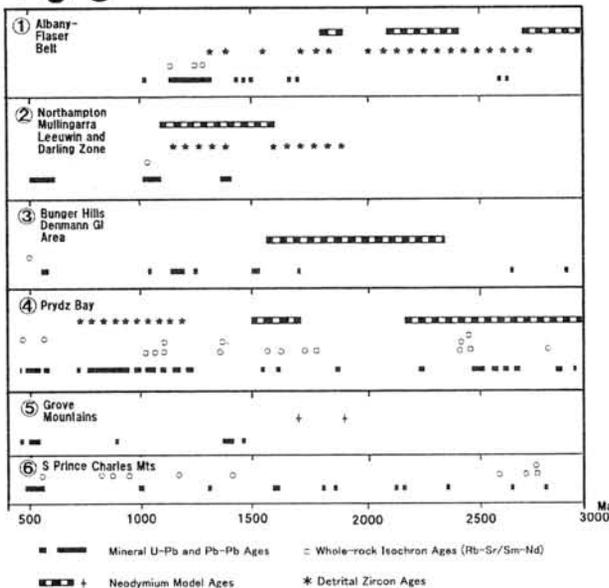


Fig. 1. Outline of the Circum-East Antarctic Orogen (Yoshida and Upreti, 2006)



**Fig. 3**



*Fig. 2. Some detrital zircon data from Himalaya (Yoshida and Upreti, 2006)*

*Fig. 3. Age data from CEAO (Yoshida and Upreti, 2006)*

2006; Yoshida et al., in preparation).

It is interesting to note that the above arguments may result in supporting the classical tectonic model of East Gondwana including its Mesoproterozoic assembly, and thus is inconsistent with the recent model of Pan-African assembly.

**References**

Fitzsimons, I.C.W., 2003, Geol. Soc. Special Pub. No. 206, Geol. Soc., London, 93-130.  
 Gehrels, G.E., DeCelles, P.G., Martin, A., Ojha, T.P., Pinhassi, G., 2003, GSA Today, 13, 4-9.  
 Gehrels, G.E., DeCelles, P.G., Ojha, T.P., Upreti, B.N., in press, GSA Today.  
 Gehrels, G.E., DeCelles, P.G., Ojha, T.P., Upreti, B.N., in press, J. Asian Earth Sci.  
 Martin, A.J., DeCelles, P.G., Gehrels, G.E., Patchett, P.J., Isachsen, C., 2005, GSA Bull, 117, 926-944.  
 Myrow, P.M., Hughes, N.C., Paulsen, T.S., Williams, I.S., Parcha, S.K., Thompson, K.R., Bowring, S.A., Peng, S.C., Ahluwalia, A.D., 2003, Earth Planet. Sci. Lett., 212, 433-441.  
 Valdia, K.S., 1995, Precamb. Res., 74, 35-55.  
 Yoshida, M. and Upreti, B.N., 2004, Abstracts, 19HKT.  
 Yoshida, M. and Upreti, B.N., 2006, Gondwana Research, in press.  
 Yoshida, M., Upreti, B.N., DeCelles, P.G., Gehrels, G., and Ojha, T.P., in preparation. Gondwana Research, submitted.

## GEOCHEMICAL BEHAVIOUR OF MAJOR ELEMENTS AND TRACE ELEMENTS IN WEATHERED GNEISS ROCK FROM SCHIMARCHER OASIS, EAST ANTARCTICA

Baba Musta & Sanudin Tahir  
School of Science and Technology  
Universiti Malaysia Sabah  
88999, Kota Kinabalu  
Sabah, MALAYSIA

The study area is situated in Schimarcher Oasis, East Antarctica. The area is located between the polar ice continental in the south and ice shelf in the north. In the study area, as polar climate, chemical weathering is still occurred with less intensity. The rock outcrops expose to the weathering agent as a result of the melting of glacier during the summer season. Figure 1 shows the typical weathering profile of gneiss rock in the study area. It is believed that most probably the maximum chemical weathering conditions occur during that season. Geological Survey of India (1989) classified the gneisses rock around Schimarcher Oasis to quartzofelspathic augen gneiss ( $\pm$ garnet), quartzofelspathic streaky gneiss, augen layers in quartzofelspathic gneiss, garnet rich biotite quartzofelspathic gneiss, quartz-garnet-sillimanite-perthite ( $\pm$ graphite) gneiss. Rb/Sr age data of the garnet biotite gneiss and leucogneiss indicate a Late Proterozoic age. Verma *et al.* (1987) determined the ages of quartzofelspathic gneisses in the range of Early Paleozoic – Late Proterozoic. Ten profiles of weathered gneiss rock were analysed using X-Ray Fluorescence (XRF) in order to measure the abundances of major elements and trace elements. Major elements such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{NaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{P}_2\text{O}_5$  were analysed using fused disc technique. Whereas, selected trace elements namely As, Co, Cr, Ni, Pb, and Zn were analysed using pressed pellets technique (Norish and Hutton, 1969). XRF technique

uses Phillips PW 1480 X-ray Digital Instrument and the spectrometer is controlled by Digital Software X-44 Microcomputer. Graph calibration method is obtained by using Alpha On Line Program (De Jongh, 1973; 1979). The main objective of this study is to study the weathering behaviour of major elements and selected trace elements in gneiss rocks. Table 1 shows the abundance of major elements and trace elements from ten weathering profiles of gneiss rocks. The result obtained indicates that the concentration of major elements such as  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mostly increases in weathering processes, which is related to the formation of iron oxides during the oxidation reaction. The increases abundance of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is related to the formation of new silicate minerals such as sericite. In general,  $\text{SiO}_2$  decreases as weathering increases, due to the leached out of the elements from the silicate minerals during the chemical weathering. Most of the base element such as  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{NaO}$  and  $\text{K}_2\text{O}$  are slightly decreased or maintained with the weathering process due to the alteration and leaching processes from feldspar. The abundance of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  and  $\text{P}_2\text{O}_5$  is less than 1.00% in the fresh rock samples, but it also shows the concentration that is slightly increased in the weathered rocks. As shown in Table 1, fresh gneiss and weathered gneiss

rock contain significantly higher Cr, Ni, Pb and Zn compared with As, and Co. The Ni, Pb and Zn concentration in fresh and rock samples vary from 18 to 34 ppm, 33 to 42 ppm, 48 to 60 ppm and 42 to 50 ppm respectively. Whereas, the concentration of As, and Co is less than 5 ppm and 3 ppm respectively. High concentration of Cr, Ni, Pb and Zn is expected since the parent gneiss rock usually has high concentration of Cr, Ni, Pb and Zn. The result obtained also indicates that Ni, Pb and As is decreased with the weathering process, due to the leaching of elements from the primary minerals such as biotite and garnet. In contrast, it is found that Zn is increased in weathered rocks compared to the fresh rocks; it might be due to the absorption of Zn in the surface of secondary minerals, particularly iron oxides. The As and Co are slightly decreased or maintained at low concentration with the weathering process.

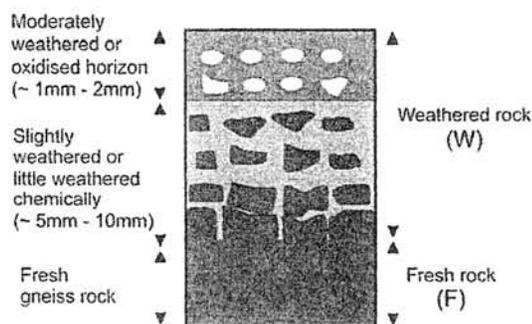


Figure 1: Weathering profile of gneiss rock

Table 1A: The abundances of major elements and selected trace elements in fresh gneiss rocks (F) and weathered gneiss rocks (W).

Major. E (%)	Gn3F	Gn3W	Gn9F	Gn9W
SiO <sub>2</sub>	68.21	63.76	64.35	65.07
TiO <sub>2</sub>	0.65	1.31	1.13	0.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.74	15.22	16.78	17.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.85	9.03	5.91	6.62
MnO	0.06	0.09	0.06	0.05
MgO	1.15	1.22	1.31	0.71
CaO	3.43	1.84	3.00	3.03
Na <sub>2</sub> O	3.24	2.64	3.67	3.18
K <sub>2</sub> O	4.26	3.64	3.02	2.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.46	0.47	0.26
L.O.I	0.20	0.79	0.30	0.37
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Trace. E (ppm)				
As	3	3	3	3
Co	1	2	1	2
Cr	18	22	18	19
Ni	39	37	36	38
Pb	55	53	51	53
Zn	43	44	42	45

Table 1B: The abundances of major elements and selected trace elements in fresh gneiss rocks (F) and weathered gneiss rocks (W).

Major. E (%)	Gn10F	Gn10W	Gn12F	Gn12W
SiO <sub>2</sub>	63.81	65.61	45.44	42.27
TiO <sub>2</sub>	1.12	0.75	4.05	4.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.64	17.26	12.84	13.76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.68	5.86	18.01	18.59
MnO	0.06	0.05	0.25	0.22
MgO	1.30	0.71	6.44	5.82
CaO	2.98	3.06	10.18	9.07
Na <sub>2</sub> O	3.63	3.21	1.78	1.41
K <sub>2</sub> O	3.00	2.87	0.42	1.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.46	0.26	0.44	0.45
L.O.I	0.33	0.37	0.16	3.02
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Trace. E (ppm)				
As	4	3	2	bdl
Co	1	2	2	2
Cr	17	18	32	34
Ni	40	38	33	33
Pb	58	53	46	46
Zn	45	43	45	46

Table 1C: The abundances of major elements and selected trace elements in fresh gneiss rocks (F) and weathered gneiss rocks (W).

Major. E (%)	Gn14F	Gn14W	Gn16F	Gn16W
SiO <sub>2</sub>	68.43	64.76	68.62	65.36
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.96	0.60	1.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.89	15.51	13.75	15.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.35	7.72	6.07	8.83
MnO	0.07	0.08	0.08	0.09
MgO	1.12	1.31	1.15	1.74
CaO	1.96	2.41	2.84	1.96
Na <sub>2</sub> O	2.51	2.57	2.48	1.48
K <sub>2</sub> O	3.81	3.03	4.10	2.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.17	0.22	0.38
L.O.I	0.04	1.49	0.10	1.01
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Trace. E (ppm)				
As	3	3	3	3
Co	1	1	2	2
Cr	20	21	26	26
Ni	37	38	35	35
Pb	51	53	48	48
Zn	44	44	43	43

Table 1D: The abundances of major elements and selected trace elements in fresh gneiss rocks (F) and weathered gneiss rocks (W)

Major. E (%)	Gn21F	Gn21W	Gn23F	Gn23W
SiO <sub>2</sub>	48.87	61.92	73.67	73.05
TiO <sub>2</sub>	2.81	0.82	0.40	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.66	19.47	10.84	14.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.73	7.74	3.41	5.41
MnO	0.10	0.03	0.06	0.05
MgO	4.67	1.19	1.18	1.21
CaO	8.55	0.33	2.50	0.79
Na <sub>2</sub> O	2.40	1.70	2.51	2.10
K <sub>2</sub> O	5.73	4.16	5.41	1.97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.36	0.04	bdl	0.08
L.O.I	1.11	2.60	0.02	0.39
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Trace. E (ppm)				
As	3	4	4	3
Co	2	2	1	1
Cr	20	24	17	20
Ni	36	38	40	38
Pb	50	54	55	53
Zn	45	40	42	45

Table 1E: The abundances of major elements and selected trace elements in fresh gneiss rocks (F) and weathered gneiss rocks (W)

Major. E (%)	Gn25F	Gn25W	Gn26F	Gn26W
SiO <sub>2</sub>	62.12	60.42	76.65	64.11
TiO <sub>2</sub>	1.21	1.42	0.12	1.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.84	16.74	11.09	17.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.32	11.72	1.09	9.54
MnO	0.11	0.16	0.02	0.09
MgO	1.46	1.98	bdl	1.91
CaO	3.79	3.63	3.19	0.76
Na <sub>2</sub> O	2.69	2.58	2.57	2.01
K <sub>2</sub> O	2.17	0.87	5.17	2.47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27	0.33	0.09	0.23
L.O.I	0.03	0.14	0.02	0.06
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Trace. E (ppm)				
As	3	3	4	3
Co	2	2	1	2
Cr	22	23	16	23
Ni	37	36	41	37
Pb	51	50	60	53
Zn	44	46	41	46

- Major. E : Major Element
- Trace. E: Trace Element
- bdl : below detection limit

## References

- De Jongh, W. K. (1979). The atomic number Z=0; Loss and gain on ignition in XRF analysis treated by the JN-Equations. *X-ray Spectrometry*, **8**(52)
- De Jongh, W.K. (1973). X-ray fluorescence analysis applying theoretical matrix corrections Stainless steel. *X-ray Spectrometry*, **2**(161)
- Geological Survey of India (1989). Geological Map of Schimarcher Oasis, East Antarctica. Geological Survey of India, Faridabad, India.
- Norrish, K. and Hutton, J. T. (1969). An accurate X-ray spectrographic method for the analysis of a wide range of geological samples. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **33**: 431-453.
- Verma, S.K, Mittal, G. S. and Dayal, A. M. (1987). Technical Publication No. 4. Department of Ocean Development, New Delhi: 43-54.

リュツォ・ホルム岩体, 明るい岬に見出された  
ザクロ石-コランダムグラニュライト  
是永浩(千葉大・院)・廣井美邦(千葉大)

Garnet and corundum-bearing granulite  
in the Lützow-Holm Complex at Akarui Point

Hiroshi KORENAGA(Graduate school of Chiba Univ.), Yoshikuni HIROI(Chiba Univ.)

東南極リュツォ・ホルム岩体は, パンアフリカン変動時の年代を示し, 角閃岩相からグラニュライト相に達する高度変成岩類から構成されている. プリンス・オラフ海岸の明るい岬は, 角閃岩相とグラニュライト相の漸移帯に位置する(Hiroi et al., 1991). 今回, 第46次観測隊によって明るい岬から採取された試料からザクロ石+コランダムという組合せや, 三種のアルミナ珪酸塩鉱物すべてを含む特異な岩石を見出したので, その解析結果を報告する.

ザクロ石-コランダムグラニュライトは, ホルンブレンド片麻岩中に厚さ30cm程度の薄層として産する. この岩石を構成する主な鉱物は, ザクロ石, コランダム, スピネル, サフィリン, 斜方輝石, ゼーデル閃石, ホルンブレンド, 斜長石, 黒雲母であり, そのほかに少量の藍晶石, 珪線石, 紅柱石, 十字石, 緑泥石, 方解石, 黄鉄鉱, 磁硫鉄鉱, 燐灰石も存在する. これらの鉱物の産状を鏡下で観察した結果, 以下のような事実が得られた;

1) 藍晶石, Mgに富む十字石( $X_{Mg}=0.39$ )は粗粒なコランダム中に残晶状の包有物としてのみ存在する(Fig.1 AおよびB).  
2) ザクロ石斑状変晶中に, コランダム, 珪線石, サフィリン, 斜長石, 黒雲母からなる細粒鉱物集合体(2.5×1.8mm)が包有されている部分が確認された(Fig.1 C). これら5種の鉱物, およびザクロ石は互いに接する.  
3) 粗粒のコランダム斑状変晶(~30mm)はスピネルを伴い, それらはフィルム状のサフィリンに覆われる(Fig.1.D). コランダムはサフィリンの存在によりザクロ

石斑状変晶との接触を断たれていることが多い.

4) ザクロ石斑状変晶(~11mm)は融食形を示す. その産状には(a)コランダムやスピネルと同様にサフィリンに包有される, (b)周囲に斜方輝石+スピネル+斜長石+ゼーデル閃石ないしゼーデル閃石+スピネル+斜長石の連晶を生じている(Fig.1 E), などがある.

5) マトリックスには, 4)に記した連晶を成す4種の鉱物のほか, 粗粒なサフィリン, ホルンブレンドも散在する. これらは互いに接する.

6) まれにマトリックスの斜長石を部分的に置き換えた紅柱石が出現し, 方解石を伴う(Fig.1 F).

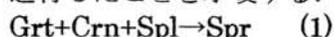
以上の観察事実から, 次のような変成履歴が推定できる.

Mgに富む十字石・藍晶石はプログレードの変成作用で生じたのであろう. 温度の上昇につれ, 十字石が分解し始めた. その反応によりザクロ石+コランダムを含む生成物を生じた. 珪線石の安定な条件下で, 2)に示したザクロ石中の細粒鉱物集合体に見られる

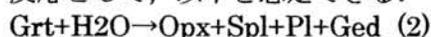
ザクロ石+コランダム+珪線石+サフィリン+斜長石 (I)の組み合わせが安定となった.

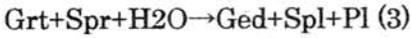
マトリックスの鉱物が示す組織は以下のように解釈できる;

3)の産状は, 以下に示す反応(1)をはじめとしてサフィリンが形成される反応が進行したことを示唆する.



また, ザクロ石の周囲の連晶を生じた反応として, 以下を想定できる.





このような反応の進行した結果マトリックスで安定となった鉱物組み合わせは、

斜方輝石+スピネル+サフィリン+ゼーデル閃石+ホルンブレンド+斜長石 (II) であろう。

Holland and Powell(1998)による THERMOCALC を用いた CFMAS 系での解析によると、(I)の部分組み合わせであるザクロ石+コランダム+珪線石+サフィリンの共生は、 $P > 10\text{kbar}$ ,  $T > 800^\circ\text{C}$  の高温高压条件を示す。一方、(II)の部分組み合わせである斜方輝石+スピネル+サフィリン+斜長石はそれよりも低温

下で安定である。すなわち、鉱物組み合わせ(I)から(II)への変化は高温条件下での減圧を示す。

さらに、鉱物組み合わせ(II)が安定な領域よりも低温下において、局所的な  $\text{CO}_2$  分圧の上昇により斜長石を置き換え紅柱石+方解石を生じた。

以上からザクロ石・コランダムグラニュライトが藍晶石の安定な条件から珪線石の安定な高温高压条件 ( $>800^\circ\text{C}$ ,  $>10\text{kbar}$ ), さらには紅柱石の安定な低压条件 ( $<4\text{kbar}$ ) にまで至る温度・圧力条件の変化を記録していることが明らかとなった。

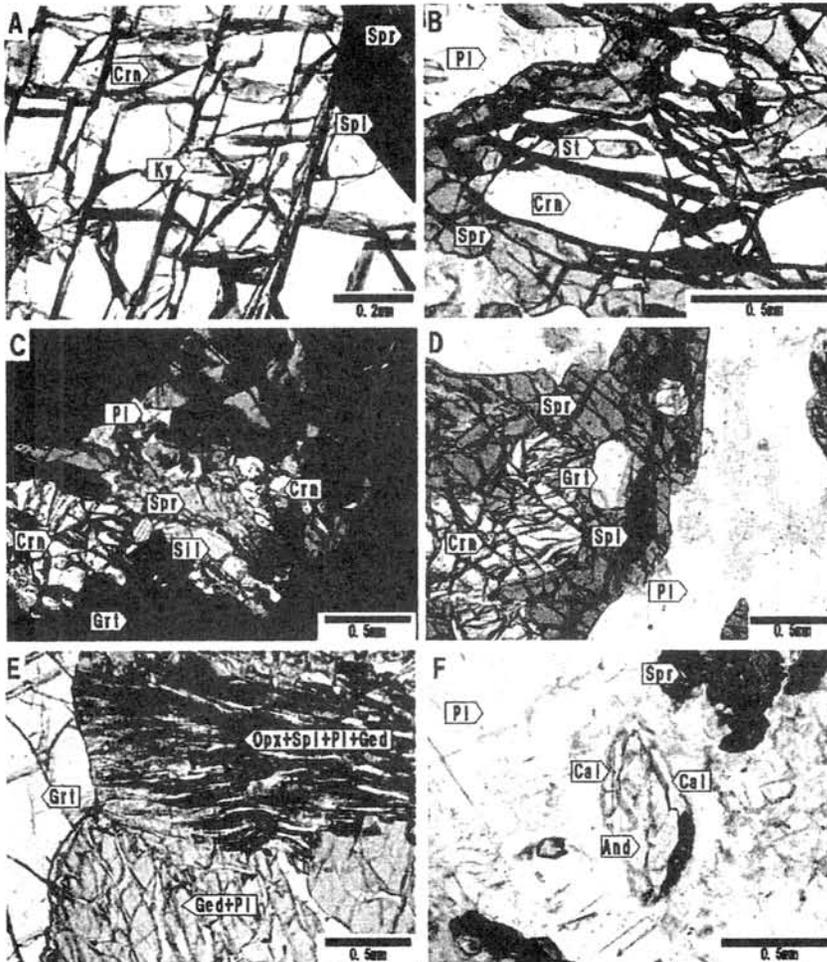


Fig.1 Texture of Garnet and Corundum-bearing granulite.

## 東南極リュツオ・ホルム岩体 スカレピークスハルセン産 Grt-Sil gneiss 中の Grt に見られる P の不規則なゾーニングについて

河上哲生 (京都大)\*, 外田智千 (極地研)

### Irregular phosphorus zoning in garnet from Grt-Sil gneiss in Lützow-Holm Complex at Skallevikshalsen, East Antarctica

Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.)\*, Tomokazu Hokada (NIPR)

高度変成岩中のザクロ石に見られるリン (P) の累帯構造は、Hiroi & Ellis (1994)で報告されて以来、Hiroi *et al.* (1997)、廣井(1997)、Spear & Kohn (1996)、Chernoff & Carlson (1999)、Yoshimura *et al.* (2004)などによって報告され、その意義が議論されている。高温変成岩中のザクロ石ではPに富むリムとPに乏しいコアが観察されることが多く、このシャープな組成累帯構造の成因には部分溶解が関係していると考えられている (Hiroi *et al.*, 1997)。

東南極リュツオ・ホルム岩体スカレピークスハルセンの高度変成岩類は近年詳しく研究され、770-940°C、6.5-12.0kbar のピーク変成条件が見積もられている (Yoshimura *et al.*, 2004)。Grt-Sil gneiss, Grt-Bt gneiss, Grt-Spl-Sil gneiss 中のザクロ石のPやYに関する累帯構造もX線元素マッピングによって明らかにされている (Yoshimura *et al.*, 2004)。その組成累帯構造を一般化すれば、Pに乏しくCa、Yに富むコアの外側に、Pに富みCa、Yに乏しいリムが発達しており、コアとリムは、はっきりと分けることができる。一方、スカレピークスハルセンのGrt-Sil gneissには、昇温期のレリック鉱物 (十字石や藍晶石など) をコアに包有するザクロ石が見つかることがある (e.g., Kawakami & Motoyoshi, 2004)。十字石や藍晶石のような温度圧力履歴を制約するのに有用な鉱物や、年代測定可能な鉱物を多数包有するザクロ石の微量元素による組成累帯構造を解析すれば、微量元素による組成累帯構造の成因を温度圧力時間履歴、ひいてはテクトニクスとリンクすることができるかもしれない。

そこで今回、スカレピークスハルセン産 Grt-Sil gneiss 中のザクロ石のP、Y、Crの組成累帯構造を EPMA による元素マッピングによつ

て決定し、スピネル+石英、十字石、藍晶石、珪線石、黒雲母、斜長石、燐灰石、モナズ石、ジルコンといった包有物のザクロ石中での分布と微量元素による組成累帯構造の関係について検討した。用いたザクロ石はいずれも同一サンプル (TK2002011804) に含まれ、Kawakami & Motoyoshi (2004) で記載された粒である。

#### ザクロ石 A (Kawakami & Motoyoshi, 2004 の Fig. 3d の粒)

P と Cr に乏しく Y に富むコアと、P と Cr に富み Y に乏しいリムが存在し、コア部分には十字石、石英、燐灰石とモナズ石、細粒ジルコンが包有され、リムには珪線石、粗粒ジルコンが包有される。興味深いのは、コア部分にさらに P に富む「島」が存在し、そこには藍晶石が包有されることである。「島」部分に P を含む鉱物は存在しない。P の組成累帯構造は境界がシャープであるのに対し、Cr と Y のそれはそれほどシャープではない。ザクロ石直近のマトリクスには粗粒ジルコン、粗粒モナズ石が存在する。

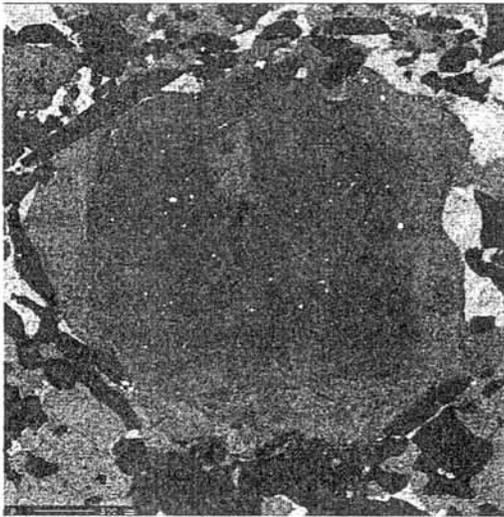
#### ザクロ石 B (Kawakami & Motoyoshi, 2004 の Fig. 3c の粒)

このザクロ石にも P に乏しいコアと P に富むリムが存在し、P に乏しいコアには十字石、黒雲母、石英、アルバイト成分に富む斜長石 (と黒雲母のインターグロウス)、ルチル、スピネル+石英+黒雲母、粗粒な珪線石、燐灰石、細粒ジルコンが包有される (モナズ石については今後有無を確認予定)。P に富むリムには珪線石、石英が包有される。

#### ザクロ石 C (Kawakami & Motoyoshi, 2004 の Fig.

### 3b の粒)

このザクロ石にもPに乏しいコアとPに富むリムが存在し、コアには藍晶石、斜長石、ルチル、藍晶石+スピネル+黒雲母、十字石、燐灰石、細粒ジルコンが包有される(モナズ石については今後有無を確認予定)。リムには珪線石、石英、粗粒ジルコン、粗粒モナズ石が包有され、燐灰石は包有されない。ザクロ石直近のマトリクスには粗粒ジルコンが存在する。



▲ ザクロ石AのPによるマッピング結果。コアの暗色「く」の字状包有物の上が「島」

上記3粒の観察から制約できることを以下に議論する。いずれの粒においてもPに富むリムに燐灰石が包有されないことから、コアでは燐灰石が安定であったのに対し、リムでは燐灰石が不安定になったと考えられる。燐灰石分解の原因は部分熔融現象(Hiroi *et al.*, 1997)などが考え得るが、これらの粒が同一サンプルから得られたことから、Pのシャープな組成累帯構造で定義されるコア・リム境界は、少なくとも等時面を表すと解釈して良さそうである(*cf.* Chernoff & Carlson, 1999)。

この解釈に立てば、ザクロ石Aの「島」部分はどのように説明できるだろうか? 「島」部分が大半のザクロ石よりもさらに古いザクロ石の包有物であるという説明もありうるが、その可能性は常に念頭に置きつつも今回は考えないこ

とにする。すると、ザクロ石Aの「島」部分はPに富むリムと同時に成長した、ということになる。すなわち、リムと「島」はおそらく3次的に繋がっている。「島」には藍晶石が包有され、リムには珪線石が包有されることから、「島」部分が、単調に成長し続けるザクロ石のオーバークロウズとして形成されたのではなさそうである。同一サンプル中の他のザクロ石コアにも昇温期のレリックである藍晶石や十字石が一般的に包有されるから、「島」の藍晶石もPに乏しいコアにいったんは包有されていたのであろう。しかしある段階においてザクロ石がクラックなどに沿って融食され、藍晶石がザクロ石外にさらされる状況が生じたにもかかわらず、準安定的に残存し、再度Pに富むザクロ石が成長して融食部分を埋めたのだらう。

こういう視点でスカレピークスハルセンのGrt-Sil gneissのPによるマッピング結果を観察すると、Pの組成累帯構造によって定義されるコア・リム境界の形状は決してザクロ石の自形面を示しておらず、むしろ不定形であるのが一般的である(*eg.*, Yoshimura *et al.*, 2004)。従って、Grt-Sil gneiss中では、ザクロ石コアが成長した昇温期とザクロ石リム・マトリクス鉱物組み合わせが安定となったSil安定領域に達した段階との間に、ザクロ石が一部融食される時期が普遍的に存在したのではないかと。

以上の議論をふまえ、Grt-Sil gneissのザクロ石が経験したかもしれない履歴をまとめると、現時点では次のようになる。

#### ① コア成長段階

藍晶石・十字石が包有されるから、藍晶石安定領域内の昇温期。ザクロ石Bの「アルバイト成分に富む斜長石と黒雲母のインターグロウズ」は元々メルトが包有された可能性もある(Kawakami & Motoyoshi, 2004)から、この時点で既にメルトは存在した。黒雲母がCrのシンクとして働いたため、ザクロ石コアにはCrは乏しい。燐灰石安定。

#### ② ザクロ石融食段階

ザクロ石分解によりZrやYが放出されるから、ジルコン、モナズ石の成長・粗粒化はこの時期に起きた可能性がある。等温減圧期に相当する

かもしれない。ザクロ石のうち、本当の温度ピーク近くで成長した部分は、この段階でほとんど失われてしまった可能性がある。

### ③ ザクロ石再成長段階

珪線石安定領域内で、P に富むザクロ石が融食されたザクロ石をオーバーグロウスする。この時点では既に燐灰石不安定。②の時期の等温減圧に伴うメルト量の増加が燐灰石を分解させた可能性がある。黒雲母がほぼ存在しなくなりザクロ石不安定下では一時的にメルト中などに存在していた Cr は、この段階でザクロ石に取り込まれた。等温減圧後の冷却期に相当するかもしれない。

最後に、ザクロ石 B のコア外縁部に包有される珪線石の成因は、(i)コア外縁部が珪線石安定

領域内で成長したか (ii)この珪線石は藍晶石から転移したか、のいずれかであると考えられる。P のシャープな組成累帯構造境界と、ザクロ石の Ca によるシャープでない組成累帯構造とは交差して一致しないから、Ca の組成累帯構造は珪線石・藍晶石の分布と良く一致しているにもかかわらず、拡散による産物であると結論せざるを得ない。

Keywords: phosphorus, garnet, zircon, monazite, apatite, zoning, partial melting, Grt-Sil gneiss, Lützow-Holm Complex, East Antarctica

\* Corresponding author,  
e-mail: t-kawakami@kueps.kyoto-u.ac.jp

ザクロ石-珪線石フェルシック片麻岩の融解実験：  
 温度上昇に伴うザクロ石分解とサフィリン形成との関係  
 佐藤桂 (東工大)・吉村康隆 (高知大)・山本伸次 (東工大)

Melting experiments of garnet-sillimanite felsic gneisses: Relation between sapphirine-formation and garnet-breakdown with increasing of temperature

Kei Sato (Tokyo Inst. Tech.; ksato@geo.titech.ac.jp), Yasutaka Yoshimura (Kochi Univ.),  
 and Shinji Yamamoto (Tokyo Inst. Tech.)

Sapphirine is one of the most famous minerals in ultrahigh-temperature (UHT) metamorphic rocks. It coexists with quartz under UHT metamorphic conditions corresponding to  $T > 1030^{\circ}\text{C}$  (Hensen & Green, 1971; 1972; 1973), if  $X_{\text{Mg}}^{\text{Bulk}}$  is 0.70. Garnet is also a typical mineral in UHT metamorphic rocks, and it is often found as a robust phase in mineral assemblages. According to Hensen & Green, sapphirine can crystallize by breakdown of garnet with increasing temperatures, if it is isobaric condition. An experimental result of Sato *et al.* (2004) suggested that partial melting of UHT metamorphic rocks may be also one of the essentials for crystallization of sapphirine. In the present study, melting phase relations of two types of garnet-sillimanite felsic gneisses were experimentally investigated in order to reveal the major factor in sapphirine-formation.

One of the samples is sapphirine-free garnet-sillimanite felsic gneiss (YY1; sample no. YY9812290702). Another one is sapphirine-bearing garnet-sillimanite felsic gneiss (YY2; sample no. YY9812290204). Chemical data of these gneisses are given in Table 1. The two gneisses were collected from Howard Hills in Napier Complex, East Antarctica (Yoshimura *et al.*, 2000).

In the present experiments, pulverized gneisses were used as starting materials. At first, melting experiments of YY1 were performed using a piston-cylinder apparatus at Tokyo Institute of Technology. Experimental conditions were set at  $T = 1100\text{--}1325^{\circ}\text{C}$  at  $25^{\circ}\text{C}$  intervals under isobaric

condition ( $P = 12$  kbar). As results, garnet decomposed completely at  $T \geq 1275^{\circ}\text{C}$ , whereas sapphirine was generated as a new phase at  $1250^{\circ}\text{C} \leq T < 1300^{\circ}\text{C}$ . Also, molten phase was found at  $T \geq 1150^{\circ}\text{C}$ . In the present, we are experimentally investigating of melting phase relation of YY2. In the symposium, we will discuss about relationship between formation of sapphirine and breakdown of garnet under partial melting condition.

References:

- Hensen & Green (1971).  
*Contrib. Mineral. Petrol.*, 33, pp. 309-330.  
 Hensen & Green (1972).  
*Contrib. Mineral. Petrol.*, 35, pp. 331-354.  
 Hensen & Green (1973).  
*Contrib. Mineral. Petrol.*, 38, pp. 151-166.  
 Sato *et al.* (2004).  
*J. Mineral. Petrol. Sci.*, 99, pp. 191-201.  
 Yoshimura *et al.* (2000).  
*Polar Geosci.*, 13, pp. 60-85.

Table 1. Bulk and C.I.P.W. Norm (wt %) of garnet-sillimanite felsic gneisses.

Spr-free Grt-Sil felsic gneiss No. YY9812290702 (YY1)				Spr-bearing Grt-Sil felsic gneiss No. YY9812290204 (YY2)			
Bulk	C.I.P.W. Norm			Bulk	C.I.P.W. Norm		
SiO <sub>2</sub>	62.71	Q	43.59	SiO <sub>2</sub>	48.41	Q	3.54
TiO <sub>2</sub>	0.56	C	17.96	TiO <sub>2</sub>	0.94	C	14.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.69	Or	9.55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.81	Or	13.71
FeO	7.46	Ab	3.50	FeO	10.73	Ab	21.76
MnO	0.08	An	2.34	MnO	0.15	An	10.15
MgO	3.38	Hy	21.93	MgO	6.00	Hy	34.10
CaO	0.48	ap	0.03	CaO	2.02	ap	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.40	il	1.09	Na <sub>2</sub> O	2.52	il	1.83
K <sub>2</sub> O	1.58			K <sub>2</sub> O	2.27		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02		
Total	97.36			Total	97.86		
XMg	0.447			XMg	0.499		

Data sources of bulk composition of the gneisses: Yoshimura *et al.* (2000); Yoshimura *et al.* (unpublished data). Total Fe as FeO.

## 超高温変成岩類を特徴づける鉱物間のTiの分配

川崎智佑 (愛媛大学)

Ti partitioning among minerals in UHT granulites  
Toshisuke Kawasaki (Ehime Univ)

1000°C以上の変成作用を被った東南極エンダビーランド・ナピア岩体(Harley & Motoyoshi 2000)の超高温変成岩には、針状ルチルの離溶組織がザクロ石, 斜方輝石, サフィリン, 大隅石, カリ長石(メソパーサイト)や石英などの斑状変晶に見出されている(Osanai et al 2001; 小山内・吉村 2002). Tiに飽和した斑状変晶から温度降下(Kawasaki & Osanai 2006), あるいは, 圧力降下(Dobrzhinetskaya et al 1996; Green et al 1997; Song et al 2004)によりルチルの離溶ラメラが形成されたと考えられている.

Table 1. Chemical composition of starting glass.

Run no.	050331	今回, ザクロ石, 斜方輝石, 石英へのTiの
Pressure	10.5 kbar	固含量を求める実験
Temperature	1700°C	を開始したので報告
Duration	2 min	する. 東南極ナピア岩
Capsule	Gr	体マッキンタイヤ島の
Phase	Gls	斜方輝石グラニューライ
SiO <sub>2</sub>	44.23(84)	ト(Kawasaki & Motoyoshi
TiO <sub>2</sub>	16.76(58)	2000;
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.18(21)	Kawasaki et al 2002)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01(2)	にSiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
FeO	8.72(41)	をそれぞれ, 8, 16, 8
MnO	0.04(4)	wt%加え, 10.5 kbar,
MgO	15.54(38)	1700°Cで溶融, 急冷し
NiO	0.02(2)	て得たガラスを出発物
CaO	0.06(3)	質とした(Table 1).
Na <sub>2</sub> O	0.11(3)	
K <sub>2</sub> O	0.04(3)	
Total	97.71	
mg	0.761(8)	

愛媛大学設置のピストンシリンダー型高圧力発生装置を用いて, 高温高圧実験を行った. X線マイクロアナライザー分析により実験生成物の相の同定を行った. 生成物の一例をFigure 1に示した.

Tiは6配位の位置を占め, +4価の電荷を持つ元素である. 少量のSiを置換して4配位の位置を占める事ができる(Kawasaki and Osanai 2006). ザクロ石, 斜方輝石, 石英で4配位位置のTiは次の化学反応式:

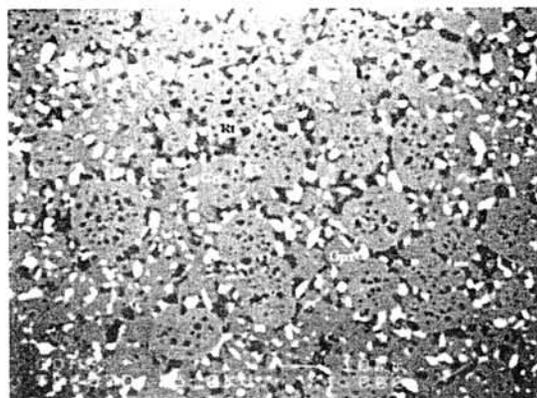
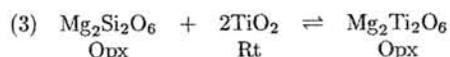
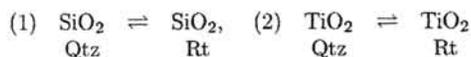
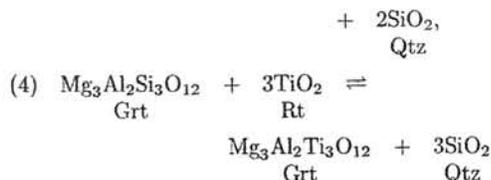
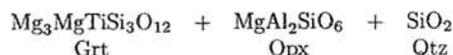
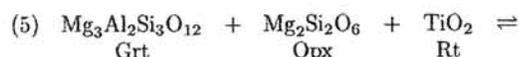


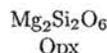
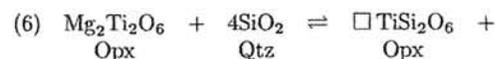
Figure 1. Back scattered electron (BSEI) of a run product (no. 050607D) synthesized at 15 kbar and 1200°C for 266 hours in the Mo/Pt double capsule. Garnet (Grt) includes quartz (Qtz) and rutile (Rt).



で分配される. ザクロ石で, 6配位位置のTiは2価のMgやFe<sup>2+</sup>と対になり,



などの反応式により分配される. 斜方輝石で, 6配位の位置をTi<sup>4+</sup>が占めると, 6配位席の一部は格子欠陥として



なる反応式で形成される. ここで, □は斜方輝石の6配位席の格子欠陥を表す.

6配位位置をTiが占めると, (3)-(6)の反応式と化学量論式から, ザクロ石や斜方輝石中の元素の間には必ず, 次の関係式:

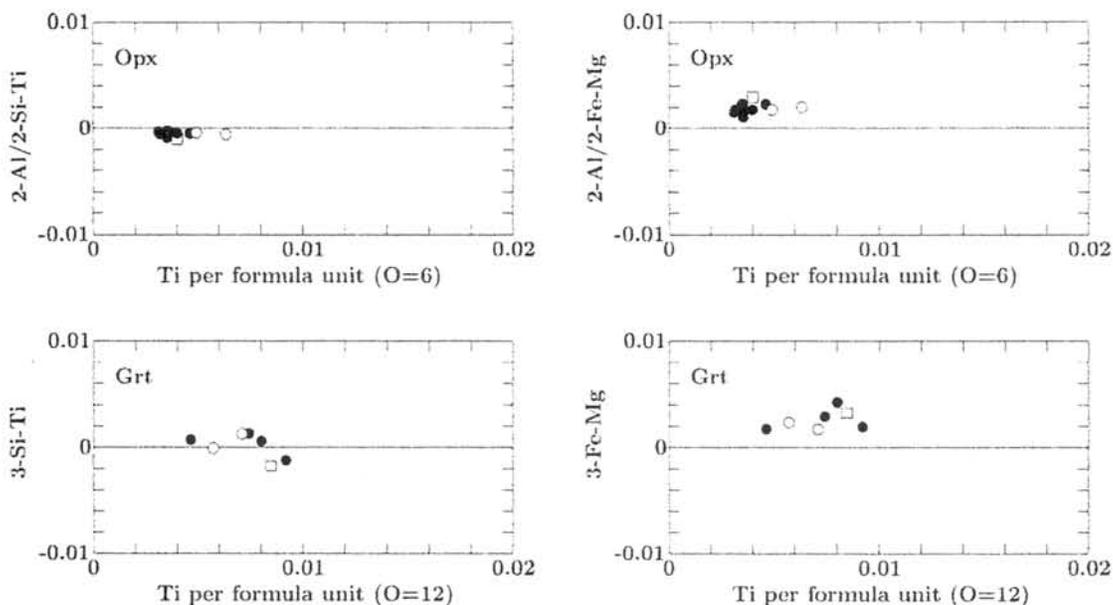


Figure 2. Plots of vacancy number in the six-fold and four-fold sites vs Ti in orthopyroxene (Opx) and garnet (Grt) coexisting with rutile and quartz. ○: 20 kbar/1300°C; □: 17.5 kbar/1200°C; ●: 15 kbar/1200°C.

Note: if Ti occupies the six-fold site, numeric relations among elements:  $N_{\text{Si}}^{\text{Grt}} + N_{\text{Ti}}^{\text{Grt}} > 3$ ,  $N_{\text{Fe}}^{\text{Grt}} + N_{\text{Mg}}^{\text{Grt}} > 3$ ,  $\frac{N_{\text{Al}}^{\text{Opx}}}{2} + N_{\text{Si}}^{\text{Opx}} + N_{\text{Ti}}^{\text{Opx}} > 2$ , and  $\frac{N_{\text{Al}}^{\text{Opx}}}{2} + N_{\text{Fe}}^{\text{Opx}} + N_{\text{Mg}}^{\text{Opx}} < 2$ , should be satisfied.

$$N_{\text{Si}}^{\text{Grt}} + N_{\text{Ti}}^{\text{Grt}} > 3, \quad (7)$$

$$N_{\text{Fe}}^{\text{Grt}} + N_{\text{Mg}}^{\text{Grt}} > 3, \quad (8)$$

$$\frac{N_{\text{Al}}^{\text{Opx}}}{2} + N_{\text{Si}}^{\text{Opx}} + N_{\text{Ti}}^{\text{Opx}} > 2, \quad (9)$$

$$\frac{N_{\text{Al}}^{\text{Opx}}}{2} + N_{\text{Fe}}^{\text{Opx}} + N_{\text{Mg}}^{\text{Opx}} < 2 \quad (10)$$

が成り立つはずである。Figure 2に、20 kbar/1300°C (○), 17.5 kbar/1200°C (□), 15 kbar/1200°C (●) で得られた斜方輝石とザクロ石のデータを示した。Figure 2に示されるように、ザクロ石では、Tiは6配位のAlを置換せず、4配位のSiを置換していると考えられる。ところが、斜方輝石では、Tiは6配位位置を占め、電荷を中和するためにTi原子と同数の格子欠陥を形成し、同時に4配位位置を占めていると考えられる。

#### 参考文献

- Dobrzhineskaya et al 1996 Science 271 1841-1845  
 Green et al 1997 Tectonophysics 279 1-21  
 Harley & Motoyoshi 2000 Contrib Mineral Petrol 138 293-307  
 Kawasaki & Motoyoshi 2000 Polar Geosci 13 114-133  
 Kawasaki et al 2002 Gondwana Res 4 749-756  
 Kawasaki & Osanai 2006 in preparation  
 小山内・吉村 2002 地質ニュース 573 10-26

Osanai et al 2001 Polar Geosci 14 1-24

Song et al 2004 Am Mineral 89 1330-1336

## ブライボークニッパ広江池湖岸における春期の 未凍結水面出現について

佐藤高晴（広島大・総合科学）、坂中伸也（秋田大・工学資源）、佐藤健（札幌管区气象台）、  
田阪茂樹（岐阜大・教育）、高橋博（気象庁・地震火山）、藤井 純一

### The surface of the water appeared in spring around the shore of Lake Hiroe, Breidvagnipa

Takaharu Sato (Hiroshima Univ.), Shinya Sakanaka (Akita Univ.), Tatsuru Sato (Sapporo District Meteorological  
Observatory), Shigeki Tasaka (Gifu Univ.), Hiroshi Takahashi (Meteorological Agency) and Jyunnichi Fujii

#### <はじめに>

2005年10月23日に標高約210mのブライボークニッパ広江池で堆積物柱状試料を採取した。その際、引き上げたコアラーの外側に付いた水が湖岸に運ぶまでに凍る程寒冷であったにもかかわらず、湖岸に沿った一部の湖面が凍結しておらず（写真1）、さざ波が立っていることが観察され、小石を投げ入れることによっても確認された。

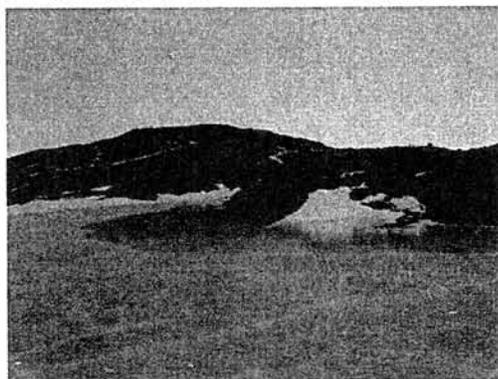


写真1. 10月23日の広江池未凍結湖面

#### <湖面一部未凍結についての検討と調査計画>

原因を調査するために、本報告の発表者で構成する調査隊を組織した。そこでの検討の結果、以下の3つを可能性のある原因とした。

- ・湖岸からの湧水
- ・春先の湖水の流出に伴う融解
- ・湖岸の輻射熱

これらを検証するため、以下の測定を行う調査計画を起てた。

- 1) 湖氷上から穴を開け水温の深度分布測定と

採水、

- 2) ゴムボートを使つての溶けた湖面からの採水、水の流れの観測と溶けた範囲の計測など、

- 3) 湖岸から輻射温度計による湖岸の岩の温度測定と広江池からの水の流出状況の確認や広江池の岩が出ている他の湖岸の調査

#### <湖沼調査とその結果>

11月23～24日広江池調査を行った。広江池湖面は全面凍結しており、1ヶ月前湖水が見られた場所には、周囲の透明で湖表面がデコボコした氷とは違う、白濁した湖表面が平坦な氷が見られた（写真2）。この白濁した氷は、1m以上ある透



写真2. 11月23日の広江池

明な氷の上であり（写真3）、湖岸近くで最も厚く26.5cmで、岸から離れるほど薄くなっていった。このことから、湧水説は採用できない。また、広江池の3点で行った水温の深度分布調査では、場所による違いは認められたが、深さによる違いは

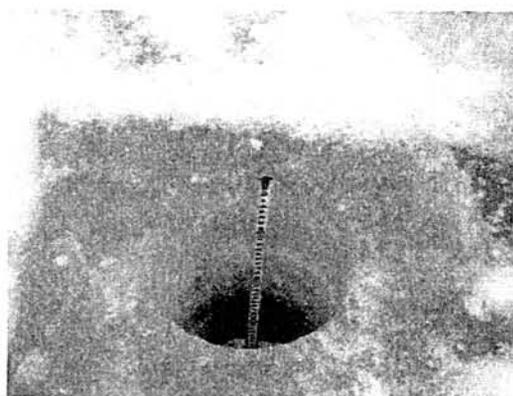


写真3. 透明な氷の上の白濁した氷

た湖水の流出が今回は確認された。これらのことから、湖水の流出に伴う融解説も説得力がない。さらに、湖岸に沿って数カ所で同じように湖氷が白濁していたが、湖岸の面する方位によらないこと、10月に融けて1ヶ月後に凍結することは説明付かないことなどから、輻射によるとする説も採用できない。

#### <考えられる原因>

調査後の検討会に於いて検討し、考えられる原因として、以下のように考えている。春期に氷床からは断続的に水が湖氷の下に流れ込むために、湖面が上昇することがある。しかし、湖岸が切り立っていて、湖氷が湖岸の岩に固着している場合は湖岸付近の氷は上昇できない。割れ目などからしみ出した水がその上を覆うが、しばらくすると凍結してしまう。我々は、偶然、凍結する前に観察したというものである。

## 親指池堆積物に見られた最近のテナルド石析出について

佐藤高晴 (広島大・総合科学)、竹田一彦 (広島大・生物圏)、大川真紀雄 (広島大・理)、

瀬戸浩二 (島根大・汽水域)、坂中伸也 (秋田大・工学資源)、上村剛史 (極地研)、江川晋子 (水路協会)

### A recent deposition event of thenardite appeared in sediment cores from Lake Oyayubi

Takaharu Sato, Kazuhiko Takeda, Makio Ookawa (Hiroshima Univ.), Koji Seto (Shimane Univ.), Shinya Sakanaka (Akita Univ.), Takeshi Uemura (NIPR) and Kuniko Egawa (Japan Hydrographic Association)

#### <はじめに>

昭和基地周辺の湖岸などに見られる白色の塩類の析出物については、兼島他 (1968) により鉱物が同定され、産地の条件によらず、Hlite を主成分として各種の塩類が見られることが示されている。そして、それらが、南極地域の寒冷と乾燥した特別の自然条件の下で生成したとしている。第 46 次南極観測隊では、宗谷海岸沿いの露岩域の湖沼で調査や湖底堆積物のコアリングを行った。塩湖から採取したコアには堆積環境に応じて多くの析出物が見られたが、ここでは、ラングホブデ地区の親指池コアとそれに含まれていた析出物について報告しその成因について検討する。

#### <調査と試料採取>

親指池は写真 1 に示すように、海岸から 30m 足らずしか隔てられていない池で、湖面の標高も数十 cm~1m 程度で、越冬期間には、わずかに湖水の流出が認められた。2005 年 1 月 29 日に、多項目水質計による水質調査、採水、手押し式ピストンコアラーによる 1 本のコア採取を行った。更に、越冬期間 (11 月 5 日) に 2 本のコアを採取した。全てのコア最上部、5~10cm の部分には数 mm~数 cm の多くのれきが見られた (写真 2)。その下部には、いずれもラミナ構造の堆積物が見られた (写真 3) が、更に下部ではラミナ構造が不明瞭になっていた。

#### <実験と考察>

コア表層部のれきを取り出して、密封し冷凍保存して持ち帰り、粉末 X 線回折実験の試料とした。

この試料の X 線回折図形は、ほぼテナルド石 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) に因るものであった。また、親指池の最深部 (約 4.9m) では、水温が  $-3.3^\circ\text{C}$ 、塩分は 130 (psu) で高塩分になっていた。本講演では、これらのデータを基にこのテナルド石がどのようにできたか検討する。



写真 1. 親指池の空中写真



写真 2. 親指池コア最上部から採取した析出物

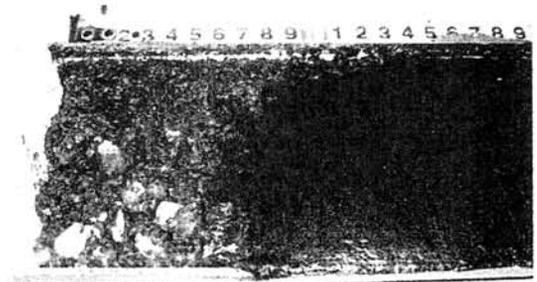


写真 3. 親指池コア Oy5-1 最上部

#### 引用文献

兼島清・鳥居鉄也・宮平勝昭 (1968) 昭和基地周辺に産する Evaporite ならびに黄色塩類の鉱物組成、南極資料、第 33 号、39-5

## 東南極氷床における中期完新世以降の氷床変動と温暖化イベント

前空英明 (広島大・大学院教育学研究科), 三浦英樹 (国立極地研究所),  
岩崎正吾 (国立極地研究所), 横山祐典 (東京大・大学院理学研究科)

### Glacial fluctuation and warming event since mid-Holocene in the East Antarctica

MAEMOKU Hideaki (Hiroshima Univ.), MIURA Hideki (NIPR),  
IWASAKI Shogo (NIPR) and YOKOYAMA Yusuke (Univ. of Tokyo)

#### 1. はじめに

南極大陸縁辺域での氷床変動史は、海岸地形や海浜堆積物に記録されたアイソスタティックリバウンドによる相対的海水準変動をプロキシとして復元できる。南極において明らかにされた相対的な海水準変動史は、海棲生物化石の産出高度と年代との関係を用いて復元されることが多かったが (Maemoku et al., 1998), 旧汀線高度を厳密に指示する示標がなかったために、海水準上限高度や下限高度など、おおよそその変動が復元されるにとどまってきた。そのような状況の中で、Miura et al. (2002) は、東南極・リュツォ・ホルム湾、スカルプスネスのきざはし浜において隆起海浜地形・地質の掘削調査を行ない、海岸から次第に高くなる17段の汀段が存在し、この地形と堆積構造の特徴、および原地性貝化石の $^{14}\text{C}$ 年代と産出高度の関係を調べることで、完新世中期の急激な海退のイベントを含む精度の高い完新世の相対的海水準変動史を得ることができた。また、リュツォ・ホルム湾より500km東にある、アムンゼン湾奥のリーセル・ラルセン山地域には、放棄されたペンギンルッカリーに多数の遺物 (骨、羽毛、卵の殻、グアノ) が存在し、それらの $^{14}\text{C}$ 年代から完新世中期におけるペンギンルッカリーの拡大イベントを示す証拠が得られている (三浦ほか, 2002)。

この他にも南極の様々な地域から完新世中期の温暖化の証拠が報告されている。例えば、西南極・ロス海のテラノバ湾でも、放棄されたペンギンルッカリーが広く存在し、遺物の年代測定から得られた5000~4000 $^{14}\text{C}$ BPの時期 (未補正) にペンギンルッカリーの拡大期が生じたことが報告され、この時期は"Penguin optimum"とよばれている。この年代値をリザーバ効果補正した年代は、ドームCの氷床コアで見られる温暖期 (約4000~3000年前)

(Lorius et al., 1979) に概ね対比できるとされている (Baroni and Orombelli, 1994)。東南極・ウィルクスランドのウィンドミル島でも、5000~3800 $^{14}\text{C}$ BP (未補正) のルッカリー遺物やそれに関連する堆積物の年代が報告されている。 (Goodwin, 1993)。また、西南極・南極半島のラルマン・フィヨルドの海底堆積物の全炭素含有量の増加からは、約5000~2500 $^{14}\text{C}$ 暦年前 (リザーバ未補正) の温暖化が示された (Shevenell et al., 1996)。 $^{14}\text{C}$ 年代測定におけるリザーバ効果の問題や、そのための暦年補正の困難さから、正確な地域間の年代の対比が困難であり、現時点で現象間の関連性を議論することにはまだ問題が多いが、リーセル・ラルセン山地域の放棄されたペンギンルッカリーも (三浦ほか, 2002)、このような南極の完新世中期の温暖期と関連して形成された可能性が指摘できる。

完新世中期の急激な相対的海水準低下の原因が、温暖期と関連した氷床の後退 (氷床荷重の除去) と関連があるのか、逆に地球規模の寒冷化によって (特に北半球) 海水量が減少したことによるものなのかについては、まだほとんど資料が得られていないが、非常に興味深い問題である。本研究は、東南極のドロニング・モードランド東部に位置する沿岸露岩の一つであるスカーレンにおいて、氷床縁の前進・後退に伴って生産された碎屑物と地形から完新世中期以降の東南極氷床縁の変動 (前進・後退) を復元し、南極氷床の挙動に関する知見を提供することを目的としている。

#### 2. 研究の概要

スカーレンの未固結の表層堆積物は、主に露岩の底部を覆うように分布している。特に中央低地部のスカーレン大池周辺や露岩東側のスカーレン氷舌に

面した場所では、海棲の貝化石を含む厚さ数メートルの氷河性海成堆積物が分布している (Omoto, 1977; Yoshida, 1983)。まごけ池周辺には氷床縁の前進・後退に伴って生産された碎屑物が、表層堆積層として広く分布している。また、堆積物中には海水の浸入に伴って棲息した二枚貝 (ラテルヌーラ) の貝殻が至る所に露出しており、貝殻の  $^{14}\text{C}$  年代測定によって堆積時期の推定が可能であることから、完新世中期以降 (Igarashi et al., 1995) の東南極氷床縁の変動 (前進・後退) を復元できる絶好のフィールドであると言える。まごけ池周辺で採取された貝殻片 13 点について、東京大学において  $^{14}\text{C}$  年代測定を行なった。サンプルは 50% エッチング処理を行なった後 graphitization し、AMS にて含有  $^{14}\text{C}$  質量比を計測した。年代値の暦年補正は CALIB501 (Stuiver and Reimer, 1993) を用い marine04 モデルで、南極沿岸における貯留効果  $1300 \pm 100$  年を採用して算出した (Berkman and Foreman, 1996)。

$^{14}\text{C}$  年代値は最上位のリッジ中から採取された貝殻片が 5530 cal BP を示したほかは 2200~750 cal BP の年代を示している。また、バルブが 2 枚そろった in situ と判断される貝殻の年代は (Loc. ? and Loc.) 1800~1200 cal BP を示している。現氷床直前の碎屑物の中から採取された貝殻片からは (Loc. ? and Loc.), 2100~1400 cal BP という年代値が得られた。得られた  $^{14}\text{C}$  年代値と、採取地点の地形・地質条件から、まごけ池周辺における後期完新世の氷床変動について以下のように解釈できる。

#### 1) Retreat 0

5530 cal BP という年代を示す貝殻片は、氷床縁からもっとも離れたプッシュモレーンリッジをつくる氷河性堆積物の中で得られた。このことから、完新世中期のこの時期に氷床後退期があったことは確実である。この時期の氷床が位置的にどこまで後退したのかは不明であるが、少なくともまごけ池付近には海水が浸入し、氷河堆積物や融氷河堆積物中に南極ソトオリ貝が棲息していたと言える。残存しているこの時期に棲息した貝殻片がきわめて稀であることから、後退の幅が限定的で海水の浸入が十分ではなかった可能性も考えられる。

#### 2) Advance I

5530 cal BP から 2267 cal BP の間の年代を示す貝殻片が産出しないことから、この間に氷床が現在よりもさらに前進し、少なくともまごけ池を覆って北側基盤斜面まで到達していたものと推定される。必然的にまごけ池付近に海水は浸入せず、二枚貝が棲息するような環境ではなかったと思われる。この時期にプッシュモレーンリッジの大枠が形成され、それまで棲息していた二枚貝が押し上げられ堆積物中に取り込まれた。Igarashi et al. (1995) が採取した貝化石の年代では 2800 cal BP 頃を示すものが報告されており、氷床前進期は 5000~3000 年前くらいにさらに限定される可能性が高い。

#### 3) Retreat I

二枚貝の  $^{14}\text{C}$  年代から、2300 cal BP にはすでに氷床は少なくとも現位置付近まで後退し、その前面は内湾状態になっていた可能性が高い。そこには南極ソトオリ貝が繁殖し、一部波浪の作用によって、融氷河性堆積物を材料にして海成層が形成された。現氷床下の底面部から産出する貝殻の破片が 2000 cal BP くらいを示すことから、2000 cal BP に近い時期には現氷床縁よりさらに南方に後退していたことがうかがえる。

#### 4) Advance II

氷床は 1950 cal BP くらいから前進に転じ、前面の含貝化石海成層やシルト層を対岸に押し上げた。一部 Advance I 期のモレーンリッジをさらに変形させたが、前進は一時的で小規模であり最後部のリッジまでは達せず、1800 cal BP 頃から再びゆっくりとした後退に転じた。

#### 5) Retreat II

氷床はゆっくり後退し、1150 cal BP 頃には少なくとも現氷床縁から 70-80m 前のところまで後退していた。現氷床下から 1400 cal BP の貝殻片が産出するので、後退過程で一時的に現氷床縁より南側に後退していた可能性がある。後退に伴って再び氷床前面に海が入り、そこに再び貝が棲み始めた。現在残っている原地性の貝化石はこの時のものと考えられる。つまりこれ以降、氷床が少なくとも現位置より大幅に前進することはなかったと推定される。その後の隆起により海成層が離水し段丘化した。貝は氷床前面に少なくとも 750 cal BP 頃まで生息し続けた。離水して海成層から露出した貝化石の破片

は風によって丘陵斜面に運ばれ、吹きだまりになりやすい岩陰にたまった。氷床は現位置まで後退するとともに、隆起によって前面の内湾が次第に淡水化し、貝が棲めなくなった。

### 3. まとめと課題

東南極氷床のスカールン氷河前縁部における中期完新世以降の氷床の挙動について、現氷床縁付近に分布する貝殻を含む氷河性堆積物と地形を手がかりに、氷床縁の変動史について復元を試みた結果、現在の後退期を含む3回の後退期と、その間の2回の前進期があったことが推定された。その中でも、約5000~3000年前に推定されるAdvance Iと、それに続いて約2000年前までに推定されるRetreat Iは前進後退の規模が大きく、少なくとも500m以上の氷床縁の移動があったと考えられる。それに比べてAdvance IIと現在の状態であるRetreat IIは変動幅が小規模で、Advance I-Retreat I間の変動幅の半分程度であった可能性が高く、Advance IIは

Advance Iからの現在にかけての大きな氷床縁後退過程の中の一時的な前進と見ることもできる。

スカールンの約25km北方の沿岸露岩であるスカルプスネスでは、中期完新世に急激な海退イベントが報告されている (Miura et al., 2000)。この海退イベントは本地域で認められた Advance I から Retreat I への移行時期にほぼ一致する。また、同じ東南極のアムンゼン湾やウィルクスランドのウィンドミル島でも同様な時期にペンギン・ルッカリーの拡大期が報告されている (三浦ほか, 2002 ; Goodwin, 1993)。さらに、西南極のロス海沿岸や、南極半島でも、4000calBP 前後にルッカリー拡大期や海底堆積物の含有全炭素量の増加から、温暖期の存在が指摘されている (Baroni and Orombelli, 1994, Shevenell et al., 1996)。今後は北半球での同時期の気候変化との対応関係を検討することによって、南北両半球でミレニアムスケールの気候変化がどのような経過をたどってきたのかについて考察していきたい。

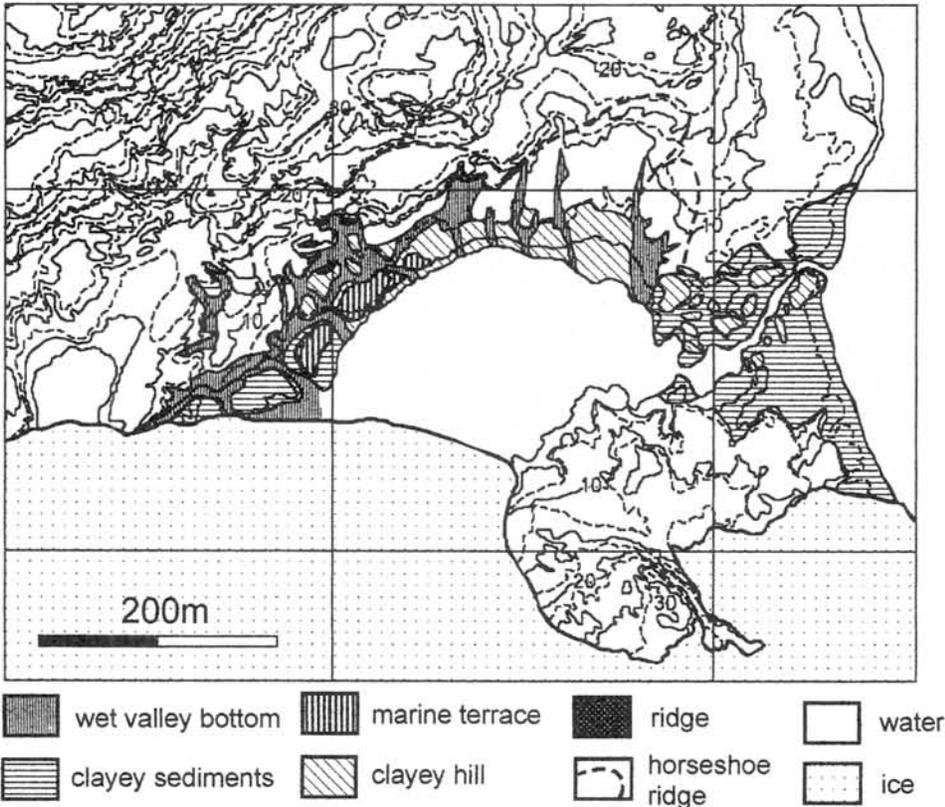


Figure スカールン・まごけ池周辺の地形分類図

## 宇宙線生成核種を用いた第四紀後期の 東南極スカルプスネス地域の氷床変動の解明

山根雅子・横山祐典(東大理)・三浦英樹(極地研)・  
前李英明(広島大)・岩崎正吾(極地研)・松崎浩之(東大工)

### East Antarctic Glaciations during the Late Quaternary recorded in cosmogenic nuclides along the Skarvsnes coast.

Masako Yamane, Yusuke Yokoyama (Univ. Tokyo), Hideki Miura (NIPR),  
Hideaki Maemoku (Hiroshima Univ.), Syogo Iwasaki (NIPR), Hiroyuki Matsuzaki (Univ. Tokyo)

#### 《背景》

南極氷床は地球上で最も大きな氷床であり、その拡大・縮小は海水準変動などを通して、全球的に影響を与えると考えられるが、北半球の氷床ほど研究が進んでいない。過去の南極氷床の変動を復元し、その原因やそれによる影響を研究することは、将来の気候変動に対する南極氷床の変動とそれによる全球的な影響を推測するのに役立つ。

本発表は、 $^{10}\text{Be}$  と  $^{26}\text{Al}$  の表面照射年代法を用いて、東南極リュツォ・ホルム湾のスカルプスネスにおける氷床変動の復元を試みる。

#### 《研究対象地域とサンプル》

スカルプスネスは宗谷海岸の露岩域の中で最も広い面積を占める。起伏に富む地形だが、ほとんどの地域は標高 300m 以下である。

サンプルは 7 地点から採取された 9 サンプルを使用した。このうち 6 サンプルは基盤岩、3 サンプルは迷子石である。サンプル 3 と 4、サンプル 5 と 6 はそれぞれ同一地点から基盤岩と迷子石が採取された。



図 スカルプスネスの地形図

(赤丸と番号はサンプル採取地とサンプル番号を表す。サンプル 4、6、7 は迷子石、その他は基盤岩である。)

#### 《手法》

表面照射年代法は地表に露出した岩石に含まれる石英中の宇宙線照射生成核種の存在量から、岩石が宇宙線の照射を受けていた時間(氷床から解放されていた時間)を求める方法である。本研究では  $^{10}\text{Be}$ (半減期:1.5Ma)と  $^{26}\text{Al}$ (半減期:0.7Ma)の二つの核種を用いた。また、半減期の異なる二つの核種の比(本研究では  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ )から、岩石が埋没を受けたかを知ることができる。核種濃度は加速器質量分析によって求めた。

## 《結果》

基盤岩は  $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$  とともに 1 サンプル(サンプル 2)を除いて 10~20ka の年代値であり、迷子石は 10ka より新しい年代値を示した。また、 $^{26}\text{Al}$  と  $^{10}\text{Be}$  の比( $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ )は、すりばち池を境に西部(サンプル 1~5)と東部(サンプル 7~9)で異なった傾向を示した。

## 《考察》

### (1) 最終氷期極相期(LGM)後の退氷の時期

迷子石は氷床が最後に後退したときに取り残されたものと考えられる。迷子石の年代値はすべて 10ka より若い年代値を示しており、この値は LGM 後の氷床後退のタイミングを示していると考えられる。

スカルプスネスに存在する隆起海浜堆積物中の現地性貝化石の  $^{14}\text{C}$  年代は 1 万年より新しい値を示している (Miura *et al.*, 1998)。これは、この地域が氷床から解放された時期はおよそ 1 万年前という本研究の迷子石の年代による結果を支持している。

### (2) スカルプスネスにおける氷床変動の地域性

今回、 $^{10}\text{Be}$  と  $^{26}\text{Al}$  の二つの核種の測定を行ったことにより、スカルプスネスの中でも氷床の変動史に地域差があることが初めて明らかになった。

$^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  より、スカルプスネスの東部は西部に比べて氷床に覆われていた期間が数十万年長かったことが示唆される。東部の方が氷床に近いので、氷床に覆われやすいと考えられるので、このことは妥当であると思える。また、西部には風化皮膜が広く認められ、東部には風化皮膜があまり存在しないことから、西部のほうが長期間露出していたと考えられる。

しかし西部は、東部よりも宇宙線の照射を受けていた期間が長いにもかかわらず、露出年代が東部とほぼ同じである。よって、

西部では侵食などの影響も考慮しなければならない。また、東部は数十万年間氷床に覆われ続けていたのではなく、何度か氷床の前進・後退があったと考えられるので、より詳細な氷床変動史を復元するには、このように複雑な氷床からの解放についても考慮する必要がある。

## 長頭山北壁のモレーンはいつ作られたのか？

森脇喜一（国立極地研究所）

When was a moraine formed on the north wall of Mount Tyôtô, Langhovde?

MORIWAKI Kiichi (NIPR)

ラングホブデの長頭山北壁は、氷食 U 字谷の片側：J 字の形状をなす。その下部にある岩屑斜面は、周氷河作用などによって谷壁上部から崩落して堆積したテラス（崖錐）とみなされていた（Hirakawa *et al.*, 1984）。

JARE-45 の地学班（三浦・前杢・岩崎）によって、その構成物がティル（氷河堆積物）であることが確認され、第 24 回地学シンポジウムで口頭発表されたが、文書としての記載は、三浦による極地豆事典の記事（極地研 NEWS no.173, 2005）以外にはまだないようである。いささか気になっていたので、カラー空中写真から等高線間隔 1m の地形図を作成し、氷食谷壁との関係を調べた。

巨礫を含む粗粒で明瞭な堆積物は、北壁東半部の斜面下部（海拔 97m 以下）に認められるだけであるが、その西方の海拔 85-90m に約 200m にわたって細粒な堆積物とみられる帯がほぼ水平に伸びている。さらに、その下方に細粒物からなるらしい崖錐状の地形が認められる。粗粒部細粒部を合わせた全体の幅は東西約 1km に及ぶ。その上限高度がほぼ揃うことから、この堆積物がつくる地形の原型は長頭山北壁に沿って流れた氷河のラテラルモレーンであったと推定される。

しかし、J 字型の断面形をなす北壁斜面の途中で傾斜変換線は認められず、このラテラルモレーンを形成した氷河による侵食作用の形跡はない。すなわち、当時の氷河は侵食力のない極地氷河で、モレーンを構成するティルは氷河表面に落下した岩屑からなる氷河上ティルであろう。モレーンの形成時期は、南極氷床が極地氷河となった更新世以降の第四紀である。

モレーンは斜面下方で海浜砂に覆われる（三浦, 2005）ということであるが、完新世と 3-4 万年前の 2 層ある海成層（Maemoku *et al.*, 1997）のいずれに覆われるかで、時代が限定できよう。完新世の海成層にのみ覆われるとすれば、LGM のモレーンということになり、LGM にはこの地域を覆う氷床拡大はなかったとする従来の研究結果と矛盾する。3-4 万年前の（とされる）

海成層に覆われるとすれば、貝化石の ESR 年代（Takada *et al.*, 2003）やアミノ酸年代（新井ほか, 2003）にはもっと古い時代を示唆するものがあり、より詳しい時代の特定は、今のところ困難である。

なお、ティルと海成層の地表における接線は不明で、旧汀線を示す地形は認められない。

当地区の宇宙線生成核種による露出年代測定が、JARE-45 採取のサンプルでなされた。その結果は、LGM の氷床拡大はなかったと考えていた者にとって衝撃的であった。長頭山北壁直下の、3-4 万年の *in situ* 化石産地に近接する場所（海拔約 25m?）の露出年代も、その上方の長頭山頂部（海拔 333m）も完新世のほぼ同じ年代値（8.7 千年、9.3 千年）を示した（村澤ほか, 2005）。村澤らはこの若い年代値を、表面物質が著しい風化によって除去されたためと論じたが、それはいつ起こったと考えるのであろうか？ 露出年代から見て、完新世ではなかろう。完新世より寒冷で風化が進行しにくいとみられる LGM とするののか？ それならなぜ、同時に露出していてもっと飛散しやすいはずの 3-4 万年前の海浜堆積物が除去されずに残ったのか？

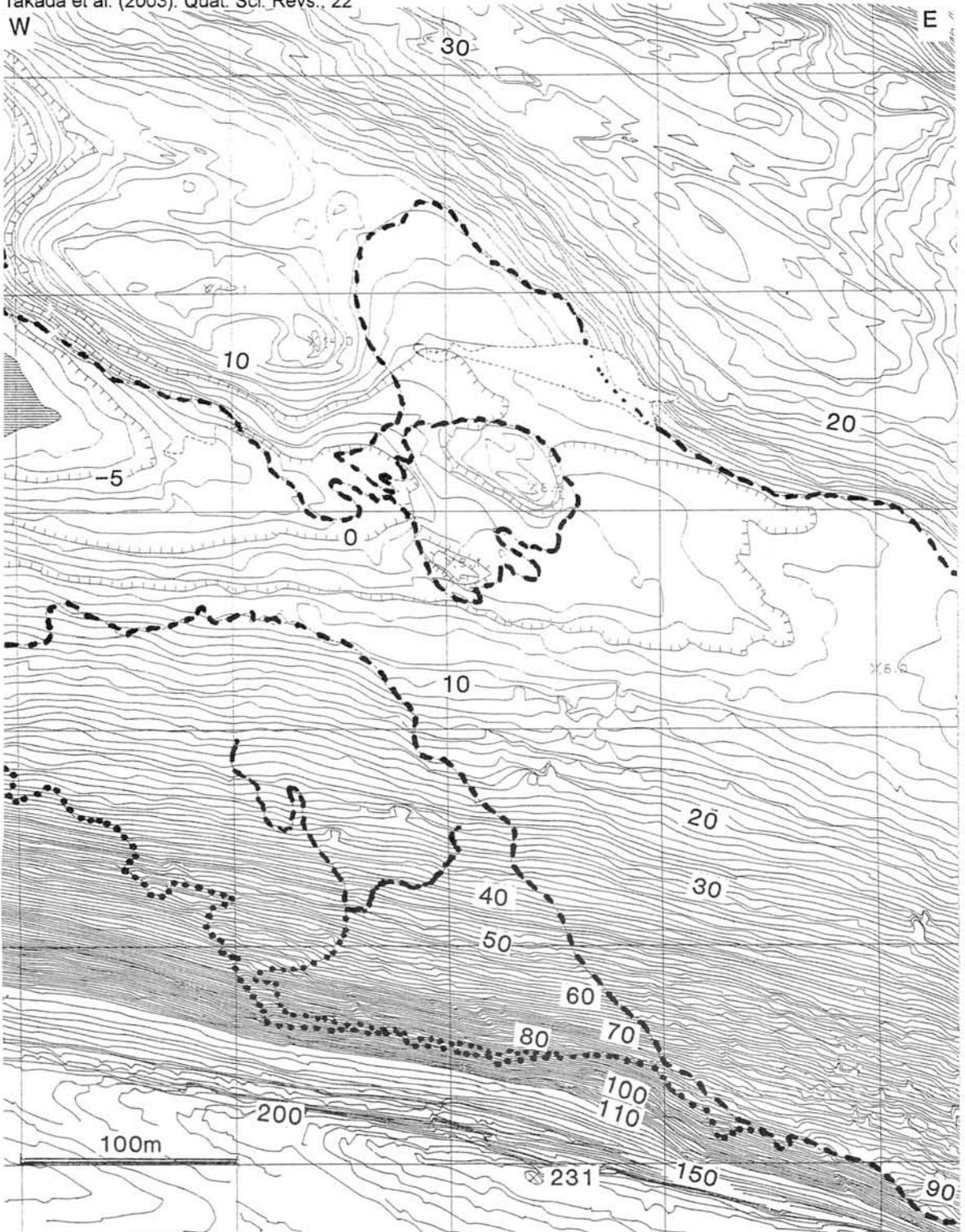
こういうことかもしれない：

ラングホブデ北部を含む宗谷海岸の露岩は、すべてまたは、ほとんどが LGM に再拡大した氷床に覆われた。しかし、その氷床は *dry-based* の極地氷床であったため、それ以前に堆積して凍土化した隆起海浜堆積物を破壊することなく保存した。古い氷河地形も、風化した岩盤も破壊されずに残存した。LGM が終わり氷床が後退し、海岸では古い隆起海浜の上に、新たな海浜が形成され、やがて隆起した。

破損してないとされている 3-4 万年前の  $^{14}\text{C}$  年代をもつ貝化石は、本当に壊れていないのか？ 一個体単位で残っているのだから *in situ* であることは確実であろうが、氷床荷重を受けて変形しているのではないのか？ 検証する必要があるだろう。

三浦英樹 (2005) : 極地研 NEWS, 173  
 Maemoku et al. (1997): Ant. Geosci., 10  
 Takada et al. (2003): Quat. Sci. Revs., 22  
 W

新井雅ほか (2003) : 23 南極地学シンポ要旨  
 村澤晃ほか (2005) : 25 極域地学シンポ要旨



長頭山北壁とその北方の等高線図。海拔 0-110m は 1m 間隔、110m 以上は 5m 間隔。  
 破線以下は明瞭な堆積物（岩屑）が占める範囲、点線で囲んだ部分は細粒な堆積物が載ると  
 みられる範囲

## 昭和基地における地電流連続観測

坂中伸也 (秋田大)、野木義史・門倉昭 (極地研)、上村剛史 (総研大)

## Telluric current monitoring at Syowa Station

Shin'ya Sakanaka (Akita Univ.), Yoshihumi Nogi, Akira Kadokura (NIPR),  
and Takeshi Uemura (Graduate Univ. for Advanced Studies)

昭和基地の地学棟に収録器を設置し、地電流観測が続けられている。宙空部門が昭和基地で収録しているフラックスゲート磁力計による地磁気三成分を地学棟に転送し、地電流値とともに1秒間隔で記録している。第46次(2004~2006年)越冬隊の滞在期間中、おおむね順調に地電流値を記録することができた。

電極の配置は互いに直交する長基線と長基線と同じ方向の短基線からなる。この測線配置では、電極を計8本埋設して観測することになる。地学棟ではそれぞれの電極に対応する計8成分のデータが記録されている。

地電流観測を始めた当初の目的は不明であるが、長基線と短基線を組み合わせる方法は地震予知研究に用いられるVAN法の電極配置と同じものである。昭和基地開設以来、有感地震は観測されていないが、将来、有感地震が起こる可能性もある。

Aoyama et al., (1998)は、昭和基地の地電流連続観測のデータから、周波数帯域によって地電流の卓越方向の異方性があることを報告している。地磁気の周波数が数Hzから周期が数十秒といった帯域からは、半島効果や離島効果と呼ばれる卓越方向の異方性が知られている。海峡が観測点近傍に存在するときも同じような効果が期待できる。これは、電気伝導度の高い海水中を流れる電流が地磁気に影響しているものと解釈されている。昭和基地の地電流の卓越性もオングル海峡の存在が影響しているものと考えられる。さらに考察を加えると、オングル海峡の海底の

堆積物の厚さを見積もることができる可能性がある。

第46次越冬中は地学棟にて8成分のデータを記録し続けたが、越冬終了時の雪が解けた時期に電極を確認したところ、もともとあった8本の電極のうち、2本の電極のケーブルが断線していることが判明した。

現在のデータから、昭和基地の地下の電気構造を推定するため、これらのデータを互いに直交する電場のデータに変換する作業を続けている。地電流のデータと地磁気のデータを組み合わせれば、少なくとも昭和基地直下の電気伝導度の水平成層構造モデルを構築することができる。



図1 2006年1月現在の地電流電極の位置と地学棟に引き込まれているケーブル。

## 南極昭和基地におけるGPSブイ潮位観測

江川 晋子 (日本水路協会)、上村 剛史 (総研大)、坂中 伸也 (秋田大)、  
渋谷 和雄・土井 浩一郎・青山 雄一 (極地研)

### Tidal Observation with GPS buoy at Syowa station, Antarctica

Kuniko Egawa (Japan Hydrographic Association), Takeshi Uemura  
(Graduate Univ. for Advanced Studies), Shinya Sakanaka (Akita Univ.),  
Kazuo Shibuya, Koichiro Doi, Yuichi Aoyama (NIPR)

#### 1. はじめに

南極昭和基地の西の浦では、これまで水圧式験潮儀 (海上保安庁・海洋情報部, Odamaki et al., 1999)の他に、海氷上に設置したGPSによる潮位観測が行われてきた(Aoki et al., 2002)。GPSを活用した潮位観測は、利便性に加え、海面の地球中心からの位置を測定できる有意性を持つ。しかし海氷上での観測は、海氷が十分な厚さとなる時期に限られていた。そこで本研究では、GPSによる通年の潮位観測を目指してGPSブイによる潮位観測手法を開発し、夏季の西の浦において観測を実施した。

#### 2. システム

GPSブイの主要なシステム構成要素を以下に示す。

- ・ GPS/GLONASS受信機 (JNS社製 LEXON GGD)
- ・ アンテナ (JNS社製 MarAnt GGD)
- ・ 密閉式鉛蓄電池 (12V24AH)  
(2個を並列接続。6日程度の連続観測が可能)
- ・ ブイ本体 ((株)ゼニライトブイ)
- ・ 浮輪
- ・ アンカー

次に観測時のシステム構築手順を示す。

- 1) 円柱と半球を組み合わせた形のブイ本体に、密閉式鉛蓄電池2個、及び受信機を収納。金属製の円盤をかぶせる。
- 2) 円盤にアンテナを固定し、蓄電池、受信機、アンテナを接続する (写真1 (左) 参照)。受信機の電源を入れ、衛星データの受信を開始。
- 3) 半球状のふたをし、金属製パッキンをはめ、密封する (写真1 (右) 参照)。
- 4) ブイ本体に発泡スチロール製の浮環をはめる。
- 5) ブイを観測地点に運び、漂流防止のアンカーを下ろす。また、陸上からのぼしたロープを浮環につなぐ。

手順3)で防水、4)で浮力の確保・転倒防止・海氷等による衝撃緩和を図っている。5)により、ブイを係留し、ブイが沖合へ流されることを防いでいる。

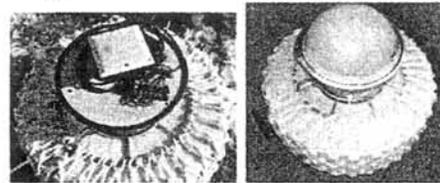


写真1 (左) ふたを取ったGPSブイ (円盤上の四角形がアンテナ)

(右) ふたをしたGPSブイ

### 3. 観測

GPSブイは西の浦の験潮所沖、約30m（水深約12m）の海上に設置した。昭和基地内のGPSボルト点（SYBL）を基地局とし、キネマティックGPS測位を行なった（サンプリング間隔は1秒）。

観測期間は2005年2月8日から5月27日である。表1に、データを取得した期間を示す。表の解析状況欄では、○がGPS解析ソフトPinnacleにより測位解析が可能だったこと、△が読み取りエラーなどにより、そのままでは解析がうまくいかなかったことを表している。

表1 GPSブイによる観測（2005年）

期間	解析状況
2/8-2/10	○ (3/9は△)
3/8-3/14	○ (3/8は△)
4/8-4/14	△
4/22-4/26	○
5/9-5/16	△
5/19-5/27	△

表に示した各観測期間において、GPSブイの設置方法は海氷の厚さに応じて変えた。2月はゴムボートを使用し、設置点までGPSブイを曳航（写真2参照）後に、アンカーを下ろして係留した。海氷が発達した3月以降は、ブイを橇に載せ海氷上を歩いて運び、海氷に穴を開けて設置した。

海氷の厚くなった5月末にブイを撤収した。6月より三脚を用いた海氷上GPS観測へ移行した。



写真2 GPSブイ設置風景（2/8）

### 4. 結果

図1に2005年3月9日～14日の期間のGPSブイによる潮位観測結果を示す。図中実線で示した海上保安庁・海洋情報部による験潮儀データ（サンプリング間隔：30秒）に比べ、点で示したGPSブイによる潮位観測値（サンプリング間隔：1秒）は短周期の変動が顕著であり、またこの期間中に3回程度大きな擾乱が見られるが、両者の変化の傾向はよく一致している。GPSブイが海氷上GPS潮位観測同様に、海洋潮汐による潮位変化を検出していることが示された。現在は、短周期変動や不規則擾乱の要因について調査を進めている。

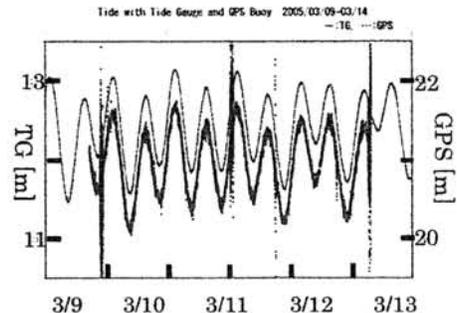


図1 2005年3/9～3/14の観測例  
（上の実線が験潮儀データ、下がGPSブイデータ）

## 5. まとめ

昭和基地において、海氷がとける夏季に、ブイを用いたGPS潮位観測を実施した。GPSブイにより取得されたデータは、西の浦での海洋潮汐による潮位変化をよく表している。今後の課題として、解析事例を増やし詳細なデータ解析を行なうとともに、通年観測に向けたGPS潮位観測システムの改善（データ取得・転送方法などを含む）を進めていきたい。

## 謝辞

本観測を実施するにあたり、海上保安庁・海洋情報部、とりわけ第46次南極地域観測隊員の尾形淳、鈴木和則両氏には、観測システム構築、資材の提供等で多大な支援を頂いた。株式会社ゼニライトブイにはブイ本体を提供して頂き、ブイ内部に機材全てを収める上でも協力頂いた。北海道大学・低温科学研究所の青木茂博士には、本観測を立ち上げるにあたり、多大なアドバイスを頂いた。

観測の実現は、第46次南極地域観測隊員の協力による。特にフィールドアシスタントの山崎哲秀氏、越冬隊長の渡邊研太郎氏には、安全に観測を遂行する上で大変お世話になった。岡林功、長谷川恭久の各氏には、GPSブイ設置・回収の際、度々協力を頂いた。岡林氏は、ケーブルの加工といった技術的な支援もして下さった。

本研究で使用した験潮儀の潮位データは、海上保安庁・海洋情報部によるものである。厳しい環境の下、定常的な潮位観測が継続されてきたことにも敬意を表したい。

## 参考文献

- Aoki S., K. Shibuya, A. Masuyama, T. Ozawa and K. Doi: Evaluation of Seasonal Sea Level Variation at Syowa Station, Antarctica, Using GPS Observations, *J. Oceanogr.*, Vol. 58, pp. 519-523 (2002).
- Odamaki M., K. Oikawa, A. Masuyama and S. Namiki: Tidal observation results around Syowa Station, Antarctica, paper presented at The 19th NIPR Symposium on Antarctic Geoscience, Tokyo, Oct. 14 to 15, 1999.

## GRACEの衛星重力データを用いた南極の地域的な氷床変動の研究

山本圭香, 福田洋一 (京都大学大学院理学研究科)

A study of regional ice sheet mass variation in Antarctica using GRACE data

Keiko Yamamoto, Yoichi Fukuda (Graduate School of Science, Kyoto University)

## 1. はじめに

南極氷床変動の研究に GRACE の衛星重力観測データを利用することの最大の利点は、大陸全体での質量収支を見積ることができることであり、これはグローバルな水収支、海面変動、気候変動の研究などにも大きく寄与する。

一方、南極氷床の変動速度は、地理的、地質学的特性の違いなどを反映して、それぞれの地域ごとに異なっており、その詳細を調べることは、氷床変動のダイナミクスを知る上で重要である。

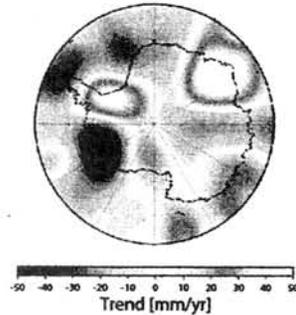
2002 年3月の GRACE の打ち上げ以後、GRACE のデータはすでに約 4 年以上蓄積されており、年周変動だけでなく、比較的長期のトレンド成分の見積もりも可能となっている。本研究では、特にトレンド成分に注目し、南極の氷河流域、棚氷といった比較的小スケールの地域(約数 100 - 1000km)での質量変動を見積もった。

## 2. データ処理

処理に用いたデータは、2002 年 4 月から 2006 年 5 月(一部欠測含む)の 1ヶ月ごとの GRACE Level 2 monthly gravity field solution (UTCSR RL01) である。このうち、 $C_{20}$  項については、GRACE 解の誤差が大きいことが知られているため、Cheng and Ries (2006)による SLR 解を用いた。重力場の変動成分は、それぞれの期間のデータから全期間の平均値を差し引き計算した。

次に、変動成分にグローバルフィルタ(Wahr et al., 1998)を適用し、短波長の誤差を除去した後、トレンド成分の空間的な分布を知るため、各空間グリッドでの質量変動データに、年周とトレンド成分を仮定したフィッティングをおこなった。得

られたトレンド成分を以下に示す。



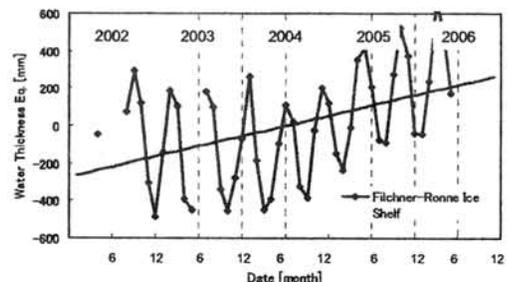
フィルタリングによって得られた約 4 年の GRACE データのトレンド成分。

図から、(1) - (4)で示された、顕著なトレンドを示す 4 つの地域があることがわかる。

## 3. 地域的な質量変動

上記の 4 つの地域に対して、Swenson et al. (2003)による地域的な最適フィルタを適用し、それぞれの地域でのより詳細な質量収支を見積もった。その結果を以下に示す。

## (1) Filchner-Ronne Ice Shelf

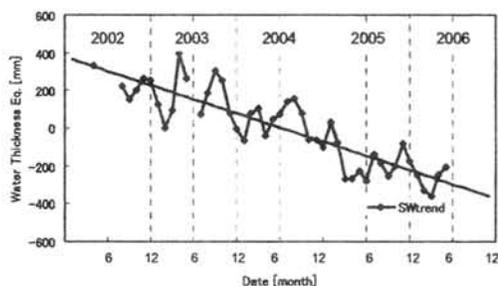


トレンド成分: 110.5 mm/yr (水当量換算)

GRACE のデータ処理では、海洋潮汐の影響は

海洋潮汐モデルによって補正されているが、この地域では、モデルの値が含まれていないことが知られている。このため、補正されていない海洋潮汐による短周期の質量変動が1ヶ月の重力場の見積りにエイリアシング誤差として反映されている。この誤差は、さまざまな分潮の重ねあわせであり、長期のトレンドの見積りにも影響をおよぼす可能性が指摘されていた。しかし、シミュレーションによってこの影響を見積もった結果、約4年分のデータを用いた見積もりでは、エイリアシングの影響は小さく、得られた大きな正のトレンドをこの誤差のみで説明することはできないことが判明した。

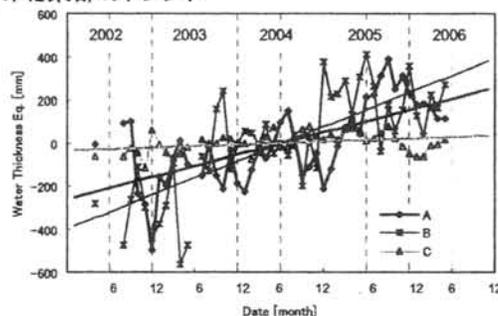
## (2)南西部のトレンド



トレンド成分:  $-151.5 \text{ mm/yr}$  (水当量換算)

この地域では、Davis et al. (2005)が衛星レーダ高度計データを用い、1992年から2003年のトレンドとして約 $-160$ から $-140 \text{ mm/yr}$ の値を報告している。これは図のGRACEの結果と調和的である。

## (3)北東部のトレンド



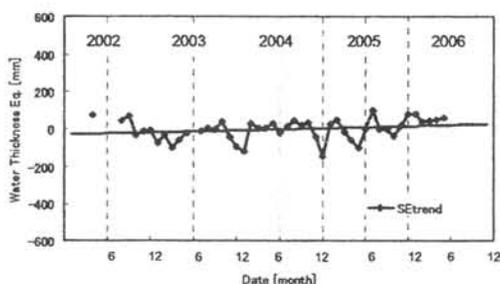
トレンド成分: A  $106.1 \text{ mm/yr}$ , B  $162.2 \text{ mm/yr}$ , C  $14.6 \text{ mm/yr}$  (水当量換算)

この地域は主に3つの主要な氷河流域からなっており、以下のそれぞれの流域に対して、トレンドの見積もりをおこなった。

正のトレンドはCの流域でほとんど見られず、Aのしらせ氷河付近からBのナピア岩体付近で大きな正のトレンドを示し、特にナピア岩体付近で最大となる。

## (4)南東部のトレンド

他地域に比べ値は小さいが、正のトレンドが観察された。



トレンド成分:  $12.0 \text{ mm/yr}$  (水当量換算)

講演では、それぞれの変動要因について、陸水、ポストグレイシャルリバウンドモデルによる見積もりとの比較や、考えられる誤差要因についての検討結果についても報告する。また、その結果、地域的な質量変動のトレンドとともに、東南極域、西南極域、また南極全域での質量変動の見積もりがどの程度変化するかについても考察する。

## REGIONAL ISOSTASY OF SOUTHEAST INDIAN RIDGE

KHAMIS, Hamad Bakar - University of the Ryukyus  
 MATSUMOTO, Takeshi - University of the Ryukyus  
 NOGI, Yoshifumi - National Institute of Polar Research

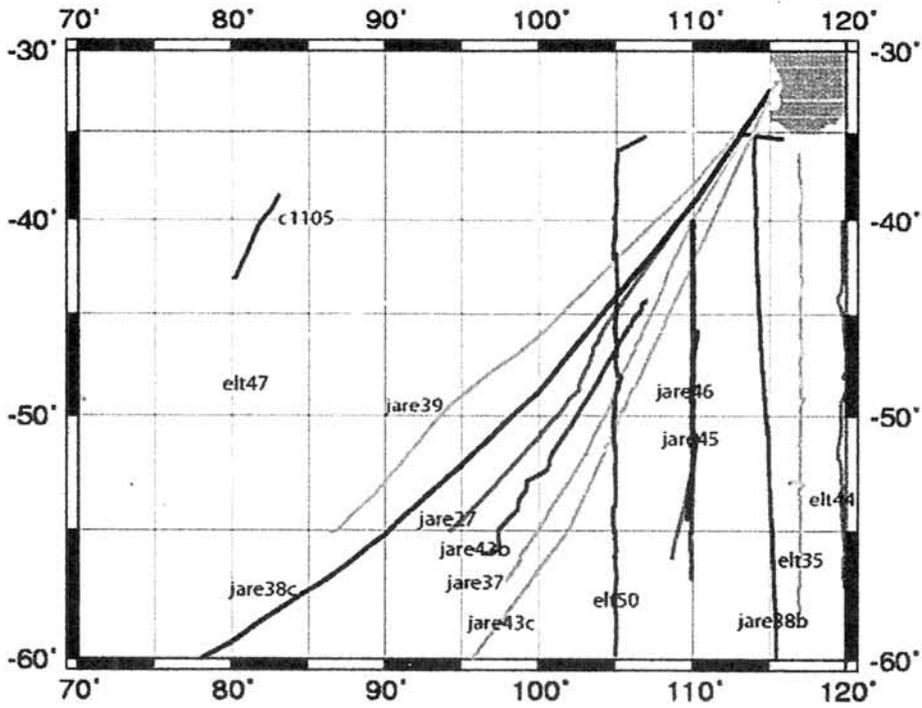
The Southeast Indian Ridge (SEIR) separates the Indo-Australian and the Antarctic plates. It extends from Macquarie to the Rodrigues Triple Junctions. Rifted high morphology is common structure in the SEIR which is the most observed along the East Pacific Rise but also axial valley morphology exists in the eastern part of SEIR as observed along the Mid-Atlantic Ridge. Therefore the study region shows both fast and slow spreading Mid-Oceanic Ridge characteristic. In this study the area between 70°E to 120°E and 30°S to 60°S along the SEIR was covered. (Fig.1). Therefore the study area is between Amsterdam hot spot to the west and Australian-Antarctic Discordance to the east.

The gravity and topography data along several profiles selected across the SEIR have been analyzed using cross-spectral analysis in order to investigate the isostatic compensation of the region. The geophysical data in this study was obtained from SHIRASE data during Japanese Antarctic Research Expedition and NGDC marine track line data used for analysis are plotted in Fig. 1.

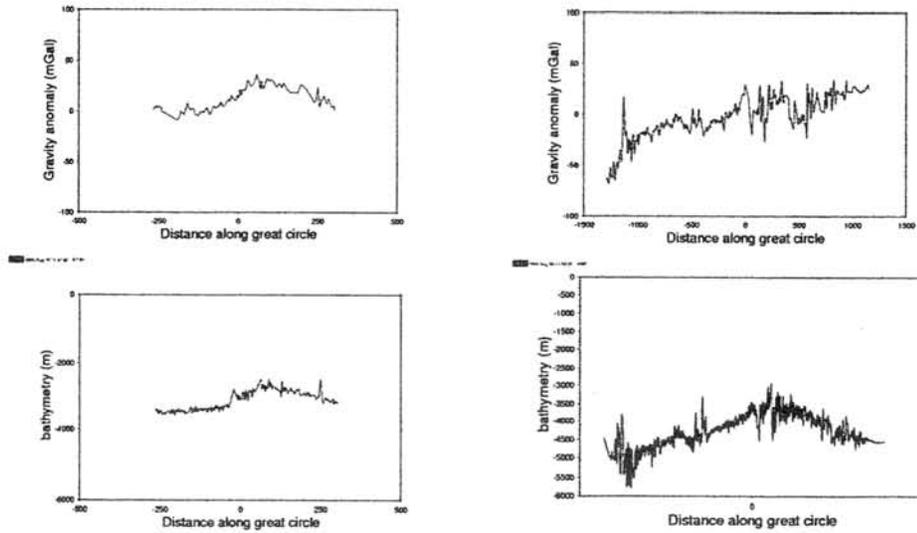
The geophysical investigation conducted in this study (Fig.2) shows that the isostatic compensation is less in the western part of the study area than in the eastern, and the elastic thickness range between 24km to 11km.

The previous studies show that the eastern and western parts of SEIR have different morphology on the ridge topography. Axial high, shallow axial valley and Mid-Atlantic Ridge type deep axial valley are observed along the ridge although the whole SEIR is characterized by intermediate spreading rate. Axial depth increases by 2100m, while off-axis depth increased only by 500m toward the east. Also the SEIR shows systematic pattern in roughness between axial high and axial valley. The presence of a magma chamber in the western part of the study area implies weaker axial lithosphere and this cause the roughness to be lower near the center of the segments relative to the segment ends.

The results of these previous works are consistent with the result of analysis in the current gravity study.



**Figure1.** The track lines covering the study area taken from SHIRASE data and NGDC marine track line data.



**Figure2.** Free Air Anomaly (upper) and topography (lower) from most western part (left) and most eastern part (right) of the study area.

## 海底地形・地磁気異常に基づく南西インド洋海嶺の発達史

松本 剛(琉球大学), A. Graham Baines, Michael J. Cheadle(ワイオミング大学),  
Henry J.B. Dick(ウッズホール海洋研究所), Allegra Scheirer(米地質調査所)

### The evolution of Southwest Indian Ridge based on seafloor topography and geomagnetic anomaly

Takeshi Matsumoto(Univ. of the Ryukyus), A. Graham Baines, Michael J. Cheadle(Univ. Wyoming),  
Henry J.B. Dick(Woods Hole Oceanographic Institution), Allegra Scheirer(U.S. Geological Survey)

#### 1. 序

南西インド洋海嶺(SWIR)は、南極プレートとソマリアプレートとの間のプレート発散境界である(図1)。56° Eより東の領域では、どのセグメントについてもほぼ均一に両側拡大速度約14km/Myrで南北方向に拡大する「超低速拡大海嶺」である。SWIRのこの領域は、約64Ma以来のインド洋海嶺三重会合点(RTJ)の東北東方向への伝播により形成されたものである。

#### 2. 南西インド洋海嶺の地域差

SWIRは、海嶺軸セグメントの構造、海嶺軸を分断するトランスフォーム断層(TF)・断裂帯(FZ)、中軸の平均水深等に基づいて、西から東に向かって、次の3つのセクションに分類される(図1参照)。

- (1) Indomed TF・Gallieni TF間(46° E-52° E) : 海嶺の走向は070° N、中軸の平均水深は3090mである。部分熔融の割合はSWIRでこのセクションが最も大きく(Meyzen et al., 2003)、また地殻の厚さは約6kmである(Cannat et al., 1999)。地形的には64kmの平均的な長さのセグメントから成るが、2つの大きい(相対的に30mgal以上の)低マントルブーゲー異常(MBA)が約120kmの間隔で分布している。
- (2) Gallieni TF・Melville TF間(52° E-61° E) : 海嶺の走向は045° N、拡大軸間のずれは大きく、また顕著な平行な断裂帯があることにより、鋸歯状の地形形態となっている。中軸の平均水深は4330mであり、地殻の厚さは約4kmである(Muller et al., 1997)。地形的なセグメントの平均の長さは約70kmであるが、これらはMBAによって定義された重力のセグメントと良い相関を示す。この海域の顕著な断裂帯の起源として

は、海底拡大の方向が変化した際に(後出)、拡大軸が拡大方向と直交になる様に再配列したことによる(Patriat et al., 1997)、或いは、三重会合点が東北東に向かって伝播している際に不安定な運動を行っていたこと(Patriat and Courtillot, 1984; Dymont, 1993)によると考えられている。

(3) Melville TF・RTJ間(61° E-70° E) : 海嶺の走向は025° E。中軸の平均水深は4730mである。海嶺下の部分熔融の割合は小さく、地殻の厚さは約2.7kmであり、Gallieni TFの西側に比べて、地殻直下のマントルの温度が80°低いと推定されている(Cannat et al., 1999; Meyzen et al., 2003)。Muller et al. (1999)によれば、66° E付近での屈折法地震探査の結果は、地殻の厚さが平均4kmであるものの、2~6kmと変化が大きいことを示している。また、Melville TFの西側に比べてセグメント配列は不規則であり、MBAとの相関は良くない(Rommevaux-Jestin et al., 1997)。このことは、地形の高まりがアイソスタシー補償されておらず、リソスフェアが冷たく厚いことを示唆している。

#### 3. 南西インド洋海嶺の拡大史

図1はまた、海嶺軸を分断するTF、FZの向きがSWIR全体に亘って一斉に変化していることを示している。すなわち、海嶺軸(年代ゼロ)から19.2MaまではN0° E、19.2Maから40Maまでは10° E、40Ma以前はN335° Eとなっている。従って、南極・ソマリアプレートの拡大方向は、40Maに時計回りに35°回転し、更に19.2Maに反時計回りに10°回転して、今日に至っていることになる。

#### 4. 南西インド洋海嶺の拡大の非対称性とそれに伴うセグメント境界のオフセット長の変化

一方に於いて、「よこすか」YK01-14などの地磁気全磁力観測に基づき、各セグメントの拡大速度を求めた。結果を下記の表に示す。単位は km/Myr (=mm/yr) である。

セグメント	北側	南側	両側
- (Gallieni TF) -			
GA-3	6.9	6.8	13.7
GA-4	8.7	5.5	14.2
- (Atlantis TF) -			
AN-1	5.6	8.6	14.2
AN-2	4.6	9.4	14.0
- (Novara TF) -			
NM-1	6.7	6.8	13.5
- (Melville TF) -			
MR-1	6.4	7.8	14.2
- (Rodriguez TJ) -			

ここで、セグメント名は、これらを挟む TF (first-order segment boundary に分類される) の名称の頭文字と、西から東に向かって増加する番号により付されている。上記の様に、両側拡大速度は海嶺全体でほぼ一定であるのに対し、片側拡大速度の非対称性はセグメント間でかなり違いがある。このことは、海嶺軸オフセットの長さが時代と共に変化し、それに伴ってプレート境界の形状も変化していったことを示唆している。以下、56° 30' E NTD (NTD = Non-Transform Discontinuity, 非トランスフォーム性のセグメント境界: second-order segment boundary に分類される) 及び Atlantis II TF (図2参照) について、オフセット長の変化を考察する。

56° 30' E NTD について、西側のセグメント GA-3 は 19.2Ma 以来ほぼ対称な拡大速度を示している一方で、東側のセグメント GA-4 は北側が速い非対称な拡大を示している。このことは、両者の境界に当る現 NTD のオフセットが過去より小さくなっていることを示唆している。すなわち、オフセットは 1.8km/Myr の割合で短縮していることになる。この NTD の現在のオフセットが 11km であることを考慮すると、19.2Ma にはこ

のオフセットは約 45km の長さであり、TF を形成していたことになる。

Atlantis II TF については、この TF を境として、非対称性のセンスが変わっている。すなわち、これより西の GA-4 では北側が高速であり、東側の AN-1 では南側が高速である。拡大速度を考慮すると、この TF は 25.7Ma 以来ずっと平均して約 3.6km/Myr の速さで伸びていなければならない。これは、TF の長さが 25.7 Ma 以来 90km 以上伸びていることを示している。TF が成長した理由は不詳であるが、西隣の 56° 30' E 「palaeo TF」 のオフセット長が縮小したと関連しているかもしれない。しかし、Atlantis II TF は、56° 30' E のオフセットが短縮したより速く伸張したことになる。

アトランティス II TF のこの伸長率が TF 形成以来一定であったとすると、SWIR がこの位置で形成された 55Ma にはその長さはゼロであったことになる。すなわち、Atlantis II TF は RTJ が伝播していた時にはまだ形成されておらず、それ以降形成され、オフセット長が拡大していったと考えられる。

#### 5. 南西インド洋海嶺拡大系の形状の変化と2度の拡大方向の変化との関係

SWIR 拡大系の形状は、上記の例に示す如く、形成以来一様に発達してきたのではなく、2度の拡大方向の変化 (40Ma における 35° の時計回りの回転、19.2Ma における 10° の反時計回りの回転) に呼応して、発達の様式が変化したと考えられる。拡大方向が変化した際に拡大軸の位置が変わっていなければ、斜向拡大を惹き起こすことになるが、その後の拡大軸セグメント (特に first-order segment) の位置については、斜向拡大を解消し、より直交拡大に近付く様に拡大軸セグメントが回転したものと考えられる。

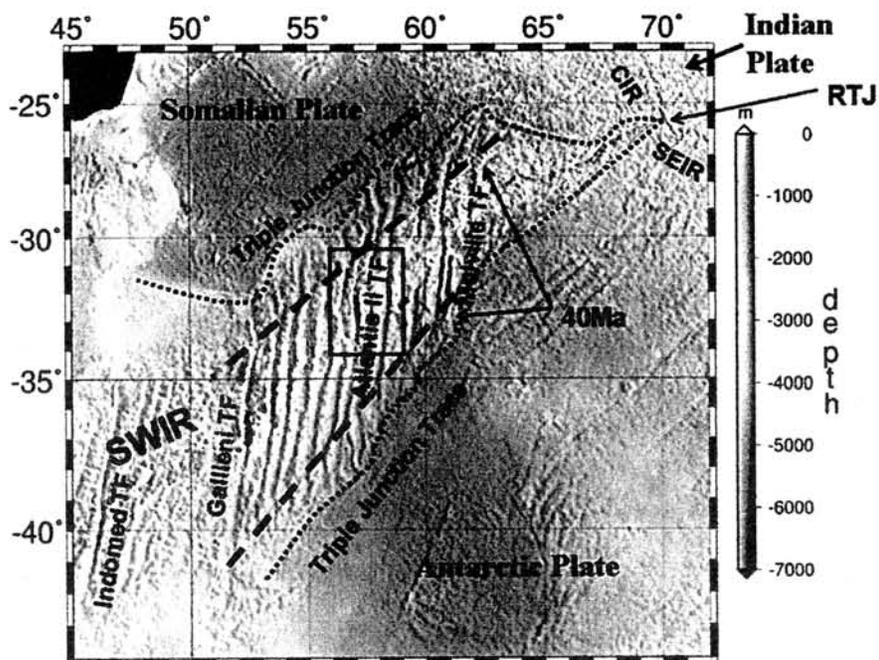


図1：南西インド洋海嶺(SWIR)の海底地形。地形データは Sandwell and Smith(1997)による。  
 □で囲まれた領域は図2の領域に当る。

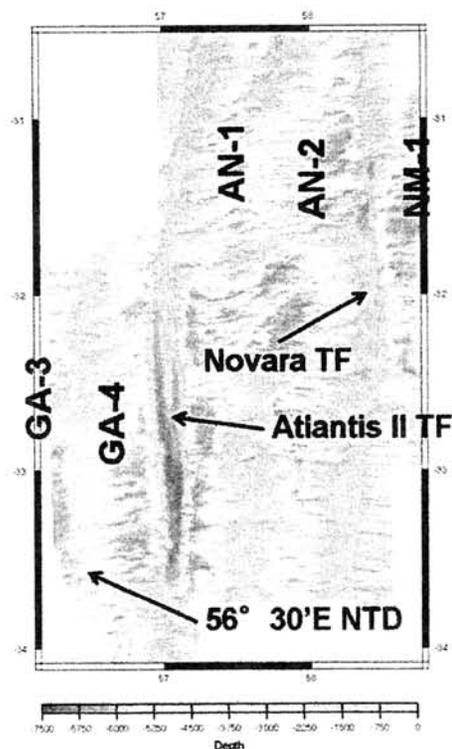


図2：56° 30' E NTD, Atlantis II TF 周辺の海底地形。松本・他(2003)を一部改変。地形データは、海洋研究開発機構の調査船「よこすか」・「かいいい」による。

## SKS 波スプリッティングパラメータを用いた 南極プレート下の上部マントル異方性

臼井 佑介(機構・融合センター), 金尾 政紀(極地研)

### Upper mantle anisotropy beneath the Antarctic plate using splitting parameter of teleseismic SKS phases

Yusuke USUI (TRIC), Masaki KANAO (NIPR)

#### はじめに

遠地地震の S 波スプリッティング解析により、リソスフェアまたはアセノスフェア内の方位異方性の存在が明らかになってきている。多くの地震学的観測や岩石実験などにより、これらの異方性は、テクトニックな応力を受けたオリビンの選択配向によるものであることが分かっている。観測された S 波スプリッティングから、異方性の強さ、方向を求めることで、超大陸の衝突や分裂に関する過去のテクトニックな変形を理解できる。

本研究では、南極昭和基地(SYO)周辺の沿岸地域に設置された広帯域地震波形データを用いて、南極プレート下の上部マントルにおけるSKS波スプリッティングパラメータを求めた。過去の南極大陸での結果と照らし合わせ、南極プレート運動や大陸の離散集合の変遷史をより理解することを目的としている。

#### データ及び解析手法

解析に使用したデータは、東南極の宗谷海岸に設置された広帯域地震観測点(AKR, LNG, SKL, SKV, TOT)で記録された地震波形を用いた。1999年~2004年の間に、世界各地で起こったマグニチュード6以上の地震から、S/N比の良い地震を選別した。震源パラメータは、ハーバード大のCMT解を用いた。解析を行う前に、観測機器特性をデコンボリューションし、ノイズ除去のため0.02Hz~0.2Hzのband-pass filterを適用した。

本研究では、観測点下の上部マントル異方性について、Silver and Chan (1991)の方法を用いて、SKS波スプリッティングパラメータ( $\delta t$ :時間差、 $\phi$ :早い振動方向の方位)をグリッドサーチにより求めた。SKS波のおよそ1波長分のタイムウインドウを設定し、 $\delta t$ は0~2秒を0.1秒間隔で、 $\phi$ は0°~360°を1°間隔で解析した。それぞれのパラメータの誤差はF検定を適用し、95%の信頼区間から見積もった。

#### 結果と考察

得られた各観測点におけるスプリッティングパラメータ( $\delta t$ ,  $\phi$ )の平均は、それぞれ AKR (1.30±0.2, 30±4), LNG (1.27±0.2, 58±6), SKL (0.94±0.2, 67±10), SKV (1.28±0.3, 40±6), TOT (1.26±0.3, 52±8) である(図1)。これらの値は、標準偏差に反比例する重みを付けた加重平均である。昭和基地(SYO)においては、(0.70±0.1, 49±3)という結果が得られており(Kubo et al.,

1995)、早い振動方向の方位はほぼ一致しているが、時間差はやや大きい。これは、入射角の違いによるものか、または、より複雑な異方性構造が原因であると思われる。

本研究により、東南極の宗谷海岸周辺においては、早い振動方向である $\phi$ が体系的に海岸線に平行な向きに揃っていることが明らかになった。南極大陸は、プレート絶対運動速度が小さいために、観測されている異方性は、現在のアセノスフェアの異方性が混じっている可能性は低く(Kubo and Hiramatsu, 1998)、プレート内の過去に形成された力学的異方性の影響によるものであると考えられている(久保・平松, 2001)。この地域における上部マントルの異方性は、大陸の衝突及び分裂の際に受けた変形によって形成された仮説をより支持するものとなった。

今後の展望としては、リソスフェアとアセノスフェアを別々に考慮した異方性の解析を行いより詳細な異方性構造を求め、プレート運動、プレート内変形、大陸の衝突及び分裂に関連した異方性の形成過程を明らかにしていきたい。

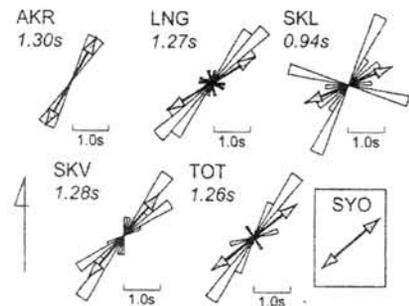


図1: 観測点ごとのSKS波スプリッティングパラメータ( $\delta t$ ,  $\phi$ )のローズダイアグラム。

#### 参考文献

- Silver, P. G., and Chan W. W., 1991: Shear wave splitting and subcontinental mantle deformation, *J. Geophys. Res.*, **96**, 16,429-16,454.
- Kubo, A. and Hiramatsu Y., 1998: On presence of seismic anisotropy in the Asthenosphere beneath continents and its dependence on plate velocity: Significance of reference frame selection, *Pure appl. geophys.*, **151**, 281-303.
- 久保篤規・平松良浩, 2001: 南極大陸の地震波速度異方性の研究, *月刊地球*, **35**, 37-43.

## レシーバー関数解析から求めたリュツォ・ホルム湾沿岸域の マントル不連続面の構造

井上智史、趙大鵬、山田朗(愛媛大 GRC)

金尾政紀(国立極地研究所)、臼井佑介(新領域融合研究センター)

### The structure of mantle discontinuities under the Lutzow-Holm Bay region estimated from receiver function analyses

Tomofumi Inoue, Dapeng Zhao, Akira Yamada (GRC, Ehime University)

Masaki Kanao (NIPR), Yusuke Usui (TRIC)

南極大陸下のマントル構造の研究の一例として、表面波や遠地地震を用いた研究があげられる(例えば、Kobayashi and Zhao, 2004; Lawrence et al., 2006)。これらの結果から、南極下の速度や減衰構造、不連続面の形状などが報告されている。しかし、その解析手法や南極大陸の観測点分布による制限などから、南極大陸下のマントル遷移層の構造は、北半球の大陸下で得られているような広範囲にわたるものではない。

本研究では、昭和基地及びリュツォ・ホルム湾沿岸露岩域に設置された広帯域地震計で記録された遠地地震波形記録を使用してリュツォ・ホルム湾沿岸周辺におけるマントル不連続面の深さを推定した。

図1に解析に用いた観測点と地震の分布を示す。解析には、昭和基地の観測点データと JARE-37 から開始された、沿岸観測点で記録された地震波形データを使用した。解析期間は、昭和基地については1990-1999年、沿岸データについては1999-2004年である。使用した地震は、震央距離30-90度で発生したマグニチュード6.0以上のものを用いた。これらのデータセットから、Ai et al. (2003)のプログラムを使用してレシーバー関数を作成し、一次元速度モデル(iasp91)を用いて不連続面の深さを推定した。

Ps変換点の位置を図2に示す。図1と図2から分かるように、地震は観測点の東-南東、南西の2地域に分布しているため、推定する不連続面の位置は大陸下のみに限られる。本講演では、この2地域における不連続面の深さについて議論する。



図1. 解析に用いた観測点(▼)と地震(●)の分布

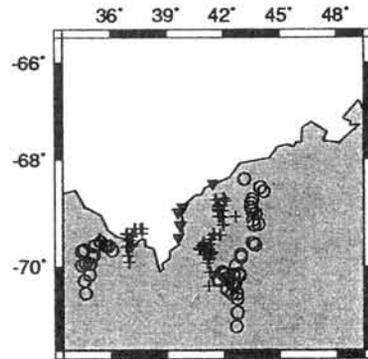


図2. 観測点(▼)と410(+),660(O)不連続面での変換点の位置

#### <文献>

- Kobayashi and Zhao (2004) *Phys. Earth Planet. Inter.*, 141, 167-181.  
 Lawrence et al.(2006) *Geophys. Res. Lett.*, 33., L03303.  
 Kennett and Engdahl (1991) *Geophys. J. Int.*, 105, 429 - 465.  
 Ai et al. (2003) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 212, 63 - 71.

第 26 回極域地学シンポジウム

ポスター発表要旨

The 26<sup>th</sup> Symposium on Polar Geosciences

Abstracts for Poster Presentation

**Rundvågshetta 産黒雲母-ザクロ石片麻岩の Rb-Sr・Sm-Nd 鉱物年代**  
 宮本知治(九州大), 吉村康隆(高知大), 本吉洋一・D.J.Dunkley(極地研)  
**Rb-Sr and Sm-Nd mineral ages of biotite-garnet gneiss from Rundvågshetta,**  
**East Antarctica**

T.Miyamoto (Kyushu Univ.), Y.Yoshimura (Kochi Univ.), Y.Motoyoshi (NIPR),  
 D.J.Dunkley (NIPR)

Lützow-Holm Complex consists of amphibolite to granulite facies metamorphic rocks in East Antarctica. Reconstruction of metamorphic pressure-temperature-time (P-T-t) path is an important work in the complex task of unravelling the tectonic evolution of mountain belts. Considerable geochronological works have been done for identification of the metamorphic age of each outcrops and relation to the neighbor terranes, and reconstruction of landmark during past plate-movement. Dating results got by SHRIMP U-Pb dating method and CHIME method concentrated to 520-550 Ma, and were regarded as the period of peak metamorphism at the Lützow-Holm Complex (Shiraishi *et al.*, 1994). Many chronological studies decide the timing of peak metamorphism and the ages of older igneous activities from detrital materials in the Lützow-Holm Complex; however, chronological studies for post-peak thermal evolution are few.

The Rundvågshetta is a south exposure with the highest metamorphic grade on the Lützow-Holm Complex. The basement rocks of Rundvågshetta are granulite facies metamorphic rocks as pyroxene gneiss, biotite-hornblende gneiss, garnet-biotite gneiss and garnet gneiss (Motoyoshi *et al.*, 1989; Hiroi *et al.*, 1991). Yoshimura *et al.* (2003) founded a quartz-sapphirine coexisting as inclusion in garnet from sapphirine-garnet-orthopyroxene. Fraser *et al.* (1995; 2000) suggested cooling history of Rundvågshetta after combination SHRIMP U-Pb age of zircon with K-Ar and Ar-Ar mineral ages for metamorphic rocks and previously reported P-T path during metamorphism. It is important that regional dating results with common method are necessary for considering about geological history. Rb-Sr and Sm-Nd dating methods are popular and applied for other localities of Lützow-Holm Complex to reveal the age of geothermal activities, however, here are poor reports about for southern area of Lützow-Holm Complex including Rundvågshetta. Therefore, we analyzed Rb-Sr and Sm-Nd isotope compositions of rock sample for precise understanding of P-T path after peak

metamorphism of Rundvågshetta.

A sample for dating is a block composed of garnet-pyroxene gneiss and garnet-biotite gneiss bounded by quartzo-feldspathic layer with 5mm thickness. The garnet-pyroxene gneiss is composed of garnet, orthopyroxene, plagioclase and quartz. Ilmenite and apatite are present as a minor phase. Grain sizes are 1mm or less. The garnet-biotite gneiss forms a layer with 1 to 4 cm thickness. The gneiss is composed of garnet, biotite, orthopyroxene, plagioclase, and quartz. Ilmenite and apatite are present as a minor phase. Some garnet, orthopyroxene and biotite are coarsened up to 5mm, and partly aggregated to clusters in the layer. The coarse garnet and orthopyroxene include fine quartz, plagioclase and biotite. In the matrix, the coarse garnet and orthopyroxene are mantled by coarse biotite.

Small (0.25-0.35mm scale) garnet, biotite and felsic fraction collected from the garnet-biotite gneiss were analyzed with pulverized powder of the gneiss. Rb-Sr isotope compositions of the bulk rock and mineral fractions plot linearly on the isochron diagram. The regressed line has a slope with an age of  $458 \pm 1$  Ma, and intercept at  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.74915 \pm 0.00037$  on the isochron diagram. Sm-Nd isotope compositions of bulk rock and mineral fractions also define a line with an age of  $451 \pm 5$  Ma, and intercept at  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51129 \pm 0.00004$ . Biotite is only found in layered garnet-biotite gneiss in the rock sample that is composed of unhydrous minerals. Coarse garnet and orthopyroxene include fine biotite, and mantled by coarse biotite. Thin quartzo-feldspathic layer is found next of the garnet-biotite layer. Rb-Sr and Sm-Nd isotope compositions show similar isochron ages. This probably shows that the biotite formed during a hydrothermal activity after forming associated rock during metamorphism. And, the activity could be coarsened garnet and orthopyroxene. Fraser *et al.* (1995) defined K-Ar biotite age with  $445.1 \pm 5.1$  Ma for linear pegmatite from Rundvågshetta. The hydrothermal activity was probably related to the pegmatite intrusion.

## 東南極・セールロンダーネ山地北東部に産出するザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩に見られる離溶組織

足立達朗 (総合研究大学院大学 極域科学専攻)

### Exsolution textures in Grt-Sil-Bt gneiss from the northeastern group of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Tatsuro Adachi (The Graduate University for Advanced Studies),

東南極セールロンダーネ山地は約5億年前のゴンドワナ形成時の総延長3千キロに及ぶ大陸衝突帯である East African-Antarctic Orogen (EAAO) に位置し、大陸衝突に伴う変動の記録が残されていることが期待されることから、大陸地殻物質の挙動を探るには最適な研究対象である。

セールロンダーネ山地は様々な変成岩類とそれらに貫入した深成岩類から構成されている。変成岩類はマイロナイトを伴う大規模な衝上断層帯であるセールロンダーネ縫合帯(Sør Rondane suture, Osanai et al., 1992)を境界に北東部グループと南西部グループに区分され、異なる岩相および変成相を示す岩石が分布している。

南西部グループはメタトータル岩、角閃石片岩、泥質片岩などから構成されており、角閃岩相~緑色片岩相以下の変成条件を示す。北東部グループは泥質片麻岩、輝石角閃岩、石灰珪質片麻岩から構成され、グラニュライト相の変成条件を示す。これまで北東部グループの変成履歴に関しては750-850°C、7-8kbar のピーク変成条件が見積もられてきた。(Shiraishi & Kojima, 1987; Asami & Shiraishi, 1987; Osanai et al., 1988; Asami et al., 1992; Shiraishi et al., 1991)

本研究では、JARE26~28、31 次隊によって採取された Austkampane, Balchenfjella, Brattnipene, Menipa に産するザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩試料の解析をおこなった。上記4地点においてこれらの岩石は共通して主にザクロ石、珪線石、

黒雲母、アルカリ長石、斜長石、石英からなり、他にイルメナイト、スピネル、ジルコンなどが含まれることがある。しばしばザクロ石のポーフィロクラストを含み、黒雲母、珪線石が規定するフォリエーションが認められるものもある。

黒雲母と珪線石は隣接して産することが多い。また黒雲母は放射状の集合体をなして産することがある。それらの中に以下のような離溶組織を見出した。

確認した離溶組織は主にザクロ石中のルチル(Fig. 1)、石英中のルチル(Fig. 2)である。ザクロ石中のルチルは、おおよそ30~500 $\mu\text{m}$ の針状で、多くは三方向の定向配列を示す。離溶ルチルはザクロ石粒子中に均質に存在することが多いが、リム部では減少することが多い。石英中のルチルは約50 $\mu\text{m}$ 程度の短針状で石英粒子全体に存在する。これらは超高温変成岩に特徴的に見られる離溶組織と類似する(例えば Tsunogae et al., 2001)。

このような離溶組織の存在はセールロンダーネ山地北東部グループの少なくとも一部の变成岩が超高温条件下での变成作用を経験した可能性を示唆する。すなわち、現在見られる鉱物組み合わせが後退变成作用によって改変された結果である可能性がある。例えば黒雲母の放射状集合体は斜方輝石やザクロ石の、黒雲母+珪線石は堇青石+斜方輝石(ザクロ石)+カリ長石の加水による後退反応生成物である可能性がある。

今後後退变成作用による改変(例えば、加水によ

る含水鉱物の形成や分解反応)の痕跡があるかを再確認し、当地域の最高変成条件について再考する必要がある。

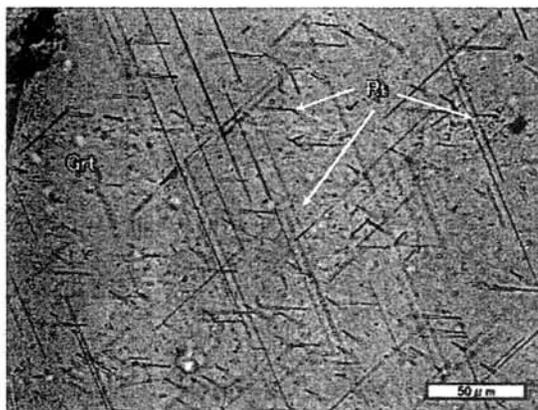


Fig. 1  
Rutile exsolution in garnet in Grt-Sil-Bt gneiss from Austkampane.

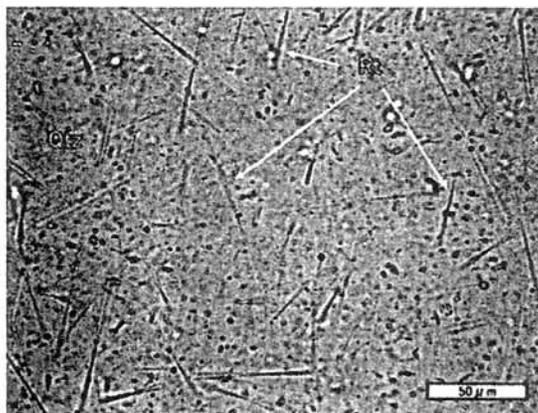


Fig. 2  
Rutile exsolution in quartz in Grt-Sil-Bt gneiss from Austkampane.

#### 謝辞

本研究では JARE26~28、31 次隊地質グループによって採取された試料を使用させていただいた。関係各位に深くお礼申し上げます。

#### 文献

Asami et al. (1992) In: Recent Progress in Antarctic Earth Science (eds. Y. Yoshida et al.) Terra Scientific Publishing Co., Tokyo, 37-44

Asami and Shiraishi (1987) Proc. NIPR Sym. Antarct. Geosci., 1, 150-168.

Osanai et al. (1988) Proc. NIPR Sym. Antarct. Geosci., 2, 170.

Osanai et al. (1992) In: Recent Progress in Antarctic Earth Science (eds. Y. Yoshida et al.) Terra Scientific Publishing Co., Tokyo, 17-27.

Shiraishi et al. (1991) In: Geological Evolution of Antarctica (eds. M. R. A. Thomson et al.) Cambridge University Press, Cambridge, 77-82.

Shiraishi and Kojima. (1987) Proc. NIPR Sym. Antarct. Geosci., 1, 129-179.

Tsunogae et al. (2001) Polar Geosci., 14, 25-38

## 東南極ナピア岩体中の石英中の ferropseudobrookite 離溶組織

三宅亮<sup>1</sup>・外田智千<sup>2</sup>・鳥越洋平<sup>1</sup>Ferropseudobrookite exsolution in quartz from Napier Complex, East Antarctica  
Akira MIYAKE<sup>1</sup>, Tomokazu HOKADA<sup>2</sup>, and Yohei TORIGOE<sup>1</sup>

1: 京都大学大学院理学研究科 (Kyoto Univ.) 2: 極地研 (NIPR)

【はじめに】東南極ナピア岩体は太古代に形成した地殻で、Amundsen 湾周辺には太古代末に最高変成温度が 1100°C を超える超高温変成作用(UHT)を被った変成岩類が分布している。このような超高温変成岩類中の石英には針状結晶が含まれることが知られている。川崙(2004)では石英中の Ti 成分の固容量からその生成温度を見積もる試みがなされている。しかし石英とその内包する針状結晶について詳細な研究はほとんどない。そこで本研究では、Riiser-Larsen 山に産するザクロ石斜方輝石片麻岩中の石英と石英中の針状結晶について(specimen No. R2301A: Hokada, 2001)、ユニバーサルステージを用いた光学顕微鏡観察、走査型電子顕微鏡による EDX 組成分析・EBSD 方位解析および透過型電子顕微鏡を用いて分析・観察を行った。

【結果】SEM-EDX, TEM-EDX および電子線回折により針状結晶は、 $Ti / (all\ Fe) = 約\ 1.46$  である、ferropseudobrookite であると判明した。

ferropseudobrookite - pseudobrookite

化学組成 :  $FeTi_2O_5 - Fe_2TiO_5$

空間群 :  $Bbbm$

格子定数 :  $a = 9.8, b = 10.0, c = 3.8$

次に、ユニバーサルステージや EBSD, TEM により、ferropseudobrookite の伸長方向と石英との方位関係を決定した。その結果、ferropseudobrookite は自身の c 軸に、また石英の c 軸を軸に 6 回対称を持つように伸長している。またそれに対応する石英の方向

は [101], [111], [011], [-101], [-1-11], [0-11] であることが分かった。

【考察】以上の結果より、石英の生成時に Ti, Fe 成分が石英中に固溶し、冷却過程のある段階で ferropseudobrookite として離溶したと考えられる。それらの方位関係が六回対称を持つことから、高温石英時 (10kbar の時 800°C 以上) に離溶したと考えられる。

また、今回観察した ferropseudobrookite は石英中に完全に包有されていることから生成時から元素の置換もほとんどなく、閉鎖系であると考えられる。そこで、Taylor (1964) による 1300°C, 1 atm 条件での酸素分圧アイソプレスを本研究の ferropseudobrookite の組成に適用すると  $fO_2 = 10^{-5} - 10^{-7}$  atm という値が得られる。

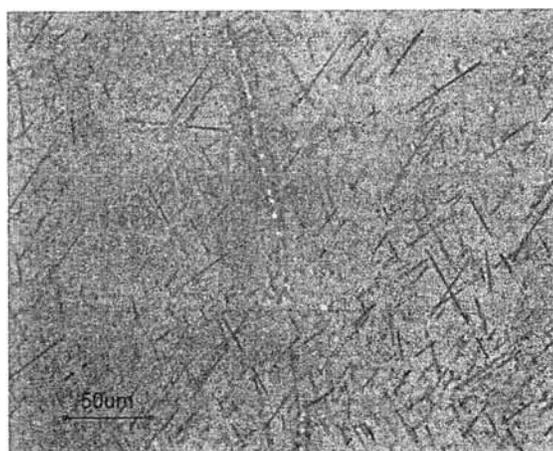


図 東南極ナピア岩体 Riiser-Larsen 山に産する石英中に内包される ferropseudobrookite

REFLECTION IMAGING OF THE CRUST AND THE LITHOSPHERIC MANTLE  
IN THE LUTZOW-HOLM COMPLEX, EASTERN DRONNING MAUD LAND,  
EAST ANTARCTICA, DERIVED FROM SEAL TRANSECT

M. Kanao<sup>(1)</sup>, A. Fujiwara<sup>(2)</sup>, H. Miyamachi<sup>(3)</sup>, S. Toda<sup>(4)</sup>, K. Ito<sup>(5)</sup>, M. Tomura<sup>(2)</sup>, T. Ikawa<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>National Institute of Polar Research, <sup>(2)</sup>GEOSYS Inc., <sup>(3)</sup>Faculty of Science, Kagoshima University,

<sup>(4)</sup>Faculty of Education, Aichi Education University, <sup>(5)</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Deep structure and evolution of the crust and upper mantle viewed from East Antarctic Shield have sufficient significance involving continental growth in Earth's history. In this paper, we demonstrate lithospheric structure of the early-Paleozoic crust of the Lützow-Holm Complex (LHC), Eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. LHC locates among the paleo-collision zones between East- and West-Gondwana super-continent. The "Structure and Evolution of the East Antarctic Lithosphere (SEAL)" project has been carried out since 1990' in a framework of the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE). Several geophysical studies including deep seismic refraction / wide-angle reflections have been conducted at the LHC. In the austral summer in 2000, and 2002, deep seismic surveys were conducted on continental ice sheet in northern part of the Mizuho Plateau of the LHC. In both surveys, more than 170 plant-type 2 Hz geophones were planted on the plateau 190 km in length of transect lines. A total of 8,300kg dynamite charge at the fourteen sites on the Plateau gave information involving deep structure of a continental margin of East Antarctica.

Wide-angle travel-time analyses revealed the crust-mantle boundary takes values ranging from 38-42 km along the profiles, with velocities of the upper crust, the middle crust, the lower crust and the uppermost mantle, about 6.2, 6.4, 6.5 and 8.0 km/s, respectively. Deepening of the crust-mantle boundary less than 5 km in depth was identified in the profile of SEAL-2000, which almost perpendicular to the coastal line. The

velocities in surface bedrock layer in the SEAL-2002 profile, in contrast, have variations in 5.9-6.2 km/s, which corresponds to the metamorphic grade of the surface geology from amphibolite to granulite facies.

Additionally, clear reflection phases from the crust-mantle boundary, together with some inner crustal reflections were identified by re-analysis for the same record sections. Laminated layered structure around the crust-mantle boundary was clarified by the coherency enhancement processing after NMO correction applied to very far offset data for both the profile in SEAL- 2000 and -2002. The CMP stacking, however, was not so effective due to the following reasons,

- A. The interval of receiver points is too sparse (1.0km)
- B. Shot point interval is also very sparse (30km)
- C. PmP reflection appears only on the very far offset data (more than 50km)

Regarding the above problem, it was considered very promising for reflection data processing associated with refraction method, if shorter interval of receiver points, say less than 200m, is adopted in the future.

Relatively complicated crustal structure characterized by the reflection section in SEAL-2000 and 2002 indicates the influence of the compression stress in NE-SW direction during the Pan-African; which means the last stage of continent-continent collision between East- and West-Gondwana super-terrains.

## ラングホブデGPS固定点による露岩域変動測定 (V)

岡村盛司、平岡喜文、木村勲、白井宏樹 (国土地理院)

### Monitoring Local Crustal Deformation by using the GPS Remote Base Station in Langhovde (V)

Seiji OKAMURA, Yoshifumi HIRAOKA, Isao KIMURA, Hiroki SHIRAI  
(Geographical Survey Institute)

#### 1. はじめに

国土地理院では、ラングホブデ雪鳥沢においてGPSを利用した露岩域変動測定を行っている。測定はGPS固定点によって行われており、太陽電池を主電源とした無人連続観測装置である。本稿では、これまでの観測機器の改良と基線解析の結果について報告する。

#### 2. 測定の経過

ラングホブデGPS固定点(LANG)は2000年2月に第41次南極地域観測隊によって設置された。観測データは、1年に1度夏期間に現地にて回収している。

設置当初のシステムは、GPS受信機にTrimble 4000ssiを用い、電源に太陽光発電と風力発電を用いた。2001年2月は、強風により風力発電が過充電となり蓄電池を破損させたため、過充電防止器に改良を行った。2002年2月には風力発電装置本体が故障したため、新品と交換した。2003年2月はGPS受信機をTrimble4000ssiから省電力のTrimble5700に交換を行った。この交換により電力の消費が6割削減した。さらに受信機のデータメモリーが増量されたことから、観測サンプリング間隔をこれまでの120秒から30秒に変更した。また、風力発電装置本体を新たなものに交換を行った。2004年1月は風力発電装置本体が再度、故障しており、当分は風力発電による電源確保を断念することにした。2005年1月には極夜期の電源確保を目的としてPV-ECaSSシステムを導入した。

今回の47次隊では、2006年1月にPV-ECaSSシステムを、さらに一台増設した。また、東側のソーラーパネルにひび割れが報告されていたことから、強化ガラスを取り付けたソーラーパネルに交換を行った。

観測データは、設置当時から2003年のGPS受信機交換までの3年間は、毎年5月から8月の極夜と

なる3ヶ月間が欠測となった。これは風力発電装置の故障等で極夜期に電源を確保できなかったためと思われる。その対策として省電力のGPS受信機に交換した直後の一年間は欠測なしでデータを取り続けた。しかし、46次隊が回収した2004年のデータでは8月以降データが取得されていなかった。これは電気系統の故障が原因であったと考えられ、47次隊で部品の交換を行った。

47次隊で回収した2005年1月～12月までデータでは、7月に2日間ほど欠測があったほかは、すべてデータが取得されていた。

#### 3. PV-ECaSSシステムについて

46次隊で導入し、今回の47次隊で増設したPV-ECaSSシステムは、極夜期の電源確保を目的に電気二重層キャパシタと太陽電池を利用したシステムである。これまでの蓄電池では、極夜期の薄明かりの中で発電される低電圧の電気は、蓄電できなかった。しかし、このシステムの「キャパシタ」が、低電圧の微弱な電気を貯めることを可能とした(写真右下のボックスが「キャパシタ」)。

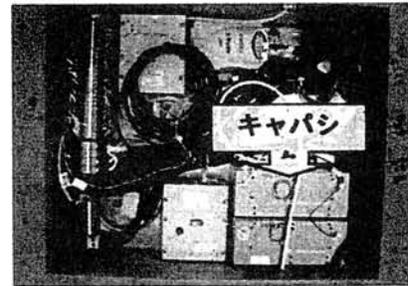


写真 GPS固定点システムの内部

#### 4. 基線解析結果

昭和基地内にあるIGS点(SYOG)を基点として、2000年1月から2005年12月までの精密基線解析と調整計算をGAMIT/GLOBKによりを行いLANGの位置を求めた。その結果、南北水平成分(グラフ1)と東西水平成分(グラフ2)及び基線長(グラフ3)

においては、目立った変化が現れなかった。しかし、上下成分で2003年7月と2004年7月に急激な変化が現れた。2005年も変化は小さいが3月と9月に現れた(グラフ4)。この急激な変化は、SYOGに対してLANGが上昇する特徴が見られる。

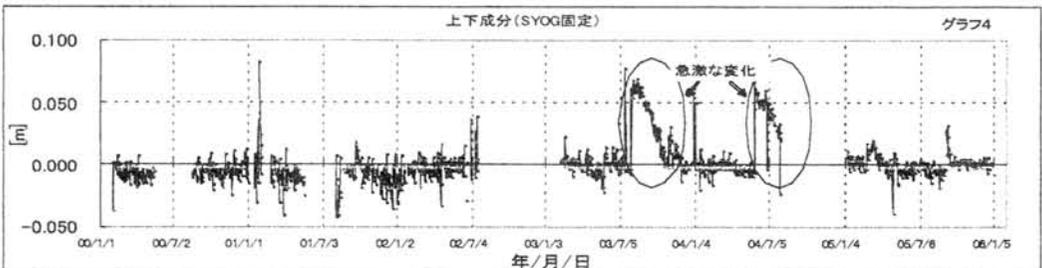
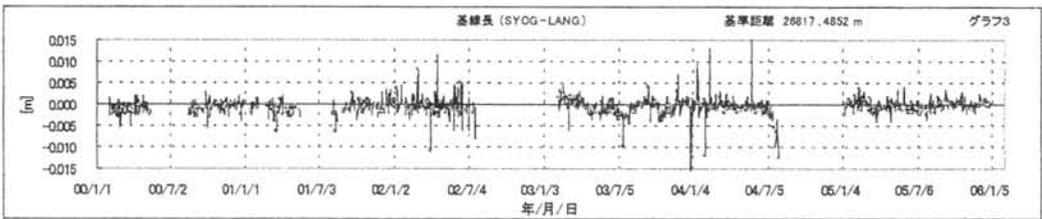
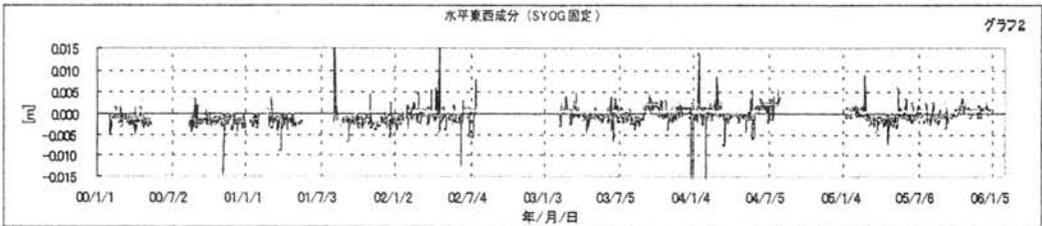
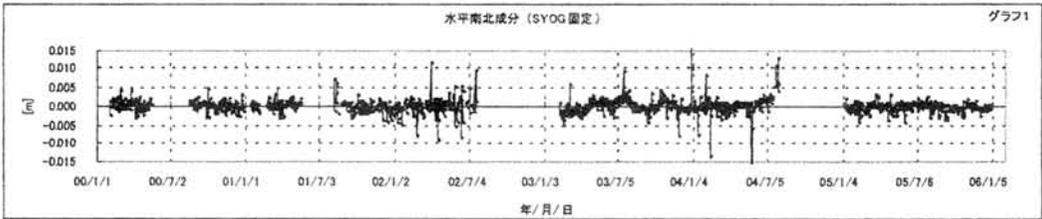
5. まとめ

観測装置はシステムの改良を重ねた結果、欠測日を少なくすることが出来た。今回、回収したデータでも一年のうち、わずか2日の欠測であった。このことは南極という特殊な環境を考えると大きな成果である。

上下成分の急激な変化については、今後も観測を継続しながら考えていきたい。

参考文献

平岡喜文、木村勲、湯通堂 亨、雨貝知美 (2004), 第24回地学シンポジウムプログラム・講演要旨, ラングホブデ GPS 固定点による露岩域変動測定 (Ⅲ)。  
 森田和幸 (2005), 第25回地学シンポジウムプログラム・講演要旨, ラングホブデ GPS 固定点による露岩域変動測定 (Ⅳ)。



## GPS 観測による南極大陸 S16 周辺の氷床変動

岡村盛司、平岡喜文 (国土地理院)

## Measurement of Ice sheet Movement around S16, Antarctica by GPS Observation

Seiji OKAMURA, and Yoshifumi HIRAOKA (Geographical Survey Institute)

## 1. はじめに

国土地理院では干渉 SAR (干渉合成開口レーダー) による氷床移動速度計測の精度検証を目的として、昭和基地の東方約 19km に位置し、昭和基地 GPS 連続観測点との楕円体比高 589m の内陸調査旅行等の拠点である「S16」ポイント周辺において、38 次隊から GPS 観測を実施している。現在は干渉 SAR の精度検証から高精度な地殻 (氷床) 変動を把握する目的とした露岩域変動測量の一環として観測が継続されている。

本稿では 38 次隊から 47 次隊までの GPS 観測から得られた氷床の変動について報告する。



図1 昭和基地とS16周辺観測点

## 2. 観測概要

観測は東オングル島に設置されている GPS 連続観測点を基準とし S15、S16、S17 で行い、それぞれの相対位置を求めた。これまでに行ってきた観測は夏期間の 12 月から 2 月の間に 24 時間以上実施する計画を立てているが、天候や観測隊の作業等によって 24 時間データを取得できない年もある。45 次隊からは、24 時間以上の観測データを取得している。

観測時は三脚を 20cm ほど雪中に埋め、踏み固めて固定し、バッテリーもプラスチックケースに入れ雪中に埋めて風雪に耐えられるように設置した。

この観測を開始した 38 次隊では、S16 ポイントの

みの観測であったが、39 次隊以降は S15 と S17 での観測が追加された。また、ポールが風雪等で折れることがあり、S15 は 47 次隊で、S17 では 40 次隊と 43 次隊で交換している。このときの変化量は次のとおりである。

S15 : 47 次隊で観測後にポール交換

新ポールは旧ポール上面より +1 m

S17 : 40 次隊で観測終了後ポール交換

新ポールは旧ポール上面より +0.49m

43 次隊ではポール亡失のため新設。

46 次隊以後、ポール埋没のため基準面をつなぎポールの下段上面から上段上面に変更。

観測に使用した GPS 受信機とアンテナは 43 次隊まで Trimble4000SSI 及び 4000SSE で COMPACT L1/L2 with Groundplane を使用し、44 次隊からは Trimble5700 と Zephyr antenna も使用している。

昭和基地 GPS 連続観測点の受信機は 40 次隊で AOA-Turborogue から Trimble4000ssi に変更し現在に至っている。アンテナは D/M チョークリングアンテナでの観測である。観測時のデータ取得間隔は 30 秒、最低仰角は 15 度である。

## 3. 解析結果

解析は、昭和基地にある GPS 連続観測点を固定として GAMIT で解析し、GLOGK による調整計算を行った。

各ポイントの解析結果を、水平成分で比較した (図 2,3,4)。また、変動量を求め年間の移動速度を比較した (図 5,6,7)。その結果、S15 及び S16 は西北西方向に年間 5 m 移動していることが判明した。S17 は西北西方向に年間 4.7m 移動している。いずれの観測点でも移動速度はほぼ一定である。

氷床の鉛直方向の移動量については雪面の状況やポールの傾き、また短時間の観測では水平方向に比べ精度が低下することから変動は捉えることが出来なかった。

#### 4. まとめ

解析の結果から過去 10 年間にわたる氷床の水平変動が捉えることができた。より内陸部の S17 では他のポイントと比べ変動速度が若干遅い結果となった。これは本山他 (1995) の報告と調和している。

いままでは、この 3 ポイントでの観測であったが、沿岸の「とっつき岬」周辺や内陸寄りのポイントにおいても観測を実施することにより、さらに多くの氷床の変化を捉えることが可能と考える。このことについては、雪氷グループにも資料を提供し、今後の観測を検討したい。

#### 参考文献

本山秀明、榎本浩之、古川昌雄、神山幸吉、庄子仁、白石孝行、渡邊和夫、生巢国久、池田尚應(1995), GPS 相対測位による東南極の沿岸からドームふじ間の氷床流動の観測 (序報), 南極資料, VOL.39, No.2, 94-98.

大滝修、藤原智 (1997), 南極大陸上の S16 での GPS による氷床移動観測, 第 17 回地学シンポジウム要旨, 5~6.

岩田昭雄(1998), 露岩域及び氷床上における GPS 連続観測, 国土地理院技術報告 (H10.7.16) .

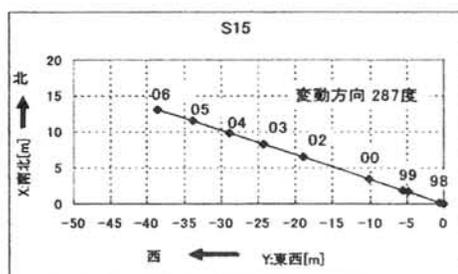


図2 S15における水平成分の変動

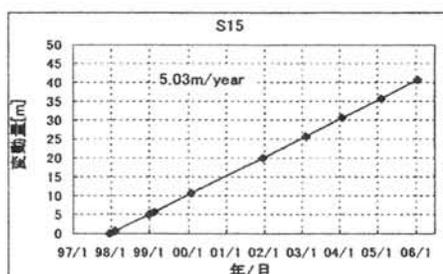


図5 S15における変動速度

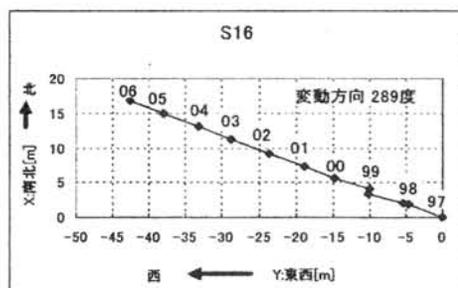


図3 S16における水平成分の変動

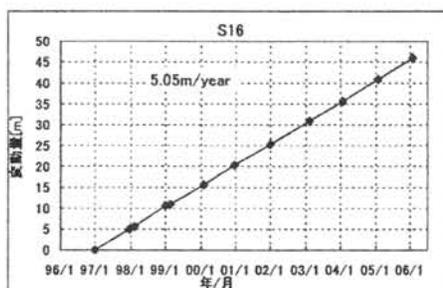


図6 S16における変動速度

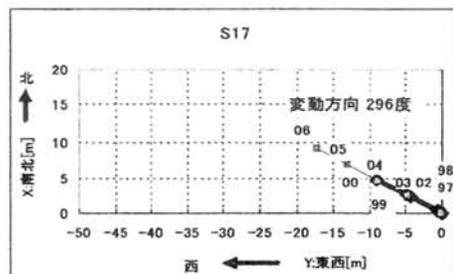


図4 S17における水平成分の変動  
※2001年再設

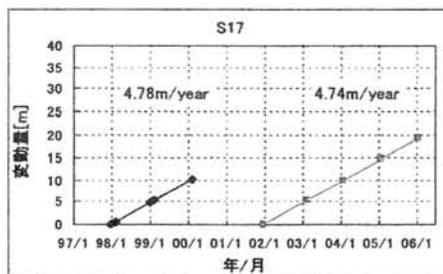


図7 S17における変動速度  
※2001年再設

## 昭和基地周辺の地震計記録から得た T相と非地震性振動

○名和一成（産総研）・須田直樹（広大）・金尾政紀（極地研）

### T phase and non-tectonic signals from seismograms at and around Syowa Station

K. Nawa (GSJ, AIST), N. Suda (Hiroshima Univ.), and M. Kanao (NIPR)

#### 1. はじめに

海中音波の観測は、海底火山活動のモニタリングや海底での核実験の探知に利用されている。最近では、海中音波を利用して南極大陸沿岸域の冰山などの動きのモニタリングが試みられている。日本南極地域観測隊が展開している昭和基地やその周辺の地震計には、原因不明の振動が記録されることがあるが、様々な原因で発生した海中音波が原因の1つと考えられる。

このようなイベントの同定・解析は、南極域の地震活動モニタリングのみならず、基地周辺の環境変動モニタリングにも有用だろう。そこで、我々はこれまで蓄積されたデジタル地震記録を使って Hz 帯域における系統的なイベント探索を開始した。

#### 2. データ・方法

昭和基地では、1990年にSTS-1による連続観測を開始し、周辺の露岩域では1996年にCMG-40Tによるアレイ観測を開始した。露岩域の観測点によっては観測が中断することもあるが、これまで10年近くデータが蓄積されている。

これまでイベント（フェーズ）の読み取りに短周期地震計の主としてアナログ記録が利用され、原因がよくわからない振動の検出も報告されていた。しかし、この周波数帯域も検出能力範囲である広帯域地震計（STS-1・CMG-40T）のデジタル記録はあまり活用されてこなかった。

そこで、イベント探索の最初のステップとして、STS-1が新しい地震計室に移設された1997年以降の連続記録の数 Hz 帯域のスペクトログラムを作成した。周波数領域に変換する際に、時系列を1分毎に切り出して、FFTを使用した。

#### 3. 地震性 T phase の観測例

2004年12月に発生したスマトラ地震後のSTSデータの解析から、地震波や津波（Nawa et al., in press）の他にも、数 Hz 帯域において震源域から海

水中を伝わってきた音波の変換波（T phase）を記録していることがわかった。この期間に稼働していたスカルプスネス観測点（昭和基地の南約50 km）においても、S/Nがやや悪いものの、地震発生から約100分後に到達したT phaseが明瞭に見られた（図1）。

T phaseのスペクトルの中心は3~4 Hz付近にあって、2 Hzより低周波側にパワーが小さいことがP波部分と異なる。このような性質を利用して、T phaseの検出を自動化することが可能かもしれない。

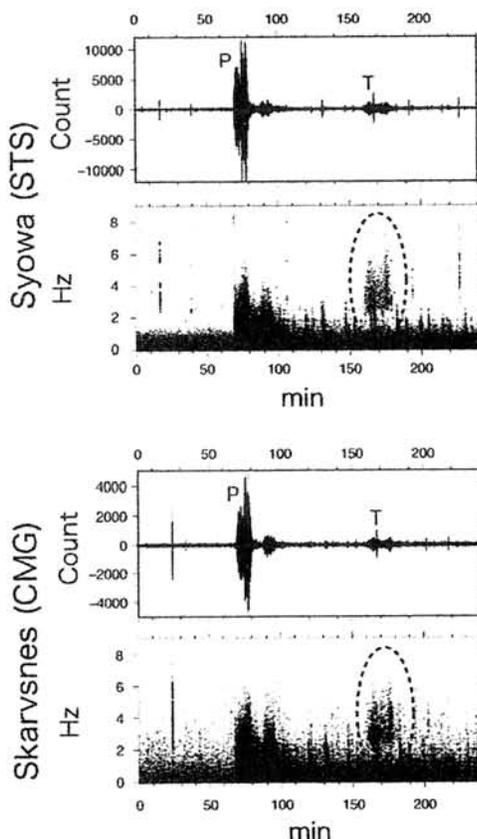


図1：昭和基地とスカルプスネスで観測された2004年スマトラ沖地震のHz帯域の波形とスペクトログラム。P印は、P波、T印及び点線の円で示した部分がT phase。横軸は、2004年12月26日0時から経過時間。

#### 4. 定着氷が流出する際に発生した振動

金尾ほか(1999)が報告しているように、1997年7月29~30日昭和基地周辺の定着氷が流出する際に、地震計には数時間に渡る数Hzの振動が断続的に記録された。

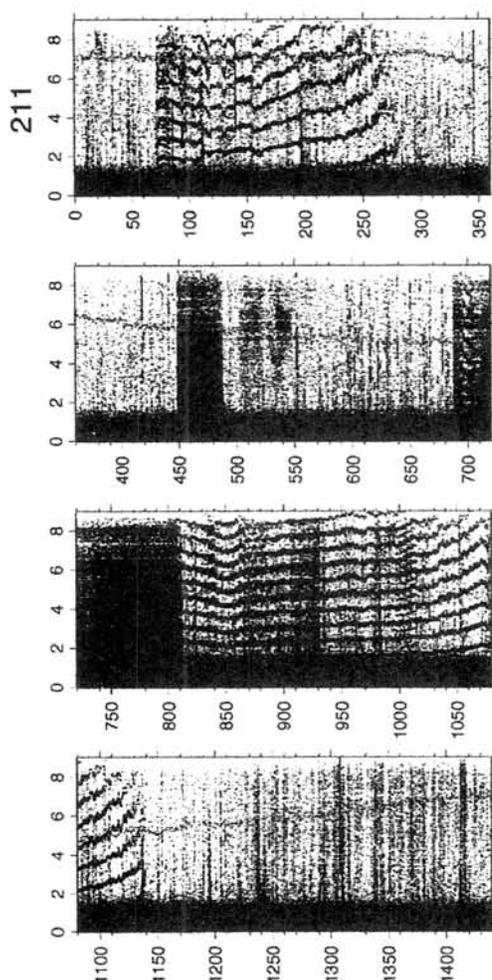


図2：1997年7月30日の昭和基地 STS-1 上下動成分の6時間毎のスペクトログラム。縦軸は周波数(Hz)で横軸が同日0時からの経過時間(分)を示す。

このイベントの際の1日分のスペクトログラムを図2に示す。波形からは違いが読み取れなかった時間変化が見てとれる。このスケールでは全体的に黒く見えるパワーの大きな時間帯や、T phase に似たスペクトルの時間帯(9時ころ)もある。また、ある時間帯には、2~8Hzの帯域で約1Hz間隔のピーク(1~5時)や約0.6Hz間隔のピーク(14~19時)が立ち、そのピーク周波数が時間変動する様子が見られた。

これらのスペクトルは、継続時間やピークの数に違いのもの、フレンチポリネシアの地震計が捉えたロス海の棚氷(冰山)が漂流中に発生した振動の特徴(Talandier et al, 2002)とよく似ている。しかし、その振動発生のメカニズムは今のところよくわかっていない。

#### 5. 議論と今後の課題

2つの観測例を示したが、数Hz帯域には地震波以外にも海域で発生した振動が多数記録されている。それらのスペクトルの形・時間変動様式は様々である。これまで、長年行われてきた昭和基地での地震波形記録の読み取りの際に氷震・脈動などと分類していたイベントの中に、地震や海氷・冰山起源の海中音波(の変換波)が含まれている可能性がある。スペクトルの特性やピーク周波数の時間変化など新しい情報を得ることで、それらの振動の起源を明らかにすることができるかもしれない。

今後、地震計記録についてはCMGアレイデータを用いるなど詳細な解析を行いたいと考えているが、その原因の特定には、気象・海洋観測データや、昭和基地周辺で行われている他の地震・測地データとの比較も必要である。

#### 参考文献

- 金尾ほか, 南極資料, 43, 16-44, 1999
- Nawa, K. et al., BSSA, in press
- Talandier, J. et al., EPSL, 203, 519-534, 2002

## 東南極リュツォ・ホルム岩体明るい岬の花崗岩の成因

加々島慎一（山形大）・M. Satish-Kumar（静岡大）・隅田祥光・本吉洋一  
（極地研）・廣井美邦（千葉大）・石川尚人（京都大）

### Genesis of granitic rocks from Akarui Point in the Lutzow-Holm Complex, East Antarctica

S. Kagashima (Yamagata univ.), M. Satish-Kumar (Shizuoka Univ.), Y. Suda, Y. Motoyoshi (NIPR), Y. Hiroi (Chiba Univ.) and N. Ishikawa (Kyoto Univ).

東南極リュツォ・ホルム岩体は、約5億年前の変成岩類および深成岩類が分布し、東から西に向かって角閃岩相からグラニュライト相へと累進的に変成度が上がる (Hiroi *et al.*, 1991). 角閃岩相とグラニュライト相の漸移帯に位置する明るい岬において、花崗岩質岩石の成因について解析を進めている。

明るい岬に分布する花崗岩質岩は、その産状から幾つかに分けることが出来る。変成岩の構造と調和的な花崗岩質片麻岩、変形の強いミグマタイト、ブーダンネックを埋める花崗岩質岩や部分溶融によると考えられる優白質部、細粒片麻状花崗岩（白色と桃色の混成）、非変形の花崗岩、ポッド状に産する粗粒花崗岩およびペグマタイトである。本研究では、(1) 変成作用期前の火成活動（地殻形成）として花崗岩質片麻岩の成因、(2) 漸移帯における部分溶融について、(3) ミグマタイトの形成、および(4) 花崗岩質メルトポッドの成因、および(5) 変成作用後の火成活動（ペグマタイト）について解析を進めているところである。

花崗岩質メルトポッドは、明るい岬北部中央付近に分布する黒雲母角閃石片麻岩中に、片麻岩の構造を切るペグマタイトに挟まれた狭い範囲で、細脈～レンズ、ポッドとして片麻岩の構造に比較的調和して産する。それらとペグマタイトとの連続は観察できなかった。ポッドを含む片麻岩と含まない片麻岩とは、構成鉱物の差異はないものの、融食形を示す鉱物の割合が、ポッドを含む片麻岩の方が多い。しかし、この組織は部分溶融を示すものかについては検討が必要である。

発表では、明るい岬の花崗岩質岩の全岩データと、これまでに報告されているリュツォ・ホルム岩体の花崗岩質岩の全岩化学組成、Sr 同位体比とを比較し、明るい岬における花崗岩の成因について検討する。

#### <引用文献>

Hiroi *et al.* (1991) In: Geological Evolution of Antarctica, 83-87.

## Sr, C and O isotopes and REE geochemistry of marbles from Lützow Holm Complex, East Antarctica

*M. Satish-Kumar*, (Shizuoka University); *T. Miyamoto*, (Kyushu University);

*J. Hermann* (ANU); *Y. Motoyoshi*, (NIPR); *Y. Osanai* (Kyushu University)

Marbles and metacarbonate rocks are important in understanding the geodynamic evolution of the continental crust, because these rocks are geochemically distinct and represent the remnants of marginal sea sediments that existed in a possible collisional environment. Extensive supracrustal sequences comprising metapelitic rocks and marbles are commonly observed in mobile belts around the world. Lützow Holm Complex (LHC) in East Antarctica is not an exception to this. Here, thick and extensive horizons of marbles are interlayered with metapelitic and metapsammitic gneisses along a stretch of about 400 km in the Prince Herald, Soya and Prince Olav Coasts. In this presentation, we summarize the current status of our understanding on the Sr, C and O isotope and REE geochemistry of marbles from LHC and discuss the usefulness of marbles in deciphering the fluid-rock evolution of the region.

Marbles occur as comparatively thin bands, up to about 100 meters in thickness with several kilometers of strike length, intercalated with pelitic and psammitic gneisses and granulites. Mineralogically marbles comprises alternating layers of more than 90% carbonates, calcite and/or dolomite, and layers enriched in calc-silicate minerals. The dominant calc-silicate minerals include diopside, forsterite, tremolite, phlogopite, spinel and occasionally humite group minerals. Accessory phases include graphite, apatite and titanite. Earlier studies focused on the petrological significance of marbles and calc-silicate rocks (e.g. Hiroi *et al.*, 1983; Satish-Kumar *et al.*, 2006a, 2006b). In addition, some studies also emphasized the usefulness of carbon and oxygen isotopic composition in deciphering the fluid-rock history of the terrain (e.g. Satish-Kumar *et al.*, 1998). Marbles are also useful in estimating the peak metamorphic temperature condition using carbon isotope exchange thermometry between calcite and graphite (Satish-Kumar and Wada, 2000).

Recent studies on grain to sub-grain scale strontium, oxygen, and carbon isotope in

combination with the *insitu* trace and REE geochemistry of carbonates, scapolite and associated minerals in marble horizons helped in understanding the fluid processes in the Lützow Holm Complex. Two distinct types of marbles are recognized in the region: 1) Marbles that preserve pre-metamorphic geochemical signatures and 2) marble horizons with isotopic and REE signatures that suggest a protracted multistage fluid-rock interaction. Based on extensive textural, mineralogical, isotopic and geochemical features, we were able to decode fluid-rock interaction events during different stages of metamorphic evolution. We also discuss the significance of marbles in understanding the geodynamic evolution of the terrain of LHC in an east-west Gondwana tectonic context.

### References

- Hiroi, Y., Shiraishi, K., Motoyoshi, Y. and Katsushima, T. (1987): Progressive metamorphism of calc-silicate rocks from the Prince Olav and Soya Coasts, East Antarctica. *Proc. Natl. Inst. Polar Res. Symp. Antarct. Geosci.*, **1**, 73-97.
- Satish-Kumar, M. and Wada, H. (2000): Carbon isotopic equilibrium between calcite and graphite in Skallen Marbles, East Antarctica: Evidence for preservation of peak metamorphic temperatures. *Chemical Geology*, **166**, 172-183.
- Satish-Kumar, M., Yoshida, M., Wada, H., Niitsuma, N. and Santosh, M. (1998): Fluid flow along microfractures in calcite from a marble from East Antarctica: Evidence from gigantic (21‰) oxygen isotopic zonation. *Geology*, **26**, 251-254.
- Satish-Kumar, M., Hermann, J., Tsunogae, T. and Osanai, Y. (2006a): Carbonation of Cl-rich scapolite boudins in Skallen, East Antarctica: Evidence for changing fluid condition in the continental crust. *Journal of Metamorphic Geology*, **24**, 241-261.
- Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Suda, Y., Hiroi, Y. and Kagashima, S. (2006b): Calc-silicate rocks and marbles from Lützow-Holm Complex, East Antarctica, with special reference to the mineralogy and geochemical characteristics of calc-silicate mega-boudins from Rundvågshetta. *Polar Geoscience* (in press)

## GIS を用いたセールロンダーネ山地地質概説

高橋裕平(産総研・東北産学官連携センター)

### Outline of geology in the Sor Rondane Mountains with GIS

Yuhei TAKAHASHI (AIST Tohoku Collaboration Center)

地質図をはじめとする地質情報に地理情報システム(GIS)を用いると、(1) 地質図類の更新を容易に行うことができる、(2) さまざまなデータを加え主題図作成ができる、(3) 地質図類をデジタル情報として提供できる、(4) 各国の情報から国際的な編集図を作成でき国際協力を促進できる、(5) ウェブ公開が容易などの有利な点がある。そこで、南極の地質情報について、各国の機関との情報交換ができるよう、ソフトウェアやフォーマットなどを吟味してデジタル化を進める必要がある。

ここでは、そのような近い将来の構想を念頭に置きつつ、情報提供のひながたとして、GIS の概念を理解しつつ、セールロンダーネ山地の地質概略がわかる情報図を作成した。すなわち、GIS フリーソフトを用いたセールロンダーネ山地の地質概略図から関連情報を深める内容である。教育現場で GIS 入門の事例として利用できるかもしれない。

GIS ソフトは一般に高価である。例えば、パソコン上での操作が容易な MicroImage 社の TNTmips もフル装備では高価である。しかしながら、成果物を見るだけのビューソフトはフ

リーである。また、機能が制限されてはいるが、編集作業ができるフリー版もある (TNTlite)。今回はこのフリーソフトを用いた。

今回作成した情報図は、以下の通りである。(1)地質図ファイル: SorRon.rvc 2.7MB. 構成するオブジェクトは、略号(ベクトル), 断層(ベクトル), 褶曲(ベクトル), 年代試料ポイント(ベクトル), 地質図(ベクトル)とこれらのデータをまとめたレイアウト, それにビューソフト起動時の表紙(ラスター)である。(2) 参照データ: 凡例説明文 (Legend.text 2KB), 年代データ(17 の text ファイル, 1.23KB), 文献集, 地質図説明書 pdf, 写真. ハイパーリンク機能を使って、(1)の地質図上で該当した地域から(2)のデータを参照できるようにした。

今回作成した情報図は、質・規模的にフリーソフト個人利用の域を出ていないが、プロジェクトとして本格的に行う場合にも基本的な形は変わらないであろう。その場合は、地質図の精密化と外部参照データの充実を系統的に行い、データ管理方法(極地研究所内)も決める必要がある。

東南極リュッツホルム岩体スカーレン地域に産する珪長質片麻岩中のザクロ石の結晶粒径分布と化学組成  
池田 剛・後藤さおり (九州大)

Crystal size distribution and chemical composition of garnet in quartzofeldspathic gneisses of the Lützow-Holm Complex in Skallen, East Antarctica  
Takeshi Ikeda, Saori Goto (Kyushu Univ.)

東南極リュッツホルム岩体は角閃岩相からグラニュライト相の変成相を示す<sup>[1]</sup>. その一部は超高温の条件を経験している<sup>[2],[3]</sup>. ところが高温の変成作用を受けたにもかかわらず, 変成反応は完了せずに反応組織を示していることが多い<sup>[4]</sup>. この一見矛盾する事実は, 反応速度に比べて温度や圧力の変化速度が大きいこととして理解されている<sup>[4]</sup>.

本研究では, スカーレン地域に産する珪長質片麻岩中のザクロ石の結晶粒径分布と化学組成を調べ, 高温変成岩では粒間流体の欠如による粒間拡散の抑制によって, 物質移動距離が短く保たれたことを明らかにした.

**測定** 対象とした珪長質片麻岩はザクロ石のモードの違いで識別される数 cm~10cm 程度の薄い層構造をもっている. そして, ザクロ石以外の苦鉄質鉱物を含まない. 層に垂直な方向から撮影した写真および採集した岩石の表面写真を用いてザクロ石の粒径を測定した. また, 採集した岩石からザクロ石を分離して, 中心を通る断面を作成して化学組成を測定した.

**結果** ザクロ石のモードの高い層(占有面積>30%)では, 粒径と結晶数密度の対数との間に直線関係を示すのに対し, モードの低い層(<20%)では, 細粒粒子が少ない. 採集した岩石試料は前者の粒径分布を持つ. ザクロ石の Fe/Mg 比は粒子ごとに均質で, その値は細粒な粒子ほど小さい.

**考察** ザクロ石以外に苦鉄質鉱物を含まないことは, 温度下降時にザクロ石分解反応が生じていないことを意味しており, 高温時のザクロ石のモードを保持していると考えられる. そして, ザクロ石生成反応の終了は最高温度に達したからではなく, 反応物である苦鉄質鉱物の消滅によるといえる. 細粒クラ

スの数密度が小さい粒径分布は一義に解釈できないが, 直線状の粒径分布は線成長速度一定の粒成長と考えることができる. そして, 粒径分布が凍結される直前まで核形成が連続的に進行していたことを意味する. ザクロ石生成反応終了後にライブニングのような機構での粒径分布の改変は有意に認められない.

黒雲母のようなザクロ石より Fe/Mg 比の低い鉱物の分解でザクロ石が成長すると, 後期(高温期)ほど Fe/Mg 比の低い組成のザクロ石が形成される. 従って連続的に核形成がなされている時には, 細粒粒子ほど, 粒子の平均 Fe/Mg 比が低くなると予想される. これは観測事実と一致する. 個々の粒子の Fe/Mg 比は均質化されていながら, 粒子間でその値が異なることは, ライブニングが生じないことも調和的で, 共にザクロ石の成分がマトリクス中を十分に移動できなかったことを意味する. このことから, 黒雲母のような苦鉄質鉱物の有無(その分解による粒間流体の有無)がマトリクス中の物質移動に重要な役割を果たしていると考えられる.

<引用文献>

- [1], Hiroi Y, Shiraishi K, Yanai K, Kizaki K (1983) Mem Natl Inst Polar Res Spec Issue 28: 115-131
- [2], Kawakami T, Motoyoshi Y (2004) J. Mineral. Petrol. Sciences 99: 311-319
- [3], Yoshimura Y, Motoyoshi Y, Miyamoto T, Grew ES, Carson CJ, Dunkley DJ (2004) Polar Geoscience 17: 57-87
- [4], Fraser G, McDougall I, Ellis DJ, Williams IS (2000) J. Metamorphic Geol. 18: 441-454

## 南極・昭和基地周辺での海および湖沼への地下水流出調査報告

上村剛史（総研大）・谷口真人（地球研）・瀬戸浩二（島根大）・澁谷和雄（極地研）

### Report on surveys of groundwater discharge into the ocean and lakes near Syowa Station, Antarctica

Takashi Uemura (Graduate University for Advanced Studies), Makoto Taniguchi (Research Institute for Humanity and Nature), Koji Seto (Shimane Univ.) and Kazuo Shibuya (NIPR)

#### 目的

GRACE 衛星から得られる変動重力場の地上検証として、リュツォ・ホルム湾周辺海域での海底地下水調査を行った。

これまで南極大陸沿岸における陸域から海洋への水移動に関する研究は、氷床の表面形態の変化を中心とした議論が多く、氷床下での水の流出があるのかについては、その有無を含め、あまり調査されていない。

一方、日本や北米、ヨーロッパなどでは、陸域から海洋への水移動経路として、海底地下水が注目されており、その量の正確な見積もりや海洋環境に与える影響が議論されている (Taniguchi *et al.*, 2001; Burnett *et al.*, 2003 など)。

そこで、46 次隊では、海底地下水湧出量計（海洋電子社製；以下、Seepage meter と記す。）による海底地下水湧出量測定、湖底・海底堆積物からの間隙水採取、地表水のサンプリングなどを行い、地下を媒体とした、陸から海洋・湖沼への水の動きを探ることを目的とした。

#### 測定期間・場所

Seepage meter の設置・観測ポイントを図 1 に示す。観測は、昭和基地周辺の露岩域に点在する 4 つの湖沼（丸湾大池・スカーレン大池・親子池・雪鳥池）と、氷河流出域を中心とした海域（計 10 ヶ所）で行った。夏期間中は湖沼、越冬中は海洋を中心に、1 週間前後の地下水湧出量測定を行った。

#### Seepage meter 設置概要

湖沼では、湖氷にアイドリルで観測穴をあけ、ロープで Seepage meter（錘なし）を海底に着底させ係留し、人力で設置・回収した。海洋では、雪上車とウインチを搭載した櫓 1 台で海氷旅行を行った。設置は、海氷にあけた観測穴より、Seepage meter（錘を加え、海中重量約 50kg）を、海底までウインチを用いて降下し、着底させ係留した。係留の概要は図 2 に示す。図 2 のように、seepage meter 集水器内には、小型メモリー水温塩分計(CT)、係留ロープの途中には小型メモリー流速計(EM)を設置した。

これらにより、設置から回収までの一定期間、海底からの地下水湧出量、各種水温（地温・集水器内・耐圧容器内）を中心に、電気伝導度・温度、海水の流速・温度の連続データを得た。

#### 間隙水採取

Seepage meter とは別に、地下の水の挙動を知るため、酸素・水素同位体や一般水質測定用の間隙水も採取した（表 1）。46 次夏期間に、各露岩の湖沼調査に同行し、湖底堆積物中の間隙水を採取した。

また、比較のため、露岩に流れる雪解けなどの地表水も、46・47 次夏期間中にサンプリングした。サンプリング場所は、夏期間中に訪れた各露岩で行い、計 41 ヶ所になる。

## 分析・解析等の進展状況 (8月下旬)

Seepage meter は、現在、帰国後のキャリブレーション中で、機器に異常はないが、温度環境の差が大きく、キャリブレーションが難航している。また、間隙水は、一般水質と同位体分析を終え、少しずつ結果が出始めている。本発表は、調査の内容が中心となるが、一部、結果についても触れたい。

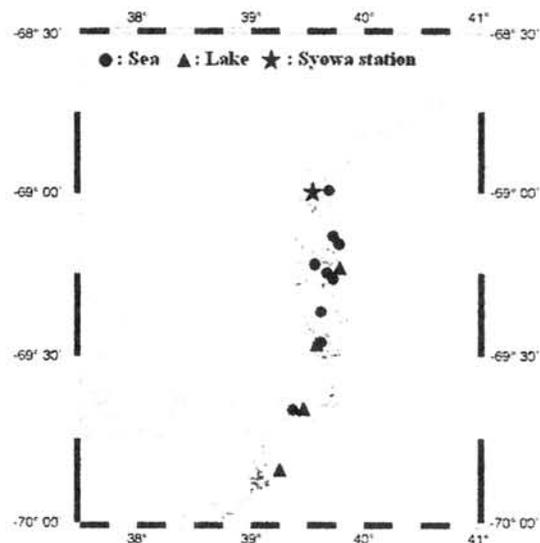


図1 seepage meter 設置場所

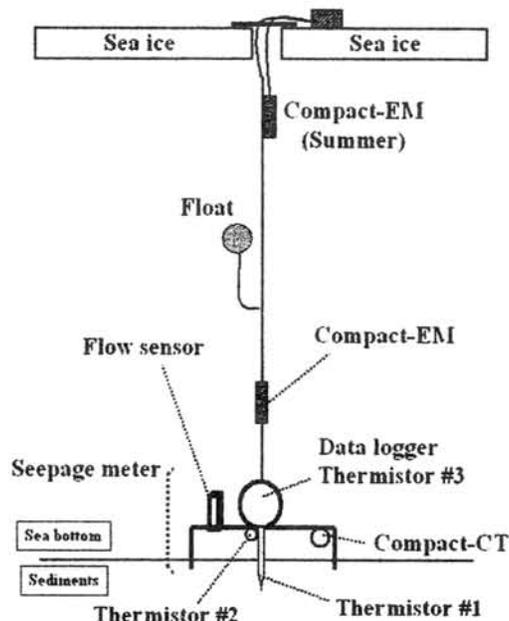


図2 海底地下水湧出量調査の係留図

表1 間隙水採取

露岩名	湖沼名 (サンプル数)
Rundvagshetta	丸湾大池(10)・丸湾南池(1)
Skallen	スカーレン大池(16)・X池(1)
Langhovde-South	雪鳥池(7)・東雪鳥池(5)・天の釜池(5)
Langhovde-North	ねるめ池(8)・あけび池(4)・親指池(1)
Skarvsnes	親子池(6)・ひょうたん池(6)・長池(3)・B4池(1)・船底池(4)・小鉢池(1)・すりばち池(3)・なまず池(4)
Ongul-West	大池(5)

## 謝辞

本研究を行うにあたり、46次夏隊湖沼グループ、46次越冬隊地学系隊員をはじめ、第45・46次南極地域観測隊の隊員の皆様には、多大な支援をいただいた。その他、ご協力いただいたすべての方を含め、この場をお借りし、厚く御礼申し上げます。

## 文献

- Burnnet, W.C., H. Bokuniewicz, M. Huettle, W.S. Moore, and M. Taniguchi. (2003): Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*. **66**, 3-33.
- Taniguchi, M., Burnett, W.C., Cable, J. E. and Turner, J.V. (2002): Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrol. Process.*, **16**, 2115-2129

## 含サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトの 原岩形成場

馬場壯太郎 (琉球大・教育)・Brian F. Windley (Univ. Leicester)

Tectonic setting of precursory rock of sapphirine-bearing garnet-orthopyroxene granulite.

Sotaro BABA\* (Univ. Ryukyus)・Brian F. Windley (Univ. Leicester)

サフィリンはMgやAlに富む特異な全岩化学組成を有する変成岩に出現する鉱物である。東南極ではナビア岩体、リュツォ・ホルム岩体などから報告されており、安定条件の解析が進んでいることから、変成作用の温度圧力経路の推定に利用されてきた。

この特異な全岩化学組成を示す変成岩の原岩として 1) 石英に富み Mg/Fe+Mg 比の高い堆積岩類, 2)  $Al_2O_3$ , MgOに富む堆積岩類もしくはその溶残り岩, 3) 変成交代作用を被った塩基性~超塩基性岩, 4) 熱水変質作用を被った塩基性岩やその風化物, などが挙げられている (Sheraton, 1980; Herd et al., 1969; Clifford et al., 1981, 周藤・小山内, 2002)。

Baba(2003)はスコットランド北西, サウスハリス島に分布するルーシアン岩体より5つの異なるタイプの含サフィリングラニュライトを記載し, それらに認められる産状の差異は全岩組成, 変成作用の素課程 (部分溶融) に起因することを報告した。そのなかで, ザクロ石-斜方輝石を主要鉱物とする岩石 (含サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト; 以下SGOグラニュライト) については不連続なレンズ状の脈として塩基性グラニュライト中に確認されるという特異な産状を呈する。露岩の周囲には塩基性グラニュライト, 変超塩基性岩, 含フォルステライトマープル, 含パイライト岩などがレンズ状~ブロック状に産しており, 他地域とは異なった岩相が確認される。塩基性グラニュライトブロックの全岩化学組成の特徴はE-MORBに類似していること, ならびにそれら岩相の組み合わせから, Baba(1997, 2002)は海洋プレートの沈み込みに伴い形成したメランジェが原岩である可能性を指摘し

た。今回, SGOグラニュライトの全岩化学組成, さらに隣接する塩基性岩の全岩化学組成の特徴を明らかにし原岩の推定を試みたので報告する。

全岩化学組成分析の結果, 以下のような特徴が明らかとなった。

1) La, Ce, Pr, Nd, Zr, Ti, Y および V の含有量に関して, SGOグラニュライトと母岩である塩基性グラニュライトとの間に差異は認められなかった。

2) SGOグラニュライトは母岩の塩基性グラニュライトに比べてMgOに富み, CaO,  $Na_2O$ , MnO, Cu, Nb, Sr およびEuに枯渇した特徴を示す。

3) コンドライトで規格化したSGOグラニュライトのREEパターンは, Sm, Gd, Tb, Dyに富み, Euに枯渇した極めて特異なパターンを示す。

これらの結果を現在の海洋底熱水変質帯であるTAG hydrothermal moundより得られた変質玄武岩類と比較したところ, 両者の主要元素の増減, 微量元素の増減, 特にSr, Euの枯渇が類似していること, また変質作用においても不動な元素であるCrやV (Humphris & Thompson, 1978)の含有量は塩基性グラニュライトの測定範囲内であった。しかし, 現在の変質玄武岩類とREEのパターンならびに各元素の存在比は完全には一致しない。このことは原岩自体の相違, ならびに後退変成作用時の変形作用に伴う元素の移動によるものと推察される。そこで現在陸上で観察される変質玄武岩類(Ridley et al., 1994)ならびに変質作用に関連し形成されたとされるオーストラリア産含サフィリングラニュライト(Windrim et al. 1984)のREEパターンと比較したところ, 類似した傾向が認められた。このことは,

SGO グラニュライトの原岩は変質作用に関連し形成した岩石である可能性を示唆している。SGO グラニュライトはかつて海洋底で形成した玄武岩類の一部に発達した脈状の変質帯であり、その変質の場は元素の増減から現在の熱水循環域における"Recharge Zone"に相当すると考えられる。

これまでの結果から非変質玄武岩類、海洋底熱水変質を被った玄武岩の一部、熱水鉱床由来の炭酸塩岩類（マープル）などが海洋プレートの沈み込みに伴いメランジェとして大陸縁に付加し、その後、大陸縁において変成作用を被ったことが想定される。サウスハリス地域に広く分布し初期変成作用の熱源と考えられているサウスハリス貫入岩体はカルクアルカリ系列であり、変成作用の場が大陸縁辺域であったことを支持する。

含サフィリングラニュライトは東南極を含む世界の変成帯から広く報告されている。それらのなかで、ザクロ石-斜方輝石-サフィリン-キン青石を主要な組み合わせに持つ岩石（石英および珪線石に乏しい）の多くは熱水変質を被った塩基性岩類である可能性が挙げられる。今後変成岩類の原岩形成場ならびに進化発達過程を紐解く鍵となるかもしれない。

#### REFERENCES

- Baba, S. (1997) *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 40, 119-143.  
BaBa, S. (2002) *Gondwana Res.*, 5, 757-770.  
Baba, S. (2003) *Jour. Petrol.*, 44, 329-354.  
Cliff, R.A. et al. (1998) *Precamb. Res.*, 91, 401-418.  
Clifford, T.N. et al. (1981) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77, 225-250.  
Herd, R.K. et al. (1969) *Rapp. Gronlands Geol. Underso.*, 24, 1-44.  
Sheraton, J.W. (1980) *BMR Jour. Aust. Geol. Geoph.*, 5, 279-288  
周藤・小山内, (2002) 記載岩石学. 共立出版,  
Humphris & Thompson (1978) *Geocim. Cosmochi. Acta*, 42, 127-136.  
Ridley et al. (1994) *Geocim. Cosmochi. Acta*, 58, 2477-2494.  
Windrim et al. (1984) *Earth Planet Sci. Lett.* 70,27-39.

## 東南極リュツォ・ホルム岩体ルンドボークスヘッタに産する超高温変成岩類の 鉱物化学組成

吉村康隆(高知大・理), 宮本知治(九州大・理), 本吉洋一(国立極地研究所)

Mineral chemistry of the ultrahigh-temperature metamorphic rocks from  
Rundvågshetta in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica  
Yasutaka YOSHIMURA (Kochi Univ.), Tomoharu MIYAMOTO (Kyushu Univ.), Yoichi  
MOTOYOSHI (NIPR)

東南極プリンスオラフ海岸からリュツォ・ホルム湾にかけて分布しているリュツォ・ホルム岩体は、角閃岩相からグラニュライト相に達する高度変成岩類が分布している。変成度はリュツォ・ホルム湾奥に向かい累進的に上昇するとされ、ルンドボークスヘッタ付近で最高変成度に達しているとされている(Motoyoshi et al., 1989; Hiroi et al., 1991)。ルンドボークスヘッタは、昭和基地の南南西約100kmに位置する露岩で、本地域はザクロ石-黒雲母片麻岩やザクロ石-珪線石片麻岩、単斜輝石-斜方輝石-角閃石片麻岩を主体とし、ザクロ石-黒雲母片麻岩中にキン青石を含むサフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトが含まれている。このグラニュライトについては、Kawasaki et al. (1993)により記載がなされ、その後 Motoyoshi and Ishikawa (1997)により最高変成条件の見積もりとP-T path解析が行われ、超高温変成作用の条件にまで達しており、その後の減圧過程が推定されている。さらには、近年、当地域から、ザクロ石中の包有物として、サフィリン+石英の共生が見出され、当地域が超高温変成作用を被ったことが確実となった(Yoshimura et al., 2003)。このようにルンドボークスヘッタは、リュツォ・ホルム岩体の最高温度部でかつ超高温変成作用を被ったことで注目すべき岩体であるが、実際は、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトや無水のザクロ石-珪線石片麻岩の産出はそう多くはなく、含水のザクロ石-黒雲母片麻岩がかなりの量産し、ザクロ石-黒雲母片麻岩と超高温変成岩類との関係など、当地域の変成岩類の形成過程について検討すべき点がまだ残されている。さらに、各岩相における鉱物の化学組成のデータは十分ではなく、ルンドボークスヘッタに産する変成岩類の形成過程を論ずる上で、岩相ご

との鉱物の化学組成のデータを充実させることは不可欠である。よって、現在、JARE-40の調査によって得られた試料をもとに、各岩相中の鉱物の化学組成を測定中であり、本要旨では、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトおよびホストのザクロ石-黒雲母片麻岩から得られた結果を報告する。

サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトは、ザクロ石-黒雲母片麻岩やザクロ石-珪線石片麻岩中に厚さ約数cmから数十cmの層状に分布している。主な構成鉱物は、ザクロ石、斜方輝石、珪線石、サフィリン、キン青石、黒雲母、斜長石、カリ長石、石英である。ザクロ石、斜方輝石、珪線石は粗粒結晶として見られ、サフィリンは、マトリックスにあるものはキン青石とのシンプレクタイトを形成しており、また、ザクロ石中の包有物としても産する。ザクロ石中の包有物の中には、サフィリンと石英が接して産する場合がある。さらに粗粒ザクロ石の周縁には斜方輝石+キン青石のシンプレクタイトが形成されている。

ザクロ石-黒雲母片麻岩は、粒径や鉱物の量比の違いにより肉眼的に大きく3つの岩相に識別できる。すなわち、1)中粒で黒雲母をある程度含むもので、最も多産するタイプ、2)全体的に粒径が粗粒なもの、3)優白質中粒で黒雲母が比較的少量なもの、である。主な構成鉱物は、ザクロ石、黒雲母、斜長石、カリ長石、石英であり、1)のタイプでまれにキン青石が、3)のタイプで珪線石が見られる場合がある。以下に主要な鉱物の化学組成について述べる。

### ザクロ石

ザクロ石は、いずれの岩相においても中心部でMgとCa含有量が高くリムに向かって減少し、Fe含有量がリムに向かって増加する組成累帯構造を有している。サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニ

ユライト中のザクロ石の組成は Mg に富む部分で Prp50~58 の値を示す。これはホストのザクロ石-黒雲母片麻岩中のザクロ石 (Prp30~35) に比べ、高 Mg 組成を有している。サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトおよびザクロ石-黒雲母片麻岩の3タイプの岩相ともに P, Y, Yb の組成累帯がみられるものがある。

#### 斜方輝石

サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中の斜方輝石は、高い Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量を有し、最大 9.4wt% 含む。X<sub>Mg</sub>=0.73-0.78 の値を持つ。Al や Mg の組成累帯は顕著ではないが、Ca はコア部で富んでいる。

#### サフィリン

サフィリンは、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中にマトリックス、包有物どちらにも産し、組成的には似ている (X<sub>Mg</sub>=0.8-0.86, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=~0.27wt%, Fe<sup>3+</sup>=~0.15) が、包有物として産するものの方が、わずかながらに X<sub>Mg</sub> と Cr 含有量が高い傾向にある。

#### 黒雲母

サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中の黒雲母は、X<sub>Mg</sub>=0.72-0.8, F=0.7-1.3wt% の値をとり、ザクロ石-黒雲母片麻岩中の黒雲母 (タイプ1と2) は X<sub>Mg</sub>=0.52-0.6, F=0.7-1.3wt% の値をとり、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中の黒雲母の方が、ザクロ石-黒雲母片麻岩中のものに比べ X<sub>Mg</sub> が高く、F 含有量も高い。TiO<sub>2</sub> 含有量は、両岩相に大差はなく、最大 6wt% 程度である。

#### 斜長石

サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中のものは、An23-30, Or0.5-1.8, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 最大 0.22wt% の値をもち、ザクロ石-黒雲母片麻岩中 (タイプ1と2) のものは、An34-39, Or0.8-2.7, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 最大 0.09wt% の値を示し、ザクロ石-黒雲母片麻岩中のものが高 An, 高 Or 値を有するが、P 含

有量は低く、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中のものの方が、明らかに P 含有量が高い。

サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトについては、Harley and Motoyoshi (2000) の FMAS 系における斜方輝石の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> isopleth を適用すると、約 1050°C 前後の温度が見積もられ、また、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト中にみられるカリ長石のパーサイトを1相に還元したときの組成から推定される温度条件は、1000~1100°C であり、サフィリン+石英の安定領域と一致する。Kawasaki and Motoyoshi (2006) により、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライト相当岩相の合成実験から、ピークの変成条件は 1000°C 以上が見積もられ、相関係から減圧過程を推定している。このように、サフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトは超高温変成作用の条件に達していたことは確実であり、鉱物組み合わせやシンプレクタイトの産状から、斜方輝石+珪線石+石英の安定領域から、サフィリン+石英の安定領域を経て、等温減圧的な温度-圧力履歴を経たことが推定される。ザクロ石-黒雲母片麻岩については、黒雲母の Ti 含有量は高いが、F 含有量はそう高くなく、超高温領域で安定な組成という訳ではなさそうである。しかし、ザクロ石は両岩相とも Y や P の組成累帯構造が認められ、微量元素の分配を変化させるイベントがあったことが示唆されるため、部分熔融によるメルト分離の程度の違いにより、メルトが抜けたレスタタイトの岩相がサフィリン-ザクロ石-斜方輝石グラニュライトであり、メルトが有効に分離せずより低温で再平衡に達したものがザクロ石-黒雲母片麻岩である可能性がある。本講演では、さらに詳細な分析結果を加え、各岩相の特徴や形成過程について議論する予定である。

東南極，プリンスオラフ海岸地域 日の出岬の岩石の  
古地磁気測定結果

石川尚人 (京都大) ・本吉洋一 (極地研) ・廣井美邦 (千葉大) ・  
サティッシュ・クマール (静岡大) ・加々島慎一 (山形大) ・隅田祥光 (極地研)

Paleomagnetic results from rocks at Cape Hinode in the Prince Olav Coast area,  
East Antarctica

Ishikawa, N. (Kyoto Univ.), Motoyoshi, Y. (NIPR), Hiroi, Y. (Chiba Univ.), Satish-  
Kumar, M. (Shizuoka Univ.), Kagashima, S. (Yamagata Univ.), and Suda, Y. (NIPR)

East Antarctica has been considered to have composed East Gondwana with Australia and India during early Neoproterozoic formation of Rodinia. East Gondwana has been also assumed to have behaved as a single craton in the period from the break-up of Rodinia to the assembly of Gondwana. Recently, tectonic blocks with different movements and thermo-tectonic events have been suggested in East Antarctica (e.g., Fitzsimons, 2000).

The Lützow-Holm Complex (LHC), extending along the Prince Olav Coast and Lützow-Holm Bay region between 39°E and 45°E in East Antarctica, is a metamorphic belt of amphibolite to granulite facies. The metamorphic grade increase from east to west (Hiroi et al, 1991). The LHC provides geochronological data of about 500 Ma, indicating that the LHC had suffered the Pan-African orogenic event related to the final amalgamation of Gondwana (e.g., Shiraishi et al, 1994). Previous paleomagnetic data of metamorphic and igneous rocks from exposed areas in the Lützow-Holm Bay has been interpreted to support the amalgamation event; those VGP positions are close to early Cambrian paleomagnetic poles of Gondwana.

At Cape Hinode area in the Prince Olav Coast (42.7°E, 68.1°S), metamorphic rocks of granulite facies was recognized recently (Hiroi et al, 2005), whereas amphibolite-facies metamorphic rocks are exposing in the surrounding area. SHRIMP zircon ages of about 1.0 Ga were reported from the metamorphic rocks in Cape Hinode area, and there are no evidence for ~500 Ma event in zircons in the rocks (Shiraishi et al, 1994). The Cape Hinode area has been thus regarded as an extraneous block (called Cape-Hinode block (CHB) in this study) in the Lützow-Holm Complex. In order to investigate tectonic relationships between the LHC and CHB, a paleomagnetic study was performed on rock samples collected from metamorphic rocks and intrusive rocks in Cape Hinode area at 12 sites. K-Ar and Ar-Ar mineral ages (hornblendes and biotites) of 530-480 Ma were reported from the metamorphic rocks and pegmatites, and were interpreted as cooling ages of the CHB (Fraser and McDougall, 1995).

Paleomagnetic analyses revealed the presence of stable remanent magnetic components carried by magnetite and/or hematite. Progressive demagnetiza-

tion results indicated the existence of two stable magnetic components. The low-temperature components, isolated generally below ~360°C, were interpreted as the secondary component imparted under the recent geomagnetic field. The high-temperature (HT) components were observed in the temperature ranges higher than about 500°C, and carriers of the HT components were considered to be magnetite for metamorphic rocks and basic dike/sill, and magnetite and hematite for granite.

Five characteristic directions of the HT components were obtained from six sites of anorthositic gneiss, basic sill, granite and basic dikes (Fig. 1). The directions with no tectonic correction are well grouping, and are close to paleomagnetic directions from the LHC at the Lützow-Holm Bay area and expected directions from ~500-Ma paleomagnetic poles of East Gondwana and Gondwana. According to the K-Ar and Ar-Ar mineral ages, it is inferred that the HT components of the CHB isolated in this study might have been acquired at around 500 Ma. The directional relationship shown in Fig. 1 may imply that the CHB might have been located near the LHC at that time.

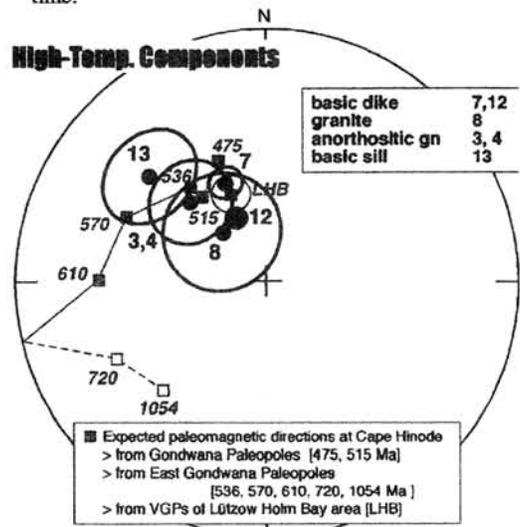


Fig.1 Equal-area plots of directions of high temperature (HT) magnetic components.

## 東南極リュツォ・ホルム岩体に産する超苦鉄質、苦鉄質 変成岩類の成因とマグマプロセス

隅田 祥光 (極地研)・川野良信 (佐賀大)

### *Petrogenesis and paleo-magmatic processes of metamorphosed ultrabasic and basic rocks in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica*

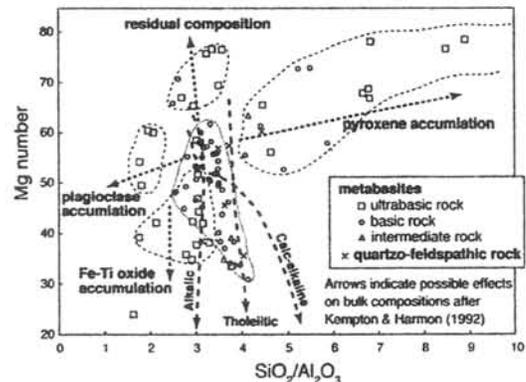
Y. Suda (NIPR) and Y. Kawano (Saga University.)

東南極リュツォ・ホルム岩体において、砂質-泥質変成岩類、あるいは石英長石質変成岩類中にみられる、優黒質なレイヤー状、レンズ状、ブロック状の岩体は、これまで一括してメタベイサイト (metabasite) として記載、分類されてきた。メタベイサイトは、苦鉄質変成岩類の総称であるが、リュツォ・ホルム岩体におけるメタベイサイトは、実際には超苦鉄質類、苦鉄質類、中性岩類に分類される変成岩からなる。Hiroi *et al.* (1986)は、超苦鉄質変成岩類の成因についての検討を行い、はんれい岩起源であるとした。Kanisawa *et al.* (1987) は、苦鉄質変成岩類の全岩化学組成は MORB に類似していることを示した。Suda *et al.* (2006) は、岩体東部の苦鉄質変成岩類は、島弧的な塩基性マグマ起源であり、そこから岩体西部へ向かって T-E-type MORB 的なものへと変化することを示した。

本講演では、これらメタベイサイトの成因とマグマプロセスについての検討を行う。また、 $\text{SiO}_2$  含有量が < 45 wt%、色指数 (有色鉱物のモード%) が > 90、ノルム鉱物組成の  $\text{Di} + \text{Hy} + \text{Ol}$  が > 70、これらいずれかの条件を満たすものを超苦鉄質岩類とし、色指数が 50-90 かつ  $\text{SiO}_2$  含有量が 45-52 wt% のものを塩基性岩類、色指数が 50-90 かつ  $\text{SiO}_2$  含有量が 52-64 wt% のものを中性岩類とし、以上までをメタベイサイトとする。そして、石英長石質で、 $\text{SiO}_2$  含有量が > 52 wt%、色指数が < 50 のものを石英長石質岩としメタベイサイトと区別する。

Mg number vs.  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ダイアグラム上に、メタベイサイト、石英長石質片麻岩類の全岩化学組成をプロットした。苦鉄質岩類の組成領域は、おおよそソレアイトの分化トレンドに乗る。一方、超苦鉄質岩類の組成領域は、大きく4つに分かれ、それらは Mg number が 50-60、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  比が 3-4 程度の初生的な玄武岩質マグマの組成領域から放射状にのびる、輝石の集積、斜長石の集積、鉄チタン酸化物の集積トレンド、また玄武岩類の部分融

解による解け残り物質 (residue) の組成変化トレンドの上にそれぞれ位置する。実際、輝石の集積トレンド上にある超苦鉄質岩類は輝岩や輝石に富むグラニュライトである。斜長石の集積トレンド上のもは、斜長石のモード組成が 55% を超える。鉄チタン酸化物の集積トレンド上のもはイルメナイトを主体とする不透明鉱物のモード組成が 5% を超える。解け残り物質の組成のトレンド上のもは有色鉱物のモード組成が 88% を超えるグラニュライトやホルンブレンダイトからなる。以上のことから、リュツォ・ホルム岩体における超苦鉄質岩類は、初生的な玄武岩質マグマからの異なるプロセスを経た沈積岩類、また玄武岩物質の部分融解により形成された解け残り物質であると考えられる。そして、超苦鉄質岩類中にしばしば見られるレイヤリングは、その沈積作用によるものと考えられる。一方、比較的均質な産状を示す苦鉄質岩類は、ソレアイト質な分化傾向を示す玄武岩類起源と考えられる。



#### 参考文献

- Hiroi, Y. *et al.* (1986): National Institute of Polar Research Special Issue, 43, 62-84.  
 Kanisawa, S. *et al.* (1987): Preceding of NIPR Symposium, Antarctic Geosciences, 1, 98-106.  
 Kempton, P.D. and Harmon, R.S. (1992): *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 56, 971-986.  
 Suda, Y. *et al.* (2006): *Polar Geoscience*, 19, 62-88.

## 東南極 ドロニングモードランドの変成・火成作用

大和田正明 (山口大), 馬場壮太郎 (琉球大), 小山内康人 (九州大),  
白石和行 (NIPR), 加々美寛雄 (新潟大)

Metamorphic and magmatic processes in Dronning Maud Land, East Antarctica  
M. Owada (Yamaguchi Univ.), S. Baba (Univ. Ryukyus), Y. Osanai (Kyushu Univ.), K. Shiraishi (NIPR), H. Kagami (Niigata Univ.)

ドロニングモードランド中・東部 (0-36°E) には、パンアフリカン変動に関連して形成された変成岩類と火成岩類が広く分布する。このような変成作用や火成作用の特徴を明らかにすることは、ゴンドワナ大陸形成時におけるマントルから地殻深部にかけての進化過程を考える上で重要な情報を提供する。

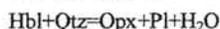
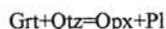
小論では、Pan-African 期の変成作用の概要と変成作用後に貫入した火成岩類 (花崗岩類, high-K 苦鉄質岩脈) を対象に、大陸-大陸衝突によって生じた変成作用と火成作用の特徴について議論する。検討した試料は西から Mühlig-Hofmann, Sør Rondane および Yamato に産する試料である。変成作用は Asami et al. (1992) と Engvik and Elvevold (2004) を引用した。また、Sør Rondane と Yamato の苦鉄質岩脈の記載と分析値は、Ikeda et al. (1995) と Arima and Shiraishi (1993) をそれぞれ引用した。

### 変成作用の概要

中央ドロニングモードランドにおける変成過程の特徴は以下のとおりである。

- 1) ざくろ石を含む苦鉄質グラニュライトには、ざくろ石斑状変晶の周囲に斜方輝石+斜長石シンプレクタイトが発達する。また、ホルンブレンドのリムが斜方輝石に置換されている。
- 2) ざくろ石珪線石片麻岩では、堇青石が珪線石、スピネルおよびイルメナイトを含む。また、しばしばざくろ石もスピネルを包有する。

以上から次の反応が想定される。



これらの反応は圧力低下と温度上昇によって生じたと考えられ、時計回りの P-T-t path が想定されている。また、ピーク変成条件は 800 MPa, 800°C が見積もられている。このような P-T-t path は大陸衝突と引き続く下部地殻の上昇を反映したものとされた。また、構造解析の結果、下部地殻の上昇をもたらした造構場は引張応力が卓越していたことを示す。

これまで報告されているグラニュライト相変成作用の年代値は、1100-1000 Ma と 560-520 Ma に集中する。前者はグレンビル期、後者はパンアフリカン期に相当

し、上述した鉱物組み合わせや変成反応はパンアフリカン期に生じたとされている。

### 火成作用の概要

火成岩類は主に花崗岩類 (トータル岩, 花崗岩, 閃長岩, モンゾニ岩) および high-K 苦鉄質岩脈 (ドレライト, ランプロファイアー, ランプロアイト) で、変成岩の面構造を切って貫入し、一部は母岩に接触変成作用を与えている。活動年代は主に 520-490 Ma で、主要な変成作用直後の年代値を示す。以下に花崗岩類と high-K 苦鉄質岩脈の特徴について述べる。

### 花崗岩類

花崗岩類は大きくトータル岩-花崗岩と閃長岩-モンゾニ岩に区分される。両岩系が接するところでは、トータル岩-花崗岩が閃長岩-モンゾニ岩に貫かれている。いずれにしても花崗岩類は LREE/HREE 比が高く、多くは Eu/\*Eu 比が 1 以上を示す。これらの化学的特徴から、花崗岩質マグマの生成条件はざくろ石の安定な圧力条件が想定される。

### High-K 苦鉄質岩脈

High-K 苦鉄質岩脈化学的特徴は、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比と LREE/HREE 比が高いこと、そしてスパイダー図において、LILE に富み、Nb, Ta, Ti の負異常を示すことである。Sør Rondane, Yamato に産する苦鉄質岩脈には  $\text{SiO}_2 \geq 53\text{wt}\%$  で  $\text{MgO} \geq 6\text{wt}\%$  の高 Mg 安山岩組成に相当する岩石を含む。ドレライトやランプロファイアーは、Ba/Nb-La/Nb 図で一連のトレンドを形成する。高 Mg 安山岩組成の岩石もこのトレンド上にあり、トレンドの延長には海洋底の堆積物の組成がプロットされる。一方、ランプロアイトのトレンドは、ドレライトやランプロファイアーの組成と異なり、カーボナタイトの領域と重なる。

### パンアフリカン期のテクトニックセッティング

変成作用と火成作用からパンアフリカン期のドロニングモードランドは衝突帯に位置していたことが示唆される。衝突に先立つ海洋プレートの沈み込みによって上部マントルは汚染されていたと考えられる。大陸-大陸衝突の直後には引張場に転換され、減圧による下部地殻の溶融、その後汚染されたマントル起源のマグマが貫入したものと想定される。そして、これらの熱源はアセノスフェアの上昇によると推察される。

スリランカ産 corundum 中の流体包有物の産状と特性  
 鳥本准司(北大・理), 松枝大治(北大・総博), 田口幸洋(福大・理),  
 M.D.P.L.Francis(北大・COE)

## The mode of occurrence and the characteristics of fluid inclusions in corundum from Sri Lanka

J.Torimoto(Grad. Sch. Sci., Hokkaido Univ.), H.Matsueda(The Hokkaido Univ. Museum), S.Taguchi(Fac. Sci., Fukuoka Univ.) and  
 M.D.P.L.Francis(COE, Hokkaido Univ.)

### 1. Introduction

Sri Lanka has been known as famous district producing various gemstones since ancient times. Especially, corundum is famous for its large size, good quality, color variety such as blue, purple, orange, yellow, white, star sapphires.

Many fluid inclusions are assumed in these corundums, and they are studied by several researchers such as Grubessi & Marcon (1986), Schmetzer & Medenbach (1988), and Francis et al. (2003) in past. Fluid inclusion study is quite important to clarify the formation conditions of corundum and its metamorphic process of host rocks, but the detailed study on the characteristics of fluid inclusion is not always enough in present.

In this study, it is aimed to investigate preliminarily on the mode of occurrences and characteristics of fluid inclusions in corundum based on the microthermometry and Laser Raman spectrometry.

### 2. Geological background and mode of occurrence of corundum

Most of high quality corundums are collected from alluvial deposits distributing in Highland Series metamorphic rocks of granulite facies in the central Sri Lanka. Few in-situ corundum deposits

are found Balangoda region in southeastern part of Highland Series, but gem quality stones are rare in these deposits. They were formed at the high-grade metamorphic conditions corresponding to Pan African event at ca 550Ma (Kroner et al., 1991)

There are two types of host rocks for corundum in this region, one is granulitic gneiss and the other is calc-silicate granulite. The former, consisting of biotite, sillimanite, K-feldspar, plagioclase, graphite and spinel with corundum, was found as a narrow band within the biotite gneiss. Corundum crystals are surrounded by spinel and/or K-feldspar. The latter consisting of spinel, plagioclase, scapolite and phlogopite with corundum occurs in narrow streams and valleys as boulders and angular units. They are surrounded by plagioclase. (Francis et al., 2003)

### 3. The mode of occurrence of fluid inclusion

Fluid inclusions in corundum are classified into four types by Francis et al. (2003). The first types of inclusions are characterized by primary inclusions of single liquid phase with sizes of 40 to 500um in diameter and with general cylindrical shapes. It is most common in occurrence. The second are characterized by primary inclusions

accompanying gas bubbles and/or solid inclusions with generally large sizes in the range of 150 to 900um and with usually oblong square or polygon shapes. The third is rare but is characterized by primary inclusions with small gas or solid inclusions with the largest sizes ranging of 300 to 900um and with uncommon hexagon shapes. The fourth are uncommon type characterized by secondary inclusions. The sizes are small in the range of 10 to 70um and the shapes are variable.

Daughter minerals occur within the fluid inclusions of the second and third types. Two types of daughter minerals are distinguished: one is black, platy, hexagonal shaped and the other is thin, transparent, needle-like to tabular crystal.

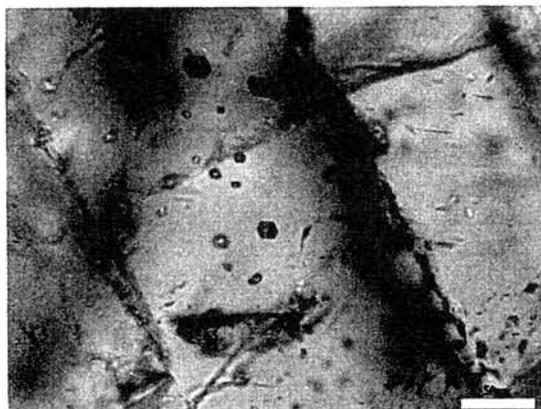


Photo.1 The mode of occurrence of fluid inclusions in corundum.

#### 4. Summary and conclusions

According to the microthermometry and the Laser Raman spectrometry of the fluid inclusions in corundum, the melting temperatures ( $T_m$ ) of primary and secondary fluid inclusions tends to show each  $-58.0 \sim -57.0^\circ\text{C}$ ,  $-58.3 \sim -57.7^\circ\text{C}$  (Fig.1) and the homogenization temperatures ( $T_h$ ) of primary and secondary ones show  $-23.1 \sim 6.3^\circ\text{C}$ ,  $27.7 \sim 29.9^\circ\text{C}$ , respectively (Fig.2). It is indicated that the density and purity of primary inclusions are higher than secondary one.

They contain  $\text{CO}_2$  gas, and daughter minerals

such as corundum, diaspore and graphite are also detected in the inclusions. Considering the abundance of primary  $\text{CO}_2$  inclusions and graphite as daughter mineral in corundum, it is suggested that  $\text{CO}_2$  fluids have played significant role for corundum and graphite formations. Considering the results of this study, one of assumable formation reactions for graphite might be as follows;  $2\text{CO}=\text{CO}_2+\text{C}$

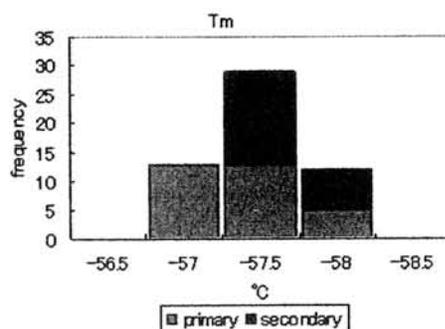


Fig.1 Histogram of melting temperatures of fluid inclusion in corundum.

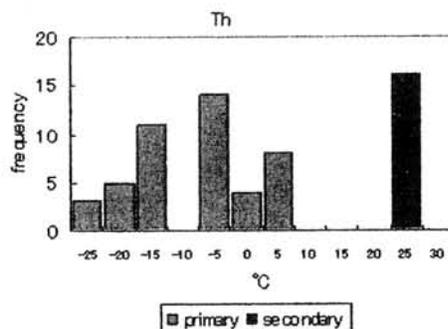


Fig.2 Histogram of homogenization temperatures of fluid inclusion in corundum.

東南極ナピア岩体プリーストリー・ピークの  
超高温グラニュライトに含まれる流体包有物

角替敏昭 (筑波大), 小山内康人 (九州大), 大和田正明 (山口大), 豊島剛志 (新潟大), 外田智干 (極地研), W.A. Crowe (西オーストラリア大)

Fluid inclusions in ultrahigh-temperature granulites from Priestley Peak in the Napier Complex, East Antarctica

Toshiaki Tsunogae (Univ. Tsukuba), Yasuhito Osanai (Kyushu Univ.),  
Masaaki Owada (Yamaguchi Univ.), Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.),  
Tomokazu Hokada (NIPR), W.A. Crowe (Univ. W. Australia)

東南極ナピア岩体の西部に位置するアムンゼン湾地域は, JARE38-42 において実施された SEAL 計画によって地質調査が行われ, 超高温変成作用の解析や変成年代について多くの成果が公表されてきた. 本研究の対象地域であるプリーストリー・ピークはトナー島の南南東約 5 km に位置し, JARE39 によって地質調査と試料採集が行われた地域である. 本発表では特に石英長石質片麻岩に含まれる流体包有物に注目し, プリーストリー・ピークの超高温変成作用における流体の活動について検討を行った.

解析を行った岩石試料 (TS98022405) は, 主にメソパーサイト, 石英, 珪線石から成る. マフィック鉱物はざくろ石, サフィリン, スピネルと微量の黒雲母, 堇青石である. サフィリンと石英は現在共生していないが, 両者の隣接部には珪線石と堇青石からなるコロナが存在する. 流体包有物は, ざくろ石と珪線石に多く含まれる. ただし, これらはほとんどが二次包有物であり, 特にざくろ石のクラック面に沿って多数の包有物が存在する. 一方, ざくろ石に包有される珪線石中には, 初生包有物がみられる. この包有物は珪線石の成長時に取り込まれたものであり, 累進~ピーク変成作用時の流体であると考えられる.

岩石中に存在するすべての流体包有物の融点は $-56.9^{\circ}\text{C}$ から $-56.5^{\circ}\text{C}$ であり, ほぼ純粋な  $\text{CO}_2$  である. ざくろ石中の  $\text{CO}_2$  は $-11.3^{\circ}\text{C}$ から $+9.6^{\circ}\text{C}$ ですべて液相へと均質化し, この均質化温度に相当する流体密度は $0.87\text{--}0.99\text{ g/cm}^3$ と低い. 上記の組成および密度データから計算されたアイソコア

(等密度線)は $1000^{\circ}\text{C}$ で約 $5.2\text{--}7.4\text{ kbar}$ に相当することから, これら低密度  $\text{CO}_2$  流体はナピア岩体上昇時(後退変成作用末期)に取り込まれたものであると考えられる. この低い圧力値は, 流体包有物がざくろ石中の二次的なクラックに沿って産出する事実と調和的である. 一方, 珪線石中の初生  $\text{CO}_2$  の均質化温度は $-35.5^{\circ}\text{C}$ から $-33.9^{\circ}\text{C}$ であり, 密度は $1.02\text{--}1.10\text{ g/cm}^3$ と極めて高い. アイソコアを計算すると, この流体は $1000^{\circ}\text{C}$ で $8\text{--}10\text{ kbar}$ の高圧条件下において取り込まれたことが明らかになった. この推定温度圧力値は, アムンゼン湾地域のピーク変成条件と一致する.

近年の超高温変成岩における流体包有物の研究から, ピーク時に成長した鉱物中に高密度の  $\text{CO}_2$  が含まれていることが明らかになった. つまり, 超高温変成作用の流体相は  $\text{CO}_2$  が卓越していたと考えられる.  $\text{CO}_2$  の存在は相対的に  $\text{H}_2\text{O}$  の活動度の低下をもたらすが, これは超高温変成鉱物組み合わせがほとんど無水鉱物によって構成されている事実と調和的である. 過去の研究により, アムンゼン湾周辺のトナー島とバント島から高密度初生  $\text{CO}_2$  流体包有物が確認されている. 同様の  $\text{CO}_2$  流体がプリーストリー・ピークからも確認されたことは, アムンゼン湾地域全体の超高温変成作用に  $\text{CO}_2$  流体が深く関与したことを意味する. ナピア岩体には  $\text{CO}_2$  の発生源となる石灰質片麻岩が乏しいため, この  $\text{CO}_2$  はより深部の地質体からもたらされたものであろう. 可能性として, 超高温変成作用の熱源とされる火成岩体や上部マントルが挙げられる

## 南極観測用小型無人航空機Ant-Plane 4号機による500kmの連続飛行と 空中磁気探査

船木 實(国立極地研究所)、Ant-Planeグループ  
P. Milligan (Geoscience Australia)、フジ・インバックkk

### A continuous flight to 500km with magnetometer by a small unmanned aerial vehicle, Ant-Plane 4, for Antarctic Research

Minoru Funaki (NIPR), Ant-Plane Group  
P. Milligan (Geoscience Australia), Fuji Imvac kk

JARE46から昭和基地でのセスナとピラタスの越冬は中止となった。この結果、越冬中の航空機観測できなくなり、またルート偵察等の野外調査の安全に関わる調査もできなくなった。我々はこのような問題の解決に寄与するため、南極観測用小型無人航空機の開発を行ってきた。2006年3月にAnt-Plane4号機(図1)により空中磁場探査を主目的とした500kmの連続飛行実験を行い、500kmの連続飛行と空中磁場探査に成功した。この結果、気温-15℃以上、風速7m/s以下の気象条件で、昭和基地から半径200km以内での空中磁気観測、気象観測、それに航空写真撮影が可能になった。本シンポジウムでは500kmの飛行実験と空中磁場観測の結果を紹介する。



図1 Ant-Plane4号機、先端に磁気センサーを持つ

本実験は西オーストラリア州カルグリー近郊の Mt. Vettters Stationを滑走路としてオーストラリア地球物理研究所と共同で行った。カルグリー周辺は砂漠のため人口密度が希薄で、長時間にわたり天候が安定し、金やニッケルの鉱山も多く、大きな磁気変化が期待され、実験地として最適であると考えた。当初、カルグリーから西方に250km直線飛行させ、同じコースを引き返し、連続500kmの空中磁場探査を計画した。しかしオーストラリアの民間航空安全公社(Civil Aviation Safety Authority: CASA)からは、機体と基地局が常時交信できる半径15km以内の飛行のみが許可された。大幅な変更となったが、Ant-Planeによる空中磁場探査の実証につながる実験と考え実施することにした。飛行空域は機体と確実に交信できる滑走路を中心に東西10km、南北10km、飛行高度は地上から500m(気圧高度計による)の範囲とした。この空域を南北に250m間隔で41フライト飛行させ、更に空域内を周回飛行させることにより合計500kmの連続飛行を計画した。CASAからは、実験中に基地局と航空管制が常時通信するため、通信機とオーストラリアの通信免許を持つ通信士の常駐を義務付けられた。これをクリアするためキャンベラから通信機をレンタルし、カルグリー飛行場からは軽飛行機のパイロット1名を雇用した。なお、実験に先立ち、経済産業省の輸出許可を取得した。

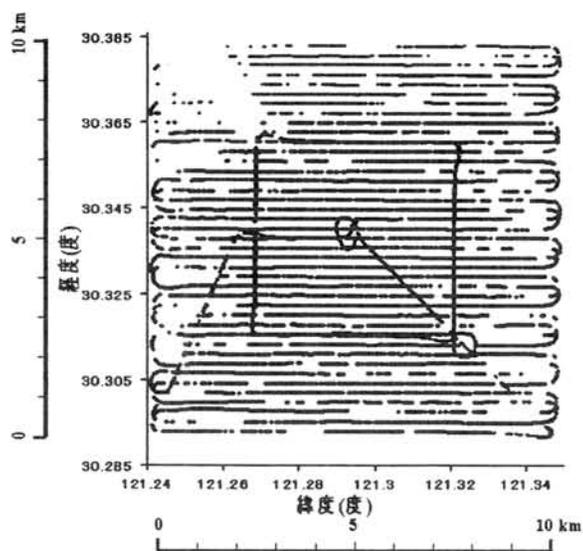


図2 西オーストラリアKalgoorlieでの500kmの飛行ルート

実験は3月22日、晴れ、7m/sの風が吹く中で行われた。500 kmの連続飛行実験ではAnt-Plane4号機の先端に長さ1mのFRPパイプを取り付け、その先端に磁力計センサーを取り付けた。混合ガソリンを12.4%搭載した。現地時間12時30分に離陸し、順調な飛行の後、16時44分滑走路に着陸した。飛行時間は4時間14分、対空飛行距離は531km、対地飛行距離は502kmであった。巡航飛行中の速度変化は84～172km/hと変化し、平均速度は対空で125km/h、対地速度で118km/hであった。滑走路面からの平均飛行高度は502mであったが、旋回中には高度が492～552mまで変化した。飛行データは秒値で基地局に送られたが、旋回中や仰角区が低いときは受信できないこともあった(図2)。飛行は10×10kmの範囲を南北250m間隔で計画通り飛行したことが分かる。なお、使用燃料は10.1%、燃費は53km/%であった。

図3は高度500m、南北500m間隔で東西に飛行した3測線の磁場の強度変化の例である。短周期磁気ノイズが見られるが、明瞭な長周期の磁気変

化が観測されている。Ant-Planeに搭載している磁力計システムは小型のため、三軸磁気センサーの直交度に2度前後の誤差が含まれている。機体の姿勢が変化すると、この方向誤差が磁気ノイズとなり、測定結果の精度を悪くしていると考えられる。

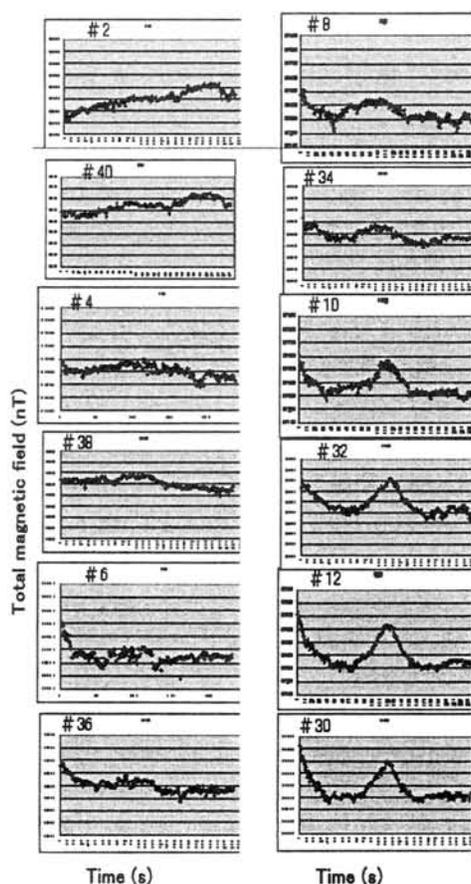


図3 地表高度500mで観測された磁気変化(風下への飛行)

## 隕石衝突と残留磁化：インド、ロナー・クレーター

西岡 文維 (総研大)・船木 實 (極地研)

## Impact of impact on remanent magnetization: Lonar crater in India

Itoyuki Nishioka (Soken Univ.), Minoru Funaki (NIPR)

岩石中に強い応力波が伝わると残留磁化のベクトルが変化する。これは地球上、また月や火星の衝突クレーターで観測される磁気異常の原因の一つとされている。最近、南極の氷床下に未知の巨大なクレーターがあると報告されたが、これが衝突起源か否かは磁場データから推測できるはずである。しかし応力波が磁化を変化させるというメカニズムは今でもよく理解されていない。ただ、圧力とその継続時間、磁性鉱物の磁気的パラメータ、外部磁場の有無などが、磁化の変化量や様式に影響するようである。そのメカニズムをより深く理解することは、逆にクレーターの形成した環境により強い制約を与えることにもなる。

このような背景から我々は、インドのロナー・クレーター (N19° 58.6' / E76° 30.5') で実際に岩石試料を採集し、その磁気の基礎的な研究を行っている。デカンの玄武岩台地にできた直径約 1.8km のシンブルクレーターで、約 5 万年前の衝突年代が推定されている。ベースが玄武岩のため磁化が強く、地質構造が比較的単純、また形成年代が若いなどの特徴をもち、磁化の改変を研究するのに都合がよい。

玄武岩のコア試料は、クレーターの内壁と衝撃の影響がより少ないと考えられる外部から、計 21 地点で採集された。熱磁化実験の結果から、主要な磁性鉱物はキュリー点 520-560°C の Ti-poor なチタノマグネタイトと、それが低温酸化したものと考えられる。帯磁率も内外で大きな違いはなく、多くが  $1E-5 \sim 1.5E-5 \text{ m}^3/\text{kg}$  の範囲内である。その異方性は共に小さく ( $P < 1.03$ )、その主軸の方向と衝突による応力波の伝播方向に関連は見られない。

段階交流消磁 (AFD) の結果、自然残留磁化 (NRM) から 2 つの方向が分離された。低保持力の成分は 10

~20mT までに完全に消磁され、その方向は現在の地球磁場とほぼ平行である。今回の試料のうち、衝撃を受けた時点での方位を保持していないエジェクタや転石からも同様の方位が得られた。よって、これらは衝撃磁化ではなく粘性的または熱的に獲得された可能性が高い。一方、高保持力成分はフォールドテストに合格し、傾度補正後の方向 ( $D=129.7$ ,  $I=33.8$ ,  $\alpha_{95}=10.0$ ) は、外部の試料の方向と区別できず、約 65Ma に溶岩流が定置した際獲得された磁化が安定に保持されていると言える。ただしその強度に内外で違いが見られた。非履歴残留磁化 (pARM,  $AF=20-80 \text{ mT}$ ,  $\text{bias}=0.05 \text{ mT}$ ) で規格化した高保持力成分の NRM 強度は、内部の試料が相対的に小さく、消磁曲線はより直線的である (図 1)。これはもともとの残留磁化の、より低保持力の部分が、衝撃によって選択的に消磁された結果と解釈できる。

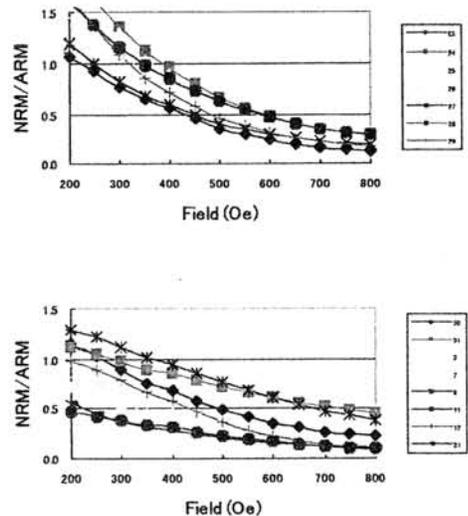


図 1. AFD 中の NRM 強度変化 (ARM で規格化)。20mT 以上を示す。(上)クレーター外部 (下)内部

## UHT crustal processes: a view from felsic rock

T. Hokada (NIPR), S. Suzuki (Nagoya Univ.)

### Introduction

Felsic orthogneiss is a common constituent in various granulite-facies terranes. Because of its relatively simple mineral assemblage, which is stable over a wide P-T range, such gneisses have not been regarded as a useful lithology for estimating metamorphic conditions and processes. The protolith of the felsic orthogneisses are in many cases regarded as igneous rocks whose geochemical characteristics are useful for evaluating the original magmas. However, less attention has been paid to the effects of the compositional modification, even if minor, during the high-grade metamorphism. In view of felsic orthogneisses occupying such a large proportion of high-grade metamorphic terranes, a tool to investigate their metamorphic and chemical processes should be needed. This study proposes feldspar mineral texture and composition to use for discussing the high-grade metamorphic processes including the chemical behavior controlled by fluid and/or partial melting.

### Felsic orthogneiss samples

Six felsic orthogneiss samples used in this study were collected from the Mt. Riiser-Larsen area within the UHT zone of the late Archaean - early Proterozoic granulite terrane of the Napier Complex. Felsic orthogneisses are dominant in the area, and are roughly classified into tonalitic and granodioritic compositions (Suzuki et al., 1999). Peak metamorphic conditions in this area were estimated to be >1100 °C (e.g., Harley and Motoyoshi, 2000; Hokada, 2001). The felsic orthogneisses have been completely recrystallized at such UHT conditions and contain the anhydrous mineral assemblage of quartz + antiperthite + orthopyroxene + clinopyroxene for tonalitic samples (sp. SS97012101, SS97011505, SS97011304) and quartz + mesoperthite + orthopyroxene for granodioritic samples (sp. SS97021102, SS97012401, SS97020402). Magnetite, ilmenite, apatite and zircon are minor. Quartz, feldspars and pyroxenes show granoblastic textures and typically lack alignment of the crystals. Fine monazite grains (<10 µm) are occasionally found within or around apatite crystals.

### Antiperthite and mesoperthite

Needles or rods of 20-50 µm diameter are developed as exsolution lamellae in

antiperthite, whereas thin plates of less than 10 µm thickness comprise the lamellae of mesoperthite. For both antiperthite and mesoperthite, exsolution lamellae are commonly restricted to the cores of feldspar grains, whereas a lamella-free area less than 100 µm wide, is developed at the rim. No significant compositional differences between lamella-free rim and the host part in the lamellae-rich core can be seen. To assess the compositional variation within single crystals, such as lamellae-rich core and lamellae-free rim, pre-exsolution one-phase original compositions have been calculated separately for feldspar whole-grain (w) and for core (c) where exsolution lamellae is concentrated.

### Results and discussion

Antiperthite in three 'tonalitic' samples have pre-exsolution compositions of feldspar core (an:ab:or = 20-28:53-56:17-28) and whole grain compositions of (an:ab:or = 24-29:58-63:13). Mesoperthite in three 'granodioritic' samples have pre-exsolution compositions of core (an:ab:or = 15-17:37-48:36-48) and whole grain (an:ab:or = 18-20:45-56:24-37) (Fig. 1). Several models of the ternary feldspar solvus (Fuhrman and Lindsley, 1988; Lindsley and Nekvasil, 1989; Elkins and Grove, 1990) suggest that these recovered feldspar compositions were stable at over 940-1100 °C for core (c) and 850-1070 °C for whole-grain (w) except for the extremely high temperatures (~1170 °C) calculated by the model of Elkins and Grove (1990). These estimated temperatures (at least 850 °C up to 1100 °C), which correspond to the minimum peak temperatures recorded in the examined felsic orthogneiss, are consistent with the previously reported peak metamorphic conditions in the Mt. Riiser-Larsen area (e.g. Harley and Motoyoshi, 2000; Hokada, 2001). Feldspar crystals constitute large proportion of the rocks, and the formation of ternary one-phase feldspar replacing the pre-existing plagioclase-alkali feldspar pairs needs extensive recrystallization during UHT metamorphism. Such pervasive recrystallization might have happened with melt-present processes in such high temperature conditions, nevertheless no obvious petrographic evidence such as migmatitic structure or euhedral crystal shape or zonal structure which can be indicative of the presence of the melt during metamorphism, cannot be seen in these rocks. Differences between recovered one-phase feldspar core and

whole grain compositions reported here are keys for understanding the process to crystallize ternary feldspar in UHT conditions.

When taking into account the results of feldspar cores giving higher temperatures than feldspar whole-grain, the mechanisms may be related with one (or some) of the following possibilities: (1) Feldspar core-rim variation records original growth compositional zoning with temperature drop, and, hence, the lamella-free (orthoclase-poor) rim is the retrograde product post-dating the core formation at the metamorphic peak. However, any metamorphic reactions to form this texture is not reliable because no other obvious retrograde phase to be equilibrated with the lamellae-free rims has been observed in the rock. (2) Feldspar grains were originally homogeneous at the peak of metamorphism, and the lamella-free rim later formed by inter-crystalline diffusion during cooling. Precipitation of exsolution lamellae within the host crystal during cooling is largely controlled by the effective distance of intracrystalline diffusion, and it may be possible that nucleation of exsolution lamellae is prohibited at the area close to the grain edge where lamellae component can be easily diffused away toward the outside of the host crystal to precipitate an independent crystal. In this case, the width of lamella-free (orthoclase-poor) rim is controlled by the diffusion kinetics of orthoclase component in ternary feldspar. (3) Fluid-related process to remove  $K_2O$  component in the rim of feldspar grains (dissolution of pre-existing ternary feldspar and

re-precipitation of low- $K_2O$  feldspar) caused by the infiltration of fluid along grain boundary may be possible. This is, however, not supported by petrographical evidence suggesting the infiltration of fluid in the rock. (4) Ternary feldspar crystals may have been precipitated from partial melt during UHT metamorphism, and the change of feldspar composition from core to rim is controlled by or the function of the coexisting melt compositions. Although no obvious petrographic evidence to suggest the presence of partial melt during metamorphism can be seen in the rock as discussed above, it is quite possible for quartzo-feldspathic rocks to be partially molten at such high metamorphic temperatures as up to 1100°C even in the dry condition. Discrete processes and conditions to generate partial melt under UHT conditions and to precipitate ternary feldspars in the presence of melt in these rocks are beyond the scope of this paper, but they should be important targets to be assessed by the future study.

References: Elkins & Grove (1990) *Am. Mineral.*, 75, 544-559. Fuhrman & Lindsley (1988) *Am. Mineral.*, 73, 201-215. Harley & Hensen (1990) In: *High-Temperature Metamorphism and Crustal Anatexis*, 320-370. Harley & Motoyoshi (2000) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 138, 293-307. Hokada (2001) *Am. Mineral.*, 86, 932-938. Hokada et al. (2003) *Precamb. Res.*, 127, 215-228. Kroll et al. (1993) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, 510-518. Lindsley & Nekvasil (1989) *EOS*, 70, 506. Suzuki et al. (1999) *Polar Geosci.*, 12, 101-125.

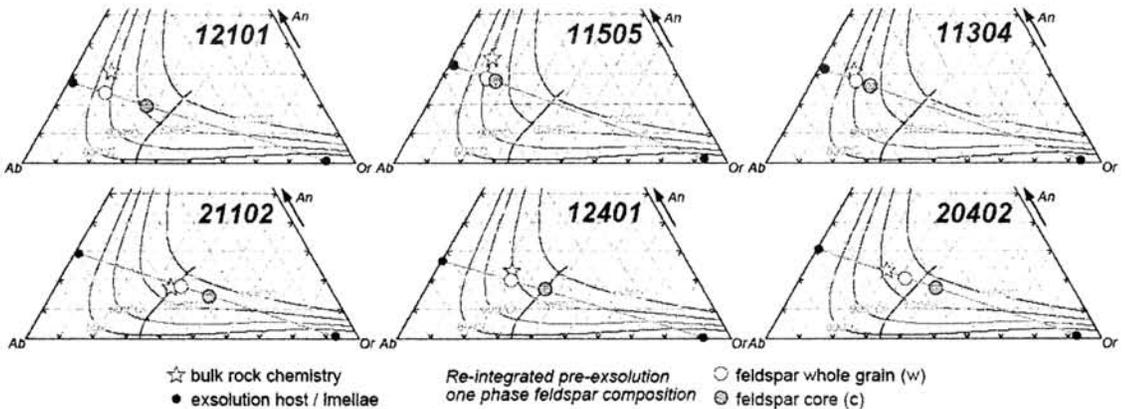


Fig. 1 Ternary plots of feldspar compositions along with re-integrated recovered one-phase compositions.

## リュッツォホルム湾沖における海底圧力計観測

青山雄一、野木義史、土井浩一郎、渋谷和雄 (極地研)

石川尚人(京大院)

Ocean bottom pressure measurement off  
Lützow-Holm Bay, Antarctic Ocean

## 1. はじめに

南極海における海洋質量分布の季節変化、年周変化などの検出、海洋潮汐モデル改良に向けた基礎データの提供、ならびに衛星重力ミッション(GRACE)データの検証を目的として、海底圧力計による連続観測を実施した。第46次南極地域観測隊(JARE46)の往路上で、リュッツォ・ホルム湾沖、北方約200kmの海底(水深約4500m)に設置し、第47次南極地域観測隊(JARE47)の復路で回収するまでに取得された約1.2年間の海底圧力計データの解析を行った。本講演では、比較的短周期(10日以内)の潮汐・非潮汐変動に着目し、その季節変化を議論する。

## 2. 海底圧力計観測

2004年12月15日、JARE46の往路航海において、短期型と長期型の2台の海底圧力計をリュッツォ・ホルム湾沖合(短期型: 37°50.0'E, 66°51.1'S、長期型: 37°49.1'E, 66°51.2'S)の深海底(水深約4500m)に設置した(図1d)。短期型については2005年2月10日、JARE46の復路航海で回収し、すでに初期解析結果が報告されている(土井他, 2005)。長期型海底圧力計については、2006年2月16日に、JARE47復路航海において無事回収した。これにより2004年12月15日15UTから2006年2月15日11UTの428日間の1分サンプリングデータの取得に成功した。

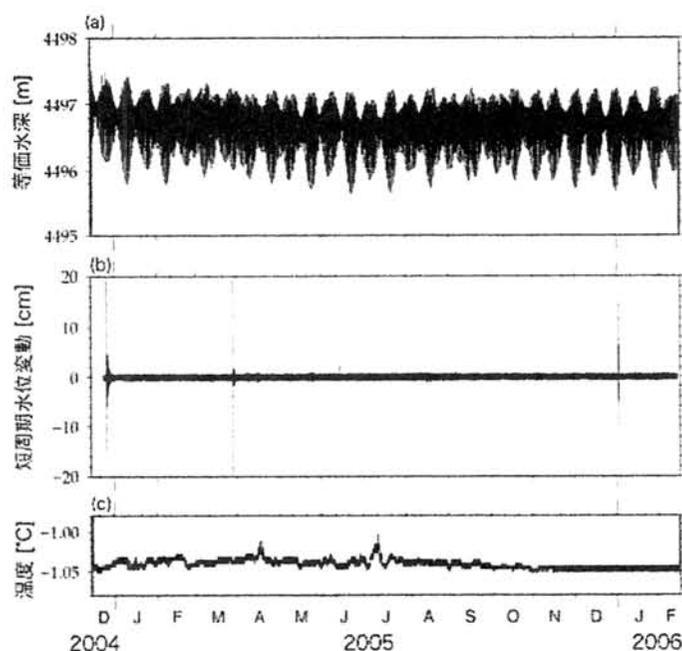


図1: 長期型海底圧力計設置点ならびに観測値

### 3. 解析

#### 3.1. 前処理

観測物理量は圧力[hPa]であるが、潮汐解析や他の観測量との比較を考え、静水圧平衡を仮定した等価水深[m]に換算する(図1a)。海底圧力計設置点の水深に相当する平均値を除去し、水位変化成分を取り出す。この水位変化の1分サンプリングデータにデジタルローパスフィルター(カットオフ周期60分)を適用し、1時間サンプリングのデータを作成し、潮汐解析に用いる。尚、ローパスフィルターで除去された成分を図1bに示すが、2004年12月26日のスマトラ島沖地震、2005年3月28日のスマトラ島西方沖地震による津波が顕著に観測されている。また、海底圧力計はその地点の海水温も測定しており、図1cにその時間変化を示す。この図から、この地点での海水温は年間を通して0.05度以内の変化に収まっている。

る。詳細に見ると、4月と7月に数10日程度の擾乱や、南半球の夏季に比べ冬季の海水温がわずかに高いなどの傾向が見られるが、AD変換の分解能程度の変化であるため、ここでは議論を避ける。

#### 3.2. 潮汐解析

前述の1時間サンプリングデータ全期間に対して、BAYTAP-G を用いた潮汐解析を行った。BAYTAP-Gでは1/3日から1日周期の主要分潮の潮汐成分(振幅、位相など)を求めるとともに、トレンド(ドリフト)成分を分離した。高緯度では、長周期潮汐の振幅が大きいため、BAYTAP-Gで得られたトレンド成分を1日間隔にリサンプリングし、長周期潮汐解析用に拡張されたBAYTAP-Lを用い、4-5日から半年周期までの長周期潮汐の解析も行った。長周期の主要分潮、MF(半月周

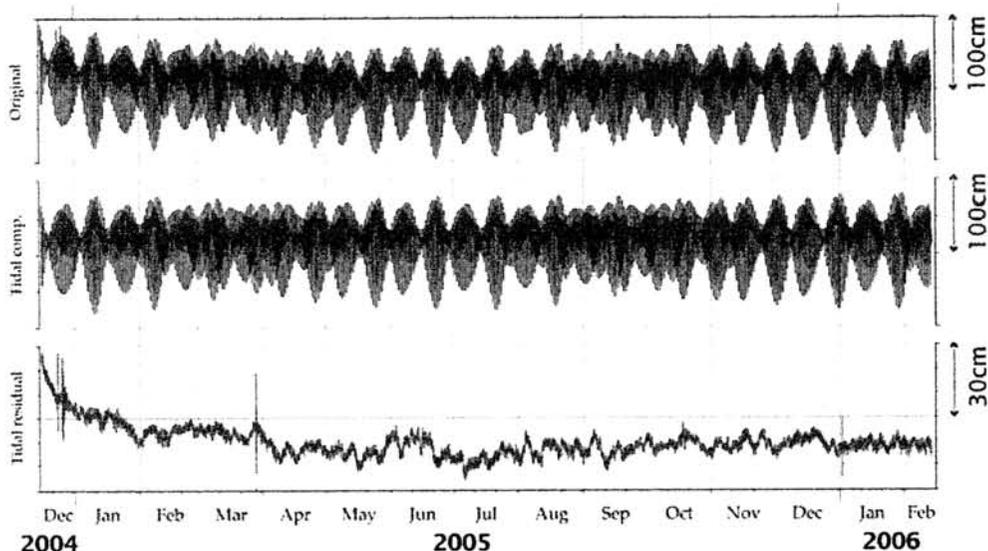


図2: 潮汐解析結果

上段) 観測された水位変化

中段) 1/3日から半年周期までの海洋潮汐成分

下段) 潮汐残差時系列

期)、MM(1月周期)、SSA(半年周期)で1cmを超える水位相当の圧力変化が観測された。

### 3.3. 非潮汐変化の解析

等価水位の非潮汐変化を調査するため、3.2節の潮汐解析で得られた1/3日から半年周期までの分潮の振幅・位相を基に、海洋潮汐予測値を計算し、1分サンプリングの水位変化データから差し引いた(図2)。この潮汐残差時系列をスペクトル解析した結果を図3に示す。10日より短周期側の潮汐残差(つまり非潮汐)成分に、いくつかのピークが見られた。3-5日の周期帯のピークは大気・海洋相互作用で励起されるRossy-Haurwitz波、1-2日の周期帯のピークは、南極周回流におけるKelvin波に対する水位変化に相当すると現在考えているが、0.5-1日の周期帯は、海上の大気圧変動に対する海面の静的応答(IB応答)からの乖離(Non-IB応答)であるかも知れない。そこで、ECMWF(欧州中長期気象予報センター)の客観解析値(格子点間隔2.5度、6時間毎)から求めた海面気圧と潮汐残差時系列のクロススペクトル解析を試みた。マルチテーパ法を用いた時間変化クロススペクトル解析を行った結果、半日周期に見られた潮汐残差成分のスペクトルピークは、大気圧変動とコヒーレンスが見られ、それは季節により変化(南極の春・秋に卓越)する大気圧変動に対するNon-IB応答であることが示唆された。

### 3.4. 潮汐振幅の季節変化

海水密度の鉛直構造が時間変化しない仮定した、圧力-水位換算を検証するため、30日の期間毎にBAYTAP-Gで解析された主要分潮の振幅の時間変化を求めた。本来、振幅は一定であると考えられるが、解析結果から、各分

潮の振幅が冬季に増大し、夏季に減少する季節変化が得られた。同様の季節変化は、2003年から2004年の昭和基地西の浦の駿潮データでも見られる。この原因について調査中である。

## 4. まとめ

リュッツォ・ホルム湾沖合に設置された長期型海底圧力計で観測された約1.2年間のデータの解析を行い、南極海深海での海洋潮汐(1/3日から半年周期)の解析、10日より短周期の非潮汐変化の時間変化、短周期潮汐の振幅季節変化を調査した。

## 参考文献

土井他, 南極海における海底圧力計の設置とその初期解析結果, 日本測地学会第104回講演会, 京都, 2005年10月27-29日

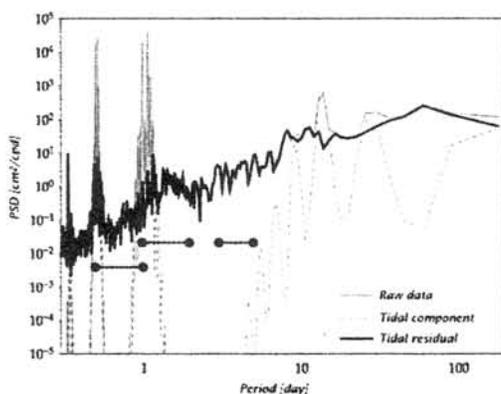
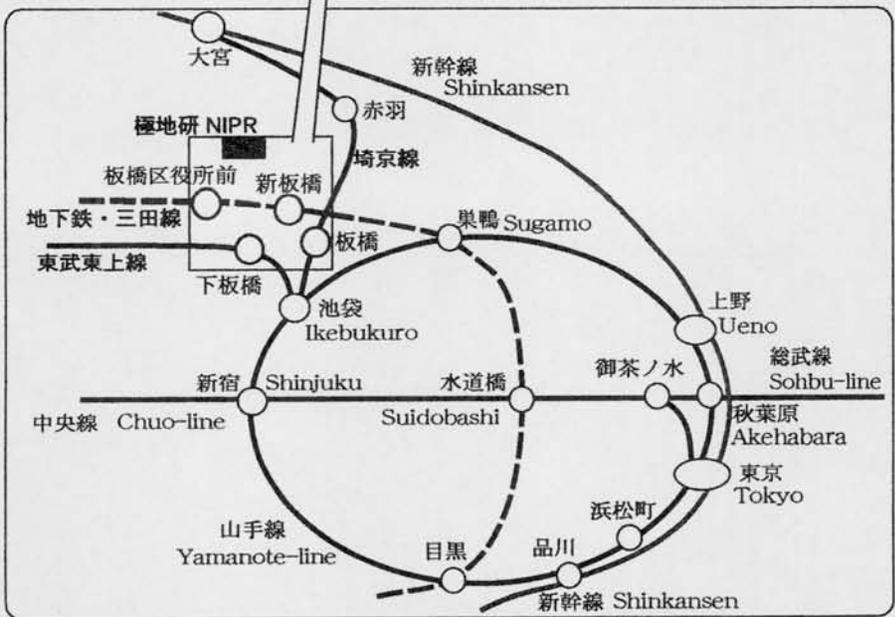
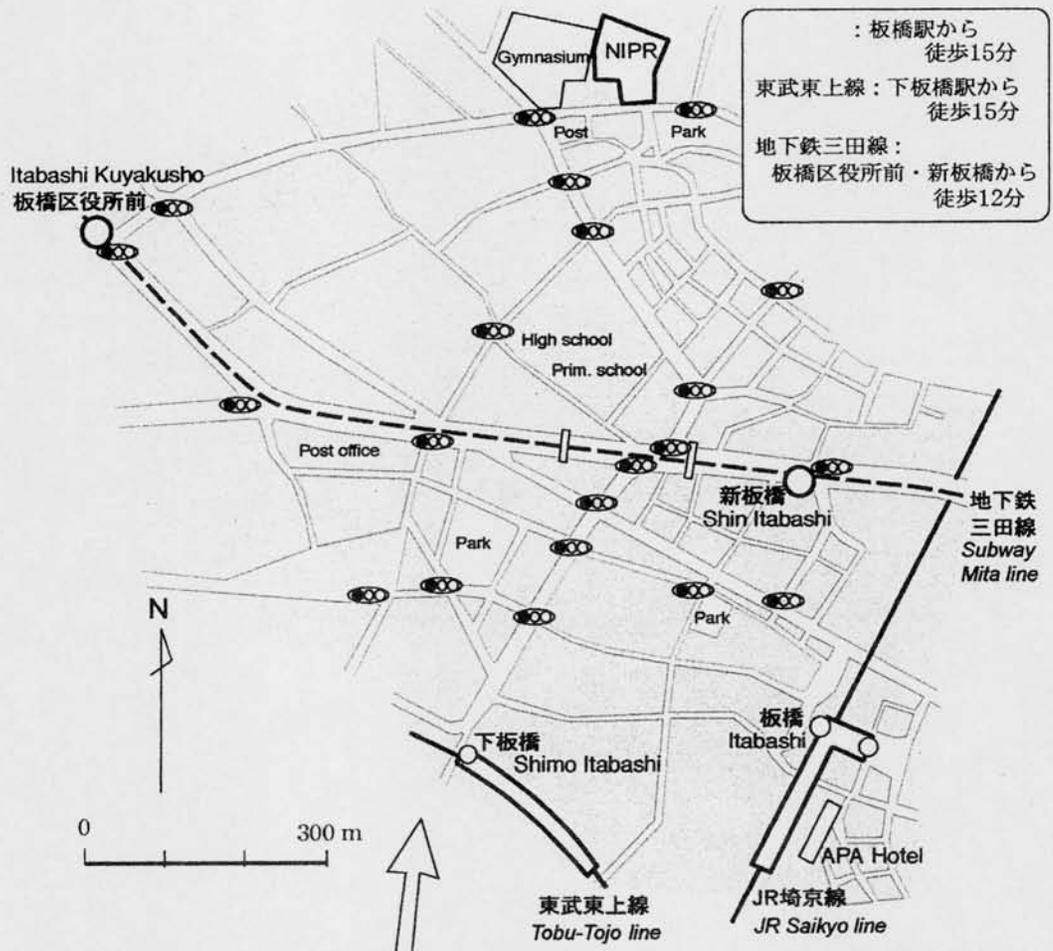


図3: 潮汐残差のパワースペクトル



国立極地研究所 地学 〒173-8515 東京都板橋区加賀 1-9-10  
 極地研ホームページ：<http://www.nipr.ac.jp/>  
 第26回極域地学シンポジウム：<http://polaris.isc.nipr.ac.jp/~geo/jp/index.htm>

