

南極大陸の生い立ち：U-Th-Pb 年代からのアプローチ

外田 智千

国立極地研究所・地圏研究グループ
〒173-8515 東京都板橋区加賀 1-9-10
TEL: 03-3962-4789 FAX: 03-3962-5741
E-mail: hokada@nipr.ac.jp

1. はじめに

南極大陸は日本列島の約 33 倍の面積を持ち、地球上のどの国にも属さず科学研究のために開かれている地球上のフロンティアである。日本の南極観測は 1956 年に第一次観測隊が南極に向かったから今年でちょうど 50 周年を迎える。南極大陸には約 38 億年前から現在に至る様々な地質時代の岩石が分布し、U-Th-Pb 系の年代測定はその地殻形成発達史を紐解く上で非常に有効である。特に近年の局所分析法の発展によって、U,Th 含有放射性鉱物中の数～数十ミクロン領域の年代値を得ることが可能となり、年代解析の精度や分解能は格段に向上した。国立極地研究所では二次イオン質量分析計（イオンマイクロプローブ：SHRIMP、図 1 左）および電子線マイクロプローブ（JEOL JXA-8800、図 1 右）を用いた U-Th-Pb 系の年代測定をおこなっており、極地研究所のスタッフおよび国内外の研究者との共同研究によって南極大陸やかつて南極に連なっていたアメリカ・スリランカ・インドといった地域の大陸進化過程の研究をおこなっている。

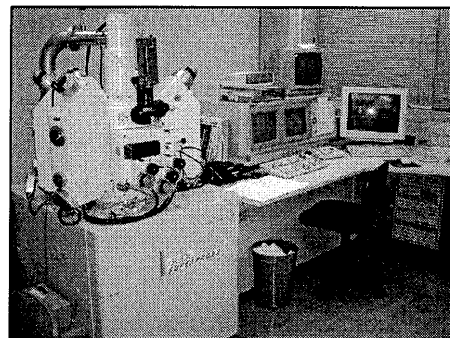
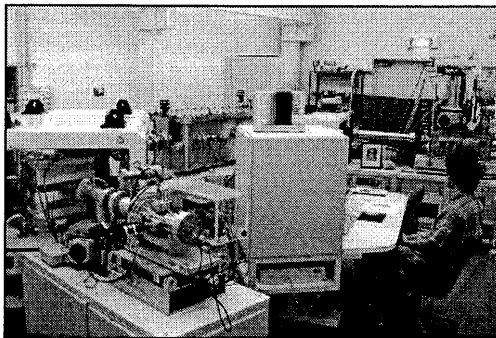


図 1 極地研究所のイオンマイクロプローブ（左）と電子線マイクロプローブ（右）

2. U-Th-Pb 系の年代測定

U-Th-Pb 系の年代測定は岩石中のジルコンやモナザイトといった U,Th を含有する放射性副次鉱物中に含まれる ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th といった放射性同位体が ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb へ放射改変する性質を利用し、その長い半減期（7 億年～140 億年）という特徴から非常に広い年代範囲に適用可能な年代測定法として広く用いられている。1970 年代後半にオーストラリア国立大学の Compston 教授のグループによって局所分析の可能なイオンマイクロプローブを用いた二次イオン質量分析計（SHRIMP）が開発され、U-Pb 系の年代測定の空間分解能は画期的に向上した。その後現在に至るまで世界で 10 台を超える SHRIMP（日本では広島大学と極地研究所の 2 台）が稼働し、U-Pb 系の年代測定をはじめとして様々な地球科学・惑星科学の研究に貢献している。SHRIMP に関する日本語での解説は日高・佐野 (1997) に詳しいので参考にされたい。この SHRIMP というのは

非常に高感度で U-Pb の分析が可能な反面、日々のメンテナンスや試料準備・測定その他に非常に手間と時間のかかる装置である。一方 1990 年代になって、名古屋大学年代測定センターの現センター長である鈴木和博教授によって、汎用の X 線分析装置である電子線マイクロプローブを用いた U-Th-Pb 年代測定法 (U-Th-total Pb Chemical Isochron Method: CHIME 法) が開発された (Suzuki et al., 1991; Suzuki & Adachi, 1991)。この分析法は、SHRIMP に比べると分析精度・感度で劣るものの、5-10 ミクロン以下という非常に高い空間分解能や簡便に大量の測定が可能なことなどから、ここ最近になって世界中に急速に広まりつつある。CHIME 法の詳細についてはここで筆者が述べるまでもないので割愛するが、最新の解説は鈴木 (2005) に詳しい。

3. 南極と Gondwana 超大陸

1990 年代までに Gondwana (~約 5 億年前) と Rodinia (約 10 億年前~) という 2 つの超大陸モデルが提唱され、その中で南極大陸は太古代のクラトン为核心として約 10 億年前の Grenvillian 変動帯がその周囲を取り囲むような単純な解釈がなされていた (例えば Hoffman, 1991: 図 2)。

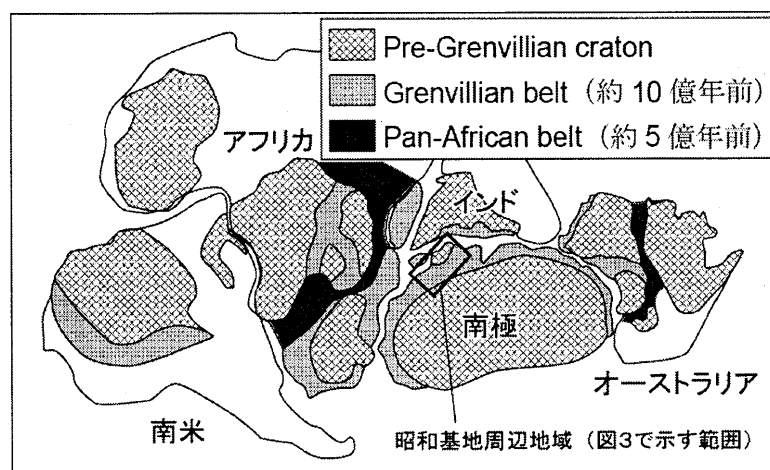


図 2 Hoffman (1991) による Gondwana 復元図

日本の南極地域観測隊は昭和基地をベースとして東経 20 度から 50 度の範囲の地質調査・研究をカバーしてきた。この地域には、大陸衝突に伴って地殻深部で岩石が再結晶作用を被ったとされる高温型の変成岩類および関連する火成岩類が広く分布し、変成作用や火成作用の研究からその被った熱履歴やテクトニックプロセスが詳細に検討されてきた。1990 年代にオーストラリア国立大学の SHRIMP を用いて U-Pb ジルコン年代測定をおこなった結果、昭和基地周辺地域から約 5 億 5 千万年~5 億 2 千万年前のパンアフリカン変動の年代が見いだされた (Shiraishi et al., 1994, 1997: 図 3)。その後、名古屋大学年代測定センターでの CHIME 分析などによっても南極のさらに広い地域から類似の年代値が報告され (例えば Asami et al., 1997)、またインドやアフリカなどの周辺地域からの年代データの蓄積ともあいまって、アフリカ東部から南極大陸にかけての地域は Gondwana 超大陸形成の際の東西 Gondwana の縫合帯「East Africa-Antarctica Orogen」の場所として近年注目を集めている (例えば Jacobs et al., 2003)。今後さらに地質学的・岩石学的・年代学的研究を組み合わせた解析によって、Gondwana 超大陸形成・分裂過程やその地殻進化プロセスの解明がすすむことが期待される。

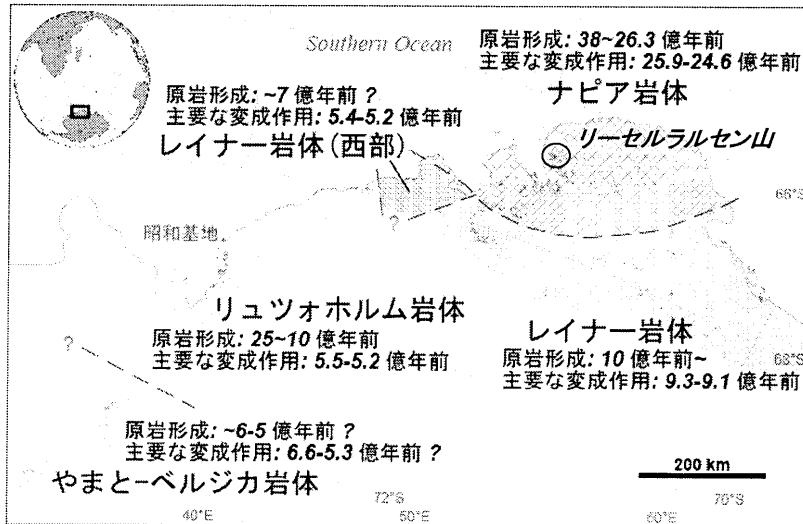


図3 昭和基地周辺の地質区分とその年代 (Shiraishi et al., 1994, 1997 ほかのデータによる)

4. ナピア岩体と太古代の地殻進化

昭和基地から東に約600km離れたエンダビーランドに分布するナピア岩体からはSHRIMPを用いたジルコンのU-Pb年代測定によって約38億年前という年代値が報告され(例えばHarley & Black, 1997)、この地域は地球の歴史46億年の初期の頃の手がかりが得られる可能性を秘めた地域として注目されている。こうした古い年代値は太古代に特徴的なTTG質(軽希土に富み重希土に枯渇するようなトータル岩-トロニウム岩-花崗閃緑岩の総称)片麻岩類に含まれるジルコン粒子のコアにわずかに痕跡が残されているにすぎない。また、ナピア岩体は全体で400x200km²の広大な分布面積を持つ地質体であるが、南極大陸の特徴として大陸氷床の間にわずかに露出している岩盤からの乏しい情報を頼りに全体の地質を編まなくてはならず、この地域から35億年を超える年代値が報告されたのはわずか3カ所にすぎないが、例えばMartin (1994) のコンパイルなどではナピア岩体の全域が35億年よりも古い地球初期の地質岩石で構成されているかのように記載されている(図4)。

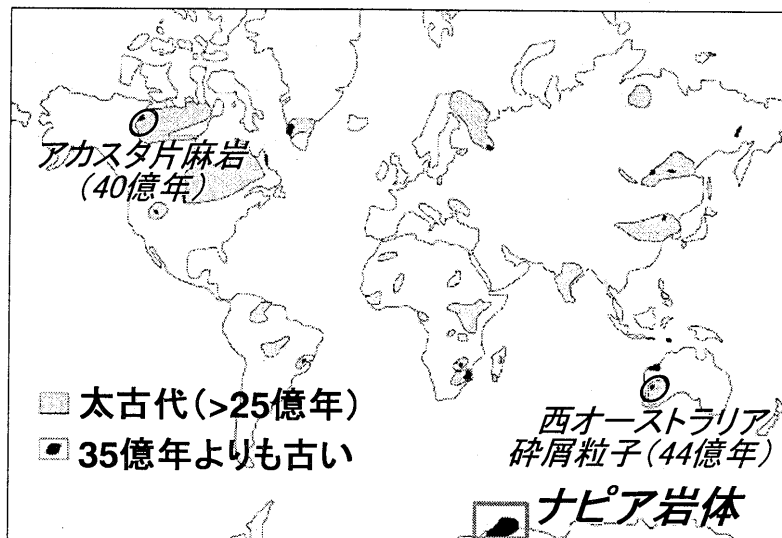


図4 太古代クラトンの分布 (Martin, 1994) と地球初期の年代値の報告

我々はナピア岩体の中で最も広い露岩であるリーセルラルセン山地域の綿密な地質調査をおこない、そこで見られる様々な産状の TTG 質片麻岩類やその他の火成岩起源・堆積岩起源の様々な岩石試料のジルコンの U-Th-Pb 分析をおこなった。その結果、(1) この地域の最古の TTG 火成活動は約 33 億年前より若く、さらに約 28 億年前と 25 億年前の 2 度の変成作用の記録が見られること (Hokada et al., 2003)、(2) 約 30-27 億年前の碎屑物がある種の堆積岩起源変成岩の供給源と考えられること (Hokada et al., 2004) (3) 約 28 億年前の火成岩が 26-25 億年前に変成作用を受けた後に冷却した (Suzuki et al., 2006)、などといったこの地域の太古代地殻形成史に関するデータが蓄積しつつある。

5. おわりに

本講演では、U-Th-Pb 系の年代測定を用いた南極の大陸地殻進化の研究の一端を紹介した。地質プロセスの研究においてそこに時間軸を入れることは今や必須の情報であり、特に古い時代の地質年代を紐解くために U-Th-Pb 系の年代分析は大いにその威力を発揮している。今後はこうして得られた年代値をいかに解釈していくかということが重要になってくる。例えば、約 5 億年前のパンアフリカン変動には約 6 億年～5 億 2 千万年の約 1 億年程の時間幅があることが認識されているが、SHRIMP や EPMA による年代解析によってこうした年代値が具体的にどのような地殻プロセスに対応しているかを明らかにすることが必要である。最近のトピックスとして、ジルコン年代とその希土類元素パターンに基づいて、共存していた鉱物相の解析とその形成条件とをリンクさせて、年代値をより実証的に解釈しようとする試みがなされてきている (例えば Harley, 2002; Hokada & Harley, 2004)。こうした新たな試みによって、南極大陸やさらに広い地域での地殻発達プロセスの解明がすすむことが期待される。

謝辞：南極での地質調査は第 38 次および第 39 次南極地域観測隊に参加しておこなった。砕氷船「しらせ」関係者ならびに南極観測隊員、特に地質調査隊メンバーの方々には多大な協力をいただいた。また、白石和行・本吉洋一・廣井美邦・有馬眞・石塚英男・小山内康人教授ほか南極関係者各位には様々な議論をしていただいた。SHRIMP 分析は三澤啓司・海田博司博士に助力いただいた。電子線マイクロプローブを用いた年代測定は国立科学博物館の横山一己博士に指導をいただいたとともに、名古屋大学年代測定センターの鈴木和博センター長・加藤丈典・鈴木里子博士には様々な議論・助言をいただいた。以上の方々に記して感謝申し上げる。

引用文献：

- Asami, M., Suzuki, K. & Adachi, M. (1997) Th, U and Pb analytical data and CHIME dating of monazites from metamorphic rocks of the Rayner, Lützow-Holm, Yamato-Belgica and Sør Rondane Complexes, East Antarctica. *Proceedings of NIPR Symp. on Antarctic Geosciences*, 10, 130-152.
- Harley, S.L. (2002) Zircon-garnet REE distribution patterns and the behaviour of zircon during UHT metamorphism. *Abstract of International Mineralogical Association 18*, Edinburgh, 236.
- Harley, S.L. & Black, L.P. (1997) A revised Archaean chronology for the Napier Complex, Enderby Land, from SHRIMP ion-microprobe studies. *Antarctic Science*, 9, 74-91.

- 日高洋・佐野有司 (1997) 高感度・高分解能イオンマイクロプローブ (SHRIMP) を用いた地球惑星科学. 地球化学, 31, 1-16.
- Hoffman, P.F. (1991) Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out ? *Science*, 252, 1409-1412.
- Hokada, T., Misawa, K., Shiraishi, K. & Suzuki, S. (2003) Mid to late Archaean (3.3-2.5 Ga) tonalitic crustal formation and high-grade metamorphism at Mt. Riiser-Larsen, Napier Complex, East Antarctica. *Precambrian Research*, 127, 215-228.
- Hokada, T. & Harley, S.L. (2004) Zircon growth in UHT leucosome: constraints from zircon-garnet rare earth elements (REE) relations in Napier Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99, 180-190.
- Hokada, T., Misawa, K., Yokoyama, K., Shiraishi, K. & Yamaguchi, A. (2004) SHRIMP and electron microprobe chronology of UHT metamorphism in Napier Complex, East Antarctica: implications for zircon growth at >1000°C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147, 1-20.
- Jacobs, J., Bauer, W. & Fanning, C.M. (2003) Late Neoproterozoic/Early Palaeozoic events in central Dronning Maud Land and significance for the southern extension of the East African Orogen into East Antarctica. *Precambrian Research*, 126, 27-53.
- Martin, H. (1994) The Archaean grey gneisses and the genesis of continental crust. In: *Archaean Crustal Evolution*, ed. by K.C. Condie, Elsevier, Amsterdam, 205-259.
- Shiraishi, K., Ellis, D.J., Hiroi, Y., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y. & Nakai, Y. (1994) Cambrian orogenic belt in east Antarctica and Sri Lanka: implications for Gondwana assembly. *Journal of Geology*, 102, 47-65.
- Shiraishi, K., Ellis, D.J., Fanning, C.M., Hiroi, Y., Kakami, H. & Motoyoshi, Y. (1997) Re-examination of the metamorphic and protolith ages of the Rayner complex, Antarctica: evidence for the Cambrian (Pan-African) regional metamorphic event. In: *The Antarctic Region: Geologic Evolution and Processes*, ed. by C.A. Ricci, Terra Antarctica, Siena, 79-88.
- 鈴木和博 (2005) 電子プローブマイクロアナライザを用いた CHMIE 年代測定. 地質学雑誌, 111, 509-526.
- Suzuki, K. & Adachi, M. (1991) Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan., revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. *Geochemical Journal*, 25, 357-376.
- Suzuki, K., Adachi, M., Tanaka, T. (1991) Middle Precambrian provenance of Jurassic sandstone in the Mino Terrane, central Japan: Th-U-total Pb evidence from an electron microprobe monazite study. *Sedimentary Geology*, 75, 141-147.
- Suzuki, S., Arima, M., Williams, I.S., Shiraishi, K. & Kagami, H. (2006) Thermal History of UHT Metamorphism in the Napier Complex, East Antarctica: Insights from Zircon, Monazite, and Garnet Ages. *Journal of Geology*, 114, 65-84.

Evolution of Antarctic continent: views from U-Th-Pb chronology

Tomokazu Hokada

National Institute of Polar Research
1-9-10 Kaga, Itabashi, Tokyo 173-8515 Japan
TEL: 03-3962-4789 FAX: 03-3962-5741
E-mail: hokada@nipr.ac.jp

Abstract: Antarctica is one of the old continental crust, and its oldest history started at 3.8 billion years ago. Japanese Antarctic Research Expedition has investigated the geological evolution of crustal rocks exposed along the coastal region longitudes between 20-50°E. High-grade metamorphic rocks and related igneous rocks comprise this region, and its geologic history has been studied in detail by U-Th-Pb chronology. This presentation includes the following topics: (1) Antarctica as a part of Gondwana supercontinent, (2) Earth's early history and ultrahigh-temperature deep crustal processes recorded in the Napier Complex, and (3) recent progress of the combined U-Th-Pb chronology with REE geochemical studies.