

機関番号：62611  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20740309  
 研究課題名（和文） 副次鉱物に着目した高温～超高温変成作用の解析と年代論とのリンク  
 研究課題名（英文） Accessory minerals control on HT and UHT metamorphism and its linkage with geochronology  
 研究代表者  
 外田 智千（HOKADA TOMOKAZU）  
 国立極地研究所・研究教育系・准教授  
 研究者番号：60370095

研究成果の概要（和文）：大陸地殻の形成発達の素過程の検証するために、電子線マイクロプローブ（EPMA）、ならびに、二次イオン質量分析計（SIMS）を用いて、地殻岩石中の微量元素を担う鉱物（副成分鉱物）中の微小領域の化学・同位体分析をおこない、鉱物の産状や他の構成鉱物との組織関係などの組み合わせて、放射年代測定によって得られる地質年代と地殻深部で岩石が被った形成条件や物理プロセスとの対応関係に関する新たな知見を得た。

研究成果の概要（英文）：Chemical and isotopic analyses of micro domains within accessory minerals in crustal rocks were carried out by using electron probe micro analyzer (EPMA) and secondary ion mass spectrometer (SIMS). Based on these data combined with the mode of occurrence and the textural relationships with other constituent minerals, the linkage between radiometric ages and metamorphic conditions/processes have been discussed in order to reveal the process of the formation of continental crust.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石鉱物鉱床学

キーワード：副次鉱物／副成分鉱物、ジルコン、モナザイト、高温変成作用～超高温変成作用、U-Pb年代測定、微量元素

## 1. 研究開始当初の背景

変成岩や火成岩中のジルコン、モナザイト、アパタイト等の副次鉱物は、U-Th-Pb放射年代測定のターゲット鉱物として広く利用され、また近年のSIMS、LA-ICP-MS、EPMA等の分析技術の向上に伴って局所分析による鉱物サブグレインの高精度年代決定が可能となってきた。その結果、変成岩や火成岩に記録されている多様・複雑な熱史を数Ma

～数十Maの誤差精度で年代決定・分離できるようになってきた一方で、ひとつの岩石から得られる複数の年代値の示すテクニクな意味づけ手段の確立が急務となっている。また、こうした副次鉱物は岩石中の微量元素、特に希土類元素の重要な担い手として全岩化学組成等による岩石成因論を検討する上できわめて本質的であるにもかかわらず、高温変成作用や火成作用の際のこうした副次鉱物の挙動に関しては未だ十分に理解

がすすんでいるとは言い難い状況であった。そうした学術的背景に基づいて、本研究課題を立案・実施した。

## 2. 研究の目的

高温変成岩および関連する火成岩類に含まれる副次鉱物（副成分鉱物）に着目して、変成作用および地殻の融解に伴う微量元素、特に Zr、Ti、U、Th、希土類元素等の地殻内部での挙動を明らかにする。そのために、電子線マイクロプローブ（EPMA）ならびに二次イオン質量分析計（SHRIMP）を用いて主要鉱物中の微量元素分析ならびに副成分鉱物中の主要元素の分析をおこない、U-Th-Pb 年代測定による時間軸とあわせた解析によって、微量元素を含有する鉱物レベル・マイクロレベルでの元素挙動を明らかにする。

## 3. 研究の方法

走査型電子顕微鏡（JEOL JSM-5900：既存設備）、顕微ラマン分光分析装置（NRS-1000：既存設備）、ならびに電子線マイクロプローブ（JEOL JXA-8200：既存設備）を用いる。特に、薄片中でのジルコン、モナザイト、アパタイト、ゼノタイム、ルチル、チタナイト、イルメナイト、マグネタイトの分布と主要構成鉱物（石英、長石、斜方輝石）との関係を詳細に検討し、主要元素組成やその組成累帯構造との対応関係を確認しつつ、測定する副次鉱物の詳細なターゲットを選定する。次のステップとして、EPMA を用いて微量元素のマッピングおよび定量分析をおこなう。その後、イオンマイクロプローブ（SHRIMP-II：既存設備）を用いて、ジルコン中の U-Th-Pb およびジルコン、イルメナイト、マグネタイト等の副次鉱物ならびに長石、斜方輝石等の主要鉱物中の微量元素・希土類元素の分析をおこなう。その結果、元素ごとの総含有量と全岩化学組成との対応、また鉱物ごとの組成累帯構造と鉱物形成過程との関係を検討し、高温～超高温プロセスでの微量元素の定量的な挙動を明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 電子線マイクロプローブを用いて U-Th-Pb 年代測定ならびに希土類元素の定量分析をおこなうための基礎実験と分析条件の調整設定をおこなった。

(2) 南極セールロンダーネ山地での地質調査（2007-2008 年）で採取した高度変成岩試料の変成条件の精密な解析と岩石種ごとのモナザイト結晶の U、Th、Pb と希土類元素の分析および U-Th-Pb 化学年代値の解析をおこ

なった。その結果とイオンマイクロプローブ（SHRIMP-II）による当該地域の年代データ（Shiraishi et al., 2008, In: Geol. Soc. London, Special Publication, 308, 21-67）との比較をおこない、SHRIMP で得られている約 6 億年前と 5 億年前の 2 つの年代値を見だし、さらにこれまでは主要な地質イベントの時期とは考えられていなかった約 6 億年前がこの地域の主要な変成作用の時期である可能性を示した。以上の解析によって、山地中央部のアウストカンパーネ地域の変成プロセスの特徴とその時間軸との関係を明らかにした。

(3) 極地研究所の客員教授として招聘した英国エジンバラ大学のサイモン・ハーレー教授との共同研究で、南極ラウエル諸島での地質調査（2006-2008 年）で採取した超高温変成岩試料中のジルコン結晶の U-Pb 同位体年代測定を二次イオン質量分析計（SHRIMP）を用いておこなった。その結果、太古代にさかのぼる原岩の火成作用の時期と古生代初期（約 5 億年前）の最終熱イベントの時期を高精度で検証することができた。

(4) 京都大学の河上博士との共同研究で、南極リュツォ・ホルム湾に産する高度変成岩類のザクロ石中のリンの組成累帯構造と共生するリン酸塩鉱物の関係を検討し、変成作用と部分融解作用に伴う副成分鉱物の挙動を明らかにした。

(5) 日本学術振興会の外国人招へい研究（短期）で招聘した独国 Geo Forschungs Zentrum のダニエル・ハルロフ博士との共同研究で、南極とのつながりが指摘されているインド南部の太古代ダールワール岩体（タミール・ナドゥ地域）に産する花崗岩質片麻岩中の鉱物分析およびジルコンの U-Pb 年代測定をおこない、角閃岩相からグラニュライト相への鉱物学的な変化に対応するジルコンの挙動と年代値との対応を明らかにした。

(6) 南極からの地質学的な連続性が指摘されるインド南部の始生代ダールワール岩体の地質調査で採取した低変成試料を用いて、南極の高度変成岩との対比研究のための基礎データを取得した。今後、解析をすすめる予定である。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 8 件）

① Kawakami, T. and Hokada, T., 2010.

- Linking P-T path with development of discontinuous phosphorus zoning in garnet during high-temperature metamorphism - an example from Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 105, 175-186. (査読有り)
- ② Baba, S., Hokada, T., Kaiden, H., Dunkley, D. J., Owada, M., Shiraishi, K., 2010. SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Sapphirine-Bearing Granulite and Biotite-Hornblende Gneiss in the Schirmacher Hills, East Antarctica: Implications for Neoproterozoic Ultrahigh-Temperature Metamorphism Predating the Assembly of Gondwana. *Journal of Geology*, 118, 621-639. (査読有り)
- ③ Adachi, T., Hokada, T., Osanai, Y., Toyoshima, T., Baba, S. and Nakano, N., 2010. Titanium behavior in quartz during retrograde hydration: Occurrence of rutile exsolution and implications for metamorphic processes in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *Polar Science*, 3, 222-234. (査読有り)
- ④ Hokada, T., Motoyoshi, Y., Suzuki, S., Ishikawa, M. and Ishizuka, H., 2008. Geodynamic evolution of Mt. Riiser-Larsen, Napier Complex, East Antarctica, with reference to the UHT mineral associations and their reaction relations. In: *Geodynamic evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection*, eds by M. Satish-Kumar et al., Geological Society of London Special Publications, 308, 255-284. (査読有り)
- ⑤ Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Ishikawa, N., Hokada, T. and Shiraishi, K., 2008. Origin of xenocrystic garnet and kyanite in clinopyroxene-hornblende-bearing adakitic meta-tonalites from Cape Hinode, Prince Olav Coast, East Antarctica. In: *Geodynamic evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection*, eds by M. Satish-Kumar et al., Geological Society of London Special Publications, 308, 333-350. (査読有り)
- ⑥ Dunkley D. J., Suzuki K., Hokada T. and Kusiak M. A. (2008): Contrasting ages between isotopic chronometers in granulites: monazite dating and metamorphism in the Higo Complex, Japan. *Gondwana Research*, 14, 624-643. (査読有り)
- ⑦ Satish-Kumar, M., Hokada, T., Kawakami, T. and Dunkley, D. J., 2008. Geosciences research in East Antarctica (0° E-60° E): present status and future perspectives. In: *Geodynamic evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection*, eds by M. Satish-Kumar et al., Geological Society of London Special Publications, 308, 1-20. (査読有り)
- ⑧ Shiraishi, K., Dunkley, D. J., Hokada, T., Fanning, C. M., Kagami, H. and Hamamoto, T., 2008. Geochronological constraints on the Late Proterozoic to Cambrian crustal evolution of eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: a synthesis of SHRIMP U-Pb age and Nd model age data. In: *Geodynamic evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection*, eds by M. Satish-Kumar et al., Geological Society of London Special Publications, 308, 21-67. (査読有り)
- [学会発表] (計 11 件)
- ① Hokada, T., Horie, K., Hiroi, Y., Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Shiraishi, K. (2011): Crustal evolution of Archaean Napier Complex, East Antarctica: linkage between Antarctica and India. *International Symposium on Precambrian Accretionary Orogens and Field Workshop in the Dharwar Craton, South India, Delhi and Bangalore*, 2011年2月2-11日
- ② 外田智千, 足立達朗 (2010): 超高温変成岩中のジルコンの化学組成: 東南極ナピア岩体を例に. *日本鉱物科学会 2010年度年会*, 島根大学, 2010年9月23-25日

- ③ 外田智千, 小山内康人, 中野伸彦, 足立達朗, 豊島剛志, 馬場壮太郎 (2010): 東南極セールロンダーネ山地に産するコランダムと石英. 日本地質学会第117年学術大会, 富山大学, 2010年9月18-20日
- ④ Hokada, T., Adachi, T., Osanai, Y., Nakano, N., Toyoshima, T. and Baba, S. (2010): Corundum-quartz, Zn-bearing spinel and staurolite inclusions in garnet, and their implications for metamorphic evolution of the Sor Rondane Mountains, East Antarctica. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, Budapest, 2010年8月21-27日
- ⑤ 外田智千, サイモン・ハーレー, ダニエル・ダンクリー, 横山一己 (2010): 南極ブリッツ湾ラウエル諸島に産するメーザー超高温変成岩中のU-Th-Pb年代と副成分鉱物の挙動. 日本地球惑星科学連合2010年大会, 幕張, 2010年5月23-28日
- ⑥ 外田智千, 足立達朗, 小山内康人, 中野伸彦, 豊島剛志, 馬場壮太郎 (2009): 東南極セールロンダーネ山地に産する優白質岩脈中のモナザイトの組成変化. 日本鉱物科学会2009年度年会, 北海道大学, 2009年9月8-10日
- ⑦ Hokada, T., Adachi, T., Osanai, Y., Nakano, N., Toyoshima, T. and Baba, S. (2009): Chemical variation of multiple-stage monazites in leucocratic veins from Sør Rondane Mountains, Antarctica. MAPT-Conference, Edinburgh, 2009年8月31日-9月2日
- ⑧ Hokada, T., Harley, S.L., Dunkley, D.J., Kelly, N.M., Yokoyama, K. (2009): U-Th-Pb constraints on the evolution of Mather UHT Gneiss at Rauer Islands, Antarctica. MAPT-Conference, Edinburgh, 2009年8月31日-9月2日
- ⑨ 外田智千, 足立達朗, 中野伸彦, 小山内康人, 豊島剛志, 馬場壮太郎 (2009): 東南極セールロンダーネ山地中央部アウストカンパーネ産高度変成岩類から推定される変成履歴とその意義. 日本地球惑星科学連合2009年大会,

幕張, 2009年5月16-21日

- ⑩ 外田智千, Dunkley, D.J., Harley, S.L., 横山一己 (2008): 高温変成岩中のジルコンおよびモナザイトの挙動とU-Th-Pb年代測定への応用. 日本鉱物科学会2008年度年会, 秋田大学, 2008年9月20-22日 (招待講演)
- ⑪ 外田智千, 足立達朗, 中野伸彦, 小山内康人, 豊島剛志, 馬場壮太郎 (2008): 東南極セールロンダーネ山地中央部に産する高度変成岩類における複変成イベント分離の試み. 日本地質学会第115年学術大会, 秋田大学, 2008年9月20-22日

[その他]

ホームページ等

<http://polaris.nipr.ac.jp/~pdc/sran/pin.php?nid=60370095>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

外田 智千 (HOKADA TOMOKAZU)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号: 60370095

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: