

氏 名 外 田 智 千

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第431号

学位授与の日付 平成11年9月30日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Thermal evolution of the ultrahigh-temperature
metamorphic rocks in the Archaean Napier Complex, East
Antarctica

論 文 審 査 委 員 主 査 助 教 授 本 吉 洋 一
教 授 澁 谷 和 雄
教 授 森 脇 喜 一
教 授 白 石 和 行
教 授 廣 井 美 邦（千葉大学）
助 教 授 小 山 内 康 人（岡山大学）

地殻中～下部が900℃以上という著しい高温条件に加熱される"超高温変成作用 (Spear, 1993; Harley, 1998)"のプロセスの解明と、その大陸地殻形成過程の中での位置づけを明らかにすることを目的に、代表的な超高温変成岩体の1つである東南極ナピア岩体の野外地質調査をおこない、変成岩類の産状・岩石記載、及び、その岩石学的研究、特に変成作用のプロセスを考える上で重要な情報である変成岩の温度・圧力条件の定量的な解析をおこなった。

調査をおこなったのは、ナピア岩体の中でも高変成度地域に位置するリーセルラルセン山とトナー島の2地域で、互いに約40km離れている。両地域とも斜方輝石あるいはザクロ石を伴う石英長石質片麻岩と両輝石を伴う苦鉄質グラニュライトが卓越し、ザクロ石片麻岩、ザクロ石-珪線石片麻岩、ザクロ石-斜方輝石片麻岩、珪質片麻岩、磁鉄鉱-斜方輝石-石英片麻岩、様々な鉱物組合せを持つアルミナス片麻岩類、超苦鉄質岩類などが薄層、レンズ、ブロックとしてその間に分布する。超高温変成作用の指標鉱物であるサフィリンや大隅石はMgに富む石英長石質、珪質あるいはアルミナス片麻岩中に産する。

リーセルラルセン山地域はシュードタキライト、マイロナイトを伴う南北走向でほぼ垂直傾斜の幅約200mの大規模な剪断帯（リーセルラルセン主剪断帯）によって中央部と西部とに分けられる。中央部地域では石英長石質、珪質、アルミナス片麻岩類中に見られるサフィリン+斜方輝石+石英、ザクロ石+大隅石、サフィリン+ザクロ石+石英の鉱物共生、及び、サフィリン+石英から堇青石あるいはザクロ石が形成している反応組織に基づいて、ピーク時の変成条件を $>1040^{\circ}\text{C} \cdot 0.6\sim 0.8\text{ GPa}$ と見積もった。一方、西部地域ではサフィリン+斜方輝石+石英の共生と大隅石の産出、及び、サフィリン+石英から斜方輝石+珪線石が形成している反応組織から、ピーク時の変成条件として中央部地域と同様あるいはやや高圧の $>1030^{\circ}\text{C} \cdot 0.8\sim 0.9\text{ GPa}$ という変成条件を見積もった。さらに、中央部・西部両地域に産する石英長石質片麻岩、ザクロ石-珪線石片麻岩、アルミナス片麻岩中の離溶組織の発達したアルカリ長石（パーサイト、メソパーサイト、アンチパーサイト）の離溶組織形成前の鉱物組成を復元し、アノーサイト-アルバイト-オルソクレイス三成分系ソルバス (Fuhrman and Lindsley, 1988) に適用してその平衡温度を見積もったところ、1100℃以上で安定であるという結果が得られた。以上から、リーセルラルセン地域の変成温度は1100℃以上に達しており、また剪断帯を挟んだ西側（西部地域）は東側（中央部地域）と比べてより深部で変成作用を受け、その後の剪断帯の活動によって同じ深度に並置したと考えられる。こうした東西方向での圧力の変化は、レイナー岩体の形成時にナピア岩体の南西部地域が逆断層の発達を伴ってより深部が露出したという解釈 (Harley and Hensen, 1990) を支持する。

トナー島北部に産するアルミナス片麻岩中の離溶組織の発達したアルカリ長石（パーサイト、メソパーサイト、アンチパーサイト）の鉱物組成を上記と同様の手法で解析したところ、1100℃以上というリーセルラルセン山の試料とほぼ等しい平衡温度が得られた。また、アルミナス片麻岩中のザクロ石-斜方輝石の元素分配 (Harley, 1984a, b; corrected by Fitzsimons and Harley, 1994) を用いてその平衡温度を見積もったと

DNA の超らせん構造は、転写や複製に寄与することが報告されている。原核生物の大腸菌には、弛緩型 DNA に負の超らせんを導入する酵素 DNA gyrase が存在し、逆の活性を触媒する酵素 Topoisomerase I と均衡して超らせん密度を維持している。大腸菌の DNA 超らせん密度は -0.05 と計算され、全体として負のらせんの歪みが存在していることが示されている。一方、真核生物で DNA gyrase の counterpart として挙げられる Topoisomerase II は、DNA gyrase の様に方向性をもって DNA を巻き込むことをしないので (Lee et al, 1989)、超らせん型から弛緩型 DNA に変換する反応を触媒するが、負の超らせんを導入する活性は見い出されていない。

超らせん化因子 (Supercoiling factor: SCF) は、Topoisomerase II と相互作用して DNA に負のらせんを導入する Ca^{2+} 結合性タンパク質である。太田らによってカイコ後部絹糸腺から精製され (Ohta, 1990)、cDNA はカイコ (Ohta, 1995) 及びショウジョウバエ (Kobayashi et al, 1998) でクローニングされている。小林らによってドメイン構造が解析され、 Ca^{2+} と SCF 内部に存在する Ca^{2+} 結合モチーフ EF-hand が超らせん化導入活性に重要であること、C 末端側に存在する 4 アミノ酸残基 HDEF が Topoisomerase II との相互作用に必須であることが報告されている (Kobayashi and Hirose, 1999)。

SCF が生体内で担う役割を明らかにするために、本研究では、5' 領域が異なる 2 タイプの mRNA の性格付けから始めた。これらの 5' 側開始部位と Genomic DNA の塩基配列とを比較すると、TATA-less promoter に見られる Initiator と Downstream promoter element のコンセンサス配列 (Burke et al, 1996, 1997) が見つけられた。長い mRNA はシグナルペプチドを持ち小胞体に局在する機能がまだ知られていないタンパク質 (DCB45) をコードし、短い mRNA は核タンパク質である SCF をコードすると結論した。

次に、多糸染色体上での SCF の局在を明らかにした。DNA 密度が比較的低いインターバンドやパフに SCF の存在が観察されたが、反対にクロマチンが極度に凝縮したセントロメア付近のヘテロクロマチンの領域には赤色の染色は殆ど検出されなかった。

熱ショック及びホルモンに対する応答として転写が盛んに行われている遺伝子座のパフに SCF が局在したことから、SCF は遺伝子発現に関与していると考えられる。Topoisomerase II のどの場所に SCF が相互作用するのかについてさらに詳しく調べるために、報告されているドメイン構造 (Berger et al, 1996) に考慮して、ショウジョウバエ Topoisomerase II cDNA から、組換え体及び欠失変異体を構築した。ショウジョウバエ Topoisomerase II 組換え体が大腸菌で発現したところ、全長に相当するタンパク質は微量しか存在しなかったが、 ^{32}P 標識した SCF はこれに強く結合した。 ^{32}P 標識 SCF は C 末側半分には結合せず、N 末側半分の欠失変異体に結合した。N 末側をさらに 3 区分した変異体を作製すると、ATPase ドメインの後半から DNA 結合ドメインの前半の変異体

論文の審査結果の要旨

外田智千君が研究対象とした東南極のナピア岩体は、超高温変成作用と呼ばれる非常に高温条件下で形成された岩石が広く分布する地球上でも希有な岩体である。1970年代後半に、おもにオーストラリアの研究者によって調査・研究がなされ、初期の成果が報告されているが、それ以降、1) 超高温変成作用の最高到達温度は何度か、2) その熱源は何か、3) 超高温変成作用はいつ起きたのか、という未解決の問題を残したまま今日に至っている。

同君は、総研大入学以前から南極での現地調査を強く希望し、入学後、二度にわたって南極地域観測隊に参加する機会を得て、ナピア岩体に属するリーセルラルセン山、トナー島においてのべ3ヶ月におよぶ調査を行った。本論は、調査結果と室内実験により得られた結果を総合したものであるが、論文構成、問題設定、データの解析、考察ともに明確で理学博士の学位に値するものである。また、学力審査においては、地質学・岩石学・鉱物学・地球化学の基礎学力、公開発表会における研究発表能力、英語力について十分な力量が認められた。

本研究によって得られた成果は以下のとおりである。

- 1) 岩石中の鉱物反応組織の詳細な解析によって、リーセルラルセン山地域内に、圧力条件の異なる岩体が、現地調査で判明した断層を挟んで隣接することを明らかにした。
- 2) 各種変成岩に一般的に産する離溶組織を呈するアルカリ長石の組成を、独自に考案した解析手法で復元し、その結果を三成分系のソルバスに適用して、超高温変成作用の最高到達温度を1100℃以上とした。
- 3) 超高温変成作用の時期として提案されている2つの説(28-29億年前、25億年前)を検証するために、岩石中に含まれるモナザイトとジルコンのU, Th, Pbの定量分析を行い、CHIME法により超高温変成作用の時期を25億年前とした。
- 4) 超高温変成作用のテクトニックプロセスとして、これまで提案されている3つのモデル(①大陸衝突による地殻厚化に伴う加熱、②高温マグマの地殻中部への貫入、③デラミネーションによるマントルアセノスフェアからの加熱)を有限微分法を用いた熱モデル計算によって妥当性を検討し、モデル③が最も可能性が高いと結論した。

これらの結果は、これまで未解決であったナピア岩体のテクトニクスについて重要な知見をもたらしただけでなく、地球上の高温変成帯の成因を考える上での新たな問題提起をも含んでいる。

同君は、自らの足で歩き、自ら考案した手法で対象を解析し、そして自ら考えた結論で研究成果をまとめるという、地球科学者としての十分な素養を遺憾なく発揮し、地道な成果を着実に積み上げて超高温変成岩体のテクトニックモデルを構築することに成功した。このことは、同君が今後独立した研究者として、未来を開拓していく可能性を十分に示すものである。