

平成22年5月31日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19740273

研究課題名（和文） 原生代初期における全球凍結イベントの古地磁気学的研究

研究課題名（英文） Paleomagnetic study on the Paleoproterozoic Snowball Earth

研究代表者

吉原 新 (YOSHIHARA ARATA)

富山大学・大学院理工学研究部（理学）・助教

研究者番号：50361944

研究成果の概要（和文）：原生代初期のヒューロニアン氷期における最後の大規模氷河堆積物の形成場の古緯度を復元する目的で、これまで古地磁気データの得られていなかった米国ミシガン州の Marquette Range 累層群の古地磁気研究をおこなった。堆積岩類の平均古地磁気方位から得られた古緯度の推定値は約 11～21 度であった。しかし、これらの特徴的残留磁化方位は熱接触テストおよび褶曲テストのいずれにも合格せず、二次的な残留磁化である可能性が高い。

研究成果の概要（英文）：In order to reconstruct the paleolatitude for the last glacial sedimentary units of the Paleoproterozoic Huronian glacial epoch, I performed paleomagnetic measurements of sedimentary rocks from the Marquette Range supergroup, USA. Mean paleolatitude values obtained are ranging from 11 to 21 degrees. However, these characteristic remanent magnetizations do not pass some field tests, suggesting that they possibly are secondary remanences.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	390,000	3,690,000

研究分野：地球電磁気学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：古地磁気学，古緯度，原生代，全球凍結，スノーボール・アース，ヒューロニアン地域，氷河堆積物

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 全地球史にわたる磁場の長期変動の諸相を明らかにすることの重要性は、固体地球内部の構造進化、ならびに地球表層環境と生命との共進化という二つの面で近年広く

認識されるようになってきている。数億～数十億年周期の磁場変動は、マントルが主役となって引き起こす放熱活動のアウトプットとして捉えることができる可能性があり、地球内部の構造進化を知る上で重要な知見を与え得る。最近の火星探査と火星起源隕石の古地

磁気研究 (Acuna et al., 1999; Weiss et al., 2001) によって数十億年前の火星磁場の存在が示唆されたことは、これらの時代の古地磁気研究が生命史までを含めた比較惑星学的な見地からなされるようになる一つの強い動機になると思われる。その一方で、先カンブリア時代の古地磁気データは未だ量、質ともに非常に乏しく、いかなる描像もコンセンサスを得ているとは言えない。初期地球磁場の長期変動を地球表層環境と生命の共進化までを含めて考えるという意味では、本研究計画はこれまで研究代表者がおこなってきた太古代および原生代における古地磁気研究の延長線上にあると言える。

(2) 未だ解明されていない点が多い原生代初期の全球凍結 (Snowball Earth) 仮説 (約 24.5–22 億年前) の検証を目的として、古地磁気方位の復元と磁場強度データの蓄積という2つのアプローチで古地磁気学的研究をおこなう。現在広く認知されている原生代末期の全球凍結仮説 (約 7.5–6 億年前) (例えば、Kirschvink, 1992) が提唱されるに至る議論の端緒となったのは、赤道域における氷河の存在を示唆する多くの古地磁気データであった。

## 2. 研究の目的

(1) 原生代初期に全球凍結が起こったかどうかを検証する。原生代末期の全球凍結については、ナミビア北部に露出するスターチアン氷河期の堆積物 (オタビ層群) に関する精力的な研究 (Hoffman et al., 1998) に代表されるように、氷河性堆積物の炭素同位体比異常、その直上の厚い炭酸塩岩層 (キャップ・カーボネート) や縞状鉄鉱床の成因までを含めて統一的に説明可能なシナリオが構築されている。しかし、原生代初期の氷河期 (ヒューロニアン氷河期およびマクガニン氷河期、約 24.5–22 億年前) が全球凍結状態に至っていたかどうかについては十分な検証がなされているとは言えない。本研究の第一の課題は、これら原生代初期の氷河期ユニットについて、より信頼性の高い古地磁気方位データを蓄積し、全球凍結状態が実現していたのかどうか、どの氷期が全球凍結を呈していたのかを検証することにある。

(2) 原生代初期の全球凍結メカニズムを探る。原生代初期の全球凍結イベントの原因としては、酸素発生型光合成をおこなうシアノバクテリアがこの直前の時代に出現したことにより、メタンなどの温室効果ガスに富んでいた大気が酸素に富む大気へと変化し、地表の平均気温を劇的に低下させたという、いわゆる Great Oxygenation Event 仮説が提唱

されている (Kirschvink et al., 2000; Kopp et al., 2005)。最近、丸山・吉原 (2006) は、現在に比べてかなり弱かった地球磁場が多量の銀河宇宙線の対流圏上層部への侵入を許し、中層雲の量を通じてアルベドを増加させた可能性を考慮した全球凍結モデルを検討する必要があると指摘した。このメカニズムの実効性についてはまだ不明な点が多く、この作業仮説の検証には、原生代初期の磁場強度に関するより多くの情報が必要である。本研究計画の第二の課題は、信頼できる結果がまだほとんど報告されていない太古代後期から原生代前期にかけての古地磁気強度データをさらに蓄積していくことである。

## 3. 研究の方法

(1) 氷河性堆積物等による古地磁気データから復元される古緯度記録は、氷床が低緯度地域にまで進出する全球凍結状態が実現していたことを立証するための唯一の直接的な証拠となる。原生代初期の氷河期 (約 24.5–22 億年前) については、カナダのヒューロニアン累層群最上位の氷河性堆積物ユニットから得られた古地磁気データが非常に低い古緯度を示すという結果 (Schmidt and Williams, 1999 など) に対し、それが堆積時に獲得された初生的な磁化であることが十分に示されていないという主張 (Hilburn et al., 2005) も存在する。本計画では、特にカナダのヒューロニアン地域、及び米国のマーケット地域において堆積岩類の試料採取をおこない、重点的に系統的な古緯度の復元を目指す。先カンブリア時代の古地磁気研究においては、残留磁化の獲得時期を検証するいわゆる「野外テスト」が本質的に需要である。氷河堆積物などの堆積岩においては、褶曲テストの他に、礫岩テストが有効な場合も多い。近年実用化されつつある SQUID 磁気顕微鏡を用いれば、試料断面の非常に微細な磁化構造を観察することができ、これまでになくミクロスコピックな礫岩テストが可能であると思われる。この試みについては今までに前例がない。

(2) 古地磁気強度は火山岩類がその形成時に獲得する熱残留磁化を利用して求めることができる。中でも粗粒玄武岩質の岩脈群は変質や風化にも比較的強く、生成時の地球磁場を記録している良好な媒体であることも多い。また、貫入岩は熱接触テストと呼ばれる野外テストによって残留磁化が初生であるかどうかの判定がおこないやすいという利点もある。現在保有しているグリーンランド・イスア地域 (約 22 億年前)、ジンバブエ・ベリングウェ地域 (約 25 億年前) の貫入岩

類をはじめとして、粗粒玄武岩を中心とする原生代初期の試料を確保し、テリエ法やショウ法などによる古地磁気強度測定をおこなう。近年、数例の報告がある斜長石単結晶を用いた磁化測定 (Tarduno et al. 2001 など) に代表されるように、特定の磁化キャリアーに狙いを定め、よりミクロスコピックな磁氣的観察をおこない、その実体を明らかにした上で古地磁気記録を読み取るという試みは、試料や露頭状態の乏しさから統計的確からしさを必ずしも証明できない場合が多い古い地質時代の古地磁気学に大きな進展をもたらすことが期待される。とくに、ケイ酸塩鉱物中にインクルージョンとして存在する磁性鉱物の磁化を測定する際にも、超伝導磁気顕微鏡が非常に強力な武器となると考えられる。一つの結晶を単独で測定する従来の磁力計では困難であった結晶間の磁化方位分布の精査が可能になるからである。単結晶の古地磁気強度測定に利用するのは初めての試みになると思われるが、磁化の起源を明らかにするための新しい方法論として確立したい。

#### 4. 研究成果

(1) カナダ・ヒューロニアン地域及び米国・マーケット地域において、約21-22億年前の生成年代をもつ堆積岩類 (石英砂岩・ドロマイト・ダイアミクタイト等) を採取した。カナダ・ヒューロニアン地域のHuronian累層群で採取したのは、Quirke層群に属するEspanola累層の炭酸塩岩である。ヒューロニアン氷河期は三回の大規模氷期からなるが、この炭酸塩岩は二回目の氷期の直後に堆積したものである。Quirke層群においてはまだ信頼できる古地磁気方位が報告されていない。米国・マーケット地域のMarquette Range累層群では、Chocoday層群の最下層であるEnchantment Lake累層のダイアミクタイト、及びその直上の層準に堆積するMesnard累層の石英砂岩およびKonaドロマイトを採取した。Enchantment Lake累層のダイアミクタイトは、原生代初期に起こったとされる大規模氷期の氷河堆積物と考えられているものであり、約23億~21億年前というU-Pb年代をもつ。Marquette Range累層群のChocoday層群は、カナダのHuronian累層群の三回目の大規模氷期相当層であるCobalt層群と対応付けられており、両地域における層序の対比が可能である。

(2) 平成19年10月より平成20年3月まで、米国・カリフォルニア工科大学、地質・惑星科学部門に滞在し、ジョセフ・カーシュビック教授の協力のもと、同古地磁気研究室において、採取した試料の古地磁気・岩石磁気測定を実施した。同研究室の所有する超伝

導磁力計は国内の研究機関に設置されている同様の機器に比べて一桁以上高い非常に高感度を誇るものであり、極めて微弱な残留磁化しか持たない本研究の岩石試料の精密な古地磁気測定には上述の磁力計の使用が欠かせない。また、一部の試料については、東京大学理学部の古地磁気実験施設を用いて追加実験をおこなった。

(3) 特徴的な残留磁化成分を抽出するために、全ての試料に対して段階熱消磁実験をおこなった。残念ながら、カナダのEspanola累層の炭酸塩岩についてはほとんど全ての試料が熱消磁に対して非常に不安定な挙動を示し、有意な磁化成分を分離することができなかった。したがって、これらの試料は以降の議論には用いない。米国のMarquette Range累層群の堆積岩類については、大部分の試料が680°C近傍でアンブロックされる非常に安定な残留磁化を保持していることが分かった。また、500°C以上の高温部に分離できる特徴的残留磁化の磁化方位がサイト内、サイト間で非常に良いまとまりを見せることから、これらの試料が過去の地磁気方位を記録していることが強く示唆された。

(4) 堆積岩試料の岩石磁気学的諸性質を明らかにするために、等温残留磁化 (IRM) 獲得実験、非履歴性残留磁化 (ARM) 消磁実験を実施した。その結果から推定される主要な磁性鉱物はマグネタイト (磁鉄鉱) とヘマタイト (赤鉄鉱) である。しかし、この両者がそれぞれ異なった磁化成分を担っているかどうかについては熱消磁実験からは明らかにできなかった。

(5) 米国のMarquette Range累層群のEnchantment Lake累層のダイアミクタイト、Mesnard累層の珪岩、Konaドロマイトの全てについて、主成分分析法を用いて特徴的残留磁化方位を抽出し、平均古地磁気方位を求めた。地層の傾動を補正した後の平均方位から計算された古緯度の推定値は約11~21度の範囲におさまる。もしこれらの結果がMarquette Range累層群の堆積場を正しく反映しているとするならば、このような低緯度まで発達した氷河は、アルペドの低下による寒冷化を通じて完全な全球凍結状態をもたらしたと考えられる。しかしながら、得られた残留磁化が初生磁化 (堆積時かその直後の磁化) であるかどうかを判定するために実施した熱接触テスト、及び褶曲テストの結果はいずれもネガティブであり、本研究で用いた試料の残留磁化は全て後の時代に二次的に獲得されたものである可能性も高い。試料の残留磁化の起源や獲得年代については、今後のさらなる検討が必要である。

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1件)

①吉原新, 渋谷秀敏, 綱川秀夫, 松島政貴, 白亜紀スーパークロンと温室地球ー関連性の示唆と古地磁気強度ー, 月刊地球, 査読なし, Vol.30, No.8, 2008, 378-386

[学会発表] (計1件)

①Maruyama, S., Yoshihara, A., Isozaki, Y., Relationship between the Neoproterozoic snowball Earth and Cambrian explosion, American Geophysical Union 2007 Fall meeting, 2007年12月10日, 米国サンフランシスコ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉原 新 (YOSHIHARA ARATA)

富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・  
助教

研究者番号 : 50361944

(2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

( )

研究者番号 :