

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21497

研究課題名(和文)地球の磁気シールドと気候の関係：地磁気エクスカージョンを用いた検証

研究課題名(英文)Does the geomagnetic excursion trigger climate change?

研究代表者

北場 育子(KITABA, Ikuko)

立命館大学・総合科学技術研究機構・准教授

研究者番号：60631710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：中程度の地球の磁気シールドの弱화가気候におよぼす影響を探るため、水月湖SG14コアの花粉分析を行い、ブレイクエクスカージョン期の気候変化を復元した。最終間氷期(MIS 5)の気温は、約2万年周期の振動を繰り返しながら、次第に減衰していった。つまり、当時の長期的な気候変化は、第一義的には、日射量によって天文学的に決まっていた。得られた気温変化から、軌道要素変化に起因する成分を取り除き、残渣成分を同じコアから得られた古地磁気強度の変化と比較した。11万～13万年前においては、気温の残渣成分と地磁気強度に明瞭な正の相関が見られた。その一方で、モンスーンと地球磁場強度の対応関係は見られなかった。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to reveal the climatic impact of moderate weakening of the geomagnetic field. We carried out pollen analysis of the SG14 sediment core from Lake Suigetsu, Japan, and reconstructed the climate during the last interglacial period (MIS 5), which contains the Blake excursion. The temperature signal in MIS 5 was dominated by ca. 20-kyr oscillation, which gradually damped through cycles. This means that the long-term climate change was primarily controlled by the orbital forcing. When we removed the component which arose from the boreal summer insolation, the residual component in temperature was positively correlated with the paleomagnetic intensity measured in the same core between 110 ka and 130 ka. On the other hand, there was no clear correlation between paleointensity and monsoon signals.

研究分野：古気候学、宇宙気候学

キーワード：気候変動 地磁気エクスカージョン モンスーン 銀河宇宙線 スpensマルク効果 年縞堆積物 水月湖 定量的気候復元

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に、温室効果ガスと太陽活動がどの程度ずつ寄与しているかを見極めることは非常に重要だが、太陽活動がどのように地球の気候に影響を与えるかのメカニズムに関しては、決着のついていない議論があった。1つの重要な仮説は、太陽活動が活発になると、磁気シールドが強くなり、地球大気に侵入する宇宙線量が減り、雲が減少(スベンスマルク効果; Svensmark & Friis-Christensen, 1997)。結果として地球のアルベドが小さくなり、地球が暖まるというものである。IPCC 第5次報告書(2013)は、この仮説には、ある程度の裏付けがあることを認めつつも、過去1世紀程度の短時間スケールでは、気候に対する効果は取るに足りない結論づけた。

本研究では、地球に到達する宇宙線の量を太陽以上に大きく変動させる「地球の磁気シールド」を用いて、この仮説を検証することを目指す。地球の磁気シールドが地球史上、最も弱まる「地磁気逆転」の時代には、地球の磁場が約20%にまで減少し、それが数千年間にわたって持続する(Guyodo & Valet, 1999)。こうした時代には地球が本来持っている気候変動のリズムが乱れ、中・低緯度の広範囲にわたって寒冷化が起こることが明らかになった(Kitaba et al., 2013)。この次のステップとして、本研究では、地磁気逆転よりは規模が小さい地磁気シールドの弱化現象「地磁気エクスカージョン」でも、寒冷化が起こるかどうかを検証する。福井県水月湖の堆積物を用いて、約12万年前に起こったブレイク・エクスカージョン期の気候変化を復元し、地球磁場強度の変化に連動した気候変化が起こったのかどうか、検証する。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、地磁気エクスカージョン期における短期間の地磁気減少に伴う宇宙線量の増加が気候に与える影響を検証することである。2014年、福井県によって掘削された水月湖 Fukui-SG14 コアを用いて、ブレイク・エクスカージョンを含む最終間氷期相当層を中心に詳細な花粉分析を行い、数十年～数百年の時間スケールで気候(気温・降水量)を明らかにした。そして、古地磁気強度と、本研究で得られる気候データを比較することで、地磁気と同地域の気温や、モンスーンにおよぼす影響を検証した。

同時に、表層花粉データセットの整備を行い、気候復元精度を向上させた。また、SG14 コアの最終間氷期相当層に含まれるテフラの<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代測定を行い、年代軸の高精度化を図った。

## 3. 研究の方法

### (1) SG14 コアの花粉分析と気候復元

本研究では、Fukui-SG14 コアの酸素同位体ステージ(MIS)6から、MIS4に相当する層

準(深度51~64m; 6~14万年前)から30cmおきに、ブレイク・エクスカージョンに相当する年代の層準からは、3cmおきに1cm<sup>3</sup>の試料を切り出し、花粉分析を行った。7サンプルごとに1つ、スタンダード試料の分析を行うことで(Nakagawa et al., 2013)、実験と花粉の同定精度をチェックした。

まず、堆積物に定量分析と実験の精度コントロールのためのマイクロビーズを加えた(Kitaba and Nakagawa, 2017)。その後、塩酸処理、水酸化カリウム処理、繰り返し水洗を行った後、比重1.85の塩化亜鉛を用いて、花粉化石を分離した。その後、アセトリシス処理を行い、残渣の顕微鏡観察を行った。そして、日本の森林植生を構成する主要な32の樹木分類群(Gotanda et al., 2002)が400個以上に達するまで、花粉を同定・計数した。得られた花粉データに、モダン・アナログ法を適用し(Nakagawa et al., 2002)、当時の年平均気温を定量的に復元した。

### (2) 表層花粉試料と分析

先行研究(Gotanda et al., 2002; Tarasov et al., 2011)によって収集・公開されている表層花粉データ地点のギャップを埋めるため、北海道の一部、岩手県、北陸~中部地方、四国地域でサンプリングを行った。人間による植生攪乱の影響が少ない地点を選び、30kmごとに1点、苔試料を採取した。苔は、周辺植生からもたらされる花粉をトラップしており、それらを良好に保存している。

集めた苔試料は、水酸化カリウム処理を行った後、比重2.00の塩化亜鉛を用いて、花粉化石を分離した。その後、フッ化水素酸処理、アセトリシス処理を行い、残渣の顕微鏡観察を行った。そして、上述の32の樹木分類群(Gotanda et al., 2002)が400個以上に達するまで、花粉を同定・計数した。

## 4. 研究成果

### (1) 最終間氷期の気候変動

MIS6(氷期)の終わりから最終間氷期(MIS5)にかけて、年平均気温は、約3から14まで上昇した。そして、約12万3,000年前にステージ5の最温暖期を迎えた。その後、気温は約2万年周期の振動を繰り返した。そのピーク時の気温は、約10、8と次第に減衰していき、次の氷期(MIS4)を迎えた。

この結果からわかるのは、最終間氷期の長期的な気候変化は、第一義的には、地球が本来持っている気候変動リズムによって、天文学的に決まっていたということである。すなわち、地球が公転軌道や地軸の傾きを周期的に変化させることによって、太陽から受け取る日射量が増減し、結果として地球の気温が昇降した。

### (2) 地磁気エクスカージョンと気候の関連

得られた気温変化から、軌道要素変化に起因する成分を取り除き、残渣成分を同じコア

から得られた古地磁気強度の変化と比較した。神戸大学のグループによって、すでに古地磁気測定が終了している 11 万～13 万年前においては、気温の残渣成分と地磁気強度に明瞭な正の相関が見られた。その一方で、モンスーン強度（冬季降水量）と地球磁場強度の明瞭な対応関係は見られなかった。6～11 万年前、13～14 万年前の期間についても、今後の研究で引き続き、検証していく予定である。

### (3) 表層花粉データセットの拡充

本研究によって、3 年間で表層花粉試料 71 点を採取し、花粉分析を行った（図 1；黒）。また、本研究開始以前に集めていた試料 24 点についても、分析を完了した（図 1；グレー）。

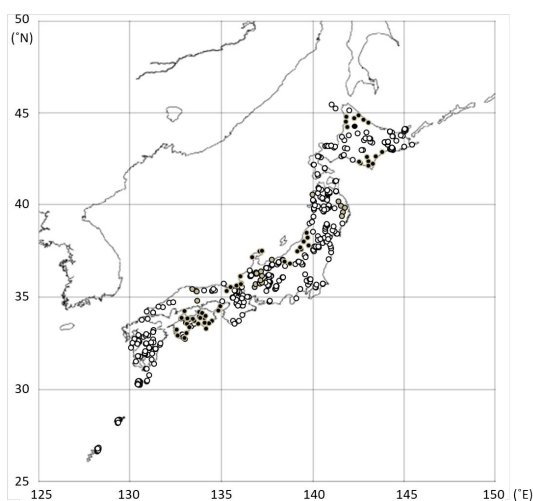


図 1 表層花粉試料採取地点

先行研究によって配布されている表層花粉データ地点（白）。本研究課題で新たに追加された表層花粉データ地点（黒、グレー；グレーは、本プロジェクト開始以前に収集した試料）。本研究によって、北海道の一部、岩手県、北陸～中部地方、四国にあった空白域を埋めることができた。

計 95 点の試料のうち、25 点は、人間活動による植生攪乱の影響がきわめて大きい、もしくは周辺植生を反映していないため、アナログとしては不適切であると判断した。

本研究によって、これまで表層花粉データセットの課題となっていた、年平均気温 14 のギャップを埋めることができた（ $n=11$  から  $n=21$  に増加）。

本研究によって得られた表層花粉データを追加した場合、追加しない場合、それぞれについて SG14 コアの最終間氷期の気候復元を行った。復元値にわずかな違いがあるものの、復元結果は、誤差の範囲内で一致した。また、どちらのデータセットを使用した場合にも、上述の解釈が変わることはなかった。

集めた表層花粉データは、花粉化石を用いた定量的気候復元のためのフリーソフトの

データパッケージに加え、論文出版後に配布する。

### (4) 火山灰の年代

Fukui-SG14 コアのステージ 6～4 の層準には、阿蘇 4 テフラと阿多テフラが挟在する。これら 2 つの火山灰について、露頭で採取された給源テフラを用いて黒雲母の  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年代測定を行った。阿多テフラの年代は、黒雲母のグレインごとのシグナルに一貫性が見られず、年代を決定するのが不可能であった。阿蘇 4 テフラに関しては、良好な年代値が得られた。詳細な年代については、現在準備中の論文で報告する (Albert et al., in prep.)。

### 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 9 件)

Danielle McLean, Paul G. Albert, Takeshi Nakagawa, Takehiko Suzuki, Richard A. Staff, Keitaro Yamada, Ikuko Kitaba, Tsuyoshi Haraguchi, Junko Kitagawa, SG14 Project Members, Victoria Smith (2018) Integrating the Holocene tephrostratigraphy for East Asia using a high-resolution cryptotephra study from Lake Suigetsu (SG14 core), central Japan, *Quaternary Science Reviews*, 183, 36-58, doi:10.1016/j.quascirev.2017.12.01

Ikuko Kitaba, Takeshi Nakagawa (2017) Black ceramic spheres as marker grains for microfossil analyses, with improved chemical, physical, and optical properties, *Quaternary International*, 455, 166-169, doi:10.1016/j.quaint.2017.08.052

Ikuko Tanaka, Masayuki Hyodo, Yuusuke Ueno, Ikuko Kitaba, Hiroshi Sato (2017) High-resolution diatom record of paleoceanographic variations across the Early-Middle Pleistocene boundary in the Chiba Section, central Japan, *Quaternary International*, 455, 141-148, doi:10.1016/j.quaint.2017.08.017

Masayuki Hyodo, Balázs Bradák, Makoto Okada, Shigehiro Katoh, Ikuko Kitaba, David L. Dettman, Hiroki Hayashi, Koyo Kumazawa, Kotaro Hirose, Osamu Kazaoka, Kizuku Shikoku, Akihisa Kitamura (2017) Millennial-scale northern Hemisphere Atlantic-Pacific climate teleconnections in the earliest Middle Pleistocene, *Scientific Reports*, 7, 10036 doi:10.1038/s41598-017-10552-2

Ikuko Kitaba, Masayuki Hyodo, Takeshi

Nakagawa, Shigehiro Katoh, David L. Dettman, Hiroshi Sato (2017) Geological support for the Umbrella Effect as a link between geomagnetic field and climate, Scientific Reports, 7, 40682, doi:10.1038/srep40682

Kenta Maegakiuchi, Masayuki Hyodo, Ikuko Kitaba, Kotaro Hirose, Shigehiro Katoh, Hiroshi Sato (2016) Brief sea-level fall event and centennial to millennial sea-level variations during Marine Isotope Stage 19 in Osaka Bay, Japan, Journal of Quaternary Science, 31, 809-822, doi:10.1002/jqs.2907

Junko Kitagawa, Yoshimune Morita, Mirosław Makohonienko, Katsuya Gotanda, Kazuyoshi Yamada, Hitoshi Yonenobu, Ikuko Kitaba, Yoshinori Yasuda (2016) Understanding the anthropogenic impact on Akita-sugi cedar (*Cryptomeria japonica*) forest in the late Holocene through pollen analysis of annually laminated sediment from Ichi-no-Megata, Akita, Japan, Vegetation History and Archaeobotany, 25, 525-540, doi:10.1007/s00334-016-0570-2

Masayuki Hyodo, Shigehiro Katoh, Akihisa Kitamura, Kenta Takasaki, Hayato Matsushita, Ikuko Kitaba, Ikuko Tanaka, Masakazu Nara, Takuya Matsuzaki, David L. Dettman, Makoto Okada (2016) High resolution stratigraphy across the early-middle Pleistocene boundary from a core of the Kokumoto Formation at Tabuchi, Chiba Prefecture, Japan, Quaternary International, 397, 16-26, doi:10.1016/j.quaint.2015.03.031

Masayuki Hyodo, Ikuko Kitaba (2015) Timing of the Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal: Decoupled thermal maximum and sea-level highstand during Marine Isotope Stage 19, Quaternary International, 383, 136-144, doi:10.1016/j.quaint.2015.01.052

[学会発表](計4件)

Ikuko Kitaba, Masayuki Hyodo, Takeshi Nakagawa, Shigehiro Katoh, David L. Dettman, Hiroshi Sato, Selective cooling on land supports cloud formation by cosmic ray during geomagnetic reversals, 2017 AGU Fall Meeting, 2017. (Poster)

Ikuko Kitaba, Masayuki Hyodo, Takeshi Nakagawa, Shigehiro Katoh, David L. Dettman, Hiroshi Sato, Cosmic rays'

impact on climate is likely caused by cloud formation mechanisms, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017. (Oral) (Invited)

Ikuko Kitaba, Footprints of the Sun Left in a Tropical Lake, Japanese-American Frontiers of Science (JAFoS) Symposium 2016, 2016. (Oral) (Invited)

Ikuko Kitaba, Richard A. Staff, Yoshitsugu Shinozuka, Kazuyoshi Yamada, Katsuya Gotanda, Junko Kitagawa, Tsuyoshi Haraguchi, Takeshi Nakagawa, Hitoshi Yonenobu, Spatio-temporal structure of deglacial climate change: climate changes reconstructed from varved sediments of Lake Ichi-no-megata, Northern Japan, and its correlation with global references, XIX INQUA Congress 2015, 2015. (Oral)

[図書](計1件)

北場 育子 (2017) 百万年前の地球寒冷化を引き起こしたもの, パリティ (丸善出版) 2017年8月号 . p. 44-48. (依頼原稿)

[その他]

報道

かがくアゴラ 78 万年前 磁場で地球寒く, 日本経済新聞, 2017.6.2.

"宇宙線が気候に影響,, は本当か 堆積試料で解明挑む, しんぶん赤旗, 2017.4.17.

化学掲示板「宇宙線で雲が増加する現象を裏付けた!」, 月刊化学 2017年3月号, 2017.2.18.

地球磁場の弱化が気候に多大な影響を及ぼす証拠を発見 ~ 銀河宇宙線が作る雲が深く関与し寒冷化が起こる ~ 立命館大学, 大学プレスセンター, 2017.1.17. (少なくとも12媒体で配信)

銀河宇宙線が雲をつくる!? 大阪湾の掘削試料から証拠, しんぶん赤旗, 2017.1.17.

宇宙線 気候変動の一因か 神大など発表 大気に作用, 雲生み出す, 神戸新聞, 2017.1.17.

磁場弱まれば寒くなる? 立命大など78万年前と107万年前の寒冷化 宇宙線が増えたから, 朝日新聞, 2017.1.17.

地球磁場弱いと寒冷化 立命大などグループ「宇宙線で雲増加」裏付け, 京都新聞, 2017.1.17.

宇宙線で気候変動の可能性 100万年前、磁場弱まる, 共同通信, 2017.1.16. (少なくとも39媒体で配信)

ミチをひらく 太古の気候変動 何が影響?, 朝日新聞, 2016.2.25.

## テレビ放映

NHK BS プレミアム コズミックフロント  
NEXT 地球を守る見えざる盾 磁場消滅  
の脅威, 2017.6.15. (出演)

## アウトリーチ活動

愛知淑徳中学校・高等学校 自然科学部セ  
ミナー 講師 2017.7.25.  
高志高等学校 サマースクール 講師  
2017.7.24.  
若狭高等学校 サマースクール 講師  
2017.7.21.  
名城大学附属高等学校 スーパーサイエン  
ス (SS) 講師 2015.12.10.  
愛知県私学高等学校教員対象 年縞講座  
講師 2015.7.3.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北場 育子 (KITABA, Ikuko)  
立命館大学・総合科学技術研究機構・准教  
授  
研究者番号: 60631710

### (2) 研究協力者

ダレン・マーク (Darren, MARK)  
グラスゴー大学・教授  
ヴィクトリア・スミス (Victoria, SMITH)  
オックスフォード大学・准教授  
ポール・アルバート (Paul, G. ALBERT)  
オックスフォード大学・研究員  
中川 毅 (NAKAGAWA, Takeshi)  
立命館大学・総合科学技術研究機構・教  
授  
兵頭 政幸 (HYODO, Masayuki)  
神戸大学・内海域環境教育研究センタ  
ー・教授  
渡邊 正巳 (WATANABE, Masami)  
文化財調査コンサルタント株式会社・代  
表取締役