

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340154

研究課題名（和文） 地磁気逆転期における寒冷化イベントの発生原因の解明

研究課題名（英文） What causes a cooling event during geomagnetic reversals

研究代表者

兵頭 政幸 (HYODO MASAYUKI)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環内海域環境教育研究センター・教授

研究者番号：60183919

研究成果の概要（和文）：銀河宇宙線が誘起する雲生成の気候への影響は、近年、議論が盛んである。宇宙線量と雲量の相関は、地磁気強度変化が宇宙線量を変えて気候を変えうることを示唆する。地磁気逆転期の気候を使ってこの仮説の検証を行った。地磁気強度が現在の 40%以下に減少（宇宙線量は 40%以上増加）した時に寒冷化が起こり、40%以上では起こらない証拠を提示し、地磁気強度が宇宙線量の変調を介して気候に影響を及ぼすことを実証した。

研究成果の概要（英文）：The climatic effects of cloud formation induced by galactic cosmic rays (CR) has recently become a topic of much discussion. The CR-cloud connection suggests that variations in geomagnetic field intensity could change climate through modulation of CR flux. To verify this hypothesis, we investigated paleoclimate and paleoenvironment for five interglacial periods, and found cooling occurred when the field intensity dropped to <40% of its present value, for which we estimate >40% increase in CR flux. The climate warmed rapidly when field intensity recovered. We suggest that geomagnetic field intensity can influence global climate through the modulation of CR flux.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 9,200,000 | 2,760,000 | 11,960,000 |
| 2011年度 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |
| 2012年度 | 2,300,000 | 690,000 | 2,990,000 |
| 総計 | 15,000,000 | 4,500,000 | 19,500,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 層位・古生物学

キーワード：地磁気逆転、寒冷化、スベンスマルク効果、銀河宇宙線

1. 研究開始当初の背景

(1) 銀河宇宙線と低層雲の相関（スベンスマルク効果）は、宇宙線の増加が雲量を増やし日傘効果で寒冷化を起こすことを示唆する。
(2) 地磁気逆転時の地磁気強度は現在の 1/10 まで減少し宇宙線量は 2 倍以上に増加する。

(3) 大阪湾堆積物コアから 78 万年前の間氷期の高海面期に寒冷化が起こったことを示すデータを得ている。

(4) 78 万年前の地磁気逆転に関する大阪湾堆積物コア記録が深海底堆積物の記録と一部不一致である。気候との関連性を議論するためには、大阪湾の記録が正しいことを確認できるデータが必要である。

2. 研究の目的

氷河性高海面期に起こった寒冷化が地磁気逆転にともなう地磁気強度減少が原因であることを実証する。それが、他の地磁気逆

転でも、また、他の場所でも起こっていることを検証する。

3. 研究の方法

(1) 大阪湾コアについて 78 万年前と 107 万年前の地磁気逆転期の地磁気強度と気候および海水準変動の相関を調べる。

(2) (1) と同じ試料の地磁気逆転をともしなわれない間氷期の古気候、古環境の高解像度データを出し、海面変化と気温変化を調べる。

(3) 大阪湾コアで得られた地磁気逆転の特徴の再現性を調べるために、房総半島、インドネシア・ジャワ、中国黄土高原の更新統の古地磁気を調べる。

(4) (3) で地磁気逆転記録を出した試料について気候の寒冷化の有無を調べる。また、他地域で出されているデータを精査し、地磁気逆転期の寒冷化が見られるか調べる。

4. 研究成果

(1) 78 万年前と 107 万年前の地磁気逆転を含む間氷期堆積物について古地磁気、花粉化石による古気候、珪藻化石・硫黄含有量・炭素同位体による古海洋環境の各要素間の相関を調べた。その結果、両間氷期とも気温上昇が海面上昇より約 4000 年遅れて起こることを見つけた。さらに、最高海面期には寒冷化が起こり、その期間は地磁気強度が現在の 40% 以下になる期間に一致することを発見した。78 万年前の逆転にともなう地磁気強度減少は 2 か所で極小値をとり、その両方で寒冷化が起こっている。寒冷化の期間に宇宙線量は 40%~90% 増加しており、スベンスマルク効果で低層雲が増え、日傘効果で寒冷化したと思われる。この結果は地磁気と気候のリンクを示す初めての地質学的証拠となる。

(2) 海洋酸素同位体ステージ 25、21、17、11 の間氷期について花粉分析、珪藻分析、硫黄分析、炭素同位体分析を行い、これらの間氷期には氷河性海面上昇と気温上昇が同時に起こることを確認した。上記の地磁気逆転が起こる間氷期は、宇宙線-雲機構フォーシングがミランコビッチフォーシングを上回る異常な間氷期であることを明らかにした。

(3) 78 万年前の地磁気逆転について、インドネシア・ジャワ・サンギランの更新統から大阪湾コア記録と同じように短期の極性反転を複数ともなう記録を得た。平均堆積速度 70cm/千年は大阪湾コアの 63cm/千年に近く、堆積速度が 20cm/千年以下の深海底堆積物コアの記録との違いの問題が解決した。つまり、深海底コア記録は低解像度と磁化獲得機構起源のフィルター効果により磁化記録が変形していることを示す。房総半島から得た地磁気逆転記録は堆積速度が速すぎるため逆転トランジションの全容が捉えられなかった。しかし、地磁気強度減少と極性の短期反

転現象のパターンは大阪湾の記録と一致する。中国黄土高原の 2 か所の地磁気逆転記録は多数の極性反転を起こしており、大阪湾の記録とは一部の特徴は一致する。しかし、古地磁気強度は土壌化による二次磁化の影響で変化していることが明らかになった。

(4) (3) で述べた地磁気逆転記録を得たジャワと中国の堆積物は花粉化石を含んでいなかった。房総の堆積物は花粉化石含有量が少なく、露頭で堆積物試料を再採取して分析を進めている。したがって大阪湾コアで見つけた地磁気強度減少起源の寒冷化の再現性は、他地域で出された古気候記録を精査して調べた。その結果、地磁気逆転期に気候が寒冷化し逆転直後に最温暖化したことが、ロシアのバイカル湖、イタリアのクロトーン堆積盆地、ヨルダン渓谷、コロンビアのボゴタ、房総半島で起こっていることが分かった。一方、南極氷床コアには寒冷化は記録されていない。これらの事実から、地磁気逆転にともなう寒冷化は中緯度域でのみ起こった可能性が高い。その理由として、南極氷床は日射を反射して冷却効果をもたらしているが雲の形成はこの宇宙への電磁放射を食い止める温室効果をもたらす可能性が考えられる。

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 9 件)

① Kitaba, I., Hyodo, M., Katoh, S., Dettman, D.L. and Sato, H., Mid-latitude cooling caused by geomagnetic field minimum during polarity reversal, Proc. Natl Acad. Sci. USA, 110, 1215-1220, doi: 10.1073/pnas.1213389110, 2013. (査読有)

② Yang, T.S., Hyodo, M., Zhang, S.H., Maeda, M., Yang Z.N., Wu, H.C., and Li, H.Y., New insights into magnetic enhancement mechanism in Chinese paleosols, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 493-500, doi: 10.1016/j.palaeo.2012.11.016, 2013. (査読有)

③ Yang, T.S., Li, H., Wu, H., Yang, Z.N., Zhang, S.H. and Hyodo, M., Reliability of Relative Paleointensity Recorded in Chinese Loess-Paleosol Sediments, *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 86, 1276-1288, doi: 10.1111/j.1755-6724.2012.00747.x, 2012. (査読有)

④兵頭政幸・北場育子, 古地磁気・古気候層序からみた東アジアの第四紀の始まり, 地質学雑誌, 118, 74-86, 2012.
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/geosoc/-char/ja> (査読有)

⑤Kitaba, I., Hyodo, M., Katoh, S., and Matsushita, M., Phase-lagged warming and disruption of climatic rhythm during the Matuyama-Brunhes magnetic polarity transition, *Gondwana Research*, 21, 595-600, doi:10.1016/j.gr.2011.07.005, 2012. (査読有)

⑥Hyodo, M., Matsu'ura, S., Kamishima, Y., Kondo, M., Takeshita, Y., Kitaba, I., Danhara, T., Aziz, F., Kurniawan, I. and Kumai, H., High-resolution record of the Matuyama-Brunhes transition constrains the age of Javanese Homo erectus in the Sangiran dome, Indonesia, Java, *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 108 (49), 19563-19568, doi:10.1073/pnas.1113106108, 2011. (査読有)

⑦Kitaba, I., Harada, M., Hyodo, M., Katoh, S., Sato, H. and Matsushita, M., MIS 21 and the Mid-Pleistocene Climate Transition: Climate and sea-level variation from a sediment core in Osaka Bay, Japan, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299, 227-239, doi:10.1016/j.palaeo.2011.03.031, 2011. (査読有)

⑧Kariya, C., Hyodo, M., Tanigawa, K. and Sato, H., Sea-level variation during MIS 11 constrained by stepwise Osaka Bay extensions and its relation with climatic evolution, *Quaternary Science Reviews*, 29, 1863-1879, doi:10.1016/j.quascirev.2010.03.031, 2010. (査読有)

⑨Yang, T. S., Hyodo, M., Yang, Z. N., Li H. D. and Maeda, M., Multiple rapid polarity swings during the Matuyama-Brunhes (M-B) transition from two high-resolution loess-paleosol records, *J. Geophys. Res.*, 115, B05101, doi:10.1029/2009JB006301, 2010. (査読有)

[学会発表] (計 20 件)

①兵頭政幸・北場育子・加藤茂弘・David L. Dettman・佐藤裕司, 地磁気と気候のリンク, 平成 24 年度高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会, 高知大学, 高知, 2013. 3. 1-2, 口頭.

②高崎健太・岡田誠・加藤茂弘・北場育子・兵頭政幸, 房総半島定方位コアから復元したマツヤマ-ブリュンヌ地磁気逆転 (予報), 地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回総会・講演会, 札幌コンベンションセンター, 北海道, 2012. 10. 20-23, 口頭.

③北場育子・兵頭政幸・加藤茂弘・David L. Dettman・佐藤裕司・松下まり子, 地球磁場の減少によって生じた気候寒冷化兵頭政幸, 地磁気極性境界を特徴づける, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2012. 5. 20-25, 招待講演.

④兵頭政幸, 地磁気極性境界を特徴づける, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2012. 5. 20-25, ポスター.

⑤高崎健太・兵頭政幸・岡田誠・加藤茂弘・北場育子, 房総半島定方位コアから復元した地磁気逆転トランジション, 平成 23 年度高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会, 高知大学, 高知, 2012. 3. 1-2, 口頭.

⑥兵頭政幸, 地磁気の逆転-生命・環境への影響はなかったのか, 第 21 回放射線利用総合シンポジウム, 大阪学中之島センター, 大阪, 2012. 1. 16, 招待講演.

⑦ Kitaba, I., Hyodo, M., Katoh, S., Dettman, D. L., Sato, H. and Matsushita, M., Disruption in climatic rhythm and anomalous cooling during large decreases in geomagnetic field intensity, 2011 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 5-9 December, 2011, Poster.

⑧北場育子・兵頭政幸・加藤茂弘・佐藤裕司・松下まり子, 地磁気逆転期の高精度気候復元, 第 179 回生存圏シンポジウム「メタ情報のデータベースを利用した分野横断型地球科学研究の進展」, 京都大学, 京都, 2011. 8. 3-4, 口頭.

⑨Kitaba, I., Hyodo, M., Katoh, S., Sato, H. and Matsushita, M., Geomagnetic field impact on paleoclimate: geological evidences during the Matuyama-Brunhes transition and Lower Jaramillo polarity reversal, XVIII INQUA Congress 2011, Bern, Switzerland, 21-27 July, 2011, Poster.

⑩Hyodo, M., Matsu'ura, S., Kamishima, Y., Kondo, M., Takeshita, Y., Kitaba, I., Danhara, T., Aziz, F., Iwan, K. and Kumai,

H., Matuyama-Brunhes polarity transition just overlying the latest Homo erectus and meteorite impact evidence in Sangiran, Java, XVIII INQUA Congress 2011, Bern, Switzerland, 21-27 July, 2011, Oral, Invited.

⑪ 兵頭政幸・北場育子・松浦秀治・竹下欣宏・近藤恵・熊井久雄, ジャワにおけるマツヤマープリユンヌ地磁気逆転磁場の特徴, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2011. 5. 22-27, 口頭.

⑫ 北場育子・兵頭政幸・加藤茂弘・佐藤裕司・松下まり子, 地質時代に見られる地磁気と気候のリンク, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2011. 5. 22-27, 口頭.

⑬ Kitaba, I., Harada, M., Hyodo, M., Katoh, S., Sato, H. and Matsushita, M., Climate and sea-level variation during MIS 21 from a sediment core in Osaka Bay, Japan: a sign of termination of the Mid-Pleistocene Climate Transition, 2010 AGU Fall meeting, Moscone Convention Center, San Francisco, USA, 2010. 12. 17, Poster.

⑭ 北場育子, 兵頭政幸, 加藤茂弘, 佐藤裕司, 松下まり子, ハラミヨサブクロン下限における気候変化と地球磁場変動, 地球電磁気, 地球惑星圏学会第 128 回総会・講演会, 沖縄県市町村自治会館, 沖縄, 日本, 2010. 11. 01, ポスター.

⑮ 長谷川夏希, 兵頭政幸, 三島稔明, 谷川晃一朗, 楊天水, 中国レスを用いたオールドバイ上限の地磁気逆転詳細磁場の復元, 地球電磁気, 地球惑星圏学会第 128 回総会・講演会, 沖縄県市町村自治会館, 沖縄, 日本, 2010. 11. 01, 口頭.

⑯ 北場育子, 原田麻央, 兵頭政幸, 佐藤裕司, 加藤茂弘, 松下まり子, 海洋酸素同位体ステージ 21 と更新世中期気候変換期—大阪湾の堆積物コアから得られた気候変化と海水準変動—, 日本第四紀学会 2010 年大会, 東京学芸大学, 東京, 2010. 08. 20-2010. 08. 21, ポスター.

⑰ 三島稔明, 兵頭政幸, 谷川晃一朗, 石田拓也, 加藤茂弘, Tiansui Yang, Li Huidi, Zhenyu Yang, Multiple rapid polarity flips within the Gauss-Matuyama geomagnetic transition record from central Loess Plateau, China, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 日

本, 2010. 05. 28, 口頭.

⑱ 狩谷千恵, 兵頭政幸, 谷川晃一朗, 佐藤裕司, 大阪湾の段階的拡大が示す MIS11 の海面変化及びその気候変化との関係, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2010. 05. 28, 口頭.

⑲ 北場育子, 兵頭政幸, 加藤茂弘, 松下まり子, 地磁気逆転期の寒冷化イベントと地磁気強度変化が気候に及ぼす影響, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2010. 05. 28, 口頭.

⑳ 兵頭政幸, 古地磁気・古気候層序からみた東アジアの第四紀の始まり, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2010. 05. 24, 招待講演.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

兵頭 政幸 (HYODO MASAYUKI)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環内海域環境教育研究センター・教授

研究者番号: 60183919

(2) 研究分担者

岡田 誠 (OKADA MAKOTO)

茨城大学・理学部・准教授

研究者番号: 00250978

加藤 茂弘 (KATOH SHIGEHIRO)

兵庫県立人と資源の博物館・自然・環境評価部門・主任研究員

研究者番号: 50301809

(H22~23)

北場 育子 (KITABA IKUKO)

神戸大学・内海域環境教育研究センター・助教

研究者番号: 60631710

(H24) (連携研究員; H23)

佐藤 裕司 (SATO HIROSHI)

兵庫県立大学・付置研究所・教授

研究者番号: 80254457

(H24)

(3) 連携研究者

松下まり子 (MATSUSHITA MARIKO)

(財) 国立文化財機構・奈良文化財研究所・客員研究員

研究者番号: 50110804

(H22~23)