

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 古気候学研究センターの北場育子准教授、中川毅教授、神戸大学 兵頭政幸教授らのグループは、宇宙から降り注ぐ高いエネルギーを持った放射線（銀河宇宙線）が、雲を作って気候を変えることの証拠を発見しました。

かつての地球には、宇宙線がたくさんやってきた時代がありました。その時、地球は寒くなっていたという証拠がたくさん報告されています。この背景には、おそらく「銀河宇宙線が雲を作る」というメカニズムが働いていると考えられてきました。しかし、観測が始まる前の時代の雲の量を知るのは非常に困難で、メカニズムの解明を妨げていました。

北場准教授らは、地球の磁場と東アジアの気候に着目しました。地球の磁場は、宇宙線を跳ね返すバリアの働きをしています。また、東アジアの気候は、太平洋とユーラシア大陸の温度のバランスを反映しています。

約 78 万年前と 107 万年前、地球の磁場が現在の約 10%にまで弱まった時、地球上には現在のおよそ 2 倍の宇宙線が降り注いでいました。大阪湾の堆積物の分析を通して、この時代の気温と降水量を復元した結果、地球磁場の弱まりとともに、2つの気候変化が観測されました。① 太平洋よりも顕著なユーラシア大陸の気温低下 ② 東アジアの夏雨の減少——これらの気候変化は、海よりも陸の方がより強く冷やされた場合に起こります。この背景にあるメカニズムとして、もっとも可能性が高いのは、雲によって、太陽光が遮られること（日傘効果）です。

過去における地球磁場の変動は、太陽の活動度が変化した場合のシミュレーションとしての側面を持っています。近年、太陽活動の低下による気候変動が懸念されています。本研究成果は、太陽が引き起こしうる気候変化の具体的な内容についての洞察を与えると共に、温室効果ガスに偏りがちな気候変動の議論に新たな視点を導入することを促すものです。

研究の背景

地球はこれから温暖化するのか、それとも寒冷化に向かうのか——この議論がなされるようになった背景には、1990 年代に提唱された仮説があります。その仮説とは、星が死んだ時に生成される高いエネルギーを持った放射線、いわゆる銀河宇宙線が、地球の気候を変えるというものです。銀河宇宙線が地球の大気に侵入すると、大気をイオン化し、雲を作る（スベンスマルク効果）。その雲が太陽の光を遮り（日傘効果）、地球が寒冷化する、というのです。

この銀河宇宙線から、私たちを守っているのが、太陽や地球が持つ「磁場」です。太陽や地球の磁場は、銀河宇宙線を跳ね返すバリアの役割をしています。しかし、このバリアの強さは時々刻々と変化しており、時に私たちの住む地球は大量の宇宙線にさらされた時代があったのです。

この時、地球上で何が起こったかを検証するために、様々な研究が行われてきました。そして、太陽や地球の磁場が弱まり、地球に宇宙線がたくさん降り注いだ時代には、寒冷化が起こっていたという証拠がたくさん見つかるようになってきました。しかし、観測が行われる以前の雲の量を知る術がなかったため、そのメカニズムは推測の域を出ませんでした。

方法

私たちは、過去数百万年間のうち、地球に宇宙線が最も多くやって来た 78 万年前と 107 万年前の地球の磁場の逆転現象（注 1）に着目しました。この時代には、現在の 2 倍にも達する宇宙線が降り注いでいたことがわかっています。さらにこの時、寒冷化が起こっていたことも、私たちの先行研究で明らかになっています。

研究には、兵庫県立人と自然の博物館に収蔵されている大阪湾 1700m コア試料を用いました。堆積物に含まれている花粉の化石から、当時の夏の気温と冬の気温、夏の雨量（夏モンスーン強度）を復元しました。

日本の夏は太平洋気団に、冬はシベリア気団にすっぽりと覆われます。それぞれの季節の気温は、これらの気団の影響を強く受けます。そして、モンスーンは、海と陸の温度差によって駆動されます。つまり、夏と冬の気温や雨の量を復元することで、地球の磁場が弱まり、寒冷化が起こったときに、どこがどの程度冷やされていたか、わかるのです。

結果と考察

78 万年前に地球磁場が逆転したとき、約 5000 年間にわたって、寒冷化が続いていました。その時、日本の夏の気温は約 2°C、冬の気温は約 3°C 低下しました。同時に、夏の雨が約 100~200mm 減少していました。107 万年前には、寒冷化が約 8000 年間続きました。この時、夏の気温は、約 2~4°C、冬の気温は約 3~5°C 低下しました。夏の雨は、約 100~200mm 減少しました。

これら 2 つの地球磁場の弱まりとともに観測された気候変化には、ある法則性があります。① 夏よりも顕著な冬の気温低下と、② 夏の雨量の減少です。

これらの気候変化は、海よりも陸の方がより強く冷やされた場合に起こります。この背景にあるメカニズムとして、もっとも可能性が高いのは、雲によって、太陽光が遮ら

れること（日傘効果）です。地球上に届く日射量が減り、海よりも熱容量の小さい（温まりやすく冷めやすい）陸で、より速やかに寒冷化が起こったのです。

一方、地球の磁場が逆転しない時代の夏と冬の気温や降水量は、地球が受け取る日射量（注2）に応じてリズムカルに変化していたことも明らかになりました。しかし、地球の磁場に伴う宇宙線の増加によって生成される雲が、このリズムを乱し、寒冷化を引き起こすのみならず、モンスーンにも影響を与えることがわかりました。

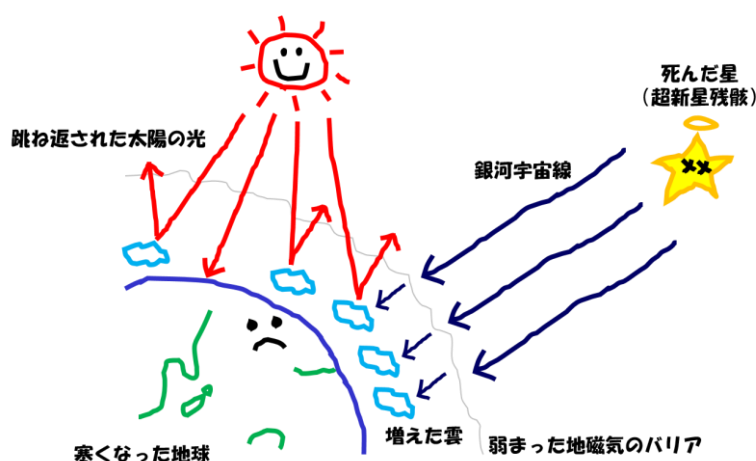
これまでに観測されてきた「宇宙線量の増加」と「寒冷化」を結ぶメカニズムとして、「雲」が重要であるということ、本研究によって実証的に示すことができました。

過去における地球磁場の変動は、太陽の活動度が変化した場合のシミュレーションとしての側面を持っています。なぜなら、太陽の磁場も地球の磁場と同様に、銀河宇宙線に対してバリアの役割を果たしているからです。さらにその程度は小さいものの、太陽磁場の強さの変化は、地球磁場よりも短期間で変動します。

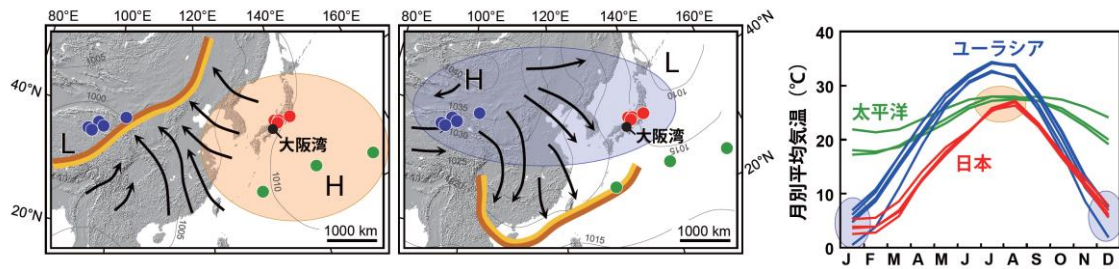
近年、太陽活動の低下による気候変動が懸念されています。本研究成果は、太陽が引き起こしうる気候変化の具体的な内容についての洞察を与えると共に、温室効果ガスに偏りがちな気候変動の議論に新たな視点を導入することを促すものです。

注1 地磁気逆転：地球の磁場のN極、S極が反転すること。たとえば、1番最近の地磁気逆転は、78万年前に起こった。これ以前は、方位磁石のN極が南を指すような時代だった。過去360万年間の間に少なくとも11回の地磁気逆転が起こったことが知られている。

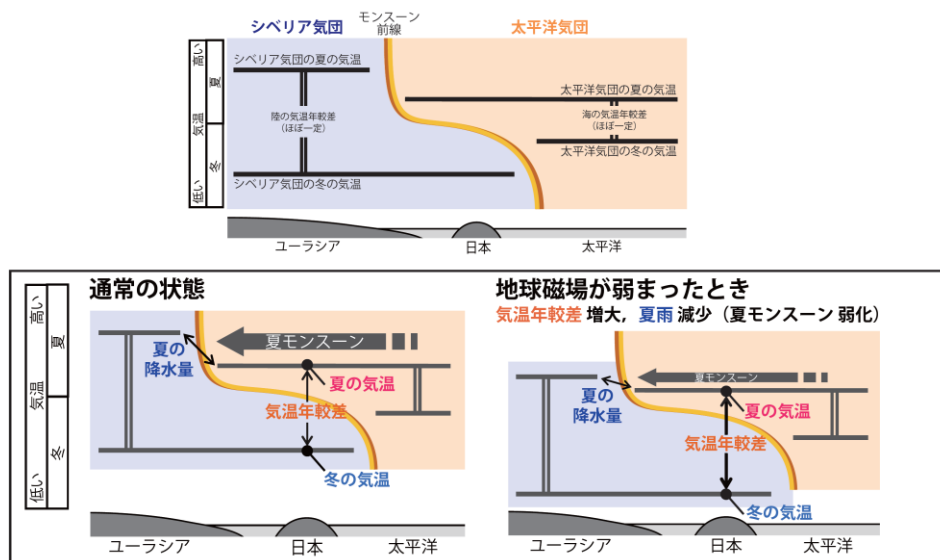
注2：地球が受け取る日射量は、第一義的には、地球の公転軌道や自転軸の傾きなどによって天文学的に決まっている。



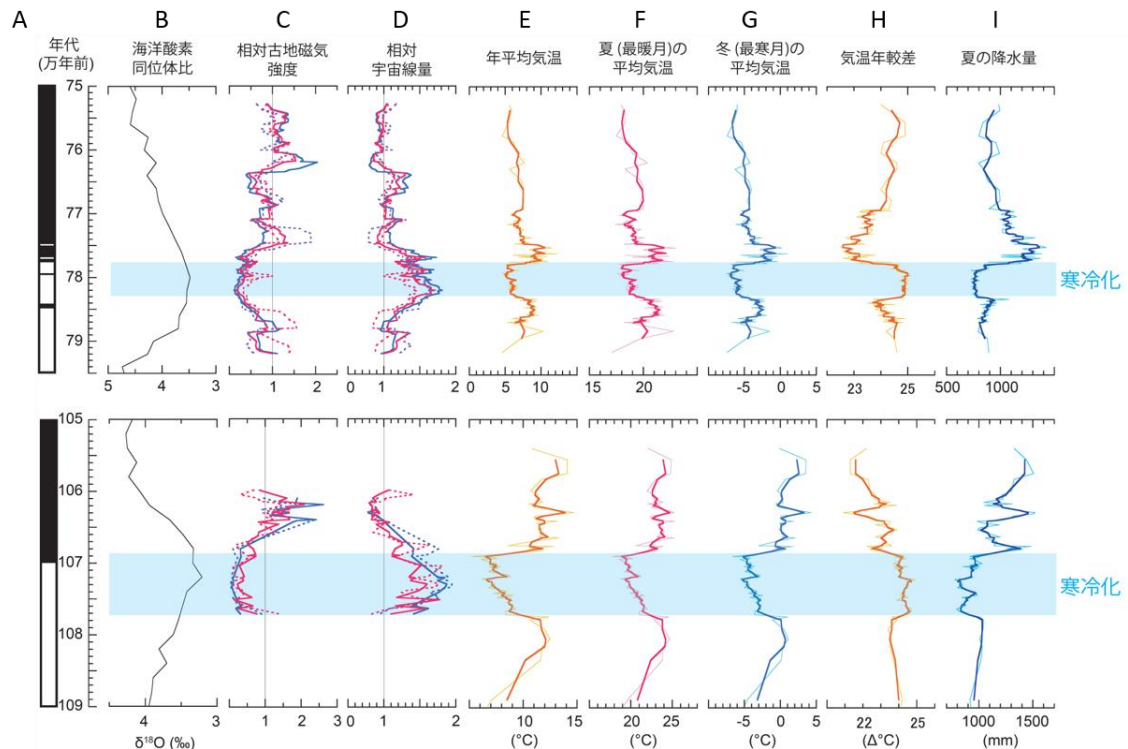
地球の磁気シールドが弱まったときに、宇宙が地球の気候を変えるしくみ



大阪湾の位置と東アジアモンスーン域の大気循環 左図：夏の気圧配置。中央図：冬の気圧配置。黄色の太線はモンスーン前線の位置を示す。右図：日本（赤）、太平洋の孤島（緑）、ユーラシアの内陸（青）の月別平均気温。日本の夏の気温は太平洋の気温に、日本の冬の気温はユーラシアの気温によく一致する。Nakagawa et al. (2008)を改変。



東アジアモンスーンシステムと復元された日本の気候の関係 左図：通常の状態 (Nakagawa et al., 2008)。 右図：地磁気が弱まった時の状態。日本の夏の気温は太平洋気団の温度に、冬の気温はシベリア気団の温度に対応する。日本の夏の降水量は、夏における海陸の温度傾度によって駆動される。地球の磁場が弱まると、海陸の温度はどちらも下がる。ただし、寒冷化の効果は、熱容量の小さい陸でより大きい。そのため、夏の海陸温度傾度が小さくなり、夏のモンスーンが弱まる。



78 万年前（上図）と 107 万年前（下図）の地磁気逆転期に観測された気候変化 A: 地磁気極性。黒は、現在と地球磁場の方向が同じ正極性、白は逆極性（現在とは南北逆向き）の時代を示す。B: 本来、このカーブのような気温変化が観測されると予想されていた。C: 過去の地球磁場の強さ。1 が現在の値。D: 宇宙線量の変化。1 が現在の値。E-I: 花粉化石から推定された気候変化。気温年較差（H）は、F から G を差し引いた値。 A,C: Hyodo et al. (2006), Kitaba et al. (2013), B: Lisiecki & Raymo (2005), D: Wagner et al. (2000), Kitaba et al. (2013)

発表論文

掲載誌：Scientific Reports

題目：Geological support for the Umbrella Effect as a link between geomagnetic field and climate

著者：

北場 育子（立命館大学）、兵頭 政幸（神戸大学）、中川 毅（立命館大学）、加藤 茂弘（兵庫県立人と自然の博物館）、デイビッド・デットマン（アリゾナ大学）、佐藤 裕司（兵庫県立大学）

URL: www.nature.com/articles/srep40682

DOI: [10.1038/srep40682](https://doi.org/10.1038/srep40682)

オンライン公開日：2017 年 1 月 16 日

本研究の一部は、科学研究費補助金（22-341, 19340151, 20654043, 15K21497）の助成を受けて行われました。

お問い合わせ先

研究成果について

立命館大学 古気候学研究センター 准教授 北場育子

Tel: 077-561-2838 E-mail: i-kitaba@fc.ritsumei.ac.jp

立命館大学広報課 担当：石川、池田

TEL: 075-813-8300 FAX: 075-813-8147

<http://www.ritsumei.ac.jp/>

著者紹介



北場 育子（きたば いくこ）2008年神戸大学理学部地球惑星科学科卒業。2009年同修士課程、2011年同博士課程短縮修了。日本学術振興会特別研究員、神戸大学特命助教を経て、2014年より立命館大学古気候学研究センター准教授。専門は、古気候学と宇宙気候学。宇宙と気候のつながりを研究している。



兵頭 政幸（ひょうどう まさゆき）1979年神戸大学大学院理学研究科修士課程修了。神戸大学教授（内海域環境教育研究センター/理学研究科）。専門は古地磁気学。地磁気と気候のリンク、地磁気逆転・エクスカージョン、千年・百年スケールの古海洋・古気候変化、磁気層序年代法を用いた人類進化・拡散などの研究をすすめている。



中川 毅（なかがわ たけし）1992年京都大学理学部卒業、1994年同修士課程修了。1998年エクス=マルセイユ第三大学（仏）博士課程修了。国際日本文化研究センター助手、ニューカッスル大学（英）教授などを経て、2014年より立命館大学古気候学研究センター長・教授。専門は定量的な古気候復元と高精度年代測定。年縞堆積物を通して、気候変動の詳細な時空間構造を研究している。



加藤 茂弘 (かとう しげひろ) 1992年東京大学大学院理学系研究科博士課程単位取得後退学、理学修士。1992年12月に兵庫県立人と自然の博物館の研究員に採用され、現在は主任研究員として勤務。専門は自然地理学。地層中の軽石・火山灰などの火山噴出物を年代目盛に用いて、日本列島やエチオピアの大地を舞台に初期人類の進化史、第四紀の気候変動や地殻変動、活断層の活動履歴などを調べている。



デイビッド・デットマン (David L. Dettman) 1994年ミシガン大学博士課程修了。アリゾナ大学同位体環境学研究所所長。専門は、地球化学。同位体を使って気候や環境、生態系の変化を研究している。



佐藤 裕司 (さとう ひろし) 1982年神戸大学大学院理学研究科修士課程(生物学専攻)修了。1993年 学術博士(神戸大学)。現在、兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 教授、同大学大学院環境人間学研究科を兼担、兵庫県立人と自然の博物館 事業推進部長を併任。専門は第四紀学と環境生物学、おもに珪藻の化石を環境指標にして海水準変動について研究している。