

完新世中期に宇宙線大増加の痕跡を発見 —太陽活動の異常を示唆—

名古屋大学高等研究院（研究院長：篠原 久典）・宇宙地球環境研究所（所長：町田 忍）の三宅 芙沙（みやけ ふさ）特任助教、同宇宙地球環境研究所の増田 公明（ますだ きみあき）准教授および中村 俊夫（なかむら としお）名誉教授の研究グループは、アリゾナ大学、スイス連邦工科大学チューリッヒ校との共同研究により、紀元前 5480 年頃の地球上において、放射性炭素（炭素 14）濃度が急増していることを発見しました。

過去の宇宙線強度や太陽活動は、樹木年輪に含まれる炭素 14 濃度を用いて調べられますが、完新世（約 1 万年前から現在）においては、10 年分解能以下の細かい変動についてほとんど調べられていませんでした。今回米国産の樹木サンプルを用いて紀元前 5480 年付近の炭素 14 濃度を詳細に調査したところ、完新世最大クラスの炭素 14 濃度増加を検出しました。太陽黒点がほとんど消失したとされるマウンダー極小期のような太陽活動極小期にも、炭素 14 濃度の大幅な増加が見られます。しかし、今回見つかったイベントの原因は、通常の太陽活動極小期よりもさらに太陽活動が弱まっていた状態であったか、あるいは大規模な太陽面爆発が数年にわたって発生した状態と考えられます。いずれにおいても、完新世中期における太陽活動の異常が示唆されます。

この研究成果は、平成 29 年 1 月 18 日（米国東部時間）の米国科学雑誌「Proceedings of the National Academy of Sciences」電子版に掲載されました。

この研究は、日本学術振興会（研究活動スタート支援、若手研究 A、頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム）及び、公益財団法人豊秋奨学会の支援のもとに行われたものです。

【ポイント】

- ・ 米国産木材（bristlecone pine）サンプルを用いて紀元前 5490 年—紀元前 5411 年の炭素 14 濃度を測定し、紀元前 5481 年—紀元前 5471 年にかけての 10 年間に 20% の炭素 14 濃度増加を検出（紀元前 5480 年イベント）
- ・ 今回検出した炭素 14 濃度増加は今までに知られている変動と比べると最大級であり、他の年代とは大きく異なる特徴を持つ
- ・ 炭素 14 濃度が増加している期間に、地球への到来宇宙線量が大幅に増加したことを意味する
- ・ 紀元前 5480 年イベントの原因は、極端に太陽磁場活動が弱まった状態か、複数の巨大 SPE（Solar Proton Event:太陽面爆発に起因して大量の陽子が地球に降り注ぐ現象）が連続で起きたことが考えられる

【研究背景と内容】

自然界の炭素 14 は地球外から飛来する宇宙線によって大気中で作られ光合成により樹木年輪へ取り込まれるため、樹木年輪の炭素 14 濃度から過去の宇宙線強度を調べることができます。また、地球へ飛来する宇宙線強度は太陽磁場による影響を受けるため（太陽磁場が強くなると地球への宇宙線量は減少する）、年輪の炭素 14 濃度から過去の太陽活動も知ることができます。

これまでに、私たちの研究グループでは、屋久杉の炭素 14 濃度を測定し西暦 774 - 775 年と 993 - 994 年の単年宇宙線イベントを発見しました (Miyake et al. 2012,2013)。これらのイベントは大量の宇宙線が 1 年以下の短い期間に地球に降り注いだことを意味しており、原因は太陽面爆発による大規模な SPE (Solar Proton Event) と考えられています。過去を遡ると 1 万年を超える木材試料から測定された 10 年分解能の炭素 14 データはありますが (IntCal: Reimer et al. 2013)、1 年分解能のデータはほとんどなく、短期間の宇宙線変動は上に挙げた 2 つのイベントを含む短い期間しか解明されていませんでした。

本研究では、さらに急激な炭素 14 濃度変動を調べるために、米国産の樹木サンプル (図 1) を用いた単年測定を行いました。対象にした年代は、先行研究の IntCal データにおいて完新世 (過去~12000 年) で最大級の増加の傾きを示す紀元前 5490 - 紀元前 5460 年を含む紀元前 5490 年 - 紀元前 5411 年です。測定の結果、IntCal に見られた傾きの大きい変動は、1 年分解能ではさらに急激な変化 (紀元前 5481 年 - 紀元前 5471 年にかけて 20% の炭素 14 濃度上昇) であることが明らかになりました (以後、紀元前 5480 年イベント)。測定は 3 つの研究機関 (アリゾナ大学、名古屋大学、スイス連邦工科大学チューリッヒ校) の加速器質量分析装置を用いて行い、再現性のある結果が得られました。図 2 は、紀元前 5480 年イベントと西暦 775 年イベントとを比較したグラフですが、紀元前 5480 年イベントは西暦 775 年イベントのような 1 年での増加ではないものの、全増加量は西暦 775 年イベントを上回るとも大きなものです。

太陽活動極小期として良く知られているマウンダー極小期 (17 世紀後半~18 世紀初頭) には、黒点がほとんど出現しない日が続いたと記録されており、太陽活動が弱まっていたことから地球の気候も寒冷化したと考えられています。過去を遡るとマウンダー極小期のような太陽活動極小期が多く存在することが知られ、これらの期間には炭素 14 濃度が大きく増加しています。図 3 は、紀元前 5480 年イベントと 5 つの太陽活動極小期の炭素 14 濃度変動を比較したのですが、紀元前 5480 年イベントの増加の傾きが 2 (%/年) であるのに対し、他の太陽活動極小期は約 0.3 (%/年) であり、通常の太陽活動極小期とは異なり圧倒的に早く炭素 14 濃度が上昇していることがわかります。

このような急激な炭素 14 濃度上昇を引き起こす原因として、次の 2 つが考えられます: (1) 通常の太陽活動極小期よりさらに太陽活動が低下していた状態、(2) 西暦 775 年イベントの原因と考えられている巨大な太陽面爆発が数年にわたって複数発生した状態。いずれの原因であっても、これまでに知られていない太陽活動が起きていたことを示しています。



図 1 : 分析に用いた米国カリフォルニア州産の木材試料。Bristlecone pine と呼ばれる樹種である。アリゾナ大学年輪研究所に保管されていた。

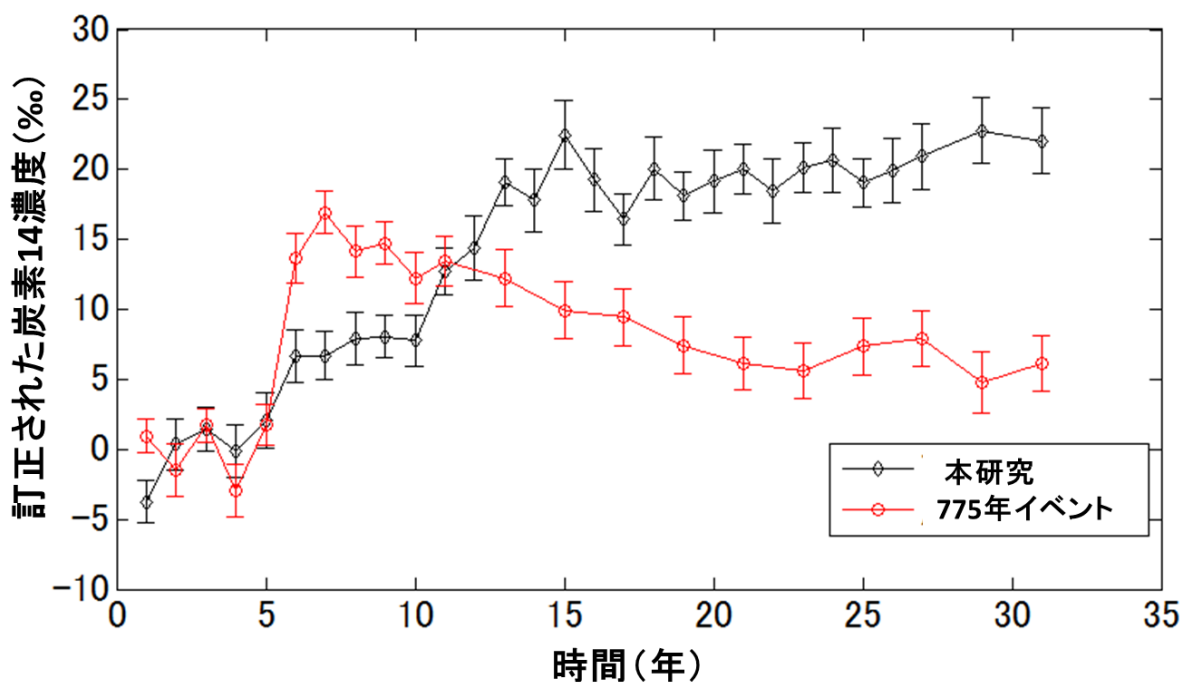


図 2 : 紀元前 5480 年イベント (黒) と西暦 775 年宇宙線イベントとの比較。紀元前 5480 年イベントは 1 年での増加ではないが、炭素 14 濃度の全増加は西暦 775 年イベントよりも大きい。

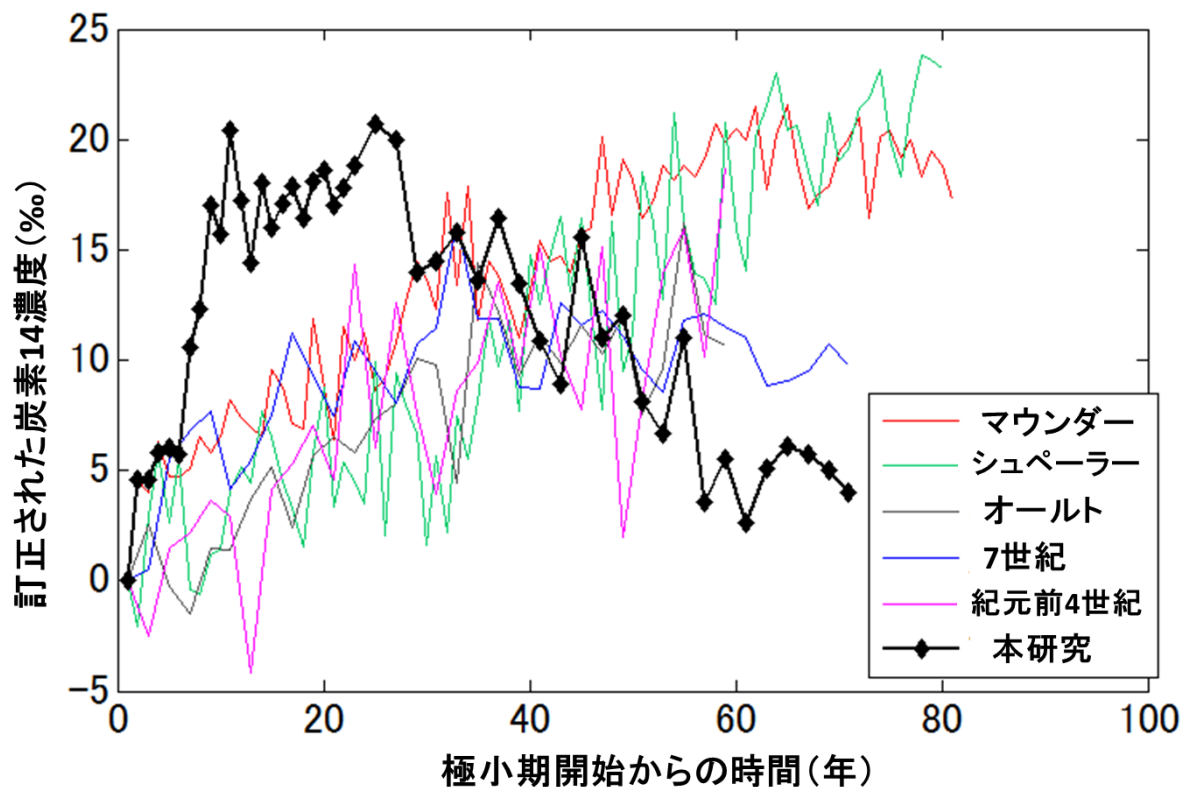


図3：紀元前 5480 年イベント（黒）と 5 つの太陽活動極小期（マウンダー、シュペーラー、オールト、7 世紀、紀元前 4 世紀の極小期）との比較。通常の太陽活動極小期よりも急激に炭素 14 濃度が増加している。

【論文名】

掲載雑誌：Proceedings of the National Academy of Sciences

論文名：A large ¹⁴C excursion in 5480 BC indicates an abnormal sun in the Mid Holocene

（紀元前 5480 年の炭素 14 大増加－完新世中期における太陽の異常）

著者：Fusa Miyake, A.J. Timothy Jull, Irina P. Panyushkina, Lukas Wacker, Matthew Salzer, Christopher H. Baisan, Todd Lange, Richard Cruz, Kimiaki Masuda, and Toshio Nakamura

DOI：10.1073/pnas.1613144114