

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26887019

研究課題名(和文) 宇宙線生成核種を用いた過去2500年の巨大SPE調査

研究課題名(英文) Search for extreme SPE for the past 2500 years using cosmogenic nuclides

研究代表者

三宅 芙沙 (MIYAKE, Fusa)

名古屋大学・高等研究院(宇宙)・特任助教

研究者番号：90738569

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：樹木年輪の ^{14}C 濃度や氷床コアの ^{10}Be 濃度は過去の到来宇宙線量を記録していると考えられている。本研究では、年輪の ^{14}C 濃度測定から発見された西暦775年と西暦994年の単年宇宙線イベントの原因を追究し、さらなる宇宙線イベントを探索することを目的としている。

南極ドームふじ氷床コアの ^{10}Be 濃度測定から、775年イベントの原因は大規模なSPE (Solar Proton Event) が妥当であることを示した。また、紀元前の年代の ^{14}C 濃度測定を行い、775年イベントに匹敵するイベントが稀であることを示し、さらに異なるタイプの宇宙線増加イベントを発見した。

研究成果の概要(英文)：It is considered that ^{14}C contents in tree rings and ^{10}Be concentrations in ice cores would record the past incoming cosmic ray intensities. The purposes of this study are to specify the origin of the annual cosmic ray increase event in AD 775, and to search for other cosmic ray events.

We showed that the plausible origin of the 775 event is an extreme SPE (or several SPEs) by measuring ^{10}Be concentrations in the Dome Fuji ice core in the Antarctica. Also we showed an extreme annual event comparable to the 775 event is very rare, and found a different type of cosmic ray increase event by ^{14}C measurements for the BC time period.

研究分野：宇宙線生成核種

キーワード：宇宙線生成核種 大規模SPE 放射性炭素

1. 研究開始当初の背景

放射性炭素 ^{14}C は、地球外から飛来する宇宙線が大気分子と反応して生成される。その後 ^{14}C は酸化されて二酸化炭素になり、光合成によって樹木へと取り込まれる。従って、年輪中の ^{14}C 濃度は過去の宇宙線強度を記録している。仮に短期間に地球への到来宇宙線が増加するような、宇宙の高エネルギーイベント(超新星爆発、ガンマ線バースト、Solar Proton Event : SPE、など)が起きた場合、その痕跡が ^{14}C 濃度の急激な上昇として、年輪中に刻まれていることが期待できる。

申請者は研究開始時まで樹木年輪を用いて上に挙げたような高エネルギーイベントを探索してきた。その結果、AD774 775年とAD993 994年の ^{14}C 濃度急増を発見した(Miyake et al. 2012, 2013)。これは明らかな ^{14}C 増加をとらえた初めての例である。この発見の後、AD775年のイベントは世界各地の樹木を用いた測定からその存在が確認され(Jull et al. 2014)、全球的な変化の記録であることが明らかとなった。

上記2つの年代に、短期間の宇宙線インプットがあったことが判明したが、その原因の特定には至っていなかった。また、 ^{14}C イベントの発見により、他にもこのようなイベントが過去に多く隠されている可能性が示されたが、その頻度の解明には至っていなかった。

<引用文献>

- [1] Miyake et al. 2012, Nature, 486, 240-242.
- [2] Miyake et al. 2013, Nat. Commun., 4:1748.
- [3] Jull et al., 2014, Geophys. Res. Lett., 41, doi:10.1002/2014GL059874.

2. 研究の目的

(1) 日本産樹木を用いて見つかった2つの宇宙線増加イベント(AD774 775年、AD993 994年)の原因を特定する。

(2) 2つの宇宙線イベント以外のさらなるイベントを探索する。

3. 研究の方法

(1) ^{14}C イベントの原因を特定する手段として、アイスコア中に含まれる ^{10}Be などの別の種類の宇宙線生成核種の測定を行い、核種間の生成比を調べることが有効である。南極ドームふじアイスコアの1つは、先行研究によりその年代が決定されているため(Horiuchi et al. 2008)、 ^{14}C イベント周辺の年代におけるアイスコア中の ^{10}Be 濃度の測定を1年分解能で行い、原因特定を目指す。アイスコアの切り分け作業は国立極地研で、また前処理は弘前大学で行った。また、 ^{10}Be 濃度の測定は東京大学 MALT の加速器質量分析計(AMS)を用いた。

(2) ^{14}C イベントは1年分解能の測定によって初めて検出可能となるが、過去へ遡ると1年分解能で測定されていない年代が多い。 ^{14}C イベントの発生頻度や、どのような太陽活動を示す時期に ^{14}C イベントが起きるか具体的に調べるためには、1年値が得られていない年代の ^{14}C 濃度測定が必要である。研究開始時まで約1600年間(主に紀元後)の単年分解能のデータが取得されていたため、それ以外の年代において、775年イベントに匹敵する宇宙線イベントを探索した。具体的には、宇宙線イベントが存在する可能性のある紀元前の5つの年代である。サンプルは北米産樹木を用いた。また、前処理はアリゾナ大学で、AMSを用いた ^{14}C 濃度測定はアリゾナ大学、スイス工科大学チューリッヒ校、名古屋大学で実施した。

<引用文献>

- [1] Horiuchi, K., et al., 2008, Quaternary Geochronology, 3, 253.

4. 研究成果

(1) 南極ドームふじアイスコアを用いて、AD775年付近の単年 ^{10}Be 濃度を測定した。その結果、AD775年付近にバックグラウンド変動に対して有意な ^{10}Be 濃度上昇を検出した(図1、Miyake et al. 2015: 主な発表論文)。この発見は、 ^{14}C 以外の核種を用いて初めて単年宇宙線イベントをとらえ、宇宙線イベントの存在を裏付けたものである。

この発表の後、Sigl et al. 2016 と Mekhaldi et al. 2016 から南極・グリーンランド双方の異なるアイスコアを用いた ^{10}Be データが発表され、いずれにおいても同程度の ^{10}Be 濃度増加が報告された。両半球に ^{10}Be ピークが認められたことから、 ^{14}C イベントの原因は大規模な太陽面爆発に起因するSPEであることが決定的となった。

また、宇宙線イベントを反映した ^{10}Be ピークは、アイスコアに1年での年代束縛点を与えたという意味でも重要である。

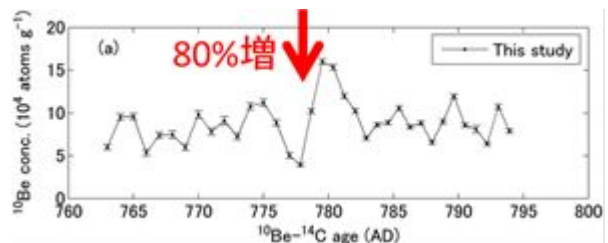


図1: 775年付近の ^{10}Be 濃度測定結果(5: 雑誌論文より引用)

(2) 日本産の年代が決定されたサンプルは過去5000年程度しか存在しないため、それ以前の測定を行うために、海外の樹木を用いる必要がある。古木試料を多く有するアリゾナ大学に約1年間滞在し、共同研究を実施した。

先行研究の IntCal (^{14}C 較正曲線: Reimer et

al. 2013) では、樹木サンプルを用いた過去1万年超の10年分解能の¹⁴Cデータが得られている。仮に、1年での変動が大きいイベントがあった場合、IntCalの10年値にも急な変化として現れている可能性がある。過去12,000年間のIntCalデータのうち、15か所の年代(そのうち1つは775イベント)の増加率が大きく(0.3%/年)本研究ではそのうち5つの年代についてアリゾナ大学年輪研究所に所蔵されていた北米産樹木を用いて¹⁴C濃度測定を行った。

測定した5つのうち4つの期間(BC2479-BC2455年, BC4055-BC4031年, BC4465-BC4441年, BC4689-BC4681年)については、急激な変化を示さないことが判明し、当初予想していたよりも775年イベントに匹敵するような規模の大きな¹⁴C増加イベントの頻度は小さいことが明らかとなった。つまり、775年イベントが過去12,000年間で最大級かつ特殊なイベントである可能性が示された(Miyake et al. 2016: 主な発表論文)。

一方、5つの期間のうち残る1つの期間(BC5490-BC5411年)は、775年イベントのような単年での増加を示す変動ではなかったが、BC5481-BC5471にかけて、10年間で約20%という非常に大きな増加であることが判明した(以下、BC5480イベントと呼ぶ)。BC5480イベントの全¹⁴C増加量は、775年イベントの増加量よりも大きい(図2)。また、このイベントの¹⁴C増加率は他の単年¹⁴Cデータと比べると明らかに大きい。例えばGrand Solar Minimumのような太陽活動低調期には、太陽磁場が弱まることによって地球への銀河宇宙線量が増加し、¹⁴C濃度の大幅な増加が見られるが、これまでにGrand Solar Minimumと認識されているいずれの年代と比べてもBC5480イベントの¹⁴C増加率が圧倒的に大きい(図3)。

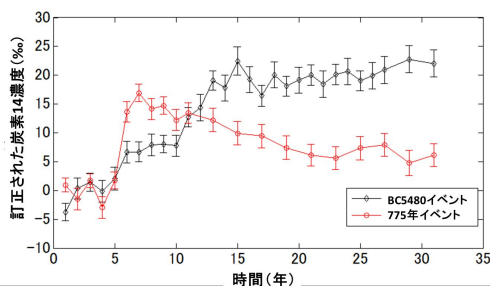


図2: BC5480 イベントと775年イベントとの比較 (5: 雑誌論文 より引用)

BC5480イベントの原因として、太陽磁場がほぼゼロになるような極端なGrand Solar Minimumや、複数の大規模SPEが数年にわたって多発するような現象が考えられるが、これらの原因候補はこれまでに知られていないものである。近年、複数のスーパーフレア(非常にエネルギーの高い恒星フレア)が数年にわたって発生している太陽型の恒星が観測されているため(Shibayama et al. 2013)。

我々の太陽においてもこのような現象が約7,000年前に起きていた可能性は考えられる。いずれの原因であっても太陽活動の異変が示唆される。今後、¹⁴Cデータの高精度化や¹⁰Beなど他核種との比較によって、BC5480イベントの原因の特定が期待される(Miyake et al. 2017: 主な発表論文)。

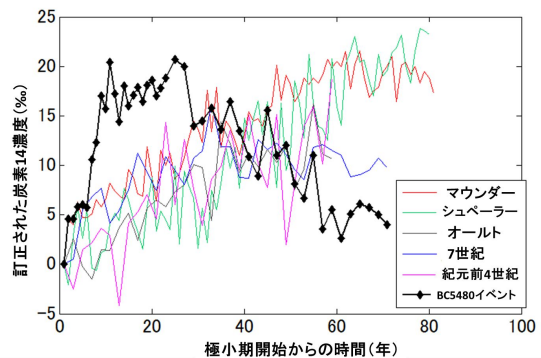


図3: BC5480 イベントと5つのGrand Solar Minimum(マウンダー極小期、シュベラー極小期、オルト極小期、AD7世紀の極小期、BC4世紀の極小期)との比較(5: 雑誌論文 より引用)

< 引用文献 >

- [1] Sigl et al., Nature, 523, 543-549, 2015.
- [2] Mekhaldi et al., Nat. Commun. 6:8611, doi: 10.1038/ncomms9611, 2015.
- [3] Reimer et al., Radiocarbon, 55, 1869-1887, 2013.
- [4] Shibayama et al., Astrophys J Suppl S, 209:5, 2013.

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計6件)

F. Miyake, A.J.T. Jull, I.P. Panyushkina, L. Wacker, M. Salzer, C.H. Baisan, T. Lange, R. Cruz, K. Masuda, T. Nakamura, Large ¹⁴C excursion in 5480 BC indicates an abnormal sun in the mid-Holocene, PNAS, 査読有, 114, 2017, 881-884.
DOI:10.1073/pnas.1613144114

F. Miyake, K. Masuda, T. Nakamura, K. Kimura, M. Hakozaiki, A.J.T. Jull, T.E. Lange, R. Cruz, I.P. Panyushkina, C. Baisan, M.W. Salzer, Search for annual ¹⁴C excursion in the past, Radiocarbon, 査読有, 2016, 印刷中.
DOI:10.1017/RDC.2016.54

F. Miyake, A. Suzuki, K. Masuda, K. Horiuchi, H. Motoyama, H. Matsuzaki, Y. Motizuki, K. Takahashi, Y. Nakai, Cosmic ray event of A.D. 774-775 shown in

quasi-annual ^{10}Be data from the Antarctic Dome Fuji ice core, Geophysical Research Letters, 査読有, 42, 2015, 84-89.
DOI: 10.1002/2014GL062218

〔学会発表〕(計 13 件)

三宅 芙沙, 樹木年輪と単年宇宙線イベント、樹木年輪・AMS 合同シンポジウム、2016 年 12 月、国立歴史民俗博物館

Fusa Miyake, Large ^{14}C excursion in the 55th century BC, Goldschmidt conference, 2016 年 6 月、パシフィコ横浜

Fusa Miyake, Annual cosmic ray events shown in ^{14}C data of tree-rings, VarSITI, 2016 年 6 月, Varna (Bulgaria)

三宅 芙沙, ドームふじアイスコアの ^{10}Be 分析による単年宇宙線イベントの調査、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月、幕張メッセ

三宅 芙沙, BC55 世紀の年輪中 ^{14}C 濃度増加の痕跡、日本物理学会、2016 年 3 月、東北学院大学

三宅 芙沙, 宇宙線生成核種を用いた過去の宇宙線短時間変動の研究、理論懇シンポジウム、2015 年 12 月 25 日、大阪大学

Fusa Miyake, Search for annual carbon-14 excursions in the past, Radiocarbon conference, 2015 年 11 月, Dakar (Senegal)

三宅 芙沙, 北米樹木サンプルを利用した亜過去 5000 年間の宇宙線イベント探索、日本物理学会、2015 年 9 月、大阪市立大学

Fusa Miyake, The AD 775 cosmic ray event shown in Beryllium-10 data from Antarctic Dome Fuji ice core, 34th international cosmic ray conference, 2015 年 8 月, Hague (Netherlands)

Fusa Miyake, A searching of past large Solar Proton Event by measuring carbon-14 content in tree-rings, AGU Fall meeting, 2014 年 12 月, San Francisco (USA)

三宅 芙沙, 南極アイスコア中 ^{10}Be 濃度を用いた西暦 774-775 年宇宙線イベントの調査、日本物理学会、2014 年 9 月、佐賀大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

報道関連情報
太陽の脅威 巨大フレア、コスミックフロント NEXT、NHK BS、2016 年 1 月

アウトリーチ活動

過去の太陽と樹木年輪、小・中学生向け夏休み体験学習「樹木年輪・年縞堆積物から過去の太陽活動、地球の古気候を探る」、名古屋大学、2016 年 8 月

過去の太陽嵐を探る、名古屋大学宇宙地球環境研究所公開講演会「嵐を測る」、名古屋大学、2016 年 7 月

宇宙線の歴史を屋久杉で探る、駿台天文講座、駿台学園中学高等学校、2015 年 9 月

樹木年輪から探る過去の宇宙線変動、サロン・ド・Arimoto、うなぎ有本(名古屋)、2014 年 10 月

屋久杉に刻まれた謎の放射線バースト、公開セミナー、名古屋市科学館、2014 年 8 月

屋久杉を用いた過去の宇宙線観測、サイエンスセミナー、愛知県図書館、2014 年 8 月

屋久杉が語る過去の宇宙線急増イベント、理科講演会、南山高等・中学校女子部、2014 年 7 月

屋久杉が語る過去の太陽活動、名大祭太陽研講演会、名古屋大学、2014 年 6 月

屋久杉に記録された奈良・平安時代の放射線バースト、岡崎ロータリークラブ創立 63 周年記念例会、岡崎出雲殿、2014 年 6 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 芙沙 (MIYAKE, Fusa)

名古屋大学・高等研究院(宇宙)・特任助教

研究者番号: 90738569