

※ 本内容の取り扱いには下記の解禁時間以降でお願い申し上げます。

新聞：日本時間 1月21日(火) 朝刊

テレビ・ラジオ・インターネット：日本時間 1月20日(月) 19時

令和2年(2020年)1月20日

山形大学

名古屋大学

弘前大学

## 紀元前660年頃の宇宙線増加の詳細を解明 ～複数の超巨大太陽面爆発の連続発生を示唆～

### 【本件のポイント】

- 鳥海神代杉年輪の炭素14を超高精度分析することにより、紀元前660年頃の宇宙線<sup>(※1)</sup>増加イベントの詳細を解明した。
- 得られた炭素14データの炭素循環モデリングから、数年にわたり複数の超巨大太陽面爆発<sup>(※2)</sup>が発生していた可能性を示した。
- 現代社会の大きな脅威となり得る超巨大太陽面爆発が、立て続けに起き得ることを世界で初めて示した。

### 【概要】

山形大学の櫻井 敬久 名誉教授、名古屋大学宇宙地球環境研究所の三宅 美沙 准教授、弘前大学大学院理工学研究科の堀内 一穂 助教らの研究グループは、紀元前 660 年頃の鳥海神代杉年輪の炭素 14 を山形大学高感度加速器質量分析センター（センター長 門叶 冬樹 教授）と共同で超高精度な測定を行い、解析することにより、紀元前 660 年頃の宇宙線増加イベントの詳細を明らかにしました。また、このイベントは複数の超巨大太陽面爆発によって引き起こされた可能性を示しました。この研究成果は、令和2年1月20日（日本時間19時）に、Nature Publishing Group が出版する国際学術誌「Scientific Reports」に掲載されます。

### 【背景】

炭素 14 やベリリウム 10 などの宇宙線生成核種は、宇宙から降り注ぐ宇宙線が大気元素の窒素や酸素などと衝突することで作られます。これらの宇宙線生成核種は、樹木の年輪（炭素 14）や極域の氷床コア（ベリリウム 10）に取り込まれて蓄積するため、古木年輪や氷床コアサンプル中の宇宙線生成核種を測定することで過去の到来宇宙線量を推定できます。一般的に、宇宙線は太陽系の外に起源を持つ「銀河宇宙線」のことを指しますが、巨大な太陽面爆発に起源を持つ高エネルギー粒子（Solar Energetic Particle）も含まれるため、年輪などに蓄積された宇宙線生成核種には過去の巨大な太陽面爆発の痕跡が残されていると考えられています。これまでに、宇宙線生成核種の分析から、西暦 774/775 年、西暦 993/994 年（992/993 年）に地球へ降り注ぐ宇宙線量の急増（宇宙線増加イベント）があったことが示されており、その原因は、現代の観測史上最大級の太陽面爆発<sup>(※3)</sup> イベントの数十倍という超巨大規模の太陽面爆発イベントによるとされています。西暦 775 年と西暦 994 年のイベントは複数の樹木年輪サンプルや氷床コアの分析からその詳細が調査され、単一（1年以下の）の超巨大太陽面爆発によって引き起こされたと考えられています。最近、ドイツ産の樹木（オーク）サンプルに、これまでの2つのイベントと同様に超巨大規模であるが挙動が異なる炭素 14 増加イベントが紀元前 660 年頃にあることが報告されました。しかし、このイベントの宇宙線増加についての詳細は示されていませんでした。

### 【研究手法・研究成果】

紀元前 660 年頃のイベントについて、炭素 14 増加の詳細な時間変化の様子を調べるために、山形県と秋田県の県境にある鳥海山から出土した鳥海神代杉年輪（図 1）を 1 年輪毎に更に細かく早材・晩材<sup>(※4)</sup>に剥離して炭素 14 濃度を測定分析しました（紀元前 669 年から 633 年の期間）。炭素 14 の超高精度分析は、山形大学高感度加速器質量分析センターの加速器質量分析計を用いて行いました。その結果、先行研究のドイツ産樹木（1 年輪毎の剥離）にみられた炭素 14 濃度増加よりも短い期間で増加していました。鳥海神代杉の増加時間は、3 年かか

っており西暦 775 年イベントの炭素 14 濃度増加に比べて長く、段階的増加を示していることが分かりました（図 2）。炭素循環ボックスモデル<sup>(※5)</sup>を用いた解析・評価から、紀元前 660 年頃に発生したイベントは、最長で 41 カ月間まで継続した可能性が示唆されました。このような、長期間の継続期間を説明するためには、巨大な太陽面爆発が複数回発生する必要があります。また、太陽面爆発による地球への宇宙線の降り注ぎが一定で継続したものより 2 回に分けた方が、得られた炭素 14 データの段階的な増加をよく説明できます（図 2、図 3）。したがって、紀元前 660 年頃のイベントは、上述した西暦 775 年と西暦 994 年のイベントよりも継続期間が長く、複数回の超巨大太陽面爆発が原因である可能性が判明しました。

### 【今後の展望】

宇宙線生成核種の測定分析から見つけている西暦 775 年、西暦 994 年、紀元前 660 年頃の 3 つの太陽面爆発が仮に現在発生すると、人工衛星の故障や通信障害など、現代社会へ甚大な被害が及ぶと考えられています。今回の研究は、そのような太陽面爆発が数年にわたって立て続けに発生した可能性を示すものです。今後、南極氷床コアのベリリウム 10 分析などから、紀元前 660 年頃のイベントについて、さらに詳しい情報がもたらされることが期待されます。



図 1：分析に用いたものと同じ個体の鳥海神代杉（山形大学附属博物館所蔵）。紀元前 466 年に噴火した鳥海山の山体崩壊により埋没した個体を入手した。1 年輪の幅は典型的に 3-5mm と比較的厚く、早材・晩材の剥離が可能となった。

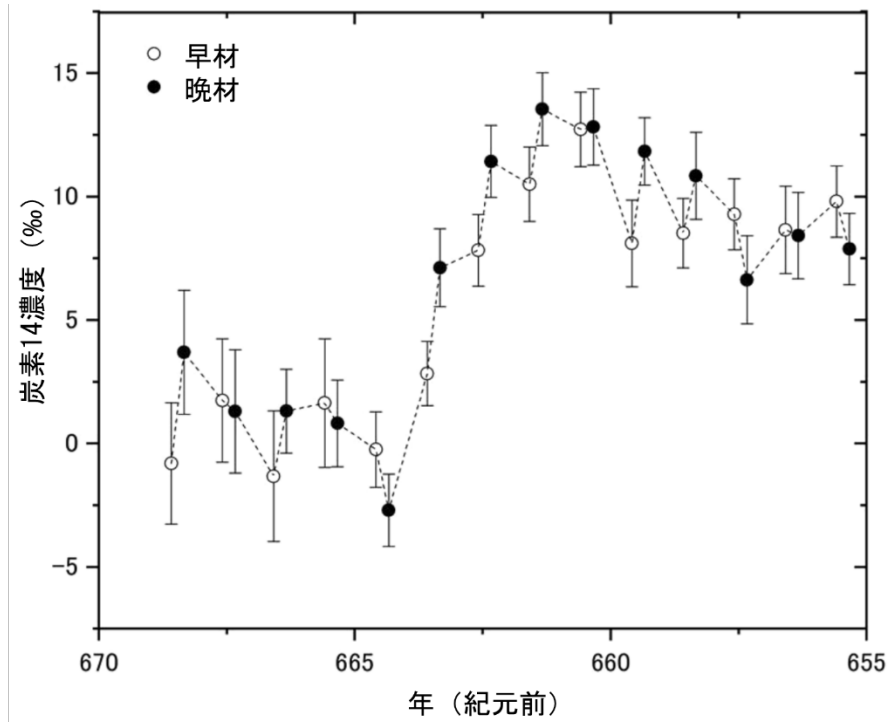


図2：紀元前 669 年から紀元前 656 年の、鳥海神代杉の炭素 14 濃度測定結果（白丸は早材、黒丸は晩材を示す）。炭素 14 濃度は、紀元前 665 年の晩材から紀元前 664 年の晩材にかけて大きく増加し、その後紀元前 662 年の晩材にかけて徐々に増加している。

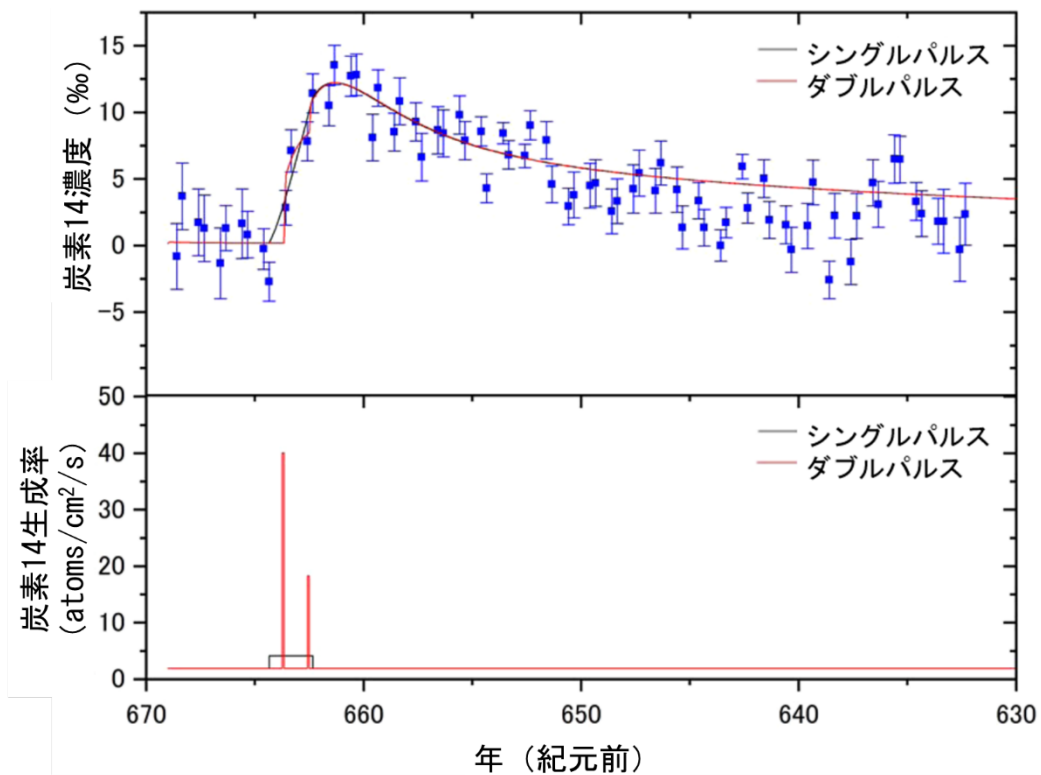


図3：（上）炭素 14 濃度の測定結果（四角）と、モデルデータ（線：炭素循環モデルへの炭素 14 の入力を 1 回（シングルパルス）と 2 回（ダブルパルス）とした際に測定結果を最もよく説明する炭素 14 濃度変化）。（下）炭素循環モデルに入力した炭素 14 の生成率。

### ※用語解説・注記

1. 宇宙線：宇宙からの高エネルギー粒子（放射線）
2. 太陽面爆発：太陽フレアやコロナ質量放出といった太陽面で生じる爆発現象。この現象により、高いエネルギーに加速された陽子が大量に地球に降り注ぐこと（Solar Proton Event: SPE）で、宇宙線生成核種が生成される。
3. 太陽面爆発に伴って、地球に多くの高エネルギー粒子が降り注いだ大規模なイベントは1956年、1972年、1989年、2005年などに生じた。これらのイベントに関連して電力障害や人工衛星のトラブル等が引き起こされた。
4. 早材・晩材：1年輪のうち、明るい色の材は春～夏に形成され（早材）、暗い色の材は夏～秋に形成される（晩材）。
5. 炭素循環ボックスモデル：地球を大気圏、海洋圏、生物圏などの複数のボックスに分け、それぞれのボックス間の炭素の移動を記述したモデル。

### 【論文情報】

雑誌名：Scientific Reports, (2020)

論文タイトル：Prolonged production of  $^{14}\text{C}$  during the ~660 BCE solar proton event from Japanese tree rings

著者名：櫻井敬久 1, 門叶冬樹 1, 三宅美沙 2, 堀内一穂 3, 増田公明 2, 宮原ひろ子 4, 大山幹成 5, 坂本稔 6, 光谷拓実 7, 森谷透 1

所属：1. 山形大学理学部 2. 名古屋大学宇宙地球環境研究所 3. 弘前大学大学院理工学研究科 4. 武蔵野美術大学 教養文化・学芸員課程研究室 5. 東北大学植物園 6. 国立歴史民俗博物館 7. 奈良文化財研究所

DOI：10.1038/s41598-019-57273-2

公表：2020年1月20日（日本時間19時）オンライン公開

### 【特記事項】

この研究はJSPS科研費JP10640245、JP16H06005の支援のもと行われたものです。

### お問い合わせ先

(研究内容について)

国立大学法人山形大学 名誉教授 櫻井敬久

TEL 023-628-4663 又は 023-628-4767 メール sakurai@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

国立大学法人名古屋大学 准教授 三宅美沙

TEL 052-789-4323 メール fmiyake@isee.nagoya-u.ac.jp

国立大学法人弘前大学 大学院理工学研究科 助教 堀内 一穂

TEL 0172-39-3547 メール kh@hirosaki-u.ac.jp

(広報担当)

国立大学法人山形大学総務部広報室

TEL 023-628-4008 メール koho@jm.kj.yamagata-u.ac.jp

国立大学法人名古屋大学総務部総務課広報室

TEL 052-789-2699 メール nu\_research@adm.nagoya-u.ac.jp

国立大学法人弘前大学理工学研究科総務グループ総務担当

TEL 0172-39-3510 メール r\_koho@hirosaki-u.ac.jp