

平成 24 年 5 月 25 日

8世紀における宇宙環境の大変動を発見 —屋久杉年輪に大きな宇宙線変動の痕跡—

この度、名古屋大学太陽地球環境研究所の増田公明准教授、同年代測定総合研究センターの中村俊夫教授を中心とするグループは、屋久杉年輪を用いた同位体測定から、8世紀に大気中放射性炭素(炭素 14)濃度の急激な増加があったことを発見しました。この増加は、通常の太陽活動による変動より20倍も大きく、地球近傍の宇宙線環境が大きく変動したことを示しています。このような大きな宇宙線変動により、当時の地球環境が大きく変動した可能性もあり、その解析を進めています。現在、太陽活動が非常に不活発になっており、それに基づく宇宙環境の変動が地球環境へ及ぼす影響が議論されています。今回のように過去の大きな宇宙環境の変動を詳細に調べ、地球環境との関連を解析していくことは、これからの地球環境変動を予測するために非常に重要です。この研究成果は、平成24年6月3日18時(英国時間)に英国科学雑誌 Nature 電子版に掲載されます。

8世紀における宇宙環境の大変動を発見

(平成24年5月25日付)

【ポイント】

- ・ 西暦775年に、大気中放射性炭素（炭素14）濃度が急激に増加したことを発見した。
- ・ この炭素14の増加は、通常の太陽活動による変動より20倍大きく、過去3,000年間で最大の急激な宇宙線の増加によるものと考えられる。
- ・ その原因として、地球外の高エネルギー現象、例えば近傍の超新星爆発による γ 線の大量放出や太陽表面の大爆発（スーパーフレア）による高エネルギー陽子の放出が考えられるが、超新星爆発は測定された炭素14の増加量を説明するにはエネルギーが足りず、スーパーフレアは太陽では起きないと信じられている。従って原因は特定されず、今後の研究が必要である。
- ・ 今回のように過去の大きな宇宙環境の変動を詳細に調べ、地球環境との関連を解析することは、これからの地球環境変動を予測する上で非常に重要である。

【背景】

自然界の放射性炭素（炭素14）は、地球外から飛来する銀河宇宙線が地球大気と反応して中性子を生成することによって作られます。大気中の炭素は光合成によって樹木に取り込まれるため、古い樹木の年輪にはその年代の炭素が固定されています。炭素14は半減期5,730年の放射性同位体であり、年輪に取り込まれるまでに炭素循環によって地球上の大気中に一樣に混合します。年代が既知の年輪中の炭素14濃度を測定することによって、その年代の宇宙線量を知ることができると同時に、炭素14年代測定の基準とすることができます。これまでに過去12,000年の10年ごとの炭素14濃度が測られており、世界共通の年代測定の較正曲線（IntCal）として用いられています。

IntCalデータによれば、炭素14濃度が100年のスケールで増加している時期が何度もあります。これは宇宙線量が大きかったことを意味しています。そのおもな理由は、太陽活動が弱くなって宇宙線が地球に到達しやすくなったためで、17世紀後半のマウンダー極小期がその代表です。また1年ごとの高精度の炭素14データからは、太陽活動の11年周期変動による宇宙線量の変化を見ることもできます。このように炭素14濃度から過去の宇宙線量やこれを制御している太陽活動を知ることができます。

【本研究の内容】

IntCalデータから、過去3,000年の間に炭素14濃度が大きな増加率（3%/10年以上：%は千分率）を示した時期が3回あったことがわかります（紀元前600年、西暦780年、西暦1800年頃）。そのうちの2回では既に1年ごとの炭素14濃度が測定されており、その増加期間は1年より長い時間スケールでした。我々は残る1回の増加（西暦780年）について詳しく調べました。樹齢1,900年の屋久杉の単年輪からグラフィイトとして抽出された炭素試料中の炭素14濃度を、名古屋大学年代測定総合研究センターの加速器質量分析計を用いて測定しました。その結果、西暦774年から775年の1年間で12%の炭素14濃度の増加を発見しました。10年平均したデータは、IntCalの10年値とよく一致します。また南極のアイスコアから得られた、同じ宇宙線生成核種であるベリリウム10の30年値でも同じような増加が見られることから、この現象が、地球外から来た宇宙線によって全地球で起こっていたことがわかります。今回の炭素14濃度の増加のしかたとその後の減衰のしかたを調べた結果、これが短時間の宇宙線の増加とその後の大気中の炭素循環から予測される変化の様子とよく一致しました。すなわち774年から775年にかけての1年の間に何らかの理由で宇宙線が増加して大気中に炭素14を生成し、その後炭素循環によって減衰していったと考えられます。この変化は、1960年頃の大気圏内核爆発実験の時の大気中炭素14濃度の変化と同様

の形をしています。

この炭素 14 濃度の変化は、通常の太陽活動の 11 年変動による銀河宇宙線の変化によるものに比べて 20 倍大きい変化率を示しています。このような変化を与えることができる事象は、近傍の超新星爆発と太陽高エネルギー陽子です。超新星爆発の場合は、星間空間磁場の影響を受けない高エネルギーのガンマ線が飛来し、地球大気と反応して中性子を作り、炭素 14 ができます。しかし測定された炭素 14 の増加量を説明するには、典型的な超新星残骸 SN1006 と同じ地球からの距離 (2kpc) を仮定すると、放出されたガンマ線のエネルギーが 10^{51} erg になり、その 100 倍を超新星が放出する全エネルギーであると仮定すると 10^{53} erg となり、通常の超新星としては大きすぎます。ただ、地球からの距離が SN1006 の 1/10 ならば超新星のエネルギーは 1/100 になり、通常の超新星でも矛盾しません。一方、太陽高エネルギー陽子の場合は、測定された炭素 14 の増加量を説明するには、 10^{35} erg 程度のフレアが起こる必要があります、これまでの観測で得られた通常のフレアのエネルギー 10^{29} – 10^{32} erg と比べてかなり大きなフレアでなければなりません、そのようなスーパーフレアは太陽では起きないと信じられています。いずれにしても、我々の知る限り、775 年に対応する天体事象は歴史記録には見つかっていません。またこのような宇宙環境の変化に伴って地球環境への影響がどの程度起こりうるかを調べる必要があります。

【成果の意義】

今回発見した宇宙線量の急激な変動は、非常に短時間(1 年以下)で起こりました。このような早い変化を捉えるためには1-2 年という時間分解能の測定が必要でした。今後もこのような高時間分解能の測定を推進することが重要です。また今回のような大きな宇宙線変動により、当時の地球環境が大きく変動した可能性もあり、その解析を進めています。現在、太陽活動が非常に不活発になっており、それに基づく宇宙環境の変動が地球環境へ及ぼす影響について議論されています。このように過去の大きな宇宙環境の変動を詳細に調べ、地球環境との関連を解析していくことは、これからの地球環境変動を予測するために非常に重要です。

原論文

“A signature of cosmic-ray increase in AD 774-775 from tree rings in Japan”

F. Miyake, K. Nagaya, K. Masuda and T. Nakamura, Nature 3-June, 2012