

# 火山灰土の ESR 分析による 後期更新世～完新世の急激な気候変動の検出の試み

高田将志・鶴田彩音\*・原之園大一\*\*・豊田新\*\*\*

奈良女子大学大学院文学研究科  
\*岡山理科大学理学部応用物理学科  
\*\*岡山理科大学大学院理学研究科応用物理学専攻  
\*\*\*岡山理科大学古生物学・年代学研究センター

## 1. はじめに

最終氷期(MIS2)から完新世(MIS1)への温暖化の過程においては、ミランコビッチサイクルでは説明できない、ヤンガードリアスやダンスガード・オシュガーサイクルのような急激な寒冷化が起きたことがわかっている。これらは、グリーンランド東部の北大西洋にある海洋循環の変動が要因とされ、ヨーロッパにおいて多くの関連する地質学的証拠が確認されてきた。一方、これらの変動が東アジアにどのような影響をもたらしたのかについて知ることは、全球的な気候変動を理解する上で重要である。水月湖で採取された年縞堆積物に、ヤンガードリアス期に対応する比較的大きな気候変動が見いだされた例<sup>1)</sup>もあるが、東アジアの気候変動とどのようにリンクしているのかについて解析するためには、具体的なフィールドデータの更なる蓄積が必要である。

日本列島に分布する風成堆積物から微細石英粒子を抽出し、その ESR 信号強度から求められる酸素空孔量が、氷期・間氷期の気候変動と関連して異なることを明らかにされた<sup>2)</sup>。これは、風送塵の起源と考えられるタクラマカン砂漠と中国東北部で、石英の酸素空孔量が前者に比べて後者の方が大きく、完新世にはタクラマカン砂漠、最終間氷期には中国東北部が優勢になることに対応すると議論されている。さらにこれは、石英中の酸素空孔量が 1000 万年以上のタイムスケールで、年代と相関があるという観測結果<sup>3)</sup>に基づいている。また、同様の方法に石英の結晶化度を加えて、日本海で採取された連続コアの海底堆積物に含まれる微細石英粒子を分析したところ、第四紀後期の気候変動と明瞭な相関があり、温暖期にタクラマカン砂漠起源の石英が、寒冷期に中国東北部起源の石英が増加すると報告された<sup>4)</sup>。

海域と比べ陸域では、より堆積速度の大きい風成堆積物を採取できる可能性があり、そのような堆積物を分析できれば、時間分解能に優れ、より時間スケールの短い気候変動のイベントを検出できる可能性がある。そこで本研究では、陸域に堆積した火山灰土に着目して、ESR 信号を分析することで、日本列島の中期更新世末～完新世における気候変動を石英の酸素空孔量の変動として抽出することが可能か、予察的な検討を行った。

## 2. 試料と実験方法

本研究では、栃木県那須川郡那須川町芳井の火山灰土の露頭で連続的に採取した堆積物を使用した。表層から 10 cm ごとに採取された計 34 個の試料を用いた。

各試料を 60℃の乾燥機で一晩乾燥させ、212 μm 以下に篩い分けを行った。6 M の塩酸に一晩浸した後、よく水洗いを行った。ストークス法を用いて、20 μm 以下、20 μm から 50 μm の粒径に分けた。その後、ケイフッ化水素酸で 1 週間処理し、石英試料とした。

試料に、2.5 k Gy のガンマ線照射を行い、300°C で 15 分間で加熱してその後に ESR 信号を測定した。これは、照射によって石英中に十分な量の A1 中心を生成させ、そこにとらえられたホールを電子 2 個を伴う反磁性の酸素空孔に移動させることで E<sub>1</sub>' 中心を生成するためである。200 Gy 以上の照射を行うことで、この後に観測される E<sub>1</sub>' 中心の信号強度が酸素空孔量に対応することが示されている<sup>5)</sup>。

各々の試料について、岡山理科大学総合機器センターの日本電子製 ESR 測定装置 JES-PX2300 を用いて ESR スペクトルの測定を行った。マイクロ波出力を 0.01 mW、磁場変超幅を 0.1 mT、掃引時間を 30 秒、時定数を 0.03 秒として測定した。

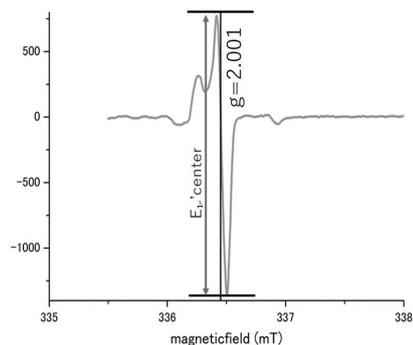


図 1 観測された E<sub>1</sub>' 中心の ESR スペクトル

### 3. 測定結果

測定した ESR スペクトルの例を図 1 に示す。ピークの高さを信号強度として取り、拡大率、質量で規格化し、標準試料との比較により、 $1.3 \times 10^{13}$  spin/g を単位として、試料中の酸素空孔量を求めた。

地表からの深さに対して、酸素空孔量をプロットすると図 2 のようになった。深さ 50 cm までの試料は、酸素空孔量は検出されなかったが、それ以降の層では高い酸素空孔量が検出された。

この露頭についてはテフラの年代、また地質学的考察により深さと年代の関係が得られている。推定されている年代間では堆積速度が一定であると仮定して、深さを年代へ変換した。年代に対して酸素空孔量をとると、図 3 のようになった。

### 4. 議論

図 3 からわかるように、10 ka までの完新世の試料では、酸素空孔量は検出されなかったのに対し、下位層の最終氷期に対応する層では、高い酸素空孔量が、検出された。これは、海洋底堆積物を用いた先行研究<sup>4)</sup>と整合的な結果となった。タクラマカン砂漠、あるいは中国東北部といった具体的な起源の議論は現時点ではできないものの、最終氷期に相当する層の中で高い酸素空孔量が検出されたことは、陸上の火山灰度といった堆積物を用いて風送塵の起源に関連した気候変動が議論できる可能性を示すことができたと考える。

最終氷期から温暖化が進み始める 20 ka 付近で酸素空孔量が一旦減少するが、15 ka 付

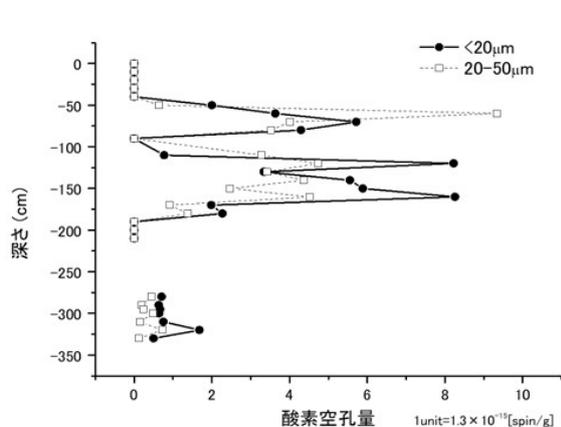


図 2 測定によって得られた、試料の採取の深さと酸素空孔量の関係。

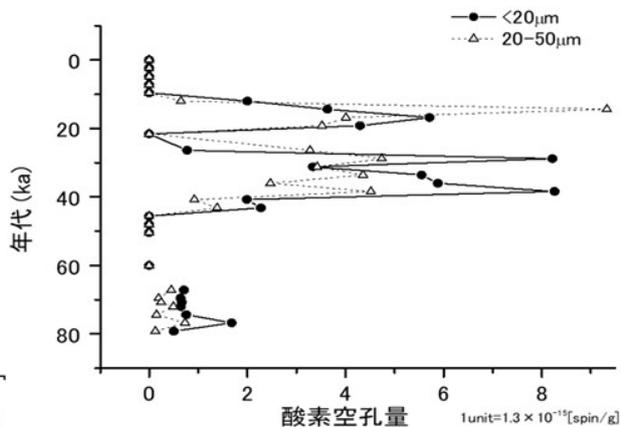


図 3 深さを年代に換算して、年代と酸素空孔量の関係を示す。

近で再び上昇してピークが現れ、さらに粒径の粗いものの方がむしろ値が大きくなっているのは興味深い。温暖化の過程で急激に寒冷化が起きた時期のヤンガードリアスに相当する可能性も考えられる。

こうした年代との相関などを確かにし、より詳細な気候変動を議論するためには、今後、さらに細かく試料を採集し、より細かなデータを得ることが必要であると考えられる。

## 5. まとめ

陸域の火山灰土の連続した試料について分析を行った。最終氷期の試料で高い酸素空孔量の値が検出され、海洋底堆積物を用いた先行研究と整合的な結果となった。このことから、陸上の連続した堆積物を用いて石英の酸素空孔量によって気候変動を議論できる可能性が示された。

## 引用文献

- 1) Shlolaut, G., Brauer, A., Nakagawa, T., Lamb, H. F., Tyler, J. J., Staff, R. A., Marshall, M. H., Ramsey, C. B., Bryant, C. L., Tarasov, P. E.: Evidence for a bi-partition of the Younger Dryas Stadial in East Asia associated with inversed climate characteristics compared to Europe, *Scientific Reports*, 7, 1-7 (2017).
- 2) Toyoda, S., Naruse, T.: Eolian dust from the Asian deserts to the Japanese Islands since the Last Glacial Maximum; the basis for the ESR method. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 23, 811-820 (2002).
- 3) Toyoda, S. and Hattori, W.: Formation and decay of the E<sub>1</sub>' center and of its precursor, *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 1351-1356 (2000).
- 4) Nagashima, K., Tada, R., Matsui, H., Irino, T., Tani, A., Toyoda, S.: Orbital- and Millennial-scale variations in Asia dust transport path to the Japan sea. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247, 144-161 (2007).
- 5) Toyoda, S., Ikeya, M.: Thermal stabilities of paramagnetic defect and impurity centers in quartz, basis for ESR dating of thermal history, *Geochemical Journal*, 25, 437-445 (1991).