

報道機関 各位

国立大学法人東北大学
公立大学法人福井県立大学

白亜紀中期の海洋生物の大量絶滅は 7回の巨大火山噴火とアジア大陸東部の湿潤化が原因

【発表のポイント】

- 白亜紀中期の9450万～9390万年前にかけての60万年間、地球は急激に温暖化するとともに、海洋の広い範囲で溶存酸素が低下して、海洋生物の大量絶滅が起こりました（海洋無酸素事変2^(注1)）。
- 本研究では、北海道北西部苫前町において、海洋無酸素事変2の期間に堆積した世界で最も厚い地層を発見し、海洋無酸素事変2は、7回の火山活動の活発化によって起こったことを明らかにしました。
- 火山活動の活発化と同期して、東アジアの降水量が大幅に増加したことが明らかになりました。

【概要】

海洋無酸素事変2は、恐竜などの絶滅を引き起こした隕石衝突事件を除くと、白亜紀最大の生物絶滅事件の一つとされています。

東北大学総合学術博物館の高嶋礼詩教授と英国ダラム大学のDavid Selby教授を中心とした研究グループ（福井県立大学、他）は、海洋無酸素事変2の期間に堆積した、世界で最も厚い地層を北海道苫前町で発見しました。

今回発見した地層（蝦夷層群）は、アジア大陸東沖の北西太平洋の半深海で堆積したと考えられます。この地層の岩石に対して各種分析（オスミウム同位体比^(注2)、炭素安定同位体比^(注3)、無機元素組成^(注4)、 microfossils、有機分子化石^(注5)分析）を行った結果、この時期には7回の巨大火山噴火があり（図2）、火山ガスを介して大量の二酸化炭素が大気中に放出され、地球温暖化と一部の地域での極端な湿潤化が起こったことが明らかになりました。さらに、特にアジア大陸東部の降水量が大幅に増加し、大量の栄養塩がアジア大陸から太平洋へと流出した結果、世界中の海洋の溶存酸素が著しく低下した可能性が高い（図3）ことが分かりました。降水量の増加は、東アジアの植生を裸子植物優勢の森林から被子植物優勢の森林へと一変させたことも分かりました（図3）。当時の地球温暖化は、陸上の植生と海洋環境に多大な影響を与え、その回復に60万の時間を要したことになります。

この研究成果は、2024年2月19日発行のオープンアクセス国際学術誌Communications Earth & Environmentにおいて発表されました。

【詳細な説明】

研究の背景

現在、人間活動による二酸化炭素の放出により、急激な温暖化が起こっています。今から、9450万～9390万年前にかけての60万年間、急激な温暖化による全地球規模の環境変動が起こったことが知られています。このイベントは「海洋無酸素事変2」と呼ばれ、温暖化した地球の未来像を予測するうえで重要視されています。

白亜紀中期の古地理図

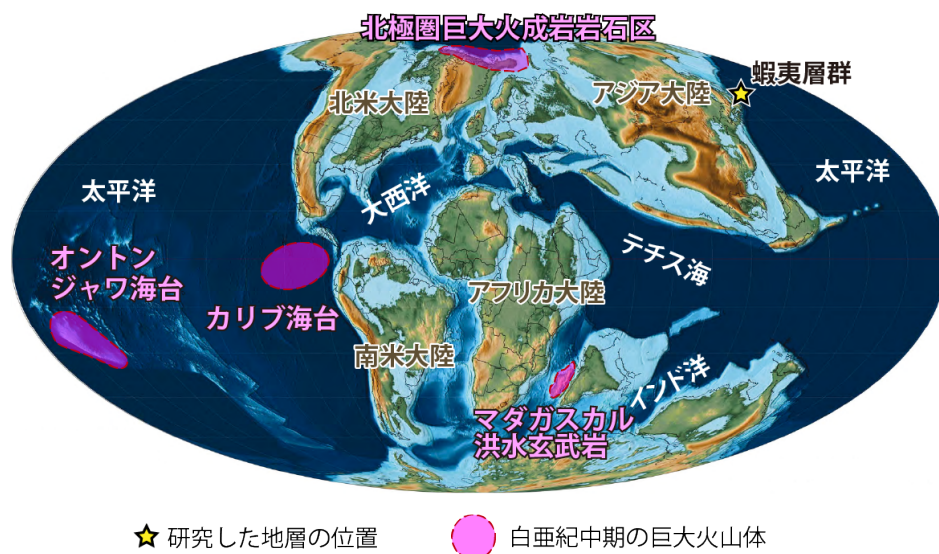


図1. 白亜紀の古地理図と検討した地層（蝦夷層群）、巨大火山体の位置

海洋無酸素事変2は、中央太平洋（カリブ海台、オントンジャバ海台）、北極圏巨大火成岩岩石区、あるいは、マダガスカル洪水玄武岩のいずれかの巨大火山の噴火によって発生したと考えられています（図1）。現時点ではどの火山の噴火によるものかは特定されていませんが、火山噴火によって放出された大量の二酸化炭素が温暖化を引き起こすとともに、世界中の海洋の広い範囲に無酸素水塊が広がり、海洋生物の大量絶滅が起こったと考えられています。この絶滅は、隕石衝突が起こった白亜紀末のものを除くと、白亜紀では最大規模の絶滅事件です。しかし、この海洋無酸素事変2を発生させた火山活動のタイミングや活動の持続期間、そして、火山活動と無酸素水塊の関連については不明な点が多くありました。

今回の取り組み

本研究では、北海道苫前町古丹別川支流の大曲沢川において、「海洋無酸素事変2」が発生した期間に堆積した地層を特定し、その地層の厚さが世界で最も厚いことを発見しました。北米やヨーロッパの海洋無酸素事変2の起こった時期の地層は、厚さ数m～数10mですが、大曲沢川の地層は590mに達する

ために、他地域の地層に比べてはるかに高い時間分解能で海洋無酸素事変 2 期間の環境変動の解析が可能です。また、この地層は、アジア大陸の東沖の北西太平洋の半深海底で堆積した泥が固結したものです。

この泥岩の中には、海洋のプランクトンや底生生物の化石に加えて、アジア

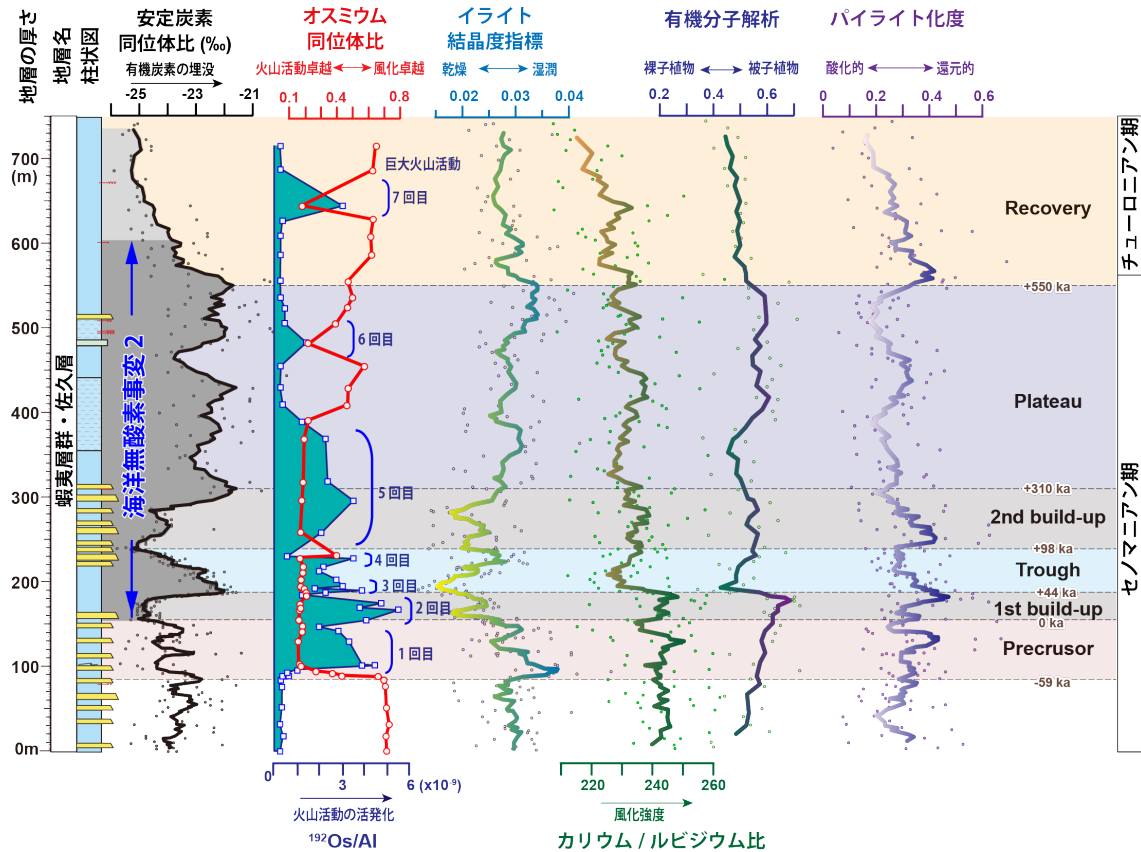


図 2. 蝦夷層群の各種分析の結果

大陸の地表から流されてきた植物の破片や粘土成分も多く含まれており、海洋と陸域双方の環境変動が記録されています。そのため、急激な温暖化に伴う海洋と陸域の環境変動を同時に検出することができます。

本研究では、苫前地域の海洋無酸素事変 2 期間に形成した地層を対象に、岩石の各種分析（オスミウム同位体比、炭素同位体比、イライトの結晶度^(注 6)、有機分子化石解析、無機元素組成の解析）を行いました。その結果、海洋無酸素事変 2 の発生期間中には、7 回もの火山活動のピークがあり、そのうち少なくとも 5 回の極大期（図 2 の $^{192}\text{Os}/\text{Al}$ で示される 1、2、4、5、6 回目の火山活動極大期）には、アジア大陸東部で降雨の増加と植生の変化（裸子植物卓越から被子植物卓越へ）が起りました（図 2、3）。降雨が増加した時期には、世界的に海洋の溶存酸素量が大幅に減少したことも明らかとなりました。これは海洋表層の富栄養化によって大量の植物プランクトンが繁殖し、その遺骸が海水中を沈降する過程でそれら（遺骸）の分解に多量の酸素が消費されたせいと

考えられます。この大量の植物プランクトンの繁殖は現在の赤潮と類似しますが、上述のイベントではその影響が地球規模に及んでいたものと考えられます。

白亜紀当時は、海水準が現在よりも大きく上昇したため、陸域は現在よりはるかに少なかったことが知られています。そのなかで、アジア大陸は当時地球上で最大の陸地であり（図 1）、アジア大陸における降雨の増加は、海洋への栄養塩の供給源として最も有力な候補であると推測できます。今回の研究結果は、アジア大陸東部の降雨の増加が、世界規模の海洋無酸素事変の引き金となった可能性を初めて実証した点で重要です。

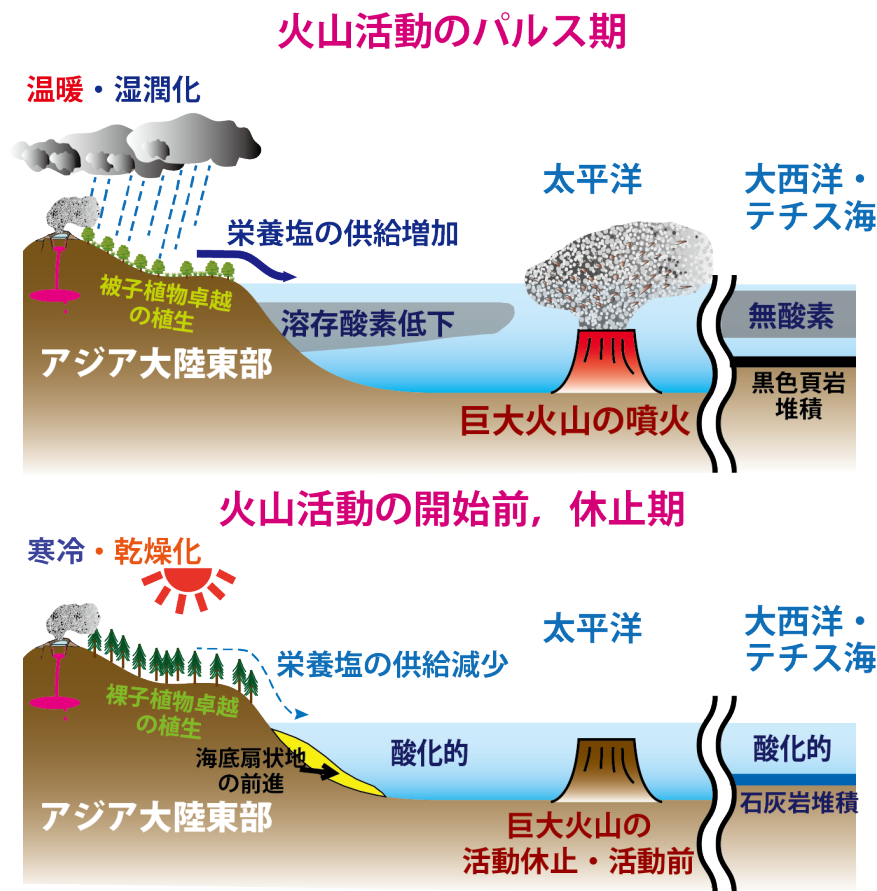


図 3. 海洋無酸素事変 2 における火山活動、気候、海洋環境、アジア大陸東部の植生変化との関係

今後の展開

【語句説明】

注1. 海洋無酸素事変 2：白亜紀（1 億 4500 万年前～6600 万年前）の中ごろには、海洋において酸素に乏しい水塊が広域に発達した現象が何度か発生したことが知られており、海洋無酸素事変（Oceanic Anoxic Events、略して OAEs）と呼ばれている。白亜紀には 8 回程度の海洋無酸素事変

(Faraoni OAE、OAE1a、Fallot OAE、OAE1b、OAE1c、OAE1d、OAE2、OAE3 など) が起こったが、無酸素水塊の発達範囲や海洋生物の絶滅率に関しては、「海洋無酸素事変 2」が最大規模とされている。海洋無酸素事変 2 の引き金となった大規模火山活動は、カリブ海海面下にあるカリブ海台（白亜紀当時は中央太平洋に位置していた）、マダガスカル洪水玄武岩、北極圏巨大火成岩岩石区などが挙げられているが、いずれの影響によるかは、いまだ明らかでない。大規模な火山活動によって急激な温暖化と湿潤化が生じ、大量の栄養塩が大陸から海洋にもたらされた結果、海洋の富栄養化と一次生産の増加に起因した無酸素水塊の拡大が生じたと考えられている。今回、当時最大の大陸であったアジア大陸の湿潤化に伴う降水量の増加がこの海洋無酸素事変 2 の発生に大きく寄与した可能性を指摘することができた。

- 注2. オスミウム同位体比：白亜紀には、日本列島の数倍の面積に達する巨大な玄武岩の火山が海底にいくつか形成された。これらの火山の噴火の際には、マントルに含まれる ^{188}Os も大量に海水中に放出され、全海洋の海水のオスミウム同位体比 ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$) が大きく減少した。こうした変動は地層の中に記録され、過去の火山活動の変化を復元することが可能である。
- 注3. 安定炭素同位体比：堆積物中の有機物や炭酸塩化石に含まれる炭素の 2 つの同位体 [炭素 12 (^{12}C) と炭素 13 (^{13}C)] の比を国際標準物質の炭素同位体比に対する千分率偏差で表したもの (δ 値と称し、ここでは $\delta^{13}\text{C}$ 値)。地層中の有機物や炭酸塩化石には当時の地球表層（大気や海洋中）の同位体比が記録されている。海洋無酸素事変で大量の有機炭素が堆積物中に埋没すると、地層に記録された炭素同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) は大きくなるため、海洋無酸素事変の指標となる。
- 注4. 無機元素含有量：泥岩に含まれる各種無機元素のうち、カリウムとルビジウムの比は、当時の大陸風化の強弱を反映し、風化が強まるほど、堆積物に含まれるルビジウムに対するカリウムの比率が高くなる。一方、泥岩中の黄鉄鉱化した鉄の量（パイライト化度）は、地層ができた当時の海洋底層の溶存酸素量の指標となる。海底の溶存酸素が減少するほど、海底では多くの硫化水素 (H_2S) が発生して堆積物中の鉄と結合して黄鉄鉱 (FeS_2) が生じるために、パイライト化度は高くなる。
- 注5. 有機分子化石：地層中に残された生物由来の有機分子の中で、芳香族トリテルペノイドとジテルペノイドは、それぞれ、被子植物と裸子植物に由来する。このため、これらの有機分子の比は、当時の植生における被子/裸子植物比を反映する。
- 注6. イライトの結晶度：イライトは粘土鉱物の一種で、大陸地殻を構成する岩石が風化することにより形成される。イライトが形成された地域の気

候（湿潤－乾燥）によって、その結晶度は変化する（乾燥するほど結晶度が高くなる）ため、当時の気候変動の指標となる。

【論文情報】

雑誌名：Communications Earth and Environment

論文タイトル：Large Igneous Province activity drives Oceanic Anoxic Event 2 environmental change across eastern Asia

著者：高嶋礼詩*（東北大）、David Selby（英・ダラム大）、山中寿朗（東京海洋大）、桑原義博（九州大）、中村英人（北海道大）、沢田健（北海道大）、池田雅志（北海道大）、安藤卓人（秋田大）、林圭一（道総研）、西田茉莉（東北大）、宇佐美俊明（東北大）、亀山大地（東北大）、西弘嗣（福井県立大）、黒柳あずみ（東北大）、Gyawali Bab Ram（ネパール・トリブバン大）

*責任著者：東北大学総合学術博物館 教授 高嶋礼詩

DOI 番号：10.1038/s43247-024-01214-z

URL：<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01214-z>

【関連リンク】

東北大学総合学術博物館：<http://www.museum.tohoku.ac.jp/>

【問い合わせ先】

<研究に関すること>

東北大学総合学術博物館

教授 高嶋 礼詩（たかしま れいし）

電話：022-795-6620

Email：reishi.takashima.a7@tohoku.ac.jp

福井県立大学恐竜学研究所

教授 西 弘嗣（にし ひろし）

電話：0776-61-6000（代表）（内線 6001）

Email：hnishi@fpu.ac.jp

<報道に関すること>

東北大学大学院理学研究科

広報・アウトリーチ支援室

電話：022-795-6708

Email：sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp

福井県立大学経営企画部 連携・研究課

電話：0776-61-6000（代表）（内線 1019）

Email：kenkyu@fpu.ac.jp