

## 湖底でガラスの層が急速にできるメカニズムを解明 ～太陽活動を反映した藻の繁殖量の変化が鍵～

名古屋大学大学院環境学研究科博士後期課程の 隈 隆成 さん、高知大学理工学部 の 長谷川 精 講師らの研究グループは、米国ユタ州に分布する5千万年前の湖の地層を調べ、これまでは謎だった湖底で硬いガラスの層（チャート層）ができるメカニズムの解明に成功しました。

チャート層<sup>注1</sup>は、通常、海洋堆積物の地層で多く見られ、日本各地にも広く分布しています。海洋堆積物中のチャート層は、放散虫と呼ばれるガラス質（SiO<sub>2</sub>）の殻を持った生物の遺骸が集積してできています。一方で、湖の地層にもチャート層が見つかることがあります。しかし、湖でできたチャート層には、ガラス質の殻を持った生物遺骸が含まれておらず、湖でチャート層ができるメカニズムが長年の謎でした。

同研究グループは、米国ユタ州に分布する5千万年前の湖の地層（グリーンリバー層<sup>注2</sup>）を調査し、この地層に見られるチャート層には、藻類が繁殖したことを示す有機物が多量に含まれていることを発見しました。そして、藻類の有機物が湖底で腐食した際に、湖水に溶け込んでいたガラス質（ケイ素）の成分が急速に沈殿し、チャートが形成されたことを明らかにしました。湖底でのチャート層の形成には湖水のpH（酸性・アルカリ性度）が関係することは以前から指摘されていましたが、本研究ではそれが藻類の繁殖と湖底での有機物分解によって生じたことを、世界で初めて実証しました。

さらに、チャート層は一定の周期性で形成されており、その頻度は太陽黒点周期と一致する約100年、200年、1000年毎に起こったこともわかりました。このことから、太陽活動の周期的変化が藻の繁殖量を変化させ、それがチャート層の形成を引き起こしたことを明らかにしました。この成果は、令和元年11月11日付（日本時間19時）英国科学雑誌「*Scientific Reports* 誌」オンライン版に掲載されました。

## 【ポイント】

- 湖の地層でできたチャート層（硬いガラスの層）には、藻類が繁殖したことを示す有機物が多量に含まれることを発見した。
- 藻類の有機物が湖底で腐植して周囲が酸性になり、高アルカリな湖水に溶け込んでいたガラス質（ケイ素）の成分が急速に沈殿し、チャート層が形成された。
- 太陽活動の周期的変動が藻の繁殖量を変化させ、それが周期的なチャート層の形成を引き起こしたことが明らかになった。

## 【研究背景と内容】

海の堆積物中にはチャート層が普遍的に見られ、放散虫と呼ばれるガラス質の生物遺骸により形成されていることが知られています。一方、湖の堆積物中にもチャート層が見つかることはありますが、湖のチャート層には、ガラス質の殻を持った生物遺骸が含まれていません。湖の地層で見られるチャート層の成因については、長年議論されてきました。主に受け入れられていた仮説は、アルカリ性の湖水中に溶けているケイ素が、雨水や河川水の流入によって沈殿するというものです。また、生物活動が関与してケイ素が沈殿した可能性も指摘されていました。しかしながら、湖におけるチャート層の形成メカニズムは明確に示されていませんでした。

本研究では、米国ユタ州に分布する約5千万年前の湖の地層（グリーンリバー層）で詳細な調査を行い、周期的にチャート層とドロマイト層<sup>注3</sup>が互層する地層を発見しました（図1）。そこで採取したチャート層の顕微鏡観察や化学分析を行った結果、チャート層の中には藻類が大繁殖したことを示す痕跡が含まれることを発見しました（図2）。そして、藻類起源の有機物の分解と湖水のpHの変化が、チャート層の形成に関与していたことを世界で初めて実証することに成功しました。

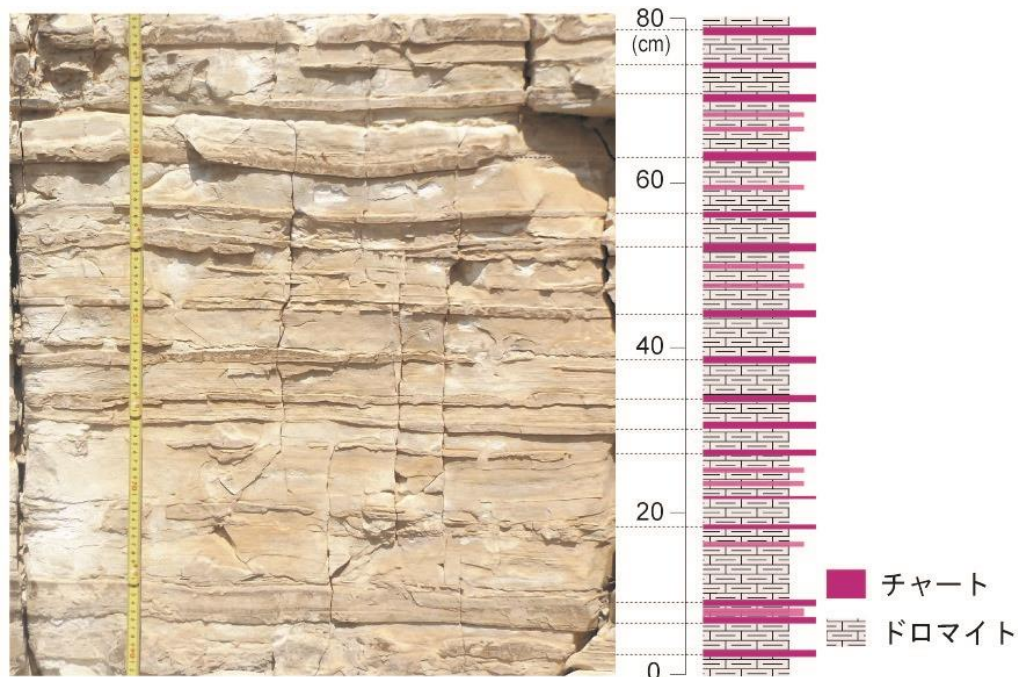


図1. グリーンリバー層に見られる周期的なチャートとドロマイトの互層



## 湖のチャート層に見られる藻類の痕跡

チャート層の中に含まれる藻類の痕跡を透過顕微鏡と蛍光顕微鏡<sup>注4</sup>を用いて詳しく観察すると、藻類起源の有機物の分解が進んだ部分と分解があまり進んでいない部分があることがわかりました（図2）。蛍光顕微鏡で強い蛍光を発している部分が、有機物の分解が進んでおらず、丸い形状の藻類の細胞膜があまり分解されずに残っているところです。電子顕微鏡を用いて化学分析を行ったところ、有機物分解があまり進んでいないところでは炭素成分が検出されました。一方で、分解が進んだ部分ではケイ素の濃集が見られました。これらの結果から、藻類起源の有機物が分解（腐植）した部分で、特にケイ素の濃集（チャート化）が起こっていることがわかりました。

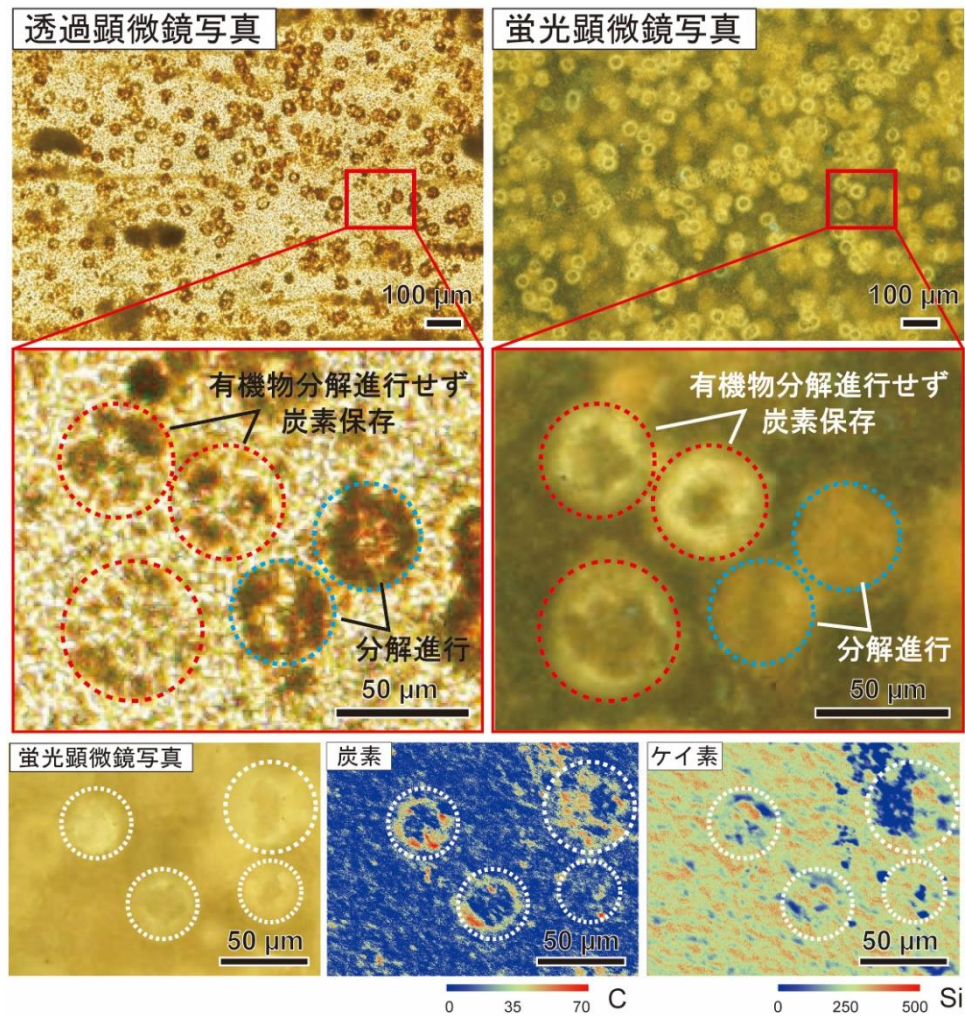


図2. チャート層中に多量に見られる藻類の痕跡

藻類の殻に相当するところに炭素が残っており、その周りをケイ素が充填している

## 湖底でチャート層ができるメカニズム

本研究で研究対象としたグリーンリバー層は、約5千万年前の火山活動が活発な時期の湖であり、湖水は高アルカリ性だったことがわかっています。ケイ素はそのような高アルカリ性水には多量に溶けます。一方、溶液が酸性になると、溶け込めなくなったケイ素が沈殿します。

上で説明したように、チャート層中の藻類の痕跡は、特に腐食して有機物分解が進んだところでケイ素の濃集・沈殿が起っていました。湖底で有機物が腐植すると、その周囲の間隙水が酸性になります。すなわち、有機物分解により局所的に堆積物中の間隙水が酸性になったことにより、高アルカリ水に溶け込んでいたケイ素が沈殿してチャート層が形成されたと考えられます。これらの証拠から、湖のチャート層の形成には、藻類の繁殖と、その有機物の分解が関与していたことがわかりました（図3）。

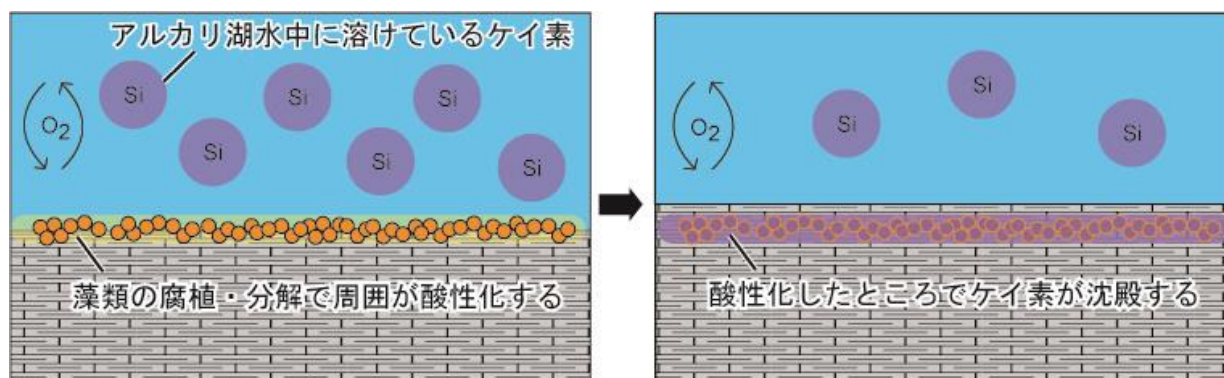


図3. チャート層形成の概念図

- (左) 湖底に藻類有機物が堆積し腐植・分解することによって堆積物の間隙水が局所的に酸性化する
- (右) 高アルカリな湖水中に多量に溶けていたケイ素が有機物によって局所的に酸性になった部分で沈殿しチャート層（硬いガラスの層）が形成される

### 太陽活動周期を反映した藻類の繁殖量の変化

図1や図4に示したように、チャート層はドロマイト層とリズミカルに互層しており、ある一定の間隔で形成されていました。では、この周期的なチャート層は、どのように形成されたのでしょうか？これまで説明してきたように、チャート層の形成には藻類の繁殖と、湖底での有機物分解が関与していたことがわかりました。周期的なチャート層の形成には、藻類の繁殖量の変化が関わっていたと考えられます。何らかのメカニズムで、藻類の繁殖量が周期的に変化したというわけです。

では、周期的なチャート層の形成を引き起こした藻類の繁殖量の変化はどのような頻度で起こったのでしょうか？グリーンリバー層では、火山灰の堆積物から地層の年代値が多数求められており、周期的なチャート層の形成を引き起こした頻度が計算できます。その計算に基づくと、チャート層は100～130年、220～330年、700～1000年、1700～2200年の周期性で形成されていました。これらの周期性は、太陽黒点数の変動などで知られる太陽活動の周期性との共通性が見られます。太陽活動は約88～105年（Gleissberg cycle）、約210～250年（de Vries cycle）、約1000年（Eddy cycle）、約2000～2300年（Hallstatt cycle）で変動しており、チャート層に見られる周期性と良く一致しています（図4）。以上のことから、約5千万年前の湖において、太陽活動の周期的変化に伴う日射量変化が、湖表層の藻類の繁殖量を変化させ、周期的なチャート層の形成を引き起こしたことが明らかになりました。



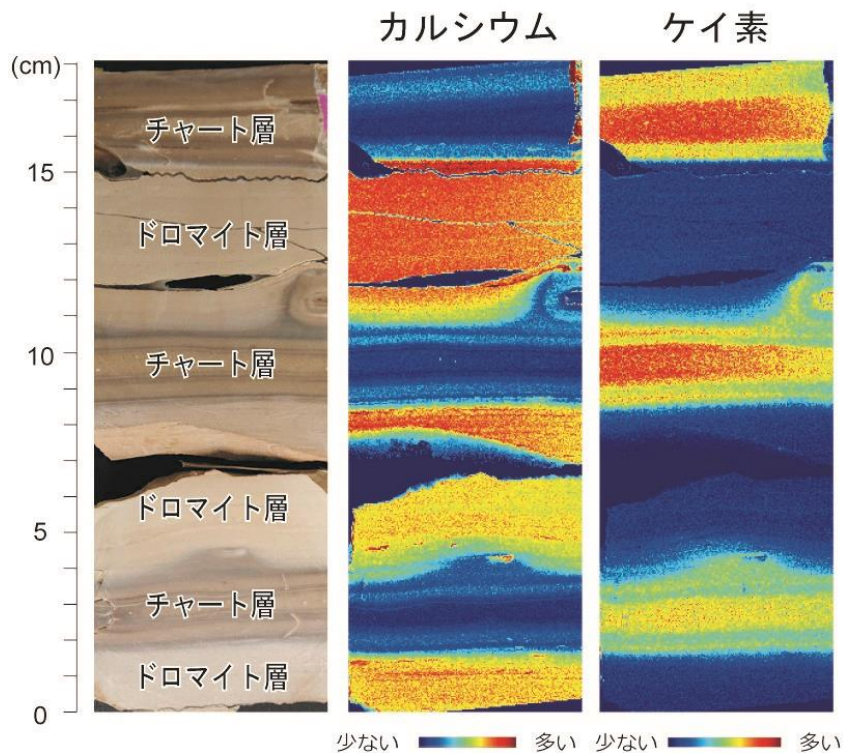


図 4. チャート層とドロマイト層が約 8cm 間隔 (約 1000 年に相当) で互層している

#### 【成果の意義】

これまで、湖でできたチャート層には、ガラス質の殻を持った生物遺骸が含まれておらず、湖でチャート層ができるメカニズムは解明されていませんでした。本研究は、野外調査と化学分析により、湖の堆積物中に見つかるチャート層に、藻類が多量に繁殖したことの痕跡が見られることを発見しました。そして、藻類起源の有機物が湖底で分解することによって、湖底の間隙水の pH が下がり (酸性化し)、高アルカリ湖水に多量に溶けていたケイ素が沈殿して、チャート層が形成されることを世界で初めて実証しました。さらに、約 5 千万年前という古代において、太陽活動の周期的変化が、湖の藻類の繁殖量を変化させていたことを世界で初めて明らかにしました。今後は、他の化学反応によって形成される堆積岩 (チャート層や石灰岩など) にも、生物活動に伴う pH の変化によって、急速に形成されたものがあることが解明されると期待されます。

#### 【用語説明】

- 注1) チャート: 主成分は二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) で非常に硬い岩石である。主に海洋堆積物中で見られる。海洋堆積物中のチャート層には放射虫や海綿動物などのガラス質の生物遺骸殻が多量に含まれるため、これらガラス質の生物遺骸が海底に堆積した後に固結してできた岩石であることがわかっている。一方、湖で見つかるチャート層の成因はこれまで分かっていなかった。
- 注2) グリーンリバー層: 石油根源岩で有名な湖成頁岩。始新世 (約 5 千万年前) には米国中西部に広大な湖環境が広がったことを示す証拠となる地層。哺乳類や魚類などの化石も多数見つかっている。

- 注3) ドロマイト: 苦灰石 ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) を主成分とする堆積岩である。グリーンリバー層の場合は浅い塩湖環境で沈殿したと考えられる。通常石灰岩は方解石 ( $\text{CaCO}_3$ ) からなるが、塩湖などの湖の堆積物の一部では、カルシウム ( $\text{Ca}^{2+}$ ) の代わりにマグネシウム ( $\text{Mg}^{2+}$ ) が炭酸 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) と結びついて、ドロマイトが沈殿する。
- 注4) 蛍光顕微鏡: 紫外線を照射して有機物を発光させて観察する顕微鏡。藻類起源の有機物の分布を把握することができる。

### 【論文情報】

雑誌名 : *Scientific Reports*

論文タイトル : Biogenically induced bedded chert formation in the alkaline palaeo-lake of the Green River Formation

著者 : Ryusei Kuma\*, Hitoshi Hasegawa\*, Koshi Yamamoto, Hidekazu Yoshida, Jessica H. Whiteside, Nagayoshi Katsuta, Masayuki Ikeda.

限 隆成(名古屋大学大学院環境学研究科)\*、長谷川 精(高知大学理工学部)\*、山本鋼志(名古屋大学大学院環境学研究科)、吉田 英一(名古屋大学博物館)、ジェシカ・ホワイトサイド(英国サウサンプトン大学)、勝田 長貴(岐阜大学教育学部)、池田昌之(静岡大学理学部) (\*責任著者)

DOI: [10.1038/s41598-019-52862-7](https://doi.org/10.1038/s41598-019-52862-7)

### 【謝辞】

この研究は文部科学省科学研究費助成事業 平成 28 年度～29 年度若手研究 B (代表: 長谷川精)、令和元年度～令和 3 年度基盤研究 B (代表: 長谷川精)、公益財団法人深田地質研究所の深田研究助成(代表: 限隆成)及び名古屋大学大学院環境学研究科の海外旅費支援制度の資金援助を得て行われました。