

氏名	つじのたくみ 辻野 匠
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2308号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Taphonomic Processes of the Diatomaceous Laminations in the Pleistocene Shiobara Group (Caldera Lake Deposits), Northeastern Japan (栃木県塩原層群(更新統カルデラ湖成層)の珪藻質葉理泥岩の形成過程)
論文調査委員	(主査) 助教授 前田晴良 教授 増田富士雄 教授 小畑正明

論文内容の要旨

栃木県北西部塩原には更新世中期のカルデラ湖堆積物である塩原層群が分布する。かつての湖心部には、主にケイソウ遺骸からなる葉理泥岩(宮島層)が堆積している。この泥岩から、冷温帯下部の植物群の葉化石をはじめとして、軟体部の形状が保存された昆虫、魚、カエル、ネズミなど、異常に保存のよい動植物化石を産し、日本有数の保存的化石鉱脈 [Konservat Lagerstätten] として知られている。しかし、化石が保存されたメカニズム、ケイソウ質葉理泥岩の形成・保存過程はいまだに詳らかではない。それを明らかにするため、葉理泥岩の種類や分布、葉理の累重様式、構成物や組織をくわしく観察し、有機炭素・窒素・硫黄の含有量、植物化石の微細組織・有機分子の保存状態を分析した。

塩原層群の泥岩は、葉理などの性質にもとづき6タイプに分類できる。すなわち、

[A] 碎屑性葉理泥岩：碎屑粒子ラミナ(灰色ラミナ)と、粘土やケイソウ遺骸などの細粒ラミナ(白色ラミナ)の細互層[厚さ4.5mm]からなり、しばしば級化層理を示す。

[B] ケイソウ質葉理泥岩：碎屑物粒子を含む非常に薄い灰色ラミナ [0.59mm] と、ケイソウの1種：*Stephanodiscus niagarae* の遺骸のみからなる白色ラミナ [1.45mm] からなる。

[C] 硬質葉理泥岩：[A] に比べ、灰 [0.26mm]、白 [0.49mm] と厚さが半減する。ケイソウ殻は、すべて opal-CT からなる微小球に変質し、緻密になる。

[D] 二重葉理泥岩は：[C] の白色ラミナ中に、一層緻密な opal-CT の黒色バンドが現れて白色ラミナが二分されたもので、見かけ上、ラミナの数が増えたように見える。

[E] 逆転葉理泥岩：更に変質が進み、[D] の黒色バンドが白色ラミナ全体を覆い、見かけ上のラミナの明暗が逆転したものである。

[F] 黄鉄鉱葉理泥岩：上記の泥岩に黄鉄鉱ラミナを挟在したものである。

[A]、[B] の葉理泥岩は、ケイソウ殻が保存されている未変質の泥岩である。Aは碎屑物の断続的な供給によって、[B] は季節変化によるケイソウの爆発的な増殖と碎屑物の供給によって形成されたものと考えられ、それぞれ湖盆の縁辺部、湖心部に分布している。

一方、[C]、[D]、[E] はケイソウ殻 (opal-A) がいずれも opal-CT に変化しており、[B]→[C]→[D]→[E] の順にラミナがより薄く、変質の度合いが増し、しかも組織がより緻密になることがわかった。したがってラミナの差異は堆積や生物生産の違いではなく、ケイソウ質泥岩が [B]→[C]→[D]→[E] の順で変質してゆく過程を反映した二次的なものであることがわかった。この変質は、湖盆の東にのみ局地的に認められ、opal-A 帯、opal-CT 帯として地理的に区分することができる。opal-CT のクリストパライトの (101) 面間隔は、湖盆中央部の「木ノ葉化石園」が最も広く (4.10Å)、周囲にゆくにつれて狭くなる (4.05Å) 同心円状の分布を示す。[B] は opal-A 帯に、[C]、[D]、[E] は opal-CT 帯にそれぞれ当てはまり、特に [D]、[E] は、同心円の中心部にのみ分布している。

植物化石の微細組織・有機分子の保存状態は opal-A/CT 帯や葉理のタイプとよく調和している。opal-A 帯から産したものは、維管束細胞の細部まで保存され、リグニンや糖類起源化合物を多く含む。しかし、opal-CT 帯から産したものは、維管束の概形も悪く、分解されにくいクタンを主成分としている。これらは、[C], [D], [E] が温泉水による熱的な変質 (40~80°C) を受けて形成された可能性を強く示唆している。

泥岩の硫黄濃度や硫黄/有機炭素比は、淡水湖の堆積物としては非常に高い (TS>1%, S/C>3)。泥岩中に硫酸還元菌の活動を示す黄鉄鉱ラミナ [F] がしばしば認められることから、堆積当時の底層水は硫酸イオンに富んだ無酸素環境であった可能性が高い。おそらく湖底からの温泉水の湧出などによって、硫酸イオンが底層に供給されていたと考えられる。一方、表層のケイソウ群集の組成は現在の中性で中~富栄養の淡水湖で見られる一般的なものであり、当時は表層と底層で水質が異なっていたことがわかる。

塩原層群堆積時には、硫酸イオンに富む重い水塊が底層に停滞し、水塊の循環が表層部のみ限定された部分循環湖であったために、底棲動物の活動が抑制され、葉理が保存された可能性が高い。日本には中新統~更新統のカルデラ湖堆積物が多く分布し、その多くが塩原層群とよく似た堆積相・化石相を示す。したがって、温泉水の影響によるケイソウ質葉理の保存と変質は、日本のような変動帯では非常に重要な化石の保存要因になっている可能性がある。

論文審査の結果の要旨

日本各地に分布する新生界の湖成堆積物中には、皮膚、筋肉、毛までもが残された昆虫、魚、カエル、ネズミなど異常に保存状態の良い化石が含まれ、注目されている。しかし、このような遺骸がなぜ破壊や分解を免れて保存されたのかという本質的な点は、実はまだほとんどわかっていない。辻野匠氏の視点は、このような異常に保存の良い化石の保存メカニズムの解明に置かれている。それを解くために、まず化石が含まれている湖成のケイソウ質葉理泥岩自体の性質をさまざまな観点からくわしく分析し、その成因を考察したのが本申請論文である。

著者は、栃木県塩原盆地をフィールドとして選び、そこに典型的に分布する更新世中期のカルデラ湖堆積物 (塩原層群) の詳細な野外調査をおこなった。さらに、化石保存のメカニズムを多角的に捉えるために次のような観察および作業をおこなった。

- 1) 化石が含まれる葉理泥岩について、その分布、堆積学的性質、含まれる植物化石の保存状態を野外でくわしく観察した上でサンプリングした。さらに切片を作成して実験室内で克明に観察記載した。
- 2) X線粉末回折法を用いて、鉱物学的視点から主要構成物質をラミナごとに分析した。また SEM 等を用いて、ケイソウ遺骸の保存状態、ラミナの構造や組織を観察した。
- 3) 通産省地質調査所の分析機器を用いて葉理泥岩の精密化学分析をおこない、地球化学的な視点から泥岩中の炭素、窒素、硫黄などの含有量を調べ、さらに残存有機物を分析した。

その結果、ケイソウ質葉理泥岩は、構成粒子やラミナの色・厚さの違いに基づいて [A]~[F] の 6 タイプに分類できることがわかった。そのうち [A] は、湖の周辺から河川を通じて供給された碎屑物粒子を主体としており、古塩原湖の縁辺域で堆積したものである。一方、湖の中心部には、灰色ラミナ (碎屑物とケイソウ遺骸の混合) と白色ラミナ (ケイソウ遺骸のみから構成) よりなるケイソウ質葉理泥岩 [B] が広く分布し、黄鉄鉱粒子の葉理が挟まれる [F] も普通に見られる。さらに良く観察すると、湖心部の東側のごく狭い範囲内に、ケイソウ遺骸のオパール A が続成によってオパール CT に変質した硬質泥岩 [C]、ラミナの密度が 2 倍になった二重葉理泥岩 [D]、ラミナの明暗が逆転した逆転葉理泥岩 [E] が分布していることを見いだした。

重要なのは [B]~[E] の違いが、堆積後に起きたオパール A からオパール CT への変質によって引き起こされた二次的なものであることを突き止めた点である。すなわち未変質の [B] から [C]、[D] を経て [E] へと連続的に変質の度合いが進んでゆくことを明らかにした。これまで堆積物中のラミナの厚さや構造の違いは、そのまま当時の生物生産量や堆積速度の違いを表すと解釈され、それが古環境を復元する際の根拠とされてきた。しかし今回、埋没後の続成や変質によってラミナが二次的に形成されたり、その見かけが左右されるケースが具体的に示されたことは、従来の堆積物の観察手法や解釈そのものに大きな波紋を投げかけたといえる。例えばこの成果は、先カンブリア代の縞状鉄鉱層の成因の解明にも応用で

きる可能性がある。

次に辻野氏は、葉理質泥岩の詳細な X 線粉末回折分析をとおしてクリストバライトの (101) 面間隔の変化を追跡し、オパール CT の結晶度が最も高い場所が、変質の進んだ葉理泥岩 [C], [D], [E] の分布と一致することを確かめた。さらに [C]~[E] では、植物化石中のリグニンが破壊されていることを突き止めた。これは一連の変質が、数十℃という温度スケールの中で起きたことを示唆しており、温泉水による局地的なオパール A の変質という本審査論文の結論を支える大きな根拠のひとつとなっている。

さらに辻野氏は葉理泥岩の化学分析によって、湖心部で堆積した泥岩が、淡水湖の堆積物としては非常に高い硫黄成分を含んでいることを示した。底生生物の化石が皆無で全く生物擾乱を受けていないことを考え合わせると、堆積当時の底層水は温泉水の影響を受けた、硫酸イオンに富む重たい停滞した無酸素水塊であった可能性が高い。

表層水と底層水に分化した部分循環湖は、現世の塩湖や汽水湖では少なくないが、季節変化のある温帯の淡水湖ではこれまで対流を妨げる要因がよく説明できなかつた。しかし、本申請論文が塩原層群の堆積物に温泉水が影響した可能性を具体的に示したことによって、日本の中新統~更新統に多いカルデラ湖堆積物の堆積環境の解明に大きな手がかりを与えたといえる。同時に、異常に保存の良い化石が日本の湖成層中に残されている原因を解くカギが得られたことは特筆される。

以上のようにこの論文は、層位古生物学、とりわけタフォノミーの分野に新しい知見をもたらしたものであり、高く評価される。論文調査委員会では、申請論文について慎重に検討を重ねた結果、博士(理学)の学位取得のための条件を十分に満たす内容をもつものであると判定した。そして平成13年1月17日に、論文内容とそれに関連した口頭試問をおこなった結果、合格と認めた。