

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870309

研究課題名(和文) モンゴルの年縞湖成堆積物から探る白亜紀中期の陸域気候システムの年スケール変動

研究課題名(英文) Reconstruction of annual-scale paleoclimatic changes during the mid-Cretaceous evidenced from Mongolian lacustrine record

研究代表者

長谷川 精 (Hasegawa, Hitoshi)

名古屋大学・博物館・特任准教授

研究者番号：80551605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、モンゴル南東部のアプチアン期の湖成層(シネフダグ層)を対象として、白亜紀中期“超温室期”におけるアジア中緯度域の気候変動及び大気循環システムの変動を、数年～数万年スケールで復元することを目的とした。詳細な年代層序の構築や主要・微量元素組成分析の結果から、シネフダグ層はアプチアン期前期(1億2200万年～1億1900万年前)の連続的記録を有し、地球軌道要素周期を反映して各古気候因子(降水量、風化度、湖底還元度)が変動していた事が明らかになった。また、シネフダグ層の頁岩中に見られるマイクロラミナは、春～夏の湖表層生産の増大と秋～冬の碎屑物流入の季節変動を反映した年縞であると解釈した。

研究成果の概要(英文)：In order to reconstruct annual- to orbital-scale paleoclimatic changes, I examined Aptian lacustrine record (Shinekhudag Formation) in southeast Mongolia. Based on the radiometric age dating and detail chronostratigraphic study, the Shinekhudag Formation is considered to be deposited between ca. 122-119 Ma. Based on the analysis of major and minor elemental compositions, three paleoclimatic proxies (precipitation, weathering, lake bottom redox state) have been identified. Changes of each paleoclimatic proxies are thought to be reflected to the different orbital parameters. The micrometer-scale laminations, consisting of couplets of algal organic matter and detrital minerals, are most likely varves, reflecting seasonal cyclicity. Thus, the Shinekhudag Formation are thought to record the annual- to orbital-scale climatic change in mid-latitude Asia during the Aptian time.

研究分野：古気候学

キーワード：白亜紀 温室期 湖成層 年縞 年スケール 地球軌道要素 気候変動

## 1. 研究開始当初の背景

白亜紀中期は、顕生代の中でも最も温暖化が進んだ時期であり、大気 CO<sub>2</sub> 濃度が現在の 4~10 倍に達し、極端な温室効果を受けた“超温室期”として知られる。白亜紀中期はまた、緯度方向（赤道～極域）の温度勾配が著しく小さく、赤道から極域へ熱を輸送する大気循環システム（ハドレー循環や偏西風の蛇行）が現在とは大きく異なるシステムであった可能性も指摘されている（Hasegawa *et al.*, 2012; *Climate of the Past*）。白亜紀中期のような“超温室期”における地球の気候システムの応答について理解を進めることは、現在温暖化が進行しつつある地球環境の未来像を予測する上でも重要である。

モンゴル南東部には、白亜紀中期アプチアン期の湖成層（シネフダグ層）が広く分布する。これまでの代表者らの研究により、シネフダグ層に見られる堆積相（頁岩、苦灰質頁岩、ドロマイトの互層）は、地球軌道要素変動（数万～数十万年周期）に伴う湖水位（降水量）の変動を反映する可能性が示唆された。また同層には年縞と考えられるマイクロラミナが保存されており、白亜紀中期における数年～数十年スケールの気候変動を復元できる可能性が示唆された。そこで我々は、このシネフダグ層を対象として、白亜紀中期“温室期”におけるアジア中緯度域の数年～数万年スケールの気候変動及び大気循環システムの復元を試みる事とした。

## 2. 研究の目的

シネフダグ湖成層を対象に、詳細な年代層序の構築と堆積速度の推定、そして地球化学的・堆積学的検討を行い、同層頁岩層に見られるマイクロラミナが年縞であることを証明する。さらに地球軌道要素スケールの解析（m スケール）と、年縞ラミナスケールの解析（ $\mu\text{m}$  スケール）を併せて行うことにより、白亜紀中期“超温室期”におけるアジア中緯度域の気候変動及び大気循環システムの変動を、数年～数万年スケールで詳細に解明することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 3-1. 詳細な年代層序の構築と堆積速度の推定

シネフダグ層の詳細な年代層序の構築と堆積速度推定のため、シネフダグ層および上下層に介在する凝灰岩試料からジルコン粒子を抽出した。そしてジルコンのカソードルミネッセンス画像取得を行って内部構造を確認した上で、LA-ICPMS（Agilent 7700x）により U-Pb 年代測定を行った。

### 3-2. 地球軌道要素スケールの解析

シネフダグ地域で採取された CSH01 コア試料の内、最も保存の良い 30m 区間（約 30 万年区間）を 2.5-5cm 毎（250-500 年解像度）に試料分割し、粉末試料を作成した（計 700 試料）。そしてビード作成・酸分解等の前処理を行った上で、XRF（Rigaku Primus II）、ICPMS（Agilent 7700x）で主要・微量元素組成を測定した。また Elemental Analyzer を用いて TOC, TN, TS を測定した。得られた主要・微量元素および CNS 組成の結果を因子分析することにより、古気候因子を抽出した。その上で、各古気候因子の変動周期を解析し、地球軌道要素変動（数万～数十万年規模）との関係性を検討した（図 1）。

### 3-3. 年縞ラミナスケールの解析

シネフダグ層の頁岩層に発達するマイクロラミナの成因を検討するため、頁岩層準の薄片試料を作成し、蛍光顕微鏡を用いた藻類起源有機物の分布や、SEM-EDX（SU6600）を用いた元素組成分布の解析を行った。そしてマイクロラミナが年縞であることの確認を行った上で、数年～数十年規模の気候変動の復元の為の年縞画像解析や、LA-ICPMS（Agilent 7700x）を用いた主要・微量元素組成分析を行った。

（研究機材は全て名古屋大学博物館および大学院環境学研究科の設備を使用）

## 4. 研究成果

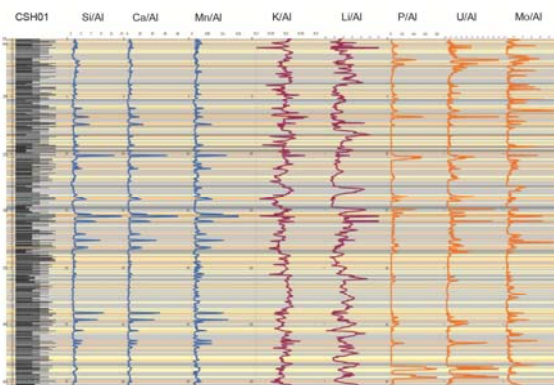
### 4-1. 詳細な年代層序の構築

シネフダグ層上下層に介在する凝灰岩

層中ジルコンの U-Pb 年代測定の結果から、シネフダグ層（層厚約 300 m）はアプチアン期前期（1 億 2200 万年～1 億 1900 万年前）の連続的記録を有し、約 6.3–12.5cm/ky の堆積速度であることが明らかになった。この事はマイクロラミナ（平均層厚 65-100 $\mu$ m）が年縞である事とも調和的である（Hasegawa *et al.*, in revision, *Island Arc*）。

#### 4-2. 地球軌道要素スケールの解析

XRF, ICPMS による主要・微量元素組成分析を行い、因子分析を行った結果、3 つの古気候因子（降水量、化学風化度、湖底還元度）を抽出した。そして各因子は固有の地球軌道要素周期（約 2 万年の歳差運動、4 万年の地軸傾動、10 万年の離心率変動）を持って変動している事が明らかになった（**図 1**）。すなわち、降水量因子（Si/Al, Ca/Al, Mn/Al など）は約 2 万年周期の歳差運動、約 10 万年周期の離心率変動で変動していた。化学風化度因子（K/Al, Li/Al）は約 2 万年周期の歳差運動、約 4 万年周期の地軸傾動で変動していた。そして湖底還元度（もしくは湖表層生物生産量）の因子（P/Al, U/Al, Mo/Al）は約 4 万年周期の地軸傾動で変動していた（**図 1**）。



**図 1** XRF-ICPMS 分析による主要・微量元素組成変動の復元結果。地球軌道要素周期（約 2 万年、4 万年、10 万年）で各古気候因子（降水量、化学風化度、湖底還元度）が変動（*EPSL* 誌に投稿準備中）。

この結果は、低緯度起源の気候変動をより反映する歳差運動・離心率変動周期で降水量が変動し、一方で中-高緯度起源の変動をより反映する地軸傾動周期で湖

底還元度（もしくは湖表層生物生産量）が変動することを示唆している。今後は、CNS 分析の結果から湖表層生物生産量の因子を抽出し、それと比較検討することで、各古気候因子の変動とそのメカニズムの解明を試みる予定である。

#### 4-3. 年縞ラミナスケールの解析

シネフダグ層の頁岩薄片試料に対して蛍光顕微鏡観察および SEM-EDX 解析を行った結果、マイクロラミナは藻類起源の有機物層と粘土鉱物を主体とする碎屑物層からなり、報告されている第四紀の湖成年縞と同様に（e.g., Zolitschka *et al.*, 2015; *Quaternary Science Reviews*）、春～夏の湖表層生産の増大と秋～冬の碎屑物流入を反映した年縞であると解釈した。そこで、蛍光顕微鏡を用いた画像解析により、約 1070 年区間の夏季強度や冬季強度、年縞層厚の変動を詳細に解析した（Katsuta *et al.*, 2003; *Computers & Geosciences* で開発されたラミナ自動トレースプログラムを使用）。年縞層厚や夏季強度の変動の周期解析を行った結果、約 11-12 年、25-30 年、90-120 年といった卓越周期で変動しており、白亜紀中期においても太陽活動変動が影響したと考えられる十年規模変動が存在した可能性が明らかになった。

したがって、シネフダグ層は報告されている中で世界最古の湖成年縞を記録しており、年～十年規模の気候変動や季節変動を復元出来るのに加え、数万年～数十万年スケールの地球軌道要素変動に伴う気候システムの応答を解析出来る可能性が明らかになった。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

1. **Hasegawa H.**, Ando H., Hasebe N., Ichinnorov N., Ohta T., Hasegawa T., Yamamoto M., Li G., Erdenetsogt, B., Heimhofer U., Murata T., Shinya H., Enerel G., Oyunjargal G., Munkhtsetseg O., Buyantegsh, B., Enkhbat, D., Suzuki N., Irino T., Yamamoto K., Kouchi Y.,

Orihashi Y. (in revision) Depositional ages and characteristics of Upper Jurassic and Lower Cretaceous lacustrine deposits in southeastern Mongolia, *Island Arc*. (査読有)

2. Li, G., Ando, H., **Hasegawa, H.**, Yamamoto, M., Hasegawa, T., Ohta, T., Hasebe, N., Ichinnorov, N. (2014) Confirmation of a Middle Jurassic age for the Eedemt Formation in Dundgobi Province, southeast Mongolia: constraints from the discovery of new spinicaudatans (clam shrimps), *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, v.38, 305-316. (査読有)
3. **Hasegawa, H.**, Ichinnorov, N. (2013) Climate and atmospheric circulation system in the Cretaceous “greenhouse” world: insights from Mongolian geological records, *Haiguulchin* v.48, p.226-231. (査読無)

[学会発表] (計 8 件)

1. **Hasegawa, H.**, Yamamoto, K., Mimura, M., Ando, H., Ichinnorov, N., Millennial-to orbital-scale paleoclimatic changes in the mid-Cretaceous from Mongolian lacustrine records, *Goldschmidt 2016*, Yokohama, June 2016 (ポスター発表)
2. **長谷川精**, 山本鋼志, 勝田長貴, 三村耕一, 安藤寿男, 太田亨, 山本正伸, 長谷川卓, 長谷部徳子, Ichinnorov N., Heimhofer U., Enerel G., Oyunjargal G., 西本昌司, 山口浩一, 鈴木徳行, 入野智久, 阿部文雄, 村木綏, モンゴル湖成層から読み解く白亜紀中期“超温室期”の十年スケール～地球軌道要素スケールの気候システム変動, *日本地球惑星科学連合 2016 年大会*, 幕張メッセ, 2016 年 5 月 (口頭発表) 招待講演
3. **長谷川精**, 湖成オイルシェールから見る白亜紀および始新世の陸域気候, シンポジウム「新たな炭化水素資源と革新的地化学探査技術」, 北海道大学,

2016 年 3 月 (口頭発表) 招待講演

4. **Hasegawa, H.**, Climate and atmospheric circulation systems in the Cretaceous “greenhouse” world: insights from eolian dune and lacustrine records, Conference *Climates of the past – lessons for the future*, Monte Verità, Ascona, Swiss, July 2015 (口頭発表) 招待講演
5. **Hasegawa, H.**, Ando, H., Ohta, T., Hasegawa, T., Yamamoto, M., Hasebe, N., Murata, T., Shinya, H., Li, G., Ichinnorov, N., Erdenetsogt, B., Heimhofer, U., Reconstruction of terrestrial paleo-hydrological change in the mid-Cretaceous “Supergreenhouse” period: Insights from the lacustrine records (Shinekhudag Fm.) of southeast Mongolia, *The 2<sup>nd</sup> International Symposium of IGCP-680*, Waseda, Tokyo, September 2014 (口頭発表)
6. Yamamoto, M., Ando, H., **Hasegawa, H.**, Hasegawa, T., Ohta, T., Hasebe, N., Murata, T., Li, G., Ichinnorov, N., TEX<sub>86</sub>-based lake water temperatures in Jurassic and Cretaceous Mongolia, *The 2<sup>nd</sup> International Symposium of IGCP-680*, Waseda, Tokyo, September 2014 (ポスター発表)
7. Murata, T., Li, G., Ando, H., **Hasegawa, H.**, Hasegawa, T., Ohta, T., Yamamoto, M., Hasebe, N., Ichinnorov, N., Stratigraphic succession of Conchostracan fossils from the lacustrine deposits in the Shinekhudag area (Lower Cretaceous), Eastern Gobi basin, Southeast Mongolia, *The 2<sup>nd</sup> International Symposium of IGCP-680*, Waseda, Tokyo, September 2014 (ポスター発表)
8. **長谷川精**, 安藤寿男, 太田亨, 長谷川卓, 山本正伸, 長谷部徳子, 村田崇之, 新谷広紀, Li G., Ichinnorov N., 西本昌司, 山口浩一, 岩間由希, モンゴルの年縞湖成層のラミナレベル解析: 白亜紀中期“超温室期”の数年～数十年スケール

ル気候変動の解明に向けて、**日本堆積学会2014年山口大会**，山口大学，2014年3月（口頭発表）

〔図書〕（計4件）

1. **長谷川精** (2014) 1.2 地球史を通じた砂漠の分布と環境の変遷，縄田浩志・篠田謙一編，**砂漠誌 (国立科学博物館叢書)**，東海大学出版会，p.8-20.
2. **長谷川精** (2014) 中生代の大陸配置と古気候，大阪市立自然史博物館特別展「恐竜戦国時代の覇者!トリケラトプス」，読売新聞新聞出版，p.12-17.
3. **長谷川精** (2014) 白亜紀“温室期”の気候 ~モンゴルの地層研究からわかってきたこと~，名古屋市科学館特別展「発掘! モンゴル大恐竜展」，読売新聞出版，p.138-139.
4. **長谷川精 (監修)** (2014) 白亜紀の気候変動，朝日ビジュアルシリーズ 週刊「地球**46** 億年の旅」**25** 号，朝日新聞出版

〔産業財産権〕

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕

#### **日本堆積学会 2014年論文賞を受賞**

受賞論文： **Hasegawa, H.**, Tada, R., Jiang, S., Suganuma, Y., Imsamut, S., Charusiri, P., Ichinnorov, N., Khand, Y. (2012) Drastic shrinking of the Hadley circulation during the mid-Cretaceous Supergreenhouse, *Climate of the Past* v.8, p.1323-1337.

ホームページ等

<http://www.num.nagoya-u.ac.jp/outline/staff/hasegawa/index.html>

## **6. 研究組織**

(1)研究代表者

長谷川 精 (HASEGAWA, Hitoshi)  
名古屋大学博物館・特任准教授  
研究者番号：80551605