

シリア段丘に見られる石膏 (Gypsum: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ノジュールの形成と環境についての一考察

Formation of Gypsum nodule in Euphrates flood plain, Syria

吉田英一 (YOSHIDA Hidekazu)¹⁾・星野光雄 (HOSHINO Mitsuo)²⁾・
田中 剛 (TANAKA Tsuyoshi)²⁾・中村俊夫 (NAKAMURA Toshio)⁴⁾・
東田和弘 (TSUKADA Kazuhiro)¹⁾・齊藤 毅 (SAITO Takeshi)⁴⁾・
桂田祐介 (KATSURADA Yusuke)⁵⁾

- 1) 名古屋大学博物館
Nagoya University Museum
- 2) 名古屋大学大学院環境学研究科
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
- 3) 名古屋大学年代測定総合研究センター
Center for Chronological Research, Nagoya University
- 4) 名城大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Meijo University
- 5) 名古屋大学学生相談総合センター
Center for Student Counseling, Nagoya University

Abstract

Euphrates flood plain includes modern channels, oxbow lakes, banks and marshes, and contains of river terraces. These sedimentary phases of terraces are mainly unconsolidated dry silty to fine sand materials with poorly sorted gravels provided from the Bishiri Mountains. The study of sedimentary features is therefore enable us to know the environment of Tell Gahnem al-Ali had built.

From the last field survey of terraces, we found many types of gypsum nodules in the soft terrace sediments. The size of nodule is about 1~2 cm diameter with several cm long. Sometimes, it has several tens cm grown vertically to the sedimentary layer and cross the bedding plane. The occurrence suggests that the nodule has been formed after the deposition of terrace sediments as following steps. First of all, the sediments deposited about several Ka ago. The age of sedimentation is estimated by the structural relation with Tell Gahnem al-Ali and the building process. Of course with the isotope carbon data, if available, would be shown more precise time of the building and sedimentation periods. After the deposition, sediments still has certain about of pore-water (wet) and the composition is presumably becoming very high contents of Ca. This is estimated by the present river water contents of Euphrates, and also the dissolution of gypsum that has provided from the basement rocks. During the compaction of continuing the terrace deposition, pore-water has been isolated and concentrated beyond the solubility limit of calcium. On the other hand, sediments contain also sulfate from the organic matters. Due to the diagenetic alteration such geochemical setting had formed, finally hydrous calcium sulfate has been precipitated and the nodule has been formed. It is however, the shape of nodule is quite unique, i.e. similar to the root plaque of plant growing in the flood plane, and that the precise formation is still necessary to analyze.

はじめに

ユーフラテス河沿いには、第四紀の河川成堆積物からなる河岸段丘が発達する。この河岸段丘は、主にシルト層、砂層および礫層からなり、石膏層を主体とする新第三紀の基盤岩を不整合に覆う。この未固結の河岸段丘層から、これまでの地質調査によって石膏（Gypsum： $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）のノジュールを多数確認することができた（写真1～3）。石膏ノジュールの形状が、高師小僧（吉田・松岡，2004; Yoshida *et al.*, 2008）と呼ばれる日本の未固結堆積岩中から産出する酸化鉄のノジュールに類似することから、“ユーフラテス小僧”と命名した。この石膏ノジュールは、河岸段丘を構成する河川堆積物が堆積した後に、地層中の空隙水と鉱物との反応で形成されたものであり、堆積物の堆積環境ならびに石膏ノジュール形成とその続成過程を理解する上で非常に有効なものと考えられる。本報告では、その産状等についてこれまで、岩石・鉱物学的な調査やエックス線マッピングによる化学組成分析などの調査を行ってきた。本報告では、これらの結果と石膏ノジュール形成メカニズムについての予察的な考察結果を述べる。

“ユーフラテス小僧”の産状と化学組成

石膏ノジュールは、ユーフラテス河の段丘堆積物中の、とくにシルト質の層に多く見られる。その産状は、直径が数mm～2cm程度で、長さが数cmから長いもので20cm程度までの棒状か、あるいはなんらかの植物根の部分が化石化したような形状をなすことが多い（写真3）。ノジュールの形成方向は、おおよそ段丘堆積物の層理面に対して直交方向であり、層理面を切るような形で産出する。これは、ノジュールが堆積物の堆積後に成長し、何らかの空洞、空隙を充填しながら形成されたことを示すものである。河岸段丘の露頭表面では、ノジュールと周辺堆積物の風化に対する強度差から、ノジュールが際だった形で認められるが、硬さはそれほどなく全体的に脆い。また、ノジュールと周辺堆積物との境界は一部明瞭な部分も認められるが、それほど明瞭ではなくノジュールの中心部から周辺のシルト質堆積物へと漸移変化をすることが多い。

このノジュールの組織について、岩石薄片を作成したものを写真4（a,b,c）に示す。それぞれの写真に示しているのは、ノジュールの横断面の薄片写真である。弧状の石膏の結晶境界が周辺のシルト層との境界を示す。石膏の結晶は、板状～針状を示し、結晶ごとの境界部分は空隙を有するか、あるいはシルト質の堆積物が介在する。これは、石膏の結晶が空洞状態にあった部分に成長したことを示すものである。

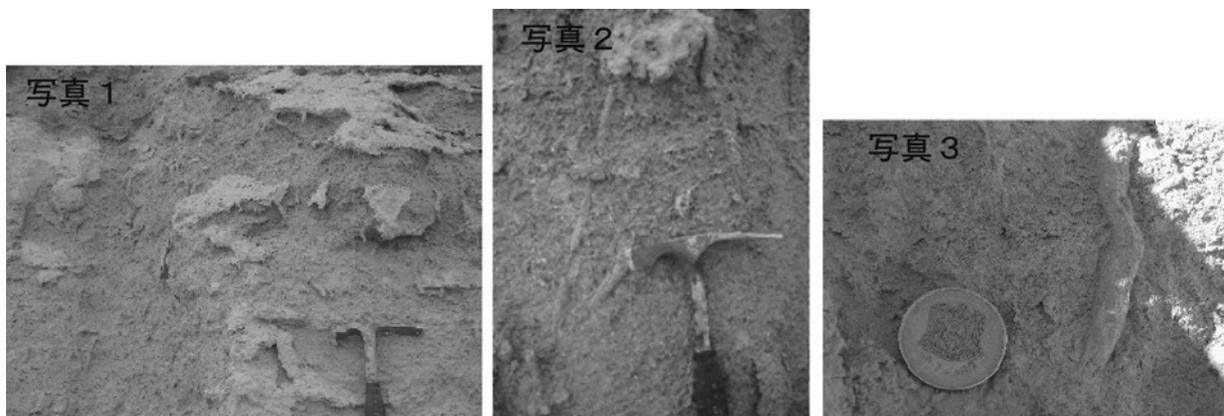
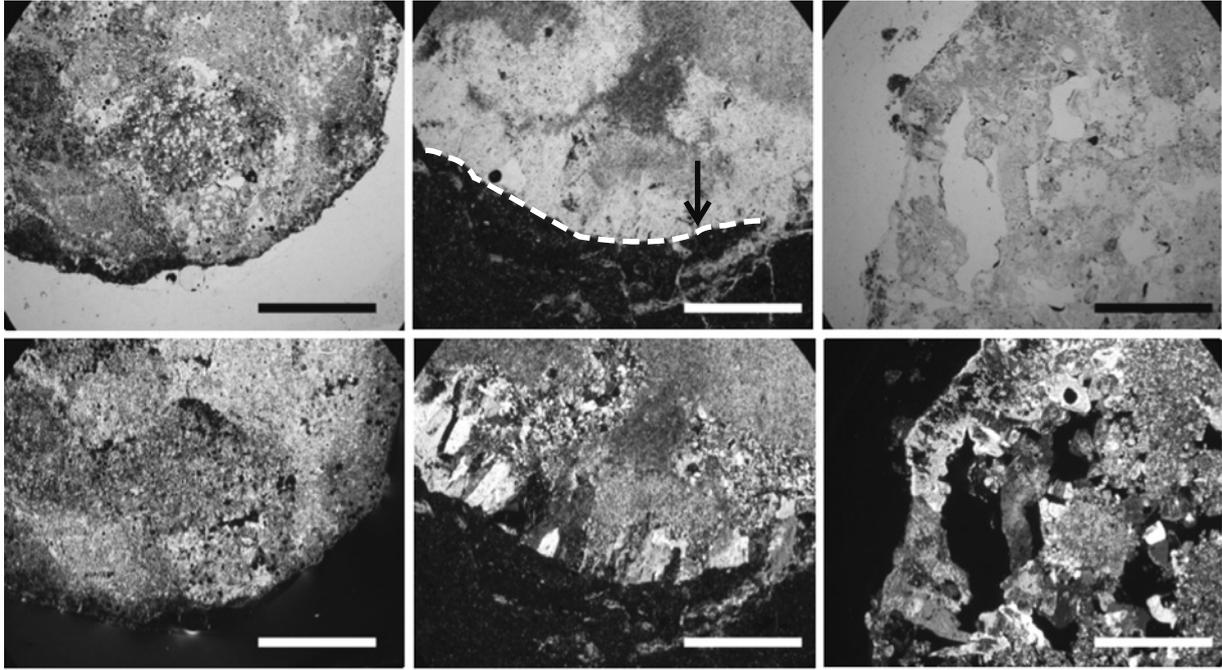


写真1～3：石膏ノジュールの産状。写真1、2：側方に延びる堆積構造を切って成長する様子。写真3：円柱状石膏ノジュールの産状



Scale bar = 2mm

写真4：石膏ノジュールの岩石薄片写真。点線は石膏との境界を示す。上部：オープン。下部：クロス（偏光板を入れた状態）。

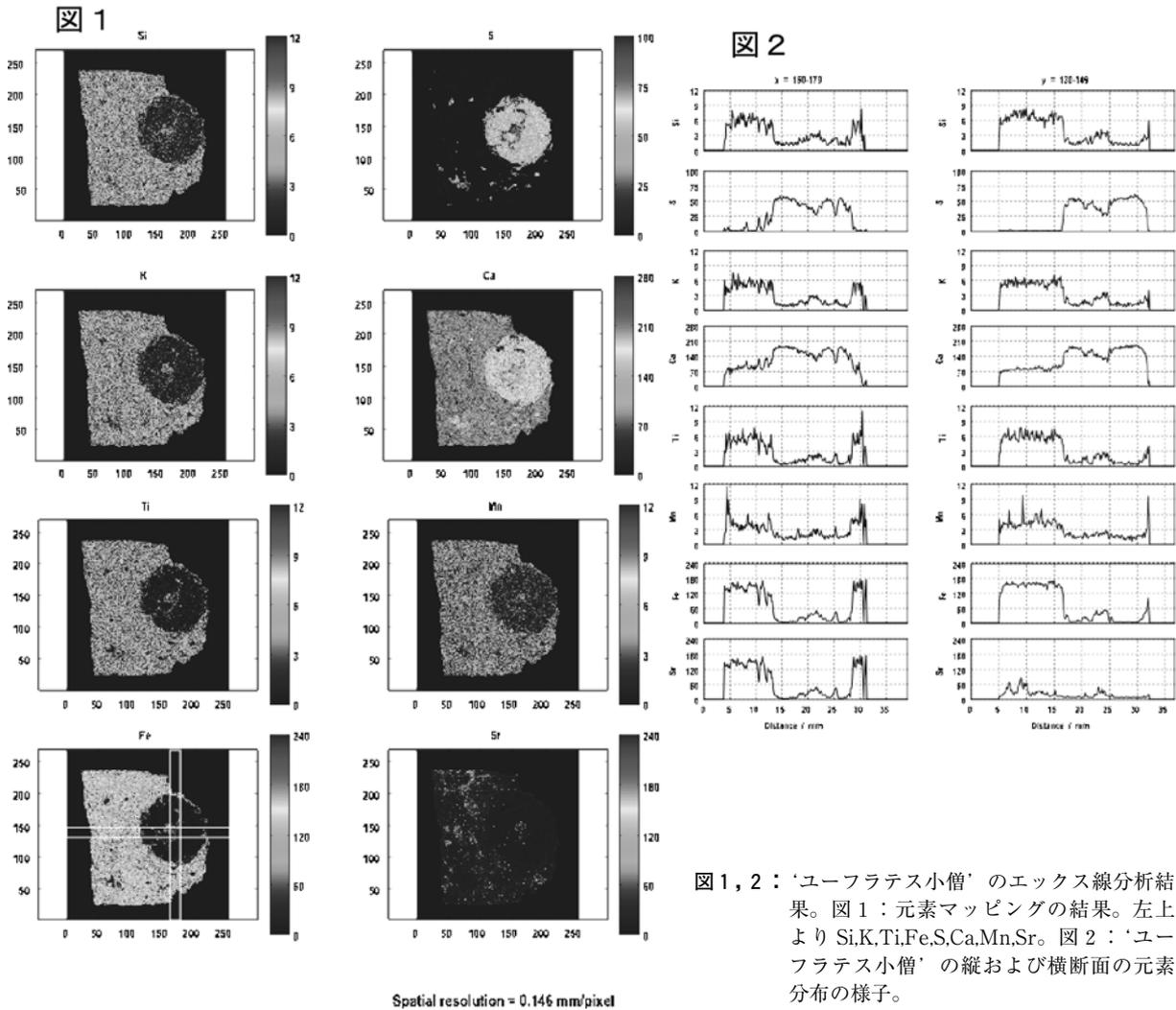


図1, 2：'ユーフラテス小僧'のエックス線分析結果。図1：元素マッピングの結果。左上よりSi,K,Ti,Fe,S,Ca,Mn,Sr。図2：'ユーフラテス小僧'の縦および横断面の元素分布の様子。

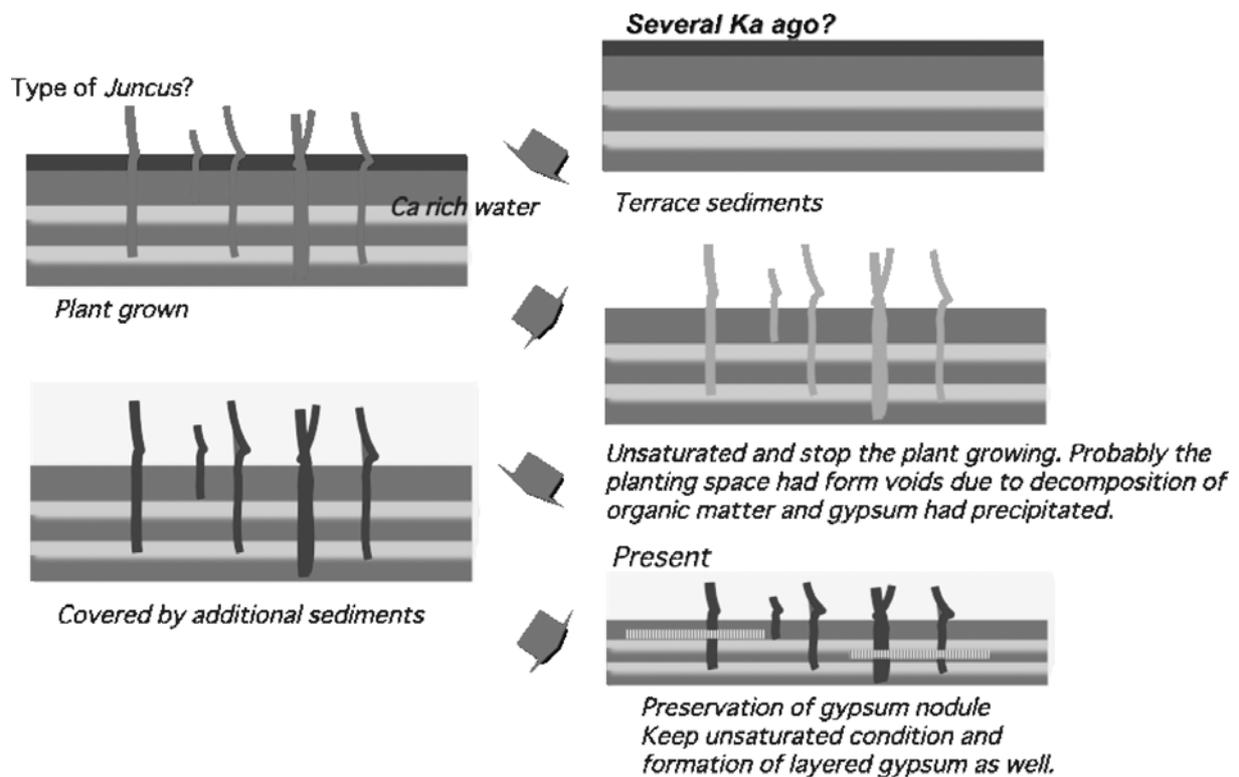


図3：石膏ノジュールの形成プロセス

またこのノジュールの成分について、エックス線分析マップ像および線分析プロファイルを図1、2に示す。これは、ノジュールの横断面の薄片をSXAM (an X-ray fluorescence analyzer (XGT-2000V Horiba Japan)) (Hosokawa *et al.* 1997) を用いて分析マッピングしたものである。それから示されるように、イオウ (S) とカルシウム (Ca) の濃集している部分がユーフラテス小僧である。ノジュールを取り巻く周辺の堆積物も、カルシウムに富むがイオウは少ない。

考 察

“ユーフラテス小僧”の形成プロセス

このような石膏ノジュールの成因については、あまり報告された事例、文献は見あたらない。このノジュールの形成について、堆積学的な産状、岩石学的な組織と化学組成から、そのプロセスを考察してみたい。

まず、ユーフラテス河沿いでの河岸段丘を形成する堆積物が、河および周辺のより古い段丘や石膏を多量に含む新第三紀の基盤岩よりもたらされる。この時点ですでに石膏ノジュールの素材となる元素 (Ca と S) は堆積物中に含まれることになる。しかし、石膏は溶解度が非常に高いことから、碎屑物としてもたらされる石膏はそのほとんどが地下水あるいは堆積物中の空隙水中に溶解するものと思われる。一方、これらのユーフラテス河周辺には多くの葦類や植物が繁殖している。これらの植物は、河川周辺の堆積物が隆起や、河川の流路変更に伴って離水状態になれば、水分の補給が困難となり枯死する。そして、植物組織が嫌気的な環境で腐敗すると同時にカルシウムに富んだ空隙水が、植物 (根) のあった空隙に浸透すると同時に硫酸イオンと反応し、硫酸カルシウムの沈殿が形成されるというシナリオである。ユーフラテス小僧が堆積構造を切って成長しているパターンも、このプロセスであれば説明できる。この石膏ノジュールが、植物 (根) と関係があるのではないかとするもう1

つの理由は、元素マッピング図にも確認できるが、断面図の中心部分に、さらに小さい円形状の濃集部分があることである。これは、植物の維管束のような内部組織を反映した構造ではないかと考えられる。

実は、このような植物（根）を基にした元素濃集・ノジュールの形成は、日本においても確認されている。それは“高師小僧”とよばれるもので（吉田・松岡，2004）、愛知県豊橋市で約100年前に地質学者小藤文次郎によって記載されたものである（小藤，1895）。これは、ただしユーフラテス小僧のように硫酸カルシウムではなく、酸化鉄の濃集物である。この成因については、Yoshida *et al.* (2008) などに報告されているように、地下水中の鉄イオンと酸化菌との関与が示唆されている。論文で取り上げている高師小僧は、愛知県豊橋市の高師ヶ原周辺に産するもので、約30万年前に当時湿地帯だったと考えられる内湾性の堆積物中に認められるものである。その産状は、ユーフラテス小僧と類似した植物（茎あるいは根）を基に成長したものと考えられ、直径数mm～2cm程度、長さは数cmから長いものでは数10cmになる。これがユーフラテス小僧と異なるのは、中心部分に多くの場合中空の空隙を有しており、また植物繊維と思われる組織構造を残していることから、植物との関連が明確である点である。最近の研究成果では、これらの植物組織の腐敗に関連する微生物活動と酸化還元反応とが関与して酸化鉄の濃集が生じたことを示している。ユーフラテス小僧の形成についても、植物の生態系や微生物活動との関連があってもおかしくないが、現時点ではその証拠は得られていない。

おわりに

ユーフラテス河沿いに堆積した段丘堆積物中に確認される石膏ノジュールについて、その産状と成因について報告した。これらの産状および形成は、ユーフラテス河の堆積物と堆積当時の地下水成分との反応で形成されたものであり、地球化学的な堆積環境を推定するには非常に参考になる試料と思われる。また堆積物～堆積岩への、乾燥地帯における続成作用に関する、日本ではほとんど得ることのできない情報を得ることのできる貴重な地質学的試料と考える。今後、引き続きこれらの形成メカニズムについて分析・調査を行っていく予定である。

謝 辞

本調査、分析を行うにあたって、博物館技術補佐員の與語節生氏には、岩石薄片を作成して頂いた。またSXAM分析にあたっては、岐阜大学教育学部の勝田長貴准教授にお世話になった。記して謝意を表す。

引用文献

- 小藤文次郎 (1895) 高師小僧. *地質学雑誌*, **2**, 238-240.
- Hosokawa, Y., Ozawa, S., Nakazawa, H., Nakayama, Y. (1997) An x-ray guide tube and a desk-top scanning x-ray analytical microscope. *X-ray Spectrom* **26**, 380-387.
- 吉田英一・松岡敬二 (2004) 愛知県豊橋市高師原台地から産する「高師小僧」、*名古屋大学博物館報告*, **No.20**, pp.25-34.
- Yoshida, H., Metcalfe, R., Yamamoto, K., Murakami, Y., Hoshii, D., Kanekiyo, A., Hayashi, T. (2008) Redox front formation in an uplifting sedimentary rock sequence: An analogue for redox-controlling processes in the geosphere around deep geological repositories for radioactive waste, *Applied Geochemistry*, **23**, pp.2364-2381.

(2010年10月15日受付, 12月23日受理)