

中国安徽省巢湖地域，中部ペルム系 Gufeng 層の岩相変化

Sedimentary petrography of the Middle Permian Gufeng Formation in the Chaohu area, Anhui Province, China

亀高 正男 (KAMETAKA Masao)¹⁾・武辺 勝道 (TAKEBE Masamichi)¹⁾・
永井ひろ美 (NAGAI Hiromi)²⁾・朱 嗣昭 (ZHU Sizhao)³⁾

1) 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻

Division of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

2) 名古屋市昭和区山手通 1-23-1 701

Yamate Street 1-23-1 701, Showa-ku, Nagoya 466-0815, Japan

3) 南京大学地球科学系

Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008, Jiangsu, P.R.China

Abstract

Petrographical study of sedimentary rocks from the Middle Permian Gufeng Formation in the Chaohu area, Anhui Province, China, has been carried out. The Gufeng Formation is subdivided into the Phosphate nodule-bearing mudstone Member (PNMM) and the Siliceous rock Member (SRM). The basal part of the PNMM consists of mudstone including pellets of glauconite which form in the aerobic shallow marine water. The upper part of the PNMM consists of phosphate nodule-bearing mudstone. The presence of phosphate nodules suggests the deposition in the anoxic slightly deep marine environment (e.g. outer shelf). The SRM consists of alternating beds of chert and mudstone, including abundant radiolarians and organic matter. Chert of the upper part of SRM includes silicified shell fragments which can be considered as shallow marine origin. The results suggest that the deposits of the Gufeng Formation records one transgressive-regressive cycle in the Maokouan time.

はじめに

中国東部，安徽省巢湖地域に分布する Gufeng 層 (Kuhfeng 層) は，ペルム紀中期 (Maokouan) にプラットフォーム上 (大陸棚上) に堆積した層状放散虫チャートを主体とする地層である。Gufeng 層の堆積した環境はまだよくわかっておらず，これを解明することはペルム紀における揚子プラットフォームの古環境を知るために必要である。さらに，顕生代の層状放散虫チャートの成因を考える上でも重要であると考えられる。

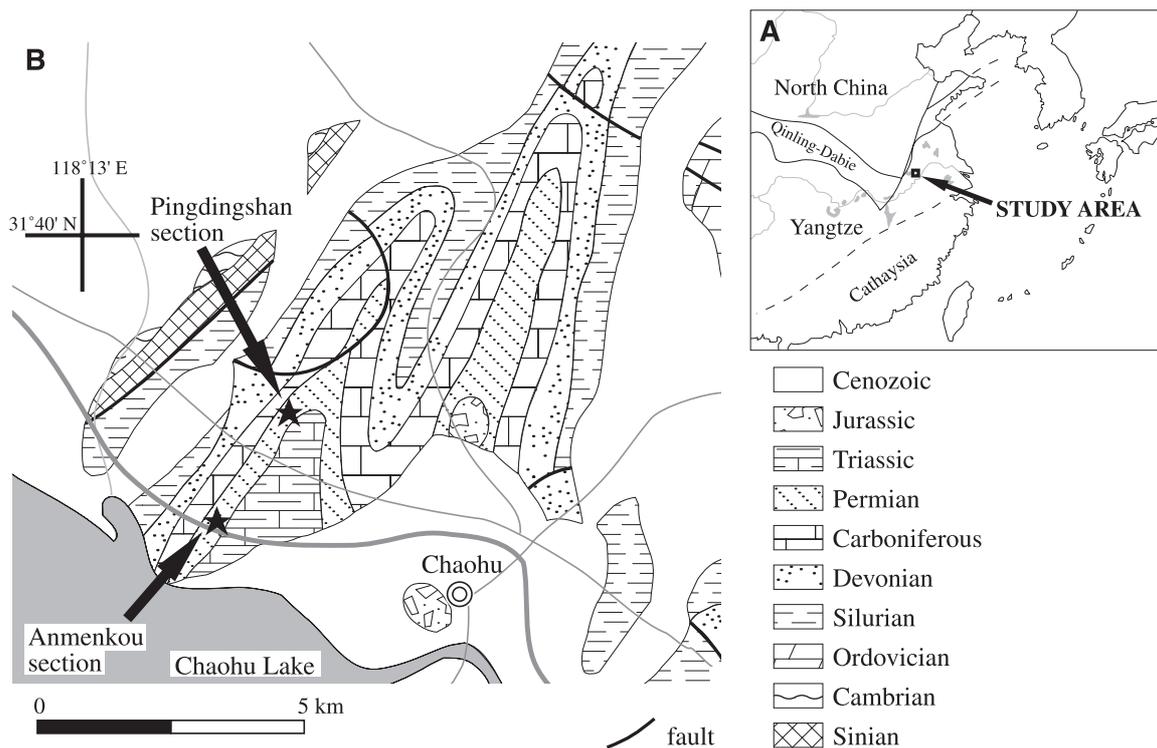


Fig. 1. A) Location map of the Chaohu area in the Yangtze Platform. B) Geological map of the Chaohu area (after Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, 1987).

これまで著者らはGufeng層の堆積環境を解明するために、本層から産する放散虫化石の記載(Nagai et al., 1998), ネクティックチャートの記載 (Zhu et al., 1999), 化学組成をもとにした堆積環境解析(亀高ほか, 2001)などを行ってきた。本論では、Gufeng層の岩相と岩石の偏光顕微鏡下での特徴を紹介し、堆積環境の変化について議論する。

地質概説

研究地域は南京の西南西約100kmに位置する安徽省巢湖市の西部である (Fig. 1)。本地域には原生代後期 (Sinian) から三疊紀中期までの地層が、一部に堆積間隙はあるもののほぼ連続して堆積している。これらの地層は波長数kmで褶曲し、ジュラ紀の陸成層に不整合で覆われている。本地域のペルム系は、下位から Qixia 層 (Chihsia 層)・Gufeng 層・Yinping 層・Longtan 層・Dalong 層に区分されている (Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, 1987)。Qixia 層は石灰岩からなり、黒色チャートをノジュール状またはレンズ状に挟み、紡錘虫や珊瑚などの化石を多産する。Gufeng 層は Qixia 層を非整合に覆い、主に泥岩からなる含リン酸塩ノジュール泥岩部層 (Phosphate nodule-bearing mudstone Member) と、チャート・泥岩互層からなる珪質岩部層 (Siliceous rock Member) に分けられる。前者は、Jiang et al. (1994) の Phosphorous nodule-bearing mudstone Member に相当し、後者は Silicalite Member に相当する。Gufeng 層については次章で詳しく述べる。Gufeng 層は Yinping 層の灰白色から黒色の泥岩に整合に覆われている。Yinping 層からは、小型の斧足類や生痕化石が産出している (Jiang et al., 1994)。

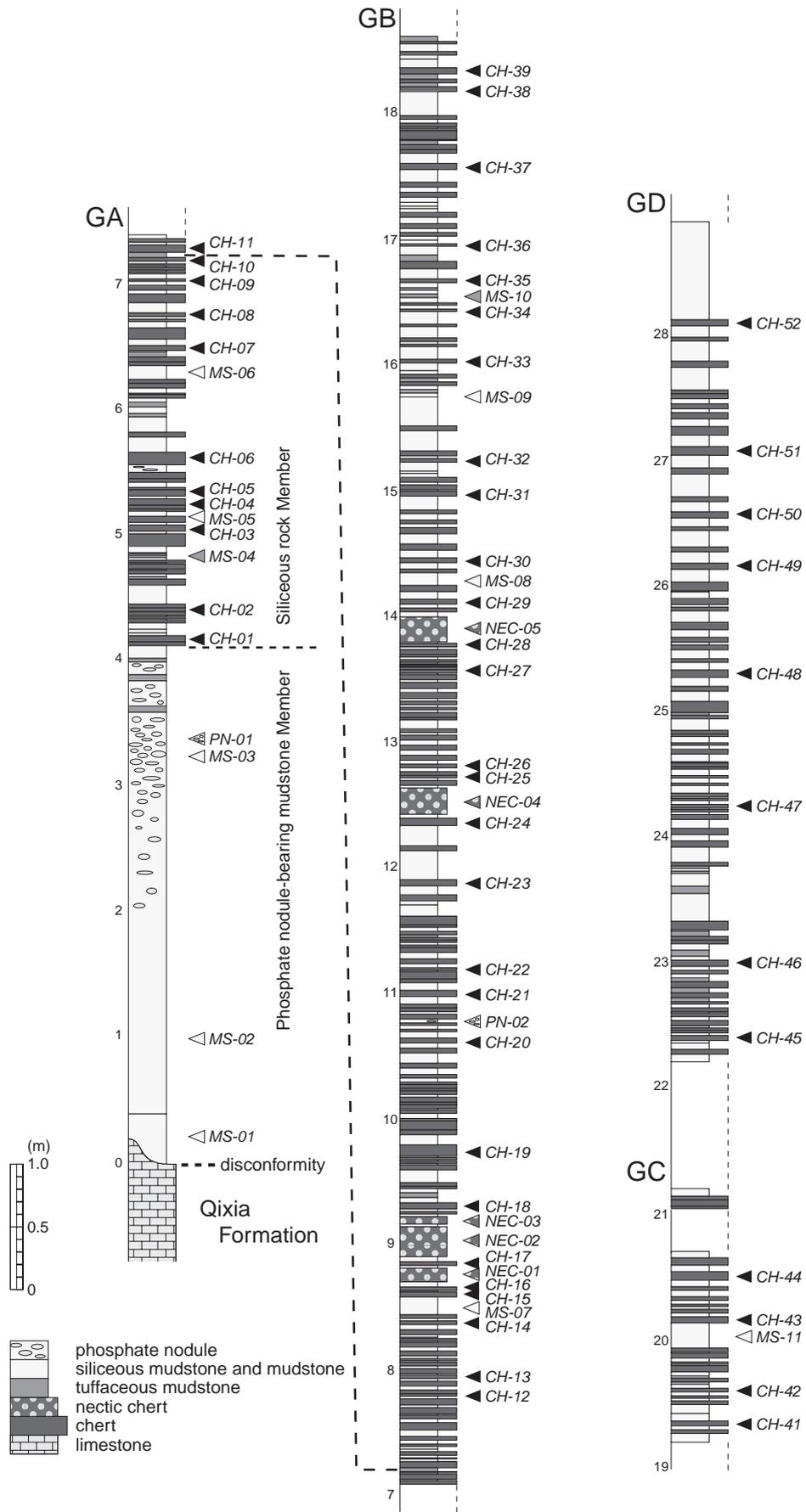


Fig. 2. Columnar section of the Gufeng Formation in the Anmenkou section.

岩 相 記 載

巢湖地域では、平頂山、庵門口、鬼門関、馬背山などで調査を行ったが、本報告では庵門口セクションを中心に話を進める。庵門口セクションにおける Gufeng 層の柱状図を Fig. 2 に、露頭写真を Fig. 3 に、試料の研磨面を Fig. 4 に示す。

庵門口セクションは巢湖市市街地の西北西に位置している。鉄道と道路が直交する場所にあり、それぞれの切り通しに露頭がある。柱状図の GA セクションと GB セクションは線路沿いの露頭で、GC セクションと GD セクションは道路沿いの露頭である。GA セクションと GB セクションは同一の凝灰質泥岩層を斜面で追跡でき、これらは連続している (Fig. 3A)。一方、GB セクションと GC セクションの間には約 1 m、GC セクションと GD セクションの間には約 0.5m の露頭欠如がある。GA セクションと GB セクションの露頭は比較的新鮮であるのに対し、道路側の露頭はやや風化が進んでいる。GA セクションの下部が含リン酸塩ノジュール泥岩部層にあたり、GA セクション上部から GD セクションまでは珪質岩部層である。

1. 含リン酸塩ノジュール泥岩部層

本部層は層厚が約 4m、泥岩を主体とし、上部ではリン酸塩ノジュールを多数含んでいる。珪質岩部層との境界付近では凝灰質泥岩が数層挟まれている。

1.1. 泥岩

Qixia 層の石灰岩と Gufeng 層の泥岩との接触部は、20cm ほどの凸凹した面を形成している (Fig. 3B)。最下部の層厚 40cm 程度の泥岩 (MS-01) は濃褐色を呈し、長径数 cm 以下のコンクリーションを含んでいる。鏡下では泥岩は、ヘマタイトなどからなるコンクリーション、珪化した種属不明の化石片とともに、不透明鉱物を伴う海緑石のペレットが多く認められる (Fig. 5A) が、風化による変質が著しい。

その上位の泥岩 (MS-02) は茶褐色を呈し、層状で剥離性がよい。アンモナイトや腕足類などの大型化石が印象化石として多数産出するほか、まれに放散虫を含む。平行葉理が発達しており、鏡下ではリン酸塩の粒子と、リン酸塩化または珪化した化石片が含まれ、細粒な石英粒子も認められる (Fig. 5B)。

1.2. リン酸塩ノジュール

本部層の上部では、リン酸塩ノジュールが泥岩中に多数含まれている。リン酸塩ノジュールは風化した面では灰褐色から灰白色、切断面では黒褐色から黒色を呈し、大きさは長径数 cm で層理面に平行に伸張した形態をしている (Fig. 3C)。鏡下では、褐色のコロフェン様のリン酸塩鉱物からなる球果またはペレットが集合体をなしているのが観察される (Fig. 5C)。球果やペレットの隙間は透明で隠微晶質ないし極細粒なリン酸塩鉱物からなり、一部は空隙である。放散虫や海綿骨針がまれに含まれている。

2. 珪質岩部層

珪質岩部層は含リン酸塩ノジュール泥岩部層を整合に覆う (Fig. 3D)。黒色チャートと褐色の泥岩ないし珪質泥岩の互層からなり、層厚は約 25m である。まれに凝灰質泥岩を挟み、中部ではネクティブクチャートを挟む。

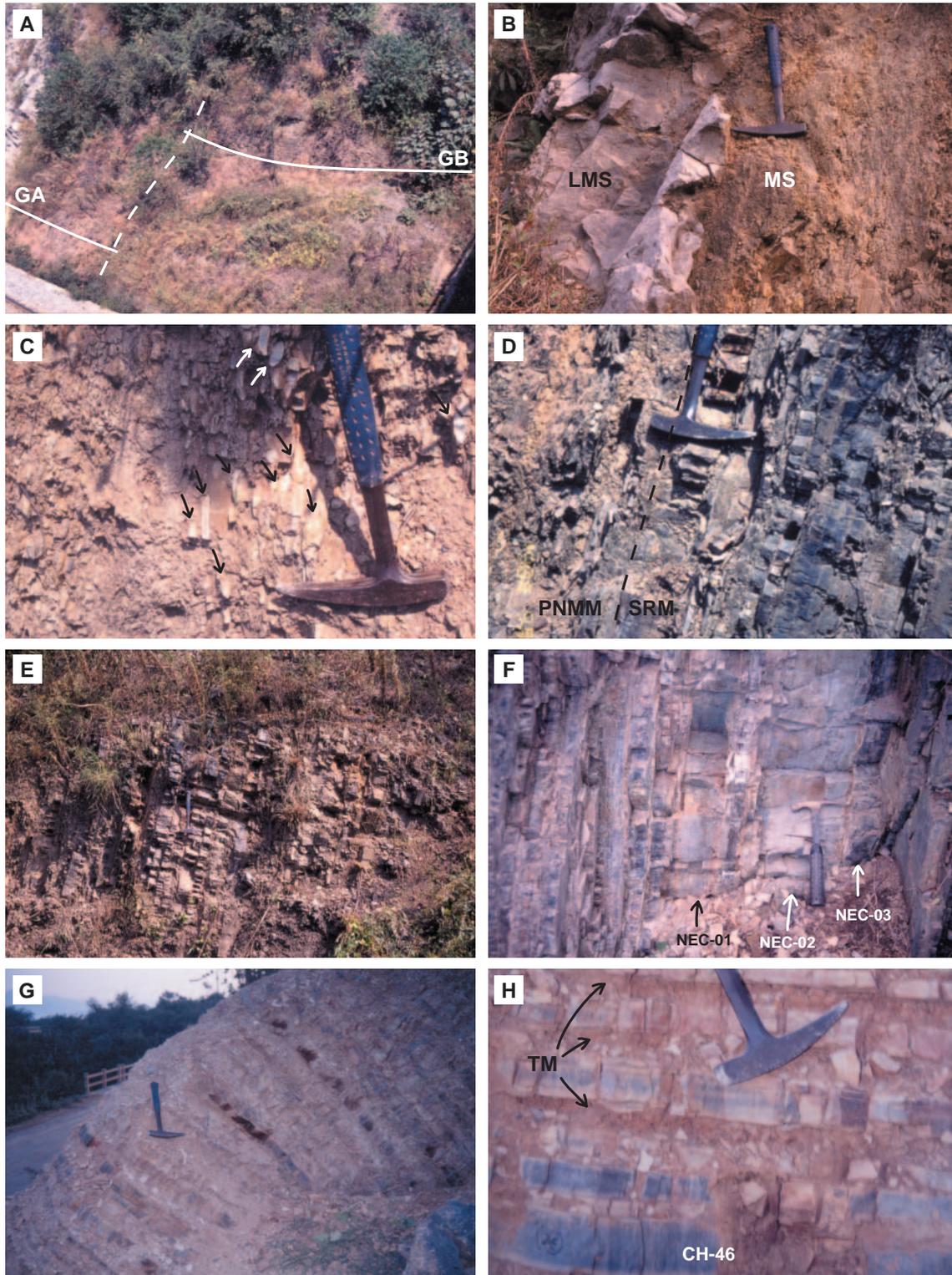


Fig. 3. Photographs of the outcrops in the Anmenkou section. A) An overall view of the GA and GB sections. Dotted line indicates the tuffaceous mudstone bed located in the top of the GA section and the base of the GB section. B) Disconformity between limestone of the Qixia Formation (LMS) and mudstone of the Gufeng Formation (MS). C) Phosphate nodules (arrows) included in mudstone of the Phosphate nodule-bearing mudstone Member. D) Boundary between the Phosphate nodule-bearing mudstone Member (PNMM) and Siliceous Rock Member (SRM). E) Upper part of the GA section consists of chert-rich alternating beds of chert and mudstone. F) Lower part of the GB section containing three intercalated nectic chert beds. G) Middle part of the GD section consists of mudstone-rich alternating beds of chert and mudstone. Note that the beds are overturned. H) Alternating beds of chert, mudstone and tuffaceous mudstone (TM) around the sampling horizon of CH-46. Note that the beds are overturned.

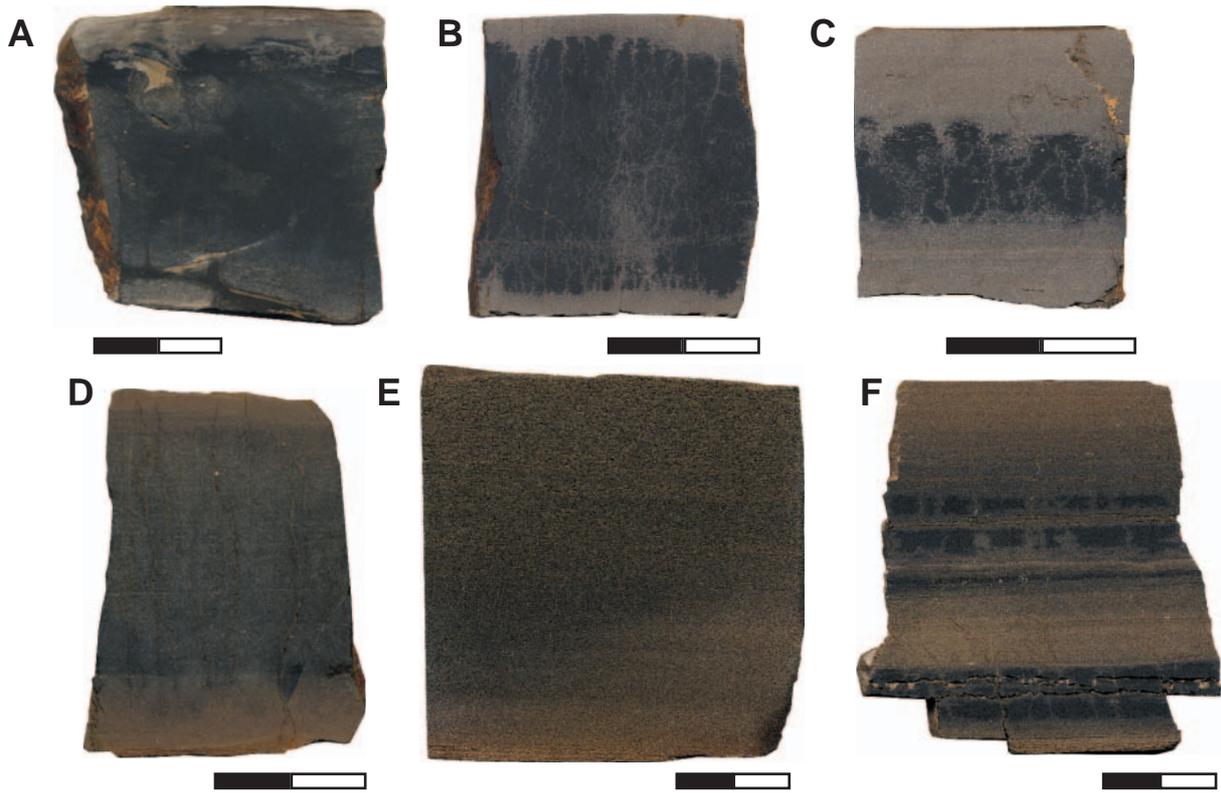
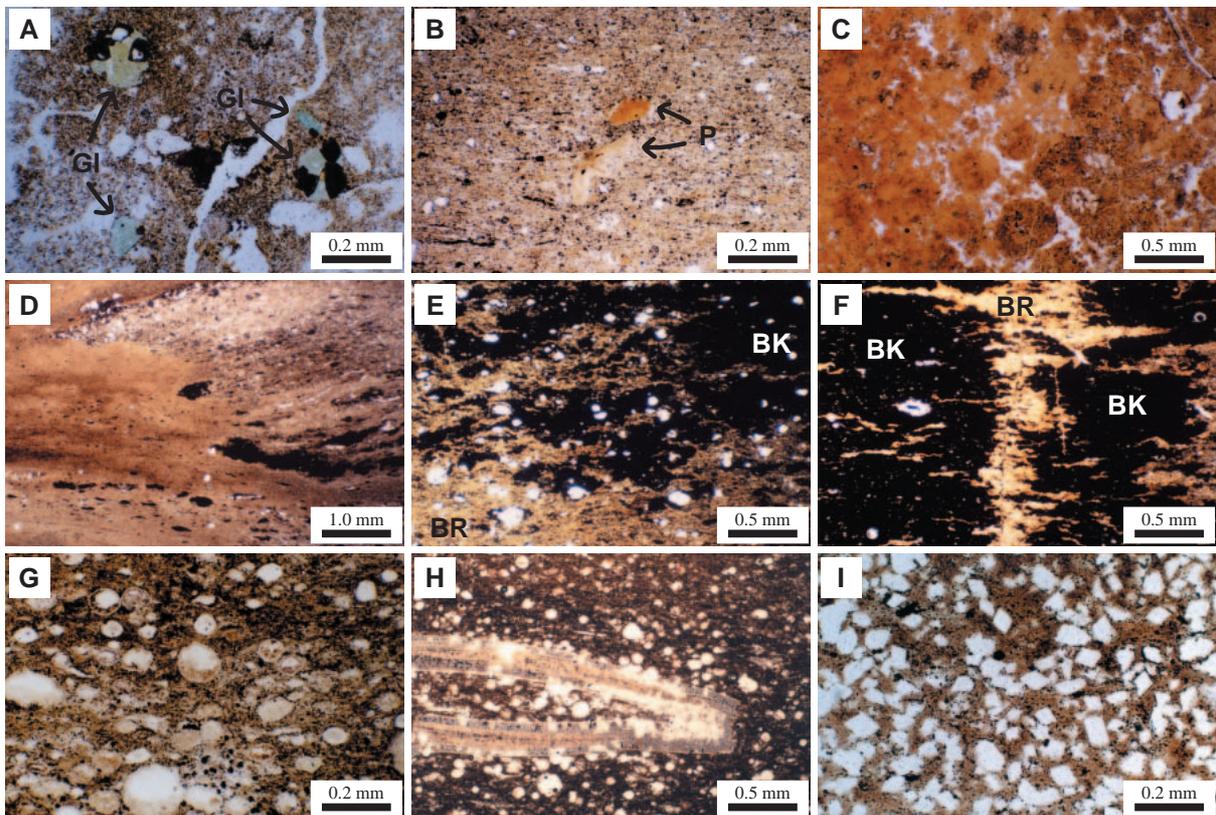


Fig. 4. Polished surfaces of black chert (A-D) and nectic chert (E and F) samples from the Anmenkou section. Sampling horizons are shown in Fig. 2. All scale bars indicate 2cm. A) CH-01. B) CH-24. C) CH-27. D) CH-39. E) NEC-01. F) NEC-03.



2.1. 黒色チャート

最下位のチャート層(CH-01)は、それより上位のチャートと異なり、擾乱を受け層状構造が乱されている(Figs. 4A and 5D)。石英、長石、雲母などの碎屑粒子を含み、そのほかにリン酸塩鉱物の粒子が含まれている。

GAセクションおよびGBセクション下部のチャートは黒色・堅硬で、肉眼で堆積構造は認められない。単層の層厚は1~10cmで、一般に単層中央部の黒色部と上下両端の褐色部からなる(Fig. 4B)。黒色部と褐色部の境界は、シャープに見える場合もあるが、多くは漸移・不定形で不鮮明である。褐色部の厚さは数mm程度の場合が多いが、試料によっては黒色部より厚くなったり(Fig. 4C)、まれに黒色部がない場合もある。

GBセクションの上部、GCセクションやGDセクションのチャートは、灰黒色から黒褐色を呈し、平行ラミナが見られる試料が多い(Fig. 4D)。下部のチャートより泥質で脆く、風化が進んでいる。

鏡下では、基質は隠微晶質石英や黒色の有機物からなり、ほかに若干の粘土鉱物が見られる。基質には流理のような構造が見られる場合がある。放散虫や海綿骨針などの生物遺骸が含まれているが、その量比は試料によって異なる。放散虫や海綿骨針は層理面と平行に配列する 경우가多く、それによってできた層状の堆積構造が見られる。また、幾つかの試料にはマイクロスタイロライトが認められる。チャートには微細な脈や割れ目が認められる。これらの脈は、隠微晶質、極細粒またはカルセドニー質な石英や、EPMA分析によるとFeやSに富みK・Al・P・Siなどを含む黄褐色の二次生成鉱物によって充填されており、空隙も伴われる。チャート単層の黒色部と褐色部の違いは、基質の黒色有機物の有無によると考えられる(Fig. 5E)。褐色部の分布は、脈や割れ目に沿って黒色部中に延びる場合がある(Fig. 5F)。

チャートには多数の放散虫や海綿骨針などの生物遺骸が認められるが、特に球状放散虫が多い。放散虫化石の骨格の内部はカルセドニー質石英で充填されている場合が多く、他に泥質物や有機物、細粒石英によって充填されている場合や、充填物がなく空隙となっている場合があり、これらが複合していることもある。充填物が泥質物や有機物とカルセドニー質石英から成る場合には、Bird's-eye structureのような上方指示堆積組織が見られることが多い(Fig. 5G)。まれに、基質や放散虫化石の内部に菱形の空隙が形成されている場合がある。また、上部のチャートには珪化した貝化石片が含まれることがある。特にCH-52には肉眼で確認できる大きさの貝化石片が幾つも含まれている(Fig. 5H)。

2.2. ネクティックチャート

GBセクションから5層のネクティックチャートが確認された。単層は層厚が10cm~24cmと、黒色チャート層よりも厚い(Fig. 3F)。全体に小さな空隙があることによりがさがさした表面を持ち、切

← **Fig. 5.** Thin section photomicrographs of mudstone and chert of the Gufeng Formation from the Anmenkou section. Sampling horizons are shown in Fig. 2. All photomicrographs were taken under plane-polarized light. A) Glauconite pellets (Gl) in mudstone from the basal part of the PNMM (MS-01). B) Mudstone including phosphate grain and phosphatized fossil fragment (P) (MS-02). C) Phosphorite spherules and pellets in phosphate nodule (PN-01). D) The lowest chert bed of the SRM including some clastic grains, suffered disturbance (CH-01). E) Irregular boundaries between black part (BK) and brown part (BR) in black chert (CH-02). F) The distribution of brown part (BR) extending around the small vein (CH-10). G) Radiolarians filled by organic matter/muddy material and chalcedonic quartz show bird's-eye structure that indicates stratigraphic top direction (CH-48). H) Silicified shell fragments in the uppermost chert bed (CH-52). I) Rhombohedral cavities (white colored part in the picture) in the nectic chert (NEC-01).

断面には肉眼で平行ラミナが認められる (Fig. 4E). 新鮮な面では黒褐色から褐色を呈し, 風化するとオレンジ色を帯びた褐色を呈する. 試料 NEC-03 のみ黒色部を薄層として持つ (Fig. 4F). 最大の特徴は非常に軽いことで, NEC-01 の比重 (かさ比重) は約 $1.1 \sim 1.2 \text{g/cm}^3$ である.

鏡下では, 多数の空隙が重なり合っているのがわかる (Fig. 5I). 個々の空隙は菱形をしており, 大きさは 0.1mm 程度である. 露頭表面などの一部の例外を除いて, 空隙には充填物が存在しない. ネクティックチャートにはまれに放散虫遺骸が残存しているが, それらは細粒な多結晶石英によって充填されている. 基質は主に隠微晶質石英からなる. NEC-03 の黒色部には放散虫化石や有機物が多く含まれており, 逆に褐色の部分には空隙が多い.

2.3. 泥岩・珪質泥岩

チャートと互層をなす泥岩や珪質泥岩は褐色を呈し, 時に層状で剥離性がよい. 下部では泥岩・珪質泥岩の割合は少ないが, 上部では層厚が厚くなり, 相対的に泥岩の割合が増加する (Figs. 3E and 3G). 鏡下では, 放散虫, 海綿骨針などの微化石のほか, 石英, 長石などの碎屑粒子がまれに観察される. 放散虫や海綿骨針などの量比は試料によって大きく異なる. 一部の試料では放散虫や海綿骨針の配列による層状の堆積構造が見られ, マイクロスタイロライトも認められる. まれに, 基質や放散虫骨格の内部に菱形の空隙が形成されている場合がある.

2.4. 凝灰質泥岩

凝灰質泥岩は白色からオレンジ色を示し, 非常に脆く, 手で簡単に壊れる (Fig. 3H). 風化が進んでいるために鏡下での観察は困難であるが, 若干の石英, 長石, 燐灰石, セリサイトの粒子が確認された.

考 察

Gufeng 層の堆積環境の変化

Qixia 層と Gufeng 層の非整合面直上の泥岩は海緑石のペレットを含んでいる. 一般に海緑石は, よく攪拌された aerobic な $50 \sim 200 \text{m}$ 程度の浅い海洋で, 碎屑物供給が極端に少ない, または堆積速度が非常に遅い環境下で形成される (Tucker, 1991; Prothero and Schwab, 1996). このことから, Gufeng 層が堆積を始めた時には, 堆積場は相対的に浅かったことがわかる.

含リン酸塩ノジュール泥岩部層の上部には, リン酸塩ノジュールが多数含まれている. リン酸塩ノジュールは還元的な, 堆積速度の遅い, 水深 $60 \sim 300 \text{m}$ の外側陸棚 (outer shelf) などに形成される (Tucker, 1991; Prothero and Schwab, 1996). その要因となるのは, 深層水の湧昇 (upwelling) と, それに伴う植物プランクトンの大量発生である. GA セクションのチャートにもまれにリン酸塩の粒子が含まれているが, その量は非常に少ない. 植物プランクトンの大量発生による有機物の過剰な供給は, 非常に還元的な環境を作り出し, 結果としてリン酸塩ノジュールは形成されなくなる (Tucker, 1991). 恐らくこのようなメカニズムが働いて, 珪質岩部層では有機物が多いにも関わらず, リン酸塩ノジュールが形成されにくくなったと考えられる. また, GB セクションでもリン酸塩ノジュールが見ついている. このリン酸塩ノジュールが再堆積ではないとすると, 堆積場は 300m 前後より深くはならなかったと考えることができる.

珪質岩部層の最下部のチャート層 (CH-01) には未固結変形構造が認められ、碎屑粒子も含まれている。しかし、それ以降に堆積した黒色チャートには未固結変形の証拠はない。また、これらの黒色チャートには鏡下で観察される碎屑粒子はほとんど含まれておらず、放散虫や海綿骨針などの生物遺骸が主要な構成物質となっている。

チャート単層の有機物の多い部分は黒色部を、少ない部分は褐色部を作っている。黒色部と褐色部の境界が不鮮明であり、脈にそって褐色部が広がるなどの構造が見られることから、有機物は続成過程に移動したことが示唆される。

GBセクションに含まれるネクティックチャートには、菱形の空隙が多数認められる。空隙の形態から、これらはドロマイトの結晶が溶解して形成されたと考えられる。ドロマイト仮像の自形性が良いこと、放散虫遺骸にもドロマイト仮像が認められることから、ドロマイトは碎屑粒子として供給されたのではなく、堆積後にドロマイト化作用によって形成されたことがわかる。Zhu et al. (1999) は、これらのネクティックチャートは石灰質堆積物が再堆積してできたと推測している。

GCセクションやGDセクションなどの上部のチャートでは、黒色部の色調が灰色を帯び薄くなる。このことは、有機物の相対的な減少を表していると考えられる。その要因として、A) 有機物を堆積させていた微生物の減少、または、B) 還元環境からやや酸化環境へ移行したため有機物が分解されるようになったことを示唆している。GD最上部のチャートには珪化した貝化石が含まれており、引き続いて堆積している Yinping 層から生痕化石が産することから、堆積場が浅海化していったことがわかる。

以上をまとめると、Gufeng 層の堆積環境は、最初期の浅海で aerobic な環境から、堆積場の深化と共に anoxic な環境に移行し、後期に再び浅海化したことがわかる。このように、Gufeng 層はひとつの海進海退サイクルを記録していると考えられる。

謝 辞

現地調査では、南京大学の呉 春寅教授、元・安徽省地質鉱産局の齋 敦倫氏に大変お世話になった。名古屋大学大学院環境学研究科テクトニクス研究室の皆様には日頃から議論していただいた。本研究の一部に文部省科学研究費 (Grant no. 09045033) を使用した。記して感謝の意を表します。

文 献

- Bureau of Geology and Mineral Resource of Anhui Province (1987) Regional geology of Anhui Province. *Geological Publication House, Beijing*, 721. (in Chinese with English summary)
- Jiang, N., Jia, R., Wang, Z., Qi, D., Yu, Z., He, Y., Chen, X., Zhao, L., Zhuo, E., Zhang, X., Zhu, Zi., Zhu, Zo. (1994) Permian palaeogeography and geochemical environment in Lower Yangtze region, China. *Petroleum Industry Press, Beijing*, 206. (in Chinese and English)
- 亀高正男・永井ひろ美・武辺勝道・朱 嗣昭・齋 敦倫・呉 春寅 (2001) 中国安徽省巢湖地域、ペルム系 Gufeng 層中の "Nectic chert" (多孔質チャート) —産状と地球化学的特徴—. *日本地質学会第108年学術大会講演要旨*, 215.
- Nagai, H., Zhu, S., Kametaka, M. and Wu, C. (1998) Preliminary report on Middle Permian radiolarians from the Gufeng Formation at Anmenkou, Chaohu City, Anhui Province, China. *Bull. Nagoya Univ. Furukawa Museum*, no.14, 115-123.
- Prothero, D. R. and Schwab, F. (1996) Sedimentary geology: An introduction to sedimentary rocks and stratigraphy. *W. H. Freeman and Company, New York*, 575.

- Tucker, M. E. (1991) Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks, 2nd ed. *Blackwell Scientific Publications, Oxford*, 260.
- Zhu, S., Nagai, H., Kametaka, M. and Wu, C. (1999) Nectic chert, a very peculiar type of siliceous rock. *Geol. Jour. China Univ.*, **5**, 345-350. (in Chinese with English abstract)