

## 新潟県青海石灰岩の中部ペルム系にみられる陸上露出層準と干潟堆積物

早川 直樹<sup>1)</sup>・中澤 努<sup>2)</sup>・上野 勝美<sup>3),\*</sup>

(平成19年12月21日受理)

### A Middle Permian Subaerial Exposure Surface and the Overlying Tidal-flat Deposits in Seamount-capping Shallow-marine Carbonates of the Omi Limestone, Niigata Prefecture, Central Japan

Naoki HAYAKAWA<sup>1)</sup>, Tsutomu NAKAZAWA<sup>2)</sup> and Katsumi UENO<sup>3),\*</sup>

(Received November 30, 2007)

#### Abstract

Detailed observation of thin sections and slabs of samples from the Middle Permian of the Omi Limestone, central Japan, reveals the presence of a subaerial exposure surface together with the recognition of sedimentary facies in its underlying and overlying strata. The limestone succession examined can be subdivided into three facies units. Unit 1 consists mainly of oolitic bioclastic grainstone of a shoal facies and represents the evidence of post-depositional subaerial emergence and karstification such as the presence of black pebbles, crystal silt, solution vugs, and meteoric cements. Unit 2 is composed of lime-mudstone, wackestone, and fine-grained bioclastic packstone with black pebbles and paleosol-bearing clasts particularly in the latter two microfacies. Dolo-mudstone and its breccias are also common in this unit, suggesting frequent alternations of desiccation and brecciation by intermittent storm-disturbance. This unit is interpreted as representing a tidal-flat facies. Unit 3 is composed of polymictic limestone conglomerate of possibly sedimentary origin, thus presumable of its original stratigraphic superposition on Unit 2, although this conglomerate may also suffer, more or less, later tectonic mixing. From the sequence stratigraphic point of view, Unit 1 is considered to be sediments of high-standing sea

---

<sup>1)</sup> 福岡大学大学院理学研究科地球圏科学専攻 (研究生), 〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1  
Program of Earth System Science, Graduate School of Science, Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan

<sup>2)</sup> 産業技術総合研究所, 地質調査総合センター, 〒305-8567 つくば市東1-1-1  
Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba 305-8567 Japan

<sup>3)</sup> 福岡大学理学部地球圏科学科, 〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1  
Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan

\* Corresponding author (Email: katsumi@fukuoka-u.ac.jp)

level, and Unit 2 to be that of early transgression. Thus the erosional subaerial exposure surface between Unit 1 and Unit 2 can be interpreted as a sequence boundary (unconformity) caused by a sea-level fall. Based on the fusuline age-examination of Unit 3, together with correlation to similar tidal-flat deposits in the Akiyoshi Limestone in Southwest Japan, the tidal-flat deposits in Unit 2 are considered to have been formed during earliest Murgabian (Middle Permian) time. The precedent sea-level falling event highly reflects the eustacy.

Key words: fusulines, Middle Permian, Murgabian, Omi Limestone, sea-level change, sedimentary facies, sequence boundary, subaerial exposure, tidal-flat deposits.

## はじめに

ペルム紀付加体である秋吉帯（市川，1984）には，山口県の秋吉石灰岩，広島県の帝釈石灰岩，新潟県の青海石灰岩など，パンサラッサ海洋起源の海山（海洋島）型石灰岩体が数多く分布する（Kanmera *et al.*, 1990; Kanmera and Sano, 1991）（Fig. 1）. 海洋島では基盤の単純な沈降に伴い炭酸塩堆積体が上方へ成長するため，秋吉帯の石灰岩を含む海洋島起源の炭酸塩堆積物には，地質時代の海洋環境変化が連続的に記録されていると考えられる（Nakazawa, 2001）.

秋吉帯の海山型石灰岩における堆積学的研究は，例えばOta (1968)，長井 (1978)，橋本 (1979) の秋吉石灰岩における研究や，長谷ほか (1974) による帝釈石灰岩での研究，最近の中澤 (1997)，Nakazawa (2001) の青海石灰岩石炭系の研究など，石灰岩に関しては比較的多くの報告がなされているものの，ペルム系については多いとはいえない．また近年では，石灰岩内からペンダントセメント（pendant cement）等のヴァドースセメント（vadose cement），マイクロコディウム（*Microcodium*），クリスタルシルト（crystal silt）などのさまざまな陸上露出組織が認定されるようになってきた（例えば，Sano *et al.*, 2004; Nakazawa and Ueno, 2004; Sano, 2006）. とりわけNakazawa and Ueno (2004) は，中部ペルム系で掘削されたボーリングコアをもとに秋吉石灰岩においてはじめてシーケンス層序学的な解析を行い，陸上露出面（シーケンス境界）とその前後の堆積相変遷，それに

関連した陸上露出組織，海水準変動の詳細を報告している．しかしながら，秋吉帯の海山型石灰岩の多くが塊状無層理である上，多くの場合散点的な石灰岩柱の露頭からなるため，野外での連続的な露頭観察に基づく堆積相解析を行った研究は未だ少なく，特に陸上露出層準の認定に関する報告はこれまでのところ行われていない．

筆者の一人である早川は，2004年度福岡大学理学部地球圏科学科卒業研究において，青海石灰岩北西部地域の層序およびフズリナ群集を検討した（早川，2005MS）. この研究の過程で，

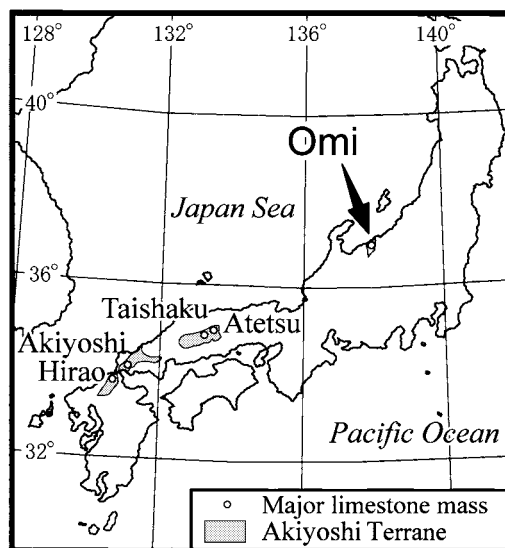


Fig. 1. Map showing distributions of Akiyoshi Terrane and its major limestone masses.

青海石灰岩のペルム系において明瞭な陸上露出層準およびそれに付随した干潟堆積物を発見した。本研究では、この陸上露出層準の堆積物および陸上露出組織を記載するとともに、この発見の意義について考察する。

### 地質概説および研究方法

青海石灰岩は、新潟県糸魚川市西部（旧青海町）に、幅約2 km、長さ約8 kmにわたって北西－南東方向に細長く分布する（Fig. 2）。本石灰岩体の北東側と北西側には砂岩、泥岩、チャートからなる青海非石灰岩層群（長谷川・後藤，1990）が分布しており、青海石灰岩は、これらと共に西南日本内帯のペルム紀付加体である秋吉帯の一部を構成する。また、石灰岩の南側はより新期の堆積岩類、流紋岩類に広く覆

われる（Fig. 2）。

本石灰岩は、塩基性溶岩や塩基性凝灰岩を覆う、炭酸カルシウムの純度が極めて高い石灰岩からなり（中澤・島内，2006）、層厚は少なくとも約1000mに達する（長谷川・後藤，1990）。石灰岩の大部分が塊状無層理であるため、秋吉石灰岩同様、青海石灰岩でもこれまで化石帯をもとにした層序区分が行われてきた。長谷川・後藤（1990）は有孔虫類（特にフズリナ類）に基づいて青海石灰岩に10化石帯を認定し、その形成年代が前期石炭紀Viséanから中期ペルム紀Midianであることを明らかにしている。

本研究では、新潟県糸魚川市歌から南東方向に約1.5kmのところに位置する、上越工業株式会社親不知鉱山旧採石場内の標高約400m付近の残壁（世界測地系での緯度経度N36°59'38.8"，

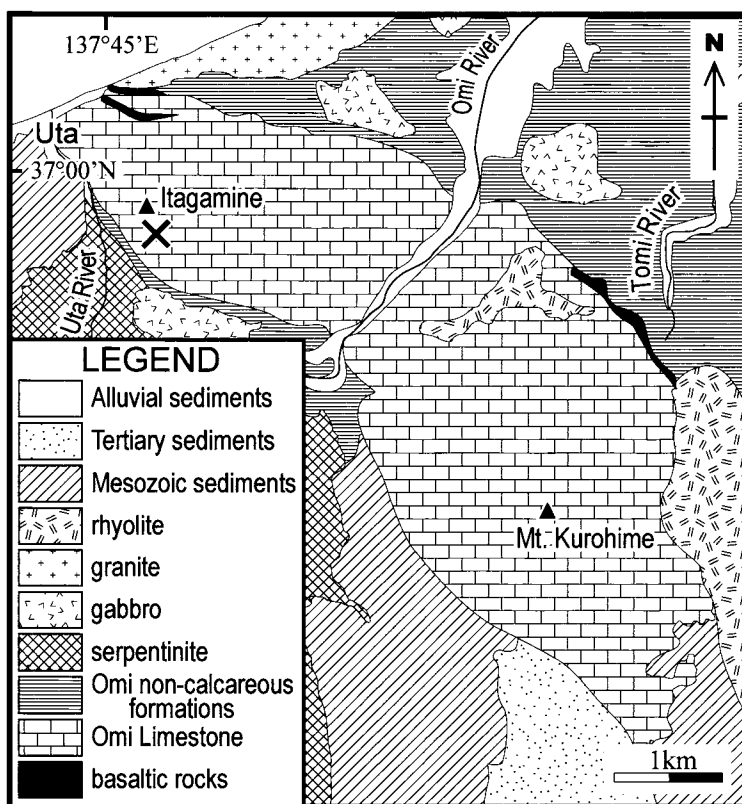


Fig. 2. Geologic map of Omi area (modified from Hasegawa and Goto, 1990). A cross mark (×) indicates location of study sections.

E137°45'12.5"）において調査を行った（Fig. 2）。この調査地点は、長谷川・後藤（1990）の地質図では中部ペルム系 *Parafusulina* 帯の分布域に含まれている。ここでは、青海石灰岩の中部ペルム系が残壁沿いに全面露出しているため、岩相を連続的に検討することができる。本研究では、採石場内へ向かう道沿いの残壁に CDA、CDB の 2 セクションを設定し、調査を行った（Fig. 3）。

野外調査では、陸上露出面と考えられる境界面の前後の層準について、1/10ないし1/20スケールの岩相柱状図を作成し、同時に露頭を代表する試料を採集した（Fig. 4）。得られた全 14 試料（CDA1~7、CDB1~7）について、微岩相検討用の大型薄片と研磨面試料（スラブ）を作製した。また、堆積年代を明らかにするため、フズリナ化石の定方位薄片の作製も行った。

### 岩相記載とその解釈

本研究では、CDA セクションと CDB セクションに見られる石灰岩を、構成粒子、粒径、基質の有無などに基づき 3 つの岩相ユニット

（下位より岩相ユニット 1、岩相ユニット 2、岩相ユニット 3）に区分した（Fig. 4）。以下に、各岩相ユニットの記載と、その解釈について記述する。また、代表的な試料の薄片顕微鏡写真およびスラブ写真を Figs. 5, 6 に示す。

### 1. 岩相ユニット 1

#### 岩相記載

主に灰色から暗灰色の oolitic bioclastic grainstone からなる（Fig. 5-1, Fig. 6-1,2）。今回詳細な観察を行った CDA セクションでは、岩相ユニット 1 に相当するのはセクション最下部の層厚 1.3m 程度にすぎないが（Fig. 4）、さらに下位に向かって 10m 以上同様な岩相が続いている。

本ユニットを構成する oolitic bioclastic grainstone は、主にウミユリ片、小型有孔虫、凝集粒子、マイクロブ粒子からなり、黒色礫（black pebble）を含む（Fig. 5-1, Fig. 6-1,2）。これらの粒子は円磨度が高く、多くが 1mm 以下のサイズからなる。また、これらの粒子はウーイド皮殻で薄く被覆されているものも多い。一般に、粒子間隙にはモザイク状透明

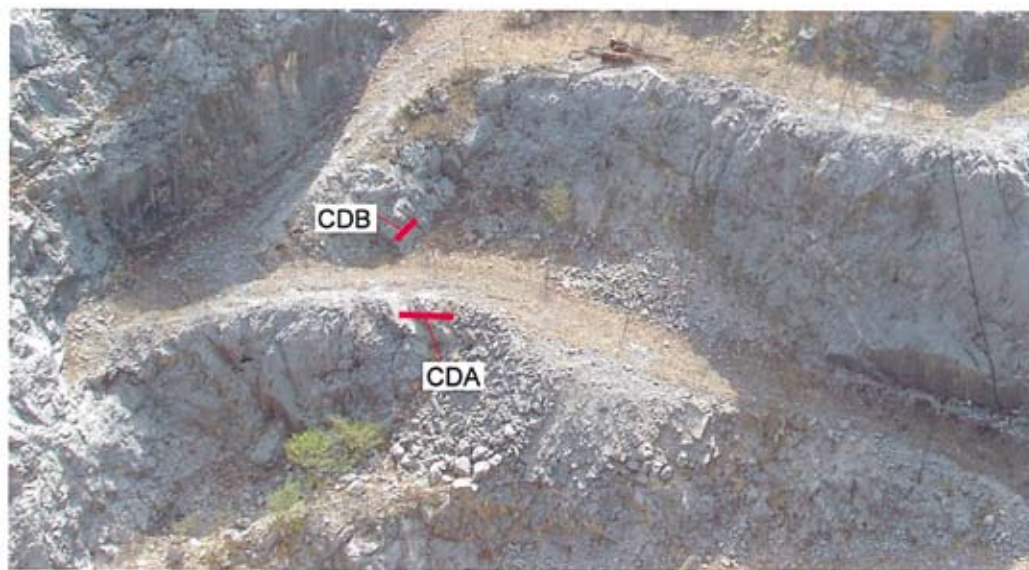


Fig. 3. Overview of study sections. Commanding CDA and CDB sections southwestward from a bench of approximately 530 m above sea level in Oyashirazu Quarry (Joetsu Kogyo, Co. Ltd.).

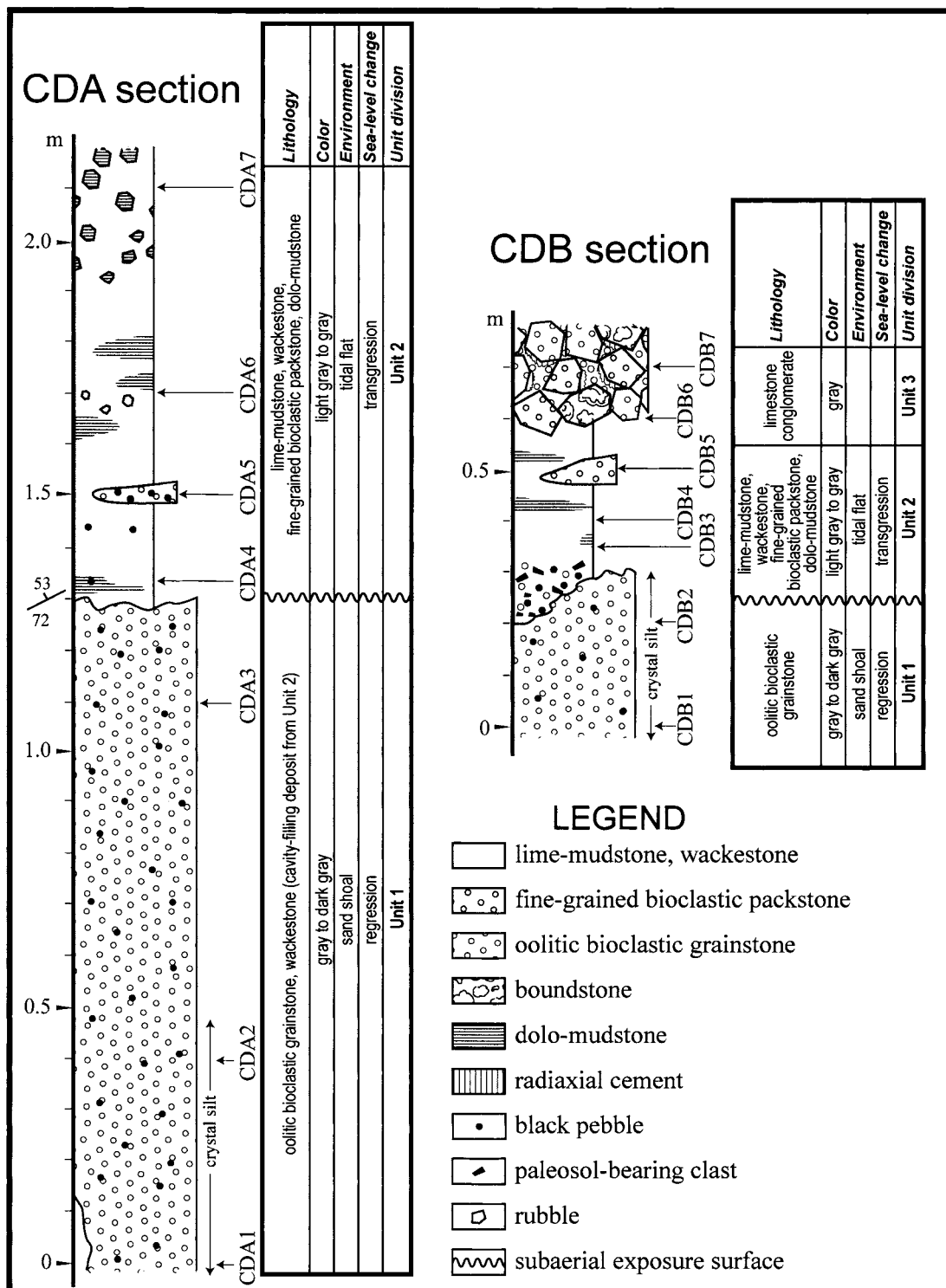


Fig. 4. Geologic logs of CDA and CDB sections.

方解石セメントが発達している (Fig. 6-2).

oolitic bioclastic grainstoneの中には、パッチ状にwackestoneが見られることがある。このwackestoneには、少量の貝形虫や1mm以下のウミユリ片が認められる。パッチ状のwackestoneと周囲のoolitic bioclastic grainstoneとの境界はスタイロライトとなっている (Fig. 5-1)。また、oolitic bioclastic grainstoneは部分的に、粒子表面が薄い粒状の等厚セメント (circumgranular cement: Flügel, 2004) で被覆され、その内部がクリスタルシルトにより充填されている場合がある (Fig. 5-2)。クリスタルシルトは、鏡下では暗灰色のシルトサイズ粒子からなり、起源の特定が困難な極細粒の生砕物を少量含む。生砕物に乏しいシルトサイズ粒子から構成されている点において、クリスタルシルトはこのユニットのwackestoneに類似する。

#### 堆積環境

岩相ユニット1は、円磨度が高いoolitic bioclastic grainstoneが卓越することで特徴づけられる。このことから、定常的な波浪にさらされる砂州や砂堆の堆積物であることが考えられる。一方、本ユニットにパッチ状に見られるwackestoneは、同様の特徴をもったwackestoneが後述する岩相ユニット2でも認められることから、岩相ユニット1の主体をなすoolitic bioclastic grainstoneが陸上露出を被ることにより形成された比較的大きな空隙 (溶食空洞) を、岩相ユニット2の堆積物が充填したものである可能性が高い。両者は、初生的には堆積接触関係をもっていたが、後にスタ

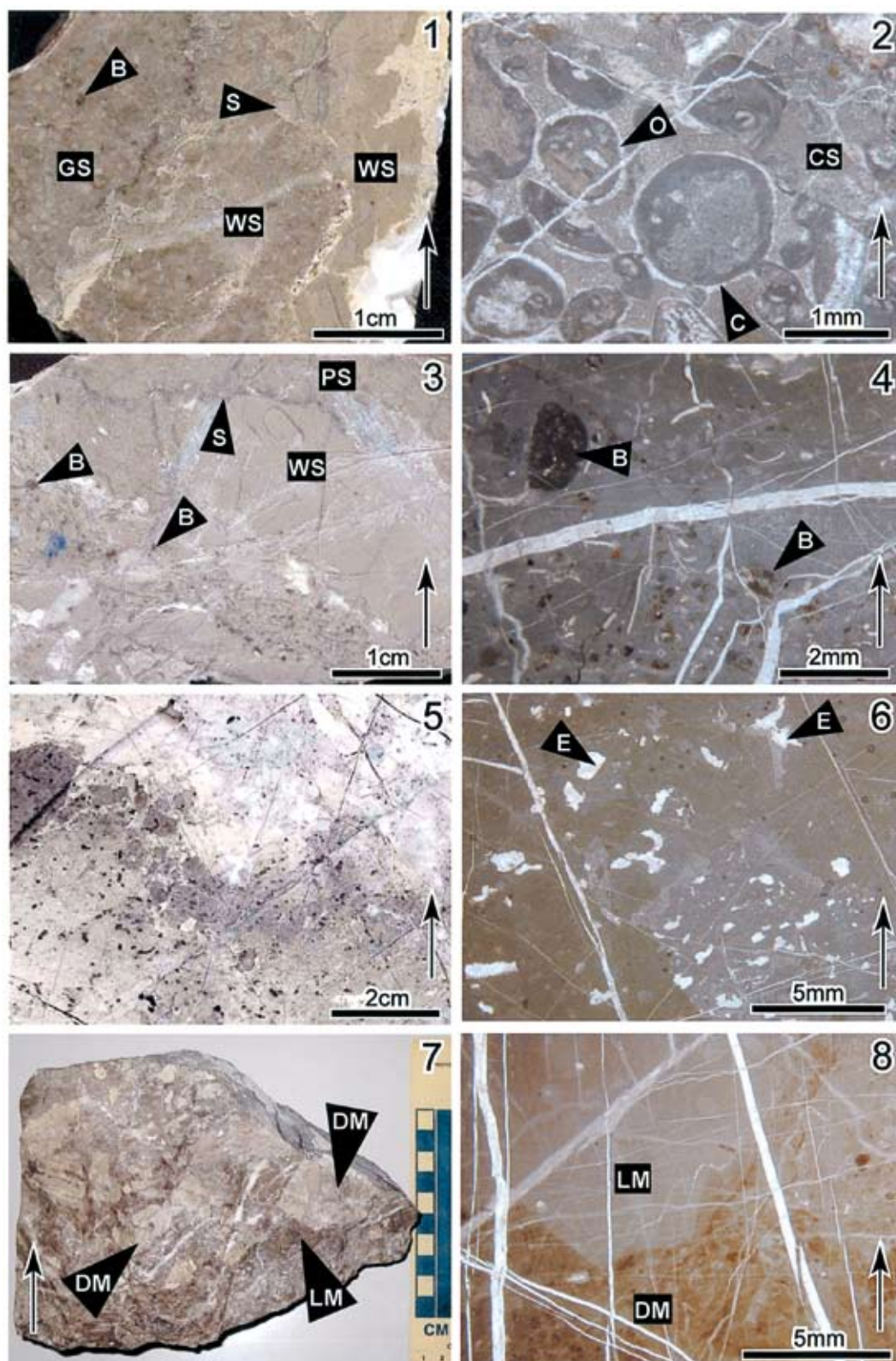
イロライトで接するようになったものと考えられる。

クリスタルシルトの成因に関しては、一般に通気帯環境下で形成されたヴァードースシルト (vadose silt) であると考えられている (Dunham, 1969)。しかしながら、本ユニットの上位には石灰泥を主とする岩相ユニット2が認められること、また後述するようにそれが海進期の干潟堆積物と考えられることを考慮すると、このクリスタルシルトは岩相ユニット1のwackestone同様、海進期初期に形成された細粒堆積物がカルスト化の過程で形成された微小空隙を充填したものである可能性も指摘できる。この場合、クリスタルシルトの形成環境は、陸上露出時の通気帯であるというよりはむしろ海成であることが考えられる。粒子表面を薄く被覆する粒状等厚セメントは、淡水飽和帯での形成が示唆されることから (Flügel, 2004)、陸上露出による空隙の形成と淡水続成環境下での等厚セメントの形成、その後のクリスタルシルトによる残された空隙の埋積、という形成過程が考えられる。

黒色礫は、スラブ表面では暗灰色、薄片では暗褐色を呈している。その起源としては、陸上露出した石灰岩が侵食を受け礫化して再堆積したもので、黒色化の原因として陸上植物や藻類の分解によりもたらされた有機物による着色、あるいは鉄硫化物による汚染が考えられている (Strasser, 1984)。そのため、黒色礫は陸上露出の重要な指標となる。本ユニットに見られるoolitic bioclastic grainstone中の黒色礫も、その堆積当時すでに石灰岩の陸上露出地域

Fig. 5. Slab photographs (1,3,5,7) and thin-section photomicrographs (2,4,6,8) of samples from CDA section. Arrows indicate upward direction of strata. 1. Polished surface of CDA1. GS: oolitic bioclastic grainstone, WS: wackestone, B: black pebble, S: stylolite. 2. Bioclastic-oolitic sediments in Unit 1 with meteoric isopachous cement and crystal silt, CDA1. C: circumgranular cement, CS: crystal silt, O: cortices of ooid. 3. Polished surface of CDA5. WS: wackestone, PS: fine-grained bioclastic packstone, S: stylolite, B: black pebble. 4. Wackestone, CDA5. B: black pebble. 5. Polished surface of CDA6. Small dark spots represent open spaces (birds-eye) filled with sparry calcite. 6. Lime-mudstone with open-space structure, CDA6. E: birds-eye filled with dorsi mosaic spar cements. Some birds-eyes are partly filled with micritic materials, showing geopetal fabric. 7. Polished surface of CDA7. DM: dolo-mudstone breccia, LM: micritic (lime-mudstone) matrix. 8. Lime-mudstone with dolo-mudstone breccias, CDA7. DM: dolo-mudstone breccia, LM: lime-mudstone (matrix).





が周辺にあり、そこで形成された黒色礫が砂州・砂堆の堆積物中に運搬されてきたものと推測される。また、本ユニットのgrainstoneが全体的に暗灰色を呈していることについても、黒色礫の黒色化のプロセスと同様に、石灰岩の陸上露出時の有機成分による汚染が考えられる。このような暗灰色石灰岩は、秋吉石灰岩においても陸上露出面の直下に認められている (Nakazawa and Ueno, 2004)。

## 2. 岩相ユニット2

### 岩相記載

岩相ユニット2は主に灰色から灰白色の細粒石灰岩からなり (Fig. 5-3~8, Fig. 6-3~6), 鏡下ではlime-mudstone, dolo-mudstone, wackestone, 細粒bioclastic packstoneが認められる。岩相ユニット2の層厚は、CDAセクションでは90cm以上、CDBセクションでは約40cmである (Fig. 4)。岩相ユニット2と岩相ユニット1の境界は不規則な形状を示し、スタイロライトで接している部分が多い。しかしながら、一部では岩相ユニット1のoolitic bioclastic grainstoneが削剥を受け、岩相ユニット2の細粒bioclastic packstoneやwackestoneが直接累重する様子も観察できる。

岩相ユニット2を構成する石灰岩のうちlime-mudstoneはほとんど生砕物を含まず、均質な印象を与える石灰泥からなる。まれに、色調の異なるlime-mudstoneの角礫が認められることがある。また、しばしば透明方解石により充填された、やや不規則に分布する数mm程度の空隙 (鳥の眼構造: birds-eye

structure) が認められる (Fig. 5-5,6, Fig. 6-6)。一方、wackestoneと細粒bioclastic packstoneは貝形虫やウミユリ片を含むが、生物遺骸片の多くは摩滅により分類群が不明である。合併の貝形虫の中にはジオベタル構造を示すものもある。dolo-mudstoneは、岩相ユニット2の中部~上部にかけてみられる。特にその上部では、dolo-mudstoneが数cm程度の角礫となって灰色泥質石灰岩に含まれている (Fig. 5-7,8)。

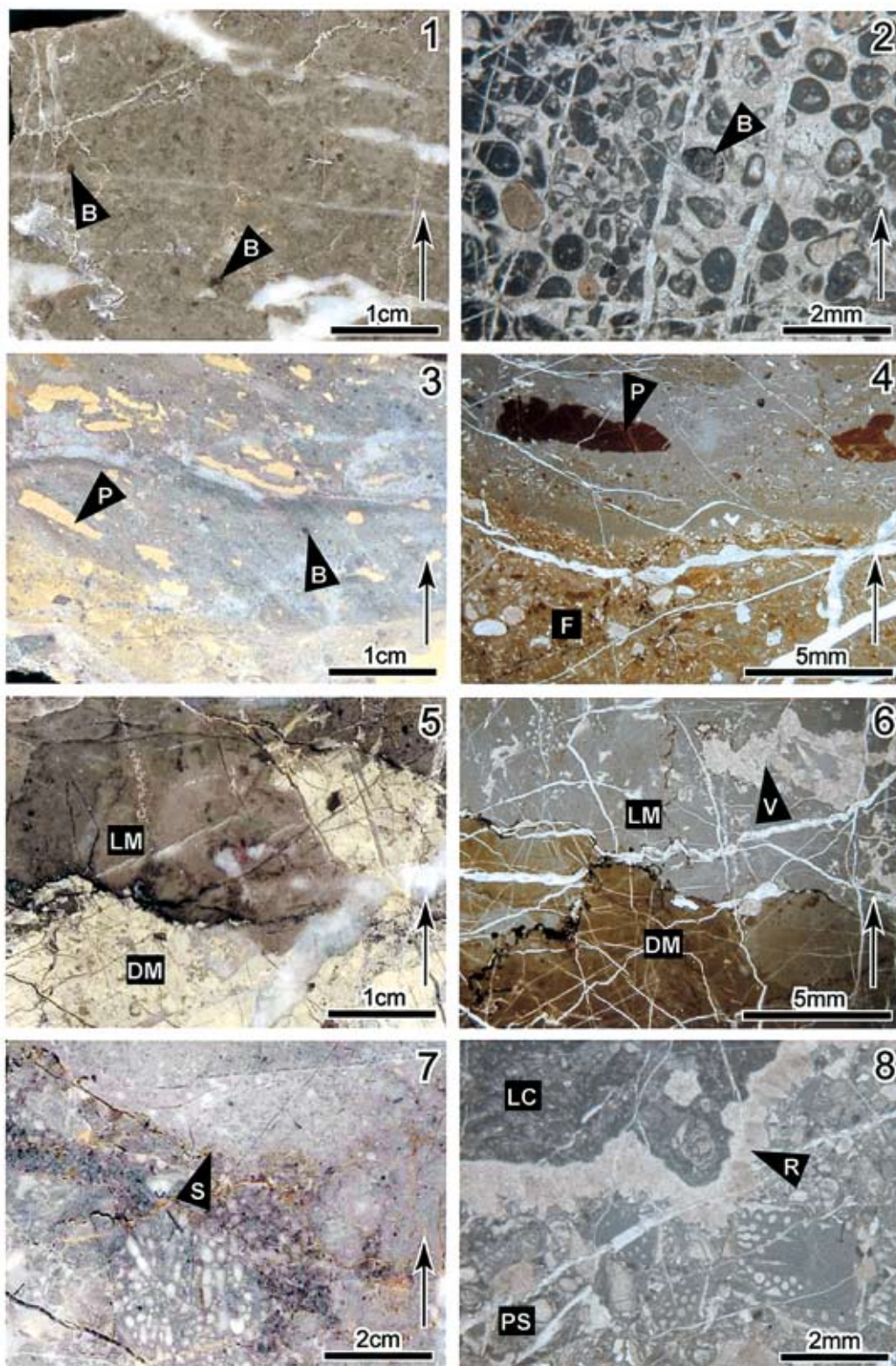
wackestoneや細粒bioclastic packstoneには、黒色礫が散在する (Fig. 5-3,4, Fig. 6-3)。黒色礫は、本ユニットの下位の層準ほど多く見られ、上位に向かって産出量が少なくなる。また、本ユニット下部 (サンプルCDB2) に見られるwackestoneや細粒bioclastic packstoneには、最大1cm程度の黄白色~黄褐色を呈した土壌質石灰泥 (“古土壌”) 岩片が多量に含まれている (Fig. 6-3,4)。この岩片は、大型のものはしばしば平板型をした角礫状で、周囲の石灰岩と比べると固結度が若干低い。さらに、岩片を含む細粒bioclastic packstone自身も、土壌物質の混入を示す黄色味がかかった色合いを呈している (Fig. 6-3)。

### 堆積環境

岩相ユニット2は泥質堆積物からなり、粗粒な粒子は土壌質石灰泥の角礫を除くと少ない。したがって、波浪の影響が極めて低い環境下で堆積したことが推測される。また本ユニット下部では、黒色礫や土壌質石灰泥角礫の混入といった、陸上露出に関連した粒子も見られる。角礫化したdolo-mudstone、同一岩相内に見られる石灰泥の角礫、各岩相を境するスタイロ

Fig. 6. Slab photographs (1,3,5,7) and thin-section photomicrographs (2,4,6,8) of samples from CDB section. Arrows indicate upward direction of strata. 1. Polished surface of CDB1. B: black pebble. 2. Bioclastic grainstone, CDB1. B: black pebble. 3. Polished surface of CDB2. P: paleosol-bearing clast, B: black pebble. Note characteristic ocher color of paleosol-bearing clasts and fine-grained bioclastic packstone (lower part of slab). 4. Fine-grained bioclastic packstone/wackestone, CDB2. P: paleosol-bearing clast, F: fine-grained bioclastic packstone with small fragments of paleosol-bearing clasts. 5. Polished surface of CDB4. DM: dolo-mudstone, LM: lime-mudstone. 6. Lime-/dolo-mudstone, CDB4. DM: dolo-mudstone, LM: lime-mudstone, V: void. 7. Polished surface of CDB6, showing conglomeratic appearance. S: stylolite. 8. Limestone conglomerate, CDB7. LC: limestone pebble, PS: packstone matrix with angular clasts, R: radial cement developed on surface of limestone pebble.





ライトは、乾燥による亀裂や暴風作用による底質の礫化のため形成されたものと考えられることができる (Henrich, 1984). 岩相ユニット 2 に見られる生物相の多様性は通常、海成堆積物と比べ著しく低いことから、その堆積場が水温や塩分変化の激しい、ストレスに富む環境であったことが想定できる。また、lime-mudstone に見られる鳥の眼構造は、潮間帯上部および潮上帯に特徴的なことが知られている (例えば Flügel, 2004). 以上のことから岩相ユニット 2 は干潟堆積物であると考えられる。

### 3. 岩相ユニット 3

#### 岩相記載

本ユニットは灰色の石灰岩礫岩からなる (Fig. 6-7, 8). 石灰岩礫岩は、粒径数 cm から十数 cm 程度の多源的な角礫と、角張った粒子を含む bioclastic packstone からなる基質とで構成されている。礫同士境界はスタイロライトで接しているのに対して (Fig. 6-7), 礫と基質境界ではしばしば礫表面が溶かされ、そこから radial cement が発達している場合がある (Fig. 6-8). 層厚は、確認した限りでは CDB セクションで約 20 cm 以上ある (Fig. 4).

基質の bioclastic packstone には、破碎されたフズリナやウミユリが豊富に見られる。また石灰岩礫はいくつかの異なる岩相を示し、石灰藻、カイメン、マイクロブからなる boundstone、フズリナが卓越する grainstone、フズリナとウミユリが卓越する packstone が認められる。

#### 堆積環境

生物礁の地形および環境区分的観点では、石灰岩礫岩相は一般に礁斜面環境で形成されることが多い (Longman, 1981; Nakazawa, 2001). しかしながら、この石灰岩礫岩の直下には背礁側に相当する干潟堆積物が認められることから、この石灰岩礫岩が礁斜面環境で堆積したとは考えにくい。

本ユニットの石灰岩礫岩は角張った粒子を含む packstone からなる基質と、複数の岩相を示す石灰岩礫から構成されている。この礫岩と見かけ上類似した石灰岩礫岩は、初成的石灰岩

の物理的破壊によっても形成されることが知られており、Sano and Kanmera (1991) はこれをタイプ A 石灰岩角礫岩 (Type A limestone breccia) とよんでいる。したがって岩相ユニット 3 の石灰岩礫岩は、このような物理的破壊の過程を少なくともその形成過程の一部で経験している可能性も指摘できる。しかしながら、野外では岩相ユニット 2 と岩相ユニット 3 の間に大規模な構造的ギャップは認められず、むしろ直接累重する様子が観察できる。また後述するように、石灰岩礫内に見られるフズリナが示す年代にも大きな時代差は認められない。今回の結果では、岩相ユニット 3 に相当する石灰岩礫岩の形成環境を特定することはできないが、少なくとも岩相ユニット 2 と岩相ユニット 3 の間には初生的な層序関係が残されていることが考えられる。

#### フズリナ年代

本研究では、各ユニットの堆積年代を求めるためフズリナ化石の検討を行ったが、今回の研究でフズリナ化石が得られたのは岩相ユニット 3 のみからであった。得られたフズリナは、*Neofusulinella? pseudogiraudi* (Sheng), *Nankinella* sp., *Parafusulina kaerimizensis* (Ozawa), *Pseudofusulina* sp., *Pseudodoliolina* sp., *Afghanella ozawai* Hanzawa, *Neoschwagerina simplex* Ozawa の 7 種である (Fig. 7). このうち、grainstone の礫には *P. kaerimizensis* が豊富に見られ、他にも *A. ozawai*, *Pseudofusulina* sp., *Pseudodoliolina* sp., *N.? pseudogiraudi*, *Nankinella* sp. が産出した。一方 packstone の礫からは *A. ozawai* が多産し、*N.? pseudogiraudi* も認められた。また、基質部分からは *P. kaerimizensis*, *A. ozawai*, *N. simplex* が得られた。ただし、基質部分からのフズリナの一部は、それ自身が細礫サイズの礫粒子である可能性もある。

これらのフズリナのうち、*Parafusulina kaerimizensis*, *Afghanella ozawai*, *Neoschwagerina simplex* の 3 種は岩相ユニット 3 の年代を考察する上で重要である。Ueno (1996) によると、秋吉石灰岩では *N. simplex* は *Misel-*

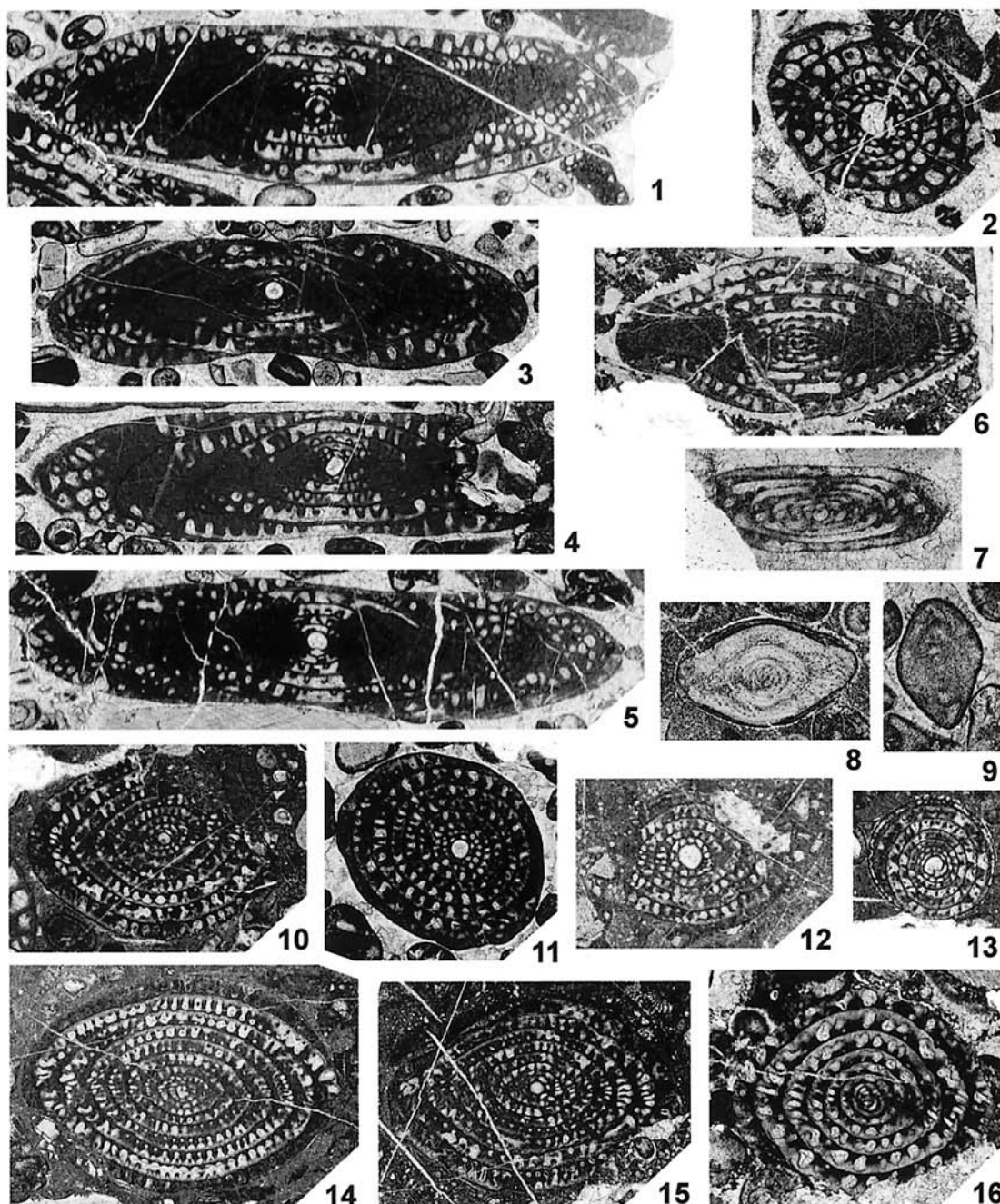


Fig. 7. Fusulines from Unit 3. 1-5. *Parafusulina kaerimizensis* (Ozawa), 1,3-5: axial sections, 2: tangential section, CDB7, x12. 6. *Pseudofusulina* sp., axial section, CDB6, x12. 7. *Pseudodoliolina* sp., axial section, CDB7, x30. 8. *Neosulinella?* *pseudogiraudi* (Sheng), axial section, CDB7, x30. 9. *Nankinella* sp., axial section, CDB6, x30. 10-15. *Afghanella ozarwai* Hanzawa, 10,12,14,15: axial sections, 11,13: tangential sections, CDB6, x15. 16. *Neoschwagerina simplex* Ozawa, axial section, CDB7, x20



*lina claudiae*帯の最上部（中期ペルム紀のMurgabian最前期）にのみ産出が限られ、*P. kaerimizensis*は*Parafusulina kaerimizensis*帯から*Neoschwagerina craticulifera robusta*帯（概ねMurgabian前期）にかけて産出する。また、*A. ozawai*は*P. kaerimizensis*と共存し、*Afghanella ozawai*帯（Murgabian前期）にのみ産する。今回得られたその他の種についても、これらの年代論と大きく矛盾するものはない。秋吉石灰岩では*P. kaerimizensis*, *A. ozawai*, *N. simplex* 3種の共存は知られていないものの、これらはいずれも中期ペルム紀のMurgabian前半を特徴づける指標種である。したがって岩相ユニット3の石灰岩礫岩は、秋吉石灰岩での既存データとの比較において若干異なる年代の礫が認められるとはいうものの、年代的にまったく異質の礫から構成されているわけではない。礫岩自体の形成年代としては、基質に含まれるフズリナおよび石灰岩礫中の最も若い年代を示すフズリナから、恐らくMurgabian中頃（*Afghanella ozawai*帯の年代）ではないかと考えられる。

一方、今回の検討では岩相ユニット1および2からは時代決定に有効なフズリナは得られなかったが、早川（2005MS）は今回検討した岩相ユニット1の層準よりも数m下位の層準から、正切縦断面標本（tangential section）ではあるものの*Darvasites*に似た円筒形のフズリナを得ている。*Darvasites*は前期ペルム紀後半（Sakmarian~Bolorian）から産する属である（Leven, 1993）。このフズリナの同定には若干の問題が残されるものの、岩相ユニット1の年代としては前期ペルム紀の最後期頃である可能性が指摘できる。

## 考 察

岩相ユニット1（oolitic bioclastic grainstone）には、黑色礫、クリスタルシルト、溶食空洞、淡水セメントなど、陸上露出により形成されたと考えられるさまざまな組織が見られる。岩相ユニット1は前述のように砂州あるいは砂堆で形成されたと考えられるが、このような組織が見られることから、堆積後、陸上露出

を被ったことが推測される。つまり、岩相ユニット1は高海面期の堆積物と捉えられ、その後の海水準の低下により岩相ユニット1全体が陸上露出したものと考えることができる。したがって、この陸上露出面はシーケンス境界とみなすことができる。

岩相ユニット2は、堆積相の特徴から泥質の干潟堆積物と考えられる。本ユニットを構成するlime-mudstone, wackestone, 細粒bioclastic packstoneはしばしば角礫化したlime-mudstoneやdolo-mudstoneを含む。これらは汀線付近での短期間の堆積と干出が繰り返されることで形成されたものである。Nakazawa and Ueno (2004)によると、このような干潟堆積物がシーケンス境界直上にまとまって分布することは、海水準低下後、反転して海水準が緩やかに上昇したことを示唆している。これらのことより、岩相ユニット2は海進期初期の堆積物であるといえる。

岩相ユニット1が陸上露出した海水準低下時期およびその上位の干潟堆積物の堆積年代については、得られたフズリナ化石をもとに推定することができる。前章で述べたように、岩相ユニット1は前期ペルム紀最後期頃の堆積物である。一方、岩相ユニット3（石灰岩礫岩）から産する最も古い年代を示すフズリナは*Neoschwagerina simplex*であり、その年代はMurgabian最前期と考えられる（Ueno, 1996）。したがって、海水準低下時期および干潟堆積物の年代としては、中期ペルム紀前半のKubergandianからMurgabian最前期頃が考えられる。

本論文の青海石灰岩中部ペルム系で認められたものに類似した陸上露出面（シーケンス境界）およびその上下の堆積物は、Nakazawa and Ueno (2004)によって秋吉石灰岩からも報告されている。彼らは、秋吉台帰り水地域で掘削された“帰り水学術第1号ボーリング”（太田ほか, 1973）の深度45~60mのコアを検討し、これをクリスタルシルトやalveolar texture, 淡水セメントなど、さまざまな陸上露出関連組織を伴う砂州相（bioclastic grainstone：ユニットA）と、それを覆う干潟相（lime-/dolo-mudstoneなど：ユニットB）、さらに

その上位のラグーン相 (bioclastic-peloidal packstone/grainstone : ユニットC) の3つの岩相ユニットに区分した。このうち、砂州相を高海面期堆積体、干潟相およびラグーン相を海進期堆積体とし、両者の境界となる陸上露出面をシーケンス境界とした。

本報告の岩相ユニット1は、堆積シーケンスの観点から Nakazawa and Ueno (2004) のユニットAに、岩相ユニット2はユニットBにそれぞれ相当すると考えられる。特に、今回の岩相ユニット2の干潟堆積物と Nakazawa and Ueno (2004) のユニットBのそれは、堆積物のさまざまな特徴 (岩相、生物相、色相など) が酷似している。しかしながら、Nakazawa and Ueno (2004) による秋吉石灰岩のシーケンス境界は、フズリナ化石帯では *Neoschwagerina craticulifera robusta* 帯と *Verbeekina verbeekii-Afghanella schencki* 帯の境界に概ね相当するもので、そのフズリナ化石年代は Murgabian 後期と今回の青海石灰岩のものより明らかに新しい。

一方、中澤ほか (2003) によると、秋吉石灰岩のベルム系には、このほかにも *Levenella leveni* 帯 (前期ベルム紀後期の Yakhtashian 後期)、*Neoschwagerina simplex* 帯 (Murgabian 最前期)、そして *Colania douvillei* 帯最下部 (Midian 前期) にも同様な干潟堆積物がまとまって分布し、それらもシーケンス境界直上の海進期初期の堆積物である可能性が高いとしている。このうち、今回青海石灰岩親不知採石場から報告した干潟堆積物は、年代的には秋吉石灰岩の *Neoschwagerina simplex* 帯のものにほぼ対比可能である。このように、本研究によって、青海石灰岩からも秋吉石灰岩と同時期と思われるシーケンス境界と、それを覆う干潟堆積物が見いだされたことにより、これらが汎世界的な海水準低下とその後の海水準上昇により形成されたものである可能性が高いことが明らかになった。言い換えれば、秋吉帯の海山型石灰岩には、グローバルな海水準変動が極めて良好に記録されているということが本研究により示されたといえよう。

## まとめ

本研究では、青海石灰岩ベルム系において堆積相およびフズリナ化石の検討を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

- 1) 調査セクションに見られる石灰岩は、下位より岩相ユニット1, 2, および3の3つのユニットに分けられる。このうち、岩相ユニット1は oolitic bioclastic grainstone からなる砂州あるいは砂堆相、岩相ユニット2は lime-mudstone, dolo-mudstone, wackestone, 細粒 bioclastic packstone に代表される干潟相である。岩相ユニット3は石灰岩礫岩からなり、斜面相の石灰岩礫岩に似るが、本研究ではその形成環境を特定することはできなかった。
- 2) 岩相ユニット1 (砂州あるいは砂堆相) の上部には黒色礫、クリスタルシルト、溶食空洞といった陸上露出とカルスト化の証拠が認められる。また、岩相ユニット1の上位には、侵食を伴う明瞭な岩相境界を介して岩相ユニット2 (干潟相) が累重する。
- 3) 各ユニットに示される堆積相の変遷により、岩相ユニット1は高海面期堆積体、岩相ユニット2は海進期堆積体であると考えられる。また、岩相ユニット1と2の間に見られる陸上露出面は、海水準の低下によって形成された不整合面、すなわちシーケンス境界と考えられる。
- 4) フズリナ化石の年代学的検討から、今回認定した陸上露出面およびそれを覆う干潟堆積物は、恐らくベルム紀中期の Kubergandian から Murgabian 最前期に生じた海水準の低下と、その後の緩慢な海水準上昇イベントを記録している可能性が指摘できる。
- 5) 同年代の干潟堆積物が秋吉石灰岩にも残されていることから、本研究で推定した海水準変動は汎世界的なものである可能性が高い。

## 謝 辞

本稿をまとめるにあたって、上越工業株式会社親不知鉱山の小林浩志氏および上野笑子氏には、野外調査に際して採石場内立ち入りの便宜

をおはかりいただいた。また、福岡大学理学部地球圏科学科の石原与四郎博士には原稿の校閲を賜った。以上の方々に深く感謝いたします。

# 引用文献

- Dunham, R. J., 1969, Early vadose silt in Townsend mound (reef), New Mexico. *SEPM, Special Publ.*, 14, 139-182.
- Flügel, E., 2004, *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer, Berlin/Heidelberg, 976p.
- 長谷 晃・沖村雄二・横山鶴雄, 1974, 帝釈台とその周辺の古生層, とくに石灰岩層の堆積相について. 広島大学地学研究報告, 第19号, 1-39.
- 長谷川美行・後藤道治, 1990, 青海地方の古生界・中生界. 日本地質学会第97年会(富山), 見学旅行案内書, 228-260.
- 橋本恭一, 1979, 秋吉台南部地域における秋吉石灰岩層群の堆積相について. 秋吉台科学博物館報告, 第14号, 1-26.
- 早川直樹, 2005MS, 青海石灰岩中部地域の岩相層序とフズリナ群集変遷. 福岡大学理学部地球圏科学科卒業論文, 103p., 37pls.
- Henrich, R., 1984, Facies, dolomitization and karstification of lagoonal carbonates: Triassic of the Northern Alps. *Facies*, 11, 109-156.
- 市川浩一郎, 1984, 東アジアの基盤構造の発達. 藤田和夫編「アジアの変動帯」, 開文堂, 223-238.
- Kanmera, K. and Sano, H., 1991, Collisional collapse and accretion of late Paleozoic Akiyoshi seamount. *Episodes*, 14, 217-223.
- Kanmera, K., Sano, H. and Isozaki, Y., 1990, Akiyoshi Terrane. In Ichikawa, K., Mzutan, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A. eds., *Pre-Cretaceous Terranes of Japan (Publication of IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of East Asia)*. Nippon Insatsu Shuppan, Osaka, 49-62.
- Leven, E. Ya., 1993, Main events in Permian history of the Tethys and fusulinids. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 1, 51-65.
- Longman, M. W., 1981, A process approach to recognizing facies of reef complexes. *SEPM, Special Publ.*, 30, 9-40.
- 長井孝一, 1978, 秋吉台龍護峰地域の礁性石灰岩の岩相と生相. 秋吉台科学博物館報告, 第13号, 15-34.
- 中澤 努, 1997, 青海石灰岩層群石炭系の堆積環境と造礁生物. 地質雑, 103, 849-868.
- Nakazawa, T., 2001, Carboniferous reef succession of the Panthalassan open-ocean setting: Example from Omi limestone, Central Japan. *Facies*, 44, 183-210.
- 中澤 努・島内洋志, 2006, 21.5 青海鉾山, 石灰石資源としての海山型石灰岩. 日本地質学会編, 日本地方地質誌4, 中部地方. 朝倉書店, 482-483.
- Nakazawa, T. and Ueno, K., 2004, Sequence boundary and related sedimentary and diagenetic facies formed on Middle Permian mid-oceanic carbonate platform: Core observation of Akiyoshi Limestone, Southwest Japan. *Facies*, 50, 301-311.
- 中澤 努・上野勝美・鮎沢 潤, 2003, 秋吉石灰岩ベルム系に見られる干潟堆積物の特徴と出現の周期性: コアおよび露頭観察. 日本地質学会第110年学術大会講演要旨, 239.
- Ota, M., 1968, The Akiyoshi Limestone Group: A geosynclinal organic reef complex. *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, no. 5, 1-44.
- 太田正道・鳥山隆三・杉村昭弘・配川武彦, 1973, 秋吉石灰岩層群における逆転構造の再検討. 地学雑, 82, 115-135.
- Sano, H., 2006, Impact of long-term climate change and sea-level fluctuation on Mississippian to Permian mid-oceanic atoll sedimentation (Akiyoshi Limestone Group, Japan). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 236, 169-189.
- Sano, J., Fujii, S. and Matsuura F., 2004, Response of Carboniferous-Permian mid-oceanic seamount-capping buildup to global cooling and sea-level change: Akiyoshi, Japan. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 213, 187-206.
- Sano, H. and Kanmera, K., 1991, Collapse of ancient oceanic reef complex -What happened during collision of Akiyoshi reef complex?- Limestone breccias, redeposited



- limestone debris and mudstone injections.  
*Jour. Geol. Soc. Japan*, 97, 297-309.
- Strasser, A., 1984, Black pebbles occurrence and genesis in Holocene carbonate sediments (Florida Keys, Bahamas, and Tunisia). *Jour. Sediment. Petrol.*, 54, 1097-1109.
- Ueno, K., 1996, Late Early to Middle Permian fusulinacean biostratigraphy of the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan, with special reference to the sverbeekinid and neoschwagerinid fusulinacean biostratigraphy and evolution. *Supplemento agli Annali dei Musei Civici di Rovereto, Sezione Archeologia, Storia e Scienze Naturali*, 11, 77-104.