

## 秋吉石灰岩中部ペルム系にみられる大規模干潟堆積物

Large-scale tidal-flat deposits in the Middle Permian of the Akiyoshi Limestone, Southwest Japan

## Abstract

上野勝美\* 横山嗣政\*  
中澤 努\*\* 藤川将之\*\*\*

*Katsumi Ueno\*,  
Tsugumasa Yokoyama\*,  
Tsutomu Nakazawa\*\* and  
Masayuki Fujikawa\*\*\**

\* 福岡大学理学部地球圏科学科  
Department of Earth System Science,  
Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan

\*\* 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合  
センター  
Geological Survey of Japan, AIST, 1-1-1  
Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan

\*\*\* 美祿市立秋吉台科学博物館  
Akiyoshi-dai Museum of Natural History,  
Akiyoshi, Mine 754-0511, Japan

Corresponding author: K. Ueno,  
katsumi@fukuoka-u.ac.jp

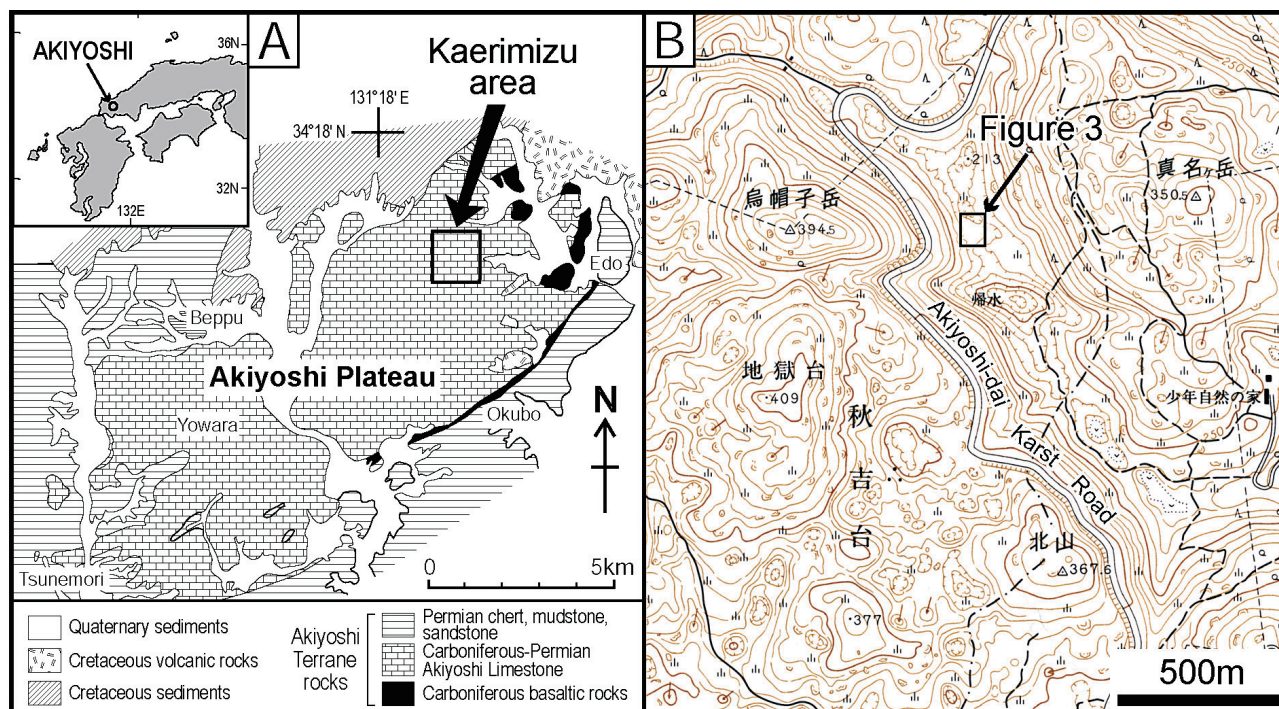
This paper deals with large-scale tidal-flat deposits and related subaerial-exposure fabrics, which are developed in the Middle Permian of the Akiyoshi Limestone distributed in the Kaerimizu area of the northeastern part of the Akiyoshi Plateau, Yamaguchi Prefecture, Southwest Japan. A number of outcrops (limestone pinnacles) that exhibit typical facies of the tidal-flat deposits and underlying sand-shoal deposits, and fabrics related with subaerial exposure and sequence boundary, in the study area are also described and illustrated. The tidal-flat deposits studied herein are approximately 38 m thick and consist mainly of lime-mudstone and dolo-mudstone with a minor amount of bioclastic packstone/grainstone, which is sometimes associated with oncoids. They are bounded by two unconformities showing marked sea-level lowstands (sequence boundaries) and can be further subdivided into four sub-units based on conspicuous stratigraphic intervals with the evidence of strong evaporation, desiccation, and dolomitization (precipitation of sedimentary dolomite, brecciation of bottom sediments, and formation of fissures) within them. These intervals represent minor sea-level drops and may imply resultant short-term emergence of a tidal-flat zone. Fusuline fossils from interbedded bioclastic limestones within the tidal-flat facies, which show a more open-marine condition, suggest that these deposits were formed during the middle Kubergandian to the earliest Murgabian in the Middle Permian. Thus, a relatively long-term continuous slow transgression and intervening minor sea-level fluctuations during the early part of the Middle Permian contributed for the accumulation of these tidal-flat deposits. The minor fluctuation would reflect higher-order sea-level cycles having a several hundred-k.y. cyclicity. The formation of the two marked unconformities above and below the tidal-flat deposits would directly reflect global eustatic sea-level lowstands. That of the unconformity-bounded, relatively thick tidal-flat deposits themselves, spanning over two stages in the Middle Permian, could also be mainly affected by a gradual eustatic rise with a minor influence from the steady-step thermal subsidence of the Akiyoshi seamount and/or underlying oceanic plate.

Key words: Akiyoshi Limestone, tidal-flat deposits, Middle Permian, sea-level change, sequence boundary, subaerial exposure.

## はじめに

山口県西部の美祿市に広がる秋吉台は国内最大級のカルスト台地を形成し、地質学的には全体が秋吉石灰岩から構成されている (Fig. 1A)。秋吉石灰岩は基底部に海洋プレート上に発達した海洋島起源と考えられるアルカリ玄武岩をとめない (Sano et al., 2000)、その上位は全体が野外ではほぼ塊状無層理を呈する、陸源物質を含まない純粋な石灰岩からなる。全体の層厚は1000m近くに

達し、そこには前期石炭紀 (ミシシッピー亜紀) Viséan から中期ペルム紀 Midian/Capitanian までの、約8000万年間におよぶ遠洋浅海域の炭酸塩岩の堆積記録が残されている (Ota, 1977; Nakazawa and Ueno, 2009)。現在、秋吉石灰岩はペルム紀付加体である秋吉帯中に、巨大な異地性岩体として分布する (Kanmera et al., 1990)。これらの特徴から、秋吉石灰岩は後期古生代のパンサラッサ大洋域の海洋島頂部に発達した環礁型炭酸塩岩を起源にもち、海洋プレートの運動で海溝域まで移動した



**Fig. 1.** Index maps showing study area in Akiyoshi Limestone, Southwest Japan. (A) Simplified geological map of Akiyoshi Plateau and surrounding region and location of Kaerimizu area. (B) Index map of study area (rectangle) in Kaerimizu of northeastern part of Akiyoshi Plateau. Base map is from 1:25,000 scale topographic map “Akiyoshidai-hokubu” published by Geospatial Information Authority of Japan.

海山上の孤立炭酸塩プラットフォームが最終的にアジア大陸東縁に付加した海洋性岩石の1つと解釈されている (Sano and Kanmera, 1988, 1991).

秋吉石灰岩の地質学的研究は、小澤 (1923) の化石層序にもとづく大規模逆転構造の発見に始まる。その後、特に古生物学分野において、フズリナをはじめ様々な生物群についての分類学的、生層序学的研究が行われてきた (例えば、Toriyama, 1958; Yanagida, 1962; Yamagiwa and Ota, 1963; Sakagami, 1964; Igo and Koike, 1965; Nishida, 1971など)。一方堆積学的研究としては、石灰岩の岩相および生相、そしてそれらの時間的空間的分布をもとに秋吉石灰岩の成因、発達過程の解析が検討されてきた (太田, 1968; 長井, 1978; 橋本, 1979)。それはさらに造礁性生物の古生態学的研究へと発展した (Nagai, 1985; 杵山・長井, 1990; Sugiyama and Nagai, 1994; 長井・杵山, 1995)。このような研究がもとになり、古生物礁複合体としての秋吉石灰岩の諸特徴が明らかにされ、とりわけ礁性堆積物の理解が進んだ。また最近では、秋吉石灰岩に記録された気候変動、長周期および短周期の海水準変動を解読する研究も行われている (Nakazawa and Ueno, 2004, 2009; Sano et al., 2004; Sano, 2006; Nakazawa et al., 2009)。このうち Nakazawa and Ueno (2004), Nakazawa et al. (2009) では、秋吉石灰岩中部ベルム系で掘削されたボーリングコア半割試料の詳細な観察を行い、これまで秋吉石灰岩

では報告の無かった高精度での堆積相および堆積相累重パターンを把握することに成功し、これをもとに秋吉石灰岩で初めて高頻度堆積シーケンスとシーケンス境界を認定した。またこれらの研究では、ほとんどの場合野外では塊状無層理に見え、そのため露頭面では一見して堆積相を捉えにくい秋吉石灰岩の中であって、生碎物に乏しいミクライト質石灰岩や明白色の色調を呈するドロマイト質石灰岩が主体の干潟堆積物は、海水準の絶対的位置および海水準低下層準の把握、さらには陸上露出面 (シーケンス境界) の認定に極めて有効であることが示された。最近では、秋吉石灰岩で明らかにされたこのような干潟堆積物とシーケンス境界認定方法を用いて、秋吉石灰岩同様パンサラッサ海洋島に起源をもつ新潟県の青海石灰岩中部ベルム系においても、早川ほか (2008) により陸上露出層準と干潟堆積物が報告され、シーケンス層序学的な観点での議論が行われている。

中澤ほか (2003) によると、秋吉台北東部の帰り水周辺に分布する秋吉石灰岩ベルム系には、下部ベルム系上部の Yakhtashian 上部 (フズリナ化石帯としては *Levenella leveni* 帯)、中部ベルム系の Murgabian 下部付近 (同じく *Neoschwagerina simplex* 帯)、そして中部ベルム系上部の Murgabian 上部 (同じく *Verbeekina verbeeki-Afghanella schencki* 帯) の3層準に明瞭な干潟堆積物が認められる。このうち上位2層準の干潟堆積物については、日本地質学会116年学術大会 (2009年9





Fig. 2. Overview of study area. Eastward view, looking down from Akiyoshi-dai Karst Road. Red circle denotes drilling site of Kaerimizu Boring No. 1.

月、岡山）での見学旅行の見学地点にも含められ、その見学旅行案内書（佐野ほか，2009）の中で簡単な露頭記載が行われている。特にMurgabian上部に認められる干潟堆積物とシーケンス境界に関しては、Nakazawa and Ueno（2004）により帰り水学術ボーリングNo. 1 コア試料中にみられるものについての詳しい記載が行われた。それに対して*Neoschwagerina simplex*帯付近の干潟堆積物は、佐野ほか（2009）でも述べられているように帰り水学術ボーリングNo. 1掘削地点（N34°16'10.6", E131°18'45.3"）周辺に広く分布し、全体の層厚が40m近くに達するが、見学旅行案内書の中でいくつかの代表的な露頭が記載、図示されているのみで、干潟堆積物全体の層序やシーケンス境界の記載は行われていない。またこの干潟堆積物についての海水準変動の観点からの議論も十分検討されていない。

そこで本報告では、帰り水学術ボーリングNo. 1掘削地点付近に分布する、中部ベルム系下部にみられる大規模干潟堆積物について野外観察に基づく層序を記載するとともに、干潟堆積物および陸上露出に関連した堆積物が観察できる代表的な露頭を記載、図示する。また、この干潟堆積物の形成年代と、そこから読み取れる海水準変動について議論する。

#### 調査地域の地質概説

調査地域である帰り水は秋吉台北東部に位置し、最低標高が178mの巨大な窪地（ドリーネ）を形成する（Fig. 1）。この地域では小澤（1923）の研究以来、秋吉石灰岩のベルム系層序、フズリナ生層序、それに基づく逆

転構造等に関する数多くの研究が行われている（例えば、Ozawa, 1925；Toriyama, 1958；太田ほか，1973；Ueno, 1996）。そのため帰り水は、秋吉台の中でも秋吉石灰岩ベルム系の地質学的諸特徴を見学する上での古典的地域として有名である。特にフズリナによる生層序学的研究が盛んに行われており、これにより詳細な化石帯区分がなされ、地表における化石帯分布図が示されている（例えば、太田ほか，1973；Ozawa and Kobayashi, 1990；Ueno, 1991, 1992）。このうちUeno（1991, 1992, 1996）は、帰り水地域の秋吉石灰岩に生層序学的に重要なフズリナの初出あるいは最終産出で特徴づけられる26の生（層序）層準（biohorizon）を認め、そのなかでも複数の調査セクションで追跡可能なものをもとに地図上に図示可能な19の化石帯を設定した。

今回報告する干潟堆積物は、帰り水ドリーネの北西約300m付近を中心に広く分布している（Fig. 1B）。ここは太田ほか（1973）による帰り水学術ボーリングNo. 1が掘削された地点であり、そのコア試料を詳しく検討したNakazawa et al.（2009）にも、孔口から深度9m付近まで干潟堆積物がみられることが記載されている。またUeno（1991）によると、この付近の秋吉石灰岩はフズリナ化石帯としては*Misellina claudiae*の出現から*Parafusulina kaerimizensis*の出現までと定義された*Misellina claudiae*帯の中～上部に相当する。この化石帯の中には基底を定義する*M. claudiae*の出現だけでなく、他にも*Misellina postclaudiae*, *Maklaya saraburiensis*, *Maklaya pamirica*, *Neoschwagerina simplex*の出現により定義される4つのフズリナ生層準が認められる。こ



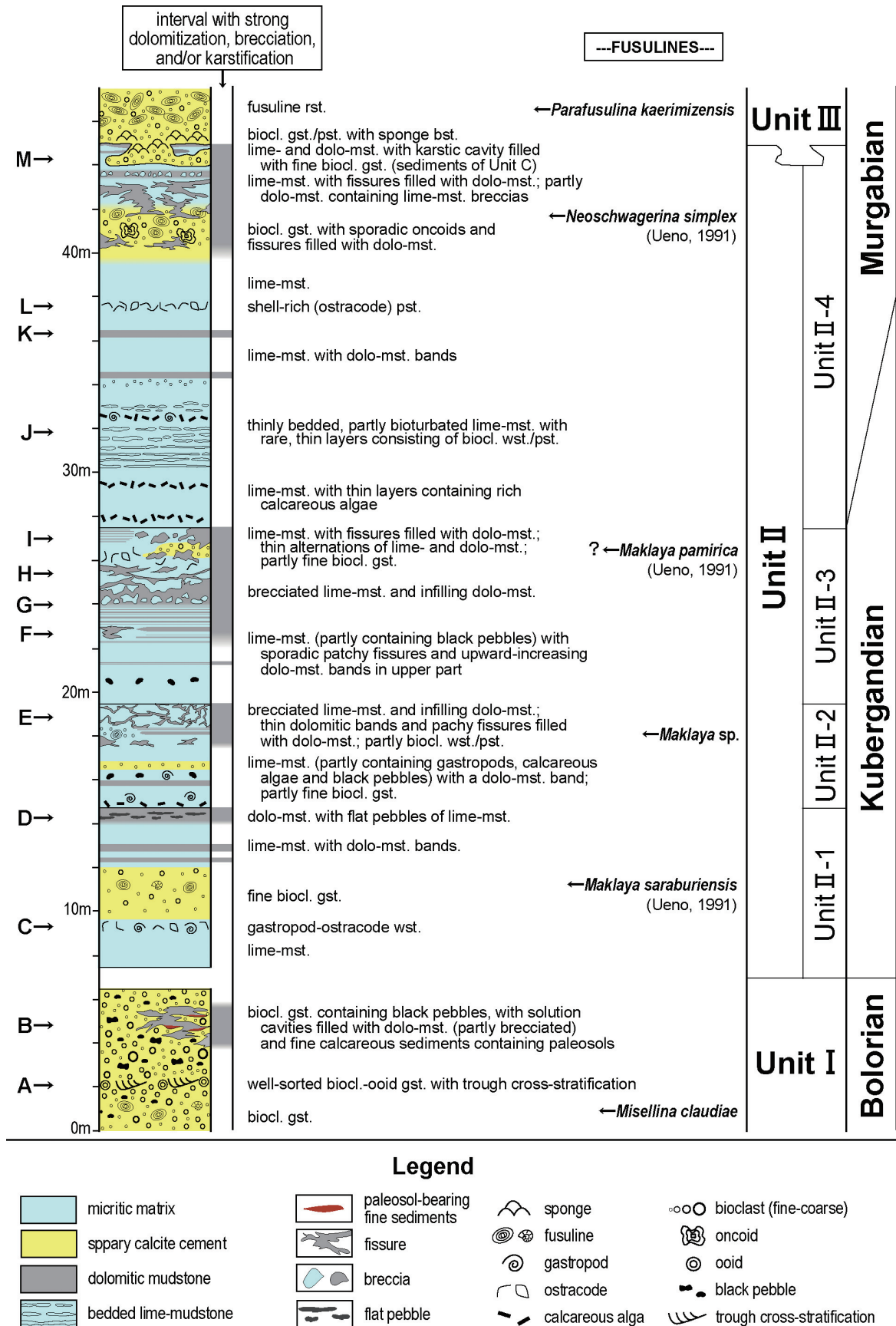
**Fig. 3.** Distributions of limestone outcrops (pinnacles or “lapies”) in study area, with indications of dips and strikes of strata. A to M indicate locations of outcrops described and illustrated in text.

れをもとに、Ueno (1996) は *Misellina claudiae* 帯を前期ペルム紀後期の Bolorian 最末期から中期ペルム紀の Murgabian 最前期に対比している。

帰り水周辺は、秋吉台の中でも石灰岩の露出が良い地域の1つである。ここでは露頭は一般に石灰岩柱（ピナクルあるいは“ラピエ”）としてみられる。今回検討し

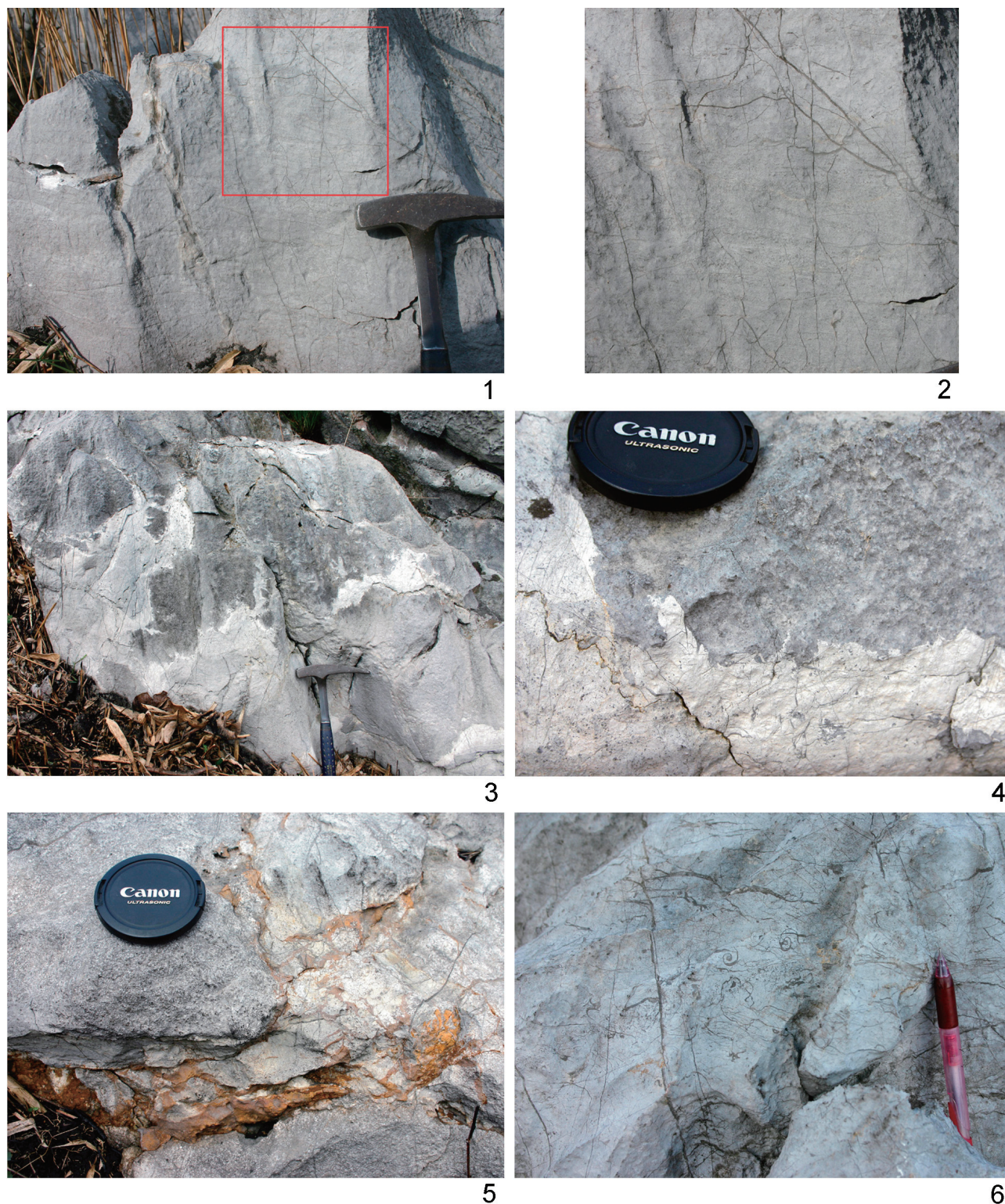
た干潟堆積物の分布地域は、帰り水地域の中でも石灰岩柱の発達が特に良く、比較的密な露頭調査が可能である (Fig. 2)。そこで調査ではまず、正確な柱状図作成に向け、干潟堆積物内の特定の層準がどのように側方へと連続するかを把握するため、1/200スケールでの石灰岩柱分布図を作成した (Fig. 3)。それをベースマップとして





**Fig. 4.** Geologic log, unit subdivisions, and age of tidal-flat deposits and underlying and overlying strata in study area. A to M on left denote stratigraphic levels of outcrops described and illustrated in text. gst.: grainstone, pst.: packstone, wst.: wackestone, mst.: mudstone, rst.: rudstone, bst.: boundstone, biocl.: bioclastic.





**Fig. 5.** Outcrop photographs showing characteristic features of tidal-flat deposits (Unit II) and underlying sand-shoal deposits (Unit I) described in this study. (1) Oolitic bioclastic grainstone with trough cross-stratification in Unit I: Loc. A. Red square corresponds to frame of Fig. 5.2. (2) Close-up view of trough cross-stratified oolitic bioclastic grainstone in Unit I illustrated on Fig. 5.1. (3) Irregular-shaped solution cavities and infilling dolo-mudstone (white part) and lime-mudstone/dolomitic lime-mudstone (light-gray part) within bioclastic grainstone (gray part) seen in Unit I: Loc. B. Cavity-infilling fine-grained carbonates are highly probably derived from overlying Unit II. (4) Close-up view of part of outcrop illustrated on Fig. 5.3. Note that bioclastic grainstone (upper, gray part) constituting major portion of Unit I and dolo-mudstone (lower, white part), which later infilled solution cavity, exhibit an irregular contact surface. (5) Bioclastic grainstone (gray part) with a solution cavity in Unit I, and infilling dolo-mudstone (whitish part) and yellowish brown, fine calcareous sediments containing paleosols: Loc. B. Note that fine calcareous sediments have a characteristic color of probably pedogenic origin. Dolo-mudstone is partly brecciated and occurs within yellowish brown, fine calcareous sediments (lower left of this photograph). (6) Gastropod-ostracode wackestone in Unit II-1: Loc. C.



露頭調査を行い、1/100スケールで柱状図を作成するとともに、典型的な干潟堆積物がみられる露頭について詳細な観察を行い、また必要に応じて露頭の写真撮影とスケッチを行った。

野外調査では、干潟堆積物とその前後の層準を中心に、南北約90m、東西約70mの範囲で露頭観察を行った（Fig. 3）。前述のように秋吉石灰岩の多くが野外では一見塊状無層理に見えるが、この干潟堆積物には明白色の色調を呈するドロマイト層準や、それがミクライト堆積物と互層する部分が頻繁にみられる。そのため、秋吉石灰岩の中では例外的に層理面を容易かつ比較的正確に認定できる。それによると、調査地域の秋吉石灰岩は概ねN40°～70°W、30°～40°NEの走向・傾斜をもち、全体が逆転している（Fig. 3）。

### 干潟堆積物の層序：岩相の記載とその解釈

Fig. 4に露頭観察に基づく柱状図を示す。今回調査したのは全体で約48mの層準である。調査地域の石灰岩は、基本的な堆積物の特徴から3ユニット（ユニットⅠ、ユニットⅡ、ユニットⅢ）に区分できる。以下に各ユニットにみられる岩相の特徴を記載し、その堆積環境、形成過程を考察する。なお、本文中で記載した、典型的な干潟堆積物および陸上露出に関連した堆積物がみられる露頭A～Mの位置をFig. 3に、その層準をFig. 4にそれぞれ示す。

#### 1. ユニットⅠ

**1.1 岩相記載** ユニットⅠは観察した範囲では最下部の約6.5mに相当するが、同様な岩相の石灰岩はさらに下位の層準へと続いている。主に塊状の灰色石灰岩からなり、比較的良く円磨された淘汰の良い中～粗粒生砕物を主体とした、黒色礫（Strasser, 1984）を含むbioclastic grainstoneが卓越する。一部にはトラフ型斜交層理が発達したoolitic bioclastic grainstoneもみられる（露頭A：Figs. 5.1, 5.2）。

このユニットの上部には、上記の灰色石灰岩（bioclastic grainstone）中に、明白色の色調をもったdolo-mudstoneや明灰色のlime-mudstone, dolomitic lime-mudstoneが露頭スケールで不規則に分布している（露頭B：Figs. 5.3, 5.4）。両者とも、部分的に貝形虫やその他の生砕物を含む。合併の貝形虫の中にはジオベタル構造が観察できることもあり、それは地層の逆転構造と調和的な結果を示す。これらの細粒堆積物とbioclastic grainstoneからなる灰色石灰岩との境界はスタイロライトで接することもあるが、Fig. 5.4に示すように両者はかなり不規則な境界を介して直接接している場合もある。またこの層準には、黄褐色を呈する石灰質細粒堆積物が不規則に分布している（露頭B：Fig. 5.5）。この堆積物中には、dolo-mudstoneが角礫として含まれることもある。

**1.2 解釈** 本ユニットの主体をなすbioclastic grainstoneやoolitic bioclastic grainstoneは、良く円磨された淘汰の良い堆積物が主体であり、それらが透明方解石でセメントされていることから、定常的な波浪、潮流等にさらされる砂州や砂堆といった高エネルギーな浅海成堆積物であることが考えられる。oolitic bioclastic grainstoneにトラフ型斜交層理がみられることも、この解釈を支持している。

一方で、上位の層準に不規則に分布するdolo-mudstone, lime-mudstoneは生砕物に乏しい細粒堆積物が主体であり、ドロマイト質の部分も多いことから、岩相的には次に述べるユニットⅡの堆積物と類似している。その分布はユニットⅠの一般的な層理面とは大きく斜交し、むしろパッチ状である。また、ユニットⅠの主体をなすbioclastic grainstoneには黒色礫がみられるが、これは陸上露出の重要な指標となることが知られている（例えば、Nakazawa and Ueno, 2004；早川ほか, 2008）。これらのことより、ユニットⅠ本体のbioclastic grainstone中に不規則に分布するdolo-mudstone, lime-mudstoneは、ユニットⅠの浅海成堆積物が陸上露出を被ることで形成された比較的大規模な溶食空洞に、ユニットⅡの堆積物が後から落ち込んだものである可能性が高い。また黄褐色を呈した石灰質細粒堆積物は、その色調や粒度、およびこの空隙が陸上露出に関連した層準であることから、古土壌を含む可能性が指摘できる。

#### 2. ユニットⅡ

**2.1 岩相記載** このユニットは約38mの層厚があり、大局的には石灰質細粒堆積物（lime-mudstone, dolo-mudstone）が卓越する。またdolo-mudstoneをとめない、角礫化や裂罅の発達に特に顕著な堆積物が数層準でみられる。このような、顕著なドロマイト質堆積物の発達と、強い角礫化、裂罅の形成が起こった層準を手がかりとして、ユニットⅡはさらに4つのサブユニット（ユニットⅡ-1～ユニットⅡ-4）に区分できる（Fig. 4）。

ユニットⅡ-1は約7mの層厚をもつ。主体をなすのはlime-mudstoneで、一部にはgastropod-ostacode wackestoneもみられる（露頭C：Fig. 5.6）。中部の約2mの層準には、フズリナが散点的にみられる細粒bioclastic grainstoneが発達する。上部では、層厚10～20cm程度のdolo-mudstoneの顕著な層準（ドロマイトバンド）を数枚挟み、最上部には層理面にほぼ平行に配列する扁平礫（flat pebble）を含む、厚さ約40cmのdolo-mudstoneがみられる（露頭D：Fig. 6.1）。

ユニットⅡ-2は約5mの層厚があり、やはり肉眼サイズの生砕物をほとんど含まないlime-mudstoneが卓越する。部分的には巻貝殻や石灰藻破片等の生砕物、黒色礫が認められる層準があり、薄いドロマイトバンドもみられる。また中部付近には、約40cmの細粒bioclastic grainstoneがみられる。上部の約2mはドロマイト質





**Fig. 6.** Outcrop photographs showing characteristic features of tidal-flat deposits (Unit II) described in this study. (1) Dolomitic mudstone with flat pebbles in Unit II-1: Loc. D. Flat pebbles are aligned almost parallel to bedding. (2) Alternations of thinly laminated dolomitic lime-mudstone (with relatively dark color-tone) and dolomitic mudstone (with light color-tone) in Unit II-2: Loc. E. (3) Dolomitic mudstone (whitish part) with brecciated lime-mudstone (gray part) in Unit II-2: Loc. E. (4) Dolomitic mudstone with thin but marked dolomitic layers (white part) in lower part of Unit II-3: Loc. F. Crust-like thin layers consisting of dolomitic mudstone are partly fragmented by fluid deformation of lime-mudstone. (5) An irregular, network-shaped fissure in lime-mudstone (dark-gray part) in lower part of Unit II-3: Loc. F. Fissure is filled with dolomitic lime-mudstone and dolomitic lime-mudstone (both whitish and light-gray parts) containing fragments of crust-like thin dolomitic layers, which are similar to those illustrated on Fig. 5.4. (6) Outcrop of laminated lime-mudstone (with dark color-tone) and dolomitic lime-mudstone/dolomitic lime-mudstone (with light color-tone) in lower part of Unit II-3: Loc. F. Upper part of this outcrop (thus stratigraphically lower due to overturn of strata) is composed mainly of massive lime-mudstone, whereas its lower tends to be more dolomitic, thus implying upward-increase of evaporation, desiccation, and resultant dolomitization.



堆積物が顕著であり、不規則なパッチ状を呈する dolo-mudstone が lime-mudstone 中に認められるようになる。ややドロマイト質な lime-mudstone の中に優白色ドロマイト質堆積物からなる葉理が発達する層準もみられる（露頭 E：Fig. 6.2）。また一部には、フズリナやウミユリ片を含む bioclastic wackestone/packstone が分布する。最上部では角礫化した lime-mudstone の間を dolo-mudstone が埋める様子が観察できる（露頭 E：Fig. 6.3）。

次の約 8 m の層準がユニット II - 3 を構成する。下部の約 4.5 m は、dolo-mudstone のバンドを挟む lime-mudstone から主に構成されている。lime-mudstone は多くは塊状で、まれに黒色礫を含む。また、皮殻状に発達した明瞭なドロマイト薄層が発達する層準もみられ、その一部は破片化していることもある（露頭 F：Fig. 6.4）。lime-mudstone の中を、このようなドロマイト薄層の破片を含む dolo-mudstone（あるいは dolomitic lime-mudstone）が層理面を切る不規則な形状で充填している様子が観察できる（露頭 F：Fig. 6.5）。全体的には、ユニット II - 3 下部の中でも上位の層準ほど薄いドロマイト層が明瞭な葉理を形成し、lime-mudstone と dolo-mudstone とが細かく繰り返すようになる（露頭 F：Fig. 6.6）。そして、上位に向かいドロマイトバンド（dolo-mudstone あるいは dolomitic lime-mudstone）の頻度が徐々に増加する。

一方ユニット II - 3 の上部 3.5 m ではより顕著なドロマイト質堆積物の形成と強い角礫化が認められる。ここでは、角礫化した lime-mudstone を含む dolo-mudstone（露頭 G と H：Figs. 7.1, 7.2）や、より明るい色調をもった dolo-mudstone と lime-mudstone が暗灰色を呈する lime-mudstone 中にネットワーク状に、一部は層理面に沿って空隙を充填するように分布する様子が観察できる（露頭 H：Figs. 7.2-7.4）。この層準のミクライト質（ペロイド質？）堆積物の中には、層状の空隙構造（fenestrae）がみられるものもある。lime-mudstone は部分的に貝形虫殻に富む。ユニット II - 3 の最上部もミクライト質堆積物が主体であるが、部分的には細粒 bioclastic grainstone も認められる。この層準の lime-mudstone には不規則なパッチ状を呈する dolo-mudstone あるいは dolomitic lime-mudstone が発達している（露頭 I：Fig. 7.5）。このうち dolomitic lime-mudstone の中には、しばしばより色調の明るい dolo-mudstone の角礫が含まれる（露頭 I：Fig. 7.6）。またこの層準の lime-mudstone には、ドロマイト薄層が頻繁に挟まれることがある（露頭 I：Fig. 7.7）。

その上位のユニット II - 4 は約 17.5 m の層準からなり、下位の約 12 m はミクライト質堆積物が主体である。ここでは、層厚約 3 m の部分で、色調の若干異なる明灰色と暗灰色の層状 lime-mudstone が明瞭な細互層を

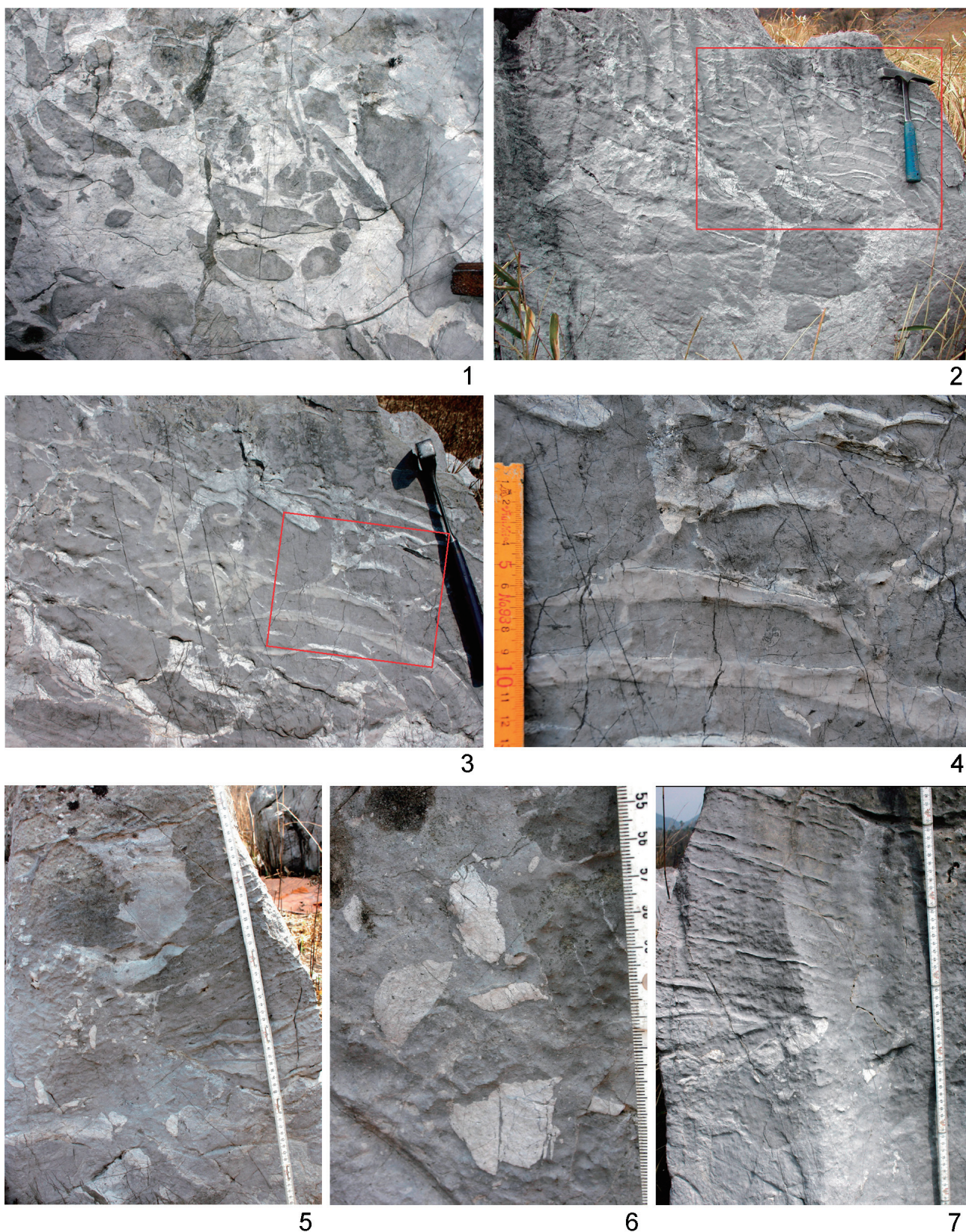
形成している（露頭 J：Fig. 8.1）。その一部には生物擾乱が認められる（Fig. 8.1 の下側の部分）。ユニット II - 4 下部の lime-mudstone は全体的には粗粒生碎物に乏しいが、貝形虫殻、巻貝殻、多毛類殻、石灰藻（恐らくカサノリ科の石灰藻類）等が密集した bioclastic wackestone/packstone の薄層が挟まれることがある（露頭 J と L：Figs. 8.2, 8.4）。また一部にはドロマイト薄層が発達する（露頭 K：Fig. 8.3）。

ユニット II - 4 上部の約 5.5 m は、下位の約 2 m ではオンコイドが散点的にみられる bioclastic grainstone（一部は恐らく packstone）が分布する。この堆積物には、粗粒生碎物としてやや大型のフズリナ殻が含まれる。一方最上部は再び貝形虫殻を含むミクライト質細粒堆積物（lime-mudstone）が主体となり、dolo-mudstone もみられる。dolo-mudstone には lime-mudstone の角礫を含むものもある。ユニット II - 4 とその上位のユニット III は極めて不規則な形態をもつ境界で接しており、ユニット III の堆積物が露頭スケールでユニット II - 4 を構成する堆積物に一部落ち込んでいる様子が観察できる（露頭 M：Figs. 8.5, 8.6）。

**2.2 解釈** ユニット II は、大半が肉眼サイズの生碎物に乏しいミクライト質堆積物からなる（Fig. 4）。粗粒な粒子は、dolo-mudstone 中にみられる lime-mudstone 角礫、あるいは lime-mudstone 中にパッチ状に発達する dolomitic lime-mudstone 中の dolo-mudstone 角礫を除くと少ない。そのため、波浪や潮流の影響をあまり受けない低エネルギー環境下で形成された堆積物であることが考えられる。一方、頻繁に挟まれるドロマイト質堆積物は、潮間帯上部や潮上帯での、蒸発と乾燥をとまなう環境で形成される（Nakazawa and Ueno, 2004）。細粒堆積物中の層状の空隙構造（fenestrae）もまた、潮間帯上部や潮上帯に特徴的なことが知られている（Flügel, 2004）。また dolo-mudstone, lime-mudstone の角礫や扁平礫は、乾燥による亀裂や暴風作用による底質の礫化により形成されたものと考えられることができる（Henrich, 1984）。これらのことから、ユニット II の主体をなすミクライト質堆積物やドロマイト質堆積物は、泥質干潟環境で堆積した堆積物とみなすことができる。これらの石灰質細粒堆積物には、貝形虫、巻貝、石灰藻がまれに含まれるのみで、通常の浅海成石灰岩と比較して生物相の多様性が著しく低い。特に、潮下帯環境で一般的な有孔虫はほとんどみられない。このことは、その堆積環境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を示唆するが、これはユニット II の主体をなすミクライト質堆積物を干潟起源とする解釈と調和的である。

ユニット II にしばしばみられる lime-mudstone と dolo-mudstone の互層（例えば、露頭 E：Fig. 6.2, 露頭 F：Fig. 6.6, 露頭 I：Fig. 7.7）は、干潟環境において頻繁に繰り返される浸水と干出があったことを示す。ユニ





**Fig. 7.** Outcrop photographs showing characteristic features of tidal-flat deposits (Unit II) described in this study. (1) Lime-mudstone breccias (gray part) and surrounding dolo-mudstone (white part) in a small pocket formed within lime-mudstone in upper part of Unit II-3: Loc. G. (2) Lime-mudstone breccias with a dolo-mudstone matrix in upper part of Unit II-3: Loc. H. Red rectangle corresponds to frame of Fig. 7.3. (3) Enlargement of upper-right part of outcrop illustrated on Fig. 7.2. Here, sediments having lighter color-tone than lime-mudstone of surrounding host carbonates are seen in network-shaped, partly layer-parallel, voids. Red rectangle corresponds to frame of Fig. 7.4. (4) Close-up view of red-rectangle portion on Fig. 7.3, showing infilling



ットⅡ-2, Ⅱ-3, およびⅡ-4のそれぞれの最上部付近のlime-mudstone中に認められる不規則なパッチ状dolo-mudstoneあるいはdolomitic lime-mudstone (例えば, 露頭F: Fig. 6.5や露頭I: Figs. 7.5, 7.6) は, 干出により生じた裂隙をドロマイト質堆積物が準同時に充填したものであろう。また, lime-mudstone中に挟まれる, 貝形虫や巻貝, 石灰藻などの粗粒生物片が密集したbioclastic wackestone/packstoneの薄層 (例えば, 露頭J: Fig. 8.2や露頭L: Fig. 8.4) は, 泥質干潟でまれに生じる暴風時のストームラグ堆積物と解釈できる。

一方上記の干潟堆積物には, 何層準かにbioclastic grainstone (一部ではbioclastic wackestone/packstoneあるいはoncolidal rudstone) が挟まれている (Fig. 4)。これらの堆積物は, 粗粒粒子としてウミユリ, フズリナ, 小型有孔虫, 石灰藻など, 浅海成石灰岩で一般的にみられる生砕物を含み, 粒子間隙には透明方解石セメントが発達している。その中には, 層厚が2mを超えるものもある (例えば, ユニットⅡ-1中部のbioclastic grainstone)。そのため, 上述の粗粒生物片が密集した薄いbioclastic wackestone/packstoneのような, 干潟環境に流入したストーム堆積物とは考えにくい。むしろ干潟からより高エネルギーな砂浜へと堆積環境そのものが変化したと考えられる。その堆積環境としては, 海水の流通の良い通常の潮下帯上部 (一部は恐らく潮間帯下部) 環境が考えられる。

ユニットⅡの最上部には露頭スケールの空隙が形成され, そこはユニットⅢの堆積物で充填されている (Figs. 8.5, 8.6)。この空隙は, ユニットⅡ最上部のlime-mudstoneとdolo-mudstoneを削り込むようにつくられている。したがって, これはユニットⅡの干潟堆積物形成後, それが海水準の顕著な低下により陸上露出を被ることで形成された, 比較的大規模な溶食空洞であると考えるのが最も妥当である。

### 3. ユニットⅢ

**3.1 岩相記載** ユニットⅢは, 観察した範囲では層厚3~4mであるが, 同様な堆積物はさらに上位まで続いている。ユニットⅢには3種類の岩相が観察できる。ユニットⅡに形成された空隙の下部 (ただし, 地層が逆転しているため見かけ上は上部) は, 淘汰の良い灰色細粒bioclastic grainstoneで埋められている (Fig. 8.6の

凡例Cの部分)。空隙の上部 (Fig. 8.6の凡例Dの部分) およびその上位50~60cmの層準は生砕物を含む灰色石灰岩 (恐らくbioclastic grainstone/packstone) が主体となるが, 部分的には小規模な石灰質海綿が自生的に堆積物を連結している様子が露頭表面で観察できる。その上位は, 良く円磨されたフズリナ (*Parafusulina kaerimizensis*) が多産する淘汰の良い灰白色fusuline rudstoneとなる。

**3.2 解釈** ユニットⅢは粗粒生砕物を含み, 透明方解石セメントの良く発達した石灰岩からなることから, 基本的には潮下帯上部の高エネルギー浅海成堆積物であり, 砂州や砂堆のような堆積場が推定される。ただし, 石灰質海綿による連結がみられるbioclastic grainstone/packstoneは, それらより若干水深の深い, やや静穏な礁湖底の堆積物である可能性がある。なおUeno (1996) によると, *Parafusulina kaerimizensis*が多産するfusuline rudstone (いわゆるフズリナ石灰岩) は*Parafusulina kaerimizensis*帯の代表的な岩相の1つである。Ueno (1996) ではこの化石帯の層厚を約15mとしているので, ユニットⅢのfusuline rudstoneに代表される砂浜堆積物は, さらに10m近い層厚をもつ可能性もある。

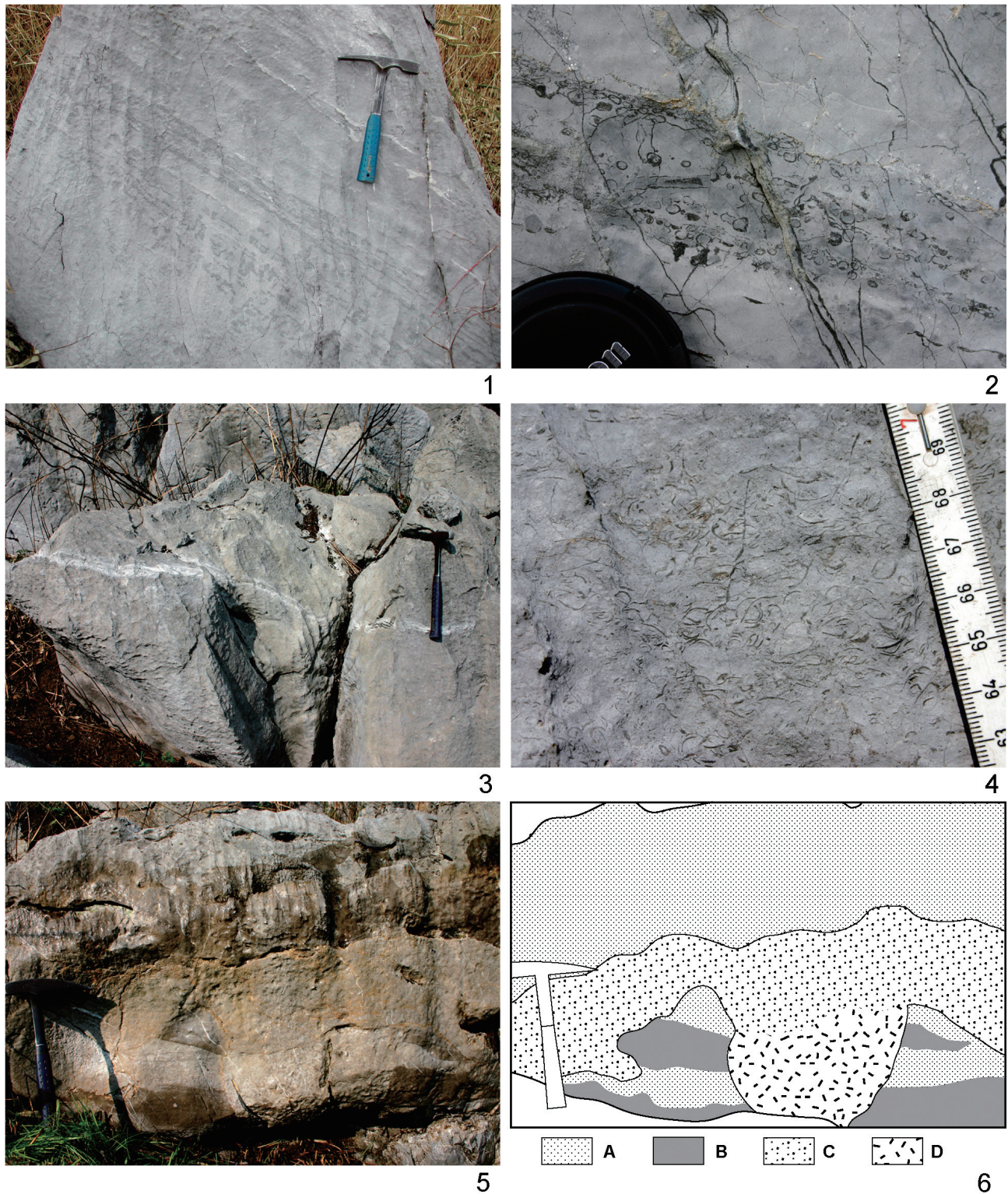
### 干潟堆積物の年代

今回の研究は野外における露頭観察のみに基づいて行われたため, 産出化石の調査, 特に薄片を用いてのフズリナの詳しい検討は行っていない。しかしながら, 幾つかの層準ではフズリナが比較的多産するため, 露頭表面でフズリナが観察できることがある。その中には, 属, あるいは種レベルでの同定が可能なものもみられた。また, 本地域では既にUeno (1991) により年代決定に有効なフズリナが報告されている。ここでは, これらの既知のデータと今回観察により得られたデータをもとに, 干潟堆積物およびその前後の堆積物の年代を検討する。Fig. 4に産出したフズリナとその層準を示す。

Fig. 3の露頭Bの北約10m付近に露出するユニットⅠ下部のbioclastic grainstoneからは, *Misellina claudiae*に恐らく同定可能なフズリナが認められた。Ueno (1996) は*M. claudiae*の年代を前期ペルム紀後期のBolorian (最) 後期と考えたが, この層準が*Maklaya*の産出層準

features of dolo-mudstone (white part) and lime-mudstone (light-gray part) within layer-parallel voids. In general, their lower parts (thus apparently upside due to complete overturn of strata) tend to be filled with dolomitic sediments, whereas light-toned lime-mudstone (lighter in color tone than surrounding lime-mudstone of host carbonates) is dominant in their upper portions. See also Fig. 7.3. (5) Dolomitic sediments [dolo-mudstone (whitish part in upper middle) and dolomitic lime-mudstone (light-gray part in lower left) with dolo-mudstone clasts (white spots in dolomitic lime-mudstone)] infilling an irregular-shaped fissure formed in laminated lime-mudstone (dark-gray part) in upper part of Unit II-3: Loc. I. (6) Close-up view of part of outcrop illustrated on Fig. 7.5. Various-sized dolo-mudstone breccias (white clasts) are scattered within dolomitic lime-mudstone (light-gray part). (7) Lime-mudstone with frequent intercalations of thin dolo-mudstone layers (slightly projected on this surface due to their resistibility against weathering) in upper part of Unit II-3: Loc. I.





**Fig. 8.** Outcrop photographs and a related outcrop sketch showing characteristic features of tidal-flat deposits (Unit II), overlying shallow-marine sediments (Unit III), and their unconformable contact described in this study. (1) Laminated tidal mudstone consisting of two types of lime-mudstones with different color-tones in lower part of Unit II-4: Loc. J. Despite their unlike color-tone, there observes little difference in grain size between two lime-mudstones. In lower part of this outcrop (namely stratigraphically upper part due to overturn of strata), lamination is laterally discrete due to bioturbation. (2) Close-up view of part of outcrop illustrated on Fig. 8.1, showing a thin bed (approximately 3.5 cm thick) of bioclastic wackestone consisting of dasycladacean algae, worm-tubes, small gastropods, and others. This kind of bioclast-rich layers within a tidal-mud facies is possibly interpreted as storm-lag deposits. (3) A thin but prominent layer of dolo-mudstone within massive lime-mudstone in lower part of Unit II-4: Loc. K. These dolo-mudstone bands are helpful to measure attitude of bedding exactly within limestone of mostly massive occurrence. (4) Close-up view of bioclastic packstone dominated by shells in lower part of Unit II-4: Loc. L.



の若干下位であることを考慮すると、中期ベルム紀前期のKubergandian最前期の可能性も残されている。いずれにせよ、本研究のユニットIの年代としては前-中期ベルム紀境界頃としてはほぼ間違いないだろう。

Ueno (1991) は、帰り水北方のNS159から*Maklaya saraburiensis*, *Armenina salgirica*を報告した。この地点は本研究の露頭Dの北約7mにあたり、層準としてはユニットII-1中部の、約2mの層厚をもつ細粒bioclastic grainstoneに相当する (Fig. 4)。この地点の石灰岩柱表面には、今回の野外調査でも小型の*Maklaya*と思われるフズリナが確認できた。*Maklaya saraburiensis*の年代はKubergandian中頃と考えられる (Ueno, 1996)。さらに今回の調査では、小型の*Maklaya*と考えられるフズリナが、ユニットII-2の最上部付近でも認められた (Fig. 4)。殻サイズからすると、このフズリナも*M. saraburiensis*の可能性が高い。

Ueno (1991) は、上述のNS159の南約40m付近に位置するNS173から*Maklaya pamirica*を報告した。この地点についてはFig. 3のなかで正確な位置を特定できなかったが、大局的な位置や岩相的な特徴から判断すると、恐らくユニットII-3の最上部付近にみられる細粒bioclastic grainstoneの層準 (Fig. 4) にほぼ相当するものと考えられる。Ueno (1996) によると、*M. pamirica*は後期Kubergandianを示す。

ユニットIIの干潟堆積物は全般的にフズリナの産出には極めて乏しいものの、野外において肉眼で容易に確認できる大型のフズリナが露頭Mのすぐ北側の石灰岩柱表面に観察できた。この層準はユニットII-4上部の、オンコイドをとまなうbioclastic grainstoneに相当する (Fig. 4)。ここからはUeno (1991) により*Neoschwagerina simplex*が報告されている。この種は最も原始的な*Neoschwagerina*の1つであり (例えば、Ozawa, 1970)、その年代は中期ベルム紀中期のMurgabian (最) 前期と考えられる (Ueno, 1996)。なお、同じ地点からは最近Ota (2005) が*Maklaya akiyoshiensis*を新種として記載、報告し、その年代をKubergandianとした。しかしながら、そこに図示されている標本には、Ozawa (1927) による岐阜県赤坂石灰岩産の*N. simplex*の模式標本、あるいはKobayashi (1988)、Ueno (1991) 等により*N. simplex*に同定された秋吉帯海山型石灰岩からの標本にみられるものと同

じ、痕跡的ではあるものの軸副隔壁 (axial septula) が認められる上、その殻サイズも通常の*Maklaya*より大きい。そのため、進化型の*Maklaya*とするよりもむしろ原始的な*Neoschwagerina*に含めるのが穏当である。Ota (2005) の試料採集地点がUeno (1991) とほぼ同じ帰り水学術ボーリングNo. 1掘削地点のすぐ南 (本研究の露頭Mのすぐ北側) であり、この付近では同様なフズリナを含む石灰岩はほかには分布しないことを考え合わせると、Ota (2005) による*M. akiyoshiensis*の提唱は誤同定に基づく可能性が高く、その標本は*N. simplex*に同定されるものと結論できる。

ユニットIIIの粗粒生砕物主体の石灰岩からは*Parafusulina kaerimizensis*が多産する。その年代はMurgabian前期と考えられる (Ueno, 1996)。

このように、フズリナによる年代論に基づく、今回検討した干潟堆積物は概ね中期ベルム紀の前半頃のものであり、ユニットII-1とII-2がKubergandian中頃、II-3が後期Kubergandian、ユニットII-4が最前期Murgabianにそれぞれ対比できる (Fig. 4)。さらに、もしユニットIの年代が最後期Bolorianである場合には、ユニットIとユニットIIの間には少なくとも前期Kubergandianを欠く堆積間隙 (ハイエイトス) が存在することになる。

## 考 察

ここでは、堆積物の特徴およびその垂直的变化から堆積環境の変遷と海水準変動を推定する。またその堆積年代をもとに、今回報告する干潟堆積物とその前後にみられる規模の大きい陸上露出の成因についても考察する。

ユニットIの堆積物は、黒色礫を含むbioclastic grainstone, oolitic bioclastic grainstone主体の砂浜堆積物であり、そこには陸上露出により形成された溶食空洞と、それを埋積するユニットII由来の堆積物がみられる。一方ユニットIIの主体は、ミクライト質堆積物が卓越する干潟相堆積物である。これと同様な堆積物と堆積相累重様式はNakazawa and Ueno (2004) や早川ほか (2008) でも報告されており、そこでは砂浜相堆積物と干潟相堆積物の境界は、一般にシーケンス境界とみなされる不整合面であることが知られている。今回の調査ではユニットIとユニットIIの境界を示す露頭は確認できなかったが、両ユニットの堆積物の特徴からユニットIの堆積後

Shells are probably mostly of ostracodes and generally disarticulated but less fragmented. Like as bioclast-rich layer illustrated on Fig. 8.2, this shell-swarmed layer would also represent a storm-lag sheet. (5) Outcrop showing sequence boundary (unconformity) between Unit II and Unit III: Loc. M. Upper half of this outcrop and some of its lower part consist of tidal-flat facies sediments [lime-mudstone (but partly bioclastic wackestone) and dolo-mudstone]. A horizontal large cavity (central part of this outcrop) is filled with bioclastic sediments of Unit III. Unit boundary is highly irregular and thus provides evidence of dissolution in uppermost part of Unit II before accumulation of bioclastic limestone in Unit III. See also Fig. 8.6 for comparison. (6) Sketch of outcrop illustrated on Fig. 8.5. A: lime-mudstone (partly bioclastic wackestone), B: dolo-mudstone, C: fine bioclastic grainstone, D: bioclastic grainstone/packstone with small-scale bindings by calcareous sponges. A and B are sediments of Unit II, whereas C and D are those of Unit III.



に比較的規模の大きな海水準低下とカルスト化が起こったことが復元できる。この海水準低下の時期としては、中期ペルム紀前期のKubergandian最前期頃の可能性が最も高い。

ユニットⅡはミクライト質堆積物主体で、ドロマイト層準を頻繁に挟む。前述のように、数層準で顕著なドロマイト堆積物の形成とlime-mudstoneの強い角礫化が起こっている (Fig. 4)。このような層準では比較的規模の大きな干出があったことが考えられ、一部には小規模な海水準低下が起こった可能性が高い。一方、これらの干潟堆積物に挟まれ、フズリナ、ウミユリ、石灰藻など、通常の潮下帯環境に一般的な生物相を示すbioclastic grainstone (一部はbioclastic packstone) が、各サブユニットで認められる。基本的に干潟環境が継続する中で間欠的に出現するこのようなopen-marine環境は、海水準のわずかな (そして一時的な) 上昇を物語るものである。含まれるフズリナ化石から、ユニットⅡはKubergandian中頃からMurgabian最前期にかけて形成されたものである。そのため、この干潟堆積物は、中期ペルム紀前半の2つの期 (age) にまたがる、比較的長期にわたる緩やかな海水準上昇が継続的に作りだした堆積空間を、準同時的に埋積するように堆積したものであると結論づけられる。しかしながら、干潟堆積物中にはより強い干出を示す層準や、対照的にopen-marine環境を示す比較的薄い堆積物が挟まれていることから、緩慢な海水準上昇の中にもより小規模な海水準の上下動が織り込まれていたことが推測される。今のところ、ユニットⅡ-1からユニットⅡ-3の最上部に発達する顕著なドロマイト堆積物の層準には、クリスタルシルト、マイクロコディウム、古土壤等の、一般的に陸上露出の強力な証拠とされる堆積物、組織は認められないものの、これらの層準のあるものは不整合面 (シーケンス境界) をなす可能性も否定できない。

一方ユニットⅡ-4の上部、すなわちユニットⅡの最上部にも顕著なドロマイト干潟堆積物中が発達し、そこには露頭規模の空隙が認められる。この空隙はユニットⅡの堆積物を切るように発達し、生砕物を主体とするユニットⅢの浅海成堆積物により埋積されているため (Figs. 8.5, 8.6)、ユニットⅡ堆積後に形成された溶食空洞であることは明白である。したがって、ユニットⅡとユニットⅢの境界はユニットⅡの堆積後に海水準の低下により形成された不整合面、すなわちシーケンス境界をなす。この明瞭な海水準低下は、前後のフズリナ年代から中期ペルム紀のMurgabian前期に起こったことが考えられる。

以上のように、今回報告した秋吉台帰り水地域の厚い干潟堆積物は、恐らくKubergandian最前期とMurgabian前期に発生した規模の大きい2回の低海水準期に挟まれた期間のうち、比較的長期の緩やかな海水

準上昇期に形成されたものである。その形成開始および終了時期はそれぞれKubergandianとMurgabianの中にあるため、干潟堆積物形成に費やされた絶対的な時間を、通常は年代境界に割り当てられていることが多い既存の数値年代データをもとに正確に見積もることは決して容易ではない。また中部ペルム系では、年代層序区分の標準地域とされている北米中央部での階区分 (Wardlaw et al., 2004) と、テチス・パンサラッサ地域で一般に用いられているそれ (Leven, 1980) との対比に大きな問題があることが指摘されている (例えば, Henderson et al., 1999; Leven, 2001; Henderson and Mei, 2003)。このような様々な問題が残されてはいるものの、Wardlaw et al. (2004) やMenning et al. (2006) で示された数値年代をもとに今回の干潟堆積物の形成期間について推定してみると、それは穏当な見積もりとして少なくとも百万年のオーダーであり、恐らくは200万年程度の期間であったことが考えられる。干潟堆積物の中には、単一系統を構成する*Maklaya saraburiensis*, *M. pamirica*, *Neoschwagerina simplex*の進化的出現で定義された少なくとも3つのフズリナ生層準が確認できるが、200万年程度という見積もりはこのような進化の時間スケールとも矛盾しない。したがって、ユニットⅡにみられる、より規模の小さい海水準変動は、恐らく数十万年以下の周期をもつより高次の海水準変動を反映したものであろう。

早川ほか (2008) は、秋吉石灰岩と同じ秋吉帯に分布するパンサラッサ海山型石灰岩の青海石灰岩から、中期ペルム紀の前半に形成された干潟堆積物と、その直下に発達する不整合面 (シーケンス境界) を報告した。青海石灰岩の干潟堆積物は層厚が1 mに満たない小規模なものであるが、その下位にはやはり海水準低下前の高海面期の堆積物と考えられる砂浜相石灰岩が分布し、そこには黒色礫や溶食空洞がみられる。また、干潟堆積物に重なる礫質石灰岩には、本研究のユニットⅢにみられるものと同じ*Parafusulina kaerimizensis*が産する。そのため、干潟堆積物と直前のシーケンス境界の年代は、今回報告する秋吉のものとはほぼ同じである可能性が高い。このことより、青海石灰岩中部ペルム系のシーケンス境界と干潟堆積物は、今回の秋吉石灰岩におけるユニットⅠとユニットⅡの間のシーケンス境界、およびユニットⅡの干潟堆積物の一部にそれぞれ対比できるものと考えられる。

このような、干潟堆積物前後の不整合面 (シーケンス境界) を形成する比較的規模の大きな海水準低下は、グローバルなユースタシー海水準の動きを直接反映したものである。一方、干潟堆積物自身を形成した比較的期間の長い緩やかな海水準上昇には、秋吉海山とそれを載せた海洋プレートの熱的沈降の影響が少なからず関わっていたのかもしれないが、中期ペルム紀Kubergandian-Murgabianが秋吉海山形成後既に7000万年近く経過し



た時代であることを考えると、見積もられた干潟堆積物形成期間（200万年程度）での予想される沈降量（Parsons and Sclater, 1977；Nakazawa and Ueno, 2009）は、この層厚の堆積物をつくり出すほどには大きくない。したがって、今回検討した干潟堆積物の形成も、規模の小さな変動をともなうユースタシー海水準の緩慢な上昇に起因している可能性が高い。

### ま と め

本研究では、秋吉石灰岩中部ペルム系に大規模に発達する干潟堆積物を検討した。その結果、以下の点が明らかになった。

1. 堆積相の特徴をもとに、調査地域の秋吉石灰岩を3つの岩相ユニット（ユニットⅠ～ユニットⅢ）に区分した。ユニットⅠとユニットⅢは粗粒 bioclastic grainstone からなる砂浜堆積物であり、ユニットⅡはミクライト質およびドロマイト質細粒堆積物に富む干潟堆積物である。
2. ユニットⅡの干潟堆積物は約38mの層厚をもつ。それは、比較的規模の大きな干出を示すと考えられる、顕著なドロマイト質堆積物の形成、ミクライト質堆積物の強い角礫化、および裂罅の発達が認められる層準をもとに、さらに4つのサブユニットに分けられる。サブユニットを境するこれらの層準では、一時的な海水準の低下が起こった可能性が高い。一方各サブユニットには、海水準のわずかな、そして一時的な上昇により形成された、海水の流通の良い上部潮下帯環境を示す細粒 grainstone（一部は bioclastic packstone）が挟まれる。
3. 含まれるフズリナ化石から、この干潟堆積物はペルム紀中期の Kubergandian 中頃から Murgabian 最前期にかけて形成されたものである。
4. 干潟堆積物中の層相変化とフズリナ年代から、この干潟堆積物の形成には、数十万年以下の周期を持つ小規模な海水準の上下動が織り込まれた、比較的長期にわたる緩やかな海水準上昇が関わっていたことが明らかになった。
5. ユニットⅠには、ユニットⅡの干潟堆積物で充填された溶食空洞が認められる。またユニットⅡの最上部にも、ユニットⅢの粗粒堆積物で充填された溶食空洞が発達する。したがって、各ユニットの境界は比較的規模の大きい海水準の低下により形成された不整合面、すなわちシーケンス境界をなす。フズリナの年代学的検討から、この2つの明瞭な海水準低下は、恐らく Kubergandian 最前期と Murgabian 前期に起こったものと考えられる。これらは、グローバルなユースタシー海水準の変動を直接反映したものである。
6. 干潟堆積物自身を形成した緩慢な海水準上昇もまた、規模の小さな変動をともなうユースタシー海水準の緩

やかな上昇に起因している可能性が高い。

### 文 献

- Flügel, E., 2004, *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer, Berlin/Heidelberg, 976p.
- 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, no. 14, 1-26.
- 早川直樹・中澤 努・上野勝美, 2008, 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。福岡大学理学集報, 38, 59-73.
- Henderson, C. H., Jin, Y. G., Wardlaw, B. R. and Mei, S. L., 1999, The conodont succession in Nashui/Luodian section, South China and its significance in correlation of Cisuralian and Guadalupian conodont and fusulinacean zones. *Programme with Abstract to the XIV International Congress on the Carboniferous-Permian*. Univ. Calgary, Calgary, 57.
- Henderson, C. H. and Mei, S. L., 2003, Stratigraphic versus environmental significance of Permian serrated conodonts around the Cisuralian-Guadalupian boundary: New evidence from Oman. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 191, 301-328.
- Henrich, R., 1984, Facies, dolomitization and karstification of lagoonal carbonates: Triassic of the Northern Alps. *Facies*, 11, 109-156.
- Igo, H. and Koike, T., 1965, Carboniferous conodonts from Yobara, Akiyoshi Limestone, Japan (Studies of Asiatic conodonts, Part II). *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, no. 59, 83-91.
- Kanmera, K., Sano, H. and Isozaki, Y., 1990, Akiyoshi Terrane. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds., *Pre-Cretaceous Terranes of Japan (Publication of IGC Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia)*. Osaka City Univ., Osaka, 49-62.
- Kobayashi, F., 1988, Middle Permian foraminifers of the Omi Limestone, Central Japan. *Bull. Nat'l. Sci. Mus., Ser. C (Geol. & Paleont.)*, 14, 1-35.
- Leven, E. Ya., 1980, *Ob'yasnitel'naya Zapiska k Stratigraficheskoy Shkale Permskikh Otlozheniy Oblasti Tetis*. Ministerstvo Geologii SSSR, Vsesoyuznyy Ordena Lenina Nauchno-Issledovatel'skiy Geologicheskii Institut (VSEGEI), Leningrad, 51p. (in Russian)
- Leven, E. Ya., 2001, On possibility of using the global Permian stage scale in the Tethyan region. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 9, 118-131.
- Menning, M., Alekseev, A. S., Chuvashov, B. I., Davydov, V. I., Devuyt, F.-X., Forke, H. C., Grunt, T. A., Hance, L., Heckel, P. H., Izokh, N. G., Jin, Y.-G., Jones, P. J., Kotlyar, G. V., Kozur, H. W., Nemyrovska, T. I., Schneider, J. W., Wang, X.-D., Weddige, K., Weyer, D. and Work, D. M., 2006, Global time scale and regional stratigraphic reference scales of Central and West Europe, East Europe, Tethys, South China, and North America as used in the Devonian-Carboniferous-Permian Correlation Chart 2003 (DCP 2003). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 240, 318-372.
- 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, no. 13, 7-25.
- Nagai, K., 1985, Reef-forming algal chaetetid boundstone found in the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan (Reconstruction of the "Akiyoshi Organic Reef" - I). *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, no. 20, 15-34.
- 長井孝一・秋山哲男, 1995, 円盤状四放サンゴ群体を利用した秋吉生物礁複合体礁前面斜面の傾斜角の復元。九大理研報, 地球惑星科学, 19, 11-27.



- 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.
- Nakazawa, T. and Ueno, K., 2009, Carboniferous-Permian long-term sea-level change inferred from Panthalassan oceanic atoll stratigraphy. *Palaeoworld*, **18**, 162-168.
- 中澤 努・上野勝美・鮎沢 潤, 2003, 秋吉石灰岩ベルム系にみ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.
- Nakazawa, T., Ueno, K., Kawahata, H., Fujikawa, M. and Kashiwagi, K., 2009, Facies stacking patterns in high-frequency sequences influenced by long-term sea-level change on a Permian Panthalassan oceanic atoll: An example from the Akiyoshi Limestone, SW Japan. *Sediment. Geol.*, **214**, 35-48.
- Nishida, T., 1971, Carboniferous ammonoids from Akiyoshi (Molluscan paleontology of the Akiyoshi Limestone Group-IV). *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, no. 7, 1-24.
- 太田正道, 1968, 地向斜型生物礁複合体としての秋吉石灰岩層群. 秋吉台科学博物館報告, no. 5, 1-44.
- Ota, M., 1977, Geological studies of Akiyoshi, Part I. General geology of the Akiyoshi Limestone Group. *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, no. 12, 1-33.
- 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.
- Ota, Y., 2005, *Maklaya* (Permian Fusulinoidea) from Kaerimizu area, Akiyoshi Plateau, Yamaguchi Prefecture, Japan. *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, no. 40, 15-33.
- Ozawa, T., 1970, Notes on the phylogeny and classification of the superfamily Verbeekinoidea (Studies of the Permian verbeekinoidean foraminifera-I). *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, **20**, 17-58.
- Ozawa, T. and Kobayashi, F., 1990, Carboniferous to Permian Akiyoshi Limestone. In Organizing Committee of Benthos '90, ed., *Fossil and Recent Benthic Foraminifera in Some Selected Regions of Japan*. Inst. Geol. Paleont., Tohoku Univ., Sendai, E1-E31.
- 小澤儀明, 1923, 秋吉台石灰岩を含む所謂上部秩父古生層の層位学的研究. 地質雑, **30**, 227-243.
- Ozawa, Y., 1925, Paleontological and stratigraphical studies on the Permo-Carboniferous limestone of Nagato, Part II. Paleontology. *Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo*, **45**, 1-90.
- Ozawa, Y., 1927, Stratigraphical studies of the fusulina limestone of Akasaka, province of Mino. *Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, Sect. II (Geol., Mineral., Geogr., Seismol.)*, **2**, 121-164.
- Parsons, B. and Sclater, J. G., 1977, An analysis of the variation of the ocean floor bathymetry and heat flow with age. *Jour. Geophys. Res.*, **82**, 803-827.
- Sakagami, S., 1964, Bryozoa of Akiyoshi, Part I. Permian Bryozoa from the Shigeyasu Quarry. *Bull. Akiyoshi-dai Mus. Nat. Hist.*, no. 3, 1-24.
- 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, H., 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., 1988, Paleogeographic reconstruction of accreted oceanic rocks, Akiyoshi, Southwest Japan. *Geology*, **16**, 600-603.
- Sano, H. and Kanmera, K., 1991, Collapse of ancient organic reef complex -What happened during collision of Akiyoshi reef complex?- Sequence of collisional collapse and generation of collapse products. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 631-644.
- 佐野弘好・杵山哲男・長井孝一・上野勝美・中澤 努・藤川将之, 2009, 秋吉石灰岩から読み取る石炭・ベルム紀の古環境変動 -美祢市(旧秋芳町)秋吉台科学博物館創立50周年記念巡検-. 地質雑, **115** (補遺), 71-88.
- Sano, S., Hayasaka, Y. and Tazaki, K., 2000, Geochemical characteristics of Carboniferous greenstones in the Inner Zone of Southwest Japan, *The Island Arc*, **9**, 81-96.
- Strasser, A., 1984, Black-pebbles occurrence and genesis in Holocene carbonate sediments (Florida Keys, Bahamas, and Tunisia). *Jour. Sediment. Petrol.*, **54**, 1097-1109.
- 杵山哲男・長井孝一, 1990, 秋吉石灰岩層群産 Auloporidid Corals の成長形態について -秋吉生物礁複合体における造礁生物群の古生態学的研究 I -. 秋吉台科学博物館報告, no. 25, 7-25.
- Sugiyama, T. and Nagai, K., 1994, Reef facies and paleoecology of reef-building corals in the lower part of the Akiyoshi Limestone Group (Carboniferous), Southwest Japan. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, **172**, 231-240.
- Toriyama, R., 1958, Geology of Akiyoshi, Part III. Fusulinids of Akiyoshi. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, **7**, 1-264.
- Ueno, K., 1991, Early evolution of the families Verbeekinae and Neoschwagerinidae (Permian Fusulinacea) in the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, no. 164, 973-1002.
- Ueno, K., 1992, Verbeekinae and neoschwagerinid fusulinaceans from the Akiyoshi Limestone Group above the *Parafusulina kaerimizensis* Zone, Southwest Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, no. 165, 1040-1069.
- Ueno, K., 1996, Late Early to Middle Permian fusulinacean biostratigraphy of the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan, with special reference to the verbeekinae and neoschwagerinid fusulinacean biostratigraphy and evolution. *Supplemento agli Annali dei Musei Civici di Rovereto, Sezione Archeologia, Storia e Scienze Naturali*, **11**, 77-104.
- Wardlaw, B. R., Davydov, V. and Gradstein, F. M., 2004, 16. The Permian Period. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G. and Smith, A. G., eds., *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 249-270.
- Yamagiwa, N. and Ota, M., 1963, Faunas and correlation of "Uzura" Quarry, Akiyoshi, Southwest Japan. *Bull. Akiyoshi-dai Sci. Mus.*, no. 2, 87-93.
- Yanagida, J., 1962, Carboniferous brachiopods from Akiyoshi, Southwest Japan, Part I. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, **12**, 87-127.

## (要 旨)

上野勝美・横山嗣政・中澤 努・藤川将之, 2010, 秋吉石灰岩中部ペルム系にみられる大規模干潟堆積物. 福岡大学研究部論集, C: 理工学編, 2, 1-17. (Ueno, K., Yokoyama, T., Nakazawa, T. and Fujikawa, M., 2010, Large-scale tidal-flat deposits in the Middle Permian of the Akiyoshi Limestone, Southwest Japan. *The Bulletin of Central Research Institute, Fukuoka University, Series C: Science and Technology*, 2, 1-17.)

本論文では、山口県秋吉台北東部の帰り水地域に分布する中部ペルム系大規模干潟堆積物の層序について報告し、干潟堆積物およびその下位の砂浜堆積物、さらに陸上露出とシーケンス境界に関連した堆積物のみられる典型的な露頭を記載、図示する。この干潟堆積物は約38mの層厚をもち、主にlime-mudstone, dolo-mudstoneなどの石灰質細粒堆積物からなる。副次的にbioclastic grainstone/packstoneを伴う。干潟堆積物の上下は不整合面（シーケンス境界）で境され、そこには下位層準をカルスト化することにより形成された溶食空洞がみられる。干潟堆積物中には、強い干出とドロマイト化（堆積性ドロマイトの沈殿、底質の礫化、裂隙の形成）を示す層準があり、それによりこの干潟堆積物をさらに4つの岩相サブユニットに区分することが可能である。一方、干潟相堆積物の間に挟まれるbioclastic grainstone/packstoneは、干潟環境に一時的に現れた、海水の流通の良い通常の潮下帯環境を示している。このような生碎物に富む石灰岩から産するフズリナにより、この干潟堆積物は中期ペルム紀のKubergandian中頃からMurgabian最前期にかけての期間に形成されたものと考えられる。したがってその形成には、中期ペルム紀前半の、小規模な海水準の上下動が織り込まれた比較的長期間の緩やかな海水準の上昇が関与していたことが推測される。この小規模な海水準の変動は、数十万年以下の周期をもつより高次の海水準変動を反映したものであろう。フズリナの年代学的検討から、干潟堆積物の上下の不整合面を形成した明瞭な海水準低下は、恐らくKubergandian最前期とMurgabian前期に起こったものと考えられる。これらは、グローバルなユースタシー海水準の変動を直接反映したものである。干潟堆積物自身を形成した緩慢な海水準上昇もまた、規模の小さな変動をとまなうユースタシー海水準の緩やかな上昇に起因している可能性が高い。



