

原著論文

相馬中村層群最上部小山田層（白亜紀最前期）の 層序・堆積相・化石相

安藤寿男*・鈴木大河**・田口翔太***・平 宗雄****・猪瀬弘瑛*****

要 旨：最下部白亜系相馬中村層群小山田層（最大層厚約175m）の岩相層序と分布を調査し、下部層と上部層に識別して堆積環境を推定した。下部層は、河川成の富沢層に波浪ラビメント面を介して重なる、外洋浅海（内側陸棚-上部外浜）成砂岩と酸性凝灰岩および凝灰質砂岩からなる。上部層は均質な暗灰色シルト岩からなる外側陸棚-陸棚斜面相である。全体として海進傾向を示すが、下部層には上方粗粒化（前進/海退性）堆積相累重が数層認められる。小山田層のアンモナイトは優勢4属で95%を占める単純な組成で、下部層の塊状細粒砂岩層に多く産することから堆積作用で運搬されて浅海砂底に集積した可能性がある。二枚貝は、基底砂岩を含む下部層下半部に幾らか密集した層があるが、浅潜没型内生種が8割を越え、上部層では、内生種のほか外生種が多い。堆積年代はベリアシアン-前期バラングニアンとされてきたが、最近報告された凝灰岩のU-Pb放射年代や海水準変動曲線との比較から、再検討する必要がでてきた。

はじめに

日本列島において陸上で見られる白亜系の分布は Ando (2003), 安藤 (2005, 2006), 高橋・安藤 (2016), 安藤・高橋 (2017) などによって示されており、日本列島の地帯構造を反映していることが知られている。東北地方においては日本海側を中心に新生界が広く分布しているために、白亜系は北上山地や阿武隈山地の太平洋沿いに、散在的に分布するに過ぎない。それぞれの分布域では西南日本の白亜系に比べると、比較的単純な地質構造で変形や固結度が低いという特徴がある。層序的には、アプチアン階（以下、階や期を付さずに表記）以上の陸域の地層は少ないが、バレミアン以下の地層は南部北上帯の幾つかの地域（牡鹿半島や気仙沼大島など）に分布は狭いながらも比較的連続的に露出し、ベリアシアン、一部はジュラ紀最上部のチトニアンにまで及ぶ可能性が指摘されている。

それらの中でも、南部北上帯西縁の地層と位置づけられている相馬中村層群小山田層は、ベリアシアンからバラングニアンが連続すると見なされる、数少ない最下部白亜系の1つである。そのため、白亜系最下部の層序だけではなく、白亜紀最前期の古環境、古生物相、古生態を研究するのに適した地層であるといえる。小山田層における研究は相馬中村層群の一連の研究の中で進められてきたが、分布が限られ露出も十分でないことから、小山田層全体の層

序や堆積環境と化石相を論じた総合的な研究はあまり行われてこなかった。

そこで、小論では相馬中村層群が構成する複背斜の東翼側の、相馬中村層群小山田層における岩相・堆積相層序や大型化石相を明らかにし、先行研究の成果を参照しながら、その層序学的・堆積学的・古生物学的な意義を検討することとした。

1. 相馬中村層群および小山田層の地質概説

相馬中村層群は、福島県北東部の阿武隈山地東縁を南北に延びる双葉断層に沿って幅4km以内、南北約27kmの範囲に分布する、中部ジュラ系から下部白亜系である（図1）。日本における同時代層の中では、陸成層と海成層が互層しながらも整然と連続する、数少ない地層群として、また、ジュラ系-白亜系境界層準を含む地層群として層序学的に重要である。相馬中村層群の層序はすでに久保ほか(1990)、柳沢ほか(1996)、竹谷・遅沢(2013)や吉田(2017)で、層序区分変遷も含めて詳述されており、最近、安藤ほか(2022)でも中ノ沢層が詳述されている。相馬中村層群は、柳沢ほか(1996)によって栗津層、山上層、栃窪層、中ノ沢層、富沢層、小山田層の6層に区分されており、本研究の対象である小山田層は最上位に位置する（図2）。これらの地層は、中ノ沢層上部の小池石灰岩部層を除くと、主に砂岩や頁岩などの碎屑岩類からなり、海成層（栗津層、山

*茨城大学大学院理工学研究科理学野地球環境科学領域

**茨城大学理学部地球環境科学コース 現在：公益財団法人 千葉市教育振興財団

***茨城大学大学院理工学研究科理学専攻地球環境科学コース現在：福島県立勿来工業高校

****相馬中村層群研究会 *****福島県立博物館

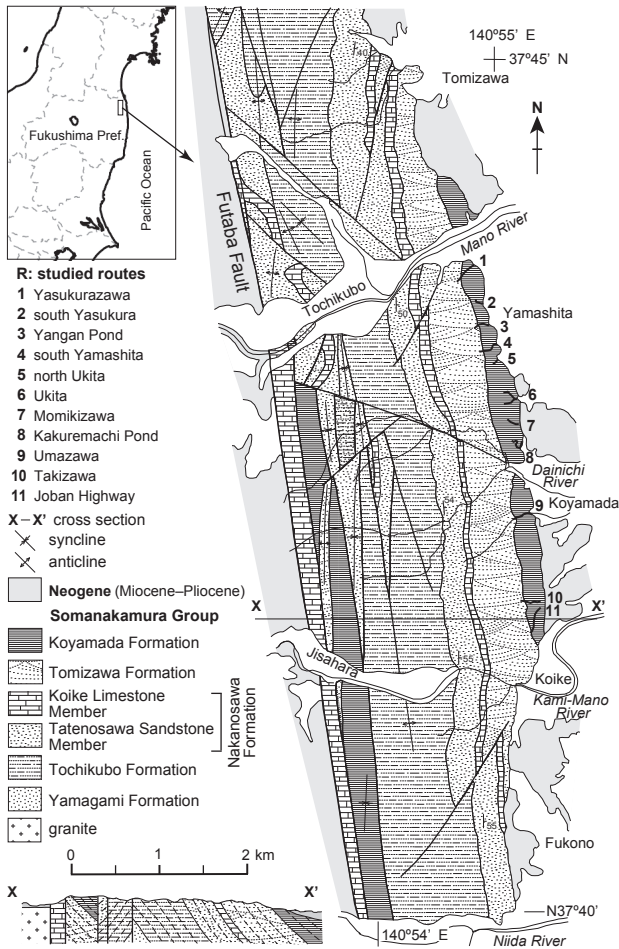


図1. 相馬中村層群の地質図・地質断面と調査ルート
 太線1-10が調査ルート。太線11は佐藤ほか(2011)の調査地。地質図は柳沢ほか(1996)、佐藤ほか(2005)、安藤ほか(2022)と本調査結果から改編。
 Fig. 1. Geological map and cross section of the Somanakamura Group in the study area
 The ten studied routes and sections (1-10), and the 11th studied by Sato et al. (2011) are indicated by thick lines. The geological map is modified after Yanagisawa et al. (1996), Sato et al. (2005) and Ando et al. (2022), and our field survey.

上層、中ノ沢層、小山田層)と陸成層(栃窪層、富沢層)が繰り返している。

相馬中村層群は、古くより古生物学、堆積学の両面から数多くの研究がなされてきた。それらの研究は、柳沢ほか(1996)、竹谷・遅沢(2013)や吉田(2017)、安藤ほか(2022)で主要なものが挙げられている。小山田層からはアンモナイト(Yabe, 1943, Sato, 1961a, b)や二枚貝(Tamura, 1959, 1960, 1961; 田村, 1959)といった軟体動物、放散虫(松岡, 1989; 竹谷, 2013)などの海生動物化石を産する。最近では、常磐自動車道の延伸工事による大規模な露頭から多数のアンモナイト化石が採集され、新種を含めた記載がなされている(佐藤ほか, 2005, 2011; Sato and Taketani, 2008)。

相馬中村層群は、双葉断層を挟んでジュラ紀より

古い古期岩類と接し、東縁部は鮮新統の仙台層群に不整合で覆われる(柳沢ほか, 1996)。

本研究では、小山田層分布域北部の南相馬市鹿島区山下の安倉沢(R1:以下調査ルート名のあとにルート番号を併記し、図3の柱状との対応を示す)より、南部の小山田の滝沢(R10)までの、小山田層を東西に横切る小河谷の計10ルートについて調査した(図1)。個々のルートで作成した地質柱状図を、後述する下部層の砂岩もしくは凝灰岩と上部層のシルト岩との境界を基準にして、隣接するルート間で岩相対比して地質柱状対比断面図を作成した(図3)。佐藤ほか(2011)に示された、常磐自動車道工事による露頭での地質柱状図も参照した。

次に、富沢層と研究対象とする小山田層について地質概説する。

1) 富沢層

中ノ沢層の小池石灰岩部層を不整合に覆う、アルコース質粗-中粒砂岩を主体として一部頁岩を伴う陸成層である。相馬市富沢を模式地とするが、南相馬市鹿島区小山田ブナ坂および馬沢付近の方が露出が良い。層厚は模式地において400 mである(柳沢ほか, 1996)。下部は塊状で頁岩を挟むことは稀であるが、中上部では頻りに挟む。本層の砂岩は垂直的な組成変化が著しく、下部では石英質で、中部から上方に酸性火山岩の岩片量が増す。Masatani and Tamura (1959)では、上部ジュラ系から下部白亜系から産するとされる植物化石が報告され、Takimoto et al. (2008)では領石型植物群のものとみなされている。下位の中ノ沢層の時代(ジュラ紀後期キンメリッジアン-チトニアン前期)と上位の小山田層の時代から、本層の堆積年代はチトニアン後期であると考えられる(柳沢ほか, 1996; 竹谷・遅沢, 2013)。

2) 小山田層

小山田層は、南相馬市鹿島区小山田西方を模式地とする、相馬中村層群が作る複背斜の東西両翼に分布する浅海-沖合成層である(柳沢ほか, 1996)。おおまかにみると下部は砂岩が卓越し厚い凝灰岩を伴い、上部は均質な暗灰色のシルト岩を主としている(竹谷, 2013)。先行研究での地質記載では上部の細粒岩相は頁岩とされていることが多いが、剥離性が低く頁岩質とみなせない場合も多いので小論ではシルト岩として一括する。細粒凝灰岩や凝灰質砂岩を幾つかの層準で伴うが、特に隠町溜池(R8)以南の本層下部の上部層準に厚く発達する。本研究の対象である東翼地域での小山田層全体の層厚は、小

System Series	Stage	Age	Stratigraphic units	Column	Thickness (m)	Lithology	Fossils	Environments								
Neogene (Miocene)			Akaiwa Fm.													
Cret.	Valanginian	139.8	Koyamada Fm.		>175	Siltstone, C-F acid tuff, HCS fine sandstone, bioturbated fine ss, M-C sandstone	Ammonoids, nautiloids, belemnites, bivalves, gastropods, radiolaria, fish	Slope, outer shelf, inner shelf - lower shoreface								
	Berriasian	145.0														
Jurassic	Tithonian	149.2	Tomizawa Fm.		350-400	TCS VC-C-M arkosic sandstone, mudstone, alternating ss & ms, carbonaceous ms SB=Unconformity	Fern, cycad	Braid>meandering river								
									Late	Kimmeridgian	154.8	Tochikubo Fm.	450+	Dark gray - grayish black oncoloidal/intraclastic/bioclastic/peloidal limestone, calcareous sandstone, acid tuff conformable	Coral, echinoid, crinoid, stromatoporoid, sponge foraminifer, ammonoid, nautiloid, bivalves, gastropod, nerinerid, etc.	Carbonate barrier-lagoon with oncolid shoal & backshoal
	Middle	Oxfordian	161.5	Tatenosawa Sandstone Member	90-130	HCS fine sandstone, TCS C-M arkosic sandstone, bioturbated fine sandstone	Ammonoid, bivalves, gastropod, etc.	Inner bay - tidal flat Tidal sand bar Upper shoreface Lower shoreface Inner shelf Upper shoreface								
	Bathonian	168.2	Awazu Fm.	280	Sandy mudstone, sandstone, conglomerate Unconformity	Ammonoids, belemnite, bivalves, gastropods	Upper shoreface Inner shelf									
Bajocian																

HCS: hummocky cross-stratification, TCS: trough cross-stratification, VC: very coarse, C: coarse, M: medium, F: fine, ss: sandstone, ms: mudstone

図2. 相馬中村層群の層序と年代.

柳沢ほか (1996), 竹谷・遅沢 (2013), 安藤ほか (2022), 本研究の成果に基づく. 期の境界年代はInternational Chronostratigraphic Chart v2022/10による.

Fig. 2. Stratigraphy, lithology and age of the Somanakamura Group based on the results of Yanagisawa et al. (1996), Taketani and Osozawa (2013), Ando et al. (2022), and our field survey. Stage boundaries are based on International Chronostratigraphic Chart v2022/10).

山田層の上限が鮮新統仙台層群との不整合や山麓地形による露出不良のために、正確な把握が難しいが、馬沢では少なくとも175 m以上と見積もられ、他のルートでは90-145 mとみなされる。富沢層との境界は南山下 (R4) の河床で確認できる。富沢層のアルコース質中-粗粒砂岩に、基底部に二枚貝破片を含む小山田層の含細礫粗-中粒砂岩が重なり細粒砂岩に変化する。

5万分の1地質図幅「原町」(久保ほか, 1990)内の南相馬市原町区馬場西方にも、小山田層が南西走向の西上位で暗灰色シルト岩あるいは頁岩が露出し、層厚約300 mとされている。岩相と層厚から、模式地のある小山田周辺に露出する小山田層より上位層準とみなされている。

本層下部の細粒砂岩からアンモナイトとオームガイの産出が報告されている (Sato, 1961a, b; Sato and Taketani, 2008; 佐藤ほか, 2011)。佐藤ほか (2011) は、Sato and Taketani (2008) で記載した新種 (下記*)に加えて、常磐自動車道工事露頭から新たに産したアンモナイトの分類・化石層序学的位置を再検討し、下部から *Kilianiceras* sp., *Berriasella* sp., **Dalmasiceras muneoi*, *Neocosmoceras akiyamae*, *Thurmanniceras isokusense*, *Kilianella umazawensis*, *Kilianella* sp. の各種が産することを記載している。また、小山田

層の上部からは *Thurmanniceras isokusense* が産することを報告している。一方、田村 (1959) や Tamura (1959, 1960) では二枚貝化石群集を報告しており、下部の砂岩からは *Myophorella (Promyophorella) orientalis* や *Grammatodon takiensis* などが、上部のシルト岩からは *Entolium kimurai* や *Corbula? globosa* の産出が記載されている。さらに、上部のシルト岩層から放散虫化石 (松岡, 1989; 竹谷, 2013) が報告されている。

堆積年代は、産出するアンモナイトや放散虫化石により、白亜紀初期のベリアシアン~バランギニアンと考えられている (松岡, 1989; 竹谷, 2013; 竹谷・遅沢, 2013)。また、本層は、南部北上山地の鮎川層や磯草層と岩相や産出アンモナイトが共通することが指摘されている (Takizawa, 1985)。最近では都丸ほか (2022) が馬沢の本層下部の凝灰岩からバランギニアン前期を示す U-Pb 年代 (135.59 ± 0.77 Ma) を得ている。

2. 岩相層序と堆積環境

1) 岩相層序

小山田層は、上部と下部で大きく岩相が異なり、その境界も明瞭であることから、それぞれ上部層、下部層に分けて、岩相の層序的、地理的分布や側方変化を考慮して記載する (図3, 図版1-3)。

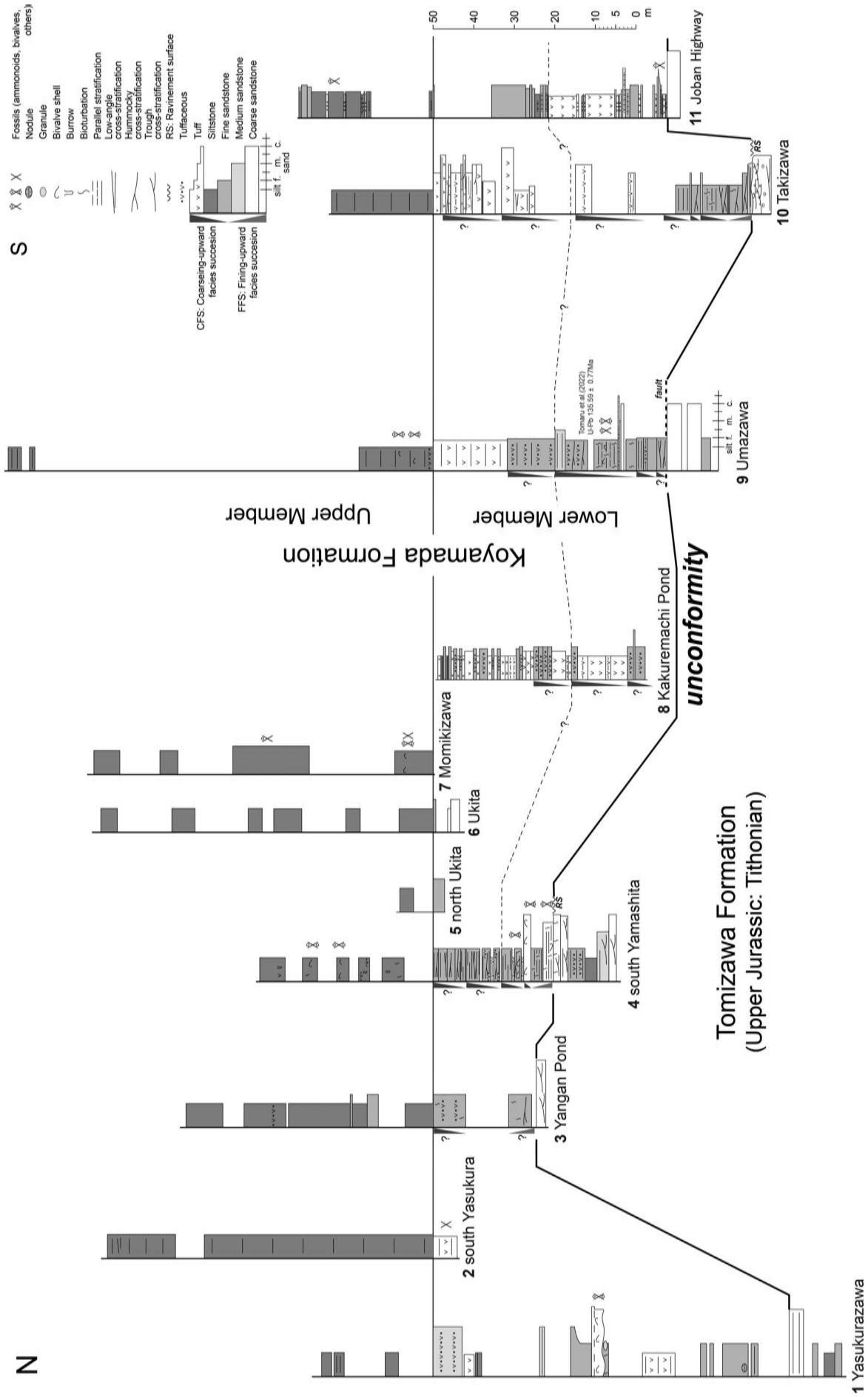


図3. 相馬中村層群小山田層の岩相順序柱状対比。
柱状図の位置は図1参照。

Fig. 3. Stratigraphic columns showing the distribution of lithology of the Koyamada Formation, Somanakamura Group. The location of studied routes and sections are shown in Fig. 1.

下部層

岩相：下部層は細粒砂岩を主体として中粒砂岩や凝灰岩を伴い、粗粒砂岩や細-中礫を含む葉理も稀に含まれる。細粒砂岩は(1)生物擾乱を受けて塊状シルト質の部分、(2)ハンモック型斜交層理(hummocky cross stratification; Dott and Bourgeois, 1982; 以下HCSと略記)が発達する細粒砂岩と生物擾乱極細粒砂岩が互層する部分、(3)HCS砂岩が癒着して厚く連続する層理の発達した部分がある。馬沢(R9)や滝沢(R10)の下半部ではそれらが層厚数m単位の規則的な互層をなす(図3, 図版1C, D)。砂岩は凝灰質であることが多く、平行葉理が発達し中-厚層理をなすが、明瞭なHCSもしばしば認められる(図版1A, B, 2A, B)。凝灰質砂岩はかなり固結しているため、凝灰質砂岩と凝灰質でない砂岩との識別が難しいことが少なくない。粗-中粒砂岩は、南山下(R4)の下部層下部(図版2C①)、馬沢(R9)の下部層中部(図版1B⑦)と安倉沢(R1)の下部層最上部に層厚7mを越えるものが認められた(図3)が、露出状況も十分になく見かけ上塊状あるいは厚層で明瞭な堆積構造の識別は難しい。

隠町溜池(R8)以南の3ルートでは、本部層の上部に白-明灰色の細-粗粒凝灰岩とそれに伴う凝灰質砂岩との互層が30-50mの厚さで発達する(図3)。隠町溜池(R8)では、層厚50mを越える(図3, 図版3C, D)。一般に層理は比較的明瞭で中-厚層理であることが多い。滝沢(R10)ではHCSに類似した低角斜交層理を呈する部分や粗粒凝灰岩も含まれる。浮田北(R5)から榎木沢(R7)では下部層の露出がほとんどないため、この厚い凝灰岩・凝灰質砂岩の北方への側方変化を確認できないが、南山下(R4)では凝灰質砂岩に変化し(図3, 図版1A)、細粒凝灰岩は厚さ1.2mが1層、数10cmが2層挟在するのを確認できた程度である。また、安倉沢(R1)では本部層の上部に層厚1mを越える細粒凝灰岩が2層、下部に7mを越える細粒凝灰岩が1層あるのを確認した。

なお、佐藤ほか(2011)で岩相層序が記載された、常磐自動車道工事露頭の柱状図(図3, R11)と滝沢(R10)の柱状を比較すると、両者の層厚は少し異なるが、風化のため凝灰岩と凝灰質砂岩の識別が難しいことを考慮し、岩相層序は対比可能と判断する。

層厚：下部層の層厚と岩相はルートによって変化し、薄い箇所では約25m(ヤンガン池:R3)、厚い箇所では60m弱(馬沢:R9)、あるいは80m強(安倉沢:R1)と算定される。

富沢層との境界：小山田層と下位の富沢層との境界

は南山下(R4)と滝沢(R10)で観察できた。南山下(R4)の沢沿いでは、富沢層のトラフ型-低角斜交層理が発達する厚層のアルコース質中-粗粒砂岩(図版2F)に、粗粒砂や細礫が散在しトリゴニア上科の*Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis*の破片を少し含む、厚さ20cm以下の中-細粒砂岩が、浅い起伏(厚さ10数cm以内)のある平坦な侵食面を介して重なり(図版2D, E)、層厚数10cmの平行葉理中-細粒砂岩から層厚2m弱の塊状生物擾乱細粒砂岩層、層厚3mの塊状砂質シルト岩に漸移する(図3)。この基底面から塊状シルト岩までは、層厚数mの軽微な上方細粒化堆積相累重(FFS: fining-upward facies succession)を示す。

一方、滝沢(R10)でも類似の層相変化が見られたが、細礫や貝化石は認められず、基底の中粒砂岩はいくらか粗粒砂を含む程度で分級は比較的良い(図版1D)。ここでは、浅い起伏のある侵食面の断面がよく観察できる。

下部層に見られる上方細粒化・粗粒化堆積相累重

馬沢(R9)では下部層が富沢層と断層関係にあり、下限の層序関係は不明であるが、下位より(図版1B, C)

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| (1) ① 癒着HCS細粒砂岩層 | 層厚約3.5m (以下表記簡略化) |
| (2) ② 生物擾乱塊状極細粒砂岩 | 2.5 m |
| ③ 厚-中層理細粒砂岩 | 1.5 m |
| (3) ④ 生物擾乱塊状極細粒砂岩 | 10.5 m |
| (中部に0.6-0.7 mの粗粒砂岩挟在) | |
| 露頭欠如 | 2.5 m |
| ⑤ 平行層理凝灰質砂岩・細粒凝灰岩 | 2 m |
| ⑥ 癒着HCS細粒砂岩層(一部は凝灰質) | 3.5 m |
| ⑦ 塊状中-粗粒砂岩 | 7 m |
| (4) 細粒凝灰岩および凝灰質砂岩 | 30 m |

という4つの岩相ユニットが識別できる。各ユニットの上面は比較的明瞭な岩相境界をなし、(2)と(3)は上方粗粒化傾向を有しており、それぞれが上方粗粒化堆積相累重(CFS: coarsening-upward facies succession)と見なすことができる(図版1B, CのCFS2, CFS3)。(1)も下位に存在していた生物擾乱塊状極細粒砂岩が断層によって欠如していると思えば、CFS1と見なせる可能性がある。(4)については露出条件や珪質で比較的均一な岩相のため明瞭な粒度変化は識別できなかったが、⑦の下部はCFS4を構成していたと推定する。

滝沢(R10)の場合(図版1D)は、

- | | |
|-------------------------|-----------|
| (1) ① HCS-低角斜交層理中-細粒砂岩層 | 0.2-0.4 m |
| ② HCS細粒砂岩層 | 0.5 m |

表 1 小山田層産の頭足類 (アンモナイト, オームガイ)

記載論文の標本情報, 南相馬市博物館 (相馬中村層群研究会採集), および茨城大学理学部地球環境科学コースの収蔵標本 (高橋治之茨城大学名誉教授採集), 本研究採集標本について, 属種が同定できる個体 (破片を含む) を1として計数.

Table 1. List of cephalopods (ammonoids, nautiloids) occurred from the Koyamada Formation

Each individual (including fragment) of identifiable genus and species is counted as 1 for 1) specimens studied in several described papers, 2) repositied specimens in the Minamisoma City Museum (collected by members of Research Association of the Somanakamura Group) and 3) Department of Earth Science, Ibaraki University (collected by Emer. Prof. Haruyuki Takahashi), and 4) newly collected specimens in this study

repository	Lower Member										Upper Member					Koyamada Fm.	
	Univ. Mus. Univ. Tokyo	Minamisoma City Museum			Ibaraki University			Total	Rate	Minamisoma City Museum		Ibaraki University	Total	Rate	Total	Rate	
authors	Sato	Sato et al.	Sato et al.	undesci- bed	Total	Haryuki Takahashi	Suzuki	Total	ind./total (%)	Sato et al.	undesci- bed	Total	Ibaraki University	Total	ind./total (%)	Total	
publication year	1961a, b	2005	2011	Joban Highway	no. of individual	Umazawa	2022 MS Umazawa	no. of individual	ind./total (%)	2011	Joban Highway	no. of individual	2022 MS	no. of individual	ind./total (%)	no. of individual	
species	Umazawa	Umazawa	Joban Highway	Joban Highway	no. of individual	Umazawa	Umazawa	no. of individual	ind./total (%)	Joban Highway	Joban Highway	no. of individual	Mominoki- zawa	no. of individual	ind./total (%)	no. of individual	
<i>Kilianiceras</i> sp.		1	1	17	19				7.4		1	1	1	2	6.9	21	7.4
<i>Berriasella</i> sp.		5			5				2.0							5	1.8
<i>Neocosmoceras akiyamae</i> (Sato)		10	1	7	18		2	2	7.8							20	7.0
<i>Dalmasiceras muneoi</i> Sato & Taketani		1			1	2		2	1.2							3	1.1
<i>Thurmanniceras isobasense</i> (Kobayashi & Fukuda)			3	38	41		2	2	17.2	5	7	12		12	41.4	56	19.6
<i>Thurmanniceras</i> sp.	1																
<i>Kilianella umazawensis</i> Sato	1	1	7	148	156	7		7	64.5							180	63.2
<i>Kilianella</i> sp.	1															15	51.7
Total (Ammonoids)	3	18	12	210	240	9	4	13	100.0	5	22	27	0	29	93.1	285	100.0
<i>Heminautilus</i> sp.			1	3	4		2	2									
Total (Cephalopoda)	3	18	13	213	244	9	6	15		5	22	27	0	29		291	

- ③ 生物擾乱塊状極細粒砂岩 0.6 m
- (2) ④ HCS細粒砂岩・塊状極細粒砂岩互層 1.0m
- ⑤ 癒着HCS細粒砂岩層 1.2 m

(3) ⑥ 生物擾乱塊状極細粒-細粒砂岩 2 m+
と重なり、①→②→③と上方細粒化するFFSが認められ、その上位に、③→④→⑤と上方粗粒化するCFS 1が認められる。FFSとCFS1の境界の最大海氾濫面(MFS: van Wagoner et al., 1988)はユニット③の中にあると判断される。⑥の上位にはHCS砂岩が厚く発達しており、層厚数 m以上におよぶCFS2を構成していたと考えられるが、上限は露出していない。滝沢の下部層上部には凝灰岩が厚く発達するが、下部に見られたような上方粗粒化ユニットが明瞭とは言えないながらも、粒度やHCS, TCS (trough cross-stratification), 層理等の堆積構造の観察からさらに3層のCFSが存在すると予想された(図3)

上述した2セクション以外でも判別・予想できる範囲で図3にFFS, CFSを示した。

化石：幾つかの産地の限られた層準にアンモナイト、二枚貝、巻貝、腕足類化石が産するが頻度は高くない(表1, 2)。馬沢(R9)の下部層中部層準の④塊状生物擾乱細粒砂岩層からはまれにアンモナイトや二枚貝などが産することを確認した(図版3E, 4)。この層準は、Sato (1961a, b, 1962)でA5層準とされたアンモナイト産地で、佐藤ほか(2005)、Sato and Taketani (2008)でも紹介されている。Kobayashi and Tamura (1955), Masatani and Tamura (1959), Tamura (1959, 1960)でも*Grammatodon takiensis*など数種の二枚貝の産出が記録されている。

安倉沢(R1)下部層中部の粗-中粒砂岩から*Myophorella (Promyophorella) orientalis*の散在層が確認された。南山下(R4)の下部層基底の含細礫中-細粒砂岩及びその上位の細粒砂岩において二枚貝数種が散在的ながら産した(表2)。佐藤ほか(2011)で詳述された常磐自動車道工事露頭(R11)における小山田層下部層最下部のK1-5(アンモナイト)層準は、滝沢(R10)にも同層準が露出するが化石は産しない。

上部層

岩相：主に暗灰～灰黒色の弱い生物擾乱が見られる塊状から厚層の砂質シルト岩-シルト岩からなる単調な岩相である。葉理が発達する部分も認められる。一部に凝灰質なシルト岩も挟在し、珪質な部分がある。*Phycosiphon*と判断される微細な水平性生痕化石が葉理面状に密集する層準が少なからず認められる。

佐藤ほか(2011)によれば、常磐自動車道工事露

頭の最上部には層厚3 m強の細-中粒砂岩が記載されているが、他のルートでは厚い砂岩層は確認できなかった。

層厚：上限の露出がないため、層厚は確定できないが、安倉南(R2)で約80 mの連続露出を確認でき、馬沢(R9)では本部層上部の露出を確認し、110 mを越えると予想された。

化石：下部層よりかなり稀で特定の層準に産するが、散在的にアンモナイトや小型あるいは薄殻の二枚貝を産する(表1, 2, 図版4)。安倉南(R2)では最下部の凝灰岩層から巻貝の外形が、椴木沢(R7)においては薄殻二枚貝*Entolium kimurai*やアンモナイト*Kilianiceras* sp., 硬鱗魚の歯、馬沢(R9)でも*E. kimurai*が産出した。佐藤ほか(2011)では常磐自動車道工事露頭の最上部から*Thurmanniceras isokusense*の産出が報告されている。

2) 堆積環境とその変遷

(1) 富沢層から小山田層下部層

富沢層から小山田層にかけての岩相変化は、陸成から海成への変化として海進があったと考えられることは先行研究でも述べられている(木山・井龍, 1998; 竹谷・遅沢, 2013)。網状河川成の富沢層(柳沢ほか, 1996; 安藤ほか, 2022)を浸食する、小山田層の平坦な基底面は、外浜環境において海進時の外洋波浪浸食を受けて形成されたもので、波浪ラビンメント面(wave ravinement surface: Nummedal and Swift, 1987, 以下ラビンメント面)と解釈される(図3, 図版1D RS, 2D, E)。そして、ラビンメント面上の細礫や粗粒砂を含む中粒砂岩は海進残留(ラグ)堆積物(transgressive residual/lag deposit)と推定される。この海進ラグに含まれる*Myophorella (Promyophorella) orientalis*などの二枚貝は外浜に生息していた個体が、海進に伴う外浜における波浪侵食で洗掘・移動し、いくらか集積して急速に埋没したものと考えられる。

(2) 小山田層下部層

下部層の砂岩は生物擾乱極細粒砂岩やHCS細粒砂岩が多く、比較的厚殻の二枚貝であるトリゴニア上科の*M. (P.) orientalis*や*G. takiensis*などの二枚貝もごく稀に産することから、下部外浜-内側陸棚の浅海で堆積したと考えられる(図版1-3)。HCS砂岩の存在はストーム波浪が卓越する環境であったことを示す。また、中粒砂岩が厚く発達する層準もあるので、一時的には上部外浜環境に達していたのであろう。

馬沢で認められたような数回の上方粗粒化ユニッ

トは、岩相の累積様式から堆積システムが①内側陸棚、②下部外浜、③上部外浜へと前進（海退）した後に後退（海進）が起り、その後再び前進（海退）するような、小規模な海進・海退の繰り返して形成された可能性が示唆される（図3、図版1）。こうした海進・海退の繰り返しは、富沢層の下位の中ノ沢層館ノ沢砂岩部層でも認められている。（安藤ほか、2022）。

小山田下部層の岩相が、安藤ほか（2022）で記載された中ノ沢層館ノ沢砂岩部層と類似していることから、館ノ沢部層堆積期のジュラ紀後期キンメリッジアン期に成立していた波浪卓越型の公海性浅海が、小山田層堆積初期にも存在していたことを示唆する。ただし、館ノ沢砂岩部層に比べて層厚が薄いことから、1）堆積速度や堆積物供給速度が小さかった、もしくは2）堆積期間が短かった可能性が高い、あるいは、3）急速に海進が進行した可能性もあろう。

（3）小山田層下部層上部の凝灰岩・凝灰質砂岩

凝灰岩および凝灰質砂岩層準は隠町溜池（R8）で層厚50 mを越えており、海底に降灰した細粒火山砕屑物が頻繁に再堆積した可能性が指摘され、層厚変化も顕著であることから南部に局部的に厚く堆積し、堆積中心は隠町溜池付近にあったことが示唆される（図3、図版3C、D）。厚い白色凝灰岩の存在は白亜紀最前期に後背地の火山帯（火山弧）での活発な酸性火山活動があったことを意味する。ただし、凝灰岩の下位にはHCS砂岩のような波浪卓越型浅海の堆積構造や堆積物があることから、この凝灰岩は浅海底に降灰したものが、再堆積した可能性が指摘される。

（4）小山田層上部層

上部層は単調な塊状-厚層シルト岩の細粒岩相が続くことから、外側陸棚-陸棚斜面の安定した泥底で堆積したと考えられる（図3、図版3B）。*E. kimurai*のような薄殻のホタテガイ上科の二枚貝は、これまでも世界各地のジュラ紀-白亜紀の沖合成の細粒岩相から産出することが知られている（Johnson, 1984など）。

下部層と上部層境界の層相変化は南安倉（R2）、馬沢（R9）、滝沢（10）で観察され、いずれも明瞭な境界をなして整合的に急変する（図3、図版3A）。これは、大規模な海進が生じて、浅海から外側陸棚以深の安定した環境に変化したことを示す。ただし、佐藤ほか（2011）で示された、常磐自動車道工事露頭（R11）の最上部の細粒-中粒砂岩（層厚3 m強）は一時的な砂質堆積物の流入があったことを示唆する。

小山田層全体で見ると、上方細粒化傾向が認めら

れるので、全体として海進傾向のもとで形成されたものと判断できる。先述したように、南相馬市原町区馬場西方には層厚約300 mにおよぶ小山田層の暗灰色シルト岩が分布し、本地域の小山田層上部層からその上位層準に位置付けられている（久保ほか、2000）ので、沖合環境は長期間継続したのであろう。

3. 大型化石相

小山田層から産出したアンモナイトと二枚貝の群集組成を調べるため、(1)化石記載論文（Sato, 1961a, b; 佐藤ほか, 2005, 2011; Kobayashi and Tamura, 1955; Tamura, 1959, 1960）の標本情報、(2)南相馬市博物館、および(3)茨城大学理学部地球環境科学コース収蔵標本（高橋治之茨城大学名誉教授採集）、(4)本研究での採集標本、(5)平宗雄採集標本について、同定されていないものは種を同定し、産地、層準を確認して産出個体数を数えた。採集者、採集法やクリーニング、保存の程度などが異なる標本であるが、部層毎にまとめて計数し表1、2に示した。

1) アンモナイト相

調査範囲から産した属種が同定できる標本について、破片を含め個体数を1とカウントし、小山田層全体では6属8種、総数285個体を数えた（表1）。下部層が産出数（総数256）で圧倒しており、上部層の産出頻度（総数29）はかなり稀であることを示す。両部層間での種組成の違いは上部層の頻度が小さいため、判断が難しい。

属別の構成を計数すると、下部層では多い方から、*Kilianella*, *Thurmanniceras*, *Kilianiceras*属の3属で全体のおよそ9割、*Neocosmoceras*を含めると上位4属で97%弱であった。これは田村ほか（2010）の指摘した属構成と調和的である。一方、上部層では、上部の層準から*Kilianella*, *Thurmanniceras*, *Kilianiceras*が産出するだけであった。したがって、佐藤ほか（2011）で指摘されたように小山田層のアンモナイト相の多様性は下部層、上部層ともに低く、単純な組成であった。しかしながら、日本の最下部白亜系のアンモナイト含有層は南部北上山地の気仙沼大島の磯草層（Sato, 1961a-b; Takahashi, 1973; 奈良ほか, 1994）や牡鹿半島の鮎川層（Sato and Takizawa, 1970）、岐阜県荘川村の手取層群御手洗層（佐藤ほか, 2008）に限られており、他の産地よりも多産し、属レベルの産出頻度を把握できることは重要である。なお、すでに、小山田層を含めた以上の4層における属構成は比較的単純で地域による差が少ないと指摘されている（佐藤ほか, 2011）。

アンモナイトの大部分は下部層の塊状生物擾乱細

粒砂岩層（馬沢：R9）や凝灰質砂岩，凝灰質シルト岩（常磐道工事露頭：佐藤ほか，2011）から産出している。馬沢の化石層準は，岩相やHCS砂岩の下位に位置する（図版 1C ⑥，3E）ことから，内側陸棚の堆積環境が推定され，ストーム波浪の影響を受けるような浅海であったことが指摘される。実際にアンモナイトの完全個体は少なく，多くは破壊を受けており，破片も少なくない。類似のアンモナイト群集の産する磯草層，鮎川層，御手洗層の層準の岩相は泥岩や砂質泥岩と記載されており（Takahashi, 1973, 奈良ほか，1994, 佐藤ほか，2008），小山田層の方が粗粒でより陸側の浅い堆積場であったと考えられる。したがって，アンモナイトは生息場の沖合から沿岸域まで運ばれ，その後，ストーム波浪のような堆積営力を受けて，内側陸棚まで運搬・集積され，比較的急速に堆積した可能性がある。砂岩が卓越する下部層にアンモナイトが多い要因の一つであるかもしれない。こうした浅海成砂岩にアンモナイトが多産する成因は，大森ほか（2022）でも考察されている。

2) 二枚貝相

二枚貝の個体数は，合弁を1，離弁を0.5，破片を0.2として計数し，部層毎の種構成を求めた。小山田層全体では，属種不明を除き，9属16種，計60.6個体を計数した（表2）。

下部層の二枚貝は8属13種，計43.6個体が計数された。アンモナイトに比べ多くないが，その中ではトリゴニア（三角貝）上科の*Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis*が最も多く4割を越えており，他には*Grammatodon takiensis*, *Astarte kanbarensis*, *Protocardia tosensis*, *Neocrassina subdepressa*などが産しているが，いずれも数個である。

一方，上部層においては，9属14種合計17.0個体が確認された。下部層より産出頻度が少ないが，*Entolium kimurai*と*Entolium* sp. がやや多く，*Astarte*, *Neocrassina*, *Corbula globosa*が複数産している。

相馬中村層群中ノ沢層（上部ジュラ系キンメリッジアン—トニアン下部）では22科40属60種の二枚貝が確認されている（田口ほか，2019）が，それに比べると多様性はかなり低く組成は単純である。これは産出頻度や化石の保存ポテンシャルが低かったことが要因の一つであったと考えられる。しかし，小山田層の二枚貝組成は，白亜紀最前期の細砂底・泥底二枚貝群集の組成を示す記録として重要である。

二枚貝類は底生生物として多様な生息型に応じた

底質に生息するため，岩相によって二枚貝組成が異なることが多い。例えば，砂岩が卓越する浅海成の下部層には，*Myophorella*, *Grammatodon*, *Astarte*といった浅潜没型内生二枚貝が多く二枚貝総数の8割を越えているが，シルト岩卓越層である沖合成相の上部層では*Entolium*のような外生二枚貝が多い傾向がある。いずれも底質環境を反映した群集組成であると判断できる。

4. 考察

1) 小山田層の化石層序年代

これまで，小山田層から産出する白亜紀最前期のアンモナイトや放散虫化石群集より，化石層序年代が考察されている。小山田層を含む日本の下部白亜系アンモナイト化石層序の先駆的研究はYabe (1943) やSato (1961a, b, 1962) まで遡るが，最近，常磐自動車道工事露頭から相馬中村層群研究会らの尽力によって新たに採取された多数の標本を用いて，研究が大きく進展した（佐藤ほか，2005；Sato and Taketani, 2008；佐藤ほか，2011など）。それらによれば，産出するアンモナイト属の生存期間の重なりから小山田層の主体はベリアシアンとされ，小山田層最上部が下部バラングニアンに及ぶ可能性が指摘されている。一方，小山田層上部層から産する放散虫群集からは，ベリアシンから下部バラングニアンとみなされている（竹谷，2013）。

本研究では，これらの成果を改訂する情報を得られていないが，最近，都丸ほか（2022）が馬沢（R9）における，アンモナイト化石層準より上位の小山田層下部層の凝灰岩から，バラングニアン前期を示すU-Pb年代（ 135.59 ± 0.77 Ma）を得ていることを指摘したい。さらに，小山田層上部層のシルト岩の炭素同位体比変動からバラングニアン後期に知られているWeissert Eventに類似した正のシフトが見られるという重要な成果もある。したがって，ベリアシアンアンモナイトの化石年代とは上下の逆転はないとしても，アンモナイト年代とU-Pb放射年代の間に大きな年代差があるので，今後両者の再検討をしていく必要がある。

2) 小山田層の岩相層序とHaq (2014) の海水準変動曲線との比較

Haq (2014) が示した白亜紀の世界的な海水準変動曲線と比較してみよう。ただし，白亜紀の期の境界年代は，最新の国際年代層序表（International Chronostratigraphic Chart: 国際層序委員会ウェブサイト，v2022/10）で少し改訂されているが，大きくは変わらないので，Haq (2014) の年代を用いるこ

とにする。ベリアシアンからオーテリビアンの部分を見ると、第2オーダーの長周期変動は、ベリアシアンに緩やかな上昇・下降があり、ベリアシアン前期の137.5 Ma付近まで下降が続いた後、やや急速な上昇に転じて、オーテリビアン後期まで続いている。つまり、(1) 緩やかな上昇期 (145–142 Ma) → (2) 高位安定期 (142–141 Ma) → (3) 急速な下降期 (141–137.5 Ma) → (4) やや急速な上昇期 (137.5–130 Ma) である。小山田層の推定堆積年代（ベリアシアン–バランギニアン）における第2オーダー変動の振幅は50 m以内と見積もれる。そして、ベリアシアンとバランギニアンには、それぞれ4回の第3オーダーの短周期振動が示されており、その振幅は40–70 mの範囲となっている。(1) から (3) までは6回、(4) のバランギニアンの部分が2回となる。もし、第2オーダーと第3オーダーの振動が重なって増幅した場合には100 mを越える変動があり得るかもしれない。

小山田層の堆積相変化の傾向から、小山田層は富沢層堆積後の大規模な海進傾向の中で形成されており、海進初期には第3オーダーの短期的な海進、海退を繰り返しながら下部層を構成する3–4層の上方粗粒化ユニットが形成されたことがわかる。その後、外側陸棚で深で堆積した上部層をもたらした大規模な海進が想定される。もし、海水準変動曲線の第2オーダー変動に対応していたとみなすならば、小山田層をもたらした海進の時期は(4)の上昇期前半のバランギニアン中頃以降が考えやすい。一方、前述した佐藤ほか(2011)などのアンモナイト・放射虫化石層序の推論である、「小山田層の主体がベリアシアンで、小山田層最上部が下部バランギニアン」に基づく、小山田層は(2)高位安定期から(3)急速な下降期に形成されたことになり、小山田層の堆積様式を考慮すると、汎世界的海水準変動を打ち消すような、地域的な堆積盆の大規模沈降を想定する必要がある。

いずれにしても、都丸ほか(2022)による、小山田層下部層からのバランギニアン前期を示すU-Pb年代(135.59±0.77 Ma)や上部層の炭素同位体比変動に見られたWeissert Eventに類似した正のシフトを含めた、総合的な検討が必要であろう。

3) 中期ジュラ紀から前期白亜紀の東北日本の堆積盆

鹿島沖から東北地方太平洋沖から北海道にかけて、白亜紀–古第三紀前半に存在していた蝦夷堆積盆(Ando, 2003; 安藤, 2006)における堆積開始は、陸上地層として記録された宮古層群のアプチアンや

蝦夷層群の同層準とされていた。最近、安藤・高橋(2017)や馬場(2017)が指摘しているように、東北地方の太平洋沖海底下には、非常に厚い白亜系の堆積物があり、その下限は白亜紀前期に及んでいる可能性がある。したがって、蝦夷堆積盆以前の堆積記録として小山田層は当時の日本列島における最前期白亜紀の堆積史や地質形成史を考える上で重要である。

研究地域南方の原町図幅内(久保ほか, 1990)では、層厚300 mの頁岩からなる小山田層の分布が報告されており、本地域の小山田層上部層のシルト岩およびその上位層準とすれば、研究地域周辺には小山田層が広く厚く分布していた可能性があり、馬場(2017)が示した下部白亜系の西方延長とみなすことが可能かもしれない。さらに、安藤ほか(2022)で示したように、小山田層より下位の富沢層、中ノ沢層、栃窪層は整然と重なっており、相馬中村層群全体では層厚が1000 mを越える。したがって、蝦夷堆積盆の時期より古い中期ジュラ紀から前期白亜紀にかけて、相馬中村層群や南部北上山地のジュラ系–下部白亜系を堆積させる前弧堆積盆が存在していたことが示唆される。

まとめ

1. 相馬中村層群小山田層は最大層厚約175 mが露出し、岩相から細粒砂岩が卓越し凝灰岩・凝灰質砂岩を伴う下部層と、シルト岩を主体とする上部層に細分できる。
2. 小山田層下部層(層厚25–80 m)は、下位の河川成の富沢層に平坦な外洋波浪侵食面(ラビンメント面)で重なる、内側陸棚–下部外浜成の生物擾乱–ハンモック型斜交層理細粒砂岩を主体として、上部外浜成の中粒–粗粒砂岩を伴う。分布南半部の上部には、厚い(最厚部で約50 m)凝灰質砂岩、細粒凝灰岩が発達する。上部層は外側陸棚–陸棚斜面成の均一な暗灰色シルト岩(最大層厚110 m)を主とする。
3. 全体として一連の上方細粒化(海進)傾向を示しているが、下部層下半部には上方粗粒化(前進/海退性)堆積相累重が少なくとも3回繰り返している。
4. 特定の層準から産する小山田層のアンモナイトは、*Kilianella*, *Thurmanniceras*, *Kilianiceras*, *Neocosmoceras*の4属で95%を占める単純な組成を示す。下部層の内側陸棚成塊状細粒砂岩層に多い傾向があり、堆積学的に濃集した可能性が指摘される。
5. 小山田層下部層の二枚貝は、基底砂岩を含む下半部の幾つかの層準に幾らか密集した層をなすが、

Myophorella, *Grammatodon*, *Astarte*といった浅潜没型内生種が8割を越えている。産出頻度の小さい上部層では、上記内生種のほか外生の*Entolium*が多い。

6. 小山田層の堆積年代はアンモナイトと放散虫からベリアシアンから前期バランギニアンとされてきたが、最近報告された凝灰岩のU-Pb放射年代や海水準変動曲線との比較から、再検討する必要がでてきた。

謝辞

南相馬市博物館の二上文彦氏には所蔵標本の観察でお世話になり、相馬中村層群研究会の八巻安夫氏、荒好氏には現地情報の提供を受け、調査にも同行いただいた。また、福島県立博物館の竹谷陽二郎氏からは、貴重な情報の提供やコメントを受けた。本研究は安藤に与えられたJSPS科研費17K05688および21K0373により助成を受けた。以上の各氏、各機関に感謝の意を表す。

文献

- Ando, H., 2003, Stratigraphic correlation of Upper Cretaceous to Paleocene forearc basin sediments in Northeast Japan: cyclic sedimentation and basin evolution. *Journal of Asian Earth Science*, vol. 21, no. 8, p. 919-933.
- 安藤寿男, 2005, 東北日本の白亜系-古第三系蝦夷前弧堆積盆の地質学的位置づけと層序対比. 石油技術協会誌, vol. 70, no. 1, p. 24-36.
- 安藤寿男, 2006, 関東平野東端の太平洋岸に分布する銚子層群・那珂湊層群・大洗層の地質学的位置づけ. 地質学雑誌, vol. 112, no. 1, p. 84-97.
- 安藤寿男・高橋雅紀, 2017, 白亜紀古日本陸弧-海溝系の復元: 日本列島の白亜紀地質記録からの再考. 化石, no. 102, p. 43-62.
- 安藤寿男・田口翔太・森野善広, 2022, 相馬中村層群中ノ沢層(ジュラ紀後期)の堆積相と堆積環境: 珪質碎屑性波浪卓越浅海から炭酸塩バリアーラグーンシステムへの変遷. 地質学雑誌, vol. 128, no. 1, p. 475-499.
- 馬場 敬, 2017, 10 海洋地質. 日本地質学会編, 日本地方地質誌2 東北地方, p. 427-478, 朝倉書店, 東京.
- Dott, R. H. Jr. and Bourgeois, J., 1982, Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. *Bulletin of Geological Society of America*, vol. 93, p. 663-680.
- Gale, A. S., Mutterlose, J., Batenburg, S., Gradstein, F. M., Agterberg, F. P., Ogg, J. G. and Petrizzo, M. R., 2020, Chapter 27 The Cretaceous Period. In Gradstein, F. M. et al., (eds.), *Geologic Time Scale 2020*, Elsevier, pp. 1023-1086.
- Haq, B., 2014, Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, vol. 113, p. 44-58.
- International Commission on Stratigraphy, 2022, *International Chronostratigraphic Chart, v2022/10*. <https://stratigraphy.org/chart#latest-version>.
- Johnson, A. L. A., 1984, The palaeobiology of the bivalve families Pectinidae and Propeamussiidae in the Jurassic of Europe. *Zitteliana*, vol. 11, p. 1-235.
- 木山 修・井龍康文, 1998, 上部ジュラ系小池石灰岩の堆積過程. 堆積学研究, no. 47, p. 17-31.
- Kobayashi, T. and Tamura, M., 1955, Studies on the Jurassic trigonians in Japan Part IV. The Myophorellinae from north Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, vol. 28, nos. 1-2, p. 35-48.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・山元孝広・滝沢文教, 1990, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 原町および大甕地域の地質. 地質調査所, 155p.
- Masatani, K. and Tamura, M., 1959, A stratigraphic study on the Jurassic Soma Group on the Eastern foot of the Abukuma Mountains, Northeast Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, vol. 30, p. 245-247.
- 松岡 篤, 1989, 相馬中村層群小山田層(最下部白亜系)からの放散虫化石. 化石, no. 46, p. 11-16
- 奈良親芳・箕浦幸治・竹谷陽二郎, 1994, 南部北上山地気仙沼・唐桑地域のジュラ~白亜系層序. 福島県立博物館紀要, no. 8, p. 29-63.
- Nummedal, D. and Swift, D. J. P., 1987, Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In Nummedal, D., Pilkey, O. H. and Howard, J. D., eds., *Sea-level Fluctuation and Coastal Evolution*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, vol. 41, p. 241-260.
- 大森 光・安藤寿男・村宮悠介・歌川史哲・隈 隆成・吉田英一, 2022, 双葉層群足沢層(上部白亜系コニアシアン階下部)浅海成細粒砂岩の大型ア

- ンモナイト密集層と巨大炭酸塩コンクリーション濃集層. 地質学雑誌, vol. 128, no. 1, p. 105-124.
- Sato, T., 1961a, La limite jurassico-crétacée dans la stratigraphie japonaise. *Japanese Journal of Geology and Geography*, vol. 32, nos. 2-4, p. 533-541.
- Sato, T., 1961b, Faune berriasienne et tithonique supérieure nouvellement découverte au Japon. *Japanese Journal of Geology and Geography*, vol. 32, nos. 2-4, p. 543-551.
- Sato, T., 1962. Études biostratigraphiques des ammonites du jurassique du Japon. *Mémoires de la Société géologique de France, Nouvelle Serie*, vol. 41, tome 94, p. 1-122.
- 佐藤 正・浅見昭子・蜂矢喜一郎・水野吉昭, 2008, 岐阜県庄川上流御手洗層からベリアシアン（白亜紀前期）アンモナイト *Neocosmoceras* の発見. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, no. 34, p. 77-80.
- Sato T. and Taketani, Y., 2008, Late Jurassic to Early Cretaceous ammonite fauna from the Somanakamura Group in Northeast Japan. *Paleontological Research*, vol. 12, no. 3, p. 261-282.
- 佐藤 正・竹谷陽二郎・鈴木千里・八巻安夫・平宗雄・荒 好・相田 優・古川裕司, 2005, ジュラ紀-白亜紀の相馬中村層群から新たに採集されたアンモナイト. 福島県立博物館紀要, no. 19, p. 1-41.
- 佐藤 正・竹谷陽二郎・八巻安夫・柄久保廣恭・荒好・平 宗雄・岸崎晃一郎・二上文彦・田村翼・松岡 篤, 2011, 南相馬市の相馬中村層群小山田層の新産地から採集されたベリアシアン（白亜紀初期）アンモナイトおよびオウムガイ化石群集. 福島県立博物館紀要, no. 25, p. 25-48.
- Sato T. and Takizawa, F., 1970, Appendix: On some Berriasian ammonites from the Ayukawa Formation, Ojika Peninsula. In Takizawa F., 1970, Ayukawa Formation of the Ojika Peninsula, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. *Bulletin of Geological Survey of Japan*, vol. 21, no. 10, p. 575-580.
- 田口翔太・安藤寿男・平宗雄, 2019, 相馬中村層群中ノ沢層（上部ジュラ系：キンメリッジアン）の堆積相と二枚貝相の変遷. 日本古生物学会第169回例会講演要旨, P11.
- Takahashi, H., 1973, The Isokusa Formation and its late Upper Jurassic and early Lower Cretaceous ammonite fauna. *Science Reports of Tohoku University, Second Series (Geology), Special Volume*, no. 6 (Hatai Memorial Volume), p. 319-336.
- 高橋雅紀・安藤寿男, 2016, 弧-海溝系の視点に基づく日本の白亜紀陸弧の配置. 化石, no. 100, p. 45-59.
- 竹谷陽二郎, 2013, 相馬中村層群小山田層から産出した最下部白亜系放散虫化石群集. 福島県立博物館紀要, no. 27, p. 1-24.
- 竹谷陽二郎・遅沢壮一, 2013, 中部ジュラ系～下部白亜系相馬中村層群の層序と化石. 地質学雑誌, vol. 119, 補遺, p. 68-81.
- Takimoto, H., Ohana, T. and Kimura T., 2008, New fossil plants from the Upper Jurassic Tochikubo and Tomizawa formations, Somanakamura Group, Fukushima Prefecture, Northeast Japan. *Paleontological Research*, vol. 12, no. 2, p. 129-144.
- Takizawa, F., 1985, Jurassic sedimentation in the South Kitakami Belt, Northeast Japan. *Bulletin of Geological Survey of Japan*, vol. 36, no. 5, p. 203-320.
- 田村 実, 1959, 相馬ジュラ紀層群産の鳥の巢二枚貝化石群について. 地質学雑誌, vol. 65, p. 280-289.
- Tamura, M., 1959, Taxodonta and Isodonta from the Jurassic Soma Group in North Japan. *Transaction and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 36, p. 168-180.
- Tamura, M., 1960, Heterodont and other pelecypods from the Upper Jurassic Soma Group Japan. *Transaction and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 39, p. 285-292.
- Tamura, M., 1961, The Torinosu series and fossils therein. *Japanese Journal of Geology and Geography*, vol. 32, no. 2, p. 219-252.
- 都丸大河・高嶋礼詩・西 弘嗣・黒柳あずみ・山中寿朗・折橋裕二・浅原良浩, 2022, 福島県上部ジュラ系-下部白亜系相馬中村層群の炭素同位体比層序と凝灰岩のU-Pb放射年代. 日本地質学会第129年学術大会講演要旨, T5-O-9.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, J. C., Mitchum, R. M., Vail, P. R., Sarg, J. F., Loutit, T. S. and Hardenbol, J., 1988, An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., Posamentier, H. W., Ross, C. A. and van Wagoner, J. C., eds., *Sea-level Changes:*

- An Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, vol. 42, p. 39-46.
- Yabe, H., 1943, Perisphinctid ammonite, an ally of *Parabolicseras* found in the Torinosu series of Zusahara, Soma gun in the Abukuma Mountainland. *Proceedings of the Imperial Academy*, vol. 19, p. 582-584.
- 柳沢幸夫・山元孝広・板野靖行・吉岡敏和・久保和也・滝沢文教, 1996, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 相馬中村地域の地質. 地質調査所, 144p.
- 吉田孝紀, 2017, 4.2.6 ジュラ系～下部白亜系. 日本地質学会編, 日本地方地質誌2 東北地方, p. 224-236, 朝倉書店, 東京.

Stratigraphy, sedimentary facies and biofacies of the Earliest Cretaceous (Berriasian-Valanginian) Koyamada Formation of the Somanakamura Group in Fukushima Prefecture, Japan

Hisao ANDO* · Taiga SUZUKI** · Shouta TAGUCHI*** ·
Muneo TAIRA**** and Hiroki INOSE*****

Abstract. The lithostratigraphy and distribution of the Lowest Cretaceous Koyamada Formation (maximum thickness: about 175 m) of the Somanakamura Group were investigated, and the depositional environment was estimated for the lower and upper members distinguished by lithology. The lower member consists of shallow-water (inner shelf-upper shoreface) sandstone overlying the fluvial Tomizawa Formation with a wave ravinement surface, and the upper acidic tuff and tuffaceous sandstone. The upper member is an outer shelf-shelf slope facies composed of homogeneous dark gray siltstone. The formation shows a transgressive upward trend, though the lower member constitutes at least three upward-coarsening facies successions suggesting small-scale sea-level oscillations. Ammonoids of the Koyamada Formation are simple in composition with four dominant genera accounting for 95%. Because ammonoids are common in massive fine sandstone of the lower member, they may have been transported and redeposited into shallow-marine sandy bottoms from habitat through sedimentary processes. Bivalves are somewhat accumulated in several layers in the lower half of the lower member including the basal sandstone. Shallow-burrowing infaunal species account for more than 80% of the bivalves in the lower member. On the other hand, epifaunal species are more frequent in the upper member. The sedimentary age of the Koyamada Formation previously designated as Berriasian-early Valanginian should be reexamined based on a comparison with recently reported U-Pb radiometric ages of tuff and global sea-level change curves.

図版説明

Explanations of Plates

図版 1 相馬中村層群小山田層下部層下半部の岩相層序を示す露頭パノラマ写真

楔マーク (太い方が粗粒) は上方粗粒化 (CFS)・上方細粒化 (FFS) 堆積相累重。白四角と番号は他の図版での拡大写真の範囲。①-⑦は岩相ユニット番号。スケール: ブラシ・立ち鎌, 1.2 m, 目盛は10 cm; ハンマー, 30 cm。凡例は図版1~3と共通。

- 小山田層下部層下半部の凝灰質砂岩 (層厚約20 m)。ハンモック型斜交層理 (HCS) や平行層理がよく発達。右端が小山田層下部層最下部層準。南山下 (R4) 林道沿い。
- 小山田層下部層の下半部上部の岩相。⑤凝灰質細粒砂岩および細粒凝灰岩, ⑥凝灰質細粒HCS砂岩, ⑦塊状中粒砂岩。馬沢 (R9) 右岸。Cの下流側 (上位)。
- 小山田層下部層の下半部下部の岩相。①HCS細粒砂岩, ②塊状極細粒砂岩, ③平行層理細粒砂岩, ④塊状生物擾乱極細粒砂岩。右端の滝は富沢層 (Tm) で, 断層 (Ft) で小山田層と接する。馬沢 (R9) 右岸。
- 小山田層基底のラビメント面 (RS) と下部層最下部の岩相。滝沢 (R10)。Tm: 富沢層。①基底が浅い凹凸のあるラビメント面をなす中粒砂岩, ②HCS細粒砂岩, ③塊状生物擾乱極細粒砂岩, ④HCS極細粒-細粒砂岩・生物擾乱極細粒砂岩互層, ⑤HCS極細粒-細粒砂岩, ⑥塊状生物擾乱極細粒-細粒砂岩。
MFS: 最大海氾濫面 (maximum flooding surface)

*Ibaraki University **Educational Promotion Foundation of Chiba Prefecture, ***Nakoso Technical Highschool
****Research Association of the Somanakamura Group, *****Fukushima Museum

Plate 1 Panoramic outcrop photos showing lithostratigraphic successions of the Koyamada Formation, Somanakamura Group

Wedge-shaped triangles show coarsening-upward facies succession (CFS) and fining-upward facies succession (FFS). White quadrangles show photography ranges of enlarged photos on other plates. ①–⑦: lithologic unit numbers. Scales: brush and scythe (120 cm long with marks every 10 cm), hammer (30 cm). Legend applicable for all plates.

- A. Tuffaceous sandstone of the lower part of the Lower Member, Koyamada Formation (20 m thick) along a forestry road in Minamiyamashita (R4). Hummocky cross-stratification (HCS) and parallel stratification are conspicuous. The right end represents the lowest horizon of the Koyamada Formation.
- B. Lithological succession of the upper lower half of the Lower Member, Koyamada Formation upper than C along the right bank cliff at Umazawa (R9). ⑤: Tuffaceous fine sandstone and fine tuff, ⑥: HCS tuffaceous fine sandstone, ⑦: Massive medium sandstone.
- C. Lithological succession of the lower lower half of the Lower Member, Koyamada Formation lower than B along the right bank of Umazawa (R9). ①: HCS fine sandstone, ②: Massive very fine sandstone, ③: Parallel stratified fine sandstone, ④: Bioturbated massive very fine sandstone. The Tomizawa Formation in the right end cliff and small fall is in fault contact with the Koyamada Formation.
- D. Lithological succession of the lowest part of the Lower Member, Koyamada Formation overlying the Tomizawa Formation with a ravinement surface (RS) in Takizawa (R10). ①: Medium sandstone with shallowly undulated ravinement surface on the base, ②: HCS fine sandstone, ③: Bioturbated massive very fine sandstone, ④: alternating HCS very fine to fine sandstone and bioturbated very fine sandstone, ⑤ HCS very fine to fine sandstone, ⑥: Bioturbated massive very fine to fine sandstone. MFS: maximum flooding surface.

図版2 相馬中村層群富沢層最上部, 小山田層下部層の岩相層序と特徴的堆積構造を示す露頭写真

- A. 小山田層下部層の凝灰質細粒砂岩。HCSや平行層理がよく発達。位置は図版1A参照。南山下 (R4) 林道沿い。
- B. 小山田層下部層の凝灰質細粒砂岩。HCSや平行層理がよく発達。位置は図版1B参照。馬沢 (R9)。
- C. 小山田層下部層最下部 (下限より数m上位) の岩相。① 粗粒-中粒砂岩, ② 塊状極細粒砂岩, ③ HCS細粒砂岩・塊状極細粒砂岩互層。位置は図版1A参照。南山下 (R4) 林道沿い。
- D. 小山田層下部層基底の粗粒-中粒砂岩 (層厚10数cm) の層理上面。□○は二枚貝*Myophorella (Promyophorella) orientalis*の離弁殻の位置。図版3Fは□の拡大。この砂岩基底面はラビンメント面とみなされる。南山下 (R4) 沢沿い。
- E. Dの上方から見た地層上面の斜め断面。斜交層理上面の緩いうねりが見られる。
- F. 富沢層最上部のトラフ型斜交層理粗粒砂岩。D, Eの約10 m下位。南山下 (R4) 沢沿い。
- G. 富沢層最上部のアルコース質粗粒砂岩。滝沢 (R10)。

Plate 2 Outcrop photos showing lithostratigraphic successions and characteristic sedimentary structures of the uppermost Tomizawa Formation and the Lower Member, Koyamada Formation, Somanakamura Group

- A. Tuffaceous sandstone of the lower part of the Lower Member, Koyamada Formation with HCS and parallel stratification. Refer to Plate 1A for photography position in the outcrop along a forestry road at Mianamiyamashita (R4).
- B. Tuffaceous fine sandstone of the Lower Member, Koyamada Formation with conspicuous HCS and parallel stratification. Refer to Plate 1B for photography position at Umazawa (R9).
- C. Lithology of the lowest part (several meters above the base of the formation), Lower Member, Koyamada Formation. Refer to Plate 1A for photography position along the forestry road at Mianamiyamashita (R4). ①: coarse to medium sandstone, ②: Massive very fine sandstone, ③: Alternating HCS fine sandstone and massive very fine sandstone.
- D. Upper surface of coarse to medium sandstone (10 and several cm thick) at the base of the Lower Member, Koyamada Formation along a valley at Minamiyamashita (R4). □○ marks show disarticulated valves

Stratigraphy, sedimentary facies and biofacies of the Earliest Cretaceous (Berriasian-Valanginian)
Koyamada Formation of the Somanakamura Group in Fukushima Prefecture, Japan

of *Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis*. The □-marked part is enlarged in Plate 3F.

- E. Oblique sectional view of D showing shallow undulation of the upper surface of the basal sandstone of the Koyamada Formation.
- F. Trough cross-stratified coarse sandstone of the uppermost Tomizawa Formation situated at about 10 m lower than D and E along a valley at Minamiyamashita (R4) .
- G. Main lithology of arkosic coarse sandstone in the Tomizawa Formation at Takizawa (R10) .

図版 3 相馬中村層群小山田層の岩相層序と特徴的堆積構造を示す露頭写真

- A. 小山田層下部層（凝灰岩：Lower M.）－上部層（単調な暗灰色シルト岩：Upper Member）境界。滝沢（R10）
- B. 小山田層上部層の暗灰色シルト岩。馬沢（R9）林道沿い。
- C. 小山田層下部層上部の細－中層理細粒－粗粒凝灰岩。層厚約20 m。隠町溜池（R8）。
- D. 小山田層下部層上部の中－厚層理細粒－粗粒凝灰岩。層厚約10 m。Cの数m下位。隠町溜池（R8）。
- E. 小山田層下部層下部の塊状生物擾乱極細粒砂岩。図版1Cの岩相ユニット④上部のアンモナイト，二枚貝化石層準。馬沢（R9）右岸。
- F. 小山田層基底砂岩上面の*Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis*の離弁散在殻。地層面上の位置は図版2D参照。
- G. 小山田層下部層中部の①中～粗粒砂岩と②細粒砂岩。安倉沢（R1）。①上面に*Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis*の離弁殻（○）が含まれる。
- H. Gの①上面の*Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis*の離弁殻。

Plate 3 Outcrop photos showing lithostratigraphic successions and characteristic sedimentary structures of the Koyamada Formation, Somanakamura Group

- A. Boundary between the Lower (tuff) and Upper (monotonous dark gray siltstone) members of the Koyamada Formation at Takizawa (R10).
- B. Dark gray siltstone along a forestry road at Umazawa (R9).
- C. Thin- to medium-bedded fine to coarse tuff approximately 20 m thick at Kakuremachi Pond (R8).
- D. Medium- to thick-bedded fine to coarse tuff approximately 10 m thick upper than C with a few meters break at Kakuremachi Pond (R8).
- E. Bioturbated massive very fine sandstone bearing ammonoids and bivalves in the lower part of the Lower Member (upper part of Unit ④ on Plate 1C), Koyamada Formation along the right bank of Umazawa (R9).
- F. Disarticulated valves of *Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis* on the upper surface of the basal coarse sandstone of the Koyamada Formation. Refer to Plate 2D for the position within the outcrop.
- G. Medium to coarse (①) and fine (②) sandstone in the middle part of the Lower Member, Koyamada Formation at Yasukurazawa (R1). White circle shows the position of a disarticulated valve of *Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis* on the upper surface of ①.
- H. Enlargement of a disarticulated *Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis* in the white circle on G.

図版 4 小山田層から産出した化石

スケール：1 cm.

Fig. 1a. b. c. *Neocosmoceras akiyamae* (Sato, 1961)

外型雌型のシリコン樹脂キャスト。灰色部は破損部を表す。産地：馬沢（R9）。南相馬市博物館 標本番号 MM000962。1a. 右側面。1b. 左側面（aの反対側），白塗り三角マークは1cのマークと対応。1c. 腹部。1bの白枠三角マークの右上方向から撮影。成長方向が上奥側。

Fig. 2. *Kilianella* sp.

左側面外型雌型のシリコン樹脂キャスト。産地：馬沢（R9）。高橋治之氏（茨城大学名誉教授）採集。南相馬市博物館 標本番号 MM000963。

Fig. 3. *Dalmsiceras muneoi* Sato and Taketani, 2008

左側面外形雌型のシリコン樹脂キャスト。産地：馬沢。高橋治之氏（茨城大学名誉教授）採集。南相馬市博物館 標本番号 MM000964.

Fig. 4 *Heminautilus* sp.

左側面外形雌型破片のシリコン樹脂キャスト。産地：馬沢 (R9)。南相馬市博物館 標本番号 MM000965.

Fig. 5. *Entolium kimurai* Tamura, 1959

左殻外型。上部は殻が剥がれ内形雌型となっている。産地：馬沢 (R9)。南相馬市博物館 標本番号 MM000966.

Fig.6. *Entolium kimurai* Tamura, 1959

右殻外型。産地：南山下 (R4)。南相馬市博物館 標本番号 MM000967.

Fig. 7. *Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis* (Kobayashi and Tamura, 1955)

右殻外形雌型のシリコンキャスト。産地：馬沢 (R9)。平宗雄氏採集。南相馬市博物館 標本番号 MM000968.

Fig. 8. *Protocardia tosensis* Kimura, 1956

左殻外型。産地：馬沢 (R9)。南相馬市博物館 標本番号 MM000969.

Plate 4 Fossils from the Koyamada Formation, Somanakamura Group

Scale: 1cm. Register numbers (MM···) are designated for samples repositied in Minamisoma City Museum.

Fig. 1a. b. c. *Neocosmoceras akiyamae* (Sato, 1961)

Silicon resin cast extracted from outer shell mold. Gray shaded areas indicate broken parts. Locality: Umazawa (R9). MM000962. 1a. right whorl flank. 1b. left whorl flank (other side of 1a). White arrow corresponds to the same mark on 1c, and white framed arrow indicates the photographing direction of 1c. 1c. ventral surface. The upper other side indicates the growth direction of whorl.

Fig. 2. *Kilianella* sp.

Silicon resin cast extracted from left outer shell mold. Locality: Umazawa (R9). Collected by Emer. Prof. Haruyuki Takahashi, Ibaraki University. MM000963.

Fig. 3. *Dalmasiceras muneoi* Sato and Taketani, 2008

Silicon resin cast extracted from left outer shell mold. Locality: Umazawa (R9). Collected by Emer. Prof. Haruyuki Takahashi, Ibaraki University. MM000964.

Fig. 4 *Heminautilus* sp.

Silicon resin cast extracted from left outer shell mold. Locality: Umazawa (R9). MM000965.

Fig. 5. *Entolium kimurai* Tamura, 1959

Outer surface of left valve. Locality: Umazawa (R9). The upper half equivalent to the juvenile stage is a mold of the inner shell surface due to breakage of very thin shell material. Locality: Umazawa (R9). MM000966.

Fig. 6. *Entolium kimurai* Tamura, 1959

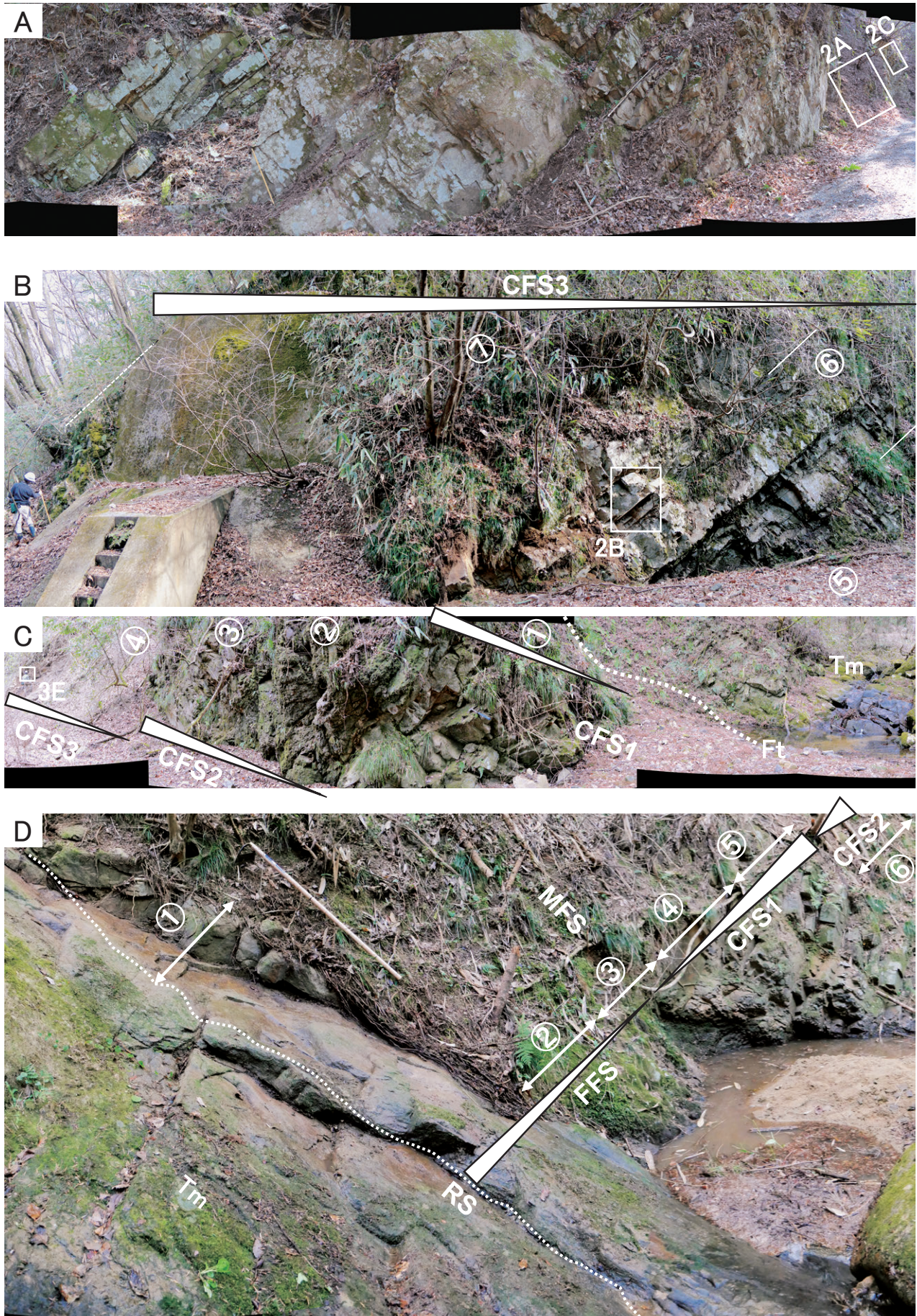
Outer surface of right valve. Locality: South Yamashita (R4). MM000967.

Fig. 7. *Myophorella* (*Promyophorella*) *orientalis* (Kobayashi and Tamura, 1955)

Silicon resin cast extracted from outer mold of right valve. Locality: Umazawa (R9). Collected by Muneo Taira. MM000968.

Fig. 8. *Protocardia tosensis* Kimura, 1956

Outer surface of left valve. Locality: Umazawa (R9). MM000969.



図版 2

Plate 2

