Bulletin of the Mizunami Fossil Museum, no. 44, Special Volume (2018), p. 63–70, 7 figs.
© 2018, Mizunami Fossil Museum

フォトグラメトリーを活用した瑞浪層群明世層産 *Crenomytilus grayanus*（二枚貝綱：イガイ科）群体（MFM16000）の三次元的な産状再現

安藤佑介 *・藤原慎一 **・安藤瑚奈美 ***

* 瑞浪市化石博物館　〒 509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-47
** 名古屋大学博物館　〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 1
*** 名古屋大学大学院環境学研究科　〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 1

3D reconstruction of fossilized colonies of *Crenomytilus grayanus* (Bivalvia: Mytilidae) (MFM16000) from the Akeyo Formation of Mizunami Group in Mizunami City, Japan, using the photogrammetric method

Yusuke Ando*, Shin-ichi Fujiwara, and Konami Ando*****

*Mizunami Fossil Museum, 1-47, Yamanouchi, Akeyo-cho, Mizunami City, Gifu 509-6132, Japan
<tyyu-destiny53@hotmail.co.jp>
**The Nagoya University Museum, 1 Furocho, Chikusa, NagoyaCity, Aichi 464-8601, Japan
***Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 1 Furocho, Chikusa, Nagoya City, Aichi 464-8601, Japan

Abstract

The specimen MFM16000 (Fig. 1, MFM: Mizunami Fossil Museum), the block containing at least twenty-eight individuals of *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) was collected from the *Crenomytilus*-bearing lens of the lower Miocene Akeyo Formation at the construction site of the Mizunami-Kita Junior High School, Toki-cho, Mizunami City, Japan. The three-dimensional mode of occurrence of the present specimen was reconstructed by using photogrammetric technique. The reconstructed 3D polygon enabled us to determine at least three colonies of *C. grayanus* in the specimen based on their byssus orientations. Additionally, the present paper introduces the method of applying the technique of photogrammetry to obtain a better understanding of the occurrence of fossils.

Key words: Bivalvia, Early Miocene, *Crenomytilus grayanus*, Mizunami Group, Photogrammetry

はじめに

2016 年（平成 28 年）から 2017 年（平成 29 年）にかけて，岐阜県瑞浪市土岐町の瑞浪北中学校敷地造成工事現場（以下工事現場）に露出した瑞浪層群明世層山野内部層下部から *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853)（エゾイガイ）が，合弁かつ密集した状態で多産した（安藤・糸魚川，2018）．産出した標本の多くは左右の殻がわずかにずれているものの，両殻がそろいかつ殻が閉じた状態であり，現地性に近い産状を示していると考えられている（安藤・糸魚川，2018）．特に *C. grayanus* が砂岩中に密集した状態で採取された標本 MFM16000（MFM：瑞浪市化石博物館の収蔵を示す略字）には，横 50 cm，縦 35 cm の母岩に 22 個体の合弁状態と 6 個の離弁状態の個体が含まれている（Fig. 1.1）．イガイ類のうち本種をはじめとする多くの種は，一般的に岩礁などに足糸で付着して群体を形成して生活することが知られ（例えば Beesley *et al*., 1998; Tsuchiya，2002），イガイ類が現地性に近い状態で産出する場合の多くは付着したであろう基盤や貝化石密集層の直上に産出する．たとえば，北海道のフラヌイ層（中期中新世：約 16 Ma）から産出する *Mytilus furanuiensis* Uozumi and Akamatsu, 1988（フラヌイイガイ）は，貝化石密集層直上から自生的な産状で産出し，貝化石密集層の上に直接群体を形成していたと考えられている（内村・間嶋，1992）．また，岐阜県恵那市南部に分布する岩村層群中の *C. grayanus* が産出する層準は礫を含む貝化石密集層であり（Shibata, 1978; Kurihara and Ohta, 2018 など），岩相および離弁の個体が多いことから異地性の産状と考えられる．

しかしながら，本調査により工事現場から産出した *C. grayanus* は合弁の状態でレンズ状に密集し，自生的に群体を形成していたような産状を示すが，下位や同層準中に岩礁

や貝殻礁が存在していた証拠は見当たらない．また，多くの個体が合弁であり，殻表の摩耗が少ない状態から，*C. grayanus* 遺骸が波浪などの影響を受けて長距離運搬され，その後堆積場に集積されたとは考えにくい．あわせて殻の破損や摩耗も少ないため二次堆積物ではない．群馬県下仁田町に分布する下仁田層（前期中新世：約 20 Ma）から産出した *Mytilus tichanovitchi* Makiyama, 1934（チカノヴィッチイガイ）は，合弁個体が砂岩層中にレンズ状に密集しており，工事現場から産出した *C. grayanus* と似たような産状を示しているが，栗原ほか（2005）は二次元的な産状の記載はしているものの，地層中の埋没状況や集積した原因については述べていない．

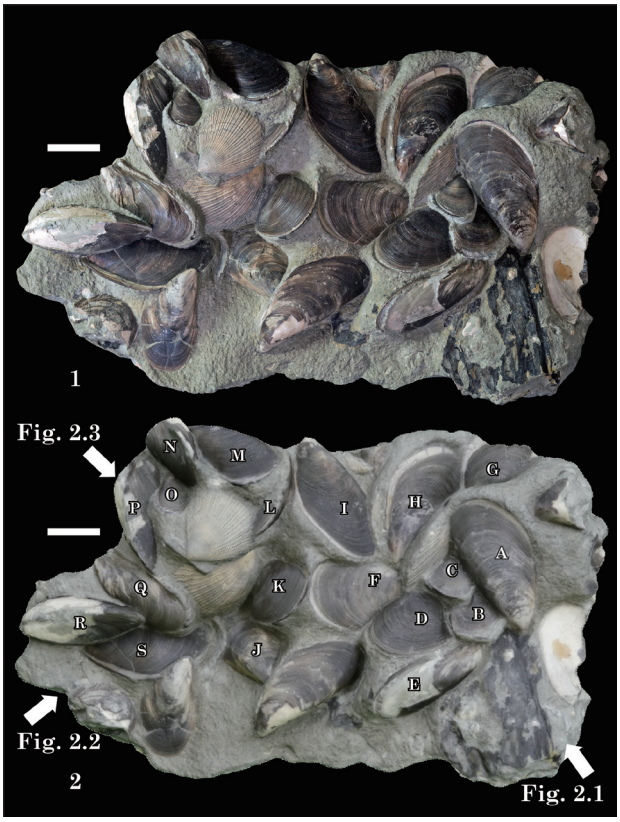


Fig. 1. ***Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853).** *1*, normal photographic data of MFM16000, upper view; *2*, 3D polygon data of MFM16000. Arrows indicate position and direction of each photograph in Fig. 2. All scale bars represent 5.0 cm.

図 1. ***Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853)（エゾイガイ）．** *1*，MFM16000 の上方からの通常撮影；*2*，MFM16000 の 3D ポリゴンデータ．矢印はそれぞれ Fig. 2 の画像に対応する．スケールは 5.0 cm.

群体を残した状態かどうか，残した状態であればその要因は何かを検討するためには各個体の埋没状態を復元しなければならないが，密集の程度や各個体の埋没姿勢などの三次元的な状態は標本 MFM16000 の表面を観察しただけではわからない．あわせて，工事の進捗など時間的な制約をうけ露頭での詳細な観察は行うことができず，*C. grayanus* の密集状態を保ったままの標本は MFM16000 のみの採取にとどまった．標本数が少ないため，標本を破壊した埋没状況の観察は困難な状況であった．したがって，標本の破壊など物理的な手法を用いた埋没状態の復元は避けなければならず，CT スキャンのような非破壊的な手法を用いる必要があるが，採取した標本は横 50 cm，縦 35 cm の大型であり，サイズ的にも制約を受けやすい．

近年，フォトグラメトリーという複数方向からの写真画像に基づく標本の三次元立体構築法が盛んになっており，足跡化石の産状の記録や体化石の三次元形状の取得において，古生物学の分野でも活用され始めている（Falingham, 2012 など）．フォトグラメトリーを用いた手法では CT スキャンのように対象物の内部を観察することはできないものの，得られた像を三次元化ソフトで合成することにより（1）標本を破壊することなく表面に一部でも見える個体の分布を三次元的に再現できる，（2）本研究で用いるような CT スキャンではサイズ的に難しい標本や，金銭的な制約がある場合を受けやすい標本でも利用可能である，といった利点がある．本論では，フォトグラメトリーを利用し，*C. grayanus* の産状復元を行った．フォトグラメトリーを貝化石の産状の解析に活用した例は初めてであり，三次元画像を解析した結果，岩石内部の *C. grayanus* の立体的な分布を復元することができた．本論では MFM16000 中の *C. grayanus* の三次元的な分布を述べるとともにフォトグラメトリーの有効性・活用方法について紹介する．

手法

本論で調査対象とする標本は MFM16000（Fig. 1.1）であり，産地や標本の記載は安藤（2018）および安藤・糸魚川（2018）でなされている．露頭上での写真記録（安藤，2018 の Fig. 7G）から，本研究では Fig. 1.1 に示す面を上面とした．本論では，以下の手法を用いて撮影および画像の立体構築を行った．

まず，MFM16000 を台の上に固定して傍にスケールを置き，グリーンバックの背景でデジタル工学カメラ（DMC-FZ300，Panasonic Co.）を用いて角度をずらしながら標本上面の上方から計 286 枚撮影し，裏返して同様に下方から 290 枚撮影した．撮影した写真は，フォトグラメトリー用ソフトウェア（Photoscan Standard Edition, Agisoft LLC）にインポートし，MFM16000 の上面と下面それぞれについて表面形状の立体構築を行った（Fig. 1.2, Fig. 2, Appendix 1）．

岩石中に埋没している各個体の三次元的な分布を復元するには，単体の標本の 3D ポリゴンを作成し，表面に露出している標本にパソコン画面上で重ね合わせて埋没の方向や程度，分布を再現する方法を用いた．しかしながら，MFM16000 からは単体の標本を分離することができない．そこで，単体で合弁であり，かつ同産地から産出した平均的なサイズの *Crenomytilus grayanus*（標本番号 MFM16002: 安藤・糸魚川，2018 の Pl. 2, fig. 2）についても写真撮影を行い，Photoscan を用いて表面の立体構築を行った．なお，本単体標本については，左殻の破損が多く両殻の再現が困難であったため，殻

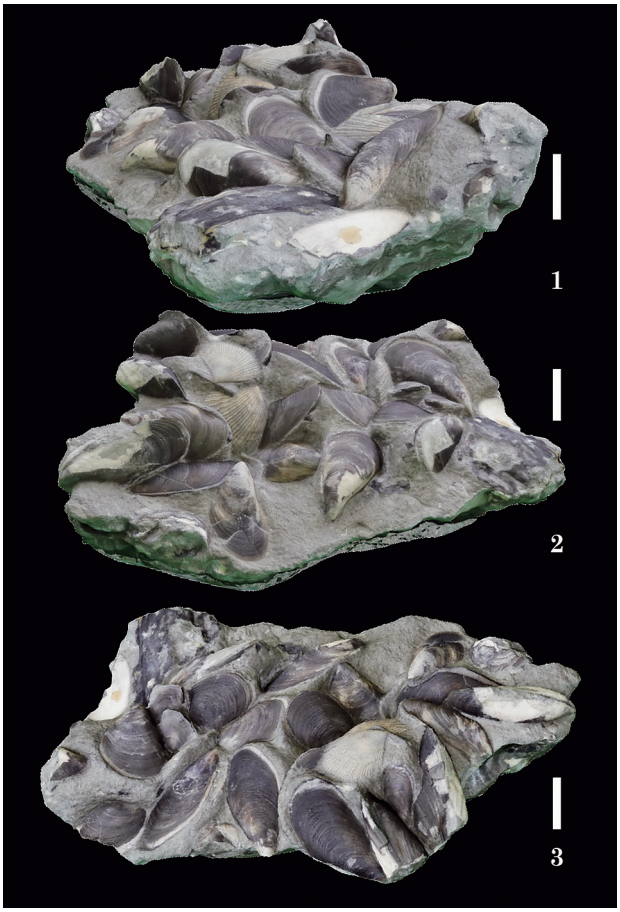


Fig. 2. 3D color polygon data of MFM 16000. All scale bars represent 5.0 cm.
図 2. MFM16000 の 3D カラーポリゴン画像．スケールは 5.0 cm.

が完全に保存されている右殻のみ 140 枚撮影した．左殻のポリゴン化については，*C. grayanus* の右殻と左殻の形状に大きな違いはないことから，取得した右殻のポリゴンを三次元形態解析ソフトウェア（Voxelcon 2014, Quint Co.）を用いて反転させ両殻を正中面で合成し，1 個体分の殻形状を再現した（Fig. 3）．これらは，表面テクスチャを貼りつけた 3D ポリゴンであり，3D PDF に書き出すことで Adobe PDF 上で三次元的に表面観察を行うことができる（Fig. 1.2, Fig. 2, Fig. 3）．

上述の方法で得られた MFM16000 の 3D ポリゴンは，上面と下面を別々に構築したものであり，そのままでは岩石中の *C. grayanus* の立体分布を観察することはできない．そこで，得られた 3D ポリゴン（MFM16000 の上面，下面および単体の標本）を三次元形態解析ソフトウェア（Voxelcon 2014）上で合成し，岩石中に埋没している *C. grayanus* の立体分布（各個体が岩石中でどの方向に，どの程度埋没しているか）の再現を試みた．まず，MFM16000 の上面と下面の 3D ポリゴンのスケールを合わせ，ソフトウェア上で合成を行った．次に，岩石表面に一部が露出する *C. grayanus* それぞれの個体について，単体の標本 MFM16002 から得られたポリゴンを，向き，殻長，殻幅，殻厚が合うように調整しながら重ね合わせていった．本手法を用いることにより，岩石中に殻の大部分が埋没した *C. grayanus* の分布を再現することができる．

各個体の埋没が再現された 3D ポリゴン（Appendix 2）を，Adobe PDF 上で回転して各個体の埋没状態を三次元的に観察した．標本表面からの観察で判明した合弁個体のうち，埋没方向や殻頂の方向が明らかな個体には A から S の番号を付与した（Fig. 1.2）．ポリゴンは，（1）背景色を黒に設定，（2）ライトをヘッドランプに設定，（3）表示方法を影付きイラストレーションに設定，（4）合弁でない個体および岩石を非表示，して観察を行った．また，観察した方向を Fig. 4 に示す．イガイ類のうち，岩礁などに付着する種については，イガイ類単体の腹縁から出た足糸が別個体の足糸あるいは殻に付着し，お互いに密接しあって群体を作ることが知られている（Tsuchiya and Nishihira, 1985; Beesley *et al.*, 1998 など）．したがって，ポリゴンの観察から個体の腹縁が別の個体の殻と密接している部分は個体同士が付着していたと考えられるため，付着していた可能性のある部分を黄色で示した（Figs. 5, 6）．なお，Fig. 5 と Fig. 6 の各図はそれぞれの方向から観察した時に，奥に位置している個体は意図的に消している．

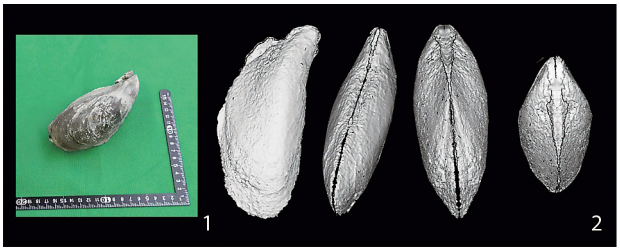


Fig. 3. Single specimen of *Crenomytilus grayanus* (MFM16002) used for reconstructing 3D distribution of individuals in the colony (MFM16000). *1*, normal photographic data of MFM16002; 2, 3D polygon data of MFM16002.
図 3. MFM16000 内の各個体の三次元分布の復元に使用した *Crenomytilus grayanus* の単体標本．*1*, MFM16002 の通常撮影；2, MFM16002 の 3D ポリゴン．

結果

フォトグラメトリーによって得られた 3D ポリゴンを用いて *Crenomytilus grayanus* 合弁個体の分布を観察したところ，表面的な観察でも推定される内部の三次元的な分布の観察においても，各個体の埋没方向や埋没角度に規則性は見られないことが明らかになった．各個体について観察した結果，MFM16000 の中央～右側の互いに近接する合弁 A–K の 11 個体のうち 4 個体（B, C, D, F）は層理面に対して約 40° 傾いて立っており，方向は一定である（Fig. 5.2）．また，これら 4 個体は腹縁の一部がそれぞれの個体間で互いに密接した状態である（Figs. 5, 6.3–6.5）．あわせて，A と E も埋没方向は一定ではないが，足糸が出ると思われる腹縁の一部が B, C, D, F と密接している（Figs. 5, 6.3–6.5）．H の腹縁の大部分は C と近接しているが（Figs. 5.1, 5.2, 5.5），表面上の観察では大部分が *Chlamys iwamurensis* Itoigawa, 1955（イワムラニシキ）に密接している（Fig. 1.1）．F と K の密接する部分

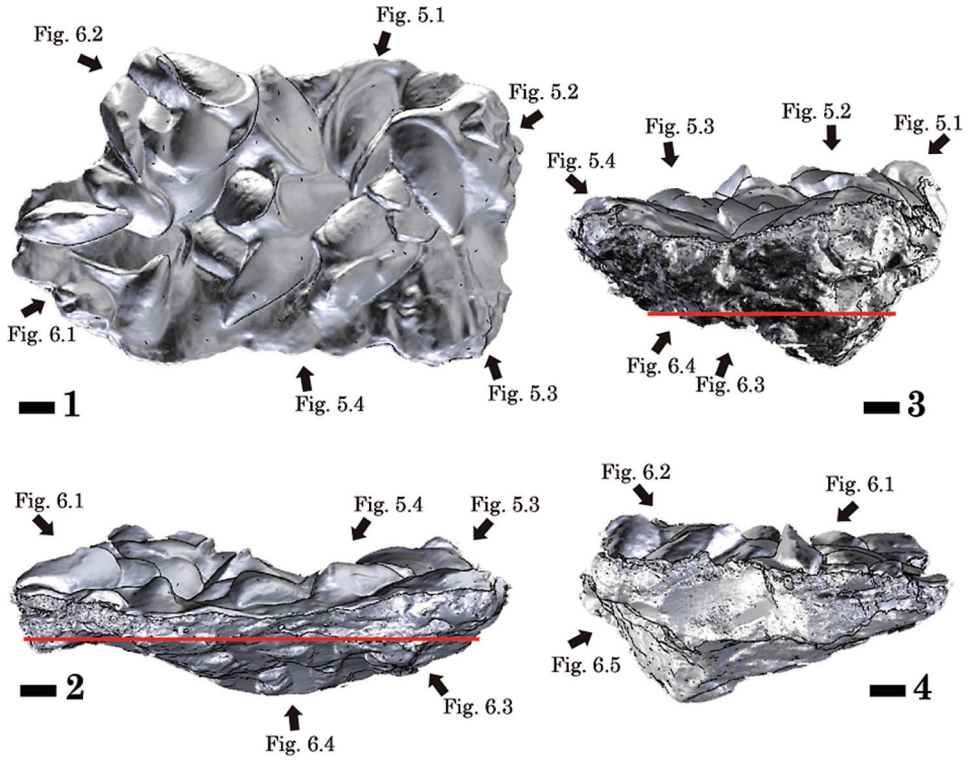


Fig. 4. Observation direction of the present specimen. Arrows indicate position and direction of each photograph in Figs. 5 and 6. *1*, upper view; *2*, lower view; *3*, right lateral view; *4*, left lateral view. The red lines indicate bedding plane. All scale bars represent 5.0 cm.

図 4. 標本を観察した方向．それぞれ方向から観察した図を Fig. 5 と Fig. 6 に示す．*1*，上面；*2*，下面；*3*，右側面；*4*，左側面．赤線は層理面を示す．スケールは 5.0 cm.

は後縁の一部である（Figs. 5.1, 6.4）．MFM16000 左側の個体（L–S）うち M–P の 4 個体は埋没方向が一定であり，腹縁の一部が密接している（Figs. 5.1, 6.1, 6.2, 6.5）．また，Q–S の 3 個体は埋没方向が似ているが，R の腹縁が S に密接した状態であり，Q と R は背縁が近接するのみである（Figs. 5.4, 6.1, 6.2, 6.4, 6.5）．一方，L と M，P と Q は近接しているが，密接する部分は背縁のみである（Figs. 6.1, 6.5）．

議論

イガイ類は，足糸開口のある腹縁を中心に個体同士が足糸を出し合い岩礁や足糸，他の個体の殻に付着し，また海藻や堆積物，貝殻片などを足糸間に取り入れてパッチ状の群体を形成する（Tsuchiya and Nishihara, 1985; Tsuchiya, 2002 など）．この状態は Lutaenko and Levenets (2015) が示すように遠距離を移動しても保たれている場合が多く，内村・間嶋（1992）が示すように群体を形成したまま化石になる場合もある．MFM16000 に含まれる標本のうち A–F，M–P，R と S の 3 つの集団は，腹縁の密接する部分が多い．それ以外の個体については，近接するものの腹縁は密接しておらず，単体で埋没したと考えられる．密接の程度について，本論では詳しい検証はしないが，Fig. 5 と Fig. 6 の観察で埋没方向が同じで腹縁を密接している個体，複数個体と腹縁を密接しあっている個体，腹縁の半分以上が他の個体と密接している個体については足糸を通して付着しあっていた可能性があるものとして議論する．現世において付着生活をするイガイ類は，規模の大小はあるものの，それぞれの個体が足糸を通じてパッチ状の群体を形成する（Tsuchiya and Nishihara, 1985）．これらの群体では，個体同士の付着方向はやや異なるものの腹縁を密接しているように見え，MFM16000 の中にはよく似た産状を示すものが含まれる（Fig. 7）．したがって，MFM16000 に見られる少なくとも 3 つの集団は群体を形成した状態を保っていると考えられる（Fig. 7）．あわせて，*Septifer agiensis* Itoigawa, 1955 や *Chlamys iwamurensis* などの付着性貝類が *C. grayanus* の密集部分から産出し，*Crepidula jimboana* Yokoyama, 1931 やフジツボ類が *C. grayanus* の殻表に付着して産出する状態から（安藤･糸魚川, 2018; 野村，2018），Tsuchiya and Nishihara（1985）が示した “*Mytilus island*” のような群体がエゾイガイ密集部中に複数保存されていたと考えられる．

内村・間嶋（1992）は，貝化石の産状から堆積相や古環境との関連を議論している．彼らは，貝化石が波浪などで集積した場合，貝殻は層状に密集し，一定の方向に集中すると解釈した．しかしながら，工事現場から得られた *C. grayanus* の埋没方向や埋没角度に規則性は見られない（Figs. 5, 6）．したがって，MFM16000 中の *C. grayanus* は少なくとも波浪などで生息場から各個体がバラバラに流された後，集積して埋没した状態ではないと考えられる．

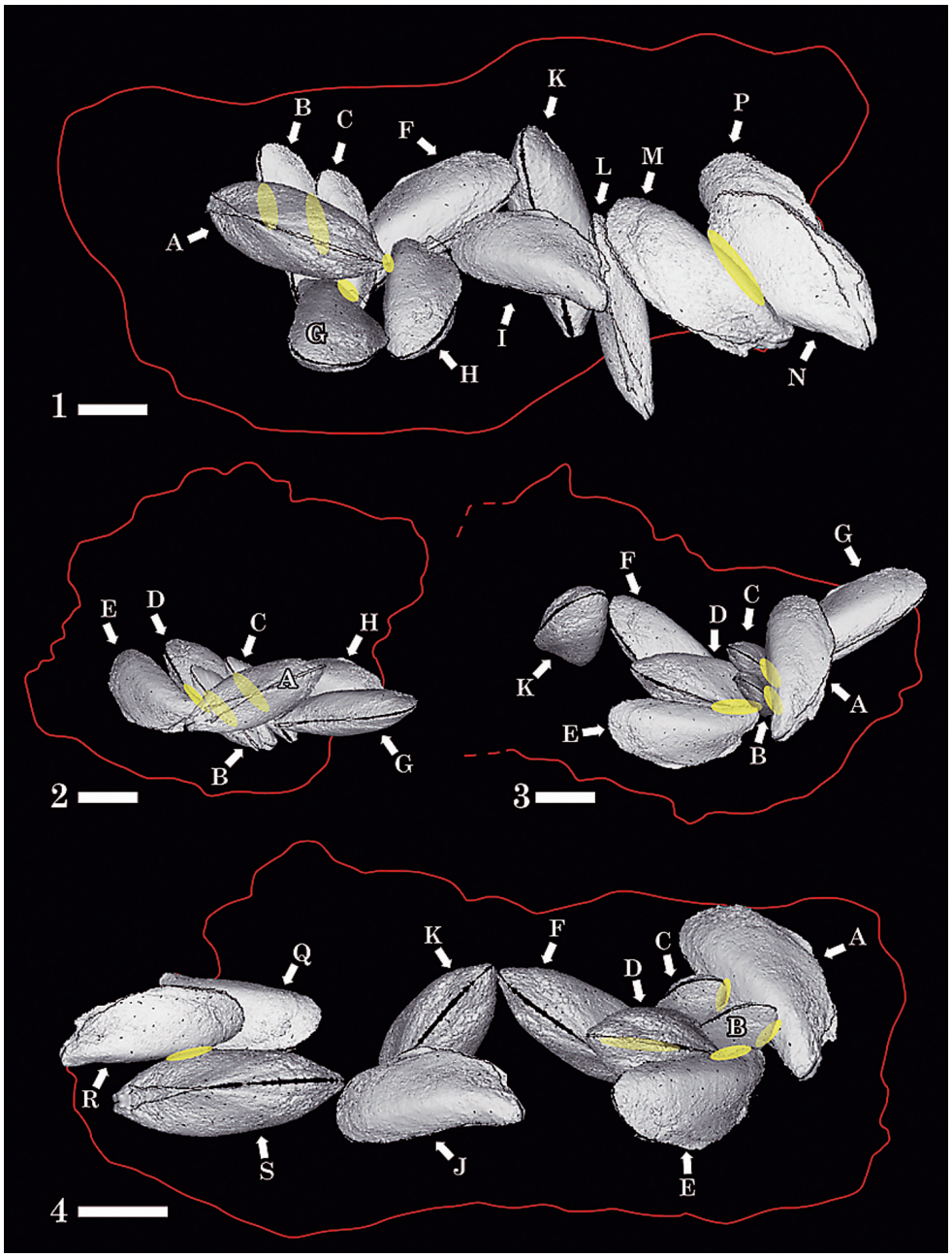


Fig. 5. Reconstruction of 3D distribution of *Crenomytilus grayanus* in MFM16000. Red lines show the outline of the matrix. Yellow shaded areas show attaching parts of each specimens. All scale bars represent 5.0 cm.

図 5. MFM16000 内部における各標本の三次元分布の再現．赤線は岩石の外形を示す．黄色は，各標本が密接する部分を示す．スケールは 5.0 cm.

工事現場から産出した *C. grayanus* の付着先については，その証拠を特定できないが，イガイ類は，岩礁以外にも流木や海藻などに付着して群体を形成することが知られている（梶原，1984; Tsuchiya, 2002; 藤原･河戸，2010 など）．藤原･河戸（2010）は，流木に群体を形成して付着したイガイ類が長期間表層を浮遊し，流木が海底に沈降後もイガイ類は流木に付着したまま群体の状態を維持して成長し続けることを示唆している．また，Tsuchiya（2002）はイガイ類が海藻を基質にして岩礁に付着する例を紹介している．この状態では，岩礁からイガイ類が離れても海藻によって群体の状態を保ったまま浮遊し，長距離を運搬されやすい．このような海藻を基質とした群体が保存された *C. grayanus* の漂着は現世の日本海沿岸で見られ，Lutaenko and Levenets（2015）の Fig. 7G や Fig. 8G の産状は，本論の Figs. 5–7 で示した産状に良く似ている．これらの事例を参考にすれば，工事現場から産出した *C. grayanus* は木材など比較的運搬されやすく，かつ容易に分解され化石として残らない物体上で群体を形成し，その後付着物とともに堆積場に運搬された可能性が考えられる．あるいは，海藻とともに岩礁に付着して生息していた群体の一部が波浪などの影響で岩礁から離れ，海藻によって群体の状態を維持したまま表層を浮遊し，堆積場に運搬されて集積した可能性がある．

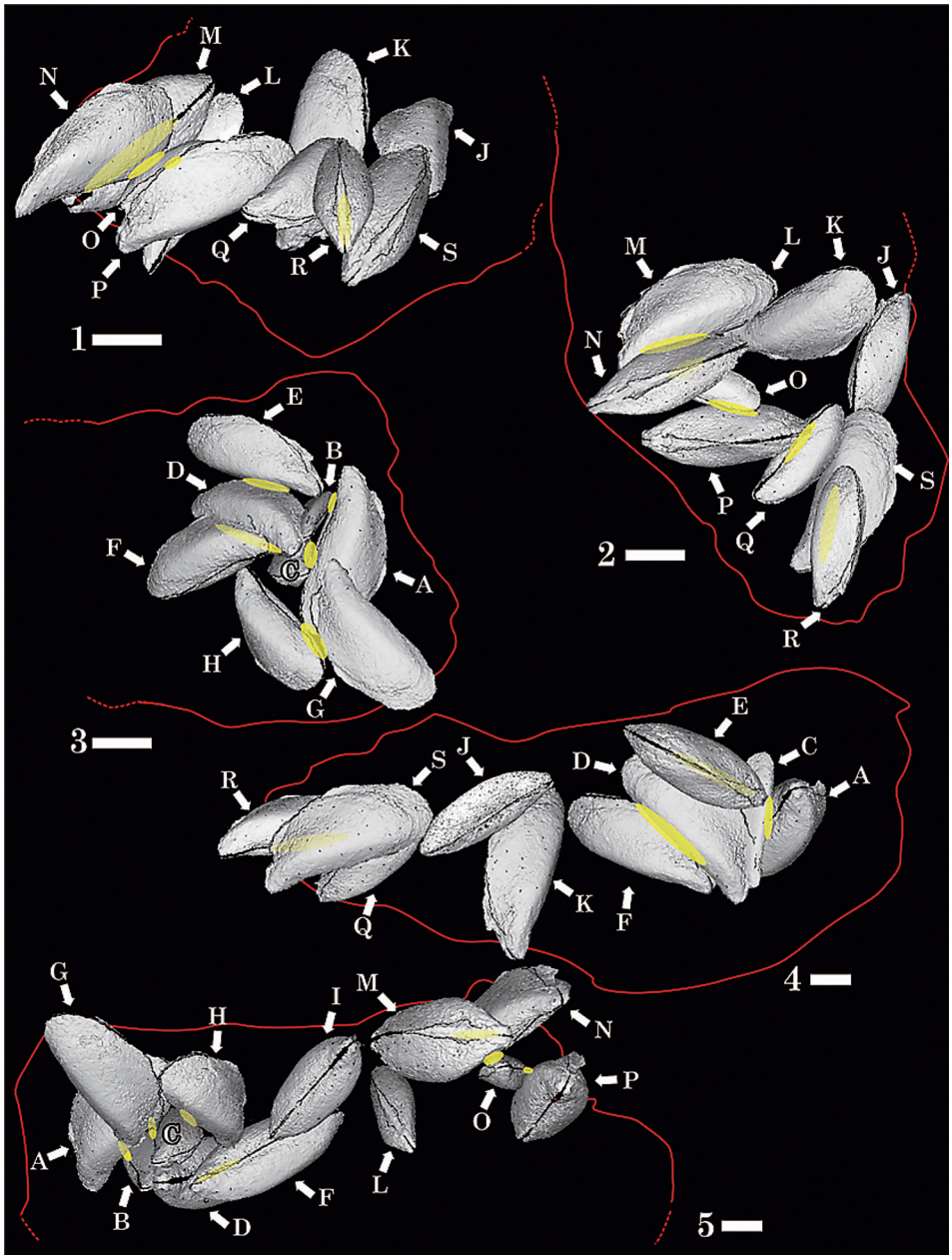


Fig. 6. Reconstruction of 3D distribution of *Crenomytilus grayanus* in MFM16000. Red lines show the outline of the matrix. Yellow shaded areas show attaching parts of each specimens. All scale bars represent 5.0 cm.

図 6. MFM16000 内部における各標本の三次元分布の再現．赤線は岩石の外形を示す．黄色は，各標本が密接する部分を示す．スケールは 5.0 cm.

フォトグラメトリーの利点および有効性

フォトグラメトリーを本研究に活用した結果，完全に埋没している個体の再現はできないものの，一部が観察できる個体の岩石中における三次元的な分布の再現ができた．これまで，貝化石の埋没状態を再現する場合は，内村・間嶋（1992）のような二次元的な解析が主であったが，今後は 3D ポリゴンを利用した三次元的な観察を行うことにより，より複雑な埋没状態を再現できると思われる．3D ポリゴン化の点については，デジタルカメラを用いるため，レーザースキャンよりも安価に画像の立体構築ができる（レーザースキャンを用いた場合の 1/10 以下の価格）という利点がある．また，現地で観察が困難な状態でも採取後に標本の破壊を行わずに本論のような埋没状態の観察を行うことができる．本研究で試みた単体の標本を利用して構築したポリゴンを用いた観察方法は，CT スキャンほどではないものの，岩石中における標本の埋没方向や三次元分布の再現性は高い．

一方，前述のような埋没状態を再現するには写真から立体画像を構築する作業や単体標本を埋め込む対象の標本サイズに合わせる作業が必要である．これらの作業は複雑で行程も多く，また手法の習得には時間を要する．また，標本のクリーニングの程度に左右され，完全に埋没している個体について

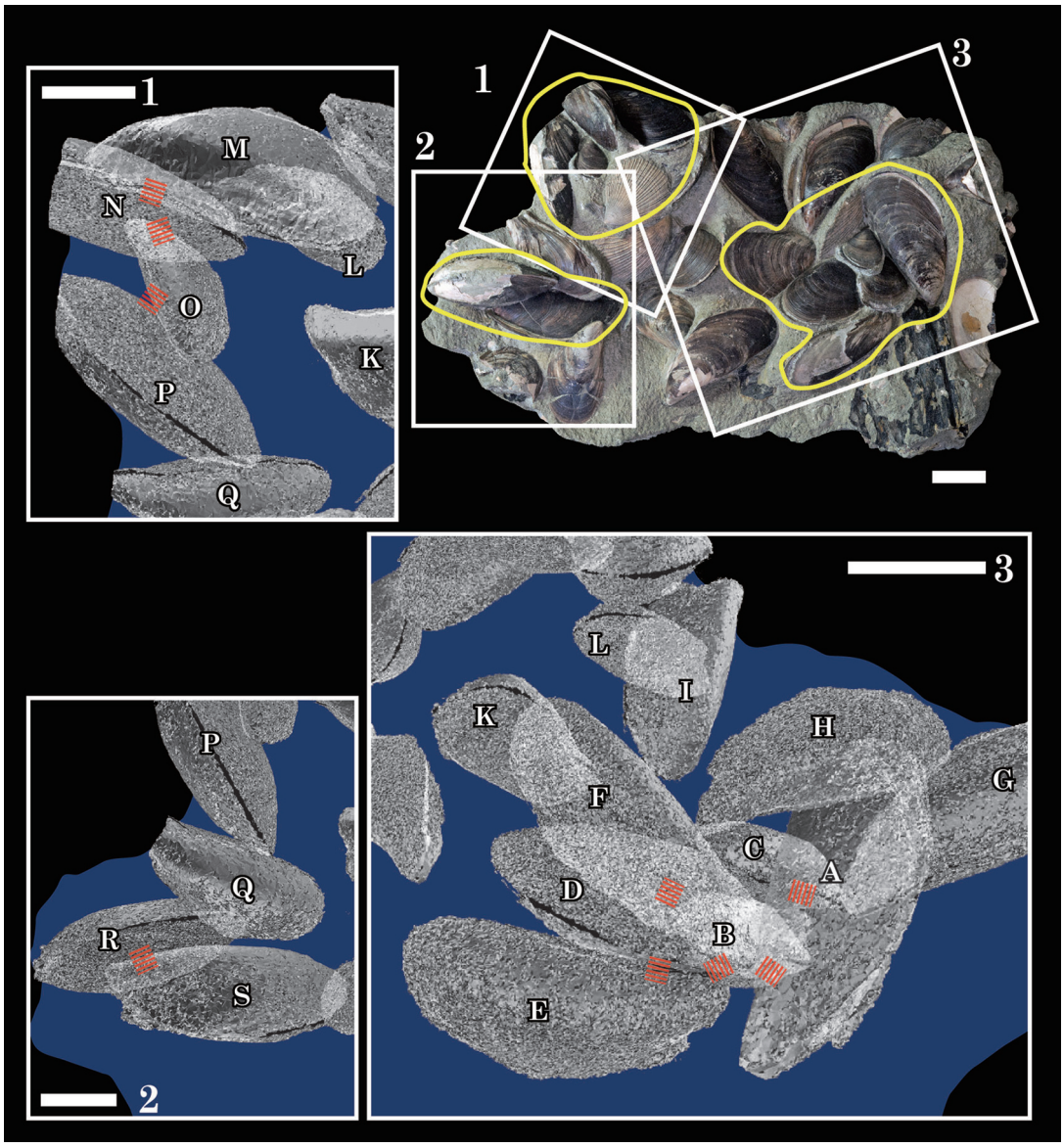


Fig. 7. Reconstrubted 3D distribution of *Crenomytilus grayanus* individuals within the block of MFM16000. The presumed colonies of *C. grayanus* are outlined in yellow. The possible distributions of byssus connecting the individuals with each other in the colony were shown in red striped areas. Blue areas show the matrix. Scale bars represent 5.0 cm.

図 7. MFM16000 中の *Crenomytilus grayanus* 群体の再現．黄色線は，推定される *C. grayanus* 群体の外形を示す．赤破線は，互いに足糸を出し合い付着しあった可能性のある個体を示す．青色は，岩石を示す．スケールは，5.0 cm.

は再現を行うことはできない．あわせて，内部の三次元的な分布を調べるには単体の別標本が必要である．

作業過程の複雑さなどの欠点もあるが，今後大型でかつ破壊を避けるべき標本，表面の観察によって形が明らかに推定できる標本の埋没状況を観察する一つの手法としてフォトグラメトリーは活用できる．あわせて，本研究で作成したポリゴン画像は視覚的効果を狙った展示の資料となることが期待される．

謝辞

楓 達也氏（瑞浪市日吉町）には標本 MFM16000 採取の際にご協力いただいた．工事施工業者である市川・今井特定建設工事共同企業体の方々には現地での調査に便宜を図っていただいた．名古屋大学大学院環境学研究科の林　誠司博士には文献入手に関してご協力いただいた．Michael T. Coutu 氏（名古屋市）には英文を校閲していただいた．国立科学博物館の芳賀拓真博士には，原稿を査読していただき，あわせてイガイ類の埋没について有益なご助言をいただくとともに文献を紹介していただいた．足寄動物化石博物館の新村龍也氏には，原稿を査読していただき本論は大幅に改善された．

以上の方々に厚くお礼申し上げます．

引用文献

安藤佑介．2018. 瑞浪北中学校敷地造成工事現場で観察され

た中新統瑞浪層群の露頭．瑞浪市化石博物館研究報告 44, 特別号 : 1–11.

安藤佑介・糸魚川淳二．2018. 瑞浪北中学校敷地造成工事現場に露出した明世層中の *Crenomytilus*（エゾイガイ）密集部から産出した貝類化石．瑞浪市化石博物館研究報告 44, 特別号 : 13–24.

Beesley, P.L., G. J. B. Ross, and A. Wells. 1998. Mollusca: the Southern synthesis, Fauna of Australia 5: 563 p. CSIRO Publishing (Melbourne).

Dunker, W von. 1853. Neue Mytilaceen. Zeitschrift für Malakozoologie 19: 82–92.

Falkingham, P. L. 2012. Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. Palaeontologica Electronica 15(1): 1T, 15 p.

藤原義弘・河戸　勝．2010．鯨骨生物群集と二つの「飛び石」仮説．高圧力の科学と技術 20(4): 315–319.

Itoigawa, J. 1955. Molluscan fauna from the Mizunami Group in the Iwamura Basin. Memoirs of the College of Science, Kyoto University, Series B 22: 127–143.

梶原　武．1984．高知県古満目湾のミドリイガイについて．付着生物研究 5(1): 55.

栗原行人・中野孝教・小笠原憲四郎．2005. 群馬県の中新統下仁田層から産出した化石イガイ科二枚貝 *Mytilus tichanovitchi* Makiyama －その生層序学的・海洋古気候学的意義の再検討－．地質学雑誌 111: 498–507.

Kurihara, Y., and K. Ohta. 2018. The identity of the large "*Mytilus*" (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) from the lower Miocene Iwamura Group, central Japan, Bulletin of the Mizunami Fossil Museum 44: 51–58.

Lutaenko, K. A., and I. R. Levenets. 2015. Observation on seaweed attachment to bivalve shells in Peter the Great Bay (East Sea) and their taphonomic implications. Korean Journal of Malacology 31(3): 221–232.

Makiyama, J. 1934. Asagaian molluscs of Yotukura and Matchgar. Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series B 10: 121–167.

野村真一．2018. 瑞浪北中学校敷地造成工事現場の瑞浪層群明世層から産出した化石フジツボ類．瑞浪市化石博物館研究報告 44, 特別号 : 25–30.

Shibata, H. 1978. Molluscan paleoecology of the Miocene First Setouchi Series in the eastern part of the Setouchi geologic province, Japan. Bulletin of the Mizunami Fossil Museum 5: 23–110.

Tsuchiya, M. 2002. Faunal structures associated with patches of mussels on East Asian coasts. Helgoland Marine Research 56: 31–36.

Tsuchiya, M., and M. Nishihira. 1985. Islands of *Mytilus edulis* as a habitat for small intertidal animals: effect of island size on community structure. Marine Ecology Progress Series 25: 71–81.

Tsuchiya, M., and M. Nishihira. 1986. Islands of *Mytilus edulis* as a habitat for small intertidal animals: effect of *Mytilus* age structure on the species composition of the associated fauna and community organization. Marine Ecology Progress Series 31: 171–178.

内村竜一・間嶋隆一．1992. 中期中新世初期の温暖性貝類と寒冷性貝類の混合海域－中部北海道フラヌイ層を例として－．地質学雑誌 98: 1129–1144.

Uozumi, I., and M. Akamatsu. 1988. Notes on the four diagnostic Miocene mytilids of Hokkaido, north Japan. In: Grant-Mackie, J.A., Masuda, K., Mori, K. and Ogasawara, K. (eds.), Profeccer Tamio Kotaka Commemorative Volume on Molluscan Paleontology, Saito Ho-on Kai, Special Publication 2: 325–338, Sendai.

Yokoyama, M. 1931. Neogene Shells from Karafto and the Hokkaido. Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo Section II, Geology, Mineralogy, Geography, Seismology 3: 185–196.

2017 年 10 月 30 日　原稿受理

Appendix 1

3D polygon of MFM16000 (3D PDF).

URL: http://www.city.mizunami.lg.jp/docs/2018011300017/

付録 1

MFM16000 の 3D ポリゴン（3D PDF で閲覧可能）.

URL: http://www.city.mizunami.lg.jp/docs/2018011300017/

Appendix 2

3D distribution data of *Crenomytilus grayanus* (3D PDF).

URL: http://www.city.mizunami.lg.jp/docs/2018011300017/

付録 2

エゾイガイの三次元分布画像（3D PDF で閲覧可能）.

URL: http://www.city.mizunami.lg.jp/docs/2018011300017/