

報 告
 Technical Report

南伊豆差田石灰岩の微化石生層序年代
 – 伊豆半島地史に関する新知見 (その 1)

松丸 国照^{*†}・八木 正彦^{**}

(Received September 16, 2021 ; accepted March 30, 2022)

Geological age of the Sashida Limestone in south Izu region, Japan based on microfossils
 – New knowledge about the geohistory of the Izu Peninsula (Part 1)

Kuniteru Matsumaru and Masahiko Yagi

Abstract : The late Cretaceous, Paleocene, late Middle to Late Eocene, Oligocene and early Early Miocene larger (benthonic) and planktonic foraminifera were confirmed for the first time, in addition to Early-Middle Miocene larger foraminifera, from the Sashida Limestone included basalt pebbles beside the outcrop, which was covered by river-construction, and near there, Sashida, Kamo-Gun, south Izu Peninsula, Japan. The Sashida Limestone consists of clastic carbonate rocks of various ages from the late Cretaceous through early Early Miocene to late Miocene or early Pliocene. From the research conclusion, the geology and geohistory of the Cretaceous-Paleogene Shimanto Group and Paleogene Setogawa Group along the Pacific Ocean as the pre-Yugashima Group, and the locus of lateral mobility of the Izu landmass of the antecedent of the Izu Peninsula were indicated as further research.

Keywords : Sashida Limestone, Izu Peninsula, larger and planktonic foraminifera, Late Cretaceous, Paleocene, late Middle-Late Eocene, Early Oligocene-early Early Miocene, Letter Stage, Izu landmass

1. はじめに

伊豆半島には古第三紀の地層や岩石は発見に至っていない。房総半島には嶺岡帯、三浦半島には葉山帯として古第三紀暁新世～始新世の地層や岩石が分布し、これらは主に玄武岩類からなる(青木, 1925; 高橋ほか, 2016)。伊豆半島や小笠原諸島延長帯と日本列島との衝突帯の際の付加体と見なされる瀬戸川層群は、嶺岡帯、葉山帯の延長と考えられ、古第三紀から新第三紀前期中新世の地層や岩石からなる。瀬戸川層群は下位から玄武岩、石灰岩、チャート、頁岩、砂岩頁岩互層および砂岩からなり、断層活動や褶曲作用を強く受けて変形している。前弧における唯一の油田であった静岡県牧之原市相良油田の原油は、根源岩分析および油・ガスの地化学性状などから、主に瀬戸川層群で生成され、断層を通路として相良油田に移動集積したモデルが提示されている(加藤ほか, 2007)。前弧では石油シス

テムに影響を及ぼす古第三系～新第三系堆積盆分布が乏しいが、地質状況から検討が難しい場合が多い。前弧、特にフィリピン海プレート北東縁における地域の地史や構造発達を正しく理解することは、日本列島形成史のみならず石油地質学にとっても重要である。

以上の視点から、南部フォッサマグナ地域に位置を占め、フィリピン海プレートの北東縁にある伊豆半島は、層序、地質構造、地史、テクトニクスなどを解析する上で重要である。そこでの新第三系は、下部の湯ヶ島層群と上部の白浜層群からなり、両者の岩相が水平方向と垂直方向に変化する安山岩質火山砕屑岩から主に構成される。両層群には凝灰質砂岩、頁岩が発達し、さらには石灰岩が挟み込まれるが、それらの層序や分布の詳細は、白浜層群最上部の鮮新世から現在の新期火山岩や火山砕屑岩類に広く覆われて不明確である。そこでの重要な示準化石“*Lepidocyclina*”含有の石灰岩の層序は、湯ヶ島層群の上部や白浜層群の基底に置くなどの見解が存在し、未解決な問題を抱えている。盛谷・沢村(1965)は、湯ヶ島層群下位に輝石安山岩類の火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩、凝灰質砂岩、頁岩などの硬質岩体が松崎町仁科川周辺域(一色～八重野部落間を模式地)に発達し、一部不整合関係にあるが、それを仁科層群と命

* 埼玉大学名誉教授 Professor Emeritus of Saitama University,

** 石油資源開発株式会社 技術本部技術研究所 Japan Petroleum Exploration Co.,Ltd., Research Center

† Corresponding author : E-Mail : K. Matsumaru, matsumar@mail.saitama-u.ac.jp

名した。沢村ほか (1969) は、その後の再調査から仁科層群を撤回し、湯ヶ島層群下部に含めたが、仁科川周辺でいまだ時代を決定づける微化石の正式な報告はなく、湯ヶ島層群と合わせて層厚 5,000 m を超える主に塩基性火山岩類の時代や地史はいまだ明らかではない。

著者らは伊豆半島南部の調査で、賀茂郡差田において白浜層群一色凝灰岩層分布域内の 2 か所の石灰岩採取地点で、差田石灰岩がさまざまな異質な岩片や玄武岩礫を含む生砕性石灰岩であることに着目した。採取地点の 1 か所は、露頭が河川工事で塞がれた付近に散在した巨大転石であり、もう 1 か所も土地改良区の際の転石からなる。産出した有孔虫微化石から時代論、堆積場、地史的背景の推定を行った。また、Sr 同位体年代の測定から産出有孔虫の年代の確認を行った。さらに含有玄武岩礫の火山岩石学から噴出場のテクトニクスの推定を行った。その結果、従来とは全く異なる多くの新事実と知見から貴重な見解が得られた。有孔虫化石の結果を報告その 1 で、Sr 同位体年代および玄武岩礫の火山岩石学とそこから推定される起源を報告その 2 で報告することにする。

2. 地質概説

伊豆半島新第三系は、下部～中部中新統の変質安山岩類や緑色凝灰岩類を総称した湯ヶ島層群 (田山・新野, 1931 命名) と中部～上部中新統、さらに最上部鮮新統の粗粒火山碎屑岩およびさまざまな溶岩相を伴う白浜層群 (田山・新野, 1931, 命名; 沢村ほか 1969 再定義) から構成される (木村, 1988)。両層群には層位・層序区分・分布や時代、変質時期、構造上の問題など未解決の課題が多く存在する。層序問題では、伊豆半島の示準化石大型有孔虫 *Lepidocyclina* (日本新第三系産 *Nephrolepidina japonica* (Yabe) の時空分布を論じた Matsumaru, 1971a を使用した Loeblich and Tappan, 1987 の *Nephrolepidina* 属に相当) を産出する石灰岩や凝灰質砂岩の層準については 2 つの異なった見解がある。鮫島・松井 (1960) はその層準を湯ヶ島層群とし、一方、盛谷・沢村 (1965) は白浜層群基底部とした。盛谷・沢村 (1965) は、南伊豆各所には小石灰岩体 (今回報告の差田石灰岩の *Nephrolepidina* を含む石灰岩) が発達しており白浜層群の基底部に限られると見ている。久野・小池 (1949) は、中伊豆町下白岩層の *Nephrolepidina* 含有層と湯ヶ島層群の層位学的関係は整合で、地殻変動は認められず、湯ヶ島層群の見解を取る。伊豆半島新第三系の層序では、湯ヶ島層群下位に輝石安山岩類の火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩、凝灰質砂岩、頁岩などの硬質岩体が松崎町仁科川周辺域に発達し、それを仁科層群 (盛谷・沢村, 1965 命名) としたが、再調査から湯ヶ島層群下部に含めて撤回された (沢村ほか, 1969)。一方、仁科層群 (盛谷・沢村, 1965) と湯ヶ島層群の層位関係は、岩相の類似から互いに同時異相であるが、盛谷・沢村 (1965) の見解通り、仁科層群の岩相を、湯ヶ島層群の下位に置き、広義の湯ヶ島層群に含める見解を取る (鮫島ほか, 1968)。北村ほか (1968) によると、伊豆半島中央部の地質では、湯ヶ島層群堆積期にグリーン・

タフ地域と同じ条件下で、火山活動が隆起地域で活発で、周辺域には浅海～ひん海の堆積環境にあったと解釈し、大川端変朽安山岩類、加殿層 (梨本石灰岩を含む)、および *Nephrolepidina* を含む下白岩層を湯ヶ島層群に含めた。

伊豆半島新第三系の年代では下白岩層に *Nephrolepidina* 属と浮遊性有孔虫化石が共産し、浮遊性有孔虫化石生層序学的研究 (新生界の浮遊性有孔虫化石帯は、全て Blow, 1969, 1979 の P-N Zone 表示) では、下白岩層は中期中新世 (N14 相当) の年代とされる (Saito, 1963)。下白岩層を含む本州地域の *Nephrolepidina* 属の新第三系の層準は、前期～中期中新世 (N8～9 相当) である (Hanzawa, 1931)。したがって、下白岩層の浮遊性有孔虫と *Nephrolepidina* 属との両化石の研究では両者の研究の年代に N14 と N8-9 との矛盾が生じる。その後の浮遊性有孔虫生層序学的研究では、下白岩層や下田町の滑川凝灰質砂岩を白浜層群に含め、*Nephrolepidina* 産出層準は、中期～後期中新世 (N14)、前期鮮新世 (N19) の時代が知られる (茨木, 1979)。他の伊豆半島からの層準でも、松崎町池代石灰岩は中期～後期中新世 (N14)、梨本石灰岩は後期中新世 (N17b)、差田石灰岩は前期鮮新世 (N18)、滑川凝灰質砂岩は前期鮮新世 (N19) の各時代が知られる (Ibaraki, 1990)。

一方、*Nephrolepidina* 胚芽室の研究では、形態因子 Factor A (Vlerk, 1963) に胚芽室促進が種の範囲を越えて上位層準ほど Factor A 値が大きく進化していて、統計上同一年代の値は近似値を取ることが知られる (Vlerk, 1963; Lange, 1968; Matsumaru, 1971a; Van Vesseem, 1978; Drooger, 1993)。日本の新第三系からの *Nephrolepidina japonica* の Factor A 計測値から、*N. japonica* forma I (値の小) から forma III (値の大) が存在し、forma I から forma III への進化が認められている (Matsumaru, 1971a)。*N. japonica* forma I から forma III の産出層準は、共産する浮遊性有孔虫の同化石帯 (Saito, 1963) に照合すると、それらの大半は、前期中新世後半から中期中新世前半 (Burdigalian, N7～N8 から最下部 Langhian, N9) が知られている (Matsumaru, 1971a)。また、インドネシア低緯度地域マドゥラ島に掘削された石油深井戸からの *Nephrolepidina* 属標本の Factor A 値と浮遊性有孔虫化石帯の比較研究から、中期中新世 (N9) の Factor A 値は下白岩層産の *N. japonica* forma III の Factor A 値より大きいことが知られる (Vlerk and Postuma, 1967)。そのため、下白岩層の Forma III の年代は、中期中新世 (Langhian, N9) に置かれた (Matsumaru, 1971a) ことに一致する。

日本の新第三系からの *Nephrolepidina japonica* forma I から forma III への古地理的分布では、御前崎半島 (男岳・女岳石灰岩) や御坂山地天神峠石灰岩からともに *Nephrolepidina japonica* forma I が産出し、前期中新世後半 (Burdigalian, N7～N8 最下部) に知られ、伊豆半島池代石灰岩からは、forma II が知られる。それは関東山地北縁の前期～中期中新世 (N8～N9) の井戸沢層虻田石灰岩からの forma II と同じである (Matsumaru, 1967, 1971a, 1973, 松丸, 1977)。虻田石灰岩には *Globigerinatella in-*

sueta Cushman and Stainforth の N6 ~ N9 最下部と時代決定できる鍵種を産する (Matsumaru, 2017)。その後、虻田石灰岩から秋田県田沢湖の付近へと北方への進入経路が知られている (Matsumaru, 1971a)。再び下白岩層や滑川凝灰岩質砂岩層堆積期からはともに *Nephrolepidina japonica* forma III が産出する (Matsumaru, 1971a)。新第三系の *Nephrolepidina japonica* と共産する示準化石の大型有孔虫 *Miogypsina globulina* (Michelotti) (= *M. kotoi* Hanzawa) は *N. japonica* forma I および forma II と共存し、forma III とは共存しない (Matsumaru, 1971a, 1982; Matsumaru *et al.*, 1993; Matsumaru and Takahashi, 2004)。

伊豆半島の *Nephrolepidina* と浮遊性有孔虫化石帯を再検討すると、*N. japonica* forma III は *N. japonica* から進化した *Nephrolepidina rutteni* (van der Vlerk) であり、共産する浮遊性有孔虫の同化石帯は後期中新世 (Tortonian; N17) であることが判明した (Matsumaru, 1981; Matsumaru *et al.*, 1981; Matsumaru, 2017)。下白岩層や滑川凝灰岩質砂岩層からの浮遊性有孔虫 *Globorotalia tumida plesiotumida* Blow and Banner などから後期中新世 (N17) となる。さらに、*Nephrolepidina rutteni* はインドネシア低緯度地域やメラネシア地域でも鮮新世には存在していない (Matsumaru,

2011, 2017)。したがって、伊豆半島に *Nephrolepidina* が鮮新世に存在すること (茨木, 1979; Ibaraki, 1990) は不可能である。近年、下白岩層から産出する石灰質ナノ化石群集は中期~後期中新世の CN6 化石帯に限定され、下白岩層は湯ヶ島層群とされる (岡田, 1987)。西伊豆町湯ヶ島層群桜田層は中新世中期の CN4 化石帯のため、湯ヶ島層群は、石灰質ナノ化石群集の CN4 ~ CN6 化石帯に相当し、浮遊性有孔虫化石帯では中期~後期中新世前半 (N9 ~ N14) で、それは 14.91 ~ 10.55Ma に相当している (Anthonissen and Ogg, 2012)。

3. 試料と研究方法

南伊豆差田石灰岩 (鮫島・松井, 1960) の露頭 (Matsumaru, 1972 の差田石灰岩試料と同一地点) は青野川の河川工事で不明だが、付近の河道には現在も数点石灰岩巨礫が存在する。当時の河道の石灰岩露頭は、白浜層群の火山砕屑岩が点在したが 1 ~ 2 m 間の石灰岩との接触は、必ずしも明瞭ではなかった (Loc.1, Fig. 1)。ここでは玄武岩礫を含む石灰岩巨礫の転石を採取し、研究室で多数の岩石片に分割してそれらをまとめて試料 (Sample 1) とした。Sample 1 採取地点の露頭付近の火山砕屑岩には、非火山性の砕屑

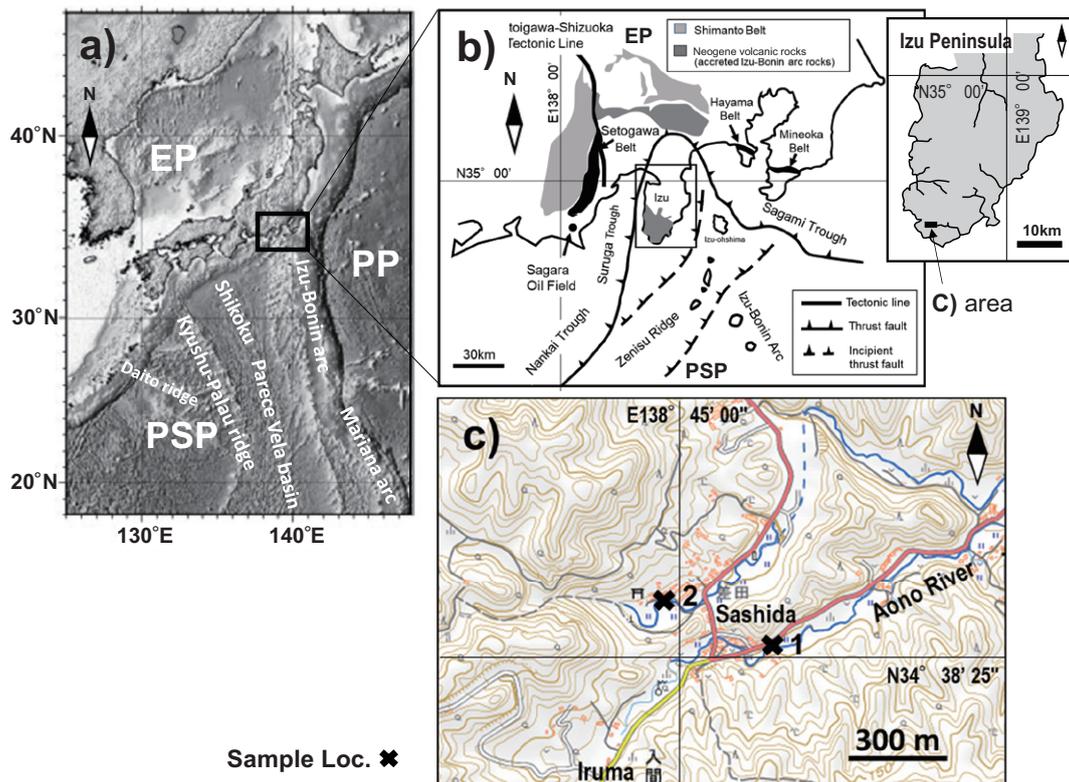


Fig. 1 Locations of study area. Subfigures of a, b and c are shown. a: Precise seafloor topographic map of the plate boundary area surrounding the Japanese archipelago (the original data from Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, 2013), b: Izu-collision zone tectonic map (revised Taira *et al.*, 1998). The Izu Peninsula belongs to the PSP, Mineoka Belt, Hayama Belt and Setogawa Belt are also illustrated. c: Map showing sampling locations of the Sashida Limestone, south Izu Peninsula, Japan. 1: Sample 1 (Loc.1: 34° 38' 26.30" N, 138° 49' 9.95" E); 2: Sample 2 (Loc.2: 34° 38' 30.90" N, 138° 48' 57.74" E). The map is from the digital topographic map 25,000 of Geospatial Information Authority of Japan. PSP: Philippine Sea Plate; EP: Eurasia Plate; PP Pacific Plate.

物質も含み、角 (1958) の白浜層群下賀茂砂岩層に相当する。狩野 (1983) は、同地点の石灰岩レンズが白浜層群一色凝灰岩層に挟まれると解釈している。さらに、付近の若宮神社前の土地改良地域の土砂 (Loc.2, Fig. 1) から大～中礫サイズの計 3 個の石灰岩試料 (Sample 2) を入手した。ここも露頭は土砂に覆われるため不明だが一色凝灰岩分布域に相当する。これら 2 地点からの岩石試料が研究試料である。

Sample 1 は、砕いた岩片やイントラクラスト中に大型有孔虫 (破砕片が多い)、サンゴ、紅藻類、コケムシ、ウニ、二枚貝や、浮遊性有孔虫 (一部破損) などさまざまな化石に富む。全体的に、グレインストーン/ラドストーン (一部フロートストーン) の白色生砕性石灰岩である (Fig. 2)。この石灰岩には大小さまざまなイントラクラストも含有され、イントラクラストには多様な微細岩片を含み、*Kathina* 微細岩片 (Fig. 3-2 左上) と *Spiroclypeus* 微細岩片 (Fig. 3-2 下の中央) ; *Globoquadrina* 微細岩片 (Fig. 3-15 左) と *Globorotalia* 微細岩片 (Fig. 3-15 右) が見られる。全体

的に非常に複雑でカオティックな岩相が特徴的である。同時に、細礫～中礫サイズの玄武岩垂円～円礫を多数含有する (Fig. 2-a1)。玄武岩礫を含み、大型有孔虫およびバリエーションに富み、底生生物相を含むさまざまな複雑なイントラクラストからなり、浮遊性有孔虫をも共産していることから、当時の差田石灰岩は火山島周辺の比較的高エネルギーな礁環境前縁のエプロン (apron) から崖錐性環境で堆積したことが示唆される。

一方、Sample 2 は塊状で均質な淡灰色石灰泥岩からなり、肉眼観察で化石片や岩片などほとんど認められないが、一方で多数のフラクチャーを有することから固結後、破碎作用を受けた (Fig. 2-b1)。鏡下では生物骨格として極僅かに浮遊性有孔虫を含み、また石英の微粒子を数%程度含む (Fig. 2-b2)。堆積場としては、Sample 1 に比較して崖錐性環境下よりも深い堆積環境が示唆される。

有孔虫化石研究では、両地点の岩石試料 (Samples 1, 2) から無差別に切断した岩石片をルーペと双眼実体顕微鏡を用いてできる限り有孔虫化石の多い箇所を選別した。両地

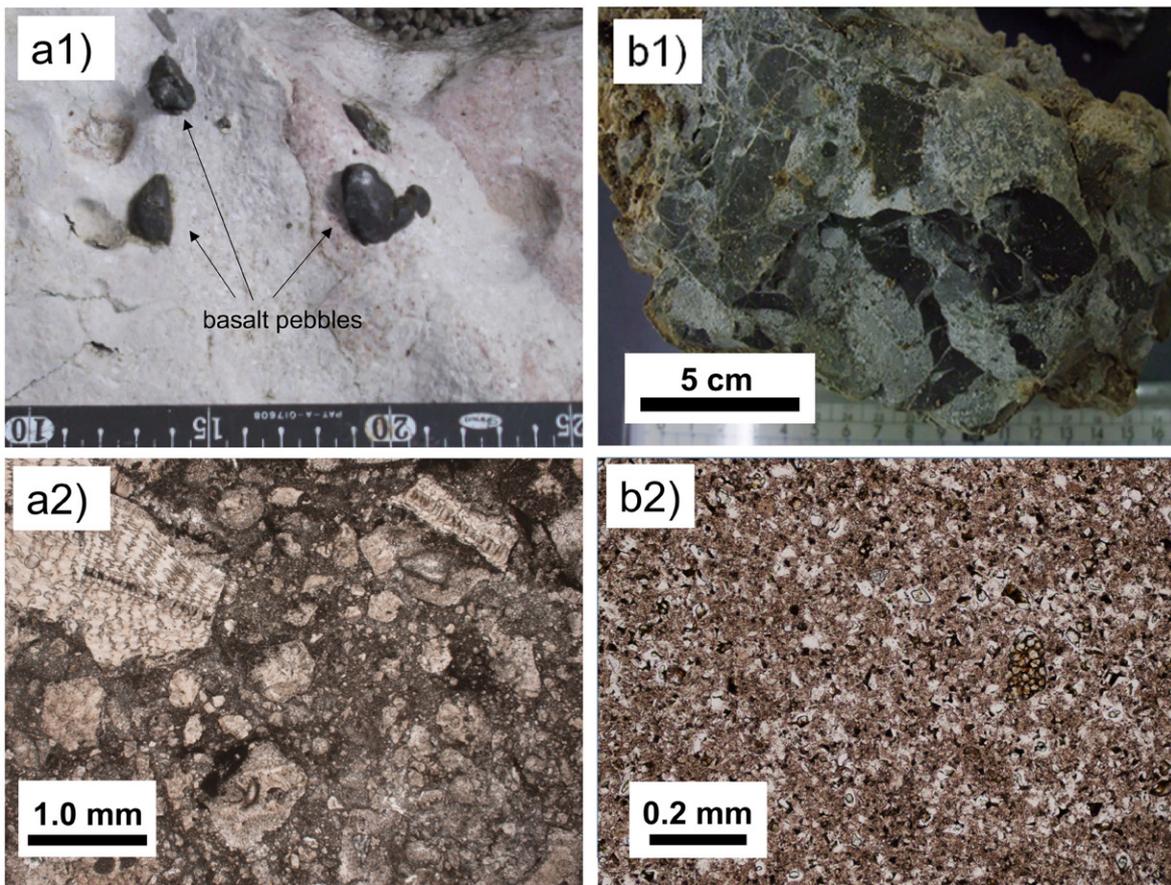


Fig. 2 General view and microscopic photographs of collected samples. The upper two show the general view photographs (the width, 15 cm). a1, from Sample 1 is white colored with rough surface, and fossils can be seen with the naked eye. It also contains basalt pebbles. b1, from Sample 2 is dark gray colored with smooth surface, and has many fractures overall. The lower two show the microscopic photographs. a2, from Sample 1, grainstone/rudstone (partly floatstone). Larger foraminifera are broken and fragmented. Intracrust limestone fragments of various lithologies are present. b2, from Sample 2, mudstone (calculite). It consists of massive lime mud with a size of 1/32 mm or less, with an aggregate (< 0.1 mm large), where the carbonate particles have gathered on the right side of the center. It contains siliciclastics of quartz less than 10 percent.

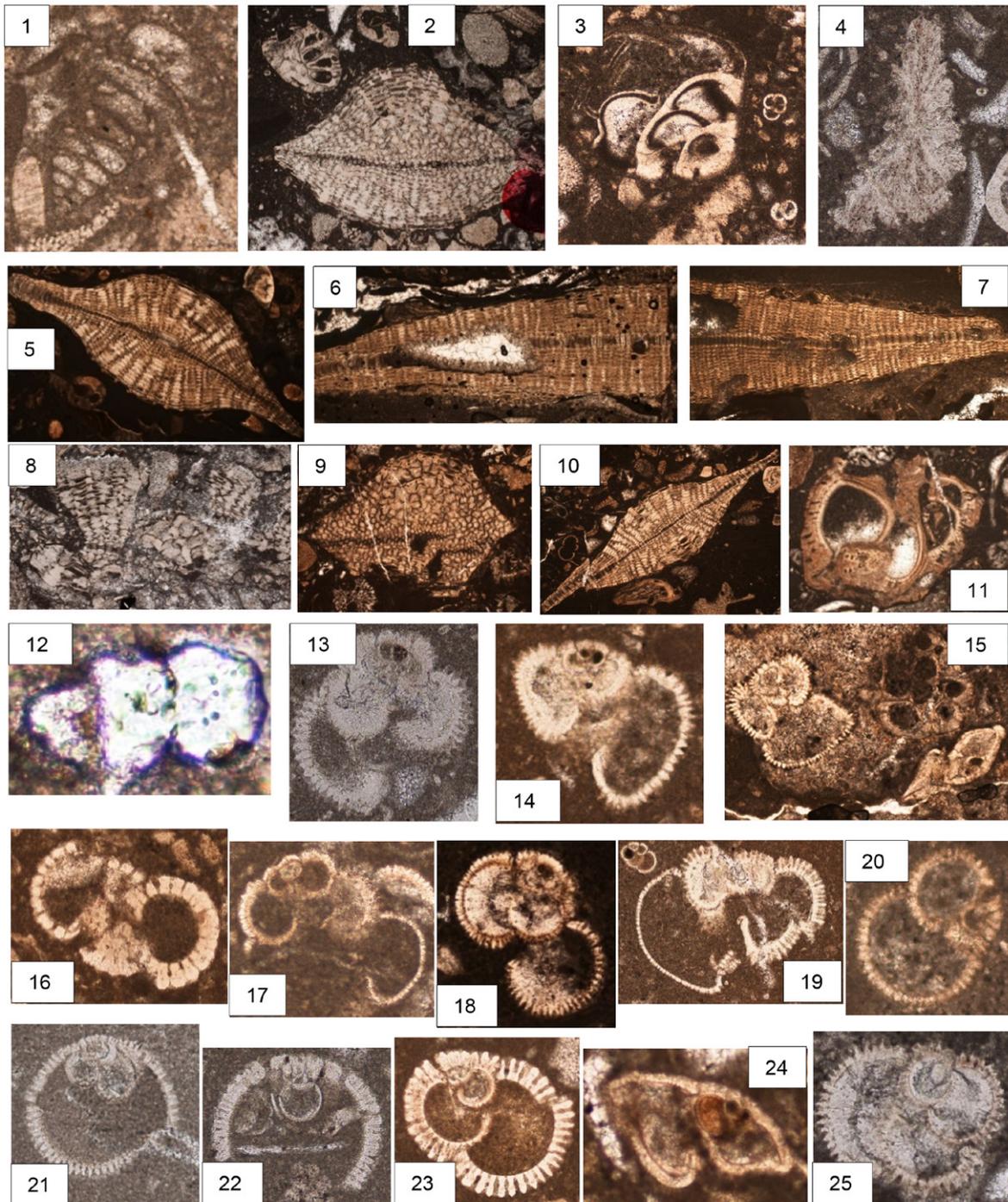


Fig. 3 All photographs, except photograph 12 from Sample 2, are belonging to Sample 1. 1. *Pseudolituonella* sp., axial section, x 50; 2. *Kathina selveri* Smout (upper) and *Spiroclypeus margaritatus*. (Schlumberger) (lower), oblique sections, x 15; 3. *Sistanites iranica* Rahaghi, oblique section, x 20; 4. *Biplanispira* sp., transverse section, x 55; 5. *Eulepidina ephippioides* (Jones and Chapman), axial section, x 10; 6, 7. *Eulepidina dilatata* (Michelotti), transverse sections, x 10; 8, 9. *Spiroclypeus margaritatus* (Schlumberger), 8. Transverse section, x 20, 9. Oblique section, x 10; 10. *Nephrolepidina japonica* (Yabe), transverse section, x 30; 11. *Victoriella conoidea* (Rutten), oblique section, x 25; 12. *Globotruncana* ex gr. *G. linneiana* (d'Orbigny), subaxial section, x 240; 13. *Globigerina tripartita* Koch, axial section, x 40; 14. *Globoquadrina sellii* Borsetti, axial section, x 80; 15. *Globoquadrina binaiensis* (Koch) (left) and *Globorotalia multicamerata* (Cushman and Jarvis) (right), axial sections, x 30; 16. *Catapsydrax dissimilis* (Cushman and Bermudez) Subaxial section. x 70.; 17. *Globigerina ciperoensis* Bolli Axial section. x 60.; 18. *Globotruborotalita angulisuturalis* (Bolli) Axial section. x 60.; 19. *Globoquadrina dehiscens* (Chapman, Parr and Collins) Axial section. x 50.; 20. *Praeorbulina sicana* (de Stefani) Axial section. x 70; 21. *Praeorbulina glomerata* (Blow), axial section, x 45; 22. *Orbulina universa* d'Orbigny, axial section, x 40; 23. *Sphaeroidinellopsis subdehiscens* Blow, axial section, x 65; 24. *Globorotalia archaeomenardii* Bolli, axial section, x 110; 25. *Neogloboquadrina acostaensis* (Blow), axial section, x 65.

点の岩石試料から各 40 枚, 計 80 枚, 選別した岩石片の薄片を作成して顕微鏡観察を行った。

4. 有孔虫化石内容と生層序学的産出

差田石灰岩の岩片や岩片中のイントラクラストから産出した大型有孔虫と浮遊性有孔虫両化石とそれらの産出種の時代を考察する。各種は、テチス海域とその東方のフィリピン海プレート形成期海域での各種属の産出と関連するため、各地域での産出層準の現状も合わせて記述する。各種がさまざまな時間と空間を経て広域の海域に存在したために、差田石灰岩形成期に、あるいは形成後にさまざまなイントラクラストや微細岩片中に発見されている。差田石灰岩試料 (Sample 1) から時代決定できる主要な大型有孔虫の鑑定結果は次の 9 属 10 種であり、Sample 2 からは大型有孔虫は発見されていない。Sample 1 からの大型有孔虫は、*Pseudolituonella* sp., *Kathina selveri* Smout, *Sistanites iranica* Rahaghi, *Biplanispira* sp., *Eulepidina ephippioides* (Jones and Chapman), *E. dilatata* (Michelotti), *Spiroclypeus margaritatus* (Schlumberger), *Nephrolepidina japonica* (Yabe), *Victoriella conoidea* (Rutten) および *Sphaerogypsina globulus* (Reuss) である。種の記載は稿を改めるが、Fig.3 に産出した種を、さらに Fig.4 に種の生存期間を図示する。上記の大型有孔虫以外に、小型有孔虫 *Ammonia* sp., *Elphidium* sp., Miliolids および Rotalids を産出する。

Pseudolituonella sp., *Kathina selveri* および *Sistanites iranica* の 3 属 3 種はテチス海の地中海地域からインド地域へは広く暁新世に産出する。フィリピン群島に初めて前 2 種が発見 (Matsumaru, 2017) され、日本 (差田石灰岩) にも初めて 3 種が産出してともに暁新世 (Selandian ~ Thanetian; Letter Stage a0 ~ a1; P3 ~ P5) を示すことが明らかになった (Fig. 4)。特に、*Pseudolituonella* 属は後期白亜紀に知られ (Cenomanian-Campanian, Loeblich and Tappan, 1987), 地中海地域では後期白亜紀 (Cenomanian) から中期始新世 (Lutetian) にも知られる (Neumann, 1967)。*Pseudolituonella* sp. (Fig. 3-1) の種は、中東トルコでは後期白亜紀 (白亜系の浮遊性有孔虫化石帯は以降 Sliter, 1989 の KS Zone 表示, Campanian, KS27; 白亜系から新生界の Letter Stage は以降 Vlerk and Umbgrove, 1927; Adams, 1970; Matsumaru, 2011, 2016, 2017; Ogg, 2013 のアルファベット文字 Zone 表示; Letter Stage, cm1) から暁新世 (Thanetian; Letter Stage a1; P5) に知られる (Matsumaru, 2016, 2017)。

Kathina selveri (Fig. 3-2 上) は、トルコでは暁新世 (Danian ~ Thanetian; Letter Stage a0 ~ a1; P2 ~ P5) に知られる (Matsumaru, 2016)。模式種はアラビア半島カタール (Qatar) の暁新世に知られる (Smout, 1954)。インドでも暁新世 (Thanetian; Letter Stage a1; P4-P5) に知られる (Matsumaru and Jauhri, 2003; Matsumaru and Sarma, 2010)。フィリピン群島でも暁新世 (Selandian-Thanetian; a0-a1; P3-P5) に知られる (Matsumaru, 2017)。*Sistanites iranica* (Fig. 3-3) は、トルコでは暁新世 (Danian ~ Thanetian;

Letter Stage a0 ~ a1; P2 ~ P5) に知られる (Matsumaru, 2016)。イランでは、模式種が暁新世に知られる (Rahaghi, 1983)。

Biplanispira sp., *Eulepidina ephippioides*, *E. dilatata*, *Spiroclypeus margaritatus* および *Victoriella conoidea* の 5 種も差田石灰岩から発見された。今回発見の *Biplanispira* sp. (Fig. 3-4) は、殻の大半は破損しているが、旋回室の殻壁と其処から発達する繊維状のキール (keel) の保存と旋回室が上下 2 層重なる厚さを残す殻壁を持つため、*B. absurda* Umbgrove であろうが *Biplanispira* sp. とした。この種は旋回室が 1 層の *Pellatispira crassicolumnata* Umbgrove から進化した。フィリピン群島では後期始新世 (Priabonian; Letter Stage b; P15 ~ P17) のルソン島チネグ (Tineg) 層石灰岩から *P. crassicolumnata* とともに発見される (Matsumaru, 2017)。*Biplanispira* 属の種は小笠原諸島母島では石門石灰岩に発見され、中期始新世後半から後期始新世 (late Bartonian ~ Priabonian; Letter Stage b; P15 ~ P17) を示す (Matsumaru, 1996, 2017)。マリアナ諸島サイパン島においても後期始新世マタンサ (Matansa) 石灰岩に発見され (Cole, 1953; Hanzawa, 1957), 後期漸新世から前期中新世タポチョウ (Tagpouchou) 石灰岩に *Pellatispira crassicolumnata* が再堆積される (Hanzawa, 1957)。琉球列島石垣島の後期始新世宮良層からは *Pellatispira* 属が発見される (Yabe, 1921; Foster, 1965; Matsumaru, 1971b; 松丸, 1973)。この時代には、フィリピン群島やパラオ諸島、マリアナ諸島、母島、石垣島には *Pellatispira* 属が *Biplanispira* 属に進化して共存することが多く、差田石灰岩から発見された *Biplanispira* も上記の同一海域に所属していたと推察される (松丸, 1974)。

Eulepidina ephippioides (Fig. 3-5), *E. dilatata* (Fig. 3-6, 3-7), *Spiroclypeus margaritatus* (Fig. 3-2 下中央, 3-8, 3-9) の 3 種は、フィリピン群島では前期漸新世後半 (Rupelian; Letter Stage d; P21) から出現し、前者 2 種は前期中新世 (Burdigalian; Letter Stage e5 upper; N5 ~ N6) までの生存期間であり、後者 1 種は中新世前期 (Aquitanian; e5 lower; N4) までの生存期間である (Matsumaru, 2017)。台湾でも南部中央山地関山 (Kwanzan) 峠の "*Lepidocyclina*" 石灰岩から前期漸新世を示す網状殻の *Nummulites* sp. (= *N. fichteli* (Michelotti)) と *E. dilatata* が発見された (Hashimoto and Matsumaru, 1975)。九州-パラオ海嶺の駒橋第 2 海山の石灰岩からも *Eulepidina ephippioides*, *E. dilatata*, *Spiroclypeus margaritatus*, *Miogypsinella ubaghsi* (Tan Sin Hok) 4 種他が発見されて漸新世を示す (Mohiuddin *et al.*, 2000)。*Eulepidina ephippioides*, *E. dilatata*, *Spiroclypeus margaritatus* および *Victoriella conoidea* の 4 種は小笠原諸島父島の南崎石灰岩 (Rupelian, Letter Stage c-d; P18 ~ P21) にも発見される (Matsumaru, 1996)。そこでは小型有孔虫 *Pararotalia mecatepecensis* (Nuttall) (= *P. lithothamnica* (Ulig)) から進化した *Miogypsinidae* 科最初の *Paleomiogypsina* 属模式種 *P. boninensis* Matsumaru が *Miogypsinella boninensis* Matsumaru に進化し、ともに発見される (Mat-

sumaru, 1996, 2017; Matsumaru *et al.*, 2010; Cahuzac and Poignant, 1991)。世界中の熱帯から亜熱帯地域の前期漸新世後半 (Late Rupelian, Letter Stage d; P21) から後期中新世前半 (Serravalian, Letter Stage f2; N13/N14) の Miogypsinidae 科の進化 (Matsumaru, 1996, 2017) 上, 周胚芽室促進と産出層準から *Miogyopsinella boninensis* は駒橋第2海山の *Miogyopsinella ubaghsi* へと進化する。さらに, *Miogyopsinella ubaghsi* は, 北大東島掘削井戸の Zone 5 化石帯の石灰岩 (431.67 ~ 394.98 m) (Hanzawa, 1940) の Sr 同位体年代は 24.3 ~ 23.2Ma を示し (Ohde and Elderfield, 1992), 後期漸新世 (P22/N3) に相当する (Anthonissen and Ogg, 2012) が, Zone 5 化石帯からの *Miogyopsinella borodinensis* Hanzawa に進化する。その後, *M. borodinensis* は *Miogyopsinoides dehaartii* (van der Vlerk) (清水層, Matsumaru *et al.*, 1993) から, *Miogyopsina primitiva* Tan Sin Hok (御坂山地西八代層群河口層の天神峠石灰岩, Matsumaru, 1971a), *M. borneensis* Tan Sin Hok (中島層, 宿洞層, 苗代田層, 平塩層, Matsumaru and Takahashi, 2004) を経て日本列島新第三系からの *Nephrolepidina japonica* forma I から forma II とともに広く古くから発見される *Miogyopsina globulina* (= *M. kotoi*) に進化する (Matsumaru, 1971a)。したがって, 伊豆半島でも *M. globulina* (= *M. kotoi*) が湯ヶ島層群加殿層梨本石灰岩や池代石灰岩に *Nephrolepidina japonica* forma II とともに発見されている (Matsumaru, 1971a)。日本列島新第三系からの *Miogyopsina globulina* (= *M. kotoi*) の時空分布では, 上述のように *Paleomiogyopsina* 属から *Miogyopsina* 属の発見の背景があり, フィリピン海プレート形成期の発展とともに各所で上記の種の発見が十分に追跡され, 種の進化が確認されたためである (Matsumaru, 1996, 2017; Matsumaru *et al.*, 2010; Matsumaru and Takahashi, 2004)。 *Paleomiogyopsina* 属から *Miogyopsina* 属までの進化は世界各地で確認されている (Boudagher-Fadel *et al.*, 2000; Govindan, 2003)。

四国足摺岬四十帯清水層の火山起源の礫岩・砂岩の石灰質充填物から *Spiroclypeus margaritatus*, *Miogyopsinoides dehaartii*, *Miogyopsina* sp. (= *M. borneensis*) および *Victoriella conoidea* (Fig. 3-11) が発見され, 前期中新世 (Aquitanian) を示す (Matsumaru *et al.*, 1993)。 *Spiroclypeus margaritatus*, *Miogyopsinoides dehaartii* (= *M. dehaartii pustulosa* Hanzawa) および *Miogyopsina borneensis* は, 北大東島掘削井戸の Zone 4 化石帯の石灰岩 (302.31 ~ 209.26 m) から産出する (Hanzawa, 1940; Matsumaru, 1996)。その Sr 同位体年代は 21.1 ~ 18.8 Ma を示し (Ohde and Elderfield, 1992), 前期中新世 (N4/5 ~ N6) に相当する (Anthonissen and Ogg, 2012)。 *Victoriella* sp. (= *V. conoidea*) は, 前期~中期中新世竜爪層群から文殊層中に運ばれた “*Lepidocyclina*” 石灰岩礫から発見され (秦・松丸, 1988; Matsumaru, 1996), 差田石灰岩の *Victoriella conoidea* の礫に対比される。

Nephrolepidina japonica (Fig. 3-10) は前期~中期中新世 (N7/8 ~ N9) から本州の広域に産出する (Matsumaru, 1967, 1971a, 1973, 1992; 松丸, 1968, 1977, 1981)。日本

海側でも金沢市視 (のぞき) の砂子坂層に僅かに産出する (松丸・八木, 未公表)。中期~後期中新世 (N14 ~ N17) の伊豆半島下白岩層および下田市満金や滑川の凝灰質砂岩層には中新世種 *Nephrolepidina rutteni* が存在し, 時に *Nephrolepidina japonica*, *N. angulosa*, *N. sumatrensis* (Brady), 漸新世種 *N. praetourmoueri* H. Douvillé などを再堆積するが, *Miogyopsina globulina* は存在しない (Matsumaru, 1971a; Matsumaru *et al.*, 1981, Matsumaru, 1992)。上述のように, *Miogyopsina* の存在は加茂郡河津町梨本石灰岩からの産出が知られ (Hanzawa, 1931), *Miogyopsina globulina* 殻の胚芽室を切る短軸面 (*Mioplepidocyclina* sp. ではない) が梨本石灰岩に, *Miogyopsina globulina* が松崎町池代石灰岩から *Nephrolepidina japonica* forma II とともに知られる (Matsumaru, 1971a)。さらに, forma II は, *Nephrolepidina rutteni* であり中新世後期 (N17-N18) までの生存が知られる (Matsumaru, 2017)。そのため, 滑川の白浜層群堆積層 (N19; 茨木, 1979; Ibaraki, 1990) の “*Nephrolepidina* spp.” は再堆積されたものだろう。

浮遊性有孔虫は, 10 属 15 種である。 *Globotruncana* ex gr. *G. linneiana* (d’Orbigny) は, Sample 2 から 1 個体だけが発見され, 他の有孔虫は発見されない。その他は全て Sample 1 から産出し, 次の 9 属 14 種である。それらは *Globigerina tripartita* Koch, *G. ciperoensis* Bolli, *Globoquadrina sellii* Borsetti, *G. binaiensis* (Koch), *G. dehiscens* (Chapman, Parr and Collins), *Globorotalia archaeomenardii* Bolli, *G. multicamerata* (Cushman and Jarvis), *Catapsydrax dissimilis* (Cushman and Bermudez), *Globotruncorotalita angulisuturalis* (Bolli), *Praeorbulina sicana* (de Stefani), *P. glomerata* (Blow), *Orbulina universa* d’Orbigny, *Sphaeroidinellopsis subdehiscens* Blow および *Neogloboquadrina acostensis* (Blow) である。種の記載は大型有孔虫同様稿を改めるが, Fig. 3 に産出種, Fig. 4 に種の生存期間を図示した。

Globotruncana ex gr. *G. linneiana* (Fig. 3-12) の殻は, 旋回軸の斜断面で切られた幼形標本で, 大変低いトロコイド旋回のため, 殻の背側面では非常に低い突出の旋回室配列, 腹側面も同様に低い突出旋回室配列をしている。箱型断面の上下両面の殻周辺域の隅にはキールが形成され, *G. linneiana* 種群と鑑定される。 *Globotruncana linneiana* は, 白亜紀 (Coniacian あるいは Santonian ~ Maastrichtian; KS23 or KS24 ~ KS30), あるいは Santonian ~ Maastrichtian に知られる (Caron, 1985)。最近では, 70.90 ~ 68.37 Ma の後期白亜紀 (Maastrichtian) の生存期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。トルコでは黒海沿岸地域の後期白亜紀 (Maastrichtian; KS30 ~ KS31) のヒサルキョイ (Hisalköy) 層下部やアクベラン (Akveren) 層下部に産出する (Matsumaru, 2016)。フィリピン群島では, 後期白亜紀 (Letter Stage ms1; KS30) のルソン島中部のピヌガイ・ヒル (Pinugay Hill) 石灰岩, ルソン島南東やカタンダネス島のボナボナ (Bonagbonag) 石灰岩, マリンヅク島ボアク (Boac) 石灰岩, セブ島のパンダン (Pandan) 層に産出する (Matsumaru, 2017)。

Globigerina tripartita (Fig. 3-13) は、中期始新世 (Bartonian; P14) から後期漸新世 (Chattian; P22/N3) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。フィリピン群島では、前期漸新世 (Rupelian; Letter Stage c; P18) から前期中新世 (Burdigalian Letter Stage; e5 upper; N5 ~ N6) の生存期間に知られる (Matsumaru, 2017)。南半球から太平洋低緯度では *Catapsydrax dissimilis* と共産して前期中新世の期間に知られる (Jenkins, 1985)。 *Catapsydrax dissimilis* (Fig. 3-16) は、17.54 Ma の前期中新世 (N6 ~ N7) までの期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。フィリピン群島では、後期漸新世 (P22/N3) から前期中新世 (N4) の期間に知られる (Matsumaru, 2017)。

Globoquadrina sellii (Fig. 3-14) は、前期漸新世 (P18) から後期漸新世 (Letter Stage e4; P22/N3) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。フィリピン群島では、前期漸新世 (Letter Stage c; P18 ~ P20) に知られ (Matsumaru, 2017)、小笠原諸島父島南崎石灰岩でも同時期に知られる (Matsumaru, 1996)。 *Globoquadrina binaiensis* (Fig. 3-15 左) は、後期漸新世 (P22/N3) から前期中新世 (N5) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。この種は 19.30 ~ 19.05 Ma の前期中新世 (N5 ~ N6) の狭い期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。フィリピン群島では、後期漸新世 (Letter Stage e3; P22/N3) に知られる (Matsumaru, 2017)。

Globoquadrina dehiscens (Fig. 3-19) は、前期中新世 (N5) から後期中新世 (N18) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。この種は 22.44 ~ 5.92 Ma の前期中新世 (N4) から後期中新世 (N17) の期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。下白岩層や滑川凝灰質砂岩の後期中新世 (N17) に知られる (Matsumaru et al., 1981)。

Globigerina ciperoensis Bolli (Fig. 3-17) は前期漸新世 (Rupelian, P19 ~ P20/N1) から後期漸新世 (Chattian, P22/N3) の期間に知られ (Postuma, 1971; Bolli and Saunders, 1985)、フィリピン群島では前期中新世 (Letter Stage e5 lower) に知られる (Matsumaru, 2017)。また、22.90 Ma の中新世前期 (N4) までの期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。

Globotruborotalita angulisuturalis (Fig. 3-18) は、前期漸新世 (P21/N2) から後期漸新世 (P22/N3) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。また、前期中新世 (N4) まで知られる (Postuma, 1971)。この種は 29.18 ~ 20.94 Ma の前期漸新世 (P20/N1 を含む) から前期中新世 (N5 ~ N6 最下部も含む) の期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。

Praeorbulina sicana (Fig. 3-20) は、前期中新世 (N7 上部) から中期中新世 (N9 下部) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。この種は 16.38 ~ 14.53 Ma の前期中新世 (N8) から中期中新世 (N9 下部) の期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012)。フィリピン群島では、この種は中期中新世 (Letter Stage f1; N9 下部) に産出する (Matsumaru, 2017)。関東山地の比企丘陵南部松山層群

の *Nephrolepidina japonica* を産出する鎌形層や神戸 (ごうど) 層最下部 (松丸・林, 1980) では、この種は中期中新世 (N9 下部) に産出するが、秩父盆地では最も進化した *Miogypsina nipponica* Matsumaru を産出する上横瀬層最上部 (Matsumaru, 1980a) では *Globorotalia peripheroronda* Blow and Banner, *G. peripheroacuta* Blow and Banner と共産するために中期中新世 (N9 ~ N10) に知られる (Matsumaru et al., 1982)。 *Praeorbulina glomerata* (Fig. 3-21) は、前期中新世 (N8) から中期中新世 (N9) の期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。その期間は 16.27Ma ~ 14.78Ma (N8 ~ N9) とされる (Anthonissen and Ogg, 2012)。この種は鎌形層最上部から *Praeorbulina sicana*, *Orbulina universa* (Fig. 3-22), *Globorotalia archaeomenardii* (Fig. 3-24) と共産して中期中新世 (N9 下部) とされる (Matsumaru et al., 1982)。 *Orbulina universa* は、中期中新世 (N9) から現世に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。 *Globorotalia archaeomenardii* は、前期中新世 (N6) から中期中新世 (N10) の生存期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。

Sphaeroidinellopsis subdehiscens (Fig. 3-23) は、フィリピン群島では、鮮新世 (Letter Stage g; N19 ~ N21) に産出する (Matsumaru, 2017)。この種は 13.03 Ma の中期中新世 (N12) の地層から出現する (Anthonissen and Ogg, 2012)。また、中期中新世 (N12) から出現し、鮮新世 (N19) までの期間の *Sphaeroidinellopsis multiloba* LeRoy の同物異名とされる (Bolli and Saunders, 1985)。 *Neogloboquadrina acostaensis* (Fig. 3-25) は、後期中新世 (N16) から現世に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。10.57 ~ 6.37 Ma の中新世後期 (N14 ~ N17) の期間に知られる (Anthonissen and Ogg, 2012) (Fig.4)。さらに、 *N. acostaensis* は隠岐群島島後の中島層では、 *Miogypsina globulina* (= *M. kotoi*) の再堆積を持ち、後期中新世 (N16) から知られる (Matsumaru, 1982)。

Globorotalia multicamerata (Fig. 3-15 右下) は、前期鮮新世 (N18) から中期鮮新世 (N20) までの生存期間に知られる (Bolli and Saunders, 1985)。この種の生存期間 (N18 ~ N19/20 最下部) は後期中新世末とされる (Anthonissen and Ogg, 2012)。また、中新世 - 鮮新世 (N17 ~ N20) に知られる (Postuma, 1971)。

総括すると、差田石灰岩から鑑定された大型有孔虫と浮遊性有孔虫によってこれまで未知の地質時代が明らかになった。今回の研究で差田石灰岩から産出した各種の生存期間から今日まで全く知られてなかった時代で明らかにされたのは、後期白亜紀 (Maastrichtian, Letter Stage ms1; KS30)、古第三紀暁新世 (Selandian ~ Thanetian, Letter stage a0 ~ a1; P3 ~ P5)、中期始新世末 (Bartonian, Letter Stage a3 uppermost; P15) から後期始新世 (Priabonian, Letter Stage b; P15 ~ P17)、前期漸新世前半 (Rupelian, Letter Stage c ~ d; P18 ~ P20) から前期中新世前半 (Aquitanian ~ Burdigalian, Letter Stage e5; N4 ~ N5 ~ 6) の各時代である (Fig.4)。この他は、従来の研究と同様に産出種の生存期間から前期中新世後半 (Burdigalian, Letter

Stage f1 lower ; N7) から、前期鮮新世 (Zanclean, Letter Stage g ; N19) までの各時代である (Fig. 4)。今回の研究で明らかになった各時代の差田石灰岩の岩片やイントラクラストに含まれる大型・浮遊性有孔虫が陸域から礫としてもらされたものではなく、恐らく下位の瀬戸川層群相当層やより下位の外洋環境の古期岩類の形成に由来するものである。その堆積場は、Sample 1と2の石灰岩岩相や、サンゴ、紅藻類、コケ虫、ウニなど、外皮性有孔虫 (Victoriella) の存在から外洋の火山島に見られる礁性環境やその前縁、さらには浮遊性有孔虫と Lepidocyclinidae 科有孔虫の共産から礁直下崖錐性環境から海底斜面での環境の場に存在していたことが推定された。新たに発見された時代の伊豆半島前身の地塊 (Izu landmass) は外洋環境に存在したであろう。

5. 伊豆半島前身地塊の地史的課題

今回明らかとなった地質年代から、伊豆半島において解明されなければならない重要な地史的課題は2つある。1つは、新しく発見された地質時代の後期白亜紀 (Maastrichtian, Letter Stage ms1 ; KS30) から前期中新世前半 (Aquitainian ~ Burdigalian, Letter Stage e5 ; N4 ~ N5 ~ 6) までの各時代の地質が地表から発見されていない。前期中新世後半 (Burdigalian, Letter Stage f1 lower ; N7) 以降は、広義の湯ヶ島層群 (鮫島他, 1968) や白浜層群が存在する。鮫島他 (1968) は、西伊豆松崎町の温泉深井戸の解析から黒色頁岩、粗粒玄武岩、輝緑岩が湯ヶ島層群下部の不整合下に存在することから、時代を決定する証拠はないが、古第三系瀬戸川層群と推定した。地向斜性堆積物からなる瀬戸川層群からは始新世の大型有孔虫 *Discocyclus* (石井・牧野, 1946) や *Neolacazopsis* (Matsumaru, 1990) などの発見はあるが、その下限の時代は知られていない。後期白亜紀から K-T 境界 (Matsumaru, 2016 ; Arakawa *et al.*, 2003) を超えて、暁新世 (Selandian ~ Thanetian, Letter stage a0 ~ a1 ; P3 ~ P5) に至る四万十帯、さらには古第三系瀬戸川帯の地質はいまだ知られていない。地球物理学的探査から、伊豆半島南部下田付近の基盤はモホ面までのフォッサ・マグナの地殻の厚さが 32 ~ 34 km とされる (Mikumo *et al.*, 1961 ; Hotta *et al.*, 1964 ; 金森, 1964, 松田, 1968)。伊豆半島南部の基盤は、上述の厚さがあり、しかも後期白亜紀や暁新世などの石灰岩の発見があるが、フィリピン海プレート東縁の伊豆・小笠原・マリアナ島弧にはそれらの厚さや時代の岩体の存在までは知られていない (Taylor, 1992)。伊豆半島前身地塊が本州弧に接続する間の海洋上の移動軌跡が2つ目の課題である。日本列島の形成とフィリピン海プレートの形成と発展、その両者の地史的背景の解明が今後必要であろう。

6. ま と め

差田石灰岩の岩片や岩片中のイントラクラストから大型有孔虫9属10種と浮遊性有孔虫10属15種が産出した (Fig. 4)。有孔虫化石の生存期間を組み合わせると詳

しく決定できる時代は、大型有孔虫化石帯の Letter Stage と浮遊性有孔虫化石帯を時代 (age) とともに記述すると次のとおりである。それらは後期白亜紀 (Maastrichtian, Letter Stage ms1 ; KS30)、古第三紀暁新世 ((Selandian ~ Thanetian, Letter stage a0 ~ a1 ; P3 ~ P5)、中期始新世末 (Bartonian, Letter Stage a3 uppermost ; P15) から後期始新世 (Priabonian, Letter Stage b ; P15 ~ P17)、前期漸新世前半 (Rupelian, Letter Stage c ~ d ; P18 ~ P20) から前期中新世前半 (Aquitainian ~ Burdigalian, Letter Stage e5 ; N4 ~ N5 ~ 6) の各時代である (Fig.4)。その他の時代は今までに明らかにされていて、それらは前期中新世後半 (Burdigalian, Letter Stage f1 lower ; N7) から、後期中新世後半 (Tortonian ~ Messinian, f3 ; N17 ~ N18) あるいは前期鮮新世 (Zanclean, Letter Stage g ; N19) である。差田石灰岩の形成は、その時期までには終息したであろう。この研究で明らかにされた上記の時代には、差田石灰岩はサンゴや紅藻類など、外皮性有孔虫 (Victoriella) の存在から外洋の火山島に見られる礁性からその前縁の環境、さらには浮遊性有孔虫と Lepidocyclinidae 科有孔虫の共産から礁直下崖錐性環境から海底斜面での環境にあつて、多くの異なった時代を示す生砕性石灰岩であることが解明された。伊豆半島前身の地塊への課題をも論じた。

謝 辞

石油資源開発株式会社にはデータの公表を許可して下さった。同社技術研究所の峰岸 有氏には薄片の作成をしていただいた。石油技術協会誌編集担当者には発表の便宜、さらに、匿名の2名の査読者にはコメントをいただいた。以上の各位に感謝申し上げる。

引用文献

- Adams, C. G., 1970: A reconsideration of the East Indian Letter Classification of the Tertiary. *Bull. British Mus. Nat. History Geology*, **19**, 87-137.
- Anthonissen, D. E. and Ogg, J. G., 2012: Cenozoic and Cretaceous biochronology of planktonic foraminifera and calcareous nannofossil. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M.D. and Ogg, G. M., eds., *The Geologic Time Scale 2012*, Vol.2, Elsevier, Amsterdam, 1083-1127.
- 青木謙二郎, 1925: 三浦半島の海岸に就きて. *地球*, **3**, 101-111.
- Arakawa, Y., Li, X., Ebihara, M., Meriç, E., Tansel, I., Bargu, S., Koral, H. and Matsumaru, K., 2003: Element profiles and Ir concentration of Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary layers at Medeth, Gölpazari, northwestern Turkey. *Geochemical Journal*, **37**, 681-693.
- Blow, W. H., 1969: Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Bronnimann, P. and Renz, H. H., eds., *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils*, Geneva, 1967, 1, E. J. Brill, Leiden, 199-422.

- Blow, W. H., 1979: The Cainozoic Globigerinida, Vols. 1-2. E. J. Brill, Leiden, 1413p.
- Bolli, H. M. and Saunders, J. B., 1985: Oligocene to Holocene low latitude planktonic foraminifera. In Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton stratigraphy*, Cambridge Univ., Press, 155–264.
- Boudagher-Fadel, M. K., Lord, A. R. and Banner, F. T., 2000: Some *Miogypsinidae* (foraminifera) in the Miocene of Borneo and nearby countries. *Rev. Paléobiol.*, **19**, 137–156.
- Cahuzac, B. and Poignant, A., 1991: Morphologie des espèces *Pararotalia* et de *Miogypsinoides* (foraminiferida) dans l'Oligocene d'Aquitaine méridionale. *Geobios*, **24**, suppl. 1, 69–78.
- Caron, M., 1985: Cretaceous planktic foraminifera. In Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton stratigraphy*, Cambridge Univ., Press, 11–86.
- Cole, W. S., 1950: Large Foraminifera from the Palau Islands. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* **221-B**, 21–26.
- Cole, W. S., 1953: Geology and Larger Foraminifera of Saipan Island. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* **253**, 1–45.
- Dröger, C. W., 1993: Radial Foraminifera; Morphometrics and Evolution. *Verhandel. Koninkl. Ned., Akad., Wetenschapp., Afd. Natuurk. Eerste Reeks*, **41**, 242 p.
- Foster, H., 1965: Geology of Ishigaki-shima, Ryukyu-retto. *U. S. Geol. Surv., Prof. Pap.* **399A**, 1–119.
- Govindan, A., 2003: Tertiary large foraminifera in Indian basins: A tie up with standard planktonic zones and Letter Stages. *Gondwana Geol. Mag., Spec.*, **6**, 45–78.
- Hanzawa, S., 1931: On some Miocene rocks with *Lepidocyclina* from the Izu and Boso Peninsulas. *Sci. Rep. Tohoku Imper. Univ., 2nd Ser.*, **12** (2), 159–170.
- Hanzawa, S., 1940: Micropaleontological studies of drill cores from a deep well in Kita-Daito-Zima (North Borodino Island). In Jubilee Publication in the commemoration of Prof. H. Yabe, M. I. A. sixtieth birthday, 755–802.
- Hanzawa, S., 1957: Cenozoic Foraminifera from Micronesia. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **66**, 1–163.
- Hashimoto, W. and Matsumaru, K., 1975: On the *Lepidocyclina* bearing Limestone exposed at the Southern Cross Mountain Highway, Taiwan. *Geol. Palaeontol. Southeast Asia*, **16**, 103–116.
- 秦 光男・松丸国照, 1988: 静岡層群文殊層から産出する含 *Lepidocyclina* 石灰岩礫について. 地質雑, **94**, 715–717.
- Hotta, H., Murauchi, S., Usami, T., Shima, E., Motoya, T. and Asano, T., 1964: Crustal structure in Central Japan along Longitudinal Line 139°E as derived from explosion seismic observations. pt. 2. crustal structure. *Bull. Earthq. Inst.*, **42**, 533–541.
- 茨木雅子, 1979: 伊豆半島. 土隆一・ワーキンググループ, 日本の新第三系の生層序および年代層序に関する基本資料, 17.
- Ibaraki, M. 1990: Geologic ages of *Lepidocyclina* in Japan with implications in the northward drift of the Izu Peninsula. In Tsuchi, R. ed, *Pacific Neogene Events*, Univ. of Tokyo Press, 137–149.
- 石井基裕・牧野 融, 1946: 瀬戸川統より発見せられたる高等有孔虫 *Discocyclina* について (予報). 地質雑, **52**, 610–612.
- Jenkins, D. G., 1985: Southern mid-latitude Paleocene to Holocene planktonic foraminifera. In Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton stratigraphy*, Cambridge Univ., Press, 263–282.
- 海上保安庁海洋情報部, 2013: プレート境界域の精密海底地質図. <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11710668/www1.kaiho.mlit.go.jp/jishin/sokuryo/sokuryo.html> (accessed 2022/02/08).
- 狩野謙一, 1983: 安山岩質海底火山の浅部構造—伊豆半島南部の新第三系白浜層群に見られる例—. 静岡大学地球科学研究報告, **8**, 9–37.
- 加藤 進・早稲田周・西田英毅・岩野裕継, 2009: 静岡県相良地域におけるガスの化学組成. 石技誌, **74** (5), 37–47.
- 北村 信・高柳洋吉・三井 忍, 1968: フォッサ・マグナにまつわる第三紀問題. 日本地質学会第 75 年秋季学術大会総合討論会資料, 62–71.
- 木村敏雄, 1988: 日本列島—その形成に至るまで—, 第 3 巻, 古今書院, 1504–1522.
- 久野 久・小池 清, 1949: 伊豆修善寺付近の湯ヶ島層群. 地質雑, **55**, 28–32.
- Lange, H., 1968: Die evolution von *Nephrolepidina* und *Eulepidina* in Oligozan und Miozan der inser Ithaka (Westgriechenland). Inaugural-Dissertation, Naturwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-universität zu München. Munich: the author, 1–78.
- Loeblich, A. R., Jr. and Tappan, H., 1987: Foraminiferal genera and their classification. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 970p.
- 松田時彦, 1968: フォッサ・マグナの南北威嚇断面. 日本地質学会第 75 年秋季学術大会総合討論会試料, 231–235.
- Matsumaru, K., 1967: Geology of the Tomioka area, Gunma Prefecture with a note on "*Lepidocyclina*" from the Abuta Limestone Member. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser.*, **39**, 113–147.
- 松丸国照, 1968: 南部フォッサ・マグナの *Lepidocyclina* に関する 2, 3 の問題. 日本地質学会第 75 年秋季学術大会総合討論会資料, 93–98.
- Matsumaru, K., 1971a: Studies on the genus *Nephrolepidina* in Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser.*, **42**, 97–185.
- Matsumaru, K., 1971b: Certain larger foraminifera from Japan. *J. Saitama Univ., Educ. Dep.*, **20**, 149–159.
- Matsumaru, K., 1972: A consideration of the *Nephrolepidina* of the Izu Peninsula, Japan. In Hoshino, M. and Aoki, H.,

- eds., *The Izu Peninsula*, Tokai Univ., Press, 109–114.
- Matsumaru, K., 1973: Miocene larger foraminiferal zonation in Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **8**, 85–93.
- 松丸国照, 1973: 白亜紀・第三紀の大型有孔虫化石. 港正雄・浅野 清・松本達郎編, 日本化石集, **22**, PG-7 (128). 築地書館.
- 松丸国照, 1974: 西太平洋地域の大型有孔虫動物化石群集の変遷—特に第三紀を中心として—. *地学雑*, **83**, 281–301.
- 松丸国照, 1977: 関東山地北縁—北東縁の新第三系の層序. *地質雑*, **83**, 213–225.
- Matsumaru, K., 1980a: Note on a new species of *Miogypsina* from Japan. *Prof. Saburo Kanno Memor.*, 213–219.
- Matsumaru, K., 1980b: On the genus *Asterocyclina* from the Kurusuno Formation, Tosa Shimizu City, Kochi Prefecture, Japan. In Taira, A. and Tashiro, M. eds., *Geology and Paleontology of the Shimanto Belt. Selected Papers in Honor of Prof. Jiro Katto*. 1980, Rinyakosaikai Press, 217–218.
- 松丸国照・林 明, 1980: 関東山地東縁の第三系の層序. *地質雑*, **86**, 225–242.
- 松丸国照, 1981: 初期中新世末—中期中新世初めの大型有孔虫動物地理区と環境に関する考察. *化石*, **30**, 59–66.
- Matsumaru, K., 1981: On *Lepidocyclina (Trybliolepidina) rutteni* van der Vlerk from Zone N17 at Mitsugane, Izu Peninsula, Shizuoka Prefecture, Japan. *Proc. Japan Academy*, **57**, Ser. B (4), 115–118.
- Matsumaru, K., 1982: On *Miogypsina (Miogypsina) kotoi* Hanzawa from Zone N16 on Dogo Island, Oki Islands, Japan. *Proc. Japan Academy, Ser. B*, **58**, 52–55.
- Matsumaru, K., 1992: Some Miocene *Nephrolepidina* (Family Lepidocyclinidae) from the Shimosiroiwa Formation, Izu Peninsula, Japan. In Ishizaki, K. and Saito, T., eds., *Centenary of Japanese Micropaleontology*, Terra Scientific, 257–265.
- Matsumaru, K., 1996: Tertiary larger foraminifera (Foraminiferida) from the Ogasawara Islands, Japan. *Paleontol. Soc. Japan, Special Papers*, **36**, 239p.
- Matsumaru, K., 2011: A new definition of the Letter Stages in the Philippine Archipelago. *Stratigraphy*, **8**, 237–252.
- Matsumaru, K., 2016: Larger foraminiferal biostratigraphy of the upper Cretaceous (Campanian) to Paleogene (Lutetian) sedimentary rocks in the Haymana and Black Sea regions, Turkey. *Micropaleontology*, **62**, 1–68.
- Matsumaru, K., 2017: Larger foraminifera from the Philippine Archipelago. *Micropaleontology*, **63**, 77–253.
- Matsumaru, K., Matsuo, Y. and Hayashi, A., 1981: Late Miocene *Lepidocyclina* and planktonic foraminifera from the Izu Peninsula, Japan. *Memo. Nat. Sci. Mus.*, **14**, 25–32.
- Matsumaru, K., Matsuo, Y. and Kishi, R., 1982: Miocene foraminifera from Chichibu Basin and the south Hiki Hill, Saitama Prefecture, Japan. *J. Saitama Univ., Fac. Educ. Math. Nat.*, **31**, 39–63.
- Matsumaru, K., Mynt Thein and Ogawa, Y., 1993: Early Miocene (Aquitani) larger foraminifera from the Shimizu Formation, Ashizuri Cape, Kochi Prefecture, Shikoku, Japan. *Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Japan, N. S.*, **169**, 1–14.
- Matsumaru, K. and Jauhri, A. K., 2003: *Lakadongia*, a new Orbitoidal foraminiferal genus from the Thanetian (Paleocene) of Meghalaya, NE India. *Micropaleontology*, **49**, 277–291.
- Matsumaru, K. and Takahashi, M., 2004: Studies on the genus *Miogypsina* (Foraminiferida) in Japan. *J. Saitama Univ., Fac. Educ. Math. Nat. Sci.*, **53**, 17–39.
- Matsumaru, K., Sari, B. and Özer, S., 2010: Larger foraminiferal biostratigraphy of the middle Tertiary of Bey Dağları Autochthon, Menderes-Taurus Platform, Turkey. *Micropaleontology*, **56**, 439–463.
- Matsumaru, K. and Sarma, A., 2010: Larger foraminiferal biostratigraphy of the lower Tertiary of Jaintia Hills, Meghalaya, NE India. *Micropaleontology*, **56**, 539–565.
- Mikumo, T., Otsuka, M., Utsu, T., Terashima, T. and Okada, A., 1961: Crustal structure in Central Japan as derived from the Miboro Explosion-seismic observation. Pt. 2. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **39**, 327–349.
- Mohiuddin, M. M., Ogawa, Y. and Matsumaru, K., 2000: Late Oligocene larger foraminifera from the Komahashi-Daini Seamount, Kyushu-Palau Ridge and their tectonic significance. *Paleontolog. Res.*, **4**, 191–204.
- 盛谷智之・沢村幸之助, 1965: 伊豆半島松崎付近の第三系. *地調月報*, **16**, 535–545.
- Neumann, M., 1967: *Manuel de Micropaléontologie des Foraminifères (systematique-stratigraphie)*. Paris, Gauthier-Villars, 281p.
- Ogg, J., 2013: Timescale creator datasets (*Thematically ordered*) *GTS2012 agemodels*. TSC_InternalDatapack_24 Feb 13, xls, 1–20.
- 岡田尚武, 1987: 南部フォッサ・マグナの海成層に関する石灰質ナノ化石の生層序と古環境. *化石*, **43**, 5–8.
- Ohde, S. and Elderfield, H., 1992: Strontium isotope stratigraphy of Kita-daito-jima Atoll, North Philippine Sea: implications for Neogene sea-level change and tectonic history. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **113**, 473–486.
- Postuma, J. A., 1971: *Manual of planktonic foraminifera*. Elsevier Amsterdam, 420p.
- Rahaghi, A., 1983: Stratigraphy and faunal assemblage of Paleocene-Lower Eocene in Iran. *National Iranian Oil Company, Geol. Lab.*, **10**, 1–73.
- Saito, T., 1963: Miocene planktonic foraminifera from Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser.*, **35**, 123–209.
- 鮫島輝彦・松井孝友, 1960: 静岡県賀茂郡南伊豆町差田付近の地質 (予報). *地学しずはた*, **23**, 16–18.
- 鮫島輝彦・岩橋 徹・土 隆一・伊藤通玄・黒田 直, 1968: 伊豆半島の地質に関する諸問題. 日本地質学会第75年秋季学術大会総合討論会資料, 87–92.

- 沢村孝之助・角 清愛・小野晃司・盛谷智之, 1969: 下田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 41p.
- Sliter, W. V., 1989: Biostratigraphic zonation for Cretaceous planktonic foraminifers examined in thin section. *J. Foraminiferal Res.*, 19, 1–19.
- Smout, A. H., 1954: Lower Tertiary Foraminifera of the Qatar Peninsula, London: British Mus. *Nat. History*, 90p.
- 角 清愛, 1958: 5 万分の 1 地質図幅「神子元島」および同説明書, 地質調査所, 33p.
- Taira, A., Saito, S., Aoike, K. A. N. Morita, S. Tokuyama, H., Suehiro, K., Takahashi, N., Shinohara, M., Kiyokawa, S., Naka, J. and Klaus, A., 1998: Nature and growth rate of the Northern Izu –Bonin (Ogasawara) arc crust and their implications for continental crust formation. *Island Arc*, 7 (3), 395–407.
- 高橋直樹・柴田健一郎・平田大二・新井田秀一, 2016: 葉山—嶺岡帯トラバース. 地質雑, 122, 375–395.
- 田山利三郎・新野弘 1931: 伊豆半島地質概報. 齊藤報恩会学報, 13, 1–81.
- Taylor, B., 1992: Rifting and the volcanic-tectonic evolution of the Izu-Bonin- Mariana Arc. *Proc. ODP Sci. Res.*, 126, 627–651.
- Van Vessem, E. J., 1978: Study of Lepidocyclinidae from Southeast Asia, particularly from Java and Borneo. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, 19, 142p.
- Vlerk, I. M. van der, 1963: Biometric research on *Lepidocyclina*. *Micropaleontology*, 9, 425–426.
- Vlerk, I. M. van der and Postuma, J. A., 1967: Oligo-Miocene lepidocyclinas and planktonic Foraminifera from East Java and Madura, Indonesia. *Mijnb. Geol.*, 70, 392–399.
- Vlerk, I. M. van der, and Gloor, G. H., 1968: Evolution of an embryo. *Genetica*, 39, 45–63.
- Vlerk, I. M. van der and Umbgrove, J. H. F., 1927: Tertiaire Gidsforaminiferen van Nederlandsch-Oost-Indie. *Wetenschappelijke Mededeelingen van de Dienst van de Mijnbouw in Nederlandsch-Oost-Indie*, 6, 3–35.
- Yabe, H., 1921: Notes on some Eocene foraminifera. *Sci. Rep. Tohoku Imper. Univ.*, 2nd Ser., 5, 97–108.