講演
Lecture

本邦新生代の地質・古環境事件とその原因*

小笠原 憲四郎**

(Received July 19, 2011: accepted July 30, 2011)

Events of Japanese Cenozoic geology and paleoenvironments and their causes

Kenshiro Ogasawara

Abstract : Based on recent progress on Cenozoic stratigraphy and molluscan biostratigraphy of the Japanese Islands, the causes and effects of some geological and paleoenvironmental events are discussed in relation to Pacific gateway events. The silica biomarker change that was recognized in Kamchatka at the Eocene/Oligocene transition possibly corresponded to the first cooling event of the Antarctic ice sheet. The drastic change in the same biomarker detected at the Oligocene/Miocene boundary in northern Sakhalin possibly was a response to the upwelling of cold deep water related to the opening of the Drake Passage. It is also considered that the invasion event of the tropical/subtropical bivalve *Hataiarca kakehataensis* (Hatai and Nisiyama) at 17 Ma in the Japanese Islands might have taken place in response to the closure of the Indonesian seaways. It is important to consider the scenarios of the cause and effect of geological events in response to global events.

Keywords : Cenozoic, Stratigraphy, Chronology, Molluscan faunas, paleoenvironments, Geological events, Cause and effect, Pacific gateways, Drake Passage, Japan Sea, Indonesian Seaway

1. はじめに

日本の新生界層序と年代論の研究を振り返りながら、現在の新生代年代層序と貝類化石群の変遷に基づく本邦の地質学事件と古環境変遷について総括し、事件や環境変化が生じた原因などについて考察する。

極最近の地球事件の一例にヤングドライアス (Younger Dryas) の短期的寒冷化があるが、これはミランコビッチサイクルからはずれるもので、その原因については多くの議論があった。最近になって北米大陸五大湖付近の 12,900 年前の炭素に富むブラックマットと呼ばれる薄層の構成物質の分析がすすめられた結果、イリジウムの濃集、煤、ガラス玉、ナノサイズのダイヤモンドなどの発見があった。これらの物質の生成と混在から、これらが北米大陸に飛来した彗星群の衝突に起因したもので、彗星の衝突の結果、北米大陸で大規模な森林火災が生じ、当時のマンモス、マストドンや馬、ラクダそして鳥類を含む 35 属の哺乳類動物群の消滅を引き起こしただけでなく、当時の北米大陸の大半を覆っていた大陸水河の一部が大量に溶解し、この水が北大西洋に流出した結果、ベルトコンベヤーモデルで例え

られる海洋大循環が停止し、寒冷化を生じたとのシナリオが提出された (Firestone *et al.*, 2007)。これは最新の地球事件が生じた因果関係について、明快で総合的なシナリオを描いたもので、本論の新生代地質学的事件の原因を議論するきっかけの 1 つとなった。また今後の地球史事件の解明に 1 つの指針を与えたものと判断する。

日本の新生界層序学と生層序学の研究は池辺ほか (1973) が総括しているように、地質学の最も基礎的研究として 20 世紀初めに開始され、地質学教室などを開設した東京帝大・東北・京都帝大等の研究者によりその知見が蓄積されてきた。これらの層序学的研究は戦後の Letter Classification などの層序区分記号化などを経て、1970 年代はじめまで、主として貝類化石など大型化石を用いた年代層序に基づいて総括されてきた。しかし広域対比により有効で、層序的にも比較的連続して化石として産する微化石層序の有用性が認識され、微化石層序による基準面の設定や国際対比へと進展してきた。微化石層序では底生有孔虫、浮遊性有孔虫、石灰質ナノ化石、放散虫、珪藻や渦鞭毛藻などの国際的視野からの研究を経て、現在の統合微化石層序と生物年代層序学の発展に至った。特に DSDP・IODP などで海洋底コアの記録としてルーチン化された古地磁気層序と生層序の基準面との統合、および放射年代の精度向上が、その後の層序学の近代化をもたらしたといえる (斎藤・鎮西, 1985)。さらに近年の K-Ar 法などの年代測定手

*平成 23 年 6 月 7 日、平成 23 年度石油技術協会特別講演会にて講演
 The special lecture was delivered at the 2011 JAPT annual meeting held in Tokyo, Japan, on June 7, 2011.

**筑波大学名誉教授、元生命環境科学研究科地球進化科学専攻 Professor Emeritus, University of Tsukuba (Earth Evolution Sciences)

法は Ar-Ar 測定法の検証やアイソクロンのチェックなどによって、これらの放射年代の信頼が格段に向上している。

また近年、各種同位体の研究が進み、新生界では Sr 層序学の実用化が進んでいる (伊藤, 1993)。これらに加えて堆積速度と生層序年代や放射年代などの年代コントロール層準に基づいて、論理的な外挿法年代が議論できるようになり (例えば、柳沢・林, 2003)、地域によっては数万年から数千年のオーダーでの地史事件の議論が可能となっている。

2. 本邦浅海性貝類群集の変遷

新生代貝類化石の研究は斉藤・鎮西 (1985) などでレビューされているが、わが国の化石種の記載数としては、他の分類群と比較して、その種の多様性は顕著である。化石タイプ標本データベースでまとめられたもの (Ogasawara, 2001, 2002b, 2002c, 2002d; 小笠原, 2004) を見ると、わが国の新生代貝類のうち、巻貝類 (腹足類) が 2,600 種、二枚貝類が 1,500 種など、貝類化石全体で 4,150 種近くに達する (図 1)。また新生代化石貝類の科別毎の記載種数をみると、*Turritella* 属, *Chlamys* や *Mizuhopecten* などの Pectinidae, *Anadara* 属などの Arcidea などが、生層序や古環境指標として有用であることが分かる (図 2)。

熱帯から亜寒帯にまたがる日本列島の現生貝類種がほぼ 10,000 種で (肥後, 1973)、これら各々の種の地理的分布と水深分布がほぼ把握され、さらにそれらの生態も把握されている。このような現生貝類の分類と生態の研究は、わが国の貝類研究者によって推進されてきたもので、特に

図 1 わが国の化石タイプ標本の分類群別の比較

図 2 科別の貝類分類群による種の多様性の比較

図 3 海洋生物地理区分

図4 貝類による古水深指標の適応例

Japanese Cenozoic molluscan zonation [modified after Mizuno (1964), Chinzei (1986), Ozawa and Tomida (1992), Shuto (1993) and Ogasawara (1994, 2001)]. T: Tropical ST: Subtropical WT: Warm-temperate MT: Mild-temperate CT: Cool-temperate, SB: Subboreal Deep: deep sea assemblage

図5 日本の新生代貝類化石群の生層序区分と古海中気候変遷

Pacific Gateways

図6 Pacific gateways の7段階変遷概要

Kuroda and Habe (1952) や波部 (1977) などの総括や解説書の普及などが化石貝類の研究に果たした貢献は大きいものがある。また伊田 (1956) による貝類による HDM, VDM 特性曲線¹⁾ に基づく古緯度の推定と、この緯度を海水温に転換する手法 (小笠原, 1993 : 図3) などで、貝類化石群集に基づく理論的な古環境と古水深 (図4) の復元が可能になった (小笠原・増田, 1989)。

わが国の新生界の分布は日本列島全体にわたっており、沖縄から北海道まで大変広域に及んでいる。これら日本列島の新生界は、例えば北村編 (1986, 1989) の東北本州弧地質資料集や地質調査所の鹿野ほか (1991, 1992) による本邦の代表的地域層序年代のまとめとそれらに基づくテクトニクス論などで、地域層序年代と対比の精度が増してきた。特に最近の常磐炭田地域の新生代 (須藤ほか, 2005) と男鹿半島新生界の層序・年代の再検討 (鹿野ほか, 2011) は、精度の高い最新の年代測定結果や統合生物年代尺度に基づいており、これからの新生代層序と年代の再検討の指針となるものである。

新生代浅海性貝類化石群集の地史的変遷とその古海

洋生物地理的解釈について、著者の最新の結果を示す (Ogasawara *et al.*, 2008 : 図5)。

始新世・漸新世の貝類化石層序は、主として九州北部の炭田地域と常磐炭田と北海道夕張・釧路炭田の層序と化石に基づいている。これらの貝類化石の群集変遷はすでに Mizuno (1964) や Honda (2008) などによって総括されているが、動物群の年代区分の見積もりを新たなデータに基づいて再考した。特に九州の新生代層については、最新の統合微化石層序に基づいた年代・対比 (高島ほか, 2010) に、また常磐炭田と北海道の新生界の対比は、須藤ほか (2005) に従った。

これらによると、本邦の新生代前半は、沖ノ島・高島・芦屋動物群に、常磐炭田と北海道地域は、幌内・浅貝動物群に区分され、九州と常磐地域、および北海道地域で相互に精度よく対比されている。

中新世と鮮新世の貝類化石群集は明世動物群、門ノ沢、塩原・耶麻動物群などに区分されてきたが (Chinzei, 1986), 中新世初期・中期についてはフネガイ・ウミニナ群集 (Arcid-Potamidid Fauna), 門ノ沢動物群、茂庭動物群に細分可能である。

茂庭・西黒沢動物群と塩原・耶麻動物群の年代的境界は、

1) 化石群の構成種すべてが共存する可能性のある緯度・深度を求めるため緯度・深度ごとに出現する現生種の種数の変化をグラフに表したものの。

男鹿半島の西黒沢層の大型化石を含む層準の珪藻化石層序を参考にして、14.5 Ma としている。

種ヶ島の茎永動物群は *Vicarya yokoyamai* を含む典型的な Arcid-Potamidid Fauna に属し、通常は 16.4 Ma 以降に対比するが、レリック (relict) として 13 Ma 以降であるとする考え (井上, 1992) があり、この年代について、いまだ少し再検討を要する。また、小沢・富田 (1992) や小沢ほか (1995) が述べているように、逗子動物群の年代と生物地理的扱いについても、掛川動物群との比較再検討が必要である。

鮮新世以降の貝類化石群は基本的に温帯性の竜の口と大桑・万願寺動物群及び黒潮水塊にした掛川動物群に区分し、それらの相互の年代対比をまとめている。

これらの新生代貝類化石群は一部の動物群を除いて、ほぼ 50 m 以浅の浅海性動物群であり、HDM 特性曲線などを用いることで、比較的容易に海中気候の推定が可能である。すなわち古第三系では熱帯から中間温帯、新第三系でも基本的に熱帯環境に始まり段階的な寒冷化の対応した群集であると判断できる (Ogasawara *et al.*, 2008)。これらの群集の中には数万年規模の短期的な温暖化や冷温のスパイクなども認定されているが、ここでは大枠の変遷を総括しているので、短期的変化については取り上げない。

3. 新生代古環境・古地理変遷

太平洋と他の海洋との断続や連結などについて最新の成果を総括した IGCP-433 の “Pacific gateways” の成果²⁾も踏まえると、タスマニア回路の成立 (43 Ma) と発展 (33 Ma)、ドレーク海峡の成立 (23 Ma)、インドネシア回路の閉鎖 (17 Ma)、5 Ma 以降のベーリング海峡の断続的開閉と 3-2.5 Ma にかけての段階的パナマ鎖の閉鎖などが明らかにされた。これらの回路の開閉や相乗効果を組み合わせると、新生代における太平洋と他の海洋の関係は 7 段階の変化があった (Ogasawara, 2002a: 図 6)。これらの変遷を踏まえ、本邦の浅海性貝類群集の変遷に対応して考察すると、本邦の事件が下記に取り上げるような年代に地球規模の大きな変化に対応している可能性が高い (小笠原, 2001)。

さらに具体的に本邦で独自に解析・解釈されてきた地質事件や古環境変化と、地球規模の事件を対比しながら、それらの変化について議論し、因果関係 (Local-global linkage: Cause and effect) について考察する。

4. 新生代事件の概要と原因

4.1 始新世末の寒冷化

プレート運動によるオーストラリア大陸の北上に伴い、タスマニア回路が登場し、結果的に南極循環流が登場し、海洋の寒冷化、特に高緯度地域の寒冷化が進行したと考えられる。サハリン北部の始新世・漸新世境界付近で、シリカのバイオマーカーを用いた研究で、珪藻化石群の構造的変革を指示する現象を把握し、これが南極氷床による

中・深層水冷却の表れであると解釈されている (Shiine *et al.*, 2008)。この時期、アラスカ地域などでは 1,000 万年間で年平均気温が 10 度以上低下したとされている (Wolfe, 1994)。また、43-42 Ma 頃に太平洋プレートの方向転換により、カムチャッカなど、ロシア極東地域で、初めて海進が生じる。本邦では幌内層など深海堆積盆が生じたほか常磐炭田の石城層と浅貝層の間に同位体の顕著な変化が認められている。この結果、本邦では熱帯・亜熱帯環境から、温帯環境が広域的に広がり、芦屋動物群 (浅貝-マチガル動物群) が誕生したと考えられる (Shuto, 1991)。

4.2 日本海の拡大

拡大の開始時期や拡大様式については多くの議論がなされてきたが、最近のいわゆるグリーンタフ地域の新生界層序年代 (例えば、鹿野ほか, 1991, 1992, 2011) に基づけば、日本海拡大の開始は 30 Ma 頃かそれ以前に遡り、さらに日本海の海の侵入は山口県・福井県・能登半島や青森県と北海道渡島半島などに認められる初期中新世海成層のように 20 Ma 前後に先駆的なものがあり、16.4 Ma に本格的な海域となる。

4.3 ドレーク海峡の成立

IGCP-355 の国際共同研究によって南米大西洋岸と東岸、さらにニュージーランドの貝類化石の群集変遷から、ドレーク海峡の成立と南半球における冷却の変遷が見直された (Beu *et al.*, 1997)。それによるとドレーク海峡の成立は中新世の始まりの年代と一致している。北半球では、この海峡の成立時期に調和的にサハリン北端部シュミット半島地域におけるシリカのバイオマーカーの変化から、中新世最初期にシリカに富む中・深層水の湧昇による珪藻化石群集の激変があった (川田ほか, 2000)。このような北太平洋における海洋環境の大きな変化時期は、南米と南極大陸間のドレーク海峡の成立期に一致する。ドレーク海峡の成立により南極の冷水塊を含めた大西洋と太平洋の深層水の一元化が生じたことに起因する可能性が高い (図 7)。

4.4 20-16.4 Ma の亜熱帯から温帯、熱帯への海中気候変遷

本邦初期中新世の貝類化石群や古環境変遷については、残された海成層が限定されることや、年代対比に問題をか

図 7 ドレーク海峡の成立と北太平洋のシリカのバイオマーカーイベント

2) Tectonopysics, 1997 と Jour. Asian Earth Sci., 1998 に成果の一部が公表されている。

図8 本邦初期中新世の動植物群と古環境変遷 (Ogasawara et al., 2003)

かえていたが、最新の放射年代と海生と陸上の動植物化石群を考慮することで、20 Maの亜熱帯気候から18.5 Ma頃の冷温化現象、そして16.4 Maの熱帯化への変遷過程を明らかにした (Ogasawara et al., 2003: 図8)

4.5 17 Maのインドネシア回路の閉鎖

この閉鎖事件と *Hataiarca kakehataensis* の本邦への伝搬

事件については、赤道を大きく跨いだインド洋と西太平洋の閉鎖による古黒潮の形成と貝類幼生の移動距離を考慮したモデルを提唱した (Ogasawara and Noda, 1996: 図9) いわゆるネオテチスの成立問題に関係するが、インド洋と西太平洋を赤道地域で繋げてきたネオテチスは、オーストラリア大陸の北上やそれに伴うスラウェシ島 (旧: セレベス島) の回転などで、インドネシア回路が成立する (Nishimura and Suparka, 1997)。このインドネシア回路の成立は、基本的に現在の黒潮の成立を促し、赤道地域の熱帯水塊を北に北上させたと考えられる (Ogasawara and Noda, 1996)。本邦ではよく知られた16.4 Ma以降の八尾一門ノ沢動物群の誕生は、このインドネシア回路の閉鎖にともなう黒潮の成立によるものと考えられる。

4.6 中新世における塩原・耶麻動物群の成立

南極の冷水塊の影響で世界の海洋の寒冷化が進行するが、この時期は14–13 Ma以降であり、数百万年かけて徐々に北太平洋地域の寒冷化が進行した。しかし、中新世においてはアラスカからカムチャッカ・サハリン、北海道などでは *Chlamys cosibensis* を共通して分布させるような、温帯の海洋環境が広域的に広がっており、現在の親潮的冷水塊の成立は鮮新世以降で、直接的に比較可能な親潮は1 Maになってからである (小笠原, 2005; Ogasawara et al., 2008)。

4.7 鮮新世以降におけるベーリング海峡の断続

北太平洋と北極海・北大西洋との海生生物の交流は、陸上歩行動物の移動を含め、Hopkins (1965) 以来、多くの研究がある。中新世においては大西洋に多くの種が繁栄した *Astarte* 二枚貝の、ベーリング海峡を経由して、北太平洋に進出するが、それらの年代が、*Astarte* 属二枚貝化石

図9 インドネシア回路の閉鎖に伴う日本列島への熱帯起源の貝類の移入

表 1 新生代地質学的事件

50 Ma : Early Eocene ; Existence of the Turgai Strait (Tethys-Arctic Ocean connection)
43–33 Ma : Terminal Eocene Event (long span cooling)
43 Ma–37–30 Ma : Tasmanian Seaway onset (36 Ma Established the East Antarctic Ice sheet)
43 Ma : Direction of the Pacific plate change from NNE to NEE
35.8 Ma : Abrupt cooling and appearance of the temperate Ashiya Fauna in Japan
30–15 Ma : Lifting of the Japan Sea
23.5 Ma : Onset of the Drake Passage
21–17 Ma : Uplifting of the Himalaya
17 Ma : Closing of the Indonesian Seaway
17–16 Ma : Neogene climatical optimum
14 Ma : Major expansion of Antarctic Ice sheet
9 Ma : Shoaling of the Isthmus of Panama (Diatom event A : Barron, 1998)
Late Miocene (6–5.3 Ma) : Establishment of western Antarctic Ice Sheet
5.2–3.9 Ma : Brake between the Indian and Pacific oceans
3.5–2 Ma : Closing of the American Seaway

と珪藻化石層序を組み合わせることで、最初のペーリング海峡の成立が 5.32 Ma で (Gladenkov *et al.*, 2002), それ以降の断続的連結史が詳細に解明されている (Marincovich, 2000 ; Gladenkov and Gladenkov, 2004)。

鮮新世から更新世の我が国の貝類化石群の変遷については、ここでは概要を記すだけで、詳細な議論は別項に譲り、以下に主要な新生代地質学事件の概要と年代をまとめる (表 1)。

引用文献

- Barron, J., 1998 : Late Neogene changes in diatom sedimentation in the North Pacific. *Jour. Asian Earth Sci.*, **16** (1), 85–95.
- Beu, A. G., Griffin, M. and Maxwell, P. A., 1997 : Opening of Drake Passage gateway and Late Miocene to Pleistocene cooling reflected in Southern Ocean molluscan dispersal: evidence from New Zealand and Argentina. *Tectonophysics*, **281**, 83–97.
- Chinzei, K. 1986 : Neogene molluscan faunas in Japan. *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, (29), 17–32.
- Firestone, R. B., West, A., Kennett, J. P., Becker, L., Bunch, T. E., Revay, Z. S., Schultz, P. H., Belgia, T., Kennett, D. J., Erlandson, J. M., Dickerson, O. J., Goodyear, A. C., Harris, R. S., Howard, G. A., Kloosterman, J. B., Lechler, P., Mayewski, P. A., Montgomery, J. A., Poreda, R., Darrah, T., Que Hee, S. S., Smith, A. R., Stich, A., Topping, W., Wittke, J. H., and Wolbach, W. S., 2007 : Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **104** (41), 16016–16021.
- Gladenkov, A. Yu. and Gladenkov, Yu. B., 2004 : Onset of connection between the Pacific and Atlantic Oceans through the Bering Strait in the Neogene. *Stratigr. Geol. Correl.*, **12**, 72–90.
- Gladenkov, A. Yu., Oleinik, A. E., Marincovich, Jr. L., and Barinov, K. B., 2002 : A refined age for the earliest opening of Bering Strait. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, **183**, 321–328.
- Hag, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R., 1987 : Chronology of Fluctuating Sea Levels since the Triassic. *Science*, **235** (4793), 1156–1167.
- 波部忠重, 1977 : 日本産軟体動物分類学. 二枚貝綱 / 堀足綱. 図鑑の北隆館, 372pp.
- 肥後俊一, 1973 : 日本列島周辺海産貝類総目録. 長崎県生物学会, 397pp+61pp.
- Honda, Y., 2008 : Paleogene molluscan biogeography of the northwestern Pacific: Relationship between the formation of the Central Japan Province and the opening of the Shikoku Basin. *Bull., Geol. Survey, Japan*, **59**, 365–368.
- Hopkins, D., ed., 1965: The Bering Land Bridge. *Stanford Univ. Press. Stanford, California*, 495pp.
- 伊田一善, 1956 : 貝類化石群の特性曲線について. 地調月報, **7**, 63–70
- 池辺展生・池辺 穰・柴田 賢・高柳洋吉・千地万造・鎮西清高編, 1973 : 日本新第三系の生層序と放射年代. 地質学論集, 第 8 号, 237pp.
- 井上恵介, 1992 : 鹿児島県種子島の中新統茎永層群の層序と年代. 瑞浪化石博研報, (19), 347–362.
- 伊藤 孝, 1993 : 新生代海水 Sr 同位体比層序組成データの評価と Sr 同位体層序学. 地質雑, **99**, 739–753.
- 鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎編, 1991 : 日本の新生界層序と地史. 地質調査所報告, (274), 114pp.
- 鹿野和彦・大口健志・柳沢幸夫・栗田泰夫・小林紀彦・佐藤雄大・林 信太郎・北里 洋・小笠原憲四郎・駒沢正夫, 2011 : 戸賀及び船川地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 127pp.
- 鹿野和彦・柳沢幸夫・吉田史郎・加藤碩一編, 1992 : 日本の新生代地史とテクトニクス. 地質調査所月報, **43**, (1/2), 139pp.
- 川田洋平・鈴木徳行・長谷川四郎・久田健一郎・小笠原憲四郎, 2000 : サハリン第三系の珪質堆積岩と古第三紀 / 新第三紀境界期の古海洋環境. 地学雑誌, **109** (2), 218–234.
- 北村 信編, 1986 : 新生代東北本州弧地質資料集, 第 1 巻～第 3 巻, 宝文堂, 仙台, 島弧断面 30 ルート + 関東の

付録 3.

- 北村 信・大槻憲四郎・大口健志編, 1989: 新生代東北本州弧のジオテクトニクス. 地質学論集, (32), 468pp.
- Kuroda, T. and Habe, T., 1952: Check list and bibliography of the Recent marine Mollusca of Japan. *Leo, W. Stach, Publisher Tokyo*, 210pp.
- Marincovich, Jr. L., 2000: Central American paleogeography controlled Pliocene-Arctic Ocean molluscan migration. *Geology*, **28**, 551–554.
- Mizuno, A., 1964: Paleogene and early Neogene molluscan faunas in west Japan. Rep., *Geol. Surv. Japan*, (204), 1–72.
- Nishimura, S. and Suparka, S., 1997: Tectonic approach to the Neogene evolution of Pacific-Indian Ocean seaways. *Tectonophysics*, **281**, 1–16.
- 小笠原憲四郎, 1993: シンポジウム「新生代化石生物温度計の試み-その論理と適応-」その背景と課題. 化石, (54), 11–23.
- Ogasawara, K., 1994: Neogene paleogeography and marine climate of the Japanese Islands based on shallow-marine molluscs. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, **108**, 335–351.
- 小笠原憲四郎, 2001a: 本邦新生代貝類群集変遷の古海洋環境的背景. 生物科学, **53** (3), 185–191.
- Ogasawara, K., 2001b: Cenozoic Bivalvia. In Ikeya, N., Hirano, H. and Ogasawara, K. eds.: The database of Japanese fossil type specimens described during the 20th Century. *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, (39), 223–373.
- Ogasawara, K., 2002a: Responses of Japanese Cenozoic molluscs to Pacific gateway events. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, **19** (3), 1–9.
- Ogasawara, K., 2002b: Cenozoic Gastropoda. In Ikeya, N., Hirano, H. and Ogasawara, K. eds.: The database of Japanese fossil type specimens described during the 20th Century (Part 2). *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, (40), 304–551.
- Ogasawara, K., 2002c: Cenozoic Scaphopoda. In Ikeya, N., Hirano, H. and Ogasawara, K. eds.: The database of Japanese fossil type specimens described during the 20th Century (Part 2). *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, (40), 552–557.
- Ogasawara, K., 2002d: Cenozoic Bivalvia (Supplement). In Ikeya, N., Hirano, H. and Ogasawara, K. eds.: The database of Japanese fossil type specimens described during the 20th Century (Part 2). *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, (40), 558–566.
- 小笠原憲四郎, 2004: 日本の化石タイプ標本データベースの概要とその活用に向けて. 化石, (75), 24–29.
- 小笠原憲四郎, 2005: サハリン・カムチャッカ地域における新生代の古気候・地球環境変動. 石技誌, **70** (1), 15–23.
- 小笠原憲四郎・増田孝一郎, 1989: 東北地方新第三系貝類化石の古水深指標とその適応. 地質学論集, (32), 217–227.
- Ogasawara and Noda, 1996: Miocene *Hataiarca* (Mollusca, Bivalvia) invasion event in the Japanese Islands from a viewpoint of Indo-Pacific connection. *Prof. H. Igo Commem. Vol.*, 133–139.
- Ogasawara, K., Takano, M., Nagato, H. and Nakano, T., 2008: Cenozoic molluscan faunas and climatic changes in the northern Pacific related to Pacific gateways: review and perspective. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **59**, 355–364.
- Ogasawara, K., Ugai, H. and Kurihara, Y., 2003: Short-term early Miocene climatic fluctuations in the Japanese Islands. *Proc. 8th International Congr., Pacific Neogene Stratigr., Chiang Mai*, 2003, 181–190.
- 小澤智生・富田 進, 1992: 逗子動物群—日本の後期中新世～前期鮮新世暖流系動物群—. 瑞浪市化石博研報, (19), 427–439.
- 小澤智生・井上恵介・富田 進・田中貴也・延原尊美, 1995: 日本の新第三紀暖流系軟体動物群の概要. 化石, (58), 20–27.
- 斎藤常正・鎮西清高, 1985: 第三系の層序と古地理. 地質学論集, 第25号, pp. 43–64.
- Shiine, H., Suzuki, N., Motoyama, I., Hasegawa, S., Gladenkov, A. Y., Gladenkov, Yu. B., and Ogasawara, K., 2008: Diatom biomarker during the Eocene/Oligocene transition in the Il'pinskii Peninsula, Kamchatka, Russia. *Paleogeogr., Paleoclimatol. Paleoecol.*, **264**, 1–10.
- 須藤 斎・柳沢幸夫・小笠原憲四郎, 2005: 常磐地域及びその周辺の第三系の地質と年代層序. 地質調査所研究報告, 第56巻, no. 11/12, p. 375–409.
- Shuto, T., 1991: Origin of the Oligocene Ashiya fauna-A paleoceanographical consideration. *Proceedings of Shallow Tethys 3, Saito Ho-on Kai Spec. Pub.*, (3), 269–281.
- 首藤次男, 1993: 内弧における造盆運動と広域テクトニクス—北九州の第三紀堆積盆を例として—. 地学雑誌, **102**, 849–867.
- 高嶋礼詩・西 弘嗣・上栗伸一, 2010: 3. 8.2. 微化石に基づく九州・沖縄の新生界の対比. 日本地質学会編: 日本地方地質誌 8. 九州・沖縄地方. 170–171pp.
- Wolfe, J. A., 1994: Tertiary climatic changes at middle latitudes of western North America. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, **108**, 195–205.
- 柳沢幸夫・林 広樹, 2003: 岩手県一関地域に分布する中新統の海生珪藻化石層序と生層準. 地質調査研究報告, **54** (1/2), 49–61.