

四国の第三系久万層群の堆積年代とその意義

Depositional age of the Tertiary Kuma Group, Shikoku, and its significance

成田耕一郎*† 山路 敦* 田上高広*
栗田裕司** 小布施明子** 松岡數充***

Koichiro Narita*†, Atsushi Yamaji*,
Takahiro Tagami*, Hiroshi Kurita**,
Akiko Obuse** and Kazumi Matsuoka***

1998年2月25日受付.
1998年12月14日受理.

* 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

† 現所属; 石油資源開発(株). Present address; Japan Petroleum Exploration Co., Ltd., 2-2-20, Higashi-shinagawa, Shinagawa, Tokyo 140-0002, Japan

** 石油資源開発(株) 技術研究所. JAPEX Research Center, Japan Petroleum Exploration Co., Ltd., 1-2-1, Hamada, Mihama, Chiba 261-0025, Japan

*** 長崎大学水産学部海洋生物資源学講座沿岸環境学研究室. Laboratory of Coastal Environmental Sciences, Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8131, Japan

Abstract: Cenozoic clastic sediments in the Kuma area, Shikoku, southwest Japan, previously designated as the Kuma Group, are here redefined as the Hiwada-toge Formation and the overlying Kuma Group *sensu stricto*, considering a significant time-gap between them. The Hiwada-toge Formation is Early Eocene in age on the basis of dinoflagellate cysts, while the lower part of the Kuma Group *s.s.* (Sagayama Formation) was dated as late Early Miocene by fission-track dating. Organic microfossil assemblages show that the Hiwada-toge Formation contains marine strata and the lower part of the Kuma Group *s.s.* (Sagayama Formation) is of non-marine origin.

These results provide two geochronological constraints critical to the regional tectonic history.

The age of the Hiwada-toge Formation indicates that the Sanbagawa metamorphic rocks came under subaerial erosion by Early Eocene in its provenance area. The relationship between the Median Tectonic Line (M.T.L.) and the northern extension of the Miocene Kuma Group *s.s.* and its contiguous strata shows that a compressional activity of the M.T.L. occurred during a relatively short period in late Early to Middle Miocene.

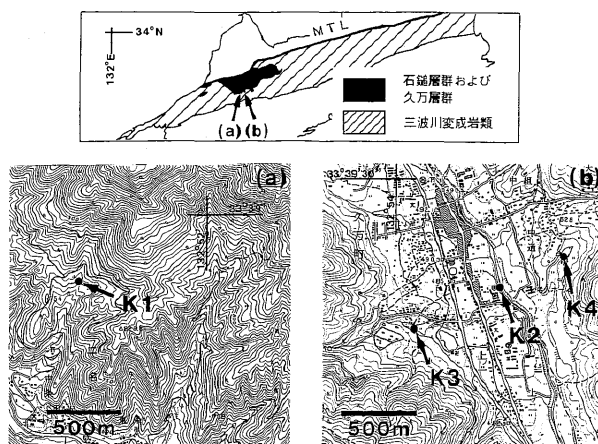
Key words: dinoflagellate cysts, fission-track dating, Kuma Group, MTL, Miocene, Eocene

はじめに

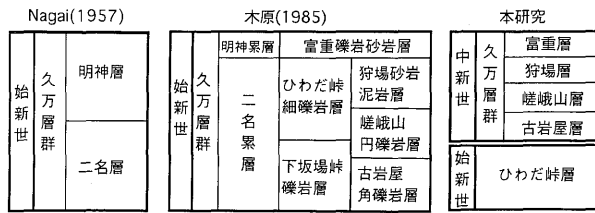
久万層群 (Nagai, 1957) は、四国の愛媛県中部と高知県をまたいで分布する第三系で、三波川変成岩類を不整合に覆い、同変成岩類由来の礫を含む地層であるため、三波川変成岩の地表への露出時期に関し制約を与える重要な地層である。また、同層群は中央構造線の両側に分布するため (高橋, 1977)、同構造線の活動史についても制約を与える。しかし、久万層群の堆積年代に関しては、始新世と中新世という2つの説が存在する。前者は有孔虫化石 (Hanzawa, 1959) および植物化石 (Nagai, 1957) に基づき、後者は植物化石 (松尾, 1980) と凝灰岩のフィッシュントラック年代測定 (鹿島・武智, 1996) による。

本研究は、地表踏査、微化石分析およびフィッシュントラック (以下 FT) 年代測定を行い、久万層群の層序年代と堆積環境を明確にすることを目的とした。その結果、かつて同層群に一括されていた地層の内、ひわだ峠細礫岩層 (木原, 1985) は始新統であり、嵯峨山円礫岩層 (木原, 1985) は中新統であること、嵯峨山円礫岩層の一部は淡水成であることが判明した。

その結果、本論文では層序区分は木原 (1985) のものを用いるが、後述するように木原 (1985) が定義した部層を累層として再定義する。また今回年代の差異が明らかになったため、再定義したひわだ峠細礫岩層を久万層群に含めない。従来の久万層群からひわだ峠細礫岩層を除外した部分を久万層群として再定義する。混乱をさけるため、本論文ではこれを久万層群 (狭義) と呼ぶことにする。なお、下坂場峠礫岩層の層序学的位置づけは不明な点が多いため、同層を久万層群 (狭義) に含めない。



第1図. 地質区分図および試料採取位置図. 国土地理院2万5千分の1地形図「総津」(a)および「久万」(b)を使用.



第2図. 層序区分図.

地質概説

四国山地西部には、堆積岩類と火山岩類からなる第三系が帯状に広く分布する(第1図)。これらのうち下位の堆積岩類は久万層群(Nagai, 1957)、上位の火山岩類は石鏡層群(永井, 1956)と呼ばれている。Nagai (1957)は久万層群を、三波川変成岩類由来の礫岩から成る二名層と、砂岩礫と花崗岩礫を主体とする明神層とに区分した。しかし木原(1985)は三波川変成岩類由来の礫岩層は複数の層準にまたがって発達することを指摘し、同層群を、上方細粒化を示す下部層と上方粗粒化を示す上部層に区分して、前者を二名累層、後者を明神累層と再定義した。木原(1985)はさらに、二名累層を古岩屋角礫岩層、嵯峨山礫岩層、狩場砂岩泥岩層、下坂場峠礫岩層、ひわだ峠細礫岩層の各部層に区分し、明神累層は富重礫岩砂岩層のみから成るとした。

久万層群の層序区分に関しては、上記の2種類の定義があるが、本論文では木原(1985)が定義した部層区分を用いる。ただし、木原(1985)が定義した各部層を累層として再定義する。木原(1985)が定義した部層は計6つであり、それらの累重関係は第2図に示した。

有機質微化石分析

ひわだ峠細礫岩層上部の明灰白色石灰質細礫岩(試料K1とする)および嵯峨山礫岩層上部のシルト岩(試料K2とする)の計2試料について、有機質微化石(渦鞭毛藻化石、花粉・胞子化石)分析を行った。試料の前処理法は栗田・楠(1997)の方法に従った。試料の採取地点を第1図に示す。分析結果を第1表に、代表的有機質微化石を第3図に示す。

試料K1からは、渦鞭毛藻化石や他の海産藻類微化石が多数産出した。ただし有機物中での花粉化石・植物体破片など陸源有機物の割合は非常に低かったため、本試料では花粉化石分析を行っていない。

産出した渦鞭毛藻化石群集はすべて海産種から構成され、他に海産プランクトン藻のファイコーマ(*Pterospermopsis*)も産することから、本試料が海成であることを示す。本群集は、汎世界的に分布する種を数多く含んでいる。北西ヨーロッパ地域の渦鞭毛藻化石層序(Powell, 1992)に従えば、試料K1から今回得られた渦鞭毛藻化石群集は、下部~中部始新統を示す種を多く含んでいるとともに、産出上限が下部始新統である種(*Hystrichosphaeridium tubiferum*)を伴っている。したがって、この渦鞭毛藻化石群集の示す年代は前期始新世に限られ、Powell (1992)の尺度によればほぼ石灰質ナノ化石帯のNP11-NP14 (Martini, 1971)の範囲に対比できる。さらに、産出地点と比較的近い位置関係にある東シ

第1表. 試料K1および試料K2より産出した有機質微化石.

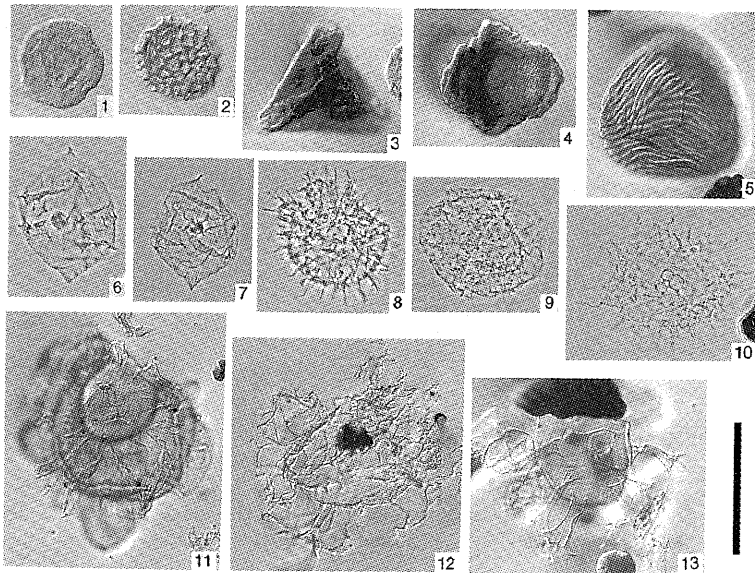
試料K1の分析結果 (ひわだ峠層)		試料K2の分析結果 (嵯峨山層)	
Marine Dinoflagellate Cysts			
<i>Achilleodinium biformoides</i>	C	Pollen and spores	
<i>Achomosphaera ramulifera</i>	R	GYMNOSPERMS	
<i>Adnatosphaeridium multispinosum</i>	C	<i>Abies</i>	R
<i>Alisocysta</i> sp.	R	<i>Picea</i>	R
<i>Amphorosphaeridium ? multispinosum</i>	R	<i>Pinus</i>	R
<i>Areoligera senonensis</i>	R	<i>Taxodiaceae</i>	R
<i>Areoligera</i> sp. cf. <i>A. senonensis</i>	R	<i>Tsuga</i>	R
<i>Canningia</i> sp.	A	ANGIOSPERMS	
<i>Cordosphaeridium fibrospinosum</i>	C	<i>Alnus</i>	R
<i>Cordosphaeridium</i> sp. cf. <i>C. inodes</i>	R	<i>Carya</i>	R
<i>Cribroperidinium tenuitubulatum</i>	R	<i>Ilex</i>	R
<i>Glyphocysta pastielsii</i>	R	<i>Juglans / Pterocarya</i>	R
<i>Hystrichokolpoma rigaudiae ?</i>	R	<i>Liquidambar</i>	C
<i>Hystrichosphaeridium tubiferum</i>	C	<i>Nyssa</i>	R
<i>Impagidinium</i> sp. cf. <i>I. pentahedrias</i>	R	<i>Persicaria</i>	R
<i>Impagidinium ? sp. indet.</i>	R	<i>Symlocos</i>	R
<i>Pentadinium</i> sp. cf. <i>P. polypodum</i>	C	<i>Ulmus / Zelkova</i>	C
<i>Spiniferites</i> sp.	R	<i>Cupuliferopollenites</i>	R
<i>Systematophora placacantha</i>	R	<i>Faguspollenites</i>	R
<i>Tectatodinium</i> sp.	C	<i>Margocolporites</i>	R
<i>Thalassiphora delicata</i>	R	<i>Quercoidites</i>	R
<i>Trinovantadinium boreale</i>	C	<i>Reevesiapollis</i>	R
(total cysts recorded 157)		<i>Sporotrappoidites</i>	A
Marine Algae			
<i>Ballisphaeridium</i> spp.	A	<i>Tricolpopollenites</i>	C
<i>Cyclopsella</i> sp.	R	<i>Tricolporopollenites</i>	C
<i>Michystridium</i> spp.	A	<i>Triporopollenites</i>	R
<i>Pterospermella</i> spp.	R	FERN SPORES	
indeterminate cysts	C	<i>Laevigatosporites</i>	R
		<i>Magnastriatites</i>	R
		other trilete spores	R
		Freshwater	
		Dinoflagellate Cysts	
		<i>Parabohaidina</i> sp. A	A
		<i>Parabohaidina</i> sp. B	A
		<i>Parabohaidina</i> sp. C	R
		<i>Aquadulatum</i> sp. A	A
		<i>Aquadulatum</i> sp. B	A
		Freshwater Algae	
		<i>Pediastrum</i> spp.	A

産出頻度の表現は、渦鞭毛藻化石・藻類化石については記録個体数を基準に、R=1~5個体、C=6~20個体、A=21個体以上；花粉・胞子化石については記録個体数の総記録個体数中の比率を基準に、R=4%以下、C=5~39%、A=40%以上。

ナ海南西部の台北堆積盆からは、下部始新統~中部始新統下部を特徴づける種として、今回試料K1から得られた渦鞭毛藻化石のうち、*Adnatosphaeridium multispinosum*、*Cordosphaeridium fibrospinosum*、*Amphorosphaeridium ? multispinosum*の産出が共通して報告されており(Yu, 1989)、上記の推定と調和的である。試料K1の渦鞭毛藻化石群集は、中部始新統以上の層準に産出が限られる種群を全く含んでいない。この群集が再堆積したものである可能性は低く、この群集の示す年代が、試料の堆積年代と考えられる。

試料K2は、渦鞭毛藻化石および花粉・胞子化石を多数産出した。下記のように群集組成からみて本試料は淡水成と考えられる。

本試料の渦鞭毛藻化石群集では、*Parabohaidina*属と*Aquadulatum*属が卓越する。*Parabohaidina*属は、Song et al. (1978)によって中国渤海湾の汽水成漸新統とされる地層から最初に記載された。今回得られた*Parabohaidina* sp. Aと*P. sp. B*は、ともに現生淡水産種の*Woloszynskia apiculata* von Stoschのシストと形態的にきわめて共通性が高い。*Aquadulatum*属はオーストラリアやカナダの淡水成完新統(Harland and Sarjeant, 1970; Burden et al., 1985)、ならびに東シナ海の汽水成鮮新-更新統(Song et al., 1985)から記載されている。これらの*Aquadulatum*属化石と形態的に類似性のある現生シストは、やはり淡水産*Woloszynskia*属に知られている(*W. pseudopalustre* (Woloszynska)や*W. cestocoetes* Thompson)。それら現生シストの形態に関する記述が不十分なため、*Aquadulatum*



第3図 試料 K1, K2 より産出した有機質微化石。
 1: *Liquidambar*, 2: *Persicaria*, 3: *Sporotrapoidites* (極観), 4: 同 (赤道観), 5: *Magnastriatites*, 6: *Paraboidina* sp. A, 7: *Paraboidina* sp. B, 8: *Aquadulatum* sp. A, 9: *Aquadulatum* sp. B, 10: *Pediastrum* sp. (以上試料 K2 産出), 11: *Achilleodinium biformoides*, 12: *Adnatosphaeridium multi-spinosum*, 13: *Hystrichosphaeridium tubiferum* (以上試料 K1 産出)
 1-4 花粉化石, 5 孢子化石, 6-9, 11-13 渦鞭毛藻化石, 10 藻類化石; 6-10 は位相差像, その他は微分干渉像; スケール=50 μ m, ただし 5 についてののみ 80 μ m.

sp. A や A. sp. B が *Woloszynskia* 属のシストであると断定できないが、発芽孔の形態なども考慮すれば、その可能性が強い。これらの点から、本試料中の渦鞭毛藻化石群集は全体として淡水産のシストから構成されると判断できる。

一方、試料 K2 の花粉・孢子化石群集は、淡水産の *Sporotrapoidites* の顕著な多産および *Magnastriatites* の随伴で特徴づけられる。*Sporotrapoidites* は日本では近畿地方の中新-鮮新世の *Hemitraps* 果実化石が産する淡水性の地層(室生層群や東海層群, 古琵琶湖層群) から特徴的に検出され、また形態的に現生 *Trapa* (ヒシ属) 花粉と類似することから *Hemitraps*? 花粉化石として島倉 (1963, 1964) が報告したタクサである。また *Magnastriatites* は淡水産シダ植物の *Ceratopteris* 属孢子と基本形態が一致し、その化石名である。この花粉・孢子化石群集は淡水域に特徴的な局所的植生を記録していると考えられ、堆積環境として流れの少ない淡水域(淀んだ川, 沼, 池など)を指示する。

以上のような有機質微化石群集は、この試料が典型的な淡水成堆積物であることを示している。

FT 年代測定

FT 年代測定用の試料として、嵯峨山円礫岩層上部の 2 枚の凝灰岩層から試料 K3, K4 を採取した。採取地点を第 1 図に示す。両凝灰岩について鹿島 (1972) が重鉱物組成を報告しており、試料 K3, K4 は各々鹿島 (1972) の試料 K101, K4 に対応する。試料 K3 は緑白色の泥質凝灰岩で、鏡下では石英、斜長石、黒雲母が認められる。試料 K4 は黄褐色の砂質凝灰岩で、鏡下では石英、斜長石、カリ長石、黒雲母が認められる。

測定手順は、Tagami et al. (1988) に従い外部検出器法を用いた。各試料とも約 10 kg をクラッシャー、ミルで粉碎したのち、水洗して泥質分を取り除いた。重液分離、磁性分離を行ったのち、実体顕微鏡下で自形を有する透明なジルコン粒子を選別した。これらを PFA テフロンシートに埋め込み、4 π 面をもつ内部面が出るまで研磨し、225.0 \pm 0.5 $^{\circ}$ C の KOH-NaOH 等モル共融液でエッチングを行った。テフロンシート表面に白雲母検出器を装着し、京都大学熊取原子炉 TC-Pn

第 2 表 FT 年代測定結果

	ρs ($10^9/cm^2$)	Ns	ρi ($10^9/cm^2$)	Ni	ρd ($10^9/cm^2$)	Nd	T \pm 2 σ (Ma)	n	P(χ^2) (%)
K3	3.74	979	4.07	1063	0.0954	2482	15.8 \pm 1.6	23	34.57
K3	3.63	1691	3.88	1807	0.1061	2836	17.8 \pm 1.6	30	22.64
							weighted mean	16.8 \pm 1.1	
K4	3.77	403	3.36	359	0.0934	2378	18.8 \pm 3.0	13	52.80
K4	3.51	1146	3.67	1199	0.1061	2836	18.2 \pm 1.8	30	33.05
							weighted mean	18.4 \pm 1.5	

ρs : 自発トラック密度; Ns: ρs 決定のため計測した全自発トラック数; ρi : 誘導トラック密度; Ni: ρi 決定のため計測した全誘導トラック数; ρd : 標準ガラス上の誘導トラック密度; Nd: ρd 決定のため計測した全誘導トラック数; T: フィッショントラック年代 (誤差 2 σ は Ns と Ni の値から計算); n: 測定に使用した粒子数; P(χ^2): 自由度 n-1 の χ^2 確率 (Galbraith, 1981)

照射設備で 30 分間中性子照射を行った。照射後、白雲母検出器は 32.5 \pm 0.5 $^{\circ}$ C の 46% HF 溶液でエッチングを行った。

FT 年代の算出は Zeta 法 (Hurford and Green, 1983)、誤差の算出は Green (1981) の conventional analysis に従った。用いた Zeta 値は 358.9 \pm 14.0 (2 σ) である。測定結果を第 2 表に示す。今回は火山灰噴出年代を決定するための測定なので、ハンドピックでは自形結晶を選択的に選んだ。

試料 K3, K4 とも分離したジルコン粒子を無作為に 2 群に分け、別の機会に照射を行った。誤差範囲を考慮すれば、2 群間で得られた年代値に有意な差は見られず、またいずれの結果も有意水準 5% の χ^2 検定 (Galbraith, 1981; Green, 1981) に合格した。K3, K4 の年代として、それぞれ 2 群間の加重平均値の 16.8 \pm 1.1 Ma, 18.4 \pm 1.5 Ma (2 σ) を採用する。

考察

今回の研究で、従来の久万層群がその堆積年代により、大きく二分されることが判明した(第 2 図)。海成のひわだ峠層は下部始新統であることがわかった。同層からは、Hanzawa (1959) が中期~後期始新世を示す底生有孔虫を得ており、上記の結果とほぼ調和する。久万層群(狭義)は、本 FT 年代測定や鹿島・武智 (1996) の FT 年代、松尾 (1980) の植物化石年代から下部~中部中新統であると考えられる。ただし、Nagai (1957)、永井 (1972) は久万層群(狭義)から産出する植物化石 (*Sabalites nipponicus*, *Nelumbo nipponica*, *Ficus tiliaefolia*) を上部始新統のものとしている。さらに

Takahashi (1962) は花粉化石の研究から久万層群明神層 (Nagai, 1957) を北九州の直方層群に対比し、明神層の年代を始新世としている。これらの評価は今後の課題として残される。木原 (1985) で定義された下坂場峠礫岩層については、他の層とやや離れた地域に独立して分布すること、年代決定に有効な化石が未産出であることから、その層序学的位置づけは困難であると考えられる。

堆積環境については、本研究の結果、嵯峨山層が淡水成であり、ひわだ峠層が海成であることがわかった。従来、前者に関しては堆積学的な見地から河川成と考えられており (甲藤・平, 1979)、後者に関しては産出化石や堆積学的な見地から浅海成であると考えられていた (木原, 1986)。本研究で得られた結果はこれらの説を支持する。

本研究の結果から、第三紀のテクトニクスに関し以下のような制約が与えられる。ひわだ峠層は三波川変成岩由来の礫を含む細礫岩から成るので、四国地方において三波川変成帯が地表に露出したのは前期始新世以前であるといえる。また、高橋 (1977)、竹下 (1993)、武田 (1996) によると、久万地域北方で中央構造線に沿って久万層群 (狭義) が短縮テクトニクスによる変形を被っており、上位に重なる石鏡火山岩類ではその影響が見られないという。同火山岩類については過去に中期中新世の年代が報告されている (田崎ほか, 1993)。この年代は今回得られた嵯峨山層の年代とほとんど差異がない。したがって、中央構造線に沿う地域で久万層群 (狭義) を変形させた短縮テクトニクスは、前期中新世末~中期中新世の比較的短期間の運動であったことが推定される。

久万層群 (狭義) は頻りに崖錐性礫岩を挟み、なおかつ層厚も水平方向に著しく変化する (甲藤・平, 1979; 木原, 1985) ことから、堆積時の大規模な基盤運動が推察される。今回新たに得られた年代、古環境資料を組み入れ、その運動の性格づけを行うことが今後の課題である。

謝辞 石油資源開発株式会社には本稿の公表を許可していただいた。高橋治郎氏からは、かつて半澤正四郎氏の記載した化石の産出地点を教えていただいた。竹下 徹氏には、調査のための便宜をはかっていただいた。また久万町久万の山下 衛氏には、試料採取の際御助力をいただいた。記して感謝の意を表する。なお本研究の一部に文部省科学研究費補助金 (基盤研究 C, 08640568) を使用した。

文 献

- Burden, T.E., McAndrews, J.H. and Norris, J., 1985, Palynology of Indian and European forest clearance and farming in lake sediment cores from Awenda Provincial Park, Ontario. *Can. Jour. Earth Sci.*, **23**, 43-54.
- Galbraith, R. F., 1981, On statistical models for fission track counts. *Math. Geol.*, **13**, 471-488.
- Green, P. F., 1981, A new look at statistics in fission track dating. *Nuclear Tracks*, **5**, 77-86.
- Hanzawa, S., 1959, The foraminiferal species *Fabiania cassis* (Oppenheim) in Japan. *Cushman. Found. Foraminifera Res. Contr.*, **10**, 119-122.
- Harland, R. and Sarjeant, W.A.S., 1970, Fossil freshwater microplankton (Dinoflagellates and acritarchs) from Flandrian (Holocene) sediments of Victoria and Western Australia. *Proc. Royal Soc. Victoria*, **83**, 211-234.
- Hurfurd, A. J. and Green, P. F., 1983, The zeta age calibration of fission track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317.
- 鹿島愛彦, 1972, 始新世久万層群の混成凝灰岩. 愛媛大紀要, 自然科学, D シリーズ, **7**, 51-61.
- 鹿島愛彦・武智賢樹, 1996, 四国, 石鏡山第三系久万層群の凝灰岩のフィッシュン・トラック年代. 岩鉱, **91**, 196-200.
- 甲藤次郎・平 朝彦, 1979, 久万層群の新観察. 地質ニュース, **293**, 12-21.
- 木原茂樹, 1985, 愛媛県中央部, 久万町周辺の始新統久万層群の層序と堆積環境. 構造地質研究会・碎屑性堆積物研究会編「"スランプ相"の形成とテクトニクス」, 133-144.
- 木原茂樹, 1986, 四国北西部, 古第三系久万層群の三波川変成岩類源堆積物について. 碎屑性堆積物の研究 (碎屑性堆積物研究会), **4**, 33-40.
- 栗田裕司・楠 香織, 1997, 北海道中央部, 襟裳層の渦鞭毛藻化石年代 (後期漸新世) とその意義. 地質雑, **103**, 1179-1182.
- Martini, E., 1971, Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In Farinacci, A., ed., *Proceedings of the Second Planktonic Conference*, Edizioni Technoscienza, Rome, 739-785.
- 松尾秀邦, 1980, 石鏡山系, 瓶ヶ森林道における名野川越植物群について. 甲藤次郎教授還暦記念論文集, 49-56.
- 永井浩三, 1956, 石鏡山第三紀層の地質時代と西部日本古第三紀の古地理. 愛媛大紀要, II 部, **2**, 145-154.
- Nagai, K., 1957, The upper Eocene Flora of the Ishizuchi Range, Shikoku, Japan. *Mem. Ehime Univ.*, *Sec. 2*, **2**, 73-82.
- 永井浩三, 1972, 四国, 始新統久万層群. 愛媛大紀要 (自然科学), D シリーズ, **7**, 1-7.
- Powell, A.J., 1992 ed., *A stratigraphic index of dinoflagellate cysts*. Chapman & Hall, London, 290p.
- 島倉巳三郎, 1963, 本邦新生代層の花粉層序学的研究 VII—地獄谷累層一. 奈良学芸大紀要, **11**, 13-24.
- 島倉巳三郎, 1964, 本邦新生代層の花粉層序学的研究 VIII—奄芸・曾爾・都介野の各層群一. 奈良学芸大紀要, **12**, 37-50.
- Song, Z., Guan, X., Li, Z., Zheng, Y., Wang, W. and Hu, Z., 1985, *A research on Cenozoic palynology of the Longjing structural area in the Shelf Basin of the East China Sea (Donghai) region* (in Chinese with English summary). Anhui Science and Technology Publishing House, 209p.
- Song Zhichen and Research party from Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, 1978, *On the Paleogene dinoflagellates and acritarchs from the coastal region of Bohai* (In Chinese with English summary). Science Press, Beijing, 190p.
- 高橋治郎, 1977, 愛媛県松山市南部の地質と中央構造線. 地質雑, **83**, 325-340.
- Takahashi, K., 1962, Pollenformen aus den eozänen Kohlenflozen von Ishizuchi. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, *Ser. D, Geology*, **12**, 1-26.
- 竹下 徹, 1993, 日本海拡大期の西南日本前弧域および中央構造線沿いの変形: 予察. 地質学論集, no. 42, 225-244.
- 武田賢治, 1996, 四国, 松山南東部の中央構造線の始新世-中新世テクトニクスと変成作用. 原 都夫先生退官記念論文集, 創文, 233-240.
- Tagami, T., Lal, N., Sorkhabi, R. B., Ito, H. and Nishimura, S., 1988, Fission track dating using external detector method: A laboratory procedure. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ.*, *Ser. Geol. Min.*, **53**, 1-30.
- 田崎耕市・加々美寛雄・板谷徹丸・永尾隆志, 1993, 四国北西部の中央構造線に沿う酸性火山岩の起源と K-Ar 年代. 地質学論集, no. 42, 267-278.
- Yu, J., 1989, Dinoflagellates (in Chinese with English abstract). In Research Party of Marine Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources and Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences eds., *Cenozoic paleobiota of the continental shelf of the East China Sea*, Geological Publishing House, Beijing, 112-159.