

馬瀬川層の珪質頁岩と放散虫化石

Siliceous shale and Radiolarian fossils of the Mazegawa Formation

水谷伸治郎 (MIZUTANI Shinjiro)

〒 465-0086 名古屋市名東区代万町 2 - 21
2-21, Daiman-cho, Meito-ku, Nagoya City, Aichi, 465-0086, JAPAN

Abstract

The occurrence of Jurassic radiolarian fossils in the Hida-Kanayama area was first reported in 1979 by an undergraduate student (Mr. Masao Sakai) of Nagoya University. Sakai's report was new information on the geology of the Mino Terrane, and gave us motivation for re-study of the area from the micropaleontological standpoint.

At Hid-Kanayama, we started to detailed mapping and sampling of the Radiolaria-bearing rocks; and I asked Dr. Ken Shibata (Geological Survey of Japan) to carry out the isotope age-determination for the rocks in the Hida-Kanayama area. We reported our study results in the meeting of the Paleontological Society of Japan held at Nagoya University on Oct. 20, 1979 (Mizutani, Okamura and Shibata, 1979). We also started to re-study throughout the Mino Terrane from a new viewpoint. Surprisingly enough, staffs and graduate students found siliceous shale in many areas in the region which contains the Jurassic radiolarians ranging in age from Bathonian to Tithonian. I reported orally the result of our studies to Dr. Teiichi Kobayashi, Emeritus Professor of Tokyo University, and he strongly recommended me to publish it on the Proceeding of Japan Academy (Mizutani et al., 1981). I also described my own study result and published it on the Bulletin of the Mizunami Fossil Museum (Mizutani, 1981).

Petrographic researches of these sedimentary rocks were carried out, particularly concerning the origin of chert or siliceous materials. It seemed to me that the fundamental problem lies in the origin of silica and the process of crystallization from amorphous silica to quartz in chert or siliceous shale. I did an experimental research on transformation of amorphous silica to quartz under the hydrothermal conditions. I found that the transformation process from amorphous silica to cristobalite and then to quartz could be reasonably expressed by differential equations, when we introduced the induction period for the reactions. I have not yet done, however, any discussions on the essential meaning of this induction period.

In the present paper, I will examine many kinetic reactions in which the reactions are related with the induction period. It seems to me that amorphous silica, i.e. nano-sized particle necessitates the induction period when it is transformed to another phase.

After my own work on the Mazegawa Formation in 1981, Wakita (1987) studied the same area in detail, and found that the younger radiolarian assemblage from Tithonian to Berriasian, composed of *Pseudodictyomitra carpatica* (LOZYNIAK) and *Ditrabs sansalvadorensis* (PESSAGNO) of the "Pc assemblage" in the Mino Terrane. He extended his field work to the entire part of the Mino Terrane (Wakita, 1988a, 1988b).

He thought that his idea would be applied in other places, and carried out a research work on the tectonic evolution of South and Southeast Asia. His idea was persuasively applied to that region like the Mino Terrane in Japan (Wakita et al., 1997; Wakita and Metcalfe, 2005).

The latest volume of *Tectonophysics* (vol.568-569) was planned to publish a special issue on *mélange* with various examples from active tectonic belts in the world. Wakita (2012) also presented his paper and discussed the *mélange* formation in the Mino and the Chichibu Terranes from SW Japan. This *Tectonophysics* was published in color; all the maps and figures in each paper on the complex and complicated *mélange* provide useful information for us.

まえがき

岐阜県のほぼ中央、馬瀬川沿いの珪質頁岩から、最初にジュラ紀の放散虫化石の産出を報じたのは、Sakai (1979)であった。私は、その指導を兼ねて、何度もその産出地点を訪れた。そして、当時、地質調査所で年代研究を続けていた柴田 賢氏に、同位体年代を測定できないかと相談し、Rb-Sr アイソクロン法、ならびに、K-Ar 法による測定を試みてもらった。さらに、この地域一帯の地質調査を行い、また、馬瀬川層と仮に名付けた地層の詳しい調査を行った。そして、これらの結果を、とりあえず、日本古生物学会の例会が名古屋で開かれたとき、口頭で発表した (Mizutani, Okamura, and Shibata, 1979)。その2年後、私は、馬瀬川層、および、馬瀬川群集の本格的な記載を行った。その報告には、地質の記述、薄片の顕微鏡写真、そして、同位体年代 (Shibata and Mizutani, 1980) などあわせて記すとともに、放散虫化石の古生物学的記載をも、英語で行った。この報告は、いささか変わった形式の論文であったため、私は、糸魚川淳二先生に相談し、彼の責任編集のもとで出版されている、瑞浪市化石博物館研究報告に投稿させてもらった (水谷, 1981)。

馬瀬川といっても、それほどその名が知られている河川ではない。JR 高山線の飛騨金山が最寄りの駅である。この一帯は、いわゆる美濃帯の中央にあたる。この地域の地質とそれについての研究史の概略は、愛知学芸大学の学生、Inoue (1955) の卒論報告をはじめ、すでに詳しく書いた (水谷, 1981)。戦前から、日本列島の基盤岩類からジュラ紀の放散虫が出ることを Fujimoto (1953) は信じていたらしいが、しかし、その化石の産地の記載はあまり詳しくなく、おまけに、化石自体の保管についても、問題があって、再度、確認することはできず、何時の間にかそのことは忘れ去られていった。一方、美濃帯の犬山からアンモナイトが出たことも、知られていた。その存在をご存知であった小林貞一先生に促されて、名古屋大学博物館に秘蔵されていた標本は、その後、佐藤によって本格的に検討された。その結果、Sato (1974) はこの化石を *Choffatia* (*Subgrossouiria*) sp. とし、ジュラ紀 Bathonian 後期から Oxfordian 前期にわたるものであるとした。

私たちの研究、すなわち、岐阜県益田郡金山町奥金山 (現在の岐阜県下呂市金山町下原町) の珪質頁岩からジュラ紀の放散虫化石が見つかった事実は、研究室の多くの人達にも、大きな影響を与え、各地で、次々とジュラ紀の放散虫化石が見つかっていった (足立, 1982; 木戸, 1982; 木戸ほか, 1982; 水谷・小池, 1982; 脇田, 1982; 服部・吉村, 1982)。

中部地方のいわゆる“古生層”の分布地域にジュラ紀の地層が広範にわたって存在することを、私は、学会があって上京した際、小林貞一先生に直接、報告した。以前から、強い関心を持っておられた先生は、お宅へうかがって、私が研究結果を説明すると、ほとんど驚かれることなく、静かに私の説明を聴いておられた。そして、すぐ、学士院記要に原稿を書いて投稿するようにと、言われた。私たちの報告 (Mizutani et al., 1981) はこのようにして、出版された。

それ以前、私は、シリカ鉱物やチャートと呼ばれている岩石や堆積岩類に関心をもち、顕微鏡観察を続け、また、計画的に、試料を集めていた。大学院生になってから読んだ記載 (Kimura, 1954: pp.187-189) は、大きな刺激になった。野外における珪質頁岩やチャートの産状や分布、それらの鏡下の特徴などの研究をしながら、私は、どうも、これらの岩石や化石に関係しているシリカ (SiO₂)

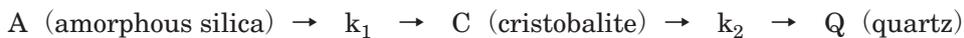
の起源や、その結晶化の過程に問題がありそうだと思います、とにかく熱水条件下で実験をする必要があると考えるようになった。

私の実験的研究とその結果に関する考察は、連続して発表された (Mizutani, 1966, 1967, 1970)。さらに、私は Harvard に滞在中、類似の研究を行い、これも論文としてまとめた (Mizutani, 1977)。この一連の研究とその成果のうち、私自身が未解決としていた問題があった。それは、変化過程における誘導期 (induction period) のことであった。今回のこの拙稿では、まず、この誘導期の問題に焦点を絞り、新しく検討を進め、考察する。

美濃帯はじめ、日本列島の各地で、ジュラ紀の放散虫化石が発見されることが知られるにいたって、各地で、この手法が大流行になり、多くの場合、その新事実に基づいて、日本列島の地史を再検討する必要に迫られるようになった。馬瀬川層とその周辺の地質についても、脇田 (1987), Wakita (1988a, 1988b) のように、再調査がなされるようになった。拙稿では、上記の 3 論文 (以下、これらを脇田の三部作、と書く) についての私なりの個人的な再検討と評価を記すことにする。

非晶質珪酸の熱水条件下での変化

すでに報告 (Mizutani, 1966) したように、非晶質珪酸は、時間がたつと、クリストバライトを経てセキエイになる。温度が高いと、変化速度は大きく、変化は速い。温度が低いと、変化速度は小さく、変化は遅い。この変化は、 $A \rightarrow C \rightarrow Q$ と書いて、その過程は多くの現象を説明できる、と私は考えた。ここで、 A 、 C および Q をそれぞれの量とし、それらの変化速度を微分方程式で表すと、次のようになる。ただし、 k_1 と k_2 は、速度定数である。



$$dA/dt = -k_1A \dots\dots\dots (1)$$

$$dC/dt = k_1A - k_2C \dots\dots\dots (2)$$

$$dQ/dt = k_2C \dots\dots\dots (3)$$

これらの微分方程式は、解けて次のようになる。すなわち、

$$A = \exp(-k_1t) \dots\dots\dots (4)$$

$$C = [k_1/(k_2 - k_1)] \{ \exp(-k_1t) - \exp(-k_2t) \} \dots\dots\dots (5)$$

$$Q = 1 - \{ [k_2/(k_2 - k_1)] \exp(-k_1t) - [k_1/(k_2 - k_1)] \exp(-k_2t) \} \dots\dots\dots (6)$$

この式のように反応が進むならば、実験においては、時間 (t) と形成されたセキエイの量 (Q) が求められるはずである。

しかし、初期条件、すなわち、 $t=0$ のとき、 $Q=0$ を入れて、計算しても、実験結果とは全く合わない。実験結果を丹念に調べると、セキエイが出来るには、見掛け上、ある準備期間が必要で、それ以降になって、初めてセキエイが晶出してくるように私には思えた。そこで、誘導期が必要であると想定して、反応は次の式 (7) ~ (10) のようになるのではないかと考えてみた。

私は、すでに、この形の連立微分方程式は、別の課題について、かなり詳細に吟味していた (Mizutani, 1963)。それを思い出しながら、別の側面からも、検討を繰り返した。一方、実験結果からは、次のように、誘導期 (τ) を考慮すべきであることが明らかになった。そこで、以下のように、考えることにした。

誘導期を超えるまでの時間 (すなわち、 $t < \tau$) では、

$$A = \exp(-k_1t) \dots\dots\dots (7)$$

$$C = 1 - \exp(-k_1t) \dots\dots\dots (8)$$

しかし、この誘導期を越すと（すなわち、 $\tau \leq t$ となると）、
その変化は、以下の式で表される。

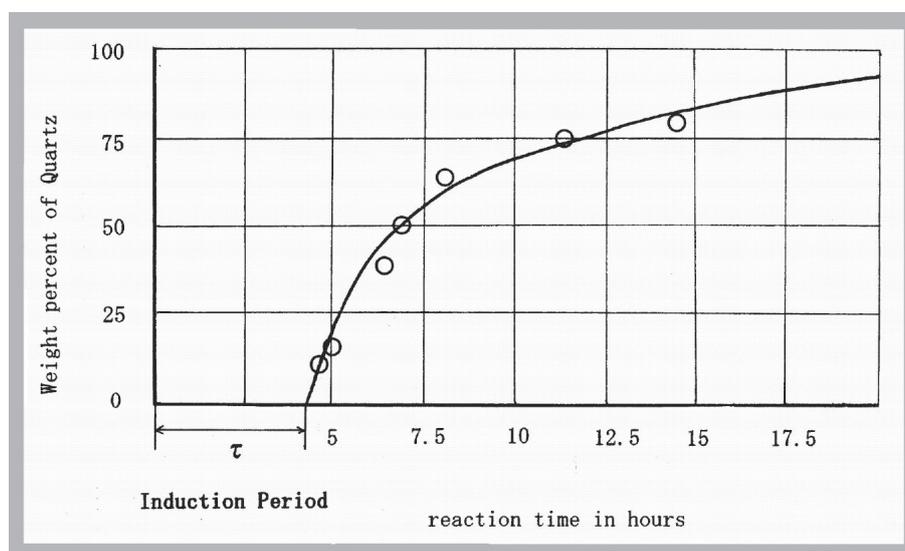
$$C = [k_1 / (k_2 - k_1)] \exp(-k_1 t) + \exp(-k_2 t) \{ \exp(k_2 \tau) - [k_2 / (k_2 - k_1)] \exp(k_2 - k_1) \tau \}$$

..... (9)

$$Q = 1 - [k_2 / (k_2 - k_1)] \exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t) \{ \exp(k_2 \tau) - [k_2 / (k_2 - k_1)] \exp(k_2 - k_1) \tau \}$$

..... (10)

これらの式を使って、実験結果の測定値、 t と Q との関係が求められる。どうしても、誘導期（ τ ）を考えないと、実験値と理論モデルとが一致しない。これは、実験結果を図示してみると明らかであった。それは下図のようになる。この図をみると、セキエイが出来るには、誘導期という期間がどうしても必要なことが明らかであろう。



図一 1 : 熱水実験, 温度 278℃における時間の経過と形成されるセキエイの量.
○印は, 実験結果の測定値, 実線は, 式 (10) で計算した理論値.
原図 (Mizutani, 1966: Fig.6, p.69) を一部修正.

実験結果の測定値（図一 1）は、反応温度 = 278℃において、反応時間の経過とともに、 $A \rightarrow C \rightarrow Q$ の変化過程で、セキエイが増加する様子を示したものである。しかし、反応時間がある長さ（誘導期：induction period, τ ）を超えないと、セキエイは形成されない。

一方、これらの結果から、私は、得られた速度常数（上に示した反応式における k_1 および k_2 ）の値から、Arrhenius Plot を試み、活性化エネルギーを求めることができた。その値は、 $C \rightarrow Q$ の場合、14.3 kcal/mole, また、 $A \rightarrow C$ の場合、17.0 kcal/mole であった。以上の結果から、私は、この実験全体について、一つのまとまった結果を得たものと考えた (Mizutani, 1966)。

私は全体をまとめるために、積極的に誘導期 (τ) を導入して、数値的に解を求めた。この仮定がなければ、全体を通して説明することは出来なかった。そのため、私は、この誘導期 (induction period) を考慮に入れて解いたという試みが、いささか気になっていた。もともと、誘導期を考慮に入れるという考えは、当時、指導していただいていた長沢敬之助先生と都築芳郎先生のお二人にうかがって、決心した結果であった。

お二人の先生がたは、粘土鉱物の研究では日本の先頭を切っておられた。少なくとも、粘土鉱物の形成や変化に関する現象では、誘導期という概念がよく使われていると聞いていた。私の判断は正直

言って、その程度の理解に立っての上であった。しかし、このことは、常に、頭の隅にひっかかっていた。それが気になっていたので、私は、その後、基本的に基礎から勉強を始めた。例えば Laidler (1987) の教科書を調べてみた。そして、そこには“induction period”という語が巻末の索引にも記されており、また、私の試みたような逐次反応の場合には、しばしば、とくに反応の初期において、この概念が使われると解説されていた。また、Transient-Phase Kinetics とした項目 (Laidler, 1987: pp.410-412) においては、かなり具体的に“induction period”が説明されている。

しかしながら、この“induction period”は、ごく最近まで、私が自分自身に課した宿題でもあった。そのようなある日、私は理学部の図書室で、最先端の文献検索システムを試していた。そして、偶然、キーワード“induction”を入れてみた。探す相手の雑誌は、「結晶」、「鉱物」、などに関係のある国際誌であった。そして、驚いた。なんと、このキーワードによって、実に多数の論文がヒットしたのである。予期しなかったこの結果に私は驚き、そこに現れた数々の論文のタイトルだけをまずゆっくり読んだ。それらの中から、数編の具体例を記しておこう。

Weinberg (1994) は結晶成長と Induction time と題して論じ、“this induction time is not uniquely determined, and is dependent on experimental conditions. Induction time for crystal growth, unlike the induction time for nucleation, becomes unbounded if defined rigorously.”と書いている。ここでは、著者は induction time という語を使った。彼が引用した Deubener et al.

(1993) の研究は、dissilicate および metasilicate glass からの nucleation ならびに crystal growth における induction time を検討していた。また、Rajesh et al. (2001) は ammonium dihydrogen orthophosphate (ADP) の結晶は低温で成長するが、そこには metastable zone の存在することが分かったという。さらに、Tsukimura et al. (2010) の研究によれば、crystallization of nanoparticles の速度論的検討結果は、結晶成長が遅いときは induction period が認められたという。興味深いことに、彼らの論文に引用されている例には、多くの粘土鉱物関係の研究結果が参考にされていた。最後に、Dimitrov et al. (2011) は細粒のゼオライトの形成を調べ、低温における結晶化とゲル化の比較を行った。私は、上述の諸研究を完全に理解したとはとても言えないが、しかし、重要なことは、nano-scale の現象が関わっているという点に共通性があることは理解できた。私の実験結果 (Mizutani, 1966) も、今になって考えてみると、出発物質は非晶質珪酸であったし、それから変わる最初の物質は、サイズを考えれば、おそらく、微細な粒子 (nano-particle) であったであろう。

つまり、非晶質珪酸の熱水条件下の変化は、昨今、議論されている nucleation, crystal growth, nano-particle などに関係があると思われる。いずれも、induction period に深い関係をもつとみなされる。

シリカ鉱物については、水谷 (1976) にも、紹介しておいたように、その時点で silica-K, silica-X, melanophlogite, silhydrite, などのいわば同質異像の物質があった。しかし、興味深いことに、これらの物質が何度も繰り返し自然界や室内実験で、存在が確認された例は極めて少ない。Jones and Segnit (1971,1972) はいわゆるオパールを詳しく識別して、opal-A, opal-CT, opal-C と呼んだ。それらの間には、漸移関係があり、相互に連続的に変化していくように考えられている。同じように、ごく一部で存在が認められたシリカ鉱物も、実際に、独立に何度も、確認されることは少なく、ごく限られた条件でのみ、再現できるように思われる。少なくとも、Heydemann (1964) が実験的に作りあげ、それに silica-X と名づけた物質については、これまで、誰かがどこかで、再確認した報告は、私の知る限りない。さらに、その後、Flörke et al. (1984) によって、Canary 諸島 (スペイン領) の ignimbrite から moganite が報告された。Heaney and Post (1992) の再検討の結果を

みても、シリカ鉱物は、わずかな相互類似性と相違点をもった混合体のように思われる。その後の Bustillo (2001) の検討によると、スペインの内陸盆地にある Miocene の地層にある gypsum を含む地層中の moganite はいわゆる magadi-type の chert (水谷, 1976 参照) に変わってゆく。このようなシリカ鉱物の“疑似類似性”の本質的な意味については、まだ、何も語られていない。

Heydemann (1964) の silica-X と同じように、Stein の melanophlogite (歌田・水谷, 1979) も同じような意味で、再現性の少ないシリカ鉱物と考えられる。すでに述べたように、Heydemann (1964) と Mizutani (1966) はシリカ鉱物の熱水条件下での変化は、大きくその反応温度に依存することを明らかにした。その後、Mizutani (1977) はこの温度依存性を詳しく検討して、シリカ鉱物の変化は、それが経てきた熱史に依存することを論じた。すなわち、シリカ鉱物の産出は、それが受けた熱史にしたがって変わる。それは、天然においても、実験においても、同様であり、同じ熱史を経れば、同一のシリカ鉱物が形成される、と考えられる。シリカ鉱物の形成には、再現性がないということは、まったく同じ熱史を受ける可能性が少ないことを示しているからであろう。

美濃帯の各地における新しい見解

1992年夏、International Geological Congress (IGC) が日本において開催された。その時、国内各地の巡検旅行が計画され、その Field Trip Guide Book が準備された。その Vol.1 “Paleozoic and Mesozoic Terranes: Basement of the Japanese Island Arcs” の中で、日本列島の中央部の地質と MinoTerrane の見学旅行についても、詳しく説明されている。すなわち、Adachi et al. (1992) の “Transect of Central Japan: from Hida to Shimanto” である。計画では、DAY 3. Stop 3-1. として、“Melange of late Jurassic-early Cretaceous Kanayama unit, Mino terrane” と題し、馬瀬川層付近で見られる mélange を見学することになっていた。Adachi et al. (1992: Fig.23, p.158) においては、“Kanayama unit” としてその biostratigraphical および lithostratigraphical の特徴が示されている。その解説の中では、Mizutani (1981)、ならびに、その後、この地域を再調査した Wakita (1988a) と Wakita (1988b) の研究が参考にされている。Mino terrane の概要 (Adachi et al., 1992: p.146 ff.) は、簡潔にまとめられていて、理解しやすい。すなわち、そこには five units が識別され、そのうち、(5) Kanayama unit は late Jurassic – early Cretaceous mélange からなる。

すでに報告された馬瀬川層の放散虫化石種は、水谷 (1981) が英文で記載し、図版に掲載した。私は、Baumgartner (1980), Dumitrica (1970), Fischli (1916), Foreman (1973), Haeckel (1881), Moore (1973), および, Pessagno (1971, 1973) などの論文を参考にした。当時、記載した属種のうち、その後の研究によって、特徴的な形態が認識されて、その存在が認められたものもある。例えば、*Parvicingula mashitaensis* MIZUTANI は外形全体の鋭い頭部が明確な特徴として区別できるので、新種として認められている (Baumgartner et al., 1995: p.410.)。同じように、*Xitus gifuensis* MIZUTANI もずんぐりした外形にもかかわらず、強固な外壁構造を有していて、残りやすいし、また、同定も容易にできるので、新種として、認められた (Baumgartner et al., 1995: p.640.)。いわゆる Tethys 地域の放散虫をまとめた彼ら (Baumgartner et al., 1995: p.37 ff.) は、検討した全種に Mesozoic Radiolarian Database Number (MRD - no.) を付して整理した。私が馬瀬川から報告した *Parvicingula mashitaensis* は MRD-3245 (pp.410-411)、一方、*Xitua gifuensis* は MRD-3294 (p.638) とされた。しかし、鑑定基準に解釈の差があつて、*Archaeodictyomitra minoensis* (MIZUTANI) のように、新種として認められたが、その帰属を訂正されたものもある (Baumgartner et al. 1995: p.104)。これは、MRD-3305 と番号化されている。これらの例で分かるように、ジュラ紀中期から白亜紀前期にいたるい

わゆる Tethys 地域の放散虫化石のリストには、私の記載ばかりではなく、私の研究室の人達が報告した数々の化石も再録されている。そして、私たちは、古くからその存在が語られてきた Tethys 地域という古生物地理区をあらためて再認識したのであった。

それに対して、太平洋を隔てた北米やカナダの地域において、類似の属種が産出することから、われわれは、広域にわたる汎世界的な浮遊性微化石としての放散虫化石の特徴を知った。地理的な広がりから比べると、われわれがその後、訪中して調べた中国黒龍江省の那丹哈達 (Nadanhada) 地域と日本海を挟んだ美濃帯 (あるいは、美濃・足尾帯) との相対的な位置関係など (Mizutani et al. 1986) は、むしろ、距離的にはごく近縁と考えられる距離である (Mizutani, 1987)。那丹哈達地域と美濃帯の間で、類似性が認められるのはごく当然であり、距離的な問題はほとんどない。

ここで、以下述べる問題の主題である *mélange* に関して、これまでに公表された重要な論文集を掲げておこう。まず、古典的な考えの例として、Kay (1951) がある。この本が出版された頃、我々は、まだ、北米大陸の地質についてごくわずかのことしか知らなかったにもかかわらず、この本によって、さまざまな *geosyncline* があることを学んだ。一方、新しく登場したプレート・テクトニクスの考えは、古地磁気の研究、Vine and Mathews (1963) に始まるとされているので、この研究が出たとき、1963 年も記憶しておこう。さらに、世界の学界が、古典的な考えと新しい考えとの曲り角に在った頃、1972 年 11 月、ウィスコンシン州の Madison で、一つの会議が開かれた。この時の講演は、まとめて SEPM (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists) の特集号として出ているので、SEPM 特集号と略記することにする (Dott and Shaver, eds., 1974)。そして、最新の印刷物、Tectonophysics の特集号 (2012) も忘れてはならない。何故ならば、そこに Wakita (2012) も彼の熟成した考えを投稿しているからである。以上を参考にしながら、まず、美濃帯の研究から紹介しておこう。

私が、*chronostratigraphy* と *biostratigraphy* との問題を考えていた頃、類似のことを考え、そして、放散虫化石の研究に打ち込んでいった人が居た。ヨーロッパの Baumgartner である。彼の思い出話によると、彼の研究は、ギリシャの Diabase-Chert Formation と呼ばれている地層から、*volcanic sanidine* を拾い出しその年代を測定するという目的をもって開始されたという (Baumgartner et al., 1995: p.1, ff.)。彼の指導教授、Basel 大の Daniel Bernoulli は長い間、ギリシャの Pelagonian zone の地質を研究していて、すでにそこには放散虫化石を含む地層が発達していることも知っていた (Bernoulli and Jenkyns, 1974)。

Baumgartner and Bernoulli (1976) は、その頃、すでに公開されていた Dumitrica (1970), Foreman (1973), Moore (1973), Pessagno (1971, 1973), Pessagno and Newport (1972), Riedel and Sanfilippo (1974) などを参考にして、California Coast Range の時代を Jurassic – Lower Cretaceous とする考えに基づいて、放散虫化石群集によって地質年代を決められることを知った。その結果がかなり信頼できることを確認して、Baumgartner らは、すぐに作業グループを組織した。彼らは、本格的な大計画を立てて、研究活動を開始し、1995 年、その成果として、1176 ページにもなる大著を編集・刊行したのであった (Baumgartner et al., 1995)。この労作は、対比や引用には実に便利にできているので、すでに上記に引用したが、今後の放散虫化石の検討に際しても、これを参照する。

脇田 (1987) は、まず、馬瀬川層の北西約 100m のところで、新しい放散虫化石群集を見出した。それを特徴づける種は、*Pseudodictyomitra carpatica* (LOZYNYIAK) と *Eucyrtidiellum pyramis* AITA & OKADA であった。さらに、Aita and Okada (1986) によって併記された種は、それらに

加えて、*Ditrabs sansalvadorensis* (PESSAGNO) であった（ここで、Aita [相田]の共同研究者の Okada [岡田]は、nannofossils で著名な岡田尚武氏である）。脇田（1987）の記載には、そのほか *Pseudodictyomitra lepticonia* (FOREMAN), *Xitus gifuensis* MIZUTANI, *Willriedelum cf. crystallinum* DUMITRICA などの共存種が含まれている。それららを考慮すれば、脇田（1987）および Wakita（1988a）のこの群集、すなわち、彼のいう Pc 帯の時代が Tithonian 後期から Cretaceous にかかる時代という推論は是認できる。

この Pc 帯とその下位にある PP 帯 (late Oxf. to late Kimm. early Tith.) との関係は、Wakita（1988a, 1988b）が Kanayama mélange と名付けた地質体の成因を考えるときに重要になるが、その関係は、野外調査と露頭の観察によってのみ、判断できる。私は、これらの記載を追って、岩石試料の産地、その地図上での位置、試料番号、その試料から分離された放散虫化石、他の属種との共存関係、群集の区分、それを含む岩相層序学的特徴、など等をつぶさに検討し、彼の時代同定の論理的根拠を追認した。脇田三部作は、Mino Terrane のほとんど全域にわたって、検討され、比較され、そしてまとめられた力作である。私が、ここで検討した対象地域は、馬瀬川層の分布地周辺の限られた地域であった。しかし、それでも、露頭では複雑で無秩序な形態を示すいわゆる mélange の岩体であり、そこに乱雑に混じっている含放散虫化石の岩石試料を多数採取し、さらにその中に含まれている微化石を分離観察した結果と蓄積を確認しなければならず、細かな注意を要する面倒な作業であった。脇田三部作は、Mino Terrane のほとんどにわたってそのデータを集積し、整理してまとめたものである。脇田は、その当時、威力を発揮しはじめ放散虫生層序学を尺度に用いて、この地域の地質と地史を総括したのであった。その基礎データは、想像するに、莫大な量であったであろう。

水谷・小井土（1992）が概説したように、この地域全体の研究史には、かなりの蓄積がすでにある。各地に点在するほとんどの石灰岩には紡錘虫が含まれており、その時代は古生代であると考えられてきた。その後、チャートの中からコノドントが見いだされるようになり、また、平行して、放散虫も確認されて、チャートの多くは、三畳紀のものであると確認されてきた。これらに続く碎屑性堆積物、とくに、細粒の珪質頁岩には、普遍的に放散虫化石があり、それらがかなり保存良く含まれていて、その群集解析に役立つことがわかってきた。脇田三部作は、以上の成果に基づいて、この地域の地史をまとめたものである。まず、地質時代がわかるとなると、生層序学的な視点から mélange 形成以前の、いわゆる復元層序を組み立てることが出来る。Wakita（1988b）は、それら復元層序を基礎にして、mélange に問題を絞って、美濃帯の形成史を論じた。すでに、Okamura（1991）は美濃帯の地質の複雑さを subduction process で説明を試みていたが、脇田三部作は、さらに広域にわたり、三畳紀からジュラ紀、そして、白亜紀の一部にかけて、やはり subduction process に関係した mélange complex の形成史を論じたのであった。彼は、mélange complex をあまり含んでいない他の Unit（例えば、Kamiaso Unit）と Kanayama Unit とは指交関係にあると考え、さらに現在、近海の海底で観察されている mélange の分布とその周辺の形状を参考にして、“Wedge-collapse model for the formation of sedimentary mélange (olistostrome)” を考えた (Wakita, 1988b: Fig.25, p.731)。そして、そのメカニズムに関しては、diapirism（厳密には、mud-diapirism）と推論した。美濃帯の地質を論ずるには、彼が記しているように、Sakamoto-toge Unit, Funafuseyama Unit から Nabi & Kamiaso Units と Kanayama Unit の相互関係を考えなければならない。それには、野外調査と露頭の観察が不可欠である。脇田はそれを美濃帯全域にわたって、行った。

一方、mélange 形成の過程を一般化して、Wakita（1988b）はそれを Fig.27 にまとめて示した。巨視的にみると、accretionary wedge の海側に、その下に沈み込む Oceanic Plate に影響をうけて、

見かけ上、複雑な *mélange complex* が形成されたと結論している。

我が国の内帯・外帯の古い地層群には、複雑な様相を呈し、おそらく、堆積性であろうとされる構造が普遍的に分布していることは分かっていた。そして、私たちは、アメリカ大陸の西端には、Franciscan Complex が広く分布していることも知っていた。私は、それらの複雑な碎屑性堆積物について、それらが水を含むことにより著しく物性が変わることを、未固結堆積物の変形と *hydroplasticity* の見地から論じたことがあった（水谷，1962）。私は、すでに、堆積岩の研究について、論文を2編、書いていたが、変形構造について、考察をしたのは、これが初めてであった。この時の引用文献には、堆積地質学や構造地質学の教科書に加えて、土質力学の教科書も挙げられている。しかし、その時に読んだ British Rheologists' Club (1942) の報告は、私にとって、最も、印象に残る重要なものであった。その後、私は、1976年5月の末、AAPG (American Association of Petroleum Geologists) の年会在ルイジアナ州 New Orleans で開かれた際、field trip の一つに参加して、ミシシッピ・デルタの先端で、大規模な *mud-diapir* が起きているのを見た。“mud-volcano” と誰かが言った英語が印象に残っている。

以降、この変形堆積構造が「メランジュ」と呼ばれ、微化石によって生層序学的に検討され、美濃帯のほとんど全域にわたり、解明されるなどとは、夢にも考えていなかった。私は、昔のことを思い出しながら、脇田の力作を静かに、しかし、満足感を覚えながら、読んだ。彼は、その後、美濃帯での経験を活かして、東南アジアの白亜紀前後の地史とテクトニクスの解明に取り組んでいる (Wakita et al., 1997; Wakita and Metcalfe, 2005)。

昨今、我々がメランジュと呼んでいるこの複雑で多様性のある地質体は突然、地表に現れたものではない。古くから、世界各地で、さまざまな時代に形成されていることはわかっていた。しかし、それについて詳細な議論は、なされてこなかった。古くは、いわゆる地向斜論が優先して論じられた。Kay (1951) は戦後、とくに、アメリカから導入された本であったから、広く読まれた。その後、大きな変革が起きて、地質学にプレート・テクトニクスの考えが受け入れられるようになった。1972年11月 Wisconsin 州 Madison で、それ以前の古典的な考え、すなわち、地向斜と言う概念は、果たしていかなる事実・いかなる事例にもとづいて、考えられたかという討論会が開かれ、その時に集まった講演集は、まとめて記念号として出版された (Dott and Shaver, eds., 1974)。

それに先立って、1963年、すでに、プレート・テクトニクス説の登場ともいえる論文 (Vine and Mathews, 1963) は地球物理学者の間で読まれていた。地向斜に関する研究集会 (Symposium dedicated to Marshall Kay と献辞されている) の記念号は、SEPM 特集号として、編集出版された (Dott and Shaver, eds., 1974)。その特集号で、Kay (1974) は、自分が寄稿した論文の題名を “Geosyncline, Flysch, and melange” とした。また、Hsü (1974) はまともに、メランジュに取り組んで議論を展開した。Blake and Jones (1974) は、いち早く、subduction model の実例となってゆくカリフォルニアの Franciscan complex と Great Valley Sequence の関係について、彼らの考えを述べている。また、この時点で Helwig (1974) は変動帯の構成に collage の概念を提唱している。

2012年、この原稿を書いている時、オランダの Elsevier から出ているテクトニクスについての国際誌、Tectonophysics の特集号が編集・出版された (Prof. Dilek, Y. of Miami Univ., USA, Prof. Festa, A. of Torino Univ., Italy, Prof. Ogawa, Y., Japan, Prof. Pini, G..A. of Univ. Bologna, Italy., eds., 2012; 彼らは、Guest Editors とされている)。その劈頭、彼らは、次のように題して、この特集の狙いを記している (Dilek et al., 2012)。

すなわち，“Chaos and geodynamics: melanges, *mélange*-forming processes and their signifi-

cances in the geological record”である。集められた論文は、多種・多岐にわたり、名のごとく、課題の複雑性・無秩序性を表している。Guest Editors は、それらを、とりあえず、次のように、Part I ~ Part VI の 6 部に分けている。

Part I: New classification of mélanges and broken formations.

Part II: Shimanto and Accretionary Complex, SW Japan.

Part III: Melanges with high pressure overprint.

Part IV: Sedimentary and diapiric processes in mélanges formation.

Part V: Olistostromal mélanges.

Part VI: Ophiolitic mélanges.

この中に、独立して、日本の例は Part II にまとめられていて、Wakita (2012) も、彼の三部作を中心に、外帯の秩父帯の例を加えて、プレート収束域でのメランジュ成因について、彼の考えを紹介している。

Wakita (2012) は、early mixing 期 (decollement, slumping, mud diaper, underplating が起こった段階) で形成されたもの、次いで tectonic stacking ともいえる時期 (offscraping が起こった段階)、さらに、その後に起こった slab fragmentation, multiple mixing and deformation, そして、最後の時期 (おそらく地質体を大きく移動させたであろう out of sequence thrust の形成期) を区別して、メランジュ形成論を展開した。

おそらく編者らの強い意向であろうが、この mélanges 特集号は、カラーで印刷されており、一見して理解が困難な地質体の分布や形状がわかりやすく示されている。

図-2 に示したように、SEPM 特集号 (1974) と *Tectonophysics* の mélanges 特集号 (2012) の間には、40 年近い年月が経過している。この間、脇田の三部作が、すでに、1988 年に出版されているのを考えると、我が国独自の事例に基づいて、このような詳細で具体的な研究がすすめられ、公表されていたことは、注目すべきことであろう。私は、その成果に対して、一種の誇りを感じる。中でも、彼の結論とも言うべき、メランジュ形成過程の解説図 (図-3) は、当時の作品としては、特筆すべき見解といわねばならない。

この *Tectonophysics* 特集号の構成と内容を眺め、しかも、世界中から報じられているその事例を読んでみると、mélanges が global tectonics と強く、深く、関わりあっていることがわかる。複雑で多様な形態と構成をもった mélanges については、今後もまた異なった視点から、考究され、追求され

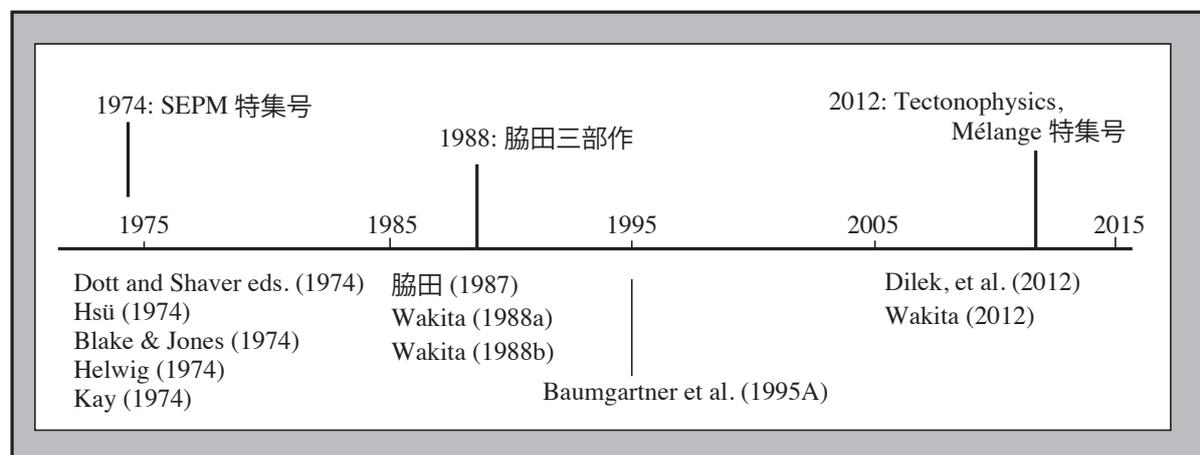


図-2 : メランジュに関する出版物などの研究史 (1974-2012).

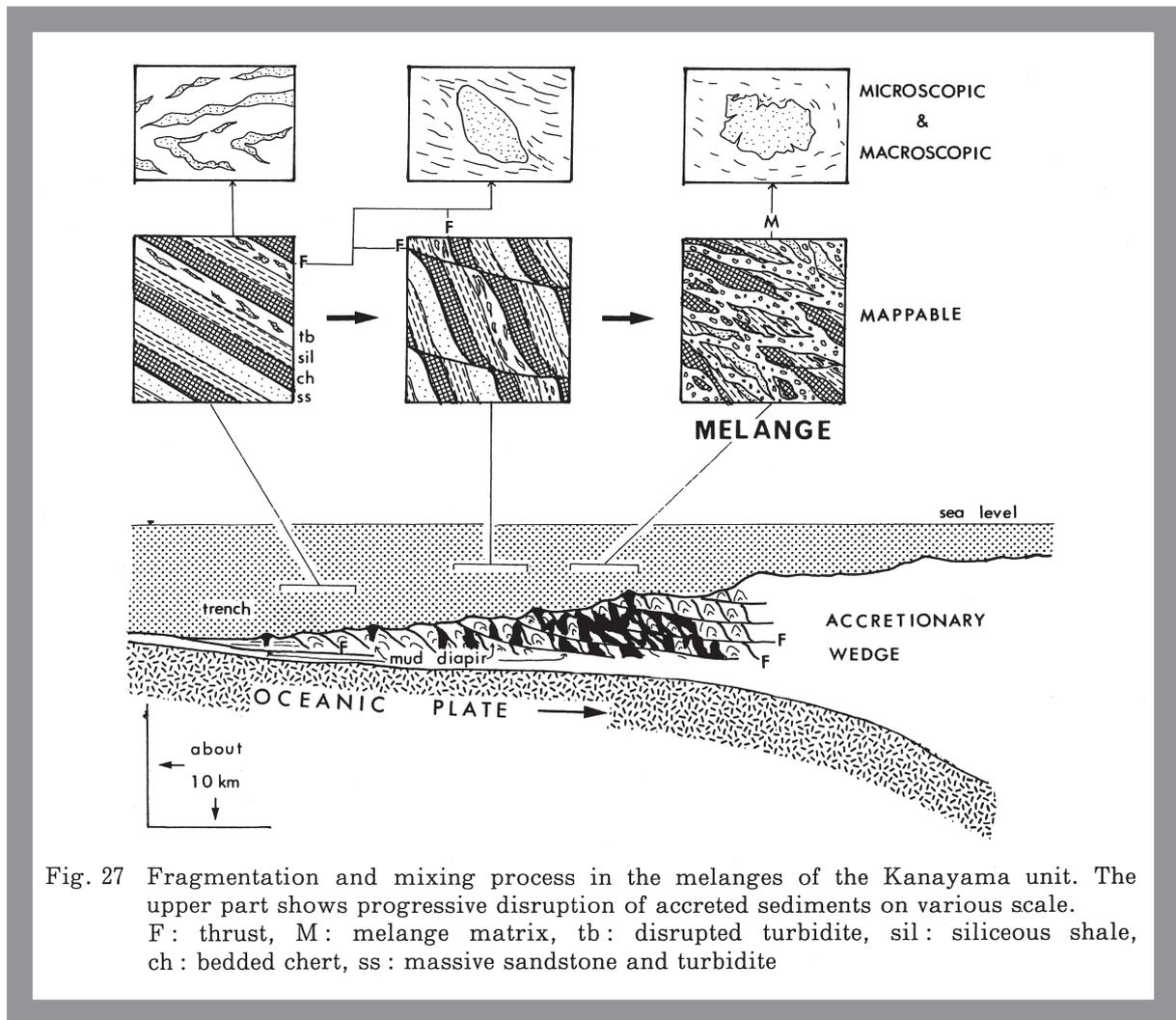


Fig. 27 Fragmentation and mixing process in the melanges of the Kanayama unit. The upper part shows progressive disruption of accreted sediments on various scale. F: thrust, M: melange matrix, tb: disrupted turbidite, sil: siliceous shale, ch: bedded chert, ss: massive sandstone and turbidite

図-3： 美濃帯におけるメランジュの形成条件とテクトニクス環境。
この図は、Wakita (1988b: Fig.27, p.734) を複写したもの、(承認番号 第 60635130-A-20121031-001 号)。

てゆくであろうが、私は、プレート収束帯の日本列島で、世界に先んじて、具体的な実例をすでに1988年の時点で提示した脇田の三部作を最後にもう一度、高く評価して、この拙論の筆を擱く。

〈注記〉この拙論の最後の図-3は、原図はWakita (1988b) の Fig.27 からそのままを複写して、再録したものである。原著者の脇田浩二氏 (現：山口大学)、ならびに、産業技術総合研究所理事長野間口 有氏の両氏には、私からの『著作物使用承認申請』に際して、快く再録許可をいただき、厚く御礼申しあげる。

あとがき

すでに書いたように、私たちが、名古屋大学において、開始した放散虫化石の研究は、この微化石を手がかりにして、日本列島の地史をひもとくという大きな目的があったが、それをデータベースとして構築する仕事も含めて、実施するとなると、とても一人や二人では、できない仕事であった。そこで、私以外に、日本福祉大学の磯貝芳徳先生、永井ひろ美氏、そして、現在は岐阜大学の小嶋 智氏、の連名で、共同研究の形で始めたのであった。この拙稿も4人の連名で書くのが正しいのであ

うが、書き出してみると、私がこの化石とそれを含む岩石、あるいは、化石をつくる物質などに関して、自分の考えを、ついでに書きたくなった。そのため、申し訳ないが、責任を持つ意味で、私の単名で、拙稿を書き上げた。

最終稿の完成までには、磯貝芳徳、永井ひろ美、小嶋 智の各氏には、拙稿の概要を読んでいただいた。心から厚く、御礼を申し上げる。同時に、美濃帯の地質全般についてまとめた脇田三部作を解説したが、彼の作品に関しては、脇田浩二氏に助言をいただいた点は多かった。脇田氏の研究については、彼と共に、29th IGC の Guidebook を編纂した足立 守氏にも、この原稿を読んでいただき、多くの有益な注意を受けた。その好意に対し、深く感謝するものである。

実験的研究やチャートの成因については、福井大学名誉教授の服部 勇氏に有益な討論をいただいた。彼は福井県の南条山地の例を中心に、チャートに関して、一冊の本を出版しておられる(服部, 2008)。私は、その本を通して、多くのことを教わった。

これらの方がたの助力なくして、この原稿は、完成しなかったであろう。私が名古屋大学を退官した後、長い間、名古屋大学博物館で仕事を続けられたことは私にとって、最高に有難いことであった。前博物館長：名古屋大学特任教授足立 守氏と現在の博物館長：名古屋大学教授吉田英一氏の両氏には、お二人のご好意に対して、深甚の謝意を表すものである。加えて、博物館の職員諸氏にもいろいろお世話になった。私は、自分のこの恵まれた環境にいまでも深く感謝している。とくに、健康を害してからは、博物館関係者の皆様に勇気づけられ、暖かい声援をいただいた。それらの言葉の数々を、今、思い出しながら、心は感謝に満ちている。

最後に、この研究のために、いただいた科学研究費も少なからざる援助であった。文部省、文部科学省、学術振興会などの各機関の関係者にも、敬意を表し、謝意とす。

引用文献

- 足立 守 (1982) 美濃帯の *Mirifusus baileyi* 群集についての一考察, 大阪微化石研究会誌, 特別号, No.5, 211-225.
- Adachi, M., Kojima, S., Wakita, K., Suzuki, K. and Tanaka, T. (1992) Transect of Central Japan: From Hida to Shimanto. 29th IGC FIELD TRIP C19, 143-178.
- Aita, Y. and Okada, Hisatake (1986) Radiolarians and calcareous nannofossils from the uppermost Jurassic and lower Cretaceous strata of Japan and Tethyan regions. *Micropaleontology*, **32**, 97-128.
- Baumgartner, P.O. (1980) Late Jurassic Hagiastriidae and Patulibracchiidae (Radiolaria) from the Algoris Peninsula. *Micropaleontology*, **26**, 274-322.
- Baumgartner, P.O., O'Dogherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pillecuit, A. and DeWever, P. (eds.) (1995) Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology. *Memoires de Geologie (Lausanne), Sect. Sci. Terre*, Univ. Lausanne, No.23, 1172pp.
- Baumgartner, P.O. and Bernoulli, D. (1976) Stratigraphy and Radiolarian Fauna in a Late Jurassic – Early Cretaceous Section near Achladi (Evvoia, Eastern Greece). *Eclogae geol. Helv.*, **69**, 601-626.
- Bernoulli, D. and Jenkyns, H.C. (1974) Alpine, Mediterranean, and central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys. In Dott, R.H., Jr. and Shaver, R.H. (eds.) *SEPM. Sp. Publ.*, No.19, 129-160.
- Blake, M.P., Jr. and Jones, D.L. (1974) Origin of Franciscan mélanges in Northern California. In Dott, R.H., Jr. and Shaver, R.H. (eds.) *SEPM Spec. Publ.*, No.19, pp.345-357.
- British Rheologists' Club (1942) Classification of rheological properties. *Nature*, **149**, 702.
- Bustillo, M.A. (2001) Cherts with moganite in continental Mg-clay deposits: an example of "false" magadite-type cherts, Madrid Basin, Spain. *Jour. Sediment. Research*, **71**, 436-443.
- Deubener, J., Brückner, R. and Sterrnitzke, M. (1993) Induction time analysis of nucleation and crystal

- growth in di- and metasilicate glasses. *Jour. Non-Crystalline Solids*, **163**, 1-12.
- Dilek, Y., Festa, A., Ogawa, Y., and Pini, G.A. (2012) Chaos and geodynamics: melanges, mélange-forming process and their significance in the geological record. *Tectonophysics*, **568-569**, 1-6.
- Dimitrov, L., Valtchev, V., Nihtianova, D. and Kalvachev, Y. (2011) Submicrometer zeolite A crystals formation: low-temperature crystallization versus vapor phase gel transformation. *Crystal Growth & Design*, **11**, 4958-4962.
- Dott, R.H., Jr. and Shaver, R.H. (eds.) (1974) *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Sp. Publication, No.19, 380p.
- Dumitrica, P. (1970) Cryptocephalic and Cryptothoracic Nassellaria in some Mesozoic deposits of Romania. *Rev. roumaine Geol. Geophys. Geogr. Ser. Geol.* **14**, 45-124.
- Fischli, H. (1916) Beitrag zur Kenntniss der fossilen Radiolarien in der Riginagelflueh. *Mitt. Naturwiss. Gesel. Winterhur.* **11**, 44-47.
- Flörke, O.W., Flörke, U. and Giese, U. (1984) Moganit A new microcrystalline silica-mineral. *Neues Jahrbuch Mineral. Abh.*, **149**, 325-336.
- Foreman, H.P. (1973) Radiolaria from DSDP Leg 20. In Heezen, B.C., MacGregor, I.D., et al. (eds.), *Init. Rept. Deep Sea Drilling Project*, **20**, 249-305. Washington D.C., U.S.Govt. Print. Office.
- Fujimoto, H. (1953) The geological age of the Nagatoro system. Proc. 7th Pacific Science Con., Pacific Sci. Ass., held at Auckland and Christchurch, New Zealand, 2nd Feb. to 4th March, 1949, II, Geology, 272-274.
- Haeckel, E. (1881) Entwurf eines Radiolarien-Systems auf Grund von Studien der Challenger – Radiolarien. *Jena. Z. Naturwiss.*, **15**, 418-472.
- 服部 勇 (2008) チャート・珪質堆積物—その堆積作用と続成過程—, 近未来社, 272p.
- 服部 勇・吉村美由紀 (1982) 福井県南条山地における主要岩相分布と放散虫化石, 大阪微化石研究会誌, 特別号, 5号, 103-116.
- Heaney, P.J. and Post, J.E. (1992) The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varieties. *Science*, **255**, 441-443.
- Helwig, J. (1974) Eugeosynclinal basement and a collage concept of orogenic belts. In Dott, R.H.Jr. and Shavaer, R.H. (eds.) *SEPM. Sp. Publ.*, No.19, 359-376.
- Heydemann, A. (1964) Untersuchungen über die Bildungsbedingungen von Quarz im Temperaturebereich zwischen 100°C und 250°C. *Beitr. Minerlaog. Petrogr.*, **10**, 242-259.
- Hsü, K.J. (1974) Melanges and their distinction from olistostromes. In Dot, R.H.Jr. and Shaver, R.H. (eds.) *SEPM. Spec. Publ.*, No.19, .321-333.
- Inoue, S. (1955) Geological structure of the Unuma and adjacent districts. B.Sc. Dissertation Report, Dept. Geol., Aichi-Gakugei Univ. (愛知学芸大学地学教室卒論), 23p.
- Jones, J.B. and Segnit, E.R. (1971) The nature of opal. I. Nomenclature and origin of constituent phases. *Jour. Geol. Soc. Australia*, **18**, 57-68.
- Jones, J.B. and Segnit, E.R. (1972) Genesis of cristobalite and tridymite at low temperatures. *Jour. Geol. Soc. Australia*, **18**, 419-422.
- Kay, M. (1951) *North American Geosyncline*. Geol. Soc. America, Memoir 48, 143pp.
- Kay, M. (1974) Geosynclines, flysch, and mélanges. In Dot, R.H.Jr. and Shaver, R.H. (eds.) *SEPM. Spec. Publ.*, No.19, 377-380.
- 木戸 聡 (1982) 岐阜県七宗町上麻生における三畳紀チャートとジュラ紀珪質頁岩の産状について, 大阪微化石研究会誌, 特別号, No.5, 135-151.
- 木戸 聡・川口一郎・足立 守・水谷伸治郎 (1982) 美濃地域の *Dictyomitrella* (?) *kamoensis* – *Pantanellium foveatum* 群集について, 大阪微化石研究会誌, 特別号, No.5, 195-210.
- Kimura, T. (1954) The discovery of a low angle thrust along the Mikabu line in eastern Kii peninsula, Western Japan: description of areal geology and sedimentary rocks. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **12**, 173-190.
- Laidler, K.J. (1987) *Chemical Kinetics*, Third Edition. Harper Intern. Edition, 531p.

- 水谷伸治郎 (1962) 堆積岩の変形, 名古屋地学, No.17, 2-5.
- Mizutani, S. (1963) A theoretical and experimental consideration on the accuracy of sieving analysis. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **11**, 1-27.
- Mizutani, S. (1966) Transformation of silica under hydrothermal conditions. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **14**, 56-88.
- Mizutani, S. (1967) Kinetic aspects of diagenesis of silica in sediments. *Jour. Earth Sci. Nagoya Univ.*, **15**, 99-111.
- Mizutani, S. (1970) Silica minerals in the early stage of diagenesis. *Sedimentology*, **15**, 419-436
- 水谷伸治郎 (1976) ケイ酸鉱物とケイ質堆積物, 科学, **46**, 420-428.
- Mizutani, S. (1977) Progressive ordering of cristobalitic silica in the early stage of diagenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **61**, 129-140.
- 水谷伸治郎 (1981) 飛騨金山のジュラ紀層について, 瑞浪市化石博物館研究報告, No.8, 147-190. Mizutani, S. with Appendix in English: the paleontological description of Radiolaria (pp.170-190, 55-64 pls.)
- Mizutani, S. (1987) Mesozoic terranes in the Japanese Islands and neighboring East Asia. In Leitch, E.C. and Scheibner, W. (eds.), *Terrane Accretion and Orogenic Belts*. Geodynamic Series, No.19, American Geophysical Union, 263-273.
- Mizutani, S., Hattori, I., Adachi, M., Wakita, K., Okamura, Y., Kido, S., Kawaguchi, I., and Kojima, S. (1981) Jurassic formations in the Mino Area, Central Japan. *Proc. Japan Acad.*, **57** (B6), 194-199.
- 水谷伸治郎・小池敏夫 (1982) 岐阜県各務原市鷺沼, 木曾川河畔のジュラ紀珪質頁岩と三畳紀チャート中の放射虫, 大阪微化石研究会誌, 特別号, 5号, 117-134.
- 水谷伸治郎・小井土由光 (1992) 金山地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅) 地質調査所, 111p.
- Mizutani, S., Kojima, S., Shao, J.A., and Zhang, Q.L. (1986) Mesozoic Radiolarians from the Nadanhada Area, Northeast China. *Proc. Japan Acad.*, **62** (B9), 337-340.
- Mizutani, S., Okamura, Y. and Shibata, K. (1979) Mesozoic Radiolaria from the Hida-Kanayama area, central Japan. 日本古生物学会, 第124例会, 10月20日午後, 於名古屋大学 (講演)
- Moore, T.C., Jr. (1973) Radiolaria from Leg 17 of the Deep Sea Drilling Project. In Winterer, E.L. and Ewing, J. et al. (eds.), *Init. Rept. Deep Sea Drilling Project*, **17**, 797-869, Washington D.C., U.S. Govt. Print. Office.
- Okamura, Y. (1991) Large-scale mélange formation due to seamount subduction: an example from the Mesozoic accretionary complex in central Japan. *Jour. Geol.*, **99**, 661-674.
- Pessagno, E.A., Jr. (1971) Jurassic and Cretaceous Hagiastriidae from the Blake-Bahama basin (Site 5A, JOIDES Leg 1) and The Great Valley Sequence, California Coast Ranges, *Bull. Amer. Paleontology*, **60**, 1-83.
- Pessagno, E.A., Jr. (1973) Upper Cretaceous Spumellariina from the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. *Bull. Amer. Paleontology*, **63**, 49-102.
- Pessagno, E.A., Jr. and Newport, R.L. (1972) A technique for extracting Radiolaria from radiolarian cherts. *Micropaleontology*, **18**, 231-234.
- Rajesh, N.P., Lakshmana Perumal, C.K., Santhana Raghavan, P., Ramasamy, P. (2001) Effect of Urea on metastable zone width, induction time and nucleation parameters of ammonium dihydrogen orthophosphate. *Cryst. Res. Technol.* **36**, 55-63.
- Riedel, W.R. and Sanfilippo, A. (1974) Radiolaria from the southern Indian Ocean DSDP leg 26. In Davies, T.A. et al. (eds.) *Initial Rept. Deep Sea Drilling Project*, **26**, 771-813. Washington D.C., U.S. Govt. Printing Office.
- Sakai, M. (1979) Geology of the northwestern part of Kanayama-cho, Mashita-gun, Gifu Prefecture. B.Sci. Dissertation Report, Dept. Earth Sci., Nagoya University (名古屋大学理学部地球科学科, 卒業論文) T.267, 36p.
- Sato, T. (1974) A Jurassic ammonite from near Inuyama, north of Nagoya. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S. No.96, 427-432.
- Shibata, K. and Mizutani, S. (1980) Isotopic ages of siliceous shale from Hida-Kanayama, central Japan.

- Geoch. Jour.*, **14**, 235-241.
- Tsukimura, K., Suzuki, M., Suzuki, Y. and Murakami, T. (2010) Kinetic theory of crystallization of nanoparticles. *Crystal Growth & Design*, **10**, 3596-3607.
- 歌田 實・水谷伸治郎 (1979) 続成作用, 岩波講座地球科学, 第5巻, 地球表層の物質と環境, p.44, 表 1.11.
- Vine, F.J. and Mathews, D.H. (1963) Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, **199**, 947-949.
- 脇田浩二 (1982) 九頭竜川最上流地域—郡上八幡西方地域に産するジュラ紀放射虫化石 大阪微化石研究会誌, 特別号, 5号, 153-171.
- 脇田浩二 (1987) 美濃帯飛騨金山地域におけるジュラ紀末—白亜紀最前期の放射虫化石の産出, 地質学雑誌, **93**, 441-443.
- Wakita, K. (1988a) Early Cretaceous mélangé in the Hida-Kanayama area, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **39**, 367-421.
- Wakita, K. (1988b) Origin of chaotically mixed rock bodies in the Early Jurassic to Early Cretaceous sedimentary complex of the Mino terrane, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **39**, 675-757.
- Wakita, K. and Metcalfe, I. (2005) Ocean Plate stratigraphy in East and Southeast Asia. *Jour. Asian Earth Sciences*, **24**, 679-702.
- Wakita, K., Miyazaki, K., Sopaheluwakan, J., Zulkarnain, I., Parkinson, C. and Munasri. (1997) Cretaceous subduction complexes along the southeastern margin of Sundaland. *Memoirs, Geol. Soc. Japan*, No.48, 152-162.
- Wakita, K. (2012) Mappable features of mélanges derived from Ocean Plate Stratigraphy in the Jurassic accretionary complexes of Mino and Chichibu terranes in Southwest Japan. *Tectonophysics*, **568-569**, 74-85.
- Weinberg, M.C. (1994) Induction time for crystal growth. *Jour. Non-Crystalline Solids*, **170**, 300-302.

(2012年10月15日受付, 2012年11月26日受理)