

丹波帯篠山セクションにおける Guadalupian-Lopingian(G-L) 境界の 放散虫群集変化

満村 健一¹⁾・鎌田 祥仁²⁾

Radiolarian faunal change across the Guadalupian-Lopingian boundary in the Sasayama section of the Tanba Belt, Southwest Japan

MITSUMURA Ken-ichi¹⁾ and KAMATA Yoshihito²⁾

1)北海道大学大学院環境科学院環境起学専攻(Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University)

2) 山口大学理学部地球圏システム科学科 (Department of Geosphere Sciences, Yamaguchi University, 1677-1, Yoshida, Yamaguchi, 753-8512 JAPAN)

Corresponding author: Y. Kamata

(2007 年 8 月 27 日受付, 2007 年 11 月 29 日第一回査読終了, 2008 年 5 月 20 日受理)

Abstract

Middle to Late Permian radiolarian faunal change in the Panthalassa was documented in a bedded chert sequence in the Sasayama section, Hyogo, southwest Japan. Approximately 15 genera and 40 species (4 genera and 26 species in *Albaillellaria*, 6 genera and 8 species in spherical radiolarians of *Entactinaria* and *Spumellaria*, and 5 genera and 6 species in *Latentifistularia*) were identified in the bedded chert. Three radiolarian zones were recognized, namely, the *Follicucullus scholasticus*, *F. charveti*, and *Albaillella cavitata* Zones, in ascending order, which are dated as middle Capitanian, late Capitanian, and Wuchiapingian-early Changhsingian, respectively. The Guadalupian-Lopingian boundary is placed, on biostratigraphic correlation between China and our sections, at the base of the *A. cavitata* Zone that is defined by the first occurrence of *Albaillella cavitata*. This species, rather than *Albaillella yamakitai*, is more applicable for recognition of the G-L boundary because the former is abundantly and continuously occurred in the Sasayama section. Radiolarian fauna in the Sasayama section were diversified and many species appeared across G-L boundary, rather than being extinct near the boundary: disappearance of 2 genera and 6 species (14%) below the G-L boundary, appearance of 11 genera and 21 species (49%) above the boundary, and continuous occurrence of 11 genera and 16 species (37%) across the boundary. Faunal diversity marked with Shannon-Wiener index ranges 0.35-2.07(Av. 0.82) in the uppermost Guadalupian and 0.69-2.72(Av. 1.49) in the lower Lopingian, suggesting diversified event across the G-L boundary. This diversification in pelagic environment, the opposite trend to a decline in shallow marine water organisms such as fusulinids and brachiopods, and the presumed increase in terrigenous input to the oceans are well explained by regression at or across the Guadalupian-Lopingian boundary.

Key words: bedded chert, faunal diversity, Guadalupian-Lopingian boundary, Permian, radiolaria, Southwest Japan

はじめに

ペルム紀末の絶滅事変は、海洋棲無脊椎動物の 96% が絶滅した顕生代最大の大量絶滅とされ、世界各地で検討がなされている (例えば, Sepkoski, 1984)。最近この Permian-Triassic (P-T) 境界より約 1000 万年先行する Guadalupian-

Lopingian (G-L) 境界でも大規模な絶滅がおき、G-L 境界と P-T 境界に絶滅が連続しておこった結果、P-T 境界の大量絶滅に至ったとする指摘がなされた (Stanley and Yang, 1994 など)。P-T 境界に比較して G-L 境界はこれまで詳細に検討されることが少なかったが、この絶滅事変でどのような動物群がどのように絶滅したのか、またどのような環境変動があったのかななどを、明らかにすることが求められるようになってきた。こう

したことを背景として、陸棚のプラットフォーム石灰岩相（中国四川省 Chaotian セクション；Isozaki et al., 2004）、海山頂部の石灰岩相（宮崎県西臼杵郡高千穂町上村；Ota and Isozaki, 2006）、陸棚上の層状チャート相（中国広西壮族自治区 Dachongling 地域；Sun and Xia, 2006）において G-L 境界の化石群集変遷や環境変化の検討が行われている。こうしたなか、これまで遠洋性チャート相の G-L 境界に着目した検討はなされていない。全海洋の環境変化を考える場合、陸棚や海山頂部などの浅海相に加えて、陸棚深部の陸棚チャート相や遠洋域の深海相を総合した検討が必要である。本研究は、丹波帯の篠山セクションを検討対象として、遠洋性チャート相の G-L 境界において、放散虫群集にどのような変化がおきたのかを明らかにし、どのような環境変化と絶滅があったかを考察することを目的とした。

地質概説

検討対象とした篠山セクションは、丹波帯Ⅱ型地層群^{ふじおか}藤岡コンプレックスに含まれるチャート岩体の一部として露出する（Fig. 1）。藤岡コンプレックスは、南北の分布幅が約 0.2km～3km で、篠山盆地北側に沿って、西は兵庫県丹波市氷上町石生から、東は同県篠山市丸山にかけて分布する（栗本^{ひかみ}ほか, 1993）。藤岡コンプレックスの構成岩類は頁岩を主体とし、砂岩、チャート、緑色岩および石灰岩を含む。頁岩は一般に砂岩やチャート岩塊を含み、混在岩相を呈する。砂岩は一般に中～細粒で、黒灰色を呈し、頁岩と互層したり、頁岩中に岩塊として含まれる。緑色岩は一般に暗緑色を呈し、玄武岩の溶岩および火山性砕屑岩から構成される。石灰岩は、転石として確認されるのみである。チャートは、同コンプレックスの見かけ最下位に産出するものが最も厚く、断続しながらも、東西に 1～5km ほど追跡することができる。黒灰色、灰色、および赤色などを呈し、単層の厚さが 1～3cm の層状チャートである（栗本ほか, 1993）。山下ほか（1991）および石田ほか（1992）は藤岡奥のチャート-珪質頁岩相について生層序学的検討を行い、ペルム紀から三畳紀の連続層序をみだしている。このチャート岩体は同コンプレックスの見かけ最下部を占めている。藤岡コンプレックスの構成岩類の堆積年代は、チャートがペルム紀中期～ペルム紀後期、珪質頁岩が三畳紀後期～ジュラ紀前期とされている（栗本ほか, 1993）。

調査を行った篠山セクションは、兵庫県篠山市藤岡奥に位置し、丹波帯Ⅱ型地層群藤岡コンプレックスの最下部を占める層状チャートが層厚約 55m にわたって露出する（Fig. 1）。これらは典型的な遠洋性の放散虫チャートで、石田ほか（1992）によって Capitanian～Changhsingian までの

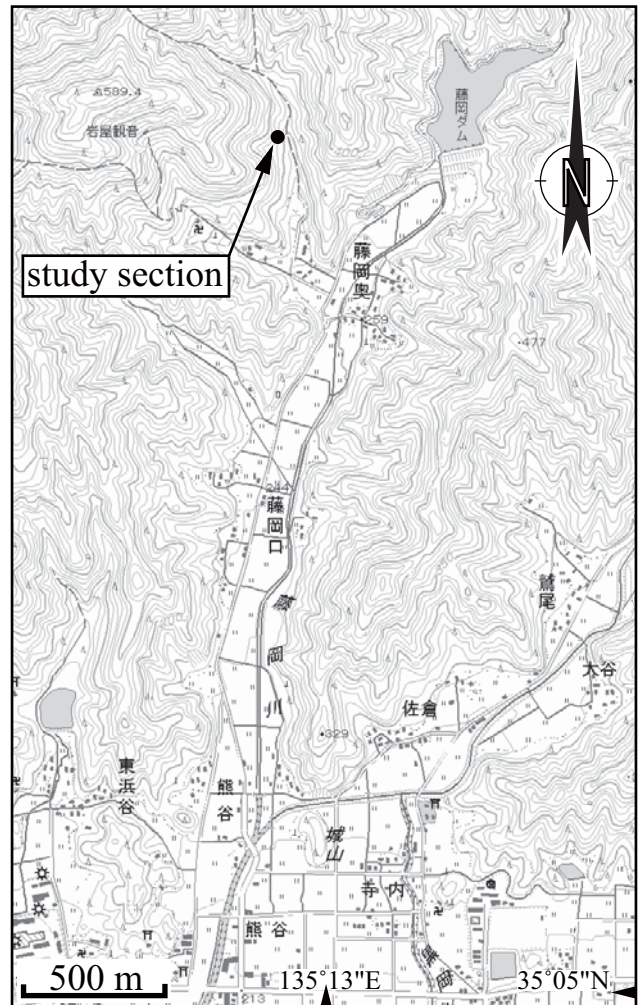


Fig. 1. Index map showing the location of the Sasayama section (Base map is from a 1:25,000-scale topographic map of Japan, Quadrangle “Miyata”, Geographical Survey Institute of Japan).

放散虫化石が報告されるとともに P-T 境界を含むセクションとされている。放散虫化石の保存も比較的良好であり、P-T 境界下位の G-L 境界の検討に適したセクションである。

調査は石田ほか（1992）における採集地点 Sy-100 を起点とし、露頭の北側から南側に向かって、つまり層序的下位から上位へ層厚約 25 m の範囲で柱状図を作成すると共に、放散虫化石の抽出用に試料採取を行った（Fig. 2）。岩相は下位より、チャート（厚さ約 18.1m）、珪質粘土岩（厚さ約 0.45m）、露頭欠如部分（厚さ約 1.8m）、剪断をうけた黒色有機質粘土岩（厚さ約 0.8m）の順に累重する（Fig. 3）。

チャート相の最下部約 4 m は赤色を呈し、その上位に約 4 m の灰色チャートが重なる。この上位には厚さ 1 m ほどの緑色-赤色チャートが重なる。これは灰緑色が卓越する中に、葉理状および墨流し状の赤色の薄層が挟まれるような岩相を呈している。この上位の層厚約 10 m は灰色チャートが占めている（Fig. 3）。

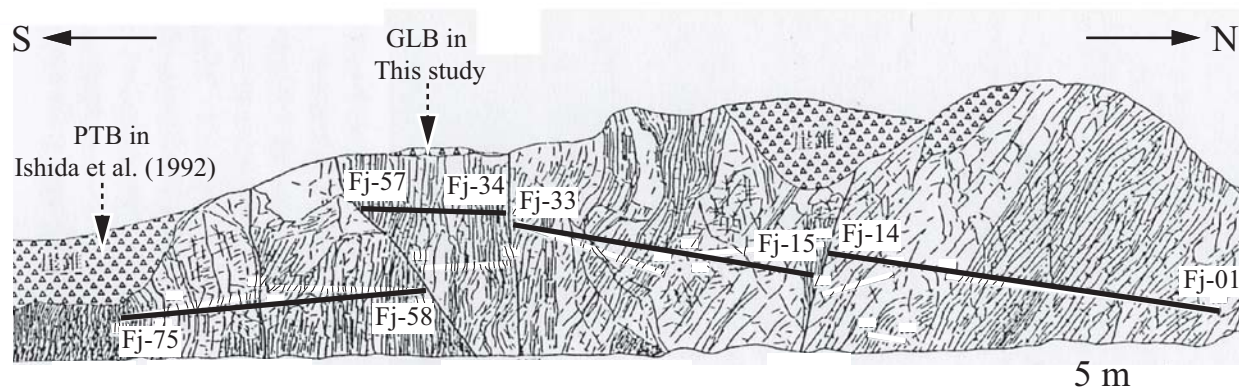


Fig. 2. Sketch showing the occurrences of Permian bedded chert at the Sasayama section and sampling horizons for this study. Modified from Figure 2 in Ishida et al. (1992).

産出した放散虫化石

本研究では放散虫化石を抽出するために、篠山セクションから75試料(Fj-01～Fj-75)を採取した(Fig. 2)。平均で約30cmごとに採取し、特にG-L境界の想定されたFj-34～Fj-57の区間では10cmごとに試料を採取し、フッ酸処理による放散虫化石の抽出を行った。抽出は岩石試料を約5%濃度のフッ酸溶液に、約24時間浸したのち洗浄する。これを3回繰り返して、計72時間浸した後、#250ナイロンメッシュで濾して得られた残渣から、実体顕微鏡を用いて放散虫殻を拾い出した。

1. 産出した放散虫化石

採取した75試料のうち、年代決定に有効な放散虫化石を68試料(層準)から得ることができた。得られた放散虫化石については、Holdsworth (1969), Ormiston and Babcock (1979), Holdsworth and Jones (1980), Ishiga and Imoto (1980), Takemura and Nakaseko (1981), Ishiga et al. (1982), Ishiga (1990), Kuwahara et al. (1998), および Kuwahara (1999) などの生層序学的検討例をもとに同定した。これまでに計15属40種を識別した。Albaillellariaが4属26種、球状放散虫(EntactinariaおよびSpumellaria)が6属8種、所属不明2タクサ、およびLatentifistulariaが5属6種、所属不明1タクサである(Fig. 3, pls. 1～4)。

篠山セクション下部から得られる放散虫群集は、*Pseudoalbaillella*属および、*Follicucullus*属が卓越する。このうち*Follicucullus*属は検討セクションの下部から上部まで断続的ながらほぼ全体にわたって産出する。セクションの中部から上位は、*Albaillella*属および球状放散虫が卓越し、最上部は*Neoalbaillella*属が産出することで特徴付けられる。

2. 化石帯区分

これまでの検討で、生層序学上重要とされてきた特徴種(*F. scholasticus*, *F. charveti*, *A. levis*, *N. ornithoformis* および *N. optima* など)に着目し、本セクションにおける化石帯区分を試みた(Fig. 3)。本研究で設定した化石帯(間隔帯)は下位から、*F. scholasticus* 帯、*F. charveti* 帯、そして *A. cavitata* 帯である。

Follicucullus scholasticus 帯：本研究の篠山セクションにおける *F. scholasticus* 帯は、下限を *F. scholasticus* の初産出層準(Fj-06)とし、その上限を *F. charveti* の初産出層準(Fj-40)の直下とした。検討セクションの最下部を占める本化石帯は、層厚10.4mで、特徴種として *Pseudoalbaillella longicornis*, *P. cf. globosa*, *F. porrectus*, および *F. ventricosus* などを含む。*Albaillella* 属および *Neoalbaillella* 属は全く含まれていない。

Follicucullus charveti 帯：*F. charveti* 帯は、その下限を *F. charveti* の初産出層準(Fj-40)とした。また上限は *A. cavitata* の初産出層準(Fj-44)の直下とした。本化石帯の層厚は、0.4mである。特徴種として、*F. monacanthus*, *F. scholasticus*, *F. bipartitus* が含まれる一方で、下位の *F. scholasticus* 帯に含まれていた *Pseudoalbaillella* 属は産出しない。

Albaillella cavitata 帯：*F. charveti* 帯と *A. cavitata* 帯の境界は、*A. cavitata* の初産出層準(Fj-44)とした。本論の *A. cavitata* 帯は、*Albaillella cavitata*, *A. levis*, *A. protolevis* と共に、*F. scholasticus*, *F. porrectus*, *F. ventricosus*, *F. charveti* などを含む。上部では *N. grypa*, *N. pseudogrypa*, *N. cf. ornithoformis* などの *Neoalbaillella* 属を含む。また球状の *Copicyntra* 属や *Entactinosphaera* 属、さらには *Latentifistularia* 属に代表されるような三つ叉の *Latentifistularia* が共存し、最も多様な構成種を持つ。本化石帯の上位には整合的に珪質粘土岩が重なる。この珪質粘土岩は放散虫化石を含まないことから、放散虫化石によって上限を設定することはできていない。

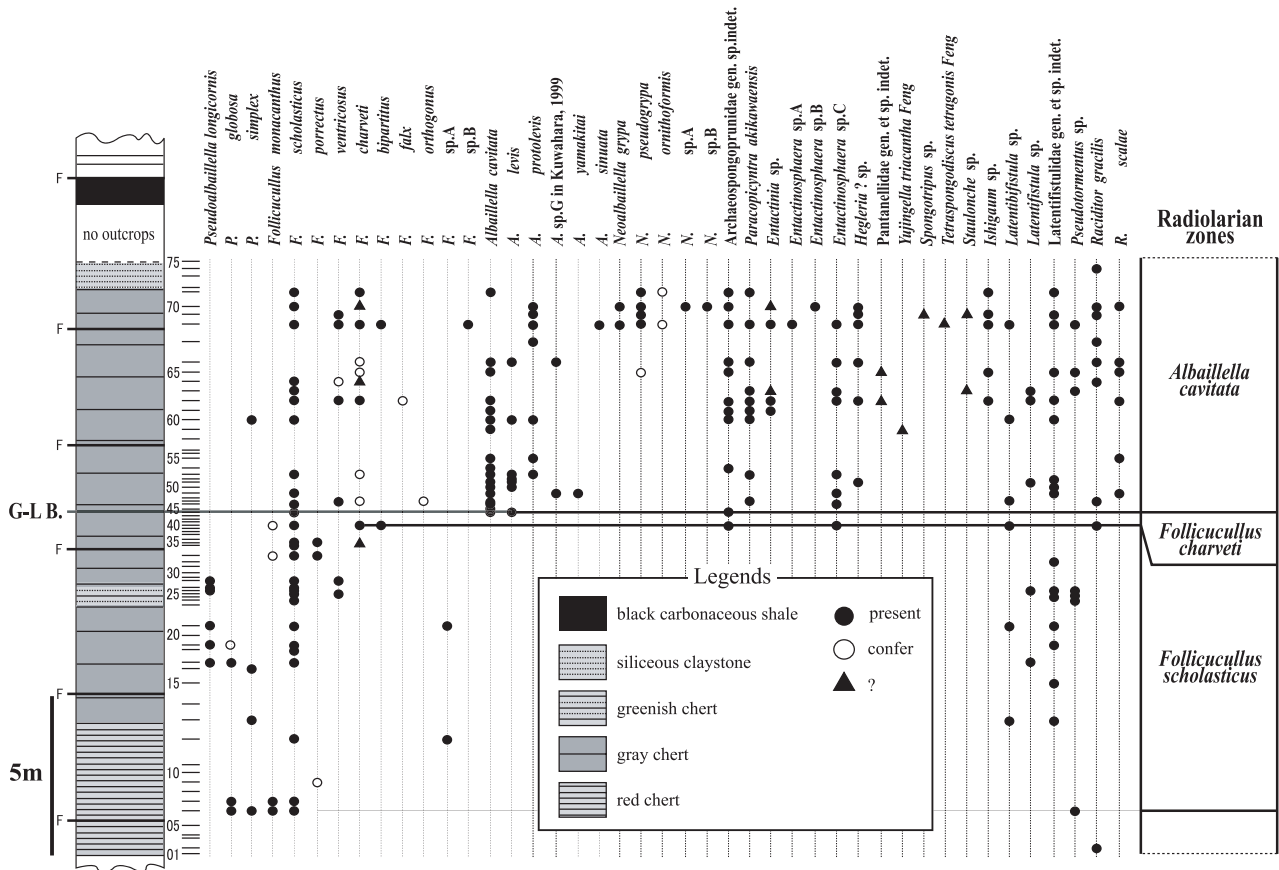


Fig. 3. Composite columnar section of the Sasayama section with biostratigraphic distribution of radiolarians and biozones.

3. 化石帯の年代

Follicucullus scholasticus 帯 : *F. scholasticus* 帯は前述のように *Follicucullus* 属で特徴付けられ, *Pseudoalbaillella* 属を伴う. Ishiga(1990)によれば *P. globosa* は, 中期ペルム紀 Ufimian ~ Capitanian に生息期間を持つとされている. また *F. porrectus* や *F. scholasticus* および *F. ventricosus* が持つ生息期間は, Capitanian ~ Longtanian とされる. 前述したように上位の *F. charveti* 帯は, *F. charveti* の産出層準を持って境している. 後述するように, 本化石帯上位の *F. charveti* 帯の年代が Capitanian 後期なので, 本化石帯は Capitanian 中期に限定される

Follicucullus charveti 帯 : *F. charveti* はこれまでに中期ペルム紀の後期を示す *F. charveti* 帯と特徴付けるものとして報告され (Ishiga, 1990, 1991), Kuman 前期 (=Capitanian) を示すフズリナ化石帯 *Lepidolina kumaensis* 帯に対比されている (Ishiga and Miyamoto, 1986). 最近 Sun and Xia (2006) は中国広西壮族自治区 Dachongling 地域の層状チャートで放散虫層序を検討し, *F. charveti* が Capitanian 後期に産出することを報告している. こうしたことから, *F. charveti* 帯の年代は Capitanian 後期と考えることができる.

Albaillella cavitata 帯 : *A. cavitata* 帯は *Albaillella*

cavitata や *A. levis* および *A. protolevis* を主構成種として, *A. triangularis* や *A. yamakitai* を伴う (Fig. 3). これらは Kuwahara (1999) によってその詳細な層位分布および形態的特徴と系統関係が明らかにされている. Kuwahara(1999)によると *F. charveti*-*A. yamakitai* 帯と *Neoalbaillella ornithoformis* 帯の境界付近で, *A. yamakitai*, *A. cavitata*, *A. protolevis*, *A. levis* の順で出現し共存している. 最近 Xia et al. (2005) は, Meishan セクションを含めて, 中国広西壮族自治区 Dachongling 地域において, コドントと放散虫化石層序の比較検討を行っている. この中で, *A. yamakitai*, *A. cavitata* はコドント化石 *Clarkina postbitteri* と共に初産出し, Wuchiapingian の下限を規定するとされている. 一方, 本化石帯の上部は, *N. grypa* と共に, *N. pseudogrypa*, *N. cf. ornithoformis* を特徴的に含む. Kuwahara et al. (1998) の詳細な生層序学的検討によると *N. ornithoformis* 帯の中部で出現し, 同帯の中部~上部で *N. grypa*, *N. ornithoformis* と共存する. したがって本研究の *A. cavitata* 帯の上限は, 前期 Changhsingian と推測され, *A. cavitata* 帯の示す年代は, Wuchiapingian ~ 前期 Changhsingian に相当すると考えられる.

以上本検討による篠山セクションの化石帯区分は, 下位から *F. scholasticus* 帯, *F. charveti* 帯, そして *A.*

cavitata 帯と重なり、それぞれの年代は、Capitanian 中期, Capitanian 後期, および Wuchiapingian ~ 前期 Changhsingian とすることができる。

G-L 境界の設定

G-L 境界の模式セクション (GSSP : Global Stratotype Section and Point) は中国広西壮族自治区 Penglaitan セクションに置かれている。Jin et al. (2001) によって G-L 境界は、コノドント化石である *Clarkina postbitteri postbitteri* Mei and Wardlaw の初出現層準とすることが提案され、ICS (International Commission on Stratigraphy) によって承認され、Jin et al. (2006) により正式決定結果が公表されている。

G-L 境界は、コノドント化石である *Clarkina postbitteri postbitteri* の初出現層準とされているが、篠山セクションでは十分なコノドント化石が、得られていない。上述のように Xia et al. (2005) は、コノドントと放散虫が共存する中国広西壮族自治区 Dachongling 地域において、両化石層序の比較検討を行うとともに、コノドントをあまり産出しない、西南日本の遠洋性チャート相 (郡上八幡と篠山セクション) についても、G-L 境界の設定を試みている。Xia et al. (2005) によれば、Dachongling 地域における G-L 境界、すなわち *C. postbitteri postbitteri* の初産出層準では、共に *A. yamakitai*, *A. cavitata* が初産出することを明らかにしている。そして、コノドント化石が十分に産出しないような遠洋性チャート相における G-L 境界の指標化石となるとしている。Xia et al. (2005) は Dachongling 地域の結果を基に、特に *A. yamakitai* が、形態的に安定していること、短い生息期間を持つことから、同種を G-L 境界の指標化石にすることを主張している。

以上の 2 種に着目すると、篠山セクションにおける本研究では、*A. cavitata* の初産出層準が *A. yamakitai* のそれよりもわずかに下位となっている (Fig. 3)。*A. yamakitai* の初産出を重視した場合、その初産出層準 (Fj-49) を G-L 境界とすべきだが、両種の各層準における産出個体数を比較した場合、*A. cavitata* の方が圧倒的に多く、産出層準も同種が多い。Xia et al. (2005) による篠山セクションの検討でも、*A. cf. yamakitai* が得られているのみである。以上のことを考慮するとより産出頻度の高い、*A. cavitata* によって G-L 境界と考えるべきである。よって本研究における、篠山セクションの G-L 境界は、*A. cavitata* の初産出層準 (Fj-44) とするのが最も妥当と考えられる (Fig. 3)。

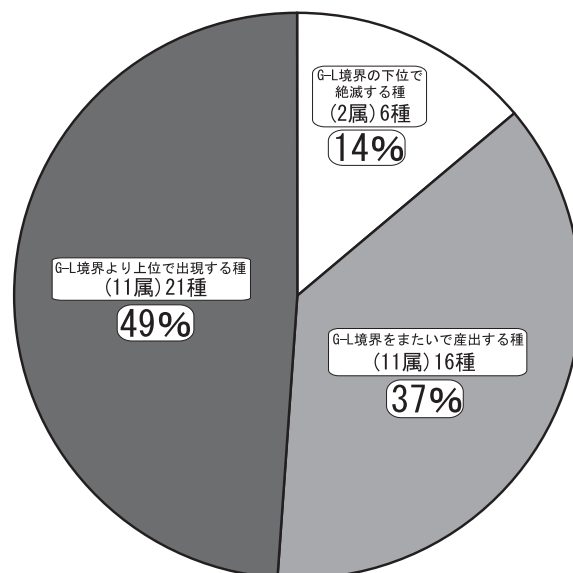


Fig. 4. Relative abundance of three radiolarian groups: Guadalupian group (14%), Guadalupian and Lopingian group (37%), and Lopingian group (49%).

G-L 境界における放散虫群集と多様度の変化

1. 放散虫群集の組成変化

G-L 境界に着目し、放散虫群集の変化をみると、G-L 境界より下位では *Pseudoalbaillella* 属, *Follicucullus* 属および *Latentifistularia* が卓越し、計 11 属 22 種が識別される (Fig. 3)。G-L 境界直前で *F. charveti* や *Albaillella cavitata* が出現する。

これに対して、G-L 境界より上位では *Albaillella* 属および球状放散虫が卓越する。また、*Follicucullus* 属および *Latentifistularia* も継続して産出する。さらに上位では、*Neoalbaillella* 属も産出する。G-L 境界より上位では計 18 属 37 種が識別された。

Fig. 4 に境界の下位で絶滅した種の割合、境界をまたいで産出する種の割合、そして境界より上位に出現する種の割合を示す。G-L 境界の下位で絶滅するものが 2 属 6 種で全体の 14%、G-L 境界をまたいで継続的に産出するものが 11 属 16 種で全体の 37%、G-L 境界より上位で出現するものが 11 属 21 種であり全体の 49% を占め、G-L 境界より上位で出現する種が圧倒的に多い。

2. 放散虫群集の多様度の変化

上述のように、放散虫群集は G-L 境界を境にその種数 (多様性) が増加する傾向にある。このような傾向を定量的に示すために、種の多様度 (species diversity) を用いた。

生物学的豊かさの指標の 1 つに多様度がある。多様度とは、“ある空間的な枠付けの中に生物学的単位がどれだけ雑多に含まれているか”を意味する。本研究では、生物学

考察

1. 浅海性石灰岩相のフズリナ群集変化と
中国陸棚チャート相の放散虫群集変化

G-L 境界に関する近年の研究例として, Isozaki et al. (2004), Ota and Isozaki (2005), Xia et al. (2005), および Sun and Xia (2006) がある。

Isozaki et al. (2004) は, 中国四川省 Chaotian において, プラットフォーム石灰岩相の検討を行った。それによると, G-L 境界を境に大型で Guadalupian 型のフズリナ (*Yabeina* 属, *Verbeekina* 属など), 四放サンゴ, 腕足類, およびコノドントの産出が急速に減少する。また, 境界層準には層厚 2m の粘土質凝灰岩が堆積しており, その最上部から Lopingian 型の動物相が出現しはじめるとしている。以上のことから Isozaki et al. (2004) では, G-L 境界における大量絶滅は火山活動と密接な関係があると論じている。

Ota and Isozaki (2006) は, 西南日本の宮崎県西臼杵郡高千穂町上村および岐阜県大垣市赤坂において海山頂部石灰岩相の G-L 境界について研究を行っている。これによると, 海山頂部の石灰岩相において, Guadalupian 上部は大型フズリナで代表される *Lepidolina-Yabeina* 帯が設定されるが, Lopingian 下部では小型のフズリナが卓越する *Codonofusiella-Reichelina* 帯が設定されている。すなわち G-L 境界を境に大型のフズリナ群集から小型の群集へと大きく変化した。また, *Lepidolina-Yabeina* 帯と *Codonofusiella-Reichelina* 帯の間には, 化石が産出しない区間があり, Ota and Isozaki (2006) では, その堆積期間が生物生産の低下した期間, すなわち高い環境ストレスのかかっていた期間であるとした。さらに, G-L 境界層準に酸性凝灰岩を挟むことから, 環境ストレスの要因として, 大規模な火山活動をあげている。

Sun and Xia (2006) による, 中国広西壮族自治区 Dachongling 地域の陸棚チャート相の検討では, G-L 境界を境にその上位では *Follicucullus* 属の放散虫の急激な減少と, *Entactinaria* および *Spumellaria* の放散虫の増加が認められた。さらに, Sun and Xia (2006) は G-L 境界層準を境に Ce/Ce^* の値が高くなることを明らかにし, これが陸源物質の影響が増加したことを示唆するものとしている。以上のことから Sun and Xia (2006) は G-L 境界における絶滅事変の原因を海退に求めている。

2. G-L 境界における環境変化

篠山セクションにおいては G-L 境界を境に, *Albaillella* 属や球状放散虫といった放散虫群集の多様度が増加することが認められた。Sun and Xia (2006) は, G-L 境界層準において *Follicucullus* 属が急激に減少するとしたが, 本

研究ではそのような傾向は認められなかった。Sun and Xia (2006) の放散虫産出データをみると, G-L 境界層準においては球状放散虫や *Latentifistularia*, および *Albaillella* 属の出現が顕著であって, *Follicucullus* 属の減少はむしろ一面的なものである。すなわち, 放散虫群集に着目すれば, G-L 境界は絶滅事変というよりも, 群集に多様化がみられる層準であるといえることができる。

浅海性石灰岩相においては大型から小型のフズリナへの大きな群集変化, および底棲生物の絶滅が認められている。一方で浮遊性プランクトンである放散虫には大きな絶滅はみられない。以上のことから, G-L 境界における環境変化は, 底棲生物に大きなダメージをあたえるようなイベントとして捉えることができる。以上を説明する環境の変化の候補の一つとして海退が考えられる。

G-L 境界以前は大型のフズリナなど炭酸塩鉱物の硬組織をもつ底棲生物が繁栄し, 陸棚や海山頂部に石灰岩を形成していた。しかし, G-L 境界において海退がおき, 急速に底棲生物の生息域が縮小したため, 底棲生物の多くは衰退または絶滅した。一方, 放散虫は浮遊性のプランクトンであり, 沿岸域~遠洋域に生息できるので, 海退によって生息域を失うことは少なく, その影響は少なかったと考えられる。また, 陸棚チャート堆積盆への陸源性碎屑物の供給増加も海水準の低下によって説明できる。ペルム紀新世に大規模な海退がおこったことは広く知られており, この海退が G-L 境界における環境変化の要因であると考えられる。

まとめ

遠洋性堆積物 (チャート) の Guadalupian-Lopingian (G-L) 境界の放散虫の群集変化を検討した結果, 以下のようにまとめられる。

- (1) 丹波帯 II 型地層群藤岡コンプレックス中の篠山セクションにおいて, これまでの研究において生層序学的に重要な特徴種に着目し, 放散虫化石帯を下位から *Follicucullus scholasticus* 帯, *F. charveti* 帯, および *Albaillella cavitata* 帯と設定した。これらはそれぞれ Capitanian 中期, Capitanian 後期, そして Wuchiapingian ~ Changhsingian 前期の年代を示す。
- (2) 近年, GSSP として承認された G-L 境界は, コノドント化石 *Clarkina postbitteri postbitteri* の初産出層準によって定義される。中国広西壮族自治区 Dachongling 地域における *C. postbitteri postbitteri* と放散虫の産出層位の関係に基づけば, 篠山セクションにおける本研究の G-L 境界は, *A. cavitata* の初産出層準によって設定されるの

が最も妥当と考えられる。

- (3) 篠山セクションにおいて G-L 境界より上位では *Albaillella* 属や球状放散虫, および *Neoalbaillella* 属が卓越し, 産出する放散虫群集の種数に増加 (多様化) 傾向がみられる。Shannon-Wiener 指数を用いた場合, G-L 境界より下位では, 多様度 $H = 0.35 \sim 2.07$ (Av. 0.82) (nat) である。一方, G-L 境界の上位では多様度 $H=0.69 \sim 2.72$ (Av. 1.49) (nat) であり, G-L 境界以降の放散虫群集の多様化が, 定量的に示された。
- (4) G-L 境界では浅海性の陸棚および海山頂部石灰岩相において, 底棲生物の絶滅, および大型から小型へのフズリナの群集変化がおこった。Sun and Xia (2006) のデータに基づけば, 陸棚チャート相における検討では, 水深の浅い地域に生息する放散虫に絶滅がみられたが, 放散虫群集全体としては多様化の傾向がみられた。また, Ce 異常 (Ce/Ce*) の値が高くなることが明らかになり, 陸源物質の影響が増加したと解釈されている (Sun and Xia, 2005)。これは, 本研究で遠洋性チャート相 (篠山セクション) においても G-L 境界を境に放散虫群集に多様化の傾向がみられたのと同時である。様々な海洋環境におけるこれらの現象を総合し, 説明しうる事象として G-L 境界における海退が考えられる。

謝辞

本稿は, 査読して頂いた桑原希世子博士および編集者の鈴木紀毅博士のご指摘によって改善された。深く感謝いたします。

引用文献

- Henderson, C.M., Mei, S. and Wardlaw, B.R., 2002, New conodont definitions at the Guadalupian-Lopingian boundary. In Hills, L.V., Henderson, C.M. and Bamber, E.W. eds. *Carboniferous and Permian of the World*, Canadian Society of Petroleum Geologists. Memoir, **19**, 725-735.
- Holdsworth, B.K., 1969, The relationship between the genus *Albaillella* Deflandre and the ceratoidiscid Radiolaria. *Micropaleontology*, **15**, 230-236.
- Holdsworth, B.K., and Jones, D.L., 1980, Preliminary radiolarian zonation for Late Devonian through Permian time. *Geology*, **8**, 281-285.
- 石田 耕太郎・山下雅之・石賀裕明, 1992, 丹波帯の遠洋性堆積物中の P/T 境界について。島根大学地質学研究報告, no.11, 39-57.
- Ishiga, H., 1990, Paleozoic radiolarians. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds. *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia, Osaka,

285-295.

- Ishiga, H., 1991, Description of a new *Follicucullus* species from southwest Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Shimane University*, **25**, 107-118.
- Ishiga, H. and Imoto, N., 1980, Some Permian radiolarians in the Tamba district, Southwest Japan. *Earth Science*, **34**, 333-345.
- Ishiga, H., Ishida, K., Sampei, Y., Musashino, M., Yamakita, S., Kajiwara, Y. and Morikiyo, T., 1993, Oceanic pollution at the Permian-Triassic boundary in pelagic condition from carbon and sulfur stable isotopic excursion, Southwest Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **44**, 721-726.
- Ishiga, H., Kito, T. and Imoto, N., 1982, Late Permian radiolarian assemblages in the Tamba district and an adjacent area, Southwest Japan. *Earth Science*, **36**, 10-22.
- Ishiga, H. and Miyamoto, T., 1986, *Follicucullus* (Radiolaria) from the Upper Permian Kuma Formation, Kyushu, Southwest Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 141, 322-335.
- Isizaki, Y., Yao, J., Matsuda, T., Sakai, H., Ji, Z., Shimizu, N., Kobayashi, N., Kawahata, H., Nishi, H., Takano, M. and Kubo, T., 2004, Stratigraphy of the Middle-Upper Permian and Lowermost Triassic at Chaotian, Sichuan, China -Record of Late Permian double mass extinction event-. *Proceedings of Japan Academy Series B*, **80**, 10-16.
- Jin, Y., Sheng, S., Henderson, C.M., Wang, X., Wang, W., Wang, Y., Cao, C. and Shang, Q., 2006, The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the boundary between the Capitanian and Wuchiapingian Stage (Permian). *Episodes*, **29**, 253-262.
- 栗本史雄・松浦浩之・吉川敏之, 1993, 篠山地域の地質, 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅 京都 (11) 第 52 号. 93pp.
- Kuwahara, K., 1999, Phylogenetic lineage of Late Permian *Albaillella* (*Albaillellaria*, Radiolaria). *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **42**, 85-101.
- Kuwahara, K., Yao, A. and Yamakita, S., 1998, Reexamination of Upper Permian radiolarian biostratigraphy. *Earth Science*, **52**, 391-404.
- Ormiston, A. and Babcock, L., 1979, *Follicucullus*, new radiolarian genus from the Guadalupian (Permian) Lamar limestone of the Delaware basin. *Journal of Paleontology*, **53**, 328-334.
- Ota, A. and Isizaki, Y., 2006, Fusuline biotic turnover across the Guadalupian-Lopingian (Middle-Upper Permian) boundary in mid-oceanic carbonate buildup: Biostratigraphy of accreted limestone in Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **26**, 353-368.
- Sepkoski Jr.J.J., 1984, Periodicity of extinctions in the geologic past. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **81**, 801-805.
- Stanley, S.M. and Yang, X. 1994, A double mass extinction at the end of the Paleozoic Era. *Science*, **266**, 1340-1344.
- Sun, D. and Xia, W., 2006, Identification of the Guadalupian-Lopingian boundary in the Permian in a bedded chert sequence, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **236**, 272-289.
- Takemura, A. and Nakaseko, K., 1981, A new Permian radiolarian genus from the Tamba belt, Southwest Japan, *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no.124, 208-214.
- Xia, W., Ning, Z., Kakuwa, Y. and Lili, Z., 2005, Radiolarian and conodont biozonation in the pelagic Guadalupian-Lopingian boundary interval at Dachongling, Guangxi, South China, and mid-upper Permian global correlation. *Stratigraphy*, **2**, 217-238.
- 山下雅之・石田 耕太郎・山岡祐二・後藤広和・石賀裕明, 1991, “砥石層” のなかに P/T 境界があるか-付。トリアス紀古世の放散虫について-。島根大学地質学研究報告, no. 10, 47-52.

Explanation of plates

Plate 1

1, 2 and 6. *Pseudoalbaillella cf. globosa* Ishiga Kito and

Imoto

(1: sample Fj-06, 2: Fj-07, 6: Fj-19)

3 and 5. *Pseudoalbaillella* sp.

(3: Fj-64 and 5: Fj-60)

4. *Pseudoalbaillella simplex* Ishiga and Imoto

(Fj-60)

7-9. *Pseudoalbaillella longicornis* Ishiga and Imoto

(7: Fj-19, 8: Fj-17, 9: Fj-21)

10, 11, 15 and 16. *Follicucullus scholasticus* Ormiston and

Babcock

(10: Fj-19, 11: Fj-27, 15: Fj-28, 16: Fj-63)

12-14. *Follicucullus monacanthus* Ishiga and Imoto

(12 and 13: Fj-06, 14: Fj-07)

17 and 18. *Follicucullus porrectus* Rudenko

(17: Fj-33, 18: Fj-35)

19 and 20. *Follicucullus ventricosus* Ormiston and Bab-

cock

(19: Fj-28, 20: Fj-47).

Plate 2

1 and 2. *Follicucullus charveti* Caridroit and De Wever

(1: Fj-40, 2: Fj-71)

3. *F. cf. charveti* Caridroit and De Wever

(Fj-62)

4. *Follicucullus cf. orthogonus* Caridroit and De Wever

(Fj-47)

5. *Follicucullus cf. flax* Caridroit and De Wever

(Fj-62)

6 and 7. *Follicucullus bipartitus* Caridroit and De Wever

(Fj-40)

8 and 9. *Follicucullus* sp. A

(8: Fj-12, 9: Fj-21)

10. *Follicucullus* sp. B

(Fj-68)

11-16. *Albaillella cavitata* Kuwahara

(11: Fj-46, 12: Fj-49, 13: Fj-53, 14: Fj-50, 15: Fj-53, 16: Fj-60)

17-19. *Albaillella protolevis* Kuwahara

(17-19: Fj-68)

Plate 3

1 and 2. *Albaillella* sp. G in Kuwahara

(1: Fj-49, 2: Fj-66)

3. *Albaillella sinuata* Ishiga, Kito and Imoto

(Fj-68)

4 and 5. *Albaillella yamakitai* Kuwahara

(Fj-49)

6 and 7. *Albaillella cavitata* Kuwahara

(6: Fj-66, 7: Fj-71)

8: *Albaillella* sp.

(Fj-49)

9. *Albaillellaria* gen. et sp. indet.

(Fj-71)

10 and 11. *Nealbaillella grypa* Ishiga, Kito and Imoto

(Fj-68)

12-15. *Nealbaillella pseudogrypa* Sashida and Tonishi

(12: Fj-68, 13 and 14: Fj-70, 15: Fj-71)

16 and 17. *Nealbaillella cf. ornithiformis* Takemura and

Nakaseko

(16: Fj-68, 17: Fj-71)

18: *Nealbaillella* sp. A

(Fj-70)

19. *Nealbaillella* sp. B

(Fj-70).

Plate 4

1 and 2. Archaeospongoprunidae gen. et sp. indet.

(1: Fj-40, 2: Fj-70)

3 and 4. *Paracopicyntra akikawaensis* (Sashida and Toni-shi)

(3: Fj-62, 4: Fj-63)

5. *Entactinia* sp.

(Fj-61)

6. *Entactinosphaera* sp. A

(Fj-68)

7. *Entactinosphaera* sp. B

(Fj-70)

8. *Entactinosphaera* sp. C

(Fj-68)

9. *Hegleria* (?) sp.

(Fj-62)

10 and 11. Pantanellidae (?) gen. et sp. indet.

(10: Fj-62, 11: Fj-65)

12. *Yujingella triacantha* Feng

(Fj-59)

13. *Tetraspongodiscus tetragonis* Feng

(Fj-68)

14. *Staulonche* (?) sp.

(Fj-68)

15 and 16. *Ishigaum* sp.

(Fj-68)

17 and 18. *Latentibifistula* sp.

(17: Fj-47, 18: Fj-68)

19. *Latentifistula* sp.

(Fj-62)

20. Latentifistulidae gen. et sp. indet.

(Fj-49)

21. *Pseudotormentus* sp.

(Fj-65)

22. *Raciditor gracilis* (De Wever and Caridroit)

(Fj-47)

23. *Raciditor scalae* (Caridroit and De Wever)

(Fj-66).

