

相良-掛川堆積盆におけるテクトニクス・堆積過程と
軟体動物化石群集との関連

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-05-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 延原, 尊美 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00025090

相良－掛川堆積盆における テクトニクス・堆積過程と軟体動物化石群集との関連*

延原尊美**

1. はじめに

静岡県西部の相良－掛川地域には、今からおよそ約1000万年前～100万年前までの前弧堆積物が広く露出し、テクトニクスや古気候・古環境について東海地域で当時どのような変動があったのかを探る上でまたとないフィールドを提供している(図1)。これらの前弧堆積物は、フィリピン海プレートが本州弧下に沈み込む過程で形成されたかつての堆積盆を埋積したものであり、現在の駿河湾－遠州灘海域での海洋地質学的な諸現象を理解する上でも重要な研究対象である。これまで相良－掛川地域においては多くの地質学的・古生物学的研究が行われてきた。本稿では、まず地球科学の進展の中で相良－掛川地域の新第三系が果たしてきた役割を振り返り、今後本地域において進展が期待される研究課題について、大型底生動物化石の研究の視点から述べてみたい。

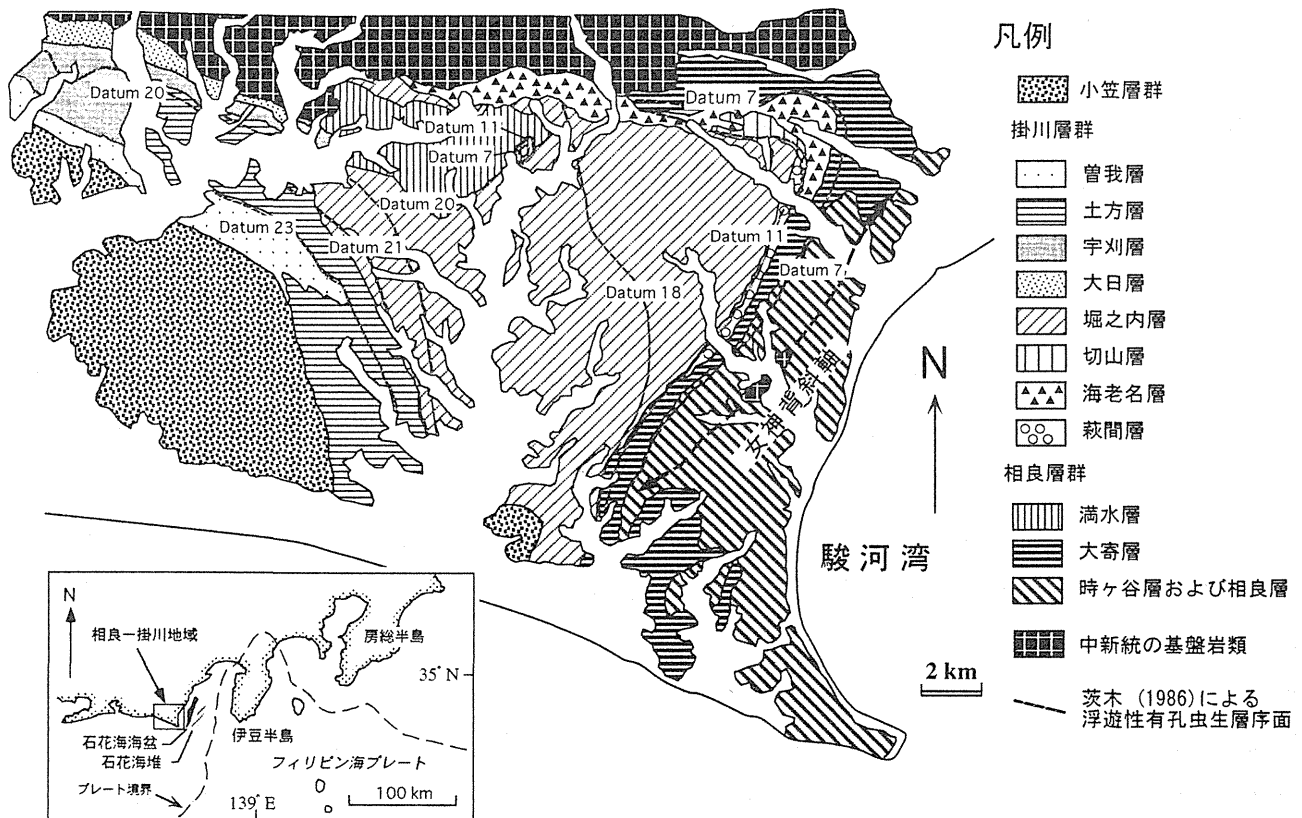


図1. 相良－掛川地域の地質図。茨木(1986), Nobuhara(1993)およびTsukawaki(1994)より編図。

* 年会(2001年11月18日)での講演の一部を収録したものである。
** 静岡大学教育学部

2. 相良一掛川地域の新第三系をめぐる研究の流れ

相良一掛川地域の地質学的研究は、千谷 (1928) による地質図作成にはじまり、槇山次郎らによる一連の研究 (Makiyama 1931、槇山・坂本 1957、槇山 1963 など)、Ujiié (1962) による地質・層序の検討、Tsuchi (1961) による貝化石群の変遷にもとづく階区分などを通して、堆積盆の全体像、層相変化や層序についての理解が進展してきた。20 世紀半ばには、相良一掛川地域は日本の新第三系の中でも最も層序学的な理解が進んだ地域のひとつとなり、日本の新第三系の標準層序が設定されるにいたっている (例えば、池辺 1948)。古生物学の分野では Yokoyama (1923、1926)、Makiyama (1927) によって掛川層群 (一部相良層群を含む) の貝化石に関する記載学的研究が行われ、鮮新世の海棲貝類化石群としての重要性に光があてられた。それらの化石動物群は Otuka (1939) によって古生物地理学的観点から「掛川動物群」と命名され、鮮新世の西南日本太平洋側に繁栄した暖流系動物群の模式として知られている。また、掛川動物群を構成する貝類は進化学的な研究材料としても注目を集め、Makiyama (1925)、杉山 (1935 a、1935 b) などによるキサゴ類に関する研究、Makiyama (1941) によるミクリガイ類に関する研究など、系統進化学における先駆的な研究が行われたことでも知られる。以上述べたように相良一掛川地域は、日本の新第三系の研究黎明期に、層序学や古生物学の分野においてさまざまな意味でスタンダードを提供してきた地域であるといえる。

20 世紀後半に入ると、微化石生層序の進展 (浮遊性有孔虫：斉藤 1960、尾田 1971、Oda 1977、Ibaraki 1986、茨木 1986 など、石灰質ナノ化石：西田 1978、亀尾 1998)、古地磁気層序 (Yoshida and Niitsuma 1976、石田ほか 1980)、放射性同位体による年代決定 (西村 1977、Shibata et al. 1984) や火山灰層の広域対比 (里口ほか 1996) など、年代論もより詳細なものとなり、国内外各地の新第三系との対比も提示されている。また、貝化石 (鎮西 1980、吉田 1981、Nobuhara 1993、Ozawa et al. 1998 など) や底生有孔虫化石 (Aoshima 1978)、およびそれらの酸素同位対比の分析 (Chinzei and Aoshima 1976) をもとに古水深・古水温 (水塊構造)・古海洋気候の復元がなされ、相良一掛川地域における古環境の変遷もほぼ明らかにされたといえる。

以上の年代層序学的・古環境学的フレームワークが整備されるのに伴い、相良一掛川地域を含む東海地域の構造発達史も、プレートテクトニクスの視点から見直された (例えば杉山 1989、1992)。とくに、相良一掛川堆積盆のテクトニックな形成やその埋積過程については、詳細な堆積相解析から復元がなされている (Tsukawaki 1994)。それらの研究を通じ、相良層群や掛川層群の構造発達史はフィリピン海プレートの運動方向の変化や伊豆半島の衝突の影響などに密接に関連しており、島弧の成長過程を探る上で重要な位置にあることが明らかにされた。さらに、シーケンス層序学や堆積相解析の進展に伴い、掛川層群の堆積プロセスがより詳細に復元され、海水準変動にともなう前弧域での物質運搬過程の変化が高精細に明らかにされつつある (Ishibashi 1989、Masuda and Ishibashi 1991、Sakai and Masuda 1996 など)。以上のように、相良一掛川地域は、テクトニクスや物質運搬過程など、前弧域で起きている地球科学的な諸現象の全体像を提示する上でモデルとなる地域のひとつであるといえる。

3. 貝化石は 21 世紀になにを語れるか？

大型底生動物である貝類の化石は、上記の研究の流れの中で、生層序にそして古水深・古海洋気候の復元の指標として用いられてきたが、微化石による生層序の確立や古環境の高精細な復元、堆積相解析による堆積環境の復元など、貝化石のもつ指標性は従来ほど注目されなくなった。しかしながら、貝化石は現地での産状観察が可能であること、食性や行動などにおいてさまざまな生活様式を示すことなどから、野外で化石群集を産状と共に評価することで当時の海底の動態（底質、堆積速度、餌としての有機物の供給量や存在形態）を単層枚に復元し、それらの変化を空間的にも時間的にも追跡できるという利点を有している。つまり、貝化石を単なる古水深計や古水温計と見なすのではなく、当時の海底の動態に対する底生動物の直接的な応答として読みとってやるのである。それらの応答記録の時間的・空間的な変化を地層中に追跡することは、海洋における物質循環をつぶさに見て歩くことにほかならない。

相良－掛川地域は、前弧域で起きている物質運搬過程を地質学的な時間・空間スケールでとらえる上で絶好のフィールドであることは上で述べた。沿岸から深海域において営まれている物質循環の実態や、それがテクトニクスや海水準変動によってどのように変化するかという問題は、21 世紀における地球科学の課題の一つであるといえる。相良－掛川地域のような前弧域のモデルとなるような地域において、大型底生動物である貝類の化石は何を語り始めたのだろうか。

4. 200 万年前の地球温暖化当時の海底を歩く

鮮新－更新統掛川層群の上部は、主に沿岸部の礫岩・砂岩（大日層・曾我層）、陸棚下部の泥質砂岩（宇刈層）、陸棚斜面のシルト岩（土方層）よりなり、互いが同時異相の関係にある（図 1）。掛川層群中には、鍵層となる凝灰岩層や浮遊性有孔虫の生層序面が認定されており、それらを追跡し岩相や化石群集の変化を観察することで、当時の海底の様子を沿岸から沖合・深海底までたどることが可能である。

掛川層群全体はおよそ 300 万年前から 100 万年前の間に形成された 1 つの堆積シーケンスで、汎世界的な海面変動に支配されているとされる（Masuda and Ishibashi 1991）。かれらは掛川層群中に挟在する凝灰岩層の累重様式をもとに、掛川層群を下位より低海水準期堆積体、海進期堆積体、高海水準期堆積体に区分したが、掛川層群の上部は、海進期堆積体および高海水準期堆積体に相当する。海進期堆積体を構成する大日層には、ヤグラモシオガイやヤコウガイなど、現在では台湾や屋久島以南に生息する熱帯性種の化石が多く報告されており（Ozawa et al. 1998）、大日層が堆積した当時の 200 万年前の海洋気候は現在よりも温暖な気候にあったことを示している。掛川層群上部において、沿岸から沖合にかけての貝化石群集の変化を見て歩くことは、200 万年前の温暖化に始まる海進期からその後の海退期までの間におきた堆積過程や海底の動態を復元することであり、当時の沿岸－沖合域の物質運搬過程をあぶりだす作業でもある。

著者は、これまで主に泥質砂層～シルト層の貝化石群集を調査してきた。貝化石は泥質な地層では一般に基質堆積物中に散在しており、生息場所のほぼ近くで化石化したと判断できる場合が多い。このため、海底の動態と底生動物相との関係を考察するのに適している。ここでは、Nobuhara (1999)

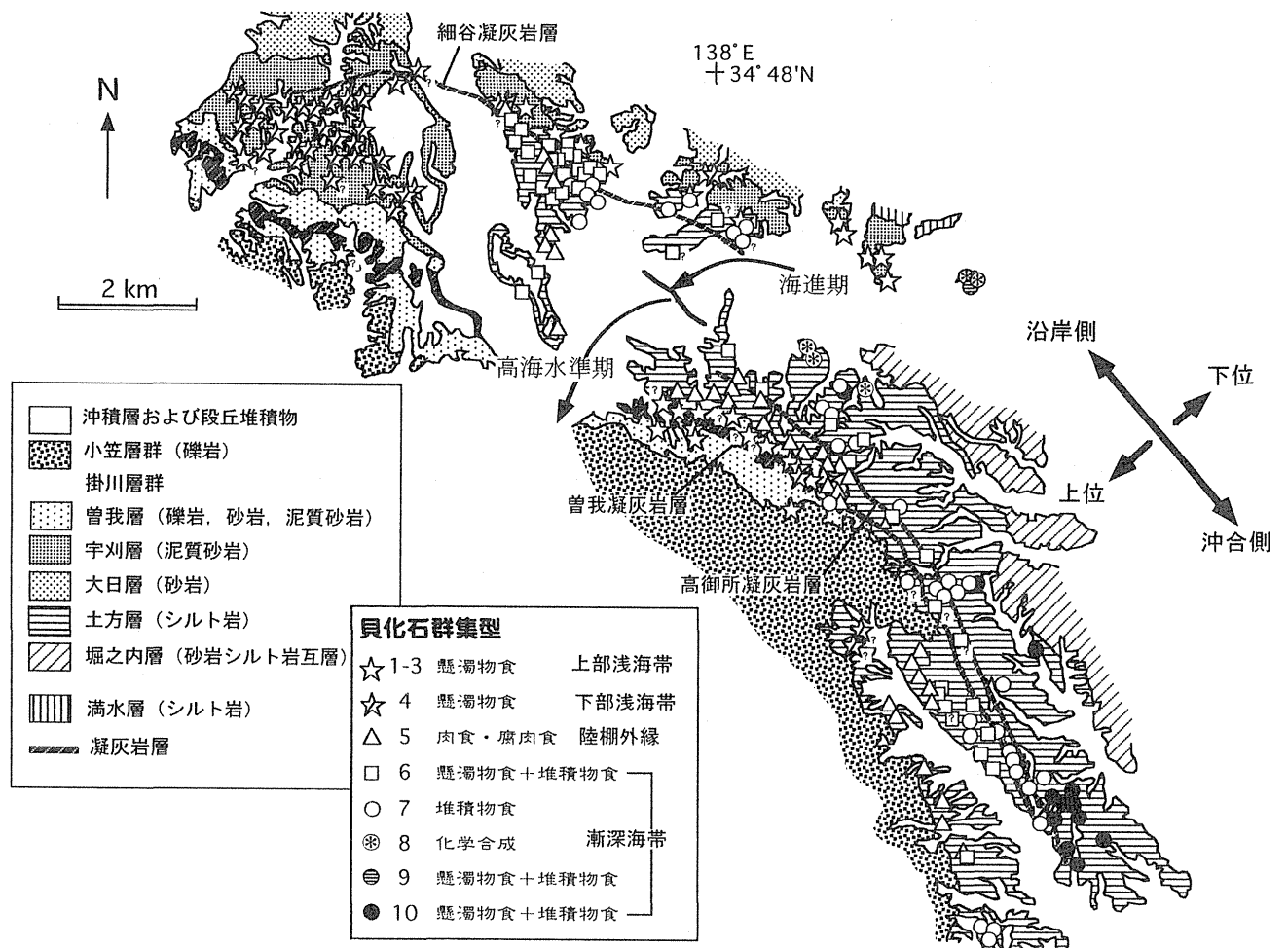


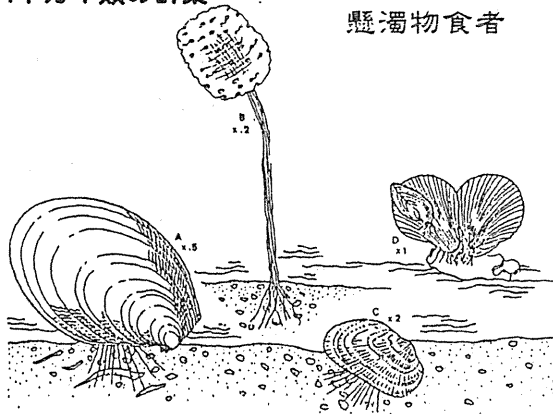
図2. 掛川層群上部の地質図および貝化石群集型の層位分布。各貝化石群集型の詳しい説明は本文を参照。

で報告した成果の一部を紹介してみたい。図2は掛川層群上部の地質図に貝化石群集型をプロットしたものである。貝化石群集は、優占種および随伴種をもとに10のタイプが認められているが、ここでは紙面の都合上、浅海域の群集型から順番にそれらの概略的特徴を述べるにとどめる。

1-4型は、宇刈層の泥質砂岩から産出する二枚貝を主体とした群集である。1-3型は主に上部浅海帯に生息する二枚貝、4型はベニグリやピノスガイモドキなど下部浅海帯に生息する二枚貝を優占種とする群集である。これらの陸棚上の浅海棲貝化石群集は懸濁物食の二枚貝類を優占種とすることで特徴づけられる。一方、それらの沖合側に分布する土方層のシルト岩からはさまざまな食性構造を示す群集型が認められる。5型はヨコヤマナサバイやクダマキガイ類などの肉食・腐肉食性の巻貝類を優占種とする群集、6型はオオシラスナガイという懸濁物食の二枚貝類で優占される種構成の単調な群集、7型はハトムギソデガイなど殻長1cmほどの体サイズの小さな堆積物食の二枚貝類で占められる群集である。8型はシロウリガイ類、オオツキガイモドキ、オウナガイなど体サイズの異様に大きな二枚貝からなる群集であるが、これらは自らの鰓中に化学合成細菌を共生させ、地下の硫化水素やメタンを利用してエネルギーを得るという特異な生態を有している。9、10型では再び懸濁物食の二枚貝であるシラスナガイ類が顕著に目立つようになるが、6型の優占種であるオオシラスナガイとは別種で、エゾバイ類などの北方海域から分布をのばしてきたと思われる要素を随伴することで

①ハネガイ類の群集

懸濁物食者

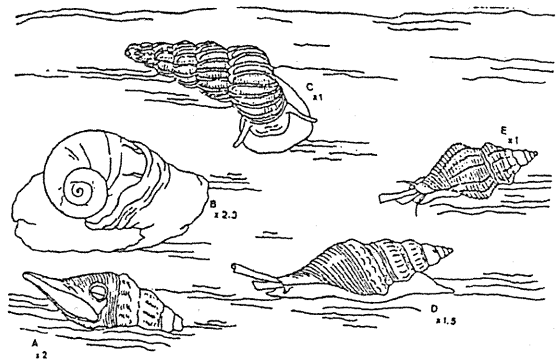


Acetes Communities: orientation and mode of life of major components. A, *Acetes*, an endobysate giant limid; B, a rooted hexactinellid sponge; C, *Porterus*, an endobysate parallelodontoid bivalve; D, epibysate terebratulid brachiopods.

地物に固着して生きる二枚貝からなる群集。海底表層をただよっている有機物粒子(懸濁物)を取り入れて食物にしている。

④クダマキガイ類の群集

肉食者・腐肉食者

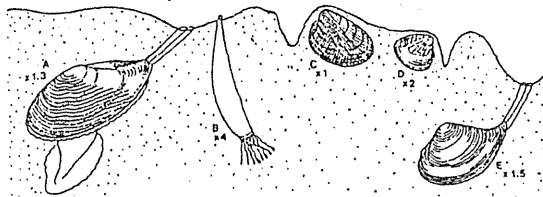


Turrid Communities: orientation and mode of life of major components. A, shell of the predatory turrid genus *Procerapes* with naticid gastropod drill hole indicating cause of mortality; B, naticid mesogastropod predator; C, *Epitonium* (*Boreoscala*), a mesogastropod of a family in which living members are parasitic on coelenterates; D, *Procerapes* (subfamily Turricinae) crawling on sediment surface; E, *Acamplogenaria* (subfamily Turriculinae) crawling on sediment surface.

数cm~5cm大の肉食者・腐肉食者の巻貝からなる。他の貝類やゴカイなどを襲ったり、魚類の死骸を漁ったりする。

②原鰓類の群集

堆積物食者

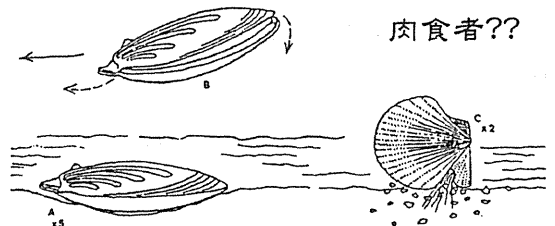


Protobranch Communities: orientation and mode of life of major components. A, *Yoldia*, a nuculanid protobranch; B, *Cudulpa*, a scaphopod co-dominant in many protobranch communities, feeding infansually on foraminifera; C, *Actia*, a nuculanid protobranch; D, *Nucula*, also a nuculanid; E, *Nuculanus*, a nuculanid.

堆積物中に埋もれて暮らす内在生の1cm弱の小さな二枚貝からなる群集。堆積物(泥)を飲み込んで粒子表面の有機物やバクテリアを消化して生きていると考えられている。

⑤クラゲツキヒガイ類の群集

肉食者??

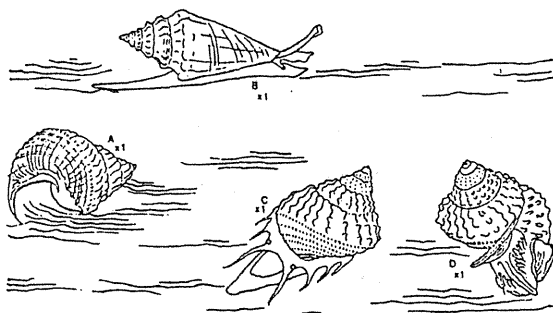


Mud Pecten Communities: orientation and mode of life of major components. A, a free-living propeamussiid resting in shallow depression on sediment surface; B, swimming propeamussiid, dashed arrows indicate direction of propulsive jets of water, solid arrow indicates direction of movement; C, thin-shelled byssally attached pectinid.

殻のうすい1cm弱の小さなクラゲツキヒガイ類が大量に密集して産出することがある。二枚貝ではあるが、小さな節足動物を吸い込んで消化する肉食者であるという説もある。

③ギンエビス類の群集

堆積物食者

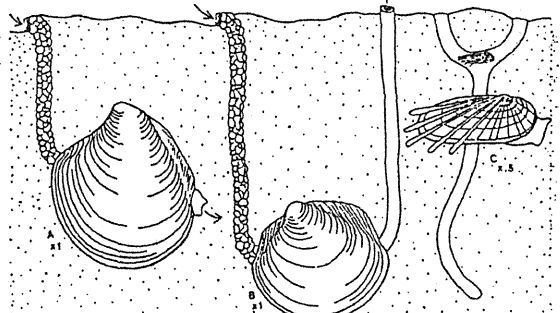


Bathyembic Communities: orientation and mode of life of major components. A, shell of *Bathyembic ocula*, the living Japanese species; B, *Coma*, an active predatory neogastropod; C, *D. Bathyembic bairdi*, the living northeastern Pacific species, shown crawling on sediment surface as during deposit feeding (C) and retracing into its shell as when disturbed (D).

ギンエビス類という4-5cm大の巻貝が多数産出する。堆積物食者と考えられている。

⑥化学合成二枚貝の群集

懸濁物食+共生細菌からのエネルギー



Thyasira-Lucina-Solemya Communities: orientation and mode of life of major components. A, *Thyasira*, with agglutinated inhalant mucous tube, reclining tip facing into current at sediment-water interface, and non-siphonate exhalant aperture. Note that inhalant tube is much longer than this in many species, permitting very deep burrowing. B, *Lucinoma*, with agglutinated inhalant mucus tube and long posterior exhalant siphon extending to sediment-water interface; C, *Solemya*, an active non-siphonate burrower with a large foot and Y-shaped burrow.

ツキガイモドキやハナシガイなどの大型の殻をもつ二枚貝が大量に密集する。地中の硫化水素やメタンを、体内に共生させているバクテリアに利用させてエネルギーを得ている。

図3. 新生代における深海性貝類群集の6つの型とその食性構造。Hickman (1984)より編図。

特徴づけられる。

図2において注目されるのは、同じシルト岩でもあるにもかかわらず陸棚外縁付近から沖合深海域に向けて、必ず5型→6型→7型と群集が変化しているパターンが、どの層準においても認められることである。しかも5型-6型-7型の群集の分布は海進期には陸側に進出してゆき、海水準の停滞期には堆積盆が前進的に埋積されてゆくのにともなってより沖合側へと逐次後退してゆく様子が読みとれる。このような群集の沖合方向への規則的な変化はなにを反映しているのだろうか？

5. 食性構造の変化は何を意味するか？

掛川層群で認められた陸棚から陸棚斜面の上部にかけての貝化石群集の示す変化は、その食性構造が規則的に変化することで特徴づけられる。すなわち、陸棚では懸濁物食の二枚貝が、陸棚外縁部では肉食・腐肉食の巻貝類が、陸棚斜面上部では泥質な海底に適応した懸濁物食二枚貝であるオオシラスナガイが、そしてさらに沖合では体サイズの小さな堆積物食者の二枚貝が、それぞれ海底の生息空間を優占している。

深海環境の貝類群集が、堆積物食者や肉食者の多い食性構造で特徴づけられることはHickman (1984) によってすでに指摘されている。彼女は、北米西岸から日本沿岸域にかけての北太平洋の現生および化石の深海棲貝類相を調査し、6つの群集型を認めた(図3)。光の届かない深海環境では、植物プランクトンによる一次生産が行われず、深海底の餌資源は(化学合成生態系のような特異な例をのぞき)基本的には浅海域あるいは海洋表層から運搬されてくる有機物に依存している。そのため深海域の底生動物は、餌資源獲得のためさまざまな適応戦略を採用しており、Hickman (1984) による6つの群集型は、それぞれの優占種がどのような餌資源を利用しているのかで特徴づけられる。例えば、二枚貝のハネガイ類は流れがあり餌が大量に運搬されてくるような場所に固着し群集を形成する。また、二枚貝の原鰓類は体サイズを小さくすることで体を維持するコストを節約し、腸を長く発達させることで難溶解性の有機物も消化できるようにしている。巻貝のクダマキガイ類やタマガイ類は、他の底生動物を摂食することでタンパク源を効率よく獲得している(二枚貝のクラゲツキヒガイ類についても肉食者ではないかという指摘がある)。また、二枚貝のツキガイモドキ類やオウナガイ類のように表層海域からの光合成産物に頼るのではなく、体内に化学合成細菌を共生させて地下からのメタンや硫化水素をエネルギー源にするものもある。このような群集の食性構造は、その生息場で利用できる餌資源の質と量とを左右する海底の動態によって決定されるものと考えられる。

では、掛川層群中に認められた食性構造の変化(陸棚から陸棚斜面域における群集変化の規則性)は、堆積盆内のどのような環境因子の変化を反映しているのだろうか？ これまでの研究で、陸棚から陸棚斜面にかけての底生動物群集の変化として一般的に報告されてきたのは、懸濁物食優占の群集から堆積物食者優占の群集への変化である。図4にBlake and Doyle (1983) によるメキシコ湾東部での研究例を示す。水深100 m前後の泥線を境に陸棚側では懸濁物食者の底生動物群集が、それ以深の陸棚斜面の泥底環境には堆積物食者からなる群集が生息している。このような砂や泥のような軟質海底における群集構造の変化は、海底における水の動きや底質(含泥率)の違いによって一般的に説明されている。すなわち、陸棚上では水の動きが大きく餌となるデトリタスは懸濁物として生息場の

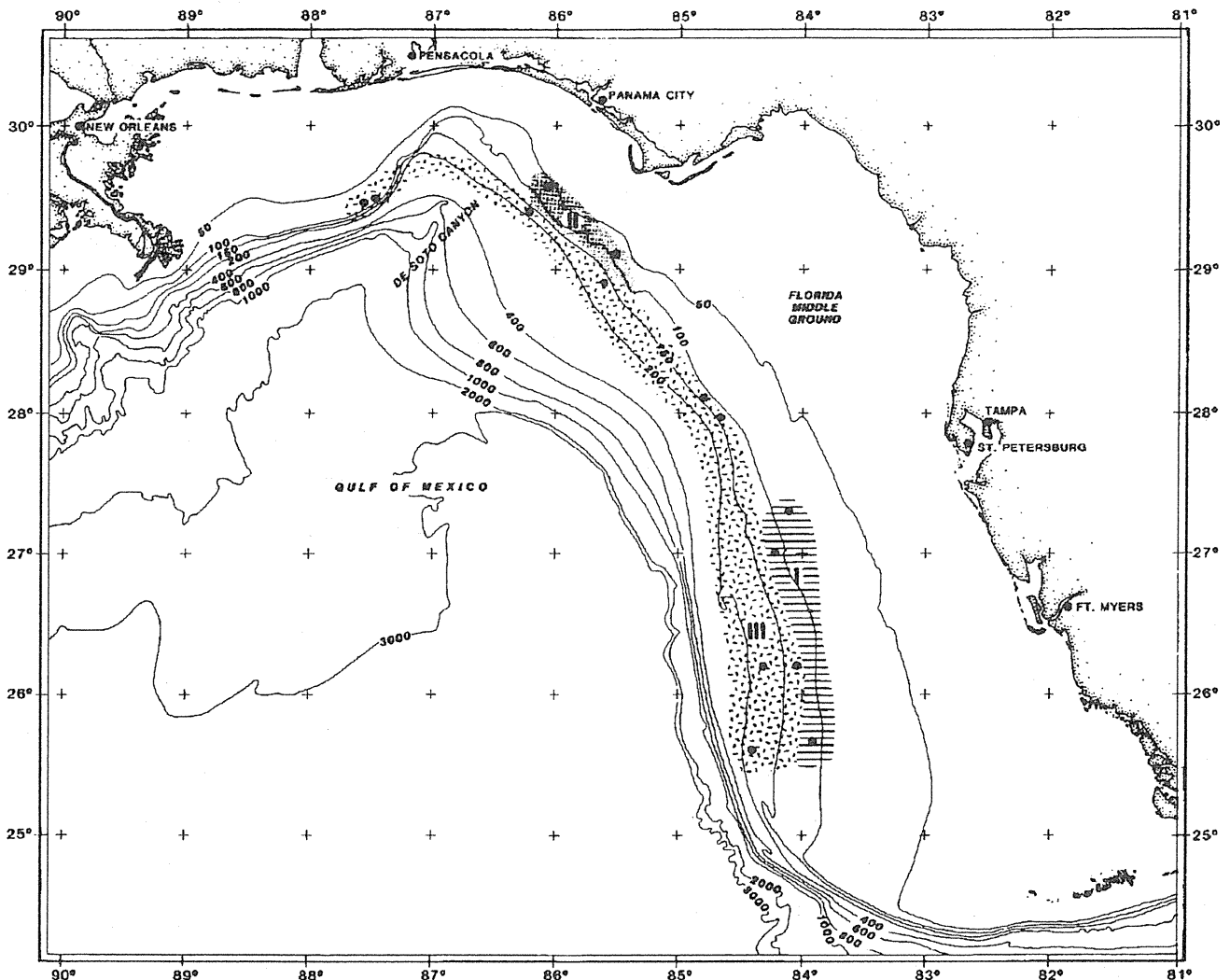


図4. メキシコ湾東部における陸棚外縁付近の貝類相。I：熱帯系要素からなる懸濁物食者の群集，II：カロライナ要素からなる懸濁物食者の群集，III：堆積物食者からなる群集。Blake and Doyle (1983) より。

海水中に豊富に存在するため、懸濁物食者の二枚貝類が優占する。一方、陸棚斜面では海水の動きは静かで底質には粘土分が多くなり、懸濁物食者の採餌・呼吸器官をスタックさせる問題が生じるが、表層堆積物中には餌資源が豊富に存在する（たとえば、鎮西 1979）。

陸棚の懸濁物食者から陸棚斜面の堆積物食者への変化という一般像に対して、鮮新—更新統掛川層群における群集変化は、(1) 陸棚外縁部に肉食／腐肉食性の巻貝類の群集が出現すること；(2) 懸濁物食者である大型のシラスナガイ類の密集するコロニーが陸棚斜面域に存在すること、で特徴づけられる。これらの群集がどのような生息場に成立していたのかを、化石産状や堆積相から推定してみる。

(1) 陸棚外縁部に認められる肉食／腐肉食性巻貝類の群集には、しばしば大量の浮遊性有孔虫化石や翼足類化石、魚類の耳石が伴われることがある。このことから、巻貝類が優占する陸棚外縁付近の海底は表層域の海洋生物由来の有機物が集積しやすい環境にあったことが伺われる。陸棚外縁では陸棚水と外洋水が接する潮目（陸棚縁フロント）が形成されており、陸棚外縁の海域表層では一次生

産の増大や浮魚群の濃密群集が認められることがある(柳 1990)。多数の高次捕食者や腐肉食者を許容する底生生物相の形成には、このように高い生物生産量をもつような表層域からの海洋生物由来の有機物の運搬・供給が関与しているのではないだろうか。

(2) 大型の懸濁物食二枚貝であるシラスナガイ類が多産する堆積物は、スランプスカーやチャネル周囲のシルト岩、または大型の植物遺体や小礫などを多く含むシルト岩など、いずれも陸源の有機物や粗粒碎屑物が比較的多く供給されるような環境が考えられる。また懸濁物食者だけが集合しているのではなく、堆積物食の大型巻貝であるギンエビス類も普通に随伴している。双方の殻共に殻頂付近は腐植されていることが多く、有機物供給量の多い泥質環境を示唆している。

深海環境では大型生物遺骸や大量の海洋プランクトン遺骸が流れてくるようなイベント時以外は、有機物供給量は一般に乏しい。このような場合、堆積物中に貯蔵された有機物に餌の資源を依拠せざるを得ず、小型の堆積物食者である原鰐類の二枚貝を主体とした軟体動物化石相が形成される。しかしながら、運搬量の大きな河川沖合における陸棚斜面の最上部や斜面途中の平坦部などでは、陸域から運搬された有機物や碎屑物が大量にプールされやすい場が生じるものと思われる。このような場所に再懸濁の条件が整えば、大型のシラスナガイ類がコロニーをつくるのではあるまいか？ シラスナガイ類は、採餌・選別器官としての鰓や唇弁を厚く発達させたり、体内に周囲の水を取り込む際にも殻表に生えた殻毛を粒子の選別にうまく役立てたりと、泥粒子で濾過器官をつまらせないような諸適応を示している(Oliver and Allen 1980)。オオシラスナガイは、有機物供給量は大きいが濾過器官をつまらせるような泥分も多いという陸棚斜面の環境をうまく利用して繁栄している仲間といえる。

以上の観察から、掛川層群中に認められる沖合泥質相の貝化石群集の規則的な変化には、陸棚から陸棚斜面域にかけておきている物質運搬過程と関係があると考えられる。図5に模式的な解釈を示したが、この群集変化の規則性の直接的な原因については貝類だけでなく底生動物全体の生態系に照らして解明しなくてはならない問題が残されている。その背景をより明確にできれば、陸棚-陸棚斜面の海底で起きている有機物の流れについて新しい知見を得ることができるとも思われる。

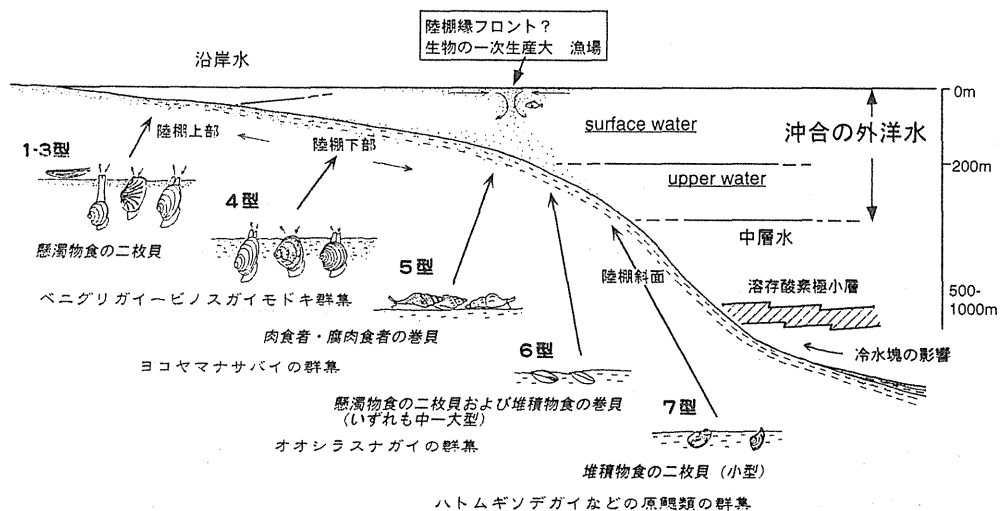


図5. 掛川層群中に認められる陸棚から陸棚斜面上部にかけての貝化石群集型の分布模式図。Nobuhara(1999)を日本語化し編図。

陸棚から陸棚斜面における物質運搬過程は、陸海間での物質循環を考える上でも重要なパスのひとつであり、堆積学や海洋地質学、地球化学や海洋微古生物学の分野が共同して国際的な研究プロジェクトが進められている(例えば、IGCP-396、464)。しかしながら、大型底生動物がそれらの物質運搬過程とどのような相互作用をしているのか、物質循環においてどれくらいの寄与をしているのかについては研究例が少ない。貝化石群集をつぶさに観察しながらその水平変化を追跡してやることで、そのような情報を補完し、また過去の陸棚-陸棚斜面域でおきていた物質運搬過程やそれに伴う生物過程を復元することも期待できる。

6. 今後の課題

著者は、同時代の西南日本各地の前弧域の地層(宮崎平野の宮崎層群や沖縄本島の島尻層群)や駿河湾-遠州灘海域の現生貝類遺骸を調査しているが、このような群集変化のパターンは鮮新世以降の黒潮域で一般的であったと考えられる。しかしながら、中期中新世の西南日本の沖合泥質相には、鮮新世以降普通に見られる陸棚外縁部の肉食/腐肉食性の巻貝群集と大型のシラスナガイ類の群集が見あたらない。中新世の前弧堆積物で軟体動物化石が豊富に産出する泥質相自体が乏しいということもあり一概に比較はできないが、それら2つの群集の構成要素、すなわち中・大型の巻貝類(ナサバイ属、アラレナガニシ属、クダマキガイ科の一部)やオオシラスナガイは、その化石記録から後期中新世~鮮新世以降に西南日本に出現したものと考えられる。このことは、中新世から鮮新世にかけて沖合・深海域において軟体動物化石群集の大きな改変があったことを示唆する。

その背景には、後期中新世の寒冷化にともなって漸新世以降居残っていた要素の消滅したこと、中新世末から鮮新世初期にかけての温暖期に暖流の北上とともに新しい南方要素が侵入・定着したこと、などの古海洋気候の変動が考えられる。またその一方で、群集の食性構造に関連する改変にはプレートの斜め沈み込み開始に伴う前弧域での物質運搬過程の変化なども関連している可能性もある。沖合・深海域の軟体動物化石群の変遷を明らかにするためには、それら鮮新世型の群集の構成要素の起源と移動を、海洋気候変動だけでなく、物質運搬過程を左右する後背地や堆積盆のテクトニクスも考慮して追跡する必要がある。

引用文献

- Aoshima, M. (1978) Depositional environment of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Japan -a comparative study of the fossil and the recent foraminifera-. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, 19, 401-441.
- Blake, N. J. and Doyle, L. J. (1983) Infaunal-sediment relationships at the shelf-slope break. In: Stanley, D. J. and Moore, G. T. (eds.) *The Shelfbreak: Critical Interface on Continental Margins*, *SEPM Spec. Publ.*, no. 33, 381-389.
- 鎮西清高 (1979) §5.3 底生群集と底質。勘米良亀齡・水谷伸治郎・鎮西清高編、岩波講座地球科学 5 地球表層の物質と環境、岩波書店、東京、235-249。
- 鎮西清高 (1980) 掛川層群の軟体動物化石群、その構成と水平分布。国立科博専報, no.13, 15-20。

- Chinzei, K. and Aoshima, M. (1976) Marine thermal structure of the Plio-Pleistocene warm water in Central Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, 19, 179-203.
- 千谷好之助 (1928) 7万5千分の1地質図幅「相良」及び同説明書。地質調査所, 24 p.
- Hickman, C. S. (1984) Composition, structure, ecology, and evolution of six Cenozoic deep-water mollusk communities. *Jour. Paleont.*, 58, 1215-1234.
- Ibaraki, M. (1986) Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Kakegawa area on the Pacific coast of Central Japan. *Rep. Fac. Sci. Shizuoka Univ.*, 20, 39-173.
- 茨木雅子 (1986) 掛川層群の浮遊性有孔虫生層序基準面とその岩相層序との関係。地質学雑誌, 92, 119-134.
- 池辺展生 (1948) "Letter nominatiton" について。地団研会誌, 2, 1-12.
- Ishibashi, M. (1989) Sea-level controlled shallow-marine systems in the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Shizuoka, Central Honshu, Japan: Comparison of transgressive and regressive phases. In: Taira, A. and Masuda, F. (eds.) *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, Terra Scientific Pub. Com., Tokyo, 345-363.
- 石田志朗・牧野内 猛・西村 昭・竹村恵二・檀原 徹・西山幸治・竹田 明 (1980) 掛川地域の中
部更新統。第四紀研究, 19, 133-147.
- 亀尾浩司 (1998) 石灰質ナンノ化石からみた掛川上部新第三系・第四系層序-満水層の層位的位置について。地質学雑誌, 104, 672-686.
- Makiyama, J. (1925) The evolution of *Umbonium*. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, 3, 119-130.
- Makiyama, J. (1927) Molluscan fauna of the lower part of the Kakegawa Series in the province of Totomi, Japan. *Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B*, 3, 1-147, pls. 1-6.
- Makiyama, J. (1931) Stratigraphy of the Kakegawa Pliocene in Totomi. *Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B*, 7, 1-53, pls. 1-2.
- Makiyama, J. (1941) Evolution of the gastropod genus *Siphonalia* with accounts on the Pliocene species of Totomi and other examples. The Ketienzian fauna series no. 1. *Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B*, 16, 75-93.
- 槇山次郎 (1963) 掛川地方地質図説明書。地質調査書, 30 p.
- 槇山次郎・坂本 亨 (1957) 5万分の1地質図幅「見付・掛塚」および同説明書。地質調査書, 50 p.
- Masuda, F. and Ishibashi, M. (1991) Onlap and downlap patterns in a depositional sequence of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group in Japan. *Jour. Sed. Soc. Japan*, no. 34, 75-78.
- 西田史朗 (1978) 相良・掛川地域上部新生界の石灰質超微化石層序。奈良教育大学紀要 (自然科学), 27, 85-97.
- 西村 進 (1977) フィッション・トラック法による火山灰年代決定の再検討。日本地質学会関西支部報, 80, 8.
- Nobuhara, T. (1993) The relationships between bathymetric depth and climate change and its effect on molluscan faunas of the Kakegawa Group, central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc.*

Japan, no. 170, 159-185.

- Nobuhara, T. (1999) Horizontal distribution of molluscan assemblages in shelf-to-slope transects in the Plio-Pleistocene of Southwest Japan. *In*: Saito, Y., Ikehara, K., and Katayama, H. (eds.) *Land-Sea Link in Asia "Prof. Kenneth O. Emery Commemorative International Workshop"*, *Proceedings of an international workshop on sediment transport and storage in coastal sea-ocean system, Tsukuba, Japan, March 15-19, 1999*, 427-431.
- 尾田太良 (1971) 相良層群の微化石層位学的研究。東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, no. 72, 1-23.
- Oda, M. (1977) Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the late Cenozoic sedimentary sequence, central Honshu, Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, 48, 1-72.
- Oliver, G. and Allen, J. A. (1980) The functional and adaptive morphology of the family Limopisidae (Bivalvia: Arcoida) from the Atlantic. *Phil. Trans. Royal Soc. London, Ser. B*, 291, 77-125.
- Otuka, Y. (1939) Tertiary crustal deformation in Japan (with short remarks on Tertiary palaeogeography). *Jubl. Publ. Comm. Prof. H. Yabe's 60th Birthday*, 1, 481-519.
- Ozawa, T., Tanaka, T. and Tomida, S. (1998) Pliocene to Early Pleistocene warm water molluscan fauna from the Kakegawa Group, Central Japan. *Nagoya University Furukawa Museum, Special Report No. 7*, 204 p.
- Sakai, T. and Masuda, F. (1996) Sequence stratigraphy of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Shizuoka, Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 45, 154-169.
- 齊藤常正 (1960) 静岡県島田・掛川市付近の第三系とその浮遊性有孔虫化石群。東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, no. 51, 1-45.
- 里口保文・吉川周作・笹尾英嗣・永橋良隆 (1996) 静岡県の鮮新-更新統掛川層群上部の火山灰層とその広域対比。地球科学, 50, 483-500.
- Shibata, K., Nishimura, S. and Chinzei, K. (1984) Radiometric dating related Pacific Neogene planktonic datum planes. *In*: Ikebe, N. and Tsuchi, R. (eds.) *Pacific Neogene Datum Planes -Contributions to Biostratigraphy and Chronology-*, Univ. Tokyo Press., 85-89.
- 杉山敏郎 (1935 a) 本邦産現生及び化石種 *Umbonium* の貝殻の変異及びその進化について (其の1)。地質学雑誌, 42, 404-429.
- 杉山敏郎 (1935 b) 本邦産現生及び化石種 *Umbonium* の貝殻の変異及びその進化について (其の2)。地質学雑誌, 42, 440-482.
- 杉山雄一 (1989) 島弧における帯状構造の屈曲とプレートの斜め沈み込み 第2部 -西南日本外帯の屈曲構造とプレート間相対運動の変遷-。地質調査所月報, 40, 543-564.
- 杉山雄一 (1992) 西南日本前弧域の新生代テクトニクス-静岡地域のデータを中心にして-。地質調査書月報, 43, 91-112.
- Tsuchi, R. (1961) On the late Neogene sediments and mollusks in the Tokai region, with notes on

- the geologic history of the Pacific coast of Southwest Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, 32, 437-456.
- Tsukawaki, S. (1994) Depositional environments of the Sagara and Kakegawa Groups (Middle Miocene-Early Pleistocene), and the evolution of the sedimentary basin, central Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, 63, 1-38, pls. 1-6.
- Ujiié, H. (1962) Geology of the Sagara-Kakegawa sedimentary basin in central Japan. *Rep. Fac. Sci. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C*, 8, 123-188.
- 柳 哲雄編 (1990) 潮目の科学—沿岸フロント域の物理・化学・生物過程—。恒星社厚生閣，東京。169 p.
- Yokoyama, M. (1923) Tertiary mollusca from Dainichi in Totomi. *Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 45, art. 2, 1-18, pl. 1-2.
- Yokoyama, M. (1926) Tertiary mollusca from southern Totomi. *Jour. Fac. Sci. Imp. Univ. Tokyo, sec. II*, 1, 313-364, pls. 38-41.
- 吉田俊秀 (1981) 静岡県掛川地方に分布する掛川層群より産する軟体動物化石集団。軟体動物の研究 (大森昌衛教授還暦記念論文集), 327-340.
- Yoshida, K. and Niitsuma, N. (1976) Magnetostratigraphy in the Kakegawa district. In, Tsuchi, R. ed., *Neogene geology of the Kakegawa district. 1-CPNS, Guidebook for Excursion 3, Kakegawa district*, 54-59.