

共同研究中間報告

海洋バイオシステム研究センター 共同研究の内容

さまざまな時間スケールの海洋の環境変動に対する海洋バイオシステムの応答様式の解明
—黒潮・親潮変動を支配する気候システムの変遷との関連—

海洋バイオシステム研究センター

1. 研究の目的

本研究は、海洋の環境変化が生物相に与えるさまざまな影響を解明するものである。そのモデルケースとして、日本人に密接に関わっている日本列島周辺を流れる黒潮・親潮の変動を取り上げ、両海流のさまざまな時間スケールでの変化が、海洋生物相を歴史的にどのように変えたのかを、現生生物相と化石相とを総合して明らかにする。その上で、将来起こると危惧されている温暖化などの重大な環境変化を予測するための重要な基礎データを提供する。

2. 研究の背景

海洋バイオシステム研究センターがある小湊と銚子の沖合海域は、暖流の黒潮と寒流の親潮とが会合する。両海流は日本列島太平洋側海域における主要な2大海流であるとともに、北半球太平洋の重要な大循環を構成する。これまでの海洋学的研究によって、両海流はさまざまな時間スケールでの気候変動とともに消長してきたことが明らかになっている。たとえば、エルニーニョなどの赤道域で起こる気候変動に関連して日本周辺の気候システムが変化し、両海流の消長が見られる現象は、人類の生活に影響をおよぼす顕著な例である。より古い過去である地質時代にも、地球の公転軌道の変化に伴った日射量の変化によって、数万年規模のより長い間隔で気候変動が生じ、その結果、両海流の規模が変化したことが知られている。このように地質学的時間スケールを含めた歴史的な両海流の消長は、日本列島太平洋側海域に生息する海洋生物相に大きな変化を与えている。海洋生物相の変化を理解するためには、気候の変化に伴う海流変動をさまざまな時間スケールで考察し、海洋環境の変遷に対する海洋生物相への応答という観点から研究する必要がある。この観点に立って海洋バイオシステム研究センター（現海洋バイオシステム研究分野および古海洋バイオシステム研究分野）の共同研究テーマが立案された。

3. 研究の重要性

現在の黒潮・親潮の変動が、現在の日本人の生活にきわめて重要な影響を与えていることは言うまでもない。その影響は気候の変化だけではなく、漁業や農業などの根本的な経済活動にも及んでいる。それは海洋システムの変動に伴い生物相がさまざまな規模と様式で応答しているからである。したがって、環境変動と生物相のそれとの応答様式とそのおもな要因を解明するためには、まず生物相（化石相）の変動の様式を把握することが重要となる。また、海洋環境と生物相との間の応答はさまざまな時間スケールで生じていると考えられるので、現在の人間生活の短い時間スケールから過去のより長い時間スケールで検討される必要がある。過去から現在の生物相の変動を明らかにすることによって、はじめて気候変動による生物相の変化を予測することが可能となる。将来予想される地球規模での温暖化現象が、生物相にどのような影響を与えるのかを予測するには、このような観点からの研究が必要である。

4. 本研究を海洋バイオシステム研究センターが行う利点

本研究センターは、銚子と小湊とに研究の拠点を持っている。銚子、小湊とも両海流の直接的な影響をうける位置にある。つまり現在は小湊沖は黒潮の影響下にあり、銚子沖の海域は黒潮・親潮混合水域にある。したがって、銚子および小湊は、地理的位置から見て、この研究の重要な拠点として欠かせない。

本研究は、現在と過去のバイオシステム、つまり過去から現在までのバイオシステムの変遷の解明があって初めて成り立つ。センター教官は各自、独自にその一部分を担当してきている。本研究はそれらの個別研究を統合することによって研究の目的を達成できる。また日本には臨海実験施設は多いが、地質学的過去から現在までの時系列で生物相の変遷を読みとり、それを環境変動の研究と結びつける研究課題をもつ研究施設は他になく、センターの特質が生かされる。

5. 研究内容

この研究は大きく二分される。一つは現在の生物相の把握ならびにモニタリングと、現在の地球科学的（短期的）変動の観測であり、人間の生活スケールでの生物相の変遷を追うことにもつながる。もう一つは、より長い時間スケールで生じる環境変動に対する生物の応答と、連動して生じた地質学的（長期的）変動を明らかにするものである。前者はおもに現海洋バイオシステム研究分野が、後者はおもに古海洋バイオシステム研究分野が担当する。

研究は現在の生物相あるいは残された化石（過去の生物）相の把握に始まり、生物相のモニタリングおよび地

層中の化石の解析に基づく環境の変動様式の解明へと進む。また環境を変化させるさまざまな地球科学的要素の変動様式を、現在ならびに過去のデータから明らかにする。そして以上の研究を総括し、総合的解釈を行う。いずれの分野も取り扱う生物の種類が多く、かつバックグラウンドとして地球科学的検討が必要となるので、研究はきわめて広範囲に及ぶことが予想される。したがって、それぞれの分野が、理学部や環境リモートセンシング研究センター、あるいはそれ以外の部局・研究機関の関連専門家と共同研究を行い、それぞれの研究成果を充実させることが重要である。また、現海洋ならびに古海洋の研究成果を融合するために、広い視野をもったインテグレーターとしてシステム解析分野が必要となる。

5-1. 現在のバイオシステムと変動様式に関する研究

主な研究目的

海洋環境ならびに気候変動に対する現生生物相の応答様式を解明する。

主な研究項目

- (1) 遺伝子レベルでの比較を含めた、総合的な現生生物相の把握(小湊、銚子)
- (2) 生物相の季節変動、年変動のモニタリング(小湊、銚子)
- (3) 電磁気学的な手法による、海流変動のモニタリング(小湊、銚子)

共同研究が可能な他組織

学内：理学部生物学科、環境リモートセンシング研究センター、自然科学研究科、薬学部。

学外：国立科学博物館、東京大学大学院理学研究科、東京女子医科大学、その他の海洋生態系を研究する臨海実験所等または関連専門分野を有する機関。

5-2. 過去のバイオシステムとその変動様式に関する研究

主な研究目的

現生生物の変動では読むことのできない、より長い時間スケールでの生物相の変遷を、化石相の変化を明らかにすることによって考察する。また、過去の地質時代に生じたバイオシステムの変動は、さまざまな地質学的変化(地層の形成、地殻変動)にも影響を受けるので、房総半島の形成そのものも考察する必要がある。

主な研究項目

- (1) 房総半島に分布する地層に含まれる化石相の把握
- (2) 数百年、数千年、数万年オーダーの化石相の変動とそれを支配した海洋環境の解明
- (3) 時間スケールの異なる地質現象(テクトニクスなど)が海洋環境変動に与える影響

共同研究が可能な他組織

学内：理学部地球科学科(化石相の把握と変遷の解明、テクトニクスなどの地質現象の解明)、環境リモートセンシング研究センター、自然科学研究科。

学外：東京大学海洋研究所、海洋科学研究センター、筑波大学地球科学系、理化学研究所、東海大学、その他の関連専門分野を有する機関。

5-3. 現在のバイオシステムと過去のバイオシステムのインテグレーション

主な研究目的:

上記の5-1ならびに5-2で明らかにされる時間スケールの異なるバイオシステムの変動を総括し、生物相変動に影響を与える環境要因を解明し、将来予測に寄与する生物相変動モデルを提言する。

主な研究項目:

- (1) 異なる時間スケールの海洋環境変遷と、それに連動した生物相変化の総括
- (2) 太平洋沿岸域の海洋環境の変化に伴う、生物相変化の将来予測

以下に各教官の分担課題についてその研究成果を示します。

植物プランクトンの競争

宮崎龍雄（現海洋バイオシステム研究分野）

はじめに

海洋・湖沼などの水域においては、人間活動の活発化にともない異常な植物プランクトン増殖がおこっており、いろいろと不都合が生じてきている。例えば、飲料水確保、農業灌漑用水確保、景観保持などに支障をきたしている。植物プランクトンを構成する藻類でも不都合を生じさせる種類と生じさせない種類がある。不都合をきたす種類が多くなったときに、異常な植物プランクトン増殖がおこったということになる。したがって、どのような種類の藻類がどのようなときに多くなるかを調べることは、海洋などの水環境を維持する際に重要な情報を提供することになる。これらの研究を行う場合、単に各種の植物プランクトン性藻類の増殖を調べるのでは不十分であり、藻類と環境がバイオシステムを構成するという考え方で、研究を進める必要がある。

植物プランクトンを構成する藻類は、窒素などの栄養塩を成長に必要とし、細胞内に取り込む。この栄養塩の取込やすさは、藻類のそれぞれの種で異なる。この取込やすさは、それぞれの種の成長を左右する。これをもとに、栄養塩を取り合う競争(競合)が生じる。本研究では、この競争機構を解析した。特に、湖沼などの水の交換速度が競争に与える影響を検討し、植物プランクトンの多様性維持機構を検討した。

競争

はじめは、水域における具体的な種を想定した植物プランクトンの競争について理論的、実験的研究を行なった。窒素源としてアンモニアを用い、窒素をめぐる競争を検討した。藍藻 *Microcystis novacekii* と緑藻 *Scenedesmus quadricauda* の優占性を主に栄養塩供給速度(培地の交換速度)を変化させた場合に調べた。連続的供給では、供給する培地の栄養塩濃度が低い場合には藍藻が優占し、栄養塩濃度が高い場合には緑藻が優占した。断続的供給では、連続的供給で藍藻が優占する栄養塩濃度でも、緑藻が優占した。この研究においては、初めに、藻類の生育に関する生理的パラメーターから、理論的検討を行ない、次に実験的検証を行なった。生理的パラメーターの検討により、藻類の優占を予測可能であることが判明した。この研究の結果、水界における有害藻類の制御に栄養塩供給速度を変化させることが有効であると予想できた。また、いままでの研究では栄養塩の濃度を藻類制御において注目することが多かったが、栄養塩供給速度、流量調節などが重要であると指摘できた。

上記の藻類の競争実験において低濃度の栄養塩の場合、藻種の優占が変わる希釈率(培地の交換速度)が栄養塩濃度に依存するという結果を得たが、これを説明するために、希釈率に実効希釈率と名目希釈率があると想定した。実効希釈率は、名目希釈率の関数であると考え、飽和型の依存関係にあるとした。こうすると、低濃度での優占に関する現象を説明できた。このような考え方は、植物プランクトンの多様性についての、いわゆる「プランクトンのパラドックス」を説明することを可能にするものであった。「プランクトンのパラドックス」とは、均一な水環境中で、多種の植物プランクトンが存在するのは、不思議だというものである。一般に、均一な環境中に生き残れる生物は平衡状態では一種であるというのが、競争理論の結論である。それにもかかわらず、水環境中では、多種の植物プランクトンが存在するのである。

このパラドックスを説明するために、一般的に考えられているのは、不断に小さな攪乱があるというものである。確かに、この攪乱も多様性をもたらす原因の一つであるが、定常状態に近い状況では、攪乱だけでは説明が困難である。栄養塩が低く、希釈も少ない環境、たとえば、外洋域などは定常な状況に近く、攪乱だけでは説明不能であろう。希釈率を上記のようにかんがえると、外部環境の水の交換率(名目希釈率)がたとえ一定であっても、実効希釈率が、種それぞれに異なると考えられるので、多種が存在できると考えることができる。

更に、「プランクトンのパラドックス」の説明を発展させるために、格子モデルを用いた考え方の導入を試みた。以前に用いたモデルは、連続的な微分方程式を利用して解をもとめた。このモデルは、離散的なもので、種それぞれの空間的相互の関係を考慮して植物プランクトンの相互作用の研究には、適したものである。

10種程度植物プランクトンが存在する系を想定し、多様性、その栄養塩濃度との関係を計算してみた。低濃度では、多様性が多くなる傾向にあった。しかし、無限時間では、また、多様性が

減少した。これは、無限大の時間ではないがかなり大きい時間では、多様性が保たれることを示している。多様性は、完全な平衡への過渡現象として生じるものとも考えられる。しかし、これは、攪乱とも異なる。

格子モデルによって、また、「富栄養化のパラドックス」も説明可能となった。このパラドックスは、富栄養化が進めば栄養が多いので、本来たくさんの種類が共存可能になるはずなのに、実際は、栄養塩濃度が高くなりすぎると、かえって多様性がさがるというものである。これについては、国内の栄養度の異なる湖沼での植物プランクトンの多様性を調査した報告がある。この説明のため、栄養環境のゆれを考えている理論もあるが、その場合、そのゆれが、貧栄養、富栄養環境にもかかわらずほぼ同じ程度としている。実際は、貧栄養環境では、栄養環境のゆれ幅は、富栄養環境より小さいはずである。したがって、このゆれをかんがえる説明では、「富栄養化のパラドックス」を必ずしも十分に説明できたとはいえない。今回の研究では、これらの欠点を克服したものを提出できた。

本研究に関連した発表論文

- Urabe, J., Sekino, T., Nozaki, K., Tsuji, A., Yoshimizu, C., Kagami, M., Koitabashi, T., Miyazaki, T. and Nakanishi, M. (1999) Light, nutrients and primary productivity in Lake Biwa: an evaluation of the current ecosystem situation. *Ecological Research* 14: 233-242.
- Nagao, F. and Miyazaki, T. (1999) A modified ^{15}N tracer method and new calculation for estimating release of dissolved organic nitrogen by freshwater planktonic algae. *Aquatic Microbial Ecology*: 16: 309-314.
- Kuwata, A. and Miyazaki, T. (2000) Effects of ammonium supply rates on competition between *Microcystis novacekii* (Cyanobacteria) and *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyta): Simulation study. *Ecological Modelling* 135(1): 83-89.
- Miyazaki, T. (1999) Blooms and control of cyanobacteria in agricultural systems. *Biosystem Studies* 2(1): 100-101.
- Miyazaki, T., Kuwata, A. and Takeya, K. (1999) Blooms and control of cyanobacteria in Agricultural irrigation systems. *Biosystem Studies* 2 (2): i-viii.
- Miyazaki, T., Takeya, K. and Yoshida, M. (2001) The effects of water exchange, nutrient concentration and temperature on composition between *Microcystis novacekii* (Cyanobacteria) and *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyta). International Workshop for Protecting Pollution of Aquatic Environment
- Nagao, F. and T. Miyazaki (2002) Release of dissolved organic nitrogen from *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyta) and *Microcystis novacekii* (Cyanobacteria). *Aquatic Microbial Ecology* 27: 276-284.
- Miyazaki, T., K. Takeya, T. Togashi, N. Nakagiri, T. Suzuki and Jin Yoshimura. (2003) Effects of ammonium concentration and dilution on the competition between the cyanobacterium *Microcystis novacekii* and green alga *Scenedesmus quadricauda*. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003*. Pages 742-746.
- Yoshimura, J., H. Amagai, T. Suzuki, T. Togashi and T. Miyazaki. (2003) Population dynamics of some mutualistic relationships. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003*. Pages 730-735.
- Nakagiri, N., K. Tainaka, T. Togashi, T. Miyazaki and J. Yoshimura (2003) Parameter sensitivity in a lattice ecosystem with intraguild predation. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003*. Pages 1691-1696.
- Suzuki, T., N. Nakagiri, K. Tainaka, T. Togashi, T. Miyazaki and J. Yoshimura (2003) A role of a low-density species on the community outcomes in a model ecosystem. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003*. Pages 1673-1678.
- Miyazaki, T., T. Togashi, T. Suzuki, T. Hashimoto, K. Tainaka and J. Yoshimura (in press) The coexistence of phytoplankton species with varying nutrient conditions: a lattice simulation model *Ecological Modelling* (in press)
- Takeya, K., Kuwata, A., Yoshida, M. and Miyazaki, T. (in press) Effect of dilution rate on competitive interactions between the cyanobacterium *Microcystis novacekii* and the green alga *Scenedesmus quadricauda* in mixed chemostat cultures (in press).

房総半島のウミウシ相と海流

平野義明(現海洋バイオシステム研究分野)・滝口謙一・平野弥生
・渡邊智弘・姉帯勇規・井島洋一・島津陽一・須藤耕佑

研究の目的

ウミウシ類(軟体動物腹足綱・後鰓類)の多くは、浮遊幼生を経て変態し底生生活に移行するため、その地理的分布は海流の影響を強く受ける。北赤道海流から伸びて日本の太平洋沿岸に沿って北上する黒潮は房総半島に至ると大きく離岸し始め、一方、ベーリング海から千島列島に沿って南下してくる親潮は東北の金華山沖に達すると沈み込み潜流となる。こうした暖流と寒流の2大海流が房総半島の沿岸生物相に、どのような影響を及ぼしているのか、詳細な点になると未知の部分が思いのほか大きいことに気付かされる。

本研究は、房総半島沿岸の3地点、半島南端の館山、半島中央部に位置する小湊、最北端の銚子、これらの地域のウミウシ相の比較を通して海流の影響を詳細に評価しようとするものである。ここに、これまでの結果を中間報告する。

現在までに得られた知見

採集は、潮間帯から水深10mに至る亜潮間帯において、主として、磯歩きと素潜りによって行っている。本プロジェクト開始から現在までの約2年間に発見・採集されたものに加え、1990年以後、採集し保管してきた標本も用いて現在までに同定を終えることのできたもの、計128種の採集地を表に示す。表には、比較のため、別のプロジェクト研究として行っている相模灘(主として三浦半島および伊豆半島)の調査によって得られた知見、さらに以前から行ってきた北海道各地の調査で得られた知見、これらに文献からの知見も加えた。

小湊と館山で採集された種類のほとんどは、暖流系の種で構成されており、それらは三浦半島や伊豆半島でも分布が確認されている。一部に、アリモウミウシやホリミノウミウシなどのように北海道にも分布する種を含むが、これらの多くは、北海道でも対馬暖流の影響が及ぶ日本海側およびオホーツク海沿岸で採集されているものである。一方、銚子で発見された種類には北海道との共通種がより多く含まれる。そのうち、エゾカスリウミウシ、スギノハウミウシは、アリューシャン列島を挟んで北米西海岸にも分布する寒流系の種である。

また、今まで太平洋沿岸では、相模湾あたりまでしか分布が知られていなかったヒメエダウミウシ、シラユキウミウシ、セスジミノウミウシなどが銚子でも見つかリ、暖流系の種が予想以上に半島北端まで分布を拡げていることがわかった。これと対照的に、明らかに寒流系の種で、銚子より南で分布が確認されたものは、未だにいない。

今後の課題

今後は、さらに組織だったプロジェクトによる野外調査を展開し、信頼に足る分類の知見を集積することを継続し、鍵となる主要種については発生様式や幼生の浮遊期間の見積もりをはじめとした生活史の特性を解明したい。また、個体群の分散過程も評価できるような研究にも一層取り組んでいくつもりである。遺伝子レベルから見るメタ個体群の比較研究も必要になるだろう。いずれにせよ、ウミウシ類という研究材料の優れた面を十分に活用し、房総半島全体という自然の実験場の利点を生かして本研究プロジェクトを発展させていく。

謝辞

最後に、銚子でくり返し行っている夜間調査などにも骨身を惜しまず助力してくれている現地海洋バイオシステム研究センター銚子実験場の羽賀秀樹技官に衷心より感謝申し上げたい。

房総半島産後鰓類とその分布

目	(亜目)科	種	小湊	館山	銚子	相模灘	北海道	
Cephalaspidea (頭楯目)	Acteonidae	<i>Pupa strigosa strigosa</i> (Gould, 1859) (コシイノミガイ)				* 3		
	Hydatinidae	<i>Hydatina physis</i> (Linnaeus, 1758) (ミズガイ)						
	Retusidae	<i>Retusa (Decolifer) insignis</i> (Pilsbry, 1904) (コメツブガイ)				* 3		
	Philinidae	<i>Philine aregentata</i> Gould, 1859 (キセワタガイ)					* 3	
		<i>Philine rubrata</i> Gosliner, 1988 (アカキセワタ)				* 4		
		<i>Hermania infantilis</i> Habe, 1950 (チゴキセワタ)				* 3		
	Aglajidae	<i>Chelidonura hirundinina</i> (Quoy & Gaimard, 1832) (ニシキツバメガイ)						
	Gastropteridae	<i>Siphopteron flavum</i> (Tokioka & Baba, 1964) (キイロウミコチョウ)				* 4		
		<i>Gastropterion bicornutum</i> Baba & Tokioka, 1965 (アマクサウミコチョウ)						
	Haminoeidae	<i>Haloa japonica</i> (Pilsbry, 1895) (ブドウガイ)						
Bullidae	<i>Bulla ventricosa</i> Gould, 1859 (ナツメガイ)							
Sacoglossa (囊舌目)	Elysiidae	<i>Elysia ornata</i> (Swainson, 1840) (コノハミドリガイ)						
		<i>Elysia setoensis</i> Hamatani, 1968 (セトミドリガイ)						
		<i>Elysia obtusa</i> Baba, 1938 (オトメミドリガイ)						
		<i>Elysia abei</i> Baba, 1955 (アベミドリガイ)						
		<i>Elysia amakusana</i> Baba, 1955 (アズキウミウシ)						
		<i>Elysia trisinuata</i> Baba, 1949 (ヒラミルミドリガイ)						
		<i>Elysia atroviridis</i> Baba, 1955 (クロミドリガイ)						
		<i>Thuridilla vatae</i> (Risbec, 1928) (ヨゾラミドリガイ)						
		Caliphyllidae	<i>Polybranchia orientalis</i> (Kelaart, 1858) (カンランウミウシ)					
		Limapontiidae	<i>Ercolania boodleae</i> (Baba, 1938) (アリモウミウシ)					
<i>Ercolania subviridis</i> (Baba, 1937) (ウスミドリモウミウシ)								
<i>Placida dendritica</i> (Alder & Hancock, 1843) (ミドリアマモウミウシ)								
<i>Stiliger aureomarginatus</i> Jensen, 1993 (テントウウミウシ)								

目	(亜目)科	種	小 湊	館 山	銚 子	相模 灘	北海 道
	Hermaeidae	<i>Aplysiopsis nigra</i> (Baba, 1949) (クロモウミウシ)				* 1	
		<i>Aplysiopsis orientalis</i> (Baba, 1949) (トウヨウモウミウシ)				* 1	
		<i>Aplysiopsis toyamana</i> (Baba, 1959) (トヤマモウミウシ)					
Anaspidea (無楯目)	Aplysiidae	<i>Aplysia kurodai</i> (Baba, 1937) (アメフラシ)					
		<i>Aplysia juliana</i> Quoy & Gaimard, 1832 (アマクサアメフラシ)					
		<i>Aplysia parvula</i> Gould in Moersch, 1863 (クロヘリアメフラシ)					
		<i>Aplysia oculifera</i> Adams & Reeve, 1850 (ミドリアメフラシ)					
		<i>Dolabella auricularia</i> (Lightfoot, 1786) (タツナミガイ)					
		<i>Stylocheilus striatus</i> (Quoy & Gaimard, 1832) (クロスジアメフラシ)					
Notaspidea (背楯目)	Pleurobranchidae	<i>Pleurobranchaea japonica</i> Thiele, 1925 (ウミフクロウ)					
		<i>Berthellina citrina</i> (Riippell & Leuckart, 1828) (ホウズキフシエラガイ)					
		<i>Pleurobranchus hirasei</i> Baba, 1971 (カメノコフシエラガイ)					
Nudibranchia (裸鰓目)	(Doridina) Goniodorididae	<i>Goniodoris joubini</i> Risbec, 1928 (コネコウミウシ)				* 1	
		<i>Goniodoris castanea</i> Alder & Hancock, 1846 (ネコジタウミウシ)					
		<i>Goniodoris sugashimae</i> Baba, 1960 (スガシコネコウミウシ)					
		<i>Goniodoridella savignyi</i> Pruvot-Fol, 1933 (コトヒメウミウシ)				* 3	
		<i>Ancula kariyana</i> Baba, 1990 (カリヤウミウシ)				* 4	
		<i>Hopkinsia hiroi</i> (Baba, 1938) (ヒロウミウシ)					
		<i>Hopkinsia plana</i> (Baba, 1960) (ヒメイバラウミウシ)					
		<i>Okenia distincta</i> Baba, 1940 (ムツイバラウミウシ)					
		<i>Okenia pellucida</i> Burn, 1967 (セスジイバラウミウシ)				* 3	
	Polyceridae	<i>Polycera fujitai</i> Baba, 1937 (フジタウミウシ)					
		<i>Polycera hedgpethi</i> Marcus, 1964 (クロコソデウミウシ)					
		<i>Kaloplocamus ramosus</i> (Cantraine, 1835) (エダウミウシ)					
		<i>Kaloplocamus acutus</i> Baba, 1955 (ヒメエダウミウシ)					

目	(亜目)科	種	小 館 銚 相 北 湊 山 子 模 海 道
	Gymnodorididae	<i>Gymnodoris inornata</i> (Bergh, 1880) (キヌハダウミウシ)	
		<i>Gymnodoris citrina</i> (Bergh, 1877) (キヌハダモドキ)	
		<i>Gymnodoris alba</i> (Bergh, 1877) (アカボシウミウシ)	* 1
	Vayssiéridae	<i>Vayssiérea elegans</i> (Baba, 1930) (オカダウミウシ)	* 3
	Actinocyclusidae	<i>Actinocyclus japonicus</i> (Eliot, 1913) (アマクサウミウシ)	
	Dorididae	<i>Homoiodoris japonica</i> Bergh, 1881 (ヤマトウミウシ)	
		<i>Platydorís tabulata</i> (Abraham, 1877) (ネズミウミウシ)	
		<i>Platydorís speciosa</i> (Abraham, 1877) (クモガタウミウシ)	
		<i>Platydorís cruenta</i> (Quoy & Gaimard, 1832) (ユウゼンウミウシ)	
		<i>Archidorís tricolor</i> (Baba, 1938) (サンシキウミウシ)	
		<i>Rostanga orientalis</i> Rudman & Avern, 1989 (イソウミウシ)	
		<i>Rostanga risbeci</i> Baba, 1991 (クロイソウミウシ)	
		<i>Discodorís lilacina</i> (Gould, 1852) (ツツレウミウシ)	
		<i>Hoplodorís bifurcata</i> (Baba, 1993) (センリョウウミウシ)	* 3
		<i>Hoplodorís armata</i> (Baba, 1993) (マンリョウウミウシ)	
		<i>Atagema spongiosa</i> (Kelaart, 1858) (ジャノメカイメンウミウシ)	
		<i>Jorunna parva</i> (Baba, 1938) (ゴマフビロウドウミウシ)	
		<i>Geitodorís lutea</i> Baba, 1937 (キイロハケジタウミウシ)	
		<i>Diaulula sandiegensis</i> (Cooper, 1862) (エゾカスリウミウシ)	
	Chromodorididae	<i>Chromodorís orientalis</i> Rudman, 1983 (シロウミウシ)	
		<i>Chromodorís tinctoria</i> (Riippell & Leuckart, 1828) (サラサウミウシ)	
		<i>Chromodorís aureopurpurea</i> (Collingwood, 1881) (コモンウミウシ)	
		<i>Hypselodorís festiva</i> (A. Adams, 1864) (アオウミウシ)	
		<i>Hypselodorís placida</i> (Baba, 1949) (ウスイロウミウシ)	
		<i>Hypselodorís marítima</i> (Baba, 1949) (リュウモンイロウミウシ)	

目	(亜目)科	種	小 湊	館 山	銚 子	相 模 灘	北 海 道
		<i>Noumea nivalis</i> Baba, 1937 (シラクキウミウシ)					
		<i>Ceratosoma trilobatum</i> (J. E. Gray, 1827) (ニシキウミウシ)				* 1	
		<i>Glossodoris misakinobogae</i> Baba, 1988 (ジボガウミウシ)					
	Dendrodorididae	<i>Dendrodoris rubra</i> (Eliot, 1913) (マダラウミウシ)					
		<i>Dendrodoris guttata</i> (Odhner, 1917) (ヒメマダラウミウシ)				* 1	
		<i>Dendrodoris arborescens</i> (Collingwood, 1881) (クロシタナシウミウシ)					* 3
		<i>Dendrodoris nigra</i> (Stimpson, 1855) (ホンクロシタナシウミウシ)					* 3
		<i>Doriopsilla miniata</i> (Alder & Hancock, 1864) (ダイダイウミウシ)					
		<i>Dendrodoris denisoni</i> (Angas, 1864) (ミヤコウミウシ)				* 1	
		<i>Dendrodoris tuberculosa</i> (Quoy & Gaimard, 1832) (イシガキウミウシ)				* 4	
		<i>Dendrodoris carbunculosa</i> (Kelaart, 1858) (コウシンウミウシ)					
	(Dendronotina) Bornellidae	<i>Bornella stellifer</i> (Adams & Reeve in Adams, 1848) (コビウミウシ)					
	Dendronotidae	<i>Dendronotus frondosus</i> (Ascanius, 1774) (スギノハウミウシ)					
	Dotidae	<i>Doto japonica</i> Odhner, 1936 (マツカサウミウシ)				* 1	
	Scyllaeidae	<i>Notobryon wardi</i> Odhner, 1936 (ユメウミウシ)					
	Tethydidae	<i>Melibe papillosa</i> (Filippi, 1867) (ヒメメリベ)					
	(Armina) Arminidae	<i>Dermatobranchus otome</i> Baba, 1992 (オトメウミウシ)					
		<i>Dermatobranchus striatellus</i> Baba, 1949 (サメジマオトメウミウシ)					
	Madrellidae	<i>Madrella sanguinea</i> (Angas, 1864) (ショウジョウウミウシ)				* 1	
	(Aeolidina) Flabellinidae	<i>Flabellina bicolor</i> (Kelaart, 1858) (サキシマミノウミウシ)				* 2	
		<i>Flabellina rubrolineata</i> (O'Donoghue, 1929) (セスジミノウミウシ)					
		<i>Flabellina athadona</i> (Bergh, 1875) (コザクラミノウミウシ)					
		<i>Flabellina amabilis</i> Hirano & Kuzirian, 1991 (ピリカミノウミウシ)					
	Eubranchidae	<i>Eubranchus virginalis</i> (Baba, 1949) (ジョウオウミノウミウシ)				* 1	
		<i>Eubranchus inabai</i> Baba, 1964 (イナバミノウミウシ)					

目	(亜目)科	種	小 館 銚 相 北 湊 山 子 模 海 道
		<i>Eubranchus horii</i> Baba, 1960 (ホリミノウミウシ)	
	Aeolidiidae	<i>Aeolidiella alba</i> Risbec, 1928 (シロミノウミウシ)	
		<i>Anteaeolidiella indica</i> (Bergh, 1888) (ミノウミウシ)	
		<i>Baeolidia japonica</i> Baba, 1933 (ヤマトワグシウミウシ)	
		<i>Spurilla chromosoma</i> (Cockerell & Eliot, 1905) (イロミノウミウシ)	
		<i>Limenandra nodosa</i> Haefelfinger & Stamm, 1958 (ジャノメミノウミウシ)	
		<i>Protaeolidiella atra</i> Baba, 1955 (スミゾメミノウミウシ)	* 2
		<i>Cerberilla longibranchus</i> (Volodchenko, 1941) (ニッポンカスミノウミウシ)	
	Glaucidae	<i>Glaucus atlanticus</i> Forster, 1777 (アオミノウミウシ)	* 1
		<i>Antonietta janthina</i> Baba & Hamatani, 1977 (ムラサキミノウミウシ)	
		<i>Cratena lineata</i> (Eliot, 1904) (ハクセンミノウミウシ)	
		<i>Facelina annulifera</i> (Baba, 1949) (ジャクジョウミノウミウシ)	* 1
		<i>Facelina quadrilineata</i> (Baba, 1930) (ヨツスジミノウミウシ)	* 1
		<i>Facelina bilineata</i> Hirano, 1998 (フタスジミノウミウシ)	
		<i>Favorinus japonicus</i> Baba, 1949 (チゴミノウミウシ)	
		<i>Hermisenda crassicornis</i> (Eschscholtz, 1831) (エムラミノウミウシ)	
		<i>Herviella affinis</i> Baba, 1960 (ゴマフミノウミウシ)	
		<i>Herviella yatsui</i> (Baba, 1930) (ヤツミノウミウシ)	* 1
		<i>Pteraeolidia ianthina</i> (Angas, 1864) (ムカデミノウミウシ)	
		<i>Phylloidesmium serratum</i> (Baba, 1949) (サガミノウミウシ)	
		<i>Sakuraeolis enosimensis</i> (Baba, 1930) (アカエラミノウミウシ)	
		<i>Sakuraeolis gerberina</i> Hirano, 1999 (ガーベラミノウミウシ)	* 4
		<i>Sakuraeolis sakuracea</i> Hirano, 1999 (サクラミノウミウシ)	* 4
		<i>Setoelis inconspicua</i> (Baba, 1938) (セトミノウミウシ)	
	Tergipedidae	<i>Cuthona purpureoanulata</i> Baba, 1961 (コビワミノウミウシ)	

目	(亜目)科	種	小 館 銚 相模 北海 湊 山 子 灘 道
		<i>Cuthona pupillae</i> (Baba, 1961) (コマミノウミウシ)	
		<i>Cuthona ornata</i> Baba, 1937 (フジエラミノウミウシ)	
		<i>Cuthona diversicolor</i> (Baba, 1975) (ゴシキミノウミウシ)	
	Fionidae	<i>Fiona pinnata</i> (Eschscholtz, 1831) (ヒダミノウミウシ)	* 1

は本研究で分布が確認されたもの

は著者自身の他の研究で得られた知見

* 1は相模湾産後鰓類図譜(馬場、1949)からの引用

* 2は相模湾産後鰓類図譜補遺(馬場、1955)からの引用

* 3は日本近海産貝類図鑑(奥谷ら、2000)からの引用

* 4はウミウシガイドブック2(鈴木敬宇、2000)からの引用

共同研究中間報告

富樫辰也（現海洋バイオシステム研究分野）

私は、海洋生態系の中でも一次生産者として重要な位置を占める海産の緑色藻類を用いて、繁殖戦略を構成しているメカニズムとその時間的変遷に関する研究を主として行っている。本研究は、海洋バイオシステムの現在と過去の比較ならびにそれに対する地球環境の影響を評価し、将来における環境変動に対する海洋生態系の応答様式を予測することに貢献するものであり、黒潮と親潮が交わる千葉県太平洋沿岸の千葉大学海洋バイオシステム研究センター実験用禁漁区が絶好の研究のフィールドとなっている。本研究に関連して私が着目している生物現象のひとつに雌雄の個体が放出する配偶子のサイズ二型性がどのような進化的プロセスをもって形成されてきたのかという問題がある。私は、これに対して、野外ならびに実験室における実在の生物群からの実験データの収集ならびにそれを活用した数理シミュレーションを用いて明らかにするというアプローチを行っている。

なぜ雌雄の配偶子に異型性が進化するのかという問題に関する研究の歴史は古く、1900年代初めころからドイツの生物学者ヘルトヴィッヒらによってその議論が始められ、進化とゲーム理論の研究で知られるイギリスのメイナードスミスらによっておもに理論的研究が盛んに行われてきた。それらの研究では、効率的にパートナーを見つける必要性と接合子の発生に必要な十分な量の資源を供給するという配偶子に課せられた二つの役割に基づいて配偶子異型性の進化を説明している。前者には、高速で泳ぎ回ることが出来る“精子”のような小型の配偶子が有利であると思われる、後者には、大型で多くの資源を蓄えることが出来る“卵”のような配偶子が有利であろうと思われる。このような相反する二つの課題を同時に解決するために動物をはじめとして多くの生物群において配偶子の異型性が進化したと考えられている。

しかし、私はこれらの理論的研究が本当に実際の生物に当てはめられるのかどうかに関しては十分な検証が必要だと考えている。たとえば、私が研究している海産の緑藻に関して言えば、配偶子に極端な異型性が進化しているものは少なく、多くの種において雌雄の配偶子は同型かもしくはわずかな異型である。多くの理論に基づいて考えれば、卵配偶のような極端な異型配偶子接合を行なう種が多く存在していてもよいように思われる。そこで私が着目したのは多くの海産緑藻の配偶子が示す正の走光性である。私は、これは雌雄の配偶子が出会う場所を3次元空間から海面直下の2次元平面に限定することによって接合子の形成率を高めるための適応的な形質ではないか、また、接合子が形成されると走光性が直ちに負に切り替わるのは接合子が発生に不利な深場に流されるのを防いでいるのかもしれないと考えた。この仮説は海産緑藻ヒトエグサを用いた実験によって確かめることに成功した。従って、海産緑藻の配偶子が極端な異型配偶子に進化しないのは、雄性配偶子が小型化することによって眼点をはじめとする走光性器官を失ってしまうと、走光性を使った有利な接合子形成システムが維持できなくなるからではないかと考えられる。私はこのような種には走光性を有効に用いることが出来る昼間に配偶子の放出を同調的に行なえるような仕組みがあることも発見した。

しかしながら、この壁を乗り越えて異型性を進化させた緑藻が存在する。それは、*Bryopsis plumosa*をはじめとするハネモの仲間である。ハネモの雌性配偶子は一般に大型で眼点を有しており正の走光性を示す。ところが、雄性配偶子は小型で眼点を持たず走光性も示すことが出来なかった。私は、「正の走光性を示して海面に向かう雌性配偶子と走光性を示さない雄性配偶子が効率的に出会うことが出来るのだろうか？」という点に疑問を持って実験を行ない、これらの雌性配偶子には雄性配偶子を誘引する性フェロモンが存在することを発見した。すなわち、これまでの理論的な研究では全く考えられて来なかったが、海産の緑藻では、広大な海の中で極めて小さい雌雄の配偶子が効率よく出会えるような仕組みが発達しており、配偶子に極端な異型性が進化するためには走光性と走化性の組み合わせが重要な意味を持ってくることが明らかになってきた。さらに、私の近年の研究からは、これらの事柄は配偶体が生息している環境や株の分布様式とも密接な関係があるのではないかとすることも解ってきた。

私は、現在、これらの実験結果から得られた仮説を最新鋭の技術を積極的に導入した精密な方法で検証する研究を展開している。それはいくつかの重要な柱から構成されているが、そのひとつが超高速のスーパーコンピューターを用いたシミュレーションアルゴリズムの開発である。これによって条件を変えながら様々な種に関して繰り返し行なうことが極めて困難な接合子形成実

験を容易に再現することが出来るようになった。この作業は、民間のシステムエンジニアならびに米国の共同研究者との産学連携の国際共同研究チームを組織して行った。これまでに行ってきた綿密な実験データに基づいて、複雑な生命現象を C++ のプログラミング言語で忠実に表現することの困難さを乗り越えて完成したシステムからは現在さまざまなことが明らかになってきている。もうひとつの柱は、理論的に示唆される進化プロセスを分子系統学のデータに基づいた種間形質の比較法を用いて検証していくことである。このような系統関係を考慮した種間比較は、近年急速に発達した分野であるが、この手法を取り入れることによって、これまで多くの日本人研究者によって蓄積された様々な種における配偶子の大きさや行動などのデータを正しく解析しながら進化の道筋を確かめることが可能になった。さらに、共同研究としての私が、海産の緑藻類において世界に先駆けて発見した性フェロモンの化学構造解析も重要な研究テーマとして位置付けている。なお、本研究は、科学研究費補助金若手研究 B ならびに米国国立熱帯植物園からの助成を得て行われ、その成果は、永井国際学術交流基金の助成によって、国際学会で成果が公表されている。

さらに、私は、本研究によって得られた技術を産学共同の応用研究に発展させることにも力を注いでいる。ここでは、川崎製鉄千葉製鉄所と共同で一般ゴミを乾燥、圧縮、成形して作られるゴミ固形燃料 (Refuse Derived Fuel, RDF) を高温で炭化することによって開発した新しい炭素素材を用い、人工の海底設置型基物を作製することによって、次の二つの大きな社会的問題を同時に解決することを目指している。

第一は、失われた海底環境の復元を行なうことである。開発した炭素素材が植物の成長に必要なミネラルを豊富に含んでいるうえ、極めて高い吸着性能を有していることを利用して、ヘドロや石灰藻で覆われてしまった海底の環境を浄化するとともに、藻場を再生し、生物多様性の回復と水産資源の増殖に役立つことが期待される。

第二は、ゴミの最終処分場問題を解決することである。一般ゴミを原材料として使用し、二酸化炭素を空气中に排出せず、海底で生態系に戻して循環させることを目指す。

研究では、本素材が海藻の成長を促進するメカニズムについて、実験室内の制御された環境におけるバイオマスの測定、水質の分析などのデータを収集することによって解析するとともに、それらのデータを基にして、海底設置型の基物を作製し、実用化のための野外実験を行なっている。

おもな関連する研究成果の公表

- Togashi, T. and P.A. Cox. 2001. Tidal-linked synchrony of gamete release in the marine green alga, *Monostroma angicava* Kjellman. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 264:117-131.
- Togashi, T., T. Miyazaki and P.A. Cox. 2002. Sexual reproduction in marine green algae: gametic behavior and the evolution of anisogamy. Proceedings of Two Symposia on Ecology and Evolution in VIII INTECOL, Seoul, Korea, 2002. Pages 70-79. J. Yoshimura, N. Nakagiri and W. M. Shields, eds. Sangaku Publisher, Inc. Otsu, Shiga, Japan.
- Togashi, T., N. Nakagiri, T. Miyazaki and J. Yoshimura. 2002. Simulation of Mating behavior of gametes and the evolution of anisogamy in marine green algae. Proceedings of 7th Joint International Conference on advanced Science and Technology (JICAST). Pages 95-98. T. Sugiura, K. Murakami and M. Tabe, eds. Shiba Print Publisher, Hamamatsu, Japan.
- Togashi, T., A. Kaide, T. Miyazaki, T. Suzuki, N. Nakagiri, J. Yoshimura, J.L. Bartelt and P.A. Cox. Simulation Of Mating Behavior Of Gametes And The Evolution Of Anisogamy In Marine Green Algae: Isogamy, Slight Anisogamy And Marked Anisogamy Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003. Pages 736-741.
- Miyazaki, T., K. Takeya, T. Togashi, N. Nakagiri, T. Suzuki and Jin Yoshimura Effects Of Ammonium Concentration And Dilution On The Competition Between The Cyanobacterium *Mycrocystis novacekii* And Green Alga *Scenedesmus quadricauda* Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003. Pages 742-746.
- Yoshimura, J., H. Amagai, T. Suzuki, T. Togashi and T. Miyazaki Population Dynamics of Some Mutualistic Relationships Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003. Pages 730-735.
- Nakagiri, N., K. Tainaka, T. Togashi, T. Miyazaki and J. Yoshimura Parameter Sensitivity In A Lattice Ecosystem With Intraguild Predation Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003. Pages 1691-1696.
- Suzuki, T., N. Nakagiri, K. Tainaka, T. Togashi, T. Miyazaki and J. Yoshimura A Role of A Low-Density

- Species On The Community Outcomes In A Model Ecosystem Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation 2003. Pages 1673-1678.
- Togashi, T. and P.A. Cox Phototaxis and the evolution of isogamy and “slight anisogamy” in marine green algae: insights from laboratory observations and numerical experiments Botanical Journal of the Linnean Society (in press)
- Togashi, T., M. Nagisa, T. Miyazaki, J. Yoshimura, P.A. Cox and J.L. Bartelt Gamete behavior and the evolution of anisogamy: reproductive strategies of marine green algae. Population Ecology (in press)
- Miyazaki, T., T. Togashi, T. Suzuki, T. Hashimoto, K. Tainaka and J. Yoshimura The coexistence of phytoplankton species with varying nutrient conditions: a lattice simulation model Ecological Modelling (in press)
- Togashi, T., T. Miyazaki, J. Yoshimura, P.A. Cox and J.L. Bartelt Reproductive strategies of marine green algae: the evolution of slight anisogamy and environmental conditions of habitat Proceedings of the International Environmental Modelling and Software Society Conference (in press)
- 富樫辰也 2002 「海の緑藻と配偶子の異型性の進化に関する研究」—これまでの流れと将来への展望— 藻類 50: 158-160
- 富樫辰也 2003 生態学事典 (共立出版、巖佐庸、松本忠夫、菊沢喜八郎、日本生態学会 編集)

房総半島周辺海域の蔓脚動物相の時間的変遷

山口 寿之（古海洋バイオシステム研究分野）

序

本研究は、千葉大学海洋バイオシステム研究センターの共同研究として行われてきた研究の中間報告としてまとめたものである。本（最終）報告は別の機会に行う。センターの共同研究のうち、化石および現生蔓脚類（節足動物甲殻類）の地質時代から現在までの時間的変遷について解析を試み、特に今回の中間報告では房総半島およびその周辺に限定して、地質時代の過去と現在との違いとその変遷について検討した。これらの資料は歴史的な筆者自身および特に明記しないが研究資料を提供してくれた多くの研究仲間の協力によるところが大きい。

はじめに蔓脚類とは？

蔓脚（まんきゃく、ツルアシ）類が生物であると解かっているが、どのような生物で、どのような生き様をしているのかを知っている人は少ないに違いない。海岸の岩などに固着している石灰質の殻を持ったフジツボ（漢字で富士壺、中国では藤壺と書く）、カメノテ、エボシガイ類などをまとめて蔓脚類と呼ぶ。海岸の岩場で磯遊びや海水浴をするとそれらの殻でけがをすることがあるといえば思い浮かべるかもしれない。しかしそれが蔓脚類という分類群であること、その所属（類縁関係）を正確に理解している人はさらに少ないに違いない。普通、フジツボ類は同じように石灰質の殻をもつ軟体動物のカサガイ類と間違える人が多い。フジツボ類は殻の頂部が開口し、その内側に蓋を持つことで、カサガイ類と区別できる。初めて蔓脚類を見る人はエビやカニと同じ甲殻類の仲間とは思わないだろう。事実、昔博物学者ですら蔓脚類は1829年まで間違えて軟体動物の仲間と見なしていた。それが甲殻類と認められるようになったのは、卵からふ化した直後に甲殻類に特徴的なノープリウス幼生と呼ぶ浮遊幼生期を経ることが分かったためである（Thompson 1830）。エビやカニなどの甲殻類には、遊泳・歩行などの運動機能を持つ脚があり活発に行動する。しかし蔓脚類は浮遊幼生期を終えた後、甲殻類の中で唯一固着生活に移り、その後その成体は動き回ることができない。蔓脚類は、世界にはおよそ1300種（含む絶滅種420種）、日本にはおよそ250種知られる（山口1995）。動き回ることができなくなったために体の様々な特徴が固着生活へ適応するために特殊化し、成体は甲殻類に共通の特徴さえ失われた。

地理的分布・生態

蔓脚類は、潮間帯から数千mの深海底までの全ての海域に生息し、淡水が混ざる汽水域にも棲むが、淡水性の種類はない。岩、礫、貝などの表面や浮遊物体に付着するだけでなく、生きているサンゴ、クラゲ、カメ、ウミヘビ、クジラなどの体表にも付着する固有種もある。蔓脚類は肉食性の巻貝やヒトデ類、カニ類、イシダイ類、カモメなどによって捕食される（内海1964）。ここでは紙面の関係で詳細を省くが、節足動物甲殻類や棘皮動物に外套腔や体腔内に寄生した蔓脚類の分類群がある。それらの寄生への適応のために、蔓脚類の特徴（付属肢や体節構造）を失って、外部形態からはいかなる分類群であるのかさえも容易に推定できなくなった仲間もいる。それらは唯一幼生期の特徴が蔓脚類に固有の特徴を持つ。

分布を決める要因は、海流、海水温、深度、潮汐の規模、塩分濃度、波浪の強さ、付着対象物の種類、共存生物などである。潮間帯に棲む種類は干出する時間の長さ（浸水時間の長さ）によって垂直分布が決まる（山口1986）。山口が1988年から研究を行ってきた深海熱水噴出孔周辺の生態系にも主要な動物群の一員として、300を超えて生物にとって有害な硫化水素に満ちあふれた熱水中にも生息している。その他にも沿岸に設置される火力・原子力発電所などのプラントの冷却水管中にも生息できるなど一般に考えられている生物にとって過酷な条件下にも生息している。

海上交通の発達で船底に付着して遠くの新天地に分布を広げた例もある。オーストラリアやニュージーランドから英国へ移住したヨツフジツボ、アメリカやヨーロッパから日本に移住したアメリカフジツボ、ヨーロッパフジツボなどがある（山口1989）。フジツボ類など付着生物が船の底に付くと、船の速度は低下する。船は定期的にドックに入って、厄介者の付着生物をはがさなければならない。その経費は莫大で、フジツボなど付着生物を着生させない特殊な技術や塗料の開発が進められている。

フジツボ類は、そのような厄介者というだけではなく、チリや日本の一部の地域では食料またはだし汁として利用されている。最近では目の隔膜などの手術に使うための接着剤として、フジツボが分泌する優れた接着タンパク質（セメント）が注目されている。

分類

蔓脚類の分類は、チャールス・ダーウインの功績が非常に大きい。しかしそのことはあまり知られていないのだろう。1859年に発表されたダーウインの進化論「種の起源」に先立ってまとめられた1180ページを超える化石および現生の蔓脚類の4冊のモノグラフ（1851a,b, 1854a,b）は今でも蔓脚類研究の原典である。しかしその後の化石フジツボ類、深海熱水フジツボ類や新発見の分類群などの研究で、ダーウインの分類は大きく変わってきている（Newman & Ross 1976, Yamaguchi 1977a,b, Newman 1979, Newman & Hessler 1989, Yamaguchi & Newman 1990, Newman & Yamaguchi 1995, Yamaguchi & Newman 1997a,b）。

千葉県周辺海域の現在の蔓脚類の分布と特徴

蔓脚類の分布は、他の沿岸海洋生物と同様に、太平洋に面する外海の地域と東京湾に面する地域とに大きく二分される。太平洋に面する地域は外海の強い波浪や海流による影響を受け、東京湾に面する地域は波浪の影響が弱く、淡水の影響を受ける環境下にある。それらの環境の違いが、両海域に生息する蔓脚類の種構成に大きく関係している。

銚子沖の太平洋では、北上する暖流（黒潮）と南下する寒流（親潮）とが会合し、そこには寒流系の蔓脚類と暖流系のそれとが混在する。一般に寒流は銚子沖を東進し、寒流系種は銚子以北に限って分布するため、銚子付近を含め千葉県下で観察される寒流系種は少ない。それ以外の太平洋沿岸域は、主に暖流系種が分布している。

以上を踏まえて、生息域を房総沖、外房、九十九里、内房、銚子、館山湾、内湾の7つに区分し地域別にそこに見られる分類群の種組成を蔓脚類の分類学的位置と共に示す。表中の濃い灰色部分の海域に各分類群が生息することを示す。また房総沖とは、鯨、亀等の遊泳生物（または浮遊生物）に付着している場合をさす。

表1．房総半島周辺海域における知られる蔓脚類分類群の分類学的位置と分布域

	内湾	館山湾	内房	外房	九十九	銚子	房総沖
蔓脚亜綱 Subclass Cirripedia							
有柄目 Order Pedunculata							
エボシガイ亜目 Suborder Lepadomorpha							
エボシガイ超科 Lepadoidea							
エボシガイ科 Lepadidae							
エボシガイ <i>Lepas antaifera</i> Linnaeus			■	■	■	■	■
カルエボシ <i>Lepas anserifera</i> Linnaeus			■	■	■	■	■
ミミエボシ <i>Conchoderma auritum</i> Linnaeus			■	■	■	■	■
ミョウガガイ超科 Scalpelloidea							
ミョウガガイ科 Scalpellidae							
カメノテ <i>Capitulum mitella</i> (Linnaeus)			■	■	■	■	■
無柄目 Order Sessilia							
フジツボ亜目 Suborder Balanomorph							
イワフジツボ超科 Superfamily Chthamaloidea							
イワフジツボ科 Family Chthamalidae							
オオイワフジツボ亜科 Subfamily Euraphiinae							
オオイワフジツボ <i>Euraphia pilsbryi</i> (Hiro)			■	■	■	■	■
コウダカキクフジツボ <i>Octomeris sulcatus</i> Nilsson-Cantell			■	■	■	■	■
イワフジツボ亜科 Subfamily Chthamalinae							
イワフジツボ <i>Chthamalus challengerii</i> Hoek		■	■	■	■	■	■
オニフジツボ超科 Superfamily Coronuloidea							
カメフジツボ科 Family Chelonibiidae							
カメフジツボ <i>Chelonibia testudinaria</i> (Linnaeus)							■

オニフジツボ科 Family Coronulidae									
オニフジツボ <i>Coronula diadema</i> Linnaeus									
クロフジツボ超科 Superfamily Tetracitoidea									
クロフジツボ科 Family Tetracitidae									
ヒラクロフジツボ亜科 Subfamily Tetracitellinae									
ムツアナヒラフジツボ <i>Tetracitella chinensis</i> (Nilsson-Cantell)									
ヨツカドヒラフジツボ <i>Tetracitella darwini</i> (Pilsbry)									
フルイヒラフジツボ <i>Tetracitella pilsbryi</i> (Utinomi)									
タロクヒラフジツボ <i>Tetracitella multicostata</i> (Nilsson-Cantell)									
クロフジツボ亜科 Subfamily Tetracitinae									
タイワンクロフジツボ <i>Tetraclita formosana</i> Hiro									
クロフジツボ <i>Tetraclita japonica</i> Pilsbry									
ミナミクロフジツボ <i>Tetraclita squamosa</i> (Bruguère)									
フジツボ超科 Superfamily Balanoidea									
ムカシフジツボ科 Family Archaeobalanidae									
ムカシフジツボ亜科 Subfamily Archaeobalaninae									
ニンニクフジツボ <i>Armatobalanus allium</i> (Darwin)									
シロフジツボ <i>Striatobalanus tenuis</i> (Hoek)									
ムレフジツボ <i>Solidobalanus socialis</i> (Hoek)									
チシマフジツボ亜科 Subfamily Semibalaninae									
チシマフジツボ <i>Semibalanus cariosus</i> (Pallas)									
サングフジツボ科 Family Pyrgomatidae									
トゲサングフジツボ <i>Megatrema oulastreae</i> (Utinomi)									
ナミサングフジツボ <i>Cantellius euspinulosus</i> (Broch)									
和名調査中 <i>Cantellius pallidus</i> (Broch)									
フジツボ科 Family Balanidae									
フジツボ亜科 Subfamily Balaninae									
ミネフジツボ <i>Balanus rostratus</i> Hoek									
シロスジフジツボ <i>Balanus albicostatus</i> Pilsbry									
タテジマフジツボ <i>Balanus amphitrite</i> Darwin									
ドロフジツボ <i>Balanus kondakovi</i> Tarasov and Zevina									
サラサフジツボ <i>Balanus reticulatus</i> Utinomi									
ニシキフジツボ <i>Balanus poecilotheca</i> Krüger									
アメリカフジツボ <i>Balanus ebruneus</i> Gould									
ヨーロッパフジツボ <i>Balanus improvisus</i> Darwin									
サンカクフジツボ <i>Balanus trigonus</i> Darwin									
オオアカフジツボ亜科 Subfamily Magabalaninae									
オオアカフジツボ <i>Megabalanus volcano</i> (Pilsbry)									
アカフジツボ <i>Megabalanus rosa</i> (Pilsbry)									

代表的分類群の生息域、生態、形態的特徴（山口 2000）：

太平洋に面する外海または潮間帯岩礁地にすむ蔓脚類：

エボシガイ *Lepas anatifera* Linnaeus：

体が頭状部と柄部とに分かれている。頭状部は 5 枚の殻をもち、柄部は裸で細長い。大きいもので、全長数 cm。海に浮遊している物体に付着し群生し、岩礁に付着することはない。

分布：太平洋全域に分布する。

カメノテ *Capitulum mitella* (Linnaeus)：

扁平で、体が頭状部と柄部とに分かれている。頭状部は細長い三角形の大きな殻が 8 枚とその基部の多数の殻板をもち、柄部は円筒形で無数の柄鱗で被われている。大きさは大きいもので全長 7cm に達する。潮間帯岩礁の割れ目などの隙間に群生する。

分布：津軽海峡以南にすむ。

オオアカフジツボ *Megabalanus volcano* (Pilsbry)：

赤紫色で大型、直径 4cm を超すものも少なくない。輻部が幅広く、その頂部は水平。殻口は平坦で大きい。周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は 1 層の壁管を持つ。周殻表面は粗いかまたは針状突起を持つ。類似種のアカフジツボ（後出）と違って、楯板は弱い成長線を持つ。背板は細い距を持つ。オオアカフジツボとアカフジツボの種間関係は Yamaguchi (1973) に報告した。

分布：太平洋岸で房総半島以南、日本海側で粟島（新潟県）以南、八重山諸島までの、外海の潮間帯下部の代表種。

クロフジツボ *Tetraclita japonica* Pilsbry :

灰色で、周殻は 4 枚の殻からなるが、外見的に 1 枚に見えることもある。主壁は多数の壁管を持つ。直径 2~4cm 位。殻底は膜質。

分布：津軽海峡以南の外海から内湾域の潮間帯中部の代表種。房総半島以南には形態が類似しているが色違いのタイワンクロフジツボ（赤：*Tetraclita formosana* Hiro）、ミナミクロフジツボ（緑：*Tetraclita squamosa* (Bruguère)）がいる。クロフジツボ類 3 種の種間関係は Yamaguchi (1987) に報告した。

太平洋に面する外海の浅海にすむ蔓脚類：

サンカクフジツボ *Balanus trigonus* Darwin

赤またはピンク色の地肌に白色の肋を持つ。殻口は三角形である。輻部は幅広く、頂部は水平である。周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は 1 層の壁管を持つ。楯板の外側にある数列の凹みまたは小孔、背板の太い距が特徴的。直径 1.5cm 位。

分布：本州以南の暖流域の潮間帯から 4000m を越す深海底の貝や岩などに、また浮遊しているブイなどに付着する。

アカフジツボ *Megabalanus rosa* (Pilsbry)

鮮やかな赤色で、稀に白色個体もある。周殻表面は平滑。類似種のおオアカフジツボと違って、楯板は強く突出する成長線をもち、背板は太い距を持つ。周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は 1 層の壁管を持つ。直径 3~4cm 位。

分布：本州以南から台湾北部までの外海の潮間帯から陸棚の岩礁・貝またはブイなどの浮遊物体に付着。外海の低潮線付近ではしばしばおオアカフジツボと共存する。

東京湾（内湾）の潮間帯岩礁地などにすむ蔓脚類：

イワフジツボ *Chthamalus challengerii* Hoek

小型で、周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は壁管を持たない。殻底は膜質である。フジツボ類の中では原始的な分類群である。

分布：主に本州以南に分布する潮間帯上部を占める代表種。外海にも見られる。

シロスジフジツボ *Balanus albicostatus* Pilsbry

青紫色の地に白色の肋を持ち、直径 1~1.5cm 位。輻部の頂部は傾斜していて、殻口は鋸歯状。周殻の主壁は 1 層の壁管を持ち、しばしば主壁の外層内側に補足的な隔壁を持つ。殻底は石灰質である。周殻は 6 枚の殻からなる。類似種はタテジマフジツボ、サラサフジツボ、ドロフジツボなど。それらとは色模様、楯板、背板などの特徴や殻構造で識別される。

分布：内湾潮間帯中部の代表種、本州以南。

タテジマフジツボ *Balanus amphitrite* Darwin

白色の地に青紫色の縦縞を持ち、平滑で、直径 1~1.5cm 位。輻部は幅広く、その頂部は水平で、殻口はほぼ平坦である。周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は 1 層の壁管を持ち、石灰質の殻底を持つ。類似種はシロスジフジツボの項参照。

分布：内湾潮間帯中部の代表種、本州以南。

アメリカフジツボ *Balanus eburneus* Gould

白色、直径 1.5cm 程位。周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は 1 層の壁管を持つ。ヨーロッパフジツボに似るが、それと違って楯板外面の成長線を横切る放射状の条線と背板の距の後側の湾入が

ある。

分布：内湾潮間帯から浅海の貝類に付着、本州以南。アメリカからの移入種(山口 1986b, 1989)。

ヨーロッパフジツボ *Balanus improvisus* Darwin

白色、直径 1cm 程度。周殻は 6 枚の殻からなる。主壁は 1 層の壁管を持つ。識別点はアメリカフジツボの項参照。

分布：内湾の潮間帯から浅海の貝類に付着、本州以南。ヨーロッパからの移入種。

サラサフジツボ *Balanus reticulatus* Utinomi

白色の地に青紫色の縦縞と横縞を持ち、平滑で、直径 1.5~2cm 位。周殻は 6 枚の殻からなる。縞模様はドロフジツボに似るが、主壁は 1 層の壁管を持つ。輻部の頂部は傾斜していて、殻口は鋸歯状。石灰質の殻底を持つ。最近 10 年間で激減し、かつては日本の内湾に普通に発見されたが、今では限られた場所にしか生息が知られなくなった。

分布：内湾潮間帯下部の代表種、本州以南。

房総半島周辺域の地質時代の化石蔓脚類動物相の特徴：

ここで扱うフジツボ類は主に寒流系種 4 種、暖流系種 16 種からなる。

寒流系種は、種類数が少ないが、全て東日本以北及び北太平洋に広く分布する種で、その層位的分布は長い。それらは *Balanus crenatus* Bruguière(図 1 の略号 Bc)、*Semibalanus cariosus* (Pallas) (Sc)、*Hesperibalanus hesperius* (Pilsbry) (Hh)、および *B. rostratus* Hoek (Br) である。寒流系種には暖流系種のように内湾に固有な種はいない。

暖流系種は種類数に富み、生態学的に内湾種および外海種に区分される。

内湾種は潮間帯に生息する *B. amphitrite* Darwin 種群の構成員である *B. amphitrite* Darwin (Ba)、*B. albicostatus* Pilsbry (Bl)、*B. kondakovi* Tarasov & Zevina (Bk)、*B. reticulatus* Utinomi (Be) および絶滅種の *B. amaraquaticus* Yamaguchi (B†)(Yamaguchi 1980) からなる。

外海種は、生態学的に潮間帯種と浅海種とに区分できる。化石に見つかる代表的な潮間帯種は *Chthamalus challengerii* Hoek (Cc)、*Megabalanus volcano* (Pilsbry) (Mv)、*Octomeris sulcata* Nilsson-Cantell (Os) および *Tetraclita japonica* Pilsbry (Tj)(以前には *T. squamosa* (Bruguière) の亜種とされていた、山口、1986b および Yamaguchi、1987 を参照) および *Capitulum mitella* Linnaeus (Cm) の 5 種である。

浅海種は *Armatobalanus allium* (Darwin) (Aa)、*B. poecilotheca* Krüger (Bp)、*B. trigonus* Darwin (Bt)、*M. rosa* (Pilsbry) (Mr)、*Solidobalanus socialis* (Hoek) (Ss) および *Striatobalanus tenuis* (Hoek) (St) の 6 種である。浅海種にはサンゴや海綿に寄生あるいは共生する多くの種があるが、それらの多くは分類学的に混乱していて正確な同定が困難であるために、本稿の議論から除いた。

Yamaguchi (1987) は、日本における主として新生代・第三紀(主に中新世以降)および第四紀に化石フジツボ類の地理的・層位的分布についてそれまでに得られた資料に基づいて、環境変動との関係からその特徴についてまとめた。日本の海洋環境の変遷は、新第三紀および第四紀の歴史は次のような環境変動で特徴づけられる。中期中新世初頭(16.5~15Ma、Ma は百万年前を意味する)に始まった新第三紀の海進は日本列島に著しく温暖な海洋気候をもたらした。優勢な暖流は北海道まで到達し、日本列島は広く熱帯から亜熱帯気候にさらされた。中期中新世初頭の終わりに気温の低下が生じ、続く中期から後期中新世(15~5Ma)および鮮新世(5~1.8Ma)は現在とほぼ同じ温帯気候になった(Chinzei 1984)。また第四紀(1.8Ma~現在)は氷河性気候変動の影響を受け、温暖な時期と寒冷な時期の繰り返りで特徴づけられる。

本稿は、房総半島周辺の海洋環境(歴史的に暖流と寒流が会合する海域)で、歴史的にどのような蔓脚類動物相の変遷が見られたかという点について現在までに得られた資料に基づいて整理する。この地域において化石には上に述べた種類以上の分類群が発見されているが、他地域や現在の海洋環境との関係から普遍的に見いだされる分類群だけを扱った。

房総半島は、隣接する三浦半島と密接な関係にある。房総半島の層序は地域によって岩相や地層名が異なるので、代表的な層序を房総半島中・東部と西部の二つの地域に知られる代表的なものを、また三浦半島の代表的な層序を主に横浜地域の層序で代表させ、化石フジツボ類の層位的分布を図 1 に示した。全層準の調査が完了しているわけではないが、現時点で次のような化石

蔓脚類動物群の特徴が判る。

房総半島の上総層群（約 50 万年前）以前の地層（上総・三浦層群）は主に比較的深い海の泥岩などの細粒堆積物から構成される（三浦半島の葉山層群を含む）。それらの堆積物には、化石蔓脚類が稀に含まれるにすぎない。化石蔓脚類が産出するのは、細粒堆積物である泥岩が堆積する深い海に、部分的に浅海域から粗粒な堆積物の流れ込みなどがあった局所的な層準に限定される。例えば千畑礫岩層、黒滝層、東日笠層、梅が瀬層、市宿層、万田野砂礫層などの礫質砂岩や礫岩である。それらの層準には共通して暖流系種の *Megabalanus rosa* (Mr)、寒流系種の *Balanus rostratus* (Br) が産出する他に、暖流系種の *Striatobalanus tenuis* (St) が含まれる。房総半島だけでなく、三浦半島の地層についても同様で、暖流・寒流の混合動物群が見られるのは、この地域では古く葉山層群（約千数百万～二千数百年前の深海底に堆積）まで遡れる。暖流と寒流の混合水塊の影響がそれ以後現在まで継続していたことを示す。それらは、主として陸棚の比較的浅い海に生息していた蔓脚類が、周辺の比較的粗粒堆積物の移動に伴って深海の泥岩が堆積するような場に運ばれて堆積したものと考えられる。

それに対して、比較的浅海の陸棚の堆積環境下に堆積した下総層群以上（以後）の地層には、今までに述べた分類群以外に多数の種類が見られる。下総層群は、第四紀更新世の氷期・間氷期海水準変動の影響を強く受けた比較的浅海の堆積物からなる。寒冷な氷期には、海面が低下し、単調な海岸線や環境が用意されたに過ぎない（海退期）。逆に、温暖な間氷期には、海水準が上昇し、比較的深い海が広がり、陸域にあっては海が内陸に進入し、深い入り江を形成し、外海から内湾域の環境が広く用意された（海進期）。もちろん間氷期の黒潮の影響を強く受ける温暖な海洋環境が広がったために、多くの暖流系種が多様な環境に生息することとなった。つまり下総層群の地蔵堂層から木下層までの海成の各地層は、最下部から最上部へと寒冷な氷期から温暖な間氷期そして寒冷な氷期への一サイクルの堆積物からなる。そのような環境変遷に対応して、化石として発見される各種の無脊椎動物化石（例えば化石蔓脚類以外に化石軟体動物、化石棘皮動物など）に認められる。各層の下部と上部は、海退期の堆積物で極めて浅い海、時に干潟の堆積物が見られ、干潟から内湾奥の生物相の化石を含む。しかし中部は海進期の堆積物からなり、比較的深い海の堆積物からなり、多様な環境が広がったことを示すように内湾から陸棚上部を構成する生物相を含む。ここではその詳細を示さないが、各地層の下部から中部、上部へと堆積物の特徴が変化していることとそこに含まれる化石生物（蔓脚類を含む）の種類組成が変化していることが観察される。また各地層が一サイクルの氷期・間氷期で堆積しているが、寒冷化・温暖化の程度が時代と共に異なっていて、より温暖な時期であった例えば地蔵堂層、藪層、木下層においては他の上泉層、清川層等の地層と異なって種類数が少なく多様性に乏しいと言える。

そして最後の温暖な時期となった完新世の沖積層堆積物（沼層）の海進期には、今までに知られる以上の多様性の高い化石蔓脚類が発見される。その中には現在は、房総半島周辺には知られない現在では紀伊半島付近またはそれ以西の黒潮の強い影響下に生息している分類群が見られる。

まとめ

房総半島周辺海域で、およそ 2000 万年前から現在までの蔓脚類動物群の変遷がまとめられた。地質時代においては化石の産出に基づき、現在においては現生種の分布調査に基づく。（化石）動物群の組成は、約 50 万年前を境にそれ以前・以後に大きく二分される。50 万年前（50Ma）以前は、比較的種類数が少なく、それらは主として比較的深い海の泥岩などの細粒堆積物中に時に挟在する浅海から運び込まれた砂岩・礫岩などの浅海性粗粒堆積物中に含まれている。それらを構成する種類は、主に現在の寒流および暖流の浅海の種類と考えられる。当時現在と同様の寒流・暖流の混合水塊が存在していたことを示す。

また 50 万年前（50Ma）以後は、それ以前と大きく異なり、比較的浅海性の分類群でかつ暖流系の分類群を多く含むようになる。この時期は、氷期・間氷期の気候変動の時期に相当し、氷期の海面低下期の堆積物からは汽水域から干潟の環境を指示する分類群が少数発見される。間氷期に移行すると海面上昇に伴って海が内陸に深く入り込み、深い入り江を形成し暖流の影響下の内湾から外海が多様な環境下の分類群が多数みつかるとなる。下総層群は氷河性海水準変動期に相当するが、その種類組成から地蔵堂層、藪層、木下層などでは他の層準に比べてより温暖な環境を指示する分類群や種構成からなる。

最後に完新世（数千年前）の沖積層（沼層）には最後の温暖な時期の堆積物や化石サンゴに

伴って、最も多様性の高い種組成になる。それらの分類群には現在房総半島以西にしか生息していない分類群も含まれ、現在よりもはるかに温暖な環境が広がっていたことを示す。しかしその後現在のような気候状況に移行した。

これらの推測は、歴史的な他の無脊椎動物化石に基づく研究、地質学的な研究、堆積相からの解析などの成果と矛盾するものでない。

文献

- Chinzei, K. (1984) Ecological parallelism in shallow marine benthic associations of Neogene molluscan faunas of Japan. *Geobios, Memoir, special* 8, pp.135-143.
- Darwin, Ch. (1851a) A monograph on the subclass Cirripedia, with figures of all the species. The Lepadidae: or pedunculated cirripeds. 400 pp., Ray Soc. Publ., London.
- Darwin, Ch. (1851b) A monograph on the fossil Lepadidae, or pedunculated cirripeds of Great Britain. *Palaeontogr. Soc.* 6: 1-88.
- Darwin, Ch. (1854a) A monograph on the subclass Cirripedia, with figures of all the species. 648 pp., Ray Soc. Publ., London.
- Darwin, Ch. (1854b) A monograph on the fossil Balanidae and Verrucidae of Great Britain. *Palaeontological Society, Memoir*, 1-44.
- Newman, W.A. (1979) A new scalpellid (Cirripedia); a Mesozoic relic living near an abyssal hydrothermal spring. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 19(11): 153-167.
- Newman, W.A. (1987) Evolution of cirripedes and their major groups. *In: Southward, A. J. (ed.) Barnacle biology, Crustacean issues*, 5: 3-42, Balkema, Rotterdam.
- Newman, W.A. and A. Ross (1976) Revision of the balanomorph barnacles; including catalog of the species. *Memoir, San Diego Society, Natural History*, 9: 1-108.
- Newman, W.A., V.A. Zullo and T.H. Withers (1969) Cirripedia. *In: Moore, R. C. (ed.) Treatise on Invertebrate Paleontology, (R) Arthropoda* 4(1): 206-295, Geological Society of America and University of Kansas.
- Newman, W.A. and R.R. Hessler (1989) A new abyssal hydrothermal verrucomorphan (Cirripedia; Sessilia); The most primitive living sessile barnacle. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 21(16): 221-235.
- Newman, W.A. and T. Yamaguchi (1995) A new sessile barnacle (Cirripedia; Brachylepadomorpha) from the Lau Back-arc Basin, Tonga; first record of a living representative since the Miocene. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 4^e ser.*, 3-4: 221-243.
- Thompson, J.V. (1830) Sur les cirripèdes. *Férussac, Bull. Sci. Nat.*, 22: 331-333.
- 内海富士夫 (1964) 第7 亜綱蔓脚類(Cirripedia). 椎野季雄編, 動物系統分類学, 7(上), 節足動物(1) 総説・甲殻類蔓脚類, pp.133-152, 中山書店.
- Yamaguchi, T. (1973) On *Megabalanus* (Cirripedia, Thoracica) of Japan. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 21(2): 115-140.
- Yamaguchi, T. (1977a) Taxonomic studies on some fossil and recent Japanese Balanoidea (Part 1). *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society Japan, n. s.*, (107): 135-160.
- Yamaguchi, T. (1977b) Taxonomic studies on some fossil and recent Japanese Balanoidea (Part 2). *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society Japan, n. s.*, (108): 161-201.
- Yamaguchi, T. (1980) A new species belonging to the *Balanus amphitrite* Darwin group (Cirripedia, Balanomorphia) from the late Pleistocene of Japan; An example of peripheral speciation. *Journal of Paleontology*, 54(5): 1084-1101.
- 山口寿之 (1986a) 5. フジツボ類. 付着生物研究会編、付着生物研究法 -種類査定・調査法- pp.107-122, 恒星社厚生閣.
- 山口寿之 (1986b) 日本のクロフジツボ類の地理的分布および種間関係. *日本ベントス研究会誌*, (29): 25-36.
- Yamaguchi, T. (1987) Changes in the barnacle fauna since the Miocene and the infraspecific structure of *Tetraclita* in Japan (Cirripedia; Balanomorphia). *Bulletin of Marine Science*, 41(2): 337-350.
- 山口寿之 (1989) 外国から日本に移住したフジツボ類、特に地理的分布および生態の変化. *神奈川自然誌資料*, (10): 17-32.
- Yamaguchi, T. and W.A. Newman (1990) A new and primitive barnacle (Cirripedia: Balanomorphia) from the North Fiji Basin Abyssal Hydrothermal Field, and its evolutionary implications. *Pacific Science*, 44(2): 135-155.
- 山口寿之 (1995) 蔓脚類. 西村三郎編著: 日本海岸動物図鑑、保育社、大阪、pp.116-133, pls.74-77.

Yamaguchi, T. and W.A. Newman (1997a) *Eochionelasmus paquensis*, new species (Cirripedia, Balanomorpha) from 17°25'S, north of Easter Island: First record of a hydrothermal sessile barnacle from the East Pacific Rise. *Journal of Crustacean Biology*, 17(3): 488-496.

Yamaguchi, T. and W.A. Newman (1997b) The hydrothermal vent barnacles, *Eochionelasmus* from the North Fiji, Lau and Manus Basins in west Pacific. *Zoosystema*, 19(4): 623-649.

山口寿之 (2000) 鞘甲亜綱蔓脚下綱、pp.306-311、*IN 千葉県自然史、本編 7、千葉県の動物 2-海の動物*、県史 46 巻。

図のキャプション

図 1 . 房総および三浦半島 (横浜地域) における地層の層序と蔓脚類の層位学的分布。Ma は百万年前を意味する略号。

横浜地域	房総半島西部	房総半島中・東部	区分	時代		
沖積層 Bl, Be, Mr	Br, Bl, Be, Cc, Cm, 沖積層(沼層) Mv, Os, Tj, Aa, Bt, Mr, Ss, St			完新世		
	新期関東口一△層 常総粘土		下 総 層 群	0.01 Ma		
下末吉層 Br, Bk, Mr, Ss	Br, Hh, Bl, B†,	木下層 Bk, Be, Aa, Bp, Mr, Ss, Ct				
港南層 屏風ヶ浦層	横田層					
	清川層	Br, Hh, Be, Bp, Mr				
	上泉層	Br, Be, Mr, Ss				
	藪層	Br, Hh, Sc, B†, Os, Mr, Ss				
	地藏堂層	Bc, Br, Sc, Hh, Bl, B†, Mr, St				
	周南層	笠森層 Mr, Ct	上 部	新 世		
長沼層 Br, Sc, Hh, Bl, B†, Be, Cc, Bt, Mr, St	長浜砂礫層	万田野砂礫層				
浜五層		長南層	中 部	上 総 層 群		
中里層	市宿層 Br, Mr, Ct	柿ノ木台層				
小柴層 Br, Hh, Sc, Mr	栗倉層	国本層				
	岩坂層	東日笠層 Br, Mr, Ct			梅ノ瀬層 Br, Mr, Ct	
大船泥層	高溝層	大田代層			下 部	1.8Ma
	十宮層	黄和田層				
野島-浦郷層 Br, Sc, Hh, Tj, Aa, Mr	竹岡層	大原層	最 上 部	鮮 新 世		
		浪花層				
		勝浦層				
		黒滝層 Aa	上 部	2.8Ma		
池子火砕質砂岩層	萩生火砕質砂岩層	安野層				
逗子層	稲子沢泥岩層	清澄砂岩層	中 部	三 浦 層 群		
三崎層 Mr	千畑礫岩層	天津泥岩層				
葉山層群 Mr		木ノ根頁岩層	下 部	15Ma		
		佐久間層				
		保田層群				
		嶺岡層群		20Ma		

Cold water species

Bc	<i>Balanus crenatus</i>
Br	<i>Balanus rostratus</i>
Sc	<i>Semibalanus cariosus</i>
Hh	<i>Hesperibalanus hesperius</i>

Warm water, Embayment and Intertidal species

Bl	<i>Balanus albicostatus</i>
B†	<i>Balanus amaraquaticus</i>
Ba	<i>Balanus amphitrite</i>
Bk	<i>Balanus kondakovi</i>
Be	<i>Balanus reticulatus</i>

Warm water, Open Sea and Intertidal species

Cc	<i>Chthamalus challengerii</i>
Cm	<i>Capitulum mitella</i>
Mv	<i>Megabalanus volcano</i>
Os	<i>Octomeris sulacata</i>
Tj	<i>Tetraclita japonica</i>

Warm water, Open Sea and Sublittoral species

Aa	<i>Armatobalanus allium</i>
Bp	<i>Balanus poecilotheca</i>
Bt	<i>Balanus trigonus</i>
Mr	<i>Megabalanus rosa</i>
Ss	<i>Solidobalanus sociaris</i>
St	<i>Striatobalanus tenuis</i>

地球電磁気学的アプローチによる海流位置推定に関する研究

服部 克巳（古海洋バイオシステム研究分野）

1. 研究の目的・背景

黒潮・親潮は日本周辺の環境の支配的な要因の1つである。すなわち、日本（主に太平洋側）の気候を決定したり、沿岸のとれる魚の種類（生物相）を決定したりしている。従って海流の位置あるいは位置変動を容易に推定できれば、その社会的意義は高い。現在では海流位置は衛星画像や実際の船による観測で把握されているが、容易な推定方法とは言い難い。そこで、陸地で低周波数（直流から1Hz程度まで）の電磁場を測定することにより、海流位置を推定することを試みる。具体的には、地面に複数の電極を埋設し、その2点間の地電位差および磁力計により3成分の地磁気を測定する。海流はある種の電流と仮定できるので、その情報は観測データのトレンドに含まれると推定できる[1]。したがって、地電位差データおよび地磁気データには、太陽地球相互作用起源の信号（太陽風の変動に起因するもの、地球の自転の起因するもの）や降雨等の気象に起因する信号、人間活動に起因する信号などさまざまな信号が重畳している。したがって、地電位差・地磁気データから海流に関する情報を抽出することは信号弁別の問題に帰着する。

島嶼部や沿岸部における長期観測を行えば海流位置を推定でき、気候変動、生物相の変動に関する研究の支援データを構築できると期待される。

2. 地球電磁気データの観測について

2004年1月現在、図1に示された観測点が稼働中である。観測システムの概念図が図2に示されており、観測点では、地磁気3成分と水平地電位差2成分を常時観測している。電磁気学的アプローチによる地殻活動監視手法開発のため基礎研究を実施している観測点を兼ねている[2]。図1からわかるように、房総半島南部に、内浦、清澄、札郷、伊予が岳、小湊と4箇所の拠点観測点がある。また、伊豆半島にも清越、持越、賀茂、蛇石と4箇所の観測点がある。これらのデータは千葉大学海洋バイオシステム研究センターへ転送されている[3]。

房総半島沖合の海流の流れおよび図1の観測点の配置から、房総半島銚子付近または茨城県南部沿岸付近のデータが重要であることが理解される。銚子には海洋バイオシステム研究センター銚子実験場があり、当該場所にて、電磁場5成分の環境調査観測を実施した。しかしながら、当該実験場は海岸に面しており、またセンサ埋設場所も極めて海岸線に近く、波浪の影響をさけられないことが判明した。したがって、銚子地域での観測は実施していない。したがって当面は黒潮流に着目することにした。

図1の観測点から得られるデータを補完するため、東海大学等が観測している伊豆諸島領域や東海地域および南西諸島地域の地電位差・地磁気データも使用することとした。観測点配置は図3に示してある。これらの観測点のうち1部では現在はデータを所得していない観測点もある。

3. データ処理について

1節でも述べたが、地電位差データおよび地磁気データに含まれる海流に関する信号成分と、他の信号との弁別が重要である。現在、信号弁別の方法を開発中である。観測された地電位差データ、地磁気データに関して、昼間データには直流電車の漏洩電流の影響が強くあることがわかり、手始めとして人工雑音の影響の小さい夜間データの信号に着目した。地電位差、地磁気データ両方に共通して出現する太陽地球相互作用による広域的信号（地磁気変動（周期数秒～1,000秒が対象））について、それを除去する手法の開発を行った。これは短周期側のノイズ除去となる。本研究ではウェーブレット変換を用いたインターステーション法[4]、[5]を適用した。本手法はリモートリファレンスを用いるので、リファレンスデータの信号精度に結果が左右される。リファレンスを慎重に選択する必要がある。本研究では人工ノイズレベルの低い気象庁地磁気観測所（茨城県八郷町柿岡）の地磁気データをリファレンスとして房総半島・清澄観測点の地電位差、地磁気データへ適用した。その結果の1例を図4～5に示す。電磁場の大局的な変動が除去されており、地磁気データ、地電位差データとも周期数秒～1,000秒の地球超高層を起源とする地磁気変動の影響を概ね除去できることがわかった[6]、[7]。

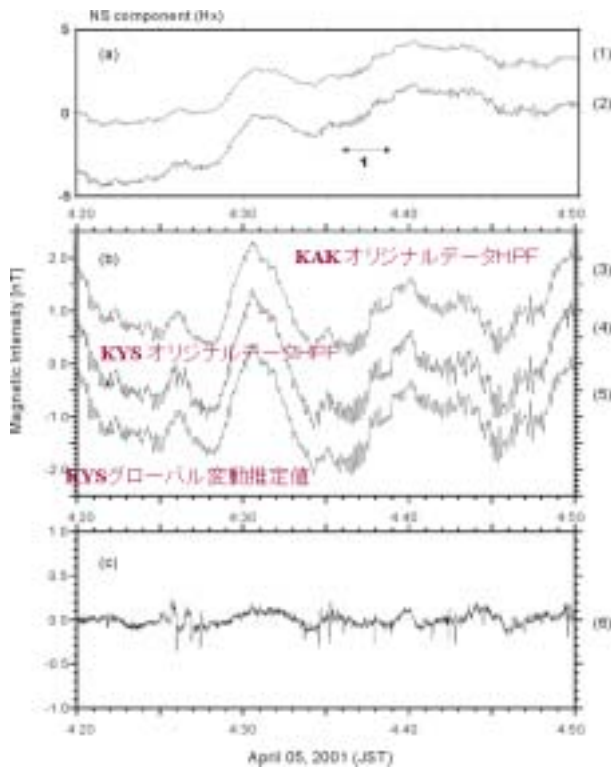


図4 広域信号除去の1例（磁場水平南北成分）図中の1に周期的な地磁気脈動があるが、これも(c)において除去されている。

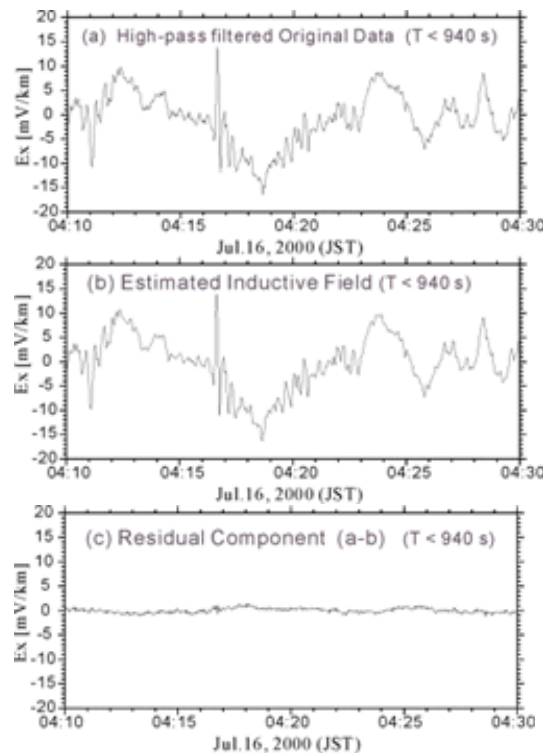


図5 広域信号除去の1例（電場水平南北成分）

4. これまでの成果と今後の課題

本研究では、これまでに観測データの収集および整理を行った。また、ウェーブレット変換を用いたインターステーション法を利用して、太陽地球相互作用に基づく広域的な信号成分を除去する手法を開発した。柿岡の地磁気観測所の地磁気データをリファレンスとして房総半島・清澄観測点の地電位差データおよび地磁気データに適用したところ、除去したい信号を概ね除去できることが確認された。すなわち、太陽地球相互作用に起因する広域的信号（地磁気脈動およびその誘導成分）を有効に弁別する手法を確立できたと結論できる。

次に除去すべき信号成分は昼間の人工雑音（直流電車の漏洩電流成分）と潮汐成分である。潮汐は、長周期の変動成分、月などの天体の位置関係等から理論的な潮汐成分が計算可能であると思われる。したがって観測点データから理論潮汐成分を電磁場データから差し引くことによって実現される。人工雑音の除去はかなり困難であると思われるが、適切なフィルタの設計と波形や偏波等他の特徴量も考慮することによって除去することが可能になると期待される。

また、房総沖等の海底ケーブル等の電位差データも入手し、同様な解析を行い、我々の陸上データと比較検討することも重要である。さらに、船上観測データや衛星観測データから推定された海流位置と地電位差・地磁気等の地球電磁気データから得られた情報の関係を詳細に調査する。最終的には適切なモデルを考案し、シミュレーションにて評価する。

5. 文献

- [1] N. A. Palshin, L.L. Vanyan, P. Kaikkonen, On-shore amplification of the electric field induced by a coastal sea current, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 94, 269-273, 1996.
- [2] 服部克巳, 地殻活動に関連する ULF 帯の電磁場変動, *EMT-03-71*, 53-57, 2003.
- [3] K. Hattori, I. Takahashi, C. Yoshino, N. Isezaki, H. Iwasaki, M. Harada, K. Kawabata, E. Kopytenko, Y. Kopytenko, P. Maltsev, V. Korepanov, O., Molchanov, M. Hayakawa, Y. Noda, T. Nagao, and S. Uyeda,

- ULF Geomagnetic Field Measurements in Japan and some recent results associated with Iwateken Nairiku Hokubu earthquake in 1998, *J. Physics and Chemistry of Earth*, in press.
- [4] D. Beamish and R. J. Banks: "Geomagnetic Variation Anomalies in Northern England: Processing and Presentation of Data from a Non-simultaneous Array", *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 75, 513-539, 1983.
- [5] S. Fujiwara and H. Toh: "Geomagnetic Transfer Functions in Japan Obtained by First Order Geomagnetic Survey", *J. Geomag. Geoelectr.*, 48, 1071-1101, 1996.
- [6] 原田誠, 服部克巳, 伊勢崎修弘, 応答関数法による ULF 電磁場データの信号弁別の試み, *電気学会論文誌 A*, 123, 1159-1165, 2003.
- [7] 原田誠, 服部克巳, 伊勢崎修弘, ウェーブレット解析およびインターステーション応答関数法による ULF 電磁場データの信号弁別, *EMT-03-104*, 29-34, 2003.

房総半島の上部新生界から産出する石灰質ナンノ化石と北西太平洋古海洋変遷史 亀尾浩司（古海洋バイオシステム研究分野）

はじめに

本邦中部に位置する房総半島には、古第三系である嶺岡層群を基盤として、三浦層群および上総層群などと言われる中新統以上の堆積物が広く分布している。これらの地層群は、中新世～更新世にかけてこの地域に発達した前弧海盆を充填する堆積物と、その海側に発達する陸棚斜面の堆積物からなると言われている（斎藤、1992；小竹、1988 など）。それらは堆積速度が非常に大きい連続した海成堆積物であり、しかもいろいろな微化石を豊富に含むという特徴を持つことから、小池（1949）がその層位学的研究を本格的に始めて以来、さまざまな手法による年代層序学的検討が行われてきた（Saito, 1963；Oda, 1977；中川ら、1969；新妻、1976 など）。また、さまざまな微化石を豊富に含んでいるという特徴は、この房総半島が年代層序学的研究だけでなく、そこに分布する地層群を用いた古環境学的研究を行うにも大変適した場所であることを示している。

本論は、海洋バイオシステム研究センターの共同研究として実施されている「さまざまな時間スケールの海洋の環境変動に対する海洋バイオシステムの応答様式の解明—黒潮・親潮変動を支配する気候システムの変遷との関連—」のうち、おもに地層中に保存された微化石の変動に基づいて古海洋環境の変遷を検討した研究の中間報告である。ここでは、すでに亀尾ほか（2002）および亀尾ほか（2003）で公表されている研究結果をおもにレビューし、房総半島周辺の過去 1,800 万年間における海洋環境の変化と、それを引き起こしたかつての気候変動メカニズムを考察することに重点を置いて議論を行った。

取り扱う地層群の層序と年代

本論では、房総半島に分布する地層群のうち、三浦層群^{めらそう}天津層と千倉層群^{みなみあさいそう}布良層および南朝夷層を取り扱う（Figs. 1 and 2）。このうち、三浦層群天津層は房総半島の中部に東西に分布しており、中新世における房総半島前弧海盆充填堆積物の一つとされている（斎藤、1992 など）。また、千倉層群布良層および南朝夷層は、天津層よりも新しい地層群で、その堆積年代は後期鮮新世である（小竹ほか、1995 など）。この地層群は、前弧海盆の外側に位置する陸棚斜面の堆積物であると考えられている（小竹ほか、1995 など）。

上記の地層群はいずれも基本的には泥岩からなるが、しばしば砂岩やテフラを頻繁に挟在する。天津層は、勝浦市周辺および天津小湊町付近の房総半島東岸から保田周辺の半島西岸までほぼ東西に分布する地層で、しばしば中粒～細粒な砂岩を挟在する、青灰色を呈する泥岩である。天津層に多数挟在するテフラは、非常に良好な鍵層となる。中嶋ら（1981）が命名したテフラ Am1～Am98 は、多くの場合遠く三浦半島に分布する三浦層群中にも追跡することができる（たとえばト部、1992）。亀尾ほか（2002）でも、これらのテフラを追跡することによって天津層のほぼ完全なセクションを得ている。彼らの研究によれば、天津層には 14 の石灰質ナンノ化石基準面が認められ、その年代はおおむね 13Ma～5Ma であることがわかっている。

本論で取り扱う布良層と南朝夷層は、房総半島の中でもその南端部、館山市布良海岸から半島東部の千倉町にかけて分布する（小竹、1988 など）。これらのうち、布良層は薄い砂岩を挟む泥岩で構成され、南朝夷層は砂岩優勢な砂岩と泥岩の互層と、その上位にある泥岩からなる。両層の関係が不整合であるという見解があるが（小竹、1988 など）、小竹ほか（1995）あるいは亀尾ほか（2003）などによる微化石層序の検討結果によれば、両層の間に化石基準面が欠如するような時間間隙を示す現象は認められない。したがって両層の分布構造が斜交することによって示唆される時間間隙はほとんどないものと見なされる。亀尾ほか（2003）によれば、布良層と南朝夷層には 6 つの石灰質ナンノ化石基準面が認められ、それによると両層の年代はおおむね 3.3Ma～2.4Ma と考えられている。

研究方法

亀尾ほか（2002）および亀尾ほか（2003）では、上記地層群をそれぞれ代表するルートを選定し、その岩相を詳しく観察するとともに、おもに泥岩部から試料を採取して、それらから産出す

る石灰質ナノ化石を検討した。検討した化石群集や種の変動は、明らかにその当時の海洋環境の変化を反映している。このことは現生石灰質ナノプランクトンの地理分布からも容易に理解できることである。たとえばTanaka (1991) が示した本邦周辺海域における海底表層堆積物中の石灰質ナノプランクトンの分布によれば、おのおのの石灰質ナノプランクトンの産出頻度は表層水塊のさまざまな性質によって異なり、黒潮海流、混合水域、沿岸などそれぞれの水塊に特徴的な遺骸群集になっていることがわかっている。地質時代の過去においても、化石種の地理分布は原則として海洋環境に支配されていることが知られているので、化石群集の違いから海洋表層水塊の違いとその変遷を読みとることができる。

ところで、ここで議論の対象とする時代は中新世から鮮新世まで幅広い。石灰質ナノ化石は進化速度が速いため、鮮新世や中新世に見られるほとんどの種は絶滅種である。したがって、現生種の生息環境を化石種の解釈にそのまま適用して、かつての古海洋環境を復元することは難しく、それが可能であるのは比較的最近の地質時代、たとえば過去数万年～数十万年間でしかない(Molfin and McIntyre, 1990 など)。しかしたとえ絶滅種であっても、これまでその古地理分布に基づいて生息環境が推定されている研究例も多くある(たとえば Chepstow-Lusty et al., 1989 ; Okada, 2000 ; Kameo, 2002 など)。つまり、現生種の生息環境だけでなく、そのような研究成果も加えれば、十分に過去の表層海洋環境を考察することが可能である。とくに亀尾ほか(2003)ではこのような考えに基づき、Tanaka (1991) による表層堆積物中の遺骸群集に関する研究とこれまでに行われた化石種の生息環境を考察した研究をあわせて考察し、新第三紀における本邦周辺海域の表層水塊構造を復元することを試みている。

各地域の化石群集が示す海洋環境の変化

1. 南房総—後期鮮新世—

南房総に分布する布良層と南朝夷層の石灰質ナノ化石群集の変化に基づく、後期鮮新世における相対的な表層水塊の寒暖の変化と、栄養塩含有量の変動を表すことができる(亀尾ほか, 2003)。

亀尾ほか(2003)によれば、布良層および南朝夷層から産出する石灰質ナノ化石のうち、温暖種である*Discoaster*属と寒冷種である*Coccolithus pelagicus*の層位変化は、原則として逆相関の関係にあることが示されている(亀尾ほか, 2003のFigs. 6, 7)。また、栄養塩含有量の多い海域を代表する非常に小さい*Reticulofenestra*属と、沖合で栄養塩の乏しい海域に卓越する*Florisphaera profunda*の層位分布も、互いに逆の変動形態をとる。さらに、*C. pelagicus*と*Discoaster*属の変動から読める寒暖の変化と、非常に小さい*Reticulofenestra*属と*F. profunda*の変化から認識できる栄養塩の変動も良い相関関係にあり、暖かい時期には栄養塩が減少し、逆に寒冷な時期には栄養塩が豊富になる傾向があることを意味している(亀尾ほか, 2003のFigs. 6, 7)。つまりこれらのことは、後期鮮新世の時期に栄養塩の乏しい温暖な黒潮海流と、それよりも栄養塩含有量の高い寒冷な混合水塊とが、交互に房総沖に影響を及ぼしていたことを示している。

産出する石灰質ナノ化石のうち、3.3Maから3.0Maまでの間、*Discoaster*属と*Florisphaera profunda*がともに多産することが示されている(亀尾ほか, 2003のFigs. 6, 7)。したがってこの時期には非常に暖かい表層水塊、すなわち黒潮海流がこの海域に広く占めていたことは明らかである。一方、この間には*C. pelagicus*がわずかに増加し、*Discoaster*属が減少するような層準も見られる。つまり、全体として温暖な傾向が支配的な中でも、3.2Maと3.1Ma付近にそれぞれ数万年程度の小規模な寒冷期が存在したと考えられる。

一方、3.0Ma以降は、*Discoaster*属が急激に減少し、それとは逆に寒冷化を示す*C. pelagicus*が多産するようになる(亀尾ほか, 2003のFigs. 6, 7)。またこの現象に同調して非常に小さい*Reticulofenestra*属も増加する。つまり、この時期以降、それまでよりも寒冷な水塊、すなわち混合水塊の影響が強くなるような状況になったと考えられる。亀尾ほか(2003)は、*C. pelagicus*の増加の大きさを考慮して、2.7Ma以降は明らかにこの寒冷化の傾向が顕著であるとした。さらに、沿岸海域に比較的多く見られる*Helicosphaera*属も3.0Ma以降多く産出しはじめ、2.7Maより後に増加する(亀尾ほか, 2002のFig. 6)。このことも、より沿岸の水塊の影響が卓越するようになったことと調和的である。一方、この属は現在の東シナ海付近を起源とする表層水の流入に伴って分布するので(Tanaka, 1991)、単に沿岸水塊の影響が強くなっただけでなく、この時期に少なくとも東アジア大陸周辺の沿岸水を起源とする表層水の影響が強まった可能性も示唆しており(Fig.4)

この海洋イベントがアジアモンスーンの強化といった気候イベントとも強く関係していることが指摘できる(亀尾ほか、2003)。

亀尾ほか(2003)が指摘したこの中期鮮新世(3.1Maから3.0Ma)の温暖期は、Dowsett et al.(1992)などによって指摘された"Mid-Pliocene Warmth (Raymo et al., 1996)"に相当する。同じ温暖期はBarron(1992)をはじめとする世界各地の深海底コアの解析によっても指摘されており(たとえばRaymo et al., 1996)、この海洋現象がグローバルな気候変動の産物であることは明らかである。ただしRaymo et al.(1996)によればこの温暖期に海洋循環は活発であったことが指摘されているが、亀尾ほか(2003)やSato et al.(2002)などの結果による表層海洋循環形態の復元結果は、かならずしもそれと整合的ではない。地球規模での循環形態の復元は、これからの課題である。

2. 天津層—中期中新世—前期鮮新世—

房総半島の中部に分布する三浦層群天津層からも、指標種を含むさまざまな石灰質ナンノ化石が比較的豊富に産出する(亀尾ほか、2002)。おもな石灰質ナンノ化石種の層位分布に基づけば、天津層に計14の化石基準面とバイオイベントが認定できる。その結果、天津層は石灰質ナンノ化石帯CN5帯(NN6帯)からCN10帯(NN12帯)に相当し、中部中新統から下部鮮新統に対比される(亀尾ほか、2002)。相当する年代はおおむね13Maから5Maである。化石種の層位分布と化石基準面の特徴を見ると、鍵層Am29以上と以下とで化石群集上の大きな違いがあることがわかる(亀尾ほか、2002のFig. 4)。すなわち、テフラAm29以上の層準では、化石種の種数も比較的多く、個体数も多いのに対し、それより下位の層準では種数が極端に少ない。このことはテフラAm29堆積時以降において、化石群集の多様度が増したことを意味している。一般に石灰質ナンノプランクトンの多様性は低緯度、すなわち温暖な環境下において高く、高緯度になるほど低くなることが指摘されている。このことを考えると、ちょうどこの時期に温暖な黒潮海流が北上するイベントがあったことが示唆される。認められる石灰質ナンノ化石基準面によれば、その時期は石灰質ナンノ化石帯CN6帯(*Catinaster coalitus* Zone)の下限、すなわち約11Maに相当する(亀尾ほか、2002のFig. 4)。佐藤ほか(1995)によれば、日本海側でもこの時期に一時的に南方からの表層水塊の進入があったことが指摘されている。このことは11Ma前後の時期に、黒潮を含む北半球亜熱帯循環の強度が強まるような、古気候の変動があったことが考えられる。

おわりに

本論では房総半島に分布する新第三系の研究例(亀尾ほか、2002; 亀尾ほか、2003)をレビューし、それに新たな若干の考察を加えて、それぞれの化石変動から明らかにできる中新世および鮮新世の表層海洋変動を議論した。その結果、房総半島に分布する地層群を検討することにより、本邦太平洋側を流れる黒潮海流のダイナミックな変動や、混合水域の南下現象、そしてそれらの変化をもたらした駆動力を考察することが可能であることが明らかになった。本研究は中間段階であるが、今後さらに精度を上げて調査をしていくことにより、これまで以上の詳細に北西太平洋の古海洋変遷を読み取ることができないに違いない。とくに本論では述べていないが、銚子地域に分布する第四系を用いた古海洋環境の復元も現在行っており、別途報告する予定である。また、そのほかの微化石を検討することにより、かつての海洋一次生産者の挙動と海洋環境との関係を明らかにし、炭素循環システムの変動にも言及できる可能性がある。

一方で、地層中の記録に基づいてかつての黒潮や親潮の変動を読み取り、それらと生物活動との関係を議論することは、数万年のオーダーでは可能である。上記の研究が進めば、千年オーダー、あるいは数百年のオーダーでの検討も可能であろう。しかしながらさらに細かいスケールでの変動を考察するためには、現在の太平洋沿岸、とくに房総半島沿岸域における生物相の把握と、短い時間サイクルでの変動様式を明らかにすることは必要不可欠である。現在は過去を解く鍵であると言われる。人類が把握できる時間スケールでの生物相とその変動要因に関する研究は、地層から読める海洋変動をこれまで以上に詳細に理解し、将来的な変動を予測する上できわめて重要である。

文 献

Backman, J. and Raffi, I., 1997, Calibration of Miocene nannofossil events to orbitally-tuned

- cyclostratigraphies from Ceara Rise. In Curry, W.B., Shackleton, N.J., Richter, C., eds., *Proc. ODP, Sci. Results*, **154**, College Station TX (Ocean Drilling Program), 83-99.
- Barron, J.A., 1992, Pliocene paleoclimatic interpretation of DSDP Site 580 (NW Pacific) using diatoms. *Mar. Micropaleontol.*, **20**, 23-44.
- Berggren, W.A., Kent, D.V., Swisher, C.C., III. and Aubry, M.P., 1995, A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W.A., Kent, D.V., and Hadenbol, J., eds., *Geochronology, Time Scales, and Global Stratigraphic Correlations: A Unified Temporal Framework for an Historical Geology*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec., no. 54, 129-212.
- Chepstow-Lusty, A., Backman, J., and Shackleton, N.J., 1989, Comparison of upper Pliocene *Discoaster* abundance variations from North Atlantic Sites 552, 607, 658, 659, and 662: further evidence for marine plankton responding to orbital forcing. In Ruddiman, W., Sarnthein, M., et al., *Proc. ODP, Sci. Res.*, **108**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 121-141.
- Dowsett, H.J., Cronin, T.M., Poore, R.Z., Thompson, R.S., Whatley, R.C. and Wood, A.M., 1992, Micropaleontological evidence for increased meridional heat transport in the North Atlantic Ocean during the Pliocene. *Science*, **258**, 1133-1135.
- Kameo, K., 2002, Late Pliocene surface water dynamics and climatic changes based on calcareous nannofossil records. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, **179**, 211-226.
- 亀尾浩司・斎藤敬二・小竹信宏・岡田誠、2003、房総半島南端、千倉層群下部の石灰質ナンノ化石に基づく本邦中部太平洋側の後期鮮新世表層海洋環境。地質雑、109、478-488。
- 亀尾浩司・三田勲・藤岡導明、2002、房総半島に分布する安房層群天津層（中部中新統～下部鮮新統）の石灰質ナンノ化石層序、地質雑、**108**、813-828。
- 小竹信宏、1988、房総半島南端地域の海成上部新生界。地質雑、**94**、187-206。
- 小竹信宏・小山真人・亀尾浩司、1995、房総半島南端地域に分布する千倉・豊房層群（鮮新—更新統）の古地磁気および微化石層序。地質雑、**101**、515-531。
- 小池 清、1949、房総半島中部の地質（II）。東京大学立地研報、No. 3、1-6。
- Molfinio, B. and McIntyre, A., 1990, Precessional forcing of nutricline dynamics in the equatorial Atlantic. *Science*, **249**, 766-769.
- 三田 勲・高橋雅紀、1998、房総半島、中部中新統木の根層および天津層下部の石灰質ナンノ化石層序。地質雑、**104**、877-890。
- 中川久夫・新妻信明・早坂功、1969、房総半島新生代地磁気編年。地質雑、**75**、267-280。
- 中嶋輝允・牧本博・平山次郎・徳橋秀一、1981、鴨川地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）107 pp。
- 新妻信明、1976、房総半島における古地磁気層位学。地質雑、**82**、163-181。
- Oda, M., 1977, Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Late Cenozoic sedimentary sequence, central Honshu, Japan. *Sci. Repts. Tohoku Univ.*, 2nd ser. (Geol.), **48**, 1-72.
- Okada, H., 2000, Neogene and Quaternary calcareous nannofossils from the Blake Ridge, Sites 994, 995, and 997. In Paull, C.K., Matsumoto, R., Wallace, P.J., and Dillon, W.P., et al., *Proc. ODP Sci. Res.*, **164**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 331-341.
- Okada, H., and Bukry, D., 1980, Supplementary modification of code numbers to low latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Mar. Micropaleontol.*, **5**, 321-325. Okada, H. and Matsuoka, M., 1996, Lower-photoc nannoflora as an indicator of the late Quaternary monsoonal palaeo-record in the tropical Indian Ocean. In Mognilevsky, A., Whatley, R. (Eds.), *Proceedings of ODP and the Marine Biosphere. International Conference, Aberystwyth*, 19-21 April 1994, 231-245.
- Raymo, M.E., Grant, B., Horowitz, M. and Rau, G.H., 1996, Mid-Pliocene warmth: stronger greenhouse and stronger conveyor. *Mar. Micropaleontol.*, **27**, 313-326.
- 斎藤実篤、1992、房総半島南部の新生界の層位学的研究。東北大地質古生物研報、No. 93、1-37。
- 佐藤時幸・工藤哲朗・亀尾浩司、1995、微化石層序からみた新潟地域における石油根源岩の時空分布。石油技術協会誌、**60**、76-86。
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・亀尾浩司、1988、日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序 その4：総括・太平洋側および鮮新統/更新統境界の模式地との対比。石油技術協会誌、**53**、475-491。
- Sato, T., Saito, T., Yuguchi, S., Nakagawa, H., Kameo, K., and Takayama, T., 2002, Late Pliocene calcareous nannofossil paleobiogeography of the Pacific Ocean: Inference on glaciation at 2.75Ma. *Proc. VII RCPNS (Mexico)*, 175-189.

- Tanaka, Y., 1991, Calcareous nannoplankton thenatocoenoses in surface sediments from seas around Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, **61**, 127-198.
- ト部厚志、1992、三浦・房総半島の三浦層群における火砕鍵層対比・重鉱物組成と化学組成による再検討・地質雑、**98**、415-434 .

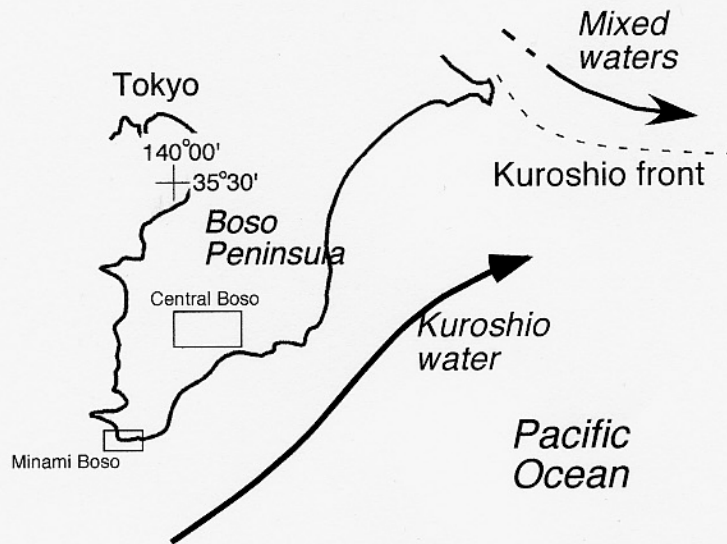


Fig. 1 Location of the studied areas.

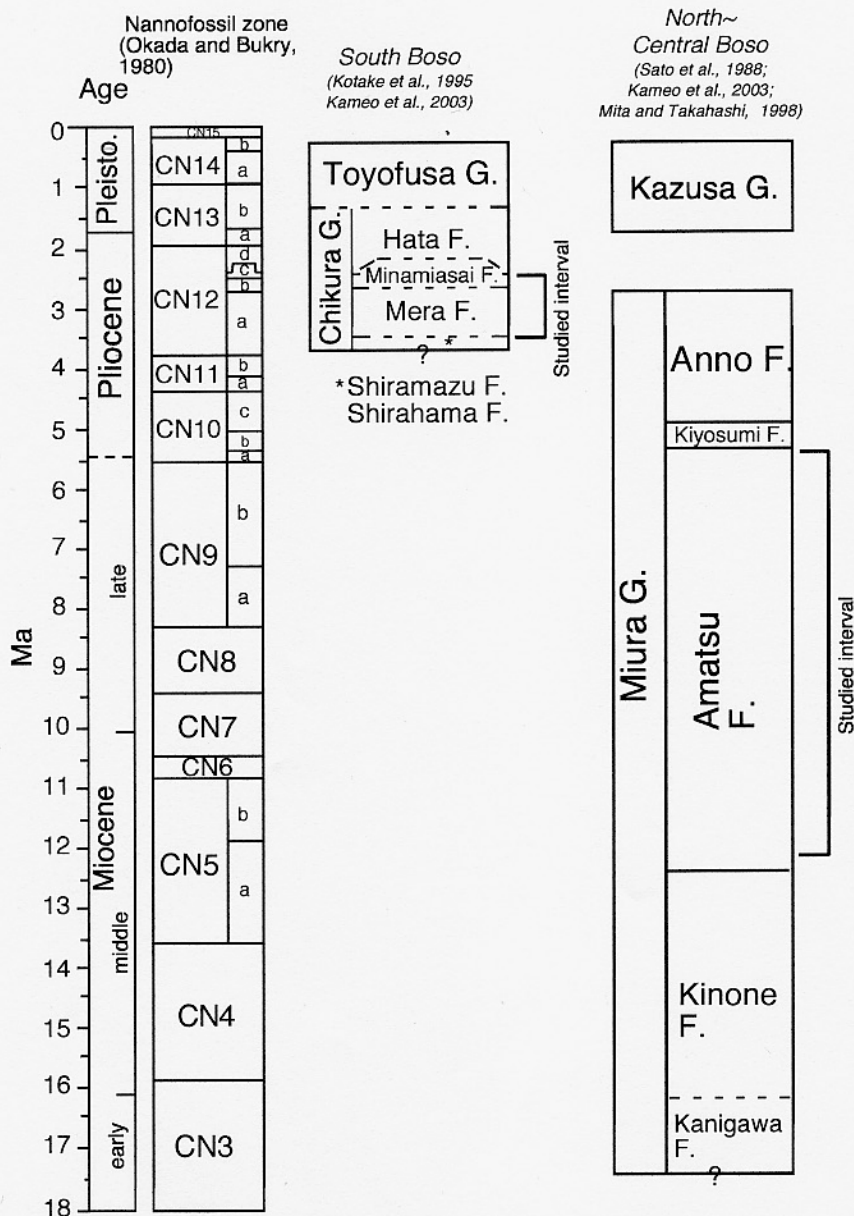


Fig. 2 Stratigraphic relations of the Neogene and Quaternary sequences in the Boso Peninsula. Absolute ages of nannofossil datums are based on Backman and Raffi (1997) and Berggren et al. (1995).