

2011. 5

特集号



国立大学法人 高知大学学報

(題字：相良祐輔学長)

高知大学学位授与記録第四十六号

法人企画課広報戦略室発行

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、高知大学学位規則第15条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

 *
 *
 *
高知大学学報
 *
 *
 *

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

目 次

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
甲総黒博第1号	大類 穂子	黒潮流域における汽水性カイアシ類の動物地理	1

ふりがな	おおるい さきこ																				
氏名(本籍)	大類 穂子 (東京都)																				
学位の種類	博士(学術)																				
学位記番号	甲総黒博第1号																				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当																				
学位授与年月日	平成23年3月23日																				
学位論文題目	黒潮流域における汽水性カイアシ類の動物地理																				
発表誌名	A new species of <i>Pseudodiaptomus</i> (Copepoda: Calanoida) from Japan, with notes on the closely related <i>P. inopinus</i> Burckhardt, 1913 from Kyushu Island. Sakaguchi, S.O. & H. Ueda, Zootaxa, 2623: 52–68, 2010 September, 23.																				
	<table border="0"> <tr> <td>審査委員</td> <td>主査</td> <td>教授</td> <td>上田</td> <td>拓史</td> </tr> <tr> <td></td> <td>副査</td> <td>教授</td> <td>木下</td> <td>泉</td> </tr> <tr> <td></td> <td>副査</td> <td>準教授</td> <td>久保田</td> <td>賢</td> </tr> <tr> <td></td> <td>副査</td> <td>外部委員</td> <td>大塚</td> <td>攻</td> </tr> </table>	審査委員	主査	教授	上田	拓史		副査	教授	木下	泉		副査	準教授	久保田	賢		副査	外部委員	大塚	攻
審査委員	主査	教授	上田	拓史																	
	副査	教授	木下	泉																	
	副査	準教授	久保田	賢																	
	副査	外部委員	大塚	攻																	

論文の内容の要旨

1. 緒言

汽水性カイアシ類は、河口域を成育場とする仔稚魚などの重要な餌生物であり、河口域生態系の要となっている。河口域は海と川に挟まれており、それら両方からの影響を受ける複雑で変遷的な環境である。変化の激しい河口域には、淡水や海産種ではなく、その環境に特化した汽水種が優占的に生息している。このような特殊な環境下に生息する汽水性カイアシ類の分布拡大方法は特徴的なものだと考えられる。淡水種は、分布域が地理的に隔離されており、分布要因は地史に依存すると考えられる。逆に、海産種は広大な海洋を分布域としており、海流や潮流によって運ばれ分散していると考えられる。汽水種の場合は、河口域が海側に開けているため、淡水種のように生息環境が完全に隔離された状況ではない。しかし、高塩分な海水中では長く生存できない。分散方法として予想されるのは、例えば、洪水時に河川水とともに海域へ出て、汽水塊ごと海流に運ばれることができれば、近隣の河口域へ辿り着くことができるかもしれないということである。

日本近海には、フィリピンの太平洋側を源流域とする黒潮と、黒潮の支流と考えられている対馬暖流が流れている。黒潮は熱帯や亜熱帯域の海産生物を日本近海まで運んでおり、運ばれてきた生物によって南日本の沿岸は生物の多様性は非常に高いものとなっている。また淡水種にとっても黒潮流域は重要な場所であり、黒潮中流域の南西諸島は、生物相と島々の成り立ちと深く関わっていると考えられている。南西諸島には生物分布境界線がいくつか引かれており、その中でも特に重要視されているのが、屋久島と奄美大島間の

論文の内容の要旨

トカラ海峡上に引かれた渡瀬線で、この線は多くの生物群で共通する。南西諸島が陸続きになった氷河期においても、トカラ海峡が地理的に分断し続け、様々な陸生生物の分散を妨げ、隔離してきたとされる。このトカラ海峡のバリアの影響は、分布や生物相だけではなく遺伝的系統関係においても反映されている。

近年、地球温暖化や船のバラスト水を介した人為的輸送によるカイアシ類の分布域の変化が問題になっている。人為的輸送による影響は特に東アジアの汽水性カイアシ類に顕著である。日本に分布する東アジア広域種 *Pseudodiaptomus inopinus* Burckhardt, 1913 は東アジアからアメリカ西海岸へ導入され、導入先の生態系を大きく変えてしまった。このような分布域の変化に対処し、河口域生態系保全のためには、汽水性カイアシ類相を把握する必要がある。

本研究では、黒潮流域の汽水性カイアシ類相とそれらの分布を詳細に調べ、その結果と、それらの遺伝子分析から汽水性カイアシ類の分散方法やその過程を明らかにすることを目的とする。また古地理との関係についても考察する。

2. フィリピンと南西諸島の汽水性カイアシ類

黒潮の上流域であるフィリピン、黒潮中流域の南西諸島の与那国島、西表島、石垣島、宮古島、沖縄島、沖永良部島、奄美大島、屋久島の河口域など 44 の汽水域を 2008 年 5 月～2010 年 2 月にかけて調査し、汽水性カイアシ類を採集した。その結果、各地域から *Acartia sinjiensis* Mori, 1940, *A. tsuensis* Ito, 1956, *A. sp.1*, *Pseudodiaptomus annandalei* Sewell, 1919, *P. brehmi* Kiefer, 1938, *P. ishigakiensis* Nishida, 1985, *P. nansei* Sakaguchi & Ueda, 2010, *P. serricaudatus* (Scott T., 1894), *P. terazakii* Walter, Ohtsuka & Castillo, 2006, *P. trihamatus* Wright S., 1935, *Oithona dissimilis* Lindberg の 11 種の汽水性カイアシ類が出現した。*Acartia sp.1* は未記載種で、新種の可能性がある。過去の出現報告も含めると、フィリピンと南西諸島に分布する 11 種のうち、4 種が両地域に共通する種であり、残りの 4 種がフィリピン、さらに 3 種が南西諸島のみに分布する。両地域の汽水性カイアシ類相は異なった。

過去の知見と今回の結果から、*Pseudodiaptomus* 属全体の種多様性はフィリピン近海が世界で最も高いことがわかった。日本近海でみられる海産生物の大半は、黒潮や対馬暖流によって日本近海まで運ばれてきていると考えられ、この *Pseudodiaptomus* と同様の分布パターンを示す。しかし、フィリピンと南西諸島に分布する汽水性 *Pseudodiaptomus* 7 種のうち共通して出現したのは 2 種だけであった。この結果は、フィリピンの汽水性 *Pseudodiaptomus* の多くは黒潮によって南西諸島に運搬されていないことを示すものだと考えられた。フィリピンにのみ出現した *A. sp.1* は、共存種 *A. sinjiensis* と *A. tsuensis* と同じ亜族に入り、形態的に非常によく似ている。また、フィリピンから出現する *A. tsuensis* は species complex (種複合体) の可能性もあり、フィリピンに分布するとされる *Acartia* 3 種が混同されていることが考えられる。

南西諸島に広く分布する *A. tsuensis* と *P. nansei* は、ハブが生息しない与那国島、宮古島、

論文の内容の要旨

沖永良部島からは採集されなかった。この 2 種の採集点の塩分は、それら宮古島、沖永良部島にも出現した *A. sinjiensis*, *P. ishigakiensis* の採集点よりも低い傾向があった。このことから、この 2 種は高塩分耐性がなく、ハブと同様に海進海退による島の沈水や連結といった南西諸島の地史がその分布パターンに関わっていると考えられた。

Pseudodiptomus trihamatus の分布パターンは奄美大島と屋久島の間にある渡瀬線を生物分布境界線とする多くの陸生生物のものと一致し、この分布にはトカラ海峡や黒潮によるバリアが考えられた。しかし、*P. nansei* と *O. dissimilis* の分布は水温低下が顕著に見られた奄美大島以北に境界線があることから、この 2 種の分布には水温という環境勾配が強く作用していると考えられた。

3. 西日本のカラヌス目カイアシ類の動物地理と韓国カイアシ類相との比較

黒潮下流域である西日本の九州、山陰と韓国の合計 49 の河口域を 2006 年 8 月～2009 年 8 月にかけて調査し、それらの汽水性カイアシ類相を調べ、両地域の比較を行った。本研究と過去の知見から、両地域には 13 種が出現し、これらのうち 8 種の *Acartia ohtsukai* Ueda & Bucklin, 2006, *A. sinjiensis*, *A. tsuensis*, *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880), *Pseudodiptomus inopinus*, *Sinocalanus sinensis* (Poppe, 1889), *S. tenellus* (Kikuchi, 1928), *Tortanus derjugini* Smirnov, 1935 は両地域に共通して出現し、残りの 5 種はどちらか片側にしか分布しなかった。

共通種 8 種中、日本の *A. ohtsukai*, *S. sinensis*, *T. derjugini* は大陸遺存種とされ、有明海周辺の河口域周辺にしか分布しない。*E. affinis* は species complex であることが世界的に指摘されている種である。また韓国の *A. sinjiensis*, *A. tsuensis* は最近になって出現報告されており、分布域も非常に限られている。韓国でのこの 2 種の分布は、最近の分散が原因ではないかと考えられる。よって、両地域に広域に共通して分布するのは *P. inopinus* と *S. tenellus* だけで、両地域の汽水性カイアシ類相は対馬海峡を境に大きく異なっていることが示された。

最終氷期後の対馬海峡の成立までは日本は韓国の海岸線が繋がっており、両国の汽水性カイアシ類個体群は分離してなかったと考えられる。このことから、現在の両国の違いは海峡成立後の地理的隔離による結果と考えられ、両国ともに広く分布する *P. inopinus* と *S. tenellus* の 2 種はおそらく、地理的隔離以前から韓国と日本に広く分布していたと推察される。汽水性カイアシ類が両国間で大きく異なったことは、対馬海峡がそれらカイアシ類の分散を妨げる大きな壁のような役割をしていることを示している。

4. 西日本における汽水性カイアシ類広域分布種の系統地理

これまで南西諸島や西日本(九州, 山陰, 四国)から採集した 4 種 *Acartia sinjiensis*, *A. tsuensis*, *Pseudodiptomus ishigakiensis*, *P. nansei* のミトコンドリア DNA (mtCOI) を分析した。その結果, *A. tsuensis* には西表島・石垣島個体群, 沖縄島・奄美大島個体群, 屋久島・西日本個体

論文の内容の要旨

群から成る3つの系列が、*P. nansei*には石垣島個体群、沖縄島個体群、奄美大島個体群から成る3つの系列が存在し、地理的分布と遺伝的分化が一致した。この2種においては、これらの地域間で分布が拡大しておらず、分散が妨げられていることが示された。*Acartia tsuensis*の沖縄島・奄美大島個体群、屋久島・西日本個体群間には黒潮が分散のバリアになっていることが示唆された。地史との関係から考えると、*A. tsuensis*と同じ系統地理パターンを持つ他の生物群によって、黒潮が流れるトカラ海峡と宮古島と沖縄島間にある慶良間海裂のバリアが示唆されている。このことから*A. tsuensis*にとってもこれら2つの海峡がバリアとなったと考えられた。また、*A. tsuensis*と*P. nansei*はともに、西表島と石垣島個体群の系列が他の系列に比べ最も分岐が深かった。これは西表島と石垣島個体群の分化が最も進んでおり、慶良間海裂が最も古くから南西諸島を分断していたことを裏付けるものと考えられた。しかし、*A. sinjiensis*と*P. ishigakiensis*は地理的分布と一致するような顕著な遺伝的分化は示されず、広い範囲で遺伝子交流が起こっていることが示唆され、その分散に海流が役立っていることも考えられた。

5. 日本産 *Pseudodiaptomus inopinus* の分類学的検討

南西諸島に分布した *Pseudodiaptomus inopinus* は、これまで東アジアに広く分布する種とされてきた。しかし、九州以北の個体群とは、両性の第5胸節背側の棘状の突起の欠如、生殖蓋の短い後方突起、メスの細い中間尾肢毛、メス第5胸肢外肢第1節目内側の尖った突起、オス左第5胸肢外肢の外側に太い第3節目という点で形態が異なることが明らかになった。さらに、mtDNAが九州以北と南西諸島との間で21~26%の大きな違いが示された。よって、南西諸島の個体群は固有の別種 (*P. nansei* Sakaguchi & Ueda 2010) として記載した。また、*P. inopinus*の九州以北の個体群と韓国の個体群間でもmtDNAに大きな違いもあったことから、*P. inopinus*には複数の種を含んでいる species complex の可能性を指摘した。

西日本に分布する *P. inopinus* には形態と分布域が日本海側と太平洋側とに明瞭に分かれる2型が存在することがわかり、その形態および分布の違いを記載した。この2型は別種の可能性があり、*P. inopinus* が species complex であることを証拠立てるものとなった。

6. 総合考察

黒潮流域全体の汽水性カイアシ類相とその分布、系統地理から、多くの汽水性カイアシ類の分散には海流がバリアとなってかかわっていること、またそれらの分布が地史とも深い関わりがあることを考察した。しかし、一部の種にとっては反対に、海流が分散の手段となっている可能性があり、古地理との関係も明らかではないことが示された。

これら東アジアに分布する汽水性カイアシ類には、広大な汽水域を有した古長江で分化したとする長江系統と、汽水湖であったと考えられる古日本海で分化した日本海系統との2つの

論文の内容の要旨

地理的系統があるとされてきたが、本研究の結果から、黒潮に沿うように分布する *A. sinjiensis*, *A. tsuensis*, *P. ishigakiensis* などからなる系統の存在が考えられる。これらの種は氷河期盛期後の水温上昇にともなって、熱帯や亜熱帯から初期の黒潮に乗って、高緯度まで分布を広げたと考えられる。

論文審査の結果の要旨

海と川に挟まれた河口域には、淡水や海産種ではなく、その環境に特化した汽水種が優占している。そのような環境の半閉鎖性から汽水性カイアシ類の分布拡大方法は淡水種や海産種と異なるものだと考えられる。日本近海には、フィリピンの太平洋側を源流域とする黒潮と、黒潮の支流と考えられている対馬暖流が流れている。黒潮は熱帯や亜熱帯域の海産生物を日本近海まで運んでおり、運ばれてきた生物によって南日本の沿岸は生物の多様性は非常に高いものとなっている。学位論文は、この黒潮流域において汽水性のカイアシ類の動物地理を動物相調査と遺伝子解析の結果から明らかにし、黒潮が生物の分布に及ぼす影響を考察したものであり、黒潮科学の名にふさわしい内容であるといえる。

また、近年、温暖化によって多くの生物の分布域に見られるようになり、あわせてバラスト水など人為的輸送によるカイアシ類の分布域の変化が世界的問題になっている。そうした状況のもとで、生態系の食物連鎖の底辺を支える動物プランクトンについて現在の詳細な動物相と分布を明らかにすることは、今後の変化に対応するために不可欠である。本学位論文の目的の1つは、現在の生物相の詳細な調査という目的もあり、将来の研究のために重要な記録となることが期待される。さらに、詳細な動物相調査では、しばしば種の分類学的混乱を発見することがあるが、本研究でも綿密な種同定の結果、新種、およびその可能性が高い種を発見し、それを記載している。地球環境の保全において生物多様性が1つのキーワードになる今日、本研究は分類学的にも貢献も果たしたものであると高く評価できる。学位論文の内容は、1章「まえがき」に始まり、2～5章が研究内容でその概要は次の通りである。2章では、黒潮の上流域であるフィリピン、黒潮中流域の南西諸島の与那国島、西表島、石垣島、宮古島、沖縄島、沖永良部島、奄美大島、屋久島の河口域など44の汽水域を3年かけて調査し、未記載種を含む11種の汽水性カイアシ類を同定し、その分布を明らかにした。過去の出現報告も含めて地域間のカイアシ類相を比較すると、11種のうち、4種がフィリピンと南西諸島に共通する種であり、残りの4種がフィリピン、さらに3種が南西諸島のみ分布した。また、*Pseudodiaptomus* 属全体の種多様性はフィリピン近海が世界で最も高いことが明らかにされた。考察では、南西諸島に広く分布する *Acartia tsuensis* と *P. nansei* は、ハブが生息しない与那国島、宮古島、沖永良部島からは採集されなかったこと、この2種の採集点の塩分は、*A. sinjiensis*, *P. ishigakiensis* の採集点よりも低い傾向があったことから、2種は高塩分耐性がなく、ハブと同様に海進海退による島の沈水や連結といった南西諸島の地史がその分布パターンに関わっていることを示唆している。また、*Pseudodiaptomus trihamatus* の分布パターンは奄美大島と屋久島の間にある渡瀬線を生物分布境界線とする多くの陸生生物のものと一致し、この分布にはトカラ海峡や黒潮によるバリアを指摘している。一方、*P. nansei* と *O. dissimilis* の分布は水温低下が顕著に見られた奄美大島以北に境界線があることから、この2種の分布には水温という環境勾配が強く作用していると考えている。

3章では、黒潮下流域である西日本の九州、山陰と韓国の合計49の河口域を2006年8月～2009年8月にかけて調査し、両地域の比較を行っている。本研究と過去の知見から、両地域には13種が出現し、これらのうち8種は両地域に共通して出現し、残り5種はどちらか片側にしか分布しなかったことを明らかにしている。さらに、共通種8種のうち、大陸遺存種と、韓国側で最近発見された種を除けば、両地域に以前から共通して、かつ広く分布する

論文審査の結果の要旨

のは *P. inopinus* と *S. tenellus* の 2 種だけで、両地域の汽水性カイアシ類相は対馬海峡を境に大きく異なっていることを示している。考察では、最終氷期後の対馬海峡の成立までは日本は韓国の海岸線が繋がっており、両国の汽水性カイアシ類個体群は分離してなかったことから、現在の両国の違いは海峡成立後の地理的隔離による結果と考えている。また、両国ともに広く分布する *P. inopinus* と *S. tenellus* の 2 種はおそらく、地理的隔離以前から韓国と日本に広く分布していたと推察した。いずれにしても、汽水性カイアシ類が両国間で大きく異なったことから、対馬海峡がそれらカイアシ類の分散を妨げる大きな壁のような役割をしていることを指摘した。この章についてはすでに英文誌に印刷中である。

4 章では、西日本あるいは南西諸島に広く分布する 4 種 *Acartia sinjiensis*, *A. tsuensis*, *Pseudodiaptomus ishigakiensis*, *P. nansei* のミトコンドリア DNA (mtCOI) を分析し、その結果から次のことを明らかにしている。まず、*A. tsuensis* には西表島・石垣島個体群、沖縄島・奄美大島個体群、屋久島・西日本個体群から成る 3 つの系列が、*P. nansei* には石垣島個体群、沖縄島個体群、奄美大島個体群から成る 3 つの系列が存在し、地理的分布と遺伝的分化が一致すること。その結果から、この 2 種は、3 つの地理的系統間で遺伝子の交流が無く、個体の分散がその間で妨げられていることを考察している。具体的には、*A. tsuensis* の沖縄島・奄美大島個体群と屋久島・西日本個体群間、および宮古島と沖縄島間にはいずれも黒潮の流路となっており、黒潮が分散のバリアとなっていることを示唆した。一方、*A. sinjiensis* と *P. ishigakiensis* は地理的分布と一致するような顕著な遺伝的分化は示されず、広い範囲で遺伝子交流が起こっていることが示唆され、海流はむしろその分散に役立っている可能性があることを考察している。

5 章では、日本産 *Pseudodiaptomus inopinus* の分類学的検討を行っている。これまで東アジアに広く分布する種とされてきたこの種について詳しくその形態を観察し、かつ、遺伝子を比較した結果、九州以北と南西諸島の個体群は形態的、遺伝的に明瞭に異なった。そのため、別種であると判断して、南西諸島の個体を新種 *P. nansei* として記載した（新種記載はあらかじめ国際誌に主著論文として発表済み）。また、西日本に分布する *P. inopinus* には形態と分布域が日本海側と太平洋側とに明瞭に分かれる 2 型が存在することを示し、その形態および分布の違いを記載した。

最後の 6 章「総合討論」では、すべての結果を含めて、黒潮流域の汽水性カイアシ類の地理的分布について、黒潮と古地理との関係から種によって異なる要因を考察し、また、日本の汽水性カイアシ類相が、東シナ海（主に長江）と日本海を起源とする種他に、黒潮に沿って南西諸島を経由して分布を拡大したと考えられる種があることを示唆している。

冒頭でも述べたように、これらの結果、および考察は、いずれも学問的に高く評価でき、黒潮圏科学の学位取得に十分な内容があると判断できる。