

学 位 論 文 要 旨

氏 名

松岡 卓司

題 目

スナガニ類の呼吸水循環と鰓掃除機構に係わる剛毛の形態と適応
(Morphology and adaptation of setae for respiratory water circulation and for gill-cleaning mechanism of ocypodid crabs)

スナガニ上科のカニ類は鰓呼吸をすると同時に潮間帯に生息する半陸生の十脚甲殻類である。従って、常時水中で生活する種類と比較して呼吸水の確保ならびに鰓を汚損物質から守る事はその生存に極めて重要である。本研究では、スナガニ上科カニ類5科10属23種を材料とし、それらの呼吸水循環と鰓掃除機構に係る部位と剛毛の微細構造を明らかにし、更に、スナガニ上科内での呼吸水循環と鰓掃除機構に係る剛毛の分布要因の究明を目的とした。

スナガニ類の鰓掃除機構と呼吸水循環に係る剛毛の微細構造を操作型電子顕微鏡及び環境型走査型顕微鏡で観察した。また、スナガニ類の水循環行動、水循環経路掃除行動、水吸収行動をビデオカメラを用いて記録観察した。

その結果、鰓掃除を行なう第1-3顎脚副肢では主に、*digitate-scale setule* 剛毛、*scale-setule* 剛毛、アンカー状剛毛が認められた。スナガニ科のスナガニ属では *digitate-scale setule* 剛毛がほとんどであったが、シオマネキ属では *digitate-scale setule* 剛毛は第1顎脚副肢に少数分布するのみで、他はほとんど *scale-setule* 剛毛であった。さらにオサガニ亜属では、一列のみアンカーが認められ先端はシンプルな剛毛 (*single row half anchor setae*) が見られた。水循環に係る *Milne-Edwards aperture* (MEA) では主に羽毛状、冠毛状、羽毛・冠毛状剛毛が認められ、水吸収に係る *Müller's aperture* (MA) では括れた剛毛が認められた。観察された剛毛について検討した結果、*digitate-scale setule* は十脚目の多くの種の鰓掃除部位に幅広く分布していたので、祖先的な形質であると考えられた。スナガニ科のスナガニ属では *digitate-scale setule* を有する剛毛が主要な剛毛であったが、シオマネキ属では *scale-setule* を有する剛毛が主要な剛毛であった。そのため *scale-setule* はスナガニ科内の共有派生形質の可能性があると考えられた。*scale-setule* は *digitate-scale setule* から指状突起が無くなった物と同じ形をしていた。そのため、*scale-setule* は *digitate-scale setule* から進化したと考えられた。アンカー状剛毛はカニ類でのみ見られているため、カニ類の共有派生形質である可能性があると考えられた。*single row half anchor setae* はオサガニ亜属でのみ見られたためオサガニ亜属の特徴的な形質であると考えられた。MAの括れた剛毛は、その括れにより作られる小空間が毛細管現象を引き起こし、底質から水を集める役割を有すると考えられた。底質に差込まれた括れた剛毛が毛細管現象により底質から水を集め、この水を顎舟葉が作り出す陰圧によって体内に吸収すると考えられた。スナガニ類は干潮時に陸上で活動し、呼吸に必要な水を得るため、最も水が得やすい第2と第3歩脚の間に括れた剛毛があると考えられた。MEAの羽毛状、冠毛状、羽毛・冠毛状剛毛は、既知の知見も考慮するとゴミを濾過する作用を持つ事が確認され、呼吸水が体内に入って来る入口である MEA の部位に位置していると考えられた。スナガニ上科の剛毛の分布は、各部位の機能が主要な要因として決定されていると考えられたが、十脚甲殻類の系統や、生息環境も剛毛の分布に関与していると考えられた。

学 位 論 文 要 旨

氏 名	Takashi Matsuoka
題 目	Morphology and adaptation of setae for respiratory water circulation and for gill-cleaning mechanism of ocypodid crabs (スナガニ類の呼吸水循環と鰓掃除機構に係わる剛毛の形態と適応)

The superfamily Ocypodoidea is mostly composed of semi terrestrial crabs that respire by the gills and inhabit the intertidal area. Compared with aquatic crabs, it is important for terrestrial crabs to save respiratory water and protect the gills from debris. In this study, five families, ten genera, and 23 species were examined, and their parts and the setae involved in respiratory water-circulation and gill-cleaning were revealed. The objective of this study is to reveal gill-cleaning setal distribution and to determine the reason for respiratory water circulation.

Gill-cleaning and water circulation setae were observed by scanning electron microscopy and environmental scanning electron microscopy. The behaviors of water circulation, grooming water circulation path, and water uptake were observed by recording with a video camera.

In the epipods of the first to third maxilliped, digitate-scale-setule setae (DSSS), scale-setule setae (SCS), and anchor setae were found. In family Ocypodidae, almost all of the gill-cleaning setae of *Ocypode* were DSSS. However in *Uca*, a few DSSS were found in the epipod of the first maxilliped and almost all other setae were SCS. In the subgenus *Macrophthalmus*, single row half anchor setae were found. The ocypodid crabs have an aperture, the Milne-Edwards aperture (MEA), which is involved in respiratory water circulation. In the MEA, plumose, pappose and plumo-pappose setae were found. The ocypodid crabs have an aperture, the Müller's aperture (MA) that is involved in water uptake. In the MA, constricted setae were found. Digitate-scale setules were found widely in decapods. Therefore, digitate-scale setules could be the ancestral character. In the family ocypodidae, the DSSS were dominant in *Ocypode* and the SCS in *Uca*. Therefore, scale setules might be the synapomorphy in Ocypodidae. Scale setules are the same as digitate-scale setules without digitations, and may have evolved from them. Anchor setae seem to be found only in brachyuran crabs, and may be the synapomorphy in brachyurans. The single row half anchor setae were found only in the subgenus *Macrophthalmus*, and might be used as a special characteristic in this subgenus. The constructions of the constricted setae on MA when inserted into the sand substrate make small spaces, which collect water by capillarity action. Then, the scaphognathites provide the negative pressure to pump water into the spaces between the setal tuft. The function of the constricted setae found between the second and third walking legs is to retain water from the substratum by using the most useful body position. Based on the present study, I confirmed that the setae located on the MEA have a filtering function of the respiratory water, to filter debris. It is considered that the main reason of the distribution of setae in superfamily Ocypodoidea is related to the functions of each body part. However, it is considered that phylogenetic relationship of decapods and their habitat are involved in the distribution of setae.

学位論文審査結果の要旨

学位申請者 氏名	松岡 卓司
審査委員	主査 鹿児島 大学 教授 鈴木 廣 志
	副査 鹿児島 大学 准教授 山本 智子
	副査 佐 賀 大学 教授 野間口 慎太郎
	副査 鹿児島 大学 教授 杉元 康志
	副査 鹿児島 大学 教授 本村 浩之
審査協力者	
題 目	スナガニ類の呼吸水循環と鰓掃除機構に係わる剛毛の形態と適応 (Morphology and adaptation of setae for respiratory water circulation and for gill-cleaning mechanism of ocypodid crabs)
<p>本研究はスナガニ上科のカニ類 5 科 10 属 23 種の呼吸水循環と鰓掃除機構に係る部位と剛毛の記載を行い、これらを既知のカニ類の鰓掃除機構と呼吸水循環の研究と比較し、スナガニ上科内での呼吸水循環と鰓掃除機構に係る剛毛の分布要因が何に起因するのかを議論したものである。</p> <p>スナガニ類の鰓掃除機構と呼吸水循環に係る剛毛の形態の記載には走査型電子顕微鏡及び環境型走査型顕微鏡を用い、スナガニ類の水循環行動、水循環経路掃除行動、および水吸収行動はビデオカメラを用いて記録観察した。その結果、以下の事が明らかにされた。</p> <p>鰓掃除を行なう第 1-3 顎脚副肢では主に、digitate-scale setule 剛毛、scale-setule 剛毛、アンカー状剛毛が認められた。スナガニ科のスナガニ属では digitate-scale setule 剛毛がほとんどであったが、シオマネキ属では digitate-scale setule 剛毛は第 1 顎脚副肢に少数分布するのみで、他はほとんど scale-setule 剛毛であった。さらにオサガニ亜属では、一列のみアンカーが認められ先端はシンプルな剛毛 (single row half anchor setae) が見られた。</p>	

水循環に関係する Milne-Edwards aperture (MEA) では主に羽毛状、冠毛状、羽毛・冠毛状剛毛が認められ、水吸収に関係する Müller's aperture (MA) では括れた剛毛が認められた。

観察された剛毛について検討した結果、digitate-scale setule は十脚目の多くの種の鰓掃除部位に幅広く分布していたので、祖先的な形質であると考えられた。スナガニ科のスナガニ属では digitate-scale setule を有する剛毛が主要な剛毛であったが、シオマネキ属では scale-setule を有する剛毛が主要な剛毛であった。そのため scale-setule はスナガニ科内の共有派生形質の可能性があると考えられた。scale-setule は digitate-scale setule から指状突起が無くなった物と同じ形をしていた。そのため、scale-setule は digitate-scale setule から進化したと考えられた。アンカー状剛毛はカニ類でのみ見られているため、カニ類の共有派生形質である可能性があると考えられた。single row half anchor setae はオサガニ亜属でのみ見られたためオサガニ亜属の特徴的な形質であると考えられた。MA の括れた剛毛は、その括れにより作られる小空間が毛細管現象を引き起こし、底質から水を集める役割を有すると考えられた。底質に差込まれた括れた剛毛が毛細管現象により底質から水を集め、この水を顎舟葉が作り出す陰圧によって体内に吸収すると考えられた。スナガニ類は干潮時に陸上で活動し、呼吸に必要な水を得るため、最も水が得やすい第2と第3歩脚の間に括れた剛毛があると考えられた。MEA の羽毛状、冠毛状、羽毛・冠毛状剛毛は、既知の知見も考慮するとゴミを濾過する作用を持つ事が確認され、呼吸水が体内に入って来る入口である MEA の部位に位置していると考えられた。スナガニ上科の剛毛の分布は、各部位の機能が主な要因として決定されていると考えられたが、十脚甲殻類の系統や、生息環境も剛毛の分布に関与していると考えられた。

以上の成果は十脚甲殻類の増養殖技術の開発に寄与すると同時に、基礎生物学分野及び系統分類学分野にも貴重な知見を与えるものと期待され、学位論文として十分価値あるものと判断された。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏 名	松岡 卓司
審査委員	主査 鹿児島 大学 教授 鈴木 廣 志
	副査 鹿児島 大学 准教授 山 本 智 子
	副査 佐 賀 大学 教 授 野間口 慎太郎
	副査 鹿児島 大学 教 授 杉 元 康 志
	副査 鹿児島 大学 教 授 本 村 浩 之
審査協力者	
実施年月日	平成 24 年 1 月 17 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) (<input checked="" type="radio"/> 口答) <input type="radio"/> 筆答	
<p>主査及び副査は、平成 24 年 1 月 17 日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。また、本論文の成果は水産学分野にとどまらず、十脚甲殻類の基礎生物学分野や系統分類学の分野にも多大に貢献するものと判断された。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(学術)の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者 氏名	松岡 卓司
-------------	-------

[質問1] 多くの種を調べ、かつ生態と行動も含めて検討しておりかなり評価できる内容である。しかし、生物の形質が持つ機能は、多くの場合、環境の違いが反映されている事が報告されている。本論文では剛毛の形状とその分布は生息する潮位や底質とは関係ないと結論されている。この点はどのように理解することができるか？

[回答1] 当初、機能と生息環境との対応を予想していたが、お示しした通りカニ類の呼吸に関する剛毛は生息環境と1対1の対応をしていないと考えられた。従って、この形質はむしろ系統を引き継いで、その関係を反映している結果と考えた。

[質問2] 系統的形質を受け継いだとしても、それが変化しにくいものとは限らないと考える。その形質が環境によって適応価が低下し、機能も変化するという事は考えられないか。

[回答2] 既知の研究でもそのような事例は報告されていない。やはり系統関係をそのまま受け継いでいると考えた方が良いと思う。また、形質形態を変化させなくても機能は十分果たしているとも考えられる。

[質問3] 今の議論に関するコメントですが、機能と環境との関係を検討しそこに対応が見られない事から系統に議論を展開しているのは、合理的と考えられる。環境変化の細部に形質が適応しすぎると種の存続に直接影響することもある。

もう1つのコメントですが、スナガニ属とシオマネキ属との関係を前者から後者が進化してきたというのは本論文の結果からは不合理です。両属の共通祖先から分化してきたと考えるのが合理的と考えます。

[回答3] ご指摘ありがとうございます。書き直し論文の参考にさせていただきます。

[質問4] 剛毛の内部構造は解っているのか？解っているとしたらどうのようになっているのか？例えば、分泌器官とか、筋肉系などがあるのか？

[回答4] 幾つかの剛毛では解っており、内部に分泌器官などはないが、一部の小剛毛(setule)は物理的受容器官となっている事が報告されているし、剛毛の先端に小孔(pore)が開いているものは化学受容器官であると言われている。

[質問5] 同一種の中で剛毛の形態や分布、発達程度に個体差や地域差はないのか？

[回答5] 剛毛の長さの違いは認められたが、形態や分布などには地域差はな

いと思う。ただ、あまり多くの個体を観察していないので、今後の課題とも考えている。

[質問6] 本研究で対象としていた材料の中ではミナミコメツキガニ科はかなり特異的である。例えば、第2顎脚の腹肢がない。剛毛の位置で使用する際の行動が違うなどである。これは、本科が何か他の材料と大きく違う点があるからなのか？

[回答6] 第2顎脚が消失しているのは、本科ではMEAが密閉されている事に起因するためと考えられる。また、剛毛の位置と行動が違うのは、本種の形態の違い、つまり丸みを帯びた形が大きいと思うが、本科はそもそも系統上の位置づけが不明確でもあり、それによる可能性も考えられる。今後研究を継続したいと考えている。

[質問7] 本文中で、「アンカー状剛毛が掃除の機能と他の剛毛の破損を防ぐ可能性がある」と述べているが、その意味は？

[回答7] アンカーとアンカーの間に他の剛毛を挟み込むことで、その剛毛を固定し、連動した動きが起きてもその剛毛を保護するという意味である。

[質問8] オサガニ亜属が多系統という議論があったが、アンカー状剛毛の調査をオサガニ亜属内に含まれる可能性がある種についても調べたのか？またそれらに近い種ではどうか？

[回答8] 日本産の種では採集し観察をしたが、残念ながら国外に生息する種では標本が入手できずまだ未調査である。

[質問9] カニ類に特徴的であるアンカー状剛毛をさらに20タイプに分けているが、これらの関係は何か考えられるのか？

[回答9] フルアンカーの形成において、小歯状アンカーから形成されてきたのではないかとということと、ハーフアンカーから形成されてきたのではないかととの2つの関係が推定されるが、まだ推定の段階である。今後もっと多くの種を研究すればその類縁関係も解明されるのではないかと考えている。