

氏名(本籍)	かわちまさのぶ 河地正伸(鹿児島県)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博乙第936号		
学位授与年月日	平成6年1月31日		
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当		
審査研究科	生物科学研究科		
学位論文題目	Studies on morphological and physiological properties of the haptonema in the genus <i>Chrysochromulina</i> Lackey (Prymnesio-phyceae, Prymnesiophyta) (ハプト藻クリソクロムリナ属におけるハプトネマの形態および生理学的性質に関する研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	堀 輝 三
副査	筑波大学教授	理学博士	内 藤 豊
副査	筑波大学教授	理学博士	藤 伊 正
副査	筑波大学助教授	理学博士	井 上 勲

## 論 文 の 要 旨

ハプト藻は、主として海洋に生息する黄色植物の一群である。基礎生産者として物質循環に関わる役割のほか、二酸化炭素固定への寄与、消費者としての能力の大きさが明らかになるにつれて、近年、地球環境研究の分野、海洋生態学の分野で急速に注目を集めている。研究の推進が最も要望されている海洋プランクトンの仲間である。ハプト藻は、細胞形態学的に多くの独自の特徴をもつが、なかでも鞭毛様構造物であるハプトネマは他の生物群ではみられない特有の構造である。ハプトネマは7本の微小管とそれを包む小胞体および細胞膜の延長であるハプトネマ膜からなり、2本の鞭毛の間から伸長する。また、コイル状の収縮運動(コイリング)、基物への付着および表面運動、屈曲運動などの性質を示すことが知られている。ハプトネマは、形態、機能の両面で、単細胞生物の細胞器官として他に例をみないものであり、ハプト藻を特徴づける細胞器官である。したがって、ハプトネマのもつ構造と機能を明らかにすることは、多様な黄色植物群のなかにおけるハプト藻の分類、系統的位置を理解するために不可欠であり、国際的にも研究が望まれていた。本研究は、ハプトネマのもつ形態、生理的性質そして機能的な特質を明らかにすること、そしてそれらの有する分類学的有用性を検証することを目的に実施された。

河地氏は、まず*Chrysochromulina*属の1種である*C. hirta*を用いてハプトネマの役割についての調査を行い、それが食作用における餌粒子の獲得にあることを発見した。高速度ビデオを用いてその過程を詳細に記録、解析した結果、ハプトネマによる食作用は次の5つの過程からなることを明らかにし

ている。①餌粒子のハプトネマへの付着、②表面運動による捕獲された餌粒子の下方への運搬、③粒子塊の形成、④粒子塊のハプトネマ先端への運搬、⑤屈曲による粒子塊の食胞への運搬である。そして、この一連の観察から、ハプトネマには、(1)粒子の付着、(2)粒子の運送、(3)粒子塊形成のセメント物質の分泌、(4)屈曲の機能があること、そしてこれらの複数の機能が統合されて食作用という仕事を達成していることを明らかにした。また、*C. spinifera* とよばれる別の種で同様の研究を行ったところ、餌粒子の捕獲は、ハプトネマではなく刺状の鱗片によって行われており、捕獲の過程には種による差異がみられることも明らかになった。

ハプトネマの最も顕著な運動としてコイリングがある。コイリングは食作用に関係しないことが明らかになったことから、氏は、続いてオイリングの役割とその誘起に関して生理学的解析を行っている。高速ビデオによる解析から、コイリングは1/100–1/200秒以内に完了する極めて高速なものであること、また、コイリングは細胞が他の細胞や水中の浮遊物に接触したときに最も頻繁に誘起され、結果として細胞は接触源から遠ざかる逃避反応を行うことを明らかにした。このことから、ハプトネマは逃避反応における障害物の感知の役割を担っていることを示唆している。

コイリングは、鞭毛運動の逆転と関連して起きる反応であるから、鞭毛と同様にコイリングもカルシウムイオンに関係した現象であるとの仮説が成り立つ。氏は、次の一連の実験でこれを証明している。カルシウムイオンのキレート剤である EGTA の濃度が高くなるにつれてコイリングが抑制された。カルシウムイオノホアの A23187 を加えるとコイリングが誘起された。Ca<sup>2+</sup>-induced Ca<sup>2+</sup> release 機構 (CICR 機構) を誘起するカフェインを添加することによりコイリングが誘発された。一方、CICR の阻害剤であるプロカインを加えると、コイリングは起こらないか、あるいは途中で停止した。以上から、コイリングは Ca<sup>2+</sup> の流入によって誘起されること、しかも CICR 機構が関与しているらしいことが明らかになった。

さらに、河内氏は、食作用と逃避反応というハプトネマの関与する作用の形態的背景を明らかにする目的で、ビデオと電子顕微鏡による連続切片法を用いてハプトネマ構成要素の絶対配置と運動の方向の関係を解析している。解析の結果、食作用時のハプトネマの屈曲は、常に左鞭毛に向かって生じていることを明らかにしている。すなわち、屈曲は細胞の他のオルガネラに対して常に一定の方向に生じており、鞭毛装置や食胞などの細胞器官と密接な関連のもとで誘起されていることが明らかになった。コイリングについても常に右巻きに生じ、また屈曲とは逆方向に向かって生じることを明らかにしている。これらの方向はハプトネマ中の小胞体の非対称配置と密接に関連している。

以上の研究結果をもとに、ハプトネマについての形態および生理的性質がクリソクロムリナ属の分類にどのように適用できるかを検討している。*Chrysochromulina* 属の 8 種について比較を行い、これらの間でハプトネマの性質が多様であることが明らかになった。コイリング、屈曲の有無、食作用への関与の有無などの性質に基づいて、4つのタイプを確認している。①*C. hirta*-type：ハプトネマは障害物の感知に用いられる他、えさ粒子の捕獲、集塊形成、屈曲による運搬に関与する。②*C. spinifera*-type：ハプトネマは食作用に関係した機能を持ち、えさの集塊形成および屈曲による運搬を行う。えさ粒子の捕獲は刺状の鱗片で行う。③*C. alifera*-type：ハプトネマは障害物の感知に関与し、付

着，屈曲能があるが，食作用能をもたず，粒子の捕獲は行わない。④*C. parkeae*-type：ハプトネマは刺状の鱗片で覆われ，付着，屈曲，障害物の感知のいずれの機能ももたない。食胞と相同の構造があり，その中に共生体が存在する。このようなハプトネマの性質の差異は，細胞形態，鱗片の形態，食作用の有無と食胞の分化など，細胞の示す他の特徴の差異と密接に関連しており，分類学的な有用性が確認できた。

## 審 査 の 要 旨

本研究において，ハプトネマが果たしている役割および生理的性質が初めて明らかになった。ハプトネマは，発見以来，藻類学の分野で数十年にわたって謎とされてきた器官で，その役割の解明が望まれていた。河地氏の研究はこの要望に応えるもので，氏の研究によってハプト藻についての理解が格段に深まったといえる。論文はNature誌のNews and Views欄やSpektrum der Wissenschaft誌で取り上げられるなど，国際的にも高く評価され，また，氏の研究が契機となって，ハプト藻の食作用と餌の取り込み能力に関する研究が加速されるなどの波及効果を生んでいる。独創性に富んだ研究であり，これからのハプト藻に関する分類および細胞，生理，生態学研究におけるブレークスルーとして位置づけることができる。

よって，著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。