

ふりがな	はらぐちひろこ
氏名（本籍）	原口 展子（鹿児島県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲黒博第14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22年3月23日
学位論文題目	高知県沿岸に生育するホンダワラ類の分布変化と温度に対する生育特性
発表誌名	「Field and culture study of the temperature related growth rates of the temperate <i>Sargassum</i> species, <i>Sargassum Okamurae</i> Yoshida and <i>S. micracanthum</i> (Kützting) Endlicher (Fucales, Phaeophyceae) in Tosa Bay, southern Japan,」 Hiroko Haraguchi, Masanori Hiraoka, Noboru Murase, Zenji Imoto and Kazuo Okuda Algal Resources
	審査委員 主査 教授 奥田 一雄 副査 教授 平岡 雅規 副査 教授 木下 泉

論文の内容の要旨

ホンダワラ類は、褐藻綱ヒバマタ目に属する大型海藻で、沿岸岩礁域にガラモ場と呼ばれる藻場を形成する。近年、ガラモ場構成種が変化していることが指摘されているが、具体的な種組成の変化や分布に関する報告は少ない。そこで本研究では、過去の報告から、どのような種が衰退し、その一方でどのような種が優占してきたかという分布の変化を年代ごとにまとめるとともに、高知県沿岸の現在のガラモ場を調査した。また、高知県沿岸の温帯性ホンダワラ類と熱帯性ホンダワラ類のそれぞれにおいて、季節消長と成熟時期を明らかにするため、フィールド調査を実施し、さらに培養実験によって温度に対する生育特性を明らかにした。

高知県沿岸では、1970年代から1980年代まで、温帯性種のヒラネジモクおよびトゲモクが優占して繁茂していたが、1990年代以降、熱帯性種のフタエモクが土佐湾内でも繁茂するようになっていくことがわかった。2002年の調査から、土佐湾中央部の荻崎では、フタエモク、キレバモクおよびマジリモクの熱帯性ホンダワラ類で構成されるガラモ場が確認された。キレバモクおよびマジリモクについては、土佐湾内で初めて生育が確認された。2005年に調査した土佐湾中央部の須崎市神島では、温帯性種のヒラネジモクの大群落が1980年代まで存在していたが、完全に消失したことがわかった。2005年に調査した高知県西部の宿毛湾沿岸では、熱帯性種のフクエモクが顕著に繁茂し、1997年の調査と比較すると、フタエモクの分布範囲が拡大し、密生地が増加したことが明らかとなった。また、1997年の調査では確認できなかった、熱帯性種のキレバモクおよびマジリモクが点在することもわかった。1990年代以降、水温上昇が顕著であることから、水温

論文の内容の要旨

上昇が温帯性種の衰退と熱帯性種の分布拡大に関係していることが示唆された。

フィールド調査の結果から、温帯性種のヒラネジモクは、最高水温時期に最大全長に達し、1986年に同海域で調査された報告よりも1ヶ月早かった。しかし、最高水温時期に最大全長に達したことは過去の報告と一致した。つまり、最高水温期が過去報告より1ヶ月早かったため、最大全長期にずれが生じたものと考えられた。同じ温帯性種のトゲモクは、12月に卵を放出し、1983年に同海域で調査された報告より1ヶ月遅かった。これは、8~10月の高水温期に一時的に生長が停滞し、その後再び生長して最大全長に達したためであると考えられた。培養実験の結果から、高水温期のトゲモクの生長率は高水温下で低下することが明らかとなった。一方、熱帯性種のフタエモクでは、フィールド調査より、継続的に群落が形成されていることがわかった。また、低水温下の培養実験から、14℃以上になると生長率が高い位置で一定となった。温帯性種と比較すると、熱帯性種の生長率は14℃以上で温帯性種のそれより高いことが明らかとなった。以上のことから、高知県沿岸は熱帯性種が生育しやすい水温環境に変化していることが示唆された。

論文審査結果の要旨

ホンダワラ類は、褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科に属する大型海藻で、温帯域から熱帯域にかけて世界中に広く分布している。これらのホンダワラ類は、沿岸域でガラモ場と呼ばれる濃密な群落を形成し、多様な生物を育む生態系を支えることや沿岸域の主要な一次生産者として重要な役割を果たしている。

申請者が研究フィールドとして選んだ高知県は室戸岬と足摺岬の間にある南南東に開いた半円状の土佐湾を有し、日本近海の最大の暖流である黒潮が九州南部から足摺岬、室戸岬南沖を潮岬へと東流している。黒潮の流路やそれに伴う湾内の海水流動は、海藻植生に影響を与える。温帯性と熱帯性の海藻が混在する土佐湾は、温帯と熱帯の境界域といわれている。

高知県沿岸には、15種以上のホンダワラ類が生育しているが、近年、ガラモ場を含む藻場の衰退や磯焼け地帯の発生などが報告されるようになった。特に、ホンダワラ類については、ガラモ場構成種の変化が指摘されるようになり、それと同時期に、水温上昇も報告されるようになった。このような気候変動に伴う環境変化により、動植物の分布変化やそれらの季節的な活動の変化が地球規模で生じており、高知県下においても同様な現象が進行していると考えられる。しかし、その規模や進行状況についての報告は少ない。また、水温上昇が海洋生物に与える影響についてはほとんど明らかにされていない。

申請者は、ホンダワラ類に焦点をあて、今までになされたガラモ場を含む藻場調査の資料を基に、過去約30年間のガラモ場の分布変化をまとめるとともに、現況の藻場についてフィールド調査を行ない、どのような種が衰退し、どのような種の分布が拡大しているかを明らかにしている。また、衰退している種および分布を拡大している種について、フィールド調査により季節消長を把握するとともに、詳細な温度条件下での培養実験を実施し、生長と温度との関係を明らかにしている。

学位論文は全体が5章で組み立てられており、第1章の緒言以外のそれぞれの章の内容は概略以下のとおりである。

ホンダワラ類の分布変化

藻場調査の資料をまとめた結果、1970年代から1990年代を通して、ガラモ場の優占種に変化が生じていた。1970年代では、高知県沿岸に形成するガラモ場優占種はすべて温帯性種であり、特に、ヒラネジモクおよびトゲモクが広範囲に渡って濃密な群落を形成していた。1980年代では、高知県西部海域において、熱帯性種のフタエモクおよびコブクロモクが優占するようになった。1990年代では、1970年代および1980年代同様、ヒラネジモクおよびトゲモクが最も優占して繁茂していたが、これらを含む温帯性種は衰退傾向を示した。一方、1990年代では、熱帯性のホンダワラ類の分布が拡大した。特に、フタエモクは、1980年代には西部海域でのみ優占していたが、1990年代では土佐湾内でも広く生育しているという結果を得ている。

1990年代以降のホンダワラ類の衰退や分布の拡大の現状を把握するため、フィールド調査を行なった結果、2000年代に入った現在においても、その傾向は継続されている。土佐湾中央部の荻崎地先では、ガラモ場を形成していたホンダワラ類4種のうち、3種が熱帯性ホンダワラ類のフタエモク、キレバモクおよびマジリモクであった。フタエモクは1960年代頃から生育が確認されており、土佐湾近海にもともと自生していた種と考えられる。キレバモクおよびマジリモクは、本

論文審査結果の要旨

調査により、土佐湾内で初めて生育が確認された種であった。土佐湾中央部の神島沿岸では、1985年から1986年に、ヒラネジモクの大群落が形成されていたが、2005年の調査では、その大群落は消失していることがわかった。ヒラネジモクの生育は確認されたが、群落を形成するほどではなく、本種の衰退が顕著に現れていた。また、同調査では、1980年代の調査では確認されていなかった、フタエモクの生育が確認された。高知県西部の大藤島および桐島沿岸では、1997年と2005年のガラモ場の分布調査を比較した結果、フタエモクの分布範囲が拡大し、キレバモクおよびマジリモクの新規加入が確認された。このような温帯性種の衰退と熱帯性種の分布拡大は、水温上昇に関係していると考えられる。これらの結果から本論文では、高知県沿岸5箇所の水温変動をまとめ、すべての地点で水温が上昇傾向にあり、特に、秋季から冬季にかけての水温上昇が1990年代以降顕著であったことを示している。また、この水温上昇の時期と温帯性種の衰退および熱帯性種の分布の拡大時期はほぼ一致していたという結果を得ている。

温帯性ホンダワラ類の温度に対する生育特性

この章では、現在生育している温帯性ホンダワラ類のヒラネジモクおよびトゲモクの季節消長をフィールド調査によって明らかにし、過去の報告と比較している。また、温度と生長との関係を明らかにするために、培養実験によって、10月に採集した藻体を用いて生育適温および生育上限温度を、3月に採集した藻体を用いて生育適温および低水温下の生育特性を調べている。

2007年から2008年に渡ってヒラネジモクおよびトゲモクの季節消長を調べた結果、両種の最大全長時期もしくは成熟時期が約20年前の報告と異なっていることが判明したという結果を得ている。ヒラネジモクにおいては、本研究が行われた2007-2008年では、最高水温を記録した8月に最大全長に達し、卵放出は9月から12月であった。それに対し、1986年の報告によれば、10月に最大全長に達し、卵放出は10月から12月であった。つまり、現在のヒラネジモクの最大全長時期と卵放出時期は、20年前よりも約1ヶ月早まっていることが明らかになった。しかし、最大全長に達した時期と成熟開始時期が最高水温期であったことは、本研究が行われた2007-2008年と1986年の両年で一致する。つまり、最高水温期が両年で異なったため、最大全長に達した時期と成熟開始時期がシフトしたと考察している。

一方、トゲモクにおいては、本研究が行われた2007-2008年では、12月に最大全長に達し、卵放出は12月から1月に起こった。それに対し、1983年に行われた調査報告によれば、卵放出は11月から12月であった。つまり、現在のトゲモクの卵放出時期は、20数年前よりも約1ヶ月遅くなっていることがわかった。本研究では、トゲモクは、8月から10月に一時的に伸長を停滞させ、その伸長停滞期の後、再び伸長し、12月に最大全長に達することを示した。しかし、1983年の報告によれば、トゲモクには夏季における一時的な生長停滞は認められなかった。トゲモクが夏季の高水温下で生長抑制が起こるといった特性をもつと考えるならば、1983年の夏季は高水温による生長抑制が起こらず、トゲモクの成長にとって適当な温度条件であったと考えられる。つまり、本研究が行われた2007-2008年では、トゲモクの生長が抑制される高水温の期間があったことで、最大全長に達する時期が遅れたと考えられる。また、これがトゲモクの伸長期から成熟期への転換時期のタイミングに影響を及ぼした可能性があることを指摘している。

高水温期の10月に採集したヒラネジモクおよびトゲモクを培養し、両種の藻体の温度に対する生長率を比較している。ヒラネジモクでは15~30℃の広範囲で高い成長率を示したが、トゲモク

論文審査結果の要旨

は 20℃以上で成長率が低下した。この結果は、フィールドにおいて、水温が 25～30℃であった 8 月から 10 月の間、トゲモクの生長が緩慢であったことに一致する。このことは、高水温がこの時期のトゲモクの生長を抑制していたことを示唆し、日本沿岸に生育するホンダワラ類の多くは、急生長期の後に成熟することが知られているので、ヒラネジモクおよびトゲモクの成熟時期がシフトしたことは、最大全長に達した時期がシフトしたことに起因すると考察している。また、本研究で観察された最大全長や成熟時期のシフトは、日長が変化したにも関わらず引き起こされたことから、高知県沿岸に生育するヒラネジモクおよびトゲモクの季節性を決定する主要な要因として、温度がかなり影響していると考察している。

培養実験により、生育上限温度は、ヒラネジモクで 32℃、トゲモクで 31℃であったという結果を得ている。これらの結果は、過去に報告された数種のホンダワラ類の生育上限温度と同じかそれより高かった。特に、高知県沿岸のトゲモクの生育上限温度は山口県産のそれよりも 4℃高かった。トゲモクは 2 つの成熟時期、春に成熟するタイプと秋に成熟するタイプがある。高知県産のトゲモクは高水温期に成熟に向けて生長するが、山口県産のトゲモクは夏季の高水温期前の冬から春にかけて成熟する。それゆえ、秋に成熟するトゲモクは、春に成熟するトゲモクに比べ、高温に対する耐性を有していると考察している。

10～20℃の低水温下での培養実験結果から、両種の生長率には大きな違いが認められず、生長率はヒラネジモクで $1.4 \pm 0.0 \sim 2.6 \pm 0.1\%$ per day, トゲモクで $0.5 \pm 0.1 \sim 2.2 \pm 0.1\%$ per day であったという結果を得ている。

このように、本研究で、同群落内における藻体の生育適温が季節によって異なることを明らかにしている。低水温期に採集された 3 月藻体と高水温期に採集された 10 月藻体を培養すると、3 月藻体の方が 10 月藻体よりの生育適温が高かった。培養実験に用いた 3 月藻体は、残存した茎から萌出した新生主枝であり、これらの藻体は水温上昇とともに生長することから、フィールドで低水温に曝されているものの、水温上昇に伴って生長する性質を備えていると推察している。

熱帯性ホンダワラ類の温度に対する生育特性

近年、高知県沿岸で分布が拡大傾向にある熱帯性ホンダワラ類については基礎的な知見が極めて少ない。そこで本論文では、熱帯性ホンダワラ類の季節消長を明らかにするために、フタエモク、キレバモクおよびマジリモクを対象としたフィールド調査を実施している。また、温度と生長との関係を明らかにするために、培養実験によって、フタエモクの冬季採集藻体を用いて、生育適温および低水温下の生育特性を、発芽体を用いて、生育適温を調べている。フタエモク、キレバモクおよびマジリモクのフィールド調査から、これら 3 種は一時的ではなく、継続して群落を形成しているという結果を得ている。既存の群落内で再生産が行なわれ、継続的にその群落が維持されていることを明らかにしている。成熟時期は、フタエモクで 6 月から 7 月、キレバモクで 7 月から 8 月、マジリモクで 6 月であり、比較的水温が高い時期に成熟することが明らかとなった。また、これら 3 種は、伸長停滞期、伸長期、成熟期、脱落期といった生長様式を有しており、日本沿岸に生育する温帯性ホンダワラ類とほぼ同様であったという結果を得ている。

10～20℃の低水温下での培養実験結果から、フタエモクは、10～13℃では、水温の上昇とともに生長率が増加したが、14℃以上になると生長率が一定となった。フタエモクの生長率は、10～13℃

論文審査結果の要旨

の範囲内で $0.6 \pm 0.0 \sim 2.0 \pm 0.3\%$ per day であり、温帯性種の両種のそれとほぼ同様であった。しかし、 14°C 以上では、生長率が約 3% per day となり、温帯性種のそれより高い値を示した。 14°C 以上で、温帯性種の生長率よりも熱帯性種のそれの方が高いという培養実験結果を踏まえ、実際に 1990 年代および 2000 年代の高知県沿岸における冬季水温の平均が 15°C 以上であったことと、本研究で計測した水温データでも最低値が 14°C 以上であったことから、高知県沿岸は温帯性ホンダワラ類よりも熱帯性ホンダワラ類の方が生育しやすい環境に変化しつつあると考察している。

フタエモクの発芽体の培養実験から、生育適温は 25°C および 30°C であるという結果を得ている。これは、日本沿岸に生育する温帯性ホンダワラ類の発芽体の生育適温よりやや高い傾向を示した。しかし、熱帯域に生育するホンダワラ類の発芽体の生育適温は、本研究より低い傾向を示した。上記のことを総合すると、いずれの場合でも発芽体の生育適温と成熟時期の水温とが一致することから、発芽体の生育適温は、温帯性種および熱帯性種を問わず、成熟時期の水温に強く依存しているという考察を行っている。

最終章の総合考察では、熱帯性種の分布拡大は、水温上昇と相関して起こっていることを論理的に明らかにしている。温帯性種の衰退については、水温上昇と藻食性動物の摂食活動が複雑に関係して生じていると推察し、また、水温上昇は藻食性動物の摂食量にも深く関係しており、特に、冬季水温の上昇は藻食性魚類の摂食活動が年間を通して継続される可能性を示唆している。藻食性魚類の摂食活動が激しい、夏季から秋季にかけて、大型藻体で存在するヒラネジモクやトゲモクのような温帯性種は捕食の対象にされやすいと考え、このことが温帯性種の衰退に拍車をかけていると推察している。一方で、熱帯性種の分布が拡大できたのは、温帯性種の衰退によって、付着基盤が容易に確保できるようになったこともひとつの要因とし、温帯性種が衰退したことで、多くの基質が露呈したことと水温上昇によって生育に適した環境になったこととの相乗効果が、熱帯性ホンダワラ類の分布拡大および新規加入を加速させていると考察している。申請者は、本研究により得られた知見を今後の藻場構成種の変化予測や環境変化に適した藻場造成を行なうための基礎にしたいと締めくくっている。

本論文は、30年前から現在までに行われた高知県沿岸の藻場調査の報告を丹念に調査し、年代毎に温帯性種の衰退と熱帯性種の参入の傾向を明らかにし、実際のフィールド調査により、その事実を確かめた。また、実験室内の緻密な培養実験の結果を踏まえ、フィールド調査で得られた温帯性種および熱帯性種の季節消長と海水温との密接な関係を実証した。このように、実際の生態と培養による生育特性を関連づけてホンダワラ類の分布の変化を説明する研究は、申請者の高いオリジナリティを示すものであり、学位論文の核心部分として高く評価できる。また、本論文は、地球規模の気候変動による生態系の変化を反映する結果を得ており、自然と人間との共生を考える黒潮圏科学に関連し、今後取り組むべき重要な課題を提起する内容を含んでいると位置づけられる。