

内容の要旨及び審査結果の要旨

【書式 1 1】

令和 2 年 8 月 26 日

氏名 (本籍)	大竹 正弘		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	甲 第 174 号		
学位記の授与日	令和 2 年 9 月 12 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 創価大学大学院学則第 31 条第 2 項該当 創価大学学位規則第 3 条の 3 第 1 項該当		
論文題目	Phosphorus dynamics during growth and maturation periods of a brown alga <i>Sargassum macrocarpum</i>		
論文審査機関	理工学研究科委員会		
論文審査委員	主査委員 農学博士	戸田 龍樹	印
	委員 農学博士	古谷 研	印
	委員 博士 (工学)	桑原 ビクター 伸一	印
	委員 博士 (水産学)	西原 グレゴリー 直希	印

< 論文の内容の要旨 >

海藻類の生育に必須な栄養塩は、温帯沿岸域において、冬季に豊富に存在し、夏季に枯渇する季節性を示す。ワカメなどに代表される一年生の海藻類は、栄養塩が豊富な冬季に生長し、栄養塩が枯渇する初夏には枯死する。一方で、ホンダワラ類などの多年生の褐藻類は、栄養塩が枯渇する夏季を通して周年生長を維持し、沿岸生態系の生物多様性や生物生産を支える藻場を構成する。藻場構成種は、冬季に藻体内に蓄えた栄養塩を生長維持のために利用でき、栄養塩制限に対する耐性を有するものと考えられている。しかし、近年、沿岸域のリン枯渇(貧栄養化)の進行が指摘され、藻場の衰退との因果関係を理解することの重要性が高まっている。藻場保全や衰退した藻場の再生手法を検討するためにも、藻場構成種の貧栄養化に対する生理生態学的メカニズムを解明することが不可欠である。

本博士研究では、リンが季節的に枯渇する長崎県五島列島北部を調査海域とし、現存する褐藻ノギリモク (*Sargassum macrocarpum*) の生長・成熟過程における、リンの利用動態を培養実験により明らかにすることを目的とした。本研究は、本種の生活史を通して、まず研究①で藻体の「リン吸収速度」と生長維持のための「リン要求速度」の周年変動を実験的に明らかにし、両速度の関係から本種のリン制限の期間を推定した。研究②では、リン制限下で貯留したリンのみを利用して生長を維持できる期間と定義される「リン貯留能」を試算した。

本論文は英文で書かれ、4 章から構成されている。第 1 章の総合序論では、先進国の沿岸域における富栄養化から貧栄養化への変遷と、それに伴う沿岸生態系のレジームシフトについて論じ、栄養塩環境の変化に対する海藻類の生理生態学的応答をまとめた。

第 2 章では、リン吸収速度とリン要求速度の周年変動を推定するため、幼体期から成熟期にあたる藻体を毎月採集し、現場環境を再現した実験系で培養した(研究①)。リン吸収速度は、各月で採集された藻体の単位重量・単位時間あたりのリン吸収能に、現場環境のリン濃度を代入して推定した。リン要求速度は、各時期の藻体の日間生長速度と藻体内リン含量を乗じて推定した。その結果、幼体期(冬季)ではリン吸収速度がリン要求速度を上回り、藻体内にリンを貯留することが考えられた。一方で、幼体期後半から成熟期の藻体(春季から夏季)ではリン要求速度がリン吸収速度を上回ったことから、本種は約 26 週間の長期間にわたるリン制限にさらされていることが明らかとなった。リン制限期間における、リン要求速度に対するリン吸収速度の割合は、約 30%と算出されたことから、本種は要求するリンの約 30%を現場環境から吸収し、約 70%を幼体期に貯留したリンを利用することにより、周年の生存が可能となると考えられた。

そこで、第 3 章では、リン制限時に貯留したリンを生長に利用できる期間を示す「リン貯留能」(研究

②)を調べるため、本種の幼体期と成熟期にあたる藻体を採集し、栄養塩添加条件下で 9 日間培養した。その後、栄養塩枯渇条件にさらして生長速度を推定し、藻体内に貯留するリン含量を生長速度で除してリン貯留能を定量した。その結果、リン貯留能は幼体期で約 19 週間、成熟期で約 16 週間とされ、本種は藻体内のリンを利用して生長を長期間維持できることが明らかとなった。加えて、夏季に発達する梅雨前線や台風などにより、本種の生息域に突発的なリンの増加が観測され、夏季のリン制限下で成熟する本種にとっては、それらの気象条件がリンのパルス的な供給源となる可能性を指摘した。

総合考察となる第 4 章では、約 26 週間のリン制限期間で、本種は枯死することなく生長を維持できることを定量的に明らかにした。本種はリン制限期間で藻体内に貯留したリンだけでなく、現場環境のリンも利用していることから、研究②で推定された伸長期のリン貯留能(約 19 週間)にリン吸収を考慮すると、約 27 週間と見積もられた。しかし、将来的に、調査海域においてリン枯渇が進行すると、リン制限期間が現在よりも長期化するため、本種は生存が困難となることが予測される。

本論文の内容の一部は、下記の査読制度を有する権威ある学術雑誌に 3 編が掲載されており、本論文の研究成果が国際的にも評価されていることを示している。

1. Masahiro Ohtake, Noriaki Natori, Youta Sugai, Kenji Tsuchiya, Tsuyoshi Aketo, Gregory N. Nishihara, and Tatsuki Toda. Growth and nutrient uptake characteristics of *Sargassum macrocarpum* cultivated with phosphorus-replete wastewater. *Aquatic Botany* (2020), Vol. 163: 103208.
2. Masahiro Ohtake, Gregory N. Nishihara, Yukio Inoue, Kenji Tsuchiya, and Tatsuki Toda. Phosphorus demand and uptake during growth and maturation of the brown alga *Sargassum macrocarpum*. *Phycological Research* (2020). (印刷中、オンライン掲載)
3. Masahiro Ohtake, Rikuya Kurita, Mizuki Tsunogai, Gregory N. Nishihara, and Tatsuki Toda. Storage capacity for phosphorus during growth and maturation in a brown alga *Sargassum macrocarpum*. *Science of the Total Environment* (2021), Vol. 750: 141221.

<論文審査結果の要旨>

近年、海藻類の生育に必須なリンの枯渇が報告され、沿岸域の生物多様性を創出する藻場の消失が問題となっている。一方で、一部の多年生の褐藻類はそのような環境変化の中でも群落を維持しており、リン制限に対する耐性をもつものと考えられる。リン制限下で群落を形成する褐藻類は、リンの貯留能が発達し、リンが豊富な冬季に蓄え、リン枯渇にさらされる夏季には、藻体内のリンを利用していることが考えられる。このようなリンの季節的な利用動態については、これまでの研究では、現場のリン濃度などリン吸収に関わる環境データを周年で調査し、藻体の単位重量・単位時間あたりのリン吸収能を求めて定量化されてきた。しかし、成熟過程で形態や生理機能に変化する多年生の褐藻類においては、リン吸収能の発達段階別の変化を反映したリンの利用動態の定量が不可欠である。

本論文は、本邦沿岸域の主要な藻場構成種である褐藻ノギリモク (*Sargassum macrocarpum*) の生活史を通して、現場環境からのリンの吸収、生長維持のためのリンの要求、余剰リンの貯留、リン制限期間のリンの利用(リン貯留能)について包括的に評価し、リン制限下で生存する生理生態学的なメカニズムを明らかにしたものである。本種は幼体期(冬季)にリン吸収速度が高く、藻体内にリンを貯留した一方で、幼体期後半から成熟期(春季から夏季)の長期間にわたり、リン要求速度が卓越し、リン制限を受けていることが明らかとなった。しかし、本種は高いリン貯留能をもつことで、長期のリン制限にさらされても、幼体期に貯留したリンを長期間利用しながら生存できることが裏付けられた。

本論文は、藻場構成種である褐藻ノギリモクの生長・成熟過程におけるリンの利用動態を定量し、長期的なリン枯渇下での本種の生存戦略を明らかにし、藻場群集の成立に係る生理生態学的なメカニズムを解明した。本研究で得られた知見は、将来的な貧栄養化の進行による藻場衰退の可能性予測に寄与する。以上のことから、本論文は、博士(工学)として十分な学術的価値を有するものと認める。