

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850123

研究課題名(和文) 藻場から磯焼け域への移行帯における無節サンゴモの種レベルの分布特性の解明

研究課題名(英文) Species diversity and distribution of non-geniculate coralline algae along the gradient from seaweed beds to barren grounds

研究代表者

加藤 亜記 (Kato, Aki)

広島大学・生物圏科学研究科・准教授

研究者番号：00452962

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、黒潮流域で藻場の衰退や磯焼け域の拡大が報告されている。磯焼け域を代表する海藻の無節サンゴモについて、藻場から磯焼け域に分布する種の分類学的定義および藻場の環境変化に伴う出現種を明確にするため研究を行った。瀬戸内海西部から高知県南西岸および周辺海域から日本新産種2種を含む11属21種と多数の未同定種を確認した。とくに、ヒライボ、ミナミイシモは両種のタイプ標本やタイプ産地の標本の検討により、それぞれの種がさらに2種に分類できた。調査地において熱帯性の無節サンゴモは熱帯性ホンダワラ類が確認された海域より南の海域で確認された。これは無節サンゴモの成長と分散の遅さによると思われる。

研究成果の概要(英文)：Degradation of seaweed beds and expansion of barren grounds have recently been reported along the coasts of Kuroshio Current. Molecular-phylogenetic and ecological research on non-geniculate coralline algae, which are representative seaweeds of barren grounds, were conducted to elucidate taxonomic definitions of species distributed from seaweed beds to barren grounds and even species compositions accompanied with these environmental changes. From the west coasts of the Seto Inland Sea to the south-west coast of Kochi Prefecture and the vicinity, 21 species of 11 genera including two newly recorded species from Japan were found. Especially, respective *Lithophyllum okamurae* and *L. kotschyianum* were classified into two species based on type specimens and fresh collections from their type localities. In this study, tropical non-geniculate species were found from the south of where tropical *Sargassum* was found, indicating slowness of growth and dispersal of non-geniculate coralline algae.

研究分野：海藻類の系統分類・生理生態

キーワード：無節サンゴモ 地球温暖化 磯焼け 藻場 石灰藻 サンゴモ平原 水温上昇

1. 研究開始当初の背景

近年、日本沿岸で、水産生物の重要な生育場所である藻場が大規模に消失する「磯焼け」と呼ばれる現象が起き、沿岸漁業に大きな影響を及ぼしている。無節サンゴモ（紅藻類）は、扁平な匍匐性の石灰藻で、磯焼け域に繁茂し「サンゴモ平原」となることが知られている。この藻類による、ウニなどの植食動物の幼生の変態・着底誘引は、採食圧を維持するので、藻場の衰退要因の1つとされている。しかし、地球温暖化や海洋酸性化などの気候変動による、無節サンゴモの減少とその影響が懸念されているものの、藻場生態系における種構成や優占種についての基礎的知見は乏しい。さらに、日本産無節サンゴモの分類については、種や属レベルの研究が少なく、最新の分類体系を反映していないことが多い。そのため、日本沿岸における無節サンゴモの生育種の分類や生態について基礎的研究が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、西日本の藻場から磯焼け域への移行帯における無節サンゴモについて、1) 藻場の環境条件にともなう出現種を明らかにし、2) 出現種の分類学的定義を明確にすることで、気候変動による藻場生態系への影響の解明に資することを目的とする。

3. 研究の方法

1) 出現種の調査と採集

西日本の温帯域において藻場から磯焼け域までの環境がまとまって見られる以下の調査地において、磯採集、シュノーケリング、スキューバダイビングによって、岩石着生性の無節サンゴモを採集した。調査地は、瀬戸内海西部の広島県、山口県沿岸、藻場の変化が著しい豊後水道の愛媛県沿岸から高知県南西岸である。無節サンゴモの採集時には、標本の生態写真や生育場所の環境の記録を行った。

出現種の分類学的定義を明確にするため、日本で記載された岩石付着性の無節サンゴモのタイプ産地においても標本採集を行った。採集は、日本沿岸に広く分布するヒライボ *Lithophyllum okamurae* を含む、7種が記載されている神奈川県三浦市と、2種が記載されている高知県室戸岬で行い、8種の標本を得た。その他に研究協力者の馬場の協力を得て、日本で記載された無節サンゴモ16種中、最終的に15種はタイプ産地から、1種はタイプ産地では見つからず近隣の海域から標本を得た。西日本に分布の記録のある種の標本はすべて得た。

採集したサンプルは、採集後ただちに、DNA抽出用にはシリカゲルで乾燥させ、形態観察用には80%エタノールで固定した。

2) 出現種の観察と分子系統解析

出現種の観察のため、標本を5%硝酸で脱

灰後、パラフィン包埋し、組織切片を作成した。

分子系統解析のため、標本からDNA抽出を行い、サンゴモ類では種判別のマーカーとして多用されている葉緑体の *psbA* について決定し、一部の種については葉緑体 *rbcL* や核の LSU についても塩基配列決定を行った。西日本における調査地とタイプ産地の標本に基づき系統解析を行い、種の範囲を推定した。

3) タイプ標本の観察と分子系統解析

ヒライボとミナマイシモ *L. kotschyianum* の品種のうち、太平洋の熱帯域で記載された種のタイプ標本を、ノルウェーのトロンヘイム大学植物標本庫 (TRH) より借用し、2) と同様に形態観察と DNA 塩基配列決定 (*psbA*, *rbcL*, LSU) および系統解析に基づき、日本産種について種の独立性の検討を行った。

4. 研究成果

1) 藻場から磯焼け域における無節サンゴモの出現種と分布

瀬戸内海西部から高知県南西岸までの16地点と、日本のタイプ産地や他の西日本の地域の配列を合わせた葉緑体の *psbA* の162配列で系統解析を行った。その結果、西日本の温帯域で既報告の12属中、11属、日本新産種2種を含む21種を確認し(表1)、加えて多くの未同定種の存在を明らかにした。

表1. 本研究において確認した西日本産の無節サンゴモ*は、日本新産種

| 目/属 | 種 |
|------------------------|---|
| サンゴモ目 | |
| <i>Lithophyllum</i> | コトゲコブイシモ, ミナマイシモ, ヒライボ, ミサキイシゴロモ |
| <i>Harveyolithon</i> | * <i>H. munitum</i> , サモアイシゴロモ |
| <i>Mastophora</i> | コシカイシモ |
| <i>Neogoniolithon</i> | * <i>N. clavacymosum</i> , カサネイシモ, イシノミ |
| <i>Pneophyllum</i> | ハイイロイシモ |
| <i>Porolithon</i> | アナアキイシモ, トゲイボ, オニハスイシモ |
| <i>Spongites</i> | コブイシゴロモ, オニガワライシモ, ウミサビ |
| ハバリデウム目 | |
| <i>Melyvonnea</i> | エダウチイシモ |
| <i>Mesophyllum</i> | カガヤキイシモ |
| <i>Synarthrophyton</i> | クサノカキ |
| エンジイシモ目 | |
| <i>Sporolithon</i> | コブエンジイシモ |

本研究の調査海域全域に広く分布する種は、ヒライボ、カガヤキイシモ、クサノカキであった。ヒライボは藻場だけでなく磯焼け域にも分布していた。

一方、磯焼け域では、おもに南西諸島に分布するミナマイシモ、アナアキイシモ、コシカイシモを確認し、このうち、ミナマイシモ、アナアキイシモは調査海域では初報告で

あった。

調査海域の環境は、瀬戸内海西部では、温帯性コンブ類やホンダワラ類による温帯性藻場があるが、豊後水道を経て黒潮流域にかけては、近年、藻場の衰退が急速に進んでいる。宇和島市沿岸では温帯性藻場が見られなくなる一方、熱帯性のホンダワラ類が確認され、さらに南の愛南町以南（由良半島）では、高被度のサンゴ群集が特徴的な磯焼け域が見られる。しかし、おもに南西諸島に分布する無節サンゴモは、愛南町以南から出現した（図1）。これらの無節サンゴモは本州太平洋岸中・南部でも確認されていることに加え、宇和島市沿岸も生育可能な水温範囲にある。しかし、他の海藻類に比べて成長が非常に遅く、分散も遅いため、近年、藻場の衰退が進んだ海域では確認できなかつたと考えられる。

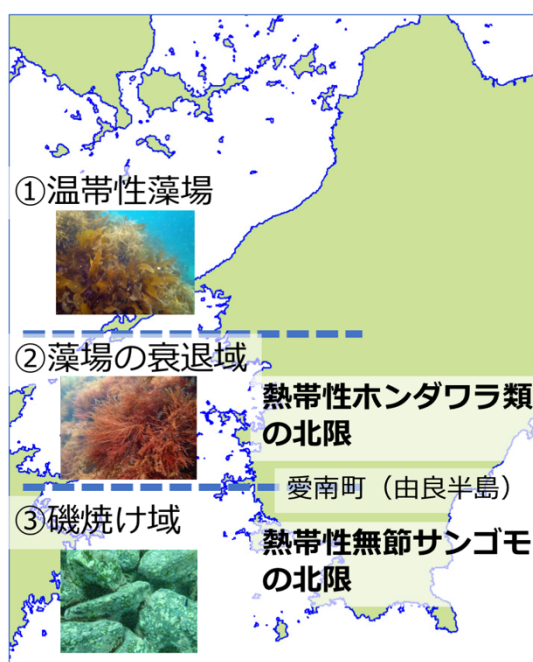


図1. 瀬戸内海西部～豊後水道、高知県南西岸の藻場から磯焼け域

2) ヒライボの分類学的再検討

ヒライボはイボ状の突起が特徴的な *Lithophyllum* イシゴロモ属の種で、無節サンゴモの中では種の視認が比較的容易なため、海藻藻場の生態調査においても調査対象種とされている。本研究では、ヒライボに同定した標本は、分子系統解析によって2系統に分かれ、それぞれ、日本で記載された2品種 *L. okamurae* f. *okamurae* と *L. okamurae* f. *angularis* に相当することが示唆された。この2品種は、突起（枝）の頂端が、f. *okamurae* では、丸いか少し尖り、f. *angularis* では、扁平し門歯状（前歯状）であることで分類されているが、f. *angularis* の系統には、明瞭な門歯状の突起を持たない標本もあった。

そこで、この両品種のタイプ標本のDNA塩基配列の決定と解析を行った（これらのタイプ標本からの配列決定はフランスの共同研

究者が行った）。f. *okamurae* は、タイプ標本からのDNA抽出がTRHにより許可されなかつたので、タイプ標本と同じ年に同じ場所で採集された標本をタイプ標本として扱い、この標本からLSUの部分配列のみ決定できた。一方、f. *angularis* では、*psbA* とLSUが決定できた。いずれの配列も日本のタイプ産地（神奈川県三浦市）の標本の配列と一致あるいは互いの遺伝的変異が種内レベルに止まり、両品種に種レベルの変異が認められた。そのため、両品種が、突起の外形でおおよそ区別できることに加え、四分孢子体の生殖器巢の内径と石灰化した小柱の細胞数で区別が可能であることも考慮して、それぞれ別種が適当と確認できた。

3) ミナミイシモの分類学的再検討

ミナミイシモは、ヒライボ同様、突起をもつイシゴロモ属の種で、おもに南西諸島に分布する。ヒライボとは異なり、突起が樹状に発達することがある。本研究の調査地の標本および、以前の自身の研究による熱帯域の標本による系統解析では、2系統に分かれ、それぞれに種レベルの遺伝的変異があった。

ミナミイシモ（タイプ産地：ペルシャ湾）およびインド洋に分布するこの種とヒライボの品種のタイプ標本について Basso et al. (2015)によりLSU配列が決定されたので、これらと前述の推定2種のLSU配列を解析した。ミナミイシモと上記の品種のタイプ標本は、本研究の推定2種とは別種であった。また、Basso et al. (2015)でインド洋から新種記載された突起をもつイシゴロモ属の2種とも別種であった。

さらに、インド洋と太平洋の熱帯域で記載された品種 *L. kotschyianum* f. *subtilis*, *L. okamurae* f. *trincomaliensis*, *L. okamurae* f. *valida* について、TRHから借用したタイプ標本からLSU, *psbA*, *rbcL* の配列決定を行い（f. *subtilis* についてはLSUと*rbcL*）、解析したところ、いずれも、本研究の推定2種とも、2)のヒライボの2品種とも別種と確認できた。

しかし、ミナミイシモの推定2種のうち1種は、Hernandez-Kantun et al. (2016)が発表した *L. kaiseri* の *isoelectotype* と *rbcL* 配列 (263bp) が一致した。そして、この *isoelectotype* と一致した *rbcL* 配列になる他の標本と本研究の推定種は、*rbcL*, *psbA* 配列が一致または互いの変異が種内レベルに止まった。ただし、*L. kaiseri* は、前述の Basso et al. (2015)で、ミナミイシモの品種から独立した種に格上げされた種で、この種の *lectotype* と本研究の推定種のLSU配列を解析したところ同種とは認められなかつた。その理由として現段階では、(1) *L. kaiseri* の *lectotype* と *isoelectotype* が同種でない可能性と、(2) 利用したLSU配列（約200bp）が種判別には十分な遺伝的変異を示さないマーカーであることの2点があげられる。現段階では、種レベル

のマーカ―として信頼性の高い *psbA*, *rbcL* の解析で同種と認められることを考慮して, *L. kaiseri* と同定した。

分子系統解析により支持された *L. kaiseri* は, 日本の南西諸島を含む太平洋, インド洋, 大西洋の熱帯域に分布している。

残る 1 種は, 西日本の温帯域, 南西諸島, フィリピンから採集した標本が相当し, 現段階では遺伝子データから同種と推定される種はなかった。形態形質では, この種は *L. kaiseri* やミナミイシモの品種とは異なり, 生毛細胞がまれで, さらに, 少なくとも本研究の *L. kaiseri* とは四分孢子体の生殖器巣が隆起しない割合が高いという違いがあった。イシゴロモ属の種の分類における, 生毛細胞の有無の有効性については, まだ研究例が少なく, 十分検証されていないが, 先行研究

(Basso et al. 2014, 2015, Hernandez-Kantun et al. 2016) では種によって生毛細胞の有無は明瞭であることが示されている。これらのことを考慮し, 日本産ミナミイシモは, *L. kaiseri* と新種 1 種に分類できると確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1) 加藤重記. 生きた石になる海藻-石灰藻の生存戦略と海の環境. *milsil 自然と科学の情報誌* (国立科学博物館). 9 (3): 14-16 (2016) (査読なし), URL:

http://www.kahaku.go.jp/userguide/book/milsil_sample/milsil_vol51/default1.html

2) 加藤重記, 城内辰享. 瀬戸内海中西部の広島県竹原市周辺における海藻相と季節的消長. *藻類*. 64 (1): 1-9 (2016) (査読あり), URL:

http://sourui.org/publications/sorui/list/64_01.html

3) 加藤重記. 海洋酸性化の指標としての石灰化海藻. *藻類*. 63 (1): 15-18 (2015) (査読あり), URL:

http://sourui.org/publications/sorui/list/Sourui_PDF/Sourui-63-01-015.pdf

[学会発表] (計 4 件)

1) *加藤重記・馬場将輔・島袋寛盛・吉田吾郎・目崎拓真・中地シュウ, 藻場から磯焼け域における無節サンゴモの生育種と分布, 日本藻類学会第 41 回大会, 高知大学 (高知県・高知市), 2017 年 3 月 23-25 日

2) 嶋大磯・*加藤重記・小池一彦・藤本正明・島袋寛盛・吉田吾郎, 瀬戸内海西部のニホンアワサンゴ群生地における海藻群落構造, 日本藻類学会第 40 回大会, 日本歯科大学 (東京都・千代田区), 2016 年 3 月 18-20 日

3) *Kato, A. & Liao, L. M. Current situation of the systematic study of extant coralline red algae

[**Keynote Speech**]. 11th International Symposium of Fossil Algae, University of the Ryukyus, Okinawa, Japan, Sep. 2015.

4) *加藤重記・馬場将輔・松田伸也・井龍康文, 北西太平洋における石灰藻球

(Rhodolith) 研究, 日本藻類学会第 39 回大会, 九州大学 (福岡県・福岡市), 2015 年 3 月 20-22 日

[図書] (計 1 件)

1) Kato, A., Baba, M., Matsuda, S. & Iryu, Y. Chapter 14. Western Pacific. In “Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective” (Riosmena-Rodriguez, R., Kendrick, G. & Aguirre, J. eds.). *Coastal Research Library* 15. Springer International Publishing, pp. 334-347. (2017) (査読あり), ISBN:978-3-319-29313-4, URL: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-29315-8_14

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤重記 (KATO AKI)

広島大学・大学院生物圏科学研究科・准教授
研究者番号: 00452962

(4)研究協力者

馬場将輔 (BABA MASASUKE)

公益財団法人海洋生物環境研究所・中央研究所・所長代理
研究者番号: 5054159

吉田吾郎 (YOSHIDA GORO)

国立研究開発法人水産総合技術センター・瀬戸内海区水産研究所・グループ長
研究者番号: 40371968