

機関番号：11301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008~2010

課題番号：20380106

研究課題名 (和文) 海中林の形成と維持に関する生理生態学的研究

研究課題名 (英文) Physiological ecology on formation
and maintenance of marine forest

研究代表者

谷口 和也 (TANIGUCHI KAZUYA)

東北大学・大学院農学研究科・名誉教授

研究者番号：40282082

研究成果の概要 (和文)：高水温・貧栄養な海況が継続する現在、世界的規模で海中林が衰退・消滅している。私たちは海中林の形成と維持における栄養塩環境の重要性を検証するために、海中林構成種の培養実験と現場における栄養塩添加実験を行った。培養実験においては、海中林を構成するヒバマタ目褐藻エゾノネジモクとフシスジモクの成長速度と死亡率に対する水温と栄養塩濃度の複合的な影響を調べた。2種ともいずれの季節にも5~30℃では栄養塩欠乏条件であっても成長したが、35℃では死亡した。コンブ目褐藻カジメの幼体は富栄養条件では水温28℃でも生育するが、栄養塩欠乏条件では28℃以上の水温では12日以内に全個体が死亡することが報告されている。したがって、フシスジモクとエゾノネジモクはコンブ目褐藻カジメと比較して高水温にも、貧栄養にも耐えらる。現場における実験では、北海道沿岸の磯焼け域に栄養塩を添加する実験区と添加しない対照区を設置し、11月にマコンブ種苗を巻き付けた養殖ロープを垂下した。実験区では、養殖ロープには1月から移植マコンブが着生し、2月から海底にもホソメコンブが生育したが、対照区では移植マコンブが死亡し、ホソメコンブも観察されなかった。したがって、コンブ目褐藻海中林を形成させるためには栄養塩添加が必須の要素技術になる。今後は、コンブ目褐藻とヒバマタ目褐藻の栄養要求量を生育過程に対応させて明らかにし、効率的な栄養塩添加技術を開発する必要がある。

研究成果の概要 (英文)：Recent warm and nutrient-stressed oceanographic condition resulted in widespread losses of marine forest in many part of the world. The significance of nutrient availability on formation and maintenance of marine forest was investigated by some culture studies and a field experiment. In the culture studies, the combined effect of high water temperature and low nutrient concentration on growth and survival in fucoid algae *Sargassum yezoense* and *S. confusum* was examined. These species in low nutrient concentration grew in 5-30°C, but could not survive in 35°C. We previously reported that the young sporophyte of the kelp *Ecklonia cava* withered within 12 days in 30 °C and low nutrient concentration. These results suggest that the fucoids have high-temperature and nutrient-stressed tolerance compared with the kelp. In the field experiment, liquid fertilizer was continuously provided into a crustose coralline bed in western coast of Hokkaido, northern Japan, and the growth of the kelp *Saccharina japonica* transplanted in November was compared with that transplanted to another site without fertilizing. The kelp with fertilizing grew until January, but the kelp without fertilizing disappeared. These results suggest that the nutrient availability has a significant role for the formation of marine forest. Further studies of the nutrient requirement of kelp and fucoids are necessary to develop the marine afforestation technique by fertilizing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：海藻

1. 研究開始当初の背景

(1) 磯焼け研究の現状

地球温暖化の進行にともない世界的規模で海中林が衰退・消滅し、磯焼けとなる海域が急速に拡大している。オーストラリア、タスマニア島のジャイアントケルブ海中林は、現在では1950年代の5%の面積まで縮小していると言う。日本列島では、海中林が形成できる海域は急激に高緯度側へと移り、東北・北海道でも海中林はごく浅所へ縮小している。また、磯焼けはコンブ目褐藻海中林において顕著に観察されていたが、現在では日本海沿岸のヒバマタ目褐藻海中林においても報告されている。さらに、ウニなど底棲植食動物の食害に加えて、これまで認められなかった植食魚類の食害が顕在化している。磯焼けは、今や水産業への重大な影響が懸念される緊急事態である。

磯焼けの原因として、磯焼け域で増加するウニの摂食圧による海中林の破壊が世界的に注目されてきた。海中林が浅所に縮小した海底に優占する紅藻無節サンゴモが揮発物質ジブロモメタンを常時多量に分泌し、ウニ幼生の変態を誘起するため、磯焼け域ではウニが増加すると考えられている。このため、古くからウニ駆除による海中林の回復が図られてきた。しかし現在では、ウニを駆除しても海中林が回復しない事例が各地で起こっている。これらの事例は、磯焼けがウニの破壊的な摂食圧だけでは説明できず、海中林が維持できない環境変化に起因していることを示している。したがって磯焼けは、岩礁生態系が無機環境の変化によって生産者が海中林から無節サンゴモ群落へと変動する過程として捉える必要がある。しかし、海中林がどのような環境条件で形成し、維持するのか、どのような環境変化によって崩壊するのかなど海中林構成海藻の生理生態学的特性を把握する研究は、実験方法が確立していなかったこともあって、これまでほとんど行

われていなかった。

(2) 磯焼けの発生と持続の要因

磯焼けは、夏～秋に高水温・貧栄養の海況条件で海中林が大量に死亡し、浅所へ縮小することによって認識される。これまで臨界的な高水温や低光強度が磯焼け発生要因として想定されていた。私たちは、褐藻アラメ海中林が高水温・貧栄養の海況条件では春～夏に物質の蓄積が不十分なので、秋には生殖細胞の形成に物質を大量に消費する結果、死亡率が顕著に高まること、また低流速では葉表面に境界層が形成され、栄養塩の吸収が困難になるので深所から死亡することを明らかにした。私たちは、磯焼けの発生、すなわち海中林が維持できるか否かは春～秋における個体の成長と成熟に対する海水中の栄養塩濃度とその吸収条件がもっとも重要な要因であるとの仮説をもつに至った。

冬～春に低水温・高栄養の海況条件となれば、磯焼け域にウニが高密度に生息していたとしても、海中林は回復する。すなわち、磯焼け域に海中林が形成できるか否かも発芽個体の生存と成長に対する栄養塩環境が重要な要因であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、海中林の形成と維持に果たす栄養塩環境の重要性を培養実験と現場における海中造林実験によって証明することを目的とする。培養実験においては、高水温・貧栄養の海況条件による海中林の崩壊と形成妨害の要因を解明する。現場調査においては、磯焼け海域における栄養塩添加による海中造林技術を設計する。

3. 研究の方法

本研究は、培養実験と現場調査によって構成される。培養実験グループは、海中林を構成するヒバマタ目褐藻を対象に、生育過程に

対応させて水温と栄養塩濃度を変えて培養し、成長速度、光合成速度、死亡率を測定する。現場調査グループは、磯焼け域に栄養塩を添加し、海中林が形成されるか否かを検証する。調査海域としては北海道日本海沿岸を設定し、北海道水産林務部・北海道中央水産試験場・泊村漁業協同組合のご支援をいただく。

1. 培養実験グループ：褐藻フシスジモクとエゾノネジモクを対象に、発芽期、成長期、成熟期の生活年周期に対応させて2ヶ月に1回、栄養塩強化海水 (PESI) と窒素・リンを除去した栄養塩欠乏海水 (ASS₀) とで植物インキュベーターで12日間培養し、成長速度(湿重量)、障害・死亡速度を測定する。実験には先端部の組織を一定量切り出して用いる。培養前後には、光合成-光曲線と光合成-温度曲線を差働式検容計で測定する。

2. 現場調査グループ：北海道日本海泊村沿岸の約0.5haの磯焼け域2カ所において、10月から12月にウニを除去し、北海道南茅部産マコンブ種苗を巻き付けた養殖ロープを11月に垂下した。以後翌年5月まで、対照区ではそのまま、実験区では無機態窒素濃度1mg/L、リン濃度0.3mg/Lを目標に、硫安の液肥を連続的に供給した。養殖ロープ上および海底に出現したコンブ目褐藻の種別の密度、全長、葉長、葉幅を測定する。

4. 研究成果

主に日本海において海中林を構成する褐藻フシスジモクとエゾノネジモクの年間の成長と成熟に及ぼす水温と栄養塩の影響を各月12日間の生長点培養によって明らかにした。2種とも5~30℃では栄養塩欠乏条件であっても死亡することなく成長したが、35℃では死亡した。どの季節においても水温15~20℃がもっとも良く成長した。フシスジモクの成長速度は1~5月で高く、9~11月が低かった。これに対してエゾノネジモクの成長速度は季節によってほとんど変化しなかった。これまで、コンブ目褐藻カジメの幼体は富栄養条件では水温28℃でも生育するが、栄養塩欠乏条件では28℃以上の水温では12日以内に全個体が死亡することが報告されている。したがって、フシスジモクとエゾノネジモクはコンブ目褐藻カジメと比較して高水温にも、貧栄養にも耐えると考えられる。

光合成速度は、成長速度と同様に、フシスジモクでは1~5月で高く、9~11月が低かったのに対して、エゾノネジモクでは季節によってほとんど変化しなかった。光合成速度は一般的に光合成色素であるクロロフィルa量あるいは窒素含有量によって大きく変化するため、このことは栄養塩の吸収量あるいは蓄積量の季節変化が種間で大きく異なる

ことを示唆する。

これに加えて、フシスジモクでは、5月には富栄養条件において60~100%の成長点に生殖器床が形成されたのに対して、栄養塩欠乏条件では生殖器床を形成する生長点は富栄養条件よりやや少なかった。エゾノネジモクでは、7月には富栄養条件において60~80%の成長点に生殖器床が形成されたのに対して栄養塩欠乏条件では生殖器床を形成する生長点は30~60%と富栄養条件よりやや少なかった。このように、栄養塩環境がヒバマタ目褐藻の成熟にも影響を与えることは本研究により初めて明らかになった。

北海道日本海泊村沿岸においては、海中林の形成における栄養塩環境の重要性を磯焼け域における栄養塩添加実験により明らかにした。調査期間の水温は平年より1~3℃も高く推移した。実験区では、養殖ロープには1月から移植マコンブとともに天然ホソメコンブが濃密に着生し、2月から海底にもホソメコンブが生育した。しかし、対照区ではホソメコンブは養殖ロープ、海底ともまったく観察できず、移植マコンブも死亡した。5月の実験区の養殖ロープ着生ホソメコンブは全長197cm、葉幅12cm、湿重量193gと移植マコンブと有意差がなかった。海底に生育したホソメコンブは全長58cm、葉幅10.7cm、重量33gと養殖ロープ上より劣ったが、実験区近傍から採集した天然ホソメコンブよりいずれも有意に大きかった。以上の結果、高水温・貧栄養の海況が継続する現在、植食動物の摂食圧を排除するだけでは海中林は造成できないことが明らかになった。無機の栄養塩を供給し、コンブの生育を促進することが必須の要素技術となる。

本研究により磯焼けにおいて栄養塩を添加することによって海中林を造成できることが明らかになったが、栄養塩を季節的にいつ、どのくらい添加すればよいのかについては、まだ明らかではない。したがって、今後は、コンブ目褐藻とヒバマタ目褐藻の栄養要求量など種固有の生理生態学的特性を生育過程に対応させて明らかにし、海中林の構成種に対応した効率的な栄養塩添加技術を開発する。

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8件)

① 谷口和也. コンブが生えた! 磯焼け域におけるコンブの海中造林. 日本水産資源保護協会季報. 査読無. 525. 2010. 3-7.

② 谷口和也. 磯焼けのしくみと海中林. 海藻資源. 査読有. 23. 2010. 2-22.

③ Agatsuma Y., Y. Sakai, K. Tajima. Recent

advances in sea-urchin aquaculture in Japan. Bull. Aquacul. Assoc. Canada. 査読無. 108. 2010. 4-9.

- ④吾妻行雄. 磯焼けのしくみ生物の科学. 遺伝. 査読有. 64. 2010. 77-82.
- ⑤谷口和也, 吾妻行雄. ナガコンブは何故長く、オニコンブは何故鬼なのか? 育てる漁業. 査読無. 443. 2010. 3-7.
- ⑥吾妻行雄. ウニ 海藻群落との密接な関係にせまる. 日本水産資源保護協会季報. 査読無. 527. 2010. 4-8.
- ⑦J-Y. Li, Y. Agatsuma, T. Nagai, Y. Sato, K. Taniguchi. Difference in resource storage pattern between *Laminaria longissima* and *L. diabolica* (Laminariaceae; Phaeophyta) reflecting their morphological characteristics. Journal of Applied Phycology. 査読有. 21. 2009. 215-224.
- ⑧J-Y. Li, Y. Agatsuma, K. Taniguchi. Inhibitory effect of 2,4-dibromophenol and 2,4,6-tribromophenol on settlement and survival of larvae of the Japanese abalone *Haliotis discus hannai* Ino. Journal of Shellfish Research. 査読有. 28. 2009. 877-882.
- ⑨J-Y. Li, M. Narita, H. Endo, Y. Agatsuma, K. Taniguchi. Marine algae from Hirota Bay on the Pacific coast of northeastern Honshu, Japan. Tohoku Journal of Agricultural Research. 査読無. 58. 2008. 89-97.
- ⑩M. Narita, Y. Agatsuma, K. Taniguchi. Marine algae in Matsushima Bay, northeastern Honshu, Japan. Aquaculture Science. 査読有. 56. 2008. 387-399.
- ⑪T. Matsui, Y. Agatsuma, M. Ogasawara, K. Taniguchi. Coincidence in reproduction of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* in Hirota Bay, on the Pacific Ocean off northern Honshu and in the Sea of Japan off Hokkaido, Japan. Journal of Shellfish Research. 査読有. 271. 2008. 283-1289.

[学会発表] (計17件)

- ①木下順二, 大野澤真人, 小笠原誠, 渡邊将之, 松井俊幸, 猪股英里, 遠藤 光, 吾妻行雄. キタムラサキウニおよびバフンウニとエゾノネジモク群落の季節的な種間相互作用. 第7回棘皮動物研究集会. 2010年12月11日. 神奈川大学平塚キャンパス.
- ②猪股英里, 松井俊幸, 木下順二, 渡邊将之, 村田裕子, 吾妻行雄. 紅藻スサビノリの食物としての評価~キタムラサキウニ生殖巣の発達と品質. 第7回棘皮動物研究集会. 2010年12月11日. 神奈川大学平塚キャンパス.
- ③Agatsuma, Y., Toda, N., Ogasawara, M., Kinoshita, J., Watanabe, M., Matsui, T. and Inomata, E.. Growth and gonad development of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* in

an *Eisenia* kelp bed in the Oshika Peninsula, northern Japan. 7th European Conference on Echinoderms. 2010年10月6日. Geoscience Center, University of Göttingen, Göttingen, Germany.

④Matsui T, Ogasawara M, Nakajima M, Ikeda M, Agatsuma Y.. Genetic difference among the sea urchin populations of *Strongylocentrotus intermedius* with different spawning seasons in northern Japan. 7th European Conference on Echinoderms. 2010年10月5日. Geoscience Center, University of Göttingen, Göttingen, Germany

⑤高 旭, 吾妻行雄, 谷口和也. 宮城県松島湾における褐藻ワカメの成長と成熟に及ぼす促成栽培の影響. 2010年度日本水産学会秋季大会. 2010年9月24日. 京都大学吉田キャンパス.

⑥猪股英里, 松井俊幸, 木下順二, 渡邊将之, 村田裕子, 吾妻行雄. キタムラサキウニ生殖巣の量的発達と品質に及ぼすサビノリの食物としての効果. 2010年度日本水産学会秋季大会. 2010年9月24日. 京都大学吉田キャンパス.

⑦戸田奈菜子, 小笠原誠, 木下順二, 渡邊将之, 大野澤真人, 松井俊幸, 猪股英里, 吾妻行雄. 褐藻アラメ優占群落におけるバフンウニの成長と生殖巣の発達. 2010年度日本水産学会秋季大会. 2010年9月24日. 京都大学吉田キャンパス.

⑧木下順二, 大野澤真人, 小笠原誠, 渡邊将之, 松井俊幸, 猪股英里, 遠藤 光, 吾妻行雄. 褐藻エゾノネジモク群落におけるキタムラサキウニとバフンウニの生産. 2010年度日本水産学会秋季大会. 2010年9月24日. 京都大学吉田キャンパス.

⑨木下順二, 大野澤真人, 渡邊将之, 小笠原誠, 松井俊幸, 吾妻行雄. 褐藻エゾノネジモク群落におけるキタムラサキウニとバフンウニの鉛直分布. 2010年度日本水産学会春季大会. 2010年3月27日. 日本大学生物資源科学部.

⑩Kanomata, I, M. Ise, Y. Agatsuma, K. Taniguchi. Effect of thinning on morphology, growth, and maturation of the kelp *Undaria pinnatifida* cultivated in Matsushima Bay, northeastern Honshu, Japan. Asian Pacific Aquaculture. 2009年11月6日. Putra World Trade Center (Kuala Lumpur, Malaysia).

⑪吾妻行雄, 鹿又郁美, 池森 力, 吉田茂樹, 武内良雄, 藤島浩晃, 中島和彦, 佐野満廣, 金崎伸幸, 今井久益, 山元直樹, 金濱博樹, 松原高司, 高橋 智, 磯貝辰彦, 谷口和也. 磯焼け域におけるウニ駆除と栄養塩添加によるホソメコンブ群落の造成. 2009年度日本水産学会秋季大会. 2009年10月1日. いわ

て県民情報交流センター・アイーナ(盛岡市).
⑫鹿又郁美, 山名 淳, 伊勢修夫, 吾妻行雄, 谷口和也. 松島湾における褐藻マコンブの群落維持. 第6回東北大学バイオサイエンスシンポジウム. 2009年6月16日. 仙台国際センター(仙台市).

⑬鹿又郁美, 李 景玉, 吾妻行雄. 松島湾における褐藻マコンブの生活年周期. 平成21年度日本水産学会春季大会. 2009年3月30日. 東京海洋大学.

⑭J-Y. Li, Y. Agatsuma, T. Nagai, K. Taniguchi. Difference in resource storage pattern between the kelps *Laminaria longissima* and *L. diabolica* associated with their morphological characteristics. 5th World Fisheries Congress. 2008年10月21日. パシフィコ横浜.

⑮Y. Agatsuma, M. Ogasawara, K. Taniguchi Growth and gonad development of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* in a bed of the brown algae *Undaria pinnatifida* and *Laminaria japonica* in Matsushima Bay, northeastern Honshu, Japan. 5th World Fisheries Congress. 2008年10月21日. パシフィコ横浜.

⑯小笠原誠, 松井俊幸, 吾妻行雄, 谷口和也. 松島湾のコンブ目群落におけるバフンウニの成長と生殖巣の発達. 第5回東北大学バイオサイエンスシンポジウム. 2008年5月19日. 仙台国際センター.

⑰鹿又郁美, 山名 淳, 伊勢修夫, 吾妻行雄, 谷口和也. 養殖ワカメの密度効果. 第5回東北大学バイオサイエンスシンポジウム. 2008年5月19日. 仙台国際センター.

[図書] (計2件)

①谷口和也, 吾妻行雄, 嵯峨直恆(編著). 恒星社厚生閣. 磯焼けの科学と修復技術. 2008. 136.

②谷口和也(共著). 恒星社厚生閣. 消える日本の自然～写真が語る108スポットの現状～. 2008. 98-104, 210-218.

[産業財産権]

○出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

<http://www.agri.tohoku.ac.jp/algae/index-j.htm>

1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 和也 (TANIGUCHI KAZUYA)
東北大学・大学院農学研究科・名誉教授
研究者番号: 40282028

(2) 研究分担者

吾妻 行雄 (AGATSUMA YUKIO)
東北大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 50292256