

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2006～2009
課題番号：18360423
研究課題名（和文） 海洋深層水を用いた海の砂漠緑化技術の開発
研究課題名（英文） Development of Seaweed Bed Restoration Technology Using Deep Ocean Water
研究代表者
大塚 耕司 (OTSUKA KOJI)
大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号：90213769

研究成果の概要（和文）：本研究では、高知県室戸市室戸岬東沿岸海域を対象に、海洋深層水の放流によって、磯焼け海域に大型海藻群落を再生するための基礎技術を確認することを目的として、現地調査、各種実験、数値計算を行った。その結果、対象海域における藻場は年々衰退していること、水温が低下しすぎない限り海洋深層水の放流により海藻の成長速度は増加すること、藻食魚類は低水温の水塊から逃げる行動をとること、構造物の設置により海洋深層水を効果的に滞留させる可能性があることなどが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to restore seaweed beds in the east part of Muroto coastal area, where is a typical sea desert area so-called "Isoyake". The results of field survey, in-situ and laboratory experiments, and numerical simulations showed that seaweed beds in the research field are declined year by year, seaweed growth rates increase with increasing deep ocean water concentration except from very low temperature condition, herbivorous fish escapes from a low temperature water mass, and installation of an accumulation structure may effectively keep a water mass of high deep ocean water concentration.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2006年度 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |
| 2007年度 | 6,100,000 | 1,830,000 | 7,930,000 |
| 2008年度 | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |
| 2009年度 | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,800,000 | 4,440,000 | 19,240,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：磯焼け、藻場修復、海洋深層水、海域調査、生物実験、生態系モデル

1. 研究開始当初の背景

大型海藻が群落を形成している沿岸域は

「藻場」と呼ばれ、魚介類にとっては餌場、産卵場、幼魚の育成場等として非常に重要な意味を持つ。しかし、近年藻場が衰退し、あたかも砂漠のようになる「磯焼け」と呼ばれる現象が全国各地で報告され、水産業への被害が大きな問題となっている。磯焼けの原因については、海水温の上昇、藻食動物による食害、陸域からの微量金属の流入減少等、種々の原因が考えられているが、太平洋沿岸の海域では、高温・貧栄養である黒潮の接岸が磯焼けの主因と考えられている。

高知県室戸市には、日本で最初に作られた海洋深層水の研究施設、高知県海洋深層水研究所がある。以前は研究所地先に大型の海藻類が繁茂する藻場が形成されていたが、20年以上前から磯焼けが恒常的に発生するようになり、現在ではほとんど大型海藻の藻場は見られない。ところが、研究所の海洋深層水の放流口付近には、小規模ながら藻場が形成されていることが報告されている。海洋深層水は、黒潮海水とは全く逆の低温・高栄養という特性を持っているため、その影響によって海藻の成長が促進されるとともに藻食動物の食圧が低下し、藻場が回復、すなわち砂漠状態の海底が緑化された可能性が十分考えられる。

そこで本研究では、低温・高栄養の海洋深層水を効果的に放流することによって磯焼け状態の海に藻場を再生する技術の確立を目指した。

2. 研究の目的

(1) 現地での藻食動物（ウニおよび魚類）の分布と行動パターンの調査、ならびに海藻摂餌実験によって、藻食動物の摂餌圧推定法を確立する。

(2) 流動モデルと生態系モデルを用いた数値シミュレーションによって、藻場修復効果の予測手法、すなわち磯焼けに対する深層水放流の処方箋を確立する。

(3) 深層水の放流効果を上げるための滞留を目的とする構造物を提案し、現地実験と水理模型実験、ならびに流動モデルと生態系モデルを用いた数値シミュレーションによって、深層水の効果的滞留手法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 現地調査

本研究では、高知県室戸市にある、高知県海洋深層水研究所地先海域を研究対象としている。現地調査は、2006年9月から2009年9月まで、約3ヶ月に1度の頻度で、計10回行った。主な調査項目は以下の通りである。

① 水質：調査対象海域において、水温、塩分、溶存酸素、透明度、栄養塩濃度の計測を行った。

② 海藻：調査対象海域において、潜水目視観測、写真・ビデオ撮影、1m×1mの方形枠を用いた坪狩り調査を行った。

③ ムラサキウニ：調査対象海域において、3m×3mのロープ枠を設定し、枠内の個体数を計数するとともに、10個程度採取し、湿重量、大きさ、卵の重さの割合等を計測した（図1参照）。



図1 ムラサキウニ調査の様子

④ 魚類：現地の漁業協同組合での漁獲統計資料調査およびヒアリング調査、藻食魚類の胃の内容物調査等を行った。

(2) 実験

実験は、研究対象海域の漁港や高知県海洋深層水研究所等、現地で行ったものと、大阪府立大学内の実験施設で行ったものがある。主な実験項目は以下の通りである。

① 海藻光合成実験：海藻の藻体全体を使い密閉された水槽内の溶存酸素の変化を計測するという新しい光合成実験方法を開発し、クロメとマクサを対象に、水温と光強度に対する成長速度の応答を調べた。実験は高知県海洋深層水研究所と大阪府立大学の両方で行った。

② 海藻育成実験：実際の海洋深層水方流域での海藻の生育の様子を調べるため、高知県海洋深層水研究所において、深層水と表層水の混合比を変えた比較的大型の水槽を数個用意し、約1年間にわたる長期生育実験を計2回行った。

③ ムラサキウニ摂餌実験：高知県海洋深層水研究所において、深層水と表層水の混合比を変えた水槽を数個用意し、それぞれの水槽にムラサキウニを数個ずつ入れて、クロメ、マクサを摂餌させ、1日あたりの摂餌量や海藻の種の選択性（嗜好性）を調べた（図2参照）。



図2 ムラサキウニの摂餌選択実験の様子

④ 魚類の行動パターン実験：高知県海洋深層水研究所にある大型の水槽を用いて、藻食魚類であるブダイおよびニザダイの水温変化（低温の海洋深層水を水槽の端から流入させる）に対する応答（行動パターン）を調べる実験を行った。

⑤ 海洋深層水放流実験：現地の高岡漁港内にある遊休泊地において、2007年6月から2009年9月まで、予備実験を入れて計6回行った。放流口の形状の影響、滞留構造物の影響等を調べた。

(3) 数値計算

本研究の目的である、海洋深層水放流の藻場への影響評価および構造物による深層水の滞留効果評価を行うため、これまでに開発してきた藻場生態系モデルを大幅に改良し、様々な条件下による数値シミュレーションを行った。主なモデルの改良点とシミュレーションの目的は以下の通りである。

① 海藻の種の競合：クロメとマクサの2種の海藻について、光の競合と場の競合のモデルを導入し、様々な条件下によってどちらの種が対象海域の優占種となりえるかを推定できるようにした。

② ムラサキウニの嗜好性：ムラサキウニがクロメとマクサのどちらを好んで摂餌するのかを考慮できるようにするため、2種の海藻の嗜好性を表現するモデルを導入し、実験結果から生物パラメタを求めた。

③ 魚類の行動パターン：海洋深層水放流の藻食魚類への大きな影響の1つである、低温水塊に対する行動パターンを考慮するため、実験結果を基に空間的な移動を表現した現存量変動係数を導入した（図3参照）。

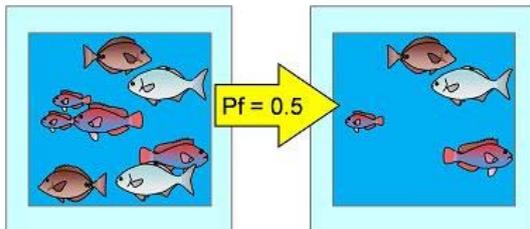


図3 現存量変動係数 (Pf) の概念

④ 滞留構造物の効果評価：現地での海洋深層水放流実験の結果が再現できる3次元流動モデルを開発した。

4. 研究成果

(1) 現地調査

① 水質：調査対象海域では年間を通して水質に表底層の差はなく、高水温・低栄養塩濃度で透明度が高い、典型的な黒潮影響海域であることが確認された。

② 海藻：1999年から5年間行った調査では優占種の1つであったトゲモクが今回の調査ではほとんど見られなくなり、近隣の漁港内で採取が可能で、今回藻場修復対象種としたクロメも、年々少なくなり2009年には漁港内で採取できなくなった。

③ ムラサキウニ：ムラサキウニの現存量については、明確な傾向は見られなかったが、マクサの現存量に対するわずかな負の相関が見られた。

④ 魚類：漁獲統計データならびに漁師へのヒアリングから、対象海域での藻食魚類の優占種をブダイ、イスズミ、ニザダイの3種とした。これらの魚類の胃の内容物からも海藻を摂餌していることが確認された。

以上の結果は、太平洋沿岸域の磯焼け問題が年々深刻になってきていることを示唆しており、水産分野や地域的な環境分野の研究だけではなく地球規模での環境分野の研究にとっても貴重な知見が得られたと考えられる。

(2) 実験

① 海藻光合成実験：海藻の藻体全体を用いる新しい光合成実験手法を開発した（図4参照）。この手法を用いて、クロメとマクサの水温および光強度に対する光合成速度の応答データを取得し、これらの結果から各海藻の成長モデルに必要な生物パラメタを得た。

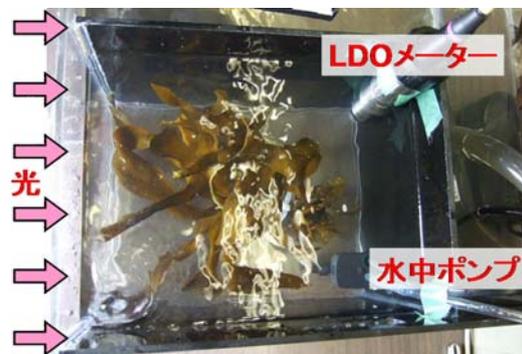


図4 海藻光合成実験装置

② 海藻育成実験：光条件ならびに表層水と深層水の混合比率のコントロールが難しかったことから、データにかなりばらつきが見られたものの、ほぼ深層水混合比率の高い水槽の海藻成長率は高く、混合比率の低い水槽の海藻成長率は低くなった。ただし、深層水混合比率が高すぎて水温低下の影響が強くなり現れた水槽では、逆に海藻成長率は低くなった。

③ ムラサキウニ摂餌実験：ムラサキウニの個体の大きさと摂餌との関係を調べた結果、湿重量の小さい個体ほど相対摂餌率は高くなることがわかった。また、クロメとマクサを同時に与えて行った嗜好性の実験では、特に種による嗜好性があるわけではなく、近くにある海藻から順に食べることがわかった。

④ 魚類の行動パターン実験：ブダイとニザダイを対象として実験を行った結果、いずれの種も、低温の水塊の広がりに対して逃げるような行動をとることが観察され、餌の食いつきも極端に悪くなることがわかった。逆に、水温を上昇させた場合には急激に摂餌行動が活発になることがわかった。

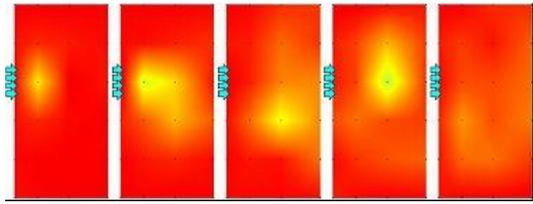
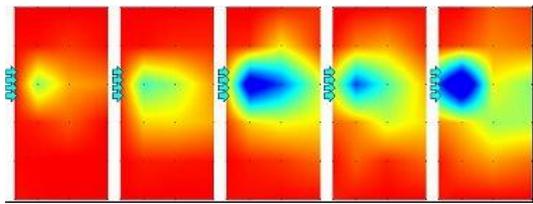
③ 海洋深層水放流実験：研究対象海域に近い高岡漁港の遊休泊地において、トリカルパイプおよびL字パイプ（図5参照）を用いた放流実験を行った結果、L字パイプでは放流口で噴流となって拡散が大きいものの、トリカルパイプでは、ゆっくりと放流されるために、海底面を舌状に這うような顕著な重力流を形成し、拡散も少ないことがわかった（図6参照）。また、効率的に海洋深層水を滞留させるための構造物を設置し、同様の放流実験を行った結果、構造物の設置角度がずれたため定量的な滞留効果は計測できなかったものの、ある程度構造物内に海洋深層水が高濃度で含まれる水塊が形成されることが確認できた。

以上の結果は、海洋深層水の放流により海藻の成長速度が上昇するとともに藻食動魚類の食圧が低下し、藻場が再生される可能性を示しており、同様の条件を有する磯焼け海域への展開が期待できる。また、滞留構造物の設置がより大きな効果を生む可能性も示された。



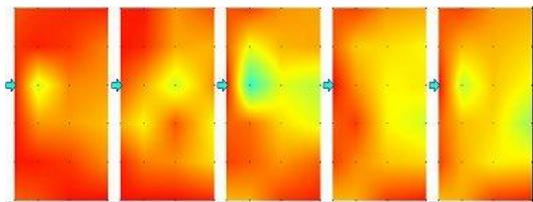
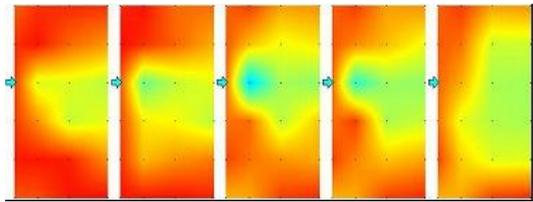
図5 放流実験に使用した法流口（左：トリカルパイプ、右：L字パイプ）

(A) トリカルパイプによる放流（上：海底面直上，下：海底面上0.1m）



30分後 60分後 120分後 180分後 240分後

(B) L字パイプによる放流（上：海底面直上，下：海底面上0.1m）



30分後 60分後 120分後 180分後 240分後

周辺水温との差(°C) 0

図6 海洋深層水放流実験結果の一例

(3) 数値計算

様々な条件による数値計算を行い、現地調査結果や実験結果と比較することによってモデルの制度検証を行うとともに、一例として現地での放流実験と同じ条件で海藻の分布がどのように広がるかを計算した結果、滞留構造物周辺で顕著に藻場が再生されるという結果を得た（図7参照）。

この結果は、モデル計算によって磯焼け海域に藻場の再生が可能であるかどうかを推定できる技術（処方箋）が確立され、さらに滞留構造物によって効果的に藻場再生が行える可能性を示しており、全国の磯焼け対策事業に大きく貢献できるツールを提供できたといえる。

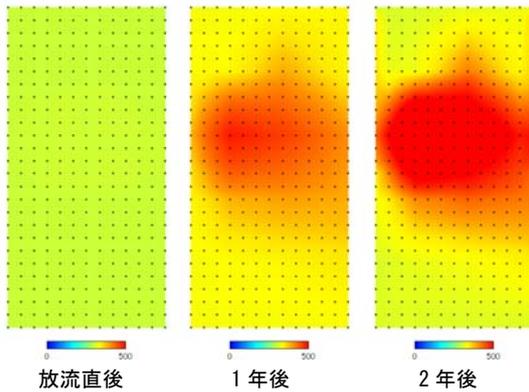


図7 放流口近くのマクス分布シミュレーション結果

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 Matsui, A., Otsuka, K. and Nakatani, N., “Modeling of a Seaweed Bed Ecosystem at a Barren Ground Area,” Proc. of 4th East Asian Workshop on Marine Environments, pp. 29-44, 2009, 査読なし
- ② 大塚耕司, 海洋深層水による藻場修復, 化学工学, 第 71 巻, 第 6 号, pp.48-51, 2007, 査読なし
- ③ 大塚耕司, 室戸沿岸の磯焼け海域を対象とした海洋深層水放流影響の予測, 水産工学, Vol.43, No.1, pp.21-33, 2006, 査読あり

[学会発表] (計 4 件)

- ① 大塚耕司, 中谷直樹, 松井敦: 閉鎖水域における海洋深層水放流時の挙動に関する実験, 海洋深層水 2009 室戸大会, 2009 年 11 月 13 日, 室戸
- ② Matsui, A., Otsuka, K. and Nakatani, N., “Modeling of a Seaweed Bed Ecosystem at a Barren Ground Area,” 4th East Asian Workshop on Marine Environments, November 6, 2009, Busan
- ③ 大塚耕司, 中谷直樹, 松井敦他, 海洋深層水放流による藻場修復効果の予測—藻食動物の行動パターン実験—, 海洋深層水利用学会, 海洋深層水 2008 東京大会, 2008 年 9 月 30 日, 東京
- ④ 大塚耕司, 中谷直樹, 松井敦他, 海洋深層水放流による藻場修復の効果予測, 海洋深層水利用学会, 海洋深層水 2007 知床らうす大会, 2007 年 10 月 4 日, 羅臼

[図書] (計 1 件)

- ① 大塚耕司, 海藻を食べる魚たち—生態か

ら利用まで—, 7.4 冷たい海洋深層水で藻場を守るか, 成山堂書店, pp.241-247, 2006

[その他]

ホームページ等

<http://www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab02/study/dsw/dsw.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 耕司 (OTSUKA KOJI)

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号：90213769

(2) 研究分担者

中谷 直樹 (NAKATANI NAOKI)

大阪府立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30326277

馬場 信弘 (BABA NOBUHIRO)

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号：1019894

(3) 研究協力者

平岡 雅規 (HIRAOKA MASANORI)

高知大学総合研究センター・准教授

津嶋 貴弘 (TSUSHIMA TAKAHIRO)

高知県海洋深層水研究所・所長

松井 敦 (MATSUI ATSUSHI)

大阪府立大学・工学研究科・博士後期課程

2 年生