

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380118

研究課題名（和文）三陸内湾域における環境調和型複合養殖生産の高度化

研究課題名（英文）Balanced ecosystem approach for polycultures in Sanriku ria coast

研究代表者

古谷 研（FURYA KEN）

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：30143548

研究成果の概要（和文）：三陸内湾域において、底質の有機物負荷の低減と、複合養殖の高度化を目指してマナモコ養殖の導入可能性を検討した。平成 22 年 2 月と翌年 3 月の 2 回の津波の影響を受け、研究計画の一部を実施するに留まったが、1) マナモコは貝類養殖域内において域外に比べ有意に高い成長を示すこと、2) 炭素・窒素の同化率の点で貝類の糞粒は良い餌料であることが明らかになり、マナモコが有用な養殖水族になることが分かった。

研究成果の概要（英文）：In order to raise production yields and to facilitate material cycling in extractive aquaculture areas in Sanriku ria coast, feasibility to introduce aquaculture of the Japanese common seacucumber *Stichopus japonica* was examined. In spite of losses of in situ instruments and experimental corves of *S. japonica* due to tsunami attacks in February 2010 and March 2011, *S. japonica* has proven to be useful as a new aquaculture organism under oyster and scallop rafts due to 1) its significantly higher growth under the rafts than outside, and 2) significantly higher assimilation rates of carbon and nitrogen with feces of shellfish as foods than those with commercially available feeds.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 8,300,000 | 2,490,000 | 10,790,000 |
| 2010年度 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |
| 2011年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 総計 | 13,700,000 | 4,110,000 | 17,810,000 |

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：複合養殖、養殖環境、三陸地方、無給餌養殖、ナマコ

1. 研究開始当初の背景

貝類などの無給餌養殖は天然のプランクトンなどの懸濁物質を資源として利用するため生態系依存型養殖とみなされ、給餌養殖に比較して環境負荷が小さい食糧生産活動である。しかしながら貝類養殖でも、長期間にわたって高密度に養殖された海域では、活発な摂餌に伴う擬糞や糞粒の堆積の結果、有機物負荷が高くなり、成層期には貧酸素水塊

が形成されて底質および水質が悪化する。養殖水族は種によって、給餌の有無や、餌として利用するプランクトンが異なるため、生態系での機能と環境への影響が異なる。複合養殖は、このことを利用して複数の養殖水族を組み合わせることでより海域全体の物質循環を円滑化させ、小さな環境負荷で生産の向上を図ろうとするものである。

三陸内湾域ではマガキやホタテガイの養

殖が活発に行われており、養殖施設の下部には、それらの糞が堆積し、底質の悪化が進行していることから、底質の改善が漁場管理の上で重要な課題であった。

2. 研究の目的

本研究は、無給餌養殖が活発に行われている三陸内湾域において、新たな養殖水族としてマボヤとマナマコを導入することにより、従来未利用の餌料プランクトンの利用促進（マボヤ）と底質の有機物負荷低下（マナマコ）により、現在行われている複合養殖をさらに発展させて、養殖生産物の多様化と生産額の向上を実現させるとともに、良好な漁場環境を維持するための複合養殖手法を確立することを目的とした。しかしながら、マボヤについては2度の津波による養殖域の被害のため種苗および成体を入手できなかったためマナマコに集中して研究を進めた。また、大槌湾で得た堆積物試料、栄養塩試料等フィールドで採集した凍結試料は保存してあった東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターが2011年3月の津波に被災したため消失したため現場環境の解析はできなかった。

3. 研究の方法

岩手県大槌湾でのフィールド研究と室内実験により研究を行った。

(1) マナマコの成長：岩手県水産技術センターにおいて岩手県産親ナマコから得られた約1歳4ヶ月の個体を1m×1m×0.7m（高さ）、目合い5mmのステンレス製の生け簀にマナマコを入れ、マガキとホタテガイの養殖棚下の海底に設置して成長を追跡した。棚の影響の無いと考えらる国際沿岸海洋研究センターの筏下にも生け簀を設置しコントロールとした。

(2) マナマコの餌料同化：セディメントトラップで得たマガキおよびホタテガイの糞粒に、¹³Cおよび¹⁵Nで二重標識したのち、凍結処理した珪藻 *Thalassiosira weissflogii* 混ぜた餌料をマナマコに与えて、炭素および窒素同化率を求めた。

(3) 物理-生態系3次元モデルへの養殖水族および底質における物質循環の組み込み：先行研究により作成した大槌湾の3次元物理-生態系モデルに底質モデル、およびマボヤ・マナマコを組み込んだ。底質モデルのためのパラメータを鹿児島湾での現場調査から得た。

4. 研究成果

(1) マナマコの成長

コントロールとして用いたセンター筏群のナマコの成長度（平均体重）に対して、カキ棚群およびホタテ棚群のナマコの成長度は何れも高い傾向を示し、秋季から冬季

には有意に高かった（図1）。3月までの冬季の平均成長速度（平均体重の増加率）は、コントロール群、カキ棚群、およびホタテ棚群のそれぞれで、+6.4%/5ヶ月、+44.8%/5ヶ月、および+20.7%/4ヶ月、また1か月当たりに換算してそれぞれ+1.3%、+9.0%、および+5.2%であり、コントロール群に比べてカキ棚・ホタテ棚群はいずれも極めて高かった。4月以降はカキ棚下で成長を追跡したが、9か月間にわたる測定結果より、カキ養殖棚下でのナマコの増重率(+168%)は、養殖棚のない環境下（対照群、+131%）と比べて明らかに高く、ナマコと二枚貝類との複合養殖の有効性が示唆された。冬季にカキ棚群の成長が良かったことについては、カキ棚群の設置深度が他2群と比べて浅く、このことが成長度に差を生じさせた可能性も考えられるが、ホタテ棚群とコントロール群の深度はほぼ同じであり、また毎月の水温も両群間で差が見られなかったこと、貝類養殖棚下はコントロール域と比べて強熱減量が著しく高く有機物が多量に堆積していたことから、少なくとも、養殖棚群のナマコは、貝類の糞に由来する有機物を摂餌したことで成長が促進されたものと考えられる。

コントロール群、ホタテ棚群における生残率は、全期間を通じて100%であった。カキ棚群の生残率は、実験終了時に87.5%であり全般的に生残率は極めて高かった。

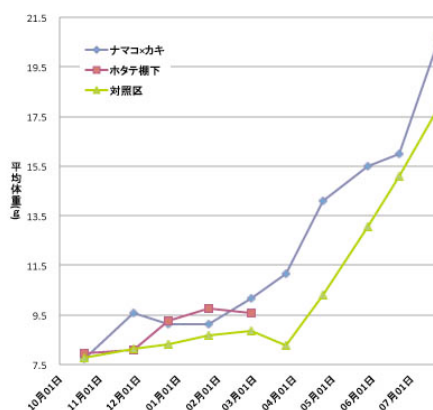


図1. マナマコの成長

一方、上記と同等の個体サイズ種苗にアワビ育成用の餌料を与えて、実験室内の水槽飼育下における成長特性を調べた結果、飽食状態と考えられる摂餌条件下においても、飼育開始から40日を経るまでの間にほとんどの個体で体重の顕著な減少が見られ、生残率も低下した。この結果は、実際の陸

上養殖現場で多々見られる中間育成時における低成長・生残性を実験的に裏付けるものであった。天然海域における籠を用いた二枚貝類との複合養殖試験においては高い成長・生残率が得られていることから、人工種苗の中間育成に対して養殖棚下での本複合養殖法が効果的であることが示された。

(2) マナマコの餌料同化：

海藻粉末から成る人工飼料の摂餌では、腸管内容物と糞には未消化の海藻粉末が多く確認され、消化の程度は低いと判断された。糞粒はペレット状で腸管内の液体で糞を包んで排泄された。

大槌湾の養殖域下でセディメントトラップにより得たカキおよびホタテの糞粒には、未消化の植物プランクトンが多く含まれたことから、沈降粒子試料に ^{13}C および ^{15}N で標識した珪藻 *Thalassiosira weissflogii* を加えた餌料を用いて炭素および窒素の同化速度を求めた。実験には成体と同程度の消化能力をもつとされる約 5 cm のマナマコを使用した。沈降粒子は養殖貝類の糞粒および珪藻を中心とした植物プランクトンが主体であった。水温 $7.0\sim 8.2^\circ\text{C}$ において 4 日間餌料を与えずに空胃にした個体に十分量の餌料を与え 12 時間摂餌させたところ、マナマコはカキおよびホタテ養殖域下の沈降粒子を活発に摂餌した。炭素および窒素の同化速度は貝類養殖域の間に有意差は無く ($p>0.05$)、マナマコにとって沈降粒子の餌料価値は同等であるといえる。乾重量あたりの炭素および窒素の平均同化速度は $0.25 \pm 0.19 \text{ mg C h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ 、 $0.011 \pm 0.0098 \text{ mg N h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ($n = 20$) であった。

次に、マナマコの炭素および窒素の同化速度の温度応答を明らかにするために、大槌湾の実際的水温を考慮して $5, 10, 15, 20^\circ\text{C}$ で人工飼料を用いて約 5 cm のマナマコを飼育した。海藻粉末から成る人工飼料に ^{13}C および ^{15}N で標識した珪藻 *T. weissflogii* を加えた餌料を用いた。炭素および窒素の同化量は 20°C の実験区を除いて実験開始後から 48 h まで直線的に増加した。 20°C の実験区では摂餌が不安定で全体として低い摂餌量であった。炭素および窒素の同化速度は温度とともに指数関数的に増加した (図 2)。一方、糞の乾重量あたりの炭素および窒素含量は水温の低下とともに減少し、低水温下ほど炭素および窒素の取り込み能が高い傾向が認められた。これらの結果は、水温の上昇とともに餌料からの炭素および窒素の取り込み能は低下するが、摂餌速度が増加することによりマナマコ個体あたりの同化速度が増加することを示唆すると考えられる。本研究ではマナマコの摂餌速度を見積もることができなかつたため、この検証が今後の課題である。なお、 5°C の低温期においては活動の鈍化や体組織と腸

管の萎縮が認められ、低下した同化量を補うために腸管および体組織の自己消化をおこなっている可能性が示唆された。

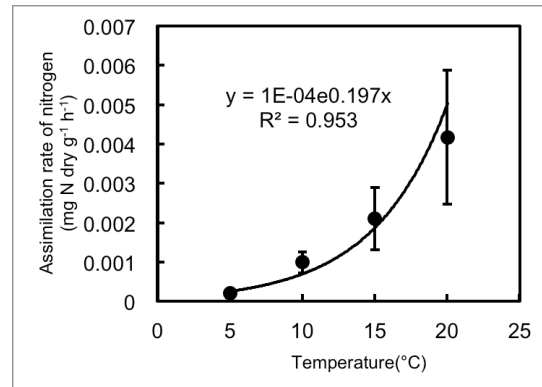
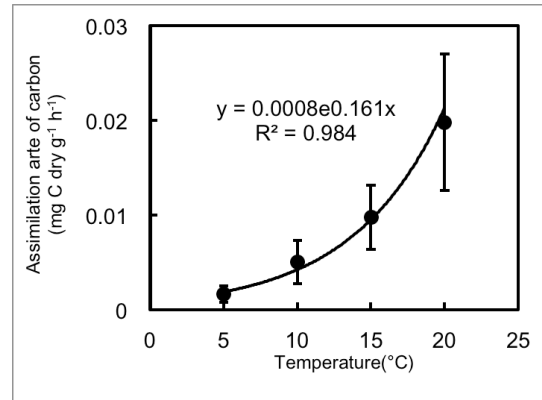


図 2. 5, 10, 15, 20°C におけるマナマコの乾重量あたりの炭素 (上) および窒素 (下) 同化速度。エラーバーは標準偏差

(3) 物理-生態系 3 次元モデルへの養殖水族および底質における物質循環の組み込み

比較的水深の大きな鹿児島湾では、プランクトン由来の易分解性有機物は底層には到達せず、底層の内部消費に対して、難分解性有機物が支配的な役割を果たしていた。密度躍層が形成されると、SOD2 割、内部消費 8 割程度の割合で酸素が消費され、これによって底泥表面の DO が減少し、これに伴って SOD も減少した。これらの現地観測及び底質シミュレーション結果から、鹿児島湾北部海域における支配的な酸素消費過程を明らかにする数値モデルを構築し、実海域に適用可能な汎用性のある底質モデルを構築できたことから、三陸海岸域における現地観測データに基づいたパラメータを適用することにより、同海域の底質の評価が可能となった。

大槌湾におけるマナマコの餌料環境を明らかにするために、物理-生態系3次元モデルを用いて大槌湾全体の四季の粒子態有機炭素(POC)フラックスを見積もった。その結果、湾全体のPOCフラックスは春期に最も高く冬期に最低となり、冬季の湾内全体のPOCフラックスは春季の33.9%に低下した。湾口南部のホタテ養殖域および湾奥部の水深30m以浅のカキ・ホタテ養殖海域にはPOCフラックスが年間を通じて高い傾向が認められたが、貝類養殖域外でもPOCフラックスは水深50m付近よりも浅い海域で高かった。一般にマナマコは40m以浅に生息するとされており、湾内には好適な餌料環境が形成されているといえる。

養殖域下部のPOCフラックスがすべてマナマコに摂餌されると仮定してマナマコの潜在的な養殖密度を見積もった。マナマコの摂餌に関する既往知見からPOCフラックスの44~48%が同化されるとして、本研究で得られたマナマコの同化速度で除すると平均乾重量で31~43 g m⁻²となった。この値はマナマコの岩手県沿岸域の平均生息密度よりも1桁高く、三陸沿岸域の貝類養殖筏下はマナマコにとって十分なPOCフラックスが供給されている環境であることが明らかになった。

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4件)

- ①Vijayan, A.K., T. Yoshikawa, S. Watanabe, H. Sasaki, K. Matsumoto, S. Takeda and K. Furuya (2009) Influence of non-photo-synthetic pigments on light absorption and quantum yield of photosynthesis in the western equatorial Pacific and the subarctic North Pacific. *J. Oceanogr.*, 査読有, 65, 245-258.
<http://www.terrapub.co.jp/journals/JO/index.html>
- ②Sato, M. and K. Furuya (2010) Pico- and nanophytoplankton dynamics during the decline phase of the spring bloom in the Oyashio region. *Deep-Sea Res. II*, 査読有, 57, 1643-1652.
<http://www.journals.elsevier.com/deep-sea-research-part-ii-topical-studies-in-oceanography/>
- ③Harrison P. J., K. Furuya, P. M. Glibert, J. Xu, H.B. Liu, K. Yin, J. H. W. Lee, H. Liu R., Gowan A. R. Al-Azri, A. Y. T. Ho and D. M. Anderson (2011) Geographical distribution of red and green *Noctiluca* scintillans. *Ch. J. Oceanol. Limnol.*, 査読有, 29, 807-831.
<http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/oceanography/journal/343>
- ④Lirdwitayaprasit, T., P. Chuabkarnrai, C. Nitithamayong and K. Furuya (2012) Effect of salinity on vertical migration of green *Noctiluca* under laboratory conditions. *Coast. Mar. Sci.*,

査読有, 35, 70-72.

<http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/bulletin/#35-0>

④

[学会発表] (計4件)

- ①西部悠太「春期黒潮流域の表層植物プランクトン群集動態」日本海洋学会、平成23年3月23日、東京大学大気海洋研究所.
- ②井上良夢「ナマコを用いた環境調和型複合養殖に関する研究」日本水産学会、平成23年9月30日、長崎大学文教キャンパス.
- ③K. Furuya "Noctiluca blooms in the east and southeast Asian waters" 7th EASTHAB Conference, 平成23年11月15日, Tagbilaran, Bohol, Philippines.
- ④渡邊真澄「鹿児島湾北部海域における酸素消費過程についての考察」土木学会西部支部、平成24年3月3日、鹿児島大学郡元キャンパス.

[図書] (計3件)

- ①Furuya, K. (2011) Aquatic environment. In: Introduction for Fisheries and Aquatic Biology, pp. 1-36, Terrapub, Tokyo.
- ②Furuya, K., P. M. Glibert, M. Zhou, and R. Raine (2010) Harmful Algal Blooms in Asia. IOC and SCOR, Paris and Newark, Delaware. 68 pp.
- ③古谷 研 (2012) 「恵みを生み出す海洋生態系」講談社サイエンティフィック、東京、印刷中.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古谷 研 (FURUYA KEN)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 30143548

(2) 研究分担者

奥村 誠一 (OKUMURA SEIICHI)

北里大学・海洋生命科学部・准教授

研究者番号: 60224169

安達 貴浩 (ADACHI TAKAHIRO)

鹿児島大学・工学部・准教授

研究者番号: 50325502