

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006 年 ～ 2008 年

課題番号：18380113

研究課題名（和文） 内湾環境比較にもとづく三陸沿岸域の複合養殖生産の最適化

研究課題名（英文） Optimization of polyculture in Sanriku ria coasts based on comparative coastal oceanography

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

研究成果の概要：三陸沿岸域におけるホタテ、マガキなどの無給餌養殖生産の内湾環境依存性を、大槌湾と大船渡湾の対比から明らかにした。大船渡湾では、大槌湾よりも閉鎖性が強いいため湾内外の海水交換が悪く、湾外からの栄養塩供給は湾奥には至らない。両湾ともに、貝類養殖は現状の養殖密度がほぼ妥当であるが、養殖貝類の成長速度は養殖実施場所によって異なることから、養殖実施場所の選択により増産の可能性があることが明らかになった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2007 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2008 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
総計	15,500,000	4,650,000	20,150,000

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：環境収容力、複合養殖、物質循環、物理生態系モデル、三陸地方

## 1. 研究開始当初の背景

漁獲漁業生産が頭打ちになり、食糧生産としての養殖の重要性が世界的に認識されている。世界的に見ても、日本の内湾域ほどに増養殖の行われている海域は無く、本研究が目指している複合養殖の積極的活用はこれから進展が期待される分野である。

生態的機能の異なる複数の養殖生物種と天然の生態系内の物質循環を総合的に評価するためには、物理-生態系モデルの利用が不可欠である。我々は三陸沿岸域において、環境収容力の評価のためのモデル開発を1990年代に行ったが、これは養殖海域の数値

モデル解析として世界的に先駆的であった。持続的な養殖生産のためには、海域の環境収容力評価が必須であり、それには生態系数値モデルによる解析が極めて有効である。

三陸の貝類養殖では貝の斃死や、実入りの低下が問題になっており、餌不足に起因する成長力の低下が原因とされている。このため、湾の持つ環境収容力から養殖の適正規模の評価が必要となっていた。

## 2. 研究の目的

沿岸域における養殖は海洋環境やその生態系に強い影響を及ぼす人間活動であり、そ

の影響を最小にして生態系を保全し、持続的な水産養殖を発展させることが必要である。この観点から申請者らは、これまで三陸リアス式内湾の大槌湾において環境収容力の把握に基づく貝類と海藻の複合養殖生産に関する研究を進め、その成立には、湾内外の海水交換に伴う栄養塩と溶存酸素の動態などの海域特性と栄養塩供給に対応した適正な養殖規模が重要であることを明らかにした。しかしながら、海域特性は湾によって異なるため、得られた知見を三陸沿岸域の他の湾に直接適用すること、さらには一般化することはできない。また、大槌湾では近年マツカワ養殖が始められ、従来の養殖水族とあわせた複合養殖の最適化が求められている。これらをもとめて本研究は、三陸地方の代表的な湾として大槌湾と大船渡湾を取り上げ、両湾の環境比較に基づいて、

- 1) 湾内外の海水交換および有機物の分解と栄養塩の再生に伴う溶存酸素の変動機構を把握して、各湾の物質循環機構を栄養塩および溶存酸素を鍵要素として解明すること、
- 2) 養殖貝類の成長を記述する数値モデルを構築すること、
- 3) 養殖経営実態の把握から、三陸沿岸域における漁業生産に必要な要件を明らかにすること、
- 4) 大槌湾生態系を対象に開発した3次元物理-生態系モデルを大船渡湾に適合させ、シミュレーションによって、貝類複合養殖の環境収容力を求めること、さらには大槌湾における魚類養殖の複合化を最適にする条件の解明、

を研究項目とする。これら一連の研究から、複合養殖の成立に必要な環境条件としての三陸沿岸域の海域特性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 湾内の海水流動と栄養塩環境、一次生産

湾内の3点(湾口部、屈曲部、湾奥部)において、音響ドップラー流向流速計(ADCP)を海底に設置し、通年にわたり観測を行った。ADCP観測期間と対応する地域気象観測システム(アメダス(AMeDAS))の湾口外に近い大船渡観測所のデータから、日最大風向(16方位)・風速、日平均気圧・気温、月別積算日照時間・降水量を気象庁Webサイトより得た。品質検査を行った後、データを磁北偏差補正(7.8°西偏)後、1時間間隔のデータに単純成分平均し、潮汐成分を取り除いた1時間間隔データから、日平均データを作成し、各月平均ベクトル、変動主軸・変動楕円、平均運動エネルギー・渦運動エネルギーなどの諸要素を求めた。海底設置型ADCPによる表層流と海面付近に設置した電磁流速計の比較の結果、良い対応関係が見られたことから、本

報告書では表層データも使用した。

湾奥部には硝酸塩センサー(ISUS, Satlantic)、自然蛍光光度計(IMF, Biospherical)、溶存酸素計(CompactDOW, Alec)、STD(CT, Alec)の複合センサー係留系を、2006年9-10月、2007年8-9月、2008年8-9月に設置した。

#### (2) 養殖経営実態の把握

岩手県で後継者が最も多いとされている重茂漁協と高齢化がすすんで後継者難がある大槌町漁協を選定し、漁協の運営事業、経営内容、販売事業、資源管理監視法等の情報収集と、組合員の漁業に対する意識や後継者に対する認識についての聞き取り調査を行った。後者については地域別、漁業収入別に統計処理を行った。

#### (3) 物理-生態系モデルによる解析

計算には、既存の数値モデル:MK3を用いた。水平格子間隔は200m×200mで、鉛直方向には非等方格子を採用し、最大8層(上層から、2, 3, 5, 5, 10, 15, 30, 50m)、時間間隔は5秒とした。大船渡湾における最適な養殖密度を算定するために、春季を対象として二枚貝モデルを組み込んだ数値実験を行った。本計算では春季の平均的な状態をターゲットとしたことから、境界条件として振幅30cm、周期12時間の潮汐を与えた定常計算を行い、数値がほぼ安定した10日後の成長速度で適正養殖密度を判断した。また、風は季節平均値として一定値(東西風速1.46m/s、南北風速0.19m/s)を与えた。なお、大船渡湾口における栄養塩の観測データが得られなかったため、大槌湾湾口で測定された境界条件を援用した。また、大船渡湾は複数の小規模河川や水路からの淡水流入があるが、本計算ではもっとも河川流量の多い盛川のみを計算対象とした。河川流量としては、平成元年から平成10年度平均値を用いた。

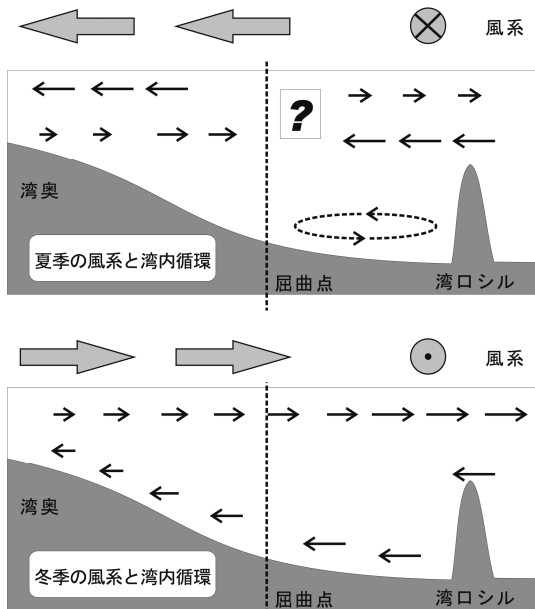
### 4. 研究成果

#### 1) 湾内の海水流動と栄養塩環境、一次生産

大船渡湾内の周年観測の結果、風系の季節変化に対応した湾内循環流の明瞭な季節変化を捉えることが出来た。図に夏季と冬季の湾内循環模式図を示す。夏季の湾口部では、極浅い層の表層の流出に対して、10-20m深を中心とした中層流入が見られる。シル深度以深の底層部は中層貫入流の影響で副循環が形成される場合があるが、その流れは非常に弱い。中層貫入の影響は湾の屈曲部より湾奥では見られず、湾奥部では南南東の風に連行される表層流入が見られ、中層では流出成分が確認できる。これらのことから湾内には湾口部と屈曲部との間に鉛直循環の境界が存在し、少なくとも2つの循環セルの存在が確認できる。両循環の繋がりについては不明確であるが、15m深における各点の連動性は

高い正の相関で見られることから相互の影響が確認できる。このような循環場が観測された夏季には、新鮮な外洋水の流入が限られた範囲・深度でしか期待できない。流れの極弱い湾奥部では、中層貫入の直接的な影響は見られず、湾口底層部でも貧酸素水の発生が懸念される状況にある。一方で冬季は、全域で表層の流出成分が見られ、それに対応する底層付近には強い流入成分が確認でき、大きな1つの鉛直循環セルが存在している。冬季も湾奥に向かって流速が弱くなるものの、夏季よりは強く、底層水の滞留に対する懸念は無用である。

過去の知見における大船渡湾の流動に関しては、滞留水が問題となる夏季の物が多い。今回の周年観測では季節風の影響に応じた循環場のパターンが示され、短周期の風の変化でも循環パターンの変化も以下に挙げる例から確認できる。2007年7月中旬に発生した「やませ」の時期、湾口部底層の副循環は消滅し、底層にも強い流入成分が確認できた。この時、底層の水温は湾口、中央部の測点で急激に上昇し、湾奥では下降してそれまで2-3℃あった水温差が一気に解消している。これらの事実から、風の数日間の変化で、湾内循環が一時的に冬季の循環パターンになり、湾内底層に外洋水が湾奥部まで入り込んだことが示唆される。このような突発的なイベントは、夏季底層滞留水の解消に大きく役立つ事が予測される。



夏季の硝酸塩濃度は表層では枯渇せず、植物プランクトンの増殖は栄養塩の供給を十分受けていたと考えられ、一次生産も大槌湾

と同レベルであった。現在、環境要因の変動と一次生産力、硝酸塩濃度、流れ場の相互の関係について解析を進めている。

## (2) 養殖経営実態の把握

後継者を確保している重茂漁協と後継者が不足している大槌町漁協は、主要な漁業形態は類似しており、ともに漁場環境の悪化や漁獲量減少、密漁の横行が認識されていた。また、漁業が好きだという気持ちや、漁業に対するやる気についても地域差はみられなかったが、漁業収入は重茂のほうが多かった。

子供に継いでもらいたいのかについては、重茂でも大槌でも、漁業収入が多ければ子供に継がせたい人が多く、本研究では500万円以上のグループで、子供に漁業を継がせたい人が、漁業を継がせたくない人を上回った。漁業が好きか否かに、漁業収入の高低は影響していなかったが、漁業の嫌いな面でも、子供に漁業を継がせたくない理由としても、収入が不安定であることが主な理由として挙げられていた。重茂では、500万円以上の漁業収入を得ている人が40%以上であり、漁業収入が高ければ、子供に漁業をつがせたいという希望が強くなるといえる後継者を確保するためには、儲かる漁業であることが、大変重要な要件だといえる。

次に、漁家の収入を支える水産資源の維持管理についてみると、漁業収入の高低で分けたとき、漁業収入が低い人のほうが、資源管理の必要性を重要視する傾向にあった。一方、漁業収入が高い層では、収入を増やすためなら、漁獲制限よりも多めに獲りすぎても仕方ないと考え、漁獲制限を緩和させることを肯定する傾向があった。漁業収入が高い人というのは、漁獲量の多い人と言い換えることができ、漁獲量の多い人は、漁業技術が高く、多く獲ろうと思えば漁獲制限より多く漁獲できるので、例えば、ウニ・アワビ漁の漁獲制限は、出来ることなら無いほうが良いと考えるのだろう。漁獲量の低い人は、漁獲制限をかけられても、制限を超えるほど獲ることもできず、逆に漁獲制限がないと、漁獲量の高い人に獲り尽くされてしまうと懸念し、漁獲制限の緩和に反対するのだといえる。すなわち、漁業就業者の水産資源に対する認識を高めるためには、より多く獲った人が、その分儲かってしまうような現在の状況を変える必要がある。実際には、資源の枯渇を考慮すれば、資源保全の意識があり、また、競争的に多くの資源を獲らなくても儲かる制度、又は競争的に獲っても儲からない制度、例えば、漁業者一人当たりの漁獲量の上限を規定してしまうIQ制度やITQ制度のような制度を導入することが、有効である。

重茂漁協は、本州の最東端に位置し、陸の孤島と呼ばれ、漁業以外の産業が発達しうる環境ではなかったことが、組合員が水産業で

生活を成り立たせることができるように、早くから漁獲物に付加価値をつける取り組みを行ってきたことが大きい。これに対して、大槌町漁協は、技術の発達や研究に力を入れてきたが、販売やブランド化に力を入れてこなかった。こうした違いが、組合の活性や漁業収入、後継者の存在、資源管理意識の違いに反映したものと考えられる。

### (3) 物理-生態系モデルによる解析

大船渡湾を対象に養殖二枚貝の最適養殖密度を算定した結果、以下のような結果が得られた。

1) 現状の養殖密度を低下させても成長速度に大幅な改善が見られないことから、短期的な成長においては現状の養殖密度はほぼ妥当であると推定される。

2) 養殖域毎の貝類の平均成長速度を見ると場所によって成長速度が異なった。湾外での養殖と湾内を比較すると、湾外の、特に湾口付近にある小さい入江では成長速度が小さかった。餌となる植物プランクトン量が少ないためである。一方、湾内では湾奥からの栄養塩供給と防潮堤による閉鎖性の影響で、湾内外の海水交換が小さく、植物プランクトンが増殖したまま維持されやすく、貝類の成長速度も大きくなった。このように、成長速度の高い領域と低い領域が湾内には存在することが明らかになったが、これらの領域毎に平均を取った成長速度と初期養殖投入量との関係を見ると、初期投入量が多くなり摂食圧が高くなるほど湾奥と湾央で成長速度の差が大きくなることが分かった。このような定性的な傾向は大槌湾でも同様に見られている。以上のような結果は平面的な養殖量管理の有効性を示唆しており、最適な養殖配置を選定することでより高い生産性を上げることが期待される。大槌湾においても養殖場所による成長速度の違いが見られたが、湾奥ほど成長速度が悪く、湾央で成長速度が良いというようにその傾向はシンプルであった。それに比べて、防潮堤をはさんで潮通しの良さが大きく異なる大船渡湾では、場所による成長速度の違いがより複雑に現れることが分かった。

本計算では実用に供するために、なるべくシンプルなモデルの採用を心がけた。しかしながら、閉鎖性の強い大船渡湾では底質の悪化による貧酸素水塊の発生なども報告されており、底質モデルを含むような環境収容力の検討も必要になるものと考えられる。また、実際にはカキ、ホタテ、ワカメなどの複合養殖がなされているが、現地データの不足もあり、今回の計算にはそのような効果を取り入れることができなかった。そのため、今後はこの点を改良し、さらに詳細な検討を行っていく必要がある。また、大槌湾のマツカワ養殖を湾内で空間的にどのような配置にす

れば給餌養殖の廃棄物が貝類養殖で利用できるかについて、現在本研究で得られた現場観測データを基に解析を進めている。

以上、本研究により、貝類養殖環境として大槌湾と大船渡湾では、地形に基づく海水交換の程度の違い、それによる貝類環境の差が存在することが明らかになった。本研究で得られた試料・資料の解析は現在、なお進行中であり、養殖の環境収容力と湾内の環境特性との関係についてさらに知見をえるべくすすめている。

### 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 15件)

Yoshikawa, T. and K. Furuya, Effects of diurnal variations in phytoplankton photosynthesis obtained from natural fluorescence. *Mar. Biol.*, 150, 299-311, 2006, 査読あり。

Sato, M., S. Takeda, and K. Furuya, Effects of long-term sample preservation on flow cytometric analysis of natural populations of pico- and nanophytoplankton. *J. Oceanogr.*, 62, 903-908, 2006, 査読あり。

Furuya, K., H., Saito, R., Sriwong, T., Omura, E.F., Furio, V.M., Borja, T., Lirdwitayaprasit, Vegetative growth of *Noctiluca scintillans* with green flagellate endosymbiont *Pedinomonas noctilucae*. *Afr. J. Mar. Sci.*, 28, 305-308, 2006, 査読あり。

Gomez, F. and K. Furuya, Kofoidinium, Spatulodinium and other kofoidinians (Noctilucales, Dinophyceae) in the Pacific Ocean. *Eur. J. Protistol.*, 43, 115-124, 2007, 査読あり。

Kondo Y., S. Takeda and K. Furuya Distribution and speciation of dissolved iron in the Sulu Sea and its adjacent waters. *Deep-Sea Res. II*, 54, 60-80 2004, 査読あり。

Yoshikawa, T., O. Murata, K. Furuya, M. Eguchi, Short-term covariation of dissolved oxygen and phytoplankton photosynthesis in a coastal fish aquaculture site. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 74, 515-527., 2007, 査読あり。

Sato, M., S. Takeda and K. Furuya, Iron regeneration and organic iron (III)-binding ligand production during in situ zooplankton grazing experiment.

Mar. Chem., 106, 471-488, 2007, 査読あり.

Sato, M., T. Yoshikawa, S. Takeda, and K. Furuya, Application of the size-fractionation method to simultaneous estimation of clearance rates by heterotrophic flagellates and ciliates of pico- and nanophytoplankton. J. exp. Mar. Biol. Ecol., 349, 334-343., 2007, 査読あり.

古谷 研・吉川 尚, 養殖海域における基礎生産モニタリング. 沿岸海洋研究, 45, 11-15, 2007, 査読無し.

Hashihama, F., N. Horimoto, J. Kanda, K. Furuya, T. Ishimaru and T. Saino, Temporal variation in phytoplankton composition related to water mass properties in the central part of Sagami Bay. J. Oceanogr., 64, 23-37., 2008, 査読あり.

Sriwong, R., P. Pholpunthin, T. Lirdwitayaprasit, M. Kishino and K. Furuya, Population dynamics of green *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) associated with the monsoon cycle in the upper Gulf of Thailand. J. Phycol., 44, 605-615, 2008, 査読あり.

Yoshikawa T. and K. Furuya, Phytoplankton photosynthetic parameters and primary production in Japan Sea and the East China Sea: Toward improving primary production models. Cont. Shelf Res., 28, 962-976., 2008, 査読あり.

Kondo, Y., S. Takeda, J. Nishioka, H. Obata, K. Furuya, W. K. Johnson, and C. S. Wong, Organic iron (III) complexing ligands during an iron enrichment experiment in the western subarctic North Pacific, Geophys. Res. Lett., 35, L12601, 2008, 査読あり.

Nguyen V. N., Omura T., Furuya K. and Y. Fukuyo, *Dinophysis* (Dinophysiales) in the pelagic waters of central and western Pacific, La Mer, 46, 29-36, 2008, 査読あり.

Vijayan, A.K., T. Yoshikawa, S. Watanabe, H. Sasaki, K. Matsumoto, S. Takeda and K. Furuya, Influence of non-photosynthetic pigments on light absorption and quantum yield of photosynthesis in the western equatorial Pacific and the subarctic North Pacific. J. Oceanogr., 65, 245-258, 2009, 査読あり.

〔学会発表〕(計 8件)

古谷 研・岡添巨一・武田重信, ホタテガイの餌料選択性と同化, 2006年度日本水産学会大会.

小橋乃子・高木稔・岸 道郎・古谷 研, 3次元数値シミュレーションを用いた貝類養殖の適正規模に関する検討, 2006年度日本水産学会大会.

古谷 研, 養殖海域における基礎生産モニタリング, 2006年度日本海洋学会秋季大会沿岸海洋シンポジウム.

古谷 研, 環境収容力評価に基づく三陸内湾域の環境調和型複合養殖生産の高度化, 岩手県シンポジウム「三陸の海と生物」, 2006.

近藤能子・武田重信・西岡 純・齊藤宏明・古谷 研, 親潮域・混合域における春季植物プランクトンブルーム期間中の溶存鉄の存在形態, 2007年度日本海洋学会秋季大会.

増田貴子・武田重信・古谷 研, 栄養塩の付加に対するピコ・ナノ植物プランクトン群集の増殖応答, 2007年度日本海洋学会秋季大会.

Yoshino, K., Nakamura M., and Kurokura H., The role of cooperatives for sustainable local fisheries: A case study in the Sanriku coastal area in Iwate, Japan. 5th World Fisheries Congress, 2008.

Furuya, K., N. Kohashi, H. Otake, M. Takagi, and, M. Kishi, Evaluation of environmental carrying capacity in an area of extractive aquaculture of shellfish in northern Japan. 5th World Fisheries Congress, 2008.

〔図書〕(計 5件)

古谷 研, 環境収容力とは何か. 古谷 研ほか編「養殖海域の環境収容力評価の現状と方向」, 恒星社厚生閣, 東京, 2006, 9-22.

Furuya, K., Fish and shellfish farming in marine ecosystems, In P. Harrison (ed) Global Environmental Outlook Year Book 2005/2006. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2006, 66-70.

古谷 研, 一次生産の基本概念. 木暮一啓編「海洋生物の連鎖」, 東海大学出版会, 東京, 2006, 28-44.

山本民次・古谷 研(編), 閉鎖性海域の環境再生. 恒星社厚生閣 2007, 153 pp.

古谷 研, 安田 一郎, 水圏の環境. 会田勝美(編) 水圏生物学入門. 恒星社厚生閣, 東京, 2009, 1-29.

## 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

以下の6名は2007年度までで、全員2008年度は連携研究者に変更された。

黒倉 寿 (KUROKURA HISASHI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：50134507

武田 重信 (TAKEDA SHIGENOBU)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：20334328

岸 道郎 (KISHI MICHIO)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：90214767

大西 広二 (ONISHI HIROJI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・助教

研究者番号：80241371

小河 久朗 (OGAWA HISAO)

北里大学・水産学部・教授

研究者番号：20005656

斉藤 宏明

水産総合研究センター・東北区水産研究所・室長

研究者番号：30371793

### (3)連携研究者

2006-2007年度の分担者全員が2008年度は連携研究者に変更。