

## 一次生産の変化と有用種の関係 (二枚貝)

浜口 昌巳\*

### Relationship among primary production, marine environment and fisheries production of bivalves in the Seto Inland Sea

Masami Hamaguchi\*

**Abstract :** The manila clam, *Ruditapes philippinarum*, is widely distributed all over Japan and the most common and commercially important shellfish in the country. The Fisheries production of Manila clam in Suo-Nada, which amounts to more than 90% of the total clam production in the Seto Inland Sea in mid-1980s. Maximum fisheries production of the clam in Suo-Nada was 41883 metric ton in 1986. However, the census shows a rapid decrease in fisheries production of the clam since 1990 and its was less than 100 metric ton in recent years.

During the course of the research on the possible reasons for the deterioration of production, we noticed lots of reasons as follows; 1) the marine environmental conditions have gradually changed since mid-1980s with global climate changes. 2) Nutrient level of the Seto Inland Sea has gradually decreased by tighter regulation of total emission of nutrient salts. 3) Overexploitation of the natural resources of the clam has rose in demand by crash of other local population.

In this review, I summarized and reanalyzed the relationship among the primary production, marine environment and fisheries production of the clam in the Seto Inland Sea. In the results, water temperature in winter was gradually increased since mid 1980s, and the fisheries production of the clam was inversely related to water temperature in winter. Similarly, nitrogen levels was gradually decreased since mid 1980s, and the fisheries production of the clam was related to concentration of the inorganic nitrogen in summer.

The fact shows that one of the possible reasons for the deterioration of the clam production would cause by changes in marine environmental conditions.

**Key words :** manila clam, marine environmental condition, Suo-Nada

瀬戸内海では、1973年10月瀬戸内海環境保全臨時措置法が制定され、その環境保全のため産業排水からの負荷量 (COD) の削減、汚水排出施設の事前評価、埋め立て抑制などの対策が具体的に進められてきており、一定の成果を見ている。しかし、近年、アサリの漁獲量の減少やノリの色落ちに見られるように、海域の生産力が低下しているのではないかという指摘があり、一律削減のみが目標とされてきた COD や各種栄養塩類の総量規制基準についても、第七次水質総量規

制 (中央環境審議会水環境部会) では、沿岸域の生物生産を維持するための適正栄養塩レベルの把握やその維持について配慮がなされる予定である。

このような動きのなか、瀬戸内海区水産研究所では、平成18年度地域連携プロジェクト研究「内湾域の水産業に対する適正栄養塩レベルの現状把握と適正資源管理手法の開発 (Feasibility study)」により、漁業生産、生態系と栄養塩の関係について検討した。一般に、海域の栄養塩と漁業の関係を調べるには、魚類などの移

2010年8月30日受理 (Received on August 30, 2010)

\* 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5

(National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, 2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan)

動分散能力の高い高次の生産者より、一次生産者を直接餌料として活用するろ過食性二枚貝の漁獲量との関係を解析する方が明瞭になると考えられる。そこで、藻場・干潟環境研究室ではろ過食性二枚貝に注目し、瀬戸内海の栄養塩と漁獲量の関係を解析した。ろ過食性二枚貝類のなかでも代表的な漁獲対象種であるアサリをみると、瀬戸内海全体の漁獲量は1985-6年にピークに達し、その当時の全国の漁獲量の1/3程度を占めていたが、その約9割が周防灘で漁獲されていた。現在、全国のアサリ漁獲量は減少したといわれているが、図1に示すとおり全国では最盛期と比較して1/4程度となっている。しかし、地域別に見てみると減少の程度には大きな差があり、例えば、熊本県では最も漁獲量が少なかった年でも最大漁獲量の1/65であるのに対し、周防灘沿岸地域は1985年には最大41,883トンであったが、2007年の統計では山口、福岡（周防灘沿岸部）、大分3県合計で274トンとなり、過去の最大漁獲量の1/153と、かつて1万トン以上の漁獲量が記録されている漁場のなかでは全国一の減少率を示す。したがって、周防灘でアサリが採れていた時期と現在の状況を比較検討することは、全国規模で起こっているアサリ減少原因を考える上で重要な知見が得られるのではないかと考えられる。また、松川ら（2008）はアサリの資源減少は高度経済成長期の干潟や海岸開発による埋め立てと、その後の過剰漁獲が主原因であると報告している。この点については同意できるが、気候変動や環境変動の関係についての記述は、これらがそれぞれの海域によって異なる挙動を示すために、同意できない部分がある。特に、瀬戸内海では、東京湾や三河湾と異なり、栄養塩や温暖化に伴う動物相の変化が顕著である（例えば、山本、2005；薄、2007；重田2008）。したがって、アサリ等の資源変動要因を考える際には、その過程を説明するためにも海洋環境の変化との関係を詳細に解析する必要がある。

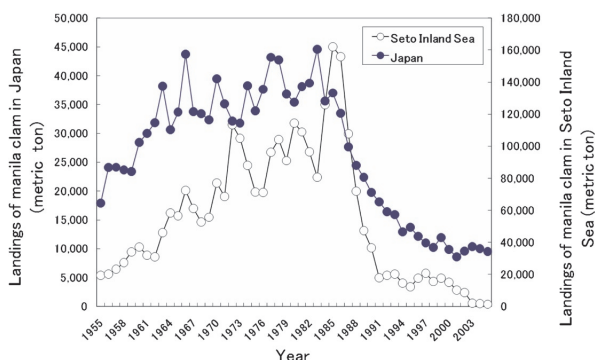


Fig.1. Fisheries production of Manila clam in Japan and the Seto Inland Sea from 1955 to 2006.

そこで、本研究では、我が国の代表的な内海域である瀬戸内海最大のアサリ、ハマグリ、バカガイ等の二枚貝漁業漁場であった周防灘に焦点をあて、海洋環境に関する文献レビューを行うと共に、浅海定線観測調査によって得られた長期モニタリングデータおよび瀬戸内海区水産研究所、山口県、大分県、福岡県、広島大学、愛媛大学の合同調査データを活用し、各種海洋環境の変遷とアサリの漁獲量の関係を検討した。次いで、現在、周防灘をはじめ各地で実施されているアサリ資源を回復させるための様々な試みについて説明する。

なお、この原稿は藻場・干潟環境研究室が取り組んでいる周防灘の海洋環境とアサリの生産性についての解析のうちの最初の取りまとめ分であり、すでに公表されている、周防灘の河口干潟と山や川の関係（浜口ら、2008）、多変量解析をベースとしたパス解析による海洋環境とアサリの生産性の関係解析（浜口ら、2009）はこの原稿に続く解析結果である。

## 1. 周防灘の海洋環境に関する文献レビュー

**【周防灘の地理的位置および構造】**周防灘の地形や構造は、最近では岩男（2001）に詳しく記載されている。それによると周防灘は瀬戸内海西部に位置し、伊予灘と隣接するとともに関門海峡を通じて日本海と、豊後水道を通じて太平洋とつながる平均水深は23.7m、総面積3,100km<sup>2</sup>の海域である。周防灘西部の海域は豊前海と呼ばれる場合もある。沿岸部は、山口県と大分県のそれぞれの東部海域では岩礁域が見られる他は、ほとんどは勾配の緩やかな海岸地形であり、広大な干潟が形成されている。

海洋環境は外海水の通過量の多い豊後水道に接する伊予灘の影響を受けやすいが、半閉鎖的な海域である。潮流に関しては多くの研究（柳・樋口、1979；神蘭ら、1991；Balotro *et al.*, 2002；2003）があり、上げ潮時には西流、下げ潮時は東流となる流速の穏やかな流れがあるとされている。また、伊予灘から残差流として流入し、灘北部を西流し、その後反時計回りの流れとなり、国東半島沖を東流し、別府湾に至る還流がある。いっぽう、反時計回りになった流れの一部は時計回りの流れとなり、福岡県・大分県の沿岸域を北流する流れもあるといわれているが、この流速も穏やかである。

風向は冬季には北から西の風が、夏期には東から南東の風が卓越している。また、海底の地質は、干潟域は砂質であるが、その他は砂泥質から泥質である。また、図2に周防灘の海域特性による区分を示す。海域Ⅰは豊後水道外洋系水、海域Ⅱは灘固有混合水、海域

Ⅲは山口県混合水、海域Ⅳは福岡・大分県混合水、海域Ⅴは北九州市や関門海峡外混合水であり、それぞれの負荷源等が異なる水系と考えられている。外海水の影響については豊後水道から伊予灘を經由しての影響が大きく、これによって周防灘の栄養塩および水温が影響を受けるといわれており、周防灘の栄養塩の約半分が外海起源と考えられている(藤原ら, 1997; 武岡, 1999; 武岡ら, 2002; 藤原ら, 2003)。また、豊後水道を通じて周防灘に侵入する外海水は黒潮の離接岸と関係しており、黒潮が接岸しているときは外海水の侵入量が多く、低水温で栄養塩濃度の高い外海水が侵入するとされており(兼田ら, 2002), Takashi *et al.*, (2006) が調べた紀伊水道とは異なる挙動を示す。

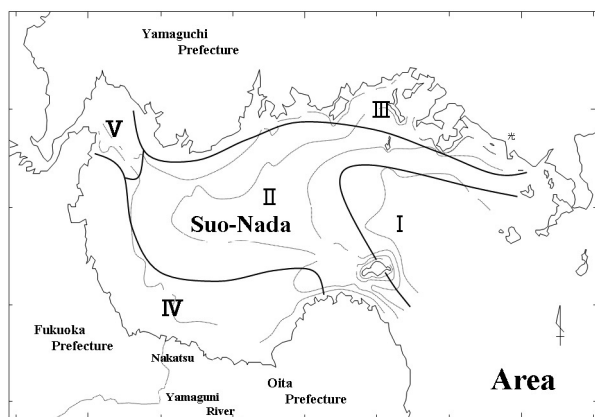


Fig. 2. Location and Sea area of the Suo-Nada

**【周防灘の海洋環境】** 周防灘の海洋環境や一次生産については、1972年に始まった漁海況予報事業の浅海定線調査(以下、浅海定線とする。各県の浅海定線調査報告書、瀬戸内海区水産研究所, 2006)の他に、水産研究所並びに大学等の研究者によるものがある(山口・安楽, 1984; 武岡, 1985; 平田ら, 1987; 藤原ら, 1997; 橋本ら, 1997; 清木ら, 1998; 武岡, 1999; 門谷ら, 2002; 林・柳, 2002; Sarker *et al.*, 2005)。これらの研究から周防灘の海洋環境の特徴を抜粋してみると以下のようなことになる。

周防灘では、河川からの流入量が少ないために、栄養塩は底層からの溶出(山本ら, 1998; Tada and Montani, 2002)や伊予灘(科学技術庁, 1985; 湯浅, 1993)や豊後水道からの外海水の入り込みによって供給される場合が多く、一次生産は栄養塩の量よりも日射量に制限を受けている。また、このような栄養塩の供給機構により植物プランクトンに代表されるクロロフィル a 量は表層より底層に多く、プランクトン生産が他の海域と比較して相対的に底生生物生産に転送さ

れ易い特徴を備えており、それが周防灘の特徴である豊富な貝類や底生生物資源を支えていたのではないかと考えられている(松田, 1996, 上1996)。また、門谷ら(2002)や Yamaguchi *et al.*, (2007) は、周防灘は浅く、底層まで光が到達できるので、底層の付着珪藻類の増殖が良好であるため、そのことが周防灘のベントス類の生産に寄与しており、この海域の特徴および生物生産構造は、過去の東京湾に近いとしている。

一方、周防灘の海洋環境の変遷については、先に述べた浅海定線によって継続的に集積されたデータについて、調査期間や水温、塩分、栄養塩類等の項目毎に分けた詳細な解析によって明らかにされている(田森ら, 1986; 神菌ら, 1988; 吉岡ら, 1987; 寺田・神菌, 1984; 岩男, 2001; 岩野ら, 2001; 和西, 2004; 和西ら, 2006)。特に、福岡県の豊前海研究所では浅海定線調査によって得られたデータを10年、20年単位で詳細に分析しており、このような情報は周防灘においてかつてアサリの漁獲量の多い時期と、現在の海洋環境を比較検討する上で極めて有用である。片山・神菌(2000)は周防灘西部(豊前海)の浅海定線によって得られた24年間のデータを解析するとともに、同海域の基礎生産量をクロロフィル a 量を基に算定し、魚類や貝類の漁獲量との関係を論じている。これによると、周防灘の基礎生産力は北部海域で高く、ついで、南部、沖合い域の順となる。この中で、福岡県沿岸の周防灘西部海域(豊前海)の基礎生産力は、同海域でのアサリの漁獲量がピークに達する1986年以前の1974年から現在までほとんど変化がないことから同海域におけるアサリを中心とした採貝漁業の急激な減少は、海域の基礎生産力の低下による餌不足等が原因ではないとしている。

一方、2005年に同海域の海洋環境および基礎生産量を独自の調査で調べた結果が報告されている(中嶋ら, 2006; 早野ら, 2006)。早野ら(2006)は、現場垂下法で調べた同海域の基礎生産量は、アサリ漁獲量がピークに達する前年である1984年に同じ方法で測定した山口・安楽(1984)の結果と比較して大差が無く、基礎生産量の減少は認められないとしており、片山・神菌(2000)の考察を支持している。しかし、他方では片山・神菌(2000)は、他の海域で基礎生産量を算出した他の論文を引用して周防灘西部海域の基礎生産力と比較し、同海域の基礎生産力は東京湾の1/7、三河湾の約半分であるとしており、周防灘のアサリの漁獲量を支える基礎生産力は、東京湾や三河湾より低く、これらの海域より餌料条件が制限要因となる可能性も示唆している。このことは、東京湾や三河湾のアサリ漁獲量の減少率は周防灘より遥かに小さいことと関連



しているかもしれない。

和西ら（2006）は周防灘海域の浅海定線のデータを再度解析し、栄養塩（DIN, COD）やクロロフィル a などはアサリの漁獲量の多かった1980年代半ばに比較的高い傾向を示すことを報告している。また、片山・神菌（2000）の調査海域より南部の周防灘の浅海定線の結果を整理した岩男（2001）の報告によると、周防灘西部海域の栄養塩類は減少傾向にあり（図3）、このことが海域における植物プランクトンの量や質を変化させているのではないかとしている。アサリ成貝は餌として数～数十 mm 程度の粒子を捕捉しやすいことから、現在では、クロロフィル a 等の絶対量では捕らえられず、植物プランクトンの種やサイズについて検討する必要性が指摘されている。したがって、アサリの漁獲量が多かった時期と現在では、基礎生産力は同じでも、構成する植物プランクトンの質が変化しており、アサリの餌にふさわしくない植物プランクトン等が増加しているのではないか、という疑問が生じる。

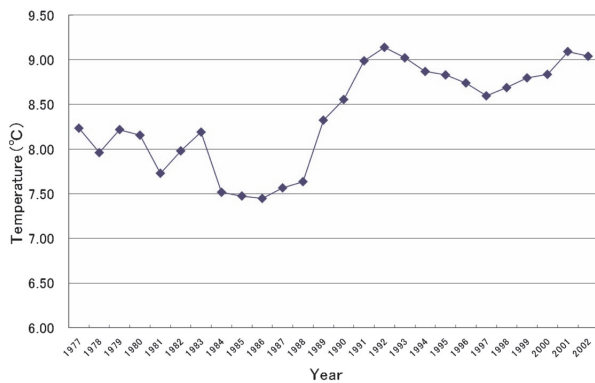


Fig.3. Running means of five-year data of water temperature during winter season in the Suo-Nada from 1975-2006.

瀬戸内海全般を見ると板倉（2001）および板倉・山口（2007）は、貝類等の餌となる珪藻類の変遷を底泥中のシスト調べることによって比較しているが、1993年と2004年の調査結果を比較すると、かつて赤潮が多発した播磨灘において *Skeletonema* から *Chaetoceros* へと優占種が変化しており、その原因のひとつとして無機栄養レベル（高い⇒低い）の変化ではないかと指摘している。また、山本ら（2002）は広島湾に流入する大田川河口の窒素濃度の長期的変動を検討し、湾内における植物プランクトンの出現種の関係について調べている。これらの報告から、アサリが沢山獲れていた時期と現在では、例えば、クロロフィル a の値は同じでも、構成する植物プランクトンの種組成が変化し

ていることが明らかである。このことは、それを利用するより高次の海産動物にとって餌の価値が変化していることを示しており、後の生物生産プロセスに大きな影響を与えるものと推測される。

周防灘でこれらを証明することは容易なことではないが、幸いなことに、周防灘西部海域での寺田・神菌（1985）の精力的な仕事があり、周防灘のアサリの漁獲量がピークに達する直前の植物・動物プランクトンの組成が詳細に調べられている。そのため、現在、この寺田・神菌（1985）と同レベルの調査ができれば、同海域ではアサリの漁獲量が多かった時期と、現在の植物・動物プランクトンの種組成の違いを検討することも可能であり、アサリの餌料環境と資源量の関係を考える上で重要な成果が期待される。

このほか、地図上では開放的な海域に見える周防灘でも貧酸素水塊の発生が認められており、その状況は福岡県により詳細に調べられている（例えば、磯辺ら、1993）。周防灘の貧酸素水塊の形成原因については様々な報告がある（武岡、1989；神菌ら、1996a；神菌ら、1996b）。近年、馬込ら（2002）は、周防灘の河川流入量の41%を占める山国川の出水と貧酸素水塊の発生には関連性があり、山国川出水から二週間後に貧酸素水塊が形成されると報告している。このような貧酸素水塊は、主に底生生物群集に影響を与えることが想像されるので、今後、詳細に検討する必要があると思われるが、周防灘における貧酸素水塊の発生は、瀬戸内海全般と同様にアサリの漁獲量が多かった時期のほうが多く（瀬戸内海区水産研究所、2006）、したがって、このことがアサリの減少要因とはなっていないと考えられる。

一方、それ以外の海洋環境の変化のなかで、瀬戸内海で顕著なのは冬季水温の上昇である（山本、2003；瀬戸内海区水産研究所、2006）。広島湾の冬季水温は1986年を境にそれ以前と比べ有意に上昇している（Ishii *et al.*, 2005）。また、周防灘でも冬季水温は1℃以上の上昇が認められている（図4；和西、2004）。ただし、冬季の水温上昇は瀬戸内海の東部と西部ではその程度が異なっており、高橋・清木（2004）は瀬戸内海の水温は1972年から2000年の間で全域的に1℃程度上昇していると報告しているが、冬季の水温は備讃瀬戸を境に西側では東側より0.5～1℃程度高いことを報告している。さらに、高橋・清木（2004）は数値モデルによる計算結果から瀬戸内海における水温上昇は、地球規模の環境変動に伴う海面熱フラックスの変化と外洋域水温の変動が非線形に重ね合わさって引き起こされたものと結論付けている。しかしながら、冬季水温の上昇はアサリの漁獲量が最も多かった

時期と比較してであり、その時期より前の1970年代も1980年代と比較すると水温が高く、10年程度の周期性を持つと考えられる(樽谷, 2007)。一般に、貝類の成熟・産卵には積算水温が影響することが知られており、このように水温条件の変化がアサリの生理的要因を変化させ、そのことが資源減少につながっている可能性がある。

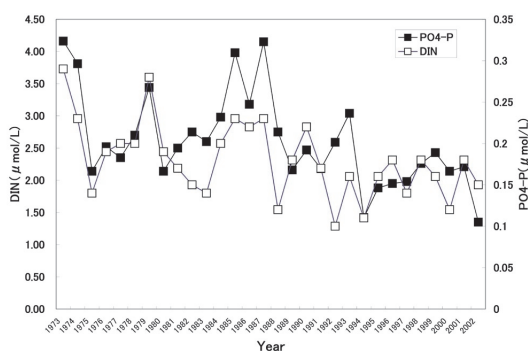


Fig.4. Running means of five-years data of dissolved inorganic nitrogen and phosphate concentrations at bottom during summer season in the Suo-Nada from 1975-2006.

さらに現在解析中であるが、アサリが獲れていた時期は、冬季水温ほどの差ではないが夏季の水温が現在と比較して低い傾向を示している。兼田ら(2002)は黒潮の離接岸が夏季の周防灘の水温に影響し、黒潮の接岸により周防灘の水温が低下するとしており、先に述べた栄養塩類の供給以外にも外洋環境の影響を強く受ける。

2002年から開始した大分県と瀬戸内海区水産研究所による中津干潟アサリの個体群動態に関する共同調査の結果では、夏季にアサリに障害輪が形成されるとともにへい死が起こっていた。アサリは水温が25°Cを越えるところ過能力が低下することが知られている(Nakamura, 2004)。また、同海域における春季から夏季にかけての大潮時の干潮は日中となり、気温が最大となる時刻と一致する。そのため、干潟では気温の上昇が著しく、記録的な夏日が続くとアサリの生理活性は低下し、時にはへい死に至る。また、周防灘はこの時期強く成層しており、上層では陸水から供給がないと栄養塩は枯渇し、植物プランクトンの増殖が抑えられ、結果的にアサリの餌料が不足する。以上、2つの原因が障害輪の形成やへい死を引き起こしていると考えられる。

また、近年、雨の降り方に変化がみられ、短時間に集中的に降る傾向を示しており、保水力の弱い地質上を流れる山国川の急激な出水により干潟環境が悪化

し、これがアサリの生産を不安定にする要因となっている(浜口ら, 2008)。さらに、中津干潟では山国川のダムや堰の建設により、川から供給される水や砂が減少し、干潟の衰退等を引き起こしているのではないかと考えられている。

一方、日本近海の海水位は上昇しており、瀬戸内海でも大潮の満潮時に厳島神社が冠水するなどその影響がみられるが、これによってもアサリは影響を受ける。天野(2006)は徳山港の潮位資料と周防灘のアサリ漁獲量のデータを解析し、同海域でアサリの漁獲量が2万トンを超えるのは1965年から2002年の間の平均水位が平均潮位と比較してマイナスの時期であり、+2 cmを越えて上昇すると漁獲量が低水準となると報告している。この潮位変動は約20年周期で変動しているが、1997年の極大ののち、その後減少するはずのところが上昇傾向にあり、これまでの変化とは異なる挙動を示している。近年、中津干潟ではアサリ稚貝の着底場所が、アサリの漁獲量が多かった1980年代半ばより岸に寄っているという感想を漁業者から聞くことが多い。アサリ浮遊幼生は着底する際に、河川水による塩分勾配を利用しているといわれており(石田ら, 2005)、河川水の流量の減少と海水位の上昇が適当な塩分濃度場所を岸に寄せる結果をもたらした、これによってアサリの着底場所が岸よりになっているのではないかと推測される。このことは、先に述べた集中豪雨的な降雨により河川の出水が起こり、干潟への泥の急激な堆積を引き起こし、アサリをへい死させることにより個体群形成を不安定化させる要因となっている可能性がある。

**【周防灘の二枚貝生産量の推移と問題点】**周防灘沿岸はおおむね遠浅で広大な干潟が発達しており、古くからハマグリ、バカガイ、アサリ等の採貝業が盛んな海域である。これらの貝類については、山口、福岡、大分各県が毎年、県単事業等で資源量調査を行っており、以下、個々の報告を参考文献ではあげないが、まとめて周防灘の貝類漁獲量の動向を記述する。

まず、バカガイは豊凶が激しく、傾向はつかみにくいが、平成元年と平成8年に大発生し、その後、大発生は認められない。これは東京湾のバカガイの生産量が約一万トンと安定しているのと対照的である。

ハマグリは豊前海の主要な漁獲対象種で、1968年までは200~300トンの生産を上げていたが、その後、アサリの漁獲量の増加に反比例して減少し、近年では1999年に241トン漁獲されていたが現在の漁獲量は少ない。

アサリの漁獲量は周防灘全体で1985年には41,883ト

ンに達し、同年のわが国アサリ漁獲量の33%を占めるにいたっている。しかし、その後急激に減少し、これまでの最低は2006年の94トンである。周防灘各県の過去のアサリの漁獲量の推移(図5)を見てみると、山口県では1964年に5,000トンを超え、1982年には8,557トンの最大の漁獲量を示した。その後、1988年まで5,000トン前後で増減を繰り返していたが、それ以降は減少に転じている。福岡県では1965年以降増加し、山口県と同様な傾向で増減を繰り返している。最大漁獲量は1986年の11,377トンであるが、それ以降は減少に転じている。大分県のアサリの漁獲量は1972年にそれまでの2~3,000トンから17,751トンに急増し、以降1987年まで10,000トンを超えて増減を繰り返している。最大漁獲量は1985年の27,547トンであるがそれ以降は急激に減少している。また、各県の減少開始時期は概ね一致しており、1985~1988年以降である。この時期のアサリ漁業の実態は、山口県では1980年頃から潜水器漁業が開始され、漁場がこれまでの干潟から沖合域へと拡大している。山口県のアサリ漁獲量が最大となった1982年にはそのうち約1/3程度、その後は約半数が潜水器漁業によって漁獲されている。

一方、大分では漁業統計上、1984年ぐらいからポンプ漕ぎによる沖合域のアサリの漁獲が始まっており、大分県のアサリの漁獲量がピークに達する1985年の漁獲量は従来の干潟域におけるアサリの漁獲にこのポンプ漕ぎによる漁獲が加わるような形で増加している。しかし、このような沖合域アサリ漁業の開始により、漁獲量は一時的には増加しているが、それ以降周防灘全体の漁獲量は急激に減少しているようにもみえる。このことから、沖合域アサリ漁業は、幼生の供給源となっていた母貝集団を崩壊させ、周防灘全体における幼生の供給量が減少し、加入量が減少することによって資源減少に至ったのではないかという仮説も提示されている。

先にも引用したが片山・神薗(2000)は、周防灘のアサリ漁獲量減少は、基礎生産力の低下以外の要因を考慮する必要があるとし、過剰漁獲が原因ではないかとしている。一方、松川ら(2008)の総説でもアサリの資源激減の要因としては第一に過剰漁獲が挙げられるとしている。埋め立てにより東京湾のアサリの漁獲量が激減する1970年頃からアサリの単価が上昇しており、このことが過剰漁獲を誘引したとの指摘は正しい

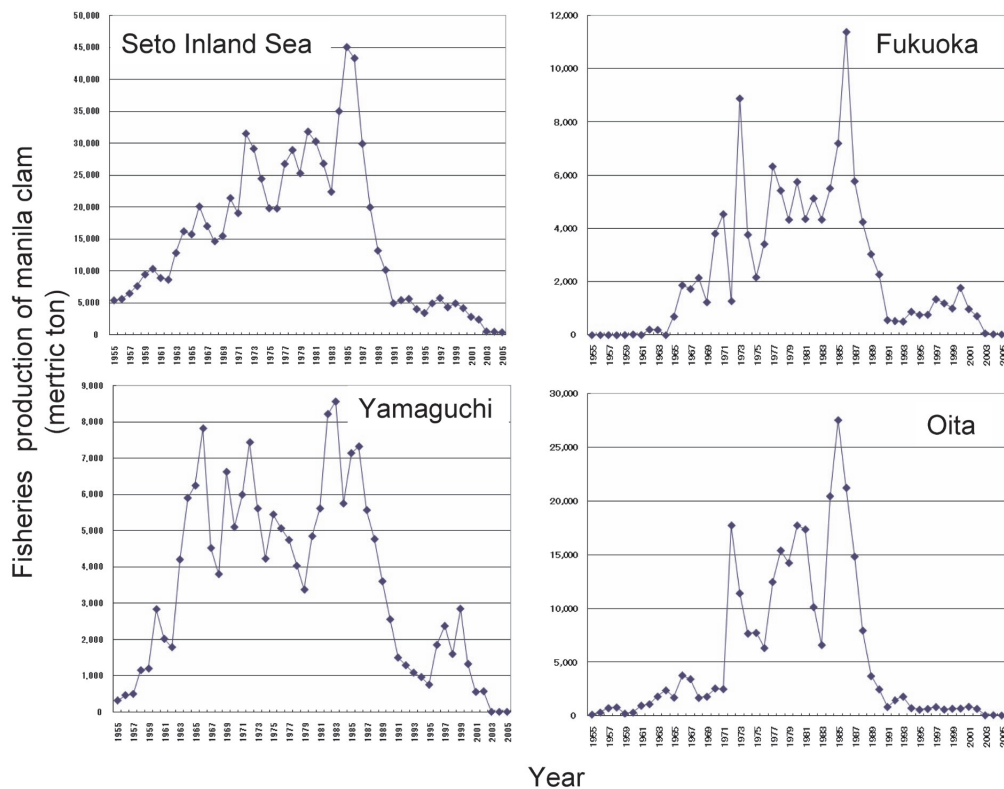


Fig. 5. Fisheries production of Manila clam in the Seto Inland Sea, Yamaguchi prefecture, Fukuoka Prefecture, and Oita prefecture from 1955 to 2006.



と考える。さらに、この時代以降、国民生活に余裕ができ、潮干狩りなども盛んになり、現在の横浜市海の公園での事例をみると潮干狩りによる過剰漁獲も深刻であると考えられるので、アサリの資源に対する漁獲圧は更に強くなっているかもしれない。しかしながら、アサリの生産には海洋環境が大きく影響しており、栄養塩の減少に伴う餌生物の減少に加え、アサリは変温動物であるので例えば、水温の上昇によって代謝活性が増大した場合、餌要求量に変化することが考えられるので、アサリ漁獲量減少要因の解明には、過剰漁獲だけでなく、幅広く環境の変化等についても検討する必要があると考える。

## 2. 周防灘の海洋環境の変化とアサリ漁獲量の関係解析

先に紹介した片山・神菌(2000)、和西ら(2006)の他、周防灘の海洋環境とアサリの漁獲量の関係を解析した論文は数多く出されている。しかし、単純にアサリの漁獲量と環境項目の相関を調べた例が多く、アサリの生理及び生態的情報を加味した上での解析はほとんどない。例えば、周防灘のアサリは3~11月までは成長するが、それ以外は成長しない。加えて、この時期は、殻長15mm以上のアサリでは成長とともに成熟という要素が加わるので餌の要求量が増加する。年によって変動はあるものの2006~2008年にかけて中津干潟のアサリは5~6月、7~8月、10~11月に成熟しており(上村ら, 2008)、アサリの配偶子形成には餌の量が関係してくることから(鳥羽, 1989; Yan *et al.*, 2006)、これらの時期の前には餌の要求量が多いと推測される。

また、中津干潟では7~9月には成長停滞やへい死が起り、障害輪はこのときに形成される。一方、近年の中津干潟における個体群動態の調査結果から、同干潟におけるアサリの加入量は殻長数mm以前で決定されているのではないかと考えられ、例えば、秋の着底稚貝の場合、翌年の4~5月までの間の減耗の多寡が大きく影響するので、この間の環境を評価する必要がある。一方、漁獲サイズに達するには現時点では約2~3年かかり、ある年に加入に成功したアサリはその後3~5年で漁獲される。これらについては、あくまでも現時点での調査結果からの推測ではあるが、現在残されている1980年代のアサリが沢山取れていた時期の貝殻を調べてみると障害輪の間隔から概ね漁獲年齢は変わらないと考えられる。

このように、アサリの餌要求量は成長段階や季節によって変化する(木下, 1985; 鳥羽, 1989; 磯野ら, 1998; 磯野, 1998; 磯野・中村, 2000; Nakamura,

2004)。また、生殖腺の発達状況からみた産卵期は年に2~3回あるが、そのうち周防灘の主なアサリ漁場である中津干潟の資源形成に重要な産卵期は秋であり、冬季の水温等の動向は、比較的環境ストレスを受けやすい着底初期のアサリに影響を与える。したがって、これらの要素を加味した上で海洋環境についても時期を区切って解析する必要がある。そこで、瀬戸内海区ブロック浅海定線調査観測30年成果集(瀬戸内海区水産研究所, 2006)で公表されているデータを中心に、必要な場合はその後各県の浅海定線調査報告を加え、30年間にわたり蓄積されたデータを季節毎に整理し、同海域のアサリの漁獲量との関係を網羅的かつ詳細に調べた。なお、漁獲量は資源量とは異なり、単価の高低等により漁獲圧が変動するなどの人的要因による変動幅が大きいことから、通常、海洋環境との関係解析には不適である。しかし、周防灘ではアサリの資源量のデータが乏しいので今回は漁獲量を用いて解析を行った。

解析は周防灘の海域を図1に示すⅢ、Ⅳ、Ⅴの3つの海域に分け、それぞれ該当する漁場もしくは県の漁獲量と、周防灘でのアサリの成長量を加味し、使用した漁獲量の前の3~5年間の浅海定線調査データ群を季節毎に分け、それぞれの移動平均を用いて回帰分析を行った。以下、それぞれの項目について説明する。

### ①水温・塩分

図1に示した周防灘の海域区分のうち第Ⅳ海域の冬季水温と同海域内で最大の漁場である中津干潟を含む大分県のアサリ漁獲量の関係を示す(図6)。すべての海域で冬季水温と各県のアサリの漁獲量はいずれも強い負の相関(第Ⅲ対山口県  $P<0.01$ ,  $R=0.861$ ,  $r^2=0.740$ ; Ⅳ対福岡県  $P<0.01$ ,  $R=0.898$ ,  $r^2=0.807$ ; Ⅳ対大分県  $P<0.01$ ,  $R=0.886$ ,  $r^2=0.786$ )を示し、冬季の水温が高いとアサリの漁獲量が減少することから、冬季の水温の上昇が周防灘アサリ資源の減少に関与している可能性がある。周防灘のアサリ漁獲量が減少する時期は1980年代半ばであるが、この時期を契機として周防灘の冬季水温が有意に上昇している(樽谷, 2007)。冬季水温の上昇については、和西ら(2006)は周防灘の水温と気温の関係を調べ、有意な正の相関があることを示していることから、気温の上昇が原因のひとつと考えられる。近年の冬季気温の上昇は気象庁の観測データなどからも認められており、地球温暖化等世界規模での気候変動と併せて論じられることが多いが、それと超長期的に見た場合の通常の地球環境の変動幅の範囲内なのかについては明確な結論は得られていない。しかし、周防灘

においてはアサリの漁獲量の減少時期と冬季水温の上昇時期が一致しており、今後は冬季水温の上昇がアサリに及ぼす生理的、生態的要因について調べる必要がある。

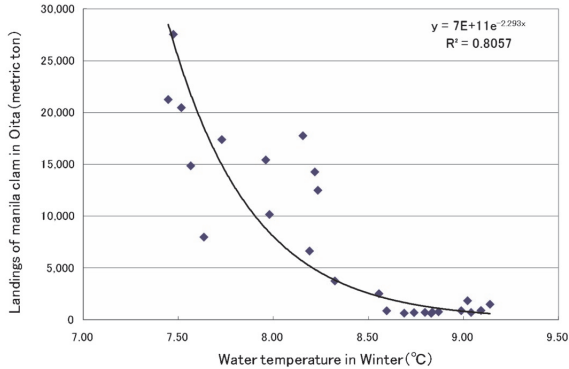


Fig.6. Relationship between the fisheries production of Manila clam and water temperature during winter in the Suo-Nada from 1970 to 2006.

これらのうち、生理的要因としては廣野ら (2008) は潜砂行動について着目し、肥満度や水温との関係を調べた自らの論文 (廣野ら, 2005) を引用し、冬季水温が低いほどその後のアサリの成長や生残が良いとしている。このように、元来冬季はアサリの餌が少なく成長が停滞するが、その際に水温が上昇するとアサリの体内で恒常性維持のためにエネルギーが必要となる。そのために体内におけるエネルギー収支が影響を受け、後の成長・生残に影響するという代謝仮説が挙げられる。

一方、生態学的要因としては捕食者の活動が水温上昇とともに活発になることが予想される。例えば、秋に加入したアサリ稚貝はこの時期0.5~1mm程度であるが、これを捕食するヤドカリ類等小型甲殻類の活動は水温の影響を受け、水温が高いと活発になると推測される。このような要因も調べ、アサリと冬季水温の関係について今後も詳細に検討する必要がある。

しかし、樽谷 (2007) の論文中のデータの見方を変えると、アサリの漁獲量が多かった時代にのみ夏季及び冬季の水温が低い傾向を示しているように見える。玉置 (2006) はアサリ資源はなんらかの要因により1970~1980年代に増加したのではないかとしており、その原因としてプランクトンの沈殿量の変化から、水中の植物プランクトンがこの時期増加し、それらを餌とする浮遊幼生期の生残率が良かったからではないかとしている。同時期は海域の富栄養化が進行しており、それによる植物プランクトンの一時的な増加を推測し

ている。これに加え、今回分析した冬季水温の低さもアサリの漁獲量を増加させる要因として挙げられるかもしれない。先にも述べたが周防灘のハマグリはアサリの資源量増加に先立ち減少しているが、ハマグリは温暖な環境を好む傾向がある。冬季水温の長期的変遷とアサリやハマグリの変移に関連する詳細な検討も必要である。

一方、周防灘の冬季水温の上昇は貝類の生産に様々な影響を与えている (薄, 2006)。その他、豊後水道からの外海水の影響の強い場所では、アサリ漁場に外海性で高温・高塩分環境を好む同属別種ヒメアサリが侵入する事例 (手塚ら, 2005) が見られている。水温16°C以上を好むナルトビエイの周防灘への大規模かつ長期にわたる来遊を可能としているのも水温上昇が発端となっている可能性がある (山口, 2003; 2005; 2006)。ナルトビエイによる食害は、これまでにアサリで知られている他の食害生物よりはるかに大きく、バカガイの事例では約数千トンが2カ月程度で食べつくされている (伊藤, 平川, 2007; 伊藤ら, 2008)。吉田 (2007) および伊藤, 平川 (2009) は周防灘におけるナルトビエイの出現状況と食性を調べており、ナルトビエイはアサリ、バカガイだけでなく、マテガイや岩礁域の貝類も捕食していると報告しており、周防灘の貝類の生態系に大きな影響を与えていると推測される。先に述べたように、瀬戸内海の西部海域ほどナルトビエイの食害が大きいのは、水温上昇との関連が強いからではないかと考えられる。

このように冬季水温と周防灘のアサリの漁獲量には高い相関が見られたが、同海域の水温は気温との相関が極めて高いので、気温のデータも活用可能である。漁獲量のデータは浅海定線調査より古いものがあるので、気温と漁獲量を用いると過去50年の関係解析が可能となる。

## ②溶存酸素量

溶存酸素量とアサリの漁獲量の関係は海域によって異なる挙動を示した。第Ⅲ海域では春~夏にかけて溶存酸素量が低いほど漁獲量が多く、第Ⅳ海域では夏季の溶存酸素量が高いほど漁獲量が多かった。なお、周防灘の浅海定線で得られたデータでは、いずれもアサリの生存に影響を及ぼす溶存酸素量ではなかった。溶存酸素量の低下による貧酸素水塊の発生によるアサリのへい死は少ない。一方、溶存酸素量は海域の有機物負荷と関連すると考えられ、有機物負荷が多いとアサリの餌となる植物プランクトンが増加する。第Ⅲ海域では溶存酸素量が低いほど漁獲量が多かったが、これは有機物負荷により餌が多かったためと考え



られる。一方、第Ⅳ海域では馬込ら（2005）の報告にあるように、夏季に山国川の出水後2週間後にアサリが生息する浅場で局所的に大規模な貧酸素水塊が発生することが知られているが、浅場の貧酸素水塊は中津干潟周辺のアサリのへい死原因となっている可能性がある。

③ SS・透明度

SSについては、第Ⅴ海域で夏場のみアサリの漁獲量との相関が見られ、SSが多いほど漁獲量が多い。一方、透明度は第Ⅳ海域でのみ冬場の透明度が低いほどアサリの漁獲量が多かったが有意な相関は認められなかった。

④ 窒素・リン

いずれも瀬戸内海特別措置法施行以降、一時期急激に減少したが、その後の変化は緩やかである。窒素については溶存無機態窒素（DIN）をみると1980年代に比較的高い時期があり、これはこの時期の水温がやや低めに推移していることから、栄養塩の豊富な外海水の流入量が多かった可能性がある。しかし、灘全体では1970年から30年間で30~40%程度減少している。アサリ漁獲量との関係は海域および季節によって異なる。海域別に見ると中津干潟がある海域Ⅳでは夏場に底層のDINとアサリ漁獲量と有意な（図7； $P < 0.01$   $r = 0.825 - 0.829$ ）正の相関を示した。また、この解析によって得られた関係式（DIN濃度 =  $0.4634 \ln(\text{漁獲量}) - 1.0906$ ）を用いて大分県の漁獲量が10,000トンを超えるための第Ⅳ海域の夏季のDIN濃度を求めると $3.18 \mu\text{M/L}$ 以上という結果が得

られる。夏場のアサリの栄養状態は同海域における主要な産卵時期である秋の配偶子形成や成熟に関連するので重要であると考えられる。一方、リンについてはリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）の挙動をみると第Ⅲ、第Ⅴ海域では減少し、灘全体では1970年から30年間で30%程度減少しているが、近年変化が小さい。アサリ漁獲量との関係はDINと同様海域および季節によって異なる。海域別に見ると中津干潟がある海域Ⅳでは同海域における主要な産卵期（秋）の前の夏季にアサリ漁獲量と有意な正の相関（図8； $P < 0.01$   $r = 0.775 - 0.778$ ）を示す。これによって求められた関係式（ $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 =  $0.0428 \ln(\text{漁獲量}) - 0.1484$ ）を用いて大分県の漁獲量が10,000トンを超えるための第Ⅳ海域の夏季の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を求めると $0.246 \mu\text{M/L}$ 以上という結果が得られる。DINおよび $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は夏季に濃度が高かった時期にアサリの漁獲量が多いという傾向を示した。

周防灘は春季から夏季にかけて密度躍層が顕著であり、水塊は上層と下層の2つに分かれ上下間の海水混合は制限されており（武岡, 1985）、この時期や貧酸素水塊発生時に底質から栄養塩が溶出してくる（山本ら, 1998；Tada and Montani, 2002）。したがって、夏季の底層のDINおよび $\text{PO}_4\text{-P}$ とアサリの漁獲量の高い相関についてはこれが直接この時期のアサリの餌生産に繋がるのか、あるいは、秋以降の循環期に表層に供給される栄養塩ストックとしての機能によるのかについては検討する必要がある。しかし、アサリの生息する場所は5mより浅く、各種かく乱により、上下2層の混合が見られるとともに、底層まで光が到達するので、アサリの生息場所でも十分一次生産が行

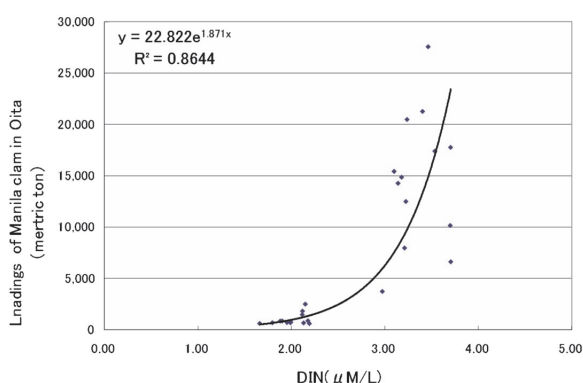


Fig. 7. Relationship between the fisheries production of Manila clam and dissolved inorganic nitrogen at bottom during summer season in the Suo-Nada from 1975-2006.

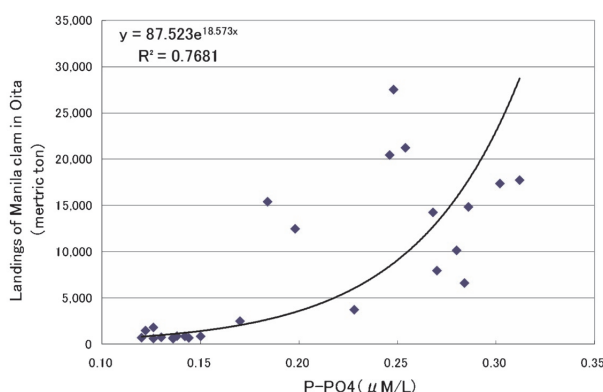


Fig. 8. Relationship between the fisheries production of Manila clam and  $\text{PO}_4\text{-P}$  at bottom during summer season in the Suo-Nada from 1975-2006.

われており、底層付近に栄養塩があれば浮遊・附着珪藻類共に増殖が活発に起こり、アサリの餌供給に繋がっていると考えられる。また、飼育環境化では、アサリは温度が一定以上であれば1~2カ月で成熟するので、主要な産卵期である秋季の前のこの時期の餌環境がのちの成熟・産卵に関連する可能性は高い。これらのことが、夏季の底層の栄養塩とアサリの漁獲量が高い相関を示す原因と考えられる。

一方、浅海定線のデータを離れ別の観点から中津干潟周辺の栄養塩環境について考察する。それには現在、当研究室、及び環境動態研究室と広島大学が共同で実施している周防灘の流入陸水量の40%を占める山国川からの流下栄養塩類等の調査結果を使用する(稲村2006, 齊藤2007)。この調査では、山国川下流域において月2回の頻度で河川水のサンプリングを行い、栄養塩、粒状有機炭素・窒素、生物起源粒状珪素、クロロフィルaの分析を行っている。これら各分析項目の濃度と流量のデータをもとに干潟域への物質負荷量を求めるとともに、窒素負荷量からアサリの年間最大生産量の推定を試みた。まず、亜硝酸および硝酸塩濃度に流量を乗じて、河川経由の窒素負荷量を求め、Redfield比を用いて一次生産量を推定した。さらに、幾つかの仮定をもとに、一次生産量から中津干潟におけるアサリの年間最大生産量の推定を試みた。その結果、山国川からの流入負荷によるアサリの潜在的年間生産量は1,285~5,774トンとなった。この値はこの調査を行った2006年の大分県の漁獲高255トンをはるかに上回っているが、1985~6年代の2~3万トンよりは低い。しかし、河川中の有機懸濁物や、干潟底泥からの栄養塩の溶出を考慮すると、中津干潟の潜在的生産力はアサリの漁獲量が多かった時期よりは低いかもしれないが、栄養塩の観点から見ると干潟周辺海域における生産力は現在でもかなり高いと推定される。このことから、同海域におけるアサリ資源の回復にとって、第一義的には片山・神蘭(2000)や松川ら(2008)が指摘しているように、適正漁獲管理手法が重要と考えられる。

#### ⑤ COD・クロロフィル量

CODおよびクロロフィルa量は1980年代には相対的に高い時期があったが、いずれもアサリ漁獲量との有意な相関は認められなかった。このうち、CODについては瀬戸内海特別措置法による総量規制により周防灘全体で30年前の30~40%が減少している(和西ら, 2006)。クロロフィルaについては、現在の周防灘のアサリの安定同位体比の分析結果から水中の浮遊性植物プランクトンを餌として利用していることが伺

われているので、アサリ漁獲量と高い相関を示すのではないかと考えられたが、有意な相関は認められなかった。これについては、アサリが大量に漁獲されていた時期と現在ではクロロフィルa量としては変化は見られないものの、近年、植物プランクトンの種が変わっており、アサリの餌として有効な種が減少している可能性がある(板倉, 2001; 山本, 2002; 板倉・山口, 2007)。

#### ⑥ 海水位の変動

浅海定線調査の項目には無いが、近年、周防灘の海水位の変動とアサリの漁獲量の関係を論じた報告がある(天野, 2004)。それによると、周防灘の海水位は約20年程度の周期によって変動しているが、海水位とアサリの漁獲量には強い相関が見られ、平均潮位より低い時期にアサリ漁獲量が多いという傾向を示している。地球温暖化の資料をみると、温暖化の進行に伴って世界的な規模で海水位の上昇が予想されている。周防灘のアサリについては、上記の報告から今後海水位が高くなると漁獲量が減少する要因となるのではないかと考えられる。

#### ⑦ ケイ素の挙動

周防灘に流入する河川流量の約40%を占めるといわれている山国川の水質分析結果から、ケイ素については十分な供給量があると判断できる(稲村, 2006; 齊藤, 2007)。また、海域での調査結果から、周防灘ではケイ素が制限要因となっていない(中嶋・井関, 2006; 中嶋ら, 2006)。そのため、一部の海域で論じられているケイ素と他の栄養塩とのバランス(DSi:DIN比)の変化(児玉ら, 2006)は顕著ではない。

#### ⑧ 周防灘の海洋環境とアサリの漁獲量まとめ

これまでの解析結果から推測される周防灘の主要なアサリ漁場である中津干潟でアサリを10,000トン以上漁獲するための好ましい環境条件としては、冬季水温が8.5℃以下、ある一定以上の夏季の栄養塩(DINが3.2μM/L以上、アンモニア態窒素が0.24μM/L以上)が必要と考えられる。しかしながら、水温の変動については地球規模の環境変動によるものであれば、京都議定書の履行といったような国政や世界規模での行動が必要である。一方、海域の栄養塩類については中央環境審議会等による第七次答申に反映し、瀬戸内海の漁業生産についてどのレベルが良いのかについて更なる検討を進める必要がある。

### 3. 周防灘のアサリ漁業は復活できるのか？

これまで述べてきたように周防灘のアサリ漁獲量の減少原因には、冬季水温の上昇や季節的な栄養塩類の不足、海水位の上昇等の環境変動が疑われる。一方で、過剰漁獲による減少なども考えられる。仮に減少原因が環境変動によるものであるとすると対策方法は無いと考えられるが、果たしてそうであろうか。冬季水位の上昇や栄養塩類の減少といっても、アサリの生息限界を超えるものではない。したがって、これらの要因はアサリの内的な成長・成熟の遅延や再生産のサイクルの伸長などへの影響にとどまる。現に、有明海では周防灘と同じような状況でありながら、熊本県や福岡県内では覆砂事業による底質改善等によりアサリの資源量は回復しつつある（篠原ら、2009）。ここでは、漁獲管理をより厳密に行うことや食害対策を講じることなどにより、現在の環境下においてもアサリの漁獲量を増加させる、あるいは一定水準で維持することを可能としている。熊本県ではアサリ管理マニュアルを策定（熊本県、2006a；2006b；2007）するとともに、漁業者との対話を通じてこれらの実践を勧めている。以下に、その事例も参考に、周防灘のアサリ資源の回復のために取り組むべき内容を説明する。

①**資源および漁業管理の徹底**：ここで重要なのは、まず、過剰漁獲の防止の徹底である。資源保護のために殻長制限を設けても、それを行使する漁業者が所属する漁業協同組合が共販体制等の検査機能を持たない場合、ほぼ無効といってよいと考えられるので、まずは共販体制等の確立を図る。これによって取り過ぎを防ぎ、適正な漁獲量を維持する。次いで、漁業権が設定されている干潟等での漁業以外の採集を禁じ、漁協単位での局所個体群の保護や涵養を図る。

②**資源の積極的な復活策**：山口県のように資源量が極端に減少した地域では、親貝を積極的に増やす必要がある。それには、その地域にあった遺伝的特性を持った親貝を使った人工種苗の活用が望ましい。これには Yasuda *et al.* (2007) によって開発されたマイクロサテライトマーカーが有効である。さらに、湾・灘単位での海域の流れや浮遊幼生の分布特性や流れ、そして漁場の位置等を考慮して、母貝集団の適正な配置を考え、そこに人工種苗を放流し、保護することによって局所個体群を回復させる。次いで、そこを拠点として、次の局所個体群を形成し、メタ個体群の復活を図るべきである（浜口、2006）。現在、山口県、福岡県、大分県、瀬戸内海区水産研究所、広島大学および愛媛大学は共同で周防灘海域をモデルとして、様々な事業やプロジェクトを推進し、このような考え方に基づく調

査・研究を実施している。また、これまでは生産コストが高かったアサリ人工種苗のより安価な生産体系については、瀬戸内海区水産研究所百鳥実験施設が中心となって検討している。

③**海岸開発や河川の影響評価と改善策**：これまで海岸開発を行う事前のアセスメントでは、浮遊幼生等への影響が検討されてこなかった。しかし、近年、干潟域の開発にあたっては、浮遊幼生の移動分散調査やマイクロサテライト解析による個体群間の連結性の評価などメタ個体群（幼生ネットワーク）を配慮したアセスメントの必要性が指摘されている（浜口ら、2005；浜口ら、2006a）。一方、沿岸域に対する河川の影響は様々な学会で指摘されており（例えば、宇野木、2002、山本、2007）、このような動きを通じ、改善策を提唱してゆくべきであろう。

④**魚類による食害対策等**：現在、瀬戸内海域ではクロダイ（重田、2008）やナルトビエイによる食害が顕著であり、それらの対策のためにはネット被覆（伊藤・小川、1999）、カゴ養殖（平川・中川、2005）や駆除（福田・銭谷、2010）など様々な試みが実施されている。アサリ資源回復を目指して天然・人工種苗の放流を行う際などには、このような方法により徹底した保護を行う必要がある。さらに、近年開発された電磁パルスを用いた対策技術開発等新しい試みもある（中野、2004；浜口、2006b）。いずれにしても、食害対策は減少したアサリ資源を増やすためにはより強化が必要である。

#### おわりに

アサリの減少原因のひとつを海洋環境の変化であるとした場合、例えば、それが地球温暖化のような大きなスケールの対策が必要であると考えられるが、そのような状況でも前述したようにアサリ資源の回復は可能である。現在、大分県中津干潟では、JF おおいた中津支店や漁業者の皆さんが懸命に努力し、厳しい漁業管理を実践してアサリ資源の復活を目指して様々な活動を行っている。我々研究者としてもこのような試みに対し、全面的に協力するとともに、周防灘を起点にして全国のアサリ資源を復活させるための有効な方策を打ち出すことができればと考えている。

#### 参考文献

天野玉雄、2004. 周防灘のアサリ漁獲量減少の要因について. 平成16年度日本水産学会中国・四国、近畿両支部合同大会講演要旨集, p12.



- Balotro, R.S., A. Isobe, M. Shimizu, A. Kaneda, T. Takeuchi and H. Takeoka, 2002. Circulation and Material Transport in Suo-Nada During Spring and Summer Season. *J. Oceanogr.*, **58**, 759-774.
- Balotro, R.S., A. Isobe and M. Shimizu (2003): Seasonal variability in the circulation pattern and the residence time of Suo-Nada. *J. Oceanogr.*, **59**, 259-277.
- 藤原建紀, 宇野奈津子, 多田光男, 中辻啓二, 笠井亮秀, 坂本 亘, 1997. 外洋から瀬戸内海に流入する窒素・リンの負荷量. *海岸工学論文集*, **44**, 1061-1065.
- 藤原建紀, 小林志保, 高志利宣, 2003. 瀬戸内海の窒素・リンの輸送と起源の現地観測. *海洋工学論文集*, **50**, 1-5.
- 福田祐一, 銭谷 弘, 2010. 周防灘の中津地先におけるナルトビエイの DeLury 法による来遊尾数と漁具能率の推定. *日本水産学会誌*, **76**, 10-19.
- 浜口昌巳, 2005. 新たな調査手法によるメタ個体群動態解明. *月刊海洋*, **37**, 125-132.
- 浜口昌巳, 2006a. 電磁パルスによるナルトビエイ対策技術開発. *瀬戸内通信*, **4**, 4-5.
- 浜口昌巳, 2006b. 二枚貝の生産の場としての浅場の機能と保全, 再生戦略. *瀬戸内海*, **47**, 17-20.
- 浜口昌巳, 手塚尚明, 山崎 誠, 井関和夫, 2008. 包括的環境保全と貝類漁業のあり方について—山・河川とアサリの関係—. *水産海洋研究*, **72**(4), 311-317.
- 浜口昌巳, 堀 正和, 山田勝雅, 上村了美, 2009. 周防灘におけるアサリ・ハマグリ資源と海洋環境の関係. *水産海洋研究*, **73**, 325-328.
- 橋本俊也, 山本民次, 多田邦尚, 松田 治, 永末寿宏, 1997. 瀬戸内海の一次生産と海洋構造. *沿岸海洋研究*, **35**, 109-114.
- 早野智子, 井関和夫, 中嶋さやか, 手塚尚明, 浜口昌巳, 新村陽子, 2007. 周防灘西部海域における基礎生産量の季節変動と海洋環境との関連. 第6回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集, 129-134.
- 林 美鶴, 柳 哲雄, 2002. 周防灘と大阪湾の低次生産構造の比較. *海の研究*, **11**, 591-611.
- 平川千修, 中川彩子, 2004. アサリ資源回復計画推進事業 (2) 大型種苗量産放流 B. 中間育成・放流技術開発研究. 平成16年度大分県海洋水産研究センター事業報告, 251-255.
- 平田貴文, 平手智晴, 杉原滋彦, 1987. 周防灘における透明度の変動特性. *水産大学校研究報告*, **46**, 1-11.
- 廣野英生, 杉山清泉, 西沢 正, 鈴木輝明, 2005. 冬季波浪時におけるアサリの潜砂行動とエネルギー消費過程に関する実験的研究. *水産工学*, **42**, 1-7.
- 廣野英生, 杉山清泉, 西沢 正, 鈴木輝明, 2008. 潜砂行動とエネルギー消費過程からみたアサリ資源回復に向けての諸課題. *水産工学*, **44**, 169-174.
- 稲村寿里, 2006. 山国川から流入する栄養塩, 粒状懸濁物の季節変動と干潟生産への影響把握. 広島大学生物生産学部卒業論文.
- 石田基雄, 小笠原桃子, 村上知里, 桃井幹夫, 市川哲也, 鈴木輝明, 2005. アサリ浮遊幼生の成長に伴う塩分選択行動特性の変化と鉛直移動様式再現モデル. *水産海洋研究*, **69**, 73-82.
- Ishii, R., Tarutani, K., and Hamaguchi, M., 2004. The long-term change in occurrence of the pacific oyster *Crassostrea gigas* larvae in Hiroshima Bay, Japan. *Proceedings of the Long-term variations in the coastal environments and ecosystems*, 312-316.
- 磯辺篤彦, 神蘭真人, 俵 悟, 1993. 周防灘南西部における貧酸素水塊. *沿岸海洋研究ノート*, **31**, 109-119.
- 磯野良介, 喜田 潤, 岸田智穂, 1998. アサリの成長と酸素消費量に及ぼす高温の影響. *日本水産学会誌*, **64**, 373-376.
- 磯野良介, 1998. 東京湾盤洲干潟のアサリによる窒素摂取量の推定とその季節変動に関わる要因. *水環境学会誌*, **21**, 751-756.
- 磯野良介, 中村義治, 2000. 二枚貝による海水ろ過量の推定とそれにおよぼす温度影響の種間比較. *水環境学会誌*, **23**, 683-689.
- 板倉 茂, 2001. 内湾における水質環境の変化と植物プランクトン生態系. *月刊海洋*, **33**, 393-398.
- 板倉 茂, 山口峰生, 2007. 瀬戸内海の赤潮発生機構と環境変動. *日本ベントス学会誌*, **62**, 57-61.
- 伊藤龍星, 小川 浩, 1999. ネット被覆によるアサリ人工種苗の育成試験. 大分県海洋水産研究センター調査研究報告, **2**, 23-30.
- 伊藤龍星, 平川千修, 2007. 豊前海重要貝類漁場開発調査 (7) バカガイ稚貝調査. 平成17年度大分県水産試験場事業報告, 216-218.
- 伊藤龍星, 林 亨次, 平川千修, 2008. 豊前海重要貝類漁場開発調査 (5) バカガイの大量発生とナルトビエイによる食害被害. 平成18年度大分県農林

- 水産研究センター水産試験場事業報告, 207-209.
- 伊藤龍星, 平川千修, 2009. 胃と腸の内容物からみた周防灘南部沿岸におけるナルトビエイの食性. 水産技術, 1, 39-44.
- 伊藤龍星, 福田祐一, 2010. 飼育下におけるナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕形成. 水産技術, 2, 73-77.
- 岩野英樹, 田森裕茂, 岩男 昂, 2001. 周防灘南部における栄養塩類を指標とした海洋環境の経年変化. 2001年度水産工学会秋季シンポジウム講演要旨集, 1-2.
- 岩男 昂, 2001. 周防灘大分県沿岸域の水質変動. 大分県海洋水産研究センター 調査研究報告水研講報, 3, 19-25.
- 科学技術庁, 1985. 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究, 第I期. 成果報告書. 365pp.
- 上村了美, 手塚尚明, 鳥羽光晴, 浜口昌巳, 2008. 中津干潟におけるアサリの生殖周期. 2008年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨.
- 兼田淳史, 乗松桂輔, 渡辺浩三, 小泉喜嗣, 武岡英隆, 2002. 黒潮の離接岸が豊後水道の水温に与える影響. 沿岸海洋研究, 39, 181-188.
- 神菌真人, 田森裕茂, 吉岡貞範, 1988a. 周防灘の平均的水塊構造. 南西海区ブロック海洋研究会報告, 5, 21-30.
- 神菌真人, 池内 仁, 寺田和夫, 1988b. 周防灘西部海域への流入河川からの栄養塩負荷量. 福岡県豊前海水試研報, 1, 131-135.
- 神菌真人, 吉田幹英, 石田雅俊, 三井田恒博, 1991. 海流ビンによる周防灘表層水の流動調査. 沿岸海洋研究ノート, 29, 97-103.
- 神菌真人, 江藤拓也, 佐藤博之, 1996a. 周防灘南西部における貧酸素水塊形成と気象変動の関係. 沿岸海洋研究, 33, 179-190.
- 神菌真人, 江藤拓也, 佐藤博之, 1996b. 周防灘南西部の浅海域下層における酸素収支. 海の研究, 5, 87-95.
- 片山幸恵, 神菌真人, 2000. 豊前海における基礎生産力. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 10, 91-94.
- 木下秀明, 1985. アサリの卵, 浮遊幼生, 稚貝の高温耐性. 海洋生物環境研究所研究報告, No. 85204, 1-38.
- 児玉真史, 田中勝久, 澤田知希, 都築 基, 山本有司, 柳澤豊重, 2006. 矢作川下流におけるDSiDIN比の変動要因. 水環境学会誌, 29, 93-99.
- 熊本県, 2006a. アサリ資源管理の取り組み方法—アサリを安定的に漁獲するために—. P8.
- 熊本県, 2006b. 熊本県アサリ資源管理マニュアル. P18.
- 熊本県, 2007. 熊本県アサリ資源管理マニュアル—II—アサリを安定的に漁獲するために—. P27.
- 馬込伸哉, 磯辺篤彦, 神菌真人, 2002. 周防灘における貧酸素水塊の流入河川水に対する応答. 沿岸海洋研究, 40, 59-70.
- 松田 治, 1996. 低次生産様式のまとめと提言. 岡市友利, 小森星児, 中西 弘, 編. “瀬戸内海の生物資源と環境” p. 57-66, 恒星社厚生閣, 東京.
- 松川康夫, 張 成年, 片山知史, 神尾光一郎, 2008. 我が国アサリ漁獲量激減の要因について. 日本水産学会誌, 74, 137-143.
- 宮下幸久, 井関和夫, 湯川翔太, 小池一彦, 手塚尚明, 浜口昌巳, 2008. 周防灘における光環境, クロロフィル a および濁度の季節・海域変動. 広島大学生物圏科学研究科紀要, 47, 41-51.
- 門谷 茂, 山口一岩, 堤 裕昭, 濱田健一郎, 上田直子, 2002. 瀬戸内海・周防灘における夏季のリンの分布と生物生産環境. 沿岸海洋研究, 39, 171-179.
- 中野秀樹, 2004. 電気ショックでサメ害を防ぐ. 遠洋水研ニュース, 115, 10-11.
- Nakamura, Y., 2004. Suspension feeding and growth of juvenile manila clam *Ruditapes philippinarum* reared in the laboratory. *Fish. Sci.*, 70, 215-222.
- 中嶋さやか, 井関和夫, 2006. 沿岸域における生物起源ケイ素の分析手法の検討と春季周防灘における分布. 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要, 45, 21-29.
- 中嶋さやか, 井関和夫, 齊藤美薦, 手塚尚明, 浜口昌巳, 上村了美, 2007. 周防灘における栄養塩および粒状懸濁物の季節, 海域変動と生物生産との関連. 第6回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集, 123-128.
- 齊藤美薦, 2007. 山国川から周防灘へ流入する栄養塩および粒状懸濁物の負荷特性と生物生産への影響評価. 広島大学生物生産学部卒業論文.
- Sarker, M.J., T.Yamamoto, T.Hashimoto and T. Ohmura, 2005. Evaluation of benthonic nutrient fluxes and their importance in the pelagic nutrient cycles in Suo nada, Japan. *Fish. Sci.*, 71, 593-604.
- 瀬戸内海区水産研究所, 2006. 瀬戸内海区ブロック浅海定線調査観測30年成果集, 197pp

- 清木 徹, 駒井幸雄, 小山武信, 永淵 修, 日野康良, 村上和仁, 1998. 瀬戸内海における汚濁負荷量と水質の変遷. 水環境学会誌, **21**, 780-788.
- 重田利拓, 2008. 瀬戸内海の魚類に見られる異変と諸問題. 日本水産学会誌, **74**, 868-872.
- 篠原満寿美, 徳田眞孝, 杉野浩二郎, 2009. 福岡県有明海産のアサリの流通について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, **19**, 157-161.
- Tada, K and S. Montani, 1997. An evaluation of phosphate upward fluxes from the coastal sediments by three different methods. *Fish. Sci.*, **63**, 567-562.
- 高橋 暁, 清木祥平, 2004. 瀬戸内海の長期水温変動. 海と空, **80**, 69-74.
- Takashi, T., T. Fujiwara, T. Sumitomo, and W. Sakamoto, 2006. Prediction of slope water intrusion into the Kii Channel in summer. *J. Oceanogr.*, **62**, 105-113.
- 武岡英隆, 1985. 瀬戸内海の密度成層. 海と空, **60**, 145-152.
- 武岡英隆, 1989. 貧酸素水塊の物理モデル. 沿岸海洋研究ノート, **26**, 101-108
- 武岡英隆, 1999. 外洋から瀬戸内海への栄養塩の流入とその最近の変化, 瀬戸内海, **19**, 4-7.
- 武岡英隆, 菊池隆展, 速水佑一, 榊原哲郎, 2002. 瀬戸内海における外洋起源の栄養物質. 月刊海洋, **34**, 406-411.
- 玉置昭夫, 2004. ベントスに関することごとくにアサリ漁獲量激減に関連して. 水環境学会誌, **27**, 301-306.
- 田森裕茂, 吉岡貞範, 神菌真人, 1986. 周防灘の海況と水質の経年変化. 南西海区ブロック海洋研究会報告, **3**, 13-20.
- 樽谷賢治, 2007. 瀬戸内海の環境の30年間の変化—水産の環境モニタリング“浅海定線観測調査”のとりまとめ—. 日本ベントス学会誌, **62**, 52-56.
- 寺田和夫, 神菌真人, 1984. 周防灘西部, 豊前海. における基礎生産について. 福岡豊前水試研報, 昭和58年度, 189-200.
- 寺田和夫, 神菌真人, 1985. 豊前海のプランクトン相について出現種とその分布. 福岡豊前水試研報, 昭和59年度, 172-210.
- 手塚尚明, 上村了美, 浜口昌巳, 樽谷賢治, 真鍋康司, 木下嗣生, 2005. 瀬戸内海周防灘沿岸のアサリ養殖場内におけるアサリとヒメアサリの分布. 日本プランクトン, 日本ベントス学会合同大会講演要旨集, p.81.
- 鳥羽光晴, 1989. アサリの水槽飼育での性成熟過程における摂餌量の重要性. 水産増殖, **37**, 63-69.
- 上 真一, 1996. 基礎生産から魚類生産への転換. pp. 57-66, 瀬戸内海の生物資源と環境, 岡市友利, 小森星児, 中西 弘, (編), 恒星社厚生閣, 東京.
- 薄 浩則, 2007. 温暖化が貝類の増養殖に与える影響. 瀬戸内通信, **6**, 8-9.
- 宇野木早苗, 2002. 河川事業が沿岸環境へ与える影響を物理面から考える. 海の研究, **11**, 637-650.
- 湯浅一郎, 橋本英資, 上嶋英機, 1993. 冬の伊予灘における熱塩フロント付近のリン, 窒素分布. 海と空, **69**, 15-26.
- 和西昭仁, 2004. 山口県周防灘海域における水温と塩分の長期変動. 山口県水産研究センター研究報告, **2**, 1-6.
- 和西昭仁, 佐藤利幸, 平澤敬一, 2006. 7. 周防灘. 瀬戸内海区ブロック浅海定線調査観測30年成果集, 114-159.
- 山口敦子, 2003. 有明海のエイ類について—二枚貝の食害に関連して—. 月刊海洋, **35**, 241-245.
- 山口敦子, 2006. 日本沿岸域へのナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の出現と漁業への影響. 月刊海洋, **45**, 75-79.
- 山口峰生, 安楽正照, 1984. 瀬戸内海西部周防灘における基礎生産について, 南西海区水産研究所研究報告, **17**, 135-149.
- Yamaguchi, H., S. Montani, H. Tsutsumi, K. Hamada, N. Ueda and K. Tada, 2007. Dynamic of microphytobenthic biomass in a coastal area of western Seto Inland Sea, Japan. *Est. Coastal and Shelf Sci.*, **75**, 423-432.
- 山本民次, 松田 治, 橋本俊也, 妹背秀和, 北村智頭, 1998. 瀬戸内海底泥からの溶存無機態窒素およびリン溶出量の見積もり. 海の研究, **7**, 151-15
- 山本民次, 石田愛美, 清木 徹, 2002. 太田川河口水中のリンおよび窒素濃度の長期変動—植物プランクトン種の変化を引き起こす主要因として. 水産海洋研究, **66**, 102-109.
- Yamamoto, T., 2002. Proposal of mesotrophication through nutrient discharge control for sustainable fisheries. *Fisheries Science*, **68**, 538-541.
- 山本民次 2005. 瀬戸内海が経験した富栄養化と貧栄養化. 海洋と生物, **158**, 203-213.
- 山本民次 2007. ダム建設によるエスチュアリーへの貧栄養化と植物プランクトン相の変化. 日本水産学会誌, **73**, 80-84.



- 山本昌幸, 2003. 瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における水温と塩分の長期変動. 水産海洋研究, **67**, 163-167.
- Yan, X., G. Zhang and F. Yang, 2006. Effects of diet, stocking, density and environmental factors on growth, survival, and metamorphosis of Manila clam *Ruditapes philippinarum* larvae. Aquaculture, **253**, 350-358.
- 柳 哲雄, 樋口明生, 1979. 瀬戸内海の恒流. 沿岸海洋研究ノート, **16**, 123-127.
- 柳 哲雄, 樋口明生, 1981. 瀬戸内海の潮汐・潮流. 第28回海岸工学講演会論文集, 555-558.
- Yanagi, T. and D. Ishii, 2004. Open ocean originated phosphorus and nitrogen in the Seto Inland Sea, Japan. *J. Oceanogr.*, **60**, 1001-1005.
- Yasuda, N., S. Nagai, A. Yamaguchi, C. L. Lian, M. Hamaguchi, 2007. Development of microsatellite markers for the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Molecular Ecology Notes, **7**(1), 43-45.
- 吉岡貞範, 神菌真人, 田森裕茂, 1987. 周防灘の平均的な海況. 南西海区ブロック海洋研究会報告, **4**, 11-32.
- 吉田太輔, 2007. 瀬戸内海におけるナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の出現状況と食性. 広島大学生物生産学部卒業論文. P.126.

各県のアサリ, ハマグリ, バカガイ等の資源量および生産量の変遷は平成8年度以降の大分県海洋水産研究センター浅海研究所事業報告にある豊前海重要貝類漁場開発調査並びに浅海干潟重要貝類調査, 福岡県豊前海研究所の豊前海貝類資源調査, 山口県内海水産試験場報告, 山口県水産研究センター事業報告を参考にしました。