

(ノート)

有明海湾奥部におけるタイラギ潜水器漁業の復活に向けて

伊藤史郎

Reviving the Pen Shell, *Atrina* spp. Diving Apparatus Fishery in the Inner Part of Ariake Sound

Shiro ITO

The moratorium on diving apparatus fishing of the pen shell, *Atrina* spp., has been in place for 5 years since its imposition in 2012. This industry is in peril due to the depletion pen shell stock in Ariake Sound, and causes for such depletion have been pursued in various research programs. However, even though 16 years have passed since the “Ariake Sound crisis” occurred in 2000, recovery of this fishing industry still remains uncertain. In this paper, we not only re-evaluated results of past research and summarized problems that need to be addressed but also discussed the tasks where we need to put our efforts in order to revive the diving apparatus fishing industry.

1. はじめに

有明海におけるタイラギ漁，特に大浦漁業協同組合（現佐賀県有明海漁業協同組合大浦支所；以下，大浦漁協と記す）の潜水器漁業は我が国を代表する漁業のひとつである¹⁾。その潜水器漁業は，大正時代に始まり，有明海のみならず，瀬戸内海をはじめ様々な海域にも出かけ，タイラギを漁獲してきた¹⁾。

有明海におけるタイラギの漁獲量は他の二枚貝類に比べ，豊凶の差が著しく，1980年代から1990年代後半までは，大浦漁協の貝柱漁獲重量で20～30トンから300～400トンの豊凶を4～6年間隔で繰り返してきた。こうした豊凶はあるものの，タイラギ潜水器漁業の中心である大浦漁協の浜は常に活気にあふれ，タイラギ潜水器漁業は有明海における冬の風物詩として親しまれてきた。こうした中，2000年度のノリの大不作と時期を同じくして起こったタイラギの不漁は，いわゆる「有明海異変」と呼ばれる社会問題となった。

タイラギ漁の不漁要因については，伊藤は²⁻⁴⁾2000年当初，1つとしては，主として漁場（生息域）が縮小し，それに伴って長期的にタイラギ資源が漸減したこと，他の1つは縮小した生息域において確認されている大量死（立ち枯れ斃死）による急激な資源の減少である，と推察した。すなわち，漁獲の豊凶を繰り返しながらも，1970～1980年代は有明海湾奥部の広範囲に漁場が形成されていたものが，底質環境の悪化と思われる要因によって1990年代後半には中西部海域に漁場が形成されなくなり，大牟田沖を中心とした東部海域に限られるようになったこと，さらに，その東部海域において2000年以降発

生が確認されている立ち枯れ斃死により漁獲対象近くまで成長したタイラギが消失すること，と推察した。このため，タイラギ資源の回復を図るには，これら2つの課題について，原因究明を行い，回復策を講じる必要があると提言した。

これらの原因究明は，タイラギの大量死，およびノリの大不作も相まって社会問題となったこともあり，国，有明沿岸4県（以下，4県と記す），さらには大学など多くの研究機関により，有明海の水質環境，底質環境など様々な調査研究が開始された。さらに，「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」に基づき環境省に設置された「有明海・八代海総合調査評価委員会」においてもタイラギ不漁原因究明のための，問題点と直接的な環境要因との関連に関する考察，再生への取り組みについて検討を重ね，2006年には委員会報告⁵⁾として取りまとめられた。著者も委員として委員会報告の作成に携わり，潮流・潮汐の変化による底質環境等への影響の検討，北東部漁場のタイラギ大量斃死の発生機構および長崎県海域のタイラギ不漁の原因の解明，タイラギ浮遊幼生の移動状況に及ぼす潮流変化の影響，などについて重点化を図るべき研究課題であると提言した。

その後，2012年に松山⁶⁾は，立ち枯れ斃死を含めたタイラギ不漁要因について，4県，独立行政法人水産総合研究センター（現国立研究開発法人 水産研究・教育機構；以下，水産総合研究センターと記す），大学などの調査研究結果を整理し，資源回復に向けた取り組みとして有明海全体を俯瞰した環境改善策の必要性を指摘した。

こうした中，2008年の西部海域におけるタイラギ稚貝の大量発生，さらには成貝への成長そして漁獲に繋がる¹⁾

といった状況がみられたものの、タイラギ資源の回復には至らず、タイラギ潜水器漁業は2012年から休漁が続いており、タイラギ潜水器漁業の存続も含め極めて厳しい状況にある。

こうした状況を踏まえ、長年にわたり、タイラギ潜水器漁業の復活に向けて調査研究に携わった者として、これまでの取り組み状況や課題について再考する必要性を強く感じた。

有明海における二枚貝類の中でも、タイラギは浮遊期、着底期、そして着底後の底生生活期において特異的な生活史を持つ⁷⁾。このため不漁要因を再考するにあたり、各成長段階における減耗要因を整理することが第一義的に重要であると考えられる。そこで本稿では、最初に、タイラギの生活史における減耗要因について室内実験および海域調査をもとに述べる。

本題であるタイラギ潜水器漁業の不漁について、1つの要因と考えられる長期的な資源の減少については、1970年代から1990年代にかけて漁獲の豊凶を繰り返すなか漁場の縮小が進行し、その結果として生じた資源の減少、すなわち漁場縮小の実態とその要因を主に佐賀県有明水産振興センター（以下、有明水産振興センターと記す）がこれまで取り組んできた調査結果、特に1976年から毎年行っている生息量定点調査（以下、55点調査と記す）やタイラギ漁場の形成要因に関する調査などをもとに考察する。

他の1つの要因と考えられる立ち枯れ斃死については、これまで、4県や水産総合研究センター、大学、が連携するなどして原因究明を試みたものの、いまだその発生原因、発生メカニズムは明らかになっておらず、今後の研究の道筋も見えない状況である。このため、まず、2000年の立ち枯れ斃死の初認と初認までの経緯について記載する。次に、4県が合意した立ち枯れ斃死の定義、立ち枯れ斃死の発生確認海域とその確認年について整理する。そして、原因究明に向けた研究機関の連携と原因究明の具体的な研究結果について、主に4県の試験研究機関で構成するタイラギ担当者会議の資料と独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所(現国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所；以下、西海区水産研究所と記す)を中心に行われた調査研究の結果をもとに詳細に記載する。さらに、現時点での立ち枯れ斃死の原因仮説について検討する。

最後に、有明海のタイラギ潜水器漁業の復活に向け、タイラギ漁場の再生のための取り組み、および立ち枯れ斃死原因究明の残された課題、今後取り組むべき内容に

ついて言及する。

2.タイラギの生活史における減耗要因

有明海におけるタイラギの生活史概念図を図1に示す。有明海での本種の産卵期は6~8月^{8,9)}でその盛期、産卵数は年によって異なる。これは生殖細胞の成熟が水温などの外部環境要因に影響されるためと考えられる。1個体当たりの産卵数は母貝の大きさによって異なるが人為的な産卵誘発により得られた卵数は数百万から数千万個¹⁰⁻¹²⁾である。この産卵数は有明海の他の貝類に比べて著しく多い⁷⁾。受精卵から着底可能な成熟幼生となるまでの期間、いわゆる浮遊期は飼育実験の結果から推定すると約30日、成熟幼生の大きさは殻長500~700 μm ¹³⁻¹⁵⁾であり、これも他の貝類に比べ浮遊期間が最も長く、成熟幼生の殻長も大きい⁷⁾。

飼育下の観察では、ふ化直後のベリジャー幼生（殻長約100 μm ）は水槽内の表層水面に一様に分布する。ベリジャー幼生以降の浮遊幼生の走光性については、2003年川原（未発表）はタイラギ種苗生産技術の開発の中で、初期の浮遊幼生（ベリジャー幼生から初期殻長期殻長約130 μm 、ふ化後約7日間）は水槽内に沈めた水中ライト周辺に集積することを確認しており、山下ら¹⁶⁾はタイラギ浮遊幼生の垂直分布調査の結果、昼間には底層に多く、夜間には逆であることなどを報告している。こうした結果から、タイラギ浮遊幼生は、ふ化直後は正の走光性を示し、成長に伴い負の走光性を示すようになるものと考えられる。すなわち、タイラギ浮遊幼生は成長に伴い時間帯によって浮遊する水深帯を能動的に変えていると推察される。ただ、浮遊幼生が鉛直的な遊泳行動を行うとしても、水平方向については流れに大きく左右されるものと考えられる。このため、浮遊期間が長いタイラギの

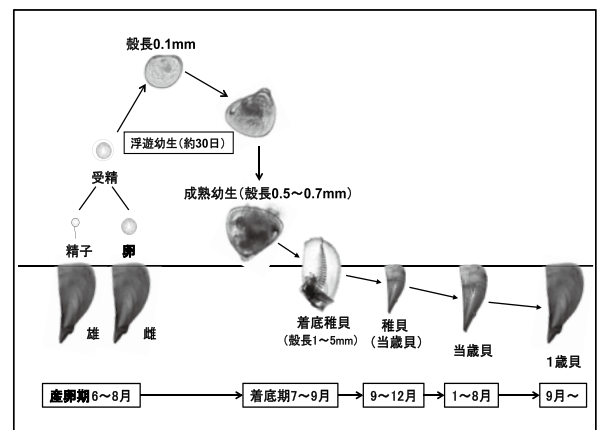


図1 有明海におけるタイラギ生活史の概念図(伊藤⁴⁾2006を改変)

浮遊幼生は、有明海特有の強い潮汐流によって広範囲に分散することが考えられる。

こうした特性を持つ浮遊期において、減耗要因として考えられる塩分、溶存酸素量（以下DOと記す）に対する浮遊幼生の耐性については詳細な研究がなされていない。これは浮遊幼生の飼育が他の二枚貝類に比べ非常に困難なことによる。こうした中、大橋¹⁴は塩分24psu以下の環境における飼育試験では短期間で減耗したことから、タイラギ浮遊幼生は低塩分に弱いと考えている。福元⁹は、2010年から2015年にかけて行った浮遊幼生の発生状況調査結果とその間の降雨量との関係から、発生初期の浮遊期に降雨による表層の著しい塩分低下がみられた年は稚貝の発生量が少なくなる傾向にあるとしている。こうしたことから、産卵期である夏季の降雨、特に梅雨末期の筑後川を中心とした河川からの大量出水による表層域の急激かつ広域的な塩分低下が、タイラギ浮遊幼生の生残に大きく関与している可能性が考えられる。

一方、貧酸素の影響については明らかではないが、アサリの浮遊幼生はDOの低下や貧酸素水塊によりその生残に影響があると指摘されている^{17,18}ことから、タイラギの浮遊幼生についてもDOの低下や貧酸素水塊の影響を受ける可能性があると考えられる。

次に、成熟幼生から着底稚貝に至る過程について、川原¹³の研究で明らかになったタイラギ着底稚貝の生態は、殻長600~700 μ mで着底した個体は翌日には殻長が約2倍となり着底初期の成長が速いこと、着底後すぐに足糸を砂粒に絡めて身体を固定し新生殻部分が着底基質から抜き出して成貝と同様に外套膜を使って呼吸を始めること、である（図2）。このような成長の速さや濾水行動は、水管を持たず、着底・変態直後から海底に穿孔して生息するタイラギにとっては、着底後生き残るための重要な要素になる。なお、本稿では成熟幼生が着底変態後、

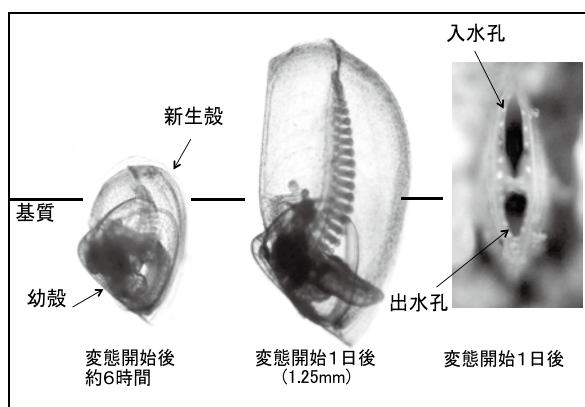


図2 タイラギ着底稚貝の形態変化（川原¹³ 2004を改変）

出水孔、入水孔の形成が完了し数日経過した殻長約5mmまでのものを着底稚貝と呼ぶ。

この、浮遊幼生から着底稚貝への変態行動、形態変化や、着底稚貝に関する島崎¹⁹、古賀^{1,20,21}の報告から、着底稚貝の生残には、物理的・底質環境、そして有明海特有の浮泥の沈降（堆積）が大きく影響することが考えられる。また、2004年から2006年にかけて行われた西海区水産研究所、4県による有明海における浮遊幼生および稚貝の分布調査の結果、鈴木⁸は殻長25mm以上の稚貝が出現した底質条件の範囲は25mm以下の稚貝より狭まる傾向にあり、硫化物や有機物の多い底質環境に着底した稚貝は着底後大きく減耗している可能性があることを指摘している。さらにTsutsumi et al.²²は2002年から2008年の調査において、夏季の貧酸素水塊が底生生物の生残に影響していることを指摘しており、近年の貧酸素水塊の発生²³は、物理化学的・底質環境などと同様に着底稚貝の生残に大きく影響しているものと考えられる。

このような浮遊期と着底期のタイラギの生態、さらには稚貝の分布調査の結果から有明海におけるタイラギ稚貝（本稿では10月頃実施している55点調査、およびその前後の時期に確認されるタイラギを稚貝と呼ぶ）発生量の多寡は、浮遊幼生および着底稚貝の生残状況に左右されるものと考えられる。

なお、飼育下（種苗生産）における成熟幼生から着底稚貝への移行において基質は必要ない^{14,15}。これは、飼育下では、人為的な餌料の供給、換水などにより、自然環境下での海底泥における浮泥などの負の要因を軽減しているためと推察される。

着底変態後の稚貝の成長速度は早く、受精後2ヶ月程で殻長6~8cm（稚貝）に成長し、さらに受精後約1年で殻長10cmを超えて成熟し産卵群に加入する（本稿では受精後約6ヶ月から産卵群に加入するまでを当歳貝、産卵後翌年の産卵群に加入するまでを1歳貝と呼ぶ）。産卵群に加入する時期は浮遊期と同様に夏季である。この時期は湾奥西部海域を中心に近年貧酸素水塊が発生し底生生物への影響が懸念されている²²⁻²⁴。当歳貝、1歳貝の低酸素耐性については、秋本²⁵は酸素飽和度0%が約12時間続いても斃死しない可能性が高いことを報告している。一方、郡司掛²⁶は低酸素条件に繰り返し暴露されると、浮上して斃死に至るとしている。当歳貝、1歳貝への貧酸素水塊の影響については、2010年夏季に西部海域において発生した1歳貝の大量斃死²⁷にみられたように、生残に及ぼす影響が強いと考えられる。また、山元・半田²⁸はタイラギの換水に及ぼす低塩分の影響

について実験を行い、換水量は、酸素飽和度の状態および低酸素の状態のいずれも塩分の低下に伴って減少し20psuではほぼ0 l/min/kgとなり、10psuでは24時間で生残率が0%を示すなど、低塩分耐性はマガキ（10psuの条件下10日目の生残率は50%以上）よりも弱いとしている。

こうしたことから、当歳貝、1歳貝は、夏季の気象海況、特に降雨による低塩分の直接的影響、さらには塩分低下に伴う躍層の形成、水温上昇による躍層の強化によりタイラギ生息域である底層域において貧酸素水塊が形成され、底層水の貧酸素化、無酸素化による生残への影響が示唆される。

さらに、その年の11、12月には漁獲対象となる殻長15cm以上に成長するが、4月から11月頃までの当歳から1歳にかけての、ナルトビエイの食害²⁹⁻³¹)も2000年前後からの大きな減耗要因としてあげられる。また、後で詳しく言及する立ち枯れ斃死は、受精後1年前後の当歳、1歳貝で発生する。

なお、今日、タイラギ人工種苗の生産技術は飛躍的に発展している¹⁵⁾。このため、先述したような浮遊幼生、着底稚貝の生残に及ぼす低塩分、貧酸素の影響、さらには、着底稚貝の生残に及ぼす物理化学的底質環境などについては、今後、人工種苗の活用により定量的な評価が可能となるであろう。

3. 長期的な資源の減少

1) 漁獲量の推移

1975年以降の大浦漁協の潜水器漁業によるタイラギ貝柱漁獲量の推移(図3)をみると、立ち枯れ斃死が確認された2000年までは数年間隔で漁獲量のピークがみられるなど、著しい豊凶を繰り返してきたことが伺われる。

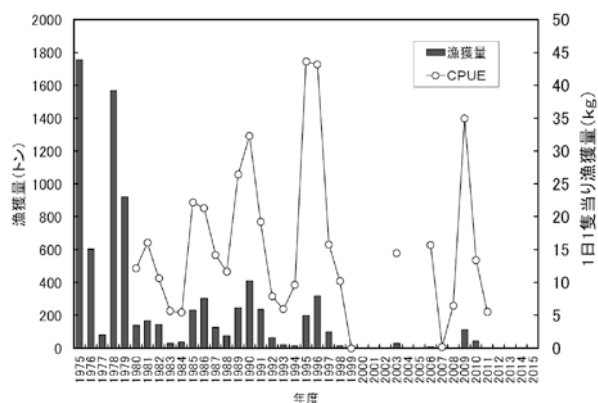


図3 佐賀県大浦漁協におけるタイラギ貝柱漁獲量と1日1隻当りの漁獲量 (CPUE) の推移 (大浦漁協資料)

大浦漁協の漁業者の間では、数年に一度、稚貝の大量発生があり、その稚貝が成長することで漁獲量の増大に繋がることが知られていた。これは、いわゆる卓越群の発生を指すものと考えられる。有明水産振興センターが毎年行っている55点調査において、稚貝の生息状況に関するデータが残されている1994年以降の調査結果をもとに稚貝の発生量を推定すると(1994年発生群は1995年から1997年にかけて漁獲されていることから1994年の稚貝の発生量を1として、その後の発生量を相対値として表す)、1994年から2015年までの間、特に1994年、1999年、2008~2010年、2015年にまとまった量の稚貝が発生していることが伺われる(図4)。1994年以前においては、こうした、まとまった量の稚貝の発生が卓越群としてその後の漁獲を支えていたものと考えられる。

こうした状況も踏まえ、漁獲量の推移とともに、1980年から1999年までの1日1隻当りの漁獲量(CPUE)をみると(図3)、後述するように漁場が縮小していく中において、卓越群に対して過度な漁獲圧がかかっていたことが推察される。

なお、漁獲の著しい豊凶差は、前述したように数年に一度の卓越群の発生によるものと考えられる。そうした卓越群の発生要因としては、タイラギ漁場が位置する湾奥部の海域特性があげられる。すなわち、有明海は閉鎖性の内湾であり、特に湾奥部は九州最大の筑後川を中心とした河川水の流入により陸水の影響を強く受けることや地形的な特性から生まれる最大潮差が約6mに達するなど特異的な海域環境³²⁾によるものと考えられる。

国内で有明海と同様に潜水器で漁獲されている瀬戸内海の香川県の漁獲変動について、濱本³³⁾は香川県の潜水器漁業者へのアンケート調査や漁獲統計資料により取りまとめを行っており、その結果からは、卓越群の発生に

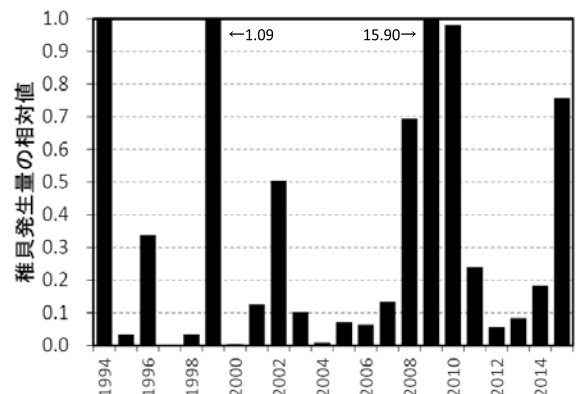


図4 タイラギ稚貝発生量の推移

1994年稚貝発生量を1とした相対値で示す。佐賀県有明水産振興センター55点調査結果を使用。

より漁獲がささえられているものの、有明海で見られるような豊凶差は確認されていない。また、香川県および岡山県の漁獲量の推移と佐賀県の漁獲量の推移とを農林水産統計で比較してみても（図5）、有明海におけるタイラギ漁獲量の豊凶差が特異的なことがみてとれる。

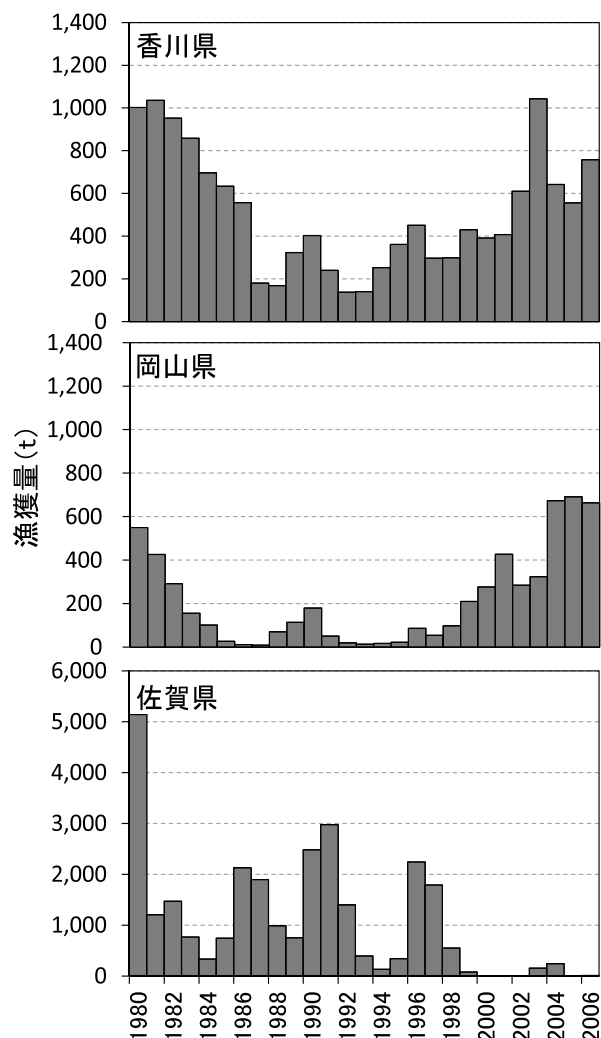


図5 香川県、岡山県および佐賀県におけるタイラギ漁獲量の推移（農林水産統計資料）

2) 漁場の縮小とその要因

(1) 漁場の縮小

過去、漁が盛んであったころの潜水器漁業は11、12月から翌年の3、4月まで行われてきた。その年の潜水器漁業の許可申請にあたって、県では佐賀県潜水器業者会の協力を得て漁期前の10月頃に資源量調査を行い、その調査結果をもとに有明水産振興センターが漁獲対象となる貝の資源量を推定してきた。その資源量調査は、今日では有明水産振興センターが10月に行っている55点調査の結果を参考に、その調査エリアが設定されている。しかし、1970～1980年代は漁場となりうるエリアが漁業者間で認識されており、資源量調査はそのエリアを対象に行われてきた。

例えば、1978年（貝柱漁獲量1,566トン；以下同じ）と1986年（303トン）の調査エリアをみると（図6）、その時代によって「漁場の名称」、「各漁場の調査範囲」は変わっているが、大きく「沖神瀬周辺」、「アサイ」、「ダイナン」、「コダオ」、「ガンドー」、「峰ノ洲」、「大牟田沖」の7漁場に区分されている。湾奥部には、流入する河川の滞に連なる3つの海底水道、西側から塩田川沖海底水道と住之江川沖海底水道、そして筑後川沖海底水道があり、塩田川沖海底水道と住之江川沖海底水道との間には野崎の洲、そして住之江川沖海底水道と筑後川沖海底水道との間には峯ノ洲のような南北に細長く伸びた海底砂洲が発達している³⁴⁾。前述した主要な漁場は、これら海底水道にそって形成されていた。

以下の記載では、この海底水道にそって形成されていた漁場を55点調査地点図上、西部漁場（沖神瀬周辺、アサイ）、中部漁場（ダイナン、コダオ）、東部漁場（ガンドー、峰ノ洲、大牟田沖）の3つの漁場に区分する。なお、山下・小野原³⁵⁾はこれらの漁場でも傾斜面の場

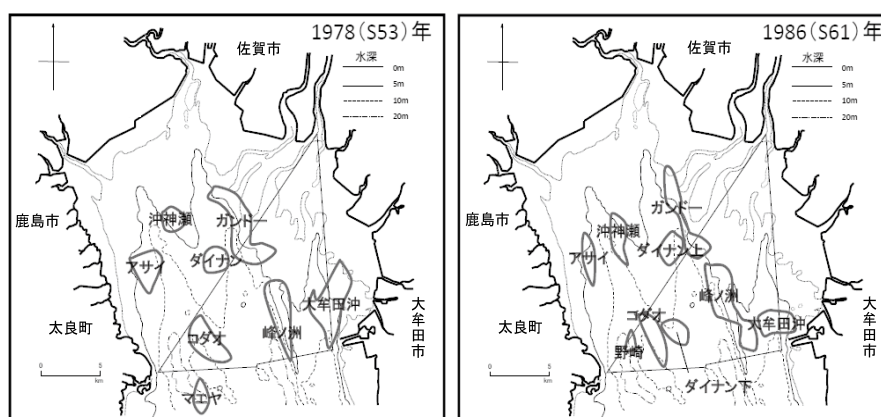


図6 佐賀県潜水器業者会タイラギ資源量調査エリア

所ほど多く漁獲されていたこと、古賀・中武²¹⁾はこれらの漁場が常に主要な漁獲対象となるわけではなく、主漁場は年によって変動していたこと、を指摘している。

著者は1976年から毎年行っている55点調査結果をもとに1990年頃を境に中西部漁場がなくなる漁場の縮小がみられたことを指摘した²⁻⁴⁾。その漁場の縮小について、改めて、1976年、1986年、1996年、2003年の55点調査結果を漁場エリア別にまとめてみると(図7)、1976年頃には佐賀県側を中心に広範囲で漁場が形成されていたものが、1986年頃には西部漁場がみられなくなり、1996年頃は東部漁場のみ、といったような漁場の縮小(中西部漁場の消失)が進んだことが改めてみてとれる。

なお、立ち枯れ斃死が確認された2000年以降については、大牟田沖漁場に稚貝は発生するものの、立ち枯れ斃死の発生^{3,4,36-38)}により結果として漁場が形成されないか、もしくは僅かであるが漁場が形成されている。そうした中、2008年には1970~1980年代に漁場であった西部漁場(沖神瀬周辺、アサイ)で稚貝の大量発生が確認され(図8)、翌年の漁獲に繋がった¹⁾。

(2) 縮小要因

漁場形成には第一義的に着底稚貝の生残の可否が大きく影響しているものと考えられる。このため、漁場縮小要因については、先に述べた、着底稚貝の生残に大きく影響すると考えられる底質環境と貧酸素の2つについて考察する。

まず、底質環境についてみると、山下・小野原³⁵⁾は1975年から1979年にかけてタイラギの地理的分布を調査し、タイラギの分布傾向について考察している。その結果からは、塩田川沖海底水道と住の江川沖海底水道にはさまれた浅瀬の鞍部、傾斜面および野崎の洲東側傾斜面を主分布とする西岸群と住の江川沖海底水道を境として東側の峰の洲と大牟田沖一帯を主分布域とする東岸群の2群に大別している。さらに、この2つの主分布域の底質について、中央粒径値でみており西岸域はMdφ7以上の細粒の泥質堆積物の広大な堆積域であり、東岸域は筑後川河口域で変化に富むのに対して、早津江川、矢部川副デルタでは陸域に近づくにつれて、粒径が細くなる傾向が明瞭であるとしている。それらの底質状況とタ

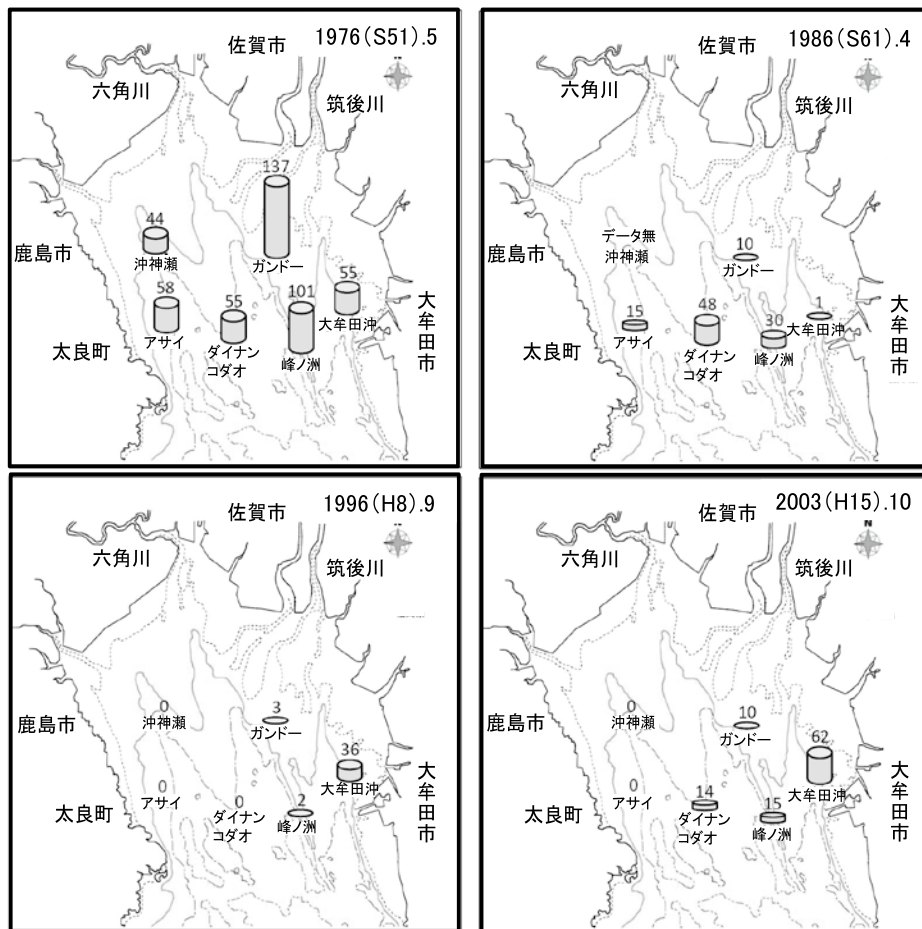


図7 タイラギ生息量(成貝)の変化
数値はタイラギ成貝の平均密度(個体/100m²)を示す。佐賀県有明水産振興センター55点調査結果を使用。

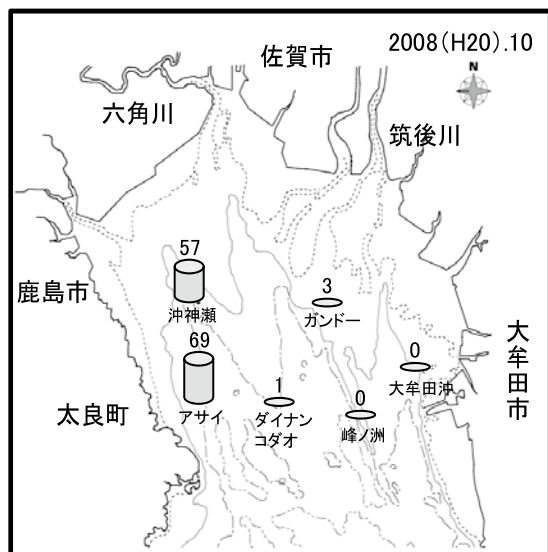


図8 2008年タイラギ稚貝の発生量
 数値はタイラギ稚貝の平均密度(個体/100m²)を示す。
 佐賀県有明海水産振興センター55点調査結果を使用。

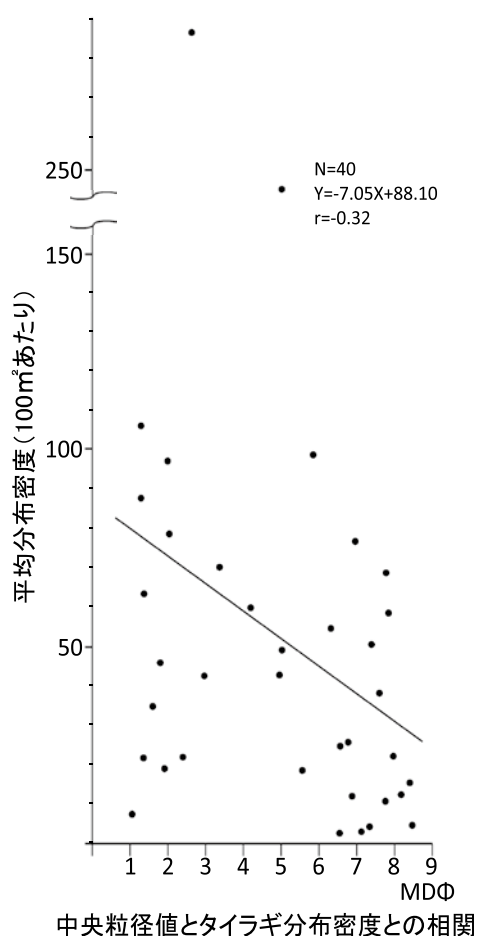


図9 中央粒径値とタイラギ分布密度との相関(山下・小野原³⁵⁾1980)

イラギの分布との関係を見ているが(図9), 中央粒径値が大きいくほど, または粒径が細くなるほど, タイラギの分布密度が低下する傾向がみられる。その一方で, 1975年から1979年頃はMdφ7以上でも, 今日と同様な中央粒径値の海域におけるタイラギ生息密度³⁹⁾に比べて高い密度で生息していたことが伺われる。

これらの結果は, 有明海のタイラギは潜在的には泥底に生息できることを示唆するものである。さらに, 1970年代と現在のタイラギの分布域(生息域)との違いが何に起因するのかを考察するうえで重要である。すなわち, 一つには, 同じ中央粒径値でも組成(粒径加積曲線の変化)が異なる可能性もありうる。こういった中央粒径値が示す底質の状況に加え, 横山・石樋⁴⁰⁾が指摘しているMdφ8以上の泥質(silty clay), 粘土シルト含有率の増加などのファクターが加わった可能性もある。速水^{41,42)}, Orita et al.⁴³⁾は貧酸素水塊の大規模化は有機物量の増加が影響していると指摘している。これは, 底質が変化していることを示唆している。一般的に有機物が多い底質は泥分が多く, 長期的には西部海域を中心に細粒化が進行したことを意味するものと考えられる。

島崎ら¹⁹⁾, 古賀ら^{20,21)}は1970~1980年代の漁場とその漁場の底質を中心とした特性について調査研究を行い, これらの海域がタイラギの主漁場となりうる要因(条件, 漁場形成要因)は付着基質があること, 浮泥の影響が少ないことを指摘している。古賀・荒巻¹⁾は2009年の西部漁場における豊漁に繋がった2008年の西部漁場における稚貝の大量発生要因として着底時期に浮泥が少なかったことを挙げており, 2008年は1970~1980年代の底質環境を再現した状況下にあった可能性がある。ただ, 後述するとおり, 現在, 浮泥の明確な定義がないため, 漁場が広範囲に形成されていた年代の島崎ら¹⁹⁾, 古賀ら^{20,21)}が言及した浮泥と古賀・荒巻¹⁾が指摘した浮泥の影響を, 測定対象および基準が同一のものであるとして評価できるか否かは現時点では明らかではない。

有明海の浮泥は, 筑後川を中心とした多くの河川から有明粘土と呼ばれるモンモリロナイト系の微細な粘土粒子が有明海に流れこみ, この粘土粒子が海水中のナトリウムイオンと反応して凝集し, その際に海水中の懸濁性有機物や栄養塩を吸着して綿状の肥沃な懸濁物質となり, 有明海特有の干満差による早い潮流で常に巻き上げられて濁りのもととなる⁴⁴⁾。しかし, 今日の漁業従事者は底泥上に堆積したシルトや懸濁状のものを浮泥として総称している。さらには, 底質環境の評価を議論する際に, 近年では, 特に海底堆積物表層の部分を指す意味で使用

されているように思える。このため、浮泥の影響を評価するには、実態に応じた測定対象とする浮泥の定義が不可欠である。

次に、貧酸素の影響についてみると、横内ら⁴⁵⁾は4県の浅海定線調査結果から、湾奥西部のDOは、1970年代は高水準にあったが1980年以降では年変動が大きいものの長期的にみると減少傾向が認められたとしている。速水^{41,42)}は湾奥部海域におけるDOの長期変動について、1972年から2001年までの7月の有明水産振興センターの浅海定線データを用いて、底層DOと成層強度をあわせて解析することで、貧酸素の長期変化について検討した。その結果、1970年代から1990年代にかけてDOs(成層強度変動を除いた溶存酸素量)は長期的に低下傾向にあり、特に1980年代における低下が著しく、このことから、7月の有明海湾奥部では底層DOが低くなっていること、すなわち貧酸素化しやすくなったことを指摘している。こうした調査結果から、湾奥部、特に西部海域では長期的な変動としてDOの低下が伺われる。

この長期的なDOの低下と中西部漁場の消失との関わりについては、タイラギの生活史の中での、着底稚貝そして成長した当歳貝、成貝への影響により、中西部漁場、特に西部漁場におけるタイラギ生息量の減少、そして漁場機能の低下に繋がったことが考えられる。ただ、当歳貝、成貝への影響については、2010年夏季の貧酸素水塊による1歳貝の大量死が確認されている²⁷⁾ものの、漁場として機能していた1970~1980年代においては、そのような大量死発生の記録は残されていない。

こうしたことから、湾奥西部海域を中心としたDOの長期的な減少は、タイラギの生活史の中の、主に着底期に対して影響したものと考えられる。また、浮遊期における影響については定かではないが、近年の西部海域を中心とした貧酸素水塊の発生²³⁾は浮遊幼生の生残に大きく影響しているものと推察される。

なお、2010年夏季に強度な貧酸素水塊により1歳貝の大量斃死が発生した²⁷⁾が、その斃死発生海域において大量の稚貝が発生している^{46,47)}(図10)。これは、産卵時期、浮遊期の幼生のサイズおよび着底時期と貧酸素水塊の発生時期、発生範囲とのかかわりで、影響の度合いが変わるためと考えられる。

いずれにせよ、1970~1980年代に漁場が形成されていた中西部海域は、長期にわたってタイラギ漁場としての機能が低下したのは事実である。漁場機能の低下の要因として、先述したように、1つは、物理化学的の底質環境の変化とともに漁場への浮泥の堆積が経年的に顕著にな

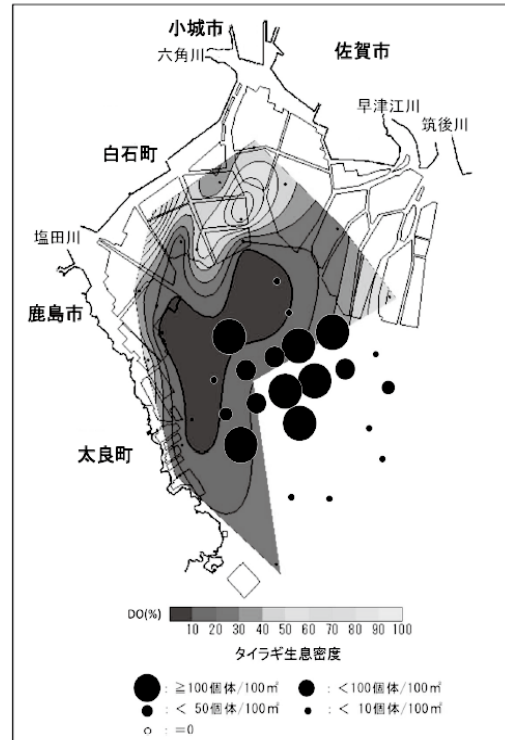


図10 タイラギ稚貝の分布と貧酸素水塊との関係
タイラギ稚貝の分布は2010年10月実施の55点調査結果、底層DOは2010年7月26日実施の水質調査結果⁴⁷⁾より作図。

ってきた、堆積しやすくなった、すなわち浮泥の堆積・挙動が影響している、他の1つは、DOの長期的な減少と夏季の貧酸素水塊が影響している、ことが考えられる。さらには、主にこの2つの要因が相まって今日の実況となっていると考えられる。そして、最も重要なことは、この2つの要因には、潮流速、流向が大きく影響していると考えられることである。

山下・小野原³⁵⁾はタイラギの主分布域の形状は、概して湾軸に沿った帯状を呈し、本海域における海水流動は、潮汐による湾軸方向の往復運動が卓越していることから、タイラギ分布の決定にはこれらの海水流動が大きく関与していると指摘している。このことから、漁場機能の低下の要因を検討する上で潮流速の減少の有無、流向の変化の有無、そして鉛直混合・海底攪拌が弱まった可能性についての議論が不可欠である。

湾奥部の潮流速については、数値シミュレーションによる検討が行われ湾奥部での流速変化はみられないといった指摘⁴⁸⁾、潮流の東西方向の非対称性を考慮することにより潮流速変化が生じているといった指摘⁴⁹⁾、このように今日においても相反する指摘があるのが現状である。有明海、特に湾奥部における諸問題の根源と思われる潮流速に関する調査研究の科学的評価を早急に行うべきと考える。

4.立ち枯れ斃死による急激な資源の減少

1) 初認

2000年7月10日の6ヶ所の調査点のうち1ヶ所で、軟体部が萎縮し底泥から抜き出した衰弱個体を含む多数の斃死個体を確認し、その後、斃死エリアが急速に拡大した³⁷⁾。有明水産振興センターがタイラギ調査を長年依頼している香田利久氏（大浦漁協所属）は、常々、底泥でのタイラギの生息状況について、夏場は深く潜っており、埋まった状態でなかなかみつけにくい。水温が下がるにつれてみつけやすくなる、と言われており、6月22日の調査でも“しっかり潜っているので大丈夫”とのことであった。こうした中で、7月10日の状況は、これまでに経験したことのないものであった、とのことであった。確認時期は若干遅れるが、熊本県水産研究センターは荒尾沖漁場における定点調査において同様な状況を確認した³⁷⁾（図11）。

2) 初認までの経緯

1999年の潜水器漁業は、1999年10月の55点調査で漁獲対象となる貝がほとんど確認されず、1999年の漁期終了時に大浦漁協の漁業者は“取り残しが少なく今年の冬の漁は期待できない”との見立てであったことから、厳し

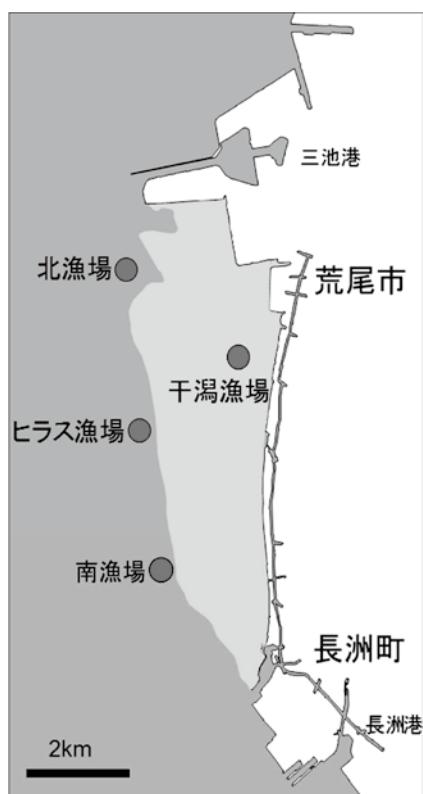


図11 荒尾沖漁場におけるタイラギ調査定点図
(タイラギ担当者会議熊本県水産研究センター資料)

いと認識であった。ただ、1999年10月の55点調査で大牟田沖漁場に1994年と同程度の稚貝の発生が確認された。1994年発生群は1995年から1997年の漁期の漁獲対象となり、1996年漁期の貝柱漁獲量318トンに繋がったことから、2000年以降については漁が期待できるとのことであった。すなわち、1999年は1994年以來の卓越群の発生年と考えられていた。

こうした中、1999年12月1日の解禁日に福岡県の漁業者が出漁し漁獲対象となる貝がみつからなかったことから、福岡県側でマスコミなどにより不漁が報じられるなどの騒ぎとなった。こうしたこともあり、有明水産振興センターでは、大牟田沖漁場の稚貝高密度域に調査点を定め、1999年12月から毎月、生息密度や成長の推移を調査し、その結果について県内漁業関係者などに報告することとした。こうした調査の中、2000年7月10日に大量死の発生を確認した。

なお、1999年12月21日に、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所（以下、福岡県有明海研究所と記す）の呼びかけで、西海区水産研究所において「タイラギに関する情報交換会」が開催されている。この情報交換会の議題に「国等の研究機関への要望について」があり、その際の要望書は、要望事項「タイラギ斃死原因調査およびタイラギ資源回復方策の解明」、そして趣旨説明の文面の中に、「平成10年度漁期終了時に11年度漁期のために取り残しておいた成貝が、平成11年7月頃から斃死の程度が強まり、10月の漁期前調査では、漁獲対象の成貝がほとんど採捕されなかった」、といった記載がある。しかし、1999年の不漁については、著者ら佐賀県関係者は、過去からの漁獲変動の一つとして考え、2000年以降は一定の漁獲が見込めると考えていた。

3) 立ち枯れ斃死とは

大浦漁協で潜水器漁業に従事されていた漁業者の間では、タイラギが斃死した場合は底泥から抜き出ている（立ちあがった状態）ことから、この状況を称して“立ち枯れ”と呼んでいた。しかし、2000年7月10日のような状況は過去に例がないとのことから、これまでの総称的な“立ち枯れ”とは違う“立ち枯れ斃死”といった用語を使うようになった。その“立ち枯れ斃死”とは、湾奥部東部漁場（大牟田沖、荒尾沖漁場）でみられる大量死で、“突然に、かつ一斉に”発生する事象であり、2005年1月に開催されたタイラギ担当者会議において再確認した「立ち枯れ斃死」の定義は、「潜水漁場で発生する異常斃死の事で、健全に生息していたタイラギが底

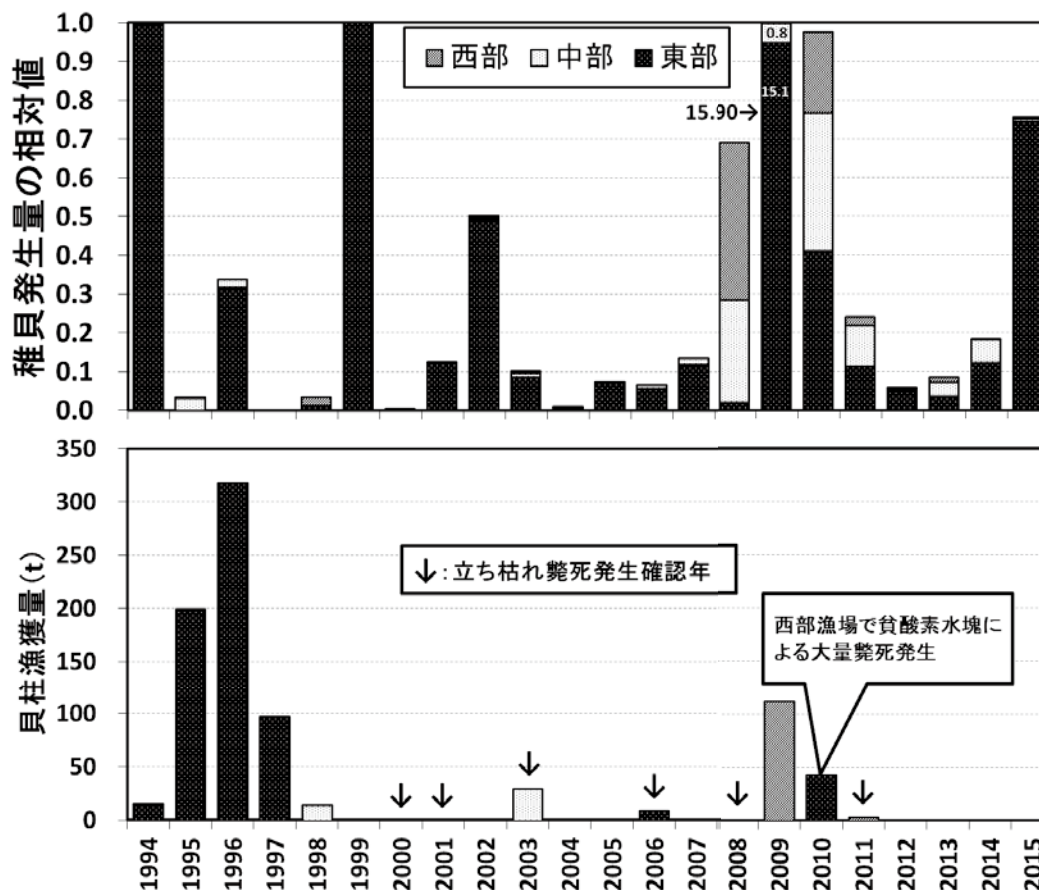


図13 タイラギ稚貝発生量と貝柱漁獲量との関係

1994年稚貝発生量を1とした相対値で示す。佐賀県有明海水産振興センター55点調査結果と佐賀県大浦漁協の貝柱漁獲量データを使用。

5) 原因究明に向けた研究機関の連携

2000年度のノリ不作以前の4県の連携として、4県の試験研究機関で構成する「有明海広域圏漁場高度利用総合調査：のり分科会、環境分科会、栽培分科会」があった。この栽培分科会においてタイラギ担当者会議を開催し、情報を共有していた。

2001年1月のノリ色落ち被害さらにはタイラギの不漁を受け、2001年2月に「有明海沿岸四県水産連絡協議会」その下に、「有明海総合調査実施委員会」さらにはその下に、海域調査企画部会、ノリ問題研究部会、タイラギ問題研究部会の設置が検討された。その後、「有明海総合調査実施委員会」の下、「ノリ分科会、環境分科会、タイラギ分科会」が設置された。第1回「タイラギ分科会」は2001年4月に開催された（幹事県福岡県）。その分科会では、「タイラギの生息調査、貧酸素等の環境調査は、西海区水産研究所と協力して行い、その他タイラギの病害関係については、独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所(現国立研究開発法人 水産研究・教育機構 増養殖研究所：以下、養殖研究所と記す)と4県で

協力して調査研究を行う。分科会の開催については、状況に応じて随時、担当県である福岡県が西海区水産研究所とも協議しながら開催する」、ことを決定した。

「立ち枯れ斃死」の原因究明は、基本的には4県の担当者が中心となって大学、養殖研究所、西海区水産研究所が共同で要因と思われることを一つ一つ検討してきた。4県担当者は基本的に年3回の会議において、その都度結果に基づく合意形成を行い、その後の調査に取り組んできた。

6) 原因究明調査の具体的な取り組みと研究結果

2000年12月に三重県伊勢市で開催された「タイラギ研究打ち合わせ会（4県、西海区水産研究所、養殖研究所）」において養殖研究所から、大牟田沖の衰弱個体、正常個体いずれからも、バクテリアやウイルスが関与した形跡は認められなかったが、糸虫の寄生が閉殻筋、外套膜、腎臓、鰓で確認されたこと、糸虫は暖海性の多くの二枚貝類で寄生が確認されている *Tylocephalum* sp.metacestode の幼虫と考えられること、寄生部位の組

織切片像からは、筋肉部に大きな損傷はみられないこと、*Tylocephalum* sp. metacestodeの病原性については大量斃死を引き起こした例や高レベルの寄生の有害性を証明した報告はないこと、が報告された。この会議において、立ち枯れ斃死の発生が条虫の寄生によるものとは断定できないが、条虫の終宿主の同定、条虫の遺伝子解析による同定、タイラギへの寄生状況の経時的観察、寄生状況の異なるタイラギを用いた室内飼育による高水温、飢餓への応答などを4県の試験研究機関、西海区水産研究所、養殖研究所が連携して調査することとなった。

こうした条虫に関する実験も含め、立ち枯れ斃死が発生する大牟田沖漁場と立ち枯れ斃死が発生しない佐賀県太良町沖合の佐賀県造成漁場に調査点を定めて（図14）、両定点に生息するタイラギの成育状況、病理学的、生理学的、漁場環境に関するそれぞれの調査研究を行った。その一連の調査研究により、2004年3月時点で以下のような結果が得られた^{36,37,50-58}）。

- (1) 成育状況調査の結果、両漁場では、タイラギの殻長の成長、軟体部の太り具合には差がみられないこと。
- (2) 閉殻筋（貝柱）中のグリコーゲン量の測定結果、冬季に蓄積されたグリコーゲン含量は、産卵期前に急激に低下すること、年変動が大きいこと、両漁場のグリコーゲン含量に有意な差はみられないこと、すなわち、閉殻筋のグリコーゲン含量の低下が直接的な斃死原因ではないと推察されること。
- (3) ウイルス、細菌、寄生虫調査の結果、大牟田沖漁場のタイラギには、ウイルス、細菌の感染は認められなかったこと、閉殻筋、外套膜、腎臓、腸管に3種（2種は*Lecanicephalum*属、1種は*Tylocephalum*属）の条虫が寄生

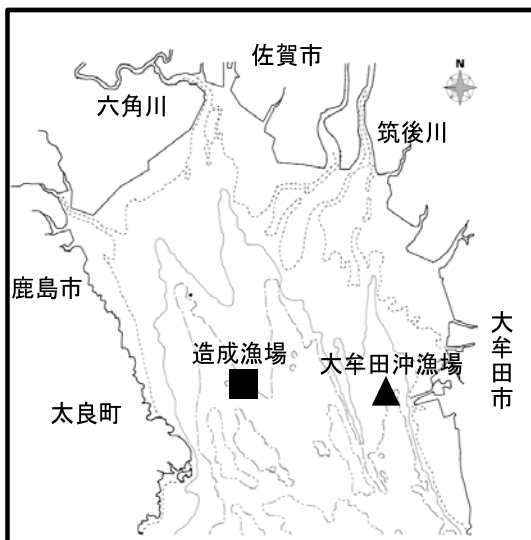


図14 調査定点(川原ら³⁷⁾2004を改変)

しその寄生数が著しく多いこと、条虫の終宿主はナルトビエイであること、閉殻筋等の組織中の寄生数の多少と斃死との間に明確な相関は認められなかったこと。

- (4) 両漁場のタイラギ（当歳貝）を1月に採集し、無給餌、自然水温下で飼育した結果、飼育開始3ヶ月後頃から大牟田沖漁場のタイラギは斃死する割合が高まること。
 - (5) 酸素摂取能力測定の結果、大牟田沖漁場のタイラギ（当歳貝）は佐賀県造成漁場のタイラギに比べ低酸素下で酸素消費量が低下すること、この差は、タイラギの着底後間もない11月の時点で認められたこと。
 - (6) 環境調査の結果、両漁場とも夏季に貧酸素の発生を確認したが、立ち枯れ斃死は貧酸素の発生以前に始まること。
- などである。

以上のことから、立ち枯れ斃死の発生メカニズムの仮説として、大牟田沖漁場のタイラギは、外部所見などからは健全と思われるものの、斃死発生以前に何らかの要因によって活力が低下し、水温の上昇、塩分の低下および溶存酸素量の低下などの環境変化に対応できず斃死していることが示唆された。また、この間の調査で、立ち枯れ斃死は干潟域のタイラギでは発生しないことも明らかになった。こうした調査結果を踏まえ、沖合域と干潟域のタイラギについて、再度、タイラギの病理学的、生理学的な視点と漁場環境の相違点や、タイラギの活力を低下させる主因と二次的に斃死発生を引き起こす要因（水温、塩分、DOなど）を明らかにする調査研究を行うことが合意された。

なお、この一連の調査過程で、ナルトビエイによるタイラギの食害が明らかとなり²⁹⁻³¹、著者は「ナルトビエイによる食害は、立ち枯れ斃死と同様にタイラギ資源の回復のためには解決すべき重要な課題である」と指摘した⁴）。

その後、4県の沖合域、福岡、熊本県の干潟域のタイラギを対象に西海区水産研究所が鰓、外套膜、腎臓、閉殻筋、消化盲囊の組織学的観察を行い、鰓、腎臓に組織病変が認められ、さらにその組織病変からウイルス様粒子を確認した⁵⁹）。ただ、2005年1月のタイラギ担当者会議では、内的（成熟など）、外的（水温、塩分、DOなど）要因とウイルス感染の複合的な原因によって立ち枯れ斃死が発生している可能性はあるものの、確認されたウイルス様粒子は立ち枯れ斃死の第一要因ではない、との統一見解であった。西海区水産研究所では、病変が認められた臓器組織の摩砕濾液を接種した病理実験が行われたが、立ち枯れ斃死を再現するには至らなかった。ま

た、山元ら^{28,60-63)}は鰓換水量を指標として、今まで不明であった低酸素、低塩分に対する生理的な応答について明らかにした。

こうした中、熊本県水産研究センターは2005年の荒尾沖漁場の調査において6月頃に底泥中の5~10cm層で硫化物量が高まることを観察した。さらに山元ら⁶⁴⁾は底質中にある間隙水がタイラギの体腔内に侵入することを実験的に明らかにした。

こうした研究成果も踏まえ、2006年から西海区水産研究所が中心となり、交付金プロジェクト研究が開始された。具体的には、タイラギ生殖腺の発達期および退縮期にウイルスに実験的に感染させ、死亡が再現できるか否かを明らかにして、タイラギ大量死と関連する生物要因を検証するとともに、ウイルス感染による組織病変に加え硫化物など底質環境要因の暴露による衰弱、成熟・産卵などの生理的変化による体力消耗が重なり死に至るといった仮説の検証が行われた。

また、交付金プロジェクト研究に加え、2007年からは、環境省請負業務「底質環境の変化に関するメカニズムの解明とタイラギへの影響評価調査」においてタイラギ漁場の海底直上層の餌料環境の評価のためのクロロフィル濃度、水質環境評価のための水温、塩分、DO、濁度の連続観測や底泥中の硫化水素濃度の測定、室内での硫化水素の暴露試験などが行われた。

こうした交付金プロジェクト研究、環境省請負業務による調査研究は2009年まで行われ、環境省請負業務による調査研究の最終報告書⁶⁵⁾では、以下のようなことが指摘され、大量死防止対策のための提言がなされている。(1)「タイラギ漁場における水質および底質環境の季節変化」では、①海底への浮泥堆積が物理的にタイラギに作用して、生残率を低下させる可能性は小さいこと、②大量死発生時にみられるタイラギの軟体部組織重量の低下は漁場の餌料環境に由来せず、タイラギが持つ摂餌能力に関する可能性があること、③本調査で観察される溶存酸素量の低下はタイラギの生存に影響する値ではないと判断されたこと、④底質の間隙水に含まれる硫化水素濃度は5~10月に値が高くなる状況がしばしば観察され、その濃度は10mg/l前後に上昇し、その濃度レベルは長期的な持続はみられず、底質中で増減がくりかえされる可能性が示唆されたこと、⑤底泥中のpHおよびORP(酸化還元電位)についてpHは春季から夏季にかけて徐々に低下し値が8~9月に最も低下し、秋季から冬季にかけて再び上昇するなどの季節変動がみられ、ORPについても明確な季節変化がみられ8~9月を中心に底質が

還元的になること。

(2)「タイラギの生残と水質および底質環境との関係」では、春季に閉殻筋グリコーゲン量が低位であり夏季の産卵期に対応できない生理状態にあったことが示唆されたことや中腸腺植物色素量の変動が大きく不安定な状況にあり、その要因として植物プランクトンの発生量(海水中のクロロフィルa量)との対応もみられず餌料環境の影響による可能性は小さく、タイラギ自身の摂餌不良、硫化水素発生などの環境悪化による摂餌阻害などの可能性があること。

(3)「硫化水素がタイラギに及ぼす影響」では、①定期的にタイラギを採取し血リンパ液に含まれる各種有機酸濃度を調べた結果、夏季にコハク酸およびプロピオン酸が検出されたことから、間隙水中の硫化水素の影響により有機酸を蓄積した可能性が高く、同時期はタイラギの放卵放精期とも一致することから、タイラギは基本的に衰弱した状態にあったと推察され、このような底質環境が更なるタイラギの活力低下を引き起こした可能性があるとし、有明海北東部タイラギ漁場の海底では貧酸素の発生は顕著ではないものの、夏~秋季に底泥が還元化し間隙水から硫化水素が発生し、タイラギの生残に影響を与えている可能性があること、②タイラギ大量死に至る過程の仮説として、タイラギ漁場での底質悪化は放卵放精で体力を消耗したタイラギにとって、深刻な生理負荷になると考えられ、個体の更なる衰弱を招く可能性が考えられたこと。

(4)以上のような調査結果から、夏季の北東部タイラギ漁場では間隙水中の硫化水素濃度が3~5mg/l(硫化物イオン含む)に達した後に死亡が発生しており、この濃度を下回る環境を維持することが重要であり、環境改善策としては従来から行われている海底耕耘等に加え、底質改善剤を併用するなど、漁場の環境改善を進める必要がある。

なお、交付金プロジェクト研究については最終的な取りまとめについて確認しておらず、本稿においての詳細な言及は割愛するが、タイラギ大量死原因究明の研究結果⁶⁶⁾として、鰓組織の損傷による摂餌機能および消化吸収機能の低下による衰弱、成熟に伴う衰弱、それらの生理的要因に加え、底泥間隙水で発生する硫化水素がタイラギの大量死と関連する可能性が高いこと、浮泥が大量に堆積した場合タイラギの栄養状態を低下させ死亡させる可能性があること、などが指摘された。

有明水産振興センターでは、こうした西海区水産研究

所との連携調査に加え、漁場での底泥に関する調査、さらには室内実験を行ってきた。その調査研究において、荒巻・大隈⁶⁷⁾は泥質と砂質ではタイラギの底泥間隙水の利用状況に差があり、泥質では砂質に比べ底泥間隙水が取り込まれにくいことを明らかにした。さらに、荒巻ら³⁸⁾は2011年5月から7月までに採取した底泥から異臭が発生していたため、泥中の揮発性の定性分析を行い、異臭の原因が2-ブロモフェノールであることを明らかにした。その後の2-ブロモフェノールによるタイラギへの暴露試験では、立ち枯れ斃死を再現させるような結果は得られなかったものの、その研究において立ち枯れ斃死が発生する海底泥の表層付近では、タイラギに影響を与える何らかの物質が短期的に発生、消失している可能性も否定できないとし、定期的な採泥によるタイラギへの暴露試験の必要性を指摘した。

また、松山は⁶⁾立ち枯れ斃死現象について、「立ち枯れ斃死を起こしているタイラギでは、①軟体部重量の低下と組織内グリコーゲン量の低下(身痩せ)^{26,68)}、②中腸腺の色素量の低下⁶⁸⁾、③鰓や腎臓組織の壊死など^{59,68)}、十分な摂餌活動が達成されずに衰弱死しているといった現象が認められる。とくに注目されるのは組織障害であり、立ち枯れ斃死が発生する数ヶ月以上前から異常が認められている。このため、立ち枯れ斃死は、何らかの要因が長期的にタイラギに作用し、緩やかな衰弱死をもたらしているものと推察される」としている。

交付金プロジェクト研究と同時期に(社)日本水産資源保護協会が水産庁の委託事業として2005年から、福岡県大牟田沖および佐賀県太良沖海域において、試験覆砂を実施しその効果を実証するため稚貝の着底およびその後の生残を追跡調査した。その追跡調査の過程で覆砂区において稚貝の着底は確認されるものの、そのほとんどは生残することなく斃死し、その原因として浮泥の堆積による可能性が指摘された。そうした取り組みの中で、浮泥の堆積を軽減するための覆砂として凹凸の覆砂が検討されるようになった。

さらに、2007年からは試験覆砂工を実施する海域において、貧酸素水塊、天然餌料、浮泥、ウイルスの観点から、斃死原因を究明するための調査を開始し、当協会内に「タイラギへい死原因検討会」を立ち上げた。その後、(社)日本水産資源保護協会から(一社)全国水産技術者協会に引き継がれ、「有明海のたいらぎ漁業再生のための検討会」として現在に至っている。

この検討会での、タイラギの大量斃死の発生メカニズムについての仮説は、「底質の浮泥化等による生息環境

の悪化等に伴って、タイラギの大型個体の減少や年齢構造の変化が起これ、個体群としての維持機能が低下する。また、併せて餌料環境の悪化(餌料量の減少、質の低下)に伴って、身入りの悪化、個体の小型化、体力や再生産能力の低下が生じ、個体の維持機能が低下して、成熟・産卵による消耗から立ち直れず、わずかな環境の変化(高水温、低塩分、DOの低下等)でも容易に死に至るものと推察した」、となっている⁶⁹⁾。

7) 立ち枯れ斃死発生メカニズムの仮説・要因の検討

2000年7月の立ち枯れ斃死の初認以来、多くの研究機関、研究者により、立ち枯れ斃死の発生メカニズムを明らかにするための努力が重ねられ、今日に至っている。そして、前に述べたような内容^{6,69)}が現時点での、タイラギ立ち枯れ斃死発生メカニズムの仮説・要因と考えられている。

しかし、1999年から2003年にかけて川原・伊藤(未発表)が行った室内実験では、立ち枯れ斃死が確認される直前に採集した大牟田沖漁場のタイラギ(当歳貝)は、3ヶ月の無給餌下での飼育においても斃死はみられず、また給餌飼育では成長することを確認している。このことは、摂餌機能の低下により衰弱し、立ち枯れ斃死に繋がるといった仮説に反するように思われる。さらには2000年7月の立ち枯れ斃死を目のあたりにし、その後の調査に携わった著者は、環境的要因(餌不足、餌の質)、生理的要因(グリコーゲン量の低下や軟体部の疲弊などによる衰弱)に議論が集中している現状について強い疑問を感じる。実体的には、健全と思われる貝が突然、大量死する、といったイメージから抜け出すことができない。

餌料環境については、4県が行ってきた浅海定点調査のプランクトン沈殿量の変動から長期的な傾向として減少しており、特に冬季のプランクトン沈殿量の減少が顕著である、とし、このことが二枚貝類、特にタイラギの餌量不足として問題視されている。このプランクトン沈殿量の減少について、松原⁷⁰⁾はプランクトン沈殿量の調査には100 μ mメッシュのプランクトンネットを用いていることから、プランクトン沈殿量には100 μ m以下の小型の珪藻類等の藻類の量が反映されていない可能性がある」と指摘している。このため、プランクトン沈殿量の推移(経年変化)のみで餌量環境を評価することはできないと考えられる。

梅田⁷¹⁾は1972年から2016年における有明海佐賀県海域のクロロフィルa量の長期変動について取りまとめを行

い、この間のクロロフィルa量を指標とした餌料環境は二枚貝類の育成に十分な環境であったとしている（図15）。さらに、このクロロフィルa量の推移とタイラギ漁獲量の推移の相関について検討し、漁獲量の変動とクロロフィルa量とは相関がないと指摘している（図16、表2）。こうした研究結果から、クロロフィルa量を餌料環境の指標とすれば、餌料環境を立ち枯れ斃死の要因とすることは無理があると考えられる。

逸見ら⁷²⁾は海底に生息していた貝に立ち枯れ斃死が発生した際にも海水中に浮かした状況下の箆飼育のタイラギには斃死が発生しなかったことを確認している。的場ら⁷³⁾も同様なことを指摘している。仮に成層形成期において表層と底層で植物プランクトン量に差が生じたとしても、逸見ら⁷²⁾、的場ら⁷³⁾の実験結果を踏まえると、海水中の餌料不足、餌料の質を立ち枯れ斃死の要因とすることは問題がある。

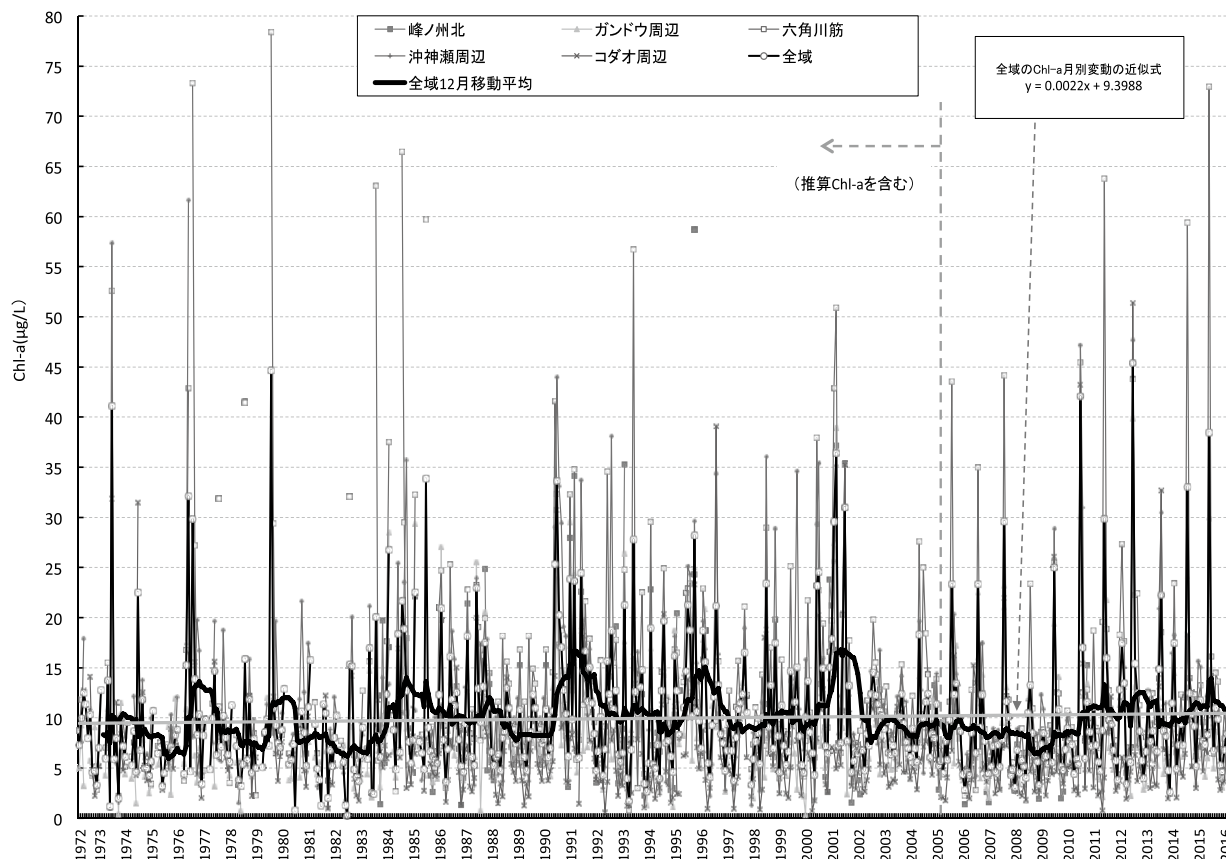


図15 有明海佐賀県海域におけるChl-a月別平均値の推移(梅田⁷¹⁾2017)

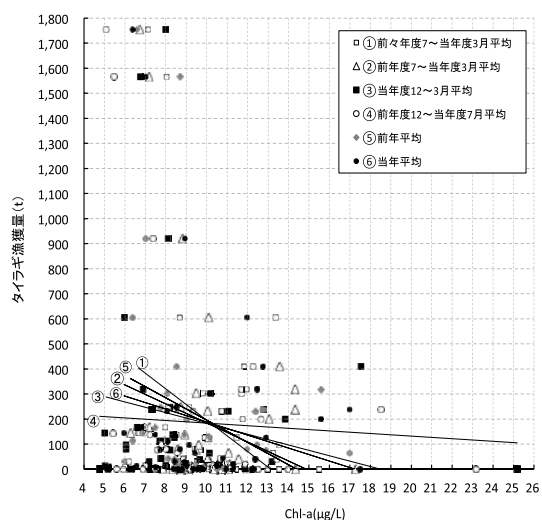


図16 タイラギ年別漁獲量と各Chl-a月別平均値集計平均との相関分布(梅田⁷¹⁾2017)

表2 タイラギ年別漁獲量とChl-a月別平均値の集計別平均値の対比相関(梅田⁷¹⁾2017)

Chl-a月別平均値集計方法	相関係数	有意水準*
① 当年平均	-0.1840	**
② 前年平均	-0.2694	**
③ 当年度12月～3月平均	-0.0498	**
④ 前年度12～当年度7月平均	-0.2031	**
⑤ 前年度7月～当年度3月平均	-0.2678	**
⑥ 前々年度7月～当年度3月平均	-0.3231	**

※)「**」は1%有意を示す。

次に、浮泥の影響については、2008年に西部漁場を中心に発生した稚貝は2009年の漁獲（貝柱漁獲量112.6トン）に繋がり、2010年夏季の強度な貧酸素水塊で大量死に至るまでの約2年間は順調に成長している^{1,27)}。これらの稚貝、成貝が生息していた海域は湾奥部の中でも多量の浮泥（粘土・シルト分も含む）が堆積する。こうした海域で稚貝が順調に成長した事実から、浮泥を立ち枯れ斃死の要因の一つ⁶⁶⁾としては考えられない。

さらに、底泥中の硫化水素の影響については、荒巻・大隈⁶⁷⁾は大牟田沖漁場の底泥中のpHにおいてはH₂Sの大部分が無害なHSとして存在することから、硫化水素はタイラギの生理状況に悪影響を及ぼす要因となりうるものの、漁場での大量斃死を漁場底泥中の硫化水素濃度との関連のみで説明することは極めて困難である、と指摘しており、環境省請負業務の最終報告書⁶⁵⁾で提言されている硫化水素に対する対応策には疑問が残る。

5.潜水器漁業の復活に向けた取り組み

有明海湾奥部におけるタイラギ潜水器漁業が生業として存続するためにできることは、1つは2008年に中西部漁場に発生した稚貝が2009年の漁獲に繋がり¹⁾、さらに2009,2010年の稚貝の大量発生⁴⁶⁾に繋がったように、佐賀県海域を中心とした中西部海域に漁場を形成させること、すなわち生息場を整備し稚貝を着底させること、他の1つは大牟田沖漁場でみられる立ち枯れ斃死の発生メカニズムの解明とその防止策の確立である。

1)佐賀県海域を中心とした中西部漁場の再生

今日の有明海湾奥部のタイラギ漁場は、中西部海域の漁場機能の低下に加え、漁獲圧による産卵母貝の減少、産卵量の減少、浮遊幼生量の減少、年級群の単一化、といった負のスパイラル状態にあると考えられる。

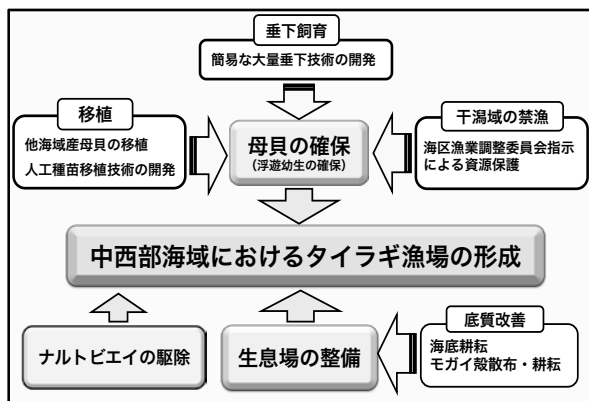


図17 タイラギ資源回復に向けた取り組み

しかし、有明海湾奥部の漁獲変動の要因と考えられ、過去から繰り返されてきた稚貝発生の多寡は、2015年の大牟田沖漁場における稚貝の大量発生⁷⁴⁾にみられるように、いまだ存在する。こうしたことも踏まえ、佐賀県海域を中心とした中西部漁場の再生のために現時点でできることは、図17に示したように産卵母貝の確保と生息場の整備である。

立ち枯れ斃死発生以降、沖合海域には産卵母貝となりうる貝の生息量は著しく減少している。そうした中で、数年おきにみられる大牟田沖のまとまった量の稚貝の発生、さらには2008年の西部海域を中心とした稚貝発生の起点となる母貝の生息域、すなわち主な浮遊幼生の供給源は干潟域であると考えられる。

潜水器漁業が休漁となった2012年から2015年の福岡県柳川市の福岡県魚市場（株）筑後中部魚市場におけるタイラギ貝柱の取扱量（図18）をみると、毎年、干潟域において一定量が漁獲されている。ただ、2015年は著しく減少しており、2012年夏季の九州北部豪雨により、浮遊幼生の供給源として大きな役割を果たしてきた干潟域の機能が低下したことが懸念される。

こうした状況も踏まえ、干潟域での母貝の保護、他海域からの成貝の移植による中西部漁場における母貝集団の形成、西海区水産研究所・独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海水産研究所(現国立研究開発法人 水産研究・教育機構 瀬戸内海水産研究所)が精力的に取り組んでいる人工種苗生産により得られた稚貝を用いた母貝集団の形成が急務である。

なお、2009,2010年においても西部漁場も含め広範囲で稚貝の発生がみられ⁴⁶⁾、特に2009年の発生量は、データとして比較できないが広範囲に漁場が形成されていた1970～1980年代の発生量に相当するものと推察される。荒巻ら⁴⁶⁾は、大量発生の要因の一つとして、2009年冬季の潜水器漁業の漁獲対象となった当歳貝が西部漁場に

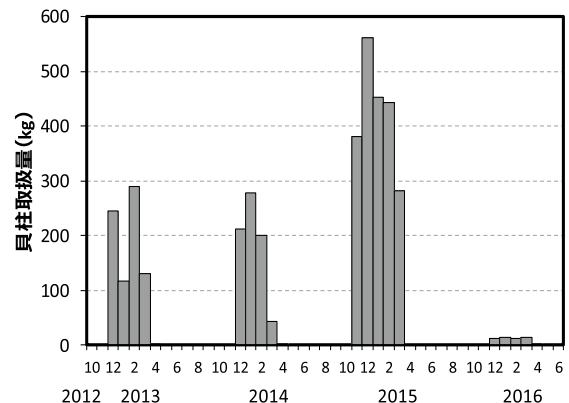


図18 筑後中部魚市場におけるタイラギ貝柱取扱量

多数生息（推定生息数約6千万個体）し、その当歳貝が母貝集団として機能した可能性を指摘している。このことから、中西部漁場における母貝集団の形成は重要と考える。また、2015年から、有明海における浮遊幼生の供給ネットワークを明らかにするため、4県が協調して浮遊幼生調査を行っている。今後は調査結果をもとに、有明海全域において産卵母貝の保護、さらには母貝集団の形成に取り組むこととなっている。

こうした産卵母貝の確保と並行し、生息場の整備が不可欠である。室内飼育で観察された成熟幼生の着底行動¹³⁾や、島崎ら¹⁹⁾、古賀ら^{1,20,21)}が指摘したように、成熟幼生が着底稚貝へと変態するための貝殻片などの付着基質が海底泥表層に存在することが重要である。福元・荒巻⁷⁵⁾は粉碎したサルボウ殻を一定量底泥に散布し耕耘することで稚貝の発生量が増加することを確認した。佐賀県ではその技術を活用し、2014年から漁場造成に取り組んでいる。さらに2001年から行っている海底耕耘は付着基質を海底泥表層に露出させるためにも継続して行うことが必要であろう。加えて、東部漁場も含めた食害対策のためのナルトビエイ駆除についても、継続して行うことが重要であると考えられる。

こうした取り組みを継続強化して行うことは当然のことながら、国においては、湾奥部西部海域を中心とした夏季に発生する貧酸素水塊への対応策、そして底質環境の改善に繋がる抜本的な方策が講じられることを切に願う。

2) 立ち枯れ斃死の原因究明

2000年の立ち枯れ斃死確認以降、先述したように、タイラギの基礎的な生理生態に関する研究、水質・底質環境に関する様々な調査研究が行われてきたが、いまだ、発生メカニズムの解明には至っていない。ただ、長年の調査研究で明らかになったことは、立ち枯れ斃死は、“突然に、かつ一斉に”発生する大量死で、その発生海域は大牟田沖漁場に限られることである（現在は漁がなされていない荒尾沖漁場を含む）。

こうした状況を踏まえると、立ち枯れ斃死の要因としては、「大牟田沖漁場」といった海域の問題が考えられる。大牟田沖漁場の水質、底質環境については、前述した環境省請負業務による調査研究⁶⁵⁾において詳細な調査が行われている。しかしながら、逸見ら⁷²⁾、的場ら⁷³⁾の実験結果から、立ち枯れ斃死を引き起こす原因として、大牟田沖漁場の底質環境が改めて問題視される。

なお、2015年に大牟田沖漁場に発生した当歳貝および

1歳貝では立ち枯れ斃死は確認されなかったが、一部の海域に生息していた当歳貝は成長の著しい停滞がみられた。しかし、成長が停滞した当歳貝を佐賀県海域に移植すると、成長の停滞が解消され順調に成育した⁷⁶⁾（図19）ことを書き添えておく。

環境省請負業務による調査研究⁶⁵⁾において、大牟田沖漁場では底泥中の硫化水素濃度が高くなることが観測されているが、山元ら⁶⁴⁾の研究により明らかになった底泥中にある間隙水のタイラギ体腔内への取り込みを考慮して、例えば底泥中の塩分変化（湧水）などの連続観測、さらには、荒巻ら³⁸⁾が指摘した定期的な採泥によるタイラギへの暴露試験など様々な観点からの調査が必要と考える。

こうした、底泥を中心とした原因究明のための取り組みは県レベルでは困難である。再度、国が中心となって、関係する研究機関の総力を結集し、原因究明を行うことが強く望まれる。発生メカニズムの解明なくして、その対策はありえない。

6. おわりに

2000年の有明問題以降、タイラギの不漁について、これまで述べてきた内容も含め様々な調査研究が行われてきた。その結果、タイラギに関しては、生理・生態など様々なことが明らかになった。さらには、潮流に関する様々なシミュレーションや底質に関する調査、DOなどの水質環境の連続観測体制の構築など多額の調査費、人的予算が投じられ、多くの研究成果が得られことは事実であり、このことを否定するものではない。ただ、その多くの研究成果は、“タイラギがなぜ獲れないのか”、“その原因は何か”、といった漁業関係者、とりわけタイラギ潜水器漁業を生業とされてきた漁業者の間に対し

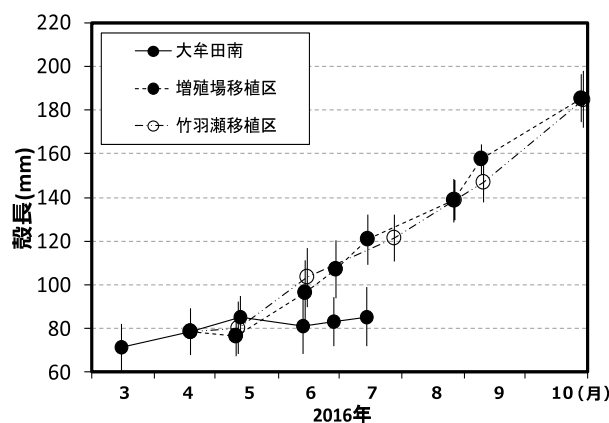


図19 大牟田沖漁場から佐賀県海域に移植したタイラギの成長の推移(福元ら⁷⁶⁾2017を改変)

て未だ答えることができてない。「有明海異変」から16年が過ぎようとしている。これが現状である。

タイラギ漁場の縮小を引き起こした根本原因、立ち枯れ斃死の発生メカニズムを明らかにすることは、有明海が抱えているすべての諸課題の解明に繋がる。タイラギ潜水器漁業の復活なくして真の有明海の再生はあり得ない。タイラギ潜水器漁業復活は有明海再生のシンボルである。

追記 本稿は2016年晩夏に書き終えた。その時点では、大牟田沖漁場に発生した2015年級群は、先述したように一部のエリアで成長が停滞する現象はみられたものの、危惧された立ち枯れ斃死の発生も確認されず順調な成育を示していた。このため、5季ぶりの潜水器漁業の操業が期待された。ただ、ナルトビエイによる食害が確認されていたことから、佐賀県有明海漁業協同組合（以下、有明海漁協と記す）には、ナルトビエイ駆除の強化をお願いするとともに、有明海漁協から福岡県有明海漁業連合会および福岡県潜水器業者会に対し、食害被害軽減のための刺し網の設置などを強く要請した。また、有明海漁協のご配慮により、著者も9月9日に開催された福岡・佐賀合同役員協議会において、福岡県に食害対策への協力をお願いした。しかしながら10月12日の調査において、香田利久氏は無残にも噛み砕かれた無数の殻と多数の食害痕を確認した⁷⁷⁾。そして、気落ちした担当者からの状況報告を受けることになった。結果論ではあるが、我々がとり得る食害対策が必ずしも十分であったとは言えない。忸怩たる思いである。

本稿で述べてきた、タイラギ潜水器漁業の復活に向けた取り組みは無論のこと、今回の反省を踏まえ、県がやれること、すべきこと、漁業団体・漁業者がやれること、すべきこと、を再度、県域を越えて認識し、県、漁業団体・漁業者が連携した取り組みの強化が不可欠である。

謝 辞

本稿を取りまとめるにあたり、懇切な御指導をいただいた長崎大学教授 北村 等博士に謹んで深謝の意を表す。資料の取りまとめなどに御協力いただいた佐賀県有明水産振興センター 荒巻 裕副所長、梅田智樹資源研究担当係長、ならびに福元 亨特別研究員に深く感謝の意を表す。香川県水産試験場前場長 坂本 久氏、岡山県農林水産総合センター水産研究所所長 萱野泰久氏には、香川県および岡山県のタイラギ漁獲量のデータを

提供いただいた。ここに感謝の意を表す。さらに、熊本県水産研究センターの調査位置図を提供いただいた熊本県水産研究センター所長 平山 泉氏、熊本県農林水産部主幹 那須博史氏に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) 古賀秀昭・荒巻裕(2013):佐賀県有明海におけるタイラギ漁業の歴史と漁場形成要因-特に2009年度漁期の豊漁要因についてのいくつかの考察-. 佐賀有明水振七研報,(26),13-24.
- 2) 伊藤史郎(2001):タイラギ資源の変動. 平成13年度日本水産学会九州支部例会講演要旨集.
- 3) 伊藤史郎(2004):有明海における水産資源の現状と再生. 佐賀有明水振七研報,(22),69-80.
- 4) 伊藤史郎(2006):「有明海異変」.特にタイラギ資源の減少と今後. 海洋と生物,28,625-635.
- 5) 環境省(2006):有明海・八代海総合調査評価委員会委員会報告書. 東京. pp85.
- 6) 松山幸彦(2012):「タイラギの異常と資源回復への取り組み」・豊穣の海・有明海の現状と課題(大嶋雄治編). 恒星社厚生閣. 東京. pp.53-62.
- 7) 伊藤史郎・川原逸朗・大隈斉(2004):有明海産二枚貝の初期生態の解明による資源回復策-ウミタケ・タイラギ・クマサルボウ・アゲマキ-. 平成16年度日本水産学会九州支部例会講演要旨集.
- 8) 鈴木健吾・塚本達也・渡辺康憲・興石裕一・木元克則・吉田幹英・藤崎博・藤井明彦・那須博史・前野幸男(2009):2003年から2005年までの有明海におけるたいらぎ類の浮遊幼生および稚貝の分布. 水産海洋研究,73(3),161-171.
- 9) 福元亨・梅田智樹・荒巻裕・伊藤史郎(2017):有明海湾奥部におけるタイラギ浮遊幼生の生残に及ぼす低塩分の影響. 佐賀有明水振七研報,(28),51-55.
- 10) 濱本俊策・大林萬輔(1984):タイラギの人工採卵と幼生飼育に関する問題点. 栽培技研,13(2),13-27.
- 11) 伊東義信・野田進治・伊藤史郎(1984):タイラギ種苗生産研究. 昭和55~58年度佐賀漁事業報告,28-41.
- 12) 大橋智志・藤井明彦・鬼木浩・大迫一史・前野幸男・吉越一馬(2008):タイラギ浮遊幼生および着底稚貝の飼育(予報). 水産増殖,56(2),181-191.
- 13) 川原逸朗・山口忠則・大隈斉・伊藤史郎(2004):タイラギ浮遊幼生の飼育と着底・変態. 佐賀有明水振七研報,(22),41-46.
- 14) 大橋智志(2015):タイラギの種苗生産. 海洋と生物,37(1),43-52.
- 15) 兼松正衛(2016):タイラギの種苗量産化技術開発に成功. 豊かな海,38,3-7.
- 16) 山下康夫・島崎大昭・杉原雄二(1982):タイラギ漁場の形成条

- 件・特に付着基質に関する研究. 昭和56年度指定調査研究総合助成事業報告書, 佐賀, pp42.
- 17) M.Toba, T.Yamakawa, Y.Sugiura and Y.Kobayashi(2008) : Field and laboratory observation on the hypoxic impact on survival and distribution of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* larvae in Tokyo Bay, central Japan, *Plankton Benthos Res* 3(3), 165-173.
 - 18) 蒲原聡・山口智・曾根亮太・堀口敏宏・鈴木輝明(2013) : 貧酸素水がアサリ浮遊幼生の遊泳停止と沈降後のへい死に及ぼす影響. 水産海洋研究, 74(4), 282-289.
 - 19) 島崎大昭・杉原雄二・山下康夫(1983) : タイラギ漁場の形成条件・特に付着基質に関する研究. 昭和57年度指定調査研究総合助成事業報告書, 佐賀, pp24.
 - 20) 古賀秀昭・山下康夫(1986) : 有明海産タイラギに関する研究-IVタイラギの天然採苗に関する試み(1). 佐賀有明水振セ研報, (10), 1-8.
 - 21) 古賀秀昭・中武敬一(1991) : 有明海産タイラギに関する研究-Vタイラギの天然採苗に関する試み(2). 佐賀有明水振セ研報, (13), 11-19.
 - 22) H.Tsutsumi, A.Takamatsu, S.Nagata, R.Orita, A.Umehara, T.Komorita, S.Shibanuma, T.Takahashi, T. Komatsu and S.Shibanuma (2015) : Implication of changes in the benthic environment and decline of macro-benthic communities in the inner part of Ariake Bay in relation to seasonal hypoxia, *Plankton Benthos Res* 10(4), 1-15.
 - 23) 徳永貴久・児玉真史・木元克則・柴原芳一(2009) : 有明海湾奥西部海域における貧酸素水塊の形成特性. 土木学会論文集B2, 65(1), 1011-1015.
 - 24) 岡本和磨・田中勝久・木元克則・藤田孝康・森勇一郎・清本容子(2010) : 有明海北西部における貧酸素水塊と底質がサルボウの大量斃死に与える影響. 水産海洋研究, 74(4), 197-207.
 - 25) 秋本恒基・林宗徳・岩淵光伸・山元憲一(2004) : リシケタイラギの致死酸素飽和度. 水産増殖, 52, 199-200.
 - 26) 郡司掛博昭・大嶋雄治・松井繁明・田上航・今石幸治・本田匡人・諸石淳也・姜益俊・島崎洋平・本城凡夫(2004) : 低酸素海水に反復暴露したリシケタイラギ(*Atrina Lischkeana*)の浮上行動とへい死. 九大農学芸誌, 64(1), 19-22.
 - 27) 荒巻裕・大隈斉(2011) : 有明海佐賀県海域で夏季に発生したタイラギ1歳貝の大量斃死について. 佐賀有明水振セ研報, (25), 1-7.
 - 28) 山元憲一・半田岳志(2011) : タイラギの換水に及ぼす低塩分の影響. 水産増殖, 59(4), 535-540.
 - 29) 川原逸朗・伊藤史郎・山口敦子(2004) : 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響. 佐賀有明水振セ研報, (22), 29-33.
 - 30) 山口敦子 : 有明海のエイ類について-二枚貝の食性に関連して(2003) : 月刊海洋, 35(4), 241-245.
 - 31) A.Yamaguchi, I., Kawahara and S.Ito(2004) : Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyusyu, Japan, *Environmental Biology of Fishes*, 74, 229-238.
 - 32) 井上尚文(1980) : 有明海の物理環境. 月刊海洋科学, 12(2), 116-126.
 - 33) 濱本俊策(1985) : 香川県潜水器漁業の操業実態と漁獲量の経年変動. 香水研報, 1, 59-66.
 - 34) 鎌田泰彦(1980) : 有明海の沿岸地質・海底地形と底質. 海洋科学, 124, 88-104.
 - 35) 山下康夫・小野原隆幸(1980) : 有明海産タイラギに関する研究-III地理的分布, 形態, 性比, 多毛類による被害. 佐賀有明水振セ研報, (7), 95-109.
 - 36) 川原逸朗・伊藤史郎(2003) : 2000, 2001年夏季に有明海北東部漁場で発生したタイラギの斃死-I発生状況. 佐賀有明水振セ研報, (21), 7-13.
 - 37) 川原逸朗・伊藤史郎・筑紫康博・相島昇・北村等(2004) : 有明海北東部漁場で発生したタイラギの斃死-II. 佐賀有明水振セ研報, (22), 17-23.
 - 38) 荒巻裕・福元亨・佃政則・吉村臣史(2013) : 有明海湾奥東部におけるタイラギの立枯れ斃死の発生状況と底泥含有成分の稚貝への影響. 佐賀有明水振セ研報, (26), 7-11.
 - 39) 杉野浩二郎・松本昌大・山本千裕(2010) : タイラギの生息に適した底質条件の検討, タイラギの生息状況とその底質条件. 福岡水海技セ研報, (20), 53-60.
 - 40) 横山寿・石樋由香(2009) : 底質の主成分分析による有明海湾奥部海域の区分. 日本水産学会誌, 75(4), 674-683.
 - 41) 速水祐一(2007) : 有明海奥部の貧酸素水塊-形成機構と長期変動-. 月刊海洋, 39(1), 22-28.
 - 42) 速水祐一(2007) : 有明海奥部の貧酸素水塊. 海洋と生物, 29(6), 577-584.
 - 43) R.Orita, A.Umehara, T.Komorita, J.WooChoi, S.Montani, T. Komatsu and H.Tsutsumi(2015) : Contribution of the development of the stratification of water to the expansion of dead zone: A sedimentological approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164, 204-213.
 - 44) 代田明彦(1998) : ニゴリの生成機構と生態学的意義. 海洋生物学研究所, 東京, pp153.
 - 45) 横内克己・半田亮司・川村嘉広・吉田雄一・山本憲一・清本容子・岡村和磨・藤原豪(2005) : 有明海における水質環境の水平分布と経時変化. 海と空, 80(4), 141-162.
 - 46) 荒巻裕・大隈斉・佃政則(2017) : 2009年および2010年の有明海湾奥部におけるタイラギ稚貝の発生と斃死. 佐賀有明水振セ研報, (28), 63-69.
 - 47) 佐賀県(2011) : 平成22年度有明海特産魚介類生息環境調査(佐賀県沖)委託事業成果報告書. 佐賀, pp238.

- 48) 有明海再生機構(2010):有明海再生機構の中間まとめ. 有明海再生機構. 佐賀. pp74.
- 49) 堤裕昭・小松利光(2016):“有明海湾奥部海域の海底堆積物と潮流速の関係”. 諫早湾の水門開放から有明海の再生(諫早湾開閉研究会議編). 有明海漁民・市民ネットワーク. 東京. pp119.
- 50) 松井繁明・筑紫康博・川原逸朗・伊藤史郎・那須博史・平山泉(2002):有明海北東部漁場におけるタイラギの斃死1. 斃死状況. 2002年度日本水産学会講演要旨集.
- 51) 川原逸朗・伊藤史郎・松井繁明・筑紫康博・那須博史・平山泉・白石晃一・城内智行・北村等(2002):有明海北東部漁場におけるタイラギの斃死2. 成長とグリコーゲン含量の推移. 2002年度日本水産学会講演要旨集.
- 52) 熊谷明・良永知義・松井繁明・筑紫康博・川原逸朗・伊藤史郎(2002):有明海北東部漁場におけるタイラギの斃死3. 病理学的検査と条虫幼生の寄生. 2002年度日本水産学会講演要旨集.
- 53) 松山知正・釜石隆・良永知義・川原逸朗・伊藤史郎・松井繁明・筑紫康博(2002):有明海北東部漁場におけるタイラギの斃死4. 条虫の分類学的位置. 2002年度日本水産学会講演要旨集.
- 54) 石松惇・吉田智恵子・川原逸朗・伊藤史郎・松井繁明・筑紫康博(2002):有明海北東部漁場におけるタイラギの斃死5. 低酸素水中の酸素消費量の比較. 2002年度日本水産学会講演要旨集.
- 55) 松山知正・釜石隆・大迫典久・堤信幸・良永知義・那須博史・平山泉・川原逸朗・伊藤史郎・松井繁明・筑紫康博(2003):有明海のタイラギに寄生する条虫幼虫の終宿主特定. 2003年度日本水産学会講演要旨集.
- 56) 松山知正・釜石隆・大迫典久・堤信幸・良永知義・川原逸朗・伊藤史郎・松井繁明・筑紫康博(2003):二枚貝に寄生する条虫幼虫に関する研究. 2003年度日本水産学会講演要旨集.
- 57) 吉田智恵子(2003):寄生条虫がタイラギの低酸素耐性に及ぼす影響について. 修士論文,長崎大学.
- 58) 川原逸朗・伊藤史郎(2004):タイラギに寄生する条虫の寄生特性. 佐賀有明水振セ研報,(22),25-28.
- 59) Y.Maeno,T.Yurimoto,H.Nasu,S.Ito,N.Aishima,T.Matsuyama,T.Kamaishi,N.Oseko and Y.Watanabe(2005):Virus-like particles associated with mass mortalities of the pen shell *Atrina pectinata* in Japan.*Diseases of Aquatic Organisms* , 71, 169-173.
- 60) 山元憲一・半田岳志・西岡昇(2005):リシケタイラギの鰓換水量の直接測定法. 水産増殖, 53(4),291-296.
- 61) 山元憲一・半田岳志・西岡昇(2005):リシケタイラギの換水に及ぼす鰓損傷の影響. 水産増殖, 53(4), 447-453.
- 62) 山元憲一・半田岳志・西岡昇(2006):リシケタイラギの換水に及ぼす低酸素の影響. 水産増殖, 54(3), 319-323.
- 63) 山元憲一・半田岳志・茅野真澄(2008):リシケタイラギの低酸素に伴う換水の変化. 水産増殖, 56(4), 487-491.
- 64) 山元憲一・半田岳志・那須博史(2008):タイラギ外套腔内への底質の間隙水の侵入. 水産大研報,56,233-235.
- 65) 水産総合研究センター(2010):環境省請負業務結果最終報告書. 長崎. pp78.
- 66) 坂本達也(2009):有明海における水産重要二枚貝リシケタイラギおよびサルボウの環境生理学的研究. 学位論文,長崎大学.
- 67) 荒巻裕・大隈斉(2013):有明海湾奥の底泥間隙水に含まれる硫化水素がタイラギの生残に及ぼす影響. 佐賀有明水振セ研報, (26),1-5.
- 68) 坂本達也・吉田幹英・前野幸男(2008):夏季の有明海干潟域でみられた浮上タイラギの組織学的所見および栄養状態. 水産増殖, 56,587-594.
- 69) 吉田司(2013):タイラギ漁場底質改善の試み. 海洋と生物, 35,472-479.
- 70) 松原賢(2012):“有明海佐賀県海域におけるノリ漁期の植物プランクトン”・豊穡の海・有明海の現状と課題(大嶋雄治編). 恒星社厚生閣.東京. pp.9-23.
- 71) 梅田智樹(2017):有明海佐賀県海域におけるクロロフィルa量の推移. 佐賀有明水振セ研報,(28),8-24.
- 72) 逸見泰久・三好美由紀・川内識史(2013):有明海北東部漁場におけるタイラギ*Atrina* spp.の大量死. 日本ベントス学会誌,67,64-72.
- 73) 的場達人・廣瀬道宣・長本篤・吉田幹英・篠原直哉(2016):有明海福岡県地先におけるタイラギの斃死要因に関する研究IV. 福岡水海技セ研報,(26),1-8.
- 74) 福元亨・梅田智樹・荒巻裕・伊藤史郎(2017):有明海湾奥東部で2015年に発生したタイラギ当歳貝の分布と生息数の推定. 佐賀有明水振セ研報,(28),111-113.
- 75) 福元亨・荒巻裕(2014):有明海佐賀県海域におけるサルボウ粉砕殻を用いたタイラギ漁場造成の効果. 佐賀有明水振セ研報, (27),9-15.
- 76) 福元亨・梅田智樹・荒巻裕・伊藤史郎・Satuito C.Glenn・北村等(2017):タイラギ立ち枯れ斃死の原因究明に関する研究-2015年級群の育成-. 佐賀有明水振セ研報,(28),57-61.
- 77) 福元亨・梅田智樹・荒巻裕・伊藤史郎(2017):ナルトビエイによるタイラギ2015年級群の食害被害. 佐賀有明水振セ研報, (28),115-116.