

有明産タイラギの生物モデルによる大量へい死原因仮説

Hypothesis about a cause of mass mortality of pen shell in Ariake bay using metabolism model

當舎親典¹・吉田司²・中村義治³・中谷祐介⁴・多部田茂⁵・原武史⁶

Shinsuke TOSHA, Tsukasa YOSHIDA, Yoshiharu NAKAMURA, Yusuke NAKATANI, Shigeru TABETA
and Takeshi HARA

Mass mortalities of the pen shell *Atrina* spp. occurred in the fishing grounds of Ariake Bay. We built up the hypothesis about a cause of mass mortality from long-term viewpoint (function of population) and short-term viewpoint (biological function). This study considered a cause of mass mortality from field survey, metabolism model of the pen shell and seasonal variation of glycogen contents. It was suggested that change of age structure and miniaturization lead to less sustainability of population. It turned out that the amount of food in the period from November to May is important for growth of pen shell. If glycogen content is not fully accumulated in this period, the physical strength of pen shell declines in summer or autumn, and it becomes easy to cause mortality.

1. はじめに

有明海では二枚貝類資源が激減している。1980年には8.9万トンあった漁獲量は、2000年には1.1万トンとなった(農林水産統計年報, 1971-2006)。中でもタイラギ(*Atrina* spp.)は毎年12月から翌年3月にかけてヘルメット式潜水により漁獲され、地域特産種の代表として珍重され、漁獲風景は冬季の風物詩となっている。その漁獲量は1980年代には1万トン程度あったものが6~8年周期(山下, 1980)で増減を繰り返しながら近年は数トン程度にまで減少した(図-1)。

有明海では2000年以降の初夏から秋季にかけてタイラギの大量へい死が確認されており(大嶋, 2012)、漁獲量の減少や漁場の縮小の一因となった。これまでの「大量へい死仮説」は貧酸素化説、硫化水素説、捕食説など、現環境下における単一要因説が多く提唱されているが、時空間的に異なる海域で起こるタイラギの大量へい死原因を統一的に説明するに至っていない。

本研究は、タイラギの生物学的な長期的視点(個体群を維持するための機能の低下; 年齢構造と小型・軽量化など)と短期的視点(個体を維持するため機能の低下; 餌料環境の劣化、早熟化など)からタイラギの大量へい死原因の仮説を立てた。仮説は長期的な個体群の維持機能を(1)フィールド調査から短期的な個体の維持機能を(2)タイラギ

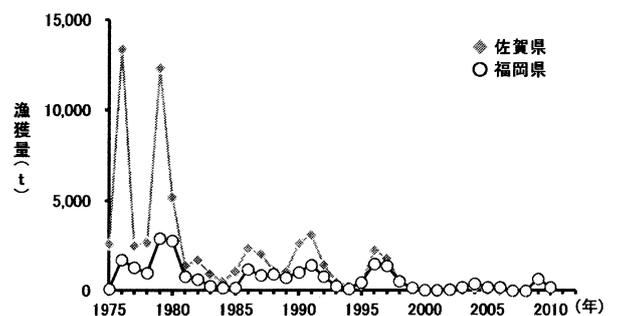


図-1 漁獲量の推移 (農林水産統計年報より作成)

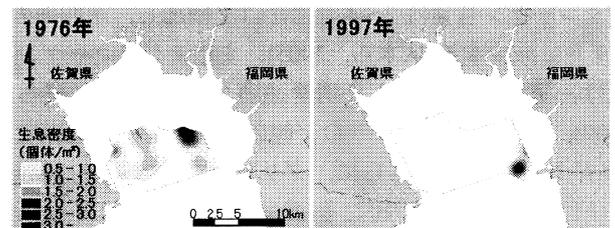


図-2 タイラギの分布 (伊藤, 2004)

の成長速度を表す生物モデルを構築するとともに、(3)タイラギの体力の指標となるグリコーゲン含量の季節変化を定式化することにより、タイラギの大量へい死との関連性を検討することとした。

2. タイラギの大量へい死原因仮説

有明海のタイラギの産卵期は概ね7~9月で、30~40日間程度の浮遊期間を経て、8~10月に着底する。早期に着底した個体はその年の12月には6cm程度となる。翌年の春季には殻長12~13cm、10月には殻長15cmとなり漁獲対象となる。1910年代には殻長30cmを超える6年貝も生息していた(藤森, 1929)。タイラギは1980年代には有明海湾奥部に広く分布していたが、近年では東部海域、福岡県大牟田沖に局所的な分布となった(図-2)。

1		(株) シャトー海洋調査
2	学博	(株) シャトー海洋調査 環境調査部長
3	水博	(一社) 全国水産技術者協会 開発研究部長
4	正会員	工博 大阪大学助教大学院工学研究科
5	工博	東京大学准教授大学院新領域創成科学研究科
6	農博	(一社) 全国水産技術者協会 理事長

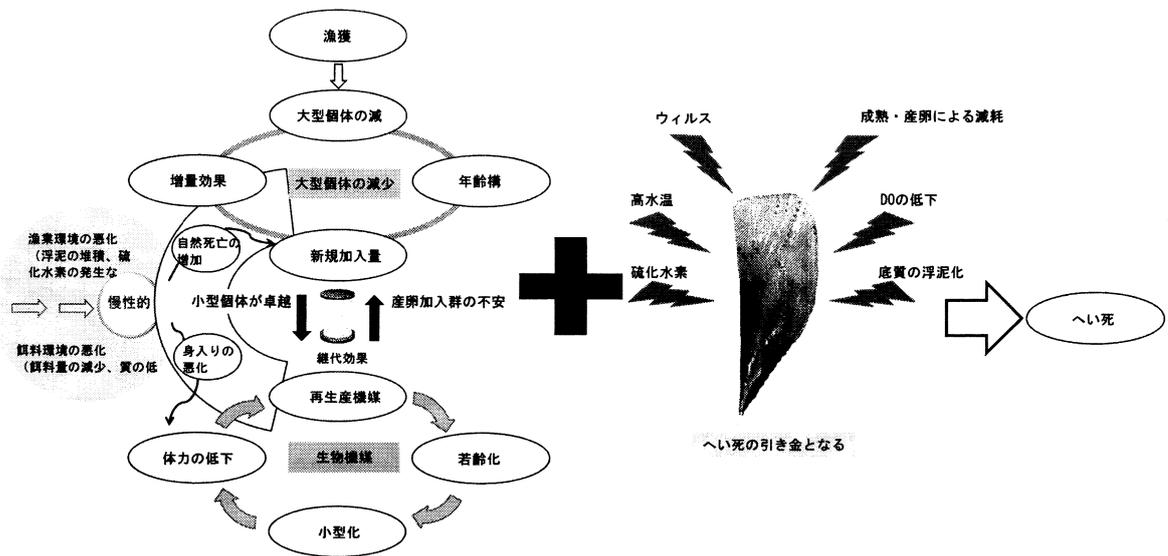


図-3 タイラギの大量へい死原因仮説の概要

タイラギは、海底に体のほとんどを埋ませ、足糸が発達することによって、比較的速い流速にも耐えて息できる形態を有し、植物プランクトンなどの有機懸濁物(POM)を濾過して摂餌する(松山ら, 2010)。濾水量は毎時20Lに及び、少ない餌料量でも大きな濾水能力によって必要な餌料を賄うことができる。濾水量は水温の上昇に伴って増加する(山元ら, 2008)が、SS濃度が0.1mg/L以上になると濾水量を低下させることが実験的に確認されている(前野ら, 2009)。タイラギの産卵期は、生殖腺の組織学的観察から7~9月とされ、性成熟に伴い閉殻筋中のグリコーゲン含量は2~4月にかけて増加し、産卵期の7~9月に減少する(坂本ら, 2005)。また、グリコーゲン含量は、嫌氣的代謝により消費速度が増加する(杉野ら, 2009)。このことはアサリなど他の二枚貝類でも同様である(青山ら, 1999)。さらに、グリコーゲン含量が10mg/gを下回るとへい死が起こる(農林水産省農林水産技術会議, 2005)。

このような有明産タイラギの大量へい死の原因を長期的な個体群の維持機能から推定すると、タイラギは本来、有明海の湾奥部に広く分布していたが近年、福岡県大牟田沖の局所的な海域に生息域が縮小したこと、繁殖能力が高い大型で高齢なタイラギ(寿命は6~7年)がみられなくなり、近年の漁獲は着底から1.5年目の2年貝(殻長15~18cm)で構成され、時空間的に多様な繁殖能力を維持することができなくなっていることによると考えられる。

短期的な個体の維持機能からは、タイラギの餌料となるプランクトンは冬季で減少がみられ(川村, 2012)、餌料量の不足により十分な体力を得ることができなくなった。近年、着底より6ヶ月の殻長6cm程度(0歳貝)で性成熟が確認され、身体形成が主体な時期に早熟化により、適正なエネルギー配分が行われず疲弊すると考えられた。

したがって、タイラギの大量へい死は、ここ20年ほど

の時間的経過の中でタイラギにとって適正な生息域が減少したこと、大型で高齢な個体群が減少するといった長期的な要因に餌料環境の悪化などの短期的な要因が加わることによって起こると考えられた(図-3)。

3. 材料および方法

(1) フィールド調査

図-4に示す有明海東部海域の福岡県大牟田沖で2005年~2010年にかけて覆砂による漁場造成実証調査を行いタイラギの年齢構造、個体の成長を把握するため潜水士により2ヶ月に1回、タイラギを採取し、殻長(cm)、殻付き重量(g)、身肉重量(g)、生殖腺重量(g)を計測した。年齢構造は殻長のコホート解析から年級群を分離し、1978~1979年(山下ら, 1980)と比較した。

年級群の小型・軽量化については1986~1989年の殻長と殻付き重量の相対成長(古賀, 1992)と比較した。

覆砂を行った海域では、2005年8月~2007年2月まで海底から上方に20cmの水深層で、水温、クロロフィルa量(以下、Chl.a)、濁度、溶存酸素濃度(以下、DO)を10分間隔で連続観測した。

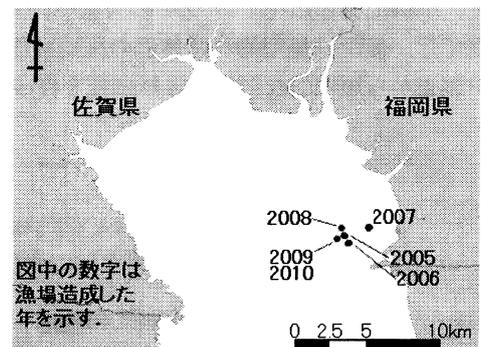


図-4 覆砂による漁場造成実証調査地点

(2) タイラギの生物モデル

タイラギの成長に及ぼす餌料環境や性成熟の影響を把握するため、タイラギの生物モデルを構築した。

生物モデルは中村ら(2003)によるモデルを基本に、式(1)で定式化した。

$$\frac{dWc}{dt} = A - R - G \quad (1)$$

ここで Wc は軟体部の炭素重量 (mgC), A は同化量 (mgC/day) で $A = F - E = F \times Ae$, F は摂餌量, E は排泄量 (mgC/day), Ae は同化効率, R は呼吸量 (mgC/day), G は生殖腺への配分量 (mgC/day) である。

濾水量式は山元ら(2007, 2008), 磯野ら(2000), 酸素消費量式は山元ら(2007)に基づいた。同化効率は濁度が上昇するとタイラギは濾水率を低下させることから $Chl.a$ と濁度の関数(餌料指数)として表した。

濾水量 (L/indiv./h)

$$Ft = 0.7985 \times W^{0.6} \times 0.0543 \times 10^{0.0606 \times Wt} \quad (2)$$

酸素消費量 (μ L/indiv./h)

$$Res = 0.517 \times W^{0.7} \times 10^{0.0183 \times Wt - 2} \quad (3)$$

同化効率

$$Ae = \frac{Chl.a}{Tb} \quad (4)$$

W は軟体部重量, Wt は水温, Tb は濁度である。

(3) グリコーゲン含量の季節変化の定式化

タイラギの閉殻筋中のグリコーゲン含量は、摂餌により蓄積され、呼吸、生殖腺の発達により消費される。また、DO が低下した場合は嫌気代謝により消費速度を増加させる。このようなタイラギの生理状態を閉殻筋中のグリコーゲン含量の季節変化として捉え、定式化を試みた。定式化は 3.0mg/L 以上の酸素飽和時と 3.0mg/L 未満の低酸素時に区別して、タイラギの同化効率とタイラギの呼吸量および生殖腺重量比の関数とした。

DO \geq 3.0 (mg/L) の場合

$$Gly_j = a \times \frac{Chla_j}{Tb_j} \times 10^{-3} - b \times \frac{R_j}{Wb_j} \times 10^{-6} - c \times GI_j \quad (5)$$

DO < 3.0 (mg/L) の場合

$$Gly_j = a \times \frac{Chla_j}{Tb_j} \times 10^{-3} - b \times \frac{R_j}{Wb_j} \times 10^{-6} - c \times GI_j - d \times (3.0 - DO_j) \times 10^{-3} \quad (6)$$

ここで、 j は日、 Gly_j は 1 日のグリコーゲン含量の変化

量を示し、 $Chl.a$ と Tb , R は生物モデルと同じ、 Wb は身肉重量 (g), GI は生殖腺重量比; 生殖腺重量/(身肉重量+生殖腺重量), DO は海底から上方に 20cm の水深層の溶解酸素濃度 (mg/L) である。

ある月のグリコーゲン含量 (Gly) は、初期値を着底日の 8 月 1 日とし、式(5), (6)の 1 ヶ月ごとの変化量の積分値として式(7)によって求めた。

$$Gly(t) = \sum Gly_j + Gly(t-1) \quad (7)$$

ここで、 t は月、 $Gly(t)$ は t 月始めのグリコーゲン含量を示す。式(5), (6)の a , b , c , d の係数は、MS-Excel のソルバーを用いた最小二乗法により求めた。

4. 結果

4.1 フィールド調査

(1) タイラギの年齢構造

タイラギが大量に生息した 1978~1979 年(山下ら, 1980)と 2010 年のタイラギの殻長組成を図-5 に示した。

1978 年 4 月のタイラギの殻長は 11cm と 19cm の 2 組の年級群がみられ、同年 10 月には 6cm の新規加入があった。それらが成長し、翌年 5 月には 10cm(1978 年級群; 1 歳), 19cm(1977 年級群; 2 歳)および 23cm(1975 年級群; 4 歳)の 3 組の年級群で構成された。なお、1976 年級群の発生は小規模であったため計測されていない。

2010 年 5 月のタイラギの殻長は 7cm, 同年 11 月には 6cm の新規加入があった。それらが成長し、翌年 5 月には 8cm(2010 年級群; 1 歳)および 14cm(2009 年級群; 2 歳)の 2 組の年級群となり、近年のタイラギには 3 歳以上の大型で高齢な年級群がみられない。

(2) タイラギの相対成長

1986~1989 年(古賀, 1992)と 2005~2011 年のタイラギの殻長と殻付き重量の相対成長を図-6 に示した。1986~

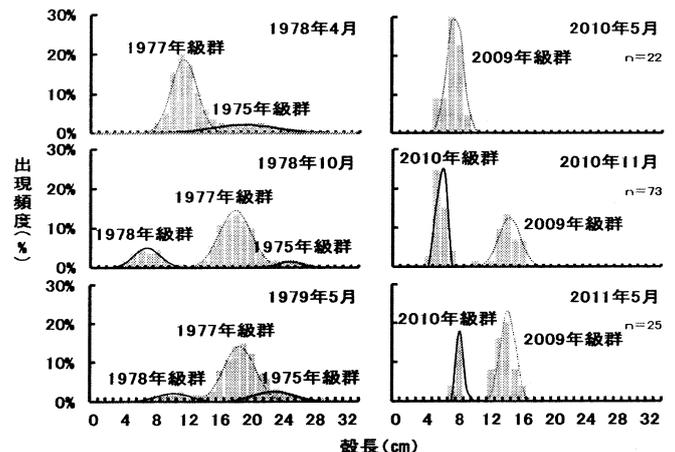


図-5 タイラギ殻長 (cm) 組成の比較

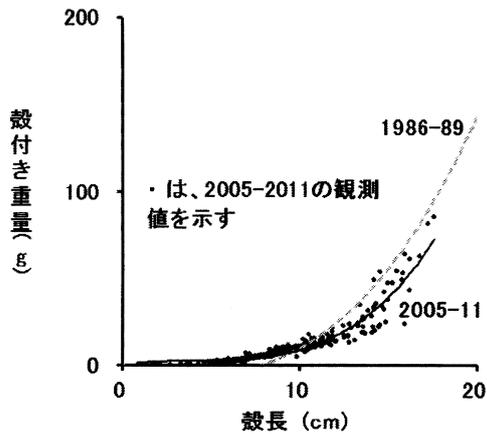


図-6 タイラギの殻長と殻付き重量の相対成長関係

1989年の殻長は5cmで2g, 10cmで17g, 15cmで58g, 20cmになると141gとなった。2005~2011年のタイラギでは殻長5cmで1g, 10cmで12g, 15cmで41g, 18cm以上の個体はみられず, 近年のタイラギは殻長に対して殻付き重量の軽量化がみられる。

4.2 生物モデル

(1) 水温, DO, 餌料指数, 呼吸量, 生殖腺重量比およびグリコーゲン含量の季節変化

福岡県大牟田沖における2006年2月~2007年2月の水温, DO, 餌料指数とタイラギの呼吸量, 生殖腺重量比および2000年, 2006年のタイラギ閉殻筋中のグリコーゲン含量(坂本ら, 2005; 松井ら, 2007)の季節変化を図-7に示した。水温は2月に9.6°C, 8月には25.6°Cとなった。DOは6~8月上旬にかけて低下し, 8月上旬は1.0mg/L以下の貧酸素状態となった。餌料指数は2~5月は0.12~0.16で推移し, 7~12月には0.09~0.13と低かった。呼吸量は水温の上昇に伴って増加し, 10月には最高の1.46μg/月を示した。生殖腺重量比は性成熟に伴って2月から増加し, 9月に0.14となった。

2000年のグリコーゲン含量は, 4月に77mg/gを示した後, 夏季から秋季にかけて低下し, 11月には1mg/gとなった。2006年では7月に19mg/g, 9月に12mg/g, 11月には5mg/gとなった。2000年と2006年のタイラギの大量へい死は, 7~11月にかけて起こり, グリコーゲン含量が低下する時期と重なる。

(2) グリコーゲン含量の季節変化の定式化

2000年, 2006年の実測値と計算値を用いて最小二乗法により推定した式(5), (6)の同化効率, 呼吸量, 生殖腺重量比, 嫌気代謝による消費の各係数は, 3.0×10^4 , 7.2, 5.6×10 , 1.0×10 である。

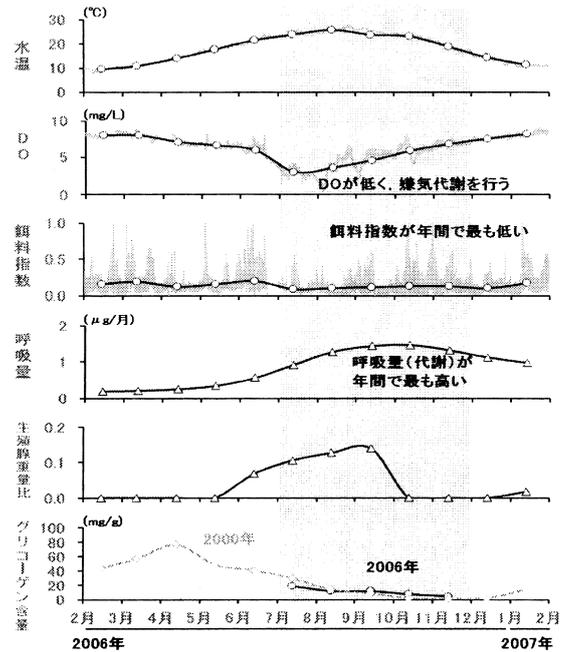


図-7 水温, DO, 餌料指数, 呼吸量, 生殖腺重量比およびグリコーゲン含量の季節変化 (図中の影はタイラギの大量へい死時期を示す)

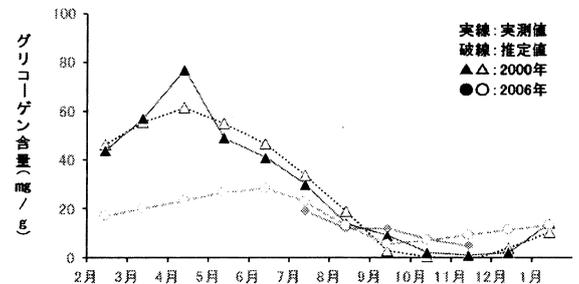


図-8 グリコーゲン含量の実測値および推定値の季節変化

2000年と2006年の2月から翌年1月のタイラギ閉殻筋中のグリコーゲン含量の推定値と実測値の季節変化を図-8に示す。2006年のグリコーゲン含量の推定値は2005年8月~2007年2月の連続観測を用い, 2000年の推定値は, 2006年に比べて餌料量が豊富であったと推定されるため生物モデルにより冬季のChl.-aを2006年の4倍にして式(7)から推定した。

その結果, タイラギの閉殻筋中のグリコーゲン含量の季節変化をほぼ再現することができた。タイラギにとっては冬季の餌の豊度が重要であることが明らかとなった。

5. 考察

(1) 長期的な視点(個体群の維持機能の低下)

近年の有明海産タイラギは有明海東部の局所的な海域に生息している(図-2)。これは有明海西部海域を中心に底質の細粒化が進行したこと(横山ら, 2009), 赤潮・貧酸素

水塊の発生もみられるようになったこと(楠田, 2012)などが影響し、タイラギの生息に適した海域が縮小したことによると考えられた。生息域が局所的となったことが漁業操業を集中させ、殻長 15cm 以上の大型・高齢な個体群が選択的に漁獲されるようになった。このように、有明産のタイラギは年齢構造の変化や個体群の小型・軽量化による繁殖機能の低下が個体群の安定的な維持を難しくしたものと考えられる。

(2) 短期的な視点(個体の維持機能の低下)

タイラギの生物モデルから呼吸量は 11 月に最大となる。生殖腺重量比は 9 月頃に最大となり、この期間に多量の閉殻筋中のグリコーゲンが消費される。

タイラギの大量へい死は、7~11 月にかけてみられ、その時のタイラギ閉殻筋中のグリコーゲン含量は概ね 10mg/g を下回ることがグリコーゲン含量の季節変化の定式化により明らかとなった。

タイラギにとって夏季から秋季は水温の上昇と性成熟によってグリコーゲンが多量に消費され、体力を消耗し、疲弊する時期でもある。さらに、秋季は餌料環境が 1 年を通して最も厳しい時期でもある。このため、7 月頃までにグリコーゲンを十分に蓄積できなかったタイラギ個体群は、急激な体力の低下を招き、同時に起こる水温上昇や産卵活動によるストレスが重なり合い、タイラギの大量へい死の発生へと連鎖していくものと考えられる。また、タイラギの 0 歳からの早熟化は、基礎代謝と成長および性成熟へのエネルギー配分に変調をきたし、疲弊するものと考えられる。

(3) タイラギの大量へい死原因仮説

有明海産のタイラギは、年齢構造の変化や個体群の小型・軽量化による繁殖機能の低下が進み、個体群の安定的な維持を難しくしたこと、近年、有明海では東西海域で透明度の上昇が認められ(楠田, 2012)、特に冬季のプランクトン沈殿量の低下(川村, 2012)が確認されている。タイラギにとって、春季からの成長と性成熟に備えたエネルギーの蓄積に対して冬季の餌料不足はグリコーゲン含量の季節変化などからみてもその影響は大きいと考えられた。

さらに、この期間に十分な餌料が確保できないタイラギにとっては、良質な卵の形成、次世代個体の体力あるいは生残率の低下、さらに遺伝的多様性の低下など再生産機構に影響を及ぼすこととなり、現状の資源の減少を招いていると考えられる。

6. 謝辞

本研究を行うにあたり、有益な知見と助言を頂いた(公財)海洋生物研究所の磯野良介氏、(独法)国際農林水産業

研究センターの塚本達也氏に感謝の意を表します。さらに、現地調査にご協力いただいた福岡県、佐賀県の漁業者の方々にお礼申し上げます。

なお、本研究は水産庁「水産基盤整備調査委託事業」で実施した調査の一部を取りまとめたものである。

参考文献

- 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明・中尾徹・今尾和正(1999): 三河湾における貧酸素化によるアサリ(*Ruditapes philippinarum*)の死亡率の定式化 II, 海洋理工学会誌, 5, pp. 31-36.
- 磯野良・中村義治(2000): 二枚貝による海水濾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(11), pp. 683-689.
- 伊藤史郎(2004): 有明海における水産資源の現状と再生, 漁獲量変動の周期性について. 佐有水研報, 7, pp. 85-88.
- 大嶋雄治編(2012): 豊穰の海・有明海の現状と課題, 水産学シリーズ(173), 恒星社厚生閣.
- 川村嘉広(2012): 有明海湾奥部におけるノリ養殖の生産状況と窒素の収支, 海洋と生物, 199, pp. 142-148.
- 楠田哲也編著(2012): 蘇る有明海, 恒星社厚生閣, 東京, 361p.
- 古賀秀昭(1992): 有明海産タイラギに関する研究-VI-貝殻表面の類別による形態の相違とその分布, 佐有水研報, 14, pp. 9-24.
- 杉野浩二郎・吉田幹英・伊藤輝昭・松井繁明(2009): 有明海福岡県地先におけるタイラギ斃死要因に関する研究 II, 福岡水海技研報, 19, pp. 83-90.
- 中村義治・深町孝子・真崎邦彦・関根幹男・三村信男(2003): 有明海奥部のサルボウガイ漁場における炭素固定量の評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 50, pp. 1111-1115.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局(2005): 有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明, 432, 130p.
- 農林水産統計年報(1970~2005): 九州農政局, 第 18~53 次.
- 藤森三郎(1929): 有明海干潟利用研究報告, 福水誌, 715p.
- 前野幸男・鈴木健吾・伏屋玲子(2009): 九州沿岸干潟砂泥域における底層の懸濁物がタイラギ等大型二枚貝類の生産力におよぼす影響の解明, 西海区水産研究所主要研究成果集, 13, 21p.
- 松井繁明・田上航・渡邊大輔・伊藤輝昭・吉田幹英(2007): 貧酸素条件におけるリシケタイラギの呼吸代謝について, 福岡水海技研報, 17, pp. 61-66.
- 松山幸彦・鈴木健吾・伏屋玲子(2010): 九州沿岸干潟砂泥域における底層の懸濁物がタイラギ等大型二枚貝類の生産力におよぼす影響の解明, 西海区水産研究所主要研究成果集, 14, 23p.
- 山下康夫(1980): 有明海産タイラギに関する研究-I, 漁獲量変動の周期性について, 佐有水研報, 7, pp. 85-88.
- 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, 多毛類による被害について, 佐有水研報, 7, pp. 95-109.
- 山元憲一・半田岳志・茅野直登(2007): リシケタイラギ摂餌時における換水の変化, 水産増殖, 55(3), pp. 381-385.
- 山元憲一・半田岳志・茅野直登(2008): タイラギの低酸素に伴う換水運動の変化. 水産増殖, 56(4), pp. 487-491.
- 塚本達也・前野幸男・松井繁明・吉岡直樹・渡邊康憲(2005): タイラギの性成熟と各種組織におけるグリコーゲン含量との関係, 水産増殖, 53(4), pp. 397-404.
- 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, 日水誌, 75, pp. 674-683.