

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

松井 繁明・田上 航・渡邊 大輔・伊藤 輝昭・吉田 幹英
(研究部・有明海研究所)

The respiratory metabolism of Tairagi from Ariake Sea in the poverty oxygen condition

Shigeaki MATSUI, Wataru TANOUÉ*¹, Daisuke WATANABE, Teruaki ITOU and Mikihide YOSHIDA
(Research Department・Ariakekai Laboratory)

タイラギ (*Atrina pectinata japonica*) は伊勢湾から有明海など、内湾の砂泥域に生息する大型の二枚貝で、福岡県では有明海の重要な漁業資源である。有明海では、最盛期に約3000 t/年の漁獲があり、そのほとんどが11～1月の約3ヶ月の間に行われる潜水器漁業によるものであった。タイラギは他の二枚貝と同様資源の増減が激しく約6～8年周期で増減を繰り返す¹⁾。しかし、1999年から、潜水器漁業の漁場である沖合海域で大量斃死が発生し、現在まで、漁期に入っても漁獲対象となる資源はほとんどない状態が継続している^{2), 3)}。大量斃死の原因については、環境面では貧酸素水塊の発生、浮泥の増加や底質の悪化、餌料となるプランクトンの減少等様々な方面から研究がなされている^{3), 4)}。また、条虫の寄生やウイルスについても検討がなされてきたが、いずれも斃死原因の解明には到っていない⁵⁻⁸⁾。これまでの研究ではタイラギの衰弱から斃死にいたる内的な要因についての研究は少なく、斃死に至るメカニズムは明らかにされていない。このため、タイラギの斃死原因を明らかにするためにはタイラギの生理的な変化からそのメカニズムを調べる必要がある。今石ら⁹⁾はタイラギの嫌気条件下での呼吸代謝に注目し、代謝物である有機酸濃度の変化を調べた。この結果、タイラギが嫌気条件下でアサリ等と同様に嫌氣的な代謝を行っていることが明らかになり、また、開閉センサーを使った試験から嫌気条件下において開閉運動が変化することが示された。本研究では、嫌気条件下におけるタイラギの呼吸代謝物とグリコーゲン含量を漁場別に測定し、生理的な状態を把握することで斃死に至る過程について考察した。

方 法

1. 有機酸濃度とグリコーゲン含量の測定

有明海北東部福岡県地先漁場から2006年7～11月まで毎月1回漁場別 (Stn. 1 沖合漁場, Stn. 2 干潟38号漁場, Stn. 3 干潟4号漁場) にリシケタイラギ (以下タイラギとする。) を採取しサンプルとした(図1)。

採取した貝は殻長、全重量を測定した後、屋内水槽で6～7間日馴致飼育した。その後砂を入れた30Lパンライト水槽に収容し潜砂させ、窒素ガスで溶存酸素濃度0.2mg/l以下にした水塊に、有明海の貧酸素水塊の持続時間を考慮して約6時間暴露した。暴露後、軟体部を解剖して閉殻筋を採取し液体窒素を使い凍結固定した。検体は-80℃で冷凍保存し、後日閉殻筋の呼吸代謝物 (有機酸濃度: リンゴ酸, ピルビン酸, コハク酸, 乳酸, フマ

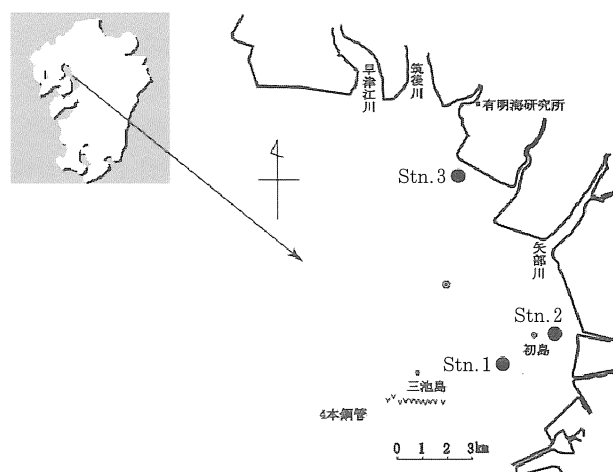


図1 調査地点

*1 九州大学大学院

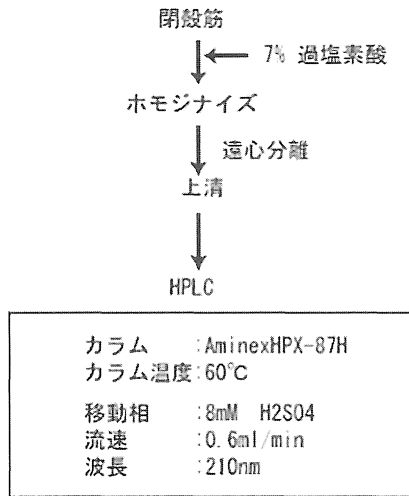


図2 有機酸濃度の測定方法

ル酸)をHPLCを使って測定した(図2)。グリコーゲン含量については馴致飼育前の個体と貧酸素水塊暴露後の個体の閉殻筋を同様に凍結保存後アンスロン法¹⁰⁾で測定し組織の湿重量1gあたりの含量として算出した。また、沖合漁場で斃死の始まった8月30日に漁場で衰弱して海底から浮き上がった貝と潜砂して活力のある貝を潜水による目視で区別して採集し、船上で液体窒素を使い固定した。固定したサンプルは研究所に持ち帰り同様の方法で有機酸濃度とグリコーゲン含量を測定した。

2. 飼育試験

Stn.1から7月7日に採取した貝とStn.2から7月13日に採取した貝について飼育試験を行った。砂を入れた屋内水槽(50Lパンライト)に各漁場の貝を5個体ずつ(10個体/水槽)収容し、2水槽で計20個体(Stn.1, 10個体, Stn.2, 10個体)を7月27日~10月1日までの約2ヶ月間飼育した。飼育には1次砂濾過海水を使用しエアレーションを行い、飼育期間中斃死個体を計数するとともに水温、溶存酸素、クロロフィル、底質の硫化水素、酸化還元電位を測定した。また、飼育開始時と終了時に、殻長、全重量、グリコーゲン含量、嫌気条件下での有機酸濃度を前述と同様の方法で測定し比較した。

結 果

1. 有機酸濃度

各月の嫌気条件下における有機酸濃度の場所別測定結果を図3に示す。嫌気条件下の呼吸代謝の最終生成物であるコハク酸についてみると調査期間を通じて沖合漁場から採取した貝に多い傾向がみられ、8月の測定では最大値 $2.82 \pm 1.68 \mu\text{mol/g}$ を示した。干潟から採取した貝

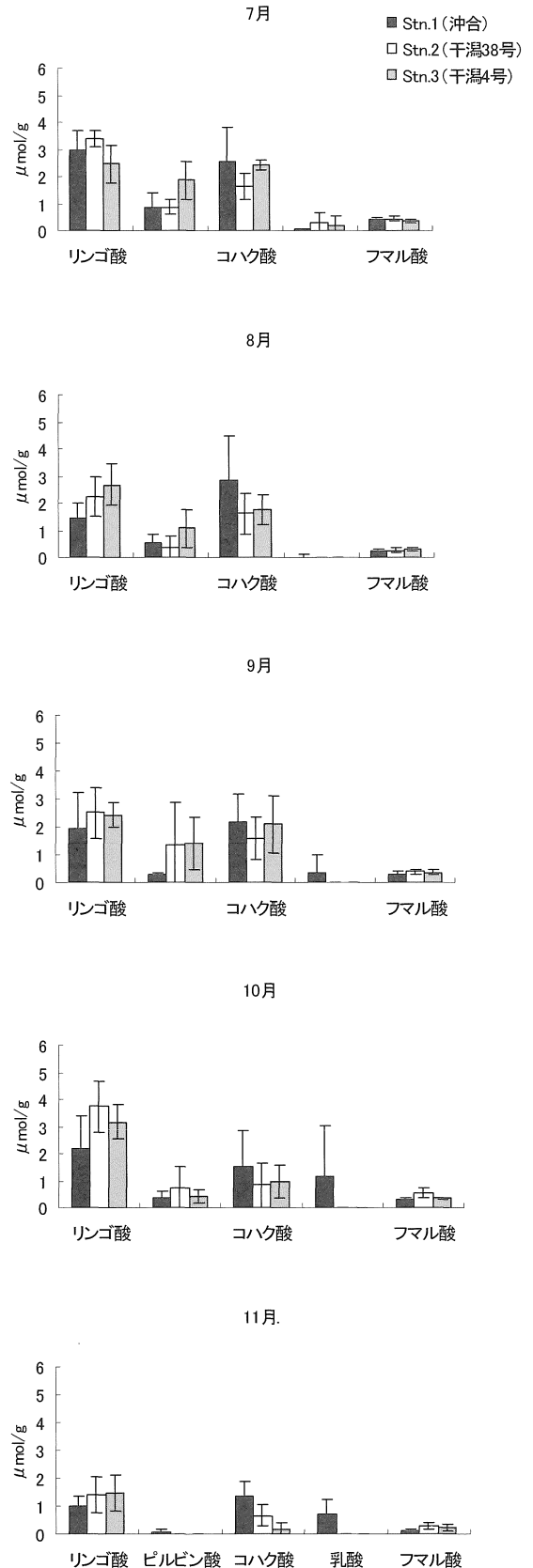


図3 嫌気条件下における有機酸(呼吸代謝物)濃度

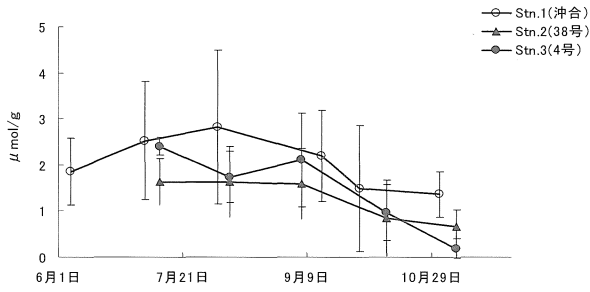


図4 コハク酸濃度の経時変化

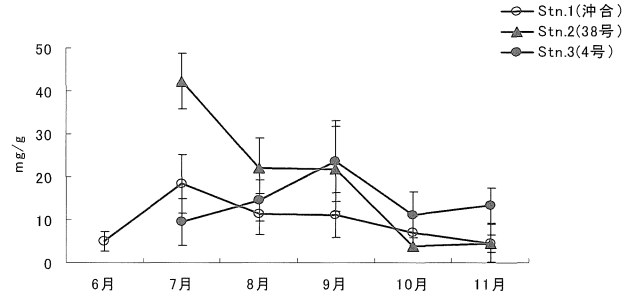


図6 グリコーゲン含量の経時変化

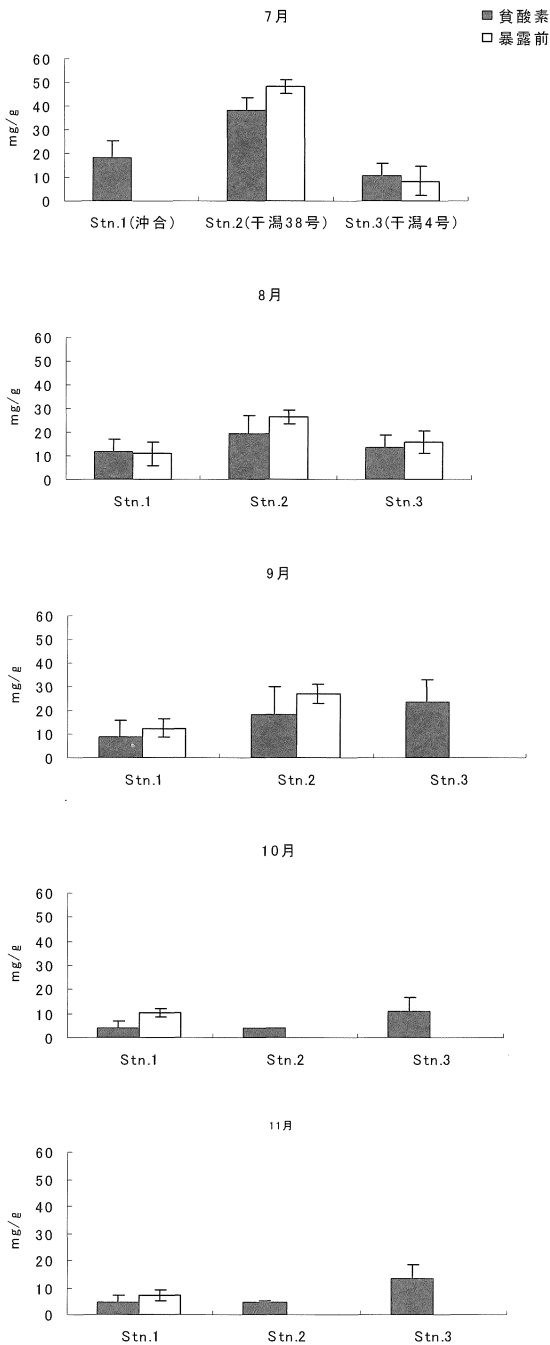


図5 グリコーゲン含量の漁場別変化

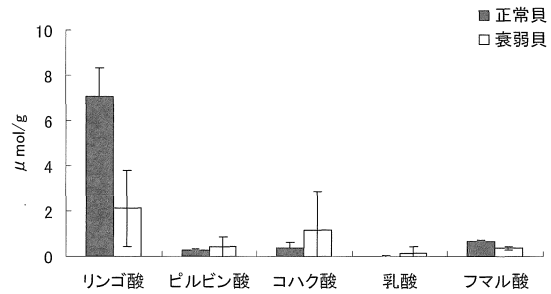


図7 沖合漁場で測定したタイラギの有機酸濃度

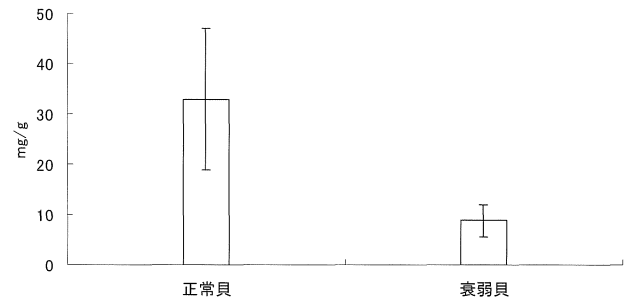


図8 沖合漁場で測定したグリコーゲン含量

も嫌気条件下でコハク酸濃度の上昇がみられた。(最大値: Stn. 2 干潟38号7月の測定で $1.63 \pm 0.50 \mu\text{mol/g}$, Stn. 3 干潟4号7月の測定で $2.40 \pm 0.19 \mu\text{mol/g}$)。嫌気条件下でのコハク酸濃度の経時変化を図4に示す。コハク酸濃度は7~9月にかけて高く9~11月に減少する傾向を示した。いずれの調査点でも11月が最も低く、最低値 Stn. 1 で $1.37 \pm 0.50 \mu\text{mol/g}$, Stn. 2 で $0.67 \pm 0.36 \mu\text{mol/g}$, Stn. 3 で $0.18 \pm 0.21 \mu\text{mol/g}$ を示した。

グリコーゲン含量の各調査点別の測定値を図5に、経時変化を図6に示す。グリコーゲン含量を貧酸素水塊に暴露する前後で比較すると暴露後に減少する傾向がみられたが、今回の試験では明確な差は生じなかった。経時的な変化をみると Stn. 1 では、7月が最も高く $18.47 \pm 6.83 \text{mg/g}$ を示し、その後減少し11月には最低値 $4.58 \pm$

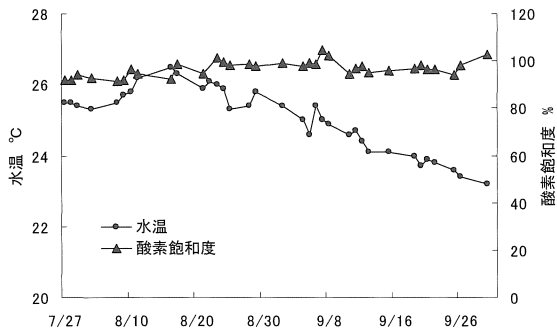


図9 飼育水槽の水温と酸素飽和度

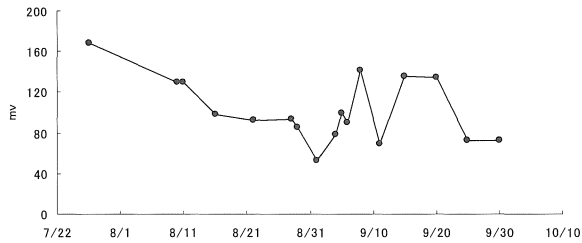


図10 飼育水槽底砂の酸化還元電位

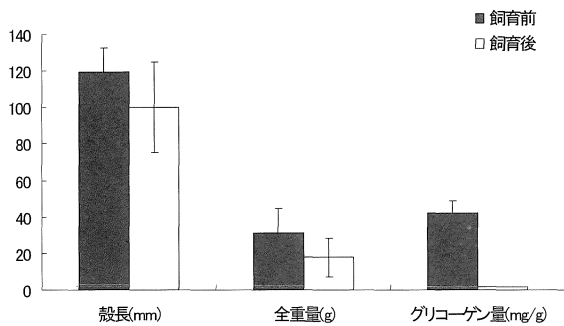


図11 殻長、全重量、グリコーゲン含量の飼育前後の変化

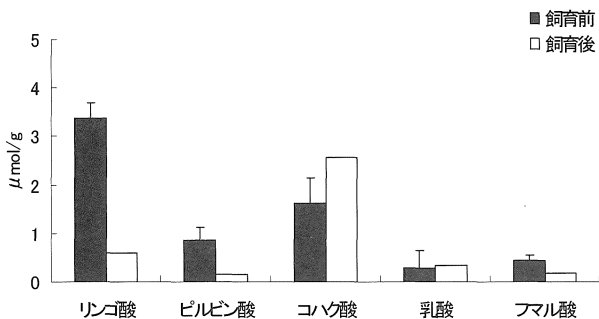


図12 嫌気条件下での有機酸濃度の飼育前後による変化

4.45mg/gを示した。Stn. 2では7月に最も高く42.3±6.44mg/gを示し8月から減少して10月に最低値3.77±0.32mg/gを示した。Stn. 3（干潟4号漁場）では、7月は9.65±5.45mg/gと他の試験区と比較して低い傾向を示したが9月にかけて増加し最大値23.73±9.48mg/gを示した。10月にかけて再び減少し最低値11.20±5.28mg/gを示した。

8月30日にStn. 1（沖合漁場）の船上で固定した貝の呼吸代謝物の測定結果を図7に示す。好気条件での最終生産物であるリンゴ酸濃度は、正常に潜砂している貝は7.05±1.29μmol/g、衰弱して浮き上がっている貝は2.14μmol/gで正常に潜砂している貝が浮き上がっている貝に比較して高かった。グリコーゲン含量は潜砂している貝は33.00±14.00μg/g、浮き上がっている貝は8.78±3.28μg/gと正常に潜砂している貝に比べて浮き上がっている貝は低かった（図8）。

2. 飼育試験

飼育を行った水槽の水温は8月16日に最高値26.5℃まで上昇した後低下し、終了時の9月26日には最低値23.4℃まで低下した。溶存酸素は飼育期間を通じて90%以上を示した（図9）。底砂中の酸化還元電位は53～168mVと常に+の値を示し（図10）、底質の硫化水素は0.02mg/g-dry以下と調査期間を通じてほとんど検出されなかった。

飼育終了時の生残個体について嫌気条件下の呼吸代謝物を測定した。Stn. 1の貝は終了時の61日までに全体の80%が斃死したため生残個体が少なく供試することが出来なかった。Stn. 2の個体は、閉殻筋が著しく萎縮していたため1検体ではグリコーゲン含量と有機酸濃度の測定必要量を満たすことが出来ず、4検体を併せて測定した。Stn. 2の飼育開始前後の殻長、全重量、グリコーゲン含量の変化を示す（図11）。殻長については有意の差は無く成長が認められなかった。全重量については飼育前31.50±13.43gが飼育後17.83±10.57gと約60%の減少が見られた。グリコーゲン含量は、開始時42.38±6.44mg/g、終了時1.66mg/gと著しい減少傾向がみられた。呼吸代謝物は、飼育前、飼育後いずれの個体も嫌気条件下でコハク酸の上昇がみられ、飼育前1.635±0.50μmol/g、飼育後2.578μmol/gと飼育後の濃度が飼育前の貝の濃度を上回った（図12）。

考 察

今回行った調査では、Stn. 1（沖合漁場）、Stn. 2（干潟38号漁場）、Stn. 3（干潟4号漁場）いずれの漁場

の貝も嫌気条件下では最終生産物であるコハク酸濃度の上昇がみられ、生息場所による大きな差は無かった。これは、いずれの貝も嫌気条件下で正常な呼吸代謝が行われているとことを示している。タイラギの斃死原因として貧酸素水塊の発生が言われているが、今回行った試験からは沖合の貝が干潟の貝に比較して嫌気耐性が低いという結果は認められ無かった。タイラギの貧酸素耐性は秋本¹¹⁾の試験からも比較的高い事が示されている。福岡県北東部有明海のタイラギ漁場における貧酸素水塊の発生は最長で約6時間ほどであり酸素飽和度も最低で13%前後である^{12),13)}。このことから考えて、貧酸素水塊の発生がタイラギの直接の斃死原因とは考え難い。

コハク酸濃度は7～8月にかけて高く、秋季10, 11月に減少する傾向がみられた。これは、生殖腺発達によるグリコーゲン含量の減少もしくは水温の低下等による貝の活性低下が原因と考えられる。

グリコーゲン含量はタイラギの場合閉殻筋を中心とする筋組織に蓄えられる¹⁴⁾。このため今回のグリコーゲン含量の増減は外套膜等他の組織の傾向と一致し、貝全体の状態を示している。Stn. 1とStn. 2の貝は夏季から秋季にかけてグリコーゲン含量の減少傾向が見られた。これは坂本¹⁴⁾らが行った沖合のタイラギのグリコーゲン含量の増減傾向と一致しており、生殖腺の発達による減少と推測される。今回の測定では坂本らの実験と比較して全体にグリコーゲン含量の値が低い傾向がみられたが、これは、供試貝を呼吸代謝物濃度の測定試験まで無給餌で馴致飼育したための期間中の減少であると考えられる。Stn. 4では7月にグリコーゲン含量の減少が見られたが、9月にかけて回復し10月に減少しており、通常の生殖腺発達による減少の他に餌料環境による影響が示唆された。

斃死が起こり始めた8月下旬に沖合漁場で行った測定結果では、正常に潜砂している貝に比較して浮き上がった貝は好気状態での最終生産物であるリンゴ酸の濃度が低かった。潜砂している貝はリンゴ酸の明確な上昇がみられ好気状態での呼吸代謝が正常に行われていると判断できるが、これに対して浮上している貝はリンゴ酸濃度が低くコハク酸濃度に上昇がみられる等、好気条件下で正常な代謝が行われていないことが示唆された。

グリコーゲン含量についてみると、潜砂している貝がこの時期の標準的な濃度を示しているのに比較して浮上している貝の含有量は著しく低かった。このことも、好気条件下での正常な代謝が阻害されていることを示唆している。飼育試験では、無給餌飼育のため飼育後の個体にグリコーゲン含量の著しい減少がみられたが、この貝の嫌気条件下での呼吸代謝濃度は飼育前と比較して差はなく、コハク酸濃度の正常な上昇がみられた。この

ことから、餌料環境によるグリコーゲン含量の低下が嫌気条件下における呼吸代謝に影響を与えず、嫌気耐性の低下をもたらさないことが明らかになった。今回の試験から、餌料環境の悪化や生殖腺の発達に伴うグリコーゲン含量の減少は、嫌気条件下における呼吸代謝に影響は少なく、貧酸素耐性に影響を与えないと言える。むしろ、漁場で測定した浮上した貝にみられるようなグリコーゲン含量の減少は、好気条件下での代謝が正常に行われていないことによるものであると推測される。このため、好気条件下の代謝が阻害された貝は、良好な環境下でもグリコーゲン含量の増加は望まず、生殖腺の発達や嫌気条件下のグリコーゲン含量の消費が衰弱の原因となる。グリコーゲン含量の低下が斃死の原因となることはアコヤガイ等では報告がなされている¹⁵⁾。タイラギは、8～11月に生殖腺の発達でグリコーゲン含量が著しく低下することからこの時期の代謝の阻害とグリコーゲン含量の減少は斃死の原因となることが考えられる。また、貧酸素水塊の発生によって低酸素状態に暴露されることは、タイラギの直接的な斃死要因とは考え難いが、嫌気条件下で代謝を行うことによりグリコーゲン含量の減少を促進することで貝の衰弱と斃死に影響を与えている可能性がある。今後、タイラギの斃死原因を明らかにするためには、嫌気条件下での代謝がグリコーゲン含量に与える影響を把握するとともに、衰弱して浮上した貝にみられた呼吸代謝の異常について、その原因とタイラギの大量斃死との関係を検討する必要がある。

要 約

- 1) 沖合漁場と干潟のタイラギの嫌気条件下での呼吸代謝物に違いは見られず、いずれも嫌気条件下での最終生産物であるコハク酸の上昇がみられた。今回測定した個体については貧酸素耐性の低下は見られなかった。
- 2) コハク酸の季節変化をみると7～8月にかけて高く11月にかけて減少する傾向がみられた。これは、水温の低下や、生殖腺発達などによるグリコーゲン含量の減少などによる貝の活性が低下するためと考えられた。
- 3) 干潟でも4号では7月にグリコーゲン含量の低下が見られたが9月にかけて回復しており、いずれの漁場の貝も10月に低下する傾向がみられた。通常の生殖腺の発達による増減の他に餌料環境による影響が示唆された。
- 4) 斃死が起こり始めた沖合の漁場で行った測定結果では、正常に潜砂している貝に比較して浮上している

貝はグリコーゲン含量も低く、好気条件下での最終生成物であるリンゴ酸の濃度も低かった。呼吸代謝の異常が考えられ斃死との関連が示唆された。

- 5) 無給時飼育では飼育後の貝にグリコーゲン含量の著しい低下がみられたが、嫌気条件下での呼吸代謝物濃度では異常が見られなかった。餌料によるグリコーゲン含量の低下が嫌気条件下の呼吸代謝に影響を与えないことが明らかになった。

文 献

- 1) 山下康夫：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. 佐有水試研報，第7号，85-88(1980).
- 2) 松井繁明：有明海北東部漁場におけるタイラギの資源変動動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告，第12号，29-35(2002).
- 3) 川原逸朗・伊藤史郎：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. 佐賀水研報，21，7-13(2003).
- 4) 川原逸郎，伊藤史郎，筑紫康博，相島昇，北村等，有明海北東部漁場で発生したタイラギの斃死-II. 佐有水報研，22，17-23
- 5) 松山知正，釜石隆，大迫典久，堤信幸，良永知義，川原逸郎，松井繁明，筑紫康博：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(2003).
- 6) 吉田智恵子：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. 長崎大学大学院生産科学研究課博士課程修了論文，2003，pp33.
- 7) 川原逸郎，伊藤史郎：タイラギ閉殻筋に寄生する条虫 *Tylocephalum* sp. の寄生特性. 佐有水研報，22，25-28(2004).
- 8) 前野幸男，坂本達也，那須博史，平山泉，川原逸朗，伊藤史郎，松山知正，釜石隆，大迫典久，渡辺康憲：タイラギ大量死に関する病理学的検討. 平成16年度日本魚病学会大会講演要旨集，p.62(2004).
- 9) 今石幸治，大嶋雄治，松井繁明，伊藤輝明，島崎洋平，本城凡夫：貧酸素条件下における有明産タイラギの嫌気呼吸とその開閉運動. 2005年日本ベントス学会 講演要旨集.
- 10) 鎌田八朗・浜田龍夫：グリコーゲンの定量におけるアンスロン法と酵素法の比較. 畜産試験場研究報告，43，85-91(1985).
- 11) 秋本恒基，林宗徳，岩淵光伸，山本憲一：リシケタイラギの致死酸素飽和度. 水産増殖，52(2)，199-200(2004).
- 12) 筑紫康博，松井繁明：有明海における貧酸素水塊の分布と発生要因. 福岡県水産海洋技術センター研究報告，第13号，103-110(2003).
- 13) 松井繁明，筑紫康博：有明海北東部漁場における貧酸素水塊の発生，福岡県水産海洋技術センター研究報告，第13号，110-117(2003).
- 14) 坂本達也，前野幸男，松井繁明，吉岡直樹，渡辺康憲：タイラギの性成熟と各種組織におけるグリコーゲン量との関係. 水産増殖，53(4)，397-404(2005).
- 15) 四宮陽一，岩永俊介，山口知成，河野啓介，内村祐之：アコヤガイの秋期の斃死とグリコーゲン含量および糖代謝酵素活性との関連性. 水産増殖，45，47-53(1997).