

原著論文

ナルトビエイによるアサリに対する 食害の防除に関する水槽実験

薄 浩則^{*1}・崎山一孝^{*2}・山崎英樹^{*2}

Tank Experiments for Prevention of Predation on Short-neck Clam *Ruditapes philippinarum* by Longheaded Eagle Ray *Aetobatus flagellum*

Hironori USUKI, Kazutaka SAKIYAMA and Hideki YAMAZAKI

Several methods were tested for preventing the predation on the short-neck clam *Ruditapes philippinarum* by the longheaded eagle ray *Aetobatus flagellum* (50–85 cm in disc width) in a rearing tank. More than 80% of clams remained after the trial at stockades made of vertical poles spaced at 30 cm or less, cover net of 1.6 cm mesh, submergible floating exclusion net of 18 cm mesh, and submergible floating ropes crossed every 20 cm. Round stones of the same size as the clams showed no preventative effects. Moreover, it was found that the rays were able to suck clams into their mouth together with seawater, and that they also preyed on seeds (10 mm in SH) of the clam, although less than the adults.

2011年10月3日受付, 2012年6月27日受理

ナルトビエイ *Aetobatus flagellum* (Bloch and Schneider) は西部太平洋, インド洋, 紅海にかけての温帯～熱帯の沿岸域に生息し, 日本では1989年に長崎県の五島列島西部沖合での捕獲が初めて記録¹⁾されて以降, 有明海²⁾や瀬戸内海³⁾の他, 秋田県⁴⁾以南の日本海岸, 愛知県(著者私信)以西の太平洋岸など捕獲が記録された場所は徐々に北上・東進し, 2010年には相模湾でも捕獲されるに至った⁵⁾。ただし, 有明海を含む九州沿岸には以前から棲息していたものと考えられている⁶⁾。本種は二枚貝類を好んで大量に摂食することから西日本の貝類漁業に大きな被害をもたらしており⁷⁻¹⁰⁾, 本種による食害への対策はアサリなどの二枚貝類の増養殖推進のうえで大きな課題となっている¹¹⁾。

ナルトビエイによる貝類の食害が明らかになるまで, 日本ではエイ類による貝類の食害に殆ど関心が持たれてこなかったが, アメリカ東岸ではクロガネウシバトビ

エイ *Rhinoptera bonasus*, cownose ray によりカキ類が食害を受け, カキ礁の再生や漁獲の妨げとなるなど, エイ類による二枚貝類への食害は貝類養殖業者にとって40年以上にわたる関心事となっている¹²⁾。また, 1970年代の Chesapeake 湾では同エイがアマモ場に棲息する二枚貝類を捕食するために砂を掘り返すことによりアマモ場がほとんど失われたと報告される¹³⁾など, エイ類は二枚貝類のみならず沿岸生態系に多大な影響を与える存在となっている。

魚類による二枚貝類の食害への対策としては, 捕食魚を刺網などにより積極的に捕獲する「駆除」と, 何らかの工作物等によって漁場や漁獲対象物に捕食魚が接近することを防ぐ「防除」がある(図1)。駆除は直接的に捕食魚の数を減らすため, 継続して実施することにより大きな食害軽減効果が期待されるが, 往々にして多大な労力と経費が必要となり, ナルトビエイのように大型で

*1 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所(横須賀庁舎)

〒238-0316 神奈川県横須賀市長井6-31-1

Stock Enhancement and Aquaculture Division, National Research Institute of Aquaculture, FRA, Nagai 6-31-1, Yokosuka, Kanagawa 238-0316, JAPAN

usuki@fra.affrc.go.jp

*2 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

水産的価値が低い捕食魚の場合は捕獲後の処分方法についても予め十分検討しておく必要がある。また、捕食魚の食性が十分に把握されていない場合は、駆除が逆効果をもたらす可能性も指摘されている¹⁴⁾。防除は捕食魚の数の減少には直接的には繋がらず、防除を行っていない他水域での捕食強度を強める可能性もあるが、比較的手軽に実施でき、一度設置すれば一定期間の効果の継続が期待できることから、多くの地域で実施されている。

ナルトビエイによるアサリ等二枚貝類への食害が知られて以来、多くのアサリ漁場では漁業者により囲い網、立て杭、被覆網などの防除策がとられてきた。しかし、その効果については未確認のまま実施されている場合も多い。防除方法の効果の確認については、本来、実際の漁場での野外実験を行うことが望ましいが、多くのアサリ漁場ではナルトビエイの来遊を日時単位で予測することは極めて困難であり、漁場の中の位置によっても食害状況が変わるため⁹⁾、防除方法を定量的に評価するのは困難な場合が多い。そこで本研究では、屋内水槽でナルトビエイを飼育し、既存の方法に加えて新しい方法も含んだいくつもの食害防除方法について、その効果を評価した。

材料と方法

飼育水槽、供試魚と評価方法 実験は、2007年1月から2010年2月にかけて、(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所百島実験施設(現:同所海産無脊椎動物研究センター、広島県尾道市)の屋内に設置されたコンクリート製の40t円形水槽(直径7.3m、水深約1m)内で行った。夏季には28℃以下の自然水温の、冬季には加温することにより20℃以上に保った砂ろ過海水をろ過循環させ、注水管の向きを調節することにより水槽の円周に沿った緩やかな流れを作った。飼育水の塩分は自然海域よりやや高い33.4~35.0であった。水槽の底には約10cm厚になるよう海砂を敷き詰め、自然光の入射に加え、9時~17時の間は水槽中央上部から100Wの白熱灯2個による照明を施し、夜間は無照明と



図1. ナルトビエイによる食害への対策例

した。ナルトビエイは、実験期間中に広島県福山市内海町の田島地区周辺に敷設された定置網に入網したもののうち1~5個体を百島実験施設に持ち込み、2か月以上の馴致後に生き残った雌1~2尾を用いた。捕獲時の体盤幅は約50~85cmであり、馴致期間には餌料としてアサリ成貝(殻付5kg/2~5日)または冷凍イカ(500g/2~3日)を与えた。各実験の前には原則として6日間絶食させた。

各食害防除実験では水槽底に実験区を20cm以上の間隔をおいて配置し、その中に一定数のアサリを投入し、一定日数経過後に取り上げて残存するアサリの数を計数し、これを最初に投入したアサリの個体数で除した値を残存率として実験区の間で比較した。ただし、実験中にエイによる捕食以外で斃死したアサリは計算から除外した。各実験区の水槽内での配置は実験回次ごとに変えた。水面上からもしくは水眼鏡を用いての目視、および水中ビデオ映像により摂餌行動を観察した。

なお、水槽中央のエアレーション付近および注水管付近ではその他の場所よりナルトビエイの摂餌活性が劣ることが予備実験から分かったため、これらの場所を避けて実験区を配置した。

実験方法

1. 摂餌量の検討と摂餌行動の観察 実験に用いるナルトビエイの水槽内における摂餌量を概算で把握するため、馴致が終了した体盤幅約70cm、体重約5kgのナルトビエイの雌1尾を6日間絶食させた後、プラスチック製の野菜カゴ(46×30×高さ13cm)に入れた平均殻長35mmのアサリ6kgを毎日1回ずつ与え、24時間後にカゴを回収して残ったアサリの重量を計測した。以上の作業を10日間、毎日くり返した。

2. 玉石の食害防除効果の検討 瀬戸内海ではこぶし大~人頭大の石に覆われた干潟(石原)は周辺の砂質干潟(砂原)に比べてアサリの生息密度が高いことが漁業者等に知られ、ナルトビエイの食害を受けにくいと考えられており、そのような石を用いて人工転石帯とするアサリ漁場の造成も実施されている。しかし、もともと砂質の漁場を石原漁場に改変することは、アサリ以外の生物に少なからぬ影響を与えると考えられ、もし、より小さいサイズ、より少ない量の石でも効果があれば、漁場環境の保全に繋がると考えられる。そこで、アサリ成貝(殻長:34.5±4.1mm、重量:10.2±3.5g)とほぼ同じ大きさの玉石(長径35.0±3.0mm、重量:21.6±4.4g)に食害防除効果があるかどうかを検討した。

プラスチック製のカゴ(51cm×35cm×高さ7.5cm、黒色)を用いて、①全て海砂、②海砂の表面付近に25個の玉石、③玉石と海砂を1:3(容積比)で混合したもの、④同じく1:1で混合したもの、⑤3:1で混合したもの、⑥全て玉石、の6種類の混合比を設定し、各々について

アサリ 25 個体を基質表面下に埋め込んだ。ナルトビエイを飼育している水槽の底にこれらのカゴを設置し、約 1 日後に回収してアサリの残存率を求めた。実験は 3 回繰り返した。なお、予備実験により、海砂のみを入れたカゴの内外で残存率に差が無い（カゴを用いてもナルトビエイの捕食の程度に影響を与えない）ことを確認した。ナルトビエイは摂餌量の検討に用いたものと同じ個体を用いた。

まれにはあるが、ナルトビエイが実験区から啜え去ったアサリを摂餌せずに実験区外へ吐き出すことがあったが、それらも摂餌されたものとして計数した。また、やはりまれに、基質表面下に埋め込んだアサリのうち 1～2 個体が基質の上へ這い出してくることがあったが、実験を継続した（これらの取り扱いについては後述する他の実験についても同じである）。

3. 立て杭の食害防除効果の検討 瀬戸内海でナルトビエイによるアサリの食害が確認された当初より、漁業者等により立て杭による食害防除が試みられているが、杭の間隔はさまざま、その効果が定量的に検討された例は殆ど無い。そこで、立て杭の間隔を変えた実験区を設定して食害防除効果を比較した。

幅 2.5cm、長さ 90～100cm、厚さ 1mm で、5cm ごとに長さ 3cm × 幅 7mm の穴が開いた市販の金属板（白色塗装フラットバー）2 枚を同じ素材の金具により連結したものを土台とし、これに太さ 8mm の複数本の杭（緑色樹脂で被覆された中空の鉄パイプ）を樹脂製の締め付けベルト（ロックタイ）で等間隔に装着して実験柵とし（図 2a）、水槽の砂底の約 1m 四方の範囲に複数の実験柵の土台部分を等間隔で埋めた。土台への杭の装着本数および土台の数を調整することにより、縦横それぞれ 15、20、30、50cm の間隔で杭が並ぶ実験区を設置した（図 2b）。砂上の杭の長さは全て 30cm とした。エイは体盤幅 85cm の雌個体 1 尾を用いた。各区にアサリ（殻長 $25.5\text{mm} \pm 3.6\text{mm}$ ）20 個体を投入し、そのうち 10 個体は実験区の中心付近に集中して、残り 10 個体は中心付近以外に均等に分散させて埋めた。支柱を装着しない土台を 25cm 間隔で砂中に埋めて対照区とした。

対照区の表面に多数の索餌痕が形成されエイの探索行動がほぼ見られなくなってから 1 日以上経過後に、鋤簾を用いて実験区に残存するアサリを回収して残存率を求めた。実験は 3 回繰り返す、各実験期間は 2～6 日間とした。

なお、土台のみを 15cm 間隔で埋め込んだ区画の内外では砂中のアサリの残存率に差が無く、土台の存在自体はアサリの残存率に影響を与えないことを予備実験により確認してから本実験を実施した。

4. 被覆網の食害防除効果の検討 ナルトビエイによる食害が顕著になる以前から、アサリの増養殖ではカニ類

などによる食害の防除および稚貝の逸散防止などを目的として被覆網が用いられてきた¹⁵⁻¹⁸⁾。被覆網は目合いが細かいほど確実な食害防除が期待できるが、網内外の海水交換の悪化や付着生物の増加とトレードオフの関係にあり、適切な目合いの選択が必要となる。ここでは、ナルトビエイによるアサリ成貝に対する食害を防除することが可能な被覆網の目合いを検討した。

実験には目合い（正方形の網目 1 辺の長さ）が 1.6～24cm の 6 種類の市販の各種網類を用いた（表 1）。材質は全てポリエチレンであるが、繊維の径や色は様々である。1m 四方の各々の被覆網の対向する 2 辺に、立て杭の検討で用いたものと同じ土台を装着し、網が水槽の底の砂面を被覆するように土台を砂内に平行に埋めて実験区とした。対照区は設けなかった。アサリ（殻長 $25.5\text{mm} \pm 3.6\text{mm}$ ）20 個体を各区内で均等になるよう砂中に埋めた。本実験および後述する実験では、エイは体盤幅 50cm および 65cm の雌 2 個体を用いた。

最も目合いの大きい網の区の表面に多数の索餌痕が形成されエイの摂餌行動がほぼ見られなくなってから 1 日以上経過した後に、鋤簾を用いて実験区に残存するアサリを回収して残存率を求めた。実験は 3 回繰り返す、各実験日数は 3～5 日間とした。

5. 浮き網の食害防除効果の検討 水槽飼育における観察では、ナルトビエイは必ず吻部を水平方向に向けた状態で遊泳しながら、または斜め下方に潜行しながらアサリに近づく行動が見られ、アサリを投入した場所の直上から鉛直的に降下するような行動は見られなかった。従って、被覆網のように干潟面の直上でなくとも、アサリとナルトビエイの間にエイが通過できない程度の比較的目的目合いの大きい網などを何らかの形で敷設すれば食害を防ぐことができる可能性があると考えた。そこで、被覆網よりも目合いの大きい網地を用いて、浮き網による食害防除効果を検討した。

目合い 18cm の網地（繊維径 0.8mm、白色）を用い、縦横 90cm、高さ 30cm の箱を伏せた形の実験網を作成し、4 つの底辺全てに立て杭の検討で用いたものと同じ土台を装着した。実験網の天井部分には長さ 50cm、直径 1cm の円筒形ポリエチレン製浮材（市販の内装用発泡体）3 本を等間隔に取り付けて水中で天井部分が水槽底から離れて浮くようにし、土台部分を砂中に方形に埋めて実験区を設置した。対照区として、実験区と同じ構造の浮き網を水槽底に設置した後に天井部分の上に塩ビパイプ（VP25）とレンガを置いて網の浮上を抑えた沈み網区、土台と塩ビパイプおよびレンガのみの網無し区の 2 通りを設定した。なお、条件の統一のため実験区では網の内部に塩ビパイプとレンガを設置した（図 3）。アサリ（殻長 $35.5 \pm 3.4\text{mm}$ ）20 個体を各区内で均等になるように砂中に埋め、網無し区のアサリが全て捕食されたことを確認してから数日～1 週間後に全ての区を取り上げて残

存率を求めた。実験は網の位置関係を変えて3回繰り返した。各実験の日数は7～10日とした。

なお、本実験に先立つ予備実験では、浮き網設置直後からエイは網に近付こうとせず、浮き網から1mほど離れた砂中に埋めたアサリも1日以上まったく摂餌されず、飼育餌料として与えていた冷凍イカの摂餌量も数日間にわたり低下した。自然状態のナルトビエイの浮き網に対する反応は明らかではないが、実験に用いたエイは定置網で捕獲された個体であり、水中に張られた網に対して捕獲前よりも神経質になっている可能性も考えられた。そのため、水槽中に浮き網を3カ月以上にわたり設置し続け、エイの行動や摂餌状況が浮き網設置前と同様であると認められるようになってから本実験を開始した。

6. 浮きロープの食害防除効果の検討 干潟のアサリ漁場に被覆網や浮き網を敷設した場合、収穫前にこれらを取り除き、収穫後には再設置しなければならず、漁場の規模が大きい場合は作業者にとってかなりの負担となることが考えられる。網地の縦繊維と横繊維が独立していれば、これらを取り除かなくても繊維をかき分けることによりアサリの収穫が可能であると考えられる。そこで、浮き網の代わりに縦横に張ったロープを浮かせた食害防除方法について検討した。

径4mmのクレモナロープの両端をそれぞれ被覆網で用いた土台に等間隔で縛り付け、浮き網実験で用いたものと同じ樹脂製の浮材を15cmの長さに切って各ロープ両端の縛り目付近の2か所にロックタイで取り付けた。土台間のロープ長は110cmとし、浮材の位置はロープが基質底面から10cm程度浮き上がるように調整した。このように作成した部材2つを縦横に交差させる形で土台部分を砂中に埋め、交差した浮上ロープからなる実験区とした(図4)。ロープの間隔が20cm、30cmの2つの実験区と土台のみの対照区を設け、アサリ(殻長 $35.5 \pm 3.4\text{mm}$)20個体を各区内で均等になるように砂中に埋めた。対照区のアサリがほぼ全て捕食されたことを確認してから1週間後に全ての区を取り上げて残存率を求めた。実験区的位置関係を変えて3回繰り返し、各実験日数は14～17日であった。

表1. 被覆網に用いた網の規格

目合い (cm)	繊維径 (mm)	色
1.6	0.2～0.9	緑
3.0	0.3	青
4.5	0.2	橙
10.0	1.3	緑
15.0	0.5	白
24.0	0.8	白

(素材は全てポリエチレン)

7. 稚貝に対する摂餌特性 殻長10mm程度のアサリ稚貝に対するナルトビエイの摂餌特性を検討した。玉石の検討で用いたプラスチック製カゴの深さ3cm程度まで砂を敷き、その上にアサリを均等に投入し、さらに厚さ3cm程度に砂を被せた。このようにして成貝20個体(殻長 $38.0 \pm 3.1\text{mm}$)と稚貝約310個体(平均殻長 $10.4 \pm 1.4\text{mm}$)を投入した区(混合区)および稚貝のみ同数を投入した区(稚貝区)の2つの実験区を設けた。カゴの外へ出たアサリを回収するため、各カゴの下には目合い約1.2mm、大きさ $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ のもじ網を敷き、4辺をレンガと塩ビパイプにより固定した。実験回数は1回のみで、実験開始2日後にカゴを取り上げてアサリの残存率を求め、稚貝については殻長を計測した。

8. 統計解析 玉石、被覆網、立て杭および浮きロープを用いた各実験の残存率について、逆正弦変換を施したうえでチューキーの全群比較により各実験区の間での有意差の有無を検定した。なお、チューキー法による検定に先だって分散の外れ値についてのコ克蘭検定¹⁹⁾を行い、各実験区の残存率の分散の間には有意な差が無いことを確認した。

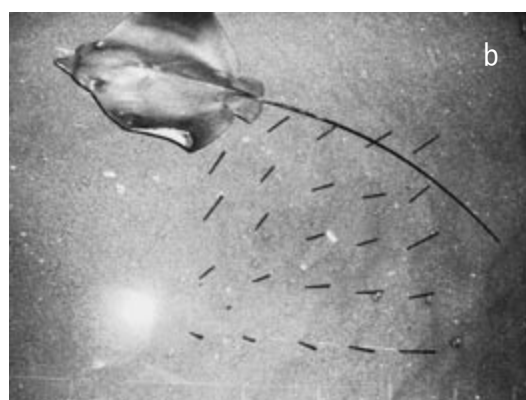
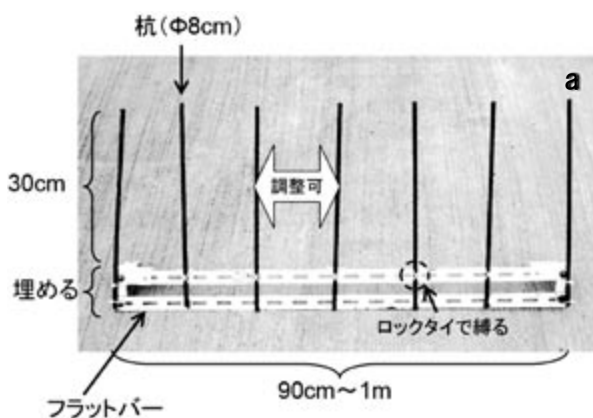


図2. 立て杭を用いた食害防除実験
a. 実験柵の構造, b. 実験中の様子

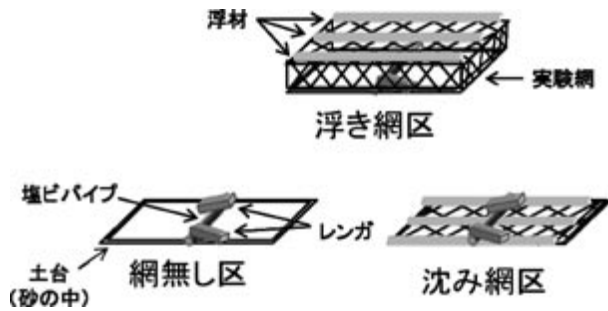


図3. 浮き網を用いた食害防除実験における各実験区の構造

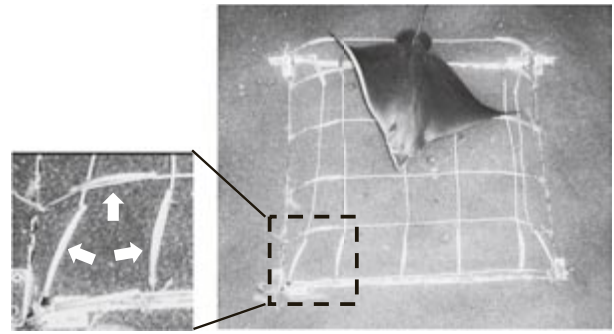


図4. 浮きロープを用いた食害防除実験
白矢印はロープに取り付けられた浮材を示す。

結 果

1. 摂餌量の検討と摂餌行動の観察 6日間の絶食後1日目の摂餌量は投与した全量の6kgであったが、2日目はその半量の3kgに減り、3日目以降は2kgに落ち着いた。

以下の実験での観察も含めたエイの摂餌行動は、およそ次のようであった。すなわち、水槽縁付近の水面近くを周回遊泳していたエイは、潜行してから水槽の底の直上をジグザグに泳いでアサリを投入した場所に到り(索餌遊泳)、その周辺に留まって砂面に吻部を接触させて臭いを嗅ぐような仕草をした後(探索行動)、今度は胸鰭を上下に動かしながら吻部下面で砂面を叩くように穿掘してアサリを掘り出して啜え(捕食行動)、最後に前方斜め上方に泳ぎ去った(離底遊泳)。エイの口に啜えられたアサリは捕食行動中および離底遊泳中に碎かれることが多いようであった。なお、アサリをカゴの中や砂上に散布して視認できる状態で与えた場合は、しばしば索餌遊泳なしで捕食された。

2. 玉石の食害防除効果の検討 残存率は玉石の割合によって異なり、玉石が3/4以下の区ではほぼすべてのアサリが捕食された。玉石のみの区は他のすべての区の残存率に比べて有意に高かったが(チューキの全群比較： $p < 0.01$)、平均で36%にとどまった(図5)。

3. 立て杭の食害防除効果の検討 50cm間隔区での残存率は最初の実験では80%であったが、2回目は50%、3回目は16%と次第に低下した(図6)。30cm間隔区でも、残存率は85%以上を示したものの、実験を重ねるに従い残存率が低下する傾向がみられた。これに対し、20cm間隔、10cm間隔での残存率は95%以上と高い値を示し、実験を重ねることで残存率が低下する傾向はみられなかった。このように残存率は杭の間隔によって異なり、15cm間隔区は50cm間隔区よりも有意に大きな値を示した(チューキの全群比較： $p < 0.05$)。行動観察では、50cm間隔区でエイが左右の胸鰭を上方に屈曲させて杭の間に侵入してゆくのが観察された。

4. 被覆網の食害防除効果の検討 目合い3cm以上の区での平均残存率は17%以下であったが、1.6cmの区では平均85%を示し(図7)他の実験区よりも有意に高かった(チューキの全群比較： $p < 0.01$)。エイの捕食行動は全ての実験区で観察されたが、目合い1.6cmの区ではエイにより砂中から掘り出されたものの摂餌されずに網と砂の間に残り残されたアサリが観察された。本実験期間において、エイが網を食い破ったり引き剥がしたりしたような痕跡は確認されなかった。

5. 浮き網の食害防除効果の検討 対照区である沈み網区と網無し区ではすべてのアサリが捕食されたが、浮き網区では平均92%のアサリが残存した(図8)。遊泳中や索餌行動中に浮き網の網目に吻部を挿入して前進を阻害されたエイは、力任せに前進しようとするのは殆どなく、後退して吻部を網からはずし、斜め前方に上昇することによって浮き網を回避した。ただし、浮材の位置がずれて網がたるむなどした場合、エイの体が絡んだ跡のような網の破損が認められた。

6. 浮きロープの食害防除効果の検討 対照区ではすべてのアサリが捕食されたのに対し、30cm間隔区では62%、20cm間隔区では90%のアサリが残存し(図9)、各実験区どうしで残存率は有意に異なった(チューキ

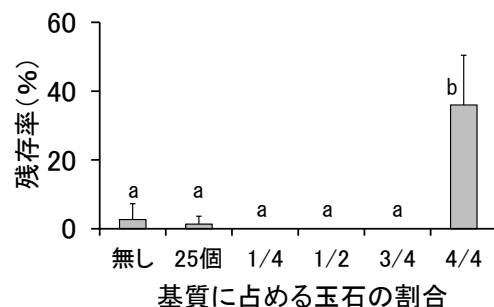


図5. 玉石を用いた食害防除実験におけるアサリの残存率
棒上の縦線は標準偏差を示す(n=3)。
棒上のアルファベットが異なるものどうしはチューキの全群比較により5%未満の危険率で有意差が検出されたことを示す。

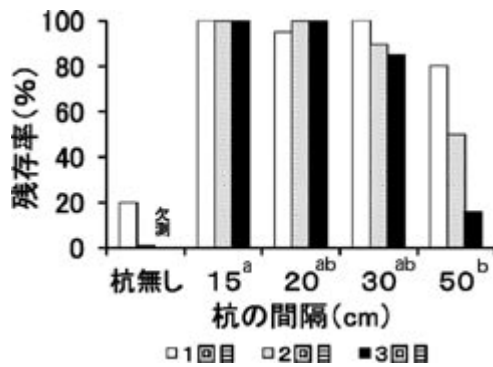


図6. 立て杭を用いた食害防除実験におけるアサリの残存率
横軸の数字の右上のアルファベットが異なるものはチューキーの全群比較により5%未満の危険率で有意差が検出されたことを示す。

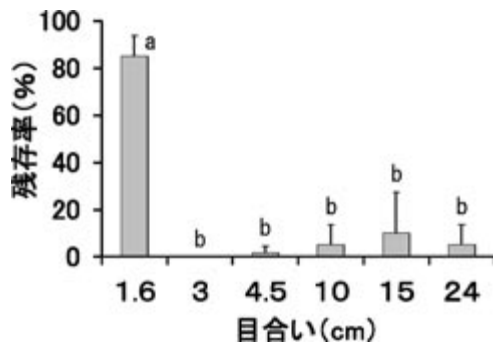


図7. 被覆網を用いた食害防除実験におけるアサリの残存率
棒上の縦線は標準偏差を示す (n=3)。
棒上のアルファベットが異なるものはチューキーの全群比較により5%未満の危険率で有意差が検出されたことを示す。

の全群比較: $p < 0.05$)。エイが遊泳・索餌中にロープの間に吻部を挿入した場合、浮き網実験時と同様の方法でロープを回避することが観察された。

7. 稚貝に対する摂餌特性 混合区でのアサリの残存率は成貝で10%であったが、稚貝は50%以上が残存した。一方、稚貝区での残存率は20%程度であり、混合区よりも高い割合で減少していた(表2)。カゴの周囲のもじ網上には成貝は認められず、稚貝も5個体以下であり、残存稚貝以外はほぼ全てエイに捕食されたものと考えられた。投入稚貝と残存稚貝の殻長頻度分布を図10に示す。混合区、稚貝区とも、殻長11mmより大型の稚貝において、投入時よりも個体数が大きく減少し、ナルトビエイの捕食にはアサリの殻長に対するサイズ選択性があることが示唆された。

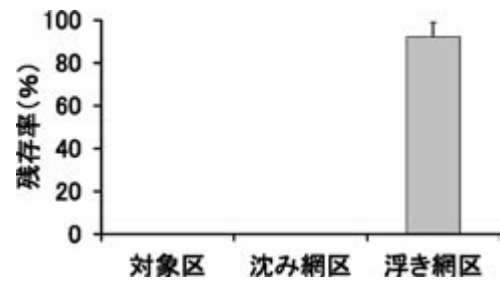


図8. 浮き網を用いた食害防除実験におけるアサリの残存率
棒上の縦線は標準偏差を示す (n=3)。

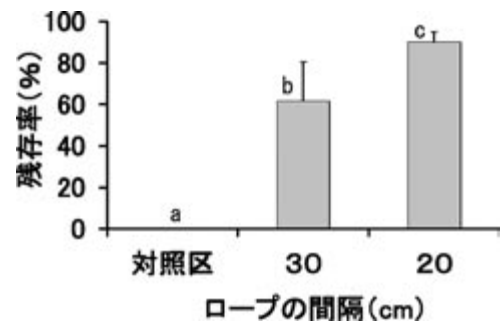


図9. 浮きロープを用いた食害防除実験におけるアサリの残存率
棒上の縦線は標準偏差を示す (n=3)。
棒上のアルファベットが異なるものはチューキーの全群比較により5%未満の危険率で有意差が検出されたことを示す。

表2. 成貝と稚貝を与えた場合の残存率 (%)

	成貝 (殻長 38mm)	稚貝 (殻長 10mm)
混合区	10	54
稚貝区	—	21

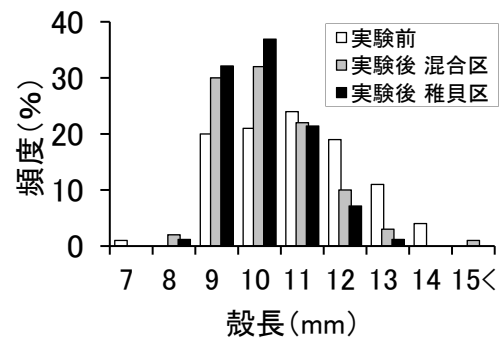


図10. 摂餌特性実験前後の稚貝の殻長頻度分布

考 察

本研究では、水槽内におけるナルトビエイのアサリ摂餌量の概算を求め、摂餌行動を観察したのち、玉石、立て杭、被覆網、浮き網、そして浮きロープを用いたナルトビエイによるアサリに対する食害を防除する方法の効果および稚貝に対する摂餌特性を検討した。ほとんどのエイ類の歯は小さいが、マダラトビエイ属 *Aetobatus* のある種は大きな板状の歯を持つ²⁰⁾。その一種であるナルトビエイは一列のみの板状になった両顎歯により二枚貝の殻を割って食べるが²¹⁾、胃内部には貝類の殻はほとんど確認されていないことから、摂餌の際に砕いた殻を吐き出し軟体部のみを飲み込むものと推察されている⁸⁾。本研究では体盤幅約 70cm、体重約 5kg の雌のナルトビエイに殻付きアサリを与えた場合の摂餌量は 2kg/日に落ち着いた。アサリの殻付き重量に占める軟体部湿重量の割合を 15～20% とすると、ナルトビエイの体重当たりアサリ摂餌量は殻付き重量換算で約 40%、軟体部湿重量換算で約 6～8% となった。熊本県水産研究センターによる飼育では、体盤幅約 50cm、体重約 2kg のナルトビエイは、夏場には毎日 1kg のアサリ（殻付き重量換算で 50%）を摂餌しており¹⁰⁾、伊藤・福田²²⁾ は体重 2.5kg および 1.3kg のナルトビエイ 2 尾について、飼育開始 1 週間後以降は投餌した 2.0kg/日（殻付き重量換算で 52.6%、軟体部重量換算で 10.5%）のアサリをほぼ 1 時間以内に完食したと述べている。また、有明海で捕獲されたナルトビエイの胃内容物調査^{8,23)} では、体重に占める胃内容物重量（主に貝類、特に二枚貝類）の比率は最大で 1.3～9.8% を示している。本研究での摂餌量はこれらの値と大きくは異ならず、また、本研究における一連の食害防除実験の中で 1 回あたりに投入したアサリの殻付き重量は 2kg 未満であり、通常であれば 1 日で食べ尽くす量となっている。このことから、数日間にわたる実験期間後に残った実験区内のアサリは、エイの食欲が満たされていたために残ったのではなく、空腹のエイが食べたくても食べられなかったために残ったものと言える。

水槽中のナルトビエイによるアサリ摂餌行動の観察では、索餌遊泳、探索行動、捕食行動、離底遊泳といった一連のパターンが認められた。これらのパターンは伊藤・福田²²⁾ が詳述している観察結果とほぼ同様であったが、本研究では伊藤・福田の記述に無い、水槽底をジグザグに遊泳する行動（索餌遊泳）が観察された。本研究では殆どの実験でアサリを複数箇所の砂中に埋めて与えており、餌場を設けて砂上に散布して与えた伊藤・福田の場合と比べて、エイの行動に差が生じた可能性が考えられる。

トビエイ属の一種である New Zealand eagle ray *Myliobatis tenuicaudatus* は、摂餌中は左右の胸鰭先端を上方に向け体前方と口を水底から数センチ離し、尾鰭

後縁や尾部は水底に付けて、口または鰓からかなりの勢いで水を噴射して、砂底 20cm 以上の深さに棲息する *Macomona liliana* などの二枚貝類を摂餌するという²⁴⁾。本研究ではナルトビエイが口から水を噴射しているかどうか確かな証拠はつかめなかった。捕食行動中の口付近の砂の動きからは、吻部を水底に叩き付けると同時に口から水を噴射している可能性も考えられるが、少なくとも水の噴射だけで水底に穴を掘る行動は観察されなかった。

食害防除方法の検討において、はたして何%以上のアサリが残存すれば効果有りと判断されるのかは一概には決められないが、ここでは、過去の籠試験や被覆網試験において 1 年～20 カ月の間の生残率が 60～80% を示す例がある²⁵⁾ ことを考慮して、残存率が 80% 以上である場合を効果ありと判断することとする。

玉石については、全て玉石の区でも半数以上のアサリが食害されたことから、アサリと同程度の大きさの石を海底に敷き詰めても食害防除効果は期待できないと考えられた。実験中のナルトビエイの摂餌行動の観察では、玉石のみの区での探索行動は砂面でのそれとは異なり、背面を上方に湾曲させて深い角度で吻部を基質中に挿入したうえ、反動で体が後方に下がるのを防ぐかのように尻鰭を垂直に近い角度で下方に向け水槽底の砂に突き刺すようにして体を支えていた。玉石の実験を開始した後は、カゴから離れた場所に落ちている玉石が観察され、これらはエイがカゴから啜え去った後に吐き出したものと推測されることから、アサリを口に入れる段階ではアサリと玉石を完全には識別できないか、またはアサリと一緒に副次的に玉石も口の中に入ってしまう場合があると推察される。ただし、カゴの中の玉石の量に比べて吐き出されたと思われる玉石の量はわずかであった。一方、透明なガラス板の上にアサリを置いて下方から摂餌の様子を撮影したビデオ映像では、エイは単にアサリを口で啜えて捕食するだけでなく、水と一緒に吸い込んで口の中に入れる様子も観察された（図 11）。このような吸引による摂餌はクロガネウシバナトビエイでも知られている¹²⁾。これらのことから、ナルトビエイは玉石あるいはより大きな石などの間にアサリが存在する場合でも、石よりも比重が小さなアサリを水と一緒に口内に吸い込むことが可能であると考えられる。

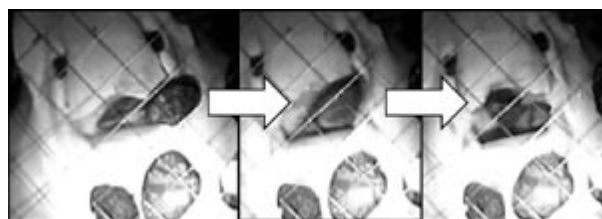


図 11. 海水と一緒にナルトビエイの口に吸いこまれるアサリ。格子入りのガラスの上にアサリを置いて下から撮影したもの。

立て杭について、本実験では体盤幅 85cm のナルトビエイによる食害を防ぐには、少なくとも 30cm 以下の間隔で立て杭を設置する必要があると考えられ、50cm 間隔の区では実験を重ねるに従い残存率は 80% から 16% に低下し、ナルトビエイが次第に杭の間のアサリを摂餌することを学習したと考えられる。

PETERSON *et al.*²⁶⁾ は大型の池 (50m²) における食害実験で、基質上に 50cm 突き出した鉄棒を 1 m に 25cm 間隔で設置すると、体盤幅 39cm と 68cm のクロガネウシバナトビエイおよび同 32cm と 59cm の southern stingray *Dasyatis americana* によるタイセイヨウイタヤガイ *Argopecten irradians concentricus* に対する捕食を明らかに減少させる効果があり、天然海域の漁場において同様の処理を行った場合にも鉄棒を設置した約 2 か月後に对照区の 10 倍以上の回収率が得られたなど、エイ類による食害の防除における立て杭の有効性を示している。

本実験では体盤幅 85cm のナルトビエイを用いたが、伊藤・福田²²⁾ の実験結果からは体盤幅 45cm 程度のナルトビエイでも成貝サイズのアサリを摂餌することは確実である。仮にナルトビエイの体盤幅と侵入が制限される立て杭の間隔が比例関係にあるとすると、上記の結果から体盤幅 45cm のエイの食害を防除するためには約 16cm 間隔での立て杭が必要になると考えられる。比較的狭いアサリ漁場であっても、漁獲作業が行われる干潟等にこのような狭い間隔で立て杭を設置することは実用的ではない。一方、50cm 間隔での立て杭を採用し、ナルトビエイによる食害からアサリを守ることに成功している干潟もあるという (著者私信)。摂餌場所が限られ、立て杭が常にエイの視界の中にあるであろう水槽実験と、立て杭区画以外にも摂餌場所があり、普段はナルトビエイが立て杭を目にしないう天然海域とでは、立て杭に対するナルトビエイの反応も異なるものと推察される。しかし、立て杭の中にしか餌となるアサリがない状況になった場合、本実験の 50cm 間隔区でみられたように、天然海域においても次第に立て杭の中のアサリを捕食する可能性は十分考えられ、注意が必要である。

被覆網については目合い 3cm 以上の網では防除効果がみられなかった。これらの網では、供試したアサリを通過させることが可能であったのに対し、食害防除効果がみられた目合い 1.6cm の網では殆どのアサリを通過させることができなかった。本研究では材質や太さが異なる市販品の網地を用いての結果だが、上記のことから、被覆網の効果の有無はナルトビエイの捕食行動時においてアサリが網を通過可能かどうかにかかっていると推察された。

浮き網について、水槽の底に被覆しただけでは目合い 3cm の網でも食害防除効果がみられなかったが、網を水槽の底から 30cm 程度浮かせることにより、目合い 18cm の網で食害防除効果がみられた。沈み網区、網無し区とも全てのアサリが捕食されたことから、浮き網区

の食害防除効果は網が浮いていることに起因すると考えられた。ナルトビエイの行動の観察から、浮き網では被覆網と異なり、アサリが網目を通過するかどうかではなく、ナルトビエイが一時的に捕捉されても身動きがとれ、後退することにより網から離脱できることが成否の条件となると推測され、今後はナルトビエイのサイズと有効な目合いとの関係についての検討が必要である。

THRUSH *et al.*²⁷⁾ は、沿岸性鳥類と eagle ray *Myliobatis tenuicaudatus* が砂浜のマクロベントス相に与える影響の解析において、ワイヤー製で 10cm 径の天井網 (側面なし) を底質からの高さ 20cm の位置に設置し、実験区へのエイの侵入を防いでいる。この方法でナルトビエイの侵入を防げる可能性もあるが、ワイヤー製の網は高価であり、網替え作業の困難さも予想されることから、広い生産現場への導入には向いていないかもしれない。本研究では比較的細く水中で視認されにくい繊維でできた網を用いた。しかし海水の動揺がある天然海域においては、エイが絡みつきにくいしっかりした網成りを保てるよう、またできるだけナルトビエイに視認されやすいよう、比較的太い繊維からなる網の使用が好ましいと推察され、この点についても今後検討する必要がある。

浮きロープについて、20cm 間隔区では各回とも 80% 以上の残存率が得られ、食害防除効果が認められたが、30cm 間隔区では 3 回目の残存率が 40% 程度に留まり、立て杭実験同様にナルトビエイがロープに慣れた可能性が示唆された。浮き網実験では遊泳しているエイが網の存在に気付かないまま網目に吻部を挿入し、あわてて回避する行動がしばしば見られた。一方、本実験で用いたロープは浮き網実験で用いた網の繊維よりも相当太く、エイはある程度離れた場所からロープを視認することが可能だったと推測され、網のようにあわてて回避するような行動は殆ど見られず、驚いたエイが暴れて絡まる可能性も低いと推察される。

クロガネウシバナトビエイでは捕食対象であるアメリカガキ *Crassostrea virginica* の殻高に対する摂餌選択性がみられ、15 ~ 25mm の小型および 75mm 以上の大型のサイズのアメリカガキは、これらの中間のサイズより捕食されにくいことが知られている¹²⁾。本研究における稚貝に対する摂餌特性の実験では、成貝との混合区ではナルトビエイは成貝を優先的に捕食すると考えられたが、稚貝の残存率は稚貝のみの区の方が混合区よりも 30 ポイント以上低かった。このことから、ナルトビエイがアサリ成貝を捕食する時に副次的に稚貝も捕食する可能性以外に、殻長 10mm 程度の稚貝も摂餌対象としていることが明らかになった。また、摂餌前後の稚貝の殻長分布の差から、ナルトビエイは殻長 10mm 程度のアサリを摂餌する場合でも、何らかの方法でより大型の個体を優先的に選択している可能性が示唆された。アサリでは産卵が認められる個体は一般に殻長 20mm 以上の場合が多いと言われ²⁵⁾、天然海域でこれより小型の個

表3. ナルトビエイによるアサリに対する食害の防除に関する水槽実験の結果

実験項目	実験内容	効果判定	備考
玉石	アサリと同サイズの玉石を、アサリと同数、基質全体の1/4、1/2、3/4、4/4で海砂と混合	全てで ×	玉石の間から海水と一緒にアサリを吸い込むことが可能
立て杭	長さ30cmの杭を15、20、30、50cmの間隔で設置	15、20、30cmで ○	50cm間隔では杭の間のアサリを摂餌することを次第に学習
被覆網	目合い1.6、3、4.5、10、15、24cmの網で基質を被覆	1.6cmで ○	アサリが通過可能な目合いの網では効果無し
浮き網	目合い18cmの網を基質直上、または30cm浮かせて（周りも網で囲う）設置	浮き網で ○	エイが一時的に網に捕捉されても離脱できることが必要
浮きロープ	直径4mmのロープを基質上10cmの高さに20cm、または30cmの間隔で設置	20cmで ○	30cm間隔ではロープの間のアサリを摂餌することを学習する可能性

実験には体盤幅50～85cmのナルトビエイを用いた。
アサリの残存率が80%以上の場合を効果あり（○）とした。

体が大量に捕食されるとすれば資源の再生産に大きな悪影響を及ぼすと考えられ、成貝のみでなく稚貝も考慮に入れた食害防除方法の適用が必要である。

以上、本研究では、アサリの成貝と体盤幅50～85cmのナルトビエイを用いた結果、30cm以下の間隔での立て杭、1.6cm目合いの被覆網、18cm目合いの浮き網および20cm間隔の浮きロープで食害防除効果がみられた（表3）。しかし水槽実験での有効性は実際の野外での有用性に直結する訳ではなく、いわば最初のスクリーニング作業を通過した段階と言え、増養殖現場への適用には野外での様々な実験を重ねる必要がある。狭い間隔での立て杭は漁獲漁場での食害防除方法としては不向きであるが、母貝場など漁獲を実施しない海域での実施には適していると考えられる。そのような目的のためには、本研究では検討しなかった杭の太さや高さ、立て杭の抵抗による潮流の減速や砂の堆積、海藻片他の漂流物の捕捉の影響などを検討する必要がある。被覆網は地盤が安定している干潟では一般的に有効な食害防除方法であるが、地盤の流動性が高い砂浜域などでは砂の堆積により貝類の埋没死を招きやすい。また、付着生物の多い海域で小さな網目の被覆網を敷設した場合、付着した生物が網の表面を覆うことにより網の上下間での海水交換が阻害され、貝の死亡を招きやすい。さらに、被覆網よりも大きい目合いを用いた浮き網や浮きロープについては、大型で水平移動により索餌を行うナルトビエイでは有効性が確認されたが、より小型で鉛直移動による索餌が可能である（著者未発表）クロダイ *Acanthopagrus schlegelii* などでは効力を発揮しないと推察され、実際の海域の環境条件や主要な食害生物種に応じて網目や構造を選択する必要がある。

このようにアサリをはじめとする貝類の食害防除のための最適な方法は、被捕食者である貝や主要な捕食者である生物の種類、海域の物理的・生物的特性、貝類の漁獲方法並びに周辺で実施されている漁業の種類などを充分把握・検討したうえで決定する必要がある。アサリ資

源全国協議会がかつて実施した全国のアサリ産地へのアンケート調査では、アサリ資源減少の原因として食害が第2位に挙げられた。長年にわたり低迷を続ける我が国のアサリ生産を向上させるためには、今後とも有効な食害防除方法の検討が必須である。

謝 辞

本研究の実施にあたり供試魚を手配して下さった広島県田島漁業協同組合の皆さま、研究の契機と情報交換の場を与えて下さったアサリ資源全国協議会を構成する道府県及び（独）水産総合研究センター等の関係各位に対し、この場を借りて感謝の意を表します。

文 献

- 1) 山田梅芳・三谷卓美・入江隆彦（1989）ナルトビエイ（仮称）. 西海区水産研究所ニュース, 61, 1.
- 2) 鷺尾真佐人・有吉敏和・野口敏春（1996）有明海湾奥部の魚類相. 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 17, 7-10.
- 3) 清水孝昭・波戸岡清峰（1997）伊予灘と大阪湾より得られた瀬戸内海初記録種. I.O.P. DIVING NEWS, 8, 2-6.
- 4) 秋田県農林水産部農林水産技術センター（2008）ナルトビエイが採捕されました. (<http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1210555400797/files/narutobiei.pdf>)
- 5) 崎山直夫・瀬能 宏・御宿昭彦・神心義夫・伊藤寿茂（2011）相模湾初記録のナルトビエイ・ヒメイトマキエイ（エイ目トビエイ科）. および稀種ユメタチモドキ（スズキ目タチウオ科）の同湾からの確実な記録について. 神奈川自然誌資料, 32, 101-108.
- 6) 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. 月刊海洋号外, 45, 75-79.
- 7) 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.
- 8) 川原逸郎・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. 佐賀県有明水産振興センター研究報告, **22**, 29-33.
 - 9) 薄 浩則・重田利拓 (2002) 広島県大野瀬戸のアサリ増殖漁場におけるナルトビエイによる食害. 平成 12 年度瀬戸内海ブロック水産業関係試験研究推進会議介類研究会, **40**, 35-36.
 - 10) 熊本県 (2006) 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 -. 16pp.
 - 11) 山口敦子 (2011) ナルトビエイによる二枚貝の食害実態とそれに対する取り組みについて. 日本水産学会誌, **77**, 127
 - 12) FISHER, R. A., G. C. CALL and R. D. GRUBBS (2011) Cownose ray (*Rhinoptera bonasus*) predation relative to bivalve ontogeny. *J. Shellfish Res.*, **30**, 187-196.
 - 13) ORTH, R. J. (1975) Destruction of eelgrass, *Zostera marina*, by the cownose ray, *Rhinoptera bonasus*, in the Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, **16**, 205-208.
 - 14) GRAY, A. E., T. J. MULLIGAN and R. W. HANNAH (1997) Food habits, occurrence, and population structure of the bat ray, *Myliobatis californica*, in Humboldt Bay, California. *Environ. Biol. Fish.*, **49**, 227-238.
 - 15) TOBA, D. R., D. S. THOMPSON, K. K. CHEW, G. J. ANDERSON and M. B. MILLER (1992) 水産増養殖叢書 42: ワシントン州におけるアサリ養殖ガイドブック (鳥羽光晴監訳, 1996). 日本水産資源保護協会, 東京, 119 pp.
 - 16) 立石 健・井手尾 寛・松野 進 (1999) 人工種苗によるアサリの放流技術開発試験 - III. 山口県内海水産試験場報告, **27**, 53-61.
 - 17) 柴田輝和・早川美恵・須田隆志 (2001) 干潟での被覆網によるアサリ人工稚貝の中間育成. 栽培技研, **28**, 109-114.
 - 18) 斉藤英俊・河合幸一郎・今林博道 (2010) 広島県三津湾における放流アサリの生残に及ぼす被覆網の効果. 水産増殖, **58**, 525-527.
 - 19) G. K. カンジ (2006) 「逆」引き統計学 実践統計テスト 100 (池谷裕二・久我奈穂子訳, 2009). 講談社, 東京都, p.84.
 - 20) COMPAGNO, L. J. V. (1999) Sharks, Skates, and Rays - The Biology of Elasmobranch Fishes. edit. by W. C. HAMLETT, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 5.
 - 21) 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.
 - 22) 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.
 - 23) YAMAGUCHI A., I. KAWAHARA and S. ITOU (2005) Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyushu, Japan. *Environ. Biol. Fish.*, **74**, 229-238.
 - 24) GREGORY, M. R., P. F. BALANCE and G. W. GIBSON (1979) On how some rays (Elasmobranchia) excavate feeding depressions by jetting water. *J. Sediment. Petrol.*, **49**, 1125-1130.
 - 25) 増殖場造成計画指針編集委員会 (1997) 増殖場造成計画指針 - ヒラメ・アサリ編 - (平成 8 年度版). 全国沿岸漁業振興開発協会, 東京, 316 pp.
 - 26) PETERSON, C. H., F. J. FODRIE, H. C. SUMMERSON and S. P. POWERS (2001) Site-specific and density-dependent extinction of prey by schooling rays: generation of a population sink in top-quality habitat for bay scallops. *Oecologia*, **129**, 349-356.
 - 27) THRUSH, S. F., R. D. PRIDMORE, J. E. HEWITT and V. J. CUMMINGS (1994) The importance of predators on a sandflat: interplay between seasonal changes in prey densities and predator effects. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **107**, 211-222.