

魚類の食害を受ける二枚貝の強度

伊藤龍星

大分県農林水産研究指導センター水産研究部

Strength of bivalves

RYUSEI ITO

Fisheries Research Division

Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

キーワード：貝殻，強度，食害，ナルトビエイ，二枚貝

近年，魚類による二枚貝や藻類の捕食，食害被害が増加している。例えば，ナルトビエイ *Aetobatus narutobiei* によるアサリ *Ruditapes philippinarum*，^{1,4)} バカガイ *Macra chinensis*，^{2,4)} トリガイ *Fulvia mutica*，^{2,4,5)} タイラギ *Atrina pectinata*，^{1,5)} マテガイ *Solen strictus*^{4,5)} 等の食害や，クロダイ *Acanthopagrus schlegelii* によるアサリ³⁾ や養殖ノリ⁶⁾ の食害，アイゴ *Siganus fuscescens* によるヒジキ *Sargassum fusiforme*⁷⁾ やカジメ属海藻，⁸⁾ さらににはブダイ *Calotomus japonicus* によるクロメ *Ecklonia cava ssp. kurome*⁹⁾ の食害などである。

ナルトビエイが二枚貝を捕食する場合，海底の砂中に吻部を突入させ，貝を口腔内の上下の板状の歯ではさみ，押しつぶすようにかみ砕いて軟体部を摂食する。¹⁰⁾ この時，二枚貝が押しつぶされる力は，貝の種類や大きさ等によって異なると考えられる。陸上水槽でナルトビエイの摂餌行動を観察すると，魚体に比べて投餌した貝が大きすぎて口腔内に入らなかったり，上下の歯ではさんでも力が足りずに貝を押しつぶすことができない場合があった (伊藤未発表)。また，多くの食用二枚貝は漁獲後，セリや仲買人を通じて流通していくが，アサリやアカガイは殻付きのままが多く，対してトリガイやタイラギはむき身が主流など，その流通形態は一様ではない。これは貝の種類によっては，輸送時の衝撃で貝殻が破損しやすく商品価値を損ねてしまうという懸念があるためとも考えられる。しかし，これまで二枚貝の硬さを客観的に示した報告はほとんどない。

そこで，筆者は食用として一般的に国内で流通している二枚貝 6 種について，試験機を用いて貝が押しつぶされる時の強度を調べたので報告する。

材料と方法

供試貝 使用した二枚貝は，アカガイ *Anadara broughtonii*，リシケタイラギ *Atrina lischkeana*¹¹⁾ (有隣片型のタイラギ，以下「タイラギ」と称す。)，ホンビノスガイ *Mercenaria mercenaria*，アサリ，バカガイ，マテガイの 6 種 (図 1A)，各 4~7 個体とした。アカガイ，タイラギ，アサリ，バカガイ，マテガイの 5 種は周防灘大分県海域で 2021 年に漁獲されたもので，ホンビノスガイは同年，千葉県沿岸産を生きた状態で入手した。いずれも入手後，殻長，殻高，殻幅，重量を測定したあと，殻が破損しないよう丁寧にナイフを使って貝殻をこじ開け，両殻が外れないように注意しながら軟体部を取り出して貝殻を得た。これを淡水で洗浄後，室内に静置して数カ月間自然乾燥させたのち，殻重量を測定して実験に供した。貝の大きさはいずれも食用として通常利用される程度のものでした。

測定方法 貝殻強度の測定は 2022 年 2 月に大分県産業科学技術センターにて実施した。試験機は材料の静的物性を測定する機器として一般的に利用される万能材料試験機 (島津製作所 AGS-J，ロードセル 10kN) を用いた (図 1B)。試験種類は圧縮試験とした。測定する貝は右殻を上面，左殻を下面にして試験機の圧縮盤に置き，上から力 (6mm/min) を加え (図 1C)，0.05 秒ごとに圧縮強度を測定して貝殻が割れる直前の最も高い値をその貝の強度とした。

結果

測定した 6 種の二枚貝の平均の殻長，殻高，殻幅，殻重量，殻幅/殻長比を表 1 に示した。平均殻長±標準偏差はアカガイ 73.6±24.1mm，タイラギ 191.7±6.3mm，ホンビノスガイ 67.1±1.7mm，アサリ 33.6±5.6mm，バカガイ 48.4±5.5mm，マテガイ 77.5±8.7mm であった。平均殻幅/平均殻

長比はアカガイ 0.68, タイラギ 0.16, ホンビノスガイ 0.57, アサリ 0.55, バカガイ 0.46, マテガイ 0.09であった。

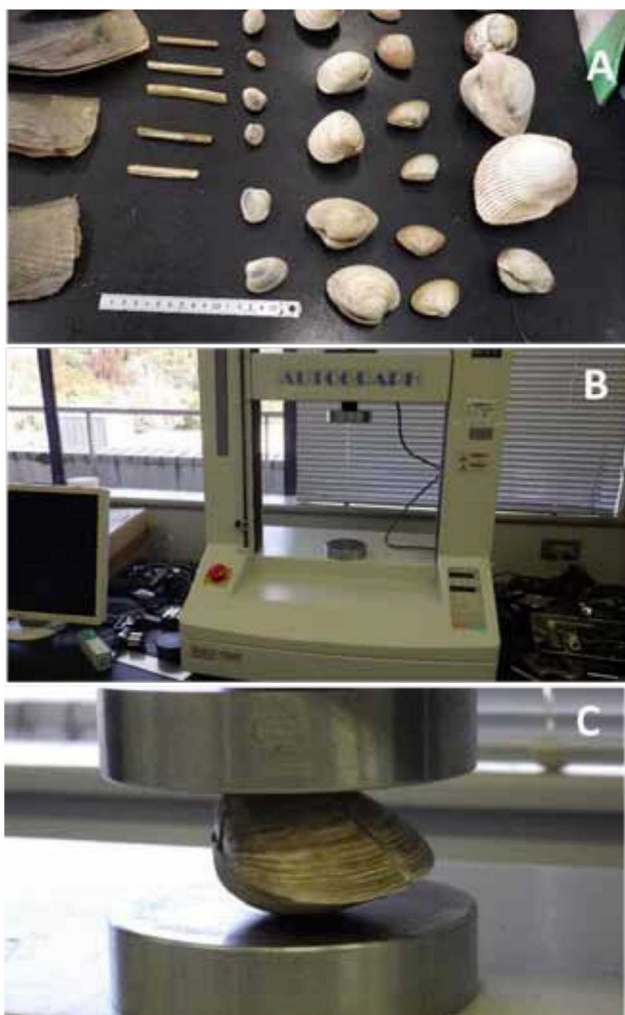


図1 測定した二枚貝と万能材料試験機 A: 測定した二枚貝6種, B: 万能材料試験機, C: 測定中のホンビノスガイ

表1 測定した二枚貝の平均の殻長, 殻高, 殻幅, 殻重量, 殻幅/殻長比

	アカガイ	タイラギ	ホンビノスガイ	アサリ	バカガイ	マテガイ
供試個数	7	4	6	7	7	5
平均殻長 mm	73.6±24.1	191.7±6.3	67.1±1.7	33.6±5.6	48.4±5.5	77.5±8.7
平均殻高 mm	60.2±19.5	82.9±10.3	58.5±1.4	26.3±5.6	35.6±4.2	10.6±0.8
平均殻幅 mm	49.7±16.3	31.4±2.1	38.1±1.1	18.4±4.1	22.1±3.6	7.2±1.2
平均殻重量 g	64.7±54.4	37.3±5.1	64.1±3.2	6.1±3.5	9.4±7.6	1.4±0.6
平均殻幅/平均殻長比	0.68	0.16	0.57	0.55	0.46	0.09

貝殻の平均強度の測定結果を図2に示した。アカガイが最も高く平均強度 719.1±104.7N, 続いてホンビノスガイ 336.0±87.4N, アサリ 138.6±54.3N, バカガイ 73.0±31.7N, タイラギ 25.0±11.0N, マテガイ 14.3±7.3N の順であった。これらを kgf で表すと 1N=0.102kgf であることから,¹²⁾ アカガイの平均強度 73.4kgf, ホンビノスガイ 34.3kgf, アサリ 14.1kgf, バカガイ 7.5kgf, タイラギ 2.6kgf, マテガイ 1.5kgf となった。

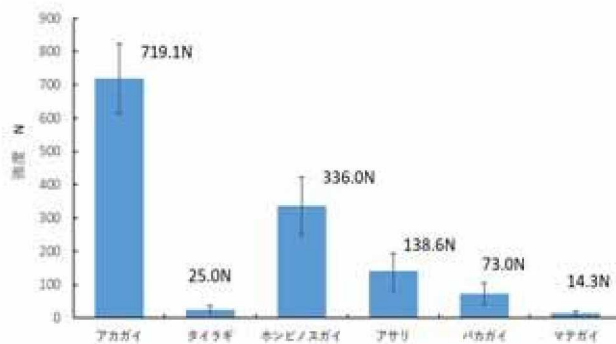


図2 二枚貝6種の殻の平均強度（縦棒は標準偏差）

測定した二枚貝の殻長と強度の関係を図3に示した。最も強度の高かったアカガイは、殻長範囲 53.1~113.0mm で強度 561.6~844.1N であった。ホンビノスガイは、殻長範囲 64.3~68.8mm で強度 224.8~449.6N, アサリは、殻長範囲 27.0~39.9mm で強度 28.8~185.4N, バカガイは殻長 40.4~55.6mm で強度 32.1~111.2N, タイラギは殻長 182.4~195.7mm で強度 13.3~37.5N, マテガイは殻長 68.6~87.7mm で強度 7.2~25.3N であった。種別にみた場合、アカガイは 500N, ホンビノスガイは 200N を超えたが、他の4種はいずれも 200N 未満であり、アサリとバカガイは 100N 前後、タイラギとマテガイは 40N 未満であった。同じ種類でみた場合、測定した範囲においてアカガイ、ホンビノスガイ、タイラギおよびマテガイでは殻長と強度の相関はみられなかったが、アサリやバカガイでは殻長が大きいと強度も高くなる傾向がみられた。

試験機で力を加えた時の貝の割れ方は、アカガイやホンビノスガイの場合は、上面の加圧盤に接した右殻の最も盛り上がった部分からヒビが入り割れていくことが多かったが（図1C）、その他の貝の場合は、必ずしもそこからではなく、貝殻の腹縁部や縁辺部から破損していくことが多かった。

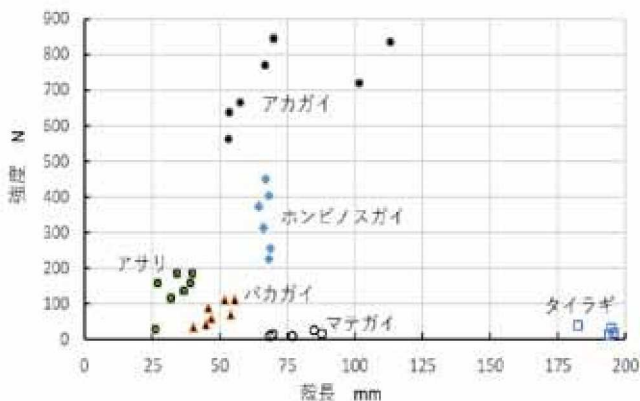


図3 二枚貝6種の殻長と強度の関係

考 察

日本に生息する二枚貝6種の貝殻の強度を万能材料試験機で測定したところ、強度の高いものから順に、アカガイ、ホンビノスガイ、アサリ、バカガイ、タイラギ、マテガイの順となり、種による違いが明らかになった。今回はいずれの種

も食用として通常利用される程度の大きさのものを測定したが、これらの二枚貝を試験研究として度々取り扱う筆者の感覚としては、強度の順位は妥当なものであった。平均殻幅/平均殻長比(表1)の値も大きいほうからアカガイ、ホンビノスガイ、アサリ、バカガイ、タイラギ、マテガイの順で、強度の順序と同じであった。アカガイやホンビノスガイは、比較的大型になる二枚貝であり、しかも殻長に対して殻幅が大きい、いわゆる丸みの強い貝で、殻の厚さも縁辺部で数ミリあった。対して、他の貝はいずれも丸みは緩く、殻の厚さも1ミリ未満と薄いことから、殻の厚さが強度に関係している可能性がある。一般的に貝殻が厚い貝は強度も高く、魚類等から食害を受ける際にもかみ砕くには強い咬合力¹³⁾が必要になると思われる。冒頭にも述べたが、筆者がナルトビエイを飼育し観察するなか、体盤幅50cm程度の小型のナルトビエイでは、餌料として与えたシオフキやサルボウが大きすぎて口腔内に入らなかったり、上下の歯ではさんでも咬合力が足りずに貝を押しつぶすことができない場合があった。同様の現象は他県の飼育事例¹⁴⁾でも報告されており、このような場合に貝の強度を客観的にあらわす情報として今回の測定結果や測定方法は有効であると思われる。ナルトビエイの大きさと捕食できる貝の種類や大きさ、貝の強度との関係等については別途、機会を得て報告したい。

貝殻は炭酸カルシウムの結晶から構成されており、外套膜からの分泌物によって形成されている。貝殻の成長は主に殻の縁辺部に結晶が付加されながら大きくなる付加成長とよばれる様式をとる(東京大学 貝の博物誌 貝殻の形の多様性: https://umdb.um.u-tokyo.ac.jp/DKankoub/Publish_db/2002Shell/, 2023年12月10日)が、成長するにつれて貝殻の厚みも少しずつ増すと考えられ、同時に強度も増すと推察される。今回、測定数は少ないが、アサリやバカガイでは殻長が大きくなるにしたがい強度も増す傾向がみられたので、今後は大幅広いサイズの貝を測定し、殻長による強度の違いを確認したい。

今回の測定では、体液の滲出や塩分による試験機への悪影響を考慮して生体ではなく貝殻のみを使用した。本来なら生体を測定するほうがより実態に近いと考えられるが、その場合には試験機を水分や塩分から守る措置が必要である。なお、生体測定の場合、貝柱とよばれる閉殻筋¹⁵⁾の動きが貝の強度に影響を与えることも考えられるが、閉殻筋は靭帯により両殻が開こうとする力に拮抗してもっぱら収縮する筋肉であるため、¹⁵⁾左殻と右殻の両側から圧迫された場合、強度に与える影響はあまりないように思われる。

ナルトビエイが捕食する二枚貝の種類についてはこれまでいくつかの報告がなされてきたが、¹⁻⁵⁾アカガイやホンビノスガイを捕食した事例はほとんどない。

今回、アカガイの強度は719.1Nと最も高かったが、これはナルトビエイの捕食事例が少ないことと関係があるかもしれない。アカガイは日本国内の水深5~50mの沿岸に広く分布し、¹¹⁾大きくなると殻長100mmを超え、殻幅も70mm前後に達するなど殻長に比べて殻幅が大きく貝自体に丸み、厚

みがある。重さも200gを超える¹⁶⁾ため、貝が大きくなるほどに貝をしっかりとはさめるだけの口腔の大きさと、かみ砕くための強い咬合力が必要となり、捕食できるナルトビエイも大型に限定されるであろう。ちなみに、今回測定したアカガイの平均強度(719.1N)は、20歳代男性の咬合力(約600~900N)¹³⁾に相当する。分布水深も5m以深と深いため、潮間帯に分布するアサリやバカガイ、マテガイに比べると食害にあう機会も少ないかもしれない。

対して、タイラギやマテガイはそれぞれ25.0N、14.3Nと貝の強度も低く、殻幅/殻長比の値もそれぞれ0.16、0.09と小さいため、上下の歯で貝をはさみやすく、ナルトビエイの攻撃に対して容易に貝殻が砕かれて捕食されると推定される。

一方、ホンビノスガイは北米原産の外来種で、1998年に千葉県の人干潟で初認されて以降、2013年には千葉県の三番瀬で漁業権魚種となり、¹⁷⁾現在は千葉県ブランド水産物に認定されるなど産業的にも非常に重要な貝となっている。(千葉県ホームページ 千葉ブランド水産物認定品: <https://www.pref.chiba.lg.jp/suisan/brand/ninteihin/honbinosu.html>, 2023年12月10日)。現在、ホンビノスガイの分布域はほぼ東京湾に限られているため、¹⁷⁾主に西日本に分布するナルトビエイの食害にあう機会ほとんどないと思われる。ただし今後も温暖化が進行しナルトビエイの分布域が北上した場合、本種も食害対象になる可能性がある。今回の測定で本種は強度336.0Nと比較的高く、大型では殻長100mm、殻幅約51.0mm、¹⁸⁾になるなど、アカガイと同様、殻長に比べて殻幅が大きいため、小型のナルトビエイにとっては捕食しにくい貝になると考えられる。

摘 要

アカガイ、タイラギ、ホンビノスガイ、アサリ、バカガイ、マテガイの二枚貝6種について、万能材料試験機を用いて貝殻の強度を測定した。

1. 平均強度は高いほうからアカガイ719.1N(73.4kgf)、ホンビノスガイ336.0N(34.3kgf)、アサリ138.6N(14.1kgf)、バカガイ73.0N(7.5kgf)、タイラギ25.0N(2.6kgf)、マテガイ14.3N(1.5kgf)の順であった。
2. アカガイやホンビノスガイは、比較的大型になる貝で強度も高く、殻幅/殻長比も大きいため、貝が大きくなるほどにナルトビエイからの食害を受けにくくなる可能性があるとして推察された。

謝 辞

万能材料試験機の利用と測定にあたっては、大分県産業科学技術センター工業化学担当北嶋俊朗主幹研究員にご指導を賜った。記してお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 川原逸郎, 伊藤史郎, 山口敦子. 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 2004 ; **22** : 29-33.
- 2) 伊藤龍星, 平川千修. 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 2009 ; **1(2)** : 39-44.
- 3) 重田利拓, 薄 浩則. 魚類によるアサリ食害 - 野外標本に基づく食害魚種リスト -. 水産技術 2012 ; **5(1)** : 1-19.
- 4) 野副 晃, 田中慎也, 黒川皓平, 後川龍男, 大形拓路. 豊前海におけるナルトビエイの食性. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2021 ; **31** : 75-79.
- 5) 亀井良則, 浜口昌巳, 萱野泰久. 岡山県沿岸域で採捕されたナルトビエイの消化管内容物. 岡山県水産試験場報告 2009 ; **24** : 32-34.
- 6) 手塚尚明, 梶原直人, 小栗一将, 喜安宏能, 渡部祐志, 塩田浩二. 撮影手法を用いたノリ・アオノリ養殖場における食害種の出現記録. 日本水産学会誌 2023 ; **89(1)** : 34-48.
- 7) 桐山隆哉, 藤井明彦, 藤田雄二. 藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕の特徴. 水産増殖 2005 ; **53(4)** : 355-365.
- 8) 増田博幸, 角田利晴, 林 義次, 西尾四良, 水井 悠, 堀内俊助, 中山恭彦. 藻食性魚類アイゴの食害による造成藻場の衰退. 水産工学 2000 ; **37(2)** : 135-142.
- 9) 桐山隆哉, 藤井明彦, 吉村 拓, 清本節夫, 四井敏雄. 長崎県下で 1998 年秋に発生したアラメ類の葉状部欠損現象. 水産増殖 1999, **47(3)**, 319-323 .
- 10) 伊藤龍星, 福田祐一. 飼育下におけるナルトビエイ摂餌行動と摂餌痕形成. 水産技術 2010 ; **2(2)** : 73-77.
- 11) 奥谷喬治. 「日本近海産貝類図鑑」東海大学出版会, 東京. 2000. 852-853.
- 12) 戸原春彦. kg (キログラム) より N (ニュートン) に至る [kgf 経由]. 日本ゴム協会誌 1980 ; **53(3)** : 158-161.
- 13) 中村太志, 守下昌輝, 臼井通彦, 中島啓介. 咬合力の測定方法とその大きさに影響を与える因子. 日歯周誌 2018 ; **60(4)** : 155-159.
- 14) 熊本県水産研究センター. 熊本県アサリ・ハマグリ資源管理リファレンス～ナルトビエイ対策編～. 2017; 16-19.
- 15) 椎野季雄. 「水産無脊椎動物学」培風館, 東京. 1982. 178-172.
- 16) 伊藤龍星, 木藪仁和, 中川彩子, 上城義信. 周防灘西部海域における 1997-2000 年の天然および養殖アカガイの成熟と性比. 大分県農林水産研究指導センター研究報告（水産研究部編）2022 ; **8** : 9-13.
- 17) 濱崎瑠菜, 工藤貴史. ホンビノスガイ漁業の発展過程から考える東京湾における人と生物と水の関係. 水産振興 2018 ; **52(4)** : 1-49.
- 18) 鈴木 直樹, 松本 梨里. 東京湾三番瀬におけるホンビノスガイ *Mercenaria mercenaria* の成長曲線. 沿岸域学会誌 2021 ; **33(4)** : 61-69.