

海洋生物を用いた測定実験 ～高等学校の自然科学部での実施に向けて～

榎谷 英樹

はじめに

近年、兵庫県生物学会や全国的な学会において高校生を対象とした口頭発表やポスター発表が催されている(日本動物学会 2014; 日本植物生理学会 2014)。そこでの発表内容は自然科学部員による遺伝子解析やクローン技術、細胞培養等の生物工学的手法を用いたもの、長年に渡るフィールド調査に基づいたものなど、非常に高度な研究成果も多い。しかし、このような研究には、大学等の研究機関との連携による実験設備や機器の活用、先輩から後輩に引き継がれたデータの蓄積などが必要とされることもあり、どの学校でも実施可能であるとはいえない。

筆者は以前、家島諸島(兵庫県姫路市)にある兵庫県立いえしま自然体験センターにおいて、公募で集まった小学校5、6年生の児童を対象とした海洋生物の学習に関する事業に取り組んだ。その事業内容は、児童が豊かな自然に触れて調査対象とする生物を自ら決め、2ヶ月に1回程度来所して研究レポートをまとめていくというものであった(榎谷 2009, 2010)。生物のスケッチや生物分布図の作成等を行う児童が多かったが、中には生物の重量等の数値データをとる児童もいた。ここでは、児童の計測したデータを統計処理し、様々な知見を得ることができた2つの研究、「ホンヤドカリの貝殻利用」、「魚類の低塩分条件下での飼育」を紹介する。測定自体は簡単なものであるが、さらにデータを増やして考察を加えれば高校の自然科学部の研究としても十分に通用し、どの学校でも実施可能と思われる。

研究1 ホンヤドカリの貝殻利用

ホンヤドカリ *Pagurus filholi* (De Man, 1887) (以後、ヤドカリ, 図1) は岩礁域の転石の下や潮だまりに多

く見られる(新野 2004)。ヤドカリは採集が容易で、調査対象に選んだ児童が多数いた。そのうちの2名の児童が、生息環境の違いがヤドカリの選択する宿貝にどのように影響するかを調べた。調査場所は、家島諸島西島内の環境の異なる磯浜2か所で、1か所は人工砂浜横の磯浜(以後、人工砂浜横)、もう1か所は自然の磯浜(以後、自然磯浜)であった。

それぞれの調査場で約40個体ずつ捕えて持ち帰り、宿貝をはんだごてで加熱することによってヤドカリを宿貝から出した(図2)。加熱により死んだ個体もあり、



図1 ホンヤドカリ本体(右)と宿貝(インダタミ)

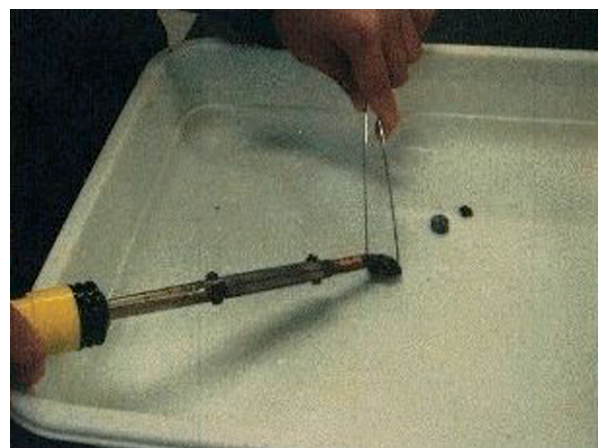


図2 はんだごてを使ってホンヤドカリを宿貝から出す様子

〒678-1205 兵庫県赤穂郡上郡町2-25

兵庫県教育委員会播磨西教育事務所 光都教育振興室

2015年4月1日以降の勤務先

〒670-0947 姫路市北条1-98(姫路総合庁舎内) 播磨西教育事務所
2015年3月20日受理

表1 宿貝の殻口、重量およびヤドカリの太さ、体重それぞれの値を示す。

		宿 貝		ヤドカリ	
		殻口(mm)	重量(g)	太さ(mm)	体重(g)
人工砂浜横	平均値±SD	7.6±1.1	1.11±0.38	4.4±0.6	0.30±0.12
	(最大値 - 最小値)	(9.9 - 5.8)	(2.00 - 0.51)	(5.6 - 3.5)	(0.60 - 0.12)
自然磯浜	平均値	10.2±2.3	1.20±0.72	5.2±1.4	0.47±0.28
	(最大値 - 最小値)	(13.7 - 4.4)	(3.60 - 0.11)	(7.2 - 1.0)	(1.24 - 0.04)

採集したヤドカリのうち、宿貝から出すことができたのは、人工砂浜横28個体、自然磯浜30個体であった。宿貝の重量およびヤドカリの湿重量（以後、ヤドカリの体重）を上皿天秤で0.01 gまで測定し、また宿貝の殻口の長径（以後、宿貝の殻口）および宿貝から出したヤドカリの腹節の最も太い部分（以下、ヤドカリの太さ）をノギスで0.1mmまで測定した。また、採集したヤドカリの宿貝の種を、図鑑（吉良 1959；奥谷・楚山 1987）を参照して同定した。

宿貝の殻口、宿貝の重量およびヤドカリの太さ、ヤドカリの体重の最大値、最小値、平均値、標準偏差を表1に示す。宿貝の種類は、人工砂浜横では3種、イシダタミ *Monodonta confusa* Tapparone-Canefri, 1874 15個体、イボニシ *Thais clavigera* (Küster, 1858) 11個体、サラサバイ *Phasianella solida* (Born, 1780) 2個体、自然磯浜では6種、イシダタミ19個体、イボニシ5個体、コシダカガンガラ *Omphalius rusticus* (Gmelin, 1791) 3個体、クボガイ *Chlorostoma lischkei* Tapparone-Canefri, 1874 1個体、クマノコガイ *Chlorostoma xanthostigma* A. Adams, 1853 1個体、タマキビ *Littorina brevicula* (Philippi, 1844) 1個体であった。コシダカガンガラやクボガイを宿貝とした個体は比較的大型のものであつ

た。

測定データの統計処理および考察

児童は、人工砂浜横と自然磯浜について、それぞれ宿貝の殻口とヤドカリの太さとの関係、および宿貝の重量とヤドカリの体重との関係のグラフを作成し、ともに「直線性がある」ことを見出した（図3）。

そこで筆者は、児童が測定したデータに科学的根拠を与えるために、汎用統計ソフトSTATISTICA（米StatSoft社製）のPearsonの相関関係を用いて相関係数Rとp値（有意確率）を求めた（表2）。相関係数の評価は浅井・村上（1963）に従った。

両調査地点とも、宿貝の殻口とヤドカリの太さ、また宿貝の重量とヤドカリの体重との間に高い相関（ $R > 0.8$, $p < 0.01$ ）が見られた。しかし、自然磯浜では、宿貝の殻口とヤドカリの体重、宿貝の重量とヤドカリの太さとの間には相関はなかった。人工砂浜横では、宿貝の殻口とヤドカリの体重の間には相関はなかった。一方、宿貝の重量とヤドカリの太さとの間では、中程度の相関が見られた（ $R=0.428$, $p<0.05$ ）。

次に、小菅・河野（2010）に従い、宿貝の相対重量（宿貝の重量をヤドカリの体重で割った値）を求めた

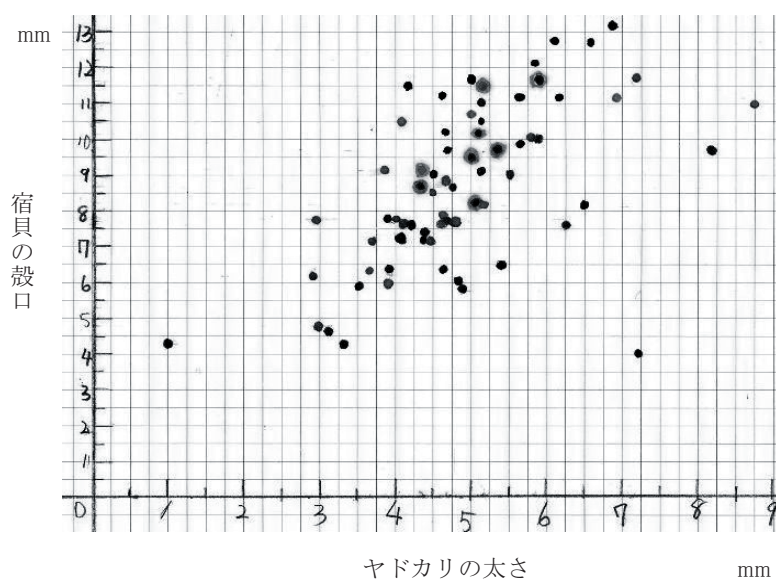


図3 児童が作成したグラフのひとつ ヤドカリの太さ（横軸）と宿貝の殻口（縦軸）との関係を示す

表2 ヤドカリの測定データに関する相関係数Rとp値

人工砂浜横 (n = 28)

	ヤドカリの太さ	ヤドカリの体重
宿貝の殻口	R = 0.999 p = 0.000	R = 0.262 p = 0.173
宿貝の重量	p = 0.428 p = 0.021	p = 0.813 p = 0.000

自然磯浜 (n = 30)

	ヤドカリの太さ	ヤドカリの体重
宿貝の殻口	R = 0.996 p = 0.000	R = 0.132 p = 0.480
宿貝の重量	R = 0.2068 p = 0.264	R = 0.908 p = 0.000

ところ、人工砂浜横のヤドカリでの相対重量の平均値と標準偏差は 4.14 ± 1.54 、自然磯浜では 2.71 ± 0.87 となり、両地点で有意な差 (t検定, $p < 0.01$) が認められた。

移動の際に負担になるであろう大きな殻を背負うヤドカリが多いことから、人工砂浜横では自然磯浜に比べて殻の供給量が少なく、ヤドカリが自らの体重に適した重量の宿貝を得られにくい可能性や、人工砂浜横では殻の種類が重量の大きいものに限定されている可能性などが推測される。この点については、今後、両調査地点での面積当たりの殻の分布状況を調べることで検証できるであろう。さらに、人工砂浜横のデータについてのみ、宿貝の重量とヤドカリの太さとの関係に相関が見られたことから、貝の供給量が少ないのであれば、ヤドカリは殻口の大きさが必ずしも適していなくても、重量の適した宿貝を選ぶ可能性が考えられる。

研究2 魚類の低塩分条件下での飼育

釣り好きの児童2名に魚類の生息環境を変化させて何らかの数値データをとることを提案したところ、釣った魚類を低塩分条件下で飼育し個体の重量変化の測定を行うことになった。

実験に用いた魚類は、マダイ *Pagrus major* (Temminck et Schlegel, 1844) の幼魚 (図4a) 6個体 (体長9～11cm)、キュウセン *Parajulis poecilopterus* (Temminck et

Schlegel, 1845) (図4b) 11個体 (体長10～14cm) で、家島諸島西島内の磯浜でこの2名が釣りによって2010年11月17日に採集した。ただし、マダイ幼魚は地元漁協が放流した稚魚が成長したものの可能性があるので漁協の許可を得た。

採集したマダイ幼魚は、実験室に持ち帰った後すぐに、全海水と1/2海水の入った2種類の水槽 (60×30×36cm) に3個体ずつ分け、室温で飼育を開始した。水槽には循環ポンプとろ過槽 (生物ろ過方式) を設置し、エアレーションを行った。水槽に入れてから約4時間後に魚類が元気に泳いでいることを確認して、全個体の湿重量を台秤で1gまで測定し (マダイ幼魚18～25g, キュウセン23～37g)、実験を開始した。市販の飼料 (日本動物薬品 ベビーフードなど) を1日おきに与え、食べ残しは除去して水質を保った。7日おきに、餌を与える直前に全個体の湿重量を測定した。飼育28日目には12月半ばになり、水温の低下に伴い個体が衰弱したため、実験を終了した。

キュウセンについては、全海水と1/2海水で4個体ずつ、1/4海水で3個体を同様に飼育した。各水槽のガラス面との接触により、各個体の体表の傷みが激しくなったので、飼育7日目で実験を終了した。

測定データの処理および考察

マダイ幼魚の各飼育条件下での個体重量の、実験開始時からの増減 (g) の平均値の経日変化を図5aに示



図4a マダイ幼魚



図4b キュウセン

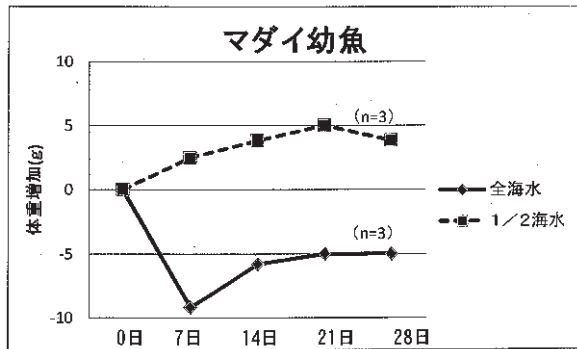


図5a

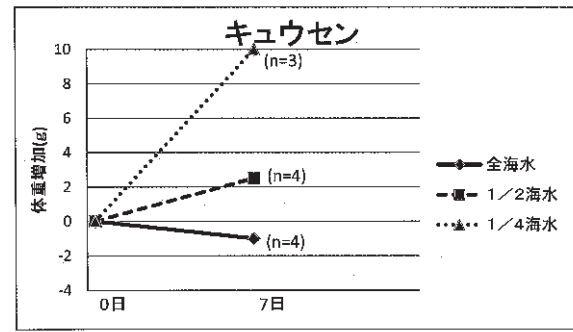


図5b

図5 各飼育条件下での個体重量の平均値の経日変化。マダイ幼魚 (a) とキュウセン (b), nは実験に用いた個体数を示す。

す。全海水での飼育では、飼育開始7日目で重量が著しく減少したのに対し、1/2海水での飼育では21日目まで順調に重量が増加した。キュウセンの各飼育条件下での、実験開始時からの個体重量の増減 (g) の平均値の経日変化を図5bに示す。全海水での飼育では、飼育開始7日目で重量が減少したのに対し、1/2海水及び1/4海水での飼育では重量が増加した。

実験に用いた個体数が少ないので、個体重量の増減の平均値に、各飼育条件間で統計的に有意な差が認められるかどうかを検定することはできないものの、マダイ幼魚、キュウセンともに低塩分飼育下では体重が増加した。実験を行った児童は「塩分濃度が低いと海水魚は生きられない」と予想しており、実験結果は彼らにとって意外なものだった。しかし、実験結果を「ボラやスズキは海水と真水が混じる河口にもいる」と自らの釣り体験と関連付ける発言も出た。確かにタイ科の魚類やキュウセンは、塩分濃度が海水の約1/2である島根県の中海で普通に見られる (越川 2011)。

マダイ幼魚では全海水での飼育条件下では開始7日目に重量が減少しその後は増加したことから、水槽飼育の開始がストレスとなり、水槽という環境に慣れるのに時間がかかったと考えられる。一方、1/2海水での飼育では、そのようなことが起こらず、むしろ水槽飼育によるストレスが低塩分条件により軽減されたと思われる。キュウセンでは、飼育開始7日目にしかデータがとれなかったが、マダイの場合と同様の傾向が見られた。より大きな水槽で飼育すれば、キュウセンの体表の傷みが軽減され、長期間にわたってデータをとることができるかも知れない。

栽培漁業面の研究においては、低塩分条件で飼育することにより、オニオコゼ *Inimicus japonicus* (Cuvier, 1829) やカサゴ *Sebastes marmoratus* (Cuvier, 1829) の仔魚の生残が高まること (御堂岡, 2000), またトラフグ *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel, 1850) 仔稚魚の成長が早まること (多賀・山下 2011; 片山ほか 2013) が知られている。低塩分条件下での飼育

が魚類の生残や成長に有利に働くのは、イオン濃度調節機能によるエネルギー消費が軽減され、その余剰分が成長に利用されるためと説明される (岡村ほか 2009)。

1/2海水は海産硬骨魚類の血中塩分濃度1.5%程度 (青戸 1982) に近く、エネルギー消費が軽減されたと考えられる。一方、1/4海水での飼育では飼育水の塩分濃度が血液より低く、その影響については今後検討する必要がある。

なお、高等学校の自然科学部でこのような実験を実施する場合には、個体重量測定時に、併せて体長を測定することや、水槽ヒーター等による水温の維持および水温の測定、水質の管理等を行う必要があるだろう。

おわりに

高校生の研究発表では、発表はうまくできても質疑応答で研究内容に対する理解の曖昧さが明らかになるなど、研究テーマが「自分のもの」になっていない場合がある。その理由として、例えば先輩の研究を引き継いだために自ら主体的な研究になっていないことや、専門的な機器を使うにあたり生徒による創意工夫が難しいことなどが指摘されている (尾嶋ほか 2013)。

日本の科学研究コンテストでは、家庭や学校に普通にある器具を使用している研究でも、生徒の創造性と粘り強い探究心が発揮されていれば高く評価される傾向がある (尾嶋ほか 2013)。本稿で紹介した測定実験は、使用した器具等も研究1では、はんだごて、ピンセット、ノギス、上皿天秤、研究2では、循環ポンプ及びろ過槽のついた水槽と重量を測定するための台秤程度で、どこでも入手可能なものである。

また、以前は高校数学において統計に関する内容は必修ではなく、大学入試に出ない等の理由で十分に指導されていなかった (新村 1997) が、平成21年告示の現行の学習指導要領では、統計に関する内容が「数学Ⅰ」での必修項目になり (文部科学省 2009)、高校での統計の学習が充実することとなった。しかし、「数学Ⅰ」の教科書では、データ量が少なく興味深い

データサンプルを扱っていないとの指摘（武沢 2013）もある。

本稿で紹介したような簡単な実験でも児童が研究テーマを決め、実験方法も児童が主体となって考えたものに、データの統計処理や考察を加えることによって様々な知見が得られ、統計の学習の充実や理科と数学の連携の面からも、意義深いと思われる。

本稿に示した児童による測定実験は、筆者が兵庫県立いえしま自然体験センターにおいて「“ひょうご いえしま発 子ども海辺の環境リポーター事業（日本財団助成）」の中で実施したものである（梶谷 2009 2010）。協力くださった職員の皆様および実験についてアドバイスをくださった方々に深謝する。

引用文献

- 青戸偕爾. 1982. フィンガーマン比較動物学 アメーバからヒトまで. 272pp. 保育社, 大阪.
- 浅井晃・村上正康. 1963. 原書第4版 ホーエル初等統計学. 325pp. 培風館, 東京.
- 片山貴士・森田哲男・今井正・山本義久. 2013. 閉鎖循環システムを用いた低塩分条件下でのトラフグ量産飼育. 水産技術, 5(2): 165-169.
- 吉良哲明. 1959. 原色日本貝類図鑑増補改訂版. 240pp. 保育社, 大阪.
- 越川敏樹. 2011. 島根県立宍道湖自然館開館10周年記念誌 ゴビウスと水の生きものたちのガイドブック. 216pp. 島根県立宍道湖自然館, 島根.
- 小菅丈治・河野裕美. 2010. 石垣島伊土名におけるオナキオカヤドカリとオカヤドカリの貝殻利用(予報). 南紀生物, 52(2): 113-118.
- 梶谷英樹. 2009. “ひょうご いえしま発” 子ども海辺の環境リポーター事業～海辺の環境学習の新しいモデルここに～. 平成21年度兵庫自治学会研究発表 大会要旨集, 54-55.
- 梶谷英樹. 2010. “ひょうご いえしま発” 子ども海辺の環境リポーター事業～海辺の環境学習の新しいモデルここに～ その2. 平成22年度兵庫自治学会 研究発表大会要旨集, 24-25.
- 御堂岡あにせ. 2000. 地付き魚の低塩分飼育技術. 水産と海洋, 18: 3-4.
- 文部科学省. 2009. 高等学校学習指導要領解説(数学・理数編). 206pp. 文部科学省, 東京.
- 日本動物学会. 2014. 第85回仙台大会 講演要旨集. 15-43.
- 日本植物生理学会. 2014. 第55回日本植物生理学会年会特別企画 高校生生物研究発表会, 1-37.
- 尾嶋好美・町田龍一郎・佐藤忍・小野道之. 2013. 次世代の科学技術人材の育成方法について～高校生対象の科学研究コンテストおよび研究環境の日米の比較から～. 科学教育研究, 37(4): 295-306.
- 岡村明浩・山田祥朗・三河直美・堀江則行・金子豊二・田中悟・塚本勝巳. 2009. ウナギ仔魚の低塩分環境での飼育, 成長と生残. 2009年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 43.
- 奥谷喬司・楚山勇. 1987. フィールド図鑑貝類. 237pp. 東海大学出版会, 神奈川.
- 新村秀一. 1997. ブルーバックス パソコン楽々統計学 グラフで見るデータ解析. 260pp. 講談社, 東京.
- 新野大. 2004. 大阪湾の生きもの図鑑. 206pp. 東方出版, 大阪.
- 多賀真・山下洋. 2011. トラフグ仔魚の成長における低塩分の有効性とその要因. 水産増殖, 59: 225-233.
- 武沢護. 2013. 高等学校での統計教育の実践と課題. 数研情報通信, 36: 2-3.