

熊本県沿岸域の巻貝における環境ホルモンの影響評価と その環境教育教材としての有用性

島田秀昭*¹・楠本功一*¹・中村恭介*²・中田晴彦*³

Effects of Environmental Hormones on Rock Shells Collected From Kumamoto Coastal Waters and Its Usefulness for Environmental Education

Hideaki SHIMADA*¹, Koichi KUSUMOTO*¹, Kyosuke NAKAMURA*² and Haruhiko NAKATA*³

(Received October 4, 2004)

We investigated the effects of environmental hormones on rock shells collected from the Kumamoto and Fukuoka coastal waters and its usefulness for environmental education in lower secondary school. The occurrence of imposex on the rock shells was observed in harbor but not in the sea shore. These results suggest that organotin compounds such as tributyltin (TBT) derived from ship probably is the main source and still remains at hazardous levels. The practice using the rock shells in lower secondary school gave students much interest in protection of environment. These results indicate that rock shells with imposex are still found in Kumamoto and Fukuoka coastal waters and the practice using the shells is useful for environmental education.

Key words : environmental education, teaching material, rock shell, environmental hormone

はじめに

中学校理科における「自然と人間」の学習では、「自然界における生物の相互関係やそのバランスについて理解を深め、自然と人間のかかわり方を総合的に考える能力を身につける」ことを目的としている¹⁾。そのためには、野外において、身近な自然を学習材料とする探求的な調査・実験を行い、生徒の自然意識を高めることが重要と考えられ、これにより環境保全に対する知力および行動力を育成できるものと思われる。一方、時間的・地理的な問題や、生徒が野外で学習する際の安全面等の理由により、実験の遂行が容易でない場合も考えられ、これらの点を考慮した学習材料を選ぶ必要がある。

環境汚染物質の一つである有機スズ化合物は、海洋に生息する巻貝などに作用し、雌に雄の生殖器が形成される形態異常、いわゆる「インポセックス」を引き起こすことが知られている²⁾。本化合物（トリブチルスズオキシド）は、1960年代から船底防汚塗料や漁網

防汚剤などとして世界中で使用されてきた。ところが、1980年代半ばにその環境負荷を懸念する声が高まり、我が国では、1989年に通産省（現 経済産業省）の第一種特定化学物質に指定されて以降、トリブチルスズオキシドの製造・輸入および使用が禁止された。その後、沿岸および内湾の堆積物や生物を対象に行った追跡調査から、環境中の有機スズ汚染の低減が観察されていたが³⁾、最近では汚染レベルに大きな変化は確認されず⁴⁾、今日においても、トリブチルスズが原因と思われる巻貝の生殖異常は日本各地の沿岸域において高頻度で観察されている⁵⁾。

巻貝のインポセックスを調べる実験は、試料の採集が比較的容易なことや、異常が肉眼で観察されることなどから、その実施には必ずしも高度な専門知識を必要としない。このため、海洋汚染問題に関心の高い市民団体などは、ボランティア活動として巻貝を用いた環境調査を積極的に行っており、一定の成果を上げている⁶⁾。

以上のことを背景に、本研究は中学校理科の環境教育教材として、巻貝の生殖異常を調べる実験がどの程

*1 熊本大学教育学部理科教育, 〒 860-8555 熊本市黒髪 2-40-1

*2 熊本大学教育学部附属中学校, 〒 860-0081 熊本市京町本丁 5-12

*3 熊本大学大学院自然科学研究科, 〒 860-8555 熊本市黒髪 2-39-1

度有用なのか、調査・検討することを目的とした。具体的には、あらかじめ熊本県および福岡県沿岸の2地点より採集した巻貝試料を、生徒が実験室で解剖する体験を通して、環境に対する意識の向上と、人間と化学物質とのよりよい関係について考えさせる授業の実践を試みた。さらに、巻貝の採集地点を増加してその生殖異常を調べ、有機スズ化合物による有明海の汚染について、より詳細な考察を加えた。

I. 授業実践

授業および実験方法

平成15年6月26、27日、熊本大学附属中学校の「総合的な学習」の授業において、環境ホルモンに関する説明および巻貝を用いた実験を行った（参加者15名）。その際、授業の前後に本実験に関するアンケート調査を実施した（アンケート内容は後述）。

1) 材料と測定方法

実験に用いたイボニシ（アキガイ科）は肉食性の巻貝で、カキやフジツボ類が付着する岩場や、船着場、コンクリート製の護岸などで観察することができる。イボニシは、6月後半から8月中旬が繁殖期であり、その期間中、雌の卵巣は成熟を示す鮮やかな黄色を呈することが知られている。従って、雌雄判定の正確さを期すため、試料の採集は繁殖期の6月に行った。

平成15年6月、熊本県宇土郡不知火町沿岸および福岡県三池港よりイボニシを採集し、実験を行うまで -20°C で保存した。試料は殻高、殻幅および重量を測定後、金槌や万力を用いて殻を破壊した。各検体について生殖腺の色が黄色のものをメスとし、これにペニスが存在する個体をインボセックスと判定した。また、オスおよびインボセックスのメスのペニス長を測定し、各地点ごとに雌雄の平均ペニス長をそれぞれ計算した。これらの値から、インボセックスの出現率ならびに相対ペニス長指数（Relative Penis Length Index; RPL Index）を下記の式より算出した。

出現率 (%)

$$= \text{ペニスを有する雌の個体数} / \text{雌の総個体数} \times 100$$

RPL 指数

$$= \text{雌の平均ペニス長} / \text{雄の平均ペニス長} \times 100$$

RPL 指数は有機スズ化合物による巻貝の生殖異常を調べる際の指標として広く用いられており^{2,3)}、メスのペニス長が大きいほどRPL指数値は高くなり、イ

ンボセックスの重篤性が増すと考えられている。

2) 授業前における生徒の環境認識

本授業には、自ら進んで環境問題を学習したいと考えた2年生および3年生の生徒、計15人が参加した。授業前に行ったアンケートでは、環境問題への興味が「ある」、「とてもある」と答えた生徒が全体の93%を占めた（図1）。次に、「環境問題で知っていること」を複数回答で自由に表記させたところ、日常生活に密着した「ゴミ問題」、さらに、テレビや新聞などでよく取り上げられる「地球温暖化」、「酸性雨」、「森林減少」および「オゾン層の破壊」などが多くあげられたのに対し、「環境ホルモン」と回答した生徒は15人中わずか2人であった（図2）。しかし、環境ホルモンに限定した設問では、その言葉を80%の生徒が「知っている」、「少し知っている」と回答した（図3）。このことから、生徒は環境問題への関心は高いものの、環境ホルモンの具体的内容について日頃からあまり意識していない様子が窺えた。したがって、身近に存在しながらその影響が目に見えにくい環境ホルモン問題を、本授業と実験を通して生徒が学習する意義は大きいと考えた。

3) 授業の展開

授業の導入部において、生徒には現在と昔の人々の暮らしを比較し、文明の発達が人類にもたらした利便性と、反対にそれによって自然界に及ぼした悪影響について考えさせた。その後、環境ホルモンの影響と思われる野生生物の異変や、化学物質の作用メカニズムなどについて簡単な説明を行い、授業への意欲・関心を高めた。

次に、試料の測定方法について詳しく説明した後、グループごとに三池港および不知火町沿岸の2カ所の海岸より採集したイボニシを用いて解剖実験を行った。全体のデータを解析し、巻貝のインボセックス出現に地理的差異があることを確認した後、得られた結果について生徒の意見・考えをまとめるよう指示をした。

結果と考察

アンケートの結果、全ての生徒が授業の内容をほぼ理解していることがわかった（図4）。また、授業の楽しさについては、「楽しくなかった」という回答がなく（図5）、今後さらに実験をやってみようかという問いに対しても否定的な回答がなかったことから（図6）、生徒は全般に興味、関心、意欲を持って実験に取り組んだ様子が窺えた。

また、実験で印象に残ったことはという問いに対し、

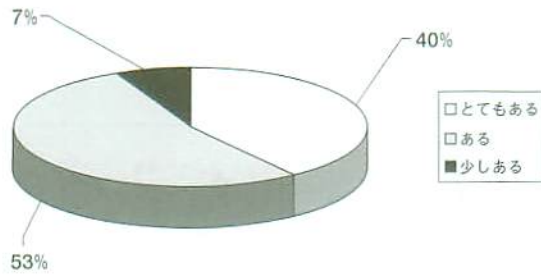


図1 環境問題への興味・関心
興味関心が「あまりない」、「全くない」という回答は0

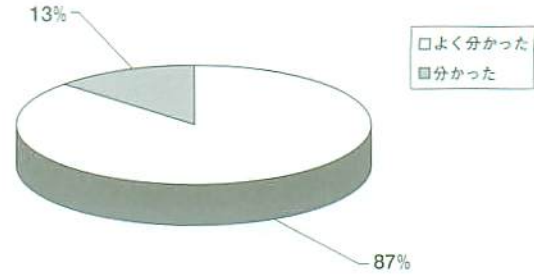


図4 授業の理解度
授業の内容が「あまり分からなかった」、「全く分からなかった」という回答は0

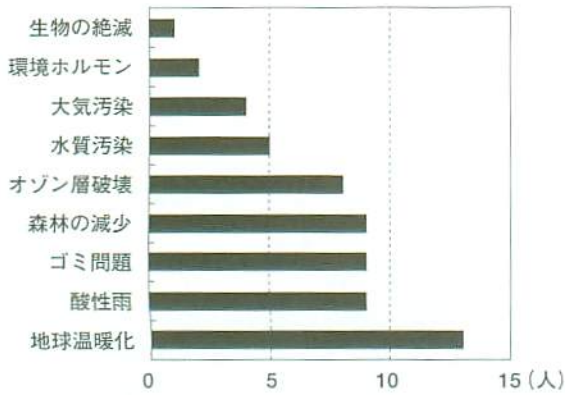


図2 環境問題で知っていること
環境問題で知っていることを複数回答で自由表記した結果

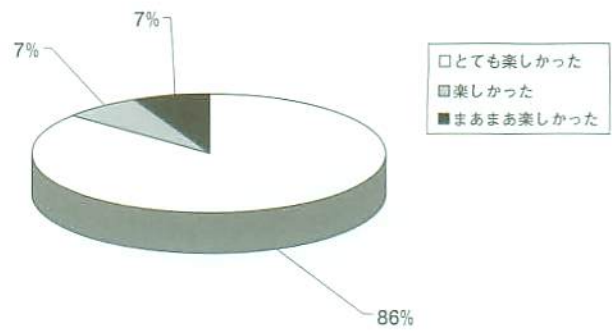


図5 授業の楽しさ
授業が「あまり楽しくなかった」、「全く楽しくなかった」という回答は0

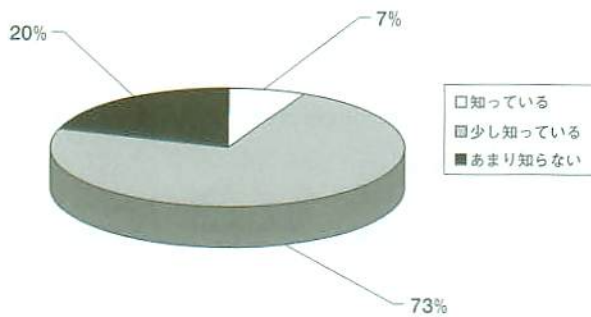


図3 環境ホルモンについて
環境ホルモンという言葉が「知っている」、「聞いたことがある」という生徒

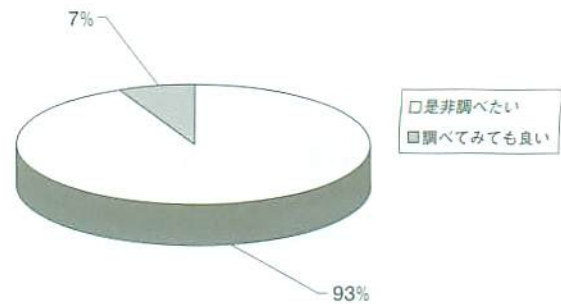


図6 今後の学習への関心・意欲
「あまり調べたくない」という回答は0

- ・動物への環境ホルモンの強い影響
- ・不知火と三池の実験結果の違い
- ・メスがオス化してしまうこと
- ・メスのペニスがおスのように大きかったこと
- ・オスとメスのからだのつくりの違い
- ・ペニスを見つけるのが難しかったこと
- ・解剖して測定などをしたこと

などの意見が出され、環境ホルモンによってメスの巻貝にペニスが発現することへの驚きと、実験行為そのものへの興味や関心の声が聞かれた。

さらに、授業・実験の感想欄には、

- ・環境ホルモンの影響がよく分かった
- ・とても分かりやすかった。講師の先生には、また来てほしい

などのコメントが寄せられ、授業は生徒の理解に併せて進行し、環境ホルモンの存在やその影響をしっかりと把握した様子が窺えた。

情意面では、

- ・環境ホルモンの問題は深刻だ
- ・環境ホルモンを減らす努力をしたい
- ・勉強になった、学ぶことが多かった

など、環境ホルモンを身近な問題として認識し、自然保護の意識が高まった様子を窺わせる意見が出された。また、実験に対する問題点については

- ・少し気味が悪かった
- ・メスの検体が斑に見つからず、インボセックスを発見できなかった
- ・慣れるまで、巻貝の殻をハンマーで割るのが難しかった

などの意見が出され、今後、技術面を中心に検討を重ねる必要性を感じた。

II. 生殖異常の調査

実験方法

平成16年6月～7月にかけて、熊本県沿岸の6地点および福岡県三池港よりそれぞれ37～53検体のイボニシを採集した(図7)。試料は、各地点間で個体サイズバラツキが生じないように殻高が30mm前後のもの

を選んで採取し、実験に用いるまで -20°C で保存した。インボセックスの認定およびペニス長の測定は前述と同様にして行った。

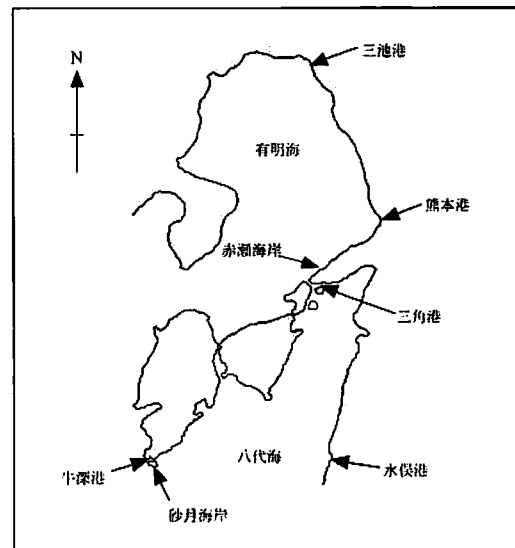


図7 試料の採取地点

結果と考察

各地点より採集した巻貝の性別、試料数、計測値およびインボセックスに関するデータを表1に示す。巻貝の性別は、水俣港を除く全ての地点において、オスに比べメスの検体が多く、その傾向は赤瀬海岸の個体群で顕著に見られた。イボニシの殻高および殻幅に大きな地理的差異は見られなかったが、重量は水俣港の検体が他地点のものに比べやや軽い傾向が見られた。

一方、インボセックスの出現率は、三池港および水俣港の検体が比較的高値を示した。三角港や熊本港のイボニシにもインボセックスが確認されたが、砂月海岸および赤瀬海岸ではこの種の異常が全く観察されなかった。つまり、巻貝におけるインボセックスの出現は、船舶量の多い港周辺に集中していることが明らかになった。過去の報告より、インボセックスの原因物質は、船底防汚塗料等に用いられるトリブチルスズやトリフェニルスズなどの有機スズ化合物であることが証明されている⁷⁾。したがって、今回調査を行ったイボニシのインボセックス出現には、船舶由来の有機スズ化合物が直接関与している可能性が高いと思われる。

各地点におけるメスのイボニシの偽ペニス長を比較したところ、三池港および三角港の検体が比較的に長いことがわかった(図8)。三池港のイボニシはインボセックス出現率も高かったことから(表1)、本地点は今なお深刻な有機スズ汚染を受けている様子が窺えた。一方、水俣港のイボニシは、インボセックス出現率は高かったものの、偽ペニス長は低値を示し、その

表1 実験に用いたイボニシの採取地点、性別、試料数、外部計測値ならびにインボセックス関連データ

採取地点	性別	試料数	殻高 (mm)	殻幅 (mm)	重量 (g)	ペニス長 (mm)	インボセックス出現率 (%)	RPL指数
三池港	♂	16	29.7±1.8	17.5±1.1	4.0±1.0	16.8±3.0	—	28.6
	♀	30	30.3±2.3	17.9±1.1	4.3±0.9	4.8±3.3	86.7	
熊本港	♂	25	31.6±2.3	18.6±1.3	4.5±0.8	19.0±2.0	—	5.8
	♀	28	32.9±3.3	19.2±1.7	5.0±1.2	1.1±0.6	10.7	
赤瀬海岸	♂	6	30.3±2.0	18.7±1.6	4.4±0.9	18.7±1.6	—	0
	♀	31	29.7±2.4	18.8±1.3	4.3±1.2	検出されず	0	
三角港	♂	12	28.3±2.1	18.4±1.2	4.1±1.0	18.9±3.9	—	14.3
	♀	30	29.7±3.0	19.5±1.7	5.0±1.6	2.7±1.9	20.0	
牛深港	♂	25	30.1±2.6	18.9±1.8	4.6±1.0	18.4±2.2	—	8.7
	♀	28	29.6±1.5	18.7±1.2	4.4±0.7	1.6±1.0	57.1	
砂月海岸	♂	10	29.7±2.8	18.9±1.2	4.9±1.0	18.5±3.3	—	0
	♀	35	28.4±2.5	18.7±1.7	4.5±1.0	検出されず	0	
水俣港	♂	30	28.4±2.0	17.7±1.3	3.4±1.0	10.7±4.7	—	11.2
	♀	20	29.0±2.6	17.9±1.1	3.8±0.9	1.2±0.6	95.0	

汚染パターンは三池港のそれと明らかに異なっていた。この種の地理的差異を生む要因は不明であるが、インボセックスの出現には巻貝が有機スズ化合物の暴露を受けたときのタイミングや、その期間などが関与している可能性があり、この点を解明するには今後詳細な調査研究を行う必要がある。

各地点におけるイボニシのRPL指数は、三池港の検体が最も高く、次いで三角港、水俣港の順であった(表1)。三池港、熊本港および三角港で得られたイボニシのRPL指数を、平成13年の調査結果⁸⁾と比較し

たところ、いずれの場所においても、最近3年間でRPL指数が約半分に減少していることがわかった(図9)。このことは、有明海沿岸の有機スズ汚染は全般に低減する傾向にあることを示唆している。しかし、同じ湾内においても、試料の採取場所により値の変動が大きかった例も観察されており⁹⁾、そうした値のバラツキを把握するには、更なる調査が必要であろう。また、港湾施設を中心に依然として巻貝の生殖異常が確認されており、今後も有明海周辺において有機スズ汚染の推移を注意深く観察する必要がある。

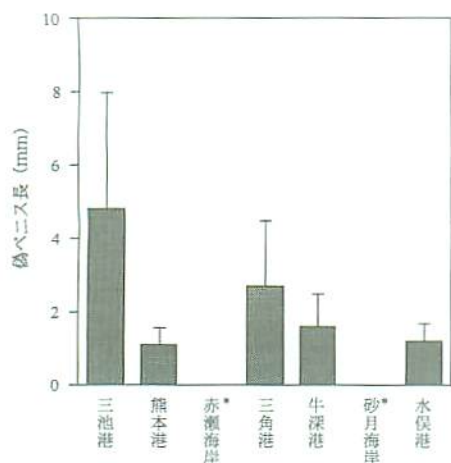


図8 各採取地点におけるイボニシ(♀)の偽ペニス長
* : インボセックスのイボニシは検出されず

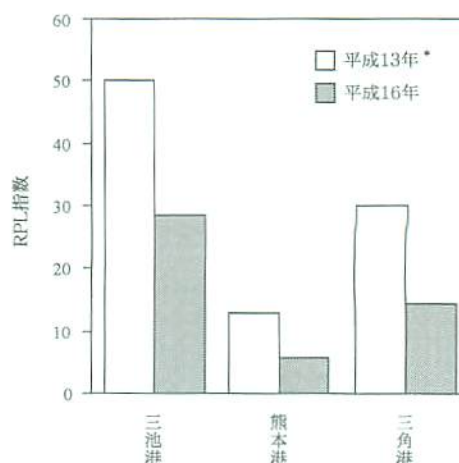


図9 イボニシのRPL指数の経時変化
* : 文献8より引用

ま と め

全般に、イボニシを用いた環境学習は、生徒が強い興味・関心・意欲をもちながら進められる内容であった。とくに、環境ホルモンの影響を実際に目で見て確かめられることや、採集場所による影響の差異が観察できたことから、生徒は直接的に環境問題の深刻さを認識したものと思われる。また、3年前と比較して徐々にインボセックスの出現率が低下していることから、人間の意識と行動の変容により野生生物（自然）を保護できることを実感できる教材でもあった。さらに本研究により、有明海周辺で生殖異常が見られる巻貝の採取場所を明らかにできたことは、これから学校現場において同様の実験を試みようとする教諭に対し、有用な情報を提供できたと思われる。

一方、堀口らは最近の調査において、イボニシのRPL指数は低下したものの、輸精管の形成や発達を評価する輸精管順位指数が高値の巻貝が、日本沿岸の多くの地点で観察されたことを報告している⁴⁾。このことは、有機スズによる巻貝の影響評価には、多面的でより詳細な調査研究が必要であることを示している。

今後は、熊本大学附属中学校で行った実践授業、熊本県沿岸域で行った調査結果を生かし、より効果的な環境教育の実践を目指したい。

謝 辞

論文作成にあたり有益なご助言を賜りました正元和盛教授（本学教育学部）に深謝致します。また、授業実践においてご協力頂きました浦田安之教諭（本学教育学部附属中学校、現泗水中学校）に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) 文部省、中学校学習指導要領（平成10年12月）解説——理科編——，大日本図書，pp. 82-86（1999）。
- 2) 堀口敏宏、有機スズ化合物と海産巻貝類の生殖異常、科学68, 546-551（1998）。
- 3) Harino H, Fukushima M, Kawai, S. Temporal trends of organotin compounds in the aquatic environment of the Port of Osaka, Japan. *Environmental Pollution*, 105, 1-7（1999）。
- 4) 堀口敏宏、小嶋光浩、嘉屋美由紀、松尾大起、白石寛明、森田昌敏、足立吉敏、イボニシにおけるインボセックスと有機スズ汚染の現状と経年変化～1999～2001年の全国調査結果、第4回環境ホルモン学会要旨集, pp. 288-289（2001）。
- 5) 堀口敏宏、貝類、水産学シリーズ126 水産環境における内分泌攪乱物質、恒星社厚生閣刊, pp. 54-72（2000）。
- 6) <http://www.cla-kantou.jp/takumi/0405/takumi0405.html>
- 7) Horiguchi T, Shiraishi H, Shimizu M, Yamazaki S, Morita M. Imposex in Japanese gastropods (neogastropoda and mesogastropoda) : Effects of tributyltin and triphenyltin from antifouling paints. *Mar. Pollut. Bull.* 31, 402-405（1995）。
- 8) 中田晴彦、小林 悟、平山結加里、境 泰史、有明海沿岸の貝類を用いた有機塩素化合物、多環芳香族炭化水素および有機スズ化合物の汚染モニタリングとトリブチルスズによる巻貝生殖器官への影響、*日本誌* 70, 555-566（2004）。
- 9) 谷口千歳、宮原正太郎、福岡市の沿岸部におけるイボニシの形態調査について、平成13年度福岡市保健環境研究所報、福岡市保健環境研究所, pp. 66-68（2001）。