

報 告

形態的な変異や多様性を理解するための貝殻を利用した
理科学習プログラムの作成

Development of Science Study Programs
for Realizing Morphological Variations and Diversities Using Shell Specimens

佐藤武宏¹⁾・田口公則¹⁾

Takehiro SATO¹⁾ & Kiminori TAGUCHI¹⁾

Key words: study programs, morphological variations, shell specimens, museum, school

はじめに

平成 10 (1998) 年公示・平成 14 (2002) 年度実施の中学校学習指導要領 (文部科学省, 1998) と平成 11 (1999) 年公示・平成 15 (2003) 年度の第 1 学年から学年進行で実施の高等学校学習指導要領 (文部科学省, 1999) は、学校完全週 5 日制に対応し、総合的な学習の時間が新たに設けられ、「円周率を 3 とする」などの大胆な学習内容の刷新が注目された大改訂であった。

この次の改訂にあたる、平成 20 (2008) 年公示・平成 24 (2012) 年度実施の中学校学習指導要領 (文部科学省, 2008) と平成 21 (2009) 年公示・平成 25 (2013) 年度の第 1 学年から学年進行で実施の高等学校学習指導要領 (文部科学省, 2009) は、学力・心・身体のバランスを重視した生きる力の育成を目指した教育を目標としている。1980 年の改訂以来減り続けてきた授業時数はおよそ 30 年ぶりに増加に転じ、授業で扱う内容も増加することになった (文部科学省, 1998, 1999, 2008, 2009)。

中学校の理科では第 2 分野生物の「内容」の

項で「無脊椎動物の仲間」や「生物の変遷と進化」という内容が復活した上、「内容の取扱い」の項では「節足動物や軟体動物の観察を行い、それらの動物と脊椎動物の体のつくりの特徴を比較することを中心に扱うこと」、「進化の証拠とされる事柄や進化の具体例について取り上げること」ということが明記された。さらに「指導計画と内容の取扱い」の項では、「観察、実験の結果を分析し解釈する学習活動、科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動が充実するよう配慮すること」、「博物館や科学学習センターなどと積極的に連携、協力を図るよう配慮すること」ということが明記された (文部科学省, 2008)。

高等学校の理科では生物基礎の「内容」の項に「生物の多様性と生態系に関する探求活動」が明記され、「内容の取扱い」の項で「観察、実験を行い、報告書を作成させたり発表を行う機会を設けたりすること。特質に応じて、問題を見いだすための観察、仮説の設定、実験の計画、実験による検証、調査、実験データの分析・解釈などの探究の方法を習得させること」、「生物についての共通性と多様性の視点を意識させるよう」指導するよう明記している。生物の「内容」の項でも同様に「生物の多様性」を取り上げ、「内容の取扱い」の項で「遺伝的多様性、種多様性及び生態系多

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History,
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
佐藤武宏 : sato@nh.kanagawa-museum.jp

様性」を扱うことを明記している（文部科学省，2009）。

神奈川県内には平成27年5月1日現在で小学校が国立2校、公立853校、私立32校、中学校が国立2校、公立409校、私立が63校、高等学校（専攻科・別科・通信制を除く）が公立156校、私立78校、中等教育学校が公立2校、私立3校、特別支援学校が国立2校、公立45校、私立2校設置されていて、その在学者数は合計で920,484名、本務教員数は合計で57,323名に及ぶ（神奈川県教育局，2015）。

しかし、神奈川県内の科学館・博物館・科学教室などは40施設に過ぎず（神奈川県政策局，2014）、そのうちいわゆる自然史科学をテーマとする館は10館程度に限られる。学習指導要領に「博物館や科学学習センターなどと積極的に連携、協力を図るよう配慮すること」と明記されているものの、限られた施設、限られた人員ですべての学校に対応することは当然不可能であるし、学校側も最初からそれは期待していないのではないかと想像される。事実、神奈川県立生命の星・地球博物館で平成25年度／平成26年度それぞれの1年間に実施した学校教育への対応への参加者は、理科等の教科学習・講義への対応が44件1,423名／48件1,938名、総合的な学習への対応が16件433名／21件1,340名、職場体験が8件20名／13件28名、インターンシップが9件25名／6件14名、教員研修の受け入れが21件190名／17件259名、各種研修の受け入れが8件147名／8件195名であり、合計106件2,238名／113件3,774名に留まっている（神奈川県立生命の星・地球博物館，2014；2015）。博物館が実施した講座（幼児を主な対象者とするものを除く）への参加者1,411名／1,799名、学校以外からの依頼による講師対応59件／56件（参加者数未集計）、博物館で実施した講演会への参加者3件587名／2件160名、他機関との連携行事への参加者10件943名／14件1,334名を加えても、総数としては年々増加傾向にあるものの県内の児童生徒数、教員数には遠く及ばない。

したがって、学習指導要領に明記された「博物館や科学学習センターなどと積極的に連携、協力を図る」ためには、一対一の連携事業や講座、出前授業だけではなく、ウェブサイトやワークシートの配布などによる、一対多の対応を考える必要がある。

田口ほか（1999）は、化石標本をローンキットとして使用することにより、博物館が材料を学校に提供し、学校の教員がそれを用いて子ども

ちに化石を利用した教育を実施し、授業を実施することによって得られる資料、教員からのアイデア、子どもたちからの声を博物館にフィードバックする教育モデルを提示した。しかし、樽ほか（2001）は博物館と学校との直接的な連携には限界があること、その理由が学校、博物館の双方にあることを指摘している。樽ほか（2001）はこれを解決する一つのモデルとして、博物館の資料と学校の設備を利用して自然科学教育を行う「中間機関」の設置を提案している。この中間機関は欧米の博物館のエデュケーターの組織（真鍋ほか，1998）やティーチャーズ・センター（大堀，1997）に類似するとされ、大きな教育的効果が期待されるとしているが、残念なことにこのようなシステム化された「中間機関」は現在まで設置されていない。

広谷ほか（2012）は、博物館の講座で活用している骨格のレプリカなどの標本資料は、学校での購入や保管が難しいことを指摘している。これは、標本資料の多くが高額であること、保管にはある程度の設備や空間が必要となることなどの理由によって、生徒それぞれが観察できたり統計的な処理を行うことができたりするだけの十分な標本数を確保することが難しいことによると考えられる。また、生きものを殺して標本とすることに対する心理的抵抗がある（岡本，2001）ことも否定できないだろう。一方で、小さな生きものの死に様は哺乳類や鳥類ほどの残酷さ、怖さ、悲しみの感情を人間に強くは想起させないという理由から、飼育や観察にはカタツムリや昆虫などの生きものが適しているという指摘もある（山下・鑄物，2015）。

そこで、比較的安価で多数の標本を調達可能であり、生きものの死に様を想起させにくい、という条件を満たす、水産物あるいはインテリア雑貨やアクセサリ素材として流通する貝殻素材を用い、「博物館や科学学習センターなどと積極的に連携、協力を図る」授業展開を目標とした、生物の多様性や変異、成長を学ぶ学習プログラムを開発することとした。このような学習プログラムを開発し、博物館の講座や出前授業で実施したので、概要について報告する。

1. 学習プログラム開発の前提

学習プログラムの開発にあたっては、以下のようない事柄を前提とした。

(1) 学習プログラムの素材は、水産物として販売されたり、インテリア雑貨やアクセサリ素材として販売されたりしているものとし、標本化に特殊な薬品や器具を使用しないものを選ぶ。

(2) 標本の保存には特別な設備や薬品を必要とせず、比較的小さなスペースで収納できるものを選ぶ。

(3) 学校の授業時間に実施することを考慮して、1つのテーマのプログラムをいくつかのモジュールに細分し、50分程度のまとまり×複数回で実施できるようにする。

(4) 観察、測定、分析、比較などを行うにあたっては、学校に既に常備されている器具を使用するか、新たに用意する場合でも教材取扱店やホームセンターなどで安価に調達できるものとする。

(5) 広谷 (2010)、広谷ほか (2012) で指摘された、博物館の講座を学校へ導入する際の問題解決指針に従い、小グループで観察を行う時間とテキストを使いながら全体に説明したり全体で考えてまとめたりする時間を交互に持てるような時間設定をおこなう。

以上の事柄を前提とし、多数の貝殻標本を利用して個体群内の形態変異、個体群間の形態変異、成長、形態の多様性と法則性、進化などについて統計的に扱う学習プログラムの開発を試みた。

2. 学習プログラムの概要

学習プログラム開発の前提を考慮し、いくつかのプログラムを作成した。

それぞれのプログラムはいくつかの小さな作業単位であるモジュールによって構成され、1つのモジュールが授業1コマの基本的な時間である50分に対応するように調整した。それぞれのモジュールに対応するようにワークシートを作成し、内容、指導上のポイント、キーワード、注意点、ワークシートの概要などをまとめた進行表(表: 1)を作成した。

以下は各プログラムの概要および作成にあたって考慮したポイントである。

(1) ホタテガイの肋の個体変異・個体群間変異を知る

ホタテガイの殻表面にみられる放射肋(殻の蝶番の部分の起点として、扇の骨状に延びる筋模様)の数に注目し、集団内での個体変異、個体群間変異について考えることを目的とする。最初にホタテガイを観察し、放射肋がどの個体にも共通して存在すること、その本数には個体によって変異があることを確認する。その後、その放射肋の本数を標本ごとに計数し、集団の中で本数の変異がどのように分布しているのかをまとめる。その後、別の集団から得られた標本の肋の数や、化石ホタテガイの肋の数がこの得られた分布から外れた値を示すことを確認し、変異には個体群内での変異と、個体群間での変異があることを認識する。

(2) アサリの殻内面の色の変異を知る

アサリの殻の内面には、白、黄、橙、桃、青、紫、褐などの色彩変異がみられる。これらの色彩変異について、同一集団から得られたと判断される多数の標本について計数し、集団の中にどのような色彩型がどのような割合で存在しているかを確認する。結果はグラフによって視覚化する。この色彩変異は殻の内面に発現しているため、生時は確認することができない変異である。このような変異が生じる原因や、変異にはどのような意義があるのかを議論し、その仮説を検証する方法を検討させる。

(3) アサリの殻の縦横比の変異を知る

アサリの殻の形態には個体変異が認められ、殻長に対して相対的に殻高の低い細長い楕円形に近いものから、殻高の高い円形に近いものまでが存在する。この変異を、殻の縦横比(=殻高/殻長)で表現すると、変異は正規分布を示す。同一集団から得られたと判断される多数の標本について、殻長、殻高をデジタルノギスで測定する。測定した値を電卓で計算し、殻の縦横比を算出する。この値の分布をヒストグラムで可視化する。変異が確認される理由を考えさせ、性差による違いや成長段階による違いなどについて、それを検証する方法を検討させる。成長段階による違いを確認する方法の一つとして、二次元ヒストグラムを取り上げ、等成長していることを確認する。

(4) エゾアワビの成長と個体群間の変異を知る

ある地方で種苗生産と養殖によって得られたさまざまな成長段階のエゾアワビを材料に、孵化後の時間(月齢)の違うそれぞれの個体の殻サイズ(殻長)をデジタルノギスで測定し、両者の関係をグラフ化することによって成長の様子を視覚化する。同様に別の地方で得られたエゾアワビを用いて成長グラフを描き、両者の差異を確認する。さらに別の地方でのエゾアワビの成長グラフを文献やインターネットから引用し、変異と地理的な位置との間にどのような関係があるかを考察する。

(5) チョウセンフデガイの殻に残された傷跡から進化を考える

カニやロブスターのような殻破壊性捕食者は、巻貝の殻口から殻を少しずつ破壊し、軟体部を捕食する。しかし、被食者である巻貝が軟体部を後退させて捕食をやり過ぎたり、捕食者がそれ自身の身の危険を感じて捕食を途中で放棄したりする場合には、中途半端な殻の破壊が発生する。巻貝はその後、破壊を裏打ちするように新しい殻を形成して殻を修復するため、非致命的捕食痕が殻のギャップとして記録される。チョウセンフ

表. 1. 学習プログラムを構成する作業単位であるモジュールの進行表の例（モジュール「アサリの殻長と殻高を測定し殻の比率を求めて変異をグラフ化する」）.

講座の流れ	内容	指導者の注意点	ワークシート	ポイント
導入	アサリの貝殻を全員に配布し、お互い比較してより楕円に近いもの、円に近いものがあることを確認させる。		殻の測定値を記入するシート	
疑問の共有	このかたちの変異をどのように表現することができるか問いかけ、方法を考えさせる。	「たて」「横」「比率」などの言葉を使わないように注意する。		
方法の確認	楕円のつぶれ具合を表現する方法として、長軸、短軸の比率を比較する方法があることへ導く。	説明が天下りにならないようにうまく誘導する。		長軸と短軸の長さそのままを比較すると、大きさが違ったときに比較できない。そのため、比率を用いることを示す。
アサリの殻への展開	アサリの殻を楕円に近いものとみなし、長軸＝殻長、短軸＝殻高を測定し、その比率を計算することへ応用する。			
測定方法の確認	定規で測定すると誤差が大きいのので、デジタルノギスを配布し、使い方を確認する。	デジタルノギスの使い方を解説し、身の回りの鉛筆や消しゴムなどを使って十分な練習をさせる。		デジタルノギスの使い方に充分慣れていないと測定誤差がかなり大きくなる。
測定部位の統一化	右殻と左殻のどちらを測定するか、合併の標本と離弁の標本でも同じように測定できるかを確認する。	参加者に意見を聞いて、参加者主導でルールを決めさせる。		
数値の取扱いの統一化	殻高、殻長などを測定し、比率を計算する方法を解説する。	比率を計算するときには小数点以下何桁まで計算し、その下の位を四捨五入するか切り上げ／切り捨てするかなどのルールを細かく定める。		
測定方法の確認	全体の標本から、一人1個体ずつ取り出して測定すること、測定が終わった標本は「測定済み」の箱に入れて重複して測定することのないようにすることなどのルールを確認する。	作業が遅い参加者でも一定数は測定できるよう、あらかじめ数個体を配っておくなど状況に応じて対応する。		一人1個体ずつ測定することによって、作業が早い参加者と遅い参加者でも進行が同じように揃う。
測定				
計算	電卓を使って比率を求めさせる。	計算をはじめる前に数値の取扱いのルールを再確認する。		
結果の区間への振り分け	計算によって得られた比率が、どの区間にどれだけ分布しているのかを数えさせ、区間表に記入する。	一つ一つの値がどの区間に相当するのか、一つづつ確認して区間の中に小さな「正」の字を書いて確認する。最後に算用数字に置き換える。	区間表	比率が区間表の境界の値になったとき、上の区間に入れるか下の区間に入れるか、ルールを決める。
全員の合計を集計する	一人一人のデータをそれぞれ発表させ、集計し、全員の合計を求める。求めた合計を書き写させる。	読み上げの際に区間をずらして読み上げてしまう例が多いので、ずらさないようにお互い復唱して確認する。		計算自体は表計算ソフトなどを使用して構わない。結果は大きく揭示したり、プロジェクトで投影したりする。
グラフ化する	集計表の結果からヒストグラムを作成させる。	低学年の参加者がいる場合「ヒストグラム」という言葉は使用せず「ある範囲に当てはまるものがどれだけあるかを示す『棒グラフのようなもの』」というような表現に留める。	ヒストグラム	比率は離散変数ではなく連続変数であるが、結果がイメージできればよいのでヒストグラムにはこだわらない。
解釈	ヒストグラムが正規分布に近いものになった場合、変異の特性について解説する。	必要に応じて、クラスメイトの身長分布など身近な例と比較しながら解説する。		
解釈	ヒストグラムが正規分布から外れるようなものになった場合や、多峰性を示した場合、その原因について解説する。	必要に応じて、一人一人の結果に戻り、値が高めに出る傾向の人がいたり、低めに出る傾向の人がいたりすること、測定誤差の話などを解説する。		多くの場合、正規分布から外れてしまう原因は、個々の測定結果を合算することによるものである。一人一人の測定誤差に差があったり、差がなくとも大きめに測定してしまう傾向の人と小さめに測定してしまう傾向の人がいて結果的に多峰性の分布になったり、極端に歪んだ分布になったりする。
次の課題へつなぐ問いかけ	変異がばらついていることの理由が何か考えさせる。	いろいろな場所から得られた標本である、オスとメスが混ざっている、さまざまな成長段階のものが混ざっている、採集した季節が違うなど、なるべくたくさん仮説を挙げさせる。		
疑問の共有	仮説のうちの一つ、成長段階が違っているということを証明する方法について考えさせる。			
方法の確認	二次元ヒストグラムを作成させる。	「二次元ヒストグラム」という言葉は使用せず「殻の長さがどの範囲に相当し、かつ、殻の高さがどの範囲に相当しているかの『場所を示す図のようなもの』」というような表現に留める。	二次元ヒストグラム(個人)	
値の分布表への振り分け	一つ一つの標本がどの場所に相当するかを数えさせ、表に記入させる。	最初にいくつか例を挙げて実際にどのような値をどのようにして振り分けるのかを実演してみせる。作業の遅い参加者にはそれとなく補助をする。		
全員の合計を集計する	一人一人のデータをそれぞれ発表させ、集計し、全員の合計を求める。求めた合計を書き写させる。	読み上げの際に区間をずらして読み上げてしまう例が多いので、ずらさないようにお互い復唱して確認する。	二次元ヒストグラム(全員)	計算自体は表計算ソフトなどを使用して構わない。結果は大きく揭示したり、プロジェクトで投影したりする。
分布を見やすく処理する	頻度の値が大きいところには暖色系の色を、小さいところには寒色系の色を塗り、色彩や濃淡によって分布を見やすく処理する。	地図の等高線やアメダスの温度分布などの身近な例を挙げ、同じようなグラフを描くことを意識させる。		
分布の解釈	分布の中心を結ぶと直線になることを示し、成長段階が違っても比率が変化しない、等成長であることを確認させる。			

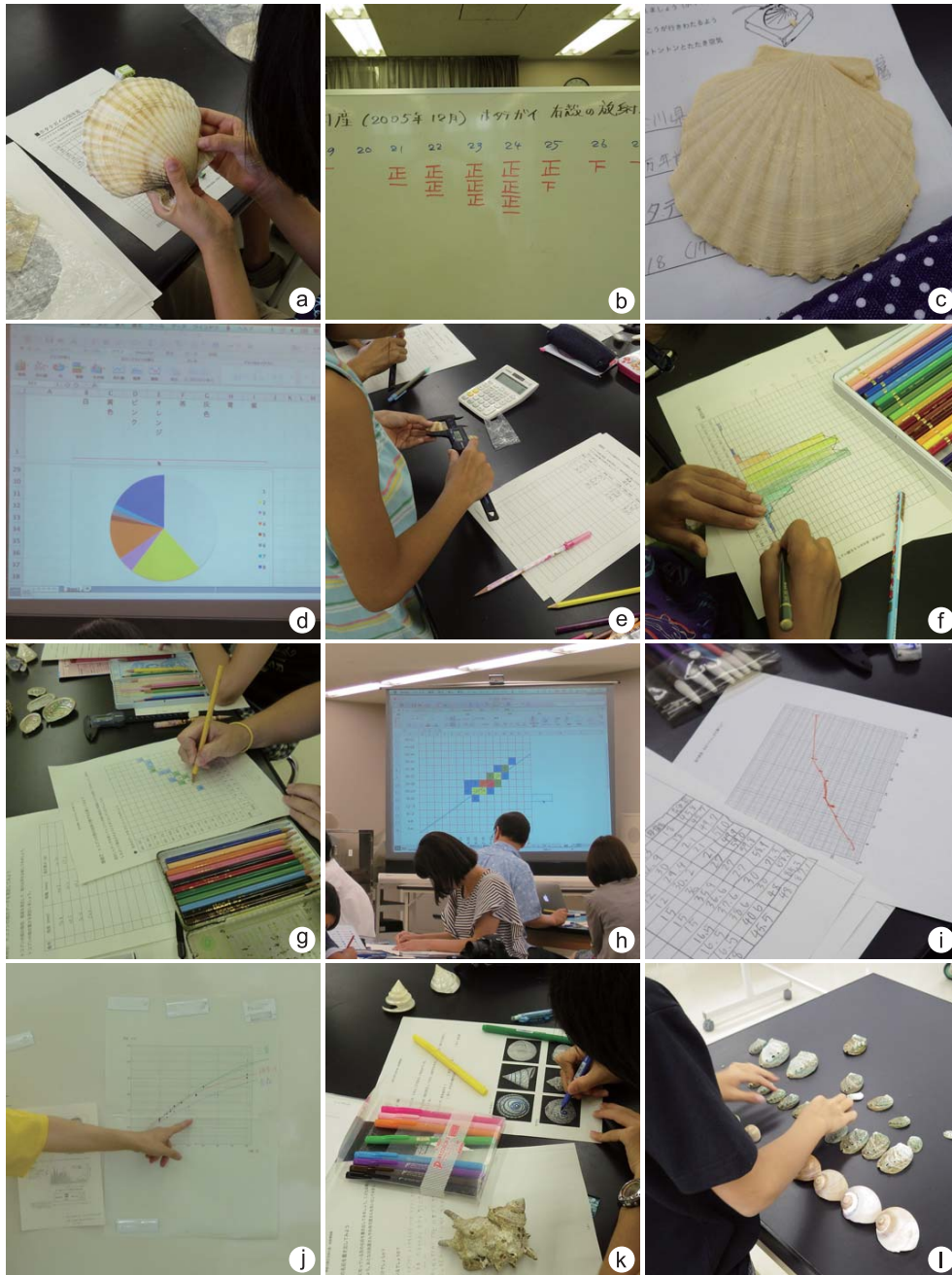


図. 1. 講座の様子. a: ホタテガイの貝殻の放射肋を計数する講座参加者 [S]; b: 「正」の字を利用したホタテガイの殻の放射肋数のヒストグラム [S]; c: 講座参加者が自ら作成した化石ホタテガイのレプリカ標本を用いた現生標本の結果との比較 [S]; d: アサリの殻の内面の色彩多型を集計した円グラフ (Microsoft Excel による集計結果を液晶プロジェクタで投影) [S]; e: デジタルノギスを用いてアサリの貝殻の殻長を計測する講座参加者 [S]; f: アサリの貝殻の殻長殻高比の変異をまとめたヒストグラムを作成する講座参加者 [S]; g: アサリの貝殻の殻長と殻高についてまとめて二次元ヒストグラムに頻度に応じて彩色する講座参加者 [T]; h: 全員の結果を集計して作成したアサリの殻の殻長と殻高に関する二次元ヒストグラム (Microsoft Excel による集計結果を液晶プロジェクタで投影) [S]; i: アワビの月齢とデジタルノギスで測定した殻長の関係から得られた成長グラフ [T]; j: 作成したアワビの成長グラフの個体群間の変異の比較 [T]; k: 巻貝の殻にみられる左右非対称性と螺旋を図に書き込んで確認する講座参加者 [T]; l: 巻貝の等成長を知るためにトコブシとツメタガイのこどもからおとなまでの標本を並べて比較する講座参加者 [T]. [S]: 佐藤武宏撮影; [T]: 田口公則撮影.

デガイの貝殻にはこのような非致命的捕食痕が多数記録され、集団内での1個体あたりの理想的な捕食痕の数はポアソン分布に従う。そこで、チョウセンフデガイの標本の殻に認められる殻のギャップの数を計数し、グラフによって可視化し、これを確認する。捕食圧が低く捕食がほ

とんど起こっていない場合には分布のピークは0に近い値を示す。一方、捕食者が非常に強力な捕食成功率が極めて高い場合には捕食は常に致命的な捕食となり分布のピークは0に近い値を示す。捕食圧がある程度高く、捕食成功率が中庸である場合には、分布のピークは0から離れる。

このような分布を数学的に理解することは中高生には非常に困難であるが、現象そのものは「一生のうちに交通事故に遭遇する回数」や「一シーズンの間に風邪を引く回数」のように日常生活によく見られるものと同様であるため、感覚的に理解しやすい。一生のうちに捕食に遭遇する頻度が適当で、貝殻によって捕食から身を守れる場合がある、という条件下では貝殻形態の多様性に伴う物理的な殻強度の違いが捕食が致死になるか非致死になるかを左右する。このようなことを理解させた上で、現在の海洋環境において巻貝が非常に多様化していること、このことが中生代以降の殻破壊性捕食者の多様化と同調的に起っていることなどを説明し、進化の原動力について解説する。

(6) 巻貝の殻の法則性を知る

生物の多様性と共通性を理解するため、巻貝の殻に見られる3つの法則性を認識する。巻貝の体制はほかの多くの生物と異なり、放射対称性も正中線を軸とした対称性も持たないという特徴を持つ。これは、付加成長をするにも関わらず体のプロポーシオンを一定に保つという特殊な成長様式によるものであり、その結果、体の中に螺旋を持つこと、親と子が相似形であること、という特徴が発現する。多くの巻貝の標本を観察し、殻に見られる法則性、共通性を確認した上で、多様な巻貝が存在することを認識し、巻貝の進化と多様化について解説を行う。

3. 博物館での講座の実施と実施に際しての配慮

2009年から神奈川県立生命の星・地球博物館の夏休み子ども向け講座で「貝殻のふしぎを調べよう」というタイトルで、それぞれの学習プログラムを試験的に実施した(図. 1)。対象は小学校4年生以上とした。

2009年は学校教育との連携を意識せず、博物館に多数保存されている教育用未登録標本を活用するための講座という位置づけでおこなったため、今回の報告では詳細を省略する。

2010年の講座からは、学校教育の現場でプログラムを実施することを意識しながら講座を実施した。具体的には進行の面で50分を一つのモジュールとしてまとめること、多様性や変異といった学習指導要領で扱われているいくつかのキーワードを最初に提示すること、最初にあまり方向性を示さずに先入観なく観察を進められる時間を採ることなどを重視した。それぞれの講座で扱ったモジュールの内容を表. 2にまとめた。

すべての講座において、一人一人あるいは小グループで十分な観察を行えるように時間配分を

行った。特に、非常に特徴的な形態をしているため多くの人が何となく共通のイメージを持っているにも関わらず、それが足枷となって細部の形態まで注目されにくいホタテガイに関しては、中が見えないダークバッグを利用して触察を行わせた後、袋からとり出して観察させるなどの工夫を行ない、細部の形態にまで目が届くようにした(田口, 2013)。ホタテガイ以外の講座においても観察の重要性を強調し、一方的な説明による知識の伝達ではなく、観察による発見の積み重ねによって現象を理解できるように誘導した。

博物館の講座では学校の授業と異なりさまざまな学年の児童生徒から場合によってはその保護者、学生や教員、一般成人も参加する。そのため、講座の中で扱う用語や手法の説明については、もっとも年少の参加者である小学校4年生が理解できるような言葉に置き換えて実施した。例えば、グラフに関しても、棒グラフは3年生、折れ線グラフは4年生、円グラフと帯グラフは5年生、ヒストグラムは6年生、二次元散布図は高校生(数学I)で学習する(文部科学省, 2008; 2009)が、講座の中ではヒストグラムは「ある範囲にあてはまるものがどれだけあるかを示す『棒グラフのようなもの』」、成長グラフは「時間を追って体のサイズの変化を示した『折れ線グラフのようなもの』」というような平易な表現に置き換えた。二次元ヒストグラムに関してはその用語には触れず「殻の長さがどの範囲に相当し、かつ、殻の高さがどの範囲に相当しているかの『場所を示す図のようなもの』」という表現で解説するに留めた。

グラフの作成にあたっては、あらかじめ穴埋め式のワークシートを用意しておき、そこに得られた計測値や計算結果を埋め込んでいくことによって簡単に作成できるようにした(図. 2~4)。

多数の標本を計測する際も、通常の生物計測学的研究では複数回(例えば5回)計測し、その最大値と最小値を除去した値(例えば3回)の平均値を算出して計測値とするのが一般的であり、複数の測定者が測定した値を合算して取り扱うことは測定誤差が大きくなることから回避すべきである。しかし、講座の時間が限られていること、個人個人の習熟度や処理速度にばらつきがあることなどを考慮し、この講座の中では全標本を一人一つずつ1回測定し、一人一人の処理数に偏りが生じてもすべての標本が測定された時点で終了し、最終的にその値を集計して分析を行うという手法を採用した。また、集計にあたっては参加者には原則と手法を解説した上で必要に応じてMicrosoft社の表計算ソフトウェアExcel

表. 2. 博物館で実施した講座（実時間 270 分；うち、導入とまとめ 60 分、休憩 10 分を含む）の中で取り扱った 50 分を単位とするモジュールの一覧.

	ホタテ	アサリ	アワビ・トコブシ	いろいろな巻貝
2010 年	1. 触察と視察によって貝殻を観察する 2. 貝殻の特徴について情報を共有する 3. 貝殻の放射肋を計数しヒストグラムを作成する 4. 他地域のホタテガイや化石ホタテガイと比較を行う	1. 殻の特徴と成長のしかたを知る 2. 殻の内面の色についてその頻度を計数しグラフ化する 3. 殻長と殻高を測定し殻の比率を求めて変異をグラフ化する 4. 殻長と殻高について二次元ヒストグラム化し等成長を確認する	1. 日本に分布する 3 種 4 亜種のアワビを観察し違いを認識する 2. それぞれのアワビの殻長、殻幅、殻高、殻のふちの幅などを計測して比較する 3. 月齢ごとのエゾアワビの殻長をノギスで計測する 4. 月齢と殻長の関係を折れ線グラフに示し成長の様子を知る	1. 巻貝の殻の 3 つの法則性を確認する 2. さまざまな巻貝を観察して法則性と多様性を実感する 3. 多くの巻貝では棘などの装飾が 1 巻あたり 3 や 5 回出現することを確認する 4. チョウセンフデガイの殻の捕食痕を計数してグラフ化する
2011 年	(前年に同じ)	(前年に同じ)	(前年に同じ)	1. 巻貝の殻の 3 つの法則性を確認する 2. さまざまな巻貝を観察して法則性と多様性を実感する 3. 多くの巻貝では棘などの装飾が 1 巻あたり 3 や 5 回出現することを確認する 4. ダンベイキサゴの殻の色と模様について頻度を計数しグラフ化する
2012 年	(前年に同じ)	(前年に同じ)	1. 月齢ごとのエゾアワビの殻長をノギスで計測し折れ線グラフに示す 2. トコブシの殻長と殻幅をノギスで計測する 3. 殻長と殻高について二次元ヒストグラム化し等成長を確認する 4. エゾアワビの殻を削り出し研磨することによって真珠層の様子を観察する	1. 巻貝の殻の法則性を確認しさまざまな巻貝で多様性を実感する 2. チョウセンフデガイの殻の捕食痕を計数してグラフ化する 3. ダンベイキサゴの殻の色と模様について頻度を計数しグラフ化する 4. ダンベイキサゴの殻径と殻高を測定しその比率の変異をグラフ化する
2013 年	(前年に同じ)	(前年に同じ)	(前年に同じ)	(前年に同じ)
2014 年	(前年に同じ)	(前年に同じ)	1. 月齢ごとのエゾアワビの殻長をノギスで計測し折れ線グラフに示す 2. 他の地域個体群の成長グラフと比較する 3. 殻長と殻高について二次元ヒストグラム化し等成長を確認する 4. エゾアワビの殻を削り出し研磨することによって真珠層の様子を観察する	1. 巻貝の殻の法則性を確認しさまざまな巻貝で多様性を実感する 2. 化石種であるアンモナイトについても観察から法則性を導き出す 3. 巻貝とアンモナイトの違いを知る 4. アンモナイトのレプリカを作成する
2015 年	(前年に同じ)	(前年に同じ)	1. 巻貝の殻の法則性を確認しさまざまな巻貝で多様性を実感する 2. 月齢ごとのエゾアワビの殻長をノギスで計測し折れ線グラフに示す 3. 殻長と殻高について二次元ヒストグラム化し等成長を確認する 4. ダンベイキサゴの殻径と殻高を測定しその比率の変異をグラフ化する	

図. 2. ワークシートの例(1). フローチャート式に埋めていくことによって簡単にグラフが描けるようにしたワークシート。
1: アサリの殻の内面の色を参加者全員で相談して書き出し縦長の項目名の欄に書き入れる; 2: 自分が調べた標本についてその結果(頻度)を整数で書き入れる; 3: 全員の結果を集計して欄に書き入れる; 4: 「3」の結果をすべて足し合わせて標本の総合計数を産出する; 5: 「3」のそれぞれの値を360倍して「4」の総合計数で割る; 6: 円グラフのそれぞれの扇型の中心角が得られる; 7: 「6」で得られた中心角に基づき円グラフを作成する。

図. 3. ワークシートの例 (2). アサリの貝殻の殻長と殻高の二次元ヒストグラムを作成させるための範囲表. あらかじめそれぞれのビン (値の範囲) は表の中にデータがまんべんなく散らばるように設定している. 最初に左側の図に自分のデータをプロットし, その後全員のデータを集計して右側にプロットする. プロット後に頻度に応じて頻度の低い場所を寒色系で, 頻度の高い場所を暖色系で着色し, 日常的になじみのある地図の高度やアメダスの温度分布図のような図を作成する.



図. 4. ワークシートの例 (3). チョウセンフデガイの貝殻上の傷跡 (段差) の計数. 自分が数えた個体数を最初に左側に記録し, その後全員の結果を集計して欄に書き入れる. 最後に右ページの範囲表を使用してヒストグラムを作成し, ポアソン分布状の分布をすることを確認する.

を使用して集計し、その結果を書き写させるという方法を採ることにより時間短縮をはかった。

データ集計やグラフの確認に関しては、2010年以降の数年はホワイトボードに直接書き出す方法(図. 1b)や、ワークシートを模造紙大に拡大コピーしたものに書き込む方法(図. 1j)を用いていたが、後にはノートパソコンの画面を液晶プロジェクタによってスクリーンに投影(図. 1d, h)し、参加者全員で確認と情報共有をするようにした。

4. 講座に対する感想と意見

講座実施後の博物館実施のアンケートと、参加者への聞き取り調査から、以下のような感想と意見を得ることができた。

(1) ホタテガイの肋に関する感想と意見

- ・触る、言葉にする、見る、調べる、造る、発表する、話し合うなど、色々なこと（経験）が経験でき、有意義だった。
- ・説明を聞くだけでなく自分たちで考えたり発表したりすることでより理解が深まった。
- ・殻のかたち細かい違いがあることがわかった。その理由も知りたいと思った。
- ・ほかの貝についても知りたいと思った。
- ・中身についても調べてみたいと思った。
- ・家で別の産地のホタテガイを買って放射肋の数

を数えてみたいと思った。

- ・標本をたくさん収集する意味がわかった。
- ・数を数えるだけで何がわかるのだろうかと思ったが、いろいろなことがわかってとても驚いた。
- ・今まではどれもこれも単に「ホタテガイ」と思っていたが、いろいろな変異があることがわかった。
- ・身近な生きものにもいろいろな進化の歴史があることに驚いた。
- ・ホタテガイ一つのテーマでいろいろなことができて面白かった。

・触覚、視覚などさまざまな切り口でホタテガイを観察できてよかった。

(2) アサリの殻内面の色に関する感想と意見

- ・調べることは楽しかったし、その結果をグラフにすることでよくわかった。
- ・グラフを作ると調べたことをわかりやすく示すことができることを知った。
- ・生きものを調べるのは、生きていたものに対してかわいそうだと思っていたが、研究してみたらいろいろなことがわかったので楽しかった。
- ・貝殻の観察方法が参考になった。
- ・貝殻一つ一つにもいろいろな色や模様があって奥深いなと思った。
- ・中学校や高校の勉強の内容を予習することができてよかった。
- ・殻の外側の模様についても調べてみたいと思った。

(3) アサリの殻の縦横比の変異に関する感想と意見

- ・正確に集計するのが難しかった。
- ・グラフや等高線（註：傾度分布線）を使った結果のあらわし方や意味がよくわかった。
- ・大好きな理科を学ぶことに苦手な算数の知識が必要なことがわかってためになった。
- ・考察と分析のしかたについて再発見でき、授業への応用もできそうに感じた（註：教員からの意見）。
- ・調べてわかったことを表現するのにどのようなグラフを使えばいいのかわかってよかった。
- ・アサリ一種類だけなのにいろいろなデータを探って調べたのが面白かった。
- ・全員で集計したので達成感があった。
- ・計測したデータをグラフ化することで、こどもからおとなまで同じかたちで成長していく様子がよくわかった。
- ・小学生では習わないこともあったが予習になったと思う。
- ・正確にデータを探ったりグラフにしたりするのは大変だったけど楽しかった。

(4) エゾアワビの成長に関する感想と意見

- ・観察を大切にしている講座で面白かった。
- ・観察、分析、作業があってわかりやすかった。
- ・小学生には少し難しそうだったが、後々の学習で役に立ちそうだと感じた。
- ・計算を取り入れたことで科学の一端をのぞけたような気がした。
- ・分類の基本や成長グラフを描くなど、生物学のツボをおさえた講座だと思った。
- ・考える、ということを重視していてよかった。
- ・ワークシートがわかりやすかった。
- ・実際に貝殻を測ったりすることで、教科書の中で何となくわかっていたような気になっていた生物の法則があらためて理解できた。
- ・生物を学ぶ考え方というようなものを知ることができた。

(5) チョウセンフデガイの殻に残された傷跡に関する感想と意見

- ・小学生には内容が難しかった。
- ・棘やひだなどの食べられないための工夫がよくわかった。
- ・理科と数学の関係をあらためて感じた。
- ・貝殻が壊されても再生するということに驚いた。
- ・天敵から身を守るために巻貝の種類が多くなったことを知って驚いた。

(6) 巻貝の殻の法則性に関する感想と意見

- ・巻貝にはいろいろな種類があることがよくわかった。
- ・貝殻についてこのような切り口で観察したことはなかったのとても新鮮だった。

- ・貝の進化にたくさんのふしぎがあることがわかった。
- ・棘やこぶが飾りではなく身を守るためのものだとわかって驚いた。
- ・一巻きあたりの棘の数を数えたり、グラフを作ったりするのが楽しかった。
- ・巻貝の多様性を知ることができてよかった。
- ・いろいろな種類の貝を見ることができてよかった。
- ・巻貝の法則性がよくわかった。
- ・実物を使った学習なのでわかりやすかった。授業でも取り入れたい（註：教員からの意見）。
- ・材料の選定などに苦心されたのではないかと思った。

これらの感想は、一部の教員からのものを除いて、特に授業との関連について問いかけたものではないので、博物館の講座としてのプログラムに対するものとなっている。しかし、授業との関連を考える上では参考になる点多かった。

5. 学校での実施と検討ならびに今後の課題

作成した学習プログラムを、公立中学校、公立高等学校、視覚支援特別学校で実施し、その効果について検討を行った。実施後に受け入れ校の教科担当教諭に対して聞き取り調査をおこない、プログラムの問題点や通常の授業との関連性について意見を吸い上げた。

材料として貝殻を選んだことについては、取扱いが容易であること、安価で多数の標本を準備することができることなどがメリットとして挙げられた。ワークシートについては、作業フローが明確であるというメリットがある一方で、方向性が見えてしまっていることで現象の本質について理解することよりも穴埋め作業を遂行することに意識が向きがちになるというデメリットが挙げられることが指摘された。学習プログラムそのものについては、形態変異や形態の多様性に注目したものが多く、比較的破損の心配の少ない貝殻を材料としていることで、触察により対応することが可能であり、視覚支援特別学校でも取り入れることができるということが評価された。

以上のことより、「博物館や科学学習センターなどと積極的に連携、協力を図る」学習の一つの解決策として、貝殻素材を利用した学習プログラムは、標本調達が可能で取扱いが簡単である点、生きものの死に様を想起させにくい点、生物の多様性や変異、成長などを理解しやすい点などにおいて、相応の効果があるであろうことが示された。

今回作成した学習プログラムを学校の理科の授業の中に取り入れ、効果的な授業展開をするに

あたっては、今後さらに出前授業などを重ねて検証を行う必要があると考えていると同時に、実際に授業を実施する教員向けに、指導のポイントや注意点、キーワードなどをまとめたマニュアルを整備する必要があると考えている。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究助成基金助成金基盤C「貝殻でつなぐ学校と博物館-貝殻を利用した自然史学習プログラムの開発」(課題番号:23501050;研究代表者:佐藤武宏)ならびに「学校・幼稚園の先生を自然観察の名人にする学習プログラムの開発研究」(課題番号:15K01008;研究代表者:佐藤武宏)の助成を受けて実施された。教材開発にあたっては国際自然環境アウトドア専門学校研究科自然保育専攻の高橋京子氏、神奈川県立生命の星・地球博物館の広谷浩子博士、真鶴町立遠藤貝類博物館の山本真士学芸員、慶応義塾高等学校の杵島正洋教諭、筑波大学附属資格特別支援学校の武井洋子教諭のご助言をいただいた。講座の実施にあたっては神奈川県立生命の星・地球博物館無脊椎動物分野ボランティア諸氏の協力をいただいた。出前授業の実施にあたっては、受け入れ校の担当教諭をはじめ、多くの先生がたのご理解とご協力をいただいた。記して深くお礼申し上げる。

引用文献

- 広谷浩子, 2000. 博物館で人類進化を学ぶ-博物館の特性をいかした子ども向け学習プログラムの作成・実践について-. 神奈川県立生命の星・地球博物館研究報告(自然科学), (39): 39-44.
- 広谷浩子・加藤ゆき・猪尾武達, 2012. 小学生に人類進化を教える出前授業-博物館の特性をいかした学校向け理科学習プログラムの作成と実践-. 神奈川県立生命の星・地球博物館研究報告(自然科学), (41): 35-41.
- 神奈川県教育局, 2015. 平成27年度学校統計要覧. Available from internet: <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f6559/p976733.html> (posted on 2015-11-27 by the author).
- 神奈川県立生命の星・地球博物館, 2014. 神奈川県立生命の星・地球博物館年報第19号(2013年度). 112pp. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 神奈川県小田原市.

- 神奈川県立生命の星・地球博物館, 2015. 神奈川県立生命の星・地球博物館年報第20号(2014年度). 118pp. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 神奈川県小田原市.
- 神奈川県政策局, 2014. リンク集: 神奈川県内の科学館・博物館など. Available from internet: <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f4898/p14371.html> (posted on 2014-12-10 by the author).
- 真鍋 真・森田利仁・斎藤靖二, 1998. これからの博物館の役割と機能-欧米の自然史博物館の最近の事例に学ぶ-. 地質ニュース, (532): 14-19.
- 文部科学省, 1998. 中学校学習指導要領(平成10年12月). Available from internet: http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/1320061.htm (posted before 2009 by the author).
- 文部科学省, 1999. 高等学校学習指導要領(平成11年3月). Available from internet: http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/1320144.htm (posted before 2009 by the author).
- 文部科学省, 2008. 中学校学習指導要領(平成20年3月). Available from internet: http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/index.htm (posted before 2009 by the author).
- 文部科学省, 2009. 高等学校学習指導要領(平成21年3月). Available from internet: http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1304427_002.pdf (posted in 2011-02 by the author).
- 大堀 哲(編著), 1997. 教師のための博物館の効果的利用法. 245pp. 東京堂出版, 東京.
- 岡本素治, 2001. 同定依頼件数の変遷と小中学校の環境教育. 大阪市立自然史博物館館報 25, pp.28-29. (Available from internet: <http://www.mus-nh.city.osaka.jp/douteikai/current.html>)
- 田口公則, 2013. 実物の観察から法則を導き, 観察にもとづき推測する学び-ホタテガイ貝殻の学習プログラム-. 初等理科教育, 47(9): 62-65.
- 田口公則・大島光春・樽 創・今村義郎, 1999. 博物館と学校の連携による化石資料のインタラクティブ活用. 博物館学雑誌, 25(1): 35-39.
- 樽 創・田口公則・大島光春・今村義郎, 2001. 博物館と学校の連携の限界と展望-中間機関設置モデルの提示-. 博物館学雑誌, 26(2): 1-10.
- 山下久美・鑄物太郎, 2015. 生きものの飼育と保育. 山下・鑄物(著). 保育園幼稚園でのちいさな生き物飼育手帖. pp.8-17. かもがわ出版, 京都.