

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500766

研究課題名（和文） 化石化作用の実験教材の開発

研究課題名（英文） Development of experimental method for understanding fossilization

研究代表者

林 慶一 (HAYASHI KEIICHI)

甲南大学・理工学部・教授

研究者番号：10340902

研究成果の概要（和文）：生き物が化石になる過程を理解することは、化石を理解する上で不可欠である。本研究では、地質学的時間の中で起こるこの化石化作用を、小型甲殻類の貝形虫を用いて実験的に理解できる教材を開発した。具体的には、まず現生貝形虫を観察して体制や生態を理解し、次に飼育水槽にたまった様々な段階の死骸を観察して化石になって行く過程を追跡し、最後に実際の化石を自分で見つけ出してほぼ同じであることを確認する実験である。

研究成果の概要（英文）：Fossilization that means the process from living animals and plants to fossil ones in geologic time is essential for appreciating fossils. An experimental method for understanding the fossilization was developed in this study, using living and fossil ostracods, small crustacean. At first, organic structure and ecology of ostracoda are understood through observation of living ones. Alterations and losses are traceable by observing deposited mortal remains on the bottom of aquarium. At last, these remains are compared with fossil ostracods from strata.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，科学教育

キーワード：化石，実験教材，化石化作用，貝形虫，白亜紀，非海成堆積物，河川の作用

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の化石教材

化石は様々な方法で教材化されてきた。それらは大きく分けると、「それを含む地層の年代や古環境を調べるための道具としての化石」と、「地質時代を通じた生物の進化の実態を知るための証拠としての化石」である。前者は古くから多数の実験教材が開発されてきたが、後者は実験教材としての歴史は比較的新しい。

(2) 化石教材の課題

しかし、上記のいずれの場合でも、そしてそれ以外の場合でも、化石に対しては誰もが、生物がどのようにしてこのような化石になるのだろうか、元の生き物のうちどの部分が化石になって残っているのだろうか、という根源的な疑問を抱くものである。この化石になる過程すなわち「化石化作用」については、科学的な研究の歴史は浅く、近年急速に解明されつつある。しかし、教育分野ではこの過程を理解させるための教材は未開発で、世界的にも皆無である。このため、教師も学習者も、教科書の記述や写真を見て、頭の中で想像する以上のことはできないという課題がある。

2. 研究の目的

化石化の過程は、地質学的な長大な時間の中で極めてゆっくりと進行するため、従来は人が観察できるような時間内での実験は困難であると考えられてきた。本研究では、この問題を解決するため、「化石化作用」を実験によって具体的に観察して理解する教材を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、次のような計画で研究・調査を行った。

(1) 実験教材の開発

化石化作用の諸過程に要する時間を短縮し、容易に採集・飼育と遺骸の集積ができる素材生物として、主要な化石群から小型甲殻類の貝形虫を選定し、次の順序で教材化した。

① 現生の淡水貝形虫の生息状況調査

日本各地に生息する淡水貝形虫の生息状況は、実験の素材生物である貝形虫を入手する上で不可欠な情報であるが、生物学の分野においても現在までのところ限定的な知見

しか得られていない。本研究では日本各地での調査を行い、基本的な情報を収集した。

②腐敗および硬組織の残留過程の研究

①の調査と同時に、各地の貝形虫群集を構成する主要な種について生体を採集し、水槽飼育すると共に、水槽底に堆積した遺骸の変化を追跡して、化石化作用の第一段階である「腐敗および硬組織の残留」の過程を調べた。

③運搬作用と破壊過程の研究

次に化石化作用の第二段階である「運搬による破壊」の過程を調べるため、その担い手である河川水の運動の実態を明らかにする目的で、微地形による流速の変化を電磁流速計を用いて高精度で調べた。

④埋積後の続成作用

化石化作用の第三段階（最終段階）である地層中への埋積後の変化を調べるため、年代を白亜紀（1億4500万～6500万年前）に統一して、様々な環境下での湖沼性堆積物中の淡水貝形虫化石の保存状態を比較研究した。

(2) 教材化と実践による評価

(1)の成果に基づき実験教材を開発し、実践による評価を行った。

① 教材化

実験教材の開発に当たっては、この実験を現在の理科のカリキュラムの中に適正に位置づけるために、現在および過去の理科の内容とその変遷を調べた。また、この実験を円滑に実施するための新しい指導方法を開発して、本実験に導入してその効果を評価した。

②実践による評価

教員研修でこの実験を実践し、教員から見た実験の意義や難易度についての評価を受けた。また、小学生とその親を対象にした実践でも効果を検証した。

4. 研究成果

(1) 実験教材の開発について

① 現生淡水貝形虫の生息状況について

〈湖沼〉陸上の水環境の中でも最も安定的な湖沼では *Cypridopsis* 属などの小型種が年間を通して生息しており、安定的な素材生物の供給源となり得る。採集しやすい沿岸部の環境では、水温・水質の季節的変化のため春一

夏に種数が増え、個体数も増加するが、他の環境に比べてその変化は小さい。この群集を水槽飼育するのは、多くの場合比較的容易である。

〈池〉人工的な池は湖沼とは異なり、定期・不定期に大きな環境変化が作り出されるために、短期には豊富な供給源となり得る場所であっても、全く別の種に交代したり、消滅してしまうことも多い。

〈水田〉水田は初夏から初秋にかけて、陸上の水環境下で最も多様で豊富な貝形虫群集を擁する。水深が浅いが、生物生産性が高く、水温変化に強く、*Strandesia* 属などの観察しやすい大型種が多いこともあり、時期的には限定されるが、種の多様性と個体数の点で最高の供給源である。ただし、この群集を飼育によって他の季節にも維持することはほとんど困難である。

〈河川〉河川のうちでも小河川には細粒堆積物の間に個体数は少ないが *Ilyocypris* 属などの間隙性の種が見られる。河川水の変動の影響を受けやすいが、他の環境には見られない形態の種が得られるので価値がある。

〈その他〉寺社などにある落葉の沈んだ水瓶などには1種に限定されるが、季節的にも安定的に多数の個体数が見られることがある。代表的な種が *Heterocypris attenuata* で、学校でも類似の環境を作ることで、安定的な供給源を作ることができる。

②腐敗および硬組織の残留過程の研究

化石化作用の第一段階である軟体部の腐敗と硬組織の残留については、様々な種について調べた結果、属や種による差は少なく、
 a. 内蔵の腐敗・膨張と閉殻筋の弛緩による殻腹縁部の開口
 b. 開口部からの腐肉食性の微生物の進入による軟組織の消失
 c. 殻などの硬組織の化学的変化による劣化・分解
 という順で進むことが明らかとなった(図1, 下側のルート)

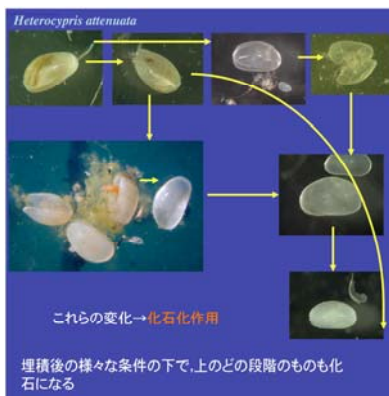


図1 貝形虫が化石となる2つのルート

ところが、貝形虫の場合は、このルート以外に、脱皮により成長段階で廃棄される殻(図1, 上側のルート)が化石になる場合がある。汎世界的に分布する *Cypridopsis* 属はミネラルの摂取能力が高く、脱皮毎に殻を作ることができるので、脱ぎ捨てられた殻は堅固で化石になりうる。一方、*Ilyocypris* 属は脱皮前にミネラル分をほとんど回収してしまうので、残された殻が化石になる可能性はほとんどない。殻のような体化石は一般には個体死によってもたらされるが、そうとは限らないことを効果的に示すことのできる素材でもあることが明らかとなった。

③ 運搬作用と破壊過程の研究

淡水貝形虫の場合の運搬営力は、主に陸上の流水によるものである。しかし、地学の専門家の間でも河川等の流速は、技術的な困難から直接測定はほとんど行われていない。本研究では新しく開発された電磁流速計を導入して、高精度の測定を行うことで次のような新事実が判明した。

〈河川の上流部〉従来は巨礫の存在から河川の中でも最も大きな流速が想定されていた。しかし、実測の結果、急斜面でも流下距離が短いため 2m/s 程度にしか加速されず、巨礫や河床に衝突して停止/減速される(図2)。洪水時も規模は大きくなるが中流・下流ほどの大きな変化はない。

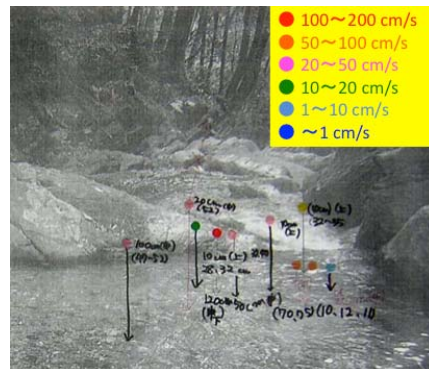


図2 上流部での流速の測定結果(小学校5年生による)

〈中流部〉河床が平滑で抵抗も少なくなるため、平均流速は上流部よりも速い。ここでは河川水の多くが地下に浸透し、下流へは一部しか流れていかないことが判明した。

〈下流部〉平水時は0~数cm/s程度であるが、洪水時は著しく流量が増し、流速も中流並みとなる。

上記のようにして測定された流速を水槽の中に発生させて実験を行った。しかし、1mm程度の大きさの貝形虫の殻には剪断応力としては作用することがほとんどなく、破壊はすでに化学的に劣化していた一部の古い殻に見られたに過ぎなかった。

④埋積後の続成作用

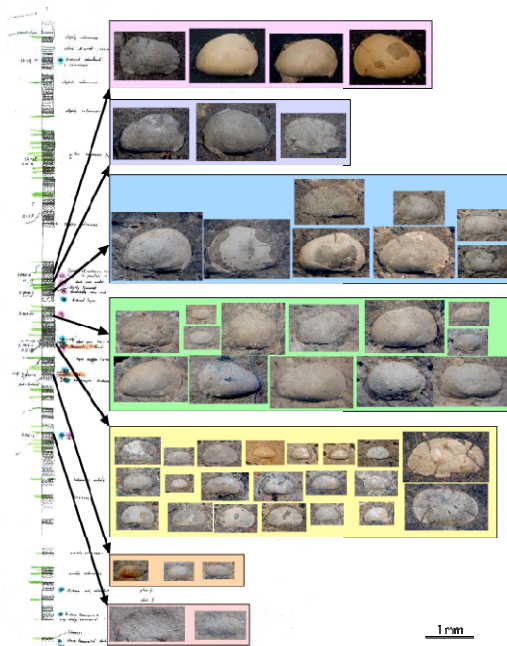


図3 半乾燥気候下での殻の保存状態

年代を白亜紀に統一して東アジア各地の貝形虫化石を包む湖沼堆積物について、堆積物の特徴と化石化の程度・様式の間のような関係があることが判明した。

〈極端な乾燥気候下の湖沼堆積物〉中国内モン古で世界でも類のない貝形虫化石のみからなるコキナを発見した。これを調べた結果、殻のミネラルが保存されるのみならず内部空間および外部間隙まですべてが蒸発岩の炭酸カルシウムで充填され、殻は完全に保存されることがわかった。

〈乾燥気候下の酸化的環境下の湖沼堆積物〉兵庫県の篠山層群の貝形虫から、乾燥気候下でも酸化的な環境では殻はほとんど保存されずモールドとして残ることがわかった。

〈半乾燥気候下の湖沼堆積物〉モンゴルの砂漠の中に形成された、比較的安定的な湖沼成の薄層理の黒色頁岩中に、層準ごとに様々な保存状態の貝形虫（図3）が確認できた。詳細に調べた結果、酸化的と考えられる環境下での堆積物中では殻は保存されにくい、還元的环境下での堆積物中では完全に保存されることがわかった。

〈湿潤気候下の湖沼堆積物〉石川県の手取層群と岡山県の相生層群の黒色泥岩中の貝形虫化石から、湿潤気候下の還元的环境では殻はモールドになりやすいが、ある程度は石灰質のまま保存されることがわかった。

〈凝灰岩質の湖沼堆積物〉中国遼寧省の熱河層群の凝灰岩に含まれる貝形虫化石から、火山灰性の堆積物中では、石灰質成分は保存されないが、微生物による分解がほとんど行わ

れず、微細な構造がよく保存されることがわかった。

(2) 教材化と実践による評価

(1)の研究に基づいて、実験教材を開発し、その効果を評価した。

① 教材化

次のStep 1～3の順に進める実験とした。

Step 1 生体の構造・生態の観察

貝形虫自体が一般にはほとんど知られていない生物であることから、まずこれを理解するために、貝形虫を観察して、体の各部の構造やそれらの機能について学ぶ（図4）。



図4 Step 1 現生貝形虫の観察

Step 2 堆積物中の貝形虫の化石化の観察

数ヶ月飼育した水槽の底の堆積物を採集し、ふるい上水洗して分離すると、生体から化石とほとんど同じ状態までの様々な段階の殻が観察できる（図5）。Step 1での生体と比較してどのような変化が起こり、何が失われているかを学ぶ。



図5 Step 2 堆積物中の貝形虫の観察

Step 3

日本各地の平野部に分布する第四紀の海進層の堆積物には化石貝形虫が普通に含まれており、これを自分たちで取り出して水槽の底にたまっていたものと比較して化石になるまでを連続的に捉える。

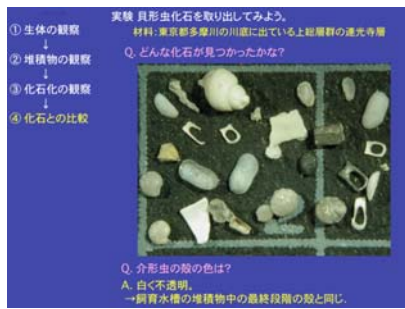


図6 Step 3化石貝形虫の観察

②実践による評価

①で開発した実験を、神戸市立高等学校理科教育研究部会の研修会で実践し、現場教員 (n=15名) からの評価を受けた結果、次の事柄が明らかとなった。

- 高校理科教員でも、本実験を通して化石化作用について新しく知った事柄があると回答した人が67%に達した。このことから、教員にとっても化石についての基礎知識を学ぶ実験として、本実験は有効である。
- 化石化作用については、高校理科教員でも「石」にならなければ化石ではないとの誤った理解が40-73%もあった。化石のイメージ的な理解が先行し、正しい定義が教育界では定着していないことが判明した。本実験では、「石」にはなっていないので、この正しい理解を教授することがこの実験に先立って不可欠である。そこで、化石については、実験で用いたもの以外に上記(1)の研究で用いた様々な保存状態の化石を画像で紹介するサブプログラムを補充した。
- 貝形虫という動物についての認知度の調査結果は、「存在自体を初めて知った」60-93%、「存在は知っていたが分類や体制は初めて知った」73-100%、「生態や生息場所について初めて知った」60-93%であった。貝形虫としての一応の生物学的知識のある方は15名中1名のみであり、貝形虫の生物としての理解もまたこの実験においてほぼゼロからと取り扱う必要のあることが判明した。
- 総合的には、化石化作用は概念的には理解できている教員も多いが、実験を通して具体的に詳しく知ることのできる本教材については、教師と生徒が体験することの意義について極めて高い評価が得られた。また、「貝形虫は興味深い」、「現生から化石へと連続的に追跡できるのが面白い」、「室内で化石を自分で探し出す楽しさがある」などの理由で、生徒向けに実施したいという意見が多かった。

本実験は、小学校高学年とその親を対象と

した大学主催の公開講座としても実施したところ、図7のような結果が得られた。

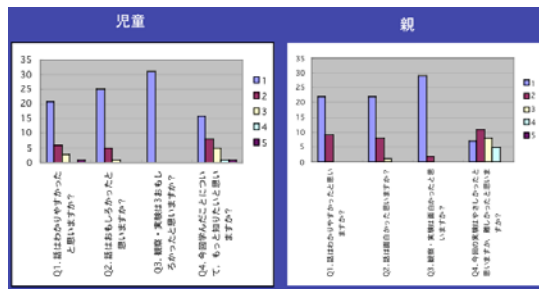


図7 小学生の親子を対象とした実験後の評価

これからは、化石の実験は教員の評価以上に児童やその親には興味深い実験であることが証明された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- 林 慶一・松川正樹・大平寛人・陳 丕基・甄 金生・伊藤 慎・小荒井千人・小島郁生, 貝形虫およびカイエビ化石の生層序とジルコン-フィッシュン・トラック法に基づく篠山層群の年代の再考, 地質学雑誌, 査読有, 116 巻, 2010 年, 283-286.
- LI J. J., LOCKLEY M., BAI Z. Q., ZHANG L. F., WEI Q. Y., DING Y., MATSUKAWA M., HAYASHI K., New bird and small theropod tracks from the Lower Cretaceous of Otogqi, Inner Mongolia, P. R. China. , Mem. Beijing Mus. Nat. Hist., 査読無, vol. 61, 2009, 51-76.
- MATSUKAWA, M., HAYASHI, K., ZHANG H. C., ZHEN, J. S., CHEN, P. J. and LOCKLEY M. G., Early Cretaceous sauropod tracks from Zhejinag Province, China, Bull. 査読無, Tokyo Gakugei Univ., Div. Nat. Sci., vol. 61, 2009, 89-96.
- 林 慶一, 山下浩之, 河川作用の理解の深化で見る科学的探究の諸側面-探究活動の改善に向けて-, 地学教育, 査読有, 62 巻, 2009, 35-50.
- 林 慶一・村木 綏・太田雅久・杉村陽・杉岡俊男・水野健一・市田正夫・秋宗秀俊・青木珠緒・山崎篤志・松本邦勝, 理科教員のための免許更新講習の内容と運用方法の研究, 甲南大学教職教育センター年報・研究報告書, 査読有, 2008 年度, 2008, 24-34.
- 林 慶一・柘原礼士・相場博明, 物理学の方法と考え方を導入する小4「電気のはたらき」の実践, 日本理

科教育学会全国大会発表論文集，査読無，6巻，2008，314.

- ⑦ 林 慶一・杉岡俊男・森本 進・江坂高志，教職課程を履修する理学系学生 の特性，甲南大学教職教育センター年報・研究報告書，査読有，2007年度，2008，41-51.
- ⑧ 林 慶一，21世紀の地学教育を展望する-小学校学習指導要領の地学領域の「安定期（昭和46年から現在）」の内容の変遷を振り返って-，地学教育，査読有，60巻，2007，75-88.

〔学会発表〕（計9件）

- ① 林 慶一・松川正樹・大平寛人・陳 丕基・甄 金生・伊藤 慎・小荒井千人・小島郁生，貝形虫およびカイエビ化石の生層序とジルコン-フィッシュオントラック法に基づく篠山層群の年代の再考，日本地質学会，2009年9月5日，岡山大学.
- ② 山下浩之，林 慶一，「地史」の復元を目指す「土地のつくりと変化」のPSMC学習指導法による成果と課題，日本地学教育学会，2009年8月23日，三重大学.
- ③ 林 慶一，化石化作用の実験教材の開発と教員による評価，日本地学教育学会，2009年8月23日，三重大学.
- ④ 林 慶一，貝形類を用いた化石化教材の開発，日本生物教育学会，2009年1月19日，中村学園大学.
- ⑤ 山下浩之，林 慶一，流速計を用いた「流れる水のはたらき」の学習，日本地学教育学会，2008年8月18日，東京学芸大学.
- ⑥ 林 慶一，山下浩之，河川の流水と河床堆積物の関係の再考，日本地学教育学会，2008年8月18日，東京学芸大学.
- ⑦ 山下浩之，林 慶一，地史の復元を目標とした小学校6年「土地のつくりと変化」のPSMC学習指導法による展開，日本地学教育学会，2007年8月19日，島根大学.
- ⑧ 林 慶一，山下浩之，科学のパラダイムに基づく新しい学習指導法の提案-小学校6年「土地のつくりとでき方」を例に，日本地学教育学会，2007年8月19日，島根大学.
- ⑨ 林 慶一，理科の新しい学習指導法の提案，国際教育学会，2007年8月12日，京都大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 慶一 (HAYASHI KEIICHI)

甲南大学・理工学部・教授

研究者番号：10340902

(2) 研究分担者
なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者
なし ()

研究者番号：