

放散虫化石を題材とした地質時代の理解を深める 探究的地学教材の開発

所属コース	教科領域コース
氏名	山本健太
指導教員	佐野栄 河野美千代

【概要】

本研究は、安全性の高い微化石抽出手法を確立し、放散虫化石を活用した探究的学習を高等学校地学基礎において実現することを目的とした。放散虫は種の変遷が速く、骨格の微細な形態変化が地質年代と対応する示準化石である。この特性により、生徒が自ら観察・同定を行うことで、地層の年代を論理的に推定できるという教育的価値を有する。しかし従来の抽出にはフッ化水素酸が用いられ、安全面のリスクが大きいことが実践上の障壁となっていた。そこで本研究では安全性を最優先に、4%水酸化ナトリウム法を採用し、愛媛県西予市明浜町のチャートから一般の理科室に準ずる設備での放散虫化石の抽出を試みた。その結果、比較的保存の良い放散虫化石を得ることができた。授業実践では、生徒が実物観察を通して年代を考察する活動に主体的に取り組み、観察事実に基づく判断が促進された。探究的な学習を通じて、放散虫化石が地質時代の理解を深めるための有効な教材になりうることを確認できた。

キーワード 放散虫化石 4%水酸化ナトリウム 地質年代検討 地域教材

1. はじめに

放散虫はカンブリア紀に出現し、現在まで生存し続けている海洋性プランクトンである。その骨格は主に珪酸質 (SiO_2) から構成され、堆積物中で化石として保存されやすいという特性をもつ。放散虫のような珪質微化石は肉眼では確認できない微小な存在であるが、その形態は多様であり、種の変遷速度が速いことから、地質年代決定や地層の対比において極めて重要な指標となってきた。特に、日本列島の形成史を理解するうえで鍵となる「付加体」の堆積年代を特定する際に、放散虫化石は最も有効な示準化石の一つとして活用されている。

現在の高校教育においては、プレートテクトニクスや付加体形成など地球科学の根幹を成す概念が扱われているものの、その多くは教科書や図で説明されるにとどまり、具体的な証拠を生徒自身が扱う機会は必ずしも多くない。放散虫化石は、微細な形態差が時代の違いに対応するという性質をもつため、生徒が標本を観察し、形態を基に時代を検討する過程そのものが探究的学習となる点で、教育的意義が非常に大きい。

一方で、放散虫化石を扱った観察・実習は、教育現場では依然として普及していない。その主な理由は、教材調製に必要な抽出手法の安全性と設備面の制約にある。従来、硬質なチャートから微化石を抽出する際にはフッ化水素酸 (HF) を用いた化学処理が広く用い

られてきた。しかし、フッ化水素酸は皮膚を容易に透過し深部組織にまで影響を及ぼす猛毒な薬品であり、厳格な管理体制や専門設備を必要とする。そのため、一般的な高等学校の理科室で扱うには現実的ではなく、これが放散虫化石を教材として用いる際の大きな障壁となってきた。

近年、この課題に対して、より安全で教育現場に適した抽出法の検討が進められている。Manuel et al. (2023) は、水酸化ナトリウム (NaOH) 溶液を用いたチャートからの微化石抽出について報告し、放散虫やコノドントの回収に有効であることを示した。また、Onoue et al. (2024) は希釈した NaOH 溶液を用いる方法を提案し、化石の保存状態を損なわずに抽出可能であるうえ、安全性の面でも従来法より優れていることを明らかにした。

本研究では、これらの先行研究を踏まえ、毒物及び劇物取締法における「劇物」の指定濃度を下回る 4% 水酸化ナトリウム溶液を用いて放散虫化石を抽出し、教育現場で安全に活用できる教材の開発を試みることを目的とする。さらに、愛媛県内の秩父帯に分布するチャートを対象に、地域の素材 (サンプル) を用いた教材化を行うことで、郷土の地質を題材とした学習につなげることも目的の一つとする。

本研究では単に教材を開発するだけでなく、高等学校「地学基礎」の授業において実際に放散虫化石の観察実習を行い、その教育的効果を検討する。生徒は顕微鏡観察により形態の特徴を捉え、複数種の出現・消滅の組み合わせから地質年代を推定する活動に取り組む。この過程は、知識の暗記にとどまらず、観察事実に基づいて考え、判断し、結論を導く探究的学習そのものである。本研究を通じて、安全性を確保しつつ、放散虫化石を活用した実践が学校教育において有効であることを明らかにすることを目指す。

2. 研究手法

2-1. 試料採取地点

四国地方の地質図を図 1 に示す。本研究のフィールドとして、愛媛県南西部に広く分布する付加体からなる地質を選定した。本地域を構成する秩父帯からは、古生代から中生代にかけてのチャートや泥岩が複雑に混在しており、古くから多くの放散虫化石が報告されてきた (八尾, 1985)。

秩父帯は、かつて石灰岩に含まれるフズリナ化石から石炭紀後期からペルム紀の堆積物とされていた (甲藤・川沢, 1958; 勘米良, 1969)。しかし、1970 年以降、石灰岩等を取り込む碎屑岩類から、ジュラ紀から白亜紀前期を示す放散虫化石が発見されるようになり、現在では、主としてジュラ紀付加体であるとされている (磯崎, 1981; 石田ほか, 2004; 村田・川野, 2024)。このように、放散虫化石が日本の地質概念に大きく寄与してきたことから、教材として教育的意義が高いと考え、本地域を選定した。また、四国地方は、複数の地質帯で構成されているため、時代の異なる放散虫化石の産出状況を比較検討するため、秩父帯に加えて四万十帯においても試料採取を行った。



図 1 四国地方の地質

本図は、(辻・榊原, 2009) を一部改変したものである。

本研究では、愛媛県内の以下の4地域において岩石試料の採取を実施した。1地点あたり約500g~1kgの岩石を採取し、各地域における採取状況および処理後の放散虫化石の産出状況は以下の通りである。

鬼北町地域 (4 地点)： 四万十帯北帯に属する付加体構成物を対象に、主としてチャートおよび泥岩を採取した。このうち1地点において放散虫化石の産出を確認したが、個体数が少なく、教材として利用するには課題があった。

西予市城川町地域 (2 地点)： 秩父帯南帯の先行研究において産出報告のある地点を中心に巡検を行い、黒色泥岩および層状チャートを採取した。しかし、本研究の処理行程においては、明確な放散虫個体を確認できなかった。

大洲市肱川町地域 (1 地点)： 秩父帯北帯に位置する地点において、珪質泥岩を採取したが、放散虫化石を確認できなかった。

西予市明浜町地域 (1 地点)： 秩父帯南帯に位置する西予市明浜町において、チャートを採取した。本地点の試料からは、保存状態が良好で個体数も多く放散虫化石が産出したため、授業実践において生徒が観察する教材として採用した。

2-2. 放散虫化石の抽出方法

本研究における放散虫化石の抽出方法の特徴は、従来、化石を抽出する際には、フッ化水素酸が用いられてきたが、安全性の高い4%水酸化ナトリウム溶液を用いた抽出手法を採用した点にある。本手法は、Manuel et al. (2023)およびOnoue et al. (2024)等によって提唱された、岩石の物理的・化学的風化を促進させて微化石を遊離させる手法に基づいている(図2)。

本手法の具体的な処理手順は以下の通りである。

- 1. 試料の前処理：** 採取した岩石試料(チャートまたは泥岩)を、ハンマーを用いて粒径約1~2cm程度の小片に砕く。
- 2. 溶液への浸漬：** ポリプロピレン製耐熱密閉容器に試料を入れ、4%水酸化ナトリウム溶液を試料が完全に浸るまで注ぎ、蒸発を防ぐために密閉する。
- 3. 加熱処理：** 恒温器を用い、80℃~100℃の温度条件下で48時間~64時間加熱する。
- 4. 洗浄とふるい分け：** 反応後の試料を流水で十分に洗浄した後、メッシュサイズの異なるふるい(63μmおよび250μm)を用いて残渣を分離する。これは、放散虫化石の一般的なサイズ(約100μm)を含む粒径範囲の残渣を効率的に回収することを目的としたものである。
- 5. 乾燥と観察：** ふるいに残った残渣を乾燥させ、実体顕微鏡下で放散虫化石の有無および保存状態を確認する。保存状態の良好な残渣については、透過型顕微鏡による観察を想定し、光硬化樹脂を用いてプレパラートを作製する。

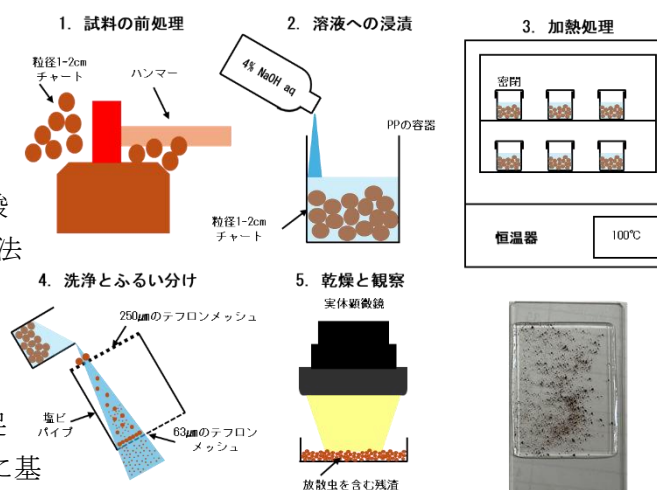


図2 本研究で採用した4%水酸化ナトリウム溶液を用いた放散虫化石抽出の処理手順
本図は、Manuel et al. (2023) および Onoue et al. (2024) を一部改変したものである。

3. 教材の開発

3-1. 放散虫化石観察用標本の作成

本研究では、調査地点の中で最も保存状態が良好である放散虫化石が多い西予市明浜町の試料を使用した（図3）。抽出した残渣に含まれる放散虫化石について、特定の種を選別せず、多様な形態の化石が含まれる状態でプレパラートを作製した。これは、生徒が顕微鏡の視野の中から自ら複数の形態を探し出すことを体験できるようにするためである。観察される放散虫化石には、球状、円錐状、ラグビーボール状など、時代の特徴を反映した多様な形態の個体が含まれており、複雑な骨格構造を直接確認することが可能である（図4）。これにより、生徒は、実際の形態の違いから地質年代を判断する体験を行うことが可能となる。

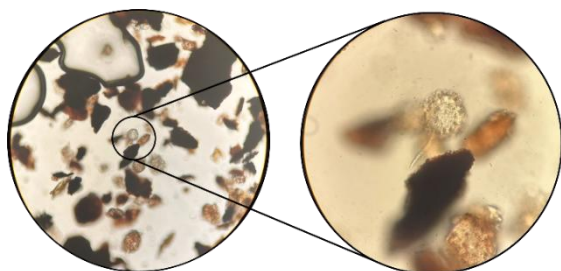


図3 放散虫化石の顕微鏡下写真

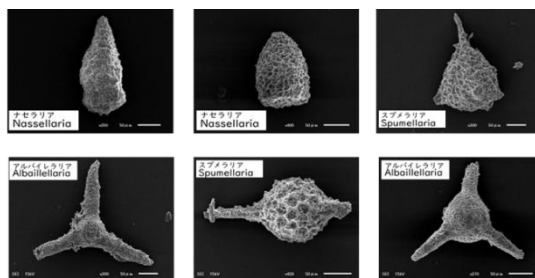


図4 明浜産放散虫化石の写真

3-2. 年代判定用ガイド

生徒が自ら地質年代を検討できるよう、梅田(2002)を基にした同定用ガイドを作成した（図5）。本ガイドは、放散虫化石の名称を特定することを目的とするのではなく、年代判定の根拠を理解させることを主眼とした。具体的には、梅田(2002)に示されたスケッチ例と、本研究で事前に撮影した実物写真（図4）を並列して掲載し、文献に示された形態的特徴と、実物標本で観察される放散虫の形態とを対応させながら検討できる構成とした。また、特定の1個体が見つからなくても年代を推定できるよう、群集全体の組成に着目させた。放散虫は、古生代と中～新生代とで優占する高次分類群が異なり、それに伴って殻の基本構造や形態にも違いがあることが知られている（梅田, 2002）。古生代には極性のある骨針を基本骨格とする放散虫群が卓越する一方で、中～新生代には球状殻や異極性をもつ殻を特徴とする放散虫群が優占する。本ガイドでは、このような放散虫群集の時代による特徴の違いを判断材料として提示し、個々の種の同定を必ずしも行わなくても、群集組成に基づいて論理的に地質年代を推定できるよう構成した。

中生代		アルバイレラリアとエンタクチナリア、スタウラキソナリアが多い		古生代
Spumellaria	Nassellaria	Alballoellaria	Entactinaria	Stauraxonaria
polyhedron shell	shell	rod	bladed main spine	arm
A. Echinimidae	G. Proventocitidae	I. Ceratohiscidae	C. Entactinellidae	E. Latentifistulidae
・球形で殻をもつ。 ・中心から放射状に骨格が伸びる。	・塔のような殻構造をもつ。	・細長い三角形・翼状・葉状など、非常に独特。	・球状、内部に複雑なフレームをもつ。	・十字状の軸をもつ。
古生代～現生	中生代～現生	古生代～中生代	古生代～中生代	古生代～中生代

図5 放散虫化石のスケッチ例

梅田(2002)より引用・一部改変

4. 授業実践

開発した教材の有効性を検証するため、以下の指導案に基づき授業を設計した（表1）。本授業は、1時間の単発実習として計画し、生徒が実際に微化石を扱いながら地質年代を決定することに主眼を置いた。

本時（50分間）の授業において、生徒が放散虫化石の観察を確実にできるように、授業設計をした。具体的には、地学基礎において扱われる付加体形成の詳細な物理的メカニズムやテクトニクスの背景については、本時の学習目標を踏まえ、説明を最小限にとどめた。代わりに、本実践において重視した放散虫化石の形態の違いに基づく地質年代の推定と放散虫化石が示準化石に適している理由の検討に焦点を当てた。これにより、全生徒が実物教材に触れ、科学的な根拠に基づいた推論を体験する時間を十分に確保した。以下に、指導過程を示す（表1）。

表1 地学基礎（地球の歴史区分と化石）の指導案

単元	地球の歴史区分と化石		内容のまとめ	地層の成り立ち	
単元の目標	1 化石の種類や産出状況をもとに地質年代や当時の環境を推定できることを理解する。 2 放散虫などの化石の観察や資料をもとに、地層や化石から過去の地球環境や生物の変化を考察し、論理的に説明できる。 3 化石を手がかりにして、地球の長い歴史や生命の進化に興味・関心を持ち、学びを深めようとする態度を持つ。		指 導 計 画	1 化石の種類とでき方 2 地層の対比と地質年代 3 古生代～新生代の生物変遷	
単元の評価規準	知識・技能	化石の種類や産出状況から地層の形成時期や当時の環境を推定できることを理解する。			
	思考・判断・表現	放散虫化石の観察から地質年代を検討し、放散虫が示準化石に適していることを論理的に説明することができる。観察結果をスケッチし、年代検討の根拠をわかりやすく表現できる。			
	主体的に学習に取り組む態度	化石の実物・写真などを手掛かりにして、過去の地球や生物の姿を自ら探究しようとする意欲を持つ。			
本時の指導					
主題（教材）	放散虫化石を観察し、地質年代を検討する。				
前時の課題	化石には、どのような種類があり、どのように地質年代や環境を知ることができるのか復習しておく。				
本時の目標	1 放散虫化石を観察し、地質年代の検討をする。 2 化石が地層の年代や環境を知る手がかりになることを理解する。				
評価規準	1 放散虫化石を観察し、地質年代の検討をすることができる。（思考・判断・表現） 2 化石が地層の年代や環境を知る手がかりになることを理解することができる。（知識・技能）				
指導過程	学習活動	時間	指導上の留意事項	評価方法、資料等	
	導入	1 本時の目標を確認する。 2 示準化石と示相化石について確認する。	5	・化石には、年代や環境を知る手がかりとなる化石があることを確認させる。	・教師用端末 ・生徒用端末 ・ワークシート
	展開	1 実験「放散虫化石を利用した年代の検討」を行う。 (1) 実験の内容と目的を確認する。 (2) 実験を行う。 放散虫試料を顕微鏡で観察し、プリントの模式図と照合して、放散虫の種を同定し、年代の検討を行う。	30	・放散虫について紹介をする。 ・実験時の注意事項を確認させる。 ・観察している放散虫試料の観察・スケッチをさせる。 ・中生代型・古生代型の写真と放散虫の種の特徴をもとに年代の検討をさせる。	・顕微鏡 ・放散虫試料 【評価方法】 ○ワークシートの記述内容、まとめの発表内容。（知識・技能） ○ワークシートの時代推定理由、班の発表時の説明。（思考・判断・表現） ○実験・話し合い中の発言や姿勢、観察記録。（主体的態度）
	整理	2 実験の片づけを行う。	5		
		1 実験結果を共有する。 2 放散虫の特徴を理解する。 3 本時のまとめをする。	5 5 5	・各班の結果を共有し、判断理由を発表させる。 ・放散虫が示準化石として利用されるのは、なぜか考えさせる。	・ワークシート

5. 授業実践に対する質問紙調査とその結果

5-1. 調査の概要と質問項目

本研究では、同一の授業実践に対して目的の異なる2種類の質問紙調査を実施した。分析上の整理のため、学習到達度の自己評価を含む調査を実践A、実習の達成感や教材のわかりやすさに関する項目を中心とした調査を実践Bとした。実践Aでは学習の三観点に基づく自己評価を加えることで、学習到達度を捉えることを目的とし、実践Bでは教材に対する生徒の受け止めを把握することを目的とした。それぞれの調査項目は以下の通りである。

(1) 実践A (64名) の質問項目

学習の三要素に基づいた自己評価項目3つと、授業の理解度や意欲を問う項目4つ、記述項目2つの計9項目を設定した。(表2)

(2) 実践B (70名) の質問項目

実習の達成感や授業の理解度、教材のわかりやすさに関する項目6つ、記述項目2つの計8項目を設定した。(表3)

表2 実践A (64名) の質問項目

自己評価	①知識・技能
	②思考・判断・表現
	③主体的に学習に取り組む態度
理解度・意欲・平易性	④ 手がかりとなる理由の理解度
	⑤ 教材の授業貢献度 ★ ₁
	⑥ 学習意欲の向上 ★ ₂
	⑦ 観察活動の平易性 ★ ₃
自由記述	⑧学んだこと
	⑨改善点

表3 実践B (70名) の質問項目

実習の達成感・理解度・教材の評価	① 年代検討の達成度
	② 化石の有効性の理解
	③ 教材の授業貢献度 ★ ₁
	④ 学習意欲の向上 ★ ₂
	⑤ 教材のわかりやすさ
	⑥ 観察活動の平易性 ★ ₃
自由記述	⑦良かった点
	⑧改善点

実践Aの①～③の自己評価にあたっては、事前に表4のような評価基準(ルーブリック)を提示し、生徒が自身の学習状況を基準に照らして判断できるよう配慮した。

表4 自己評価のルーブリック

	A	B	C
① 知識・技能	放散虫化石の特徴をもとに地質年代を検討し、放散虫化石が地層の対比に有効であることを理解している。	放散虫化石の特徴をもとに地質年代を検討することができる。	放散虫化石を観察しても、地質年代を検討することができない。
② 思考・判断・表現	放散虫化石の特徴を観察し、必要な情報を見いだして根拠を持って判断できる。	放散虫化石の特徴を観察し、地質年代を考えるための情報を読み取ることができる。	放散虫化石の特徴を十分に観察できず、地質年代の判断に必要な情報を読み取ることができない。
③ 主体的な態度	観察活動や話し合い活動に主体的に取り組み、自分や周りの結果をもとに地質年代について検討できた。	観察活動に取り組み、指示に沿って地質年代の検討が行えた。	観察活動への取り組みは不十分で、地質年代の検討に結び付かなかつた。

実践Aの④～⑦および実践Bの①～⑥の理解度や教材の有効性に関する項目については、5段階評価を用いた。各段階を、「5：非常によく当てはまる」「4：よく当てはまる」「3：どちらともいえない」「2：あまり当てはまらない」「1：全く当てはまらない」とした。

5-2. 実践 A の結果

5-2-1 : 三要素別自己評価

3段階の自己評価（項目①～③）の結果を図6に示す。

①「知識・技能」では、A評価が44名（約68.8%）、B評価が19名（約29.7%）、C評価が1名（約1.6%）であった。AおよびB評価を合わせると63名（約98.4%）となり、大多数の生徒が年代検討を達成できたと自己評価している。②「思考・判断・表現」では、A評価が26名（約40.6%）、B評価が37名（約57.8%）、C評価が1名（約1.6%）であり、A・B評価は計63名（約98.4%）を占めた。③「主体的な態度」では、A評価が51名（約79.7%）、B評価が13名（約20.3%）で、C評価は見られなかった。

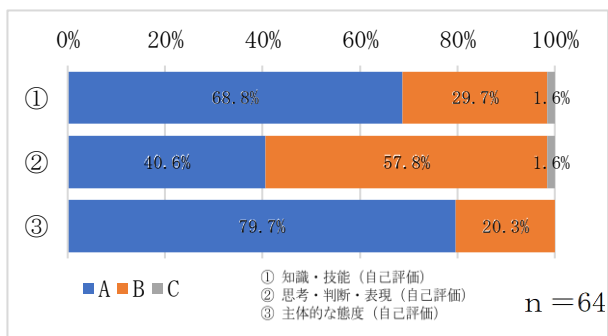


図6 実践A (①～③) のアンケート結果

①～③の三段階評価のうち、「主体的な態度 (③)」では、約8割の生徒が最高評価であるAを選択したが、「思考・判断・表現 (②)」については、B評価が最も多く、全体の57.8%を占めた。

5-2-2 : 授業の理解度や意欲

実践Aについての5段階評価（項目④～⑦）の結果を図7に示す。

④では、評価5が35名（50.0%）、評価4が27名（38.6%）であり、評価4以上は62名（約88.6%）であった。⑤では、評価5が31名（44.3%）、評価4が29名（41.4%）で、評価4以上は60名（約85.7%）を占めた。⑥では、評価5が22名（31.4%）、評価4が37名（52.9%）であり、評価4以上は59名（約84.3%）であった。⑦では、評価5が27名（38.6%）、評価4が30名（42.9%）で、評価4以上は57名（約81.4%）であった。一方、評価3以下の回答も一定数見られ、活動の進め方や操作面における課題が示された。

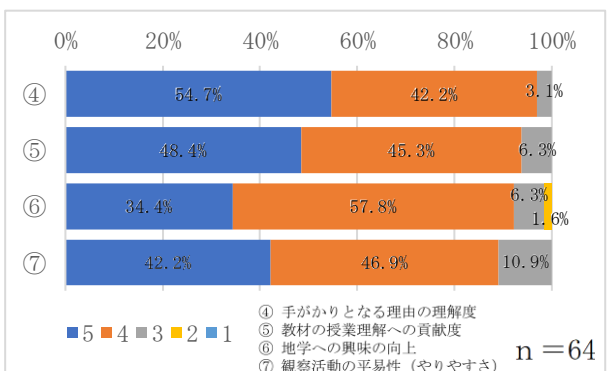


図7 実践A (④～⑦) アンケート結果

5-3. 実践 B の結果 : 年代検討の達成度と教材評価

実践Bの5段階評価（項目①～⑥）の結果を図8に示す。

①では、「年代検討ができたか」という問いに対し、「5」が41名（58.6%）、「4」が24名（34.3%）となり、全体の92.9%が肯定的な回答（評価4以上）をした。多くの生徒が、放散虫化石を用いた年代の特定を達成できた。②では、「化石が

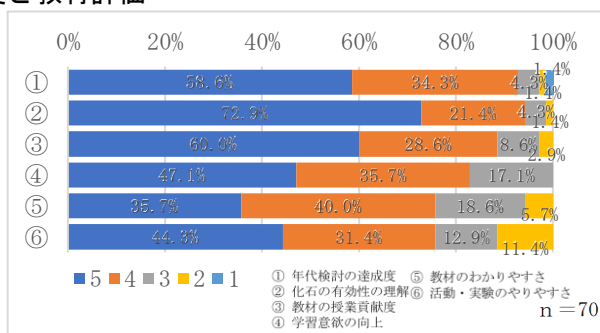


図8 実践B (①～⑥) アンケート結果

時代を知る手がかりとして有効だと理解できたか」について、「5」が51名（72.9%）と最も多く、「4」の15名（21.4%）を合わせると94.3%に達した。③では、教材が授業の理解に役立ったかについて、「5」が42名（60.0%）、「4」が20名（28.6%）であり、約9割の生徒が高い評価を示した。一方で、評価3以下を選択した生徒が比較的多いことが確認された。④では、授業を通して学習意欲が高まったかについて、「5」が33名（47.1%）、「4」が25名（35.7%）であり、評価4以上は82.8%となった。実物の化石を用いた観察活動が、生徒の興味を促す結果となった。⑤では、教材自体のわかりやすさに関して、「5」が25名（35.7%）、「4」が28名（40.0%）であった。一方、評価3が13名（18.6%）、評価2が4名（5.7%）となっており、他の項目と比較して最高評価である「5」の割合が低くなった。⑥では、「実習がやりやすかったか」について、「5」が31名（44.3%）、「4」が22名（31.4%）で、評価4以上は75.7%であった。一方で評価2をつけた生徒も8名（11.4%）おり、顕微鏡操作や観察に難しさを感じた生徒がいたことが示された。

以上の結果から、本教材は年代の特定や化石の役割を理解する上で高い効果を発揮した。その一方で、実習の進めやすさや教材の解説方法については、課題が残る結果となった。

5-4. 自由記述回答の分析結果

本実践における生徒の学習状況を把握するため、生徒134名の自由記述回答（設問：学んだこと、良かった点、改善点）を対象に分析を行った。分析にあたっては、学習内容に関する記述の概念構造を把握する目的から、「学んだこと」に関する自由記述のみを対象としてKH Coder(樋口, 2020)によるテキストマイニングを実施し、共起ネットワーク図(図9)を作製した。また、改善点を含む自由記述全体については、生成AI(ChAtGPT-4)を用いて自由記述回答の内容整理を行った。

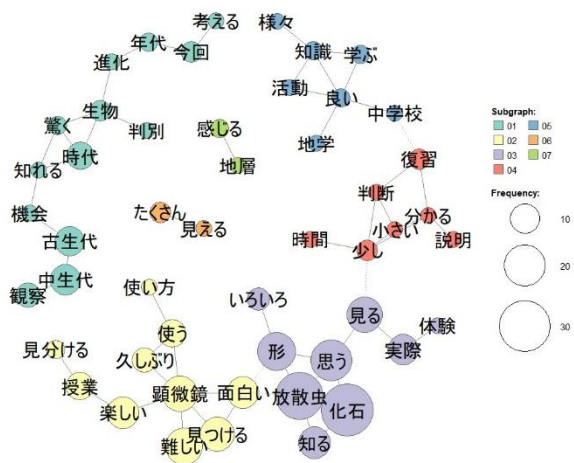


図9 共起ネットワーク図【n=134】

共起ネットワーク図(図9)では、「放散虫」や「化石」を中心に、「形」「見る」「判断」「知る」といった語が強く結びついた構造が確認されたほか、「進化」「年代」「時代」「地層」「判別」といった語のまとまりも形成されていた。これらの語の結びつきから、生徒が放散虫化石の形態的特徴を手がかりとして地質年代を検討する学習内容を、理解の中心として捉えていたことが読み取れる。また、「楽しい」「面白い」「体験」といった語が観察活動と関連して出現しており、実習に対する肯定的な反応も確認された。一方で、「難しい」「小さい」「ピント」といった観察操作に関する語や、「時間」「説明」といった授業進行に関する語も見られ、実習や授業進行に関する課題が記述の中に含まれていた。

次に、生成AI(ChAtGPT-4)を用いて、自由記述回答の内容を意味的に整理し、記述内容の傾向を抽出した。生成AIによる整理の結果、自由記述の内容は主に以下のような観点ごとに整理された。

①放散虫化石の特徴と年代判定に関する記述

- 進化・絶滅の速度が速い

- 種類ごとに生存期間が限られている
- 広い範囲に分布する
- ②**観察結果と判断理由を結び付けた記述**
 - 形の違いから時代を判断できた
 - 暗記ではなく理由を考えた
- ③**観察操作に関する課題**
 - 放散虫が重なっていてピントが合わせにくい
 - 顕微鏡操作が難しい
- ④**授業進行・時間配分に関する要望**
 - 手順ごとの説明を求める意見
 - 話し合いや考察の時間を増やしたいという要望

6. 考察

6-1. 4%水酸化ナトリウムを用いた放散虫抽出の安全性と、教材としての有用性の両立

これまで、チャートから放散虫を抽出する際に用いられてきたフッ化水素酸 (HF) は、岩石を溶かす力が非常に強い一方で、極めて高い毒性を有しており、教育現場で教材を準備する際の大きな障壁となってきた。本実践で採用した「4%水酸化ナトリウム法」は、法令による厳格な管理義務を伴わない濃度 (5%未満) であり、一般的な高等学校の設備環境下においても、安全性に配慮しながら教材を作製することが可能である。実践 B における「教材が授業に役立ったか」という問いに対しては、88.6%の生徒が肯定的に評価しており、この手法によって、年代判定を伴う学習活動に十分耐えうる化石標本を確保できたことが示唆される。

このことから、本手法は、高校生が実物の化石を観察し、地質年代や地史について考察する探究的な学習を実現するうえで、有効な教材的価値を示している。

6-2. 自己評価の結果から考える生徒の変化

実践 A での 3 段階自己評価を分析すると、生徒たちがどのように考え、取り組んだかが見えてくる。「主体的な態度」では 79.7%が一番高い評価をつけたが、一方で「思考・判断」で一番高い評価をつけたのは 40.6%にとどまり、中間の評価 (57.8%) が最も多くなった。

活動が楽しかったり満足感があつたりすると、自己評価も高くなる傾向があるが、本授業で「思考・判断」の評価が控えめになった点は、注目すべき点である。これには 2 つの理由が考えられる。

一つは、顕微鏡で見る化石は壊れていたり重なっていたりと不完全な情報であるのに対し、図版という完全な情報と見比べながら、得られた情報から論理的に最適解を導き出そうと試行錯誤した結果、自身の判断に対して慎重な自己評価をしたと考えられる。これは、安易に結論を出さず、根拠に基づいて検討を行うという科学的な姿勢の表れであるといえる。

もう一つは、今回設定したルーブリックの目標、特に A 評価の「根拠を持って判断できた」というハードルが、高校生にとっては少し高すぎた可能性である。生徒が自分自身の思考を厳しく評価した結果ともいえるが、実習の内容に見合った適切な目標設定であったか、改めて検討する必要がある。

6-3. 実物同定が示準化石の理解に与える影響

実践 B における「年代検討の達成度 (92.9%)」および「化石の有効性の理解 (94.3%)」の極めて高い肯定率は、実物標本を用いた同定作業が、抽象的な地質年代概念の構築に大きく寄与したことを裏付けている。生徒は、放散虫の形態変化を自ら識別・分類する過程を通じて、「形態のわずかな違いが地質年代を特定する根拠になること」という進化の法則性を実証的に理解した。これは、従来の教科書的知識の暗記から、自らの観察事実に基づいた論理的な導きとなり、地質年代を推定する「科学的な推論」へと、生徒の思考が深まったことを示している。実践 A の「理由の理解度 (96.9%)」が示した高い数値は、実物を用いた実習が理論的背景の理解を深める上で極めて有効であることを示している。

6-4. 指導計画を焦点化させたことによる知的好奇心の広がり

本実践では、50 分という限られた時間内で同定実習をさせるべく、地質学的背景の説明を最小限に留める指導設計を行った。この設計は高い学習意欲 (実践 B ②: 82.9%) を維持させた反面、「活動のやりやすさ (75.7%)」を他項目より低迷させる要因となった。自由記述に見られた「背景知識をより深く知りたい」という意欲は、実物観察が単なる作業に留まらず、地質現象の背景にあるダイナミックな形成過程 (付加体の形成メカニズムなど) への知的好奇心を呼び起こしたことを示している。この結果は、実習による動機付けが次の学習への強い意欲を形成したことを意味し、単発の実習に留まらない、実習と講義を双方向的に組み合わせた段階的な指導計画の必要性を改めて示すものとなった。

6-5. 地域素材を活用した探究的な学習の可能性

愛媛県西予市明浜町等のチャート試料から、4%水酸化ナトリウム法によって良好な放散虫化石が得られたことは、地域で採取可能な岩石を探究教材として活用できる可能性を示している。自由記述回答や共起ネットワーク分析において、放散虫化石の観察と年代推定を結び付けて捉える記述が多く見られたことから、生徒は身近な地域の岩石から地球規模の時間情報を読み取る学習を経験したといえる。この体験は、地学的事象を抽象的な知識としてではなく、地域の自然環境と結び付けて理解する機会となり、生徒にとって「地域の岩石から地球史を推定する」という実感を伴った理解を促した。その結果、観察事実に基づいて推論する科学的なものの見方・考え方の育成に寄与したと考えられる。

7. まとめ

本研究では、高校の地学教育において安全に微化石の観察を行うため、毒性の強い薬品を用いずにチャートから放散虫化石を取り出す方法を整え、実際の授業で活用してその効果を確かめた。

抽出の手法については、劇物に当たらない 4%水酸化ナトリウムを使うことで、特別な設備がない理科室でも安全に実験ができることを示した。また、実際に愛媛県西予市明浜町の岩石から保存状態の良い個体を多数見つけ出せたことは、地域の地質や付加体の形成史をたどる具体的な探究教材として活用できることを示した。本教材を用いた授業実践では、顕微鏡観察によって「進化」や「地質年代」という抽象的な概念を、実物に基づいて理解しようとする学習が促された。特に、初めて放散虫化石を観察する生徒が、不完全な形態情報から根拠を見だし、時間をかけて年代の推定に取り組む様子が多く見られたことは、「観察

事実に基づいて考え、判断し、結論を導く」という探究的な学習過程が学校現場において十分に実現可能であることを示した。さらに、学習活動に関するアンケートで 90%以上の生徒が肯定的な回答をしたことから、観察を通して数億年前の情報を読み取る学習活動が、生徒たちの知的好奇心を高める要因となったことが確認できた。

今回の実践は、4%水酸化ナトリウムを用い、安全に放散虫化石を抽出した。それをを用いた授業では、生徒が科学的な思考力や探究的な態度の育成に寄与するものとなった。

8. 今後の展望

本実践を通じて、開発した教材の有効性が確認された一方で、今後の普及および改善に向けたいくつかの課題も明らかとなった。アンケート結果からは、「実習時間が足りない」「説明の進度が速い」といった指摘が見られ、50分という限られた授業時間内で、抽出原理の理解、顕微鏡観察、地質時代の判定、さらには付加体形成というマクロな視点への統合までを行うことには一定の制約があることが示唆された。このため、今後は観察実習を複数時間で構成することや、事前学習によって背景知識を補完するなど、単元全体の構成を再検討する必要がある。また、顕微鏡下で観察される実物試料と図鑑等に示される理想図との間には理解上のギャップが存在するため、デジタル顕微鏡やタブレット端末を活用した視野の共有、破損個体や変形個体の判定例を示した資料の充実など、視覚的支援も求められる。さらに、本研究では特定地域のチャートを対象としたが、今後は愛媛県内の他地域にも調査を広げ、得られたデータを蓄積・整理することで、各地域の地層の時代に基づいた教材のデータベース化を進め、県内各地の学校で郷土の地学を学べる環境の整備を目指したい。

引用文献

- 樋口耕一 (2020) 社会調査のための計量テキスト分析 [第2版]. ナカニシヤ出版.
- 石田啓祐・嶋川未来子・香西武・八尾昭 (2004) 四国東部秩父累帯南帯北部 (倉野亜帯) 辺川セクションの海洋プレート層序と放散虫年代. *大阪微化石研究会誌 特別号*, 13, 181-197.
- 磯崎行雄 (1981) 和歌山県・徳島県秩父累帯北帯先白亜系からのジュラ紀型放散虫化石の産出. *地質学雑誌*, 87, 555-558.
- 勘米良亀齡 (1969) 徳島県那賀川上流の秩父帯北帯の古生層. *九州大学理学部研究報告 (地質学)*, 9 (1), 175-186.
- 甲藤次郎・川沢啓三 (1958) 高知県伊野町北方の古生界. *高知大学学術研究報告*, 7 (19), 1-10.
- Manuel, R., Onoue, T., Wu, Q., Tomomatsu, Y., Santello, L., Du, Y., Jin, X. And Bertinelli, A. (2023) A new method for extracting conodonts and radiolarians from chert with NaOH solution. *Paleontology*, 66(4), e12672.
- 村田もえ・川野良信 (2024) 埼玉県中北部, 秩父帯北帯に産するチャートの岩石学的研究. *地球環境研究*, 26, 1-14.
- Onoue, T., Hori, S., Tomomatsu, Y. and Rigo, M. (2024) A dilute sodium hydroxide technique for radiolarian extraction from cherts. *Nature Scientific Reports*, 14, 63755.

- 辻智大・榊原正幸（2009） 四国西部における北部秩父帯の大規模逆転構造. *地質学雑誌*, 115（1）, 1-16
- 梅田真樹（2002）古生代放散虫の分類と消長—7回の絶滅事件—. *地質学雑誌*, 111（1）, 34-54.
- 八尾昭（1985）秩父累帯の中・古生界研究の最近の進歩. *地質学雑誌*, 39（1）, 44-56.

謝辞

本研究を行うにあたり、佐野栄教授と河野美千代教授には、温かいご指導をしていただき、有意義な研究を行うことができた。また、本研究の調査に際して協力いただいたM高等学校の先生方にお礼申し上げます。愛媛大学教職大学院の諸先生方、事務の方々にも大変お世話になった。先輩方、同回生の方々には、本研究で多大な援助、貴重なご助言をいただいた。

以上のお世話になった方々に厚くお礼申し上げます。