

高校地学「海洋の鉛直構造と熱塩循環」の実感を伴った理解のために

For understanding of high school geology“Ocean vertical structure and thermohaline circulation”

○佐藤栄治^{*1}, 中井芳恵^{*2}

SATO Eiji^{*1}, NAKAI Yoshie^{*2}

^{*1} 愛媛大学教育学部, ^{*2} 松山中央高等学校

^{*1}Faculty of Education, Ehime University, ^{*2}Matuyama Central Senior High school

【要約】高校の地学基礎「大気と海洋」では、海洋の層構造や熱塩循環を学ぶが、この現象を実験室で再現することは不可能であり、実験を行うことはほとんどない。今回、上層から熱源であたためる実験、上層にポリ袋に入れた氷を置いて冷やすという二つのモデル実験を海洋の鉛直循環と結び付けて説明させる授業を試みた。しかし、生徒のワークシートから、あたためられた水の挙動や冷やされた水の挙動の理解が不十分な記述も散見された。そこで、この授業で扱った二つの実験と水のあたためり方や冷え方に関する認識についての愛媛県内の高校生 445 名にアンケート調査を行い、その回答の一部を分析した。その結果、水を上方からあたためた場合、回答者の 26%が、対流が原因であたためた水が上方に集まると考え、14%が対流により水温が均一になると考えたという結果が得られ、「対流」に対して異なった理解をしている可能性が示唆された。現在、結果の解析を進めており、詳細については別に報告する予定である。

【キーワード】 みずのあたためり方 対流 深層水の循環

I. 問題の所在

教師の多くは、風呂を沸かすと底が冷たくかき混ぜて使用した経験を持ち、あたためた水が上層に、冷たい水が下層にあると容易に混ざらないことを経験的に知っている。しかし現在、給湯器がある家庭ならば、あらかじめ適温に調整されたお湯が供給され、上層と下層の水の温度差を感じることはない。

高等学校地学基礎では、海洋は表層からあたためられ、表層の混合層以外では、海水の上下動がほとんどなく、鉛直層構造を形成することや低温で塩分濃度の高い海水が沈み込み、深層を流れて長い年月をかけて湧昇する深層水の大循環について学ぶ。

実感をともなった理解を促すためには、この生活体験の不足を補う何らかの取組が必要であると考え、この単元において、モデル実験と自然現象を有機的に結びつけて実感的な理解を図る授業を試みたが、ワークシートの記述から、水のあたためり方を正しく認識していないと考えられる記述も散見された。

高等学校学習指導要領(平成30年度告示)解説によると、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」などの科学の基本的な概念等を柱にして、科学に関する基本的概念の定着を図るように丁寧に構成されていることが分かる。「もののあたためり方」は「粒子」領域で「粒子の持つエネルギー」として整理され、中学校では「状

態変化」や高等学校化学基礎の「熱運動の物質の単体」につながる領域として整理されている。

小学校4年生教育出版の教科書には「もののあたためり方」で、金属のあたためり方と水のあたためり方、空気のあたためり方を比較して「金属は熱せられたところから順にあたたまるが、水は熱せられたところが上の方に動いて順にあたためり、空気は水とあたためり方が以ている」ということを学ぶ。他方、中学校3年生では、熱伝導、対流、熱放射を「エネルギー」領域でも学ぶ。対流についての説明は各社で異なるが、様々なエネルギーのうち熱エネルギーとして扱っており、詳しく取り上げているわけではない。

今回扱った地学基礎「大気と海洋」は「地球」領域の「地球の大気と水の循環」として整理されている。この領域は主に気象に関する内容にあたり、熱の伝わり方や対流はこの領域の柱として位置づけられているわけではない。これは、地学が総合科学としての性格が強いからであろう。

相場ほか(2009)では、中学生の多くはあたためられた水が回転することで全体があたたまるという回転モデルで対流を捉えている誤認識があることを指摘している。また、萩野ほか(2014)では、小学校4年生の水への熱の伝わり方の概念形成について研究し、多くの児童が水の動きと熱の伝わり方は、別の概

念として認識していると推測できるとし、水への熱の伝わり方に関して全ての児童が科学的な概念を形成することは困難であったと述べている。

また、寺田ほか (2013) では、当時の教育学部理科専修学生を対象に「水のあたたまり方」に関する誤概念を調査して「上にある温度の低い水は下に動く」という現象を明瞭に観察できる実験器具の開発が必要であると述べている。しかし、小学校の教科書では「ものあたたまり方」は、実験等も行い比較的丁寧に扱うが冷たい水が下に動くことは文章で説明されているだけである。最近、漆畑ほか (2022) は、模型製作とアニメーション視聴によって対流の理解が深まることを示しているが、彼らの取組でもすべての小学生が正しい概念を形成したわけではない。

これらの先行研究からも、小学校4年生段階での対流の正しい概念形成は、容易でないことが分かる。しかし、その後対流について学ぶ機会がほとんどないことが生徒の理解にどのように影響するのか詳細な研究は見当たらない。そこで、愛媛県内の高校生を対象としたアンケート調査を実施して、水のあたたまり方冷え方についての認識について試行的に調査を実施することとした。

II. 研究の方法と結果

1. 対象と期間

A高等学校の地学基礎選択生徒を対象に、令和4年12月に授業を実施し、ワークシートの記述内容を分析した。また、県内の高等学校の生徒に協力してもらいオンラインによるアンケート調査を実施した。

(1) 授業実践

ア モデル実験の概要

(ア) 単元

大気と海洋 大気と海水の運動

(イ) 対象

高校2年生地学基礎選択者 22名

(ウ) 授業のねらい

海洋の深層循環のしくみをモデル実験で再現し、現実の深層循環をモデル実験の結果から実感を伴った説明ができるようにする。

(エ) 水温の変化の記録方法

データロガーDr.DAQ (Pico Technology 社) を用いて10秒ごとに8分間水温変化を水面付近と水底付近で、ビーカーにセンサーが接触しな

いように注意して水温変化を記録した。このデータロガーは自動的にグラフを作成する機能があり、各班の記録はロイロノート・スクールで共有した。

今回は、海洋の鉛直層構造と深層循環について、モデル実験を通して実感的な理解を得ることが主な目的であるため、次のa, bの二つの条件で行った実験について述べる。

生徒に配布したワークシートには水温変化の様子と水の移動について記載させた。

イ モデル実験の内容と結果

a 上からあたためる実験

(ア) 実験内容

図1のように、ビーカーの上部に熱源を置いて、A (上層) とB (下層) の水温を8分間測定し記録した。

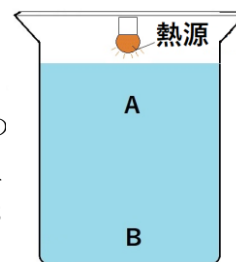


図1

(イ) 結果

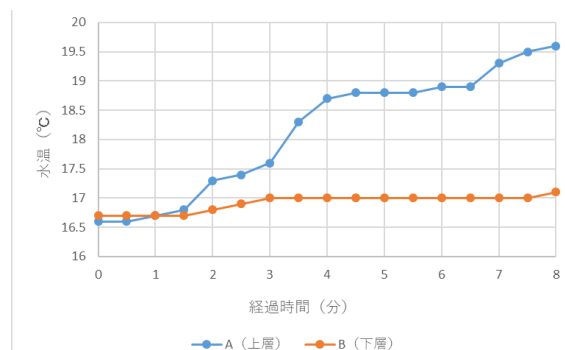


図2

図2より上層は水温上昇が明瞭に見られるが下層の温度上昇は極めて少ないことが分かる。

(ウ) 生徒のワークシートの記述

〈変化〉

- ・上層は水温上昇・下層は変化なし 16名
- ・どちらも同じように水温が上昇した 5名
- ・無答 1名

〈水の動き〉

- ・あり 0名
- ・なし 22名

上層・下層も同じように水温が上昇したと記述した生徒は下層のわずかの水温上昇に注目したと考えられる。水の動きについて質問したアンケートでは、22名全員が水の動きがないと答えた。

b 上から冷やす実験

(ア) 実験内容

図3のようにポリ袋に水を入れて、水面に浮かべ、A（上層）とB（下層）の水温を8分間測定した。

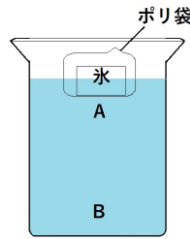


図3

(イ) 結果

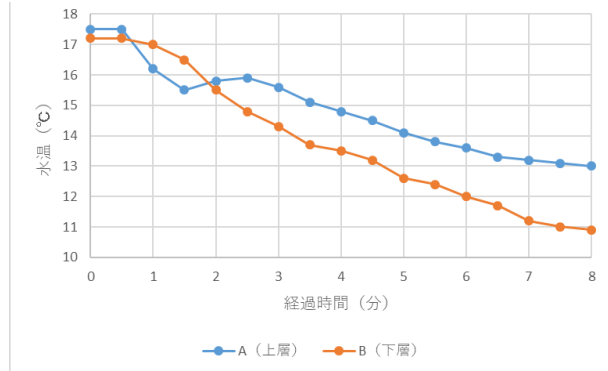


図4

計測開始直後は水温が安定しないが、しばらくすると下層の方が、水温が低い状態が保たれたまま水温が下がることが分かる。

(ウ) 生徒のワークシートの記述

〈変化〉

記述での回答を求めたため、「どちらも同じように温度が下がる」などA、Bを区別しない曖昧な記述が見られたので、授業者が個別に聞き取ったところ、22名全員が、上層より下層が早く冷えることを、データから読み取っていることがわかった。

〈水の動き〉

・あり 13名 ・なし 3名 ・無答 6名
水の動きについては、22名中3名が水の動きはないと答えており、無答の6名と合わせると、「水の動きがない」又は「意識しなかった」生徒の比率は41%にもなる。

(2) オンラインによるアンケート

ア アンケートの対象と方法

愛媛県内の高校生に理科の教員から呼びかけてもらい、Microsoft Forms を活用したオンライン回答をしてもらった。分析に用いた有効回答数は445名である。

イ アンケートの目的

あたためられた水や冷やされた水の動きについての生徒の認識を分析する基礎資料とする。

ウ アンケートの内容と結果

問1 上部から水をあたためる

(ア) 設問の内容

図5のように、熱源で300mL ビーカーに入れた水温20°C（気温20°C）の水を上部からあたためたとき、最初にA～Cのどれが最初に40°Cになるとお考えですか。また、そう考えた理由は何ですか。

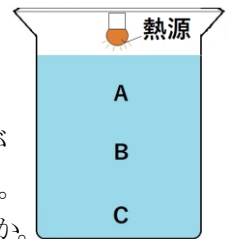


図5

(イ) 結果 (回答数 445)

<回答内容>

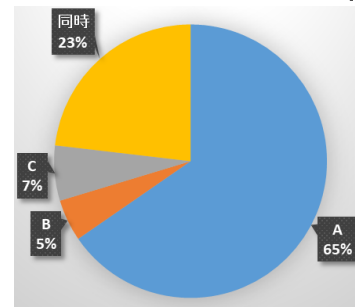


図6

<回答理由> 表1

	あたたまった水は対流し全体をあたためる。	ガラスがまずあたたまり水をあたためる。	あたためられた水は水面近くに留まる	その他
Aの理由	40% (117)	7% (20)	51% (149)	2%
同時の理由	62% (64)	25% (26)	12% (12)	1%

()内は人数を示す。

正答とした上層 (A) からあたたまるという回答が全体の65%を占めており、良好な結果である。しかし、表1に示した回答理由も併せて分析すると、「あたためられた水は水面近くに留まるので表層が先にあたたまる」と理由も含めて適切な回答をした生徒は149名（正解者の51%、全体の33%）である。「対流して全体があたたまる」を理由に正解を選んだ生徒は117名（正解者の40%、全体の26%）である。

次に23%（102名）の生徒が選んだ「ほぼ同時にあたたまる」という誤答では64名（この答えを選んだ生徒の62%、全体の14%）が「対流して全体があたたまる」を理由としている。

問2 上部から水を冷やす

(ア) 設問の内容

図7のように、水温20°C（気温20°C）の水を入れたビーカーにポリ袋に入れた氷を浮かべたとき、最初に水温が10°CとなったのはA～Cのどれですか。

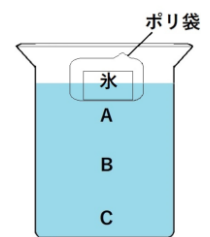


図7

(イ) 結果 (回答数 445)

<回答内容>

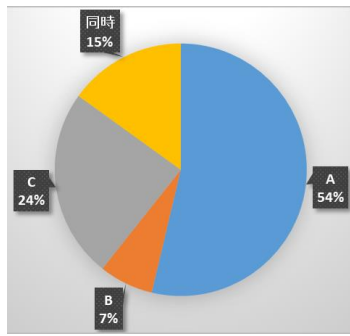


図 8

<回答理由> 表 2

	氷に近いところから順に冷える。	冷えた水は水温を維持しながら沈む。	冷えた水は全体の温度を下げながら沈む。	その他
A の理由	87%(209)	5%(13)	7%(17)	0%
C の理由	4%(4)	63%(68)	31%(33)	3%

() 内は人数を示す。

今回の授業実践でも、下層が先に 10℃に先に達した。温度計が氷に接触していない限り、C (下層) から冷える。しかし、表 2 からわかるように、氷に近いところから順に冷えていくと考える生徒が 445 名中 209 名 (全体の 47%) という結果であった。

問 3 氷のでき方について

(ア) 設問内容

野外にある淡水の池が凍るとき、最初に凍るのはどの部分でしょうか。

(イ) 結果 (回答数 445)

<回答内容>

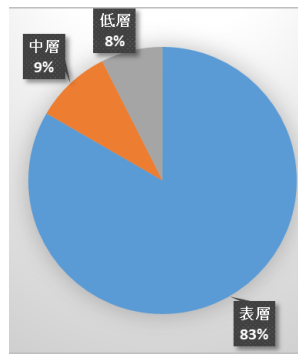


図 9

<回答理由> 表 3

表層から順に冷やされて水温が低い部分が広がっていく。	73% (269)
表層で水が冷やされた後、冷やされた水塊がそのままの水温を維持しながら、水底に沈む。	6% (21)
表層で冷やされた水は、水底に沈むが、ある温度以下となると表層に留まり冷やされる。	14% (53)
表層で冷やされた水は、沈みながら周囲の熱を奪い水温を低下させながら、沈んでいく。	6% (21)
その他	2% (7)

() 内は人数を示す。

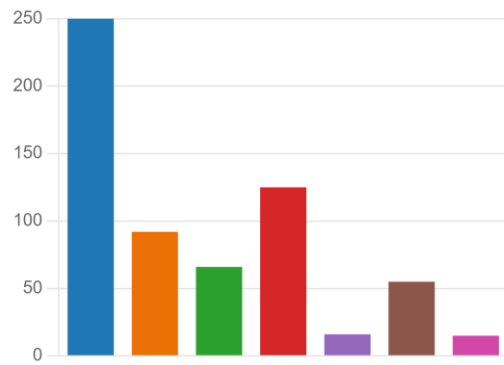
表層から凍ると答えた生徒は 83%に及び、非常に高い正答率であった。しかし、269 名 (正解者の 73%、全体の 60%) が「表層から順に冷やされて水温が低い部分が広がっていく」を理由として選んだ。水の密度が最も高い 4℃以下になれば、表層から順に冷やされるという答えも正しいが「表層で冷やされた水は、水底に沈むが、ある温度以下となると表層に留まり冷やされる」を選ぶ方が適切だと考える。

また、正解の A を選んだ理由として、その他を選んだ 9 名中 7 名が、実際に表面が凍っている場面を観察したことを理由として記述しており、自然体験の重要性を改めて感じた。

問 4 ものあたたまり方の学び方について

(ア) 設問の内容

ものあたたまり方については小学校 4 年生で学んでいます。そのときどのような方法で学びましたか。授業等で経験した学び方をすべて選んでください。(複数選択可)



黒板やホワイトボード等を用いた図での説明	251
サーモインクを用いて水や金属板を加熱する実験	92
おがくずなどの目印を入れた水を加熱して対流の様子を観察する実験	66
実験せず、動画等を見て学んだ。	125
実験や動画は見えていない	16
学んだ記憶はない。	55
その他	15

図 10

() 内は人数を示す。

III. 考察

(1) 授業実験における生徒記述の分析

多くの生徒はわずかな温度変化に気を取られた記述はみられるものの、得られた記録からほぼ正確に実験結果を捉えている。

しかし、本授業は海水の鉛直分布や熱塩循環を学

んだ後に行った実験であることを考えると、bの上から冷やす実験で、水の動きがないと答えた生徒、水の上下動に言及していない生徒が全体の41%もいることは、授業の展開や実験の目的についての説明不足があったのかもしれない。

(2) アンケートの集計から予想されること

オンラインアンケートの問1では、正答したが「対流して全体があたたまる」と誤った理由を選んだ生徒が117名(全体の26%)もいた。同じ理由を選び誤答となった生徒は80名にも及び、対流に対して生徒の理解が不足している可能性も否定できない。

対流について、小学校4年生の教科書では「水は熱せられたところの水が上の方に動いて、上から順にあたたまる」(教育出版社)、中学校教科書では「気体や液体の物質を加熱した場合、あたためられた物質そのものが移動して、全体に熱が伝わる現象」(東京書籍)と説明している。どちらの説明も正しいが、理解が乏しい生徒にとっては正確に答えることが困難な場合もあるかもしれない。

また、オンラインアンケートの問2の「氷に近いところから順に冷える」という答えが最も多かったこと、問3も「表層から順に冷やされて水温の低い部分が広がっている」という記述が最も多いことから水が冷やされる現象に対流が深く関わっているという認識がないと熱伝導の考え方を適用してしまう可能性があるかもしれない。

IV. おわりに

水の対流について、詳しく学ぶのは小学校4年生でのみであるが、伝導や体積変化など多く内容も同時に学ぶ。また、中学校3年生でもエネルギー変換の一部として学ぶが、対流を詳しく学ぶわけではない。

また、対流を最も詳しく学ぶ小学校4年生においては、サーモインク又はおがくずを入れた実験を体験した生徒はアンケート対象生徒の1/3程度であった。対流が日常生活の中で実感的に学ぶことができる現象とは限らないことを意識しなくてはならないのかもしれない。

今回の授業実践やオンラインによる調査は十分とは言えないが、問1の上部から水をあたためたとき、「対流して全体があたたまる」ことを理由として、「上層(A)からあたたまる」という正解と「全体が同時

にあたたまる」という不正解を導いた生徒が少なくないことは、対流についての理解が不足している可能性を否定できない。

本稿で用いたアンケート調査の設問の仕方や方法を含めて再検討するとともに、聞き取りも含めて、さらに詳細な調査を行いたい。対流についての理解に不十分なところがあれば、当初目的とした、「大気と海洋」をモデル実験と併用して実感的な理解を促す学習プログラムの開発において、配慮すべき事項となる可能性がある。より優れた授業展開が提案できるよう今後も研究を進めたいと考えている。

付記・謝辞

本研究は、令和4年度高等学校ICT活用授業改善推進事業の授業実践(愛媛県教育委員会)での実践の一部を活用させていただいた。また、アンケートは愛媛県高等学校教育研究会地学部門を通して愛媛県内の多くの生徒の皆さんに協力していただいた。また、愛媛大学佐野栄教授には粗稿を読んでいただき、有益な御指導をいただいた。これらの方々には心より謝辞を申し上げる。

文献

- 相場博明・柊原礼士(2009):小学校4年生「水のあたまり方」における誤概念と「サーモインク」教材の有効性, 理科教育学研究, Vol.49 No3
- 萩野伸也・久保田善彦・桐生徹(2014):小学校4年生の水への熱の伝わり方の概念形成に関する事例研究—「ものの温まり方」単元における概念の関連から—, 理科教育研究, Vol.55.
- 教育出版(2014):未来をひらく小学理科4
- 文部科学省(2019):高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編.
- 漆畑文哉・吉田淳・平野俊英(2022):模型製作とアニメーション視聴による熱移動の理解を促す表現支援の効果—小学校第4学年理科「物の温まり方」における対流現象の解釈を例に一,科学教育研究, 41巻2号 p174-186
- 東京書籍(2021):探究する新しい科学3
- 寺田光宏・中嶋健二(2013):小学校4年生理科「水のあたまり方」の指導の現状と改善, 日本科学教育研究会報告, 27巻5号 p97-102