



ICSTシステムを用いた高等学校「地学基礎」の「海水の循環」の教材開発と授業実践

メタデータ	<p>言語: Japanese</p> <p>出版者: 東京学芸大学教育実践研究推進本部</p> <p>公開日: 2024-10-04</p> <p>キーワード (Ja): ICSTシステム, 帰納的アプローチ, 高等学校「地学基礎」, 「海水の循環」, 教材開発, 授業実践, 授業評価, 観察・実験, ETYP:教育実践, STYP:高等学校, SSUB:地学</p> <p>キーワード (En): ICST system, inductive approach, high school “Basic Earth Science” , “seawater circulation” , teaching material, lesson practice, lesson evaluation, observation and experiment</p> <p>作成者: 藤井, 英一, 小荒井, 千人, 松川, 正樹</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属: 東京都立三田高等学校, 甲南大学, 東京学芸大学</p>
URL	<p>https://doi.org/10.50889/0002000697</p>

ICSTシステムを用いた高等学校「地学基礎」の「海水の循環」の 教材開発と授業実践

藤井 英一*¹・小荒井 千人*²・松川 正樹*³

環境科学分野

(2024年5月23日受理)

FUJII, E., KOARAI, K. and MATSUKAWA, M.: Development of Teaching Materials and Practical Study of the Unit “Atmosphere and Ocean” in the “Basic Earth Science” in High School Science Subject Using the Teaching Method of the ICST System. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 76 : 111-129. (2024) ISSN 2434-9380

Abstract

In science class in Japan, students are required to conduct observations and experiment. However, as student progress through elementary, junior high and high school, it becomes difficult for the student to develop and understanding through observations and experiments on their own. Therefore, the unit “Atmosphere and Ocean” in the “Basic Earth Science” in high school science is likely to be taught by teachers in a lecture format using a deductive method. In this study, we used the ICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking) system, which is a teaching method that encourage students to think logically, to design a teaching plan for the section “Solar radiation and the circulation of atmospheric and seawater” using an inductive method with experiments and video materials featured in the textbook. The class was conducted by a teacher who is different from the developer of the teaching plan. As a result, it was shown that starting from the lowest level concept of “Seawater circulation”, students could reach an understanding of the concept of “Solar energy and its reflection in the Ocean”, which is their goal.

Keywords: ICST system, inductive approach, high school “Basic Earth Science”, “seawater circulation”, teaching material, lesson practice, lesson evaluation, observation and experiment

Department of Environmental Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要 旨

理科では、観察と実験を行うことが求められている。しかし、小中高等学校への学年進行に伴い、生徒自身で観察・実験で得られるデータを基に授業を展開することが難しくなる。そのため、高等学校理科「地学基礎」の「大気と海洋」の単元は、教員による講義形式で、演繹的な方法によって授業が進められる可能性が高い。そこで、本研究では、生徒の論理的思考を高める方法としてICSTシステム（Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking；科学的思考を育成するための指導図）を用いて、この単元の「太陽放射と大気・海水の循環」の章を、教科書に取

*1 東京都立三田高等学校（108-0073 東京都港区三田1-4-46）

*2 甲南大学理工学部地学研究室（658-0072 兵庫県神戸市東灘区岡本8-9-1）

*3 東京学芸大学（184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1）

り上げられている実験と資料映像を用いて帰納的に授業を進めることを計画し、それを基に授業開発者と異なる授業者が実践を行い、評価した。その結果、生徒は、「海水の循環」を最下位の概念から、実験や資料映像から得られたデータを基に、到達目標とされている「太陽エネルギーとその海洋への反映」の概念が論理的に形成されたことがわかった。

キーワード：ICSTシステム、帰納的アプローチ、高等学校「地学基礎」、海水の循環、教材開発、授業実践、授業評価、観察・実験

1. はじめに

理科では、観察と実験を行うことが求められている。しかし、小中高等学校への学年進行と共に、学習内容が高度化し、それに伴い、生徒自身で観察・実験で得られるデータを基に、授業を展開するのが難しくなる。この問題に関して、林・松川 (1994) により指摘されたが、その後、議論は進んでいない。

高等学校「地学基礎」に関して、例えば、「地球の変遷」の単元では、野外で、生徒に、岩石や化石を観察、採集させることはできなくても、他人により採集された火成岩、火山噴出物、堆積岩、化石等の実物標本を用いて、室内で観察・実験の授業を展開することが可能である。

また、「地球の変遷」の単元の「宇宙、太陽系と地球の誕生」分野では、肉眼や天体望遠鏡、プリズム等を用いて、生徒自身の眼を通して天体等を観察することができる。これは、観察、観測機器の精度の相違はあるが、研究者の手法と基本的には同じである。

しかし、「大気と海洋」の単元の学習内容に関しては、地球の地域の現象を捉え、それを基に理解を進めるのではなく、地球全体を俯瞰して理解する手法を用いるので、一般的には、専門家や専門機関で得られたデータや資料映像を基に、授業を進めることになる。そのため、授業は、教員による講義形式で、演繹的な方法により進められる可能性が高い。

小中学校の理科の授業では、観察・実験を伴う帰納的な活動により、児童・生徒の科学的思考力の向上が認められた例がある (例えば、小野寺ほか, 2023)。これは、ICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking; 科学的思考を育成するための指導チャート) システム (原田ほか, 2018 in 松川ほか, 2019) と称する指導法を用いたことで、その効果がより高まったと考えられる。このシステムでは、生徒に理解させたい科学的な概念を階層的に配置して、生徒に論理的に、より上位の概念を形成させ、到達目標とする最上位の概念を形成させるものである。

そこで、筆者等は、「大気と海洋」の単元の「太陽放射と大気・海水の循環」の章を、幾つかの教科書に取り上げられている実験と資料映像を用いて、ICSTシステムを用いて、帰納的に授業を進めることを計画し、実施した。この論文では、その授業設計、教材開発と授業を実施した結果を評価し、生徒の科学的思考の形成について、議論する。そして、高等学校「地学基礎」における、観察・実験を取り入れた授業展開の方法について述べる。

2. 「海水の循環」の教材開発

2. 1 「海水の循環」の授業の目標

「海水の循環」は高等学校理科の地学基礎「(1) 地球のすがた (ウ) 大気と海洋 ④大気と海洋の運動」の一部で扱う。この単元では、「緯度により太陽放射の受熱量が異なることから、大気の大循環や海水の運動が生じ、熱が輸送されていることを扱うこと。また、海洋の層構造と深層に及ぶ循環にも触れること。」(文部科学省, 2018) と定められている。本実践では、授業対象者が大気の大循環等の気象分野が既習であることを前提に、海洋分野の内容のみを扱うこととした。そして、目標を①大気と海水の運動に関する資料に基づいて、海洋の大循環について理解するとともに緯度により太陽放射の受熱量が異なることなどから、地球規模で熱が輸送されていることを見いだして理解すること、②地球のすがたについて、観察、実験などを通して探究し、大気と海洋について、規則性や関係性を見いだして表現することと設定した。

2. 2 「海水の循環」の教材の特徴

この教材では、展開1「海水の大規模な水平方向の循環」、展開2「海水の大規模な鉛直方向の循環」、展開3「海水の地球規模の循環と地球環境」の3つの展開を設定した。

本研究では、帰納的なアプローチによって生徒自らが、上位概念に近づく授業を実践することを目的とす

る。帰納的に授業を展開するためには、生徒自身が演示実験や実験で観察し採取するデータ、演示実験によるデータや既存のデータからグループでの話し合いも含め、それらの特徴や規則性を見いだせることが必要である。また、「ワークシート学習では、生徒自身の自主的で創造的な活動を促進させる役割を果たしている。」(加藤, 1984)ので、この単元の授業全体をワークシート学習にし、生徒がワークシートの指示や設問にしたがい、考えや理解を深めていけるよう設計した。具体的には、展開1及び2では室内で行える簡単な実験(演示も含む)を各校時に1つ以上実施するよう含めた。そして、実験と実験の間にも生徒が実験や既存のデータ、あるいは既習事項や自身の経験から考える小設問を配することで、自ら考え、フォーカス・クエスチョンに対する解答が得られるように工夫した。ただし、授業者の説明が必要と思われる部分では、適宜授業者が説明や補足を行うこととした。展開3では、実際に直接見ることができない自然現象をアニメーション化した映像や最近の研究成果を踏まえた海での自然現象と地球環境との関係の映像の視聴により、展開1と2の再構成とまとめをしながら、生徒が最上位の概念を形成できるようにした。

各1校時分のワークシートの最後には、フォーカス・クエスチョンの解答を生徒が論理的に説明できるような形式の「まとめ」を必ず設け、生徒自身で学習後のまとめができるようにした。なお、室内で行う実験は汎用性を考慮し、実施が容易な簡単なものとし、そこからスケール・アップして実際の自然(例えば海流や深層流)をイメージできるよう配慮した。具体的には、例えば、室内で水面に定常的に送風し、生徒に容器内の水の表層の流れを観察させ、地球規模の大気の流れ(貿易風や偏西風)に伴う、海洋表層の流れを想起させ、また、水槽内に氷を浮かべ、インクを滴下する実験から、グリーンランドや南極周辺で起こっている低温(密度大)の海水が連続的に下降し、深層流を形成していることを生徒に想起させるように作成した。

3. ICSTシステムを用いた「海水の循環」の教材開発

原田ほか(2018 in 松川ほか, 2019)により開発された理科の指導システムを基に、以下

の順で教材開発を行った。

3. 1 概念の抽出とコンセプト・フローの図式化

生徒に理解させたい内容(指導要領, 指導要領解説, 教科書に掲載されている内容)の概念を抽出した。概念は、例えば「海流」、「海洋の層構造」、「深層流」、「深層循環」、「熱輸送」、「太陽エネルギー」などキーワード的な単語や短い文章がそれにあたる。そして、抽出した概念を最も下位の概念から到達目標とする最も上位のものまで階層的に並べ、生徒が概念を形成する流れ(順番)をコンセプト・フローとして図式化した(DiRanna et al., 2008)(図1)。

3. 2 フォーカス・クエスチョンの設定

次に生徒が、論理的、系統的に科学的思考力を用いて、下位の概念から上位の概念を引き出すため、フォーカス・クエスチョンを設定した。フォーカス・クエスチョンは、コンセプト・フローにおける上位の

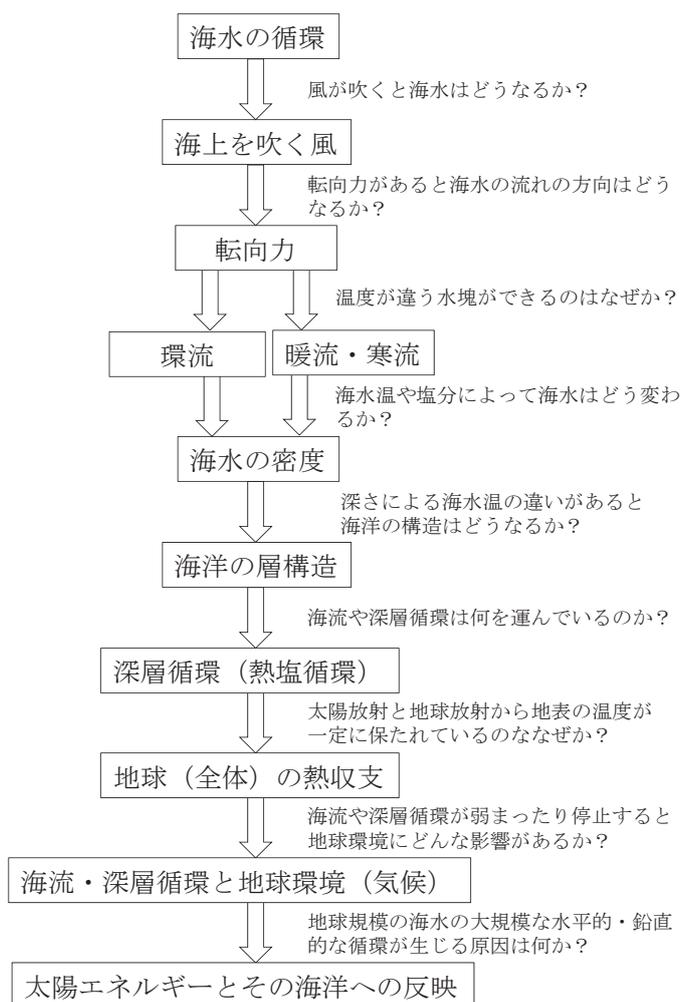


図1 「海水の循環」のコンセプト・フロー

概念を引き出すための生徒に対する問いかけで、例えば、「風が吹くと海水はどうなるか?」、「転向力があると海水の流れの方向はどうなるか?」など、生徒が上位の概念を形成するための助けになるような的を射た質問文を設定した。

3. 3 プロセス・スキルの設定

さらに、生徒を各概念形成に導くために用いるプロセス・スキルを明確にした。プロセス・スキルは、「観察・実験の計画・実行」「情報の収集・評価・伝達」などの科学の研究手法である。幾つかのプロセス・スキルが提案されているが、本研究では原田ほか(2019)により再検討されたプロセス・スキルを用いた(表1)。本教材開発においては、前述のように簡易な観察(授業者による演示実験)・(生徒による)実験の実行や問題の明確化やデータの分析・解釈を自分で行った後にグループでも話し合いながら行うことを複数回取り入れた。

表1 原田ほか(2019)のプロセス・スキル

①	観察
②	情報の収集・評価・伝達
③	予測
④	問題の明確化
⑤	仮説の設定
⑥	観察・実験の計画・実行
⑦	データの分析・解釈
⑧	モデルの作成
⑨	仮説・モデルの再評価・検証

3. 4 指導チャートの作成

授業を実施するため、抽出した概念とフォーカス・クエスチョンにより作成されたコンセプト・フローを基に単元(全体)の設計図として指導チャートを作成した(図2)。指導チャートは、概念(授業の各過程で理解させたい科学的概念)、フォーカス・クエスチョン、プロセス・スキル、授業者からの働きかけ、生徒の活動、評価の列からなる。

3. 5 学習指導案の作成

指導チャートは、単元全体の授業の流れと要素を明確にした設計図である。授業を実施するため、指導

チャートに基づき1校時ごとの学習指導案を作成した。授業では、フォーカス・クエスチョンから概念を引き出す過程で生徒たちの経験や既習の知識、関係する資料、観察・実験とその結果を補う。学習指導案は、これらを具体的に示し、授業を実施する際の手順書となる。本論文では単元「海水の循環」の展開1の「海上を吹く風」と「転向力」(合わせて1校時分)の部分を提示した(図3)。

3. 6 ワークシートの作成

ワークシートは、①コンセプト・フローや指導チャートに基づいて作成した基礎的・基本的な内容のもの(教材開発者作成)(付録1)と、②今回の授業を実践した教師が生徒の実情を考慮して、発展的内容や計算を加えたもの(付録2)を作成した。これらのワークシートは、授業者からの指示がなくても、生徒がある程度自分自身やグループで考え、実験等を進められるよう作成したので、生徒はワークシートを手引書として主体的に活動できると思われる。

ワークシートは、最初にフォーカス・クエスチョンを配置し、授業で課題を明確化し、実験や作業を終えた後に、生徒が授業内容を実験結果や資料を基に論理的にまとめられるような「まとめ」の項目を必ず設けた。

このワークシートは、実践校の生徒の実情に合わせて、計算を用いた実習、補足として発展的内容を取り入れた。また、帰納的授業を展開することを意識したため、図を用いる場合は基となるデータなどの根拠を併記するように配慮した。

3. 7 生徒の科学的概念形成評価のためのチェック・テストの作成

生徒が、科学的思考力を活用し、概念を形成したことを評価するためにチェック・テストを作成した。生徒の自己判断に基づく選択式での解答の調査結果は客観性が問われる可能性があり、記述式による論理的な文章化が適しているとの実証的な研究がある(田子ほか, 2021)。そこで、本実践のチェック・テストは、全設問記述式による問いを設定した(図4)。設問1は授業を通して理解したコンセプトを文章の空欄を埋める方法で確認する知識的な問題、設問2から4は自然事象のしくみやその理由を問う記述式の設問とした。また、設問2から4は「～だから」、「したがって」等の原因と結果を示す接続詞を使い、論理的な文章で答えるように指示した。

本時(全7時間中の第1時)

(1) 本時の目標

- ・風によって、水の表面に水流が生じることが理解できる。
- ・水面への送風実験の観察や大気の大循環の図から海洋表層の水流の原因に気付くことができる。
- ・エクマン吹送流や圧力傾度力、転向力によって地衡流が生じ、その大規模な海洋表面上の流れを「海流」ということを理解できる。
- ・主な海流の進行方向が北半球と南半球では逆方向であることを理解できる。

(2) 本時の展開

単元の指導チャート内の「展開1、海水の大規模な水平方向の循環」に基づく

過程	学習活動	教師の働きかけ及び評価基準 ○教師の働きかけ ☆評価
導入 (3分)	・本範囲の学習内容の概略を把握する。	○海の水が、潮の満ち引きで動くことを体験していると思います。これは月の引力により引き起こされます。これから海の水の動きを地球規模で考えてみましょう。地球は球形で自転しています。また、地球は極地方では寒く、低緯度地域では気温が高い。海水はこれらの影響を受けて、どのような動きをするのか？考えてみましょう。 (これから地球規模の海水の動きについて考えていくことを伝える)
展開1 (17分)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">課題 ; 風が吹くと海水はどうなるか？</div> <ul style="list-style-type: none"> ・質問について考える。 ・流しの近くに移動する ・演示実験を観察し、風が吹くと水面から浅いところまでは一定方向の水流ができることを学習する。 ・大気の大循環の図や演示実験の結果を参考に海洋表面に起こる現象を推測する。その後、グループで交流する。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">まとめ ; 水面上を吹く風によって、水の表面に水流が生じる。</div>	<ul style="list-style-type: none"> ○風が吹くと水の表面はどうなるか質問する。 ○ワークシート1を配布する。 ○流しの近くに生徒を移動させる。 ○ワークシートにしたがって、演示実験を行う。 ○大気の大循環の図(既習)を提示する。 ☆自らの考えを交流し、考えを深めることができる。 ☆水面上を吹く風によって、水の表面に流れが生じることを理解できる。 ☆海洋表層の水流の原因に気付くことができる。
展開2 (25分)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">課題 ; 転向力があると海水の流れの方向はどうなるか？</div> <ul style="list-style-type: none"> ・転向力(何に働く、どんな力、どういう方向に働く(既習))を思い出す。その後、グループで交流する。 ・風によって水流が動き出す方向と転向力が働く方向を図示する。その後、グループで交流する。 ・エクマン吹送流等の説明を聴く。 ・海流及びその流れの原理を学習する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○地球規模の運動する物体に働く力(転向力)を思い出させる。 ○ワークシートにしたがって、風によって水流が動き出す方向と転向力の方向を図示させる。 ☆風によって、海洋表層水の動き出す方向、転向力の働く方向を図示できる。 ☆それらの合力の方向が表層水の向かう方向と必ずしも一致しないことに気付く。 ○エクマン吹送流、圧力傾度力、転向力、地衡流を説明する。 ○風によって動き始めた海洋の表層水が圧力傾度力+転向力→地衡流となって、北半球では時計回りの環流となること、この大規模な海洋表層の流れを「海流」ということを説明する。南半球ではその逆方向(反時計回り)の環流となることを説明する。
まとめ (5分)	<ul style="list-style-type: none"> ・グループで海流の流れる方向について論理的にお互いに説明し合う。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">まとめ; 風によって動き始めた海洋の表層水が圧力傾度力+転向力→地衡流となって、北半球では時計回りの環流となる。</div>	<ul style="list-style-type: none"> ○机間巡視しながら、本時の授業の理解度を確認する。 ☆海洋表層水の流れの方向を論理的に説明できる。 ☆大規模な海洋表層の定常的な流れを「海流」ということを理解できる。

図3 「海水の循環」の学習指導案

「海水の循環」の授業を終えて

授業を通して学んだ内容について、皆さんがどれくらい理解しているのか チェックテストを実施します。これは、成績を左右するものではありません。

問2から問4については、問1の文章を参考に「したがって～、～ので、～から」というような論理的な文章をつくるよう意識しましょう。

設問1 地球上の海流は、その上空を吹く大規模な風系によって、流れのきっかけがつけられる。海流は、地球の（ 自転 ）によって北半球では流れに対して、進行方向（ 右 ）向きに働く（ 転向 ）力と海面の高い方から低い方に向かって働く（ 圧力傾度 ）力のつり合った方向に流れる。したがって、北半球の主な海流は、（ 時計 ）回りの環流になっている。

設問2 南半球での主な海流は、北半球とは違い反時計回りの環流になっている。その理由について、「～ので」や「～から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい。

設問3 北極海と共に南極近海でも、表層海水は沈み込み深層流をつくっている。南極近海で、表層海水が沈み込み深層流をつくるメカニズムを、「～ので」や「～から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい。

設問4 高緯度地方では気温や海水温が低く低緯度地方では高いが、①地球全体の平均気温は長年ほぼ同様に保たれている。②表面海水温も低緯度や高緯度で極端に高くなったり、低くなったりしていない。それらの理由を「～ので」や「～から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい。

①の理由

②の理由

年 組 番 氏名

図4 「海水の循環」のチェック・テスト

4. 「海水の循環」分野の授業の展開

4. 1 展開1 海水の大規模な水平方向の循環

「海水の循環」を科学的に理解するためには、海水には潮の満ち引き等から流れる性質があることを生徒の経験から導き出し、潮の満ち引きの流れとは異なる流れが実際の海洋では水平方向（海流）にも、鉛直方向にも存在する（深層流）ことを理解することがまず重要である。そこで、展開1では、海水の大規模な水平方向の循環を考えるために、「海上を吹く風」を最も素朴な概念（最下位の概念）として抽出し、①「風が吹くと海水はどのようなか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。そして、室内の演示実験で底に薄く砂を敷いた水（深さ1cm, 5cm）の入ったバツ

ト（容器）に一定方向から風を送り、表層水の状態を観察させる。この水面への送風実験から生徒たちは、定常的な風によって表層の水は動き始め、一定方向の流れができることを観察で確認する。次に、②「転向力があると海水の流れの方向はどのようなか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。地球上の大気の大循環の図を生徒に提示し、生徒は①の結果も踏まえ、海洋表層の大規模な海水の流れの原因について考える。さらに、地球規模の運動には地球自転によって働く転向力の存在を思い出させる。生徒たちは転向力の働く方向等をグループでの話し合いも含めて思い出しながら、海洋表層の定常的な大規模な風による流れの方向とその流れに対して地球規模で働く転向力の加わる方向を図示する。ここでも生徒自身で考えた後、短

時間で、グループで話し合い考える。この後、海洋表層から少し深いところの海水の流れは生徒間の話し合いのみで考えることは難しいので、エクマン吹送流、圧力傾度力、地衡流については、生徒は授業者の説明を聴く。以上より、海洋表層では、海上を吹く大規模な風系によって、流れが発生し、転向力と圧力傾度力のつり合う方向に大規模な海流（北半球では時計回りの環流）が形成されることを生徒は理解できる。生徒たちは海流に暖流、寒流があるのは地理等で学習しているが、次に、③「温度が違う水塊ができるのはなぜか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。生徒は環流による北からの流れや南からの流れが一般的に高緯度では気温が低く、低緯度では高いことから海水温の高低も同様と予測する。その上で「光の角度によるエネルギー量の実験」を通し、海洋表層の海水温と緯度の関係を考える。その実験を通し、生徒は、地表に達する日射量（単位面積あたり）は太陽高度が高い低緯度で大きく、高緯度で低いことを理解できる。その結果、海水の表面温度も地表面同様一般的に低緯度の表層の海水温は高く、高緯度の表層の海水温は低いことを理解できる。また、それが海流にも反映していることが理解できる。このように展開1でのコンセプト・フローと指導チャートの流れを設定した。

4. 2 展開2 海水の大規模な鉛直方向の循環

展開2では、海水の大規模な鉛直方向の循環を考えさせるために、まず、①「海水の密度」という概念を抽出し、「海水温や塩分によって海水はどう変わるか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。「海水の蒸発実験」と「食塩を入れたパックや氷を浮かべた水槽内の水にインクを垂らす実験」を配して、生徒が海水に含まれる塩分量について「海水の蒸発実験」によって体験的に理解し、さらに海水は塩分や水温によって密度が変化し、塩分の多い海水や冷水は周囲の水に比べて密度大で重くなり下降し、それを補うように暖かい水が移動することを「食塩を入れたパックや氷を浮かべた水槽内の水にインクを垂らす実験」で理解する。次に、②「海水の層構造」という概念を抽出し、「深さによる海水温の違いがあると海洋の構造はどうなるか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。まず生徒に、そのことを考えさせた後、生徒は、提示された海洋の（鉛直方向の）水温分布の図から、海水温により海洋が鉛直方向に層構造になっていることを理解する。さらに、③「深層循環（熱塩循環）」という概念を抽出し、「海流や深層（循環）流は何を運んでいるのか？」というフォーカス・クエス

チョンを設定した。生徒に、冷水や塩分の多い海水（両方とも密度大）が連続的に下降し続けることによって起こる現象を考えさせ、その後、生徒は、展開2の最後に「NHKスペシャル 海 知られざる世界」（1998年放送）より第4集 深層海流 二千年の大航海」（以下、「深層海流」）の前半約20分（内容：北極圏で沈み込んだ冷たく塩分の多い海水が連続的に沈み込むことで深層流を形成し、やがて温まり北太平洋で再び海洋表層に戻る）を視聴し、最近徐々に解明されつつある深層流の実態や海水の深層循環は熱を輸送していることを理解できる。このように展開2でのコンセプト・フローと指導チャートの流れを設定した。

4. 3 展開3 海水の地球規模の循環と地球環境

展開3では、海水の地球規模の循環と地球環境を考えるために、まず、①「地球（全体）の熱収支」という概念を抽出し、「太陽放射と地球放射から地表の温度が一定に保たれているのはなぜか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。「地球のエネルギー収支の図」から、生徒は地球全体でエネルギー収支がつり合っていることを確認する。また、「高緯度・低緯度地方は、それぞれどんどん高温化・低温化しない。このように、長期に亘り地球全体がほぼ一定の気温に保たれているのはなぜか？」という設問を設け、今までの学習から、海流や深層（海）流が熱を輸送しながら循環していること（海のベルト・コンベア）を理解できる。次に、②海流・深層循環と地球環境という概念を抽出し、「海流や深層循環が弱まり停止すると地球環境にどんな影響があるか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。この展開の中では、ニュース等で話題になる「エルニーニョ現象」、「ラニーニャ現象」にも触れ、生徒に海流や深層循環が弱まり停止すると地球環境にどのような影響があるかを考えさせ、生徒は「深層海流」の後半約20分（内容：かつての地球上の寒冷期と海水の循環の関係）を視聴し、海流や深層循環が大規模な熱の輸送を行い、そのバランスが崩れると地球環境（気候）に大きな影響があることを理解できる。最後に、③「太陽エネルギーとその海洋への反映」という概念を抽出し、「地球規模の海水の水平的・鉛直的な循環が生じる原因は何か？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。ここでは、今までの学習を基に、海流や深層流が「太陽エネルギーの反映」であることを、生徒に導き出させる。このように展開3でのコンセプト・フローと指導チャートの流れを設定した。

5. 授業実践

5. 1 教材作成者と授業実践者との事前の打ち合わせ

慶應義塾湘南藤沢高等部の第1学年6クラス(246名)を対象に本授業を実践した。本実践は、教材開発者と授業実践者が異なる。そのため、2023年10月下旬の授業開始までに、同年6月中から対面で2回、オンラインで1回の打ち合わせや意見交換を実施した。教材開発者は、授業実施期間中1次から7次までの授業を合計10時間参観した(同一次の授業を異なるクラスで参観した場合もある)、授業後にはその都度、教材開発者は、授業を受けた生徒に少人数ではあるが感想を聞いて反応を確かめ、授業者と短時間簡単な打ち合わせを実施し、次に実施する授業への小修正を行った。

対面やオンラインの打ち合わせでは、授業者からの授業展開に関する疑問や実験のやり方や使用器具について問い合わせがあり、その都度お互いに意見を出し合い検討した。例えば、「緯度によるエネルギー量の違いの実験」は大気の大循環分野と関連が深く、その分野の学習を思い出すために短い時間での演示実験で済ませることを想定していた。しかし、事前打ち合わせで、実践校ではその実験を実施していないことが分かり、生徒実験に変更した。また、「海水の蒸発実験」で、この実験を1時間の授業時間枠の中で実施するにはどうしたらよいか、また、実験からどのようにして識別可能な塩(NaCl)の結晶をどう取り出すのか、という課題があった。これらは、事前に試行実験を繰り返し行うことで、海水を最初の質量の1/5くらいになるまで煮詰め結晶の晶出を確認し、その後予め乾燥機に入れゆっくり晶出させた大きな結晶を生徒に観察させることで時間短縮と識別可能な結晶の問題の解決を図ることにした。さらに、「水槽に食塩や氷を浮かべインクを滴下する実験」で使用する水槽は大型の水槽を使い演示実験で行うか、小型の水槽を用意し各班で生徒実験にするかを議論した結果、生徒が自ら実験を行うことでより実感が湧くように小型水槽を用いた生徒実験として実施することとした。

以上のように、教材作成者と授業者が異なる実践では、コンセプト・フローやフォーカス・クエスチョンの趣旨の共通理解が大切と考え、授業開始前に授業者の疑問解消に努めた。

5. 2 授業の概要

本授業は7次からなる。対象とした学年の地学基礎の授業は基本的に1週間に2回あり、1時間は50分授

業で、2023年10月下旬から12月中にかけてすべて地学用の理科実験室で実施された。授業は、小荒井が実践した。

授業では、ワークシート(授業者作成の実践校用)を使用した(付録2)。ワークシートをカスタマイズする場合は、教材開発者が作成した基本的な内容に基づいた授業の枠組み、帰納的な授業展開や趣旨を損なわれないことを求めた。

授業ごとにワークシートを使用した。各授業の展開は、原則的にフォーカス・クエスチョンと実験・観察、その結果やデータ(資料)の参照を組み合わせ、ワークシートの設問を通して生徒自身で考え、グループで議論し、その結果を発表し、授業者がまとめる手順で実施された。

5. 3 生徒の活動と授業者の援助

生徒は、ワークシートを用いて、実験・観察・動画の視聴・データ参照と分析に基づきフォーカス・クエスチョンや設問に答えながら設定したコンセプトの理解を目指した。授業者は、フォーカス・クエスチョンや設問を発問することにより、解決すべき課題と目的がその都度明確化するように努めた。また、設問に答えた後に短時間で、グループで意見交換する時間を設けたので、生徒は考え方や答えの妥当性を自ら検証することができた。また、演示実験「風が吹くと水の表面はどうなるだろうか」の観察結果から「地球規模の風系(定常的な風)が海上に吹くとどうなるか」と実際の自然現象にスケール・アップしてイメージすることを試みた。風が同じ方向から当たり続けると、容器内の水に流れが生じることを、実際に自分の目で確認できるので、生徒は海上を吹く貿易風や偏西風とその下を流れる海流との関係を円滑にイメージすることができた。

授業者は、授業では次のような役割を果たした。①各授業の導入を生徒が持っているような経験や既習事項を織り交ぜ、前時の簡単な復習を実施した。②ワークシートの設問に対する生徒の考えを個人やグループに発問した。特に、グループで回答する場合は、ホワイト・ボードに回答を記入させた。また、実験時は「作業時間」、「残り時間」を生徒に伝え、タイムマネジメントやファシリテーターの役割を務めた。③演示実験の実施・説明、設問に対する生徒の幾つかの回答のまとめや補足説明を実施し、授業者の説明を要する部分(例えばコリオリの力や圧力傾度力、地衡流)では短時間講義を実施した。その他、④授業中や授業後の生徒の質問に回答した。

5. 4 生徒の反応と教材の評価

「海水の循環」の授業実践後、受講した生徒全員を対象にチェック・テスト (図4) と簡単なアンケート調査 (含自由記述の感想) を実施した。チェック・テストは、ICSTシステムを用いた授業による生徒の科学的概念形成に関して評価するために実施し、アンケート調査は、ICSTシステムのプロセス・スキルの一部に設定した実験や話し合いについて生徒たちの実感を確かめるために実施した。

チェック・テストは、「xxxなので、xxxだから」などの表現を用いた回答を求める記述式が実証されている (田子ほか, 2021) ので、本実践のチェック・テストは「xxxなので、xxxだから」という因果関係を説明する文章で答えさせる形式を用いた。

設問1は、北半球での海流の進行方向や海流に働く力について穴埋め式で問う問題を設定し、転向力や地衡流の理解や「海流」の概念の理解を測った。設問2は「南半球での主な海流は、北半球とは違い反時計回りの環流になっている。その理由について、「~ので」や「~から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい」と設定し、設問1と合わせて「海流」の概念の理解を測った。設問3では、「南極近海でも、表層海水は沈み込み深層流をつくっている。その理由について、「~ので」や「~から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい」と設定し、「深層流」の概念理解を測った。生徒にとって初見の設問2及び設問3では、同時に「海流」や「深層流」の概念形成を測った。設問4では、「高緯度地方では気温や海水温が低く低緯度地方では高いが、地球全体の平均気温は長年ほぼ同様に保たれている。表面海水温も低緯度や高緯度で極端に高くなったり、低くなったりしていない。それらの理由を「~ので」や「~から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい」と設定し、これらの問いの答えから、「地球 (全体) の熱収支」と「海流・深層循環と地球環境」の概念の理解を測った。

設問1は穴埋め式なので記入された答えから正解か不正解だけを判断した。その結果、それぞれの正答率は「自転」が87.1%、「右」が88.1%、「転向 (コリオリ)」が90.1%、「圧力傾度」が71.1%、「時計」が97.5%であった。

設問2以降の文章で答える問いは、(1) 記述内容と文体が共に正しいもの、(2) 記述内容はやや説明不足だが間違いではなく文体は正しいもの (3) 記述内容は誤っているが、学んだことを生かして記述しているもの、(4) 空欄や完全誤答となるもの、(5) 因果関係を説明する文体になっていないものの5段階で評価した。

その結果、設問2では、(1) が46.3%、(2) が18.9%、(3) が15.9%、(4) が18.0%、(5) が0.0%であった (表2)。設問1と2の結果から生徒は概ね「海流」の概念を理解できたと考えられる。

設問3の結果は、(1) が70.2%、(2) が17.9%、(3) が4.0%、(4) が8.0%、(5) が0.5%であった。(1)、(2) が合計90%に近いことから、生徒は概ね「深層流」の概念を理解できたと考えられる。また、生徒にとって初見の質問の設問2及び設問3の(1)、(2)の合計がそれぞれ65%、85%を超えていることから、生徒に「海流」や「深層流」の概念が概ね形成されたと判断できる。

設問4①の結果は、(1) が20.4%、(2) が51.7%、(3) が15.0%、(4) が11.0%、(5) が0.0%であった。②の結果は、(1) が52.7%、(2) が11.4%、(3) が15.9%、(4) が18.4%、(5) が0.0%であった。①、②の(1)、(2)合計がそれぞれ72.1%、64.2%であることから、生徒は概ね「地球 (全体) の熱収支」と「海流・深層循環と地球環境」の概念を理解したと考えられる (表2)。

以上の結果から、高等学校理科の地学基礎「海水の循環」ではICSTシステムによる帰納的アプローチに基づく授業が可能で、生徒の科学的概念形成に有効であると考えられる。

アンケート調査では、プロセス・スキルの一つである「実験」及び「話し合い」が概念理解に役立ったかどうかを測る選択式の問いを設定した。(1) たいへん有効だった、(2) 有効だった、(3) あまり有効でなかった、(4) 全く有効でなかったの選択肢を設定した (表3)。その結果、「話し合い」の有効性は、(1) たいへん有効、(2) 有効が合計96.5%を占めた。また、「実験・実習・映像」の有効性は、(1) たいへん有効、(2) 有効が合計97.5%を占めた。アンケート結果の肯定率の高さ (いずれも90%以上) から、多くの生徒は、本実践で設定したプロセス・スキルの「実験」及び「話し合い」が、生徒の概念の理解に役立ったと実感していると解釈できる。以上より、プロセス・スキル「実験」「話し合い」は、「海水の循環」の概念の理解や形成に有効に作用したと考えられる。

また、アンケートの最後に自由記述欄を設けた。その結果、半数以上の生徒が、授業の形式 (帰納的展開・ワークシート、話し合い) を肯定する内容を挙げた。この結果から、ICSTシステムに基づいた本実践は、多くの生徒に受け入れられた可能性が高いと判断できる。

表2 チェック・テストの結果(分析)

設問	地球上の海流は、その上空を吹く大規模な風系によって、流れのきっかけがつけられる。海流は、地球の(自転)によって北半球では流れに対し進行方向(右)向きに働く(転向)力と海面の高い方から低い方に向かって働く(圧力傾度)力のつり合った方向に流れる。したがって、北半球の主な海流は、(時計)回りの環流になっている。	全クラス N = (201)	自転	右	転向(コリオリ)	気圧傾度	時計
			1	2	3	4	5
設問1			87.1%	88.1%	90.1%	71.1%	97.5%
			記述内容と文体が共に正しい	記述内容はやや説明不足だが、間違いではなく、因果関係を説明する文体は正しい	記述内容は誤っているが、学んだことを生かして記述している	空欄や完全誤答	因果関係を説明する文体になっていない
設問2	南半球での主な海流は、北半球とは違い反時計回りの環流になっている。その理由について、「~ので」や「~から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい。	全クラス N = (201)	46.3% (93)	18.9% (38)	15.9% (32)	18.0% (37)	0.0% (0)
設問3	北極海と共に南極近海でも、表層海水は沈み込み深層流をつくっている。南極近海で、表層海水が沈み込み深層流をつくるメカニズムを、「~ので」や「~から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい。	全クラス N = (201)	70.2% (141)	17.9% (36)	4.0% (8)	8.0% (16)	0.5% (1)
設問4	高緯度地方では気温や海水温が低く低緯度地方では高いが、 ①地球全体の平均気温は長年ほぼ同様に保たれている。 ②表面海水温も低緯度や高緯度で極端に高くなったり、低くなったりしていない。それらの理由を「~ので」や「~から」ということばを途中に入れ簡単に説明しなさい。	① 全クラス N = (201)	20.4% (41)	51.7% (104)	15.0% (30)	11.0% (16)	0.0% (0)
		② 全クラス N = (201)	52.7% (106)	11.4% (23)	15.9% (32)	18.4% (37)	0.0% (0)

表3 アンケート調査の結果

		1	2	3	4
		たいへん有効だった	有効だった	あまり有効でなかった	全く有効でなかった
話し合い・グループでの交流 (N = 201)	人数	99	95	7	0
	%	49.3	47.3	3.5	0
		96.5		3.5	
実験・実習・映像 (N = 201)	人数	140	56	5	0
	%	69.7	27.9	2.5	0.0
		97.5		2.5	

6. 結論

- (1) ICSTシステムを用いて、高等学校理科の地学基礎「海水の循環」の教材を開発し、教材開発者と異なる人物が授業を実践した。
- (2) 授業展開には、帰納的なアプローチ(個々の事象から、事象間の本質的な因果関係を推論し、結論として一般的原理を導く方法)を取り入れた。
- (3) 教材開発者と授業実践者が異なっても、両者の事前の打ち合わせを十分行うことでICSTシステム

の授業が実施可能なことが示された。

- (4) 本実践で設定した実験とその結果を用いた考察を経たプロセス・スキルを用いたICSTシステムの授業は、生徒の科学的概念の理解と論理的思考力の育成に有効である。
- (5) ワークシートを用いた、実験・話し合い、各授業の最後に論理的なまとめを行う帰納的アプローチを意識して設計したICSTシステムを用いた授業形式は、生徒に受け入れられることが分かった。

謝辞

本研究に対して、竹田大樹氏（慶應義塾湘南藤沢中等部・高等部）には、授業計画、実施に関して議論、ご協力頂いた。また、ICSTプロジェクトの先生方には集会での発表に対して、貴重なご意見を頂き論文が改善された。謝意を表す。本研究には、科学研究費補助金（19H01665, 22K02490, 24K06378）を使用した。

引用文献

DiRanna, K., Osmundson, E., Topps, J., Barakos, L., Gearhart, M., Cerwin, K. Carnahan, D. and Strang, C., 2008. "Assessment-centered teaching a Reflective practice". 37-58, Corwin Press & WestEd.

浜島書店編集部, 2021. ニューステージ新地学図表. 浜島書店. 100-101.

原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川 正, 2018. 科学的思考力を育成する理科教員研修の体系的な構築法—指導チャートの意義—. 科学教育研究42, 407-418.

原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川 正, 2019. 科学的思考力を育成するための教員研修とプロセス・スキルの再検討. 東京学芸大学紀要 自然科学系71, 159-165.

林 慶一・松川正樹, 1994. 地学教育の目標の具体化—小・

中・高と次第に拡大されていく自然観—. 地学教育47, 1, 31-42.

磯崎ほか14名, 2019. 地学基礎 改訂版. 新興出版社啓林館. 129, 133.

磯崎ほか14名, 2019. 地学 改訂版. 新興出版社啓林館. 282.

加藤武男, 1984. ワークシートの理論と実際. 栗田一良, 山際 隆. 主体性を伸ばす理科授業の理論. 明治図書, 48-60.

気象庁JRA-55アトラス, https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/atlas/jp/surface_basic.html (2023年10月10日)

松川正樹・原田和雄・吉野正巳・長谷川正, 2019. 理科の教員研修による研修受講者への効果. 東京学芸大学紀要 自然科学系71, 175-181.

文部科学省, 2018. 高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編. 154-155.

小野寺達郎・小荒井千人・松川正樹, 2023. ICSTシステムを用いた理科の授業における科学的思考力の育成—中学校理科第1分野「仕事とエネルギー」を例として—. 東京学芸大学紀要 自然科学系75, 151-168.

田子 豪・小荒井千人・原田和雄・松川正樹, 2021. ICSTシステムの授業で、帰納的なアプローチを取り入れる試み—中学校理科気象分野の指導を例に—. 東京学芸大学紀要 自然科学系73, 48-69.

Work Sheet 1

使用する図 世界の海洋表面に見られる海水の流れ（海流） 大気の大循環
実験 「風による水の運動」

目的 容器の表層水が風によってどのような運動をするか観察する。

準備 水を満たした容器（トレーまたは流し） 白っぽい砂 扇風機（ドライヤー）
おがくず（発泡スチロール片）

- 方法 ①容器に砂を入れ、水を1 cmの深さまで入れる。
この時、砂が一様に広がるようにする。砂の量は粒子の動きが観察できるように、多過ぎないようにする。
- ②扇風機の弱風で水面に風を送る。この時、水面の動きと底の砂の動きを観察する。
強風でも同様に観察する。水面の動きが見えにくい場合は、おがくずを少量水面に撒く。
- ③水深を5 cm以上にし、②と同じ様に観察する。

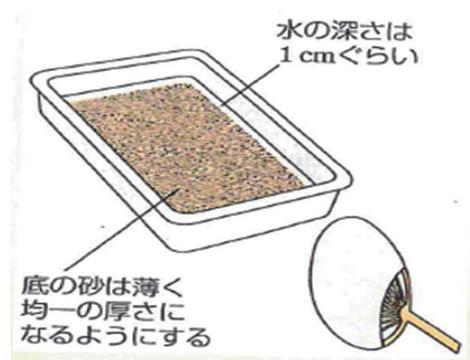


図 地学 改訂版（啓林館 2019）より

質問項目

- (1) 水面への送風実験（演示）（水深1 cm）で、風を水面に一方から当て続けると水の表層、水底の砂はどうなったか。また、水深5 cm以上ではどうか。
- 水深1cm
- 水深5cm
- (2) 世界の海洋表面に見られる海水の流れ（海流）の図と大気の大循環の図を見比べて、気が付くことを記入しよう。その後にグループで気が付いたことについて話し合おう。
- (3) 海洋表層の流れを起こす原因についてあなたの考えを説明してみよう。

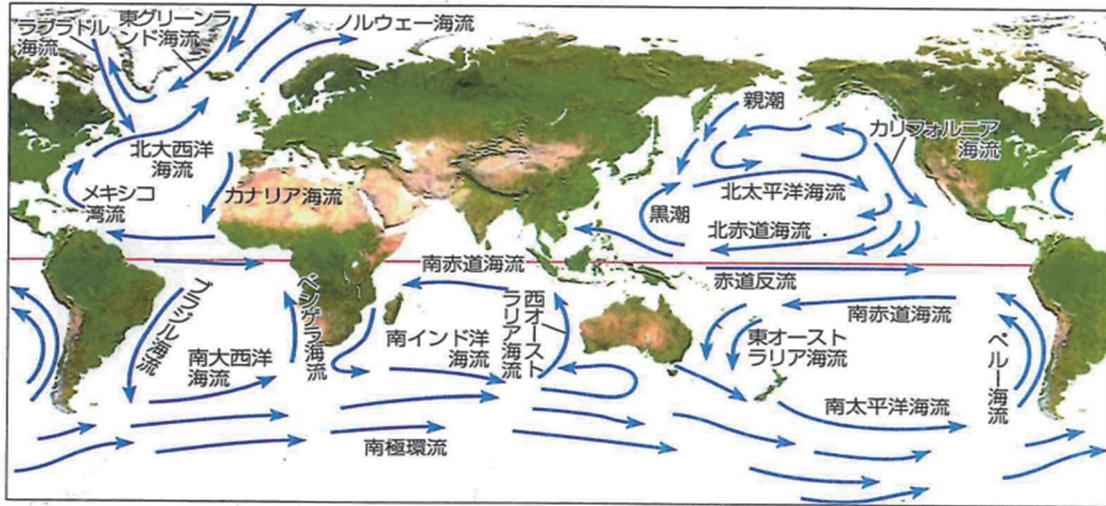


図 世界の海洋表面に見られる海水の流れ (海流)

地学基礎 改訂版 (啓林館 2019) より

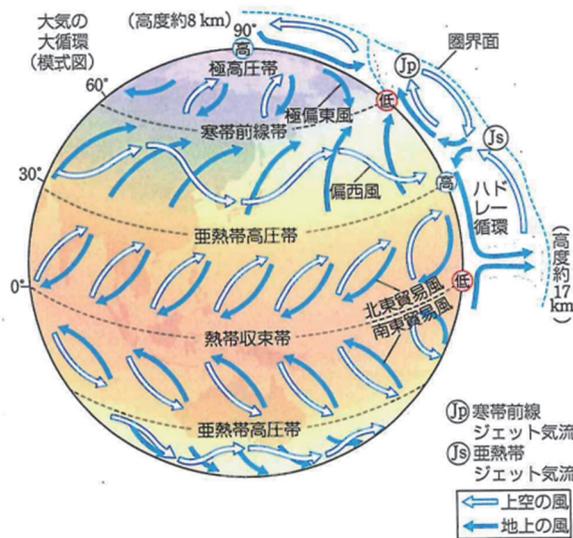


図 大気の大循環

地学基礎 改訂版 (啓林館 2019) より

まとめ

- ・風が水面上を吹くと、水の表面に (流れ) が生じる。
- したがって、海面上で大規模な風が吹き続けると、海面近くの海水は、風の吹く方向に (流れ) が生じる。

Work Sheet 2

使用する図 世界の海流 大気の大循環 (継続)

質問項目

(1) 転向力 (既習) を思い出してみよう. (どんな力? 地球上で運動する物体に北半球や南半球でどの様に働く? なぜ働く?) 思い出しながら転向力についてグループで説明し合おう.

北半球でどの様に働く

なぜ働く

(2) 海深が深くなると風の影響はどうなるだろうか. また, 海水の流れの方向は海表面と比べて変化はあるだろうか.

(3) 転向力は, 偏西風域と貿易風域とで海水の流れの方向に対して, それぞれどの様な方向に働くだろうか. その結果, 海はどうなるだろうか (図を描いて考えてみよう).

(4) 説明を基に, 海流の進行方向と転向力の関係についてグループ内でまとめてみよう.

まとめ

・風によって動き始めた海洋表層水は,
(圧力傾度) 力と (転向) 力がつり合い (地衡) 流となって流れる. これが, (海流) である.
したがって, 北半球では (時計) 回りの (環流) となる.

Work Sheet

海水とその運動

第1回 (_____)

はじめに

広島県の厳島神社の潮の満ち引きはどのような仕組みで起こるのだろうか？

潮の満ち引き以外にも、海水の動きはどのような仕組みで動いているのだろうか？

課題 (1) 風が吹くと海水はどうなるだろうか？

実習：海① 風による海水の運動

■目的 容器の表層水が風によってどのような運動をするか観察する。

■準備 水を満たした容器（トレーまたは流し）、白っぽい砂、扇風機（ドライヤー）、アルミの粉

■手順

- ①容器に砂を入れ、水を1cmの深さまで入れる。この時、砂が一様に広がるようにする。砂の量は粒子の動きが観察できるよう、多過ぎないようにする。
- ②扇風機の弱風で水面に風を送る。この時、水面の動きと底の砂の動きを観察する。強風でも同様に観察する。水面の動きが見えにくい場合は、アルミの粉を少量水面に撒く。
- ③水深を5cm以上にし、②と同じ様に観察する。

■結果

(1) 水面への送風実験（演示）

風を水面に一方向から当て続けると水の表層、水底の砂はどうなったか。また水深5cm以上ではどうか。

水深1cm

水深5cm

風応力は、海上を吹く風速 (通常 10m の高さ) から経験式で算出。
 大気下層のエクマン層があるので、風向や風速の高さ方向の変化を考慮

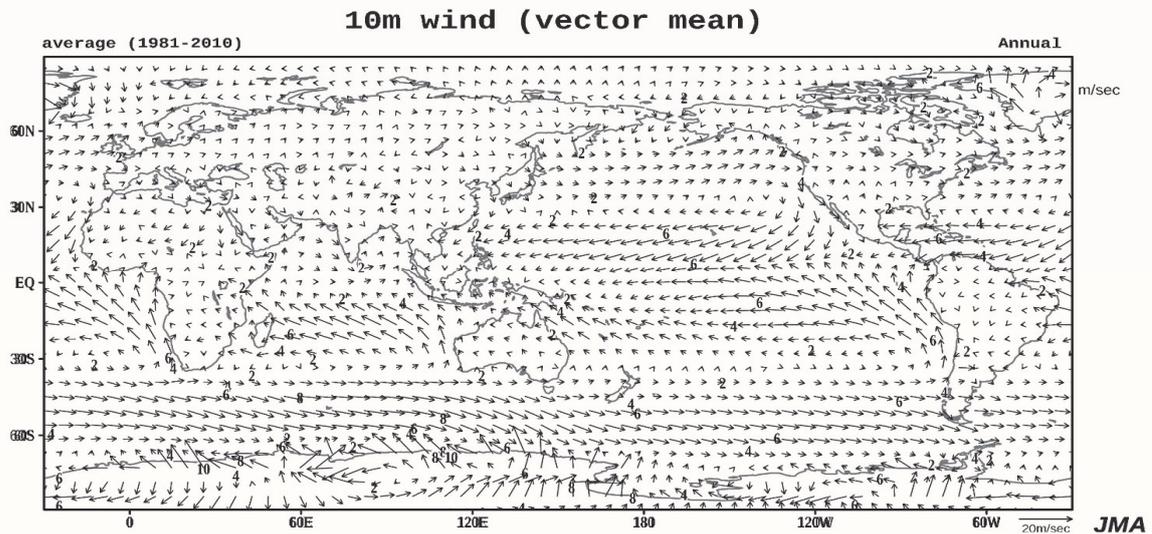


図 海上の風速 (気象庁のサイトのデータJRA-55アトラスより作成)

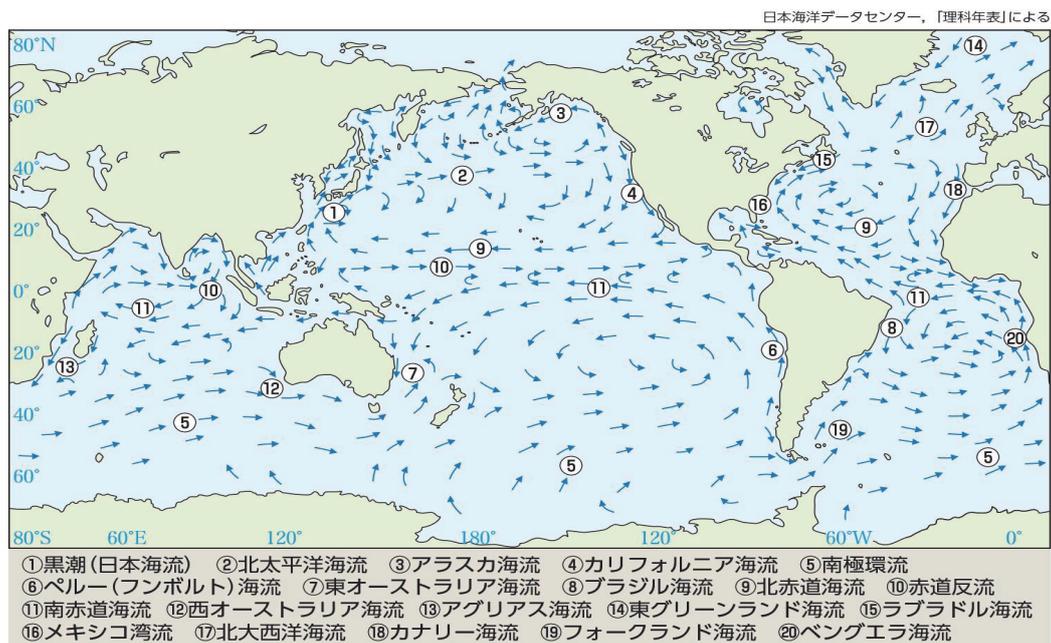


図 世界の海洋表面の海水の流れ (海流)

ニューステージ新地学図表 (浜島書店) 2021より

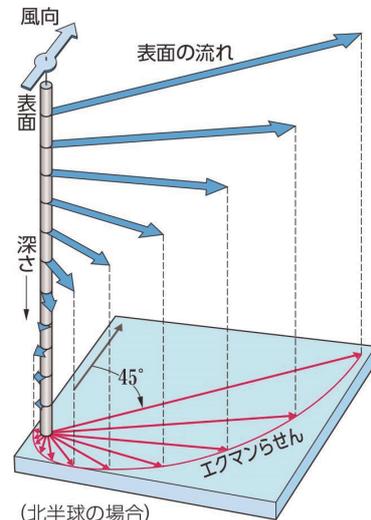
(2) 世界の海洋表面に見られる海水の流れ（海流）と大気の大循環の図を見比べて、気が付くことを記入しよう。その後にグループで気が付いたことについて話し合おう。

(3) 海洋表層の流れを起こす原因や仕組みについて、あなたの考えを説明してみよう。

【補足】エクマン吹送流

海深が深くなると風の影響はどうか。

海水の流れの方向は海表面と比べて変化はあるだろうか。



ニューステージ新地学図表（浜島書店）2021より（北半球の場合）

(4) エクマン輸送により偏西風域と貿易風域とに挟まれた領域（太平洋亜熱帯付近）では、海水はどうか。

課題に対するまとめ（風が吹くと海水はどうか？）

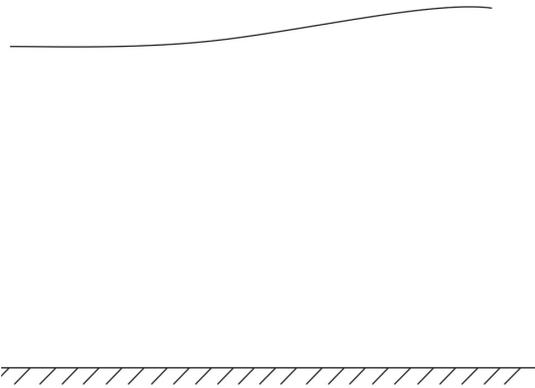
風が水面上を吹くと、水の表面に（ ）が生じる。

したがって、海面上で大規模な風が吹き続けると、海面近くの海水は移動をする。

課題 (2) コリオリの力 (転向力) があると海水の流れの方向はどうか?

(1) コリオリの力とは? (どのような力?, どういう方向にはたらく?, なぜはたらく?)

(2) 海水の流れの方向に対して, はたらく力を書いてみよう。それぞれどのような方向に, どのような力がはたらくだろうか。その結果, 海はどうかだろうか (図を描いて考えてみよう)。



(3) 海流の進行方向とコリオリの力の関係についてグループ内でまとめてみよう。

課題に対するまとめ (コリオリの力 (転向力) があると海水の流れの方向はどうか?)

風によって動き始めた海洋表層水は, () 力と () 力がつり合い,
() 流となって流れる。これが, () である。
したがって, 北半球では () 回りの () となる。

