

水難救助を題材とした問題に適用される物理概念の分析

— 小・中学校教員志望学生を調査対象とした一考察 —

Analyzing Physics Concepts which Preservice Elementary and Lower Secondary School Teachers Apply to Solve the Problem on Water Rescue

松 森 靖 夫

長 島 礼 人

佐 久 間 理 志*

Yasuo MATSUMORI

Ayato NAGASHIMA

Tadashi SAKUMA

はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災から早1年と半年が経過し、現在も懸命な復旧・復興活動が続いている。特に水難の一つである津波による甚大な災害が表出するに至った原因の一つとして¹⁾、津波に対する的確な備えの欠如が挙げられるのは衆目の一致するところであろう^{2) 3)}。

また、同じく2011年6月11日には、一般社団法人として水難学会が設立され⁴⁾、水難対策や水難救助に対する理論的かつ実践的研究が遂行されることになった。今後、我が国の自然科学研究や理科教育学研究等において、水難に対する取り扱いの重要性は、さらに増してくるものと推察される^{5) 6)}。

一方、諸外国においては、水難救助を直接取り扱った問題場面を活用した物理教育を垣間見ることができる。例えば、米国物理学教師協会（American Association of Physics Teachers）の刊行誌“The Physics Teacher”中のコラム“Figuring Physics”⁷⁾には、水難救助に関わる具体的問題場面が取り上げられており⁸⁾、既にその日本語訳も公表されている⁹⁾。

本研究では、この水難救助に関わる問題場面を、将来教壇に立つことになる我が国の小・中学校教員志望学生に取り組みせ、問題解決のために適用される物理概念について分析する。次に、分析結果を踏まえ、水難救助に対する取り扱いを理科教育的視点から検討する。

本研究は、水難救助に着目したものであるが、自然災害時の人命救助のあり方が問われている今日、これからの理科教育が果たすべき役割を模索するための一助になるものと考えられる。

1. 具体的問題場面と調査実施の概要

(1) 調査の目的

小・中学校教員志望学生を対象として、水難救助に関わる問題場面を提示して、その回答結果を分析する。

(2) 調査期日及び調査対象

調査は、2010年4月に山梨大学教育人間科学部学校教育課程の所属学生計103名に対して実施した。学校教育課程の所属学生には、小学校教諭一種（もしくは二種）免許状と中学校教諭二種（もしくは一種）免許状の取得が義務づけられている。なお、調査対象となった学生の高等学校在籍時における理科の履修状況は表1の通りである。

表1 高等学校理科の履修状況（延べ人数）

科目名	人	科目名	人
理科基礎	0	化学Ⅱ	21
理科総合A	44	生物Ⅰ	96
理科総合B	16	生物Ⅱ	27
物理Ⅰ	28	地学Ⅰ	10
物理Ⅱ	13	地学Ⅱ	1
化学Ⅰ	66		

*教育学研究科修士課程研究生

（３）問題場面と調査方法

問題場面は、図 1 の左半分に示した通りであり、米国の物理教育誌 “The Physics Teacher” に連載されている “Figuring Physics” と称する物理パズルのコラムの日本語訳である^{10) 11)}。図 1 の右半分には、回答理由を記入する欄を新たに設けた。

図 1 を A 4 判用紙に印刷して、各学生に配布して回答を求めた。回答に要する時間は制限せず、必要なだけ与えた。

また、図 1 に示した問題場面に内包される物理概念、換言すれば、科学的に回答する上で要求される物理概念を分析したのが表 2 である。

表 2 問題場面に内包される物理概念

内包される物理概念	問題場面への適用
【概念Ⅰ：慣性の法則】 他の物体から力がはたらかない場合、または、力がつり合っている場合、静止している物体はいつまでも静止し、運動している物体はそのままの速さで等速直線運動を続ける ¹²⁾ 。	【3 物体の運動】 人が泳ぎ出さない限り、3 物体（「人」、「人より上流にある救命用具」、及び「人より下流にある救命用具」）は、等速直線運動を続ける。
【概念Ⅱ：相対速度】 自分が運動している時には、自分の速度によって相手の速度が異なって見える。自分を基準にした時の相手の速度を相対速度という ¹³⁾ 。	【人が泳ぐ速度】 川の流れを正の向きとした場合、上流から流れる救命用具に向かって χ (m/s) で泳ぐ人の相対速度は、 $-\chi$ (m/s) である。同様に、下流へ流れる救命用具の場合、人の相対速度は、 χ (m/s) である。

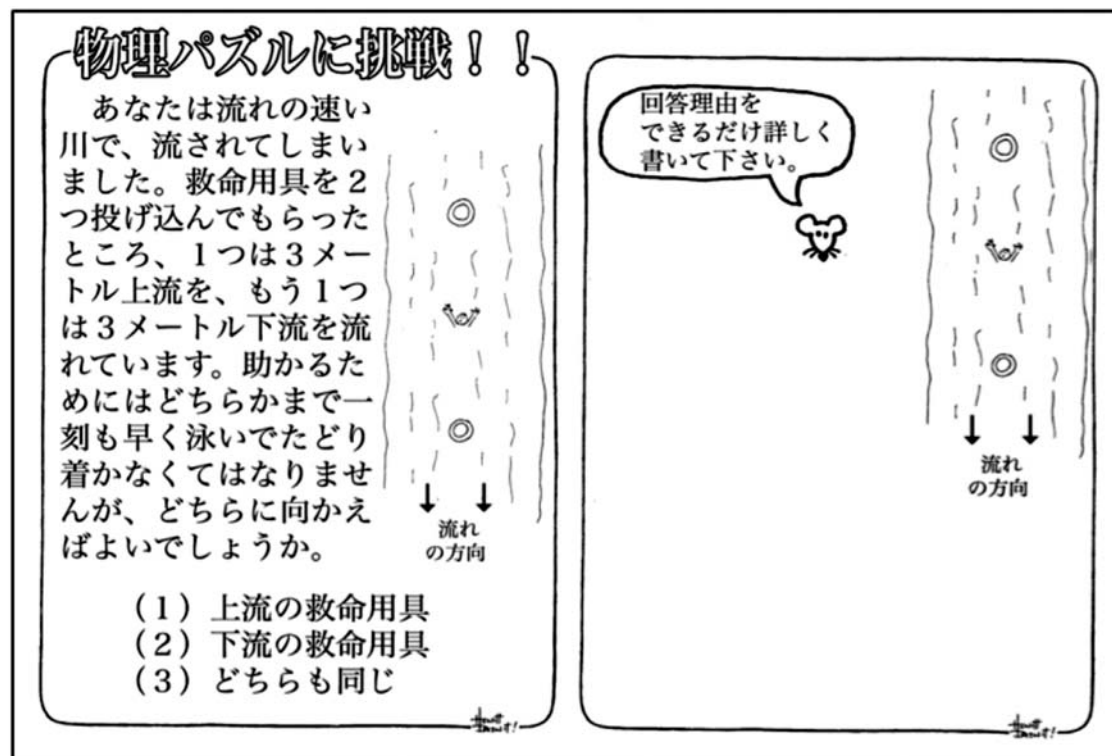


図 1 調査内容（問題場面）

2. 調査結果

(1) 単純集計

回答選択肢ごとの単純集計を図2に示す。一瞥すれば分かるように、正答選択肢(3)を回答した学生は、わずか11人(10.7%)であり、92人(89.3%)の学生が誤答選択肢を回答していた。また、66人(64.1%)もの学生が、選択肢(1)を回答しており、上流にある救命用具の方が早くたどり着けると考えていることが明らかになった。

(2) 回答理由の科学的正誤を踏まえた集計

① 科学的正誤を判断するための基準の作成

科学的に正しい選択肢を回答したとしても、その理由について科学的であるという保証はない。

そこで、既存研究の手法を参考にし¹⁴⁾、かつ表2に示した問題場面に内包される物理概念を参照しながら、表3のような回答理由の科学性を判断するための基準を作成した。また、表3の右端に示すようなコーディングを施して使用した。

② 回答理由に対する科学的正誤について

表3の基準と照合しながら、回答理由の科学的正誤について整理した結果が図3である。

既に図2に示したように正答選択肢(3)を選択した学生は11人(10.7%)であったが、図3を一覧すれば分かるように、SS(正答選択肢を選択し回答理由も科学的に正しい学生)は6人(5.8%)に過ぎない。また、残りの回答理由(SF, GF, 及びSGM)を含み合わせると97人(94.2%)にも及び、図1の問題場面を解決する上で要求される物理概念(慣性の法則と相対速度の両概念の双方)を適用できなかった学生が多数存在することがわかった。さらに、特筆すべきことは、回答理由SGMに該当する学生が95人(92.2%)存在することであり、これらの学生は問題解決に要求される物理概念を全く適用できていない。

なお、SS, SF, 及びGFに該当する学生の中で、慣性の法則を適用できた者は計7人(6.8%)であり、選択肢(1)を回答した1人(1.0%)と(3)を回答した6人(5.8%)であった。相対速度を適用できた者は計6人(5.8%)であり、いずれも選択肢(3)を回答した学生であった。

3. 調査結果の考察

(1) 慣性の法則(表2の概念I)の適用について

慣性の法則が適用できていない学生は、96人(93.2%)にも及ぶ。また、図2に示したように、選

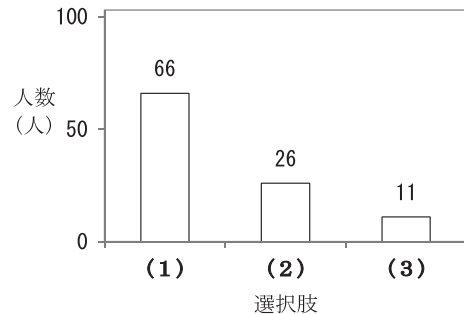


図2 回答選択肢別の人数

表3 回答理由の科学性を判断する基準

回答理由の科学性	コード
正答選択肢を回答しており、かつ表2の概念I(慣性の法則)と概念II(相対速度)の両者が問題場面に対して適用できているもの	SS
正答選択肢を回答しているが、概念IとIIのいずれか一方、もしくは一部しか、問題場面に適用できていないもの	SF
誤答選択肢を回答しており、概念IとIIのいずれか一方、もしくは一部しか、問題場面に適用できていないもの	GF
正答選択肢、誤答選択肢の如何にかかわらず、概念IとIIのいずれも、問題場面に適用できていないもの	SGM

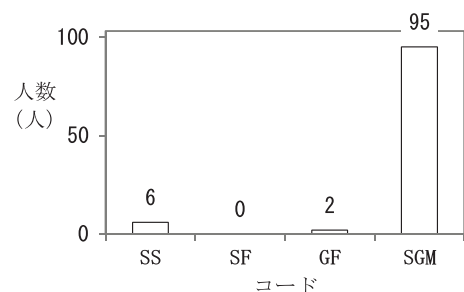


図3 各コード別回答理由の該当人数

択肢（１）である「上流にある救命用具の方が早く届く」と回答した学生が 66 人（64.1%）存在したが、そのうち 1 人（1.0%）を除く 63 人（63.1%）の学生が慣性の法則を適用できていない。例えば、以下に示す学生の回答理由を挙げることができる。

「流れが速いので、上流の救命用具も自然と下流へ流れます。私が上流に向かって泳ぐと、ほぼ進まないと考え、流されてくる救命用具は自然と私の方にくるので、（１）の方がはやくたどり着けると考えます。もし、下流の救命用具をめざすとすると、同じ速度で流されていては、つかまれず、かなり力いっぱい泳がなければ、たどりつかないはずです。」
(学生番号 2, 女)

このように、上流から流れてくる救命用具に慣性の法則を適用するのは比較的容易であるのに対して、下流を流れている救命用具について適用することは難しいことが分かる。本学生のように、下流の救命用具を目指す際に、人が流されていることを考慮できず（３物体が等速度運動を続けていることを無視してしまっているため）流速よりも大きな速さで人が泳がない限りいつまでも救命用具に追いつけないと判断している学生が多数存在した。

同じく図 2 に示したように、選択肢（２）である「下流にある救命用具の方が早く届く」と回答した学生が 26 人（25.2%）存在した。その理由はいずれも共通しており、以下の典型的な説明を挙げることができる。

「当然だが、自分も救命用具もどちらも同じ速さの流れの中にいる。つまり流されていく速さも同じである。上流にある方をつかむためには流れに逆らわなければならず、進めるとは限らないが、下流へ向かうのならば少し流れにうまく乗れば下流にある方には辿り着けるから。」
(学生番号 17, 女)

つまり、選択肢（２）を回答した学生の場合、上流を目指した際、上流の救命用具が流されてくることを考慮するに至っておらず、したがって慣性の法則が適用されていないのである。

このように、多くの学生の回答結果から上流と下流との違いによる慣性の概念適用の状況依存性を読み取ることができる¹⁵⁾。

（２）相対速度（表 2 の概念Ⅱ）の適用について

既に述べたように、相対速度を適用できた学生は 6 人（5.8%）のみであり、極めて低率であることが明らかとなった。それ以外の学生計 97 人（94.2%）の回答理由からは、相対速度の適用の不十分さを読み取ることができた。例えば、川の流れる速度と人の泳ぐ速度を任意に設定し、流されている人（または各救命用具）を基準にした各救命用具（または人）の相対速度を算出しようと試みた学生 2 人（1.9%）を挙げることができる。いずれも、表 2 中に示した問題場面への適用の【人が泳ぐ速度】の前半部分、すなわち「川の流れを正の向きとした場合、上流から流れる救命用具に向かって χ (m/s) で泳ぐ人の相対速度は、 $-\chi$ (m/s) である。」は適用されず、後半部分の「下流へ流れる救命用具の場合、人の相対速度は、 χ (m/s) である。」の方のみしか適用できていない。以下のような回答理由からも窺い知ることができる。

「＜前略＞…ここで泳ぎの速度は上流・下流等しいとすると、上流のとき $(\vec{a}-\vec{b})$ 、下流のとき $(\vec{a}+\vec{b})$ である。これに救命用具にどのくらいの速度で近づくかを考える。
上流： $\vec{a}+\vec{b}-\vec{b}=2\vec{a}-\vec{b}$ ，下流： $\vec{a}+\vec{b}-\vec{a}=\vec{b}$ ， $(2\vec{a}-\vec{b})-\vec{b}=2\vec{a}>0$ より、上流の方が早い。」
(学生番号 37, 男)

また、数式を利用した回答を試みている学生が 2 人（1.9%）存在するが、いずれも川に流される人の速さを算出しているだけに過ぎず、相対速度の概念を適用するまでには至っていない。例えば、以下のような回答理由である。

「川の流れの速さを 2 km/h、泳ぐ速さを 3 km/h とする。下流の救命用具までたどり着くには $3 - 2 = 1$ (km/h) の速さで進む。上流の救命用具までたどり着くには $3 + 2 = 5$ (km/h) の速さで進む。…<後略>」 (学生番号34, 男)

残りの学生計93人 (90.3%) には、以下に示す回答理由のように、相対速度の概念を直接的に適用せずに、おおまかなイメージから判断する傾向が認められた。

「流れが早いので、どちらもその流れにのって進んでいってしまいますが、自分も流されているのだから、下流にある救命用具の方が早くたどり着けると思います。上流にある救命用具にたどりつくには流れに逆らわなければならないので遅くなると思います。」 (学生番号15, 女)

(3) 高等学校理科の履修状況からみた物理概念の適用について

上述したように、96人 (93.2%) が慣性の法則を適用することができず、また同様に97人 (94.2%) の学生が相対速度の概念を適用することができなかった。

周知の通り、慣性の法則に関する内容は、現在の中学校理科の学習内容の一部となっている¹⁶⁾。つまり、本研究の調査対象となった学生全員が学習済みの内容である。今後、さらに調査が必要であるが、このような学習履歴を有する学生が、図1の問題場面に慣性の法則を適用できなかった三点の理由を挙げることができるように思われる。まず、中学校理科における慣性の法則に対する不完全な理解である。二点目は、中学校時点において慣性の法則に対する理解がなされたとしても、長期記憶化されるまでに至らなかったこと (忘却してしまったこと) である。三点目は、慣性の法則に対する概念を獲得しているのであるが、本問題場面には適用することができなかったこと (概念適用の状況依存性の問題) である。

一方、相対速度に関する内容は、中学校理科では取り扱われておらず、高等学校理科「物理 I」¹⁷⁾ で取り上げられる内容である。既に表1に示したように、高等学校時に物理 I を履修している学生は、28人 (27.2%) に過ぎない。したがって、それ以外の75人 (72.8%) の学生は、相対速度について学ぶ機会に恵まれず、その認識自体が十分でなかったことが挙げられる。実際に、物理 I の非履修者の中で、相対速度の概念を適用できた学生は皆無であったことから頷けるところである。

物理 I の履修者計28人 (27.2%) のうちで相対速度の概念を適用できたのはわずか5人 (全体の4.9%, 物理履修者中では17.9%) にしか過ぎない。このように物理 I において学んだはずの相対速度を問題場面に適用できない理由としては、上述の慣性の法則を適用できなかった学生と類似した三つの理由 (相対速度に対する不完全な理解、相対速度に対する理解が長期記憶化されていなかったこと、及び概念適用の状況依存性の問題) が考えられる。

4. 理科教育における水難救助の取り扱い

(1) 検討するための5つの視点

前章まで、図1に示した水難救助に関わる問題場面に対する教員志望学生の回答を分析し、考察を加えてきた。本章では、前章までの調査結果とその考察に基づきながら、理科教育における水難救助に関する取り扱いに向けて5つの点 (①非日常的な内容を取り上げることの意味、②理科学習の有用性の感得に向けて、③救助者と被救助者との関係性を重視した学習指導、④理科授業に携わる教員の資質向上、及び⑤保健体育科との連携) から論じることとする。

(2) 水難救助の取り扱いに向けて

① 非日常的な内容を取り上げることの意味

周知の通り、現在の我が国の理科教育においては、日常生活に密着した理科が重視され、実際に展開されている¹⁸⁾。

ところで、寺田寅彦の有名な言葉として知られる「天災は忘れた時分に来る」¹⁹⁾を引き合いに出すまでもなく、水難救助も日々恒常的かつ連続的に生起するものでなく、その多くが予期せぬ機会にやってくる。

これまでに、現行の高等学校「理科総合 B」²⁰⁾等において自然災害について取り上げられているが、本研究で明らかになった教員志望学生の低い認識状態を鑑み、かつ東日本大震災の教訓を無にすることなく、さらに今後は非日常的事態である水難救助に関する学習内容についても積極的に取り入れる必要がある。

なお、その具現化のためには、表 2 に示したような水難救助の場面に内包される科学的概念等の分析が急務である。また、本研究の調査内容となった水難救助の問題場面のよう、中学校理科と物理 I の内容が含まれていることもあるため、配当学年等についても慎重に検討していく必要がある。

② 理科学習の有用性の感得に向けて

水難救助に関わる学習内容は、まさに生命の存続に関わるものであり、高い有用性のある理科学習内容になるものと推察される。このことは、本研究の調査対象となった学生が、調査終了後に述べた以下の感想からも裏づけられるところである。

「実際、そんな目に遭うかも…という想像をしちゃいました。そうなってしまった時、すぐ役に立つと思います。」

(学生番号101, 女)

「もし、自分が川に流された時、または友だちが川に流されたときにどちらに救命用具を投げた方がいいかわかれば、助かる率が上がりますね。…<後略>」

(学生番号29, 男)

③ 救助者と被救助者との関係性を重視した学習指導

上記②で例示した学生（学生番号29）の感想にもあるように、水難救助には、救助する側（救助者）と救助される側（被救助者）の二者が関わっており、それぞれの立場からの水難に対する科学的認識と咄嗟の判断が不可欠となる。図 1 の問題場面而言えば、救助者の科学的認識（被救助者の上流もしくは下流、被救助者の左もしくは右にかかわらず、最も近い場所に救命用具を投じること）と、被救助者の科学的認識（上流もしくは下流、左もしくは右にかかわらず、最も近い場所の救命用具に泳ぎ掴まること）である。

救助者と被救助者という二者の視点から科学的認識を育成する学習内容に取り組ませ、“救助者となった時の自分”や“被救助者となった時の自分”を想定させることによって、学習者の興味・関心を強く喚起できるものと期待される。

④ 理科授業に携わる教員の資質向上

水難救助について理科授業の中で取り上げていく上で、その指導を司る教員の資質向上の問題を避けて通ることはできない。しかしながら、本研究における小・中学校教員志望学生を対象にした調査結果から、その不十分な認識状態が露呈した。

今後、各教員養成機関においては、水難救助に関わる必要な知識・思考や指導方法等について取り上げていく必要がある。

⑤ 保健体育科との連携

現行の中学校及び高等学校の保健体育科では、水泳の事故防止に関する心得を守り、健康と安全に留意することが学習内容として位置づけられている^{21) 22)}。そのため、保健体育科と理科との連携を図ることによって、より効果的な水難救助に関する学習活動が設定できるものと期待される。

以上、5つの視点から論じてきた。既述したような教員の資質向上の問題をはじめ、解決すべき諸点が存在するが、今後の我が国の理科教育において水難救助に関する内容が盛り込まれるべきであり、早急な対応が待ち望まれるところである。

結語にかえて

本研究においては、水難救助に対する一場面しか取り上げることができなかった。また、調査対象も教員志望学生に限定した。さらに、多様な水難救助の場面について取り上げ²³⁾、児童・生徒をはじめ一般市民を対象とした調査研究を行っていく必要がある。今後の自らの課題とさせていただきたい。

付記

本研究を遂行するにあたり、松森は論文全体の執筆を、佐久間はデータの分析を主に担当した。末尾ながら、山梨大学教育人間科学部理科教育講座准教授長島礼人先生には懇切な指導とご助言を賜った。深く御礼を申し上げる次第である。

文献並びに註

- 1) 現在のところ、「水難」に関する確固たる定義は存在しない。そのため、本研究では、新村出編：『広辞苑（第六版）』，p.1480，2008，岩波書店に掲載されている「洪水・水死・難破など、水による災難」を概念規定として用いる。
- 2) 田中總太郎：「津波，原発，自然との調和」，月刊『地理』，Vol.56，No.6，pp.4-16，2011，古今書院。
- 3) 鈴木康弘：「東日本大震災の『想定外』問題について」，月刊『地理』，Vol.56，No.6，pp.78-82，2011，古今書院。
- 4) 水難学会については（<http://wr.umin.jp/gaiyou.html>）を参照。
- 5) 森本信也：「東北大震災で被害を受けられた方々へのお見舞い（2007年5月15日付）」，日本理科教育学会のサイト（<http://www.soc.nii.ac.jp/sjst/>）
- 6) 地球惑星科学関連学協会共同声明：「自然災害に向き合う強い日本社会の復興のために」，pp.1-5，プレスリリース資料，2011.6.30.
- 7) 松森靖夫・長島礼人・佐久間理志：「物理分野の評価問題に関する一考察—The Physics Teacher 誌のコラム“Figuring Physics”を事例にして—」，山梨大学教育人間科学部『紀要』，Vol.12，pp.35-49，2010.
- 8) Paul G. Hewitt: “Figuring Physics”, *The Physics Teacher*, Vol.36, No.4, p.240, 1998.
- 9) ポール・G・ヒューイット：『傑作！物理パズル50』，松森靖夫編訳，講談社ブルーバックス，pp.80-81，2011.
- 10) 前掲書8)，p.240.
- 11) 前掲書9)，pp.80-81.
- 12) 文部科学省検定済中学校理科教科書：「新編 新しい科学1分野下」，p.55，2006，東京書籍。
- 13) 文部科学省検定済高等学校理科教科書：「新編 物理Ⅰ」，p.147，2003，東京書籍。
- 14) 松森靖夫：「我が国における天文教育の危機的状況—季節変化に対する小学校教員志望学生の認識状態とその変容について—」，日本地学教育学会『地学教育』，Vol.58，pp.114-117，2005.
- 15) Broke, H: “Piaget's Mountains Revisited: changes in Egocentric Landscape”, *Development Psychology*, Vol.11, pp.240-243, 1975.
- 16) 文部科学省：「中学校学習指導要領解説（理科編）」，pp.43-48，2008，大日本図書。
- 17) 文部科学省：「高等学校学習指導要領」，pp.76-78，2005，国立印刷局。
- 18) 例えば，前掲書16)，pp.57-73を挙げることができる。
- 19) 今村明恒：「地震の國」，1949，文芸春秋新社。
- 20) 文部科学省検定済高等学校理科教科書：「新理科総合B」，pp.126-131，2007，第一学習社。
- 21) 文部科学省：「中学校学習指導要領」，pp.85-94，2008，東山書房。
- 22) 前掲書17)，p.97.
- 23) 松森靖夫編著：「科学 考えもしなかった41の素朴な疑問」，pp.26-31，50-55，2008，講談社ブルーバックス。