

浮力と天秤の釣合いとの結合問題に対する 大学生の考察について

小林 茂 広

香川大学教育学部

最近、永野重史氏⁽¹⁾は大学入学者の自然科学に関する理解や学習態度に見られる短所がなくなるような科学教育の改善を目指して、知的活動の様々な側面を観測するための評価問題を開発されている。その1例題として小学校理科の4年生の学習単元「もののうきしずみ」と6年生の「てんびん」とを結合した面白い問題をあげ、小学校4、6年生に試行した調査結果も報告している。

これを参考にして、大学の理科教材研究の授業にふさわしく修飾したものを昭和51年12月2,9,16日の3回、毎回30分足らずの時間をさいて、小学校教師志望の学生がどんな考察をするかテスト教育⁽²⁾をしながら調べてみたことについて報告する。

第1回テスト

12月2日に施行した第1回テスト5問を受けた大学生（主として3年生）は男子9名、女子89名の計98名である。

問1 同じ物体を左右に吊り下げて釣合っている天秤がある（図1）。左のビーカーに静かに水を入れ、水面が現在の物体よりも高い点線の位置までくるときの、天秤はどんな状態になるか図示せよ。

によって自由記述で解答を求めてみた結果は表1と図2に示してある。

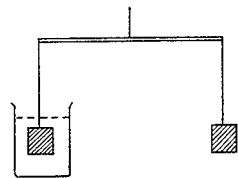


図1 釣合っている天秤

問1は同じ物体としておいただけであったが、永野氏は小学生に対し、物体が木である場合と鉄の場合についてそれぞれ図①④⑥⑦（図3）の4つのうちどれになるかと思うかと尋ね、表2を得ている。

表1 自由記述で得られた問1の解答

| 答 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | 計 |
|----|--------|--------|------|------|------|------|----|
| 男子 | 5(56) | 4(44) | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 女子 | 41(46) | 41(46) | 4(4) | 1(1) | 1(1) | 1(1) | 89 |
| 計 | 46(47) | 45(46) | 4(4) | 1(1) | 1(1) | 1(1) | 98 |

単位：人(%)

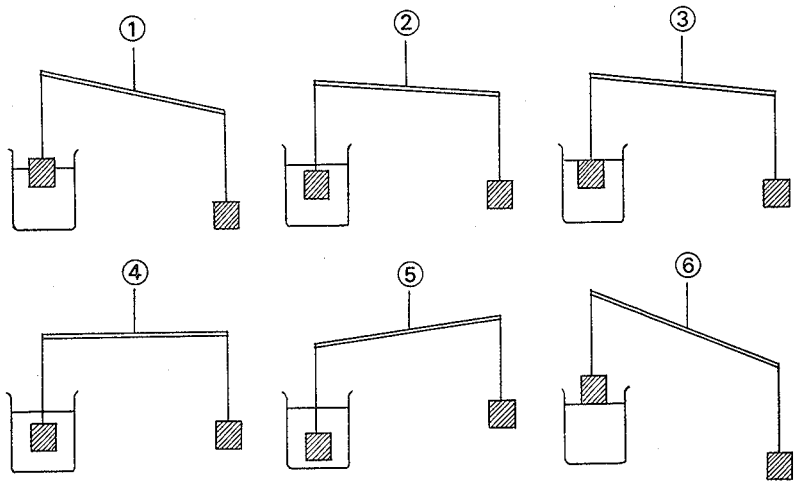


図2 問1で得られた答の天秤の状態

表2 永野氏の得た小学生の解答

| 解 答 | | ① | ④ | ⑥ | ⑦ | 計 |
|-----|----|----|----|----|---|----|
| 木 | 小4 | 47 | 25 | 22 | 5 | 99 |
| | 小6 | 59 | 5 | 33 | 2 | 99 |
| 鉄 | 小4 | 10 | 77 | 7 | 5 | 99 |
| | 小6 | 5 | 87 | 5 | 2 | 99 |

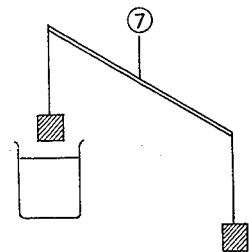


図3 天秤の別な状態図

大学生は自由記述，小学生は4肢選択であるが，解答にはかなり大きな差異があり，しかも，大学生としてはまずい方へ傾斜している。

もちろん，小学生についての調査のことも，正しい答も教えないで，直ちに次の問2に移る。

問2 この問題を小学生にさせるとすれば，どんな図を示して，そのうち正しいと思うものを選ばせるようにするか。

これに対して，学生は図2，図3の他に図4も用意するのがよいと答えている（表3）。なお，学生が用意しておくべきだとした選択肢の個数は2ないし7である（表4）。

学生が問1，問2に回答している様子を机間巡視していた筆者は，ここで，学生が問1に対して抱いている感想を聞くことにした。そのために与えた

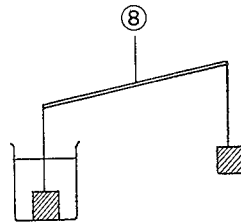


図4 底についた天秤

表3 選択肢として用意すべき図と採用人数（採用率）

| 図 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 男子 | 7(78) | 6(67) | 0 | 9(100) | 8(89) | 5(56) | 1(11) | 3(33) |
| 女子 | 54(61) | 60(67) | 10(11) | 87(98) | 75(84) | 21(24) | 7(8) | 24(27) |
| 計 | 61(62) | 66(67) | 10(10) | 96(98) | 83(85) | 26(27) | 8(8) | 27(28) |

単位：人(%)

表4 用意すべき選択肢数と採用人数（採用率）

| 選択肢数 | 2肢 | 3肢 | 4肢 | 5肢 | 6肢 | 7肢 | 計 |
|------|------|--------|--------|--------|-------|------|----|
| 男子 | 0 | 2(22) | 3(33) | 3(33) | 1(11) | 0 | 9 |
| 女子 | 1(1) | 47(53) | 22(25) | 9(10) | 8(9) | 2(2) | 89 |
| 計 | 1(1) | 49(50) | 25(26) | 12(12) | 9(9) | 2(2) | 98 |

単位：人(%)

問3 問1の問題は完全であるか、不完全な問い方であるか、どちらかと思うか。もし不完全な問であると思う場合は、不完全なところを指摘せよ。

に対して、予想通り、大半（8割）の学生は不完全な問題としていることがわかった（表5）。そして、不完全な問とする学生の多く（64名、82%）は物体の材質、あるいは密度（比重）、あるいは重さと体積を明示していないためとしていた。不完全な問とする残りの学生は水面の位置不明（11名、14%）、物体が水を含ま

表5 問1は完全な、正しい問い方であったか

| 問 1 | 完 全 | 不 完 全 | 無 答 | 計 |
|-----|--------|--------|------|----|
| 男 子 | 2(22) | 7(78) | 0 | 9 |
| 女 子 | 17(19) | 71(80) | 1(1) | 89 |
| 計 | 19(19) | 78(80) | 1(1) | 98 |

単位：人（%）

むかどうか不明（2名、3%）、温度不明（1名、1%）としていた。実際には、小学生の問題としては完全であり、しいて不完全な点を指摘するとすれば、物体は水に溶けないもの、あるいは、水に触れても化学反応を起さないものとするべきであるが、これに気付いた学生は一人もいなかった。

以上の予備的問題をさせたいうえて、小学生なみに選択肢法で答を求めてみた。

問4 物体が木の場合と鉄の場合とにわけて、天秤の状態は図④⑤⑥⑦⑧⑨（図2、図3、図4、図5）のうちどれになると思うか。

問1で多くの学生が示した答の図①②や③を意識的に選択肢からはずし、もちろん正解図⑥を含めた6つの状態図を示して選択させたのである。その結果が表6である。

物体が木の場合も鉄の場合も問1で考えてきめた答（表6では、その他と空白に相当する）を固執した者は男女とも約1割であって、物体を木と指定の場合は9割の学生が正解⑥にかわり、鉄の場合は半数を越す学生が誤答④に移行している。これは、問1における学生の考え方が、物体の浮き沈みと浮力・重

⑨



図5 傾いてしまった天秤

力の大小関係や、天秤に働く力とその釣合いの関係を正しく、科学的に考察していないことを示し、問3、問4を通して正しく考察するようにしむけたヒントにも拘らず、木における正解も鉄における誤答を考えると正しい考察の結果であるとはいい難く、日常見かける水に浮く木片と沈む鉄を想起して答えているのに過ぎないように思われる。つまり、科学的な考察能力が欠けているといわざるを得ない。教師を志望している学生に対する教育学部の、とくに自然科学関係の教育のしかたを反省する必要があると筆者が力説している⁽³⁾ゆえんである。

表6 問4に対する解答

| 答 | | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | その他 | 空白 | 計 |
|---|----|--------|------|--------|---|--------|---|--------|------|----|
| 木 | 男子 | 0 | 0 | 8(89) | 0 | 0 | 0 | 1(11) | 0 | 9 |
| | 女子 | 0 | 0 | 85(96) | 0 | 0 | 0 | 3(3) | 1(1) | 89 |
| | 計 | 0 | 0 | 93(95) | 0 | 0 | 0 | 4(4) | 1(1) | 98 |
| 鉄 | 男子 | 7(78) | 0 | 0 | 0 | 1(11) | 0 | 1(11) | 0 | 9 |
| | 女子 | 47(53) | 7(8) | 5(6) | 0 | 18(20) | 0 | 9(10) | 3(3) | 89 |
| | 計 | 54(55) | 7(7) | 5(5) | 0 | 19(19) | 0 | 10(10) | 3(3) | 98 |

単位：人(%)

さらに、小学生の問題として問4の6つの選択肢の図が適当であるか。どうか学生に批判させる問を加えた。

問5 問4を小学生にさせる場合、選択肢の天秤の状態はこれでよいか。追加すべきと思う図があればそれを描き、削除してもよいと思う図の番号を示せ。

結果は表7に示した通りで、追加選択肢については表1と比較して男子は殆んど変りがないが、女子に若干の相異が見られる。削除しないで図①②③を追加すれば天秤のすべての状態をつくすことになるが、そうしたのは女子の2名のみである。図⑦⑨を削除して図①②③を追加するとした者には4人の女子がいる。⑦⑨の削除と①②の追加は男女ともそれぞれ5割内外と多い。

以上で第1回テストを終え、解説をしなくて1週間後の次の授業時までそれぞれ各自、実験してどんな状態になるのか確認しておくよう申しわたした。そして、仮説検証的に実行することの重要性を説明しておいた。

表7 問4の選択肢として追加・削除すべき状態図

| 状態図 | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | 必要なし |
|-----|----|--------|--------|--------|------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 追加 | 男子 | 5(56) | 4(44) | 1(11) | | | | | | 0 |
| | 女子 | 64(72) | 43(55) | 11(12) | | | | | | 6(7) |
| | 計 | 69(70) | 47(48) | 12(12) | | | | | | 6(6) |
| 削除 | 男子 | | | | 0 | 1(11) | 6(67) | 2(22) | 6(67) | 2(22) |
| | 女子 | | | | 1(1) | 5(6) | 35(39) | 4(4) | 50(56) | 32(36) |
| | 計 | | | | 1(1) | 6(6) | 41(42) | 6(6) | 56(57) | 34(35) |

単位：人(%)

第2回テスト

12月9日の第2回テストの出席者は86名(うち3名は第1回テスト欠席)で、第1回より12名の減少である。前回、実験確認を要求したことがどれほど実行されたか、また、その確認実験がその後の問題解決の考察に及ぼす効果を知ることも調査の1つの目的とした。

問6 第1回テストの間4、すなわち、左右に同じ物体を吊り下げて釣合っている天秤の左の物体だけを水中に没するほど水を静かに加えるとき、天秤はどんな状態になるか、物体が木である場合と鉄の場合とにわけて④~⑨または⑩その他のうちのどれになるか示せ。なお、その答を選んだ理由が実験の結果か、実験はしなかったが思考実験・推測・予想などの結果であるのか区別せよ。

に対して表8が得られた。

約半数(49%)の学生(男子29%, 女子51%)は確認実験をしている。木、鉄いずれの場合も正答は⑥であるが、実験の結果⑩としている者は、彼等が

表8 問6の解答状況

| 木・鉄の答 | | ⑥・⑥ | ⑥・⑩ | ⑩・⑩ | ⑥・④ | ④・④ | 計 |
|-------------|----|--------|--------|--------|------|------|---------|
| 実 験 | 男子 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | 女子 | 28 | 9 | 3 | 0 | 0 | 40 |
| | 計 | 30(71) | 9(21) | 3(7) | 0 | 0 | 42(49) |
| 非 実 験 | 男子 | 2 | 1* | 1 | 0 | 1* | 5 |
| | 女子 | 17 | 11 | 8 | 3 | 0 | 39 |
| | 計 | 19(43) | 21(27) | 9(20) | 3(7) | 1(2) | 44(51) |
| 総計 | | 49(57) | 22(24) | 12(14) | 3(3) | 1(1) | 86(100) |

*第1回テスト欠席

単位：人(%)

5円玉やヘアピンなどを用いて実験し、いくらか水に浸っていたのを気にするためのものである。あとでも触れるが、注意して実験材料を正しく使えば正解が得られるはずであるこれらの人も正答に達したものと見做してよいであろう。この見解に立って、第1回テストから第2回テストへと解答の正誤がどのように変化しているか示したのが表9である。

表9 確認実験の有無と解答の正誤変化

| 解 答 の 変 化 | 実 験 | | | 非 実 験 | | | | 計 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|----|
| | 正→正 | 誤→正 | ✖→正 | 正→正 | 誤→正 | 誤→誤 | ✖→誤 | |
| 男子 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 7 |
| 女子 | 3 | 36 | 1* | 2 | 15 | 22 | 0 | 79 |
| 計 | 3 | 38 | 1 | 2 | 17 | 23 | 2 | 86 |

*第1回テスト欠席

単位：人

第1回テストで誤答した者も注意深く実験さえすれば全員第2回テストでは正解でき、たとえ、実験していなくても第2回テストで正解できるようになる者

は4割余りいる。

さらに、各自が示した答のような天秤の状態が何故出現するのか理由を問うた。

問7 問6で答えたような天秤の釣合い状態になるわけを簡単に説明せよ。

理由説明が正しくできた人と、できない人とを男女別と確認実験の有無とを考慮して表記すると表10になる。表9と対比して、第1回テスト誤答、第2回

表10 解答理由の説明の正誤

| 理由 説明 | 実 験 | | 非 実 験 | | 計 |
|----------|-----|-----|-------|-----|----|
| | 正 当 | 不 当 | 正 当 | 不 当 | |
| 男 子 | 1 | 1 | 2 | 3 | 7 |
| 女 子 | 25 | 15 | 10 | 29 | 79 |
| 計 | 26 | 16 | 12 | 32 | 89 |

単位： 人

テスト正答の人のうち約6割（男子61%，女子59%）は理由も正しく説明できていた。ここに、正しい理由説明とは、既に釣合っていた天秤の左の物体がいくらかでも水中に没したとすれば、その水中にある部分と同体積の水（あるいは物体がおしよけている水）の重さに等しい浮力を受けるので左があがり、物体がちょうど水面上に出ると浮力を受けなくなり、最初と同じ左右の力関係になるのでそのまま静止して釣合う。したがって、天秤は図⑥の状態となり、しかも、浮力は水中にある部分の物体の体積だけできまり、物体の形や大きさ、重さ、材質などには関係しない、つまり、アルキメデスの原理が成立しているとなれば十分である。

実際、上の説明で十分なのである。しかし、仮説検証法の立場からすれば、浮力は原理だからとしてしまったのではいけない。やはり、実験検証しておく必要がある。前回説明の仮説検証の意味が完全に理解できているか、どうかをこの部分を利用して調べることができるのではないかと思い、次問を試みた。

問8 問7の説明理由について検証したか。検証したと答える人は、その検証のしかたを簡単に書け。

前述の非実験者はすべて検証しなかったと答え、実験者は検証したという者と、しなかったという者とに凡そ半々に分れた。検証したという22名（うち男子2名）は女子1名を除いてすべて天秤の釣合い状態の確認実験をしたことが、とりまなおさず検証実験をしたこととしているのである。すなわち、予め天秤の釣合い状態を予想（あるいは仮定）し、実験してその予想の正否を確かめただけであって、生徒なみの仮説検証をしたとはいえるかも知れないが、教師の玉子である学生としては、それでは不十分であろう。浮力を原理として使うのではなく、原理の成立を確かめることが必要であり、それがここでの仮説検証となるのである。仮説検証の意味を正しく理解して、検証していたといえるのは前述の女子1名のみである。確認実験はしたが、検証はしなかったと答えた女子20名は正しい意味の検証実験をしなかったと気付いて、こう答えたのでないかと思う。

テスト開始以来ここまで、問に対する解答説明を全然していない。まだ、説明する積りはない。しかし、約半数の学生が確認の実験をしていないことを知ったので、教師実験として、木の棒の天秤の両端に金属円柱を吊り下げ、釣合させたまま全体を静かに下げて左の金属円柱が水面に接するまで天秤棒は水平であることを見せ、さらに全体を下げて金属円柱は水中に没せず、水面上に浮いたまま天秤が傾いていくことを観察させる。そして、水位を上げることも、天秤を下げることも同じ結果であることをわからせた。

問9 天秤に吊す物体が各辺の長さの異なる直方体である場合（図6）、どの側面の中央に紐をつけて吊すのがよいだろうか。

と尋ねたら、もっとも狭い側面を上にして吊す、安定な吊し方がよいと答えた人が一番多く、ははなかったが、イロハどれでもよいという人も若干いた（表11）、理論的にはどの吊し方も同じであるが、実験を試みるに最大面積の側面が水面につく吊し方がよい。そのわけは、物体が同じ深さだけ水中に没したとき水中の部分の体積が大きいものほど受ける浮力は大きいからである。

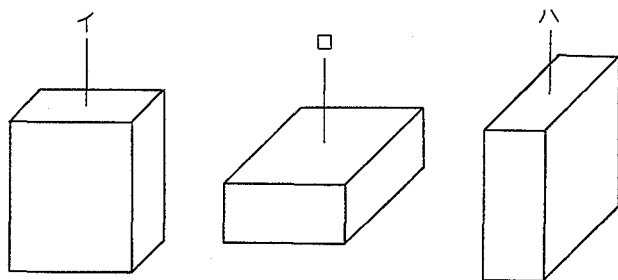


図6 直方体の吊し方

表11 問9の解答

| 吊し方 | イ | ロ | ハ | ニ* | 計 |
|-----|--------|--------|---|------|----|
| 男子 | 6(86) | 1(14) | 0 | 0 | 7 |
| 女子 | 46(58) | 29(37) | 0 | 4(5) | 79 |
| 計 | 52(60) | 30(35) | 0 | 4(5) | 86 |

*ニはイロハどれでもよい吊し方 単位：人(%)

前述の5円玉やヘアピンで実験した学生が、いくらか水に没していたというのは、その吊し方と関係があり、これを思いつかせるための問である。

問10 天秤の左右に水を入れたビニール袋を吊り下げて釣合せ、前述のようにすると天秤の状態はどうか。

全員図⑥と答えるものと予想していたのに、男子2名、女子12名は表12のように⑥以外で答えている。

ここで、はじめて問9、問10など問題の一部を解説する。そして、小学校理科教科書の4年生の「物の浮き沈み」では木、鉄だけでなくビニール袋の水も教材として用いられていることをつけ加え、教員志望者の確認実験では、問の木と鉄だけでなく、積極的に水も試みる着想や熱心さも必要でないかと注意した。

最後に、理科の具体的な教材研究の必要性について聞いてみたところ、全員

表12 問10の誤答者の問3、問6に対する解答

| 問 10 の 誤 答 | | 人 数 | 物 体 (木・鉄) に対する問 3 と問 6 の解答状況 |
|------------|---|-----|------------------------------|
| 男 子 | ④ | 2 人 | ⑥④・⑩⑩, *・④④ |
| 女 子 | ① | 4 | ⑥④・⑥⑥, ⑥④⑥⑥⑥†, ④・⑥④, ⑥④・⑩⑩† |
| | ② | 1 | ⑥④・⑥④ |
| | ③ | 3 | ⑥④・⑥⑥, ⑥④・⑥⑩, ⑥④・⑩⑩ |
| | ④ | 4 | ⑥④・⑥⑩, ⑥⑤・⑥⑩†, ⑥④・⑩⑩, ⑥⑧・⑩⑩ |

*第1回テスト欠席

†確認実験実施者

から絶対に必要と痛感したという返答がかえってきた。

以上でテストを終了したが、時間の都合上、くわしい説明と講評は次回12月16日にゆずった。このときの解説・講評は、これまでに述べたことや物体に働く力（重力、浮力、紐の張力だけでなく沈んだときの底の抗力）の釣合いにも触れた。

教材研究の必要性を痛感した学生の、その後（3学期）の行動いかにと期待している。

研究に要した費用の一部は授業分析研究費を使用した。

文 献

- (1) 永野重史：学習の心理過程と評価，昭和51年科学教育研究発表講演論文集（文部省特定研究科学教育総括班）59頁，1976
- (2) 小林茂広，辻野忠男，大塚利恵子：科学概念の形成過程に関する研究 I，香大教育工学研究報告，第3号 53頁，1976
- (3) 小林茂広，大塚利恵子：「気体性」の教育について—理科系授業の反省資料として—，香大一般教育研究，第9号 27頁，1976