

おもりの質量が異なる振り子実験前に児童がもつプレコンセプションの特質  
— 予想の根拠に着目して —

茨城県霞ヶ浦環境科学センター  
茨城県土浦市沖宿町 1853 番地  
宮本直樹

Characteristics of the Preconception of Different Masses in Pendulum Experiments  
with Pupils: With Special Reference to Evidence of the Prediction

Ibaraki Kasumigaura Environmental Science Center  
Naoki MIYAMOTO

抄録

本研究では、おもりの質量が異なる振り子実験の予想に影響を与えるプレコンセプションの特質を探るため、5つの問いを設定し、児童のもつ実験前の予想の根拠を分析した。その結果、3つの特質が明らかとなった。

- (1)「重いおもりは振れ幅が大きく、軽いおもりは振れ幅が小さく、振れ幅が同じではないが、ふりが1往復する時間は同じ」というプレコンセプションが存在した。
- (2)「おもりの速さはおもりの質量に依存する」というプレコンセプションを、少なくとも18.5%以上の児童が既にもっていた。
- (3)「おもりの速さはおもりの質量に依存する」というプレコンセプションは、児童におもりの重さを実感させると、より多く表出する可能性がある。さらに、このプレコンセプションは強固であった。

キーワード：プレコンセプション、振り子のおもりの質量、予想、根拠

KEY WORDS : Preconceptions, Pendulum Masses, Prediction, Evidence

1. はじめに

小学校学習指導要領の理科の目標には、見通しをもって観察、実験を行うことが明記されている。すなわち、児童が実験遂行前に予想をもつ重要性が示されている<sup>1)</sup>。

おもりの質量が異なる振り子実験に着目すると、Kwonらは「児童は振り子の周期を決定する要因はおもりの質量の差異であるという信念をもっている。」と述べ<sup>2)</sup>、予想に影響を与えるプレコンセプションの存在を指摘している。また、このプレコンセプション変容の困難さも報告されている<sup>3)</sup>。例えば、Staffordは、独立変数同定の困難<sup>4)</sup>、西川は誤差認識の困難<sup>5)</sup>を指摘している。さらに、このような現状を克服するための指導法も数多く報告されている<sup>6)</sup>。

このように、予想に影響を与えるプレコンセプションの存在やプレコンセプション変容の困難さ

の指摘、プレコンセプションを克服するための指導法に関する研究は数多くあるが、おもりの質量が異なる振り子実験前の予想の根拠に着目して、予想に影響を与えるプレコンセプションの特質を論じた研究はない。

## 2. 研究の目的及び方法

本研究では、おもりの質量が異なる振り子実験の予想に影響を与えるプレコンセプションの特質を探るため、5つの問い(問いについては後述する)を設定し、実験前に児童のもつ予想の根拠を調査・分析する。

対象は茨城県の公立H小学校第5学年2クラス、92名である。また、調査は、2010年2月17日に45分間で行った。

使用する振り子のおもりは、同じ球形、同体積(28.73cm<sup>3</sup>)である金属球(重いおもりA:228g)と木球(軽いおもりB:18g)<sup>7)</sup>である。

## 3. プレコンセプションを調査する問いの設定

小学校理科の観察、実験では、生活経験や学習経験から予想をさせることが多い<sup>8)</sup>。そこで「今まで習ったことや普段の生活を考えて予想しよう。」や「おもりの重さが異なる振り子を見てから予想しよう。」を問いとして設定した。

次に、改訂された小学校学習指導要領理科の第3学年A物質・エネルギーには「物と重さ」が新規項目として導入された。ここでは、「物は、体積が同じでも重さは違うことがあること。」<sup>9)</sup>を手応えである実感を基にしながらか物を比較させることが記されている。この内容を参照し、振り子のおもりの重さを実感させると、児童は予想の根拠を推論することができるのではないか、という推測の基「おもりの重さが異なる振り子を片手で持ち、重さを実感してから予想しよう。」を問いとした。なお、それぞれのおもりを片手で持って比較するようにさせた<sup>10)</sup>。

さらに、アメリカの中等教育、あるいは中等教育初期で用いられるハンズオン・アクティビティ *Force and Motion* の *Pendulum* では、ゴルフボールとピンポン球を用いて2つの球が1往復する時間を測定させ、ゴルフボールとピンポン球の質量を測定させた後に、その質量を比で表現させることが示されている。このように、質量の差異を手で持って実感させるだけでなく、比で表現させ、定量的な扱いをしている。この後、「ゴルフボールとピンポン球の質量のように、おもりの質量の差をより大きくすると、著しく1往復する時間は変化しますか。」と問い、おもりの質量の差、あるいは質量比ほど1往復する時間に変化がないことを理解させている<sup>11)</sup>。この指導内容を基に、おもりの質量の差や比を定量的に扱う問い「おもりの重さが異なる振り子の重さを測定してから予想しよう。」「おもりの重さが異なる振り子の重さの比を求めてから予想しよう。」<sup>12)</sup>を問いとして設定した。これらの5つの問いをまとめて表1に示す<sup>13)</sup>。

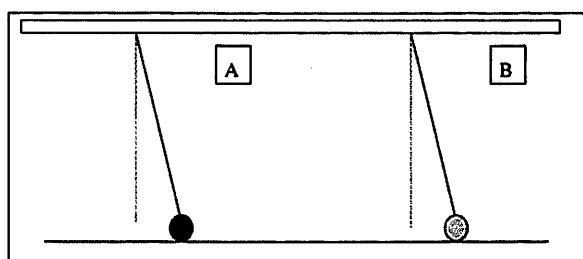
表1 プレコンセプションを調査する問い

- ・今まで習ったことや普段の生活を考えて予想しよう。
- ・おもりの重さが異なる振り子を見てから予想しよう。
- ・おもりの重さが異なる振り子を片手で持ち、重さを実感してから予想しよう。
- ・おもりの重さが異なる振り子の重さを測定してから予想しよう。
- ・おもりの重さが異なる振り子の重さの比を求めてから予想しよう。

上述したことを踏まえ、定性的な問いから定量的な問いへ変えると、児童の予想の根拠が具体的になるかどうかを明らかにするために、問いを5段階に変えた。

表1に示した問いを提示する毎に、選択肢ア～オ(図1)を選ばせ、選択肢を選んだ理由を予想の根拠として自由記述させた。

課題：図のようなふりこを使ってふりこの1往復する時間を調べましょう。ただし、Aは金属球で、Bは木球です。A、Bの球は同じ大きさで、同じ形です。降りおろす高さの位置も同じです。



- ア A(金属球)のふりこの方が、B(木球)のふりこに比べて1往復する時間が長い。
- イ B(木球)のふりこの方が、A(金属球)のふりこに比べて1往復する時間が長い。
- ウ A(金属球)のふりこも、B(木球)のふりこも1往復する時間は同じ。
- エ その他(ア～ウ以外の答え)。
- オ わからない。

[以後に表記するア～オは選択肢を示す。]

図1 実験の課題と予想選択肢

#### 4. 本研究の結果及び考察

予想時に児童が選んだ選択肢とその根拠及び発話について論じることとする。

##### (1) 児童が選んだ選択肢

おもりの質量が異なる振り子実験前における5つの問いと児童が選んだ選択肢の人数及びその割合を示す(表2)。

表2 問いと児童が選んだ選択肢の人数とその割合

| 問い                                  | ア            | イ            | ウ            | エ          | オ          |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| 今まで習ったことや普段の生活を考えて予想しよう。            | 39<br>(42.4) | 30<br>(32.6) | 23<br>(25.0) | 0<br>(0.0) | 0<br>(0.0) |
| おもりの重さが異なる振り子を見てから予想しよう。            | 43<br>(46.7) | 24<br>(26.1) | 22<br>(23.9) | 0<br>(0.0) | 3<br>(3.3) |
| おもりの重さが異なる振り子を片手で持ち、重さを実感してから予想しよう。 | 48<br>(52.2) | 28<br>(30.4) | 16<br>(17.4) | 0<br>(0.0) | 0<br>(0.0) |
| おもりの重さが異なる振り子の重さを測定してから予想しよう。       | 45<br>(48.9) | 29<br>(31.5) | 16<br>(17.4) | 0<br>(0.0) | 2<br>(2.2) |
| おもりの重さが異なる振り子の重さの比を求めてから予想しよう。      | 45<br>(48.9) | 23<br>(25.0) | 17<br>(18.5) | 0<br>(0.0) | 7<br>(7.6) |

[単位は人, ( ) 内は%]

「今まで習ったことや普段の生活を考えて予想しよう。」「おもりの重さが異なる振り子を見てから予想しよう。」では、20%強の児童が科学的に正しい「ウ」を選択している。ところが、「おもりの重さが異なる振り子をそれぞれ片手で持ち、重さを実感してから予想しよう。」では、「ウ」を選択する児童が17.4%に減少した。「おもりの重さが異なる振り子の重さを測定してから予想しよう。」では「ウ」を選択する児童の割合は変化しない。「おもりの重さが異なる振り子の重さの比を求めてから予想しよう。」では児童1人分の増加があったが、「ウ」を選択する児童の割合はほとんど変化しない。このように、「ウ」を選択する児童が減少し、一方、「ア」や「イ」を選択する児童が増加する理由は、実際におもりの質量が異なる振り子を片手で持ち体感をしたため、質量の異なる振り子は1往復する時間は同じでない、という予想に変化し、実際に振り子を片手で持った体感が「おもりの重さが異なる振り子の重さを測定してから予想しよう。」以降、予想が継続されたためであると推察できる。

## (2) 児童がもつ予想の根拠

予想の根拠を自由記述で回答させた内容を7つのカテゴリーに分類(表3)した。そして、それぞれの問いと対応させて分析した(表4)。

表3 予想の根拠の分類

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1 | 金属球の方が重いから。木球の方が軽いから。           |
| 2 | 重い金属球の方が速いから。軽い木球の方が遅いから。       |
| 3 | 重い金属球の方が遅い(ゆっくり)から。軽い木球の方が速いから。 |
| 4 | ふりこの長さが同じだから。                   |
| 5 | その他。                            |
| 6 | 無記入。                            |
| 7 | 選択肢が未選択のため根拠も無記入。               |

[「その他」は「木球も金属球も重たい」等の根拠が曖昧な回答である。]

表 4 問いと予想の根拠

| 問い                                  | 1            | 2            | 3          | 4          | 5            | 6          | 7          |
|-------------------------------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| 今まで習ったことや普段の生活を考えて予想しよう。            | 41<br>(44.6) | 10<br>(10.9) | 7<br>(7.6) | 3<br>(3.3) | 29<br>(31.5) | 2<br>(2.2) | 0<br>(0.0) |
| おもりの重さが異なる振り子を見てから予想しよう。            | 37<br>(40.2) | 8<br>(8.7)   | 6<br>(6.5) | 3<br>(3.3) | 31<br>(33.7) | 5<br>(5.4) | 2<br>(2.2) |
| おもりの重さが異なる振り子を片手で持ち、重さを実感してから予想しよう。 | 41<br>(44.6) | 11<br>(12.0) | 9<br>(9.8) | 1<br>(1.1) | 25<br>(27.2) | 3<br>(3.3) | 2<br>(2.2) |
| おもりの重さが異なる振り子の重さを測定してから予想しよう。       | 37<br>(40.2) | 16<br>(17.4) | 7<br>(7.6) | 0<br>(0.0) | 25<br>(27.2) | 5<br>(5.4) | 2<br>(2.2) |
| おもりの重さが異なる振り子の重さの比を求めてから予想しよう。      | 39<br>(42.4) | 10<br>(10.9) | 8<br>(8.7) | 0<br>(0.0) | 25<br>(27.2) | 4<br>(4.3) | 6<br>(6.5) |

[単位は人、( )内は%である。]

「今まで習ったことや普段の生活を考えて予想しよう。」に対して分類1を予想の根拠としている児童が44.6%存在している(表4)。分類1は、おもりの速さとおもさに関して具体的に言及した予想の根拠ではないが、おもりの速さはおもりの質量に依存する、というプレコンセプションを保持している児童が存在する可能性はある。そして、分類2と3を予想の根拠としている児童が18.5%存在している(表4)。よって、おもりの速さはおもりの質量に依存する、というプレコンセプションを保持している児童は少なくとも18.5%以上、存在する。

また、表4より「おもりの重さが異なる振り子を片手で持ち、重さを実感してから予想しよう。」と問い方を変えると、分類2と3の児童の人数が増加したことがわかる<sup>14)</sup>。わずかながら人数の増加が見られたことから、おもりの重さを実感させると、おもりの速さはおもりの質量に依存する、というプレコンセプションを表出させる児童が増える可能性を示唆していることがわかる。

### (3) 予想時の児童の発話

児童の予想時における児童同士の質的な発話について分析した(表5, 6)。

表 5 課題提示時における児童の発話

|  |
|--|
| D1:(金属球と木球に見立てた2つの消しゴムを使って)2つあるとするじゃん。(金属に見立てた消しゴム)落ちるの最初速いとするじゃん。だけど、上がるの遅いじゃん。そうすると、(木球に見立てた消しゴム)が追いつくじゃん。 |
| D2:(金属に見立てた消しゴム)ここまでは速いけど、上がるのは遅いけど、だから(木球に見立てた消しゴム)が追いつくのか。   |

[発話中のD1~2(表6のE1~4)は児童、Tは教師を示す。なお、( )は状況を分かりやすくするため、非言語的行為も含め筆者が加筆したものである。表6も同様である。]

児童D1は、金属球の振り子に見立てた消しゴムが落下し、その後上昇していく金属球のふりこ  
と木球の振り子に見立てた消しゴムは同じ運動をしない、という考えをもっている。この発話を受けて児童D2もこの考えに同意した。表5から、おもりの速さはおもりの質量に依存する<sup>15)</sup>、というプレコンセプションが容易に受け入れられていることがわかる。

表6 金属球と木球を手で持った時の児童の発話

E1: 「おもりの重さが異なる振り子を見てから予想しよう。」で、選んだ選択肢「ウ」と比較してちょっと、違うかな。  
(間)  
E1: 重い方(金属球)は大回りになるね。軽い方(木球)はヒューン、ヒューン(小さく回る)。  
(間)  
E2: ブランコだったら?  
E3: そっか、そっか。太っている人がブランコ乗ったら?  
E2: 軽い人でも、ブランコ乗っている人。変わらないよね。  
E4: 変わらないと思う。それも振り子と同じだと思うの。  
E2: 同じだと思う。  
E1: 同じね。

班の全児童は、重いおもりは振れ幅が大きく、軽いおもりは振れ幅が小さく、振れ幅が同じではないが、ふりが1往復する時間は同じ、というE1の説明に納得している。その後、E2はブランコを例に出した。そして、班の全児童はブランコの経験を基にして体重の重い人でも軽い人でも1往復する時間は同じ、という考えに合意した。しかし、重いおもりと軽いおもりのふりがこの振れ幅は同じであることには言及できていない。つまり、全児童は科学的に正しい選択肢「ウ」を選んでいるが、重いおもりと軽いおもりは同じ振れ幅で振れているわけではない、という考えをもっている。つまり、おもりの速さはおもりの質量に依存する、というプレコンセプションをもっているため、児童は同じ振れ幅でなくても1往復する時間は同じ、という解釈をしたと推察できる。また、おもりの質量が異なる振り子を片手で持つ体感によって、児童は予想の根拠が揺さぶられ、予想を説明するためにいくつかの根拠を考える。しかし、プレコンセプションが変容しないこともわかる。

ただし、表5と表6は2つの班に限定した質的な情報を提供する事例データであるため、学級の全児童がプレコンセプションを保持したことまでは言及できないことを断っておく。

## 5. おわりに

本研究では、おもりの質量が異なる振り子実験の予想に影響を与えるプレコンセプションの特質を探るため、おもりの質量に着目した5つの問い方の内容を変え、課題に対する予想選択肢と自由記述によって得られた予想の根拠を分析した。その結果、3つの特質を明らかにすることができた。

第1に、「重いおもりは振れ幅が大きく、軽いおもりは振れ幅が小さく、振れ幅が同じではないが、ふりが1往復する時間は同じ」というプレコンセプションが存在した。第2に、「おもりの速さはおもりの質量に依存する」というプレコンセプションを、すくなくとも18.5%以上の児童が既にもっていた。第3に、「おもりの速さはおもりの質量に依存する」というプレコンセプションは、児童におもりの重さを実感させると、より多く表出する可能性がある。さらに、このプレコンセプションは強固であった。

このプレコンセプションが強固な理由は、児童にとって理解しやすく、おもりの速さとおもりの重さの関係を一貫して説明することに適しているためである。また、このようなプレコンセプションの特質を調査する際は、問い方の内容を変え、予想の根拠を調査すること等に留意する必要がある。

今後は、おもりの質量が異なる振り子実験前にもつプレコンセプションを踏まえた指導法について検討する必要がある。

## 付記

本研究の一部は、平成21年度日本学術振興会科学研究費補助金（奨励研究）（課題番号：21906024）によって行われた。

## 引用・参考文献及び註

- 1) 文部科学省（2008）：『小学校学習指導要領解説理科編』，pp.7-8，大日本図書．
- 2) Kwon, Y., Jeong, J., Park, Y. (2005) : Role of Abductive Reasoning and Prior Belief in Children's Generation of Hypotheses about Pendulum Motion, in Matthews, M. R. et al. (eds.) : *The Pendulum Scientific, Historical, Philosophical & Educational Perspectives*, Springer, pp.371-372.
- 3) 例えば，Matthews, M. R. (2005) : Ideal and Galileo's Pendulum Discoveries: Historical, Philosophical and Pedagogical Consideration, in Matthews, M. R. et al. (eds.) : *The Pendulum Scientific, Historical, Philosophical & Educational Perspectives*, Springer, p.227.  
隅田学（1995）：『振り子運動』に学習者の認知の発達的変容と学校理科学習の効果』，日本理科教育学会研究紀要，36巻，1号，pp.17-28.
- 4) Stafford, E. (2005) : What the Pendulum Can Tell Educators about Children's Scientific Reasoning, in Matthews, M. R. et al. (eds.) : *The Pendulum Scientific, Historical, Philosophical & Educational Perspectives*, Springer, p.341.
- 5) 西川純，風間美紀（2000）：「測定回数を増やすと振り子の周期とおもりの重さの関係は分かるか？」，理科の教育，49巻，4号，pp.56-57.
- 6) 例えば，村山尚士，久保田善彦（2009）：『振り子』の学習理解に関する研究—振り子『おもりの重さ』概念と類似する自由落下学習を振り子学習前に行う影響—，理科の教育，58巻，4号，pp.66-69. 高垣マユミ，田原裕登志（2005）：「振り子の概念形成を促す『学習者主体の思考実験シミュレータ』の開発」，理科教育学研究，45巻，第3号，pp.79-86. 加藤尚裕（2008）：「メタ認知ツールとしてのコンフリクトシートの利用に関する試み—小学校第5学年『おもりの働き』の授業を事例として—」，理科教育学研究，48巻，第3号，pp.45-56.
- 7) 使用した振り子のおもりは，Gakken「振り子実験用おもり」26892 BNC，木球×2個，金属球×2個 計4個組，糸1200mm付き ¥8400（税込）である。
- 8) 例えば，有馬朗人ほか（2011）：『たのしい理科5年-2』，p.66，大日本図書．
- 9) 前掲書1)，pp.22-23.
- 10) 本実験で用いた金属球と木球の重さの差異は明確に分かるが，一般的に両手でそれぞれのおもりを持つと，左右の腕や手の力の差が生じ，おもりの重さの差異が十分に実感できない時があるので，片手でそれぞれのおもりを持って重さを実感させることにした。この手法を用いた理

由は、以下の文献において「子どもが両手でそれぞれ重いおもりと軽いおもりを同時に放しても両手の筋肉の力(握力)の差から同時に着地しない。」との見解から得たものである。Settle, T. (1983) : Galileo and Early Experimentation, in Aris, R., Davis, H., Stuewer, R. (eds.) : *Springs of Scientific Creativity*, pp.12-17, University of Minnesota Press.

- 11) Souza, k., Kwitter, S. (1999) : *Walch Hands-on Science Series Force and Motion*, pp.57-61, Walch Pub.
- 12) 具体的には、計算機を用いて児童に質量比を算出させた。 $228/18 \div 12.7$ なので、質量比は重いおもり：軽いおもり、おおよそ 13 : 1、又は重いおもりは軽いおもりの約 13 倍の重さとして予想させた。
- 13) 実際は、「質量」という言葉は小学生には理解できないため、「重さ」という言葉を用いて調査をした。
- 14) しかし、児童の人数増加に関して、直接確率検定を行ったが有意差は確認できなかったことを断っておく。
- 15) 「宮本直樹 (2011) : 『おもりの質量が異なる振り子実験の周期の解釈を阻害するミスコンセプション』, 教育実践学研究, 第 15 号, pp.27-37」でも、「おもりの速さはおもりの質量に依存する。」ことが論じられている。