

<研究ノート>

振り子の運動と自由落下運動，斜面を滑り降りる運動に関する児童の考え

宮本 直樹

(宮崎国際大学教育学部)

Pupil's Conception of Pendulum Motion, Free-fall Motion and Falling Motion on an Incline

Naoki MIYAMOTO

Faculty of Education, Miyazaki International College

キーワード：児童の考え，振り子の運動，自由落下運動，斜面を滑り降りる運動，小学校

KEY WORDS : Pupil's Conception, Pendulum Motion, Free-fall Motion, Falling Motion on an Incline, Elementary School

【抄録】

小学校第5学年を対象にして，振り子の周期及び自由落下時間，斜面を滑り降りる時間に関する調査問題を実施し，3つの児童の考えの関連を探った。その結果，多くの児童は振り子の運動と自由落下運動及び斜面を滑り降りる運動を関連させて考えていたことが明らかとなった。特に，振り子の実験で振り子の周期は重さによらないと考えた児童は，この結果と関連づけて，自由落下や斜面の台車の運動においても，落下時間や滑り降りるのにかかる時間は，重さによらず同じではないかと推測していた。このことから，振り子の学習に関連させて自由落下運動等を学習することの効果期待できる。

1 はじめに

「児童は『おもりの質量が異なる振り子の周期が同じである』と考えることができない」と多くの研究で報告されている^{1)~3)}。この状況を打開するため，数多くの研究が行われている⁴⁾。それらの中でも，村山らは小学校第5学年の児童を対象に，おもりの質量が異なる自由落下学習が振り子学習に及ぼす影響を分析し，「自由落下学習による『重さが速さに関係しない』という新しい概念の影響により，振り子周期の変化も同様に，『重さが周期に関係しない』と考えたと推測できる」⁵⁾と論じている。一方で，おもりの質量が異なる振り子学習後におけるおもりの質量が異なる自由落下に関する基礎的知見はない。この基礎的知見が明らかとなれば，中学校第3学年で学習する自由落下運動や斜面の台車の運動の学習に示唆を与えることができる。

そこで，本研究では，小学校第5学年を対象にして，振り子の運動の周期及び自由落下運動の時間に関する調査問題を実施し，振り子の運動の周期及び自由落下運動の時間に関する児童の考えの関連について調査を行い，様相を明らかにする。併せて，斜面を滑り降りる運動に関しても調査を行う。

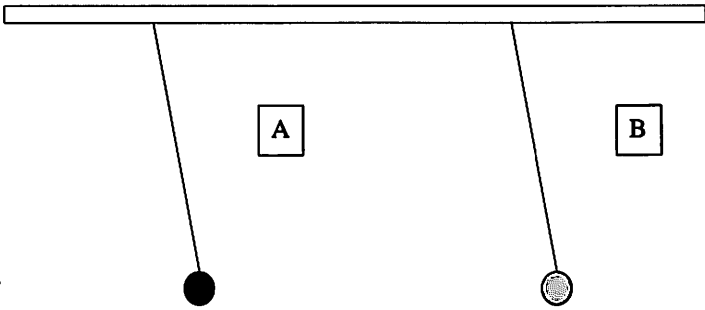
斜面を滑り降りる運動の時間の児童の考えを調査する理由は、斜面を滑り降りる運動の時間の考えに振り子の周期や自由落下運動の時間の考えを類推して使用している可能性があるかと推測したためである。

2 研究の方法

問題1:「質量の異なる球を用いて振り子が1往復する時間」(図1)と問題2:「自由落下時間」(図2), 問題3:「斜面を滑り降りる時間」(図3)を、茨城県内のH小学校第5学年88名を対象に調査を行う。なお、プレテストの実施者は87名、ポストテストの実施者は88名である。プレテスト及びポストテストは、質量の異なる球を用いて振り子が1往復する時間を調べる実験の授業前及び後に行った。調査時期は、2007年3月である。プレテストは、授業を行う前に、授業と独立して実施する。ポストテストも、授業と独立して授業終了後の次の授業時間に行う。実施時間は20分程度である。

調査問題の選択肢や記述内容のみの判断で分析を行うので、本研究における「関連」の判断は、「同じ選択肢を選ぶこと」あるいは「調査問題の理由欄に、関係性のある記述があること」とする。よって、児童が同じ選択肢を選べば、関連性をもっている可能性があるかと推察できる。また、具体的な記述内容例は、自由落下と振り子の運動に関して「落とす場所は一緒なので、振り子のように落ちる時間は同じだと思います」という記述、また、斜面を滑り降りる運動と振り子の運動に関しては「重さを変えても1往復する時間は同じ。振り子と同じだから」という記述である。

1 図のような振り子を使って1往復する時間を調べます。



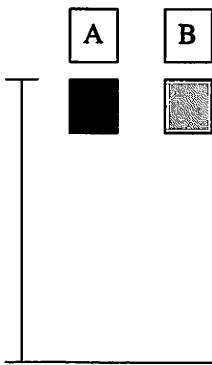
Aは金属の球です。Bはプラスチックの球です。A、Bの球は同じ大きさで、同じ形です。高さの位置も同じです。

2つの球A、Bは同時に放されます。1往復する時間はどうなりますか。ア～エから1つ選んでください。理由も書いてください。

ア Aの振り子の方が、Bの振り子に比べて1往復する時間が長い。
イ Bの振り子の方が、Aの振り子に比べて1往復する時間が長い。
ウ Aの振り子も、Bの振り子も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。

図1 問題1:「質量の異なる球を用いて振り子が1往復する時間」

2 図のようなブロックを使って地面に落下するまでの時間を調べます。



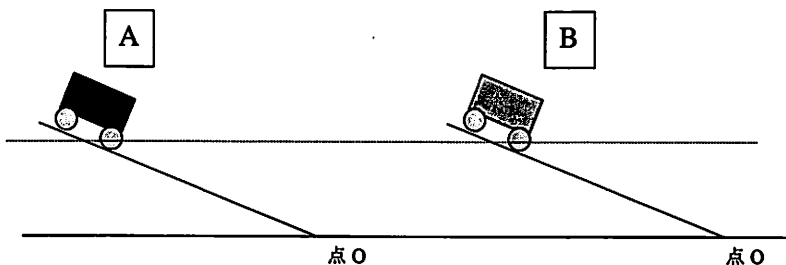
A は金属のブロックです。B はプラスチックのブロックです。A、B のブロックは同じ大きさで、同じ形です。高さの位置も同じです。

2つのブロック A、B は同時に放されます。地面に落下するまでの時間はどうなりますか。ア～エから1つ選んでください。理由も書いてください。

ア A のブロックの方が、B のブロックに比べて地面に落下するまでの時間が長い。
 イ B のブロックの方が、A のブロックに比べて地面に落下するまでの時間が長い。
 ウ A のブロックも、B のブロックも地面に落下するまでの時間は同じ。
 エ その他 (ア～ウ以外の答え)。
 オ わからない。

図2 問題2:「自由落下時間」

3 図のような台車を使って点Oに達する時間を調べます。



A の台車は荷物が載っています。B の台車は荷物が載ってなく、空です。A、B の台車は同じ大きさで、同じ形で、同じ車輪です。高さの位置も同じです。

2つの台車 A、B は同時に放されます。点Oに達する時間はどうなりますか。ア～エから1つ選んでください。理由も書いてください。

ア A の台車の方が、B の台車に比べて点Oに達する時間が長い。
 イ B の台車の方が、A の台車に比べて点Oに達する時間が長い。
 ウ A の台車も、B の台車も点Oに達する時間は同じ。
 エ その他 (ア～ウ以外の答え)。
 オ わからない。

図3 問題3:「斜面を滑り降りる時間」

3 授業実践

まず、前次に行った振れ幅や振り子の長さによる1往復する時間に関する実験結果を簡単に確認した。前次では、振れ幅を変えた時、振り子が1往復する時間を調べる実験や振り子の長さを変えた時、振り子が1往復する時間を調べる実験を行った。その後、「振れ幅を変えても振り子の1往復する時間は変わらないが、振り子の長さを変えると振り子の1往復する時間は変わる」、ということをもとめとして行った。次に、授業の目的は、「おもりの質量の異なる球(鉄球:重い物体,ビーズ:軽い物体)を用いて、おもりの重さによる振り子が1往復する時間を調べること」であると児童に課題を伝えた。そして、実験を遂行させ、実験結果を踏まえて考察させた。実験や考察中は、教師からの発問やアドバイスは必要最小限にし、児童の自由な活動を優先した。これは、教科書に記載されている内容をその通り行う授業から研究のデータを取得したいからである。また、本授業において、自由落下や斜面を滑り降りる運動と関連づける児童の発言や活動は特になかった。最後に、ふりこのおもりの重さを変えても、1往復する時間は変わらないというまとめを行った。

4 結果及び考察

4.1 おもりの重さによる振り子の周期、自由落下時間及び斜面上を滑り降りる時間の関連

問題1、問題2及び問題3のプレテストとポストテストの正答者数とその割合、次に各問題の回答選択肢の人数とその選択率を分析する⁶⁾。

表1 各問題の正答者数とその割合

	プレテスト	ポストテスト
問題1	15 (17.2)	61 (69.3)
問題2	9 (10.3)	27 (30.7)
問題3	7 (8.0)	24 (27.3)

[単位は人、()は%]

表1より、プレテスト、ポストテストと問題1～3の間に、統計的な有意差はなかったものの($\chi^2(2) = 0.418, ns$)、問題1のポストテストを除き、各問題の正答率は低い。特に、自由落下運動(問題2)、斜面を滑り降りる運動(問題3)の正答率は低い。一方、ポストテストでは、問題1の正答率が大きく増加している(17.2%→69.3%)。これは、ポストテストを「質量の異なる球を用いて振り子の1往復する時間を調べる」実験の授業後に行ったためである。一方、問題2において、自由落下実験を行っていないにもかかわらず、正答率が増加している(10.3%→30.7%)。また、問題3においも、斜面を滑り降りる実験を行っていないにもかかわらず、正答率が増加している(8.0%→27.3%)。これらは、「質量の異なる球を用いて振り子の1往復する時間を調べる」実験の影響と考えられる。具体的には、「重い振り子であろうと軽い振り子であろうと、おもりの重さによらず、振り子が1往復する時間は同じ」という考えを、自由落下時間や斜面を滑り降りる時間の問題に類推して使用できたと推測できる。

表2 問題1における回答選択肢の人数とその選択率

	プレテスト	ポストテスト
ア	23 (26.4)	15 (17.0)
イ	40 (46.0)	8 (9.1)
ウ	15 (17.2)	61 (69.3)
エ	2 (2.3)	0 (0)
オ	7 (8.0)	4 (4.5)

[単位は人, ()は%, なお, 「ウ」が正答である。]

表2より, プレテスト, ポストテストと選択肢間に統計的な有意差が確認できた ($\chi^2(4)=53.674$, $p<.01$)。残差分析の結果, プレテストで「イ」を選択する児童, ポストテストで正答の「ウ」を選択する児童は多く, プレテストで正答の「ウ」を選択する児童, ポストテストで正答の「イ」を選択する児童は少ない。「イ」を選択する児童は, 軽い物体の方が1往復する時間が長いと考えている。一方で, 「ア」を選択する児童は, 重い物体の方が1往復する時間が長いと考えている。また, ポストテストにおいて, 選択肢「ア」と「イ」の選択率が減少しているが, 依然 26.1%の児童が誤った考え方をしている。

表3 問題2における回答選択肢の人数とその選択率

	プレテスト	ポストテスト
ア	10 (11.5)	10 (11.4)
イ	58 (66.7)	40 (45.5)
ウ	9 (10.3)	27 (30.7)
エ	2 (2.3)	0 (0)
オ	8 (9.2)	11 (12.5)

[単位は人, ()は%, なお, 「ウ」が正答である。]

表3より, プレテスト, ポストテストと選択肢間に統計的な有意差が確認できた ($\chi^2(4)=14.775$, $p<.01$)。残差分析の結果, プレテストで「イ」を選択する児童, ポストテストで正答の「ウ」を選択する児童は多く, プレテストで正答の「ウ」を選択する児童, ポストテストで「イ」を選択する児童は少ない。「イ」を選択する児童は, 軽い物体の方が落下する時間が長いと考えている。また, ポストテストにおいて, 選択肢「イ」の選択率は減少しているが, 選択肢「ア」の選択率はほとんど変わらず, 56.9%の児童が誤った考え方をしている。

表4 問題3における回答選択肢の人数とその選択率

	プレテスト	ポストテスト
ア	25 (28.7)	14 (15.9)
イ	46 (52.9)	40 (45.5)
ウ	7 (8.0)	24 (27.3)
エ	2 (2.3)	0 (0)
オ	7 (8.0)	10 (11.4)

[単位は人, ()は%, なお, 「ウ」が正答である。]

表4より、プレテスト、ポストテストと選択肢間に統計的な有意差が確認できた ($\chi^2(4) = 11.415, p < .05$)。残差分析の結果、プレテストで「イ」を選択する児童、ポストテストで正答の「ウ」を選択する児童は多く、プレテストで正答の「ウ」を選択する児童、ポストテストで正答の「イ」を選択する児童は少ない。「イ」を選択する児童は、軽い物体の方が斜面を滑り降りる時間が長いと考えている。また、ポストテストにおいて、選択肢「ア」と「イ」の選択率が減少しているが、61.4%の児童が誤った考え方をしている。

問題1～3の分析より、ポストテストにおいて正答の「ウ」を選択する児童数は増えているが、「重い物体の方が軽い物体と比べて運動（揺れ、落下）する速さが速い」と考える児童が多い傾向があることがわかる。これは、おもりの速さはおもりの質量に依存するというミスコンセプション⁷⁾の表出であると推察できる。そして、このミスコンセプションをおもりの重さによる振り子の周期、自由落下時間及び斜面を滑り降りる時間に関連させている児童が多いと推察される。また、村山ら⁸⁾が指摘しているように、周期（1往復する時間）と物体の速さの両者を混同して考えている可能性も否めない。

4.2 プレテスト、ポストテストにおける回答選択の変化

問題1と問題2におけるプレテストとポストテストの回答選択の変化、次に問題1と問題2を合わせたプレテスト、ポストテストの回答選択の変化を分析する。

表5 問題1と問題2におけるプレテスト、ポストテストの回答選択の人数とその割合の変化

順位	問題1		問題2	
	プレテスト→ ポストテスト	各回答の選択率	プレテスト→ ポストテスト	各回答の選択率
1	イ→ウ	29 (33.7)	イ→イ	32 (37.2)
2	ア→ウ	15 (17.4)	イ→ウ	17 (19.8)
3	ウ→ウ	11 (12.8)	ア→イ	8 (7.0)

[単位は人、()は%である。表中の「ア」「イ」「ウ」は図1～3に示してある問題の選択肢である。]

表5より、問題1では、プレテストの誤答「イ」からポストテストの正答「ウ」へ回答選択肢を変化させる児童が最も多い。問題2でも、自由落下実験を行っていないにもかかわらず、プレテストの誤答「イ」からポストテストの正答「ウ」へ回答選択肢を変化させる児童が二番目多い。これも、「質量の異なる球を用いて振り子の1往復する時間を調べる」実験の影響と考えられる。

表6(問題1+問題2)におけるプレテスト、ポストテストの回答選択の人数とその割合の変化

順位	(問題1+問題2) プレテスト→ポストテスト	各回答の選択率
1	イイ→ウウ	10 (11.6)
2	アイ→ウウ	4 (4.7)
3	イウ→ウウ	3 (3.5)
4	ウウ→ウウ	3 (3.5)

[単位は人、()は%である。表中の「イイ」は、問題1において「イ」、問題2においても「イ」を選択したことを示す。]

表6より、問題1と問題2のプレテストにおいて、問題1、問題2ともに「イ」（「イイ」と表記）を選び、ポストテストにおいて、問題1、問題2ともに「ウ」（「ウウ」と表記）を選んだ児童が11.6%存在することがわかる。これも、「質量の異なる球を用いて振り子の1往復する時間を調べる」実験の影響と考えられる。

4.3 おもりの重さによる振り子の周期（問題1）と自由落下時間（問題2）の関連

問題1、問題2において同一の選択肢を選んでいる児童数とその割合、問題1、問題2共に正答した児童数とその割合を分析する。

表7 問題1、問題2で同一選択肢を選んでいる児童数とその割合

	プレテスト	ポストテスト
問題1、問題2で同一選択肢を選んだ児童	43 (49.4)	42 (47.7)
問題1、問題2共に正解「ウ」を選んだ児童	4 (4.6)	25 (28.4)

[単位は人、()は%である。]

表7より、問題1と問題2共に正解している児童は少ないことがわかる。さらに、ポストテストにおいても、正答の児童数の割合は3割以下であることがわかる。一方で、問題1と問題2共に同一の選択肢を選んでいる児童は5割弱存在することがわかる。これらは、問題1と問題2に同様な考えを類推し、関連している問題と見なしているのではないかと推測できる。これらを踏まえれば、先述した、ポストテストの問題1の正答率が大きく増加し、自由落下実験を行っていないにもかかわらず、問題2の正答率も増加している理由は、振り子の周期と自由落下時間を関連させていると推察できる。

4.4 おもりの重さによる振り子の周期（問題1）、自由落下時間（問題2）及び斜面を滑り降りる時間（問題3）の関連

問題1～3で同一の選択肢を選んだ児童の割合、問題1～3において多かった選択肢型の割合を分析する。次に、問題1～3を関連させて考えたポストテストにおける児童の記述内容を質的に分析する。

表8 問題1～3で同一選択肢を選んだ児童数とその割合

	プレテスト	ポストテスト
ア	2 (3.4)	2 (2.3)
イ	21 (24.1)	4 (4.5)
ウ	2 (2.3)	17 (19.3)
エ	27 (31.0)	0 (0)

[単位は人、()は%である。なお、「ウ」が正答である。また、「オ」は除く。]

表9 問題1～3で多かった選択肢型の児童数とその割合

	プレテスト		ポストテスト	
	1	イイイ	21 (24.1)	ウイイ
2	アイイ	13 (14.9)	ウウウ	17 (19.3)

[単位は人,()は%である。表中の「イイイ」は、どの問題においても「イ」を選択したことを示す。なお、「ウウウ」が正答である。また、「オオオ」は除く。]

表8より、問題1～3において、同一の選択肢「ウ」を選ぶ児童は少ないことがわかる。また、表9より、「重い物体の方が軽い物体と比べて運動（揺れ、落下）する速さが速い」と考える児童が多く、プレテストにおいて、物体の速さはおもりの質量に依存するというミスコンセプションを表出していると推察できる。一方、表8、9より、ポストテストにおいて、問題1～3において、同一の選択肢「ウ」を選択する児童が19.3%もいることもわかる。

表10 同一の運動と考えた児童の記述内容と問題の関連

児童	問題2の選択肢を選んだ理由	問題3の選択肢を選んだ理由
A	「(問題)1と同じで重さと力は関係ない」 →問題2に問題1の考えを関連	
B	「重さを変えても1往復する時間は変わらない。振り子と同じだから」	「重さを変えても1往復する時間は同じ。振り子と同じだから」→問題3に問題1の考えを関連
C	「落とす場所是一緒なので、振り子のように落ちる時間は同じだと思います」→問題2に問題1の考えを関連	「やっぱり、高さの位置も同じだし、同じ車輪なので点Oに達する時間は同じだと思います」→問題3に問題1や問題2の考えを関連
D	「振り子と同じで重さが変わっても時間は同じ」 →問題2に問題1の考えを関連	「重さが違って同じだと思う」
E	「(問題)1の問題と同じ。Aに比べてBは軽いけど落ちるのは同じ」→問題2に問題1の考えを関連	「(問題)1、2と同じ。点Oまでの台車は重くても軽くても同じ」→問題3に問題1や問題2の考えを関連
F	「問題1に同じで落下するまでの時間は(重さに)関係ない」→問題2に問題1の考えを関連	「点Oに達する時間は関係ない」
G	「振り子と同じような感じじゃないかなあと考えた」→問題2に問題1の考えを関連	
H	「振り子の重さが違って1往復する時間は変わらないから」→問題2に問題1の考えを関連	
I	「振り子の時にも重さは関係なかったから、地面にものが落下する時にも重さは関係ない」 →問題2に問題1の考えを関連	

[()内は記述内容を分かりやすくするため加筆したものである。]

表 10 より，ポストテストにおいて問題 1 を問題 2 や問題 3 に関連させている児童が多少存在することがわかる。例えば，児童 C は，問題 2 の選択肢を選んだ理由として，「落とす場所は一緒なので，振り子のように落ちる時間は同じだと思います」と記述し，問題 2 に問題 1 の考えを関連させている。さらに，問題 3 の選択肢を選んだ理由として，「やっぱり，高さの位置も同じだし，同じ車輪なので点 O に達する時間は同じだと思います」と記述し，問題 3 に問題 1 や問題 2 の考えを関連させている。このように，振り子の運動と自由落下運動，斜面を滑り降り運動を関連させていると推察できる。なお，プレテストでも，調査問題には示していないが，記述欄を設けていた。しかし，記述した児童はいなかった。

5 おわりに

本研究では，振り子の運動のみを学習した児童に対して，未習である自由落下運動及び斜面をおりる運動についての児童の考えを調査したところ，関連が見られた。このことから，振り子学習に関連させて自由落下運動を学習することの効果への期待が明らかとなった。

なお，本研究で扱った振り子の教材は，小学校第 5 学年の探究能力「条件制御」を育成するためにある。第 5 学年の児童に，運動の法則や慣性質量の概念を獲得させるためのものではない。あくまでも，中学校第 3 学年の生徒が自由落下運動や斜面の台車の運動を学習する際に，小学校第 5 学年での振り子の学習を関連させて，「重力による運動である」という共通性を考慮しながら，「おもりの重さによらず，速さは等しくなる」という事実の受け入れの「橋渡し」となることが期待される。

附記

本論文は，平成 19 年度筑波大学大学院修士課程教育研究科提出の修士論文「小学校理科における児童の探究能力の育成に関する研究 — データ解釈に着目して —」の一部を大幅に加筆，修正したものである。

引用，参考文献及び註

- 1) Matthews, M. R.: 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, 2005, 209–235.
 - 2) 隅田学：『振り子の運動』に関する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，第 36 巻，第 1 号，1995，17–28.
 - 3) 隅田学：『振り子の運動』の実験・観察に関する認知的考察，科学教育研究，第 19 巻，第 2 号，1995，111–120.
 - 4) 例えば，高垣マユミ，田原裕登志：「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，第 45 巻，第 3 号，2005，79–86.
- 加藤尚裕：『振り子の特性』に関する概念形成の研究 — 自由試行を中心として — ，理科教育学研究，第 40 巻，第 3 号，2000，1–11.

- 5) 村山尚士, 久保田善彦:「『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, 第58巻, 第4号, 2009, 66-69.
- 6) 分析には, χ^2 検定を使用した。
- 7) シャンペイン, ガンストーン, クロファック:「物理現象についての学生の知識に対する学習指導の効果」, ウエスト, パインズ (編), 進藤公夫 (監訳):「認知構造と概念転換」, 東洋館出版社 1994, 102.
- 8) 同上書 5)