



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	小学生を対象とした摩擦力の指導：接触の機構に着目して
Author(s)	工藤, 保広
Citation	教育学の研究と実践, 6, 53-62
Issue Date	2011-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66335
Type	journal article
File Information	Yasuhiro Kudo_6.pdf



小学生を対象とした摩擦力の指導

～接触の機構に着目して～

An Instruction of Frictional Force for Primary School Children

～Set up by Considering Contacting Mechanism～

工藤 保広 Yasuhiro Kudo

(北海道上川総合振興局)

1. はじめに

筆者は、摩擦は力であるということを早期に子どもが認識することによって、その後の力学の教育内容が理解しやすくなると考える。本論では、摩擦力の指導は小学校において、一定の内容まで可能であることを論じる。

本論の構成は次のとおりである。最初に、これまで小学校で行われてきた摩擦についての教育内容を概観し、それらの評価できる点と課題を明らかにする(第2章)。そして、高等学校までに摩擦について学ぶ内容を踏まえて、小学校における摩擦力の学習についての到達目標を設定する(第3章)。

次に、第2章で挙げた評価できる点を活かし、課題を克服した上で、第3章の到達目標を達成するために、摩擦力を接触の機構と関連付けて教育内容を設定する(第4章)。最後に、小学4～6年生を対象として、指導案を作成し実践したので、その結果を考察する(第5章)。

2. これまでの小学校での摩擦の教育内容

過去には、小学校で摩擦の学習は行われていた。昭和20年代には、小学5年で、自転車を教材として、自転車が止まる仕組みや車輪が回る仕組みを学習していた。昭和20年代の自転車を教材としたブレーキの学習では、ブレーキを車輪に押し付けることによって摩擦が大きくなり車輪が止まることを学ぶ内容となっていた¹⁾。

また、昭和33年小学校学習指導要領の理科では、小学5年で、摩擦がひとつの単元として位置づけられた。主な指導の目標は次の3点である²⁾。

ア 物が運動している時には、接触している面に、その運動をさまたげる力がはたらくことを知る。

イ 同じ物を木やガラスなどの板の上で動かし、面のなめらかさによって摩擦に大小のあることに気づく。

ウ 物を動かすとき、接触面にろうや油を塗ったり、ころや車を使ったりすると、運動をさまたげる力が小さくなることを、ぜんまいばかりなどを使って確かめる。
高橋は、昭和37年当時の教科書の摩擦の学習内容が、

限定的な場合にしか成立せず、一般法則とはいえない内容であることを指摘し(例えば、上記のイ、ウは動摩擦についてのみ成立し、静止摩擦では成立しない場合がある。)、当時の教科書の内容なら、摩擦を教えるべきではないと批判している³⁾。

これらの過去の教科書の学習内容は、いずれも静止摩擦と動摩擦のうちの動摩擦を教育内容としている。また、対象としている摩擦現象はすべり摩擦、ころがり摩擦、流体潤滑と幅広い。しかし、次の理由から、当時の教育内容は、自然科学の一般法則を学ぶという観点では妥当ではなかったと考える。

動摩擦は実用上重要な内容であるが、未だに発生機構が明らかになっておらず、現象の説明にとどまらざるを得ない。また、ころがり摩擦、流体潤滑は工業技術として重要ではあるが、いずれもすべり摩擦の理解を要するものであり、基本的というよりは発展的な内容と言える。

一方、昭和20年代の教育内容に見られるように、物体が平面を押す力を大きくすると動摩擦力が大きくなる、という摩擦の法則に繋がる内容を小学生の理解できる教育内容で指導している点は評価できる。

なお、摩擦の法則とは次のとおりである⁴⁾。

① 摩擦力(最大静止摩擦力と動摩擦力)の大きさは、物体が平面を押す力に比例し、見かけの接触面積に依存しない。

② 動摩擦力の大きさは、すべり速度に依存しない。

③ 動摩擦力は、最大静止摩擦力より小さい。

また、小学校で摩擦の学習が行われていた時期の民間教育研究団体の取り組みとして、高橋の提案と授業書「まさつ力」の実践が挙げられる。

高橋は、先に挙げた文献³⁾で、次の提案をしている。すべての教室に油さしを備え付けさせ、戸車などの動く金属の接触面にいつも注油をさせる習慣を子どもにつけさせ、摩擦を減らすことを体験させる。そして、その上で摩擦がない場合、物体の運動がどうなるかを子どもに

考えさせる。

板倉らは、仮説実験授業の授業書「まさつ力」を作成し、実践を行っている^{5,6,7}。この授業書は発問の中で、垂直方向と水平方向の力を分けて考えられるきっかけを与えていることや、ざらざらな面での最大静止摩擦力の大きさを問うことで、後の発問で子どもが最大静止摩擦力の大小を考える際に、接触面の凹凸に着目させることに成功している点が評価できる。一方、この授業書を理解するためには、力のつりあいの理解が必要であるが、現在の小学校ではこの内容は学習していない。

現在、子どもが理科教育で摩擦力に最初に触れる機会は、一般的には中学校である。中学校の教科書では、平面の上に載っているものに、動かそうと水平方向に力を加えるときに、動くことを妨げる向きに働く力であるということのみが記されている⁸。また、摩擦の法則については、高等学校の物理で学習する⁹。

3. 小学校における摩擦の学習の到達目標

本論では、小学校における教育内容と指導案の到達目標を次のとおり設定する。

- ① 摩擦は力であることを理解する。(この力を摩擦力と言う。)
- ② 物体が平面を押す力があるときには摩擦力があるということを理解する。
- ③ 摩擦力は、平面の上にある物体を動かそうとする力と正反対の向きであることを理解する。
- ④ 摩擦の法則に関する次の内容を理解する。
 - ア 物体が平面を押す力を大きくすると、最大静止摩擦力は大きくなる。
 - イ 物体が平面を押す力の大きさが変わらなければ、見かけの接触面積が変わっても、最大静止摩擦力は変わらない。

これらの到達目標を設定する理由は、以下のとおりである。筆者は、小学校から高等学校までの間に摩擦力について、次の点を学習する必要があると考える。

- (1) 摩擦は力である。
- (2) 摩擦力は、平面の上にある物体を動かそうとする力と正反対の向きである。
- (3) 静止摩擦力の大きさは、平面の上にある物体を動かそうとする力の大きさに等しい。
- (4) 最大静止摩擦力の大きさは、平面の上にある物体を動かすために必要な力の大きさに等しい。
- (5) 摩擦力(最大静止摩擦力と動摩擦力)の大きさは、平面の上にある物体が平面を押す力に比例し、見かけの接触面積に依存しない。
- (6) 動摩擦力の大きさは最大静止摩擦力の大きさより

も小さい。

- (7) 動摩擦力は、物体のすべり速度に依存しない。
- (8) 平面の上で運動する物体に対して、摩擦力が働く場合、動摩擦力と正反対の向きで同じ大きさの力を加え続けると、物体は等速運動する。
- (9) 平面の上で運動する物体に対して、摩擦力が働く場合、動摩擦力と正反対の向きで、動摩擦力より大きい(小さい)一定の大きさの力を加え続けると、物体の速度は大きく(小さく)なり続ける。

(1)～(4)については、摩擦力についての学習において基礎的な内容である。また、(5)～(7)は、摩擦の法則である。(1)～(7)は摩擦についての固有の学習内容と言える。これらは、いずれも現在、高等学校までの摩擦の学習の中に位置づけられているものである^{8,9}。

(8)、(9)は、運動方程式に関係し、動力学の学習に繋がる内容である。現在、これらの内容は動力学の単元の後半で学習する内容であり、摩擦の教育内容として設定されていない⁹。しかし、動力学の学習に先立ってこれらの内容を予め摩擦の単元で学習することで、動力学の学習内容を日常経験と結びつけて理解し得る。なお、(8)、(9)についての具体的な教育内容の設定は、本論では論じず、別稿に譲る。

小学校では、上述の(1)～(9)のうち、平面を押す力があるときには摩擦力があるということを認識し、(1)、(2)の内容を事実として了解した上で、(5)の入り口となる内容を理解することを到達目標として設定する。その理由は、次のとおりである。

滝川は、高校生であっても相当数の生徒が、摩擦、質量、重力、重さの概念を混同しており、容易にこれらの概念を分けて理解することができないことを指摘している^{10,11}。

日常生活において、摩擦、質量、重力、重さを別々の概念として理解する必要性は薄い。例えば、平面に置いたものが動かしにくい場合に、そのものが重いからと説明される場合と、平面とものの間の摩擦が大きいからと説明される場合がある。ものの動かしやすさという点では、重さと摩擦が同じようなものと理解していても、日常生活に支障はほとんどない。

このように日常生活において、分化する必要性が薄いこれらの概念を高等学校までの力学教育の中で理解していくためには、これらの概念について、より早期に分化して理解できる教育内容を設定することが望ましいと考える。そのためには、少なくともできるだけ早期に摩擦が力であることを、大まかにでも学習することが重要であ

と考える。また、(5)の入り口となる内容を理解する学習内容とする理由は後述するように、子どもが真実接触の概念を用いて摩擦の法則の入り口を理解することが後の摩擦力の認識形成に役立つからである。

なお、動摩擦力に関する内容については、前章の考察から応用的な内容と言えることから、本論の教育内容と指導案には含まない。

4. 教育内容設定の方針

これまでに論じた課題、評価すべき点、到達目標を踏まえて、本章では教育内容設定の方針について論じる。

第2章の指摘や課題を克服するとともに評価できる点を活かし、第3章の到達目標を達成するための一案として、接触の機構に着目して摩擦が力であることを学習する方策が挙げられる。筆者は高校生を対象に、最大静止摩擦力についての摩擦の法則(2章の①のうちの最大静止摩擦力についての内容)を接触の機構と関連づけて理解する教育内容の設定と教材の構成を提案している¹²⁾。本論では、この提案を元に、小学校で指導可能な内容を抽出し、次の方針で、教育内容を設定する。

① 指導案の冒頭で、子どもが経験している日常生活の中に摩擦力は目に見えないが多く存在していることを説明し、その例を挙げる。そして見た目に凹凸がある面どうしの接触の例を挙げて、摩擦力について説明する。

その後、見た目には平らで滑らかな面であっても、細かな凹凸があり、摩擦力があることを説明する。

そして、物体が平面を押す力が大きくなるから、ほんとうに接触している部分が増える、したがって最大静止摩擦力が増える、という内容を、子どもが表面の凹凸どうしの接触のイメージを元に、段階的に実体的イメージ¹³⁾を形成し、理解できる内容とする。

② 摩擦の法則に関する発問の前に、最大静止摩擦力は物体に水平方向に加える力の大きさに等しく、水平方向に加える力の大きさはばねの伸びで測ることができることを説明する。

③ 一貫して、物体が平面を押す力と最大静止摩擦力の関係を考える。

④ 対象とする小学生は、小学4～6年生とする。

⑤ 摩擦の法則のうち、「最大静止摩擦力の大きさは、物体が平面を押す力の大きさに比例する。」については、物体が平面を押す力の大きさが大きくなると、最大静止摩擦力も大きくなる。」という内容までの教育内容とする。また、「最大静止摩擦力は、見かけの接触面積に依存しない。」については、教育内容として位置付ける。これらの方針とする理由は次のとおりである。

①については、次のとおりである。

第一に、本論では、教育内容設定の方針を検討する上で、実体的イメージの役割に着目した。生徒が取り組む具体的事実や現象が実体的イメージを介して、抽象的概念や法則へとつながる三段階の認識を採用し、教育内容を設定することを試みた。

本論で設定する教育内容では、実体的イメージに対応する教育内容に、表面の凹凸どうしの接触のイメージ(図1、2を参照)を位置付ける。その理由は、最終的に子どもが、物体を動かすために必要な力と物体が平面を押す力の関係を、真実接触点を媒介として理解できるからである。



図1 接触している表面の拡大図

下が平面、上が平面に載っている物体である。

○で平面と物体の凸部どうしが接触している。

(真実接触点)

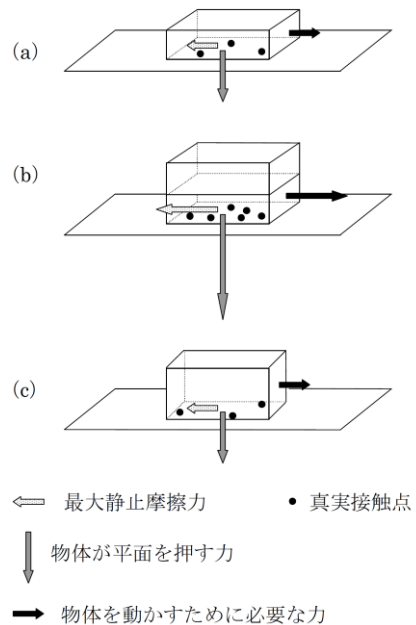


図2 最大静止摩擦力と真実接触点

※文献12)より引用

②については、摩擦の法則は、最大静止摩擦力の大きさを測らなければ検証できないので、必要な内容である。しかし、力のつりあいを学習していない小学生を対象とすることから、最大静止摩擦力の大きさは、物体を動かそうと水平方向に引っ張る力の大きさを測ればわかることを説明することに留め、力のつりあいについては説明しない。

③については、高等学校においては摩擦の法則を垂直抗力と最大静止摩擦力の関係で教えているが、生徒にと

っては直観的には理解しにくい。むしろ、物体が平面を押す力と最大静止摩擦力の関係で教えた方が理解しやすいことを、筆者は文献 12)で指摘している。このため、真実接触点との関係を考えやすい、物体が平面を押す力と摩擦力の関係を教育内容とする。

④については、小学校理科では、4年で閉じ込めた空気と水に力を加えるという形で力について学び、5年では、てこの学習の中で力を、ふりこの学習の中で重さを学習する¹⁴⁾。また、小学校算数では、長さ、面積、重さを4年までに学習する¹⁵⁾。

したがって、小学4年生以上であれば、押したり引っ張ったりすることが力を加えることであるという理解はできていると考えられる。また、摩擦力と真実接触面積との関係を考える上で必要となる、長さ、面積、重さの学習をしている。

したがって、小学4年生以上を対象とすれば、上記の学習内容を理解の基礎として、摩擦力の教育内容を設定することは可能である。

⑤については、小学校算数では、比例は小学6年生で学習する内容であることから¹⁵⁾、摩擦が力であることを認識することを重視して、より対象となる学年を広げられるよう、摩擦の法則のうちの前者については、一方が大きくなればもう一方も大きくなるという内容に留めた。

5. 指導案と実践結果

5. 1 実践の概要

前章の方針により、教育内容を設定し、指導案を作成した上で、主に小学 4～6 年生を対象とした科学実験教室で実践した。科学実験教室の概要は次のとおりである。

① 実験教室の名称

桑園児童会館科学実験教室シルクワーム

② 日時

平成 22 年 7 月 10 日 (土) 10:00～11:50
(途中 10 分間休憩あり)

③ 場所

札幌市立桑園児童会館 1 階プレイルーム

④ 受講者

26 名 (中学生 1 名、他は小学 4～6 年生)

⑤ 講師、ティーチングアシスタント

講師は筆者が担当した。また、ティーチングアシスタントとして、受託している NPO 法人より 3 名が参加した。ティーチングアシスタントは、資料の配布、実験結果の掲示、実験補助を担当した。
なお実践の記録は、デジタルビデオカメラと IC レコーダーで記録した上で、文言に翻訳を行った。
授業は、問題と質問については子どもに解答を予想さ

せた後、その解答の根拠を聴いた。

以下、指導案の発問、解説、説明を実践した順に記載し、子どもの予想した選択肢毎の人数、予想後の子どものコメント、実践結果の分析を記す。なお、子どものコメントについては、内容的に重複するものについては、代表的なもののみ掲載した。また、文中の C₁～C₉は子どものコメントである。

また、実際の指導案には、漢字にルビをふったが、本論では省略した。

5. 2 表面に凹凸があるものどうしの摩擦

【説明 1】

私たちの身の回りにはまさつがたくさんあります。
まさつがないと、たいへんなことになってしまいます。
たとえば、私は床の上に立っています。もし、足と床の間にまさつがなければ、ほんの少し押されただけで、すべって転んでしまいます。
(この後、筆箱やノートが机の上で止まっているのも、鉛筆などで字が書けるのも、消しゴムで字が消せるのも、自転車が進むことができるのも、すべて摩擦があるからであることを説明した。)

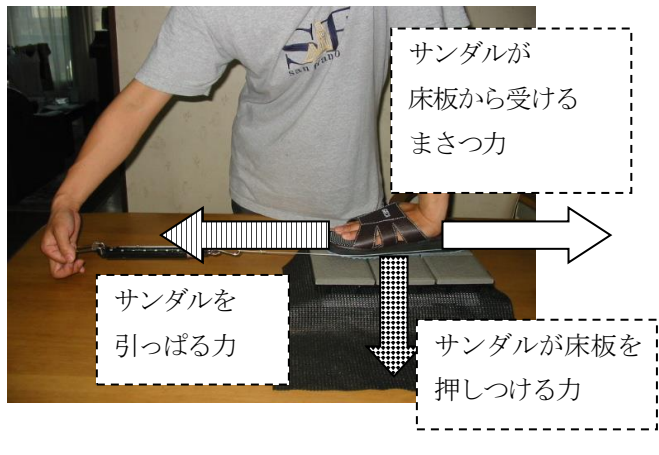
【説明 2】

デコボコした床板の上にサンダルをのせました。サンダルの底もデコボコです。サンダルをまっすぐ下向きに手でおさえながら、サンダルをひもで引っばってみます。引っばると手ごたえがあります。サンダルと床の間にまさつ力がはたらくからです。
まさつ力の大きさを、ばねののび具合で測ることにしましょう。サンダルを引っばる力を少しずつ大きくしていきます。引っばる力を大きくしていくと、とつぜん、サンダルはすべり出します。
サンダルを下向きにおさえてみましょう。おさえる力の大きさを 2 kg 分にします (押しつける力は、床板の下にある体重計で計ります)。このとき、どれくらいの大きさの力で引っばれば、サンダルはすべり出すでしょうか。 _____ kg の大きさでした。
(注意：長さの単位 m のように、力の大きさを測るための単位があります。中学校の理科で勉強します。今日は、ばねばかりや体重計の示す重さの単位 kg を、めやすとして使っておくことにしました。)

【問題 1】

それでは、サンダルをおさえる力の大きさを 2 倍の 4 kg にすると、すべりだす時のまさつ力の大きさ (ばねののび具合) は、どうなりますか。
ア 最初と同じ大きさになる (ばねののびは同じ)
イ 最初より大きくなる (ばねはもっと長くのびる)

ウ 最初より小さくなる (ばねののびは短い)



問題1の選択肢毎の予想した人数は、ア 1名、イ 19名、ウ 1名となり、実験による検証の結果、イが正しいことが解った。

子どものコメントは次のとおりだった。

イ 最初より大きくなると予想した子どものコメント

- ・C₁ 最初はばねが短いけど、もっと倍にすると倍になる。
- ・C₂ 人が載っていないそりを引っ張るよりも、人が載っているそりを引っ張るほうが力が必要。

ほとんどの子どもが正答を予想しており、コメントから、サンダルで床板を押す力を大きくすると、動きだす時の摩擦力が大きくなることを予想することは容易だったことが伺える。

5. 3 表面が平らで滑らかなものどうしの摩擦

【説明3】

表面がつるつるのガラス板の上に、やはり表面がつるつるの木ブロックをのせます。

さて、ガラス板も木ブロックもつるつるの表面です。ところが、表面を、顕微鏡で拡大してみると、サンダルの底や床板と同じように、たくさんの細かなデコボコがあります。

(ガラス板と木ブロックの表面の拡大写真を子どもに見せた。)

【問題2】

木ブロックをガラス板に2kg分の力で押しつけま

す。次に、木ブロックをガラス板におしつけたままにして、ばねで引っぺします。引っぺす力を少しずつ大きくしていきましょう。

木ブロックがすべり出すときの、まさつ力の大きさはどれだけですか。

ア まさつ力の大きさはゼロである。(引っぺすとすぐに、すべり始める。)

イ まさつ力の大きさは、押しつける力(2kg分の力)よりも小さい。

ウ まさつ力の大きさは、押しつける力(2kg分の力)よりも大きい。

※この問いでは、実験の際には、より正確に測定するために、予め子どもに説明した上で、手で木ブロックを押す代わりに、水を入れたペットボトルと漬物石を重りにして、押しつけた。(以下の問題も同様に実験した。)

この問題では、説明2、問題1、説明3の内容を前提として、つるつるな面どうしても、やはりでこぼこがあるので摩擦力が働くと予想する子どもと、でこぼこな面どうしてもあれば摩擦力はあっても、つるつるな面なら摩擦力は無いと予想する子どもがいると考える。

問題2の選択肢毎の予想した人数は、ア 0名、イ 19名、ウ 0名となり、実験による検証の結果、イが正しいことが解った。

子どものコメントは次のとおりだった。

イ まさつ力の大きさは、押しつける力(2kg分の力)よりも小さい。と予想した子ども

- ・C₄ サンダルのときよりもでこぼこが少ない。
- ・C₃ でこぼこしているよりもでこぼこが小さいからまさつは減ると思う。

結果を分析すると、筆者の予想と異なって、子どもたちの大半が設問2、3から、でこぼこは少ないけれどもあるので摩擦力は小さいけれどもあると予想しており、そのとおりの実験結果となった。設問2、問題1、設問3の内容は、子どもの多くが理解できていると思われる。

5. 4 物体が平面を押す力と最大静止摩擦力の関係

【問題3】

問題2で、木ブロックを押しつける力を大きくしていくと、すべりだす時のまさつ力の大きさはどうなりますか。

ア すべりだす時のまさつ力の大きさは変わらない。

イ すべりだす時のまさつ力の大きさは大きくなる。

ウ すべりだす時のまさつ力の大きさは小さくなる。

(実験では押しつける力が3kg,4kgの場合の摩擦力を計測した。)

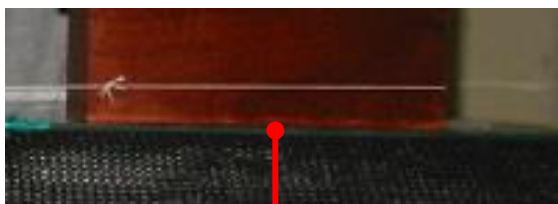
【解説1】

ガラス板と木のブロックの表面を拡大したモデルを使って説明しましょう。

ガラス板や木のブロックのつるつるの表面でも、拡大して見ると、細かなデコボコがありました。木のブロックをガラス板に押しつけると、細かなデコボコのでっぱりどうしがくっついたりひっかかったりします。

まさつ力は、くっついている部分を引き離そうとするとき、ガラスと木の間に、はたらく力です。

ガラス板に木のブロックを押しつけて、力の大きさを大きくしていくと、くっつく部分が増えていきます。くっついている部分が増えれば増えるほど、すべりだす時のまさつ力の大きさは、大きくなるのです。



問題3と解説1の教育内容は、摩擦の法則のうちの「最大静止摩擦力の大きさは、物体が平面を押す力の大きさに比例する。」に繋がるものである。

問題3の選択肢毎の予想した人数は、ア 0名、イ 24名、ウ 2名となり、実験による検証の結果、イが正しいことが解った。

子どものコメントとは次のとおりだった。

ウ すべりだす時のまさつ力の大きさは小さくなる。

と予想した子ども

・C₆ すべるときってなんか、つなひきのはなしたときに人がはなしたときにすべる

・C₅ ひっぱるしゅんかんに、力がぬける

(イ すべりだす時のまさつ力の大きさは大きくなる。と予想した子どもからは意見がなかった。)

結果を分析すると、子どもの大半は正答を予想した。正答した子どもからのコメントがなかったのは、これまでの問題の結果から当然の予想という認識だったと思わ

れる。

一方すべりだす時の摩擦力の大きさが小さくなると予想した子どもは、最大静止摩擦力よりも動摩擦力の方が小さく、動き出す瞬間に摩擦力が小さくなることに着目した可能性がある。この点については、誤解のないように、発問の内容を見直す必要がある。例えば「すべりだす直前のまさつ力」を問うように修正することが挙げられる。

5. 5 物体と平面の接触面積と最大静止摩擦力の関係

【問題4】

木のブロックをガラス板の上に立てて置きます。木のブロックをガラス板に押しつけて、問題3のときと同じようにひっばります。すべりだす時のまさつ力の大きさは、問題3のときとくらべてどうなるでしょうか。

木のブロックとガラス板が接している面積（木のブロックの底面積）は、

$$\left[\begin{array}{l} \text{問題3のときは、} 200 \text{ cm}^2 \text{ (} 20\text{cm} \times 10\text{cm) } \\ \text{問題4のときは、} 100 \text{ cm}^2 \text{ (} 20\text{cm} \times 5\text{cm) } \end{array} \right]$$

です。

ア 問題3のときと同じ。

イ 問題3のときよりも大きくなる。

ウ 問題3のときよりも小さくなる。

【解説2】

木のブロックとガラス板が接している面積（木のブロックの底面積）がちがっていても、木のブロックが動きだすときの、まさつ力の大きさは同じでした。デコボコの表面が広い面積で接しているほうが、まさつ力が大きくなるように思いませんか。そうならないのはなぜでしょうか。

デコボコの表面で何が起きているのかを、モデルを使って考えてみましょう。

これは、ブロックにデコボコにちぎったスポンジをはったものです。スポンジにインクをぬっておきます。このブロックを方眼紙に押しつけると、スポンジが接しよくしたところに、インクがつきます。

ブロックを立てに置いたときと、横に置いたときで、色のつき方にちがいがあるでしょうか。ブロックは同じ大きさの力（2kg）で押しつけます。

方眼紙の色のついた部分の面積をくらべてみましょう。



の教育内容からは、木のブロックの底面積が小さくなれば、それだけでこぼこのでっぱりの接触している部分もそれだけ減ると予想する子どもと、押しつける力が同じであれば、でこぼこの接触している部分は同じ面積で支えていると予想する子どもがいると考える。

問題4の選択肢毎の予想した人数は、ア 0名、イ 1名、ウ 22名となり、実験による検証の結果、アが正しいことが解った。予想したこどもは、全員不正解であった。

子どものコメントは次のとおりだった。

イ 問題3のときよりも大きくなる。と予想した子ども

・C₃ 表面積が小さくなると、かかる力が一点に集まるからその分重くなる。

ウ 問題3のときよりも小さくなる。と予想した子ども

・C₆ 最初よりもでこぼこがはまっている部分が半分になるからと力も半分になる。

・C₇ まさつ力はガラスの板と木の間にあるから、間の面積が少なくなるとまさつ力も少なくなる。

・C₈ 問題3よりも、底が小さくなるから、でこぼこも小さくなる。

・C₉ 横よりもたての方が、でこぼこの面積が少ないから、その分まさつ力が小さくなる。

結果を分析すると、木のブロックの底面積が小さくなると真実接触面積も小さくなると考え予想した子どもが多かった。木のブロックがガラス板を押す力と接触面との関係に着目した子どもは1名いたが(C₃)、正答と異なると予想だった。多くの子どもは、これまで示したでこぼこの接触面のモデルのイメージから、ブロックの底面積の大きさと真実接触面積を関連付けて考えたと思われる。

5. 6 極めて小さい真実接触面積

【質問1】

木のブロック(0.4kg)を横にしておいたときの底の面の面積は、200cm²です。

このうちで、木のブロックとガラス板がほんとうに接している部分の面積は、どのくらいだと思いますか。

ア 20cm²ぐらい

イ 2cm²ぐらい

ウ 0.2cm²ぐらい

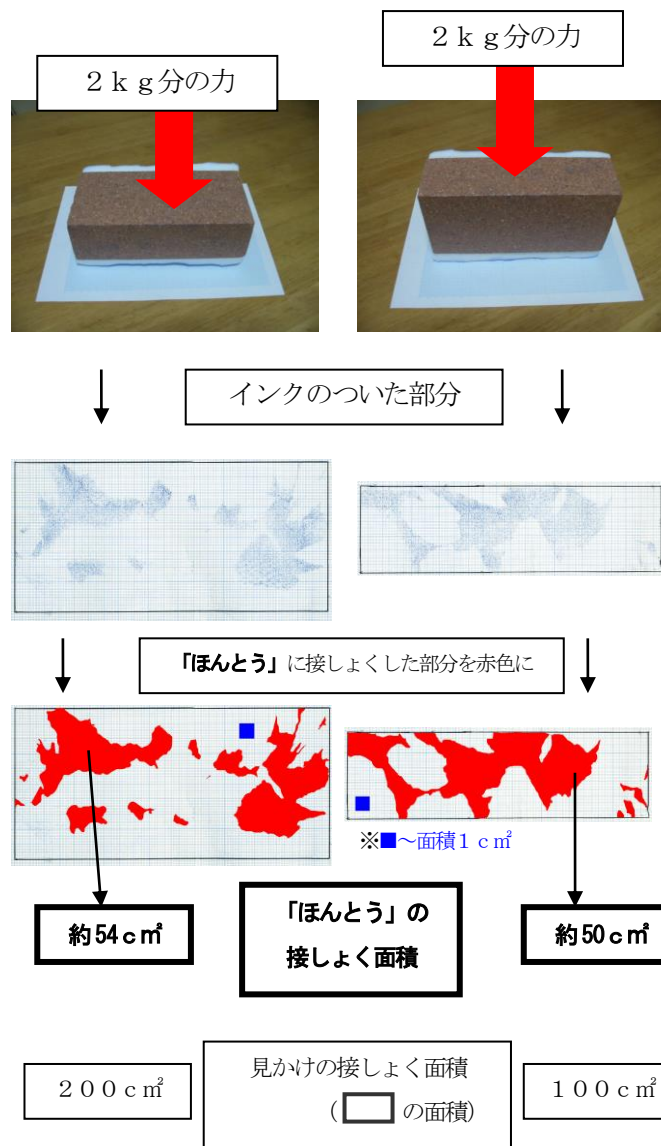
エ 0.2cm²よりも小さい

【解説3】

解答は「エ」です。

ほんとうに接している部分はごくわずかです。

ほんとうに接している面積がどれくらい小さい



ブロックをおしつけるとき、ブロックの底面積を見かけの接しよく面積といいます。見かけの接しよく面積(□)は、大きくちがっています。

ところが、ほんとうに接しよくしている部分(■)は、ほとんど同じ面積です。

ですから、ブロックの底面積のちがいは、見かけのちがいでしかないのです。ブロックの底面積は、「ほんとう」ではない接しよく面積なので、「見かけの接しよく面積」といいます。

同じ大きさの力で押しつけると、見かけの接しよく面積がちがっていても、ほんとうの接しよく面積はほとんど変わりありませんでした。ほんとうにくっついている面積が同じなのですから、そこではたらくまさつ力の大きさも同じになるのです。

摩擦力で重要なことが見かけの接触面積ではなく真実接触面積であることは、子どもにとって自明ではないと考えられ、予想の選択肢は分かると考える。これまで

かを、ブロックの底面積をサッカーコートと同じ広さにまで拡大して考えてみましょう。

サッカーコート全体を500円硬貨で敷きつめるには、約900万枚の500円硬貨が必要です。ところが、ほんとうに接しよくしている部分は、500円硬貨の枚数で100枚よりも少ないのです。

(サッカーコートの図と500円硬貨の写真を示して説明した。)

質問1の選択肢毎の予想した人数は、ア 2名、イ 1名、ウ 12名、エ、7名となり、解説でエが正しいことを説明した。

子どものコメントは、ア、イはないだろうという予想中のコメントのみだった。

この質問は、これまでの教育内容を踏まえて予想するとすれば、スポンジのモデルであれば平面を押す力が2kgで、50cm²ぐらいであり、底面積の4分の1ぐらいというところから、大まかに予想するしかない。

予想はばらついたが、相当数の子どもには、予想以上に真実接触面積が小さいということを認識してもらえたと考える。

5. 7 物体が平面を押す力がない場合の摩擦力

【質問2】

木のブロックを表面がつるつるの机にのせます。木のブロックを軽く押し出すと、しばらく進んで止まります。

それでは、同じ実験を宇宙空間のような重力のない状態でやってみると、木のブロックはどれだけ進むと思いますか。

ア 木のブロックは、押し出すとすぐ止まる。

イ 木のブロックは、地球の場合よりも短い長さだけ進んで止まる。

ウ 木のブロックは、地球の場合と同じ長さだけ進んで止まる。

エ 木のブロックは進み続け、机の上から飛び出す。

【解説4】

答えは「エ」です。宇宙空間にはすぐ行って実験することはできませんが、重力のない宇宙空間では、面を押す力がないので、まさつ力も起きません。

しかし、地球上では、2つのものが接しよくしていれば、多くの場合まさつ力が起きている、と言っても過言ではありません。

(この後、接触のイメージを、山脈を用いて例えた話と参考文献を紹介し、授業を終了した。)

この問題で子どもは、これまでの発問や解説などで形成された実体的イメージを活用できれば、平面を押す力がないければ、接触する部分はないので、摩擦力は起きな

いと予想することができる。なお、解説4では、質問2の解答を説明した上で、地球上では2つの物体が接触していれば、多くの場合摩擦力が起きることを説明し、摩擦力が身近に多く存在することを改めて確認した。

質問1の選択肢毎の予想した人数は、ア～ウ 0名、エ 23名となり、解説でエが正しいことを説明した。予想した子どもは全員正解だった。

子どもの主なコメントは次のとおりである。

- ・C₁ 無重力だったら、まさつ力がないので、まったく重力がないのでびゅーっと進む。何かにぶつからない限り止らない。
- ・C₂ 押し付ける力がないから、まさつりょくは全くない。
- ・C₅ 上から押されるような感じがするとき、それが重力というんですけど、宇宙では、重力がないから、さっき勉強した表面がちがっても重さで決まるから、重さがないもの押し付けられないので、まさつ力がない。
- ・C₆ だれかわすれちゃったけど、宇宙ステーションで実験するときにはねつきかなんかをやっていて、その玉が落ちずにそのままピーっと進む。
- ・C₉ 浮くからまさつ力がないからそのままびゅーっと進む。

結果を分析すると、これまでに形成した表面の凹凸の接触のイメージを活かして、摩擦力がないと解答を予想したと思われる子ども(C₁、C₂、C₅、C₉)と、摩擦力について考えず、テレビや映画などで見たと思われる宇宙空間でもものが浮いているイメージから直接的に解答を予想したと思われる子ども(C₆)がいた。多くの子どもは、表面の凹凸の接触のイメージから、摩擦力がないと予想できたと考えられるが、一部の子どもは摩擦力を考慮せずに予想したと考えられ、今回の授業を理解できたかどうかが明らかではない子どももいると言える。

5. 8 授業後の感想

最後に、感想を子どもたちに記してもらった。26名中、7名から解答があり、いずれもよくわかった、おもしろかった、という肯定的な解答だった。

個別の感想についての考察は、次のとおりである。

「むずかしかったが、よくわかった。」(4年、男子)という解答からは、小学4年生でも十分考えて理解できたことが示唆される。

「でこぼこはどんなものにもあると聞いてびっくりした」(5年、性別不明)、「前習っていた実験教室でもまさつはやったけど、知らなかったことがいっぱいあって楽しかったです。」(5年、女子)、「ただの熱が出るだけの

事だったと思っていたまさつは、地球上の物が接しただけで、まさつ力がおこることはよくわかりました。」(6年、男子)という発言は、平らで滑らかな面にも細かな凹凸があることが子どもにとって自明でないことと、現在の摩擦についての小学生の認識は力よりも熱と繋がっていることを示唆している。

6. 考察

6. 1 到達目標に対する評価

第3章で記した到達目標に対して、実践結果を評価する。本論における教育内容と指導案の到達目標は、次のとおりである。

- ① 摩擦は力であることを理解する。
- ② 物体が平面を押す力があるときには摩擦力があるということを理解する。
- ③ 摩擦力は、平面の上にある物体を動かそうとする力と正反対の向きであることを理解する。
- ④ 摩擦の法則に関する次の内容を理解する。

ア 物体が平面を押す力を大きくすると、最大静止摩擦力は大きくなる。

イ 物体が平面を押す力の大きさが変わらなければ、見かけの接触面積が変わっても、最大静止摩擦力は変わらない。

①については、まさつ力の大小を問う問題や質問で子どもの多くが解答を予想することができていることから、概ね達成したと考える。このことは解答を予想した際の子どものコメントで、まさつ力という言葉を用いていることから裏付けられる。

②については、次の理由から概ね目標を達成できていたと考える。

一点目は、問題1、2(面を押しつける力を大きくした時のまさつ力)と質問2(宇宙でのブロックの運動)で大半の子どもが解答を予想することができかつ正答を選択したことから、問題の内容を正しく理解できていたと言える。

二点目は解答を予想した際のコメントに、次のコメントがあり、平面を押す力と摩擦力を関連付けて考えている子どもがいたからである。

(質問2・宇宙でのブロックの運動)

- ・押し付ける力がないから、まさつ力は全くない。浮くからまさつ力がないからそのままビューっと進む。
- ・上から押されるような感じがするとき、それが重力というんですけど、宇宙では、重力がないから、さっき勉強した表面がちがっても重さで決まるから、重さがないもの押し付けられないので、まさつ力がない。

③については、説明2で子どもに対応する内容を説明

しているが、その後の発問での子どものコメントからはこの内容を理解しているかどうかは確認できなかった。この内容の理解は、摩擦力を力の矢印として図示できるという最終的な力の認識形成における課題である。

④のうち、アについては、子どもの大半が、この内容についての発問(問題3)で正答を予想できていることや、多くの子どもが質問4で正答を選択しており、物体が平面を押す力がなければ、まさつ力が起きないことを認識していることから、概ね目標は達成していると考えられる。

イについては、この内容に関する発問(問題4)で子どもの大半が正答以外の予想を選択しているが、その後の説明で理解し得るものとする。しかし、この点については本論の実践結果から明確な論拠が得られなかった。この点を明らかにすることが課題として挙げられる。その方策としては、問題4の後の説明(凸凹のスポンジを用いた真実接触面積の説明)を発問とすることが挙げられる。見かけの接触面積と凸凹のスポンジと方眼紙の接触面積の関係を問うことで、問題2で見かけの接触面積が変わっても最大静止摩擦力が変わらなかったことを手がかりに、物体が平面を押す力と真実接触面積の関係を認識することで、この到達目標を達成できると考える。

6. 2 接触の実体的イメージ形成

子どもの実体的イメージの形成について実践結果を評価すると次のことが言える。

到達目標の①、②に関しては、問題1とその前の、サンダルと床板を用いた説明から、多くの子どもは、物体が平面を凸凹どうしがひっかかったりくっついったりするから、摩擦力が起きることは認識できたと思われる。

③については、接触のイメージから認識できたかは本論の実践からは明らかとならなかった。このため、接触のイメージを手がかりとした摩擦力の認識形成についての更なる検討が必要である。

④について、多くの子どもは、真実接触面積が大きいほど、最大静止摩擦力は大きいことは問題3、問題4とその後の説明で認識できたと思われる。したがって、多くの子どもは、「真実接触面積」という「面積」のイメージで最大静止摩擦力の大小を理解することができたと考ええる。しかし、「真実接触点」という「点状の接触である」というイメージを形成できたかどうかは今回の実践では明らかとならなかった。

6. 3 本実践の中学校以降の学習における意義

本論の実践結果から、小学校での摩擦の学習が、中学校以降の摩擦の学習の基礎となり、高等学校までの摩擦力と摩擦の法則の理解、そして動力学の学習をより容易

にし得ると考える。その理由は、次のとおりである。

本論の実践結果から、接触のイメージを手がかりとして、多くの子どもが、少なくとも次の点を理解できたと考える。

a 摩擦は力である。

b 物体が平面を押す力が大きくなると、真実接触面積が大きくなる。

aについては、摩擦の学習の最も基礎的な内容であるとともに、日常で見られる物体の運動を理解する上で重要な内容である。中学校以降に、摩擦がない理想的な状況で動力学を学習した上で、日常で見られる摩擦がある場合の物体の運動を動力学で学習する際に、予め摩擦が力であることを認識していれば、摩擦がある場合の物体の運動を動力学の概念の中で理解することはより容易となる。

bについては、この内容を出発点として、摩擦力の大きさ（最大静止摩擦力と動摩擦力）が、平面を押す力の大きさに比例することと見かけの接触面積に依存しないという摩擦の法則をより容易に理解することができる。

7. おわりに

本論では、小学校におけるこれまでの摩擦の学習内容を検討した上で、新たな到達目標と教育内容を設定し、小学4～6年生を対象に指導案の実践を行った。

その結果小学校においては、接触のイメージを手がかりに次の到達目標により摩擦を学習することが可能であることを明らかにした。

①摩擦は力であることを大まかに把握する。

②物体が平面を押す力があるときには摩擦力があるということを理解する。

③摩擦の法則に関する次の内容を理解する。

ア 物体が平面を押す力を大きくすると、最大静止摩擦力は大きくなる。

イ 物体が平面を押す力の大きさが変わらなければ、見かけの接触面積が変わっても、最大静止摩擦力は変わらない。

またこれらの到達目標を達成することが、中学校や高等学校で、子どもが摩擦力を含む力学を学習する上で、役に立ち得ることを明らかにした。

一方、本論の実践では、多くの子どもは、真実接触面積という面積のイメージで最大静止摩擦力の大小を理解することができたと考えられるが、真実接触点という点状の接触のイメージを形成できたかどうかは不明である。

また、本実践の教育内容で、子どもが摩擦力を力として図示できるようになるのは困難である。

これらの課題については、今後、中等教育における摩

擦力の教育内容構成において検討していきたい。

【注釈・参考文献】

1)次の教科書を調査した。

たのしい理科第5学年用D（大日本図書・昭和25年度用）、五年生の理科下巻（学校図書・昭和25年度用）、私たちの理科5年下巻（大日本図書・昭和28年度用）

2)小学校学習指導要領（理科編）（昭和33年10月）と次の教科書を調査した。

理科5年（教育出版・昭和38年度用）、新版標準理科（教育出版・昭和39年度用）、新訂新しい理科5下巻（東京書籍・昭和43年度用）

3)高橋金三郎：ガラクタ教材鑑別法—マサツ—,理科教室,3(1962)72.

4)例えば、次の文献を参照。曾田範宗：摩擦の話,岩波書店(1971)14.

5)庄司和晃：仮説実験授業,国土社(1965)24-38.

6)板倉聖宣他：仮説実験授業入門,明治図書(1971)150-182.

7)板倉聖宣他：授業書研究双書「浮力と密度」・重さと力・まさつ力,国土社(1988)206-236.

8)例えば、次の文献を参照。新しい科学1分野下巻（東京書籍・平成16年度用）

9)例えば、次の文献を参照。高等学校物理I（啓林館・平成16年度用）

10)滝川洋二：授業分析による「自然認識の過程」の研究—慣性の法則を事例として—,教育研究,27,3(1985)183-206.

11)滝川洋二：授業分析による「自然認識の過程」の研究（Ⅱ）—運動の法則の理解と質量概念の形成を事例として—,教育研究,28,3(1986)157-184.

12)工藤保広：接触の機構に着目した摩擦の法則の教育内容の設定と教材の構成,教育学の研究と実践,4,3(2009)55-64.

13)高村泰雄他：物理教授法の研究,北海道大学図書刊行会(1987)44-47.

14)小学校学習指導要領（理科編）（平成10年12月）

15)小学校学習指導要領（算数編）（平成10年12月）

謝辞

本論の指導案の実践に当たっては、札幌市立桑園児童会館、桑園児童会館科学実験教室シルクワーム、NPO法人 butukura の皆さんから多大な御協力をいただきました。紙面を借りて、厚く御礼申し上げます。