東京都市大学共通教育部紀要　抜刷　2023 Vol.16

An Attempt to Form the Concept of Mass Using WebClass

WebClassを用いた質量概念形成の試み

綿引 隆文

Journal of Liberal Arts and Sciences at Tokyo City University Vol.16, 2023

WebClassを用いた質量概念形成の試み

自然科学系　物理学教育部門　綿引 隆文

1．はじめに

大学初年次や高等学校の基礎物理学の教育において、学習者が基本概念を正しく形成するために、教員が誤概念の実態を正しく認識し、授業を工夫していくことは大切であろう。筆者は、その中で、質量に関する誤概念の実態調査や授業で概念形成をはかる取り組みを、これまで報告してきた[1)~3)]。

質量に関する典型的な誤概念の１つに「摩擦のない水平面や無重量の空間では、質量の大小によって、物の動かしやすさに差はない。」がある。

2019 年、物理学教室の先生方のご協力をいただいて、学生が運動の法則を学んだ約１ヶ月後に、本学における質量概念の実態調査を行い、結果を日本物理教育学会に報告した[4)]。それによれば、前述の誤概念は、本学の工学系初年次学生が運動の法則を学んだ後も根強く残っていた。さらに、新型コロナの感染が広がった 2020 年のオンライン授業においては、Zoom を通して質量概念の形成を試みた実践を本紀要に報告した[5)]。そこでも、学生が当初持っている誤概念の実態は変わらなかった。

2022 年度の物理学及び演習（1）では、はからずも担当クラス（応用化学科＋自然科学）の実履修者が教室の感染対策対応の収容人数を大きくオーバーし、授業進行に多少の混乱が生じた。教室変更が実現するまで、授業進度はシラバスに対して遅れ気味になり、「運動の法則」の単元に授業が入った段階で、授業の中で質量概念の形成に時間をとる余裕はないと判断した。そこで、質量概念形成に関わる部分を、講義ではなく、学生が Web クラスの課題を実行することで代替することにした。本報告はその実践報告である。なお、22 年度の担当クラスは、1 年生が 95 名、3 年生以上が 13 名、計

108 名であった。そのうち、初年次段階の状況を調べるために、1 年生のデータだけを集計、分析することにした。

2．Web クラス上の課題の概要

Web クラス上には、3 回にわたって質問や課題を掲げ、その課題を学生が実行していくと質量の概念形成ができるように、課題の内容、配列を考えた。その概要とねらいを示す。

・第 1 回目　教科書[6)]の質量に関わる所をよく読んで、質量概念の誤概念を調べる調査問題に回答してもらう。
・第 2 回目　筆者がこれまで授業で行ってきた質量に関する説明の文章を読んでもらって、その感想や受け止め方を聞く。（質量概念形成の取り組み 1）
・第 3 回目　筆者が実践してきた「物理ウォッチング[7)]」を実施する。すなわち、学生の日常生活から、物体の質量が大きな程、慣性も大きくなる具体的事例を発見し、報告してもらう（質量概念形成の取り組み 2）取り組み 1、2 による質量概念形成の進み具合を調査問題によって調べる。

3．Web クラスの課題

Web クラス上の課題の具体的内容と応答状況を示す。

3-1　第 1 回目

まず、教科書の質量に関する記述をよく読んでもらい、教科書の記述に対する感想を選択肢から選んでもらった。さらに、既に高校や本学で実施している誤概念の調査問題に答えてもらった。以下、その内容を示す。

教科書の質量に関する記述（p.64～p.65）をよく読み、それと運動の第二法則をもとに、次の問に答えてください。この調査への参加は小テスト 1 回分です。

問１　宇宙船の壁に飛行士の体を固定し、飛行士の前に浮いている質量１kgの石と20kgの石を飛行士がそれぞれ同じ大きさの力で押した。宇宙船内は無重力になっているものとする。石の動きで、最も適当な答えは？

1.　質量が大きな20kgの石の方が速くなる
2.　質量が大きな20kgの石の方が遅くなる
3.　１kgの石と20kgの石の速さは同じ

問２　飛行士が１kgの石と20kgの石を押すときの手応えは

1.　20kgの石の方が押しやすい。
2.　20kgの石の方が押しにくい。
3.　１kgの石も20kgの石も風船を押すように手応えなく押せる。
4.　手応えはあるが、手応えは1kgの場合も20kgの場合も同じ。

問３　読んできた質量に関する教科書の記述は？

1.　質量とは何か、解説を読んで実感としてよく理解できた。
2.　質量とは何か、解説を読んで理解できない所がいくつかある。
3.　質量とは何か、解説を読んで理解できない所が多い。
4.　教科書を読んで来なかった。

まず、教科書の質量部分の読後の印象（問３）に対して、教科書を読んだ者（85名）のうち、「実感としてよく理解できた」が約35％、「理解できない所がいくつかある」が45％で、概ね理解できたと感じている学生が大半である。

一方、問１の回答から判断される質量の典型的誤概念は、「質量の異なる物を同じ力で押しても同じ速さになる。」で、問２で聞いた手応えについては、「風船を押すような」または、「手応えはあっても質量の大小による差はない」である。つまり、問１は３、問２は３または４、すなわち33、または34の回答パターンが典型的な誤概念のパターンと考えられる。

実際は、質量が大きい物ほど慣性が大きくなるので、同じ力で押した場合、質量が大きい物ほど加速がゆるやかで、手応えは押しにくくなる。正解は問１は２、問２も２、すなわち22というパターンである。

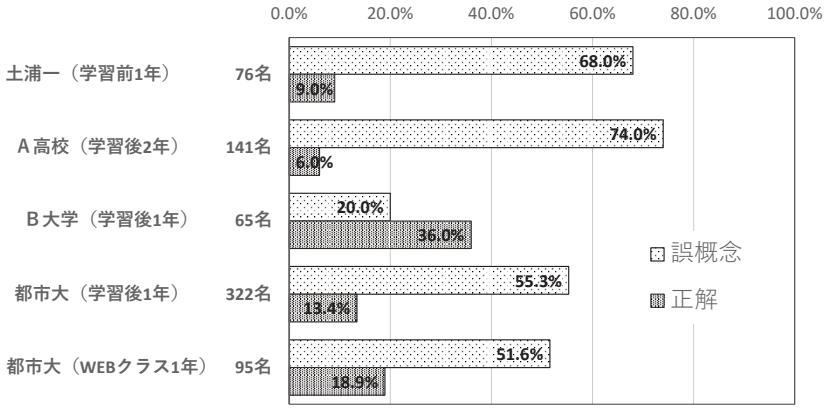


図1　1回目の設問1, 2の結果比較

図1に結果を示す。グラフの凡例の「誤概念」とは、前述の33または34を回答した者である。22のパターンが凡例の「正解」で、正しく質量の概念を形成している可能性が高い。

都市大（学習後1年）は2019年の調査[4)]、都市大（WEBクラス1年）は今回の調査である。また、問1、問2の調査問題は、これまで実施してきた問題文、及び選択肢に変更があることを述べておきたい[2)4)]。すなわち、無重量空間で、質量の異なる物体へ力を加えた場合の反応や手応えについて問う趣旨に変わりはないが、従来は力を及ぼす対象を質量160kgの力士と質量60kgの先生としており、選択肢にも変更を加えている。

グラフに出てくるA高とは茨城県内のある進学高で，2年生を対象にした学習後約6ヶ月後、2003年11月中旬の調査である。2年の物理は選択科目で物理を受験科目にしない生徒も含まれるが，大多数が理系の進学希望である。運動の法則については生徒実験を行っているが，質量概念形成のために特別な取り組みはしていない。教科書にほぼ忠実な展開をしている。

B大学とは，ある私立大学理学部、物理学科1年生（64名）で，調査は2006年1月である。

「土浦一（学習前1年）」は，筆者が質量概念の形成をはかった学年の授業前の調査である。物理は全員必修で，母集団には3年になると文系に入る者が半数近く含まれる。その授業内容と分析をすでに報告している[3)]。

図1から明らかに、22年度の結果は、2019年の本学における結果と似

通った傾向である。すなわち、教科書を読んだ後でも、半数以上が典型的は誤概念を有しており、正解は 2 割弱である。2019 年と今回に多少の差異があるが、調査を行った条件や母集団の学科構成も異なるので、この差異を論ずることは難しい。

3-2　第 2 回目

第 2 回目は、筆者がこれまで教育現場で行ってきた質量概念の説明をもとに簡略な文章を示し、さらに 3 つの設問を設けた。Web クラス上で、学生に示した質量を説明する文章とその後の設問は以下の通りである。

質量に関する私からの説明

皆さんの多くが、無重力（正確には無重量）のもとでは、物の動かしやすさ、止めやすさは質量の大小には関係ない、と予想しました。これを、学んだ運動の法則（$F = m\,a$）で考えてみましょう。

仮に 1kg（物体Ａ）と 20kg（物体Ｂ）が無重量下で、観測者から見て浮いているとします。これに、共通の1Nの力を加えたとしましょう。$a = F / m$ からわかるように、質量が 20 倍のＢに生じる加速度は、Ａの加速度の 1/20 になる。つまり、質量が20倍のＢはＡに比べ、加速するときも減速するときも速度変化が 1/20 になる。それだけ速度が変化しづらい、と言えます。

皆さんは、中学校や高校で、慣性の法則を学びました。すべての物体は速度を一定に保とうとする慣性がありますが、実は、その程度は同じではなく、質量が大きな程、速度が変化しづらい、つまり慣性の程度が大きいと言えます。質量とは物体の慣性の大小を表す物体固有の量です。

例えば、スーパーで買った物をカートに載せて動かすとき、満載したカートは、動かしにくいが、止めるときは止めにくいでしょう。慣性が大きくなったからです。このような例は日常からいろいろ見つけることができます。

かつて高校生に教えていたとき、質量と慣性の実例として、禁止されている自転車の二人乗りを多くの生徒が挙げました。二人乗りでは、こぎ出すときペダルは異様に重くなりスピードはなかなかつかない、しかし一端スピードがつくと、ベレーキをかけてもスーっと進んで行ってしまい極めて危険で

す。二人乗りでは質量が大きくなり慣性が大きくなっているから、動き出しにくく、止めにくいのです。

前に聞いた問「宇宙飛行士が無重量下で１kgの石と20kgの石を押すときの手応えは」に対して、以前、調査したとき、手応えは、共に風船を押すようだ、手応えはあるが共に同じだ、という回答をした割合が合わせて約７割に及びました。実は、20kgの方が慣性が大きく、実はかなり押しにくいのです。実感的に理解できたでしょうか。

その後に続く問を以下に示す。

問１　ファイルにある質量についての説明をよく読みなさい。質量の意味をよく理解できましたか

1. よく理解できたと思う。
2. 大体理解できたと思う。
3. どちらとも言えない。
4. あまり理解できていないと思う。
5. 理解できたとは思えない
6. その他

問２　物体がもつ慣性について、これまでどのように理解していましたか

1. 物体の慣性の程度は、物体による差はないと思っていた。
2. 物体の慣性の大小は、質量と関係があることを前から分かっていた。
3. 物体に慣性があることを、そもそも理解していなかった
4. その他

問３　無重力（正確には無重量）のもとで１kgの石と20kgの石を押すときの手応えは、20kgの方が、実はかなり押しにくいのですが、説明を読んだ後、　どのように感じていますか。

1. 手応えに差がある（20kgの方が押しにくい）ことを感覚的にも想像できている。
2. 手応えに差があることは感覚としては実感できていない。
3. 問題文の意味がよくわからない。

問１は、質量の解説を読んでの感想を聞いている。「よく理解できたと思う」が、39％、「大体理解できたと思う」が56％で、理解できたと考える学生が大多数である。しかし、果たして本物の概念形成ができているかは、Webクラス３回目の問で明らかになる。

次に、問２は、慣性に大小があるということを既に把握していたか、初めてだったかを聞いている。学生は、慣性の法則は中学校から、運動の法則は高校で学んでおり、質量の大小によって慣性の程度が異なることを当然学生は把握していると教員は思いがちである。しかし、筆者による高校での実践で、「慣性については理解したつもりだったが、その程度が物体によって異なるというのは授業ではじめてわかった。」という声がどの現場でも数多く寄せられていた[8)]。したがって本調査で、「物体の慣性の程度は物体によって差はないと思っていた」が38％、「物体の慣性の大小は、質量と関係があることを前から分かっていた。」が57％という結果は、むしろ前者が少ない印象さえ抱いた。しかし、３回目の問の結果を見ると、「前から分かっていた」とした57％の学生がそれでは本当に分かっていたのか、となると、多くは「分かっていたつもり」になっていた可能性があることがわかる。

問３は、筆者の質量についての説明を通して、1kgに対して20kgのほうが、無重量空間においても押しにくいことが実感できたか、を聞いている。「実感できた」が70％近くになったので、一応、多くが、説明によって質量の大小が慣性の大小を反映していることを実感的に理解できたと言えそうであるが、Webクラス３回目の質量に関連する別の現象の問を聞いた結果を見ると、誤概念から学生は、そうたやすく抜け出させていないことが示唆される。

3-3　３回目

ここでは、筆者が長年取り組んできた「物理ウォッチング」[7)]に学生が取り組んで結果を報告してもらう。これは学んだ物理概念を、自分の日常生活の中から再発見し、それを簡潔な文章で報告するものである（末尾に付録として、これまでの現場での発表例を抜粋して掲載した）。実際に再発見する過程で、対象の物理概念に対して理解やその定着度が増し、かつ、発見への努力や発見する喜びの経験は、トータルとして科学的な力の向上に貢献する

ものと思われる。質量の場合、質量の大小が物の慣性の大小に具体的に関係しているケースを、自分の生活の中から発見することになる。

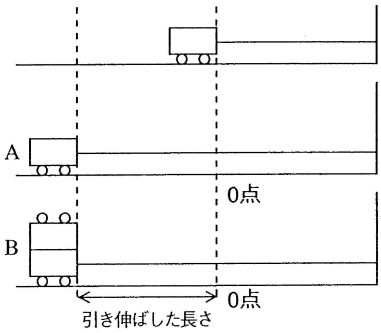
次に物理ウォッチングも含めた、3回目の課題と設問を示す。

課題：物体の質量が大きい程、慣性が大きくなる（動かしにくく、止めにくい）具体例を、2週間の間に日常の生活の中から発見し報告してください。ただし、先日紹介した、スーパーのカートと自転車の二人乗り、及び下に挙げた例は除外します。複数報告可です。優れた報告は加点します。

白鳥の飛来する沼の近くに住む生徒の発見例：すずめはすぐ止まれるけど、白鳥はいっぱい羽を羽ばたかせないと止まらない。

設問 1

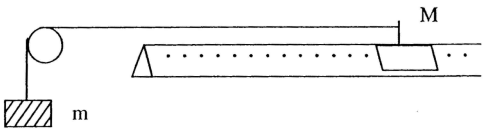
図において，水平面は完全になめらかで，摩擦の影響はまったくないものとする。Aは物体が一個，BはAと同じ物体を二個重ねている。同じゴムひもを，AとBにつけ，同じ長さだけ引き伸ばして，同時にスタートさせた。運動はどうなるだろうか。下の選択肢から選んで、その番号を答えよ。



1，AとBの動き方は同じである。
2，最初はAの方が速いが，後にBの方が速くなる。
3，Aの方が速くなる。

設問 2

エアトラック上の滑走体Mは下からの風に浮いていて，摩擦は無視できる。滑走体Mとおもりmを糸で結んで，滑車にかけ静かに放した。滑車がついていることの影響は無視できる。おもりmの運動はどうなるか。Mとmの重さは同じものとする。下の選択肢から選んで、そ



の番号を答えよ。

1，おもりmを自然に落下させたときと同じ運動になる

2，1．よりもゆっくりになる

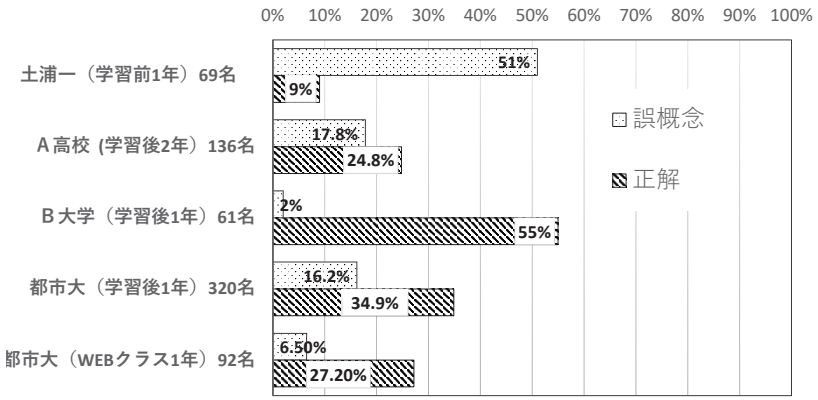


図２　３回目の設問 1, 2 の結果比較

特に設問２では、質量概念への理解が不十分であると、エアトラック上に摩擦が働かなければ「滑走体の質量は関係ない」「ないのと同じ」と考える傾向が強い。つまり、おもりの落下は自由落下と同じになると考える傾向が過去のすべての調査で強かった。ここでの正解は、設問１は３　設問２は２、すなわち32のパターンである。一方、典型的な誤概念は、設問１が１、設問２が１、すなわち 11 のパターンである。

結果を図２に示す。ここで凡例の「誤概念」は、この 11 のパターンを意味する。Web クラス２回分の学びと、「物理ウォッチング」の取り組みを通して、「誤概念」のパターンが減り、「正解」のパターンが増えることが期待されるが、図２を見ても分かるように、2019 年の本学の調査に比べ、「誤概念」は減っているが「正解」も減っており、残念ながらこちらが期待した効果を確認することはできなかった。

4　Web クラスを通しての概念の変容について

Web クラスを通しての学生の取り組みは、質量に関しての概念形成に役立っていたのだろうか。図１は、Web クラスにおいて、質量に関する筆者の

説明や「物理ウォッチング」に取り組む前に行った調査である。図２はそれらの取り組みの後の調査なので、目に見える形でその効果が結果に現れることを期待したが、他の学校に比べ「誤概念」が減っている一方で「正解」も減っておりはっきりとした効果があったと断定できない。例えば、調査１回目で、２つの設問が正解だった者は、調査３回目の設問も正解率が高いだろうと思われるが、実際は22％に過ぎなかった。

では、筆者の取り組みによる効果はどこにも現れていないのであろうか。

いろいろ調べた中で、筆者は、２回目問２の調査で、「物体の慣性の程度は物体によって差はないと思っていた（慣性の程度が異なることは初めて知った）」を選んだ学生（38％、グループＡと呼ぶ）と「物体の慣性の大小は、質量と関係があることを前から分かっていた。」を選んだ学生（57％、グループＢと呼ぶ））がその後、どのような選択肢を選んでいるかに注目した。

Webクラス３回目の問１，２について両方正解の割合は、グループＡで37.1％、グループＢの正解率は18.9％で、20％近い差がでている。常識で考えれば、「すでに分かっていた」学生の正解率が高いはずであるが逆転している。

これはあくまで想像であるが、学生自身にとって「この概念は持ってはいなかった、初めてである。」と内省できる力は、その後の取り組みの過程で新しい概念を獲得する学びを促す面があったのではないだろうか。逆に、自分は既にわかっていたとした学生は、わかったつもりになっていて概念把握への力が弱かった可能性があるかも知れない。それが新しい概念の学びの弱さにつながったと解釈すれば３回目のＢグループの正解率の低さが理解できるように思える。少なくとも、グループＡのメンバーで３回目の設問１，２で正解を選んだ学生は、Webクラスを通して、質量概念を正しく獲得したメンバーと判断して良いように思われる。

5．おわりに

高校教員時代は、この質量概念形成のために、１時間以上の時間をかけた。概念的に予想が割れやすい問（本稿、Webクラス３回目、設問１，２,）を生徒に示し、生徒は結果を予想、意見交換（討論）をした後、実験で結果を観

察し、最終的に教師がまとめる[3)]。

討論はクラスによっては盛り上がり、あるときは誤概念の意見が多数を占め、正解の意見は、陰が薄くなることもあった。それが実験で逆転したときは、驚きの声が上がった。実験結果をもとに教員がまとめていくが、予想→討論→実験観察→まとめ　という流れの中で、多くの生徒が発見的な理解をすることができた。この概念形成の流れに対する生徒の感想をいくつかあげる。[8)]

「討論での進め方はとても面白い。皆がどう考えているのかなどと聞いていると、自分の意見もなぜかすっきりする。そして、実験の答えが分かった時は、驚きの気持ちを含んだ面白さがこみ上げてくる。」

「みんなと討論する中で、自分の考えが不安になったり変わったりするが、その分実験での感動が大きくなっていいと思う。」

「今の授業の形式は大好きです。自分が最初に考えたことと、実験結果を比べることで、より授業の記憶が鮮明になります。また、理論が実験として具体的に示されるのでとてもわかりやすいです。授業がすごく楽しみになります。」

こういったかつての取り組みを大学初年次授業にも一部取り入れたいと思うが、そのためには1クラスの人数ができれば40名以下が理想であろう。また、講義室は実験には向いていないので、実験の代わりに、あらかじめ実験を撮影した動画を用意しておいて、それを見せることも考えられる。大学生になると、なかなか率直に意見を出さなかったり、授業に向きあっていない学生がいるのでその辺にも難しさがあろう。しかし、高校教員時代の実践を生かして、少しでも、学生に面白さや興味を喚起するような双方向授業を模索したいと思う。

今回、Webクラスを用いて質量概念形成を試みたが、期待した通りとはならなかった。高校時代の取り組みでは、何より生徒相互間、教員ー生徒間の双方向のやり取りと実験の観察があった。生徒の感想にそれが現れている[8)]。今回、Webクラスで行った「取り組み1，2」だけでは、十分な概念形成には不十分だったと思われる。残されたデータがあり、分析も十分とは言えないので、今後、もう少し、分析を進め、授業に生かしたい。

引用文献及び注

1) 綿引隆文：「生徒の感じ方を大切にする授業－慣性の大小を表す質量概念の形成－日本物理教育学会誌「物理教育」Vol.40 － 1(1992).
2) 綿引隆文 湊淳 小澤哲；「高校における質量概念形成の実態と問題点」 日本物理教育学会誌「物理教育」Vol.53 － 1(2005).
3) 綿引隆文 湊淳 小澤哲；「質量概念の授業実践と概念形成過程についての考察」日本物理教育学会誌「物理教育」Vol.53-2(2005)133-140.
4) 綿引隆文：「大学工学部の初年級学生における質量の概念形成の実情」 日本物理教育学会誌「物理教育」Vol.69-4(2021)、151- 56 .
5) 綿引隆文：「Zoom の投票機能から知る工学系初年級学生の質量に関する誤概念」東京都市大学共通教育部紀要 Vol.14(2021)、105- 113 .
6) D. ハリディ他：物理学の基礎［1］力学、倍風館 .
7) 綿引隆文：「生徒の感性を養う『物理ウォッチング』の実践」(2000)
日本物理教育学会誌「物理教育」Vol.48-1、71-73.
8) 綿引隆文：博士学位論文「物理学の基本概念の形成及び発展を重視した高校物理教育の展開に関する研究」茨城大学大学院理工学研究科 (2006)
122 － 136. で高校生の生の感想を多数収録している。

【付録：物理ウォッチングの実例】

これまでの勤務校で実践した物理ウォッチングの生徒（学生）のレポートから印象的なものを抜粋して載せた。

・部活でテニスコートの整備をしているとき，重いローラーをかけるが，動かすとき力がいるが止めるときも結構力がいる。（那珂高女子）

・すずめは軽いので，すぐ止まれるけど，白鳥はいっぱい羽を羽ばたかせないと止まらない 。（那珂高男子）

・バスケ部のトレーニング用の重いボールがあるんです。そのすごく重いボールは、投げるときも受け取るときもすごくつらい。（那珂高女子）

・選手から放たれたハンマー（金属球）は放物線を描いて飛ぶ。だが，ピアノ線でつながれた取っては金属球に振り回されながら飛ぶ。金属球も取っ手に引き寄せられるが，取っ手が金属球に引き寄せられる程度に比べる　と極めて微量である。質量が大きい金属球は慣性が大きいからこのようになる。世界陸中をテレビで見たときに思った。（土浦一男子）

・何ものせていない一輪車をとめるときよりも大根がいっぱい乗せてある一輪車のほうが止めずらい。略…相撲を見る。小錦Vs寺尾。小錦は思いっきしつき押しで前に出る。寺尾の引き技。あっけないほどうまくこける。慣性がでかいからだろう。前に出たときの勢いをささえきれないんだろう。だが、勝った時は、もろに勝つ。慣性が大きいからねえ。（水戸一男子）

・昔やっていたマンガ、「コンバトラーＶ」というのを知っていますか？身長 57 m、体重 550 t という正義のみかたのロボット。空中を自在に飛び、なんなく止まったりする。これはとっても矛盾している。550 t がとてつもなく速く飛んで何のしかけもなくピタッと止まれるか！！すぐには、止まれないはずだ。（慣性がとても大きいはずだ）子供だましはいかんのう。（水戸一男子）

・軽量の相撲取りは押し出されたときに土俵の外側に留まることができるが、重量級の相撲取りは審査員席や客席に倒れ込んでしまう確率が高い。

・運動会の玉入れの玉は転がってもすぐに止まるが、大玉送りの大玉はなかなか止まらない。

・子ども用のお神輿はすぐに止まって曲がれるが、巨大なお神輿や山車はなかなか止まれないし曲がれない。

・山の小枝は転がってもすぐに止まるが、山の上から滑り落とす御柱（おんばしら）祭の巨木はなかなか止まらない。（本学応用化学科女子）

・一定の距離を走った後にスピードを緩めようとする際、何も持っていないときと、重いリュックを背負った状態を比べると、リュックを背負っている時の方がスピードを緩めにくい。（本学応用化学科男子）

・バイトで台車に商品の箱を乗せて品出しをしているが、重いペットボトル飲料が入った箱を乗せたときと、軽い袋菓子が入った箱を乗せたときを比べると、ペットボトル飲料の箱を乗せたときは台車を急に止めようとすると、袋菓子の箱の時に比べてかなりの力が必要になる。（本学応用化学科男子）

・テニスラケットと金属バットを横に振り、自分の前で止めようとしたときにテニスラケットは自分の前で止まるが、重量の重い金属バットは自分の前を通りすぎてしまう。（本学応用化学科男子）