

数理的見方・考え方を働かせて探求する教科横断型学習

—物体の浮揚と密度について—

新潟大学名誉教授 垣水 修

0. はじめに

教育は、子どもたちが変化し続ける今日の世界を理解し、自分自身の選択肢を拡大していくために、必要不可欠な役割を担っている。子どもたちには知識と才能を活用して、自分自身の運命を切り開いていく自由があり、したがって教育は、子どもたちが知識と思考力と想像力によって創造性を高め、様々な自由と可能性を増進させていくために、本質的で不可欠な役割を果たさなければならない。

学習指導要領には、子どもたち一人一人が持続可能な社会の担い手として、その多様性を原動力に、新たな価値を生み出していくことが期待されている、と述べられている([6]～[9])。主体的・対話的で深い学びの実現が目指すべき目標であり、そのために鍵となるのが「見方・考え方」である。「見方・考え方」を習得・活用・探求という学びの過程のなかで働かせ、より質の高い深い学びにつなげることが重要となる。

持続可能な社会に関する課題はすべての人にとって重要であると同時に、多様な領域と横断的に関連している。経済協力開発機構(OECD)によるPISA調査においては、例えば数学的リテラシーの概念は「多様な状況あるいは文脈において、数学を使用して問題を設定し、形式化し、解決し、解釈することのできる能力」であるとし、様々な文脈における現実的な問題に、数学的知識を適用することの重要性を強調している([10]～[12])。

我々は[1]において、多様な状況のなかで数学を使用し、数学に取り組む力を「数理的考察力」と名付け、教科横断的学習における数理的考察力を育むための課題設定について考察をおこなった。このような「様々な状況において機能的に使用される数学的知識」という考えは、数学的概念、構造そしてアイデアは、自然や社会等の現象を理解し、組織し、分析する道具として開発されたものである、という立場に基づくものであり、多様な形の問題・課題に対して「数理的見方・考え方」を働かせる学習が重要となる。

そこで本稿においては、「数理的見方・考え方を働かせて探求する教科横断型学習」について、物体の浮揚と密度に関する題材を取り上げ、それらに基づいた探求課題を多角的に分析しながら考察していく。

学習指導要領では、数学の学習は「数学的な見方・考え方」を働かせながら、知識及び技能を習得し、習得した知識及び技能を活用して探求することを重視している。これにより、学習内容が生きて働く知識となり、それが技能の習熟・熟達につながるとしている。さらにこのような学習を通して、より広い領域や複雑な問題を解決するための思考力、判断力および表現力が育成され、これによって自らの学びを振り返って次の学びに向かおうとする力が育ち、「数学的な見方・考え方」がより確かで豊かなものになっていくとしている([7], [9])。

また理科においては、「科学的見方・考え方」とは「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探求する方法を用いて考えること」であるとしている([6], [8])。

したがって「数理的見方・考え方」は、数理的に考える資質・能力を支え、方向付けるものであり、数学および理科の学習が創造的に行われるために欠かせないものである。数学と理科との教科横断的な学習は、子どもたち一人一人が目的意識を持って問題を発見したり解決したりする際に数理的見方・考え方を積極的に働かせるためのまたとない機会となるのであり、こうした経験を通して数理的見方・考え方がさらに豊かなものになっていくと考えられる。

本稿においては、第1節において科学史から見た数理的見方・考え方について、ガリレオの場合を例に概観する。第2節においては、物体の平均密度を題材として取り上げ、“土星は水に浮く”ことの意味について考える。第3節では気球が浮揚するための、浮揚に用いる気体を比較する題材を取り上げて考察する。

1. 科学史から見た数理的見方・考え方

近代科学の概念的、方法論的、制度的な基礎を築いたとされる17世紀の科学革命において、今日的な意味での「科学的方法」が確立されたと考えられている。その方法とは、単なる観察とは区別された構成的に計画された実験をおこない、その実験に現われる量的関係を数学的関数関係として把握し、この数学的関係を自然法則として樹立し、実験的に検証可能な理論を構築していくものである。

指導要領では理科の基本方針として、目的意識を持った観察・実験を行うことにより、科学的に調べる能力や態度を育てるとともに、科学的な認識の定着を図り、科学的な見方や考え方を養うこととし、実験は、「自然からいくつかの変数を抽出し、それらを組み合わせ、意図的な操作を加える中で、結果を得ようとする活動である」としている([6], [8])。

科学的知識とは、固定的な全体として伝えるものではなく、時代が必要とする様々な変化に対して開かれたものである。それは動的なものであり、常にその時代の認識と、その時代における有効性に関連付けられていなければならない。したがって数理的見方・考え方を子どもたちが身に付けるとは、「個々の事項内容を、数学的技能を用いて分析し、体系的な理論の中で根拠付けをおこない、それを様々な関連の中へ秩序立てて組み込み、そこからいくつかの結論を引き出すことができるような能力」を育てていくことである。

ここで自然科学における見方・考え方を整理しておく次のようになる[16]：

自然科学における見方・考え方

- ・ 私たちを取り囲む自然界に生起する様々な現象に対して、その奥に存在する法則を、観察事実を拠りどころとして追求する。
- ・ そして、この“観察事実”には、人間側から積極的に自然に対して働きかけることで引き出された“実験事実”も含まれている、という点が重要である。
- ・ さらに、自然の法則を数学的に表現すること、そして個々の法則をばらばらに発見するだけにとどまらず、そのなかから最も基本的なものをいくつか選び出し、それらを基にして、他の様々な法則が導き出されるような体系を作る。

実験と論証の密接な関係を示す歴史上の代表的な例として、ガリレオ・ガリレイの場合を簡単に振り返ってみることにする。ガリレオ(1564-1642)は近代科学の歴史のなかで、「数理的見方・考え方」に基づいて探求をおこない、近代科学の方法の確立に多大の貢献をした科学者である([13], [15], [16])。

ガリレオの場合

ガリレオは自分の考察したことがらを、要所々々で実験的に確かめながら研究をおこなった。このことから彼は、拠り所を観察事実に求めていたと言える。さらにガリレオは、法則のなかで最も基本的なものをいくつか数学の形で表現し、それを原理として、そこから様々な結果を導き出したと言われている。こうした手法の有効性は、あらゆることを個別に実験によって確かめなくとも、基本法則から多くのことがらを導くことができるという点にあり、さらにそれによって未だ誰にも観察されることのなかった事実まで、予見することができる点にある。ガリレオは、『新科学対話』(1638)のなかで、次のように述べている[14]。

・・・よく知られた、何人にも認められている原理を基礎とし、その上において議論を展開するということが論証科学の最も感嘆すべき、賞賛に値する特徴なのです。

ここで、『新科学対話』という書物の議論の流れは、次のようになっている[14]。「対話は四日に互って行われる。第一日は、運動の理論についての各種の問題が提出され、それらに就いての様々な間違った考えが述べられ、且つ批判される。批判はすべて事実の観察と実験とを根拠として行われている。したがってそれは、多彩且つ豊富な展望を含んでいる。第二日以後は、この結果を積極的に展開し、新しい科学を樹立したものである。」

2. 物体の平均密度

土星の平均密度

ここでは、次の文章にあるような“土星は水に浮く”ことの意味について考える。さらにこの題材が持つ、密度の学習における意義について考察する。この探求課題の文章は、国立科学博物館のホームページ「宇宙の質問箱—土星編」からの引用を用いて作成したものである[19]。土星の平均密度を求め、その値の意味するところについて考えることを課題とする。

土星の平均密度が、地球上での常温の水の密度よりも小さいことを計算で求め、そうであるならば「土星は水に浮く」と言えるかどうか、また子どもたちにはそれをイメージすることができるかどうかについて考察していく。さらにこのような課題を探求することは、密度とそれに関連する事項の理解に役立つかどうか、また太陽系の惑星に関する様々な事柄の理解に役立つかどうかについて検討していく。

探求課題 次の文章の□□に入る数値を、下記に示す基本データと探求方針に従い求めてみよう。

「もし、土星を浮かべられるほど大きなプールがあったとしたら、土星はプカプカと水に浮いてしまうことでしょう。なぜなら、土星の平均密度は水の□□倍で、いわば水より軽いからです。輪をのぞいた土星本体の大きさは、赤道半径が6万kmで惑星

の中では木星に次ぐ大きさです。また、その質量も地球の 95 倍で木星に次いでいます。大きさと質量の割合は木星よりずっと軽く、平均密度も木星では水の 1.3 倍なのに、それよりさらに小さくなっています。こんなに平均密度が小さいのは、土星や木星をつくっているのが、ほとんど水素やヘリウムといった軽い元素だからです。」

太陽と太陽系の惑星の密度を図鑑などから引用すると、次の表のようになっている。

	太陽	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星	冥王星
密度(g/cm^3)	1.41	5.43	5.20	5.52	3.93	1.33	<input type="text"/>	1.32	1.64	1.10

- (1) の値を求めるための探求活動 次の表の空欄を埋めていく形で、土星の密度を求めることにする。用いてよい条件は、表に既に記入された数値と、次の2つの条件である。
- 土星の質量は、地球の 95 倍である。
 - 土星の体積は、地球の 755 倍である。

	地球	土星
質量 (g)		
体積 (cm^3)	1.083×10^{27}	
平均密度 (g/cm^3)	5.52	

上記の方針にしたがって土星の平均密度を求めると、その値が 1 よりも小さいことが確かめられる。では次に、日常生活に関連する場面に、土星の平均密度と関係づけられるような比較対象があるかどうかを考えて見ることにする。こうした学習活動を通して、深い理解に繋がると考えられる。

(2) 硬式野球ボールの密度を求める活動 「公認野球規則」によると、野球の硬式ボールは次の条件を満たしていなければなりません [20]。

ア) 重量 : 141.7 ~ 148.8g

イ) 円周 : 22.9 ~ 23.5cm

この条件を基に、硬式ボールの平均密度を求める活動をおこなう。条件 イ) から

半径 : _____ ~ _____ (cm)

したがって

体積： _____ ～ _____ (cm^3)

これと条件 ア) から、密度が最小になる、最大になることが、どのような場合に起きるかに注意して密度を計算すると

平均密度： _____ ～ _____ (g/cm^3)

平均密度の取り得る値の中央値を取ることで、硬式ボールの平均密度は

_____ (g/cm^3)

であると考えることができる、という結論を得ることができる。

(3) 土星と硬式ボールの密度を比較して意味を考える活動 (1) と (2) の結果を比較して、子どもたちには“土星はプカプカと水に浮いてしまう”様子がイメージできるかどうか、様々な視点から考えて見ることが、密度の概念の理解にも太陽系の惑星の理解にも重要となる。

解法と考察

以上が土星の平均密度を題材とした、数理的見方・考え方を働かせて課題を探究する学習の流れである。土星の平均密度は、そして野球の硬式ボールの平均密度は、どのような値になったであろうか。導き方・計算方法の精細は省略するが、最終的な結果は、少数第3位を四捨五入すると、次の結果を得る。

$$\text{土星の平均密度} = \text{硬式ボールの平均密度} = 0.69 \text{ g/cm}^3$$

非常に興味深い結果である。第一に、常温での水の密度 1 g/cm^3 よりも小さい値であることが注目に値する。このことから、「もし、土星を浮かべられるほど大きなプールがあったとしたら、土星はプカプカと水に浮いてしまうことでしょう。なぜなら、土星の平均密度は水の 0.69 倍で、いわば水より軽いから」だということが分かる。硬式ボールも同様に「プカプカと水に浮いてしまう」ことになる。

第二に、土星と硬式ボールの平均密度が等しいということから、“土星は水に浮く”ことが、土星の密度が水の密度よりも小さいことであるとすれば、“土星は水に浮く”ということは“硬式ボールは水に浮く”ことと同値であることになる。子どもたちは、硬式ボールを水槽に浮かべて、土星が水に浮いている様子と同じなのだと納得することはできるであろうか？ 納得する場合と、少し違和感を覚える場合の両方あるだろうと思われる。

違和感があるとすれば、土星の巨大さと、土星は地球よりも何倍も大きいことから来ているかもしれない。そこで地球と土星の大きさを比べてみると、

$$\text{地球の半径} = 6,370 \text{ km} \quad \text{土星の半径} = 58,230 \text{ km}$$

したがって、土星は地球の 9.14 倍

となる。もしも地球の直径を 10 cm に縮小した場合には、土星の直径は 90 cm になる。直径で比較して地球よりも 9 倍も大きな土星を、どのようにして水に浮かべることができるのか、と思ってしまう子どもたちがいるだろう。このことを確認するためには、例えば黒板に直径 10 cm の円と、直径は 90 cm の円を描いて眺めてみるのがよい。

中学校学習指導要領の理科編においては、惑星および恒星の取り上げ方について、次のように述べられている。

「惑星の特徴については、大きさ、密度、大気組成、表面温度、衛星の存在を取り上げる。また各惑星の特徴を理解させるためには、惑星探査機や大型望遠鏡による画像を活用することが考えられる。惑星は大きさによって、地球を代表とするグループと木星を代表とするグループに分けられることを見出させ、大気組成や表面温度を比較する。」

したがって、土星と野球の硬式ボールとの比較は、さらに様々な有効性を持つはずである。そこでボールを実際に水槽に浮かべてみることで、どのようなことが見えてくるか、検討して見ることにする。

土星を水槽に入れたときの沈み具合

「土星はプカプカと水に浮いてしまう」ことをイメージするためには、土星を水槽に入れたときに、どのくらい沈み、どのくらい水面から顔を出すのかが分からなければならないであろう。硬式ボール、あるいは土星(!)を水槽に浮かべた場合、どのくらい沈み、どのくらい水面から顔を出すのか、調べてみることにしよう。

$x y z$ 座標空間において、原点を中心とする半径 1 の球体 D を考える。これが硬式ボール(あるいは土星)であるとする。球体 D の密度は 0.69 g/cm^3 であるとする。球体 D を水槽に浮かべたとき、水面が平面 $z = t$ になったと仮定しよう。すなわち、球体 D の $-1 \leq z \leq t$ の部分が水の中にあるとする。このとき、 t の値を求めてみよう。

球体 D の水の中にある部分の体積は、次の式で与えられる。

$$V = \pi \int_{-1}^t (1 - z^2) dz$$

このとき、 V を t の式で表すことを考える。 D の密度が 0.69 g/cm^3 であることから、 t の満たすべき条件は、

$$V = 0.69 \times \frac{4}{3} \pi$$

となる。これを満たす t の値はおおよそ $t = 0.26$ になることがわかる。以上から、次の結果を得る。

球体 D の $-1 \leq z \leq 0.26$ の部分は水の中に、
 $0.26 \leq z \leq 1$ の部分が水面から顔を出している。

この、物体を水中に入れた場合に、どのくらい水中に沈み、どのくらい水面から顔を出すのかという問題には、様々な場面で出会い、様々な考察の方向性がある。そこで、次のような例について考えてみることにする。

昔話『桃太郎』と桃の比重

昔話『桃太郎』のおはなしを思い出していただきたい。絵本での、川上から桃が流れてくる場面の絵は、多くの場合に桃の大部分が水面から出ている様に描かれている。桃の比重は（一般に多くの果物の比重は）、1に近い値を取り、0.93であることが知られている [17]。なぜなら、果物の成分の大部分は水だからである。したがって、本当は桃のほとんどの部分は水の中に沈んでいて、水面から出ている部分は、ほんの僅かだけになるはずである。

このような考察は「水中の物体に働く力」の学習として重要であるだけでなく、考えたことや調べたことを発表し、それを基に議論することによって「学習活動を通して、言語活動が充実するようにすること」に大いに貢献することも指摘しておきたい。

3. 気球の浮揚

この節においては、気球の浮揚を題材とした、数理的見方・考え方を働かせて探求する教科横断型学習について考察する。理科の学習には数学が必要不可欠であるが、逆に理科の学習を通して、数学の様々な概念のイメージが広がり、数学の考え方・使い方がより良く理解できるようになることが期待される。理科の学習と数学の学習をこのような形で結び合わせ、理科と数学それぞれの深い理解のために活用していくことは、今後ますます重要になっていくと思われる。そのための教材開発・教材研究が大切になる。

探求課題 大気圧 (1013 hPa) の下で、温度が 0°C の同じ体積の水素、ヘリウム、窒素、酸素の質量の比は、次の表のようになる。

気体	H ₂	He	N ₂	O ₂	空気
質量比	1	2	14	16	A

空気の組成は、体積割合で、窒素 80%、酸素 20% とする。上の条件において、水素 1 L の質量は 0.09 g である。また、B を質量 x g の薄くて柔らかいビニール袋とする。

- (1) A の値を求めよ。(少数第 1 位まで)
- (2) 温度 0°C 、大気圧の下で、袋 B に 0°C の水素を入れて空気中に浮かべたい。袋 B に入れる水素の量が、丁度 y L を超えたとき袋が浮かんだとする。このとき、 y を x の式で表せ。
(数値部分は、少数第 3 位を 4 捨 5 入)
- (3) 温度 0°C 、大気圧の下で、袋 B に今度は 0°C のヘリウムを入れる場合を考える。袋 B に入れるヘリウムの量が、丁度 z L を超えたとき袋が浮かんだとする。このとき、 z を x の式で表せ。(数値部分は、少数第 3 位を 4 捨 5 入)

さらに、(2) と (3) において、 y は x のどのような関数だろうか？ また z は、 x のどのような関数だろうか？

また、これらの結果に基づいて、ヘリウムの“物を浮揚する力”は、水素よりも「とても劣っている」か、それとも「わずかしかが劣ってはいない」と言えるか、考察してみよう。例えば、表か

らヘリウムは水素よりも、同じ体積で比べると、2倍重い。このことから、ヘリウムの“物を浮揚する力”は水素の半分しかない、と考えてよいだろうか？

物体の浮揚に用いる気体 ([18])

水素 イギリスの物理学者キャベンディッシュが 1766 年に初めて水素ガスを分離し、発見された。水素は様々な元素の中で最も基本的である。製法の例としては、亜鉛などの金属に希硫酸を反応させて発生させます。単体は H_2 で、無色・無臭の気体であり、水に溶けにくい。20 世紀初頭に、飛行船の浮揚ガスとして使われたが、引火しやすく爆発事故が相次いだ (1937 年 5 月 6 日に起きた、アメリカのニュージャージー州における飛行船ヒンデンブルク号の爆発 等)。

ヘリウム 1868 年、皆既日食の観測から発見されたと言われている。希ガス元素で、無色・無臭の単原子分子の気体である。工業的には天然ガスから分離して得られる。不燃性のため、水素よりも安全なガスとして風船や広告用バルーン等の浮揚用ガスとして利用されている。

課題の解法

(1) 空気の組成と「探求課題」の表から、 $A = 0.8 \times 14 + 0.2 \times 16 = 14.4$

(2) (y L の空気の質量) と、(ビニール袋の質量 x g) + (y L の水素の質量) が釣り合った状態を考え、そのときの y と x の関係を求めればよい。水素 1 L の質量は 0.09 g だから、 y L では $0.09 \times y$ g、また空気 y L の質量は $14.4 \times 0.09 \times y$ g。したがって

$$14.4 \times 0.09 \times y = x + 0.09 \times y$$

これから

$$y = 0.83x$$

(3) (2) と同様に考えると

$$14.4 \times 0.09 \times z = x + 0.09 \times 2z$$

これから

$$z = 0.90x$$

比例の意外な表れ方

(2)、(3) から、 y と z は、どちらも x に比例することがわかる。この例題は、比例関数が現実の場面において、予想しなかった形で現れる例であると言える。子どもたちの中で、問題文を読んで少し考えてみた段階で、 y や z が x の比例関数になるだろうと予想できた人はいるだろうか。このように、意外な形で比例という最も単純な関数関係が現れるということは、比例やひいては関数関係への興味を喚起する上で重要であると思われる。

水素とヘリウムの比較

それではここで、水素とヘリウムの“物を浮揚する力”を比べてみることを考える。同じ体積で比べると、ヘリウムは水素よりも2倍重いことが、表からわかる。このことから、ヘリウムの“物を浮揚する力”は水素の半分しかない、と考えて良いだろうか？という疑問が浮かぶ。

(2) と (3) で得られた関係式を見てみよう。

$$\text{水素のとき} \quad y = 0.83x$$

$$\text{ヘリウムとき} \quad z = 0.90x$$

比例定数の単位は L/g で、1g の物を持ち上げるのに、水素なら 0.83 L、ヘリウムなら 0.90 L 必要であることを意味している。比例定数の比を取ると

$$\frac{0.90}{0.83} = 1.084 \dots$$

となる。ヘリウムの方が水素よりも多く入れなければならない量は“1割増し”までいかないことがわかる。そうすると、水素とヘリウムの“物を浮揚する力”を比べた場合、思ったよりも大きな違いはないと言えるのではないだろうか。

ネオンの場合

参考に他の気体ではどうなるか調べてみることにする。希ガス元素の1つにネオン Ne がある。同体積で水素とネオンガスの質量を比べると

$$\text{水素 : ネオン} = 1 : 10$$

であることが知られている [17]。したがって、ネオンは空気よりも軽いことに注意しよう。ビニール袋 B にネオンガスを入れた場合には、関係式はどのようになるだろうか。ビニール袋 B に、 w L を超えたネオンガスを入れたとき、袋が浮かんだとすると、(2)、(3) と同様にして、次の関係式を得る。

$$w = 2.53x$$

水素の場合との、比例定数の比を取ると

$$\frac{2.53}{0.83} = 3.05 \dots$$

となり、ネオンガスを入れる場合には、水素の場合と比べて、約3倍のガスを入れないと浮かび上がらせることができないことがわかる。ネオンガスの場合には、“物を浮揚する力”は、水素やヘリウムと比べて、かなり劣っていると言えるだろう。

科学的に探求する力や態度、数理的見方・考え方を働かせて探求していく力は、一挙に獲得できるものではなく、探求するための十分な時間を設定しながら、繰り返して学習に取り入れていくことが必要となる。したがって教科横断的な学習を取り入れていくことは、複数の教科の学習を、同時におこなうことを意味することになる。この点においても本稿における提案と考察は、大きな意義があると考えられる。筆者は、教職大学院における「教科教育高度化分野」の授業において、理数融合の視点から、本稿で取り上げた題材を基に講義をおこなった [2]。また、筆者がこれまでに研究・開発してきた教材の例としては、[3]、[4]、[5] 等がある。

引用・参考文献

1. 垣水 修(2018)「教科横断的学習における数理的考察力を育む課題設定」,『新潟大学教育学部教育研究収録(第1集)』, 1-9
2. 宮藺衛・石川治・阿部好貴・大庭昌昭・垣水修・伊野義博(2021)「教科教育高度化分野における教科の実践的指導力高度化のためのカリキュラム開発」,『新潟大学教育学部研究紀要(人文・社会科学編)』Vol. 4, 81-100
3. 垣水修・伊藤建司・大久保隼・神崎直利・小菅彩香・柴田真奈美(2009)「エコロジカル・フットプリントを教材に用いた中学校数学科の授業」,『新潟大学教育学部研究紀要(自然科学編)』Vol. 2, 13-26
4. 垣水修・若井光男・大堀俊輔・影山権龍・平沢大樹・鳥居竜一(2010)「仮想水の概念を用いて環境問題について考える中学校数学科の授業」,『新潟大学教育学部研究紀要(自然科学編)』Vol. 3, 1-16
5. 垣水修・若月美里・斎藤孝太・藤崎雅史・藤田豪・有山由衣・小堺寛子・高橋彩(2012)「生物多様性の数量的評価を題材とする中学校数学科の授業」,『新潟大学教育学部研究紀要(自然科学編)』Vol. 4, 45-58
6. 文部科学省(2018)『中学校学習指導要領解説 理科編』, 学校図書
7. 文部科学省(2018)『中学校学習指導要領解説 数学編』, 日本文教出版
8. 文部科学省(2018)『小学校学習指導要領解説 理科編』, 東洋館出版
9. 文部科学省(2018)『小学校学習指導要領解説 算数編』, 日本文教出版
10. 国立教育政策研究所編(2002)『生きるための知識と技能 OECD生徒の学習到達度調査(PISA)』, ぎょうせい
11. 国立教育政策研究所編(2004)『生きるための知識と技能2 OECD生徒の学習到達度調査(PISA)』, ぎょうせい
12. 国立教育政策研究所編(2007)『生きるための知識と技能3 OECD生徒の学習到達度調査(PISA)』, ぎょうせい
13. H. バターフィールド(1978)『近代科学の誕生』, 講談社
14. ガリレオ・ガリレイ(1937, 原著 1638)『新科学対話』, 岩波書店
15. S. G. ギンディキン(1996)『ガリレイの17世紀』, シュプリンガー・フェアラーク東京
16. 朝永振一郎(1979)『物理学とは何だろうか』, 岩波書店
17. 食品科学便覧編集委員会 編(1978)『食品科学便覧』, 共立出版
18. 桜井 弘 編(2013)『元素111の新知識』(第2版 増補版), 講談社
19. 国立科学博物館ホームページ—宇宙の質問箱— (kahaku.go.jp)
20. 公認野球規則 2021 (fc2.com)