

＜論文題目＞

子どもの物理的認識に関する

定量的評価法・分析法の開発と授業実践への応用

東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科

学校教育学専攻 自然系教育講座

配置大学 東京学芸大学

R15-6002 堀井 孝彦

目 次

○研究の概要	3
○本文	
第1章 研究の背景と目的・方法	5
第2章 小学校理科物理分野の概要と課題	17
第3章 定量的な分析を通じた調査問題の開発	23
第4章 授業実践への応用	69
第5章 方法の妥当性についての検討	95
第6章 研究のまとめと今後の展望	107
○参考・引用文献	113
○謝辞	121
○附録資料	123

研究の概要

近年、世界各国の高等学校や大学の物理教育において、生徒・学生が学習する事前と事後に同一の標準的な調査問題を用いて、その正答率を比較することにより、授業を評価したり分析したりする方法がしばしば採り入れられるようになってきた。その標準的な概念調査問題の代表的な例としては、Hestenesら(1992)による力学概念調査(Force Concept Inventory, FCI)が挙げられる。FCIは、力学領域における授業評価の指標として、頻繁に用いられており、数多くの先行研究が存在する。例えば、Hake(1998)は、FCIの事前調査と事後調査との正答率から規格化ゲインという値を定義した。規格化ゲインは、FCIをはじめとした概念調査により授業評価を行った場合の定量的な基準として非常によく用いられている。

これまでに行われてきた数々の先行研究により、高等学校や大学の生徒・学生は、多くの素朴概念を持っているということが示されている。これらの素朴概念の形成は、生徒や学生の幼少期の日常生活にまで遡る。子どもが持つ素朴概念や、非常に変容しづらいことがよく知られており、特に1980~1990年代にかけて、多数の研究が行われてきた(例えば、Osborne and Freyberg, 1985, White, 1990など)。また、このような素朴概念は、理科系の大学生でさえ持っている指摘されている(例えば、Climent, 1982)。素朴概念は、たとえ、小学校理科の範囲であっても、物理概念の獲得や物理に関する知識・技能の習得を阻がいがいることがある。その反面、近年の物理教育においては、能動的な学習を通して素朴概念が物理概念へと変容経てこそ、確かな概念形成ができるという見方が主流である(例えば、Redish, 2003)。そのため、物理分野についての学習が始まる時点からの授業改善が必要である。

日本の小学校において物理分野の学習が始まるのは、小学校第3学年の理科学習が始まる時である。小学校理科に関する調査問題としては、例えば、国が行っている、全国学力学習状況調査理科が存在するが、これは、物理分野に特化したものではなく、概念の獲得や知識・技能の習得に関して重点的に問うたものでもない。そこで、小学校理科物理分野に特化した、概念の獲得や知識・技能の習得に関して重点的に問う調査問題を新たに作成することにした。

調査問題の作成にあたっては、小学校理科物理分野に関する数々の先行研究から引用しながら、「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」等の領域に分けて、小学校理科物理概念一覧表をつくることから始めた。そして、自らの授業実践や過去の校内テストに出題した問題とこの一覧表を照合しながら多肢選択方式による調査問題案を「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」に分けて作成した。その後、被検者の回答理由記述や回答状況等に基づいて、問題を数次にわたって見直して、30問の検証版調査問題を作成した。この段階で、領域を「力と運動」に絞り込んだ。

検証版調査問題においても、それまでと同様に児童の回答理由記述に基づく

定性的な分析を行うとともに、正答率等の古典テスト理論に基づいた定量的な分析を行った。さらには、現代テスト理論の1つとしてよく知られている **Rasch** モデル (**Rasch,G.,1960/1980**) を用いて分析することにより、問題の項目困難度を推定し、あらかじめ難易度が設定された問題群を出題することにした。これを確定版調査問題とした。ここまでの、子どもが持つ物理的認識の評価法と分析法の開発に相当する内容である。

次に、筆者の勤務校である、国立大学附属 **S** 小学校の第 **6** 学年児童を対象として、確定版調査問題を用いて事前調査を行った。その事前調査の分析・検討の結果を、「てこの規則性」の授業実践における、学習指導計画の修正に用いるとともに事前調査－事後調査の比較によって開発した調査問題の有用性と妥当性を分析・検討した。その際、回答が有効であった **33** 名について、前述の **Hake** の規格化ゲインを、指標として用いることによって、「てこの規則性」の内容に関する **10** 問についての定量的な授業分析・評価が可能なが示された。また、事前調査の結果は、詳細な授業の計画を行う上で有用であることが示された。

第1章 研究の背景と目的・方法

1-1 本研究の背景と諸問題

1-1-1 素朴概念をめぐる問題

近年、世界各国の高等学校や大学で、学術研究と連動した、調査に基づいた、物理教育、および、物理授業の改善が多数行われるようになってきた。これは、主に、米国の物理教育研究 (Physics Education Research, PER) で開発された、妥当性と信頼性の担保された方法を用いたものである。その例として、例えば、Redish, 2003, Beichner, 2009 などが挙げられる。

この学術研究と連動した調査の指標として、中心的な役割を果たしているのが、PER で開発された、多肢選択方式による調査問題である。その典型的な例として、力学の授業において、世界各国で標準的に用いられているのが、Hestenes ら(1992)による Force Concept Inventory (FCI) や Thornton と Sokoloff らの物理教育研究グループ (1998) による、Force and Motion Concept Evaluation (FMCE) などがある。特に、FCI は高等学校や大学における、授業の事前調査、事後調査として用いて、正答率を比較することによって、授業実践の効果を測定することができる。その際、しばしば用いられているのが、Hake (1998) による規格化ゲインである。

このような取り組みが行われるようになってきた背景としては、先概念、代替概念等とも呼ばれている、生徒や学生が持つ素朴概念の問題が挙げられる。Climent (1982) によれば、理科系の大学生でさえ多数の素朴概念を持っているという。子どもの素朴概念に関する研究は、1980年代から1990年代にかけて、数多く行われてきた。例えば、Osborne and Freyberg (1985), White (1990) 等が挙げられる。

日本においても、堀 (1990) は、「児童・生徒の持っている概念は早期に形成・獲得され、非科学的・前科学的であることが多い」と述べている。さらに、麻柄 (1996) は、学習者の誤った知識が修正されにくい原因について、「誤った考えがスキーマとして作用して、既知の単純な事実がそれに同化する形で歪められるために、問題解決に必要な情報が正しく認知構造に取り入れられない」(第1段階)、「かりに情報が正しく認知構造に取り入れられたとしても、誤った考えと相互交渉を持ちえず、それだけで孤立化した知識を構成してしまう」(第2段階)といった2つの段階による困難モデルを提示している。

この麻柄のモデルを適用すると、とりわけ、小学校理科においては、これらが1つの授業の中で同時に起こることさえある。そのため子どもがどのような概念や知識・技能を持って学習に臨んでいるのか、適宜把握しておくことは、授業者にとって大変重要なことである。子どもが持つ概念や知識・技能を、事前調査の結果から把握しておくことにより学習指導計画の修正が可能となり、学習効果がより一層向上することが期待されるからである。

同じく麻柄は、「学校教育では誤った認識を修正するためにしばしば反証例が用いられる」「この方法では学習者の誤った知識を発動させそれを意識化させることが必要となる」「このような方法を用いる場合には以上のような2段階の困

難に直面する可能性が本研究から示されたことになる」「概念的葛藤がそれほど大きくなかったり、学習者個人の資質等によって、このような可能性が回避される場合には、結果として反証例が効果を持つのであろう」と述べている。また、反証例を用いることなく、誤った知識を修正する方法として、「互いに関連づけられない知識が認知構造の中に存在し、さらに各々に基づく複数の推理プロセスが同時に存在しうる」「したがって使用すべき知識の種類を変えた「質問」を行えば、それに応じた推理プロセスが活性化され、異なる「解答」がもたらされる」「この方法によって学習者から「正答（正しい予想）」を引き出すことが可能である」「もちろんこの段階では学習者にとってどれが実際に正しいのかは決着がつかない」「しかしどの予想が正しいかを調べるための実験をその後に行いその結果を観察すれば、実験結果を納得して受け入れることは容易になると考えられる（この点を実際に確かめることは今後の仕事となる。）」と述べている（以上、麻柄（1996）より引用）。

これらの反証例がある場合、ない場合に関わらず、筆者のような、小学校教員は、授業実践等を通した日々の教育的営みの中で行っていることである。実際に素朴概念から科学的概念への変容が見られる児童と、素朴概念を保持し続ける児童の違いは大きい。その実態については、第4章で示す。

1-1-2 幼年期の科学教育の問題

子どもが小学生の期間、すなわち、学童期においては、日本の場合、子どもは、9年間の義務教育の前～中期に小学校で学ぶ。言うまでもなく、現在のシステムでは、理科学習は、第3学年から第6学年にかけて行われており、主として、理科教育、科学教育、物理教育もまた小学校理科を中心に行っていくことになる。

ところが、学童期から遡り、幼年期の子どもをとりまく科学教育に関して十分ではないという議論もある。ここには、理科教育、物理教育も含まれるものとして解釈する。例えば、隅田・深田（2005）は、「日本の幼年児を対象とした科学カリキュラムは、子どもたちの興味・関心が大切にされ、自発的な活動を通じた発見や試行錯誤が重要視されているのが特徴であるが、今回分析を行った同年齢段階の子どもたち向けの諸外国の科学カリキュラムの到達点から考えると、我が国において幼年児の科学コンピテンスをいっそう高めるような科学教育は十分に可能であろう」「とりわけ、自由遊びの価値を過大に強調し、教師の役割を受け身的なものに限定することによって、幼年期の素朴な知的好奇心を、科学的な探究や科学的思考に十分橋渡しできていない可能性が大きい」「幼い子どもだから具体的な思考しかできず、概念的思考ができないという前提は、今日的な研究成果から完全に否定されていると言って良い」と述べている（以上、隅田・深田（2005）より引用）。

1-1-3 乳幼児期の概念形成、構築、獲得についての先行研究

子どもは生まれて数ヶ月の頃から、身の回りのさまざまな事象との関わりを通して、概念を形成・構築・獲得していく。小学生を中心とした子どもの物理的

認識に把握するために、その前段階に相当する乳幼児期の物理的認識に関する知見についても調べておく必要がある。

子どもの発達についての研究が体系化されたのは、約 70 年も前のことになる (Piaget, 1952)。ところが特に、乳児の場合は、言語を媒介として、概念の形成・構築、獲得状況等について、調査していくことができない。そこで、次のような方法がしばしば用いられている。

①選好注視法

乳児など言語等による調査が難しい被検者を対象として、注視している時間を指標とする調査方法である。例えば、加藤 (2009)、および、山口 (2010) によると、これを体系化したのは、Fantz (1963) であるとの記述がある。

②慣化－脱慣化法 (もしくは、「馴化－脱馴化法」)

ある物を長く見るとそれに慣れ、最初に見た物と新しい物を同時に見せると乳児などの被検者が、新しいものを好んで注視するということを用いた調査方法である。例えば、小杉 (2007) によると、慣化－脱慣化法は、Woodward (1998) の実験が先駆けであるとの記述がある。

このように、乳児を対象とした、注視している時間を指標としている研究は、数多く行われており、例えば、Woodward (1998) は、上記の慣化－脱慣化法によって、生後 5 ヶ月の乳児が、もうすでに人間の動きと物の動きとを、区別していることについて明らかにした。また、Piaget (1954) によって見いだされた、生後 9 ヶ月の乳児がすでに物体の永続性に関する概念を持っているということについて、Baillargeon (1998) は、生後 6～8 ヶ月の乳児が、もうすでに同概念をもっていることを明らかにした。

そして、日本においては、且 (2007) は、「支え関係の理解について乳児の認知の発達を見てみると、3 ヶ月で物が宙に浮いているのはおかしいということが理解され、6.5 ヶ月になると上の物が下の物に十分にのっていないと落ちることが理解され、10 ヶ月でたとえ上の物の重心が下の物の上ののっていたとしても下の物の幅が非常に狭いと上の物が落ちることが理解されることが示された」と述べている。

さらに、小杉 (2014) は、Y と H の男児 2 名を対象として、慣化－脱慣法による実験を行うとともに、母親の育児日記を手がかりとして、これらの調査を行った。そして、「生後 5－7 ヶ月において、物理的因果性と目標指向－つまり、心理的因果性－を知覚していた」「そして、H 児実験結果からは、生後 5－7 ヶ月の間に、この知覚が発現した可能性が示唆された」と述べている。

以上の先行研究から子どもの物理的認識は、すでに乳児期より始まっているということを、裏付けることができる。

一方、本研究においては、主としてその対象としている学童期と乳児期との間に位置付く、幼児期における物理概念に関する研究についても調べておく必要

がある。北田（2016）は、年少児（4歳児）と年長児（6歳児）に対して、物の永続性（あり得る現象とあり得ない現象としての魔法）についての調査を行った。同じ条件のもとでの乳児期と幼児期に関する研究は少なく、同じく北田（2016）によると、「唯一、乳児期研究での課題と同じものを幼児で研究した研究に、Chandler&Londe（1994）がある」「彼らは乳児期の素朴物理研究（Baillargeon et al.（1985））で扱われたあり得ない現象を繰り返し4歳児に見せた」とある。北田（2016）は、「幼児を対象とした先行研究では、物理的にありえない現象しか取り扱っていないため、年少児においてあり得る現象も含めて物理概念全体が揺らいでいるのか、あり得ない現象に対する認識のみ揺らいでいるのかは不明である」「どの研究も乳児期の素朴物理学研究の繋がりは不十分であり、乳児期に獲得した物理概念と魔法との関連は明らかになっていない」と述べている。

北田（2016）は、「あり得る現象に対する認識は、基本的な物理概念を獲得した乳児期から幼児期にかけて、変わらず安定して持っているといえる」「あり得ない現象での評定得点、表情得点は年齢差があり、年長児は年少児より高い」は、評定得点でのみ支持された」という結果を得て、その結果に対して、「年少児があり得る現象とあり得ない現象を区別できていない」「実験装置が年少児のあり得ない現象の判断に影響した」「年少児は現実と空想の区別が曖昧であるために、あり得ない現象への認識が揺らぐ」という解釈をしている（以上、北田（2016）より引用）。

以上の通り、生後3ヶ月の頃から、少しずつ子どもの概念形成・構築、獲得が始まっていることが明確に分かるようになり、これらの概念の中で実際にあり得ることについて、乳児期から幼児期にかけて揺らぐことなく、また、年長児になって、物の永続性についての認識を持って、子どもは小学校入学を迎えることが分かる。これらの先行研究に基づいた知見を前提として、本研究を進めていくことにする。

1-1-4 小学校理科の調査問題をめぐって

日本の小学校における調査問題は、その代表例として、2012（平成24）年度から復活した全国学力・学習状況調査（文部科学省、2012/2015/2018）を挙げることができる。このほか児童の学力等に関する調査は、民間企業等においても、多数行われている。

しかしながら、これらはいずれも理科のすべての区分・領域について問うものである。すなわち、平成20年改訂の前小学校学習指導要領に関しては、「自然事象に対する関心・意欲・態度」「科学的な思考・表現」「観察・実験の技能」「自然事象についての知識・理解」という4つの観点について、また、現行の小学校学習指導要領では、「知識・技能」「思考力・判断力・表現力」「主体的に学習に取り組む態度」の3観点に関する問題を出題したものである。よって、本研究で分析・検討していく、小学校理科物理分野における概念、知識・技能について、特化して調査していくものではない。さらには、平成27年度の全国学力・学習状況調査の最初の問題1に出題されているように、子どもが行う実験として、

明らかにあり得ない事象について問う問題もある。この問題では、「(前略) そこで、かつやさんは、温度が高くなることによって金属がどれくらいのびるのかを本で調べました。(中略) 温度が高くなってもふりこの1往復する時間が最も変わりにくい金属は、4種類のうち、どの金属といえますか。下の1から4までの中から1つ選んで、その番号を書きましょう。また、その番号を選んだわけを書きましょう。1 アルミニウム 2 銅 3 金 4 鉄」(平成27(2015)年度全国学力・学習状況調査理科より引用)」と出題されている。10℃のときに1000.0 mmの金属が40℃のときにどの程度膨張するかによって、どの材質による振り子の軸の時計が最も正確さの変化がしづらいかについて問う問題だが、これらの金属の中で、最も膨張しやすいアルミニウムと最も膨張しづらい鉄との40℃のときの長さの違いは0.4 mm未満である。この程度の違いは、日頃の授業においては、児童実験による誤差が吸収してしまう範囲である。この問題が適切であるかどうかここでは議論しない。全国学力・学習状況調査のように、国家事業として行われている調査における理科問題でさえ上のような問題が含まれていることを考えると、定量的で客観的な調査問題を作成することは非常に難しいということが分かる。

そこで、高校生の物理、大学の教養レベルの物理の力学領域における標準的な概念調査問題として世界各国で多数実施されている FCI に代表される概念調査問題と同様に、主に小学生を対象として、小学校理科物理分野の力学領域に特化した概念、知識・技能に特化した調査問題を新たに作成していくことを目指していくことにする。

1-2 研究の目的

1-1 で述べたように、本研究の背景と諸問題としては、次のようなことを、挙げることができる。

- ・子どもがもつ物理概念は、子どもが生まれてからまだ数ヶ月の乳児期の段階に始まり、小学校への入学直前の年長期においてあり得る現象とあり得ない現象の弁別が可能になる。
- ・小学校児童が持つ素朴概念は、当該児童が中学校・高等学校の生徒になったとき、場合によっては、大学の学生になったときにまで、影響する可能性がある。
- ・子どもがもつ素朴概念は、正しい概念の獲得や、知識・技能の習得を阻がいがいることがある半面、学習活動を経て素朴概念から科学的概念への変容の過程を経て正しい概念への変容が見られることも少なくない。
- ・可能な限り、小学校段階で克服しておきたいこと。そのために、事前調査によって、児童が持つ素朴概念や誤概念の状況を、事前調査によって把握し、学習指導計画を修正して授業実践を行うことにより、これらの素朴概念や誤概念を克服できる可能性があること
- ・現在日本国内で小学校児童を対象として行われている調査問題は、物理分野

に特化したものではなく、また、概念、知識・技能に焦点を当てて調査していくものではないため、新たにこれらに適した定量的で客観的な調査問題を作成する必要があること

等が挙げられる。

本研究においては、これらのことを研究の背景、および、諸問題として捉えて、研究を進めていくことにする。これらを踏まえて、研究の目的の設定にあたって、小学校理科物理分野において、「客観的に授業分析・評価を行うことができる、定量的な概念調査問題を作成すること」「実際の授業実践で事前調査と事後調査にこの調査問題を用いること」「事前調査の結果を分析・検討し見いだした課題や問題をもとに、学習指導計画を見直し、事前調査の結果を反映させながら授業改善を目指すこと」「事後調査を行って、事前調査の結果と比較・検討しながら分析・検討することによって、授業効果が表れたかどうか検証すること」「検証結果をもとに、十分に改善できたこととできなかったことを見いだして、今後の授業づくりに生かすこと」の5つが重要になる。以上に基づいて、本研究の目的は、次の2つに集約される。

<目的1> 子どもがもつ素朴概念を反映した調査問題を作成し、子どもの物理的認識について、客観的な視点から検討することができる、定量的な評価法・分析法を開発すること。

<目的2> 開発した評価法・分析法を実践に用いて、事前調査の評価・分析から得られた情報を学習指導計画に反映させること。また、事前調査と事後調査との比較による、授業効果の定量的な分析・評価への実用性を検証すること。

1-3 研究の方法

1-3-1 学術研究の授業研究への還元を

上の1-1、および、1-2を踏まえて、次のような方法で本研究を進めていくことにする。

本研究において、その核となるのが、小学校理科の物理分野における概念調査問題の作成、および、これらの授業評価・改善への応用として、実際に授業実践研究と事前調査－事後調査を行い、定量的でかつ定性的な方法を併用しながら、授業効果を検証していくことの2つである。

そこでまず前者について述べていく。なお、日本の各学校において、研究授業を中心とした授業実践に関する研究のことを、しばしば、「授業研究」、もしくは、単に、「研究」と呼ぶことが多い。本研究においては、「学術研究」としての研究と授業実践に関する研究を区別するため、前者を「学術研究」、もしくは、単に「研究」、後者を「授業研究」と呼ぶことにする。

本研究は、主として小学校児童を被検者として、また、一部中学校（中等教育学校を含む）生徒、および、高等学校生徒を被検者として調査を行っていく一方で、そこから得た知見を、主として小学校の授業研究や日頃の授業実践へと還元していくことを目指す。

1-3-2 PERにおける標準的な調査問題

PER で標準的に用いられている、客観的な視点に基づいた定量的な調査問題の代表例として、Hestenes ら（1992）によって開発された Force Concept Inventory (FCI) がある。また、Thornton と Sokoloff らの物理教育研究グループ（1998）による、Force and Motion Concept Evaluation (FMCE) も、しばしば用いられている。これらの対象は高等学校生徒や大学教養レベルの学生が中心であり、FCI と FMCE が併用され、その成績が研究目的に比較されている場合もある（例えば、Thornton, 2003 など）。

PER が生まれた背景には、米国における物理離れの問題がある。すなわち、1970年代に米国の高等学校の物理選択率が下がり始めて、1980年を前後して、物理の選択率が20%を切る状態にあった（American Institute of Physics, 2008）。従来、米国の高等学校や大学においては、伝統的な講義形式による、物理授業が行われており、教員が周到な準備をし、懸命に授業を行ったとしても、その割に生徒、学生の概念獲得状況も芳しくはなく、授業効果が上がらないという状況にあった。米国における物理教育の改革への動きは、このような状況に端を発するものである（例えば、Redish, 2003）。

そこで、例えば、Mazur による Peer Instruction (1997)、Sokoloff and Thornton による Interactive Lecture Demonstrations, ILDs (Sokoloff1997/2001)、McDermott らによる Tutorial (Shaffer, 1992) (McDermott,1994) 等の Active Learning を採り入れるようになってから、生徒・学生の概念獲得状況も良好になっている（Redish, 2003）。そして、米国の物理選択率も向上している（American Institute of Physics, 2008）。

日本においては、2000年代に入ってから、本格的に高等学校や大学の授業が改善されるようになり、上記の PER の方法や標準的な調査問題としての FCI や FMCE 等の導入によって、高等学校生徒や大学学生の概念獲得状況を把握するとともに、その研究成果に基づいて授業改善が行われるようになってきた。

例えば、PER で標準的に用いられて客観的な視点に基づいた調査問題としての FCI は、Hestenes ら（1992）によいって、主として高校生・大学生を対象として開発されたものである。FCI は、高等学校や大学の物理授業（力学領域）における、生徒・学生の素朴概念の発生状況と物理概念の獲得状況を、定量的に分析するためのツールとして、世界各国の高等学校や大学等で幅広く用いられている。

FCI には物理概念と素朴概念に関する一覧表が添付されている。30問の問題の全選択肢が、これらの表のどこかに位置付けられており、物理概念、もしくは、素朴概念に、それぞれ対応している。FCI はその作成過程において、生徒・学生

がもつ素朴概念について、複数校における莫大な人数分の調査結果が分析・検討されている。多肢選択方式による調査では十分に分からない生徒・学生の考えについては、インタビューによる調査も行われて問題の改良が行われた。(同じく、Hestenes, et al.,1992/1995)。

1-3-3 PER を援用した調査問題の作成

本研究においては、PER の方法によって、FCI が作成されてきた過程から、可能なところは援用しながら問題の作成を行う。すなわち、まず、国内の小学校第3学年から第6学年の理科における物理分野の学習内容について議論された先行研究から、「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」等、物理分野の領域別に、物理概念、知識・技能、および、子どもが持つ素朴概念を抽出して、表1-1に示すような「小学校物理概念一覧表」を作成する。この一覧表と筆者の授業実践や校内テスト作成の経験等照合しながら調査問題の原案を作成していく。問題の作成のしかたの詳細については、第3章に示す。

FCI が作成された手続きと異なるのは、調査の際に、インタビューに代えて、被検者の児童・生徒に、可能な限り回答理由を記述させて、その情報によって、調査問題や選択肢の妥当性について検討することである。被検者児童の中には、回答理由記述を読んで解釈すると、正答選択肢を選んでいるにも関わらず素朴概念を持っているということが明らかになる場合と、誤答選択肢を選んでいるにも関わらず物理概念を持っていることが明らかになる場合とがある。前者のことを「偽正答」、後者のことを「偽誤答」と呼ぶ。まずは、回答理由記述から

表 1-1 小学校理科物理概念一覧表 ※「次期関連学年」は2015年当時による

小学校理科物理分野における概念一覧表(力と運動)							
概念番号	内容	習得させたい知識・技能・概念 ※学習指導要領・教科書等によるもの (但し、現行のものにとられない)	次期 関連 学年	素朴概念・誤概念1	素朴概念・誤概念2	素朴概念・誤概念3	素朴概念・誤概念4
F3101	物と重さ	軽い物にも質量はある。	小3	髪の毛1本や綿などには重さはない。			
F3102	物と重さ	アルミホイルをまるめても質量は変わらない。	小3	アルミホイルをまるめると重くなる。	アルミホイルをまるめると軽くなる。		
F3103	物と重さ	粘土を分けても質量は変わらない。	小3	粘土を分けると軽くなる。	粘土を分けると重くなる。		

問題自体や選択肢の見直しを図って精度を高めていく。

PER において、しばしば行われている方法は、学習前の調査（プレテスト、もしくは、事前調査）と学習後（ポストテスト、もしくは、事後調査）に、同一の調査問題を用いて調査を行い、その結果を比較して、授業の効果を測定するという方法である。ここで、標準的な指標として広く用いられているのは、規格化ゲイン（Hake, 1998）である。規格化ゲインは、次の式によって表される。

$$g = \frac{\text{事後テストのクラス平均} - \text{事前テストのクラス平均}}{100 - \text{事前テストのクラス平均}} \cdot \cdot \cdot (1-1)$$

本研究においても、Hake の規格化ゲインを用いて、作成した調査問題についての情報を得たり授業評価を行ったりすることを目指す。

1-3-4 古典テスト理論と現代テスト理論との併用

本研究の特性として、被検者の調査結果について、客観的な手法により定量的な方法で分析していくことが挙げられる。その 1 つが、古典テスト理論による分析であり、従来の平均点、最高点、最低点、点双列相関係数、分散、Cronbach の α 係数等である。このほか項目特性図（豊田，2012）を用いることによって、調査問題の合計得点に基づいて、各層の被検者がどのような選択傾向を示しているのか把握するとともに、調査問題が良好に機能しているのかどうか視覚的に把握し、調査問題や選択肢が、適切に機能しているかどうかについて確認するための情報の 1 つとする。豊田ら（2014）は、「項目特性図（豊田，2012）は、設問解答率分析図（菊地，1999）もしくは設問回答率分析図（吉村，2009）、層別解答率図（大津，2006）といった様々な呼称のもと、広く利用されている。」と述べており、項目特性図が唯一の名称ではない。

さらに、古典テスト理論に基づいた分析以上の情報を得るために、現代テスト理論の 1 つである Rasch モデル（Rasch, G., 1960/1980）を用いる。現代テスト理論でよく用いられるものに、項目反応理論、もしくは、項目応答理論（Item Response Theory, IRT）がある。IRT の中で、よく用いられているものの中に、1-パラメタ・ロジスティックモデル、2-パラメタ・ロジスティックモデル、3-パラメタ・ロジスティックモデルがある。一方、Rasch モデルは、1-パラメタ・ロジスティックと数学的に同等である。ただし、解釈のしかたが異なっており、1-パラメタ・ロジスティックモデルが、被検者のデータをもとにして、モデルを作成していくのに対して、Rasch モデルは、1つの理想的なモデルに被検者のデータを適用させていくという方式をとっている。

ここで Rasch モデルの特性について確認しておく必要がある。Rasch モデルにおいても IRT においても、横軸の同一線上には被検者の能力値パラメタ θ_i と問題のパラメタ項目困難度 δ_j をとり、縦軸には正答確率をとる。Rasch モデルは、被検者の能力値パラメタ θ_i と項目困難度パラメタ δ_j との差を変数とすると、図 1-1 のような曲線で、正答確率 $P(\theta_i, \delta_j)$ を表すことができる。この曲線群は 1 つの曲線群を被検者の能力値パラメタ θ_i と項目困難度パラメタ δ_j との差という変数に対する正答確率に応じて、横軸方向、もしくは、縦軸方向に平行移動した

けのものである。例えば、能力値が 0.000 の潜在特性値の被検者は X9 の問題に対する正答確率は 80%を超えているのに対して、X12 の問題に対する正答確率は 50%を少し超える程度、X10、X11 の問題に対する正答確率はともに 50%を切っていることが分かる。一方、正答率が 50%の問題に対する潜在特性値がこの問題の項目困難度を表しているので、これらの 4 問の中では、X9 の問題が最も項目困難度が低いため易しく、X11 の問題が最も項目困難度が高いため難し

項目特性曲線 (ICC)

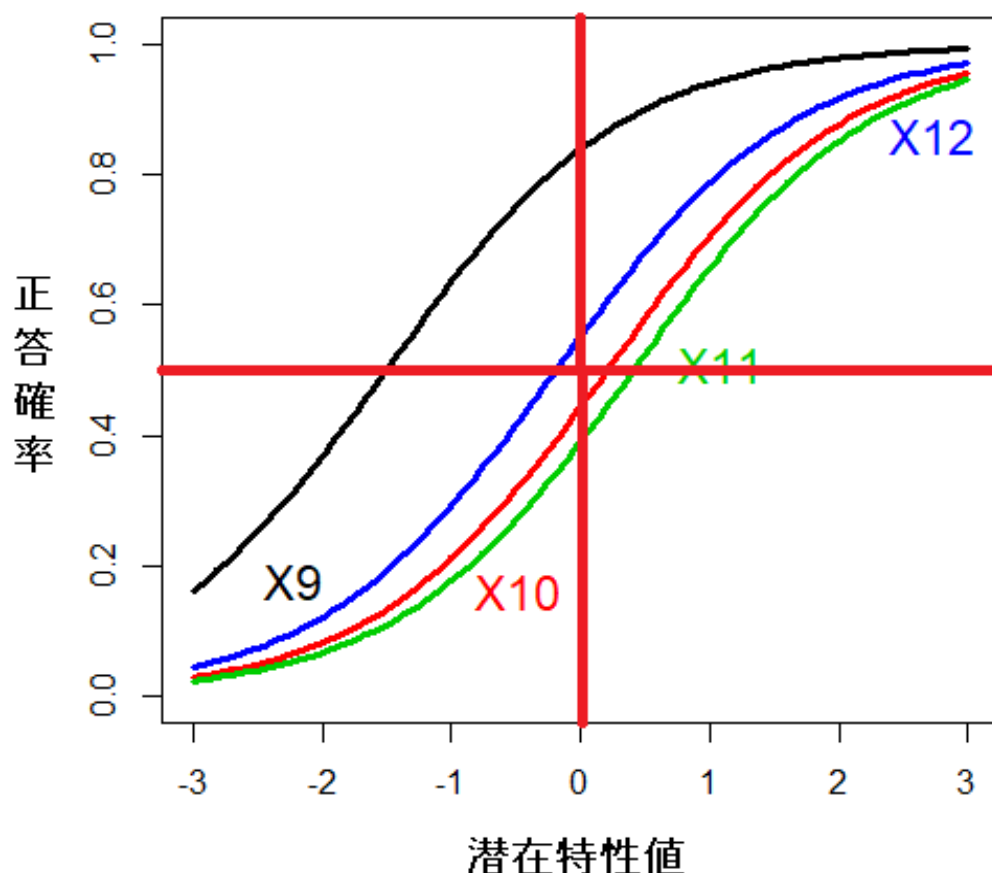


図 1-1 Rasch モデルの項目特性曲線

※ただし、ここでは検証版に至るまでの間に、途中で試用した問題における項目特性曲線を用いた。X9～X12 は、当該調査問題の間 9～問 12 を表している。

くなる。

Rasch モデルにおける正答確率 $P(\theta_i, \delta_j)$ は、被検者の能力値パラメタ θ_i と項目困難度パラメタ δ_j との差を変数として、次の式のように表される。

$$P(\theta_i, \delta_j) = \frac{\exp(\theta_i - \delta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \delta_j)} \cdot \cdot \cdot (1 - 2)$$

勿論、正答確率 P も、被検者の能力値パラメタ θ_i も、項目困難度パラメタ δ_j も、正確に求めることができるが、このことは第3章に示す。

こうして、各問の項目困難度と被検者の能力値を手がかりに、調査問題としての妥当性を分析、検討し、数度の調査による見直しを加えた、力と運動の領域における、特定の単元の授業実践に合わせて、検証版調査問題を作成し、これらの問題から選択して、あらかじめ難易度を設定した確定版調査問題を作成する。

確定版調査問題ができたなら、当該単元の授業の導入前か導入時期に事前調査を行うとともに、一連の授業の終了後に事後調査を行う。これらの結果を比較・検討する。なお、調査問題の妥当性について検討するため、筆者の勤務校である国立大学附属S小学校第6学年の授業担当学級以外の学級、国立大学附属K小学校、東京都公立T小学校、東京都公立E小学校においても、同様な方式で、事前調査と事後調査を行う。ただし、学校によって、カリキュラムや教科書等が異なっているので、同じ学年でも、調査時期は異なる。しかしながら、単元への導入前のあまり時間が経たない時期から導入時に事前調査を行い、単元の終了後のあまり時間が経たない時期に、事後調査を行うのは同様である。

また、前述の通り、PERにおいて幅広く用いられている、Hakeによる規格化ゲインを求めて授業評価のための指標の1つとする。そして、授業実践研究の実際について踏まえながら省察し、授業改善に向けての方略を見いだしていく。授業改善の成果が見られたかどうかについては、同じ学年において、筆者が理科授業を担当している学級の児童と、担当していない学級の児童を比較する。

こうして実施した事前調査と事後調査の結果を、各問題の正答率の比較、問題全体としての正答率の比較、Hakeのゲイン等によって分析し、当該単元の学習を通して、授業効果が出ているかどうか確かめる。それと同じくして、子どもが持つ素朴概念や誤概念の発生状況や、再度、正しい物理概念と子どもが持つ素朴概念や誤概念が、各問題の各選択肢で適切に分離できているかどうかについて検証し、問題としての精度を高めるための手掛かりを見いだす。

以上のような手続きで本研究を進めていき、本研究の目的の遂行とともに、世に問うとともに、勤務校はもとより小学校理科教育、物理教育の発展に還元していくことを目指す。なお、授業実践は、第6学年配当の「てこの規則性」の単元にて行い、確定版調査問題もこれに合わせて作成する。

第2章 小学校理科物理分野の概要と課題

2-1 小学校理科物理分野の概要

日本の小学校理科には、物理という科目は勿論存在せず、現行小学校学習指導要領（平成29年3月告示）においては、例えば、第3学年の「電気の通り道」、第4学年の「電流の働き」、第5学年の「振り子の運動」、第6学年の「てこの規則性」など、物理事象と関わる学習内容が多数存在する（文部科学省，2017）。本研究においては、これらを、「小学校理科物理分野の学習内容」と言うことにする。前回改訂の小学校学習指導要領（平成20年3月告示）以降、小学校理科に、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」という柱が設定され（文部科学省，2008/2017）、例えば、第3学年配当の「重さ」のように、物理分野の学習では重要な概念であるものの、「粒子」に位置づけられているものもある。そのため、本研究においては、「粒子」に位置づけられている内容も含めて考えていく。

一方、平成元年改訂の小学校学習指導要領（平成元年3月告示）で新設された生活科である（文部省，1989）において、磁石や光など、物理事象と関わる学習内容が例示されているものの、取り扱いは学校の裁量によるものであり、必須でない。したがって、第3学年で学習のスタートラインが揃わないことがある。

第1章で述べた通り、子どもの概念形成は、幼少期の日常生活、しかも乳児期からすでに始まっているものと考えられるので、筆者は、低学年期においても、物理概念の獲得は大切であるという立場をとっている。したがって、筆者は昭和52年7月改訂の小学校学習指導要領（文部省，1977）以前の低学年理科と同様に、生活科においても、物理事象と関わる学習が共通して取り扱われるのが望ましいものと考えている。

2-2 小学校理科物理分野の学習内容をめぐる課題

第1章でも述べた通り、子どもの概念形成は乳児期の日常生活から、すでに始まっているものと考えられるので、子どもの物理概念の獲得を目指していくために、また、小学校児童が近い将来に、中学校、高等学校、および、大学等に進学した段階で、素朴概念が科学的概念へと変容し、可能な限り残存しないようにするために、筆者は現行の小学校学習指導要領を遵守しながらも、現行の教育課程を将来に向けて可能なところから改善していく必要があると考えている。

本研究においては、その前半で、「子どもが持つ物理的認識に関する評価法・分析法」について議論し、実際に評価・分析に使用することができる調査問題を作成することを、そして、その後半で、この評価法・分析法を応用して、実際に、授業実践研究を行い、授業評価・授業分析、さらには、授業づくりへと役立てていくことを目指している。それに先立ち、小学校理科物理分野をめぐる授業実践上の課題として次の5点を挙げる。

- ① 電磁気領域を除いて、については、小学校第3学年以降、スパイラル型カリキュラムを組むことができないこと。

- ② 第3学年から理科の学習が始まって、子どもが物理事象と関わる学習をしていく際に、学校カリキュラムによって、スタートラインに差異が生じること。
- ③ 小学校の授業で、児童の興味・関心を引き出すために行う導入時の活動が、間延びすると、問題解決学習への移行、目標への到達が難しくなること。
- ④ 小学校理科では、実験・観察等を行い、思考・判断・表現しながら、知識・技能を習得することが重要とされているが、問題解決そのものとの主従関係が逆転し問題解決が目的化すると、学びへの意欲が削がれる場合があること。
- ⑤ 学習評価を行ったり授業評価を行ったりするときの客観的な基準・規準の設定が非常に困難であること。

これらの課題を念頭に置き、子どもの物理的認識についての評価法・分析法について議論し、概念や知識・技能について、客観的な方法で定量的に測定できる方法の開発を目指すことにする。

なお、現在の小学校理科の多くの内容は、コンセントリック型（集約型）カリキュラムとなっている。その問題については、平野（1998）は、「コンセントリック型カリキュラムでは教師の意思決定とその反応結果としての実践カリキュラムが変化してきたので、学習者の初等電磁気概念についてスパイラル型カリキュラムでの場合と比較すると以前のような高い水準を維持できなくなっている」「スパイラル型における授業仮説を持って現行の学習者に授業を展開するならば、当時と同水準まで概念達成が行われるという研究仮説を実証できた」と述べている（以上、平野（1998）より引用）。

また、平野（1998）は、スパイラル型カリキュラムとコンセントリック型カリキュラムとの対比を行っている。その対比の際、昭和43年改訂小学校学習指導要領が前者で、平成元年改訂小学校学習指導要領が後者であることが、例示されている。「スパイラル型を構築するカリキュラムは、学習の広まりと深まりを保証するために、類似した学習内容と関連づけながら少しずつ高度な内容を導入する過程を繰り返すことによって各学習が配置されている。つまり、階層的で連続した学習の累積という、シーケンス（累積の系列）の取り方においてスパイラル型の特徴があると考えられる。松本（1988）は、カリキュラムにおけるシーケンスの設定について3つのタイプに分類している（*）。

- ①学習内容の階層性や累積効果を意図していない羅列的な配列のもの
- ②学年間の差違は意図しているものの、その学年間に累積性がないもの
- ③学習内容にスパイラル構造をとり、学年間に累積性のあるもの

③で示されるものがスパイラル型カリキュラムにおけるシーケンスである。一方、①のシーケンスでは過去の学習経験が学習の累積によっても変容を受

けないことから、新しい学習経験の周りに同心円状に拡大していくことになる。また、②のシークエンスでは不連続的に学習が累積されるために、ある段階にまで累積が達して初めて変容の生起が期待できるようになる。これらの①・②のシークエンスに基づくものは、基本的には学習に累積性がなく内容関連性を持たないために、個々の学習毎に集約されていることから、コンセントリック（集約）型カリキュラムを構築している。」（以上、平野（1998）より引用）

なお、(*)は、平野（1998）において、松本（1988）から引用されたもの。また、平野（1998）においては、句点が用いられているが、本研究において引用するにあたり、他と様式を揃えるため、コンマを用いている。

2-3 授業研究への還元

小学校、中学校、高等学校等の校種を問わず、日本の教育における、言わば1つの文化として行われてきたのが授業研究である。よく研究授業という言葉も用いられるが、研究授業は、一連の授業研究において、その中心として位置付けられ、提案者と参観者が、多面的多角的な視点から研究協議を行っていくための本時の授業自体のことを指す。

研究授業においては、児童・生徒の学びの姿を丁寧に追いかけてながら逐語記録をとり、これに基づいて研究協議を行うのが望ましいが、時間的な限界もあり、効率的に協議を進めていく必要がある。そこで、本研究における事前調査に基づいた児童・生徒の実態を整理し、これを資料とすることによって、研究協議会の効率化へと還元できるとよいものと考えている。

2-4 理科授業への還元

現行の小学校学習指導要領における理科の目標は次の通りである。

「自然に親しみ、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を図り、観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、問題解決の力を養う。
- (3) 自然を愛する心情や主体的に問題解決しようとする態度を養う。

（文部科学省，2017）

小学校において理科を教える教員の中では、教育学部理数系、および、理科系各学部出身（理科系出身）の教員が、相対的に少ないということ²⁻¹⁾。また、

理科，特に物理分野の内容を教えることを苦手とする教員が多いということが挙げられる²⁻²⁾。そこで，本研究を通して開発する方法を，自他の授業実践へと生かすことによって，各教員が実践する理科授業へと還元できるものとする。

【第2章の註】

- 2-1) 国立教育政策研究所の第3期科学技術基本計画のフォローアップ(2009)によると、小学校理科を指導する教員において、教育(理数)系出身の教員の割合は26.20%で、教育(理数以外)系出身の教員の割合は50.91%である。これに農水系1.85%、理学系1.28%、工学(含情報)系2.35%を加えて、理科を教える理科系出身の小学校教員の割合は31.68%である。
- 2-2) (独)科学技術振興機構 理科教育支援センター(2011)によると、理科の指導を苦手(苦手・やや苦手)としている、理科選修出身ではない教員の割合は約6割であり、特に、物理分野に関しては、苦手な教員の割合は約8割にもものぼる。

第3章 定量的な分析を通じた調査問題の開発

3-1 授業評価・分析をめぐる課題

本研究の背景の1つとして、日頃の実際の授業実践場面における、子どもの素朴な考え方をめぐる諸問題が挙げられる。第1章において、いくつかの先行研究をレビューしながら述べたように、1980年代から1990年代にかけて素朴概念についての研究が数多く行われた。当時は、素朴概念という言葉に加えて、誤概念という言葉もしばしば用いられ、その印象の悪さから、近年は、素朴概念が用いられるのが主流である。

筆者が実際に小学校理科の授業を実践するにあたって直面したのは、これらの先行研究の通り、子どもの素朴概念は科学的な概念へと変容しづらいことである。よく知られているように、小学校の理科授業において、ただ児童を自由に活動させていても、言うまでもなく、概念の獲得や到達目標としての知識・技能の習得へとつながっていくことはない。このような状況を指して、学校現場ではしばしば「はい回る理科」という言葉が使われてきた。

そこで、筆者は、学級担任として理科授業を担当するときも、理科専科として理科授業を担当するときも、その時間の授業を通して育てたい力を可能な限り明確にしながら授業実践を行ってきた。また、学習の主体者は、児童であるので、児童の問いを生起し、学習問題を子どもとともに作り、子ども同士の相互作用を大切にしながら問題解決していくことを重視してきた。

それにも関わらず、一定数の児童は素朴概念を保持し続けており、筆者が実践した授業の研究協議では、その定性的な分析・検討を通して、素朴概念から科学的な概念への変容が難しい児童も一定数見られた。児童同士の相互作用が活性化し、必要な場面で授業者が介入して児童を支える形態の授業ゆえに、いわゆる、伝統的な講義型の授業はあまり行わないので、その点、素朴概念から科学的な概念へと移行する児童も少なくない。

その状況は、高等学校や大学の物理で言われている、伝統的な講義型の授業とアクティブ・ラーニング型の授業との間で、生徒や学生が持つ素朴概念から科学的な概念への変容に関する実態と一致している面もあり、素朴概念をめぐる問題は、校種を問わないということができそうだが、小学校の場合は、定性的な授業分析・検討が主流で、日頃から使える定量的で客観的な授業分析・検討に乏しい現状にあり、FCIやFMCEなどが日頃から用いられるようになった高等学校や大学と若干状況は異なる。

そこで、本研究に取り組み、近年高等学校や大学で行われているPERの方法から、可能な部分を小学校にも援用し、定量的な授業分析・評価を行って、授業づくりに役立てていくことを考えた。

3-2 調査問題の作成とその採否

研究の初期段階では、子どもが持つ素朴概念、および、知識・技能に関して、先行研究を援用するとともに、自らの授業実践研究の経験や、校内テスト実施の経験を生かしながら、小学校理科物理概念一覧表を作成した。

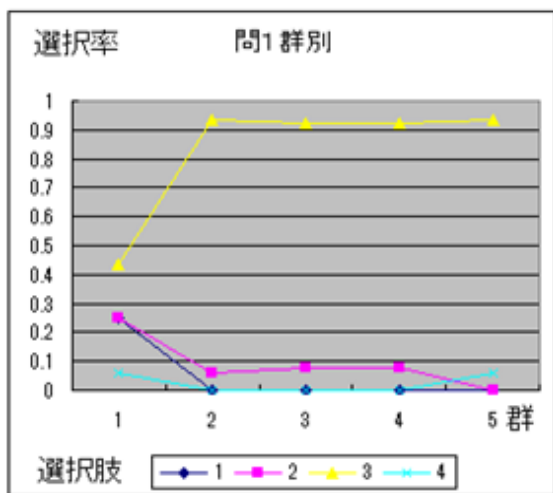


図 3-1 項目特性図の例①

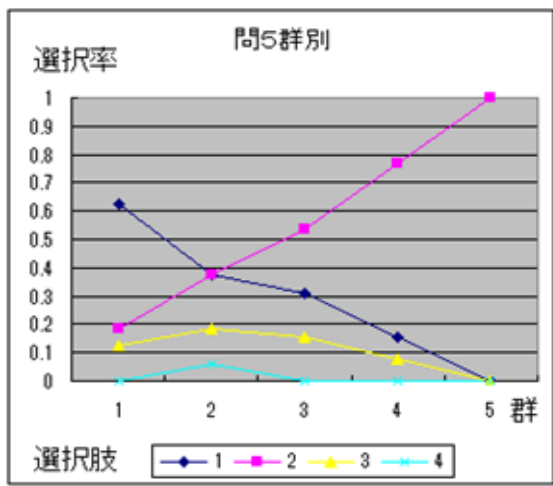


図 3-2 項目特性図の例②

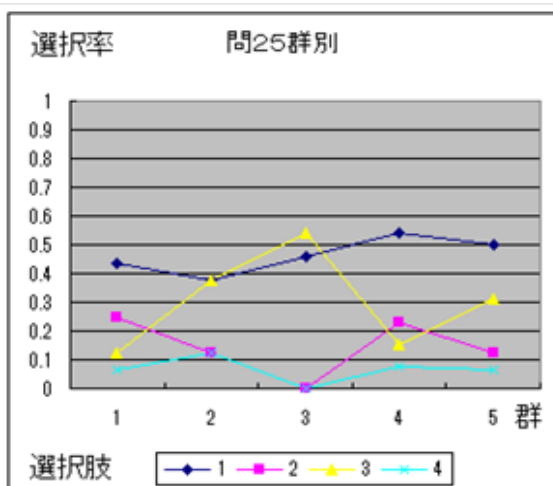


図 3-3 項目特性図の例③

この一覧表をもとにしながら研究の初期段階では、「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」の領域についての多肢選択方式による調査問題案を作成した。また、その正答率を調べたり誤答選択肢の選択率を調べたりしながら、定量的に調査するとともに、回答理由記述の解釈によって、定性的に正答分析や誤答分析を行い、後述の偽正答や偽誤答を排除できるように、各選択肢の精度を向上させるという手続きで研究を進めてきた。また、これらの問題や問題群全体としての正答率、各

問題の誤答選択肢それぞれの選択率、回答理由記述による定性的な正答分析や誤答分析等に基づいた情報以上のものを得ることを目的として、項目特性図（豊田，2012）を導入した。ここで、項目特性図の例を、図 3-1、図 3-2、図 3-3 に示す。これらの項目特性図は、本研究の実施過程における初期の調査問題に関して、問題の評価・検討を行うために作成したものである。

これらの項目特性図を用いて、被検者の能力を識別する際に、当該問題の有用性を検討し、調査問題の採否に役立てた（堀井，2018）。

当該調査問題群の問 1、問 5、問 25 における正答は、それぞれ、問 1 が 3、問 5 が 2、問 25 が 4 である。項目特性図とは、被検者集団を合計得点によって、下位から上位までの任意の群数（本研究においては 5 群とした）に分けて、横軸にとり、各選択肢の選択率を縦軸にとって、折れ線グラフで結んだものである。このグラフの形状を見ることにより、当該問題が、妥当な問題か、妥当ではない問題か判断する 1 つの材料となる。

図 3-1 において、問 1 の正答選択肢 3 のグラフを見ると、1 群の正答率が、40%を若干超える程度であるのに対して、2 群～5 群の正答率は、90%を超えている。このことから、この問 1 の難易度は、それほど高くないということが推定される。そのため正答できなかった被検者、すなわち、基礎的基本的な概念の獲得や知識・技能の習得ができていない被検者を識別するのに適した問題となる。よって、この項目特性図から、この問題が妥当な問題であるという情報を得ることができる。

図 3-2 において、問 5 の正答選択肢 2 を表すグラフは、右上がりの直線に近く、1 群～5 群の各群において、テスト全体の正答率と概ね合致している。豊田 (2012) によると、「このような性質を示す多数の項目から構成されたテストは、テスト全体の識別力が高くなる」とある。よって、この項目特性図から、この問題が妥当な問題であるという情報を得ることができる。

図 3-3 において、問 25 は、正答選択肢を 4 と設定して問題を作成して、調査を実施した。ところが、結果を見てみると、1 群から 5 群にわたって正答率が極めて低く、しかも、横ばいになっている。問 25 は問題としての機能を果たしていないということが分かる。よって、この項目特性図から、この問題が妥当ではないという情報を得ることができる。

このように項目特性図を作成して、ここでは 1 群から 5 群まで、合計得点により被検者を分割し、各群における、正答選択肢の傾向を調べることによって、各問題が適切な問題なのか、また、そうではない適切ではない問題なのか、把握できる。このほか、項目特性図による正答分析に加えて、被検者の回答理由記述や誤答分析を行うことによって、さらに当該問題に関する情報が得られる。

以上のような検討の結果として、作成したのが検証版調査問題である。そこで、本章においては、検証版調査問題を、調査問題の調査結果に基づいて改良・改善し、子どもが持つ物理的認識についての定量的な評価法・分析法の確立を目指す。

3-3 調査問題改訂の経緯

3-3-1 初期の調査問題案の改訂と追跡調査の実施

第 1 章でも述べた通り、初期の調査問題案は、「小学校理科物理概念一覧表」の「習得させたい知識・技能、概念」、および、「素朴概念」をもとにして、筆者の校内テスト作成の経験等を生かしながら、小学校理科物理分野の「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」の各領域に分けて最初の段階から作成した。問題は、いずれも多肢選択方式である。これらの 3 種類の問題を用いて、2015 年度国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童各 37 名を被検者として調査を実施し、併せて、回答理由も記述させた。

これらの中から、正答率があまりにも高かったり低かったりする問題を削除して、調査問題として使用可能であると判断できた問題を用いて、さらに、新作問題を加えて、これらの領域を統合した、25 問からなる調査問題を作成した。

3つの領域を統合した理由は、この段階においては、調査問題を授業に応用する際の単元が未定であることに加え、小学校理科物理分野に関して、その中の領域を超えて、子どもが持つ概念、知識・技能の状況について、分析・検討することを目指していたからである。この調査は、2015年度国立大学附属S小学校第6学年児童74名を被検者として、多肢選択方式のみで行った。

ところが、2015年度の2回の調査結果を分析・検討することを通して、その背景に、いくつかの子どもに特徴的な素朴概念が見られることが分かった。これに該当する問題について、さらに詳しく調べていくために、3領域統合版の調査問題を受検した児童の追跡調査が必要となった。そこで、統合した調査問題の中から抽出して、2016年度国立大学附属S中学校第1学年生徒91名を被検者として、多肢選択方式と回答理由記述からなる追跡調査を行った。

3-3-2 子どもに特徴的な素朴概念による問題の改訂

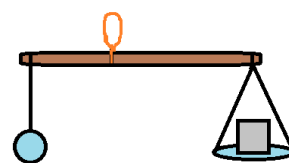
子どもに特徴的な素朴概念として見いだされたのは、「てこの規則性」「電流」に関する概念である。後者は、1980年代から1990年代にかけての先行研究で、多数取り扱われているので、ここでは割愛し、前者の「てこの規則性」について分析・検討したこと、および、この素朴概念に応じて、どのようにして、問題を改訂してきたのかということについて述べることにする。

現行の小学校学習指導要領において、「てこの規則性」は、小学校第6学年に配当されている単元で、「エネルギー」の柱に位置づけられているものである。また、「てこの規則性」は、本研究では物理分野力学領域として位置づけられる。初期に作成した調査問題（案）において、多肢選択方式を採用し、同時に回答理由を被検者児童に記述させたのは前述の通りである。これらの回答理由記述を精読しながらその内容を分析・検討すると、多肢選択方式では正答している

○右の図のようなはかりがあり、物体の重さをはかろうと思います。このことについて、次の問いに答えましょう。

問7 皿にある物体をのせたところ、皿の方（右側）が下がってしまいました。どうすればよいですか。

- 1 はかりをつり下げているひもの位置を左側に動かす。
- 2 はかりをつり下げているひもの位置を右側に動かす。
- 3 はかりをつり下げているひもの位置は変えずに、おもりをつり下げている糸を長くする。
- 4 上のどれでもない。



<出題意図> 正答2

「てこの規則性」を具体的な物理事象に適用することができる。

図3-4 初期の調査問題（案）におけるさおばかりの問題

ものの、回答理由記述の中には、「てこの支点の位置は棒の真ん中でなければならない」ということを示唆しているものが多数見られた。本研究ではこの概念を「支点中心説」と呼ぶことにする（堀井，2018）。次の図 3-4 に、最初の調査問題（案）における、当該問題を示す。また、表 3-1 に、この問題の各選択肢の選択状況を表す。

表 3-1 初期の調査問題（案）におけるさおばかりの問題への回答状況（N=37）

選択肢	無答	1	2	3	4	計
選択者数(名)	3	2	21	2	9	37

この結果を見ると、正答 2 が 21 名で最も多い。また、誤答 4 も、9 名と目立っているので、表 3-2 に示した回答理由から誤答分析を行った。「てこの支点の位置は、その中心になければならない」ということを示唆している回答、すなわち、子どもに特徴的なこの素朴な考え方（素朴概念）は、9 名中 6 名に見られることが分かった（表 3-2 の○印）。調査時点では、「てこの規則性」が既習であったにも関わらず、6 名がこの素朴概念を持っていることが分かった。

一方、他選択肢を選んだ児童についても、誤答分析・正答分析を行った。回答

表 3-2 初期の調査問題（案）におけるさおばかりの問題への回答理由記述

- 支点は中心におかなければ、おもりをつり下げている意味がなくなってしまうから。
- 1 も 2 も 3 も つり下げている位置が真ん中ではないから。
- 物をはかるには支点から右のうでと左のうでの長さを等しくしなければいけないから。
- てこは支点を中心にしないと、おもりの重さを正しくはかれないから。
- つり下げているのを中心にしないとつり合わないから。
- 棒の真ん中に支点がくるぐらいが水平になるから。
- ・ おもりを増やしておき、つり合うときのおもりの重さをはかればよい。
- ・ 1・2・3・4 どれをやっても正しくはかることはできないと思ったから。

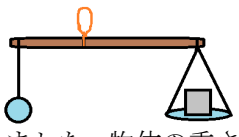
理由記述を見ると、誤答 1 の回答者にも、この「支点中心説」を示唆する記述が見られた。また、正答 2 の回答者でさえ、「天秤などは物と支点の長さが均等になるようにした方がつり合うから」「つり上げているところを真ん中にするため」「つり下げているひもの位置を真ん中にしなければ、つり下げているひもより左側の方の棒の重さと右側の方の棒の重さが等しくならないから」という記述が見られた。これらは、誤った根拠によって正答選択肢を選んでいる回答、すなわち、偽正答とすることができる。こうして、初期の調査問題（案）において、37 名中 10 名（約 27.0%）もの児童が、「支点中心説」という素朴概念を持っていることが分かった。

そこで、正答選択肢から偽正答を分離するために、力と運動、電気と磁石、物の性質の 3 種類の調査問題（案）を統合した次の調査では、「はかりがつり合うように、はじめの位置から、ちょうどさおの真ん中までひもを動かす」という、「支点中心説」に関する選択肢を加えることにした。また、初期の調査問題（案）

の選択肢4「上のどれでもない」は削除し、被検者児童にとって、自分の考えに最も近いものを選択できるようにした。改訂した問題を、次の図3-5に示す。

この改訂版の問題を含めた25問の調査問題は、前述の通り、力と運動、電気と磁石、物の性質の内容を含んでおり、25問中「てこの規則性」に関する問題は2問である。そのうちの1つが当該問題である。前述の通り、2015年度国立大学附属S小学校第6学年児童74名(2学級)を被検者として行った。

○右の図のようなはかり(さおばかり)があり、物体の重さをはかろうとします。



問7 皿にある物体をのせたところ、皿の方(右側)が下がってしまいました。物体の重さを正しくはかるために、はかりをつり下げているひもをどうすればよいですか。

- 1 はかりがつり合うように、はじめの位置から、ちょうどさおの真ん中までひもを動かす。
- 2 はかりがつり合うまで、はじめの位置から、ひもを左側に動かす。
- 3 はかりがつり合うまで、はじめの位置から、ひもを右側に動かす。
- 4 はかりがつり合うまで、おもりをつり下げている糸を長くする。

<出題意図> 正答3
「てこの規則性」を具体的な物理事象に適用することができる。

図3-5 改訂したさおばかりの問題

表3-3 改訂した問題の回答状況

	1群	2群	3群	4群	5群	全体
1	4	8	3	1	2	18
2	6	3	3	4	2	18
3	3	3	6	7	12	31
4	2	2	0	1	0	5
無答	1	0	1	0	0	2
計	16	16	13	13	16	74

今回の場合は、項目特性図(豊田, 2012)を作成して、分析・検討することにした。計74名の被検者の合計得点によって、概ね同じ人数(13名、または、16名)で5群に分けて、最下位を1群、最上位を5群とした。この問題における回答状況を表3-3に示す。なお、無回答の2名は、項目特性図には反映されていない。

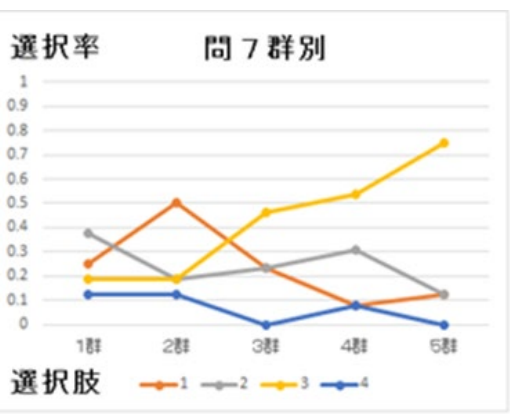


図3-6 改訂した問題の項目特性図

この問題の項目特性図を図3-6に示した。この問題の正答は選択肢3で、1群から2群にかけて、ほぼ横ばいではあるものの、2群から5群にかけては、上位群の方が、下位群よりも正答率が高いことが分かる。支点中心説についての選択肢は誤答1であり、その選択者18名(約24.3%)が、「支点中心説」という、素朴概念を持つことが分かる。

一方、群別に見ていくと、「支点中心説」についての誤答1の選択者は、中位群か

ら上位群にかけて、漸減していくのに対して、第2群では8名と突出していることが分かる。このことから、初期の調査問題（案）において見られた、「支点中心説」に関する偽正答が、選択肢1によって分離されていることが分かる。また、当該問題の正答者が74名中31名であり、正答率が約41.9%と50.0%にも満たないことから、「てこの規則性」の学習後、「てこの規則性」の物理事象への適用が難しい児童が少なくないということが分かった。しかしながら、この調査は多肢選択方式のみにより行ったため、明確な事実や根拠を示すことはできなかった。

表3-4 追跡調査における当該問題の選択率

選択肢	1	2	3	4	計
選択者数(名)	17	17	53	4	91
選択率(%)	18.7	18.7	58.2	4.4	100.0

表3-5 追跡調査における当該問題に関する生徒の回答理由記述

【誤答1 選択理由】

＜支点中心説＞

○旧6年1組：初期調査（案）「電気と磁気」，改訂版調査なし

- ・正しく重さを量るためにはおもりから支点までの長さを同じにしないといけないから。
- ・中心からのキョリが長い方が大に下がるので，まん中にもってゆく。
- ・はかりをつり下げているひもから左右の物体までが同かんかくでないとはかれないから。
- ・つりさげているひもが真ん中でなければ正しくはかれないから。

○旧6年2組：初期調査（案）「物の性質」，改訂版調査あり

- ・真ん中におもりを戻すことでつり合う。①
- ・ひもの位置を中心にしなければいけないから。①

○旧6年3組：初期調査（案）「力と運動」，改訂版調査あり

- ・まん中でやらないと，うまくちょうせいできないから。①
- ・真ん中まで動かさないとはかりではない。無回答
- ・中心にあれば，はかりたい物だけをはかれるから。③
- ・糸が真ん中でないと正しくはかれないから。③
- ・まず真ん中によせないと正しい重さをはかれないから。③
- ・ひもからはかる物の長さが同じにならなくてはならないから。②
- ・真ん中にひもをつけることで，真ん中から右側までのきより，真ん中から左側までの距離が等しくなり，物体の重さが正しくはかれるとおもったから。③

＜その他の説＞

- ・物体の重さをはかるには，左右の条件がいっしょでないといけないから。
- ・初めの状態だと，ひもが左にあり，これでは絶体的（ママ）に右に下がるから。
- ・同じ条件でやらないと正確な結果はでないから。②
- ・はじめにつり合わないの意味ないから。③

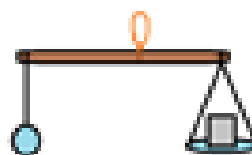
※①②③は改訂版調査における回答を示す。

そこで、この問題を改変することなく、多肢選択方式の問題に回答理由記述を加えて、追跡調査を行うことにした。被検者は、国立大学附属 S 小学校から、国立大学附属 S 中学校に進学した 91 名の生徒である。なお、追跡調査を行った 2016 年 7 月の時点で、同中学校第 1 学年においては、力学領域（力と運動）に関する学習はまだ行っていない。

追跡調査において、各選択肢の選択者数、および、選択率は、表 3-4 の通りである。また、生徒による回答理由記述を表 3-5 に示した。この表には①②③をいう数字を附してあるが、これらは、当該生徒が小学校第 6 学年児童
また、前回と同様に、誤答 1 以外を選んだ生徒の回答理由記述にもこの素朴概念を示唆する記述が見られた。その原因として「ひもの位置が棒の中心よりもおもりの側にある」ということに起因するものと考えられたため、図 3-7 のように再び問題の選択肢と図を修正した。

○次の図のようなはかり（さおばかり）があり、
物体の重さをはかろうと思います。

問 10 皿にある物体をのせたところ、皿の方（右側）が下がってしまいました。物体の重さを正しくはかるために、ひもの左右でさおばかりがつり合わなければなりません。はかりがつり合うようにするためには、ひもの位置をどう動かせばよいですか。1～4の中から 1 つだけ選びましょう。



- 1 ひもをはじめの位置から、さおのちょうど真ん中をこさずに、左側に動かす。
- 2 ひもをはじめの位置から、さおのちょうど真ん中まで、左側に動かす。
- 3 ひもをはじめの位置から、さおのちょうど真ん中をこえて、左側に動かす。
- 4 ひもをはじめの位置から、右側に動かす。

<出題意図> 正答 4

「てこの規則性」を具体的な物理事象に適用することができる。

図 3-7 再度改訂したさおばかりについての問題

以上の方法が、子どもに特徴的な素朴概念の調査とその分析・検討に基づいた調査問題と選択肢改訂の 1 つの例である。この問題は、本章で後述するように「検証版調査問題」にはそのまま採用し、古典テスト理論の他の方法、および、現代テスト理論の 1 つである Rasch モデルによる分析・検討を通して、本研究における「確定版調査問題」として採用している。他の問題においては、本間についての詳細な分析・検討の結果を反映させて、作成したものもある（例えば、問 5 など）。

この問題のように、子どもに特徴的な素朴概念に基づいて、詳細に分析・検討を行いながら作成した問題も、また、子どもに特徴的な素朴概念が特に見つかることなく、「小学校物理概念一覧表」を手がかりとして、作成しただけの問題もある。

3-3-3 回答傾向による問題の改訂

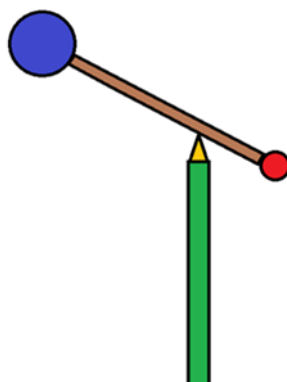
「力と運動」領域についての調査は、前述のように改訂を加えて、2016年度にも国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童、および、東京都公立 T 小学校児童を被検者として行い、そこから得た知見により一部修正を行い、改めて検証版調査問題とした。次にそのときの改訂方法について述べることにする。

ここでは、同年に行った調査問題の問 4 に着目し、この問題を図 3-8 に示す。

○次の図のように、先がとがった棒の上に、2つの球をつけた棒をのせました。ただし、2つの球をつけた棒は、先がとがった棒から落ちないものとします。

問 4 棒に小さな赤い球と大きな青い球をつけたところ、小さな赤い球の方が下がりました。赤い球と青い球の重さには、どんな関係があると考えられますか。1~4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 赤い球は青い球より重い。
- 2 青い球は赤い球より重い。
- 3 赤い球と青い球はほぼ同じ重さである。
- 4 赤い球と青い球はどちらが重いかわからない。



<出題意図> 正答 1
・てこの規則性についてのきまりを利用して、てこがつり合っていない状態における、支点とおもりとの距離から、2つのおもりの重さの大小を見いだすことができる。

図 3-8 2016 年度に実施した調査問題の問 4

この問題について S 小学校のうち 1 学級 34 名の児童の回答状況に注目した。そうすると、34 名中 31 名が、正答 1 を選択していた。誤答 2 と誤答 3 の選択

表 3-6 検証版調査問題 (案) 2016 年度 国立大学附属 S 小学校事後調査 問 4 誤答 4 選択者の回答理由記述

児童番号	回答理由記述
S 1	支点である棒の位置が中心ではないため、どちらが重いかわからない。
S 2	支点が赤い球の方に片よっているため、てこの左右の重さが平等に働かない。
S 3	支点からのきよりが違うし重さも違うので比べることはできない。

児童は皆無であったが、誤答 4 を選択した児童が 3 名いた。誤答 4 を選択した児童の回答理由記述は、表 3-6 の通りである。

これらの回答理由記述に基づいて児童の思考を解釈すると、いずれも「てこの支点の位置は棒の真ん中になければならない」という説（堀井，2018）を、示唆するものとなっている。さらに、児童 S3 の記述によると、同児童は「支点から小球までの距離と小球の重さという 2 つの条件が異なり、条件制御ができていないため比べられない」と考えているものと解釈できる。その背景には、問題が問うている本質的な内容にせまることなく、どんなことでも小学校第 5 学年で学んだ条件制御へと結びつけようとする、ステレオタイプのような思考をしている可能性さえうかがい知ることができる。

そもそもこの問題では、てこの規則性を用いて、2 つの小球の質量についての関係を問うているので、当該児童は、てこの規則性に関する概念を十分に獲得ができていない可能性がある。しかしながら、それ以前に、この問題自体を正しく読み取っていない可能性、もしくは、2 つ以上の条件が出てくれば、何でも条件制御へと繋げて、これを誤用している可能性があるという解釈もできる。

一方、この学級では、選択肢 2 と選択肢 3 は選択者が皆無であった。そこで、他の学級集団についても見てみる必要がある。2016 年度国立大学附属 S 小学校における他の 2 学級、および、東京都公立 T 小学校第 6 学年 4 学級の児童、計 192 名の選択状況を見てみる。その結果は、次の表 3-7 の通りである。

表 3-7 検証版調査問題（案）第 6 学年児童 2 校 7 学級児童 問 4 各選択肢選択者数（名）

学校学級	選択肢 1	選択肢 2	選択肢 3	選択肢 4	無 答	重複回答
S6 年 1 組	22	2	4	6	0	0
S6 年 2 組	17	2	2	5	0	0
S6 年 3 組	31	0	0	3	0	0
T6 年 1 組	15	4	0	7	0	0
T6 年 2 組	16	1	1	5	0	0
T6 年 3 組	15	3	1	7	0	0
T6 年 4 組	18	1	1	3	0	0
合 計	134	13	9	36	0	0
選択率 (%)	69.8	6.7	4.7	18.8	0.0	0.0

正答選択肢を選んだ児童は約 69.8%であるものの誤答選択肢 2、誤答選択肢 3 を選択した児童は、それぞれ約 6.7%、約 4.7%であった。つまり、問 4 で回答理由を記述させた、当該の 1 学級以外においても、誤答選択肢 2、および、誤答選択肢 3 を選択した児童は、比較的少数であった。このことから、これらの 2 つの選択肢があまり選択されず、十分に機能していないものと考えられる。また、

前述の通り、当該学級で選択肢 4 を選択した児童が 3 名であり、いずれも支点中心説を示唆する回答理由記述であったことから選択肢の見直しが必要であるものと考えた。(※当該学級は、国立大学附属 S 小学校 6 年 3 組)

第 1 章、および、本章において、偽正答や偽誤答を分離できるような選択肢を設ける必要があることについて述べたが、このことは同時に、児童が持つ概念・知識・技能の実態に基づき、可能な限り具体的で明確な選択肢にすることが大切であるといえることができる。

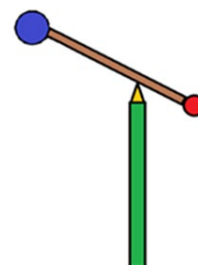
また、前述の通り、当該の 1 学級の回答理由記述において、支点から赤い球、および、青い球までの距離の関係に起因する問題点について課題をもつ児童がいることについても把握できたため、「てこの規則性」についてのきまりを利用してきているかどうかという点に関して、この問題の趣旨を大きく変えずに、これらの距離の関係についての記述も書き加えて、検証版調査問題に出題した。

以上の知見をもとに改変を加えた、検証版調査問題の問 4 は、次の図 3-9 の通りである。また、2016 年度に実施した調査問題と検証版調査問題の選択肢を比較すると次の表 3-8 のようになる。この表に示した通り、2016 年度の問題では、「ほぼ」「わからない」という、あいまいな表現をしていたが、検証版調査問題では、「重さ」に関して、「同じ」「半分」という量を表す言葉を、具体的に明示することによって、被検者が自分の考えに最も近いものを、1 つだけ選択できるようにした。

○次の図のように、先がとがった棒の上に、2 つの球をつけた棒をのせました。棒をのせた点のことを支点と言います。青い球の体積は、赤い球の体積の 2 倍です。ただし、2 つの球をつけた棒は、先がとがった棒から落ちないものとします。

問 4 棒に小さな 2 つの球をつけたところ、赤い球の方が下がりました。赤い球の重さと青い球の重さとの間には、どんな関係があると考えられますか。ただし、支点と青い球との距離は、支点と赤い球との距離の 2 倍とします。1~4 の中から 1 つだけ選びましょう。

- 1 青い球の重さは、赤い球の重さより重い。
- 2 赤い球の重さと青い球の重さは、同じである。
- 3 青い球の重さは、赤い球の重さの半分よりも軽い
- 4 青い球の重さは、赤い球の重さの半分である。



<出題意図> 正答 3

- ・てこの規則性についてのきまりを利用して、てこがつり合っていない状態における、支点とおもりとの距離から、2 つのおもりの重さの大小を見いだすことができる。

図 3-9 検証版調査問題 問 4

また、検証版調査問題（案）における選択率を示した表 3-7 と同様にして、検証版調査問題における、各選択肢の選択率を表 3-9 に示す。ただし、検証版調査問題の被検者は、2017 年度、および、2018 年度国立大学附属 S 小学校の第 6 学年児童計 194 名であり、他校との比較は行っていない。

表 3-8 問 4 における選択肢の改善

選択肢	初期の調査問題	検証版調査問題
1	赤い球は青い球より重い。	青い球の重さは、赤い球の重さより重い。
2	青い球は赤い球より重い。	赤い球の重さと青い球の重さは、同じである。
3	赤い球と青い球はほぼ同じ重さである。	青い球の重さは、赤い球の重さの半分よりも軽い。
4	赤い球と青い球はどちらが重いかわからない。	青い球の重さは、赤い球の重さの半分である。

表 3-9 検証版調査問題 第 6 学年児童 1 校 6 学級児童 問 4 各選択肢選択者数（名）

年度学級	選択肢 1	選択肢 2	選択肢 3	選択肢 4	無 答	重複回答
2017S6 年 1 組	5	2	14	12	0	0
2017S6 年 2 組	5	0	19	6	0	0
2017S6 年 3 組	2	1	13	14	0	0
2018S6 年 1 組	7	3	15	8	0	0
2018S6 年 2 組	6	4	20	4	0	0
2018S6 年 3 組	6	4	16	8	0	0
合 計	31	14	97	52	0	0
選択率 (%)	16.0	7.2	50.0	26.8	0.0	0.0

正答選択肢 3 を選んだ被検者児童は、ちょうど 50.0%であることが分かる。また、誤答選択肢 2 の選択率は、約 7.2%とやや低くなってはいるものの、誤答選択肢 1 と誤答選択肢 4 は、それぞれ約 16.0%、約 26.8%となっている。したがって、これらの誤答選択肢が機能していることが分かる。

3-4 調査問題の出題意図、および、正答率

日本の多くの小学校における各単元末のテスト、中学校や高等学校における定期考査、各学校への入学選抜試験、文部科学省による全国学力学習状況調査等、試験、あるいは、学力検査という名がつくものには目的が必ずあり、その問題の

1つ1つにも出題意図が必ずある。

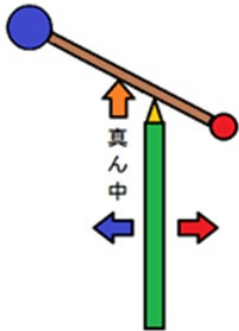
本研究において、これまで作成してきた調査問題の出題目的・意図は、すでに、述べてきたように、その1つが、小学生を対象として、子どもが持つ素朴概念や知識・技能の状況を、客観的な視点から定量的に評価・分析する方法の開発すること、そのもう1つが、この調査問題を、授業実践の事前調査・事後調査として用いることによって学習評価や授業評価³⁻¹⁾を行い、そこから得た知見を学習指導計画や学習指導案の改善をはじめとした、授業づくりへと役立てることである。こうして得た知見はまた子ども1人1人の学習評価へと還元することもできる。

本研究を通して、開発してきた調査問題全体には、上記のことを踏まえた2つのねらいがある。その1つは、子どもが持つ概念や知識・技能を調査するための基礎研究としての「小学校物理概念一覧表」の作成に始まり、確定版調査問題に至るまでの、客観的な視点に基づいた、子どもの物理的認識についての定量的な評価法・分析法の開発である。そのもう1つは、物理分野のある領域、本研究においては、「力と運動」の領域に該当する、第6学年担当単元「てこの規則性」の事前調査・事後調査として、この調査問題を利用し、子どもがもつ概念や知識・技能等の状況を調査し、実際の授業へと応用することである。

図3-9に例示した問4は、小学校理科物理分野の「力と運動」に関する領域に属する30問の問題群のうちの1つの問題である。検証版調査問題30問の問題群の内訳は、小学校学習指導要領（文部科学省，2008/2017）における、第3

問5 先がとがった棒を静かに動かすと、2つの球をつけた棒がつり合いました。先がとがった棒をどのように動かしたと考えられますか。1~4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を短くしなければならないので、赤い球の方（右側）に先がとがった棒を動かした。
- 2 支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を長くしなければならないので、棒の真ん中を超さないように、青い球の方（左側）に、先がとがった棒を少しだけ動かした。
- 3 青い球と支点との距離と赤い球と支点との距離を同じにしないとつり合わないなので、棒の真ん中の位置に、先がとがった棒を動かした。
- 4 支点との距離が長い青い球の方が上がり、青い球と支点との距離をもっと短くしなければならないので、棒の真ん中を超して、青い球の方に先がとがった棒を動かした。



<出題意図> 正答1
・てこの規則性についてのきまりを用いて、てこの支点の位置を正しく考えることができるかどうか問う。

図3-10 検証版調査問題 問5

学年から第5学年までの理科に配当されている、物理分野の「力と運動」の領域に属する問題、および、小学校学習指導要領の範囲には、含まれていないものの、子どもの日常生活や身近な事象に関する一般的な問題が8問、第5学年配当の「振り子の運動」に関する問題が12問、第6学年配当の「てこの規則性」に関する問題が10問の計30問である。なお、第5学年児童を対象とした問題群は、「てこの規則性」に関する10問を除外した20問構成となっている。したがって、「力と運動」の領域に関する一般的な問題と振り子の運動に関する問題が各10問の計20問である。

例えば、問5の出題意図は、「てこの規則性」に関するきまりを用いて、てこの支点の位置を正しく考えることができるかどうか問うことである。問5は、図3-9の問4と同じ事象についての問題であり、後で述べる問10とともに、支点の位置は棒の真ん中になければならないという、素朴概念(堀井, 2018)についての選択肢が含まれている問題である。図3-10に問5を示す。

表3-10 検証版調査問題の正答率

問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
正答率 (%)	66.0	49.5	40.7	50.0	52.6	52.6	86.6	90.7	87.6	55.2	45.4	78.9	59.8	49.5	76.8
問題番号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
正答率 (%)	56.7	36.1	47.4	70.6	12.4	73.7	76.8	77.3	79.4	74.2	54.1	82.0	52.1	40.2	25.8

次に、検証版調査問題の正答率を示す。被検者は、2017年度、および、2018年度における、国立大学附属S小学校第6学年児童、計194名である。を対象とした調査の正答率を次の表3-10に示す。なお、調査実施の段階で、第6学年配当のてこの規則性は、いずれも既習である。上の問4、および、問5の正答率はそれぞれ約50.0%、約52.6%である。この結果を分かりやすくするために、図3-11のグラフに示す。

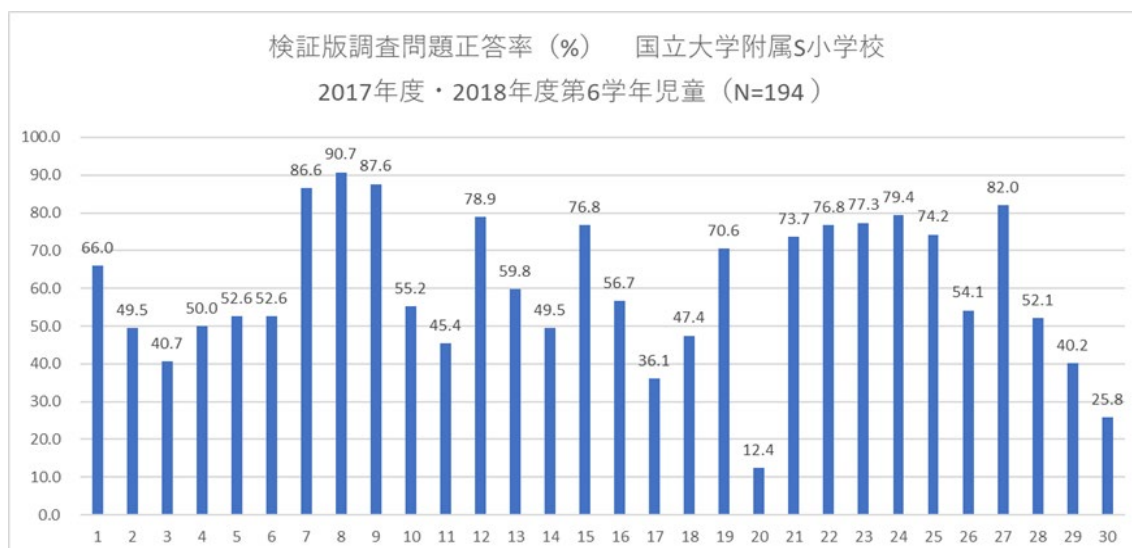


図3-11 検証版調査問題の正答率

このグラフを見ると、問 8 の正答率がもっとも高く、問 20 の正答率がもっとも低い。問 20 は、約 12.4% と正答率が極めて低く、小学校第 6 学年児童が対象の問題として無理があることが示唆される。問 20 は確定版調査問題を作成する際には、もちろん削除対象となる。このように正答率を比較することによって、各問題の難易度、すなわち、項目困難度の大きな傾向を捉えることができる。ところが、各問題における、正答率の比較だけからでは、難易度の傾向以上の情報を把握することはできない。そこで、次節において、もう少し詳しく調査結果を見ていく。なお、次節以降は、後述の現代テスト理論を導入する上で障がいとなる問 17 を除外して、検証版調査問題の結果を検討していくものとする。

3-5 調査問題の古典テスト理論の範囲による分析・検討

3-5-1 検証版調査問題の被検者、および、回答の取り扱い

本節では今後、検証版調査問題から、問 17 を除いた、計 29 問の調査結果について、古典テスト理論の範囲で各問題について検討していくことにする。

標準的な調査問題、もしくは、当該単元の学習評価や授業評価に用いることができる調査問題を作成するためには、調査問題群全体としての正答率や各問の正答率の傾向を精査しながら調査問題群としての妥当性を検討していく必要がある。その一方で、調査問題群に含まれる各問題についても、個別に分析・検討していくことも同時に必要となる。これらの分析・検討の結果に基づき、新たな問題群を作成するための情報を得ていくことが、本節のねらいである。なお、調査問題群や各問題の妥当性について検討していくためには、できるだけ調査対象の被検者数が多い方が望ましい。また、異年齢による被検者集団を比較することによって、別の観点からの分析・検討も可能であると考えた。

そこで、検証版調査問題においては、国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童のほか国立大学附属 S 中学校第 1 学年～第 3 学年生徒、国立大学附属 I 中等教育学校第 3 学年生徒、および、国立大学附属 F 高等学校第 2 学年生徒に被検者の幅を拡げて調査を行った。なお、国立大学附属 I 中等教育学校第 3 学年生徒は、中学校第 3 学年生徒とみなして考える。

さらに、これまで調査を行うたびに、無回答の問題が多い児童・生徒の調査結果の取り扱いが 1 つの課題となっていた。その背景には、児童・生徒の調査への意欲や、調査時点での学級や、児童・生徒のコンディションが影響していることが推測される。そのため、この段階で、無回答が 3 問以上連続している、もしくは、1, 1, 1・・・, 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, 2, 3, 4, 3・・・のように、明らかに当て推量による回答が予想されるものについては、当該児童・生徒の調査結果を除外して取り扱うことにした。無回答が 3 問連続ということに明確な根拠はないが、調査結果、および、研究としての精度を上げるためには、無回答が続くことはよいことではない。

3-5-1 各問の正答率

ここでは、前述の通り、問 17 を除いた計 29 問についての正答率を見ていくことにする。検証版調査問題の被検者児童・生徒は次の通りである。S 小学校の児童数は 194 名、S 中学校第 1 学年～第 3 学年の生徒数はそれぞれ 132 名、140 名、158 名、I 中等教育学校第 3 学年の生徒数は 57 名である。よって、中学校第 3 学年相当の生徒数は 215 名となる。したがって、中学校の被検者生徒数は、計 487 名である。そして、F 高等学校第 2 学年の被検者生徒数は 300 名であるので、小学校、中学校、および、高等学校の全被検者児童・生徒数は、計 981 名である。小学校、中学校、高等学校の校種別の正答率は、次の表 3-11 の通りである。また、同じく小学校、中学校、高等学校の校種別の正答率をグラフに表すと、図 3-12 のようになる。表 3-11、および、図 3-12 を見ると、小学校児童よりも、中学校・高等学校生徒の方が、また、中学校生徒よりも、高等学校生徒の方が概ね正答率が高い傾向にある。ところが、一部の問題で、正答率がこれらと逆転しているものがある。また、中学校・高等学校の生徒とはいえ、小学校

表 3-11 検証版調査問題 校種別正答率

問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
小学校	66.0	49.5	40.7	50.0	52.6	52.6	86.6	90.7	87.6	55.2	45.4	78.9	59.8	49.5	76.8
中学校	75.6	64.9	63.7	58.7	61.0	53.8	86.7	88.4	85.8	65.1	60.2	62.6	49.2	71.3	62.2
高等学校	90.7	83.0	80.7	81.0	71.3	62.0	92.0	92.7	88.7	82.7	74.0	79.7	60.3	86.0	77.0
問題番号	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
小学校	56.7	47.4	70.6	12.4	73.7	76.8	77.3	79.4	74.2	54.1	82.0	52.1	40.2	25.8	
中学校	52.0	39.2	65.9	24.2	58.9	74.7	79.5	76.8	78.6	66.7	84.2	69.6	56.3	47.6	
高等学校	65.7	25.7	82.3	59.3	77.3	78.7	87.3	88.3	88.3	65.3	95.3	86.3	87.3	75.0	

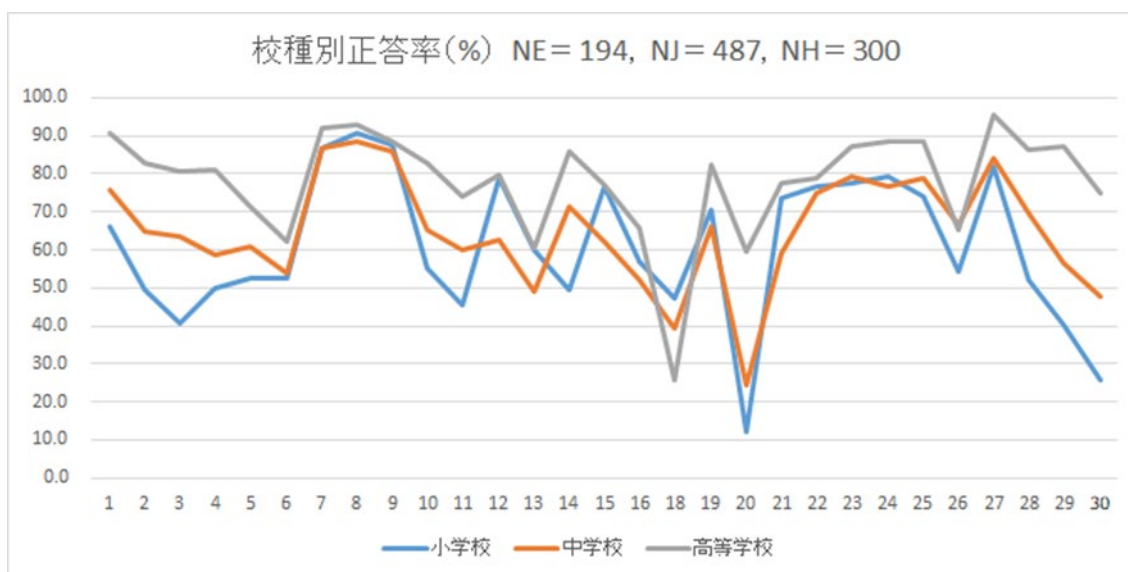


図 3-12 検証版調査問題 校種別正答率

高学年児童を調査対象とすることを前提とした調査問題に対して、完全に正答できるとは限らないという結果にも注意する。その理由として考えられるのは、小学校理科よりも高度なことを学んだ中学校・高等学校生徒が、物理事象をより詳細にとらえて思考し、小学校理科の範囲内での正答とは異なる考え方で誤答選択肢を回答した可能性があるからである。回答の挙動によっては、問題自体、あるいは、選択肢に欠陥を見いだせる可能性がある。

各問題の出題内容を、次の表 3-12 に示す。これらの中で注意しておきたいのは、小学校児童と中学校生徒との間で正答率が逆転している問題であり、問 8、問 9、問 12、問 13、問 15、問 16、問 21、問 22、問 24 が挙げられる。また、問 26 では、中学校生徒と高等学校生徒との間で正答率が逆転している。さらに問 18 では、小学校児童と中学校生徒、および、中学校生徒と高等学校生徒との間で、正答率が逆転している。これらの問題の出題内容を見ると、問 8 が空き缶つぶし器（てこの規則性）、問 9 がピンセット（てこの規則性）、問 12 が体重とブランコの周期（振り子の運動）、問 13 が体重とブランコの速さ（振り子の運動）、問 15 が振り子の振れ幅と周期（振り子の運動）問 16 も同じく、振り子の振れ幅と周期（振り子の運動）、問 21 が体重とブランコの周期（振り子の運動）、

表 3-12 検証版調査問題の出題範囲（問 17 は除く）

問題番号	問題内容	問題番号	問題内容
1	シーソー	16	振れ幅と振り子の周期
2	シーソー	18	振り子の長さとの周期
3	シーソー	19	おもりの大きさと振り子の周期
4	2球をつけたてこ	20	振り子に働く力
5	2球をつけたてこ	21	体重とブランコの周期
6	釘抜き	22	振れ幅・振り子の長さとの周期
7	蛇口	23	質量保存
8	空き缶つぶし器	24	風の働き
9	ピンセット	25	ゴムの働き
10	さおばかり	26	空気と水
11	体重と跳び箱の着地時間	27	速さ
12	体重とブランコの周期	28	速さ
13	体重とブランコの速さ	29	跳び箱における作用反作用の法則
14	振れ幅と振り子の速さ	30	体重と作用反作用の法則
15	振れ幅と振り子の周期		

問 22 が振り子の振れ幅、長さとの周期（振り子の運動）、問 24 が帆をつけた車（風の働き）についての問題である。これらのうち問 8、問 9、問 22、問 24 は、正答率の差がわずかであり、問 16 も正答率の差は 5%未満である。正答率の差が 5%以上の問題は、問 12、問 13、問 15、問 21 の 4 問ある。中学校生徒や高等学校生徒にとって、小学校の学習内容は既習であり、小学校で学んだことを素地・基盤として中学校や高等学校におけるより高度な学びがあり、その

学びの結果、小学校児童よりも中学校・高等学校生徒の方が正答率は高いのではないかという仮定に基づいて本文のように記述している。しかしながら、小学校理科を学習してから時間が経過して忘却している可能性があること、また、高等学校や大学への、受検・受験が影響している可能性があること等、複合的な要因が影響しているものと考えられ、本研究の本質的な議論から逸れてしまうため、調査結果という事実以外、あまり深入りすることを避ける。

3-5-2 29問全問の素点分布

次に、問17を除いた、問1から問16、および、問18から問30の計29問の合計得点分布の割合を小学校、中学校、高等学校の校種別に表3-13、および、図3-13のグラフに示す。小学校、中学校、高等学校の校種別に被検者の人数が異なるため、図3-13においては、各得点をとった児童・生徒の割合を表した。これらの表、および、グラフから、小学生には29点中18点、19点にピークがあることが分かる。一方、中学生には20点に高校生には26点にピークがある。

表3-13 検証版調査問題 校種別合計得点分布

小学校	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
人数	0	0	0	0	0	0	1	2	4	3	3	7	14	11	8	9
割合	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	2.1	1.5	1.5	3.6	7.2	5.7	4.1	4.6
中学校	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
人数	0	0	0	2	2	5	6	5	6	8	12	14	17	16	22	25
割合	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	1.0	1.2	1.0	1.2	1.6	2.5	2.9	3.5	3.3	4.5	5.1
高等学校	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
人数	0	0	0	0	0	0	4	1	3	1	0	5	2	2	1	4
割合	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.3	1.0	0.3	0.0	1.7	0.7	0.7	0.3	1.3
全体	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
人数	0	0	0	2	2	5	11	8	13	12	15	26	33	29	31	38
割合	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	1.1	0.8	1.3	1.2	1.5	2.7	3.4	3.0	3.2	3.9
小学校	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	合計	
人数	14	10	20	20	10	14	10	12	8	5	6	2	1	0	194	
割合	7.2	5.2	10.3	10.3	5.2	7.2	5.2	6.2	4.1	2.6	3.1	1.0	0.5	0.0	100.0	
中学校	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	合計	
人数	19	23	20	33	39	32	35	33	26	28	26	18	12	3	487	
割合	3.9	4.7	4.1	6.8	8.0	6.6	7.2	6.8	5.3	5.7	5.3	3.7	2.5	0.6	100.0	
高等学校	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	合計	
人数	6	7	8	11	21	19	23	29	23	33	42	29	17	9	300	
割合	2.0	2.3	2.7	3.7	7.0	6.3	7.7	9.7	7.7	11.0	14.0	9.7	5.7	3.0	100.0	
全体	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	合計	
人数	39	40	48	64	70	65	68	74	57	66	74	49	30	12	981	
割合	4.0	4.1	4.9	6.5	7.1	6.6	6.9	7.5	5.8	6.7	7.5	5.0	3.1	1.2	100.0	

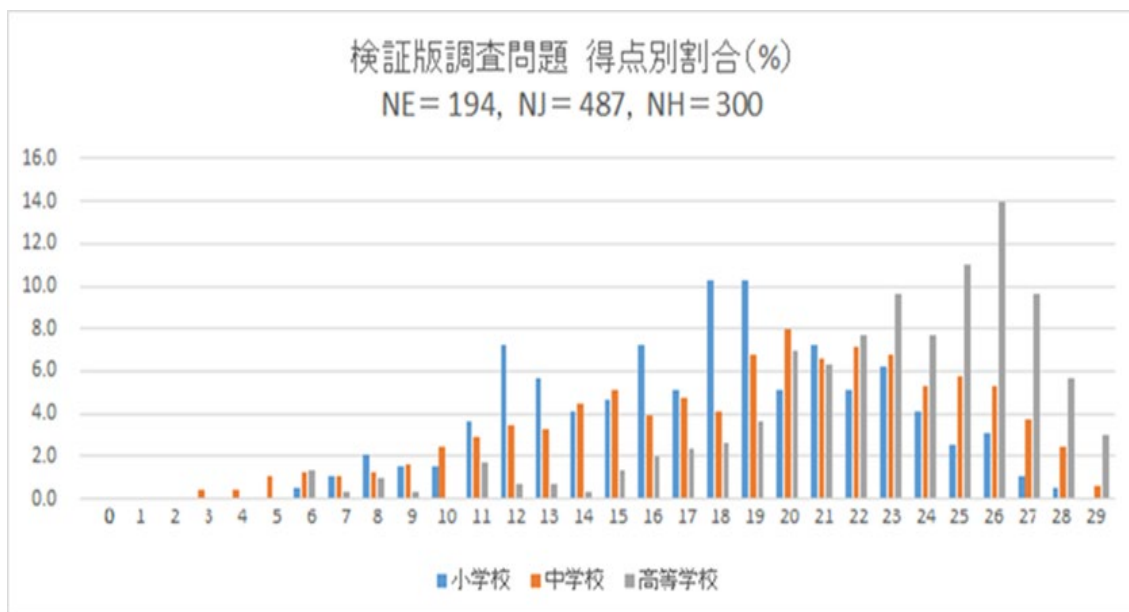


図 3-13 検証版調査問題 合計得点別割合

このことから、調査問題群全体として見ると、前述した、小学生より中学生の方が、中学生より高校生の方が正答率は高くなるであろうという仮定は妥当であるものと考えられる。

しかるに、問題毎に見てみると、必ずしもそうならない問題も存在することが分かった。特に、中学生は、「力と運動」領域に関して、小学校で学んだことについて基盤としながらより一層高度な内容や新たな内容について学習するとは言うものの、「てこの規則性」、および、「振り子の運動」のうち、振り子の周期については、学習しないということにも注意したい。

高等学校物理では、「てこの規則性」の根拠を紐解いていく「モーメント」や「単振り子の運動」について、学んでいくことによって、小学校で学んだ自然のきまりを裏付けられる。ただし、この間に数年間のブランクが生じることがあるので、その影響があるということも推測される。ところが、本研究による調査からは、このことについて明確な要因はよく分からない。

以上のことを、より一層分かりやすく把握するために、各校種別の得点別度数を表したグラフを作成した。これらのグラフは、校種別にそのふるまいを見ればよいので、割合ではなく児童・生徒の実際の人数で表している。

これらを、次の図 3-14、図 3-15、図 3-16 に示した。また、小学生、中学生、高校生すべての被検者を合わせたものを図 3-17 に表す。全体では、23点と 26 点にピークがあり、ともに人数は 74 名である。

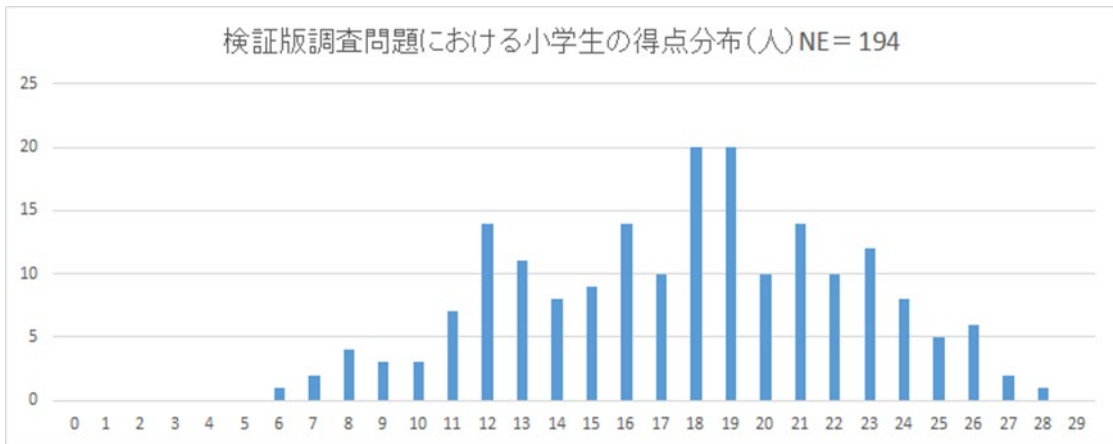


図 3-14 検証版調査問題における小学生の得点分布

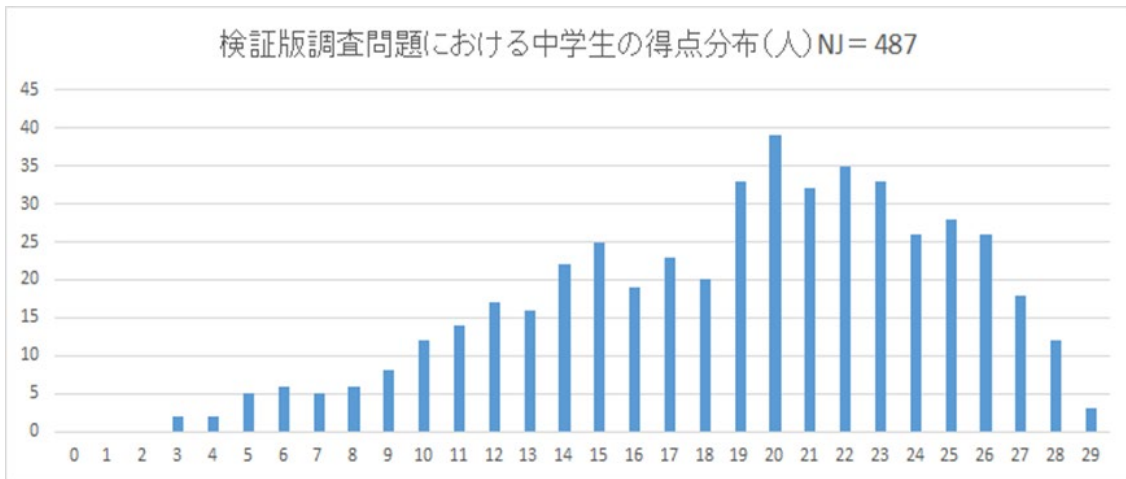


図 3-15 検証版調査問題における中学生の得点分布

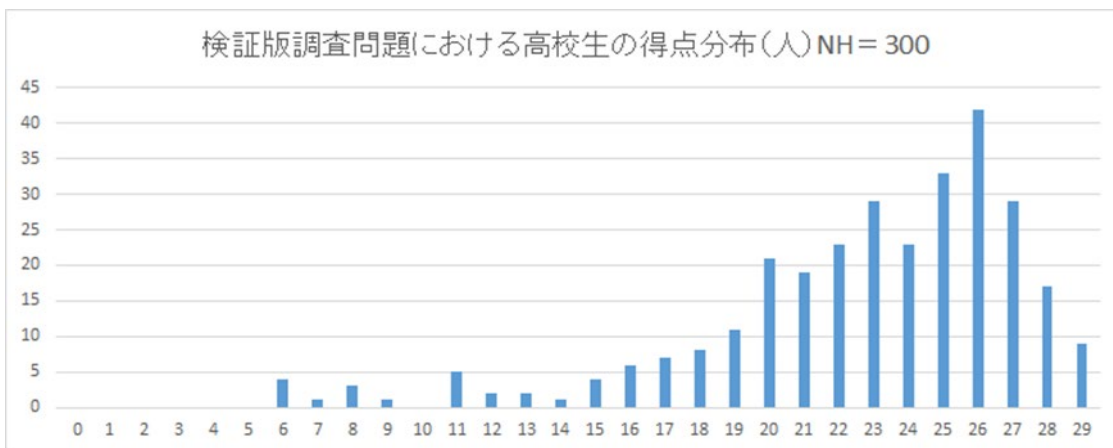


図 3-16 検証版調査問題における高校生の得点分布

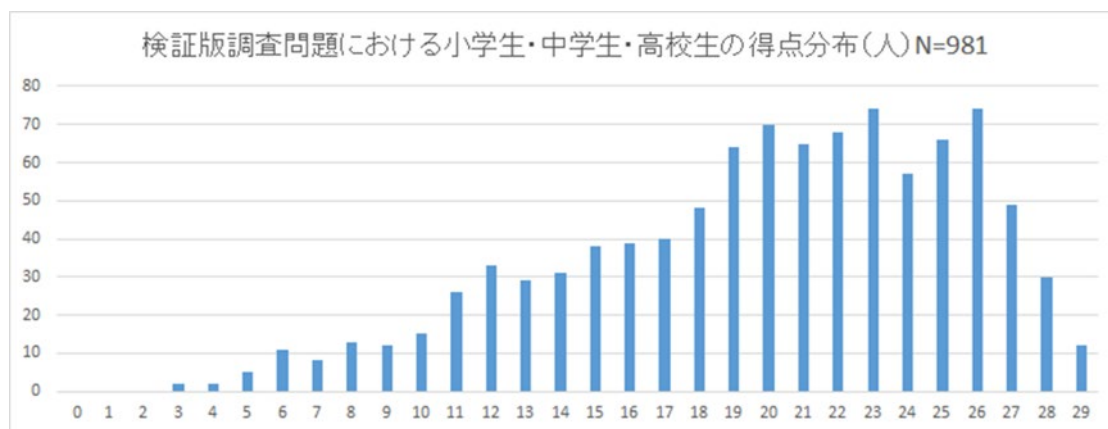


図 3-17 検証版調査問題における小学生・中学生・高校生の得点分布

3-5-3 Cronbach クロンバックの α 係数

これまでの段階では、問題の妥当性について、明確な基準・規準によって議論することができない。そこで、問題の妥当性について、定量的に議論する際に、しばしば用いられる Cronbach の α 係数による分析を導入する。Cronbach の α 係数は、 m を項目数、 σ_i^2 を各項目の分散、 σ_x^2 を、各項目を合計した尺度得点の分散としたとき、次の式で与えられる。

$$\alpha = \frac{m}{m-1} \left[1 - \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 / \sigma_x^2 \right] \dots (3-1)$$

Cronbach の α 係数は、0.0 と 1.0 との間の値をとり、一般的には 0.7 から 1.0 の数値をとれば、信頼度が担保されると判定される。(例えば、Cronbach, 1951)。Cronbach の α 係数は、実際には、ソフトウェアを用いて計算することによって、容易に求めることができる。

表 3-14 に、検証版調査問題における Cronbach の α 係数を表す。表 3-14 を見ると、Cronbach の α 係数は、小学生の場合は、最小では問 21 の 0.7511 であり、最大では問 2 の 0.7710 となり、Cronbach の α 係数による検証版調査問題の各問の信頼度は担保されていることになる。そこで、中学生や高校生の場合も、同表で、Cronbach の α 係数による信頼度を見る。中学生の場合は、最小では問 21 の 0.8365、最大では問 18 の 0.8530 となる。また、高校生の場合は、最小では同じく問 21 の 0.8183、最大でも同じく問 18 の 0.8399 となる。以上のことから、中学生や高校生の場合も、Cronbach の α 係数による信頼度は、担保されている。小学生の場合と比較すると中学生や高校生の方が Cronbach の α 係数による信頼度がやや高いことが分かる。例えば、全問題における Cronbach の α 係数を比較すると、小学生が最小の 0.7677 で、高校生が 0.8315、中学生が最大の 0.8471 となる。

表 3-14 検証版調査問題における Cronbach の α 係数

問題番号	小学生	中学生	高校生
全問題	0.7677	0.8471	0.8315
1	0.7683	0.8439	0.8315
2	0.7710	0.8455	0.8315
3	0.7624	0.8438	0.8322
4	0.7649	0.8416	0.8265
5	0.7576	0.8426	0.8220
6	0.7688	0.8484	0.8335
7	0.7645	0.8406	0.8261
8	0.7616	0.8429	0.8257
9	0.7651	0.8425	0.8285
10	0.7560	0.8398	0.8264
11	0.7540	0.8377	0.8280
12	0.7527	0.8386	0.8196
13	0.7582	0.8415	0.8263
14	0.7633	0.8430	0.8274
15	0.7584	0.8382	0.8245
16	0.7592	0.8458	0.8269
17	削除	削除	削除
18	0.7649	0.8530	0.8399
19	0.7633	0.8412	0.8212
20	0.7700	0.8479	0.8313
21	0.7511	0.8365	0.8183
22	0.7584	0.8418	0.8227
23	0.7580	0.8426	0.8199
24	0.7548	0.8411	0.8221
25	0.7585	0.8428	0.8261
26	0.7666	0.8423	0.8292
27	0.7571	0.8405	0.8268
28	0.7569	0.8412	0.8232
29	0.7629	0.8411	0.8258
30	0.7681	0.8419	0.8248

したがって中学生を被検者とした場合が Cronbach の α 係数の信頼度が、最も担保されていることになる。

以上の通り、Cronbach の α 係数を用いることによって、検証版調査問題の信頼度が、担保されているということが分かった。なお、以上の通り、被検者が小学生、中学生、高校生のいずれの場合も、Cronbach の α 係数による信頼度が担保されているため、ここでは被検者全体の Cronbach の α 係数を割愛した。

3-5-4 点双列相関係数

今回は、点双列相関係数を見てもいいことにする。点双列相関係数を求めることによって、調査問題全体と各問題との相関があるかどうか調べることができる。一般に、点双列相関係数は、表 3-15 のような r の数値によって、相関があるかどうかについて判定する。

点双列相関係数は、問題群全体（ここでは 29 問の問題群全体）の正答率 と各問題の正答率との相関を表しているので、全体の正答率と当該問題との正答率が近いほど正の相関が強くなる。すなわち、問題群全体における、被検者集団全体の回答傾向とその問題の回答傾向との間に相関関係あるかどうかを表している。

したがって、点双列相関係数が大きい問題ほど、問題群全体としての回答傾向を反映している問題である。逆に点双列相関係数が小さい問題ほど、問題群全体としての回答傾向を反映していない問題である。当然負の相関が求まることもあるが、表 3-15 には、正の相関のみを挙げた。

表 3-15 点双列相関係数の判断基準

点双列相関係数	判 定
$r=1.0$	完全な正の相関あり（完全な正の相関があった）
$0.7 < r < 1.0$	強い正の相関あり（強い正の相関があった）
$0.4 < r \leq 0.7$	やや正の相関あり（やや正の相関があった）
$0.2 < r \leq 0.4$	弱い正の相関あり（弱い正の相関があった）
$0.0 < r \leq 0.2$	ほとんど正の相関なし（ほとんど正の相関がなかった）
0	相関なし（まったく相関がなかった）

実際に求めた、小学生、中学生、高校生における点双列相関係数を、それぞれ表 3-16、表 3-17、表 3-18 に示す。2017 年度版と 2018 年度版との調査問題における校種別の点双列相関係数は、前頁の表 3-16、表 3-17、表 3-18 のようになった。ここでは、表の左側に、正誤情報を含んだものを、表の右側に、正誤情報を除外したものを示した。なお、正誤情報を含んだものと、正誤情報を除外したものとを比較すると、正誤情報を含んだものより、正誤情報を除外したもののほうが厳しい数値となっている。

次に、小学校・中学校・高等学校の校種別に、点双列相関係数の散布図を次の図 3-18、図 3-19、図 3-20 に示した。なお、点双列相関係数の散布図は条件

が厳しい正誤情報を除外したものを描いた。以下は、校種別の点双列相関係数に関して、これらの表と図を対応させながら検討していくことにする。

表3-16、および、図3-18を見てみると、小学校の場合、正誤情報を除外したときに、正の相関がないと、判定されるものは問1、問2、問6、問9、問20、問26、問30の7問である。

本来は、この数値を、1つの基準として、検証版調査問題から確定版調査問題を選択することも考えられるが、これらの中には、授業実践への応用を行うことに決めた「てこの規則性」に関する問題が、4問含まれている。そこで、基準を少し緩めて、正誤情報を含んでいる点双列相関係数を見てみることにする。

表3-16 検証版調査問題における点双列相関係数(小学校)

問題番号	正誤情報を含む	正誤情報を除外
X1	0.2474	0.1511
X2	0.2142	0.1113
X3	0.3564	0.2618
X4	0.3186	0.2201
X5	0.4354	0.3449
X6	0.2515	0.1500
X7	0.2782	0.2105
X8	0.3559	0.3011
X9	0.2607	0.1948
X10	0.4605	0.3725
X11	0.4910	0.4057
X12	0.5276	0.4616
X13	0.4257	0.3362
X14	0.3438	0.2467
X15	0.4171	0.3401
X16	0.4101	0.3183
X18	0.3174	0.2189
X19	0.3313	0.2425
X20	0.1330	0.0644
X21	0.5468	0.4772
X22	0.4171	0.3401
X23	0.4239	0.3480
X24	0.4880	0.4193
X25	0.4154	0.3353
X26	0.2890	0.1894
X27	0.4454	0.3773
X28	0.4474	0.3578
X29	0.3475	0.2525
X30	0.2341	0.1449

表3-17 検証版調査問題における点双列相関係数(中学校)

問題番号	正誤情報を含む	正誤情報を除外
X1	0.3860	0.3197
X2	0.3523	0.2756
X3	0.4023	0.3286
X4	0.4671	0.3960
X5	0.4376	0.3651
X6	0.2755	0.1926
X7	0.5110	0.4652
X8	0.4208	0.3732
X9	0.4310	0.3796
X10	0.5156	0.4507
X11	0.5713	0.5096
X12	0.5471	0.4839
X13	0.4704	0.3985
X14	0.4198	0.3517
X15	0.5590	0.4967
X16	0.3511	0.2714
X18	0.1275	0.0428
X19	0.4745	0.4068
X20	0.2494	0.1776
X21	0.6034	0.5446
X22	0.4545	0.3913
X23	0.4250	0.3648
X24	0.4777	0.4179
X25	0.4183	0.3568
X26	0.4422	0.3726
X27	0.5057	0.4561
X28	0.4750	0.4094
X29	0.4815	0.4110
X30	0.4582	0.3854

表3-18 検証版調査問題における点双列相関係数(高等学校)

問題番号	正誤情報を含む	正誤情報を除外
X1	0.2302	0.1707
X2	0.2735	0.1977
X3	0.2664	0.1863
X4	0.4198	0.3479
X5	0.5367	0.4632
X6	0.2906	0.1927
X7	0.4378	0.3896
X8	0.4575	0.4123
X9	0.3466	0.2856
X10	0.4198	0.3505
X11	0.3955	0.3130
X12	0.5977	0.5386
X13	0.4501	0.3618
X14	0.3880	0.3231
X15	0.4746	0.4012
X16	0.4337	0.3468
X18	0.0900	-0.0025
X19	0.5603	0.5010
X20	0.3448	0.2485
X21	0.6243	0.5655
X22	0.5199	0.4523
X23	0.6200	0.5737
X24	0.5568	0.5072
X25	0.4294	0.3715
X26	0.3818	0.2909
X27	0.4413	0.4043
X28	0.5159	0.4596
X29	0.4376	0.3781
X30	0.4708	0.3948

そうすると、問1の数値は0,2474と弱い正の相関がある。問2の数値も0,2141と弱い正の相関がある。問6の数値もまた0.2515と弱い正の相関がある。問9の数値も0.2607と弱い正の相関があることが分かる。逆に問20の数値は0.1330と正誤情報を含んだときでも、正の相関がないものと判定されるので、確定版調査問題には採用しない方向で検討する。

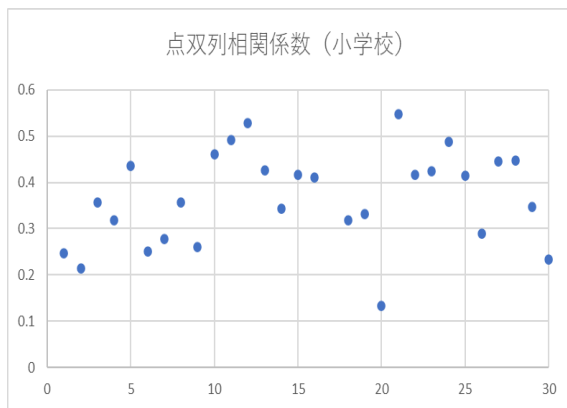


図3-18 検証版調査問題における点双列相関係数 (小学校)

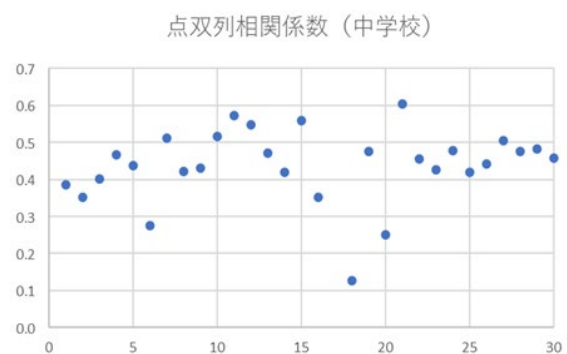


図3-19 検証版調査問題における点双列相関係数 (中学校)

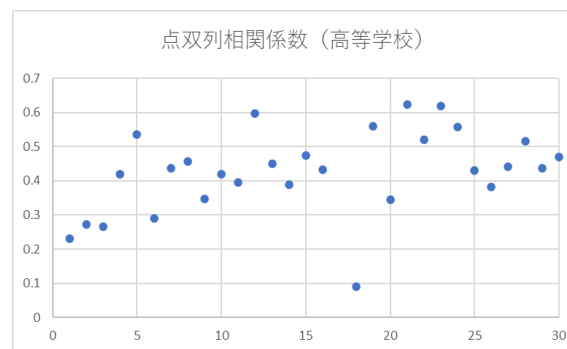


図3-20 検証版調査問題における点双列相関係数 (高等学校)

中学校の場合、正誤情報を含まないときの点双列相関係数が低く、正の相関がないと判定されるものは、問6、問18、問20の3問である。問6と問20は、小学校の場合と共通しているが、問18では、0.0428と数値が突出して低いのが大きな特徴である。小学校の場合と同様に、正誤情報を含んだときについて見てみると、問6の数値は0.2755と弱い正の相関があり、問20の数値も0.2494と弱い正の相関がある。その点は小学校の場合とは異なる結果を示している。そして、問18の数値は、0.1275とやはり正の相関は見られない。

すでに表3-12で出題内容の概要を示しているが、中学生の場合は、問18の「振り子の長さ」と周期との関係について、学んでから時間が経過し、物理現象を概念や知識として捉えることについて忘却が進んでいる可能性が考えられる。逆に、中学生は、問20の「振り子に働く力」を「力の働き」として捉えられている可能性も考えられが、今回の調査では、その詳細についてはよくわからない。

高等学校の場合、正誤情報を含まないときの点双列相関係数が低く、正の相関がないと判定されるものは、問1、問2、問3、問6、問18の計5問である。問18に至っては、-0.0025という負の点双列相関係数が出てい

る。ただし、負の相関があるという状況には至っていない。問1、問2の点双列相関係数の挙動については、小学校と共通しており、問6では、小学校のほか、中学校とも共通している。一方、問18は中学校だけと挙動が共通している。

そこで、小学校、中学校の場合と同様に、正誤情報を含むときを見てみることにする。問1の数値は、0.2302と弱い相関がある。問2の数値も、0.2735と弱い相関がある。問6の数値も、0.2906と弱い相関がある。そして、高等学校に特有の点双列相関係数の挙動として、問3の数値にも、0.2664という弱い相関があることが分かる。一方、正誤情報を含まないときは、問18では、0.0900と

いう小さな値となり、負の数値が相関は見られない。高等学校第 2 学年の段階では、単振り子が未習であることを考慮すると、小学校第 5 学年で学習し、実験を行いながら物理事象として、振り子の運動を観察したことが忘却されている可能性がある。また、小学校の段階では、「振り子の長さを長くすればするほど振り子が 1 往復するのにかかる時間が長くなる」というきまりを見いだすが、「どのように長くなっていくのか」ということについては、通常は問われない。ところが、この問題では、振り子の長さを L 、重力の加速度を g としたときに、振り子が 1 往復するのにかかる時間、すなわち、周期 T は、振り子の振れ幅の角度が小さいとき

$$T \cong 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \cdot \cdot \cdot (3-2)$$

と近似されるので、周期 T のグラフは、無理関数を含むグラフの形状を示す。筆者が、実際に授業実践した経験においては、小学生レベルの実験とその結果と考察から、このような形状のグラフを描くことも可能であったが、すべての小学校理科授業において、すべての小学生に、そこまでを求めるのは適切ではない。以上のことから、問 18 は調査問題として、出題する際注意が必要な問題であることが分かったが、本研究においては、被検者の思考を、もう少し詳しく調査することを目的として、例外的に、確定版調査問題でも出題している。ここでは、これ以上深入りしない。

なお、校種を超えた分析に関して校種間の比較には意味があるものとするが、被検者全体の場合、異なる校種を足し合わせることが単なる数合わせになる可能性があること、また、本研究では、検証版調査問題の被検者のうち、最終的に小学生分のみデータを用いて、確定版調査問題の作成に関して議論していくため、ここでは、被検者全体に関する、点双列相関係数についての検討は割愛する。

3-5-5 項目特性図を用いた検討

項目特性図(豊田, 2012)による検討方法については、本章第 2 節で示した。ここでは検証版調査問題の評価方法の 1 つとして項目特性図を用いて検討した。ここでは、小学生を被検者とした検証版調査問題において問 17 を除いた 29 問のうち、項目特性図の傾向が良好なものと良好ではないものの例を示す。

概ね正常な項目特性図を描けた 1 つの例として、問 5 の項目特性図を、次の表 3-19 の群別人数、および、表 3-20 の各選択肢選択割合(百分率)とともに、図 3-21 に示す。なお、問 5 は図 3-10 に示してある。

問 5 の正答は、選択肢 1 である。2 群と 3 群との間の勾配が他の群間と比較して緩やかになっているものの、典型的な項目特性図の 1 つ「高識別力項目」(豊田, 2012)に近い概ね右上がりのグラフが描かれている。誤答選択肢 2 は、2 群と 3 群との間の勾配が緩やかな右上がりになってはいるものの、1 群から 5 群にかけて徐々に減少しているのが分かるグラフが概ね描かれている。誤答選

択肢 3 は、同じく 2 群と 3 群との間の勾配が緩やかな右上がりになってはいるものの、1 群から 3 群にかけては概ね横並びであり、4 群、5 群は皆無である。そして、誤答択肢 4 は、4 群から 5 群との間の勾配が、緩やかな右上がりになってはいるものの、1 群から 5 群にかけて概ね右下がりのグラフが描かれて

表 3-19 問 5 群別人数 (小学校)

群別の人数							
	1群	2群	3群	4群	5群	計	備考
1	11	19	19	24	29	102	
2	18	10	11	6	3	48	
3	5	4	5	0	0	14	
4	10	8	5	4	2	29	
5	0	0	0	0	0	0	エラー
0	1	0	0	0	0	1	無答
計	45	41	40	34	34	194	

表 3-20 問 5 各選択肢選択割合 (小学校)

群別の選択率							
	1群	2群	3群	4群	5群	計	備考
1	24.4	46.3	47.5	70.6	85.3	52.6	
2	40.0	24.4	27.5	17.6	8.8	24.7	
3	11.1	9.8	12.5	0.0	0.0	7.2	
4	22.2	19.5	12.5	11.8	5.9	14.9	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	エラー
0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	無答
計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

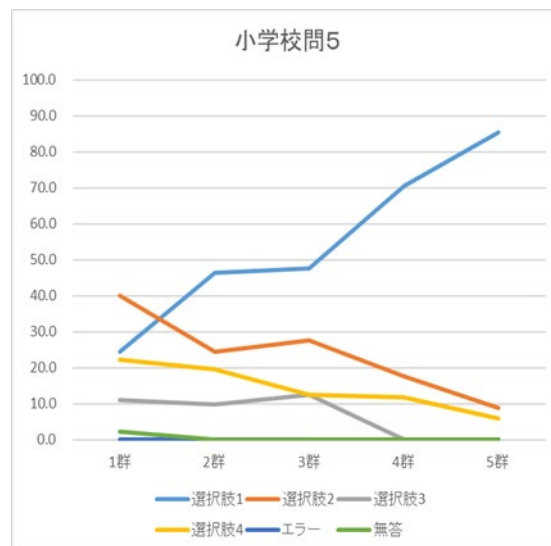


図 3-21 問 5 項目特性図

いる。このような正答分布の状況であれば、調査問題として十分に機能するものと考えられる。それに対して、項目特性図を描くことによって、調査問題として機能していないものも見いだすことができた。問 20 の項目特性図を、表 3-21 の群別人数、および、表 3-22 の各選択肢選択割合 (百分率) とともに、図 3-22 に示す。すでに、小学生の正答率が低く、点双列相関係数の数値が低い問 20 である。これまでの時点で、すでに確定版調査問題への採用は困難な問題だが、項目特性図を描いて回答状況を調べてみる。

表 3-21 問 20 群別人数 (小学校)

群別の人数							
	1群	2群	3群	4群	5群	計	備考
1	3	4	8	4	5	24	
2	20	20	15	15	13	83	
3	12	10	8	5	11	46	
4	10	7	9	9	5	40	
5	0	0	0	0	0	0	エラー
0	0	0	0	1	0	1	無答
計	45	41	40	34	34	194	

表 3-22 問 20 各選択肢選択割合 (小学校)

群別の選択率							
	1群	2群	3群	4群	5群	計	備考
1	6.7	9.8	20.0	11.8	14.7	12.4	
2	44.4	48.8	37.5	44.1	38.2	42.8	
3	26.7	24.4	20.0	14.7	32.4	23.7	
4	22.2	17.1	22.5	26.5	14.7	20.6	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	エラー
0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.5	無答
計	100.0	100.0	100.0	97.1	100.0	100.0	

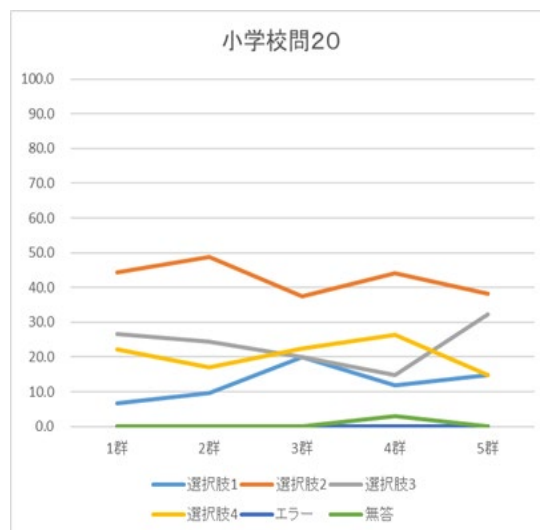
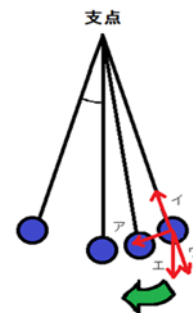


図 3-22 問 20 項目特性図

○右の図のような振り子があります。この振り子が緑色の矢印の向きに動いているときについて考えます。

問20 振り子の小球には、どのような向きの力が働いていますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。ただし、ア～エの力とは、次のような力であるものとします。また、矢印は、力の向きだけを表し、正しい力の大きさを表しているものではありません。



- アの力 最大角までふれた振り子がもどろうとするとき、振り子が動く向きに働いている力
- イの力 振り子の支点の向きに働いている、糸が小球を引く内向きの力
- ウの力 振り子の支点とは逆の向きに働いている、外向きの力
- エの力 小球に働く重力（地球が小球を引く力）

- | | |
|---------|-----------|
| 1 イとエ | 2 アとイとエ |
| 3 イとウとエ | 4 アとイとウとエ |

<出題意図> 正答1

- ・振り子の小球に働いている力についてとらえることができる。

図3-23 問20の問題

問20の問題を図3-23に示した。小学校の学習内容には含まれていないこの問題は、小学生には正答するのが難しい問題である。しかしながら、高等学校・大学では、力は物体が動いている方向に働くと認識している生徒・学生がいると言われている。高校生や大学生でさえ、こうした素朴概念をもっていることから、当然小学生も同様な素朴概念を持っているということが推測されるため、試行する意味で、この問題を検証版調査問題に意図的に出題した。

問20の正答は1である。ところが、各群において、もっとも選択率が高いのは、誤答選択肢2である。また、正答選択肢1は第3群が一番高く約20.0%である。検証版調査問題は選択肢が4つの4択式であるので、完全に当て推量で回答したときの正答率25%よりも正答率が低いことが分かる。誤答選択肢2と誤答選択肢4のグラフは、群と群との上がり下がりが見られ、そして、誤答選択肢3のグラフは、1群から4群にかけて緩やかに右下がりとなって、4群から5群にかけて急激に上昇している。一方、点双列相関係数を見てみると、正誤情報を含んだ場合でさえ0.1330と、ほとんど正の相関がなく、正誤情報を除外すると0.0644となる。よって、問20は、小学校第6学年児童を対象として行うのには不適切な問題であることが分かる。したがって、上記の素朴概念を調査するためには、別の方法を考える必要がある。

以上の通り、各問題の正答率、各選択肢への回答傾向、回答理由の記述、調査

問題全体の回答傾向，Cronbach の α 係数，点双列相関係数，項目特性図という具合に，複数の視点から多面的に，古典テスト理論の範囲内で，本調査の分析と検討を行ってきたが。

次節においては現代テスト理論の 1 つとして知られている，Rasch モデルによる分析を導入し，検証版調査問題から確定版調査問題を抽出する決定的な手掛かりを得ることを目指す。

3-6 調査問題の現代テスト理論 (Rasch モデル) による分析・検討

3-6-1 現代テスト理論導入の必要性

前節においては，確定版調査問題を作成することを前提に，検証版調査問題の結果を，古典テスト理論の範囲内で複数の方法で多面的に分析・検討した。その結果，いくつかの知見が得られた。

例えば，各問題の正答率を求めることにより，問題の大まかな難易度が把握でき，Cronbach の α 係数を求めることにより，信頼度について検討できた。また，点双列相関係数を求めて調査問題全体と各問題との相関を調べることにより，問題の妥当性についての一定の知見が得られた。さらには，項目特性図の作成を通して，正答率や誤答選択肢の回答率の振る舞いを見ることにより，各選択肢の特性をとらえてきた。

古典テスト理論による分析方法において，例えば，ある調査問題を被検者群 A と被検者群 B に受検させた場合を考える。その平均点について，被検者群 A，被検者群 B がそれぞれ 100 点満点中 50 点，60 点であったとする。そうすると，単純には被検者群 A より被検者群 B に属する被検者の方が能力値は高いように見える。ところが，たとえ同一の調査問題であっても，異なる被検者群を対象として実施した場合には，通常分散，標準偏差，偏差値等は異なる値を示す。そのため，これらの被検者群，すなわち，複数集団，および，これらに属する被検者の能力値を単純に比較することはできない。

一方，同一の被検者集団に対して，調査問題 X と調査問題 Y を実施した場合，複数の異なる調査問題の平均点，標準偏差，分散等は異なる値を示すため，同様に単純に比較することはできない。

また，各学校等で実施した，テストの問題とその解答が児童・生徒・学生等の手に渡った段階で，この問題群は 2 度と使用することができなくなる。古典テスト理論の範囲で分析する以上，こうした問題点から抜け出すことはできない。

本節においては，こうした問題点を回避し，分析・検討を行っていくために，現代テスト理論の導入を図っていく。

3-6-2 現代テスト理論

現代テスト理論として，よく知られているものには，項目反応理論 (Item Response Theory, IRT) と Rasch モデルがある。前者は，Lord の学位論文 (1952)

における潜在特性理論 (Latent Trait Theory) に始まり, Birnbaum による, ロジスティック分布を用いた, 項目特性曲線 (Item Characteristic Curves, ICC) の提唱 (1968) によって確立された (以上, 豊田 (2012) より引用)。一方, 後者の Rasch モデルは, Rasch によって, 1960 年に提唱されたものである。

これらの考え方は, 被検者の能力値と問題の項目困難度をもとにして, ロジスティックモデルを作成していく IRT に対して, Rasch モデルという, 理想的なモデルに, 被検者の能力値と問題の困難度を適用していく Rasch モデルという点において差異があるが, 1-パラメタ・ロジスティックモデルと Rasch モデルは, 数学的には同等のものである。

本研究においては, 後者の Rasch モデルを導入し, 古典テスト理論の範囲で分析・検討してきた検証版調査問題の調査結果について, 古典テスト理論と現代テスト理論を併用して, さらに, 分析・検討を続けていくことにする。

3-6-3 Rasch モデルの導入

ここで Rasch モデルの ICC を右の図 3-24 に再掲する。Rasch モデルを導入する利点として次のことが挙げられる。

- ① 被検者の能力値と問題の項目困難度との差をパラメタとして, これらを Rasch モデルに適用するので, 項目困難度と被検者の能力値を, 同時に推定できること。
- ② 推定された項目困難度と被検者の能力値が, 図 3-24 のように同一形状の曲線を平行移動させただけの曲線上に表現されること。
- ③ ②により推定された被検者の能力値に応じて, ある項目困難度の問題における正答確率を把握しやすいこと。また, 同じく②により推定された問題の項目困難度に応じて, 各能力値の被検者の正答確率を把握しやすいこと。
- ④ 問題群の中から, 推定された項目困難度の問題を, 適切に抽出することによって, あらかじめ難易度を設定した調査問題を作成できること。

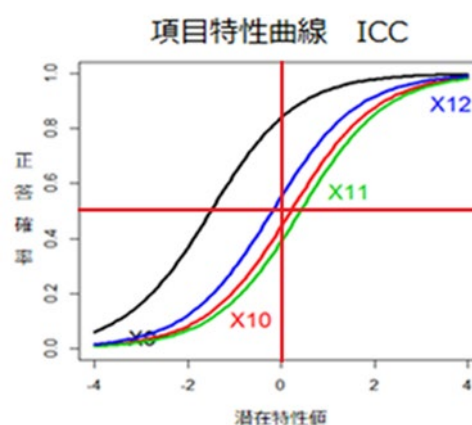


図 3-24 Rasch モデルの ICC

本研究においては, これらの Rasch モデルを導入する利点を生かしながら, 検証版調査問題の結果を分析・検討していく。特に, Rasch モデルがもつ特性のうち, 上の④の特性を活用しながら, 検証版調査問題から, あらかじめ難易度を設定した, 20 問の確定版調査問題を抽出し, 作成していくことにする。

なお、調査を実施し、その結果について、検討していく際には、信頼度を担保する上で、被検者数が重要になる。参考までに、豊田（2012）によると、Raschモデルと数学的に一致している、1-パラメタ・ロジスティックモデルの場合、経験的な数値として、100名以上の被検者が必要であるという。

この点を考慮し、これから Rasch モデルを用いて検討していく、小学校第6学年児童を対象とした、検証版調査問題の被検者数は194名であるので、上記の100名以上という条件を満足するものと判断し、これらの194名の被検者の児童を対象とした調査結果の正答・誤答データを用いることにした。

また、実際には Rasch モデルを用いた研究においては、これより少ない人数による調査も複数存在していることから、被検者数が194名であるということについては、問題がないものと判断した。

3-6-4 Rasch モデルについて

ここで、本研究において用いる Rasch モデルについて簡単に説明しておく。Rasch モデルはデンマークの数学者で統計学者の Georg Rasch (1901-1980) によって、1960年に提唱された統計分析モデルである (G.Rasch, 1960/1980)。Rasch モデルは、 θ_i を被検者の能力値、 δ_j を問題の項目困難度としたときに、次の式で与えられる。ただし、 $P(\theta_i, \delta_j)$ は、能力値が θ_i の*i*番目の被検者が、項目困難度が δ_j の*j*番目の問題に正答する確率を表している。

$$P(\theta_i, \delta_j) = \frac{\exp(\theta_i - \delta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \delta_j)} \cdot \cdot \cdot (3-3)$$

すなわち、正答確率 $P(\theta_i, \delta_j)$ は、被検者の能力値 θ_i と各問題の項目困難度 δ_j との差を1つのパラメタとした関数によって表される。Rasch モデルの項目特性曲線 (Item Characteristic Curves, ICC) は、すべて同じ形状をしたグラフで表される。

そのため、調査問題における各問題の正答確率のグラフは、項目困難度の違いや被検者の能力値の違いに応じて、図3-24のように同一の形状の曲線を平行移動しただけのものになる。

ここで、被検者の能力値、および、問題の項目困難度による、正答確率の推定のしかたについて確認しておく。

図 3-24 と同じ例を用いることにする。X9 から X12 の ICC は、横軸を潜在特性値（被検者の能力値、および、問題の項目困難度を表す軸）、縦軸を正答確率としたときに、問 9 から問 12 の正答確率を Rasch モデルで表すと、右の図 3-25 のようになる。例えば、縦軸で、正答確率が 0.500（50.0%）の点から、横軸と平行に黄色の直線を引き、この問題の項目困難度の直線と各 ICC との交点から縦軸に平行な直線を引いて、横軸と交わったところの数値が、推定された各問題の項目困難度となる（図 3-25 参照）。一方、推定された能力値が 0,000 である被検者の例を考えると、被検者の能力値は、潜在特性値として表され、ここから黄色の直線を引く。この黄色の直線と、問 11 の緑色の ICC との交点から横軸と平行に直線を延ばして、縦軸と交わったところの数値が推定された正答確率となる。問 10 の場合は赤色、問 12 の場合は青色、問 9 の場合は黒色の直線をそれぞれ横軸と並行に延ばして、縦軸と交わったところの数値がある能力値の被検者の正答確率となる。

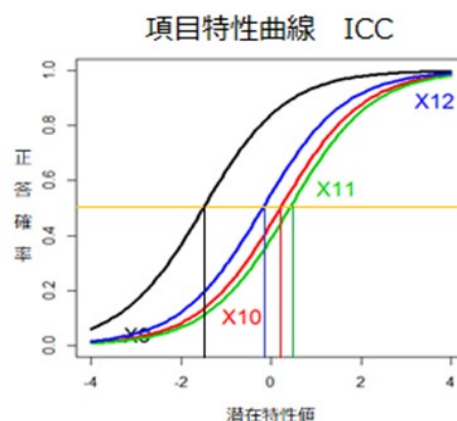


図 3-25 項目困難度の推定

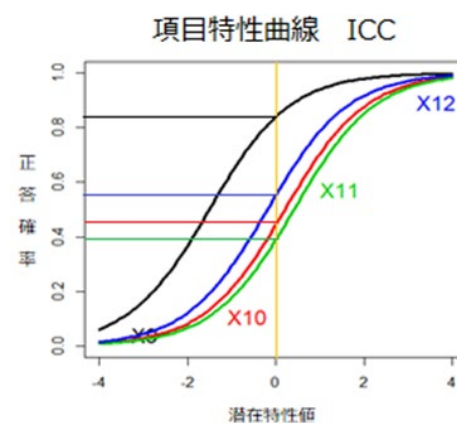


図 3-26 ある能力値の被検者の正答確率

3-7 Rasch モデルによる検証版調査問題の分析・検討

3-7-1 小学校児童の調査結果の分析・検討

本研究においては、作成した調査問題の主な対象は、小学校児童であるので、ここでは、前節で古典テスト理論の範囲についての分析・検討を行った調査結果のうち、2017 年度、および、2018 年度の国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童 194 名の調査結果について Rasch モデルによる分析・検討を行っていく。なお、2017 年度、および、2018 年度の検証版調査問題は同一である。

3-7-2 Rasch モデルにおける 1 次元性と局所独立性

Rasch モデルにおいても IRT においても 1 次元性と局所独立の仮定はモデルを適用するための大切な要件となる。

まず、検証版調査問題に対して Rasch モデルを導入して検討していくにあたって、2 つの量が 1 次元性の関係を満たすことが必要である。まず、式 (3-3)

において、 i 番目の被検者の能力値 θ_i と、 j 番目の問題の項目困難度 δ_j との差を 1 つの変数とすると、 i 番目の被検者の j 番目の問題に対する正答確率 $P(\theta_i, \delta_j)$ は一意的に定まるものとする。前述の通り、IRT の 1 パラメタ・ロジスティックモデルと、数学的に同等であるとは言え、Rasch モデルの場合は、式 (3-3) で表される関数の ICC に、すべての被検者の能力値、および、調査問題におけるすべての問題の項目困難度が位置づくということが、前提となっているからである。したがって、Rasch モデルにおいては、各問題や、各被検者の正答・誤答データに基づいて、推定された正答確率は、ICC のグラフを描いたときに、必ずそのグラフ上のどこかに位置づくことを前提となる。ところが、実際には理想的な Rasch モデルにすべての調査問題と正答・誤答データを当てはめようとしているので、当然ズレが生じる。このことについては、あとで議論する。

一方、IRT、Rasch モデルといった、現代テスト理論において、重要とされているのが、局所独立性である。例えば、問題 A と問題 B があつたとき、問題 A が正答できなければ問題 B には、必然的に正答できないという状況がある場合、局所独立性が担保できないことになるので、IRT や Rasch モデル等現代テスト理論を用いて検討することはできない。例えば、検証版調査問題においては、ある事象を提示して、その同一事象について、複数の問題を出題していることも少なくないが、この局所独立性を担保することを考慮しながらこれらの問題を作成した。例えば、問 1 から問 3 はいずれも同じシーソーに関する問題だが、問 1 から問 3 までの問題文を正確に読み取ることができれば、「問 1 を正答しなければ問 2 や問 3 を正答できない」ということにはならない。「問 2 を正答しなければ問 3 を正答できない」ということもない。それに対して、振り子の長さを変えたとき、振り子が 1 往復するのにかかる時間について問 17 は、因子分析により、1 次元性や、局所独立性を満たさない問題であるということが分かったので、Rasch モデルによる分析・検討の際、検証版調査問題の検討対象から除外して計 29 問の調査結果を検討することにした。

3-7-3 Rasch モデルによる調査問題設計の指針

Rasch モデルの場合は、被検者の能力値と問題の項目困難度との差が、1 つのパラメタとなっている。そのため、Rasch モデルを用いて分析することにより、被検者の能力値と各問題の項目困難度を同時に推定することができる。

ある調査問題が、Rasch モデルとのズレが少なく、うまく機能するためには、被検者の集団にとって難し過ぎず易し過ぎない、すなわち、被検者集団に適した問題を出題するということが挙げられる。また、得点分布の分散が大きい上に、あまりにも度数の上下動が極端な問題等は事前に精査して、データの有用性について検討しなければならない。本研究において、古典テスト理論で分析した、検証版調査問題の結果においては、このような挙動は見られないので、そのまま Rasch モデルによる分析へと進んでいく。ただし、小学生を対象とした場合に、問 20 と問 30 の正答率が低いことについては、Rasch モデルによって分析する

際にも注意する。

こうした条件は、古典テスト理論の範囲で行われてきた分析・検討においても、極めて常識的なことだが、Rasch モデルを用いることにより、調査問題各問の項目困難度を定量化、数値化できるので、検証版調査問題から確定版調査問題を抽出する際に、被検者の集団に適した程度の問題を出題できるという点で利点大きい。

このような Rasch モデルの利点を調査問題の作成に生かすことを念頭におき、ここでは、検証版調査問題における結果について Rasch モデルによって分析・検討を行って、各問の項目困難度と、被検者の能力値を推定していく。そして、その分析・検討の結果を用いて、検証版調査問題の中から問題毎の項目困難度を用いて、調査問題全体としての困難度をあらかじめ設定した確定版調査問題を設計していく。

3-7-4 項目困難度の絶対値と項目特性曲線による分析・検討

検証版調査問題においては、2017 年度、および、2018 年度の国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童を被検者として調査を行った。調査、および、データの読み取りは、マークシートを用いた、いわゆる、マークセンス方式で行ったが、同時に 1 枚ずつ目視による精査も行った。その結果、児童 1 名が、ほぼ当て推量によって回答しているということが判明したため、そのデータを除外した 194 名の被検者を対象とした調査結果について Rasch モデルを用いて分析した。なお、Rasch モデルは、当て推量によるデータが含まれていても問題ないとされるが、古典テスト理論と併用して、分析・検討していくため、当該児童のデータを除外

表 3-23 検証版調査問題における推定項目困難度

問題番号	項目困難度	問題番号	項目困難度
問1	-0.184	問16	0.261
問2	0.593	問17	削除
問3	0.999	問18	0.687
問4	0.569	問19	-0.425
問5	0.451	問20	2.760
問6	0.451	問21	-0.597
問7	-1.506	問22	-0.781
問8	-1.943	問23	-0.813
問9	-1.603	問24	-0.946
問10	0.333	問25	-0.627
問11	0.782	問26	0.380
問12	-0.912	問27	-1.127
問13	0.116	問28	0.475
問14	0.593	問29	1.023
問15	-0.781	問30	1.772

した。こうして項目困難度の推定値を求めると表 3-23 のようになった。なお、ここでは、R の eRm パッケージを用いてこの推定値を求めた。また、表 3-23 において、検証版調査問題のうち、局所独立性の仮定に反する問 17 を除いた、計 29 問による分析を行って ICC を描いたとき、項目困難度が 0.000 の問題に対して、能力値が 0.000 の被検者が 50%の確率で正答する点を原点とした。

表 3-23 の項目困難度を、グラフで表すと、次のページの図 3-27 のようになる。表 3-23 が示している数値が、検証版調査問題から問題を抽出して確定版調査問題を作成する上での、極めて重要な要素となる。検証版調査問題で項目困難度が最も高いのは、問 20

の 2.760 であり、これに問 30 の 1.772, 問 29 の 1.023 と続いている。項目困難度が 2.760 の問題とは、推定能力値が 2.760 の被検者が、50%の確率で正答できるものと推定される問題である。

表 3-23, および, 図 3-27 を見ると, 古典テスト理論による分析・検討でも注意を要した問 20 と問 30 において, Rasch モデルによる推定項目困難度が, 高くなっていることが分かる。

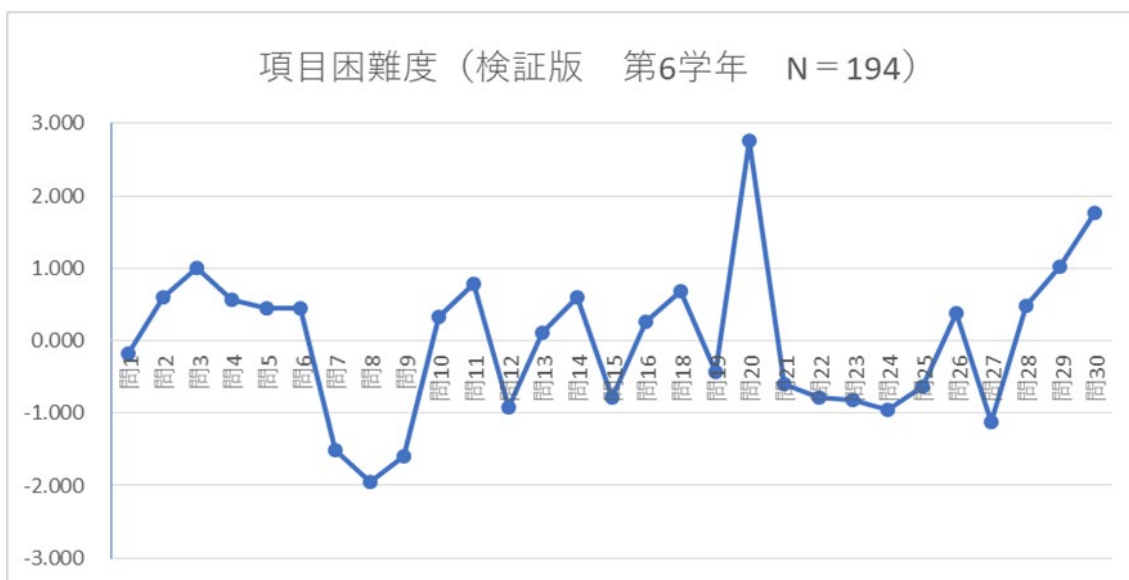
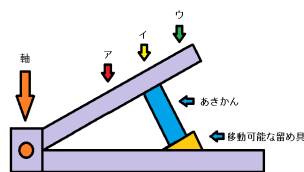


図 3-27 検証版調査問題における推定項目困難度

そこで, 3 つの問題についての Rasch モデルにおける項目特性曲線の挙動を見ていくことにする。ここで比較するのは検証版調査問題の問 8, 問 10, 問 20 である。問 10 と問 20 については, すでに図 3-7, 図 3-23 に掲載したので, ここでは省略し, 問 8 のみ, 次の問 3-28 に掲載する。

○右の図のような「空きかんつぶし器」をつくりました。

問 8 上の板は軸を中心として上下に動きます。上の板を押して, 空きかんをつぶそうと思います。空きかんをつぶすために, 加える力の大きさについて, どんなことが言えますか。1~4 の中から 1 つだけ選びましょう。



- 1 力を加える位置の動きがもっとも小さいので, アの位置に力を加えると, もっとも小さな力で空きかんをつぶせる。
- 2 力を加える位置が空きかんの位置にもっとも近いので, イの位置に力を加えると, もっとも小さな力で空きかんをつぶせる。
- 3 力を加える位置が軸の位置からもっとも遠いので, ウの位置で力を加えると, もっとも小さな力で空きかんをつぶせる。
- 4 空きかんには, 加えた力と同じ大きさの力が加わるので, ア, イ, ウのどの位置で力を加えても, 空きかんをつぶすためには, 同じ大きさの力が必要である。

図 3-28 検証版調査問題 問 8 の空きかんつぶし器についての問題

問 8, 問 10, 問 20 の推定項目困難度は, それぞれ, -1.943 , 0.333 , 2.760 となり, 数値の上では問 8 が易しい問題, 問 10 が中程度の問題, 問 20 が難しい問題と把握できる。ところが, ICC の挙動を見てみると大きな違いがあることが分かる。そこで, 問 8, 問 10, 問 20 の ICC をそれぞれ次のページの図 3-29, 図 3-30, 図 3-31 に示す。

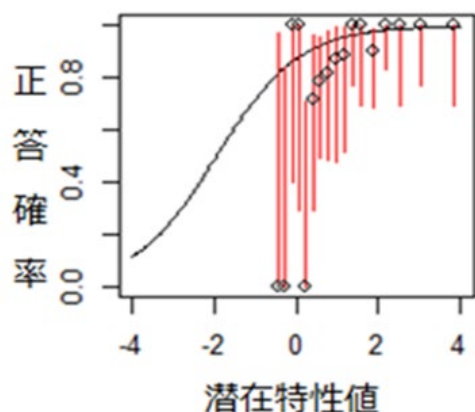


図 3-29 問 8 の ICC

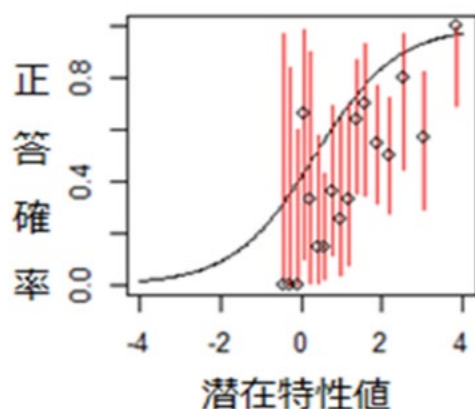


図 3-30 問 10 の ICC

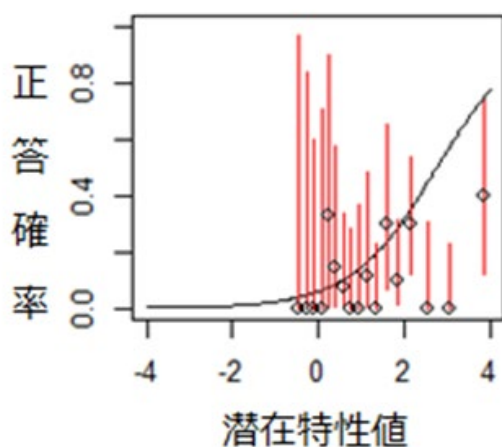


図 3-31 問 20 の ICC

これらの ICC を比較する前に, 図の見方について確認しておくことにする。まず, 3 つの図の ICC 自体は, Rasch モデルによるもので, いずれも同じ曲線を, 推定された項目困難度の値に応じて, 平行移動しただけのものである。次に, 検証版調査問題は 30 問からなり, うち問 17 を削除した 29 問であるので, 合計得点が 29 点, 各問題が正答ならば 1 点, 誤答ならば 0 点であるので, 被検者の推定能力値はとびとびの値をとるはずである。したがって, これらの図の赤線 (正答確率の分布) と○印 (被検者最頻値) は, 同じく潜在特性値に対してとびとびの値をとっている。次に, 赤線は, 正答確率の分布を表し, 当該推定能力値の被検者の当該問題に対する正答確率が, この範囲に分布していることを表す。そして, ○印は, 当該推定能力値の被検者の当該問題に対する正答確率の最頻値を表す。したがって, 実際の当該能力値の被検者の当該問題に対する正答確率が, Rasch モデルの ICC に近い問題ほど○印が ICC に近いところに位置づいており, ICC からのずれが大きいほど○印が ICC から離れたところに位置づいているということが分かる。項目困難度という数値に加えて, 赤線の長さや○印のばらつき具合も, 分析・検討の際の重要な要素となる。

問 8, 問 10, 問 20 の推定項目困難

度は、それぞれ、 -1.943 、 0.333 、 2.760 であり、前述の通り、単に項目困難度の数値だけを見ると、問 8 が易しい問題で、問 10 が中程度の問題で、問 20 が難しい問題と解釈されてしまうこともある。そこで、これらの ICC を見ていくことにする。

まず、図 3-29 の問 8 の ICC を見ると、この被検者集団では、特に推定した能力値が低い被検者を除いて○印が概ね ICC にそって分布しているということが分かる。しかも、ICC の右上の方に○印が存在している。このことから、問 8 は Rasch モデルに概ね適合しており、推定した項目困難度の数値が示している通り、易しい問題であるということが分かる。この問題は、第 6 学年の「てこの規則性」に関する問題で、上の図 3-28 のように、「てこの規則性」を物理的な事象に適用した問題であることから、第 6 学年「てこの規則性」についての確定版調査問題に使用しても差し支えない問題であるということが分かる。

次に、図 3-30 の問 10 の ICC を見ると、この被検者集団では、○印が概ね Rasch モデルの ICC にそって位置づいている推定能力値の群と○印が ICC から少し下に位置づいている推定能力値の群があることが分かる。しかも、後者は、比較的上位にある推定能力値の群にも存在している。その背景には、古典テスト理論の範囲で、定量的かつ定性的に分析・検討してきた、子どもに特徴的な素朴概念(支点中心説)が影響しているものと推定される。しかも、この素朴概念は、推定能力値が下位の群から比較的上位の群まで幅広く分布しているということが分かる。このことを考慮した上で第 6 学年「てこの規則性」についての確定版調査問題に使用することになる。そのため、確定版調査問題を用いて、授業実践の事前調査—事後調査として行うときには、この子どもに特徴的な素朴概念について、古典テスト理論における定量的かつ定性的な分析・検討を、再度行ってみる必要がある問題である。

その次に、図 3-31 の問 20 の ICC を見ると、推定能力値が下位の群では、推定正答確率が低く、Rasch モデルの ICC に概ね合致していることが分かる。ところが、問題は推定能力値が上位の群における○印、すなわち、推定正答確率の最頻値である。比較的上位の群における推定正答確率は 0 に近く、最も上位の群でさえ、Rasch モデルの ICC から相当下方にずれていることが読み取れる。このことから、問 20 は古典テスト理論によって分析・検討した場合と合致し、小学校第 6 学年児童を被検者とした場合には不適切な問題であることが分かる。したがって、この問題は、第 5 学年「振り子の運動」についての確定版調査問題には不採用とすべきである。ただし、授業実践への応用を前提とはせず、高校生や大学生にしばしば見られる「物体が動いている方向に力が働いている」という素朴概念を調査するのであれば、このような目的を前提として、問題を修正の上、出題することは可能なものとする。

以上のように、推定された項目困難度の数値だけを見て、検証版調査問題から確定版調査問題を作成することは、調査問題としての妥当性を担保することにはならない。すなわち、Rasch モデルの ICC を描き、その挙動を考察しながら確定版調査問題に用いる問題を選択しなければならない。

3-7-5 能力値と項目困難度との関係による信頼度の分析・検討

ここまでは ICC を用いて Rasch モデルによる、検証版調査問題の分析・検討を行ってきた。そこで、被検者集団の能力値の分布状況、各問題の項目困難度の状況を見ながら、検証版調査問題においての各問題の推定項目困難度と、被検者の推定能力値について分析・検討していく。これらについてわかりやすく表したのが、次のページに示す、Person-Item Map (図 3-32) である。

図 3-32 において、横軸には、潜在特性値が、縦軸には、項目困難度が高い問題から低い問題へと、下から上へと順に配置されている。また、グラフの上部には被検者パラメタの分布が示されている。この Person-Item Map において、

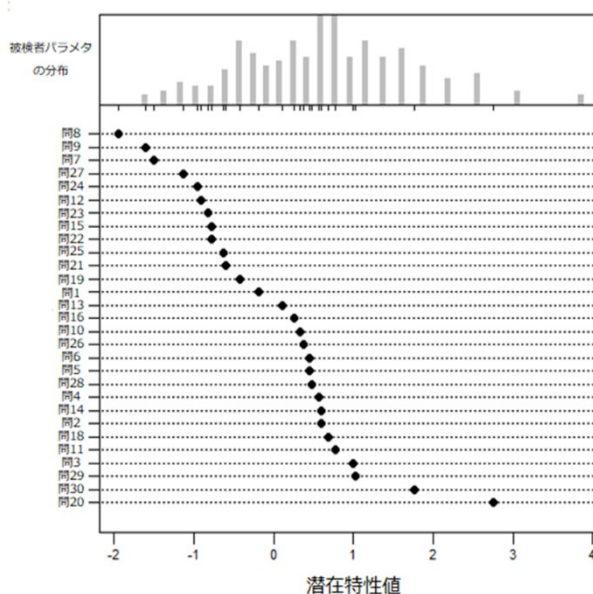


図 3-32 Person-Item Map

上部に描かれた、被検者パラメタの変化の状況を見てみると、被検者の能力値を表す、潜在特性値は、とびとびの値をとり、その値が極めて低いところで、小さな山が見られる。また、0.5 と 1.0 との間で非常に高い山 (中央値) が見られる。そして、その値が極めて高いところでも小さな山が見られる。全体としては多少の凹凸は見られるものの、概ね正規分布に近い分布をしている言うことができる。一方、各問題の推定項目困難度に、着目すると、表 3-23 における、項目困難度の数値と同様に項目困難度が低い順に問 8、問 9、問 7、問 27、問 24・・・

と●印が表されている。ところが、古典テスト理論による分析・検討において、問題視された問 20 と問 30 の●印が、低い推定項目困難度から高い項目困難度へと至るなだらかな●印の変化から、大きく外れているということが、明らかに分かる。このことから、問 20 と問 30 は、確定版調査問題に採用すべきではないということが明白である。よって、古典テスト理論、および、現代テスト理論を併用した分析・検討を通して、問 20 と問 30 との 2 つの問題以外は確定版調査問題に採用できることが分かる。但し、検証版調査問題から確定版調査問題を抽出する際には、これまでの分析・検討に基づいて再度吟味する必要がある。

3-7-6 Outfit・Infit による信頼度の分析・検討

次に検証版調査問題についての分析・検討に関するもう 1 つの信頼度として、Outfit (outlier-sensitive mean square fit statistics, Outfit), および, Infit (information-weighted mean square fit statistics, Infit) について検討していくことにする³⁻²⁾。

θ_i の能力値である i 番目の被検者が、項目困難度が δ_j である j 番目の問題に、正答する確率は、本章前節で示した通り、

$$P(\theta_i, \delta_j) = \frac{\exp(\theta_i - \delta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \delta_j)} \cdot \cdot \cdot \quad (3-3)$$

となる。これを用いて、例えば、 $\theta=1.5$ の能力値の被検者が、項目困難度が $\delta=1.0$ の問題を解いたときの正答確率は、

$$P(1.5, 1.0) = \frac{\exp(1.5-1.0)}{1 + \exp(1.5-1.0)} = \frac{\exp 0.5}{1 + \exp 0.5} = \frac{1.648 \cdot \cdot \cdot}{2.648 \cdot \cdot \cdot} = 0.622 \cdot \cdot \cdot \cong 0.62 \cdot \cdot \cdot \quad (3-4)$$

また、誤答確率は、

$$1 - 0.622 \cdot \cdot \cdot = 0.377 \cdot \cdot \cdot \cong 0.38 \cdot \cdot \cdot \quad (3-5)$$

となる。 θ_i の能力値の i 番目の被検者が項目困難度が δ_j の j 番目の問題に対する期待値は、この問題の得点を 1 点としたとき、

$$E(X_{ij}) = 1 \times P(X=1) + 0 \times P(X=0) \cong 0.62 \cdot \cdot \cdot \quad (3-6)$$

となる。

ここで、 i 番目の被検者の得点を X_{ij} とし、

$$\text{残差} = (\text{実際の得点}) - (\text{得点の期待値}) = X_{ij} - E(X_{ij}) \cdot \cdot \cdot \quad (3-7)$$

と定義すると、当該被検者が正答の場合、

$$1 - 0.622 \cdot \cdot \cdot \cong 0.38 \cdot \cdot \cdot \quad (3-8)$$

となり、当該被検者が誤答の場合、

$$0 - 0.622 \cdot \cdot \cdot \cong -0.622 \cdot \cdot \cdot \quad (3-9)$$

となる。ただし、問題の得点を 1 点としたときには、期待値は 0 から 1 までの間の値をとるので、残差の絶対値もまた、0 から 1 までの値をとる。

式 (3-7) において、実際に、被検者の正答・誤答情報が、Rasch モデルに合致しているときには残差が 0.00 となるので、残差の期待値も 0.00 である。また、図 3-19 のような Rasch モデルのグラフで、項目困難度が、ちょうど 0.00 の問題に対して、ある被検者の正答確率が、0.50 であったときには、残差は 0.50 になる。つまり、被検者の能力値と項目困難度が合致していることになる。また、大きな残差は、期待されているパフォーマンスを発揮できた結果ではなくミスフィットを生み出している要因になっているとすることができる (Bond and Fox, 2015)。

項目困難度が 0.00 の問題に対して、0.00 の能力値の被検者の正答率は 0.50 であり、この問題に正答した場合の残差は +0.50 である。これを何度も行ったとすると、その分散 $Var(X_{ij})$ は、

$$\text{Var} (X_{ij}) = p(1-p) = 0.50 \times (1-0.50) = 0.25 \dots (3-10)$$

となり、その標準偏差は、

$$\text{SD} (X_{ij}) = \sqrt{\text{Var} (X_{ij})} = 0.50 \dots (3-11)$$

となる。

(3-7) で、残差が +0.10 のときについて考える。

$$\text{残差} = (\text{実際の得点}) - (\text{得点の期待値}) = X_{ij} - E(X_{ij}) \dots (3-7) \text{ より、}$$

$$0.10 = 1 - E(X_{ij}) \dots (3-12)$$

であるから得点の期待値は 0.90 となり、期待値の定義より正答確率は 0.90 となる。その分散 $\text{Var} (X_{ij})$ は、

$$\text{Var} (X_{ij}) = p(1-p) = 0.90 \times (1-0.90) = 0.09 \dots (3-13)$$

となり、その標準偏差は、

$$\text{SD} (X_{ij}) = \sqrt{\text{Var} (X_{ij})} = 0.3 \dots (3-14)$$

となる。

したがって、Rasch モデルに合致した正答・誤答のデータであっても、得点によって、ばらつきの状況が異なる。そのため、残差の数値によって、単純に比較することはできない。このような状況を踏まえて、残差の標準化を行っていく。標準化残差を Z_{ij} とすると、

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - E(X_{ij})}{\text{SD} (X_{ij})} = \frac{X_{ij} - E(X_{ij})}{\sqrt{\text{Var} (X_{ij})}} \dots (3-15)$$

によって定義される。

ここで標準化残差の 2 乗の和を求める。2 乗の和を被検者について考えると、

$$S_n = \sum_{i=1}^n Z_{ij}^2 \dots (3-16)$$

また、2 乗の和を問題について考えると、

$$S_m = \sum_{j=1}^m Z_{ij}^2 \dots (3-17)$$

となる。

正答・誤答のデータがすべて Rasch モデルに従う場合、(3-16) (3-17) によって得られた値 S_n と S_m はそれぞれ自由度 n 、自由度 m の χ^2 分布に従う。これらを用いて、Outfit 平方平均と Infit 平方平均を求めることにする。

まず、Outfit 平方平均は、2 乗和の合計を、その自由度 (項目数、もしくは、

被検者数)で割って求める。すなわち、 i 番目の被検者の **Outfit** 平方平均の値は、全体の項目数 m で割って、

$$\text{Outfit MNSQ}_i = \frac{\sum_{j=1}^m Z_{ij}^2}{m} \cdot \dots \quad (3-18)$$

となり、 j 番目の問題のアウトフィット平方平均の値は、全体の被検者数 n で割って、

$$\text{Outfit MNSQ}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{ij}^2}{n} \cdot \dots \quad (3-19)$$

と、それぞれ定義される。

一方、**Infit** 平方平均は、**Outfit** の単純平均に対して、全被検者の回答の分散による加重平均であり、 i 番目の被検者の **Infit** 平方平均は、

$$\text{Infit MNSQ}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \{Z_{ij}^2 \cdot \text{Var}(X_{ij})\}}{\sum_{j=1}^m \text{Var}(X_{ij})} \cdot \dots \quad (3-20)$$

となり、 j 番目の問題の **Infit** 平方平均は、

$$\text{Infit MNSQ}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \{Z_{ij}^2 \cdot \text{Var}(X_{ij})\}}{\sum_{i=1}^n \text{Var}(X_{ij})} \cdot \dots \quad (3-21)$$

となる。

これらの **Outfit** と **Infit** は、「0.7 から 1.3 までの範囲に収まっていればよい」とするのが一般的な考えであり（例えば、静（2007）や Bond and Fox（2015））、この考え方より、検証版調査問題の各問について、**Outfit**、および、**Infit** が、0.7 から 1.3 までの範囲に収まっているのかどうか調べていくことにする。そこで、

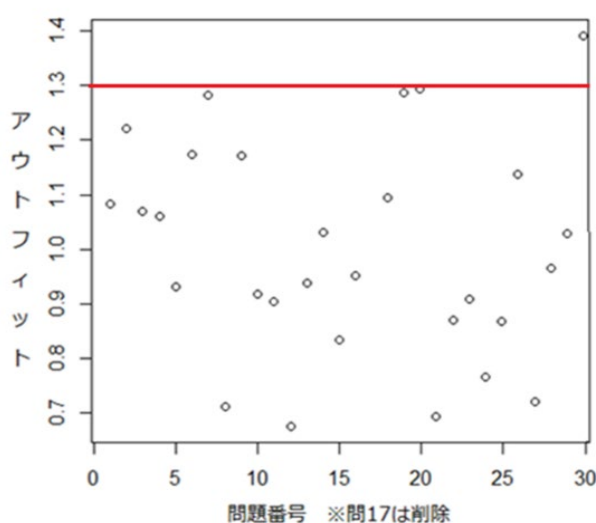


図 3-33 検証版調査問題の Outfit

次の図 3-33、図 3-34 に **Outfit**、および、**Infit** のグラフを示す。これらは、いずれも、R の **eRm** パッケージによって計算して、グラフを描いたものである。

まず、**Outfit** については、図 3-33 の通り、問 12 と問 21 が、下方への **Misfit (Overfit)** であるほか、問 30 が、上方への **Misfit (Underfit)** である。問 20 は、ちょうど **Misfit (Underfit)** との境界にある。それ以外の問題はすべて、**Outfit** が 0.7 から 1.3 までの間に収まっていることが分かる。

次に、図 3-34 の **Infit** に関して

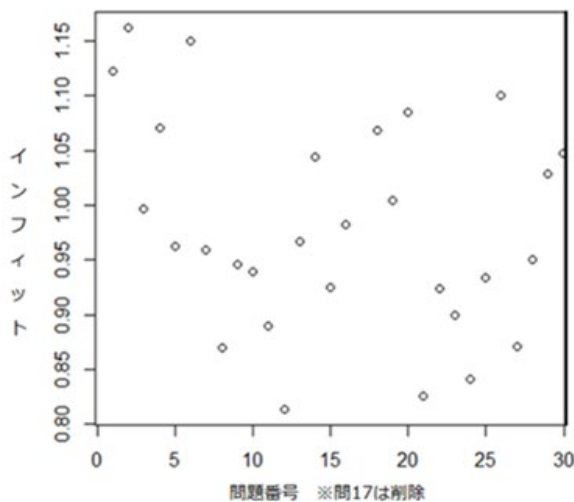


図 3-34 検証版調査問題の Infit

は、すべての問題の Infit が、0.7 から 1.3 までの間に収まっているということが分かる。ところが、これらの中には問 2 や問 6 のように、比較的高い Infit の値を示しているものもある。

Outfit や Infit における Misfit の中でも Overfit は、特に問題にされない。なぜなら、調査結果が Rasch モデルに fit し過ぎていた分には、特に問題はないからである。それに対して、Misfit の中でも Underfit は、有害な情報を含んでいるものとされる（例えば、静（2007）、Bond and Fox（2015）など）。

よって、Outfit において、Misfit (Overfit) となった問 12 と問 21 の 2 問を、確定版調査問題に採用するのは差し支えない。それに対して、Misfit (Overfit) となった問 30 は、有害な情報を含んでいるので確定版調査問題に採用することはできない。また、問 20 も Outfit において Misfit (Underfit) の境界線上にあるので、確定版調査問題には採用しない方が望ましい。また、Infit については問題ない。したがって、ここでも同じ問 20 と問 30 が排除されることが分かった。

3-8 確定版調査問題の作成に向けて

3-8-1 本章のまとめを通した項目抽出

ここでは、これまでの分析・検討の結果に基づいて、検証版調査問題から問題を抽出して、確定版調査問題を作成するという、本章のまとめである。これまでの古典テスト理論による定量的・定性的な分析・検討、および、現代テスト理論の1つとしての Rasch モデルによる定量的な分析・検討を併用しながらまとめ、そこから得られた知見をもとにし、検証版調査問題の結果から項目を抽出して、確定版調査問題を作成していくという段取りとなる。

3-8-2 古典テスト理論による分析・検討の利用

前述の通り、古典テスト理論による分析・検討と現代テスト理論による結果の分析・検討を併用し、両者の利点を生かしながら検証版調査問題から項目を抽出し、確定版調査問題を作成していくのが前提である。

本研究において、古典テスト理論の範囲内で分析・検討してきたのは各問題の正答率、調査問題全体の正答率、項目特性図、点双列相関係数、Cronbach の α

係数、誤答分析、正答分析等である。

例えば、検証版調査問題の問 20 の正答率は極めて低い。Cronbach の α 係数からこの問題が有効であることは示されてはいるものの、項目特性図を描いてみると、通常は下位群から上位群にかけて上昇していくはずの正答率のグラフが、前述の通り異常な挙動を示していた。すなわち、下位群であっても上位群であっても、正答率はあまり変わらなかった。誤答選択肢の選択状況も同じような挙動を示していた。これと関連し、同問の点双列相関係数も低かった。

さらに、問 20 の正答率は約 12.4% と非常に低く、4 択問題で当て推量により回答したときの正答確率 25.0% を下回っている。このことから、問 20 は、調査問題としては不適であると考えられる。したがって、検証版調査問題の問 20 は、確定版調査問題に抽出しないことにした。

3-8-3 現代テスト理論の利用と問題抽出

古典テスト理論に基づいて、検証版調査問題とその結果について、分析・検討する際に、問 20 のほか、問 30 もまた、問題点が指摘された。一方、このことを決定づけるのが Rasch モデルによる分析である。つまり、問 30 の Outfit は 1.3 を大幅に超えており Underfit であること。また、問 20 の Outfit もほぼ 1.3 の線上にあり、Underfit との境界に存在するということである。

項目困難度を見ても、問 20 は 2.760、問 30 は 1.772 と突出して項目困難度が高く、小学校第 6 学年の児童を被検者とした調査問題として、適していないのは明らかである。これらの問題は、いずれも小学校理科の範囲外から出題している。というのは、高校生や大学生が持つ素朴概念と関連づけることを目的に、検証版調査問題においても、意図的に存置してきたからである。ところが、これまでの分析・検討を通して、小学校児童を対象とした場合は、あまり意味がないことが分かった。

Rasch モデルによって推定した、問 17 以外の問題の項目困難度と確定版調査問題への抽出結果を表 3-24 に示す。本研究を通して、子どもの物理的認識について開発してきた評価法・分析法を実際に授業実践に応用する単元が、この時点で第 6 学年「てこの規則性」に決まったことも踏まえて、この表 3-24 にあるような構成で、確定版調査問題を作成していくことにした。

結果として、「てこの規則性」に関する問題はすべて存置し、小学校理科物理分野の力と運動領域に属する、他の単元の問題も 10 問存置した。調査問題群としての困難度は、検証版調査問題において求めた項目困難度を基準として、全 20 問では -2.753 となった。

次章においては、本章において、古典テスト理論に基づいて、分析・検討してきた結果、および、現代テスト理論の 1 つとしての Rasch モデルに基づいて、分析・検討してきた結果によって、抽出した 20 問からなる、確定版調査問題を事前調査、および、事後調査に用いて、実際の授業実践に応用する。

表 3-24 検証版調査問題の項目困難度と問題の抽出

検証版問題番号	項目困難度	確定版問題番号	検証版問題番号	項目困難度	確定版問題番号
問1	-0.184	問1	問16	0.261	削除
問2	0.593	問2	問17	削除	削除
問3	0.999	問3	問18	0.687	問14
問4	0.569	問4	問19	-0.425	削除
問5	0.451	問5	問20	2.760	削除
問6	0.451	問6	問21	-0.597	削除
問7	-1.506	問7	問22	-0.781	削除
問8	-1.943	問8	問23	-0.813	問15
問9	-1.603	問9	問24	-0.946	削除
問10	0.333	問10	問25	-0.627	問16
問11	0.782	問11	問26	0.380	問17
問12	-0.912	問12	問27	-1.127	問18
問13	0.116	削除	問28	0.475	問19
問14	0.593	削除	問29	1.023	問20
問15	-0.781	問13	問30	1.772	削除
				検証版困難度	確定版困難度
				0.000	-2.753

【第3章の註】

- 3-1) 授業評価に対して、成績評価という言葉を用いることも多いが、本研究における調査問題は、成績評価を行うことを前提として作成したのではないので、単に、学習評価という言葉を用いた。また、例えば、西村・新田は、2008年以降、T高等学校の生徒を対象に、大学院生を授業者として、Mazurによって開発された「ピア・インストラクション」を導入した物理授業を行っている。その効果は、授業応答装置（クリッカー）のデータや Hestenes らによって開発された、FCIを用いた、プレーポストテストから定量的に評価されている（西村・新田，2014）。
- 3-2) 静 哲人，基礎から深く理解するラッシュモデリング，関西大学出版会，2007，pp301-319を参照しながら，再度計算を行った。

第4章 授業実践への応用

4-1 確定版調査問題に採用した問題

前章前半においては、検証版調査問題の結果を古典テスト理論によって分析・検討し、そこから得られた知見に基づいて、確定版調査問題に抽出するのが望ましい問題とそうではない問題に関する情報を得た。そして、その後半では、現代テスト理論の1つである Rasch モデルを用いて分析・検討し、各問題における項目困難度と被検者の能力値を同時に推定するとともに、Outfit, Infit を求めて、各問題が調査問題として有効であるかどうかということについての情報を得た。古典テスト理論による分析・検討を通して得た知見と Rasch モデルによる分析・検討を通して得た知見には合致する面があり、これらの情報に基づいて、検証版調査問題 30 問から 20 問を抽出し、確定版調査問題を作成した。

表 4-1 各問の項目困難度と採用した問題

検証版問題番号	項目困難度	確定版問題番号	検証版問題番号	項目困難度	確定版問題番号
問1	-0.184	問1	問16	0.261	削除
問2	0.593	問2	問17	削除	削除
問3	0.999	問3	問18	0.687	問14
問4	0.569	問4	問19	-0.425	削除
問5	0.451	問5	問20	2.760	削除
問6	0.451	問6	問21	-0.597	削除
問7	-1.506	問7	問22	-0.781	削除
問8	-1.943	問8	問23	-0.813	問15
問9	-1.603	問9	問24	-0.946	削除
問10	0.333	問10	問25	-0.627	問16
問11	0.782	問11	問26	0.380	問17
問12	-0.912	問12	問27	-1.127	問18
問13	0.116	削除	問28	0.475	問19
問14	0.593	削除	問29	1.023	問20
問15	-0.781	問13	問30	1.772	削除
				検証版困難度	確定版困難度
				0.000	-2.753

本章においては、こうした手続きで開発してきた、確定版調査問題を中心とした、「子どもが持つ物理的認識についての評価法・分析法」を実際の授業実践に応用することを目指す。

左の表 4-1 には、検証版調査問題における各問の項目困難度、および、検証版調査問題からどの問題を確定版調査問題に抽出・採用したのか分かるように、前章の表 3-24 を、再度掲載した。なお、検証版調査問題において、Rasch モデルによって推定された項目困難度を基準とすると確定版調査問題全体としての困難度は-2.753 である。

4-2 事前調査とカリキュラム改善

4-2-1 事前調査の実施

授業実践を行うにあたり、確定版調査問題を用いて、国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童 1 学級 35 名を対象として、事前調査を実施した。事前調査を実施した目的は、その 1 つ目が、事前調査により児童の実態を把握し、筆者の勤務校における、学習指導計画を一部修正して授業実践を行うための情報を得ること、その 2 つ目が、事前調査と事後調査を同一問題によって行い、その得点状況を比較するとともに、Hake (1998) の規格化ゲインを用いて授業評価を行うことである。

4-2-2 事前調査の結果

この事前調査は、2019 年 10 月、てこの規則性の学習の開始直前に実施した。事前調査の設問番号と正答率は、次の表 4-2 の通りである。これをグラフで表

すと図 4-1 のようになる。ただし、児童 35 名中 1 名は、事後調査を受検しなかったため、また、1 名は事後調査で当て推量による回答が見られたためこれらを除外し 33 名を有効なデータと見なした。なお、図 4-1 において、横軸は問題番号を、縦軸は正答率 (%) を表す。

表 4-2 2019 年度 S 小学校 6 年 3 組児童の正答率 (%) (N=33)

設問番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
正答率	87.9	24.2	57.6	27.3	42.4	30.3	84.8	81.8	72.7	42.4	33.3	54.5	63.6	18.2	84.8	63.6	51.5	57.6	54.5	51.5

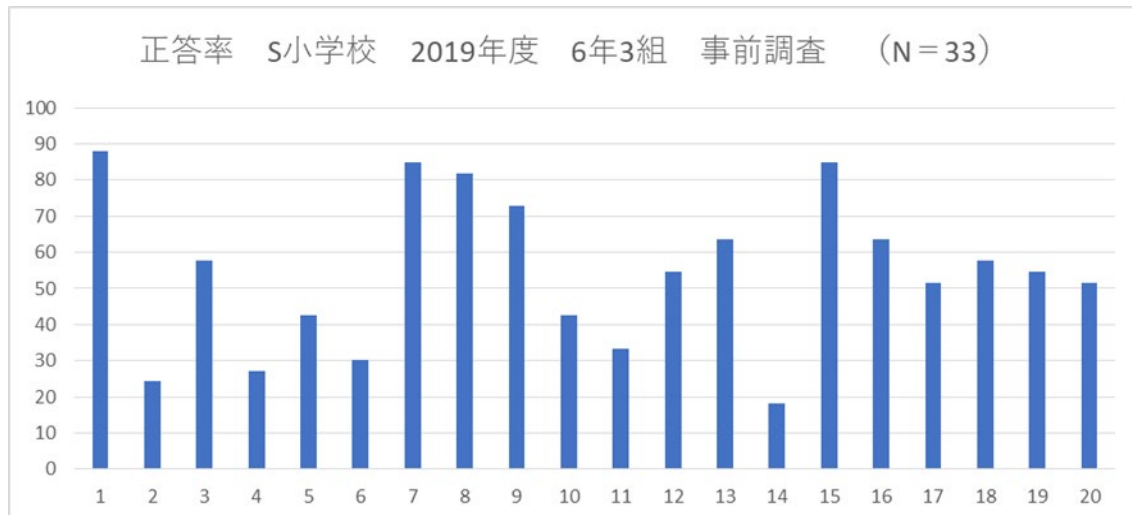


図 4-1 2019 年度 S 小学校 6 年 3 組児童の正答率 (N=33)

前章でも述べた通り、確定版調査問題の出題内容は、問 1 から問 10 までが、第 6 学年「てこの規則性」に関する問題、問 11 から問 20 までが、それ以外で、小学校理科物理分野の学習内容を中心とした問題である。

これらの中には、「てこの規則性」に関する問題は事前調査ゆえに、また、他の問題の中にも被検者児童にとって未習の内容に関する問題が一定数含まれている。したがって、事前調査において、被検者の児童は、日常生活における活動や体験に基づいて、また、過去の学習経験に基づいて、類推・推論しながら回答していくことになる。

ここでは、第 6 学年「てこの規則性」を具体例として、「授業実践への応用」について検討していくので、確定版調査問題のうち、問 1 から問 10 に着目しながら分析・検討を行っていく。

表 4-2、および、図 4-1 で問 1 から問 10 までの正答率を見てみると、正答率が高い順に、問 1 (約 87.9%)、問 7 (約 81.8%)、問 8 (約 81.8%)、問 9 (約 72.7%) となっている。また、正答率が低い順に、問 2 (約 24.2%)、問 4 (27.3%)、問 6 (約 30.3%)、問 5 (約 42.4%)、問 10 (約 42.4%)、問 3 (約 57.6%) となっている。

一方、表 4-1 において、これらの問題の検証版調査問題における項目困難度を見てみると、正答率が高い順に問 1 (-0.184)、問 7 (-1.506)、問 8 (-1.943)、問 9 (-1.603) となっている。また、正答率が低い順に問 2 (0.593)、問 4 (0.569)、問 6 (0.451)、問 5 (0.451)、問 10 (0.333)、問 3 (0.999) となっている。

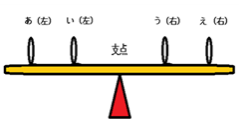
これより、事前調査における検証版調査問題による項目困難度と、確定版調査問題における正答率との関係を見てみる。問 1 は、検証版調査問題による項目困難度が -0.184 と中庸であった割には、約 87.9% という高い正答率であった。また、問 6 は、検証版調査問題による項目困難度が 0.451 とあまり高くない割には、約 30.3% という低い正答率であった。その他の問題については、低い項目困難度の問題は概ね正答率が高く、高い項目困難度の問題は概ね正答率が低いという正常な数値が出ていると言うことができる。

4-2-3 事前調査において正答率が低い問題

「てこの規則性」の学習指導にあたって、配慮しなければならないのは、事前調査において正答率が低い問題（問 2、問 4、問 6）、および、検証版調査問題の作成に至るまでにおいて見いだされた、子どもに特徴的な素朴概念「てこの支点の位置は、棒の真ん中になければならない（支点中心説）」（堀井，2018）に関する問題（問 5、問 10）である。そこでまず、前者について考察する。

事前調査では、小学校第 6 学年の児童は、この学習内容に関して未習であるので、もちろん正答に至らなくても差し支えない。ただし、これらは確定版調査問題に至るまでに、何度も児童・生徒を対象に調査を行って、修正を重ねてきた問題で、しかも、既習事項や生活経験から類推・推論しながら可能な限り正答に至るように配慮しながら出題している問題である。それにも関わらず、

○右の図のようなシーソーがあります。このシーソーでは、「あ」と「い」の間の長さ、「う」と「え」の間の長さ、「い」と支点の長さ、「う」と支点の長さはいずれも同じです。シーソーの両側に、だれも乗っていないときには、シーソーは地面に平行になっています。このときは、左右でつり合っているといえます。



問 2 A さんはそのまま「あ」の位置に乗り、B さんが「う」の位置から降りて、代わりに C 先生が「え」の位置に乗ると、シーソーの右側が下がりました。そこで、A さんは「あ」の位置に乗ったままで B さんが「い」の位置に乗ると、シーソーはつり合いました。A さんの体重と B さんの体重を合わせると、C 先生の体重を比べてどうなりますか。1～4 の中から 1 つだけ選びましょう

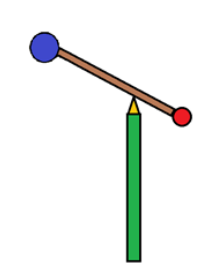
- 1 A さんの体重と B さんの体重を合わせると、C 先生の体重より軽い。
- 2 A さんの体重と B さんの体重を合わせると、C 先生の体重と同じである。
- 3 A さんの体重と B さんの体重を合わせると、C 先生の体重より重い、C 先生の体重の 2 倍よりは軽い。
- 4 A さんの体重と B さんの体重を合わせると、C 先生の体重の 2 倍である。

図 4-2 検証版調査問題の問 2

特に、問 2 に至っては、当て推量で回答した正答率をも下回っている。これらの問題を図 4-2、図 4-3、図 4-4 に、また、各選択肢への選択状況を表 4-3 に示す。問 2 は、シーソーに関する事象をとらえて、「てこの規則性」についての概念を適用しながら、どのように考えていくのかということに関して問う問題である。問 4 は、その両端に小球を取り付けた棒のつり合いと言ったやや日常生活とはかけ離れた事象をとらえて、これに「てこの規則性」についての概念を適用しながら、どのように考えていくのかということに関して問う問題である。

問 6 は、釘抜きという比較的身近な事象に関する問題であり、図画工作の木工等で用いる道具の 1 つである釘抜きのしくみをとらえ、「てこの規則性」についての概念を適用しながら、どのように考えていくのかということに関して問うている問題である。

○次の図のように、先がとがった棒の上に、2つの球をつけた棒をのせました。棒をのせた点のことを支点と言います。青い球の体積は、赤い球の体積の2倍です。ただし、2つの球をつけた棒は、先がとがった棒から落ちないものとします。




問 4 棒に小さな2つの球をつけたところ、赤い球の方が下がりました。赤い球の重さと青い球の重さとの間には、どんな関係があると考えられますか。ただし、支点と青い球との距離は、支点と赤い球との距離の2倍とします。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 青い球の重さは、赤い球の重さより重い。
- 2 赤い球の重さと青い球の重さは、同じである。
- 3 青い球の重さは、赤い球の重さの半分よりも軽い。
- 4 青い球の重さは、赤い球の重さの半分である。

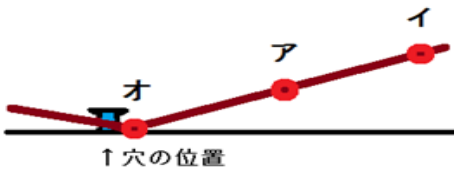
図 4-3 検証版調査問題の問 4

○右のような「釘抜き」という道具があります。

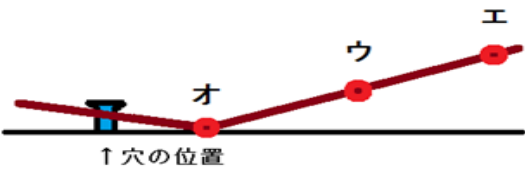


下の図は釘抜きを横から見たものです。穴の位置が異なる2種類の釘抜きを用いて、釘が抜けるときの様子を比べます

釘抜き A



釘抜き B



問 6 もっとも釘を抜きやすいのは、A と B のどちらの釘抜きを用いて、どの位置に手を当てたときですか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 力を加える位置と釘の位置がともにオに近いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、抜きAのアの位置
- 2 力を加える位置がオから遠く、釘の位置がオに近いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きAのイの位置
- 3 力を加える位置がオに近く、釘の位置がオから遠いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きBのウの位置
- 4 力を加える位置と釘の位置がともにオから遠いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きBのエの位置

図 4-4 検証版調査問題の問 6

なお、図 4-2、および、表 4-3 において、問 2 の正答は、選択肢 3、問 4 の正答は、選択肢 3、問 6 の正答は、選択肢 2 である。

表 4-3 確定版調査問題の問 2・問 4・問 6 の選択状況

問2	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	エラー	無回答	合計
人数(名)	3	21	8	1	0	0	33
選択率(%)	9.1	63.6	24.2	3.0	0.0	0.0	100.0
問4	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	エラー	無回答	合計
人数(名)	3	11	9	10	0	0	33
選択率(%)	9.1	33.3	27.3	30.3	0.0	0.0	100.0
問6	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	エラー	無回答	合計
人数(名)	4	10	3	16	0	0	33
選択率(%)	12.1	30.3	9.1	48.5	0.0	0.0	100.0

まず、問 2 においては、正答選択肢 3 を選んだ児童は 8 名（約 24.2%）のみで、誤答選択肢 2 を選んだ児童は、21 名（約 63.6%）である。誤答選択肢 1 を選んだ児童は 3 名（約 9.1%）、誤答選択肢 4 を選んだ児童は 1 名（約 3.0%）といずれも少ない。

次に、問 4 においては、正答選択肢 3 を選んだ児童は 9 名（約 27.3%）のみで、誤答選択肢 2 を選んだ児童は 11 名（約 33.3%）、誤答選択肢 4 を選んだ児童は 10 名（約 30.3%）である。誤答選択肢 1 を選んだ児童は 3 名（約 9.1%）と少ない。

その次に、問 6 においては、正答選択肢 2 を選んだ児童は 10 名（30.3%）のみで、誤答選択肢 4 を選んだ児童は 16 名（約 48.5%）と多く、誤答選択肢 1 を選んだ児童は 4 名（約 12.1%）、誤答選択肢 3 を選んだ児童は 3 名（約 9.1%）と少ない。このように問 2、問 4、問 6 では、誤答選択肢の選択傾向が異なっている。そこで、これらの問題と選択の背景について、もう少し詳しく、検討していくことにする。

なお、これまでの各調査問題において、ダブルマーク等のエラー、無回答が、発生した関係で、同じ枠組の表を作成したため、表 4-3 にはエラー、無回答の項目が存置されているが、これらの問題では、エラー、無回答ともに、発生しなかった。

4-2-4 正答率が低い問題についての詳細な検討

まず、事前調査の段階で、問 2 を回答するとき、被検者児童のうち半数以上の 21 名（約 63.6%）が誤答選択肢 2 を選択しており、「A さんの体重と B さんの体重を合わせると、C 先生の体重と同じである」が適切であると考えた、もし

くは、他の選択肢より魅力的なものであると考えると言うことができる。このとき、支点からの距離は、AさんとC先生では同じであるのに対して、Bさんの場合は、支点からの距離が半分になる。ここで、Aさんが、「あ」の位置に乗ったままでBさんが「い」の位置に乗ると、シーソーはつり合いましたとあるので、シーソー本体の質量を無視したとき、シーソーの両側における力のモーメントが一致してシーソーがつり合う。ところが、Bさんが乗っている位置は、支点からの距離が、AさんやC先生が乗っている位置と比べて、半分になっているので、Aさんの体重とBさんの体重を合わせると、C先生の体重より重くしなければならない。事前調査の段階で、当該被検者に、問2の回答理由をさせていないので、よく分からないものの、シーソー（てこ）がつり合いさえすれば、左右の重さ（質量）の合計は一致するという概念を持っている可能性がある。

次に、問4を回答するとき被検者児童の中で11名（33.3%）は誤答選択肢2が、10名（約30.3%）は、誤答選択肢4が適切である、もしくは、他の選択肢より魅力的なものであると考えるということができる。児童が回答する背景に関して検討する段階で、「大きいものは重くて、小さいものは軽い」という素朴概念をあらかじめ排斥しておくために、ここでは、大きくて軽い青球と小さくて重い赤球を提示した。本問も問2と同様に事前調査の段階では、被検者集団の児童に回答理由の記述をさせていないため、詳細については分からない面も多い。ところが、問2とは異なり、問4の調査結果が、誤答選択肢の選択率が二分されているというところが特徴的である。しかるに、いずれの場合にも共通しているのは、被検者児童が自らの思考の際に、問題には書かれてはいない筈の、棒がつり合っている状態を勝手につくった可能性がある。また、日常生活を生かしながら考えている形跡も見ることにはできない。そこで、これらの選択肢の機能について、共通点や差異点を見ていく。誤答選択肢2には、「赤い球の重さと青い球の重さは同じである」と書かれているのに対して、誤答選択肢4には、「青い球の重さは赤い球の重さの半分である」と書かれている。誤答選択肢2や誤答選択肢4を選んだ被検者の児童に共通して言えるのは、てこや天秤はつり合っているのが前提であると認識している可能性がある。ただし、赤い球と青い球との重さの関係に関して、誤答選択肢2より誤答選択肢4を選んだ児童の方が、「大きい球が重いとは限らない」という点を認識できていると言うことができる。そこで、今後の問題の改善方法として、図を明示するなどの工夫を行い、回答理由記述を被検者に書かせていくという具合に、例えば、本調査問題の問10のようにじっくりと数次にわたって調査していくのが望ましいと考えられる。

その次に問6の結果を見てみる。問6の誤答分布は、見かけの上では、問2と同様な形態をしている。被検者集団のうち16名（約48.5%）が、誤答選択肢4を選んでいる。正答選択肢2には、力を加える位置がオから遠く、釘の位置がオに近いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きAのイの位置と書かれているのに対し、誤答選択肢4には、力を加える位置がオから遠く、釘の位置がオに近いほど釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きBのエの位置と書かれている。つまり、支点の位置と力点の位置との関係（支点と力点との距離）は、正答

選択肢も誤答選択肢も相違はない。異なっているのは、支点の位置と作用点の位置との関係（支点と作用点との距離）が正答選択肢 2 の場合は、誤答選択肢 4 の場合と比べて短くなっているということである。金づちと同様に、釘抜きは、小学校の図画工作の学習で使用される道具であり、小学校児童にとって、比較的身近な道具であることを前提とした出題した問題であったが、事前調査の段階では、児童にとって、あまり身近なものとしては認識されていなかった可能性がある。本問については、事前調査の段階で児童に回答理由の記述をさせている。そのため、これらについては表 4-4 を参照しながら詳しく見ていく。なお、被検者児童番号は筆者が設定した任意の番号である。

表 4-4 誤答選択肢 4 を選んだ問 6 の回答理由記述

被検者児童番号	回答理由記述
01	くぎぬきを使ったことがあるから。
02	えらい人がそういうふうにしたから。
04	4 番が正解だと思ったから。
05	はさみも同じだから。
07	力点と作用点が支点到遠いほどぬきやすくなる。
09	力点は遠く、支点到作用点を遠ざけると、軽い力で釘をぬくことができると思ったから。
14	分からない。
15	昔のえらい人が決めたため。
25	シーソーでも中心から遠い方が近い方よりもち上げやすいから。
27	支点到からとおい方が力をいれやすいから。
28	力が加わりやすい位置だから。
29	支点到から作用点がとおい方が力がくわわりやすいため。
31	A はオと釘の位置が近いから抜きづらいと思う。あと、作用点から遠いところに力を加えると手ごたえがあると思う。
32	なんとなく。
34	くぎぬきはは（ママ）、くぎの上にひっかけて、はずして使うから。
36	遠いほうが力がつたわるから。

表 4-4 の回答理由記述を見ると、問題に回答するとき、「①経験・体験に基づいて回答している児童」「②少しでも思考・表現しようとしている児童」「③ほとんど思考・表現しようとしていない児童」「④思考・表現していない児童」と被検者児童の姿を分類することができる（表 4-5 参照）。

表 4-5 回答理由記述から見た被検者児童の姿

①	01, 05, 25, 27, 28, 31, 34
②	05, 09, 25, 31
③	07, 27, 28, 29, 34, 36
④	02, 04, 14, 15, 32

表 4-5 において、①、②に該当する被検者児童は、実際に授業で実験を行い

実験における現象を観察したり、実験結果に基づいて思考・表現したりしていく過程を通して、物理概念の獲得や知識・技能の習得へと繋がっていくのではないかと期待される。それに対して、③に該当する児童は、一部①と重複しており、学びに向かう力・人間性、もしくは、主体的に学習に取り組む態度を支えていくことにより、①、および、②に該当する児童と同等の目標へと到達できるものと考えられる。それに対して、とりわけ、④に該当する児童をどう支えていくか、また、どう指導していくかということが、授業実践上の重大な課題でもある。このことは授業実践のところで取り扱う。

4-2-5 子どもに特徴的な素朴概念の発生状況

子ども持つ特徴的な素朴概念についてはすでに述べた通りである。例えば、「てこの支点の位置は棒の真ん中でなければならない」（支点中心説）という子どもに特徴的な素朴概念があり、確定版調査問題においては、この素朴概念を分離する問題として、問5と問10との2つの問題を出題している。そこで、問2、問4、問6と同様に、事後調査を受検しなかった1名と事後調査の際に当て推量で回答した1名を除いた、計33名の調査結果を、次の表4-6に示す。また、問5と問10の問題を図4-5に示す。正答は、それぞれ問5が選択肢1、問10が選択肢4である。

表4-6 問5、問10における各選択肢の選択率

問5	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	エラー	無回答	合計
人数(名)	14	12	6	1	0	0	33
選択率(%)	42.4	36.4	18.2	3.0	0.0	0.0	100.0
問10	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	エラー	無回答	合計
人数(名)	10	3	5	14	0	1	33
選択率(%)	30.3	9.1	15.2	42.4	0.0	3.0	100.0

まず、問5は上記の問4と同様の事象について取り扱った問題であり、問5においては、6名の児童（約18.2%）が支点中心説の誤答選択肢3を選んでいいる。また、12名の児童（約36.4%）が、誤答選択肢2を選んでいいる。このほか、1名の児童（約3.0%）が、誤答選択肢4を選んでいいる。

次に、問10では、3名の児童（約9.1%）が、支点中心説の誤答選択肢2を選んでいいる。また、10名の児童（約30.3%）が、誤答選択肢1を、5名の児童（約15.2%）が、誤答選択肢3を選んでいいる。

問 5 先がとがった棒を静かに動かすと、2つの球をつけた棒がつり合いました。先がとがった棒をどのように動かしたと考えられますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を短くしなければならぬので、赤い球の方（右側）に先がとがった棒を動かした。
- 2 支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を長くしなければならぬので、棒の真ん中を超さないように、青い球の方（左側）に、先がとがった棒を少しだけ動かした。
- 3 青い球と支点との距離と赤い球と支点との距離を同じにしないとつり合わないで、棒の真ん中の位置に、先がとがった棒を動かした。
- 4 支点との距離が長い青い球の方が上がり、青い球と支点との距離をもっと短くしなければならぬので、棒の真ん中を超して、青い球の方に先がとがった棒を動かした。

○次の図のような、はかり(さおばかり)を用いて物体の重さをはかろうと思います。このさおはとても軽いので、さおの重さによる影響は受けません。

問 10 図のようにひもを用いて、さおをその真ん中より右側でつるし、ある物体を皿のせたところ、物体がのった皿の方が下がってしまいました。このさおばかりがつり合うようにするためには、ひもの位置をどう動かせばよいですか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

※A:おもりをつるす位置 B:ひもの位置 C:皿をつるす位置とします。

- 1 「AとBとの距離」に比べて、Bとの距離が短い、物体がのった皿の方が下がったため、「BとCとの距離」を少し増やさないと、さおばかりはつり合わないで、さおのちょうど真ん中をこさずに、Bをはじめの位置から左側に動かす。
- 2 「AとBとの距離」と「BとCとの距離」が同じでなければ、さおばかりはつり合わないで、さおのちょうど真ん中まで、Bをはじめの位置から左側に動かす。
- 3 「AとBとの距離」をもっと近くすると、さおばかりをつり合わせるできるので、さおのちょうど真ん中を超して、Bをはじめの位置から左側に動かす。
- 4 「物体がのった皿の方（右側）」が下がったため、「BとCとの距離」を減らさないと、さおばかりはつり合わないで、Bをはじめの位置から右側に動かす。

図 4-5 確定版調査問題の抜粋（問 5・問 10）

問 5 においても問 10 においても、子どもに特徴的な素朴概念についての誤答選択肢を選んだ児童の割合は、問 5 の誤答選択肢 3 が 6 名（約 18.2%）、問 10 の誤答選択肢 2 が 3 名（約 9.1%）である。

そこで、確定版調査問題を用いた事前調査において、問 5、および、問 10 で「支点中心説」の選択肢を選んだ被検者児童がどうしてその選択肢を選んだのかという理由を検討する必要がある。そのため、問 5 の 6 名と問 10 の 3 名との回答理由記述を見てみることにする。その状況を次の表 4-7 と表 4-8 に示す。

表 4-7 「支点中心説」についての誤答選択肢を選んだ児童（問 5）

問 5	回答理由記述
01	つり合わせようとがんばっているから。
03	① が正解かと思ったから。
09	支点のきよりを同じにしないと、二つのバランスがたもたれないため。
22	重さが同じだから真ん中にしないとつり合わない。
32	中央にすれば、つり合うから。
37	重さが同じため、真ん中にしないとつりあわないから。

表 4-8 「支点中心説」についての誤答選択肢を選んだ児童（問 10）

問 10	回答理由記述
04	とくに理由はない。
05	なし。
12	物が乗った（ママ）方が下がったので、左のおもりを力を加えて支えるとつり合うと思った。どっちがおもいとはかいてないので、真ん中にする。

表 4-7 と表 4-8 を見ると、問 5 と問 10 との両方で、「支点中心説」の誤答選択肢を選択した被検者児童は、皆無であった。これを整理すると、表 4-9 のようになる。

表 4-9 「支点中心説」の概念をもつ児童の回答傾向

被検者番号	問 5	問 10	被検者番号	問 5	問 10
01	3	4	04	1	2
03	3	1	05	1	2
09	3	1	12	2	2
22	3	4			
32	3	4			
37	3	4			

そこで、問 2、問 4、問 6 と同様の規準で回答理由記述を分類すると、問 5 において、①経験・体験に基づいて回答している児童と、②少しでも思考・表現しようとしている児童は、それぞれ 09、22、37 の 3 名のみであり、あとの 3 名は、思考・表現として明確ではなかった。同じく問 10 では、下 2 桁で 12 番の児童のみ思考・判断の形跡が見られた。

この表 4-9 を見ると、問 5 において誤答選択肢 3 を選んでいる被検者児童のうち 4 名が問 10 で正答選択肢 4 を、同じく 2 名が誤答選択肢 1 を選んでいることが分かる。問 10 の誤答選択肢 1 は次の通りである。ここで、再度問 10 の誤答選択肢を取り上げると、

<問 10 誤答選択肢 1>

- ・「A と B との距離」に比べて、B との距離が短い、物体がのった皿の方が下がったため、「B と C との距離」を少し増やさないと、さおばかりはつり合わないの、さおのちょうど真ん中をこさずに、B をはじめの位置から左側に動かす。

である。誤答選択肢 1 は、元々支点の位置を動かす方向が違っている。

一方、問 10 において、誤答選択肢 2 を選んでいる被検者児童のうち 2 名が、正答選択肢 1 を、同じく 1 名が、誤答選択肢 2 を選んでいることが分かる。

問 5 の誤答選択肢は、次の通りである。

<問 5 誤答選択肢 2>

- ・支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を長くしなければならぬので、棒の真ん中を超さないように、青い球の方(左側)に、先がとがった棒を少しだけ動かした。

である。誤答選択肢 2 は、問 10 の誤答選択肢 1 と同様に、元々支点の位置を動

かす方向が違っている。

以上のことから、問 5、もしくは、問 10 で、「支点中心説」という素朴概念をもつ被検者を分離している誤答選択肢を選んだ 9 名のうち、もう一方の設問では正答した被検者児童が 6 名いたことが分かった。

また、あとの 3 名は、もう一方の設問でも支点を動かす方向が違っており、棒の中心を超さずに、支点の位置を動かしている誤答選択肢を選んでいることが分かった。

なお、前述した通り、今回の事前調査においては、問 5 と問 10 の両方とも、「支点中心説」という素朴概念を分離している誤答選択肢を選んだ被検者児童は、1 名もいなかった。しかしながら、これらの児童の中には、当該児童が誤答選択肢を選んだ問 5、もしくは、問 10 の回答理由記述において、十分な思考・表現の過程や正しい概念に関する記述が見られなかったため、これらの児童に、「支点中心説」という素朴概念が存在する可能性があることを前提として、授業を実践していく必要があるものと判断できた。

ここで、参考までに、確定版調査問題と同一の検証版調査問題を用いた 2017 年度・2018 年度国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童を対象とした、事後調査における問 5 と問 10 の各選択肢の選択状況を表 4-10 に示す。この表を見ると、問 5 の場合は、支点中心説の誤答選択肢 3 を選んだ児童の数は、14 名(約 7.2%)であり、問 10 の場合は、支点中心説の誤答選択肢 2 を選んだ児童の数は、37 名(19.1%)であった。「てこの規則性」を学習したにもかかわらず、約 7.2~約 19.1%の児童に、「支点中心説」という素朴概念が残存していることが分かる。こうして、支点中心説という素朴概念は、学習によって減少はするもののかかなり強固なものであるとすることができる。

表 4-10 検証版調査問題の選択率（上段：問 5，下段：問 10）

小6	小6/小学全体	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	無答	エラー※ダブルマーク等	合計
	選択数	102	48	14	29	1	0	194
	選択率	52.6	24.7	7.2	14.9	0.5	0.0	100.0
小6	小6/小学全体	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	無答	エラー※ダブルマーク等	合計
	選択数	23	37	27	107	0	0	194
	選択率	11.9	19.1	13.9	55.2	0.0	0.0	100.0

※検証版調査問題は、2017 年度・2018 年度国立大学附属 S 小学校第 6 学年児童 194 名を被検者として実施した。

4-3 授業実践の実際

日本の学校ではごく普通に行われている「授業研究」という文化には長い歴史があり、近年は世界各国からの注目を受けており、輸出されている状況にある（例えば、Stigler&Hiebert, 2009 など）。本研究における「授業実践への応用」については、過去の筆者の授業研究を通じた、教育的知見を生かしながら行っていく。

本節においては、授業実践に向けての取り組みに、本研究で、これまでに分析・

検討してきたことをどのように活用しながら、授業づくりを行っていけばよいのか、実際にどのように実践してきたのか、また、どのように授業評価を行っていくとよいのかという観点から論じていくことにする。

4-3-1 これまでの知見を生かした授業実践

事前調査の結果とその分析・検討については前節で述べた通りである。本研究の目的は、単に小学校の児童を中心とした子どもがもつ物理概念や知識・技能の状況について調査するだけではない。つまり、幼少期の日常生活を通じた、物理概念の獲得、知識・技能の習得に始まり、小学校、中学校、高等学校という具合に、子どもの成長とともに、物理概念の獲得や知識・技能の習得を目的として、十分に考えさせながら教えていくために、どのような授業を実践し、どのように指導・支援していけばよいのかということに関して、本研究を通してこれまでに得られた知見を、どのように役立てながら、応用していけばよいのかといった、本研究の本質的な部分へとせまっていくのが、本節の役割である。

前節では、事前調査の分析・検討から、

- ① 検証版調査問題を通して、あらかじめ設定した項目困難度が **0.451** と、それほど高くないにも関わらず、確定版調査問題を用いた事前調査では、正答率が約 **30.3%**と比較的低い設問（問 6）があったこと。また、項目困難度が **-0.184** と、中庸であるにも関わらず、正答率が約 **87.9%**と高い設問（問 1）もあったこと。
- ② 「支点中心説」の素朴概念を分離する設問（問 5、および、問 10）でこれらの 2 つの問題をそれぞれ単独で見ると、「支点中心説」を分離している当該の誤答選択肢の選択率が、事前調査としては比較的低かったこと。
- ③ ②において、「支点中心説」という素朴概念を分離する設問を比較したときに、これらの両方で、「支点中心説」の素朴概念を分離する誤答選択肢を選んだ、被検者児童は、皆無ではあったものの、2 つの設問のどちらかで、当該の誤答選択肢を選択肢した児童は、33 名中 9 名（約 **27.3%**）に見られ、約 **27.3%** という数値はこれまでの第 6 学年児童を対象とした事前調査と同様であること。
- ④ 事前調査全体（例えば、問 6）を見て、提示された事象と日常生活における事象を、関連付けながら取り扱っていくことに課題があること。

が分かった。

以上のことから、学習前の段階で被検者児童が持っている、「てこの規則性」についての物理概念、および、知識・技能は、検証版調査問題を用いて、調査を行ったときと同様に比較的脆弱であり、思考・表現は、十分に機能していないということが分かった。

学習前であるのでやむを得ないとはいうものの、筆者がこれまで当該単元の授業を担当した第 6 学年児童において、検証版調査問題に至るまでのごく初期の調査問題を通して調査したときと、類似した傾向が見られた（堀井，2018）。

そのため、この授業実践では、基礎的基本的な授業内容を重視するとともに、学習過程において実験・観察，および，話し合い活動を行いながら子どもが十分に思考・表現しながら学習できるように支援していく必要があると考えた。

そこで、従来の S 小学校の第 6 学年理科「てこの規則性」の学習指導計画において、次のようなことに留意しながら、授業を進めていくことにした。

- ・力点，作用点，支点という言葉は，それぞれどのようなことを意味するのか，2m 程度の長い棒，木製の支点，および，5kg の砂袋を提示して，棒で砂袋を実際に直接持ち上げることによって，児童が体感的に，これらの 5 kg という質量をとらえることができるようにする。
- ・長い棒を用いたてこを用いて，てこの規則性についての実験を行うときには，条件制御を行いながら，力点，作用点，支点の 3 つの条件を，それぞれ変化させると手ごたえにどのような変化が起きるのかということについて，すべての児童が体験し，体感的にとらえることができるようにする。
- ・長い棒を用いたてこを用いて，てこの規則性についての実験を行うときには，授業応答装置を使用し，各児童の考えを瞬時に表示し，話し合い活動の支援に役立てる。
- ・素朴概念が発生しやすい内容については，標準的な指導時数に加えて，確実な概念の獲得，および，知識・技能の習得を目指すことができるよう，児童の負担過重にはならない範囲内であるということを留意しながら，発展的学習，および，補充的学習を行う。
- ・わたしたちは日常生活において，てこの規則性を活用しながら生活していることを認識できるように，てこの利用について考えていく場をもつ。
- ・簡単なてんびんをつくることによって，てんびんの棒のどの位置に，何個のおもりをつり下げればてんびんがつり合うのか，支点の位置をどこにするのか等，試行錯誤をしながら，てこの規則性を見いだす過程で学んだことを生かしながら考える。

4—3—2 これまでの知見に基づいたカリキュラムの修正

筆者の勤務校，国立大学附属 S 小学校においては，長年にわたり D 社刊行の「たのしい理科」という教科書が用いられている。勤務校の理科学習指導計画は，D 社が例示している学習指導計画の取り扱い順序を，一部入れ替えているほか

は、教科書会社が例示しているものを基本としている。

筆者がこれまで担当してきた、小学校各学年の理科授業においては、日常生活において見られる、さまざまな物理事象を取り上げて、児童に思考・表現させてみたものの、実験・観察とその結果の考察を中心に置いた、科学的なプロセスによって、自力で問題解決・課題解決していくことができる児童はあまり多くないということが既知である。このことは、事前調査において、項目困難度が、それほど高くないにも関わらず、正答率が低い問題があることから把握できる。

児童が思考・表現しながら、問題解決・課題解決し、正しい物理概念を獲得したり、知識・技能を習得したりすることができるようにするためには、前述の①から⑥までを、どのように実際の授業に入れていけばよいのかという点が問われている。そこで、勤務校の基本的な学習指導計画の一部改変する形で、カリキュラムの変更を行いながら、授業を試行していくことにした。カリキュラムの変更の中心に相当するのが、次の3点である。

- ・長い棒を用いて、てこの規則性を見出したあとで、実験用てこを用いて学習していく際に、授業相互の接続に留意する。
- ・ものづくりとして、てんびんづくりを採り入れる。
- ・おもりをつり下げた、実験用てこのつり合いについて調べていく実験で、1回目の授業では、左のうでと右のうでで、それぞれ1ヶ所ずつしかおもりをつり下げのを認めないが、2回目の授業では、複数ヶ所におもりをつり下げのを認める。

これらの学習活動を、従来のカリキュラムに基づいた、学習指導計画に組み込むことにより、概念の獲得、知識・技能の習得の改善を目指した。

4-4 授業実践の概略

被検者児童を対象とした理科「てこの規則性」の授業は、2019年10月から11月にかけて行った。以下に、授業実践の概略について示す。その前後に事前調査と事後調査を行った。

4-3-1 学習指導計画と授業の実際

<学習指導計画> ※略案（計13時間扱い）

【第1次】長い棒を用いたてこ（4時間）

・力点の位置を変えると手ごたえはどうなるのだろうか。（1時間）

※「長い棒を用いたてこ」についての授業においては、プレゼンテーションを行うとともに、授業応答装置を使用した。授業応答装置はそのときのスラ

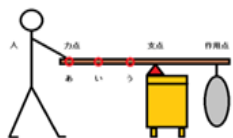
イドの例を，図 4-6 に，板書の例を図 4-7 に示す。

- ・作用点の位置を変えると手ごたえはどうなるのだろうか。(1 時間)
- ・支点の位置を変えると手ごたえはどうなるのだろうか。(2 時間)

※予想の段階で，すでに正答 1 を選んでいる児童が 77% もいるが，事前調査の結果との乖離に注意する。

1-1 予想1

一番らくに荷物を持ち上げられるのは，どの位置をもったときですか。



- 1 「あ」の位置
- 2 「い」の位置
- 3 「う」の位置
- 4 「あ」の位置でも「い」の位置でも「う」の位置でも同じ
- 5 1～4のどれでもない。

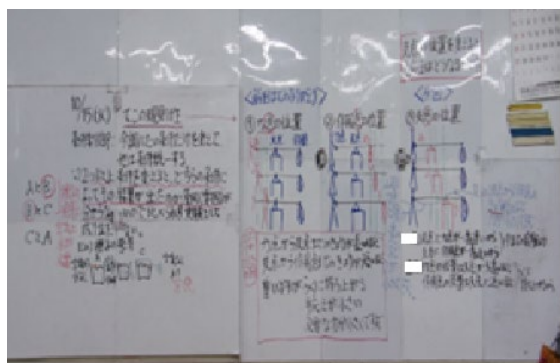
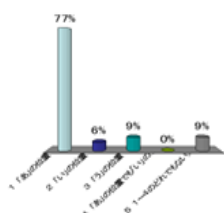


図 4-6 第 1 次第 1 時のスライド

図 4-7 2019 年 10 月 15 日の授業の板書

【第 2 次】私たちの生活とてこ (3 時間)

- ・わたしたちの身の回りにおけるてこその種類 (1 時間)

※第 1 種・第 2 種・第 3 種のてこについて取り扱った。

- ・てこを用いたものづくり (2 時間)

※試行錯誤しながら，てんびんづくりを行い，てこのつり合いを，体感的に捉えることを目指した。

※一般的には，各単元の終わりにものづくりを行うことが多いが，ここでは長い棒 (2m) と重い砂袋 (5kg) を用いて力点の位置，作用点の位置，支点の位置を変えて，条件制御を行いながら，実験を行ったときの手応えの変化をとらえることによって，「てこの規則性」を見いだした後で，日常生活におけるてこについて取り扱い，その後で，てんびんづくりを行った。材料は竹串，クリップ，糸等，身の回りにあるものばかりである。

※この段階で，てんびんづくりを行った目的の 1 つが，第 3 次で実験用てこを用いたときに，「支点の位置は棒の真ん中になければならない」という，子どもに特有の素朴概念「支点中心説」を回避するためである。

【第 3 次】実験用てこ (6 時間)

- ・長い棒を用いたてこ実験用てこの比較 (2 時間)
 - *力点の位置を変えると手ごたえはどうなるのだろうか。(1 時間)
 - *作用点の位置を変えると手ごたえはどうなるのだろうか。(1 時間)
- ・実験用てこはどのようなときにつり合うのだろうか。(4 時間)
 - *「おもりをつるす位置は左右 1 ヶ所に限定する」(2 時間)

※この段階では、実験用てこを用いて演示実験を行いながら、「支点の位置は棒の中心にあるのだろうか」と補助発問し、児童に問いかけた。そして、実際に実験用てこを操作しながら「支点の位置は棒の中心にあるとは限らない」という概念の獲得を促した。このときの板書を図4-8に示す。

*「おもりをつるす位置は左右1ヶ所に限定しない」(1時間)

*「つり合った実験用てこにつるしたおもりに、同じおもりをつるすとてこのかたむきはどうなるのだろうか？」(発展的学習:1時間)

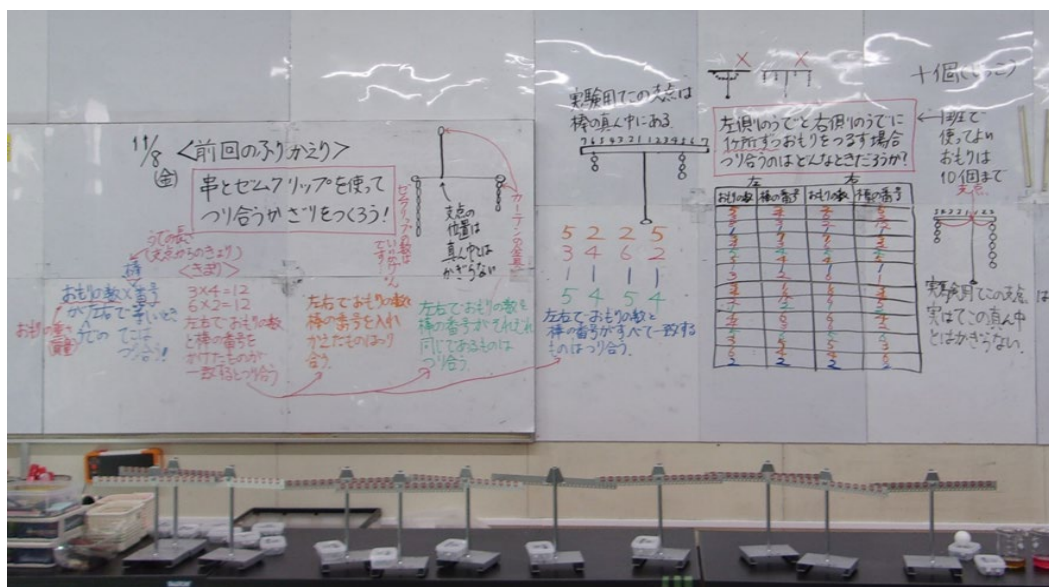


図4-8 2019年11月15日の授業の板書

4-4-2 授業実践のふりかえり

本節の最後に、本単元の授業実践についてのふり返りを簡単に行っておく。

筆者の勤務校において使用している、D社刊の教科書を用いることを前提とした学習指導計画と比較して変更したのは次の点である。

- ものづくりとして、共通した材料を用いた「てんびんづくり」をすることを指定し、単元前半(長い棒と重い袋を用いたてこによる「てこの規則性」についての実験)と単元後半(実験用てこによるてこの規則性の実験)との間で取り扱ったこと。
- 「支点の位置は棒の真ん中でなければならない」という子どもに特有の素朴概念(支点中心説)をもっている児童が、一定数いることを前提として、実験用てこを導入する際に、演示しながら実験用てこの使い方を示し、実験用てこにおける力点・支点・作用点のそれぞれの位置を確認した上で、その後の授業を進めていったこと。

また、各班による実験活動に入ってから、次のようなことに留意しながら机間

指導を行った。

- ・各班における実験においては、長い棒と重い袋を用いたこの場合も、実験用でこの場合も、実験係・記録係といった役割分担をするのではなく、全員が体験し、てこの手ごたえを自ら体感するように指導し、授業ノートに記録させたこと。
- ・授業者（筆者）が、実験中各班の児童に対して指導すると同時に、ファシリテーターの役割を意識しながら児童とのやり取りを行い、児童の話し合い活動を促したこと。
- ・実験用てこを用いて実験するとき、力点、支点、作用点の位置と条件制御について確認させながら実験を進めたこと。

これらの授業中の継続した働きかけは、いずれも一般的な教師の働きかけとして、各教員によって、広く行われていることと相違ないが、今回の授業実践においては、こうした小学校教員としての基礎・基本な手立てに、忠実に従って、丁寧に対応するようにした。

このような取り組みがどのような授業効果へとつながっていくのか、確定版調査問題の事前調査と事後調査との結果を比較しながら、授業評価へと繋げていくことにする。

4-5 事後調査の実施と授業評価・授業改善への応用

今回実施した確定版調査問題の実施目的は、事前調査の結果と事後調査との結果を比較することによって、本単元の学習を通して、「てこの規則性」を中心とした物理概念を獲得したり、知識・技能を習得したりすることができたのか、つまり、どの程度学習効果があったのかということについて、定量的、客観的に調査することである。

そして、学習を通して、子どもが持つ物理概念や知識・技能がどのように変容したのか、その状況を分析・検討することによって、子どもが持つ物理的認識の変化を、「てこの規則性」の学習の前後でとらえながら授業評価を行い、今後の「てこの規則性」を中心とした、授業改善へと応用していくことである。本節では、事前調査と事後調査の比較に基づいた授業評価を行って、授業改善のための方略を見いだしていく。

4-5-1 事後調査の実施と結果

2019年11月に、被検者児童を対象として、「てこの規則性」の学習終了後、ただちに事後調査を実施した。事後調査で用いた問題は、事前調査と同様の調査問題群であり、検証版調査問題を基準とした調査問題全体としての困難度は、

—2.753 である。そこで、事前調査と事後調査における正答率を、表 4-11 に、グラフを同じく図 4-9 に示す。

事前調査と事後調査との結果を比較することによって、学習したことによる成果が分かる。ここでまず、今回の授業実践で取り扱った当、該単元の「てこの規則性」に関する問題（問 1～問 10）を見てみることにする。

これらの 10 問の問題についての正答率の変化を見ると、問 1 の正答率が、約 87.9%から約 72.7%へと 15%程度下がっていること、および、問 7 の正答率が約 84.8%のまま横這いであることを除いて、他の 8 問はいずれも正答率が向上している。そのため、一定の授業効果があったことが、大まかに把握することができる。

表 4-11 事前調査と事後調査の正答率 (%) S 小学校 2019 年度第 6 学年児童 N=33

問題番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
事前正答率	87.9	24.2	57.6	27.3	42.4	30.3	84.8	81.8	72.7	42.4	33.3	54.5	63.6	18.2	84.8	63.6	51.5	57.6	54.5	51.5
事後正答率	72.7	42.4	69.7	39.4	66.7	54.5	84.8	84.8	84.8	63.6	51.5	69.7	69.7	24.2	81.8	75.8	72.7	72.7	51.5	42.4

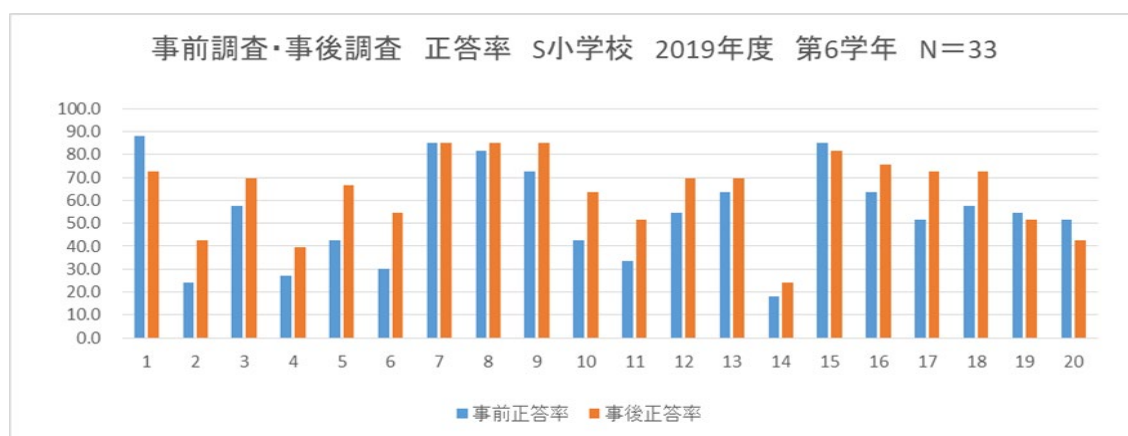


図 4-9 事前調査と事後調査の正答率 (%) S 小学校 2019 年度第 6 学年児童 N=33

また、事前調査の結果から授業実践前に留意していた各問題については、次のような結果になった。

- ① 検証版の調査問題を現代テスト理論 (Rasch モデル) で、分析・検討したときには、項目困難度が 0.5 前後と、難易度があまり高くない問題であり、確定版の調査問題に採用した問 2 (項目困難度 0.593), 問 4 (同 0.569), 問 6 (同 0.451) は、いずれも上の表 4-11 のように、事前調査の正答率が非常に低かった。これらの問題の事後調査における正答率は、いずれも上昇して、問 2 が約 24.2%から約 42.4%へと上昇し、問 4 が約 27.3%から約 39.4%, 問 6 が約 30.3%から約 54.5%になった。このようにしてこれらの問題の正答率は相当向上してはいるが、学習後でも、まだ 4 割～5 割台の正答率であることについては注意すべきである。つまり、問 2 においては、「てこの規則性」を、子どもにとって、比較的身近である、シーソーに適用してみることで、問 4 では、「てこの規則性」を身近ではない未知の事象

に適用してみることに、問 6 では、「てこの規則性」を図画工作の時間等で、子どもがおそらく使ったことがあるものと見込まれる事象に適用してみることがそれぞれ問われてはいるものの、あまりうまく事象と概念とを、結びつけることができていない可能性が高いということである。

- ② 第 2 章において述べた、「支点の位置は棒の真ん中になければならない」という素朴概念（本研究においては「支点中心説」と呼んでいる）を分離している問題では、正答率が比較的高くなっている。すなわち、問 5 が約 42.4%から約 66.7%に、問 10 が約 42.4%から約 63.6%に、正答率が上昇している。事前調査において、問 5、もしくは、問 10 で支点中心説の素朴概念を表す誤答選択肢を選んだ被検者児童は、計 9 名であったので、このあとで誤答分析を行い、支点中心説の素朴概念が、授業を通してどの程度回避されたのか調べてみることにする。6 割以上という、正答率だけを見ると、物理概念の獲得がある程度できてはいるが、まだ、十分ではない。
- ③ その他の問題については、検証版調査問題で、推定した項目困難度が低く、比較的平易な問 7、問 8、問 9 の 3 問は、事後調査の正答率は、いずれも約 84.8%となった。これらの 3 問に正答できた児童は、「てこの規則性」についての、基礎的基本的な概念が、概ね獲得できており、知識・技能が概ね習得できているものと考えられる。一方、検証版調査問題で推定した項目困難度が、0.999 と比較的高い問 3 は、やや難しい問題ながらも、約 57.6%から約 67.9%へと、約 12%程度ののびしろがあった。次に、「てこの規則性」以外の内容に関して出題した 10 問についても触れておくことにする。これらの問題の出題内容は、次の表 4-12 の通りである。

表 4-12 調査問題の出題内容（問 11～問 20）

設問	出題内容
問 11	・自由落下運動の日常生活への適用
問 12	・振り子の運動のブランコへの適用（質量）
問 13	・振り子の運動（振れ幅）
問 14	・振り子の運動（振り子の長さ）
問 15	・粘土における質量保存
問 16	・太さが違うゴムをのばしたときの復元力の大きさ
問 17	・空気や水を押し縮めたときの復元力の大きさ
問 18	・変化したり変化しなかったりする速さと進む距離
問 19	・変化したり変化しなかったりする速さとかかる時間
問 20	・作用反作用の法則の日常生活への適用

すでに述べた通り、問 11～問 20 は、「てこの規則性」以外の小学校理科物理分野に関する内容、および、小学校理科の内容以外でも、小学校高学年児童であ

れば、比較的身近な事象として出会ったことがあるものと考えられることについて出題したものである。検証版調査問題の段階で、これらの 10 問の中で、推定された項目困難度が最も高いのが、問 20 の 1.023 で、これに問 11 の 0.782、問 14 の 0.687 と、続いている。逆に、項目困難度が最も低いのが、問 18 の -1.227 で、これに問 12 の -0.912、問 15 の -0.812 と続く（詳細は第 1 節の表 5-2 を参照）。

例えば、小学校算数において、速さは平均の速さとして扱うが、高学年児童の場合、加速している事象についても一定の認識ができるものと考えられる。一方、それに対して、自由落下において、質量が異なっても、落下速度や落下にかかる時間が同じであること、また、体育の学習において、身近で経験豊富な跳び箱運動であっても、支持の瞬間、鉛直方向に静止したときには作用反作用の法則にしたがっていることを理解するのは難解なのであろう。ここで問 11～問 20 についても、確定版調査問題の事前調査と事後調査の結果を比較しておく。正答率は、表 4-11、および、図 4-9 に示した通りである。

事前調査と比較して、事後調査の正答率が下がったのは、問 15（約 84.8%→約 81.8%）、問 19（約 54.5%→約 51.5%）、問 20（約 51.5%→約 42.4%）の 3 問である。これらの問 11～問 20 の問題は、「てこの規則性」に特化した問題ではなく、物理分野一般の問題であるので、今回の一連の授業研究を通じた、子どもたちの学びが、どの程度、調査結果に影響したのかどうかよく分からないため、ここでは深入りしない。

4-5-2 規格化ゲイン

米国における物理教育研究 (Physics Education Research, PER) においては、標準的な授業評価の方法として、しばしば、規格化ゲイン (Hake, 1998) が用いられる。本研究においても、この方法を援用し、事前調査の結果と事後調査の結果とを用いて規格化ゲインを求めて授業評価を試みる。規格化ゲインは次の式で与えられる。

$$g = \frac{\text{事後テストのクラス平均} - \text{事前テストのクラス平均}}{100 - \text{事前テストのクラス平均}} \dots (4-1)$$

Hake (1998) によると、伝統的な講義形式の授業においては、FCI による規格化ゲインが 0.25 程度、相互作用型の授業においては、同じく FCI による規格化ゲインが 0.48 程度であることが示されている。また、Mazur (1997) によると、相互作用型学習の 1 つであり、アクティブ・ラーニングとして行われている Peer Instruction では、同じく FCI の規格化ゲインが 0.36～0.68 程度であるという。ここでは調査対象としている被検者の年齢も調査問題も異なるので、FCI の規格化ゲインと比較するのは意味のないことであるが、事前調査と事後調査との比較によって、授業による成果が表れているということを示すために、規

規格化ゲインを用いることにする。各問題の正答率と設問毎の規格化ゲインを、表 4-13、および、図 4-10 に示す。

表 4-13 2019 年度 S 小学校 6 年 3 組 N=33 事前調査-事後調査 規格化ゲイン

設問番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
事前	87.9	24.2	57.6	27.3	42.4	30.3	84.8	81.8	72.7	42.4	33.3	54.5	63.6	18.2	84.8	63.6	51.5	57.6	54.5	51.5
事後	72.7	42.4	69.7	39.4	66.7	54.5	84.8	84.8	84.8	63.6	51.5	69.7	69.7	24.2	81.8	75.8	72.7	72.7	51.5	42.4
ゲイン	-1.25	0.24	0.29	0.17	0.42	0.35	0.00	0.17	0.44	0.37	0.27	0.33	0.17	0.07	-0.20	0.33	0.44	0.36	-0.07	-0.19



図 4-10 2019 年度 S 小学校 6 年 3 組 N=33 事前調査-事後調査 規格化ゲイン

表 4-13、および、図 4-10 を見ても分かる通り、問 1 から問 10 の「てこの規則性」についての問題では、問 1 の $g \doteq -1.25$ と、問 7 の $g \doteq 0.00$ を除いて、規格化ゲインはすべて正の値をとっている。しかもその上 $0.17 \leq g \leq 0.44$ の値をとっているのだから、確かに学習効果が表れている。また、特に、事前調査の段階で正答率が低いことが課題であった、問 2、問 4、問 6 の各問は、身近な事象（シーソー、くぎ抜き）やあまり身近ではないが具体的な事象（2 球を付けた棒）については、規格化ゲインがそれぞれ 0.24、0.17、0.35 であった。正答率の増加と規格化ゲインの数値から授業を通してある程度課題が克服できていることが分かる。子どもに特徴的な素朴概念「支点中心説」に関して出題した、

問 5、問 10 の各問の規格化ゲインは、それぞれ 0.42、0.37 であり、これらについても、授業を通して、ある程度課題を克服できたことが分かる。つまり、

学習指導計画、すなわち、カリキュラムの一部を変更し、「てこの規則性」の単元の途中、すなわち、長い棒と重い砂袋を用いて、てこの規則性を見いだす学習と、実験用てこを用いた学習との間で、ものづくり（てんびんづくり）を行ってから実験用てこを導入したり、支点の位置は棒の真ん中とは限らないという

ことについて確認したりして、授業を展開していったことによる、一定の効果があつたものと考えられる。

一方、具体的で、しかも、身近な事象について出題しているにも関わらず、正答率が大きく低下し、負のゲイン $g \doteq -1.25$ が生じた、問 1 については、注意が必要である。このような結果が出た場合、Normalized Change を実施する。

すなわち、事後テストのクラス平均－事前テストのクラス平均 > 0 のとき

$$g = \frac{\text{事後テストのクラス平均} - \text{事前テストのクラス平均}}{100 - \text{事前テストのクラス平均}} \quad \dots (4-2)$$

であるのに対して、事後テストのクラス平均－事前テストのクラス平均 < 0 のときには、

$$c = \frac{\text{事後テストのクラス平均} - \text{事前テストのクラス平均}}{\text{事前テストのクラス平均}} \quad \dots (4-3)$$

と用いる (Marx and Cummings, 2007)。

これを用いると、Normalized Change によって修正された問 1 のゲインは、 $c = -0.172 \doteq \text{約} -0.17$ となる。

一方、問 7 は事前調査も事後調査も、正答率が約 84.8% であり、ゲインは $g = 0.00$ である。問 7 は正答率が比較的高く、実験群の 1 学級では、誤答者は 33 名中 5 名のみである。したがって、一斉学習やグループ学習等を、改めて行うよりも、少数の誤答者に対して、個別に指導することにより、改善を図った方がよいものと考えられる。

また、問 6 の場合、規格化ゲインが $g \doteq 0.35$ となったものの、正答率は事後調査で約 54.5% と半数を若干上回る程度であり、依然として「てこの規則性」を釘抜きに適用することが難しいのか、あるいは、穴の位置 (作用点の位置) が異なる、2 種類の特殊な釘抜きを提示していることが分かりづらいのか、正答率があまり上がっていない要因を検討していくという課題が残る。

さらに、注目したいのは、問 8 と問 9 である。これらの問題は、項目困難度が低いので、「てこの規則性」についての、基礎的基本的な知識・技能が習得できているかどうか確認する問題である。これらのうち問 9 は、20 問の調査問題の中でも最大の $g = 0.44$ を得ている。その半面で、問 8 は $g = 0.17$ という小さな数値となっている。ところが、前述の通り、事後調査の正答率が、問 8 と問 9 とともに約 84.8% を得ているので、これらの児童は、「てこの規則性」についての、基礎的基本的な知識・技能を習得するとともに、「てこの規則性」を、これらの問題で提示したような事象に対して適用できていることが分かる。

4-5-3 特定の問題の回答状況

本研究において着目してきた問題がある。その2つが、これまでも何度か取り上げてきた、「てこの支点の位置は、棒の真ん中になければならない」という子どもに特有の素朴概念である「支点中心説」を分離するために出題した問5と問10である。これらについて、その詳細を見てみることにする。これらの問題の事後調査における回答状況は、次の表4-14のようになる。

表4-14 2019年度 S小学校 第6学年 事後調査 問5・問10の回答状況 (N=33)

小6	1963	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	無答	エラー※ダブルマーク等	合計
	選択数	22	6	2	3	0	0	33
	選択率	66.7	18.2	6.1	9.1	0.0	0.0	100.0
小6	1963	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	無答	エラー※ダブルマーク等	合計
	選択数	7	3	2	21	0	0	33
	選択率	21.2	9.1	6.1	63.6	0.0	0.0	100.0

※上段：問5，下段：問10

表4-14を見ると、問5と問10の正答率は、それぞれ約66.7%、約63.6%となっており、問5において「支点中心説」を分離する誤答選択肢3を選んだ被検者児童は2名（約6.1%）である。また、問10で、同じく「支点中心説」を分離する誤答選択肢2を選んだ被検者児童は、3名（約9.1%）である。一連の授業実践研究を通して、「支点中心説」という素朴概念を完全に取り去ることはできなかったが、非常に少ない人数となっているとことが分かる。この程度の人数になれば、前述の通り、個別指導で対応した方が効率的である。

なお、この表の場合も、無答とエラーを存置している。

4-5-4 調査問題の授業評価・授業改善への応用について

本章においては、小学校における実際の授業への、本研究の応用を目指して、実際の授業実践を通して、事前調査と事後調査との調査結果を比較しながら、また、PERでは標準的に用いられている、規格化ゲインを用いることによって、次のようなことが明らかになった。

- ① 項目困難度が比較的低いにも関わらず、事前調査で正答率が低かった、各問題においては、授業実践を通して、0.17～0.35の規格化ゲインが得られた半面、正答率は、約34.9%～約54.5%にとどまっていたということ。
- ② 子どもに特有の素朴概念の1つとして分かった、てこの支点の位置は棒の中心でなければならぬということ（支点中心説）は、学習指導計画を、工夫して、長い棒と重たい袋を用いた学習から、実験用てこを用いた学習へと移る間に、てんびんづくりを行ったり、支点の位置についての注意を促したりすることによって、相当取り除くことができるということ。
- ③ 項目困難度が低く、てこの規則性についての、基礎的基本的な知識・技能

について問う問題は、規格化ゲインは、**0.00～0.44** までの開きはあるとはいうものの、事後調査におけるこれらの問題の正答率は、約 **85%**にせまり、ほとんどの児童が、これらの知識・技能を習得できているとみられること。

これらのことは **S** 小学校 **1** 校 **1** 学級 **35** 名の被検者児童を対象として、筆者自身が授業者として実践した授業から分かったことである。そのため、この段階では、まだ一般性・妥当性には欠けているという問題がある。

そこで、同じ国立大学附属 **S** 小学校の他学級を含めた **4** 校の協力を得て **2019** 年 **9** 月から **2020** 年 **2** 月にかけて第 **6** 学年「てこの規則性」の学習に入る直前、もしくは、導入時に事前調査を行って、学習が終わった直後から、あまり時間が経たないうちに事後調査を行った。

次章においては、その結果について比較しながら調査問題や分析・検討の方法に関する一般性や妥当性について考察していくことにする。

第5章 方法の妥当性についての検討

5-1 確定版調査問題の妥当性についての検討

5-1-1 確定版調査問題作成までの経緯

本研究で作成した、「小学校理科物理概念一覧表」は、科学教育、理科教育、物理教育関連の先行研究を調査することによって得た、小学校理科物理分野の内容に関する科学的概念や知識・技能、そして、素朴概念や誤概念に基づいて、作成し、これに筆者自身による小学校、および、一部の中学校における授業実践と、小学校、中学校、高等学校における、研究授業の参観を通して、得た知見や情報等と照合しながら、加筆・修正を行っている。こうして巻末附録資料に掲載している同一覧表については、一定の妥当性を担保しているものと考えられる。この一覧表に基づいて作成した調査問題は、ごく初期の調査問題（案）から修正を繰り返し、古典テスト理論による分析・検討、さらに Rasch モデルによって検証版調査問題を分析・検討して、確定版調査問題へと至っている。これを事前調査―事後調査に用いて検証し、この調査問題をさらに改善していく見通しである。このことを図 5-1 に示す。

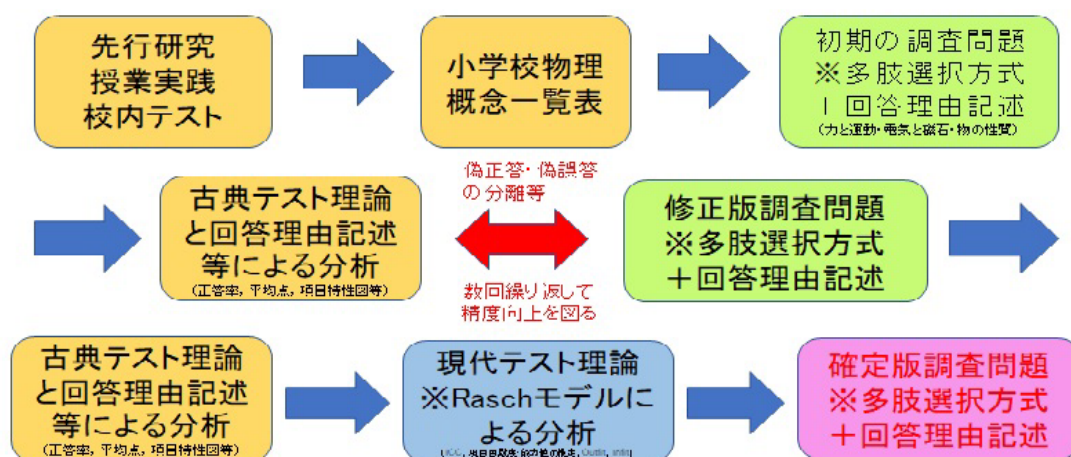


図 5-1 確定版調査問題の作成に至るまでの経緯

5-1-2 確定版調査問題の利用法

この確定版調査問題は、近年世界各国で行われてきた PER で、しばしば用いられてきた、FCI や FMCE と同様に、多肢選択式の出題により、子どもが持つ物理的認識を定量的・客観的に評価・分析することができることを。これを授業評価・授業改善に活用するという考え方は、PER で行われてきた方法を援用したものであり、対象とした集団の年齢や校種は異なるものの、使用方法は PER ではしばしば行われてきたものと同様である。すなわち、事前調査と事後調査を行って、その結果を単に平均点や正答率等で、事前調査と事後調査を比較したり、Hake の規格化ゲインを用いて比較したりする点においても同様である。

さらには、確定版調査問題を用いて事前調査を行った際に、検証版調査問題の Rasch モデルによる分析から推定された項目困難度の割に正答率が低い問題に

については、これらの問題の選択肢の回答状況を分析したり、当該問題の出題意図を再考したりすることにより、筆者の勤務校における学習指導計画を変更して授業を実践することにした。

5-1-3 確定版調査問題の検証による妥当性を

本節においては、本研究でこれまでに実施してきた方法、つまり、小学校理科物理概念一覧表を作成し、これに基づいて検証版調査問題を作成して、その調査結果を古典テスト理論と現代テスト理論の1つである **Rasch** モデルを併用して分析し、確定版調査問題を抽出する。そして、この問題を、事前調査と事後調査に用いて、求めた **Hake** の規格化ゲインを、授業実践に応用するという方法が、筆者が勤務している国立大学附属 **S** 小学校において、授業を実践した学級だけではなく、他教員が担当し学習指導計画を変更することなく行った **S** 小学校の他学級、あるいは、他校においても、使用できるかどうか検討し、妥当性が担保されることについて論じる。

5-2 規格化ゲインによる学習効果の評価と問題の妥当性

5-2-1 PERの方法の援用

PER において、しばしば用いられている **FCI** は、実際の調査実施や被検者となった学生・生徒へのインタビューを行うなどして問題自体の改善が行われてきた。現在の版は世界各国の多言語に翻訳されており、**FCI** には膨大な量の調査実績と被検者データが存在する。この **FCI** とその結果の評価基準として、しばしば用いられているのは、何度も紹介してきた通り、**Hake** による規格化ゲイン (**Hake, 1998**) である。例えば、伝統的講義形式の授業か、相互作用型学習、ピア・インストラクション (**Peer Instruction, PI**) 等のアクティブ・ラーニングか、授業形態や使用問題により、それぞれの基準が **PER** の関係者によって知られており (例えば、**Redish, 2003**)、授業評価、および、授業改善に向けての手がかりとなっていることは周知の通りである。ここでは、このような方式のうち可能な部分を援用して、本研究で作成した調査問題が、複数の異なる集団で同じ方式で授業評価が可能かどうかという妥当性を検討していく。

ただし、**FCI** が対象としている学生や生徒と、本研究で作成してきた、確定版調査問題が対象としている、児童や生徒との年齢も集団等も異なっている上に、問題自体も異なっているので、単純な比較はできない。しかしながら、**Hake** の規格化ゲインの目安が調査問題の有用性を示す上で大切なことである。

5-2-2 授業学級と非授業学級における規格化ゲインの比較

そこで、筆者が授業を担当した、2019年度の国立大学附属 **S** 小学校第6学年1学級の児童集団に対しては、事前調査によって、児童が持つ「てこの規則性」についての概念を把握し、その分析結果を手がかりとして、学習指導計画を組み

替えるとともに、子どもに特徴的な素朴概念に関する事象を採り入れたり日常生活の中でとらえにくい事象を理解するために単元の中盤でものづくりを取り扱ったりしながら授業実践を行った。

一方、筆者が授業を担当しなかった、2019年度の国立大学附属S小学校第6学年2学級の児童集団に対しては、S小学校における、標準的な理科学習指導計画に基づいた授業を理科専科の他教員が実践した。S小学校における。両者の規格化ゲインの比較を、図5-2、および、表5-1に示す。ただし、各問題単独の規格化ゲインはNormalized Change (Marx and Cumming, 2007)による修正前のものである。例えば、筆者の授業担当学級においては、問1の規格化ゲインが $g \doteq -1.25$ という数値を示したが、これをNormalized Changeを用いて修正すると $c \doteq -0.17$ となる。

なお、筆者が授業を担当しなかった学級においても、マークシートを用いた、マークセンス方式で調査を行ったが、回答用紙を1枚ずつ目視によって点検し、当て推量等の問題がある被検者のデータは除外して分析・検討した。

表5-1 学習指導計画変更の有無による規格化ゲインの比較

問題番号	被検者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1~10
ゲイン	S61/S62	0.54	0.14	0.18	0.24	-0.01	0.48	0.07	-0.20	-0.19	0.11	0.19
ゲイン	S63	-1.25	0.24	0.29	0.17	0.42	0.35	0.00	0.17	0.44	0.37	0.25

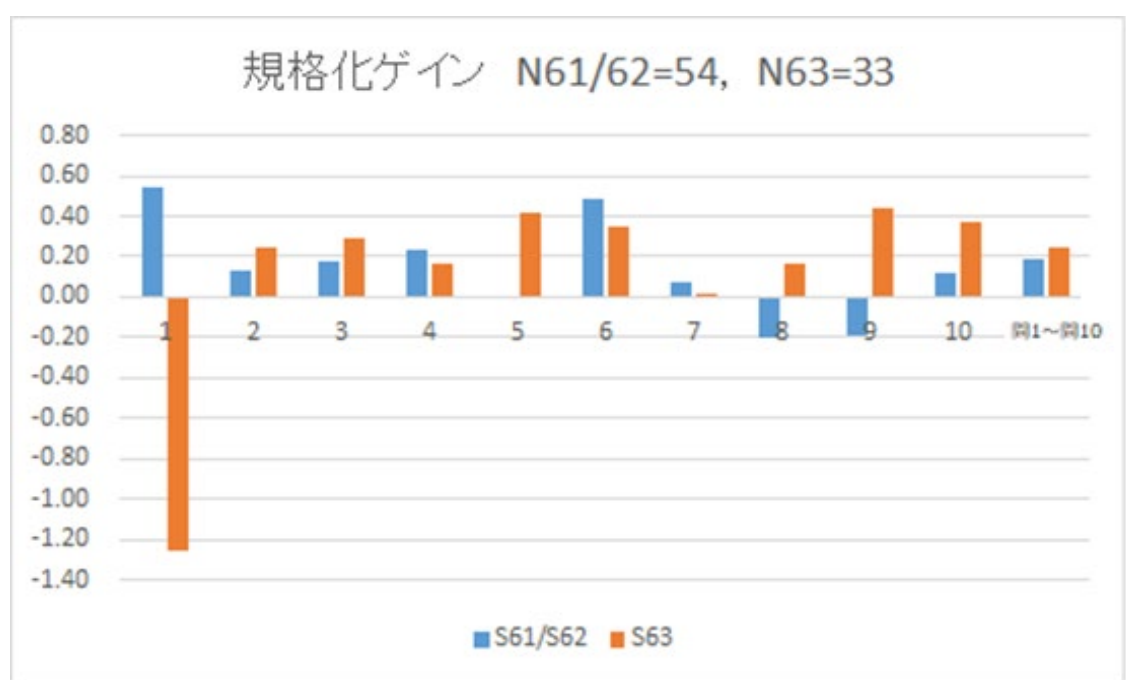


図5-2 学習指導計画変更の有無による規格化ゲインの比較

これらを比較すると、「てこの規則性」に関する10個の問題全体の規格化ゲインは、それぞれ0.25, 0.19といずれも正のゲインを生じている。ただし、問題毎のゲインを求める場合には、Normalized Change (Marx and Cummings, 2007)を用いるとよい。Mazur (1997)によると、米国の高等学校や大学で、力学領域

のアクティブ・ラーニング型の授業における FCI による規格化ゲインは $0.36 < g < 0.68$ 程度の数値を示すと言う。それに対して伝統的な講義形式の授業における FCI による規格化ゲインは 0.25 程度であると言う。

本調査においては、PER で言われている、アクティブ・ラーニングベースの講義程度の規格化ゲインは生じていないことが分かる。ところが、前述の通り、対象の被検者集団の年齢や調査問題が異なるので、単純な比較はできない。

それよりも、むしろ重要なのは、その背景として、担当教員が違うとは言え、S 小学校における理科学習指導計画が、児童同士の相互作用を大切にしながら、授業実践を行うといった形態になっているということが挙げられる。そのため、小学校における、第 6 学年「てこの規則性」の相互作用型学習において、本調査問題を用いて事前調査-事後調査を行うと、 $0.19 \sim 0.25$ の規格化ゲインが確かに生じていると言うことが分かる。しかるに、問題毎に詳細に見ていくと、本研究を通して分かったことと、今後の課題となるところがいくつか見えてくる。

5-2-3 授業学級での事前調査の正答率が低かった問題

次に、筆者の授業担当学級を対象とした事前調査で、正答率が低かった問 2、問 4、問 6 の問題について見てみることにする。これらの問題の規格化ゲインは次の通りである。授業担当学級では、問 2、問 4、問 6 の規格化ゲインが、それぞれ、 0.24 、 0.17 、 0.25 となっている。一方、授業非担当学級では、それぞれ、 0.14 、 0.24 、 0.48 となっている。すなわち、シーソーについての問題では、授業担当学級の方が高く、2 つの小球の重さの関係についての問題とくぎ抜きについての問題では、授業非担当学級のほうが高くなっている。ただ、規格化ゲインの違いは小さい。

5-2-4 子どもに特徴的な素朴概念に関する問題

その次に、子どもに特徴的な素朴概念(支点中心説)に関する問題である問 5、問 10 について見てみることにする。これらの問題の規格化ゲインは次の通りである。授業担当学級では、問 5、問 10 の規格化ゲインが、それぞれ 0.42 、 0.37 となっている。

これらの問題については、学習指導計画を一部変更して授業を実施した結果が出ているものと考えられる。つまり、児童が、長い棒と重い砂袋を用いた実験を通して、「てこの規則性」について大まかにとらえた後で、実験用てこの学習に入ると、実験用てこの形状から、子どもに特徴的な素朴概念(支点中心説)を助長することがあるということがうかがえる。

本研究における、授業実践への応用の段階で、学習指導計画を変更して授業を実践した一定の結果が出ているものと考えられる。すなわち、長い棒と重い砂袋を用いた実験を通して、「てこの規則性」について大まかにとらえた後で、「天秤づくり」を行い、これに「てこの規則性」を適用する。そのときに、児童は試行錯誤しながら、天秤づくりに取り組んでいたが、自作天秤をつり合わせるために、相当苦労しながら取り組んでいる姿が見られた。もちろん、支点の位置も左右に

移動させながら、天秤をつり合わせようとしていた。このような活動を行った上で、実験用てこを用いると、「支点の位置は棒の中心とは限らない」という考えを持つことができるようになるのは比較的容易である。

授業担当学級において、問5と問10の規格化ゲインはそれぞれ0.37, 0.42であったが、単純に比較することはできないとは言え、PERのアクティブ・ラーニングベースの授業におけるFCIの規格化ゲインの目安 $0.36 < g < 0.68$ (Mazur, 1997)の範囲内の値であるということにも着目したい。

こうして、子どもに特徴的な素朴概念(支点中心説)の克服に関しては、学習指導計画の変更と小学校における相互作用型学習の併用は、一定の学習効果を生み出しているものと考えられる。

そこで、このことを裏付けるために、授業担当学級の被検者児童のうち、事前調査・事後調査がともに有効であった実験群の児童33名における問5への回答の変容状況を次の表5-2に示す。表5-2をさらに整理すると表5-3のようになる。

表5-2 授業担当学級 問5事前調査と事後調査の回答状況 (N=33)

問題番号	問5	正答1	問題番号	問5	正答1	問題番号	問5	正答1	問題番号	問5	正答1
児童番号	回答	正誤	児童番号	回答	正誤	児童番号	回答	正誤	児童番号	回答	正誤
6301	3	×	6301	2	×	6321	1	○	6321	1	○
6302	2	×	6302	3	×	6322	3	×	6322	1	○
6303	3	×	6303	1	○	6323	2	×	6323	1	○
6304	1	○	6304	1	○	6324	1	○	6324	1	○
6305	1	○	6305	1	○	6325	1	○	6325	1	○
6306	1	○	6306	1	○	6326	2	×	6326	2	×
6307	1	○	6307	1	○	6327	2	×	6327	1	○
6308	1	○	6308	1	○	6328	1	○	6328	2	×
6309	3	×	6309	2	×	6329	2	×	6329	1	○
6311	2	×	6311	1	○	6330	4	×	6330	2	×
6312	2	×	6312	4	×	6331	1	○	6331	1	○
6313	2	×	6313	4	×	6332	3	×	6332	1	○
6314	1	○	6314	1	○	6333	1	○	6333	1	○
6315	2	×	6315	3	×	6334	1	○	6334	1	○
6316	1	○	6316	1	○	6335	2	×	6335	4	×
6318	2	×	6318	1	○	6336	2	×	6336	2	×
						6337	3	×	6337	1	○

この表から事前調査で正答選択肢1を選んだ児童1名が、事後調査で誤答選択肢2を選んだ。そして、事前調査で誤答選択肢2を選んだ児童5名が、事後調査で正答選択肢1を選び、事前調査で、支点中心説を示唆する、誤答選択肢3を選んだ児童4名が、事後調査で正答選択肢1を選んだ。さらには、事前調査で支点中心説の誤答選択肢3を選んだ児童のうち2名が、事後調査で誤答選択肢2を選んだほか、事前調査で誤答選択肢2を選んだ児童のうち2名

表5-3 授業担当学級 問5事前調査と事後調査の回答状況 (N=33)

事前/事後	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	計
選択肢1	13	1	0	0	14
選択肢2	5	2	2	3	12
選択肢3	4	2	0	0	6
選択肢4	0	1	0	0	1
計	22	6	2	3	33

が、事後調査で「支点中心説」の誤答選択肢 3 を選んだ。問 5 の規格化ゲインは $g=0.42$ であるものの、依然として、正答選択肢を選んだ児童が 22 名であるのに対して、誤答選択肢を選んだ児童がまだ 11 名おり、その中で、特に「支点中心説」を示唆する、誤答選択肢 3 を選んだ児童が 2 名いる。以上のことから「支点中心説」という子どもに特有の素朴概念を、完全に排除し切れていないということを確認しておく。

同様にして、本研究において、比較的初期の頃から検討し、「支点中心説」という素朴概念が存在することを確認し、数度にわたって問題や選択肢を改訂し続けてきた問 10 についても、問 5 と同様に事前調査と事後調査における、児童の回答状況の変化を調べてみることにする。問 5 と同じく実験群の被検者児童のうち事前調査・事後調査がいずれも有効であった児童 33 名の問 10 に対する回答は、次の表 5-4 のように変容し、整理すると、表 5-5 のようになる。

表 5-4 問 10 事前調査と事後調査の回答状況 (N=33)

問題番号	問10	正答4	問題番号	問10	正答4	問題番号	問10	正答4	問題番号	問10	正答4
児童番号	回答	正誤	児童番号	回答	正誤	児童番号	回答	正誤	児童番号	回答	正誤
6301	4	○	6301	3	×	6321	3	×	6321	1	×
6302	3	×	6302	4	○	6322	4	○	6322	4	○
6303	1	×	6303	4	○	6323	4	○	6323	4	○
6304	2	×	6304	4	○	6324	4	○	6324	4	○
6305	2	×	6305	4	○	6325	3	×	6325	1	×
6306	1	×	6306	4	○	6326	1	×	6326	4	○
6307	3	×	6307	4	○	6327	4	○	6327	4	○
6308	3	×	6308	3	×	6328	4	○	6328	1	×
6309	1	×	6309	4	○	6329	4	○	6329	4	○
6311	4	○	6311	3	×	6330	1	×	6330	3	×
6312	2	×	6312	1	×	6331	4	○	6331	4	○
6313	1	×	6313	1	×	6332	4	○	6332	2	×
6314	4	○	6314	4	○	6333	0	×	6333	4	○
6315	4	○	6315	2	×	6334	1	×	6334	1	×
6316	4	○	6316	4	○	6335	1	×	6335	2	×
6318	1	×	6318	4	○	6336	1	×	6336	1	×
						6337	4	○	6337	4	○

この表から事前調査で正答選択肢 4 を選んだ児童のうち 5 名が、事後調査で誤答選択肢を選んだことが分かる。その内訳をみると、誤答選択肢 1 が 1 名、「支点中心説」を示唆している誤答選択肢 2 が 2 名、誤答選択肢 3 も 2 名である。そして、事前調査で誤答選択肢 1 を選んだ児童のうち、3 名は事後調査でも誤答選択肢 1 のままで変わらず、1 名が「支点中心説」を示唆する誤答選択肢 2 を選び、1 名が誤答選択肢 3 を選んだ。一方、5 名は正答選択肢 4 を選ぶことができた。さらに、事前調査では、支点中心説の誤答選択肢 2 を選んだ児童は、事後調査では 1 名が誤答選択肢 1 を選び、2 名が正答選択肢 4 を選ぶことができた。事前調査では、誤答選択肢 3 を選んだ

表 5-5 問 10 事前調査と事後調査の回答状況 (N=33)

事前/事後	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	計
選択肢1	3	1	1	5	10
選択肢2	1	0	0	2	3
選択肢3	2	0	1	2	5
選択肢4	1	2	2	9	14
無回答	0	0	0	1	1
計	7	3	4	19	33

児童は、事後調査では、2名が誤答選択肢1を選び、1名が誤答選択肢3のままであったのに対して、2名が正答選択肢4を選ぶことができた。

問10の規格化ゲインは、 $g=0.37$ である。問5と同様に、この調査問題を用いて、当該被検者集団を対象として、調査を実施した場合には、比較的高い数値を得ている。ところが、依然として、正答選択肢を選んだ児童が、19名いたのに対して、誤答選択肢を選んだ児童もまだ14名いた。特筆すべきことは、「支点中心説」を示唆する誤答選択肢2を選んだ児童3名中2名は、事前調査で正答選択肢4を選んでいてもかかわらず、事後調査では、「支点中心説」を示唆する誤答選択肢2を選んでいるということである。このことから小学校児童が持つ物理的認識、とりわけ、正しい物理概念の獲得や知識・技能の習得の状況はやや脆弱であると言わざるを得ない。しかしながら、子どもに特徴的な素朴概念は、かなり減少しており、個別対応で指導できる程度に減少しているのも事実である。

このように、授業実践を通して、確かに「規格化ゲイン」という数値の上では向上は見られるものの、児童毎の回答状況の変化を見ると、その後の概念、知識・技能がこのまま保持されていくのかという状況を見ていくことが課題である。その点については、小学校児童がゆくゆく進学する、中学校や高等学校との持続可能な連携が必要である。一般的に、抽象的な思考、いわゆる、形式的操作が可能になると言われている、小学校高学年の児童であっても、今回の授業実践で行った、長い棒と重い砂袋を用いた実験や、天秤づくり等、たえず具体的な物理事象に触れさせながら、概念の形成・構築や知識・技能の習得を行っていくことが、学習指導計画を作成していく上で大切なことであると考えられる。

5-2-5 S小学校以外の学校との比較による妥当性の検証

本調査問題は、国立大学附属S小学校の児童を被検者として使用することを目的としたものではない。小学校第6学年児童であれば、どの集団であっても使用できるようにすることが、本調査問題の目的である。

そこで、国立大学附属K小学校、東京都公立T小学校、および、東京都公立T小学校の協力を得て、それぞれ2019年度国立大学附属K小学校第6学年児童3学級、東京都公立E小学校第6学年児童4学級、東京都公立T小学校の第6学年児童4学級を対象として、同様の方法により、事前調査と事後調査を行い、有効ではない回答を除外した上で、確定版調査問題が他の児童集団においても機能しているかどうか調査した。

国立大学附属S小学校の授業担当学級と授業非担当学級も併せて、合計5つの集団における規格化ゲインを比較してみると、表5-5、および、図5-3のようになった。これらの図表はNormalized Changeによる修正は行っていない。

表 5-6 集団別規格化ゲインの比較（修正前）

問題番号	被検者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	問1~問10
ゲイン	S61/S62	0.54	0.14	0.18	0.24	-0.01	0.48	0.07	-0.20	-0.19	0.11	0.19
ゲイン	S63	-1.25	0.24	0.29	0.17	0.42	0.35	0.00	0.17	0.44	0.37	0.25
ゲイン	K	-0.05	-0.08	0.18	-0.05	-0.08	0.46	-0.29	-0.07	0.68	-0.34	0.06
ゲイン	E	0.18	0.10	0.16	0.02	0.03	0.02	-0.27	0.03	-0.35	-0.07	0.03
ゲイン	T	0.07	-0.03	0.16	0.01	-0.09	0.15	0.19	-0.31	0.30	-0.12	0.04

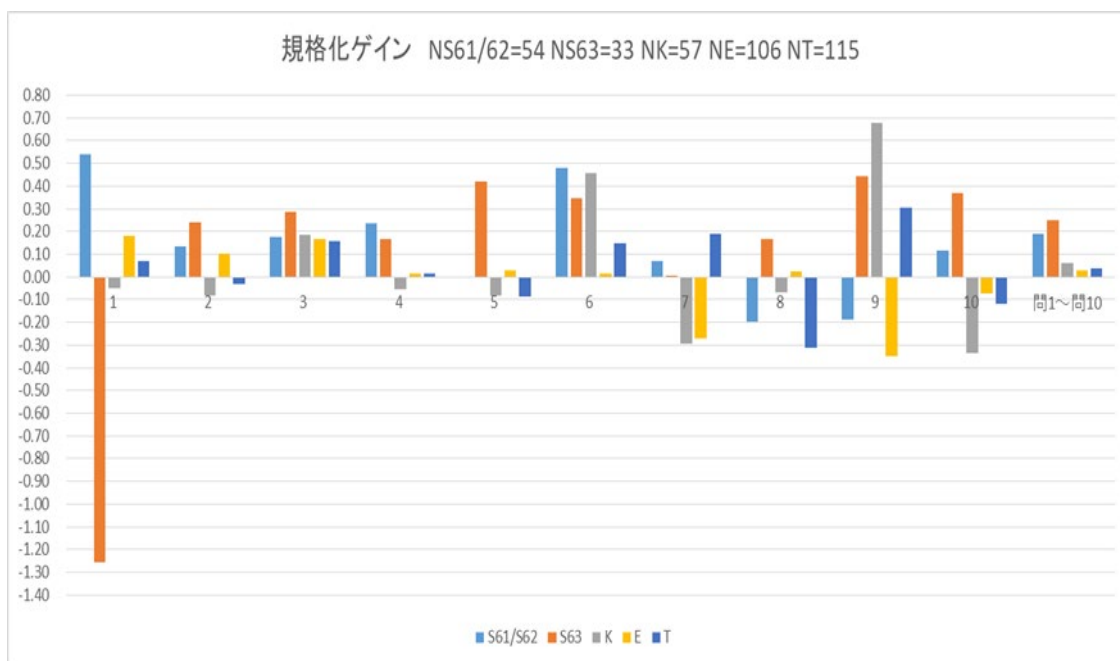


図 5-3 集団別規格化ゲインの比較

図 5-3、および、表 5-6 を見ると、次のようなことが分かる。第 6 学年の「この規則性」の単元に関する 10 問の問題全体を通して見れば、各集団とも正のゲインが得られている。ただ、S 小学校以外では、全体のゲインも小さく、調査問題の汎用性に関しては課題を残した。

こうして本研究における、確定版調査問題を、事前調査—事後調査として使用した場合に、確かに正答率を測定することや規格化ゲインを求めることができるようになった。ところが、それぞれの問題の汎用性、調査問題群としての標準化については課題を残した。

以上の通り、調査問題の妥当性について検討してきたが、事前調査—事後調査を実施することを通して調査結果を確かに反映していることが分かったものの、国立大学附属 S 小学校で使用するときには概ね妥当であることが分かった半面、S 小学校以外の学校で使用するときの妥当性については、明確には示すことができなかった。

5-3 調査問題の概念一覧表

世界各国の高等学校や大学で、PER による物理の授業評価・授業改善のためのツールとして、標準的に用いられている力学概念調査 FCI には、素朴概念・誤概念と、正しい物理概念とに分けて、概念一覧表が作成されている (Hestenes et al., 1992)。

それに対して、本研究においては、多数の先行研究によって、明らかにされている素朴概念を手がかりとして、概念と知識・技能についての一覧表を作成するところから始めて、さらには、この表に基づいて、初期の調査問題を作成した。初期の調査問題は、実際に調査を行い、回答理由記述とともに調査結果を分析・検討した結果として検証版調査問題へと至った。この検証版調査問題に対して、古典テスト理論、および、現代テスト理論の 1 つである Rasch モデルを用いて項目困難度と被検者の能力値を同時に推定し、そこから「てこの規則性」に関する問題を 10 問とその他の物理分野に関する問題を 10 問とを、調査問題としての困難度を -2.753 に設定し、現在の確定版調査問題へと至っている。これらの問題がすでに元の概念一覧表と完全には対応していない状況が生まれている。本研究は、PER や FCI の方法を援用しながら、実施してきたため、てこの規則性に関する 10 問から概念、知識・技能を抽出して、FCI における概念一覧表に相当する表 5-7、表 5-8 に示す。

例えば、これまで本研究で数度にわたって援用してきた、FCI は、現在では、世界中の国々の高等学校や大学教養課程の物理において、授業評価・授業改善を目的として標準的に用いられている調査問題の 1 つである。FCI の場合は、物理概念の表と素朴概念の表とが、別々につくられている。すなわち、被検者がある問題で選んだ選択肢を、表と照合することによって、当該の被検者がどのような素朴概念を持っているのか、ということが分かる。

本研究の小学校物理概念一覧表は、当初 FCI の概念一覧表のような形式になっていなかったため、実際に、検証版調査問題、および、確定版調査問題を行うことにより得られた知見を反映させながら、FCI と同様に各問題の選択肢から概念を抽出した一覧表が表 5-7、および、表 5-8 である。ただし、今回は、「てこの規則性」の授業実践を授業評価・授業改善することを前提として、調査問題を作成し実施したので、これらの表は「てこの規則性」の単元の範囲のみについて作成した。なお、F601 の概念を、直接利用している問題は、出題されていないが、てこの支点の位置が棒の真ん中にあるのは、両側に載せた（吊るした）物の重さが同じであるときに限られるという事象と対比しながらこの概念を培っていくということを意図して、問 5-1、問 10-4 を F601 に含めた。また、「てこの規則性」の単元以外の概念に該当するものも、一部この表に含めた。なお、枝番 A を附記したものは、当該概念から派生した同類の素朴概念・誤概念を、これらの表に記載したものである。

表 5-7 「てこの規則性」物理概念

一覧表番号	物理概念	当該問題選択肢
F601	「てこの規則性」を利用した物の両側に、同じ重さの物を載せる（吊るす）と、支点からの距離が同じであれば釣り合う。	問 5-1, 問 10-4
F602	てこ（シーソー）を使うと、重さ（体重）が重い物（人）を持ち上げることができる。	問 4-3
F603	てこ（シーソー）を用いたとき、「てこの規則性」のきまりを満たしていれば、重さ（体重）が重い物（人）や軽い物（人）が、てこ（シーソー）をつり合わせるができる。	問 1-2, 問 2-3, 問 3-3,
F604	力点の位置を支点の位置から遠ざけると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、支点の位置に近づけると大きくなる。	問 5-1, 問 6-2, 問 7-4, 問 8-3, 問 9-1, 問 10-4
F605	作用点の位置を支点の位置に近づけると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、支点の位置から遠ざけると大きくなる。	問 5-1, 問 6-2
F606	てこの力点と支点との距離を長くすると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、距離を短くすると必要な力が大きくなる。	問 5-1, 問 6-2, 問 7-4, 問 8-3, 問 9-1, 問 10-4
F607	てこの作用点と支点との距離を短くすると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、距離を長くすると必要な力が大きくなる。	問 5-1, 問 6-2, 問 10-4
F608	てこには、力点・作用点・支点の位置の順序によって、第 1 種のてこ（力点-支点-作用点）、第 2 種のてこ（力点-作用点-支点）、第 3 種のてこ（作用点-力点-支点）の 3 種類の物が存在する。	問 6-2, 問 7-4, 問 8-3, 問 9-1, 問 10-4
F609	実験用てこに吊るしたおもりの重さと支点からの距離を表す番号をかけたものが左右で同じであれば釣り合う。	問 1-2, 問 2-3, 問 3-3
F610	てこの支点の位置は棒の真ん中にあるとは限らない。	問 5-1, 問 10-4

表 5-8 「てこの規則性」素朴概念・誤概念

一覧表番号	素朴概念・誤概念	当該問題選択肢
F308	体積（かさ）が大きな物は、体積（かさ）が小さな物より、みな重い。	問 4-1
F601	「てこの規則性」を利用した物の両側に、同じ重さの物を載せる（吊るす）と、支点からの距離に関係なくいつでも釣り合う。	問 1-3, 問 2-2, 問 3-2
F602	てこ（シーソー）を使っても、重さ（体重）が重い物（人）を持ち上げることはできない。	問 4-4
F603	重さ（体重）が同じならば、いつでもてこ（シーソー）は釣り合う。	問 1-3, 問 3-2
F603A	てこ（シーソー）を用いたとき、「てこの規則性」を満たしていなくても、重さ（体重）が重い物（人）や軽い物（人）が、てこ（シーソー）をつり合わせることもある。	問 1-1, 問 1-3, 問 1-4, 問 2-1, 問 2-2, 問 2-4, 問 3-1, 問 3-2, 問 3-4
F604	力点の位置を支点の位置に近づけると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、支点の位置から遠ざけると大きくなる。	問 5-2, 問 5-4, 問 6-1, 問 6-3, 問 7-2, 問 7-3, 問 8-1, 問 8-2, 問 9-2, 問 9-3, 問 10-1, 問 10-3
F604A	物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力の大きさは、力点の位置と支点の位置とによらない。	問 7-1
F605	作用点の位置を支点の位置から遠ざけると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、支点の位置に近づけると大きくなる。	問 4-2, 問 5-2, 問 5-4, 問 6-3, 問 6-4, 問 10-1, 問 10-3
F606	てこの力点と支点との距離を短くすると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、距離を長くすると必要な力が大きくなる。	問 5-2, 問 5-4, 問 6-1, 問 6-3, 問 7-2, 問 7-3, 問 8-1, 問 8-2, 問 9-2, 問 9-3, 問 10-1, 問 10-3
F606A	物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力の大きさは、力点、作用点、支点との距離によらない。	問 7-1, 問 8-4, 問 9-4,
F607	てこの作用点と支点との距離を長くすると、物を持ち上げる（吊るす）のに必要な力が小さくなり、距離を短くすると必要な力が大きくなる。	問 4-2, 問 5-2, 問 5-4, 問 6-3, 問 6-4, 問 10-1, 問 10-3
F608	てこはかならず、力点-支点-作用点の順序になっている。	問 8-1, 問 8-2
F609	実験用てこに吊るしたおもりの重さと支点からの距離（を表す番号）が左右で同じでだけが釣り合う。	問 5-3, 問 10-4
F610	てこが釣り合うためには、支点の位置はかならず棒の真ん中になければならない。	問 5-3, 問 10-4

第6章 研究のまとめと今後の展望

6-1 本研究の全体像

世界各国の高等学校や大学の物理において、生徒や学生が多くの素朴概念を持っており、これらの素朴概念が、物理概念の獲得を阻害していることに関して、PER という研究方法に基づいた物理授業の改善が世界各国で多数行われるようになった。中には、こうした国籍を超えた共同研究を嫉視している場合もある。

例えば、Morris et al., (2012) によると、FCI を用いた調査を Item Response Curves, IRC を描いて、現代テスト理論の 1 つである項目反応理論 (Item Response Theory, IRT) と対比しながら IRC の優位性が述べられている。IRC は FCI の各問題における選択肢の選択率が合計点毎にグラフに描かれているので、テスト結果の視覚的な把握に大変優れているものの、古典テスト理論の範疇における分析方法とすることができる。

第 1 章で先行研究をレビューしながら述べた通り、このような生徒や学生等が持っている素朴概念の起源は、子どもの発達段階を考えると乳児期や幼児期にまで遡るものもある。これらの素朴概念のうち、例えば、本研究で取り上げた「てこの支点の位置は、棒の中心になければならない」という子どもに特徴的な素朴概念も、数多くの先行研究が存在している電流回路についての素朴概念も、中学校、高等学校の段階で科学的概念への変容が期待される。そのため、初等・中等教育段階の学習における概念の構築・形成には重要な意味があると言えることができる。

筆者は、理科を研究教科とする小学校教員の立場で、日頃から理科授業を実践するとともに、学校現場における授業実践・授業研究を行ってきた。近年は、PER の影響を受け、その中でも、小学校理科で可能なものを採り入れて、小学校理科物理分野を中心として、PER の考え方に基づいた、授業実践・授業研究を行うことを目指すとともに、学術研究としての PER と小学校理科物理分野における授業実践・授業研究との橋渡しをすることが必要であると考えて、本研究に取り組んできた。

6-1-1 子どもの物理的認識に関する評価法・分析法の開発

PER において、しばしば行われている 1 つの特徴的な研究として、多肢選択方式による調査問題を、事前調査と事後調査に用いて、定量的・客観的に生徒や学生 (被検者) がもつ概念や知識・技能等を研究的に分析・検討していくことが挙げられる。その比較の基準としては、しばしば、Hake の規格化ゲインが用いられている。こうした授業評価や授業分析を通して見いだされたことは、また、授業改善に向けての方略を導き出していくことへと役立っている。

本研究においても、それに準じて、その指標となる調査問題については、古典テスト理論、および、現代テスト理論の 1 つである Rasch モデルによる分析・検討を行い、初期の調査問題 (案) から始めて、実際に、多肢選択方式による、定量的な調査を行って分析・検討し、また、これらに対する、被検者の回答理由記述を定性的に分析・検討して、定量的な調査を補完することによって、検証版調査問題へと至った。この検証版調査問題に対して、古典テスト理論を用いて、

定量的に分析・検討し、引き続いて回答理由記述による、定性的な分析・検討によって、定量的な分析を補うことによって、ようやく現代テスト理論の 1 つ、Rasch モデルによる分析・検討へと至った。そして、Rasch モデルによる分析・検討から、各問題の項目困難度と、被検者の小学校第 6 学年児童の能力値を推定した。そして、古典テスト理論と現代テスト理論の双方から得た知見をもとにして、明らかに使用することができない問題（問 20 と問 30）を不採用と判断した。残りの 27 問の問題から、各項目困難度の問題を、任意に組み合わせ、授業単元や児童の実態に合わせた、任意の困難度の問題を組み合わせ、これを調査問題として調査を実施し、改めてその結果を分析・検討すると言った、主として小学校児童を対象とした、子どもの物理的認識についての分析法・評価法を確立することができた。

6-1-2 授業実践への応用

本研究においては、その過程で、第 6 学年「てこの規則性」の授業実践に応用することが決まったので、「てこの規則性」についての 10 問をすべて選択し、20 問による確定版調査問題を作成した。一方、もし第 5 学年「振り子の運動」の授業実践に応用するのであれば、それに応じた問題を適切に選択し、「てこの規則性」のときとは異なる確定版調査問題を作成することになる。

事前調査と事後調査を行い、事前調査から得た知見を、授業実践・授業研究に生かすことは、どの単元であっても共通しており、Hake の規格化ゲイン(1998)を用いて分析・検討を行うのも同様である。

ところが、今回の確定版調査問題の場合、筆者が勤務している、国立大学附属 S 小学校の調査結果によると、筆者が授業を担当した学級でも他の教員が担当した学級でも、確かに授業効果があったことが分かった。また、事前調査の結果を分析・検討した上で、それらを学習指導計画に反映することによって、特に、子どもに特徴的な素朴概念（支点中心説）が相当物理概念へと変容し、この素朴概念は、個別指導で再度対応すればよい程度に減少した。その半面、協力を得た他の 3 校による調査によって、この調査問題が有効であるかどうか調べると、確かに事前調査－事後調査の結果が出せるということまでは分かったが、授業効果に関する妥当性を示すことができないことも分かった。そこで、各章で論じてきたことについて整理する。

6-2 各章の整理と総括

第 1 章においては、本研究の背景や研究の目的・方法に関して述べた。まず、研究の背景として、近年世界各国の高等学校や大学で行われている PER による物理教育の改善、および、乳幼児期の概念形成の黎明期にまで遡り理科系大学生にまで残存する素朴概念等についての先行研究をレビューした。そして、本研究にも PER の方法を援用し、主として小学生を対象とした、多肢選択方式による定量的調査問題を作成し、これを子どもの物理的認識についての評価法・分析法

として利用すること、また、これを事前調査―事後調査として用いて、授業実践へと役立てたり授業評価を行ったりすると言った本研究の目的と方法について述べた。

第2章においては、日本における小学校理科、および、授業実践・授業研究とその実態についての現状と問題点について、また、日本教育界の1つの文化として長年行われ、海外諸国の教育界へと広がる文化としての授業研究について述べた。

第3章においては、その前半で、調査問題の改善の具体的な例について述べ、初期の問題作成から検証版調査問題に至るまでについて、また、古典テスト理論による定量的な分析・検討と、それを補うための定性的な分析・検討の過程を示した。そして、その後半で、現代テスト理論の1つである、Raschモデルを用いた検証版調査問題の分析・検討と、確定版調査問題に至るまでの過程について示した。このようにして、子どもの物理的認識に関する定量的評価法・分析法の開発を行ったことについて述べた。

第4章においては、確定版調査問題を用いて、実際の授業実践の前後に事前調査―事後調査を行い、事前調査の結果に基づいて、第6学年「てこの規則性」の学習指導計画の変更と授業実践の実際について示した。また、今回開発した、子どもの物理的認識に関する定量的評価法・分析法によって、意図的に変更した学習指導計画による授業実践の結果から、「事前調査において、項目困難度の割に正答率が低い問題」「子どもに特徴的な素朴概念(支点中心説)に関する問題」の正答率が向上し、この定量的評価法・分析法が、授業実践に応用できるということについて述べた。

第5章においては、今回作成して用いた調査問題の妥当性について検証した。高等学校・大学で言う「相互作用型学習」に相当する、相互啓発的学習観に立ち、児童同士の相互作用を大切に、適宜教員が意図的な介入を行った授業を実践している、国立大学附属S小学校の場合、授業を担当する教員によらず、事前調査―事後調査における、正答率等のデータを確実に測定するとともに、一定の規格化ゲイン(Hake, 1998)が生じることが分かった。その半面、協力を得た各校の場合も、正答率等のデータを確実に測定することができるということ、また、規格化ゲインが生じることでも分かったが、その値が小さく、調査問題としての汎用性、妥当性については、さらに検討していくことが課題となった。

6-3 結論と今後の展望

6-3-1 結論

本研究の結論は、次の2つである。

- ・PERで開発された概念調査問題の作成方法を用い、さらに、古典テスト理論に加えて、現代テスト理論による分析・検討を行ったことによって、信頼度の高い小学校理科物理分野の調査問題を作成できた。

- ・本研究を通して作成した調査問題を、授業実践に用いることによって、授業計画の改善、授業効果の比較が定量的に行えることを検証した。

6-3-2 今後の展望

今後の展望として、次の5つを挙げる

- ・本調査問題を改訂し、各校で使用可能な汎用性のある調査問題を作成すること
- ・これまでに作成し、本調査に使用しなかった問題の等化を行い、等化した問題も含めて、問題バンクとしての機能を持つ程度の多くの問題を作成すること
- ・力と運動以外の領域（例えば、電磁気、物の性質等）に、調査問題の幅を拡げていくこと
- ・理科系出身者、もしくは、理科を研究教科としていない教員でも、容易に使用できる調査問題を作成していくこと
- ・カリキュラムマネジメントに本研究を役立てること

参考・引用文献

参考・引用文献

【研究の概要】

- Clement, John.: Student's preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50, pp66-71, 1982.
- Courtesy, Eric Mazur, Michael Aziz, William Paul, and Deborah Alpert, Harvard University, Questions 5 and 12 on Magnetism from *A Guide to Introductory Physics Teaching*. Arnold G. Arones, Reprinted by permission of John Wiley & Sons Inc, 1990.
- Hake R.R.: Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, Vol. 66 No. 1, pp64-74, 1998.
- Hestenes D., Wells M., and Swackhamer G., *Force: Concept Inventory*, *THE PHYSICS TEACHER*, VOL30, pp141-158, 1992.
- ERIC Mazur: *CONCEPTTESTS, Peer INSTRUCTION, A User's Manual*, pp105–221, 1997.
- Osborne, R., Freyberg, P.: 森本 信也, 堀 哲夫訳, 子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論, 東洋館出版社, 1988.
- G. Rasch, 内田 良男 監訳: 心理テストの確率モデル, 名古屋大学出版会, 1985, *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*, The University of Chicago Press, 1960/1980.
- 豊田 秀樹: 「項目特性図」『項目反応理論 [入門編] 【第2版】』朝倉書店, pp1-7, 2012.
- White, R.T.: 堀 哲夫, 森本 信也訳, 子ども達は理科をいかに学習し, 教師はいかに教えるか: 認知的アプローチによる授業論, 東洋館出版社, 1990.

【第1章】

- American Institute of Physics, *Reaching the Critical Mass: The Twenty Year Surge in High School Physics*, July 2008.
- Baillargeon, R.: Infants' understanding of the physical world. In M. Sabourin, F. Craik, & M. Robert (Eds.), *Advances in psychological science*, Vol. 2. Biological and cognitive aspects, Psychology Press/Erlbaum (UK) Taylor & Francis. Baillargeon, Infants' understanding of the physical world, pp503–529, 1998.
- Baillargeon, R., Spelke, E. S., & Wasserman, S., Object permanence in five-month-old infants. *Cognition*, 20(3), pp191–208, 1985.
- Robert Beichner: *An Introduction to Physics Education Research*, 2009
- Chandler, M. J., & Lalonde, C. E., Surprising, magical and miraculous turns of events: Children's reactions to violations of their early theories of mind and matter. *British Journal of Developmental Psychology*, 12(1), pp83–95, 1994.
- Clement, John: Student's preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50, pp66-71, 1982.

- 且 直子:乳児における重力法則理解の発達,風間書房,2007
- Fantz, R. L. ,Pattern vision in newborn infants. *Science*, 140, 296–297,1963.
- Hake R.R.:Interactive-engagement versus traditional methods:A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*,Vol.66 No.1,pp64-74,1998.
- Hestenes D., Wells M.,and Swackhamer G.:Force Concept Inventory,THE PHYSICS TEACHER,VOL30,pp141-158,1992.
- 堀 哲夫:「理科教授・学習における児童・生徒の思考の特徴—科学的概念の形成と理解の実態調査・研究を基礎にして—」『日本理科教育学会研究紀要』第31巻, 61–70,1990.
- 加藤 正晴:視線計測の乳児研究の新展開,*Japanese Psychological Review*,Vol.52,No.1,pp35–50,2009.
- 北田沙也加:幼児期における物理概念の揺らぎ:あり得ない現象への認識と魔法との関連,発達心理学研究,第27巻,第3号,pp212–220,2016.
- 小杉 大輔:乳児の意図的認識に関する最近の心理学的研究の紹介, *Cognitive Studies*, 14(4), pp640–645,2007.
- 小杉 大輔:乳児における因果的認識と行為の産出との関連, 静岡文化芸術大学研究紀要 VOL.15,pp105–113,2014.
- 麻柄 啓一:学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか, *教育心理学研究* 44 巻第4号, pp379-388,1996.
- 文部科学省:全国学力学習状況調査,文部科学省,2012/2015/2018.
- Osborne,R.,Freyberg,P.:森本 信也,堀 哲夫訳, 子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論,東洋館出版社,1988.
- Piaget, J.:The Origins of Intelligence in Children. New York, NY: W.W. Norton & Co,1952.
- Piaget, J.:The Construction of Reality in the Child. Cook, M., Trans., New York: Basic Books.Piaget,1954.
- G.Rasch,内田 良男 監訳:心理テストの確率モデル,名古屋大学出版会,1985,Probabilistic models for some intelligence and attainment tests,The University of Chicago Press,1960/1980.
- Redish,E.:Teaching Physics with the Physics Suite,John Wiley & Sons, Inc,2003.
- 隅田 学,深田 昭三:幼い子どもの科学コンピテンスの再評価とその教育適時性に関する一考察,科学教育研究 Vol29,No.2,日本科学教育学会,pp99–109,2005.
- 豊田 秀樹:「項目特性図」『項目反応理論 [入門編]【第2版】』朝倉書店,pp1-7,2012.
- 豊田 秀樹,秋山 隆,岩間 徳兼:項目特性図における情報量基準を用いた群数の選択法,教育心理学研究,201462,pp209–225,2014.
- White,R,T.:堀 哲夫,森本 信也訳,子ども達は理科をいかに学習し,教師はいかに教えるか: 認知論的アプローチによる授業論,東洋館出版社,1990.
- Amanda L Woodward: Infants selectively encode the goal object of an actor's reach,*Cognition*,Volume69,Issue1,pp1–34,1998.
- 山口 真美:乳児の視覚世界—研究方法と近年のトピックスについて,*VISION* Vol. 22, No. 1, pp13–19,2010.

吉村 宰:大学入試センターにおけるテストデータベースによる項目分析, 植野 真臣, 永岡 慶三 (共編), e テスティング, 培風館, 2009.

【第2章】

独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター:理科に対する意識, 理科選修 (国公立)・非理科選修 (国公立・私立) による意識の違い, 分野ごとの指導の得意・苦手, 理科を教える小学校教員の養成に関する調査報告書, 独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター, pp80-81, 2011.

Hestenes D., Wells M., and Swackhamer: G., Force Concept Inventory, THE PHYSICS TEACHER, VOL30, pp141-158, 1992.

平野 俊英:学習者の初等電磁気概念の形成についての研究—カリキュラムの構造が及ぼす影響, 広島大学大学院博士課程, pp-8, p46, 1998.

国立教育政策研究所:大学における専攻, 小学校教員の大学 (短大を含む) での専攻分野, 第3期科学技術基本計画のフォローアップ, 国立教育政策研究所, p29, 2009.

文部省:小学校学習指導要領, 理科, 文部省, 1977.

文部省:小学校学習指導要領, 理科, 文部省, 1989.

文部科学省:小学校学習指導要領, 理科, 文部科学省, 2008/2017.

文部科学省:小学校学習指導要領, 理科, 文部科学省, 2017.

文部科学省:小学校学習指導要領解説, 生活編, 文部科学省 2017.

【第3章】

T.G.Bond and C.M.Fox:Applying the Rasch Model, Fundamental Measurement in the Human Sciences, THIRD EDITION, pp65-67, p128, p151, pp274-281, p283, Routledge, 2015.

Lee J. Cronbach: COEFFICIENT ALPHA AND THE INTERNAL STRUCTURE OF TESTS, PSYCHOMETRIKA-VOL. 16, NO. 3, pp297-331, 1951.

G.Rasch, 内田 良男 監訳:心理テストの確率モデル, 名古屋大学出版会, 1985, Probabilistic models for some intelligence and attainment tests, The University of Chicago Press, 1960/1980.

Hake R.R.:Interactive-engagement versus traditional methods:A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS, Vol.66 No.1, pp64-74, 1998.

Hestenes D., Wells M., and Swackhamer: G., Force Concept Inventory, THE PHYSICS TEACHER, VOL30, pp141-158, 1992.

平野 俊英:学習者の初等電磁気概念の形成についての研究—カリキュラムの構造が及ぼす影響, 広島大学大学院博士課程, pp-8, p46, 1998.

堀井 孝彦:子どもが持つ支点の位置に関する素朴概念, 学校教育学研究論集第38号, 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科, pp61-70, 2018.

堀井 孝彦:小学校理科物理分野の調査問題作成と項目特性図による分析・評価, 理科教育学研究 Vol.59, No.2, 日本理科教育学会, pp243-251, 2018.

文部科学省:小学校学習指導要領, 理科, 文部科学省, 2008/2017.

西村 墨太・新田 英雄,「振り返り」を導入したピア・インストラクション型授業」

『物理教育』第 62 巻第 1 号,pp7-12,2014.

静 哲人:基礎から深く理解するラッシュモデリング,関西大学出版部,pp.301-319, 2007.

豊田 秀樹:「項目特性図」『項目反応理論 [入門編]【第 2 版】』朝倉書店,pp1-7,p252012.

【第 4 章】

Vincent P. Coletta and Jeffrey J. Steinert: Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories, PHYSICAL REVIEW PHYSICS EDUCATION RESEARCH 16,pp010108-1-010108-7.

Hake R.R.:Interactive-engagement versus traditional methods:A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS,Vol.66 No.1,pp64-74,1998.

平野 俊英:学習者の初等電磁気概念の形成についての研究ーカリキュラムの構造が及ぼす影響,広島大学大学院博士課程,pp-8,p46,1998.

堀井 孝彦:子どもが持つ支点の位置に関する素朴概念,学校教育学研究論集第 38 号,東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科,pp61-70,2018.

ERIC Mazur:FORCE CONCEPT INVENTORY,Peer INSTRUCTION,A User's Manual,pp45-46,1997

J. D. Marx and K. Cummings: Normalized change, American Journal of Physics, Volume 75, Issue 1, pp87-91,2007.

James W. Stigler,James Hiebert:The Teaching Gap: Best Ideas from the World's Teachers for Improving Education in the Classroom,2007.

【第 5 章】

藤井 喜一,伊東富士雄,中村 享史,高橋 昭彦,内山 隆:相互に啓発し,自らの生活をつくり上げる子供を育てる教育課程の創造 (平成元年度・2 年度研究部),東京学芸大学附属世田谷小学校研究紀要 No.30,東京学芸大学附属世田谷小学校,pp5-16,1990.

藤田留三丸,田中 康善,林 四郎,五十嵐裕和:自ら自然に働きかけ共に学び合う理科学習ー「学習の深め合い」が成立する子供の相互作用の活性化を求めてー,東京学芸大学附属世田谷小学校研究紀要 No.30,東京学芸大学附属世田谷小学校,pp47-56,1990.

羽仁 克嘉,藤田留三丸,堀井 孝彦,五十嵐敏文:自然事象を自ら解釈し,表現する力を育てる理科学習,東京学芸大学附属世田谷小学校研究紀要 No.42,東京学芸大学附属世田谷小学校,pp71-75,2010.

Hake R.R.:Interactive-engagement versus traditional methods:A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS,Vol.66 No.1,pp64-74,1998.

Hestenes D., Wells M.,and Swackhamer G.:Force Concept Inventory,THE PHYSICS TEACHER,VOL30,pp141-158,1992.

堀井 孝彦:子どもが持つ支点の位置に関する素朴概念,学校教育学研究論集第 38 号,東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科,pp61-70,2018.

ERIC Mazur:FORCE CONCEPT INVENTORY,Peer INSTRUCTION,A User's Manual,pp45-46,1997

鈴木 完治,田中 康善,黒澤 俊二,小林 宏己(昭和60年度研究部):相互啓発の場づくりを通した「よい授業」の追究,東京学芸大学附属世田谷小学校研究紀要 No.26,よい授業の追究(1)ー相互啓発の場づくりを通してー,東京学芸大学附属世田谷小学校,pp5-12,1986.

豊田 秀樹:「項目特性図」『項目反応理論 [入門編]【第2版】』朝倉書店,pp1-7,2012.

Redish,E.:Teaching Physics with the Physics Suite,John Wiley & Sons, Inc,2003.

【第6章】

独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター:理科に対する意識,理科選修(国公立)・非理科選修(国公立・私立)による意識の違い,分野ごとの指導の得意・苦手,理科を教える小学校教員の養成に関する調査報告書,独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター,pp80-81,2011.

Hestenes D., Wells M.,and Swackhamer G.:Force Concept Inventory,THE PHYSICS TEACHER,VOL30,pp141-158,1992.

Courtesy, Eric Mazur, Michael Aziz, William Paul, and Deborah Alpert, Harvard University,Questions5 and 12 on Magnetism from A Guide to Introductory Physics Teaching.Arnold G.Arones,Reprinted by permission of John Wiley&Sons Inc,1990.

Morris et al.:An Item Response Curves Analysis of the Force Concept Inventory, American Journal of Physics 80,American Association of Physics Teachers,pp825-831,2012.

James W. Stigler,James Hiebert:The Teaching Gap: Best Ideas from the World's Teachers for Improving Education in the Classroom,2007.

Thomson&Socoloff:Force and Motion Conceptua Evaluation,FMCE,1998.

豊田 秀樹:「項目特性図」『項目反応理論 [入門編]【第2版】』朝倉書店,pp1-7,2012.

【小学校理科物理概念一覧表(力と運動)】

荒巻 信子:小学校4年「ものの重さとてんびん」の指導,理科の教育 1986年12月号,日本理科教育学会,東洋館出版社,pp19-22,1986.

萩生田忠昭:重さと体積に関する科学的推理の認知レベルについて,日本理科教育学会研究紀要 Vol.32,No.2,pp47-54,1991.

堀 哲夫,宮澤 研:科学的概念の形成と理解ー「浮力」概念の形成と教科書の内容構成についてー,日本理科教育学会研究紀要 Vol.35,No.1,pp1-10,1994.

川崎 弘作,中山 貴司・松浦 拓也,振り子の概念獲得に関する研究ー子どもの認識に基づいた学習指導法を通してー理科教育学研究,Vol.53,No.2,pp241-249,2012.

松森 靖夫:物理・化学概念に関する命題分の真偽判断に適用される子どもの論理の推定ーコメント法による評価シートの記述理由を手がかりにしてー,理科教育学研究,Vol.42,No.1,pp13-22,2001.

宗近 秀夫:小・中学生の溶解概念に関する実態調査,理科教育学研究 Vol.40,No.3,日本理科教育学会,pp13-22,2000.中島 稔,戸北 凱惟:葛藤教材の同時提示による溶解時の

- 質量保存に関する学習者の理解,日本理科教育学会研究紀要,Vol.39,No.1,日本理科教育学会,pp31-39,1998.
- 清水 誠,實川 和宏,コンフリクトマップを用いた教授方法が概念変容に及ぼす効果ー振り子の運動の学習を事例としてー,理科教育学研究,Vol.55,No.1,pp37-46,2014.
- 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,Vol.36,No.1,pp17-28,1995.
- 鈴木 秀夫:小学校3年「空気でっぼう」の指導,理科の教育1987年2月号,日本理科教育学会,東洋館出版社,pp21-24,1987.
- 鈴木 京子:空気をつかまえようー学習カードを評価と助言のために活用した個別指導ー理科の教育1988年11月号,日本理科教育学会,東洋館出版社,pp22-25,1988.
- 山下 修一:小・中学校理科全単元をつなぐコア知識一覧表の利用意識と試行授業の影響,理科教育学研究,Vol.52,No2,日本理科教育学会,pp143-153,20

謝 辞

本研究は、2015（平成 27）年度～2022（令和 4）年度春学期にわたって、東京学芸大学教授 新田 英雄 先生，千葉大学教授 山下 修一先生，東京学芸大学教授 関口 貴裕 先生，横浜国立大学教授 和田 一郎 先生のご指導のもと，東京学芸大学附属世田谷小学校，東京学芸大学小金井小学校，東京都杉並区立高井戸第二小学校，東京都世田谷区立東深沢小学校，東京学芸大学附属世田谷中学校，東京学芸大学附属国際中等教育学校，東京学芸大学附属高等学校の先生方，児童・生徒の皆様のご協力を受けて，また，平成 28 年度科学研究費補助金（奨励研究）「子どもの物理的認識に関する定量的・系統的分析法の開発と授業評価・改善への活用」（課題番号 16H00297, 交付決定額 550,000 円），平成 29 年度科学研究費補助金（奨励研究）「子どもがもつ物理概念の現代テスト理論による分析と授業評価・改善への活用」（課題番号 17H00288, 交付決定額 550,000 円），平成 31 年度／令和元年度科学研究費補助金（奨励研究）「小学校理科物理分野における現代テスト理論・古典テスト理論による概念分析と授業改善」（課題番号 19H00214, 交付決定額 540,000 円）の補助を受けて実施したものです。これまでの間ご指導を賜りました，新田 英雄 先生，山下 修一 先生，関口 貴裕 先生，和田 一郎 先生をはじめ，ご協力を賜りました各学校の先生方に，心より厚く御礼を申し上げます。

附錄資料

確定版調査問題

理科アンケート

—力と運動—

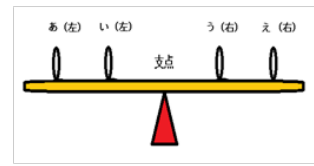
1. このアンケート調査は、理科の授業をよりよくしていくために、理科物理分野についてのみなさんの考えを調査するものです。
2. このアンケート調査は、テストではないので、みなさんの成績とはいっさい関係ありません。
3. このアンケート調査の結果は、研究を目的としてのみ使用するものとします。
4. このアンケート調査の結果は、研究とその発表を目的として、集計・考察の上公表することがありますが、個人情報は一切外部に出しません。
5. 調査時間は20分間です。
6. まず、アンケート冊子の表紙と回答用紙に学校名・学年・組・番号を書きましょう。
7. 「はじめ」の合図があったら、「やめ」という合図があるまでの間に、20問の設問に答えましょう。このほか調査中に指定された設問には、選んだ理由も書きましょう。
8. 問題をよく読んで、これまでの生活や学習等を手がかりとして、自分なりに正しいと思うものを1つだけ選んで、回答用紙に正しくマークしましょう。選んだ理由はできるだけ具体的に書きましょう。
9. 問1～問20までのすべての問題に回答し、よく分からない場合でも、空欄のままにはしないでください。
10. 調査が終わったら、アンケート冊子と回答用紙を、先生の指示にしたがって提出しましょう。
11. 内容の質問に答えることはできません。
12. ほかの人と相談して回答してはいけません。
13. 教科書・ノート等の持ち込みはできません。

立 _____ 小学校・中学校・高等学校 _____ 年 組 (_____ 番)

東京学芸大学自然科学系新田研究室

© < 不許複製禁転載 >

○右の図のようなシーソーがあります。このシーソーでは、「あ」と「い」の間の長さ、「う」と「え」の間の長さ、「い」と支点の間の長さ、「う」と支点の間の長さはいずれも同じです。シーソーの両側に、だれも乗っていないときには、シーソーは地面に平行になっています。このときシーソーは、左右でつり合っているといえます。



【注意】シーソーの「つり合い」について

- ・シーソーの両側に人が乗っても、片方が上がったままにならず、シーソーが地面と平行になるとき「シーソーはつり合っている」といいます。
 - ・シーソーにだれも乗っていないときは、シーソーはつり合っているものとします。
- ※シーソー以外の問題でも、「つり合い」の意味は、シーソーのときと同じです。

問1 Aさんが左側の「あ」の位置に乗り、Bさんが右側の「う」の位置に乗ると、シーソーはつり合いました。AさんとBさんの体重を比べるとどうなりますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 Aさんの体重はBさんの体重よりも少しだけ軽い。
- 2 Aさんの体重はBさんの体重の半分である。
- 3 AさんとBさんの体重は同じである。
- 4 Aさんの体重はBさんの体重の2倍である。

問2 Aさんはそのまま「あ」の位置に乗り、Bさんが「う」の位置から降りて、代わりにCさんが「え」の位置に乗ると、シーソーの右側が下がりました。そこで、Aさんは「あ」の位置に乗ったままでBさんが「い」の位置に乗ると、シーソーはつり合いました。Aさんの体重とBさんの体重を合わせると、C先生の体重を比べてどうなりますか。1～4の中から1つだけ選びましょう

- 1 Aさんの体重とBさんの体重を合わせると、C先生の体重より軽い。
- 2 Aさんの体重とBさんの体重を合わせると、C先生の体重と同じである。
- 3 Aさんの体重とBさんの体重を合わせると、C先生の体重より重い、C先生の体重の2倍よりは軽い。
- 4 Aさんの体重とBさんの体重を合わせると、C先生の体重の2倍である。

問3 AさんとBさんが乗っている位置を交代し、Bさんが「あ」の位置にAさんが「い」の位置に乗りました。また、Cさんが「え」の位置から降りて、代わりにDさんが「え」の位置に乗るとシーソーがつり合いました。D先生の体重はC先生の体重と比べてどうなりますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 D先生の体重は、C先生の体重より軽い。
- 2 D先生の体重は、C先生の体重と同じである。
- 3 D先生の体重は、C先生の体重より重い、2倍よりは軽い。
- 4 D先生の体重は、C先生の体重の2倍である。

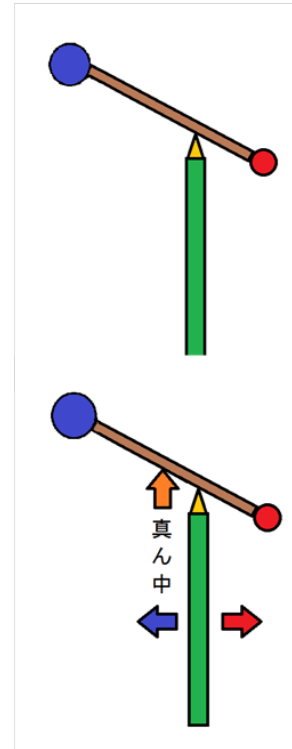
○次の図のように、先がとがった棒の上に、2つの球をつけた棒をのせました。棒をのせた点のことを支点と言います。青い球の体積は、赤い球の体積の2倍です。ただし、2つの球をつけた棒は、先がとがった棒から落ちないものとしします。

問4 棒に小さな2つの球をつけたところ、赤い球の方が下がりました。赤い球の重さと青い球の重さの間には、どんな関係があると考えられますか。ただし、支点と青い球との距離は、支点と赤い球との距離の2倍とします。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 青い球の重さは、赤い球の重さより重い。
- 2 赤い球の重さと青い球の重さは、同じである。
- 3 青い球の重さは、赤い球の重さの半分よりも軽い。
- 4 青い球の重さは、赤い球の重さの半分である。

問5 先がとがった棒を静かに動かすと、2つの球をつけた棒が釣り合いました。先がとがった棒をどのように動かしたと考えられますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を短くしなければならないので、赤い球の方（右側）に先がとがった棒を動かした。
- 2 支点との距離が短い赤い球の方が下がり、赤い球と支点との距離を長くしなければならないので、棒の真ん中を超さないように、青い球の方（左側）に、先がとがった棒を少しか動かした。
- 3 青い球と支点との距離と赤い球と支点との距離を同じにしないと釣り合わないので、棒の真ん中の位置に、先がとがった棒を動かした。
- 4 支点との距離が長い青い球の方が上がり、青い球と支点との距離をもっと短くしなければならないので、棒の真ん中を超して、青い球の方に、先がとがった棒を動かした。

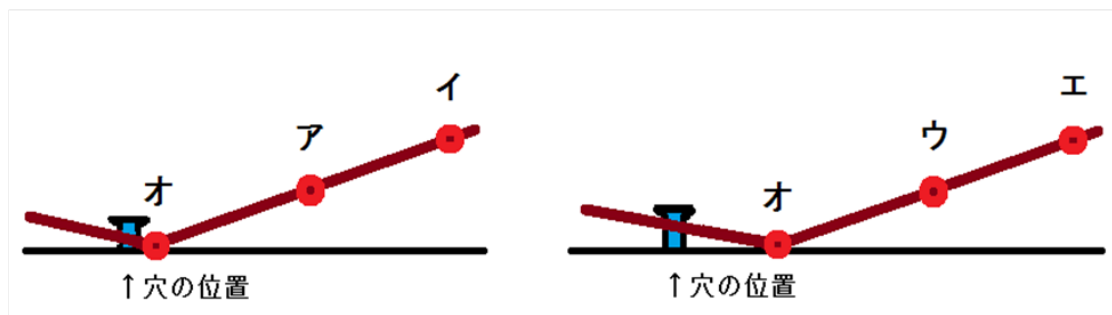


○右のような「釘抜き」という道具があります。下の図は釘抜きを横から見たものです。穴の位置が異なる2種類の釘抜きを用いて、釘が抜けるときの様子を比べます。



釘抜き A

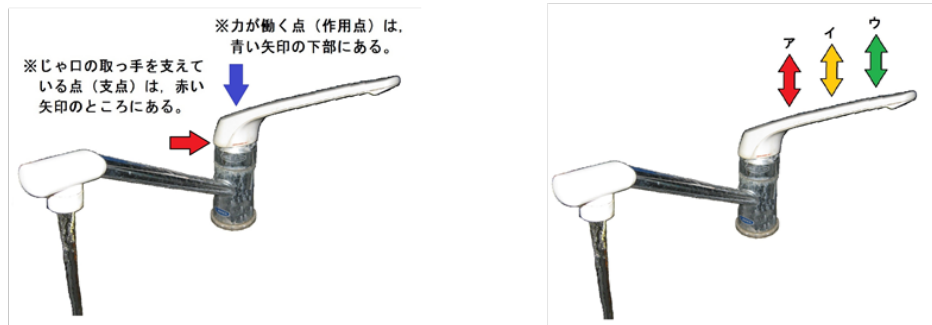
釘抜き B



問6 もっとも釘を抜きやすいのは、AとBのどちらの釘抜きを用いて、どの位置に手を当てたときですか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 力を加える位置と釘の位置がともにオに近いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、抜きAのアの位置
- 2 力を加える位置がオから遠く、釘の位置がオに近いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きAのイの位置
- 3 力を加える位置がオに近く、釘の位置がオから遠いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きBのウの位置
- 4 力を加える位置と釘の位置がともにオから遠いほど、釘に大きな力をおよぼせるので、釘抜きBのエの位置

○次のような水道の蛇口があります。操作レバーに手を当てる位置を変えて、水を出したり止めたりしてみました。

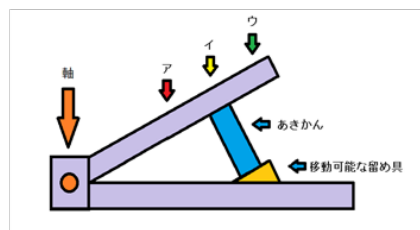


問7 レバーを操作する力の大きさについて、どんなことがいえるでしょうか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 「ア」「イ」「ウ」のどの位置でレバーを操作したときも、同じ大きさの力が必要である。
- 2 力をおよぼしたい場所に近い位置で力を加えるほど、小さな力でレバーを操作できるので、「ア」の位置である。
- 3 力をおよぼしたい場所から少し離れた位置で力を加えると、もっとも小さな力でレバーを操作できるので、「イ」の位置である。
- 4 力をおよぼしたい場所から遠い位置で力を加えるほど、小さな力でレバーを操作できるので、「ウ」の位置である。

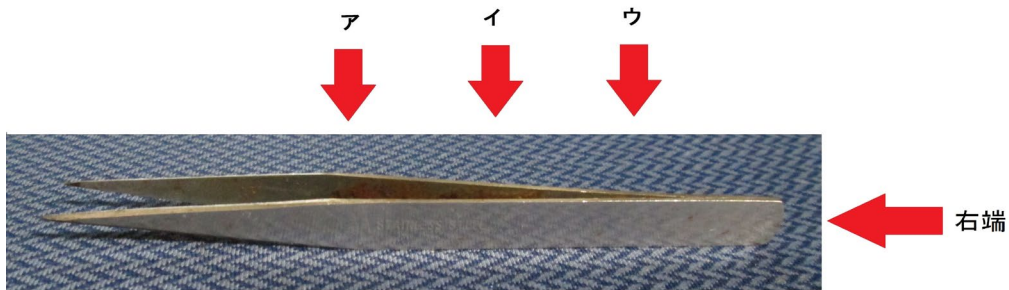
○右の図のような「空きかんつぶし器」をつくりました。

問8 上の板は軸を中心として上下に動きます。上の板を押して、空きかんをつぶそうと思います。空きかんをつぶすために、加える力の大きさについて、どんなことが言えますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。



- 1 力を加える位置の動きがもっとも小さいので、アの位置に力を加えると、もっとも小さな力で空きかんをつぶせる。
- 2 力を加える位置が空きかんの位置にもっとも近いので、イの位置に力を加えると、もっとも小さな力で空きかんをつぶせる。
- 3 力を加える位置が軸の位置からもっとも遠いので、ウの位置で力を加えると、もっとも小さな力で空きかんをつぶせる。
- 4 空きかんには、加えた力と同じ大きさの力が加わるので、ア、イ、ウのどの位置で力を加えても、空きかんをつぶすためには、同じ大きさの力が必要である。

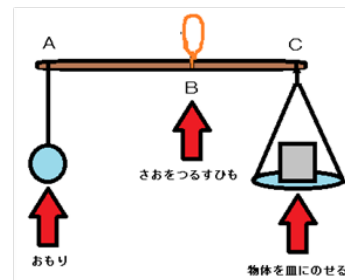
○次のようなピンセットがあります。手を当てる位置を変えて、ピンセットで物をつかんでみました。



問9 ピンセットで物をつかむときの力の大きさについて、どんなことがいえるでしょうか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 もっとも小さな力でつかめるのは、ピンセットの動きは大きいですが、力を加える位置がピンセットの右端からもっとも離れている、ピンセットの「ア」の位置を持ったときである。
- 2 もっとも小さな力でつかめるのは、ピンセットの動きが「ア」より小さく、力を加える位置が、ピンセットの右端から少し離れている、ピンセットの「イ」の位置を持ったときである。
- 3 もっとも小さな力でつかめるのは、ピンセットの動きがもっとも小さく、力を加える位置が、ピンセットの右端に近い、ピンセットの「ウ」の位置を持ったときである。
- 4 ピンセットで物をつかむときの力の大きさは、どの位置を持ったときも同じである。

○次の図のような、はかり（さおばかり）を用いて物体の重さをはかろうと思います。このさおはとても軽いので、さおの重さによる影響は受けないものとします。



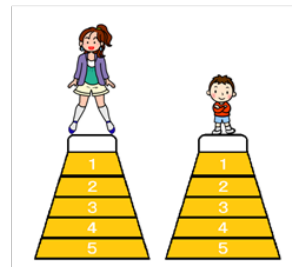
問10 図のようにひもを用いて、さおをその真ん中より右側でつるし、ある物体を皿にのせたところ、物体がのった皿の方が下がってしまいました。このさおばかりが、つり合うようにするためには、ひもの位置をどう動かせばよいですか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

※A：おもりをつるすの位置 B：ひもの位置 C：皿をつるす位置とします。

- 1 「AとBとの距離」に比べて、Bとの距離が短い、物体がのった皿の方が下がったため、「BとCとの距離」を少し増やさないと、さおばかりはつり合わないので、さおのちょうど真ん中をこきずに、Bをはじめの位置から左側に動かす。
- 2 「AとBとの距離」と「BとCとの距離」が同じでなければ、さおばかりはつり合わないため、さおのちょうど真ん中まで、Bをはじめの位置から左側に動かす。
- 3 「AとBとの距離」をもっと近くすると、さおばかりをつり合わせるので、さおのちょうど真ん中を超えて、Bをはじめの位置から左側に動かす。
- 4 「物体がのった皿の方（右側）」が下がったため、「BとCとの距離」を減らさないと、さおばかりはつり合わないため、Bをはじめの位置から右側に動かす。

○小学校5年生のまりこさんの体重は30kgで、弟のまことさん体重は15kgです。

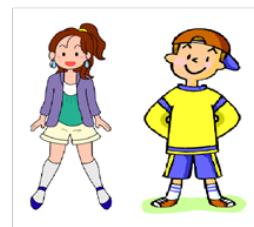
問11 右の図のように、まりこさんとまことさんが跳び箱の上ののって、立っています。まりこさんとまことさんが同時に地面に向かってとんだとき、どちらが早く着地するでしょうか。1～4の中から1つだけ選びましょう。



- 1 まりこさんの方が着地するのが遅く、まことさんが着地するまでにかかる時間の2倍の時間がかかる。
- 2 まりこさんの方が着地するのが早く、まことさんが着地するまでにかかる時間の2分の1の時間がかかる。
- 3 まりこさんとまことさんは、同時に着地する。
- 4 まりこさんは、まことさんより少しだけ早く着地する。

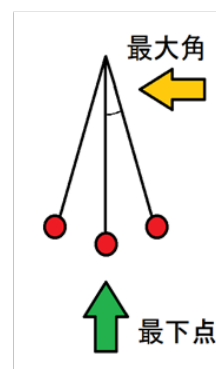
○まりこさんのクラスメイトのりょうたさんの体重は60kgで、2人とも身長や座高は同じです。

問12 りょうたさんとまりこさんが公園の同じ大きさのブランコに乗ったところ、ブランコが1往復するのにかかる時間はどうなりますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。ただし、ブランコを振り始める場所は同じで、このブランコは振り子の運動のきまりにしたがい、空気抵抗やまさつの影響を受けないものとします。



- 1 りょうたさんが乗ったときには、まりこさんが乗ったときと比べて、ブランコが1往復するのにかかる時間が2倍になる。
- 2 りょうたさんが乗ったときも、まりこさんが乗ったときも、ブランコが1往復するのにかかる時間は同じである。
- 3 りょうたさんが乗ったときには、まりこさんが乗ったときと比べて、ブランコが1往復するのにかかる時間が少しだけ長くなる。
- 4 りょうたさんが乗ったときには、まりこさんが乗ったときと比べて、ブランコが1往復するのにかかる時間が2分の1になる。

○右の図のような振り子があります。ただし、図に示した角は、振り子が最大に振れたときの片側の角の大きさを表し、その角はあまり大きくなく、また、振り子は空気抵抗による影響は受けないものとします。



問13 最大の角の大きさを10度、20度、30度と変えたときに、振り子が1往復するのにかかる時間はどうなりますか。1～4の中から1つだけ選びましょう。ただし、振り子の糸の長さはすべて同じものとします。

- 1 振り子が1往復するのにかかる時間は、10度のときも20度のときも30度のときもほぼ変わらない。
- 2 振り子が1往復するのにかかる時間は、10度のときが一番短く、20度のときは時間が10度のときの2倍になり、30度のときは時間が10度のときの3倍になる。
- 3 振り子が1往復するのにかかる時間は、10度のときが一番短く、20度、30度のときは時間が2倍、3倍になるのではなく、10度のときより20度、20度のときより30度というように、時間が少しだけ長くなる。
- 4 振り子が1往復するのにかかる時間は、10度のときが一番長く、20度のときは時間が2分の1、30度のときは時間が3分の1になる。

問14 振り子の糸の長さを10cm, 20cm, 30cmと変えたときに、振り子が1往復するのにかかる時間はどうなりますか。1~4の中から1つだけ選びましょう。ただし、振り子の最大の角の大きさは、すべて同じものとします。

- 1 振り子が1往復するのにかかる時間は、糸の長さを10cmにしたときが一番短く、20cmにしたときには10cmのときの2倍、30cmにしたときには10cmのときの3倍で、一番長くなる。
- 2 振り子が1往復するのにかかる時間は、糸の長さを10cmにしたときが一番短く、20cm, 30cmと糸を長くするにつれて、その時間も少しずつ長くなっていくが、どちらも10cmのときの2倍まではいかない。
- 3 振り子が1往復するのにかかる時間は、糸の長さを10cmにしたときが一番長く、20cmにしたときには10cmのときの2分の1、30cmにしたときには10cmのときの3分の1で、一番短くなる。
- 4 振り子が1往復するのにかかる時間は、糸の長さによって変わらない。

○ある重さの粘土があります。これらの粘土を3つにわけました。

問15 これらの粘土を再び1つにまとめると、最初の粘土と比べて重さはどうなりますか。1~4の中から1つだけ選びましょう。ただし、操作するとき粘土は手に付かなかったものとします。

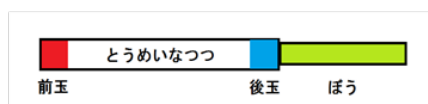
- 1 最初の粘土より少しだけ重くなる。
- 2 最初の粘土の重さの3倍になる。
- 3 最初の粘土より少しだけ軽くなる。
- 4 最初の粘土と重さは同じである。

○太いゴムと細いゴムを1本ずつ用意しました。まず、太いゴムを5cm, 10cmとのばして手ごたえを比べました。次に細いゴムを5cm, 10cmとのばして手ごたえを比べました。ただし、太いゴムも細いゴムも同じ材料でできているものとします。

問16 手ごたえがもっとも大きいのは、どのゴムをどれだけのばしたときですか。1~4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 細いゴムを5cmのばしたとき
- 2 太いゴムを5cmのばしたとき
- 3 細いゴムを10cmのばしたとき
- 4 太いゴムを10cmのばしたとき

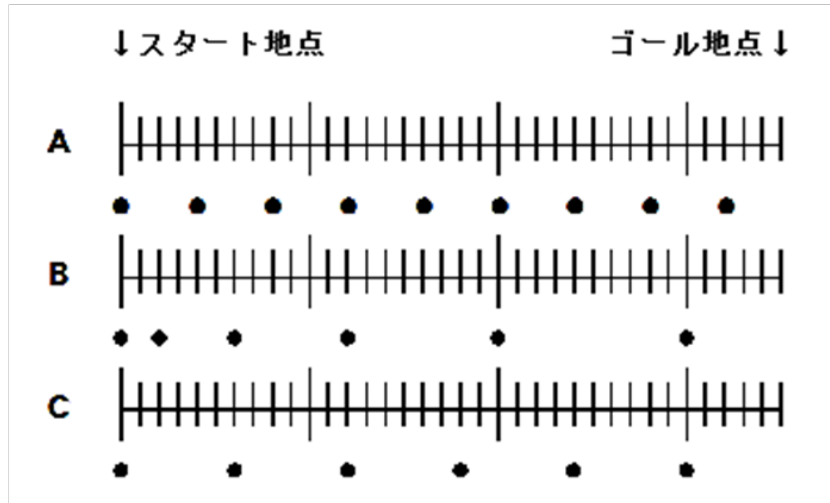
○右の図のようなとうめいなつつの両端にスポンジ玉を2個入れ、後ろの玉をぼうでおしたとき、前の玉がどのように動くのか調べました。



問17 とうめいなつつの中に、水を入れないものと水を半分だけ入れたものと全部入れたものを用意しました。これらの中で、前玉が一番よく飛ぶのはどれですか。1~4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 水を入れないもの
- 2 水を半分だけ入れたもの
- 3 水を全部入れたもの
- 4 1も2も3も同じぐらい前玉が飛ぶ。

○AさんとBさんとCさんは、スタート地点を同時にスタートして、ゴール地点に向かって、歩いています。このときのAさんとBさんとCさんの様子を、次の図のように表しました。ただし、目盛り1つ分はある距離を表し、●はAさんとBさんとCさんが同時にスタートしてから、10秒ごとのAさん、Bさん、Cさんのそれぞれの位置を表しています。



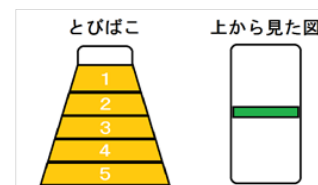
問18 歩く速度がだんだん速くなっているのは、Aさん・Bさん・Cさんのうちどれでしょうか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 Aさん 2 Bさん 3 Cさん 4 AさんもBさんもCさんも歩く速度は変わらない。

問19 一番先にゴール地点にたどりついたのは、だれでしょうか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 Aさん 2 Bさん 3 Cさん 4 AさんもBさんもCさんも同時にゴールした。

○次の図のような跳び箱があります。Aさんが開脚跳びをするために、この跳び箱のみどり色の線のところに両手を付きました。



問20 Aさんが跳び箱に両手を付いたしゅん間にAさんが跳び箱を両手でおす力について、どんなことがいえるでしょうか。1～4の中から1つだけ選びましょう。

- 1 Aさんが跳び箱をおす力は、Aさんが跳び箱からおしかえされる力より大きい。
 2 Aさんが跳び箱からおしかえされる力は、Aさんが跳び箱をおす力よりも大きい。
 3 Aさんが跳び箱をおす力と、Aさんが跳び箱からおしかえされる力は、同じ大きさである。
 4 Aさんが跳び箱をおす力は働くが、Aさんが跳び箱からおしかえされる力は働かない。

以上

きょうりょく
 ご協力ありがとうございました。

小学校理科物理概念一覧表（力と運動）

小学校理科物理分野における概念一覧表(力と運動)

概念番号	内容	習得させたい知識・技能・概念 ※学習指導要領・教科書等によるもの (但し、現行のもの(とらわれぬ))	次期 関連 学年	素朴概念・誤概念1	素朴概念・誤概念2	素朴概念・誤概念3	素朴概念・誤概念4	備考
F3101	物と重さ	軽い物にも質量はある。	小3	髪の毛1本や線などには重さはない。				文献17072402
F3102	物と重さ	アルミホイルをまるめても質量は変わらない。	小3	アルミホイルをまるめると重くなる。	アルミホイルをまるめると軽くなる。			文献17072402
F3103	物と重さ	粘土を分けても質量は変わらない。	小3	粘土を分けて軽くなる。	粘土を分けて重くなる。			文献17072402
F3104	物と重さ	粘土を細長くのばしても質量は変わらない。	小3	粘土を細長くのばすと軽くなる。	粘土を細長くのばすと重くなる。			文献17072402
F3105	物と重さ	ビーカーと水を合わせた質量が100gの水が入ったビーカーに、10gの食塩を入れて完全に溶かしたとき、全体の質量は110gになる。	小3・ 小5	110gより重い。	100gより重く、110gより軽い。	100g	100より軽い。	文献17072814 文献17080201
F3106	物と重さ	ビーカーと水を合わせた質量が100gの水が入ったビーカーに、10gの砂を入れたとき、全体の質量は110gになる。	小3	110gより重い。	100gより重く、110gより軽い。	100g	100より軽い。	文献17072814
F3107	物と重さ	ビーカーと水を合わせた質量が100gの水が入ったビーカーに、10gの木片を浮かべたとき、全体の質量は110gになる。	小3 発展	110gより重い。	100gより重く、110gより軽い。	100g	100より軽い。	文献17072814
F3108	物と重さ	質量100gの粘土を細かく分けたとき、全体の質量は100gである。	小3	100gより重い。	100gより軽い。			文献17072814
F3109	物と重さ	すべての物質はこれ以上細かくできない粒子からできており、その粒子には質量がある。	小3 発展	小さな粒子には重さはない。				文献17080213
F3110	物と重さ	もの出入りがなければ質量は変わらない。	小3	形が変わると重さが変わる。	1つの物を2つに分けると、合計の重さは変わる。	2つのものを1つにまとめると、合計の重さは変わる。		文献17080213
F3111	物と重さ	体積が同じでも質量が異なることがある。	小3	体積が同じ物はみな重さは同じである。	体積が大きい物はみな重い。		体積が小さい物はみな軽い。	文献17080213
F3112	物と重さ	水を入れる容器を変えたとき、水位は変わっても、水の量は変わらない。	小3	水位が下がると、水の量は減る。	水位が上がると、水の量は増える。			文献17072803
F3113	物と重さ	水が入った容器に、包装をはがしたばかりの水に沈む粘土を入れると、水位は上がる。	小3	包装をはがしたばかりの粘土を水に入れても水位は変わらない。	包装をはがしたばかりの粘土を水に入れて入れると水位が下がる。			文献17072803
F3114	物と重さ	水が入った容器に、丸めた粘土を入れると、包装をはがしたばかりのときと水位は変わらない。	小3	丸めた粘土を入れると、包装をはがしたばかりの粘土を入れたときよりも水位が上がる。	丸めた粘土を入れると、包装をはがしたばかりの粘土を入れたときよりも水位が下がる。			文献17072401 文献17072803
F3115	物と重さ	水が入った容器に、バラバラにした粘土を入れると、包装をはがしたばかりのときと水位は変わらない。	小3	バラバラにした粘土を入れると、包装をはがしたばかりの粘土を入れたときよりも水位が上がる。	バラバラにした粘土を入れると、包装をはがしたばかりの粘土を入れたときよりも水位が下がる。			文献17072803
F3116	物と重さ	水が入った容器に、包装をはがしたばかりのときに水に沈む粘土を、円盤のように広げて入れても水に沈む。	小3	円盤のように広げた粘土は水に浮く。	円盤のように広げた粘土は、水の中には入るが、容器の底まで沈まない。			文献17072803
F3117	物と重さ	同じ体積の小球に働く浮力の大きさは、水の深さによらず同じである。	小3 発展	浅い方が浮力が大きい。	深い方が浮力が大きい。			文献17072808
F3118	物と重さ	同じ体積の小球と円すいに働く浮力の大きさは同じである。	小3 発展	小球の方が浮力が大きい。	円すいの方が浮力が大きい。			文献17072808
F3119	物と重さ	大きな水槽に同じ木の板を入れたとき、その置き方によらず、浮力の大きさは同じである。	小3 発展	浅い方が浮力が大きい。	深い方が浮力が大きい。	縦に置いた方が横に置いた方より浮力が大きい。	横に置いた方が縦に置いた方より浮力が大きい。	文献17072808
F3120B	物と重さ	同じかさでも重さがちがう物がある。	小3	かさか同じなら物の重さは同じである。	大きい物は重く、小さい物は軽い。			○物によって、単位体積当たりの質量(密度)は異なっており、そのため同じかさでも重さがちがう物がある。 ※小学校では、いわゆる質量のことを「重さ」と呼んでいる。
F3121B	物と重さ	風+E02-E25	小3	形が変わると重さが変わることがある。	丸い物は軽くて、角張っている物は重い。	丸い物は重くて、角張っている物は軽い。		○物の材質や密度が同じであり、均質な場合、体積が同じであれば、形が変わっても質量は変わらない。
F3122B	物と重さ	物を二つ以上に分けても、その重さの合計は変わらない。	小3	物を二つに分けると、数が多いから、その重さの合計は重くなる。	物を二つに分けると、物を分けているから、その重さの合計は軽くなる。	物を二つに分けると、そのとぎに手につくので、重さの合計は軽くなる。		※質量保存の概念を獲得させるための学習内容である。
F3123B	物と重さ	重さにはg、kgという単位を使う。	小3	※実験結果等の記録の際に、単位を書いていない、もしくは、正しく使えていない。				○g、kgは質量の単位であり、重力の単位はg重、kg重、dyn、Nであることを理解し、実際に正しく使うことができる。
F3124B	物と重さ	1000g=1kgである。	小3	※単位の換算ができていない。他の単位についての誤概念も持っている。				○k: ×1000, M: ×1000000, m: 1/1000, c: 1/100, d: 1/10等について理解し、実際に正しく使うことができる。
F3125B	物と重さ	台ばかりや電子天秤を使うと、重さを量ることができる。	小3	台ばかりと電子天秤を使うと、違う量を量っているみたした。※電子天秤の単位設定の誤操作による誤概念				○台ばかりや電子天秤を使ったとき量っているのは重力の大きさであり、重力加速度が異なると、測定値も異なる。
F3126B	物と重さ	天秤の両側に同じ重さの物を載せるとつり合う。	小3	同じ重さの物を載せても、大きい物を載せた皿の方が下に下がるはずだ。	全部足し合わせたとき、同じ重さになる物を載せても、数が多い方の皿が下に下がるはずだ。	同じ重さの物を載せても、そのときによってつり合うとは限らない。 ※支点の位置等操作上のわずかなずれによる変化を受け入れられない。		○天秤の左右で、力の大きさ×うでの長さが等しいとき、天秤はつり合う。
F3127B	物と重さ	天秤の両側にちがう重さの物を載せるとつり合わず、重い方が下に下がり、軽い方が上に上がる。	小3	大きい物を載せた皿の方が下に下がり、小さい物を載せた皿の方が上に上がる。				
F3128B	物と重さ	重さがちがう物を同じ高さから落下させるとき、床(地面)につくまでにかかる時間は同じである。	小3 発展	大きい物を落とす方が速く落下する。	重い物を落とす方が速く落下する。			

概念番号	内容	習得させたい知識・技能・概念 ※学習指導要領・教科書等によるもの (但し、現行のものにとらわれない)	次期 関連 学年	素朴概念・誤概念1	素朴概念・誤概念2	素朴概念・誤概念3	素朴概念・誤概念4	備考
F3201E	風とゴムの力の働き	風の力によって車などの物が動くのは、車などに付けたばねが風の力を受けてからである。	小3	風の力によって車などの物が動くのは、風が車などの付けたばねを速く通り過ぎるからである。				
F3202E	風とゴムの力の働き	程よくなめらかな床を走らせると、車はよく走る。	小3	なめらかな床では車がすべってあまり走らない。				
F3203E	風とゴムの力の働き	走らせた車がかがやがて止まるのは、タイヤと床との間にまっすぐの力が働くからである。	小3・ 発展	床は滑らかだったはずなのに摩擦は働くらしい。				
F3204E	風とゴムの力の働き	風がまっすぐ当たると、車が速く走る。	小3	斜めから風が当たると風が強くなるので、車も速く走る。				
F3205E	風とゴムの力の働き	風が強くなると、車が速く走る。	小3	風が強くなると車かんでいきそうた。	風が強くなると車か倒れそうた。			
F3206E	風とゴムの力の働き	ゴムの力をばすとどろろとする力が働く。	小3	ゴムの力をばすとどろろのびてしまい、あまり力ははたらかない。	ゴムが切れてしまう。			
F3207E	風とゴムの力の働き	ゴムの力によって車などの物が動くのは、ゴムがもどろろとする力を使っているからである。	小3	ゴムを引っ張った勢いで車などの物が動く。				
F3208E	風とゴムの力の働き	ゴムの力をばせばほどほど、ゴムがもどろろとする力が大きくなり、車が速く走ります。	小3	ゴムの力をばせばほどほど、どろろのびきってしまい、その力を得ることができない。	ゴムの力をばせばほどほど、どろろのびきってしまい、その力を得ることができない。			
F3209E	風とゴムの力の働き	ゴムの横につなぐ数を増やすと、ゴムがもどろろとする力の合計が大きくなり、車が速く走ります。	小3	ゴムの横につなぐ方が力が大きくなる。	ゴムの横につなぐ勢いで車は走るので、ゴムの数は関係ない。			
F5101	振り子の運動	ブランコに重い人が乗っても軽い人が乗っても、1往復するのにかかる時間は変わらない。	小5	重いほどブランコが速く動くので、重い人が乗ると1往復にかかる時間が短くなる。	重いほど動くのに時間がかかるので、重い人が乗ると1往復にかかる時間が長くなる。			文献17072407
F5102	振り子の運動	糸をびんと張って振り子の小球をある角度だけ持ち上げて手を離すと、最下点を過ぎた小球は、最初と同じ角度の位置まで反対側に振れる。	小5	小球は糸が水平になる位置まで振れる。	小球は最初の角度よりも少しだけ大きく振れる。	小球は最初の角度よりも少しだけ小さく振れる。	小球は最下点を少しだけ越した位置まで振れる。	文献17072810
F5103	振り子の運動	小球を重くしたときも、糸をびんと張って振り子の小球をある角度だけ持ち上げて手を離すと、最下点を過ぎた小球は、最初と同じ角度の位置まで反対側に振れる。	小5	小球は糸が水平になる位置まで振れる。	小球は最初の角度よりも少しだけ大きく振れる。	小球は最初の角度よりも少しだけ小さく振れる。	小球は最下点を少しだけ越した位置まで振れる。	文献17072810
F5104	振り子の運動	小球が最下点にきたとき、糸が途中で引つかかるように棒を置き、糸の長さが短くなるようにしたとき、最下点を過ぎた小球は最初の高さまで反対側に振れる。	小5 発展	小球は糸が水平になる位置まで振れる。	小球は糸が水平になった位置よりも少しだけ大きく振れる。	小球は糸が水平になったときよりもっと先の位置まで振れる。	小球は最下点を少しだけ越した位置まで振れる。	文献17072810
F5105	振り子の運動	重い小球でも軽い小球でも、振れ幅は変わらない。	小5 発展	小球が軽いと振れ幅が大きい。	小球が重いと振れ幅が大きい。			文献17072810
F5106	振り子の運動	重い小球でも軽い小球でも、振れの速さは変わらない。	小5 発展	小球が軽いと振れの速さは速い。	小球が重いと振れの速さは速い。			文献17072810
F5107	振り子の運動	1人で乗っても2人で乗っても、ブランコがもどってくる時間は変わらない。	小5	1人で乗った方が、ブランコは短い時間でもどってくる。	2人で乗った方が、ブランコは短い時間でもどってくる。			文献17080202
F5108	振り子の運動	振れる幅を大きくしても小さくしても、ブランコがもどってくる時間は変わらない。	小5	振れる幅を大きくした方が、ブランコは短い時間でもどってくる。	振れる幅を小さくした方が、ブランコは短い時間でもどってくる。			文献17080202
F5109	振り子の運動	ロープの長さが長いほど、ブランコは短い時間でもどってくる。	小5	ロープの長さが短いほど、ブランコは短い時間でもどってくる。	ロープの長さが長くても短くても、ブランコがもどってくる時間は変わらない。			文献17080202
F5110	振り子の運動	おもりの質量によって振り子の周期は変わらない。	小5	重いと周期が長くなるのは、重いと速くなるから、	重いと周期が長くなるのは、終点が高くなり移動距離が長くなるから、	重いと周期が長くなるのは、重いと途中で止まりそうだから、		文献17080214
F5111	振り子の運動	おもりの質量によって振り子の周期は変わらない。	小5	重いと周期が短くなるのは、重いと速くなるから、	重いと周期が短くなるのは、軽いと終点が高くなり、移動距離が長くなるから、			文献17080214
F5112	振り子の運動	おもりの質量によって振り子の周期は変わらない。	小5	重いと速いが最下点で止まるから変わらない。	重いと速いが空気抵抗を受けやすいから変わらない。			文献17080214
F5113	振り子の運動	おもりの振れ幅によって振り子の周期は変わらない。	小5	振れ幅が大きいと周期が長くなるのは、移動距離が長くなるから、	振れ幅が大きいと周期が長くなるのは、終点が高くなり移動距離がさらに長くなるから、			文献17080214
F5115	振り子の運動	おもりの振れ幅によって振り子の周期は変わらない。	小5	振れ幅が大きいと周期が短くなるのは、速さが速くなるから、				文献17080214
F5116	振り子の運動	おもりの振れ幅によって振り子の周期は変わらない。	小5	振れ幅が大きいと周期が変わらないのは、移動距離が同じだから、	振れ幅が大きいと周期が変わらないのは、空気抵抗が大きいから、			文献17080214
F5117	振り子の運動	糸の長さが長いと振り子の周期は長くなる。	小5	短いと空気抵抗が少ないから速くなる。	長いと遠心力がつくから、	長くするとおもりの力が伝わりにくい。		文献17080214
F5118	振り子の運動	糸の長さが長いと振り子の周期は長くなる。	小5	短いと勢いがなくなり速くなる。	短いと移動距離が長くなる。	短くと振れる力が弱くなり速くなる。	角度が大きくなるから、	文献17080214

概念番号	内容	習得させたい知識・技能・概念 ※学習指導要領・教科書等によるもの (但し、現行のものにとらわれない)	次期 関連 学年	素朴概念・誤概念1	素朴概念・誤概念2	素朴概念・誤概念3	素朴概念・誤概念4	備考
F5119	振り子の運動	糸の長さが長いと振り子の周期は長くなる。	小6	おもりの重さも振り幅も同じだから。	移動距離が同じだから。	長いと移動距離は長いから速くなるから。		文献17080214
F5120	振り子の運動	ターザンロープに重い人と軽い人が振り幅を変えずに乗ったとき、1往復する時間は変わらない。	小6	重い人の方が軽い人より1往復する時間が長くなる。	軽い人の方が重い人より1往復する時間が長くなる。			文献17080216
F5121	振り子の運動	ターザンロープに振り幅だけを変えて同じ体重の人が乗ったとき、1往復する時間は変わらない。	小6	振り幅が大きいときの方が振り幅が小さいときよりも1往復する時間が長くなる。	振り幅が小さいときの方が振り幅が大きいときよりも1往復する時間が長くなる。			文献17080216
F5122	振り子の運動	ターザンロープの長さを変えて同じ振り幅で同じ体重の人が乗ったとき、1往復する時間は、ロープが長いほど長くなる。	小6	ロープの長さによって、1往復する時間は変わらない。	ロープが短いほど、1往復する時間が長くなる。			文献17080216 6分近い方が速もどつてくる。長いともののに時間がかかる。
F5123	振り子の運動	ターザンロープに重い人と軽い人が振り幅を変えずに乗ったとき、1往復する時間は変わらない。	小6	重いと勢いがかかるので重い人の方が時間が短い。	重いとスピードがかかるので、重い人の方が時間が短い。			文献17080216
F5124	振り子の運動	ターザンロープに重い人と軽い人が振り幅を変えずに乗ったとき、1往復する時間は変わらない。	小6	軽いとスムーズに動かから時間が短い。				文献17080216
F5125	振り子の運動	ターザンロープに振り幅だけを変えて同じ体重の人が乗ったとき、1往復する時間は変わらない。	小6	振り幅が大きい方が勢いがかかるから時間が短い。	振り幅が大きい方が加速するから時間が短い。			文献17080216
F5126	振り子の運動	ターザンロープに振り幅だけを変えて同じ体重の人が乗ったとき、1往復する時間は変わらない。	小6	振り幅が小さい方が動く距離が短くなるから時間が短い。	振り幅が小さい方が遅いから時間がかからない。			文献17080216 6分大きいと加速するけど長いし、小さいとあまり加速しないけど短いから同じ。
F5127	振り子の運動	ターザンロープの長さを変えて同じ振り幅で同じ体重の人が乗ったとき、1往復する時間は、ロープが長いほど長くなる。	小6	長い方がスピードがかかるから短い。	長いと速く行きそうだから短い。			文献17080216
F5128	振り子の運動	ターザンロープの長さを変えて同じ振り幅で同じ体重の人が乗ったとき、1往復する時間は、ロープが長いほど長くなる。	小6	ロープの長さが変わるだけならかわらない。				文献17080216
F5129B	振り子の運動	振り子の振り幅を変えると、振り幅が小さいときには、周期はほとんど変わらない。	小6	振り子の振り幅を大きくすると、周期が長くなる。	振り子の振り幅を大きくすると、周期が短くなる。			
F5130B	振り子の運動	振り子の振り幅を変えたとき、振り幅が大きくなると、周期は少しずつ長くなっていく。	小6・発展	振り子の振り幅を非常に大きくしても、周期は変わらない。	振り子の振り幅を非常に大きくしても、周期が短くなる。			
F5131B	振り子の運動	振り子の糸に付けた小球の重さを変えても、振り子の周期は変わらない。	小6	振り子の糸に付けた小球を重くすると、周期が長くなる。	振り子の糸に付けた小球を軽くすると、周期が短くなる。			
F5132B	振り子の運動	振り子の糸の長さを長くすると、振り子の周期は長くなっていく。	小6	振り子の糸の長さを長くしても、周期は変わらない。	振り子の糸の長さを長くすると、周期は短くなる。			
F5133B	振り子の運動	振り子の糸の長さを長くしていったとき、最初は振り子の周期が急になるが、少しずつ周期の増大が小さくなっていく。	小6・発展	振り子の糸の長さとの関係は比例する。				
F5134B	振り子の運動	振り子の糸に付けた小球の大きさを替えても、振り子の周期はほとんど変わらない。	小6・発展	大きな小球を付けると、周期が長くなる。	大きな小球を付けると、周期が短くなる。			
F5201	衝突	おもりが重いほど、ぶつけられた物体の動きが大きくなる。	旧小5	おもりが軽いほど、ぶつけられた物体の動きが大きくなる。	おもりの重さによって、ぶつけられた物体の動きは変わらない。			文献17080202
F5202	衝突	速く動いているおもりがぶつかったときほど、ぶつけられた物体の動きが大きくなる。	旧小5	遅く動いているおもりがぶつかったときほど、ぶつけられた物体の動きは大きくなる。	動いているおもりの速さによって、ぶつけられた物体の動きは変わらない。			文献17080202
F5203	衝突	高いところからおもりを転がすほど、おもりの速さは速くなる。	旧小5	高いところからおもりを転がすほど、おもりの速さは遅くなる。	おもりの速さは、転がし始める高さによらない。			
F6101	てこ	同じおもりを両側につけてつり合った天秤のおもりの1つを糸の上の方につけても天秤はつり合う。	小6	おもりを糸の上の方につけた方が上がる。	おもりを糸の上の方につけた方が下がる。			文献17072402
F6102	てこ	同じおもりを両側につけてつり合った天秤の一方の糸を短くしても天秤はつり合う。	小6	糸を短くした方が上がる。	糸を短くした方が下がる。			文献17072402
F6103	てこ	シーソーを使うとある程度体重が重い人を持ち上げることができる。	小6	体重が重い人を持ち上げることができない。	いくらでも体重が重い人を持ち上げることができる。			文献17080202
F6104	てこ	ある程度体重が軽い人とシーソーをつり合わせるができる。	小6	体重が軽い人とシーソーをつり合わせることはできない。	いくらでも体重が軽い人とシーソーをつり合わせるができる。			文献17080202
F6105	てこ	同じ体重の人とシーソーをつり合わせるためには、支点から同じ距離のところに乗らなければならない。	小6	体重が同じならどこに乗ってもシーソーはつり合う。				文献17080202
F6106	てこ	つり合っているシーソーは、片方の人が立ってもつり合う。	小6	片方の人が立つとその方が上がる。	片方の人が立つとその方が上がる。			文献17080202

概念番号	内容	習得させたい知識・技能・概念 ※学習指導要領・教科書等によるもの (但し、現行のものにとらわれない)	次期 関連 学年	素朴概念・誤概念1	素朴概念・誤概念2	素朴概念・誤概念3	素朴概念・誤概念4	備考
F6107B	てこ	てこの働きを変化させる三つの点として、力点、作用点、支点がある。	小6					
F6108B	てこ	てこの力点の位置を支点から遠くすると、物を持ち上げるのに必要な力が小さくなり、近くすると必要な力が大きくなる。	小6					
F6109B	てこ	てこの作用点の位置を支点から近くすると、物を持ち上げるのに必要な力が小さくなり、遠くすると必要な力が大きくなる。	小6					
F6110B	てこ	てこの力点と支点との距離を長くすると、物を持ち上げるのに必要な力が小さくなり、短くすると必要な力が大きくなる。	小6					
F6111B	てこ	てこの作用点と支点との距離を短くすると、物を持ち上げるのに必要な力が小さくなり、長くすると必要な力が大きくなる。	小6					
F6112B	てこ	てこには、力点・作用点・支点の位置の順序によって、三種類の物が存在する。	小6	てこはかみならず、力点・作用点・支点の順序になっている。	てこの形態は無限に存在する。			
F6113B	てこ	実験用てこにつるしたおもりの重さと支点からの距離を表す番号をかけたものが左右で同じであればてこはつり合う。	小6	おもりを糸の上の方につるした方が上がる、つるす位置を表す数とおもりの数がてこの左右ですべて一致していないとてこはつり合わない。	おもりをつるす位置とおもりの数が実験用てこの左右で一致しない。とてこはつり合わない。	おもりをつるす位置を表す数とおもりの数を左右で入れ替えさえすればてこはつり合う。		
F6114	てこ	てこの支点は棒の中心でなくてもよい。	小6	てこがつり合うためには、その支点は必ず棒の中心でなければならない。				
F6201B	力と運動	物をおしたとき、その力とおし返される力の大きさは同じである。	発展	おす力の方が強い。	おし返される力の方が大きい。	おし返される力は0である。		
F6202B	力と運動	友達どうし手を合わせておし合うときは、体重には関係なく、同じ大きさの力でおし合っている。	発展	体重が重い人がおす力の方が大きい。	体重が重い人がおす力の方が少しだけ大きい。	体重が軽い人がおす力の方が大きい。		
F6203B	力と運動	友達どうし手を合わせておし合ったとき、体重が重い人が軽い人に勝ったのは、まさつ力のちがひによる。	発展	体重が重い人がおす力の方が大きいから。	体重が重い人がおす力の方が少しだけ大きいから。			
F6204B	力と運動	物が水平方向に動いているとき、同じ速さであれば、水平方向の力はかかっていない。	発展	物が動いている向きに力が水平方向の力がかかっている。				
F6205B	力と運動	物が水平方向に動いているとき、速さが加速(減速)していれば、水平方向の力が働いている。	発展	加速減速する・しないにかかわらず、物が動いている向きに水平方向の力が働いている。				
F6206B	力と運動	水平方向に同じ速さで動いている物は、力が働いていなければ、同じ速さで動き続ける。	発展	水平方向に同じ速さで動いている物は、やがて止まってしまう。				

※文献番号は筆者が整理のために付けた任意の番号である。