

理科授業実践におけるコンフリクトマップの有用性 —てこの原理に関する誤概念に注目して—

Effectiveness of the Use of the Conflict Map in Science Lessons: In the case of the misconceptions about leverage

土佐幸子・内田悠人*
Sachiko TOSA, Yuto UCHIDA*

In this study, misconceptions about leverage were revealed through the use of a questionnaire for the college students enrolled in the Science Methods class at a university (N=105). The questionnaire includes a question about the balance of a stiff piece of wire hang by string in the middle and bent on one side. Through the analysis of the survey responses, this study identified three types of misconceptions about leverage, namely, a) judgment by the appearance, b) forces other than gravity work, and c) the wire balances when the weight on both sides equal. Based on these findings, a lesson plan was developed using the idea of a conflict map by Tsai. The use of the conflict map helped the researchers to develop a lesson to help students change their misconceptions into correct understanding of the principles of leverage through a step-wise manner. A mock lesson about leverage was implemented to the group of college students who are prospective teachers of science in elementary and middle-school science (N=7). The analysis of the surveys administered before and after the lesson showed that student misconceptions about leverage were changed into correct understanding. Limitations and extensions of the study were further discussed.

Key words: conflict maps, misconceptions, leverage

1. 問題の所在

自然科学を理解する過程とは、誤概念を修正し、正しい科学的概念を獲得することであると考えられる。誤概念とは文字通り、学校や日常生活で経験する事柄に関する誤った理解のことであり、それは、日常生活の中で獲得してきた子どもなりに合理性を伴った概念（素朴概念）であり、それを覆すのは容易ではない（Driverら、1993）。例えば、杉本・神林（2006）によれば、食塩を水に溶かした後の水溶液の濃度について、「溶ける」ということは水の中に均一に分散することであると学習した後でも、「食塩水は下に行くほどだんだん濃くなる」と考える児童がいることが述べられている。このような誤概念

は、学年を追うことによって修正されていくというものではない。高学年の児童の中には、「重いものは沈む」という浮き沈みの概念から、食塩は下に沈むと考える子どももいる。濃度の概念を浮き沈みの概念と合わせて捉えてしまい、誤った考えをすることがわかる。また、物理分野において、浮力は物体の重さや低面積、形状、水の深さなどに関係すると考えているのは、子どもにも大人にも多いことが報告されている（土佐・田澤・松田、2017）。このように、自然現象の理解に関して、多くの人が誤概念をもっている。また、学校で新しい科学的概念を学習しても誤概念と置き換えることができずに、そのまま誤概念を保持する学習者が多く存在する（Driverら、1993）。そこで、誤概念を修正し、正しい科学的概念を獲得していくためには、それぞれの誤概念が形成される原因を突きとめ、誤概念を覆す

2018.6.25 受理

*新潟県上越市立美守小学校

ことができるような手立ての開発が求められる。

本研究では、子どもが多くの誤概念をもつと考えられる物理の力学分野に着目する(柿畑, 2013; 小林・森口, 2016)。その中でも、理解度が低いことが報告されているてこに関する誤概念に焦点を当てる(谷原, 2012)。てこの原理については、小学校6年で学習する(文部科学省, 2009)。てこの原理は、例えば、公園にあるシーソーなど身近なものに使われており、子どもは日常生活の中で無意識に慣れ親しんでいると考えられる。同じぐらいの体重の子ども2人がシーソーに乗ったとき、真ん中から遠くに座っている子どもの方にシーソーが傾くのは、よく経験していることだろう。その他にも、身近な道具で言えば、ハサミや爪切り、缶ジュースの蓋などにもてこの原理が活用されている。このように、子どもの頃から深く関わりのあるてこの原理だが、大学生の段階でも正しく理解していない人が多くいるのはなぜか、その原因を探ることは重要である。

てこの原理に関して、現行の学習指導要領を見ると、「A(3)イ 力を加える位置や力の大きさを変えると、てこを傾ける働きが変わり、てこが釣り合うときにはそれらの間に規則性があること」と記載されている。一般的な学習方法としては、てこ実験器を用いて、おもりの重さやおもりを吊るす位置を変えて、てこのつり合いの条件を調べていくことで、「左側の(力点にかかるおもりの重さ)×(支点から力点までの距離) = 右側の(力点にかかるおもりの重さ)×(支点から力点までの距離)」という関係式が成立することを理解する。

この規則性を理解する上で、児童がつまづきやすい点はどこにあるのだろうか。てこの原理は、前述の通り、「力点にかかるおもりの重さ」と「支点から力点までの距離」という2つの変数が関係してくる。現行の小学校理科において、複数の変数から関係式が成立するという関数的な考え方は、てこの原理でしか出てこない。算数科で比や比例について関数関係を学習するが、小学校段階でこのように2変数の積の関係を理解することに難しい点があるのかもしれない。これに関する先行研究は見当たらない。

以上のことから、てこの原理を正しく理解するためには、重さと距離の2変数の関係性を正しく捉え、誤概念が生まれぬ、または、既存の誤概念を覆す教材検討が必要であると考えられる。本研究では、てこの原理を理解する上で、2変数の関係を理解することは難しいのか、または、その他に概念理解の困難な部分があるのかを明らかにし、それらを解決

するための手立てを考えていく。

てこの原理に関して、どのような誤概念が存在するのかの実態把握を行い、さらにその結果を踏まえて誤概念を覆す指導方法を開発することが急務と考える。本研究の課題は以下の2点である。

1. てこの原理に関して、どのような誤概念が存在するか。
2. てこの原理に関して、既存の誤概念を覆す、または誤概念を生み出さないような指導法はどのようなものか。

本研究では、課題1に答えるためにアンケート調査とインタビュー調査を行う。それらの調査から得られた結果を踏まえ、課題2の授業開発と実践を行い、開発した授業の効果を検証する。

本研究の重要性は、てこの原理に関して、多くの人がもっている様々な誤概念を明らかにし、学習者のもつ概念獲得の困難な部分を突きとめるところにある。さらに、それら1つ1つの誤概念を解消できるような手立てを考え、授業実践を試みることによって、誤概念を覆すための手掛かりをつかむことである。また、中学校3年生で学習する力のはたらき方や、高校物理で学習する剛体のつり合いなどの複数の変数の関係を理解することが求められる分野においても、指導法に関して有用な示唆を与えることが期待される。

2. 理論的枠組み

2.1 理科教育学における構成主義

本研究では、構成主義的なアプローチ(Fosnot, 編, 2005)を理科教育学の理論的枠組みとする。構成主義的な学習論によると、学習とは子どもが対象に主体的に働きかけて生じた不均衡な状態を、解消することによって初めて成り立つと考える。子どもは自分の持つスキーマという枠組を広げたり、再構築したりして、新しい情報を自分のものとして取り込む。知識は教師の一方的伝達によって獲得されるのではなく、子どもが活動や話し合いを通して、妥当な解釈を構築することによって主体的に獲得される。感覚を通して対象に働きかける活動や、納得がいくまで反芻する過程が重視される。

また、他者と言葉を通してのやり取りは、概念構築を助ける重要な要素である(Vygotsky, 1978)。子どもが1人ではできないことでも、教師や周りの子どもから支援を受けることにより、できるようになることが多い。社会的構成主義の考え方では、そのように周りの助けによって概念構築を促すことが

強調されている。子どもの学びを支援するように、様々な手段を用いて効果的な足場がけをすることが教師に期待されている。

さらに、理科学習において、子どもが主体的に考えればどんな考えでもよいわけではなく、人類の歴史の中で築き上げられてきた「社会的に認められた概念」と整合性が図られていなければ、意味のある学習にはならない。その点を支援するのも、教師の大事な役割である(Driverら, 1994)。

2.2 コンフリクトマップ

本研究において、コンフリクトマップを活用して、てこの原理に関する誤概念を覆す手立てを含めた授業開発を行う。コンフリクトマップを作成することによって、誤概念及びそれに対する解決法と授業全体の流れが整理され、授業を組み立てやすくなると考える(Tsai, 2003; 松田, 2017)。

コンフリクトマップとは、Tsai (2000) が概念変化を促すために、構成主義に基づいた概念変化モデルの枠組みを拡張し、提案した指導法である(図1)。Tsaiは、先行概念から科学概念へと考えが変わるためには、「先行概念と矛盾する事象の間にある認知的葛藤」と「先行概念と科学概念の間にある認知的葛藤」の両方を解決する必要があると主張している。つまり、学習者に矛盾した事象(DE)を示し、先行概念(C_1')との間の認知的葛藤を認識させる。次に、科学概念(C_1)を提示し先行概念(C_1')との認知的葛藤を認識させる。その上で、子どもの科学概念を裏付ける事象となる臨界事象(CE)を観察させ、科学概念の形成を図ろうとするものである。なお、 $C_2 \cdot C_3 \cdot C_4$ は科学概念と密接に関係する科学概念、 $P_1 \cdot P_3 \cdot P_4$ は科学概念をサポートする知覚を示している。これらは、学習者の概念変化を確かなものにするために、臨界事象を観察した後に提示される。また、 P_2 は矛盾した事象が引き起こす知覚を意味している。

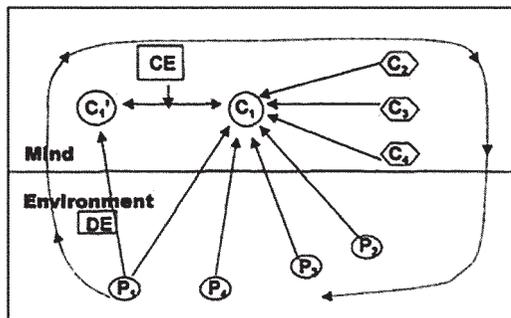


図1 コンフリクトマップの枠組 (Tsai, 2000)

3. アンケート調査

3.1 調査方法

3.1.1 調査対象とデータ収集時期

てこの原理に関して、どのような誤概念が時間を経ても存在するかを調査するために、大学生を対象にデータ収集を行った。2017年4月にある大学で開講された理科教育法の受講者105名(主に教育学部2年生)を対象に調査を行った。

対象者の高校物理履修状況は様々で、「全く履修していない」が16%、「物理基礎」43%、「物理」22%、「理科総合A」7%、「物理Ⅱ」7%、「その他」5%という内訳になっている。全体の約75%の学生が小学校教員になることを志望している。

3.1.2 アンケート調査問題と実施方法

本研究で用いた調査問題を次に示す。

【設問1】長さ30cmの針金を糸で水平に吊るしました。糸の位置は変えずに、針金の向かって左側を、端から5cmのところまで直角に折り曲げました。糸に吊るしたとき、針金はどうなるでしょうか。

- ①左側(曲げた方)に傾く
- ②右側に傾く
- ③水平を保つ

【設問2】設問1であなたが答えを選んだ理由を記述してください。(200字)

本研究のアンケート調査の目的は、てこに関する誤概念を明らかにすることである。そのために、てこ実験器におもりを吊るすというようなシンプルな問題ではなく、対象者の誤った考えを引き出しやすい問題を取り上げた。上記の設問に正解するには、針金自体をおもりとして考えなければならない。設問では、対象者に、てこの原理を使った問題であることは提示していない。まずはてこの原理を応用した問題であることに気付かせ、それから重さと距離の関係性を考えさせるという2段階の思考を求めている。てこの原理に関する概念理解が不十分な対象者にとっては、不均衡を生じさせる設問である。概念獲得が十分にできているかどうかをこの調査から明らかにすることが可能であると考えた。なお、図2のイラストは設問には含まれていなかったが、参考のために付す。

アンケート調査は、理科教育法の講義内容の一環として、受講者に回答してもらった。学内の情報システムを利用し、次の講義までの課題として、インターネット上で問題に回答してもらった。

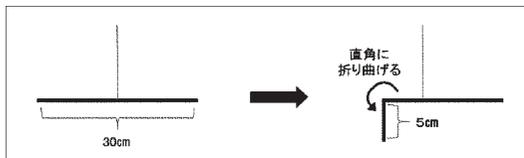


図2 アンケート調査の設問1

3.2 アンケート結果

アンケート結果について、設問1については、選択した番号①②③によって集計を行った。設問2の理由については、全ての回答者の記述を集計し、理由のパターンが次のABCの3通りに分類できることがわかった。

- A. 感覚的・直感的に考えている（「なんとなく…」など）
 B. 既習事項の本質的理解に欠けている（重さだけ、距離だけなど）
 C. 「おもりの重さ」×「支点からの距離」で決まることを理解している

この分類にしたがって、回答番号及び回答理由を9つに分け、それぞれのカテゴリーで集計を行った。結果を表1に示す。網掛け部分が正答である。

表1 アンケート調査の結果

| | ① 左側に 傾く | ② 右側に 傾く | ③ 水平を 保つ | 計 |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| A. 感覚的・直感的に考えている | 5 4.8% | 5 4.8% | 3 2.9% | 13 12.4% |
| B. 既習事項の本質的理解が不足 | 9 8.6% | 13 12.4% | 31 29.5% | 53 50.5% |
| C. 「おもりの重さ」×「支点からの距離」を理解 | 0 | 39 37.1% | 0 | 39 37.1% |
| 計 | 14 13.4% | 57 54.3% | 34 32.4% | 105 |

表1からわかるように、C-②（本質的理解をした上で正答している）の回答者が全体の約37%であった。つまり、本質的理解をした上で正答している人は全体の4割程度しかいないことがわかる。また、正答である②を選択した人の中でも、直観的・感覚的に考えている人（4.8%）や本質的理解に欠けている人（12.4%）もいることがわかった。

2番目に多かったのが、B-③（本質的理解ができていなくて、水平のままであると誤答している）の回答者（約30%）であった。回答理由として、その回答者の多くが「針金を折っただけでは左右の針金の重さは変わらないため、水平のままである」と説明していた。

また、①の左側に傾くと回答した人については、回答理由として「針金を折った分、左側に重力とは別の力がはたらく」や「曲げた方の重さが増える」などが挙がった。これらの回答から、この原理以外の概念についても理解の定着が不十分な人がいることがわかった。

表2に、設問2で明らかになった誤概念全てを挙げる。なお、似た回答は集約して記載する。（ ）内は設問1に対する回答を示す。

表2 アンケート調査で明らかになった誤概念

| | |
|--------------|--|
| ○距離の要素を考えない | <ul style="list-style-type: none"> 針金を折っても左右での体積比は変わらない（水平） 曲げたとしても、左右の重さは同じ（水平） 針金の長さが変わっても、針金を切断して取り除いたわけではないので、糸が付いているところから左右の針金の質量は変わらない（水平） 針金が一度水平になれば、折り曲げても針金の質量自体は変わらないため、バランスも変わらない（水平） |
| ○別の力や重さがはたらく | <ul style="list-style-type: none"> 針金を曲げることによって、重力とは別の下向きの力がはたらく（左側） 曲げたことによって、左側にはつり合うための力以外の力が加わった（左側） 曲げた分の重さが曲げた反対側にかかる（右側） 折り曲げると、糸と針金の接続点を支点としたときの力の作用点が変わる。針金の左側は折り曲げた端の部分に、より大きな力がはたらく。左側の端の部分に力の作用点が存在する（左側） 折り曲げることで、曲げた左側の部分における重量の角度が変わり、バランスが崩れる。また、曲げた分、左側に力が加わる（左側） 曲げることで、つり合っていた力が一瞬だけ左側に傾く（左側） 曲げた方の重さが増える（左側） 針金は端にいくほど糸に対して下にはたらく重力が大きいの。元の形のままである右側の方が強く重力がはたらく（右側） 左側の長さが短くなり、左側の重さが少し軽くなる（右側） 折り曲げてしまうことで、その分力が逃げる。左側にかかる力が逃げ、右側にかかる力が大きくなる |

| |
|--|
| る（右側） ・水平になっている部分の支点から端までの距離が変わり、支点を真ん中に戻そうとする（右側） |
| ○その他 |
| ・折ったことで下の方に重心がいきそうだが、折った分長さにも変化があって、折った方の長さが短くなって長い方が下に行きそうな気がする。これらのことを合わせると、プラスマイナスゼロになる（水平） ・折り曲げることで、重心が針金の中心から左側にずれる（左側） ・左側の重心は中央に寄り、右側は右端に重心があるので、右側に重心が偏った（右側） ・左右の重さは変わらないため、重心も移動しない（水平） ・重心が左に行き、右側が重心からの距離が大きい（右側） ・左側の重心が上がるから（右側） ・曲がった部分が重さの中心になり、曲げていない部分は右に傾く形になる（右側） ・左側に折れた方に回転モーメントがはたらくから（左側） ・見た目的に左側に傾きそう（左側） |

3.3 アンケート調査結果の考察

アンケート調査の結果から、この原理について、大学生が多岐に渡る誤概念をもつことが明らかになった。まず、選択肢①「左側に傾く」を選択した回答者の割合は13.4%と最も少なかったが、表2の誤概念リストを見ると、様々な誤概念をもつ。針金を曲げることによって、左側に別の力がはたらくと考える人や、重さが増えると考え、重心が左にずれると考える人などがいて、重力や質量に関する理解の不十分さや感覚的・直感的な考え方に頼っていることがわかる。①を選択した回答者について、重力以外の力を考えている場合（図3左）と、針金自

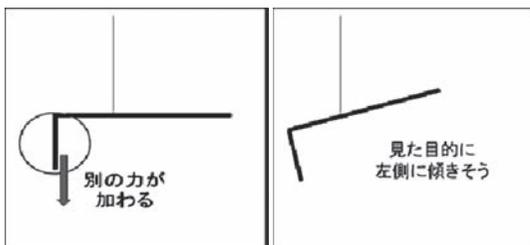


図3 左側に傾くと考えた理由

体をおもりとして考えることができず、曲げた部分がおもりの役割を担うと考え、見た目的に左側の方が傾きそうと考える場合（図3右）の2通りに大きく分けることができると考える。後者については、この実験器のイメージが強く頭にあり、曲げた部分の針金を吊り下げのおもりと同様に見なしているため、左側が重くなるという考えに繋がったと考えられる。

次に、選択肢③「水平のまま」を選択した回答者に見てみると、B-③（本質的理解ができていなくて、水平のままであると誤答している）の回答者が約30%と多かった。回答者の多くが、針金を曲げたとしても、糸と針金の接点を境とした左右で重さは変わらないため、水平のままであると理由付けた（図4）。つまり、回答者は距離の要素を全く考えていない。重さの要素のみで判断していることから、③「水平のまま」を選択した回答者の多くは、この問題がてこの原理を用いたものであることをわかっていないのか、わかっても重さと距離の2変数の関係性からこの問題を考えることができていないものと推察される。

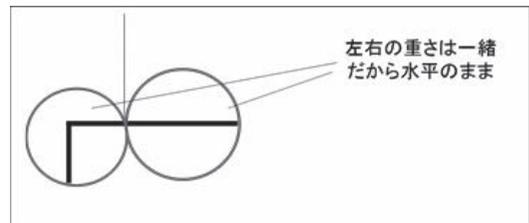


図4 水平のままと考えた理由

以上のことから、この原理に関する科学的概念を正しく理解するためには、重さと距離の2変数の関係性から、てこがつり合うときの規則性を理解することに加えて、重力や質量の存在という基本的な概念を理解することが求められることがわかった。これらのことをコンフリクトマップを用いて、一つ一つ押さえていくことによって、アンケート調査で明らかになった様々な誤概念を覆すことができると思われる。

4. インタビュー調査

アンケート調査を通して、この原理に関する様々な誤概念を明らかにすることができた。しかし、アンケート調査は設問が限られていたため、回答者がどのように思考し、また、どんなところに誤概念をもっているのか詳細はわからない。そこで、イン

タビュー調査を実施し、てこの原理をどのように理解しているかを詳しく聞くことによって、回答者もつ誤概念をより明らかにすることができると考える。

4.1 調査方法

4.1.1 調査対象とデータ収集時期

アンケート調査で対象にした計105名の学生の中から対象者を抽出し、調査を行った。対象者の抽出にあたっては、それぞれのカテゴリーの回答者の考えを知るために、表1の分類中の無回答者の分類を除くA-①、A-②、A-③、B-①、B-②、B-③、C-②の7つのカテゴリーから2名ずつをランダムに選出し、計14名を対象とした。インタビューは2017年5月に行われた。

4.1.2 インタビュー質問項目と実施方法

インタビューに用いた質問項目を次に示す。

【質問1】針金が糸によって水平に吊るされています。この状態から、針金の左側を曲げると、針金はどうなりますか。

－選択肢－

①左側に傾く ②右側に傾く ③水平のまま

【質問2】質問1のように考えた理由を教えてください。

【質問3】質問2の説明の中で出てきた用語（てこの原理やモーメント、重心など）について、説明してください。また、てこの原理という言葉を知って、どんなことが頭に浮かぶか説明してください。

【質問4】小学校でてこの原理を学習するときを使ってご実験器の考え方をういて、針金を曲げた時の状況を考えてみてください。

【質問5】スコップを用いて雪を持ち上げる際、より小さい力で雪を持ち上げるためにはスコップをどのようにして持てばよいですか。持つ部分に×印を付けてください。

スコップ



質問1と2はアンケート調査の項目と同様である。質問3は、対象者にてこに関する考えをさらに詳しく調査するために、用語について説明を求めた。また、てこの原理のイメージを回答してもらい、日常生活や既有概念とのつながりを探った。さらに、

質問4では、質問1に対する解答を自ら導き出せるように支援を行い、誤概念をもつ場合に、概念変化を起こすことができるかどうかを調べた。質問5は応用問題である。雪かきをするときのスコップの持ち方について考えさせる。質問1～質問4までの質問内容を踏まえて、重さと距離の2つの要素の関係から、片方の手で支点となる部分を持ち、もう一方の手で支点からできるだけ遠い部分を持てばより小さい力で雪を持ち上げることができるということを理解できているかどうかを確かめる。質問4について、図5及び図6のような図を描いて考えを進めることが期待されるが、それが難しい対象者については、研究者から提示を行った。

抽出した14名に対してインタビュー調査への協力を依頼し、対象者と研究者が1対1で面談する形でインタビューは行われた。1回のインタビュー時間は約20分で、ボイスレコーダーに録音することでデータを収集した。

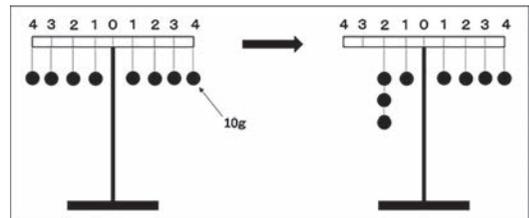


図5 てこ実験器を使って針金問題を考える

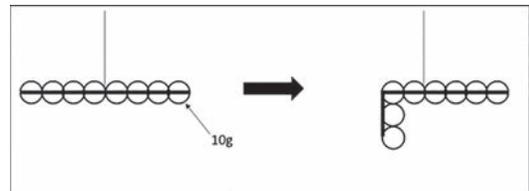


図6 針金をおもりの集まりとして考える

4.2 インタビュー結果

インタビューで収集したデータ分析をするにあたって、まずボイスレコーダーで録音した音声の文字起こしを行った。そして、質的研究法に則り、文字起こしした文章の中で繰り返し使われている言葉に注目し、それらをノードとしてデータをコード化した。1つのデータ（1人分のインタビュー記録）の分析終了後、他のデータで挙がった別のノードを含めて再度分析を行い、データ間で矛盾が生じることがないように、分析を繰り返し行った。本稿では4名の分析結果について述べる。

質問1及び2に対する4名（ア、イ、ウ、エさん）

の回答を表3に示す。

表3 針金問題に対する回答と理由

| | アンケート調査 | インタビュー調査 |
|-----|-------------|-------------|
| アさん | ③水平 - A 感覚的 | ③水平 - A 感覚的 |
| イさん | ②右側 - C 正しい | ②右側 - B 不十分 |
| ウさん | ②右側 - A 感覚的 | ②右側 - A 感覚的 |
| エさん | ③水平 - B 不十分 | ③水平 - B 不十分 |

アさんとエさんは、アンケートでもインタビューでも③「水平のまま」を選択しており、その理由は感覚的であったり、距離の考えを含めない不十分なものだった。イさんとウさんは、共に②「右に傾く」の正解を選択しているが、インタビュー調査ではこの原理による理由をはっきり述べる事ができなかった。

それぞれのインタビュー記録について、繰り返し使われている言葉に注目し、それらをノードとしてデータをコード化した。ノードの表出回数をまとめて表4に示す。

表4 インタビュー回答で表出された表現回数

| | アさん | イさん | ウさん | エさん |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 重さ | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 距離 | 5 | 3 | 5 | 0 |
| 支点 | 2 | 3 | 1 | 0 |
| 力 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 傾きの力 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 覚えていない | 2 | 2 | 0 | 3 |

表4からわかるように、アさん、イさん、エさんは「覚えていない」という表現を複数回しており、この原理に関する理解は低かったと考えられる。アさんは「傾きの力」という曖昧な表現もしているが、研究者の誘導により「距離」について5回言及している。イさんはアンケート調査では、モーメントの考え方を使得、(距離)×(質量)の質量の部分が左右で同じであるため、距離の短い左側の方がモーメントが弱くなるというように理由を正しく説明していた。しかし、インタビュー調査ではモーメントという言葉は用いられなかった。エさんは距離について言葉にしておらず、距離に関する考えがないことがわかる。ウさんは、針金問題の理由について、「遠い方が力が強い」という感覚的な表現をしていたが、インタビュー後半の応用問題については「支点みたいなのがやっぱりほしい」というように、この原理に関する理解ができていたことを示した。

4.3 インタビュー調査結果の考察

インタビュー調査を行うことにより、対象者の概念理解の実態をより詳しく知ることができた。特に、アンケート調査の結果と、インタビュー調査の結果に相違点が見出されたことは興味深い。アンケート調査で、この原理について正しく理解しているように見えたイさんが、インタビュー調査ではきちんと理由を答えられなかった。アンケート調査では感覚的に理由を述べていたウさんは、応用問題について、この原理を理解した上での回答をした。このようにインタビュー調査を行うことにより、対象者の実態をより正確に把握することができた。

また、インタビュー分析結果から、概念理解のレベルを図7のように連続的に捉えることができると考える。応用問題に正答したウさんの概念理解レベルを最も高い所におき、距離に言及しなかったエさんの理解レベルを最も低い所に定めた。また、イさんは距離の要素は考慮していたが、「覚えていない」という部分もあったため、ウさんよりも低いレベルにした。最後に、アさんは概念理解が不十分であったが、筆者の誘導により距離の概念の理解まで到達することができたため、エさんよりも高いレベルに位置付けた。

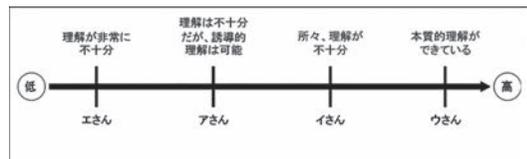


図7 連続的に捉える概念理解のレベル

このような理解レベルの連続性を見つけることによって、子どもの学習状況や理解の程度を0（理解している）か1（理解していない）で判断するのではなく、0と1の間を細分化することが可能になる。さらに、それぞれの子どもの理解度に合わせた手立てを考えることも可能になると考える。

5. 授業開発と実践

この原理に関するアンケート調査とインタビュー調査によって、直観的・感覚的な考え方に依存している人や既習概念の定着が不十分な人が多くいることがわかった。本研究では、この原理に関する様々な誤概念に対応して、それらを覆すことができるような授業開発を、コンフリクトマップを活用して行う。さらに、それを模擬授業によって実践し、効果を検証する。

5.1 コンフリクトマップを用いた授業開発

授業開発を行うにあたり、てこの原理の単元の学習に関するコンフリクトマップを作成した(図14として付録に掲載)。単元の目標は「てこのつり合いは重さと距離の2つで決まる」という科学的概念の獲得である。

先行概念(C_1')、つまり、学習者がもつ誤概念としては、アンケートとインタビュー調査の結果から、「左右の重さが等しければつり合う」「変形すると別の力が加わる」「見た目で惑わされる」の3つを挙げる。まず、それらの誤概念(先行概念)に対して、矛盾した事象(DE)として「てこ実験器の左右のうでのそれぞれ別の位置におもりを吊るす」ことと「針金を用いた問題」を提示し、先行概念と矛盾した事象の間で認知的葛藤を認識させる。次に、科学概念(C_1)として、「てこのつり合いは重さと距離の2つで決まる」を提示し、前述の3つの誤概念(先行概念)との認知的葛藤を認識させる。その上で、科学概念を裏付ける事象となる臨界事象(CE)として、「てこ実験器の両うでについて重さと距離の積を定量的に比較する」「糸に吊るして水平につり合わせた針金の左端を折り曲げる」を観察させ、科学概念の形成を図る。なお、科学概念と密接に関係する科学概念としては、「針金自体に重さがある」「複数の位置におもりを吊るす場合は、左右のうでの重さと距離の積の和が等しければつり合う」「針金をいくつかのおもりの集合体と考え、積の和の考え方を適用できる」を扱った。また、科学概念をサポートする知覚としては、a) おもり一か所の場合のつりあい、b) おもり複数位置の場合のつりあい、c) 水平に吊るされた針金を曲げたときのつりあい、d) 雪かきをする時のスコープを持つ位置、を含めた。

開発した授業の流れを表5に示す。本時のねらいは「てこのしくみとはたらきについて、てこ実験器の複数の位置におもりを吊るす活動や、針金を曲げた時の針金のつり合いについて考える活動を通して、てこのつり合いは重さと距離の2変数の関係で決まることを理解でき、誤概念を覆すことができるようにする。」である。

5.2 授業実践における研究方法

授業前後にてこの原理に関するアンケート調査を実施することにより、データ収集を行った。アンケート調査の問題は全4問で構成した(全文を付録に掲載)。問題1は、てこ実験器の左右のうでのそれぞれ同じ位置に、同じ数のおもりを吊るした場合の

表5 開発した授業の流れ

| | 活 動 |
|-------------|--|
| 導 入 | <ul style="list-style-type: none"> ・事前アンケート調査 ・学習課題:「てこのつり合いは何によって決まるか」の提示 ・左右のうでの一か所ずつに吊るした場合、距離と重さの積によって決まることを復習 ・おもりを複数の位置に吊るした場合の決まりを調べよう。 ・個人で予想→班で話し合い→発表 |
| 展 開 ① | <ul style="list-style-type: none"> ・おもりを複数の位置に吊るす実験を行う ・実験結果からわかることを班で話し合う |
| 展 開 ② | <ul style="list-style-type: none"> ・水平に吊るされた針金を曲げる問題について、班で話し合い→針金自体をおもりとして考えるように促す→展開①の実験結果からわかったことを基に考える ・針金の実験を行う(演示実験) |
| 終 末 | <ul style="list-style-type: none"> ・てこのつり合いは重さと距離の2つの関係で決まることを導出する ・振り返りを記入 ・事後アンケート調査 |

つり合いについて、答えと理由の記述を求めた。問題2は、てこ実験器の左右のうでのそれぞれ異なる複数の位置に、同じ数のおもりを吊るした場合のつり合いについて回答を求めた。問題3は、てこの原理の応用として、糸で吊るして水平につり合っている針金の左端を折り曲げた場合の針金のつり合いについて回答を求めた。問題4は、重さと距離の関係だけでなく、支点・力点・作用点というこの仕組みを含めた問題として、雪かきをするときのスコープの持ち方について回答を求めた。

アンケート調査は、授業の始まりと最後に実施し、印刷されたアンケート用紙に記入する形で行われた。

5.3 授業実践の方法

授業実践は2018年の2月に、ある大学の学生7名を対象に模擬授業の形で、研究者の1人を授業者として行った。参加者7名は全員が教育学部理科教育専修の学生であり、ほとんどの学生が教員志望である。研究者の呼びかけに応じて参加した。学年は、2年生3名、3年生2名、4年生2名である。高校における物理の履修状況は、2年生の1名が未履修であり、その他の6名は履修済みであった。

7名の学生に対して、45分間の授業を実施した。授業前と授業後の5分間ずつにアンケート調査を实

施した。また、授業中は3人のグループと4人のグループに分かれ、班単位で活動した。なお、学生の概念変化を捉えることを目的にして、全員がアンケート調査を書き終わるまで待機したり、話し合い活動の時間を伸ばしたりするなど、参加者の様子に合わせて適宜時間には調整を加えた。

5.4 授業実践の結果

表6 問題1の調査結果

| | 正答率 | 完全正答率 |
|----------|------|-------|
| 授業前アンケート | 100% | 85.7% |
| 授業後アンケート | 100% | 100% |

表7 問題2の調査結果

| | 正答率 | 完全正答率 |
|-----------|-------|-------|
| 授業前のアンケート | 85.7% | 42.9% |
| 授業後のアンケート | 100% | 100% |

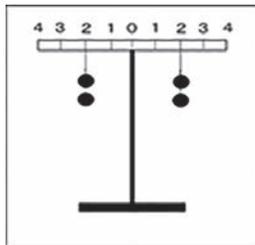


図8 問題1

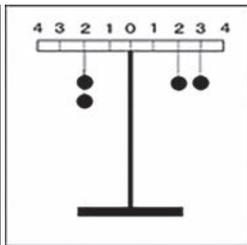


図9 問題2

アンケート調査の結果を、答えと理由の両方について示すために、答えだけの正解を正答、答えと理由がともに正解しているものを完全正答として、回答者の割合をパーセントで表した。

問題1(図8)について、授業前・授業後の調査結果を表6に示す。問題1では、この左右のうでの同じ位置に同数のおもりを吊した場合について回答を求めた。正答率は授業前・授業後ともに100%であった。7名の回答者のうち、1名は授業前の調査において、「おもりの数が同じなので動かない」と回答し、距離の記述を含まなかったため、不完全回答とした。

問題2(図9)について、授業前・授業後の調査結果を表7に示す。問題2では、この左右のうでの複数の位置におもりを吊した場合について回答を求めた。正答は「右に傾く」であるが、授業前調査において、1名は「左に傾く」と誤った回答をし、「中心に近いほど傾く」という理由付けを行った。他の理由として「右うでのほうが外側におもりがついているから」や「右の方が下に引っ張る力が強い」という記述が挙がり、重さ×距離の和という考えを

明確に表現していない回答が見られた。

表8 問題3の調査結果

| | 正答率 | 完全正答率 |
|-----------|-------|-------|
| 授業前のアンケート | 57.1% | 14.3% |
| 授業後のアンケート | 100% | 57.1% |

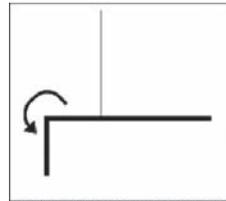


図10 問題3

問題3(図10)について、調査結果を表8に示す。問題3では、糸によって水平に吊したような針金の左端を折り曲げたときの針金のつり合いについて回答を求めた。この問題については、針金自体をおもりとして捉え、重さは左右のうでで等しいこと、また、折り曲げた分、左うでの支点から端までの距離が短くなっていることから、重さと距離の積の和の考え方を当てはめると右に傾く、と考えることを期待した。授業前の調査では、針金を曲げても支点を境にした重さに変化がないことだけに注目して、「針金を曲げただけで重さが変わらないからつり合う」と回答する人が3名いた。また、正答はしているが、「なんとなく」や「左が短くなるから」という理由が挙がり、完全正答率は14.3%と低かった。授業後調査では、正答率は100%になり、針金自体をおもりと捉え、曲げると支点からの距離が短くなることは、全員が理解したと考えられる。しかし、重さは左右のうでで等しいことが記述されていない回答があり、それは不完全とみなした。

表9 問題4の調査結果

| | 正答率 | 完全正答率 |
|-----------|-------|-------|
| 授業前のアンケート | 71.4% | 42.9% |
| 授業後のアンケート | 100% | 85.7% |



図11 問題4

問題4(図11)について、調査結果を表9に示す。問題4では、スコップで雪を持ち上げる際に、より小さい力で雪を持ち上げるためにはスコップをどのようにして持てばよいかについて回答を求めた。重

さと距離の関係から、力点と支点の間の距離を長くし、また、加える力を小さくできるように、片方の手で持ち手の部分を持ち、もう一方の手で雪に近い分をもつという回答を期待した。授業前の調査においては、正答率が71.4%で、完全正答率が14.3%であった。「雪かきをしたときにこれが楽だった」という経験的な理由が多く、不完全とみなした。また、その他の回答としては、「持つ部分が雪に近すぎると、雪をそのまま持ち上げると変わらないから、なるべく遠くを持つとよさそう」という考えが挙げられた。

授業後調査においては、正答率が100%で、完全正答率が71.4%であった。参加者全員が正しい位置に×印を付けることができており、力点を担う手が支点（もう一方の手）から離れている方が距離をかせぐことができ、小さい力で雪を持ち上げることができるというように、正しい記述が多く見られた。完全正答ではなかったものとしては、「支点と作用点の距離と支点と力点の距離を比べる」という記述があり、距離を相対的に捉えているところに理解の曖昧さが見られた。

5.5 授業実践の考察

授業後アンケート結果の正答率が、どの問題でも100%であることから、本研究において、コンフリクトマップを活用して開発したこの原理に関する授業実践は効果的であったことがわかる。特に、コンフリクトマップを用いた授業の組み立てにより、このつり合いが重さと距離の2つの関係で決まるという科学概念の獲得という目標に対して、参加者の思考が途中で止まらず、前の学習内容と関連させて考えていけるような授業展開になっていたと考えられる。例えば、前時の復習として、てこ実験器の左右のうでの1箇所ずつに同じ数のおもりを吊るした場合は、重さと距離の積が左右のうでで等しくなるとつり合うというきまりを確認した。その上で、展開1で複数の位置におもりを吊るしたときのつり合いについて考えたが、授業を受けた学生は、重さと距離の積という考えを踏まえ、次の積の和という考えを見つめることができていた。一か所ずつの場合でも、複数の位置の場合でも、結局は重さと距離の2つの関係でこのつり合いが決まることを理解させることができたと考えられる。

次に、展開2では、応用として針金のつり合いについて考えさせたが、針金を曲げたときの状況で、てこ実験器に吊り下げたおもりの位置が変わるときの状況と同じように捉えて、そこから重さと距離の

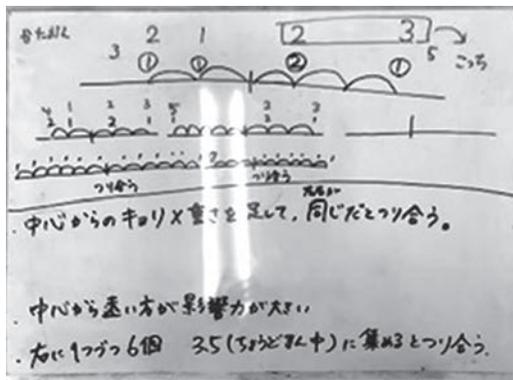


図12 支点からの距離×重さというきまりをまとめたホワイトボード

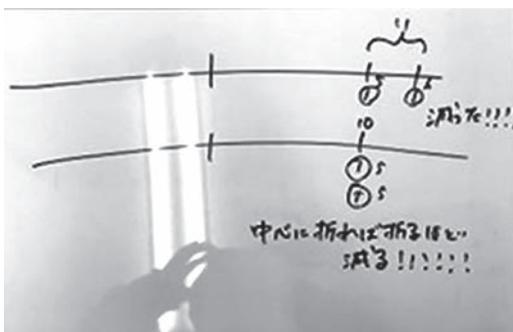


図13 「中心に(の近くを)折れば折るほど減る」と書かれたホワイトボード

関係から針金のつり合いについて考えさせる応用問題となっていた。はじめは、図3の誤概念のように、曲げたことによって別の力が加わるという考えや、曲げた部分がおもりになるという考えが参加者から聞こえてきた。そこで、授業者が針金自体をおもりとして捉えるよう促すと、ホワイトボードに絵や言葉を記入しながら、てこ実験器の考え方と関連付けて考え始めた。学生がまとめたホワイトボード（図12、13）を見てみると、針金を曲げた分、重さと距離の積の和が減り、おもりがうでを傾けるはたらきが小さくなるため、右側に傾くという考えを導くことができていたのがわかる。「中心に折れば折るほど減る」というきまりを見つめることができたのは、展開1までの学習内容をうまく応用して考えることができていたからだと考えられる。最後のまとめにおいては、学生から挙げた言葉を使ってまとめを行ったが、その際、本時のまとめとして「左右のうでで重さと距離の積の和が等しくなればつり合う」という声が挙げられた。以上のことから、今回の授業実践は、この原理に関する概念の獲得に大きな効

果をもたらしたと思われる。

6. ディスカッション

6.1 本研究からわかったこと

本研究においては、大学生を対象にしたアンケート調査及びインタビュー調査を通して、この原理を理解することに困難を抱える人が多いことが明らかにされた。理解する上で困難な点として、重さと距離の2つの要素を考えなければならないことがあり、「変形すると別の力が加わる」「見た目には惑わされる」「重さが等しければつり合う」という3つの誤概念が挙げられた。特に、重さの要素のみでこのつり合いを考える人が多かった。そこで、授業実践においては、コンフリクトマップを用いて3つの誤概念を覆すような授業開発を行い、重さだけでなく距離の要素を踏まえて、このつり合いを考えられるような手立てを段階的に講じ、その効果を検証した。その結果、授業実践を通じて、参加者の概念変化を見ることができ、コンフリクトマップを用いた授業開発の効果が示唆された。

6.2 本研究の限界

本研究において、この原理に関する誤概念の把握と概念変化を促すための手立てについて、有効な示唆が得られた。しかし、本研究の調査と授業実践は大学生を対象に行ったものであり、この原理について学習する小学6年生、そして中学生、高校生が、大学生と同様の誤概念をもっているとは限らない。アンケート調査に関して、1大学の教育学部2年生というのは限られた対象である。インタビュー調査について、アンケート調査の対象者105名の中から14名を抽出して行ったが、その他の対象者から同様なデータを得られるかどうかは定かではない。また、授業実践については、研究者の呼びかけにより参加した7名を対象に行ったため、その7名に見られた概念変化の傾向がその他の大学生にも見られるとは限らない。このように対象者の抽出に関して、限界があるが、調査が可能な範囲で、これに関する誤概念を明らかにし、それを覆す手立てを開発・実践した意味は大きいと言える。

6.3 今後の課題と展望

本研究を通して、この原理について2変数を考える難しさが明らかになった。特に、距離について理解することが難しいとわかったので、今後、この原理の学習において、距離の重要性を強調する必要があると考える。

また、概念理解のレベルを連続的に表すことがで

ることが示唆されたのは興味深い。模擬授業を受けた7名の理解度に関して、さらにデータ分析を行い、連続的に表すことができるかどうかを考察することが可能だと考える。概念変化に関するバリエーションについて、更なる研究が期待される。

また、本研究ではコンフリクトマップを用いて開発した授業が効果的であることがわかった。理科学習において、子どもの誤概念は多くの分野で見られる。コンフリクトマップを用いた授業開発により、子どもの誤概念を覆すことができるかどうかを、様々な単元や学年で研究していくことが重要だと考える。

深い学びの重要性が取り上げられている昨今の教育界において、回答だけでなく、理由も正しく述べられる子どもの育成を目指し、更なる研究を積み重ねていきたい。

引用文献

- Driver, R.: Children's Ideas in Science, 貫井正納訳：子ども達の自然理解と理科授業, 東洋館出版社, 1993.
- 杉本良一・神林久美子：理科学習における子どもの水溶液概念獲得に関する研究－小学校理科「もののとけ方」における学習の検討－, 鳥取大学教育地域科学部地域学論集, 3 (2), 203－237, 2006年.
- 土佐幸子・田澤美麻梨・松田琴：浮力に関する誤概念研究：形状に着目して－, 新潟大学教育学部研究紀要自然科学編, 9(2), 83-90, 2017年.
- 柿畑佳祐：小学校理科における力概念変容のための指導方法の研究：第6学年単元「てこのはたらき」より, 山形大学大学院教育実践研究科年報, 4, 58-65, 2013年.
- 小林俊行・森口洋佑：大学生と中学生の力に関する素朴概念の比較, 日本科学教育学会研究会研究報告, 30(9), 5-8, 2016年.
- 谷原一弥：理科における児童の概念変換を目指した授業の考え方：第6学年「てこのはたらき」を題材として, 山形大学大学院教育実践研究科年報, 3, 262-265, 2012年.
- 文部科学省：中学校学習指導要領, 平成20年改訂, 2009年.
- Fosnot, C. T. (Ed.): Constructivism-Theory, perspectives, and practice, Teachers College Press, 2005.
- Vygotsky, L. S.: Mind in society: The development of higher psychological processes, Harvard University

Press, 1978.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P.: Constructing scientific knowledge in the classroom, *Educational Researcher*, 23(7), 5-12, 1994.

Tsai C.-C.: Enhancing science instruction: the use of 'conflict maps'. *International Journal of Science Education*, 22, 285-302, 2000.

Tsai, C-C.: Using a conflict map as an instructional tool to change student alternative conceptions in simple series electric-circuits, *International Journal of Science Education*, 25, 307-327, 2003.

松田琴：浮力に関する誤概念調査と授業開発，平成28年度卒業論文集，2016年

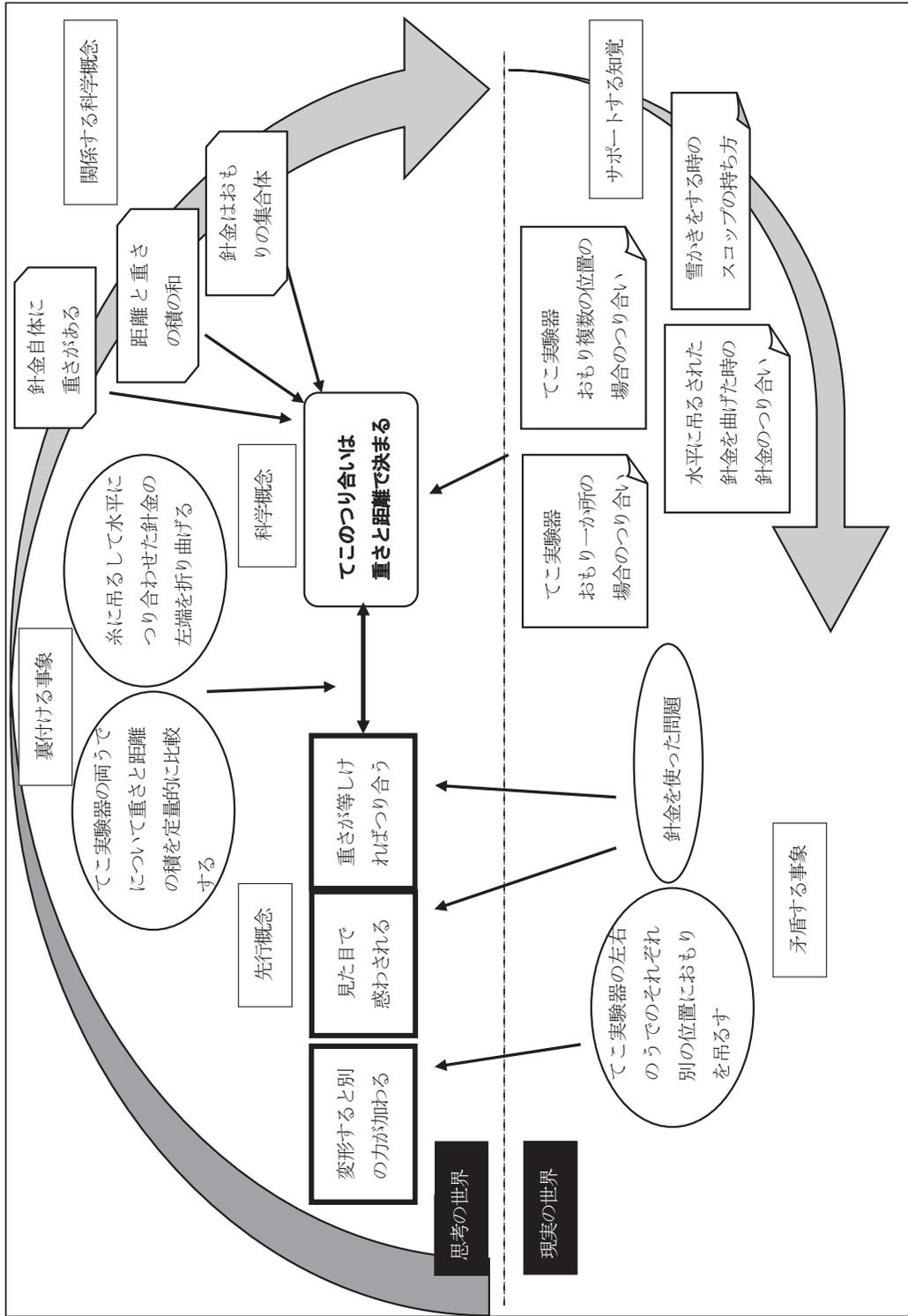
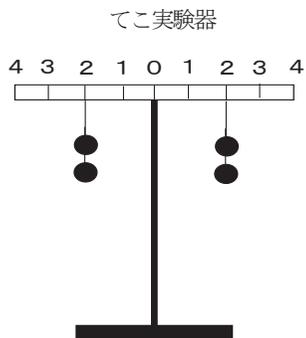


図14 てこの原理の授業開発に関するコンフリクトマップ

－アンケート調査－

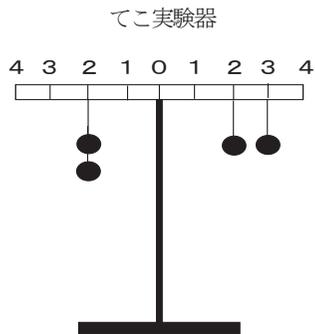
名前 _____

問題1. 下図のように、左うでの2の位置に2つ、右うでの2の位置に2つおもりが吊るしてあるとき、てこのつり合いははどうなりますか？（おもりは1つ10gとする。）



<答えと理由>

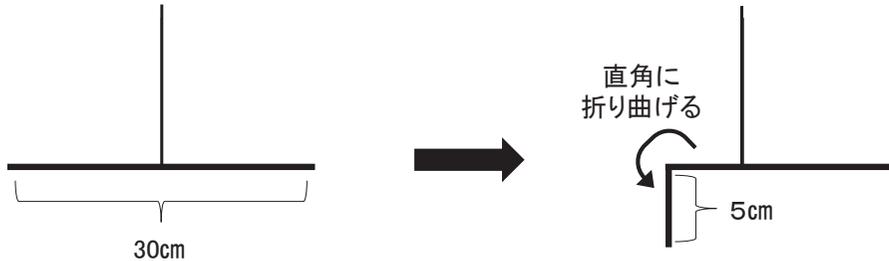
問題2. 下図のように、左うでの2の位置に2つ、右うでの2の位置に1つと3の位置に1つおもりが吊るしてあるとき、てこのつり合いははどうなりますか？



<答えと理由>

裏面に続く→

問題3. 下図のように、長さ 30 cm の針金の真ん中を糸で吊るし水平にします。糸の位置は変えずに、針金の向かって左側を、端から 5 cm のところで直角に折り曲げました。針金はどうなるでしょうか？



<答えと理由>

問題4. スコップを用いて雪を持ち上げる際、より小さい力で雪を持ち上げるためにはスコップをどのようにして持てばよいですか。下図にスコップの絵があるので、持つ部分（2箇所）に×印で印を付けてください。また、理由も教えてください。



<理由>

以上で終わりです。