自己の思考を自覚する子どもを育成するための具体的手法の開発
ー誤概念からの脱却による「てこの規則性」の獲得ー

楠瀬弘哲[1]・国沢亜矢[2]・中城　満[3]・蒲生啓司[3]

（[1]高知大学教師教育センター ・ [2]高知大学大学院総合人間自然研究科 ・ [3]高知大学教育学部）

A developmental suggestion for practical methods for training primary school students to recognize their own thinking; The acquisition of "the rule of leverage" by removing misconceptions

Hiroaki Kusunose[1], Aya Kunisawa[2], Mitsuru Nakajo[3], Keiji Gamoh[3]

[1]Center for Teacher Education Development, Kochi University, [2]Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, [3]Faculty of Education, Kochi University

Abstract: In a science lesson, Primary 6 students learn "the rule of leverage", which is an expression of the relations of [clockwise: (weight of standard masses) x (distance from masses to pivot) = anticlockwise: (weight of standard masses) x (distance from masses to pivot)]. Our attention focused on the process in which the students construct the expression of relations by themselves in order to understand "the rule of leverage". Our purpose in this study is a developmental suggestion for practical methods to cultivate students, who can recognize their own thinking. At this stage, our approach is based on the possibility that a student may arbitrarily form a misconception by himself/herself and that this would be clearly noticed. Our approach then suggests that an argument for deriving the expression of relations could allow the student to recognize his or her misconception and thus break away from it. As a result, evaluating a hypothesis presented by the students allows them to notice their misunderstanding and, subsequently, enables a breakaway from such misconception. The suggested approach in science education is to present students with an opportunity to develop an attitude that accepts scientific concepts with critical thinking.

キーワード：　個別と普遍，理科問題解決学習，授業構成，メタ認知能力，誤概念
Keywords: Particularity and universality, Resolving problems based-science learning,
Class constitution, Competency for meta-recognition, Misconception

1 問題の所在

理科における問題解決学習において，子どもたちの理解を促進させ論理性を育成するためには，子どもたちが事実から思考・判断を区別した上で，自己と他者の意見を比較し，その相違点に気づくための支援が必要である 1）．というのは，もしこのような支援が無ければ，子どもたちが自己の思考判断を無自覚・無批判のまま科学的概念を受け入れる態度を改める機会を理科は提供することができないからである．

本研究は，小学校第 6 学年理科「てこの規則性」の学習において，子どもたちが自らの誤概念を克服し科学的概念としてのてこのきまりを獲得する過程に焦点を当てた．「てこの規則性」の学習の特性は，学習の結論が「関係式で表現できる」ということにある．この数値的処理は,「科学的な見方や考え方を養う」ことへの具体的な一歩である．

てこの規則性の学習における関係式は，具体的には，「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）」と表される．本研究の目的は，この関係式に子どもたちが自ら気づくための支援としての学習指導のあり方を明らかにすることにある．

本研究では，てこの規則性の学習における科学的概念である「てこのきまり」を子どもたち自らが関係式として成立させ，てこの規則性を理解していく過程に着目した．てこのきまりの学習は，てこのきまりである関係式，つまり左側の（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）という関係式を子どもたち自らが成立させるということにこだわらなければ，指導が容易な学習と言えるかもしれない．なぜなら，実用てこを使って，重いものを持ち上げて見せ，実際に体験させたり，てこのきまりを応用したいろいろな道具を調べさせたりして，てこのきまりである乗法の関係式を教え，実験用てこで確かめさせるということをすれば，なんら抵抗なく子どもたちはてこのきまりを受け入れるからである．

しかし，そのような指導こそ，まさしく子どもたちが自分の考えを自覚できないまま科学的概念を受け入れてしまうという指導になるのである．つまり,子どもたちが自己の思考・判断を無自覚・無批判のまま科学的概念を受け入れる態度を改める機会を提供することができないのである．

本研究は，「子どもたちの理解を促進させ論理性を育成するためには，子どもたちが事実から思考・判断を区別した上で，自己と他者の意見を比較し，その相違点に気づくための支援が必要である」という国沢らの成果に基づき，誤概念から出発して科学的概念を形成する過程として，自己と他者の意見を比較し，その相違点に気づくための支援の場として協同的問題解決学習を組み込んだ．本研究は，「てこのきまり」の学習において，子どもたちの誤概念をあえて引き起こし，それに明示的に気付かせる．その上で引き起こした考え方（誤概念）について,協同的問題解決場面を通して相互に検討させることで誤概念からの脱却を自覚させるという戦略に基づくものである．

「誤概念から科学的認識を育てる」ということについては，例えば誤概念からの授業構成の重要性について三石初雄 2）は素朴概念という用語を用いて次のように述べている．

「生活経験も不確かで学校での学びが十分でない状態を「誤」認識と捉えるのではなく，素朴概念として捉え，素朴概念に依拠しながら，それに即した科学的認識指導が重要であり，そのような指導によって自然に関する認識が確かになり科学的認識が育っていくという理科教育観が提起されているといえよう．」

科学的概念を関係式で表現できる小学校理科の学習内容は，小学校第 6 学年の「てこの規則性」に関わる内容の乗法的処理の他に，質量保存の概念に関わる小学校第 3 学年の「物の重さ」に関わる内容と第 5 学年の「物の溶け方」に関わる内容についての加法的処理によるものがある．これらはいずれも，重さという同次元における加法的処理によるものであり，算数的な思考としてこの学齢期の子どもたちに困難さを感じさせるものではない．これに比して第 6 学年のてこのきまりの学習においては，距離と重さという 2 つの次元の組み合わせで，問題解決のための思考･判断を求められる．そのため,算数的な思考としてもこの学齢期の子どもたちに困難さを感じさせる学習なのであるが，この学習における数値的処理を通して,科学的な見方や考え方のさらなる向上･洗練を望むことができるのである．

2 研究の方法

2－1 「てこのきまり」の一般的な授業

小学校６年生の理科の学習における「てこのきまり」の関係式を獲得させるための授業は，一般的に，次のように展開される．例えば，教科書会社の教科書の紙面 3）もそのように構成されている．

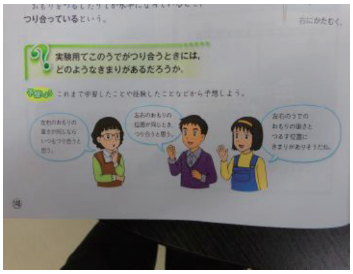

図１　課題の提示

①　　課題を提示する．
②　　実験方法を確認する．
③　　実験の結果を一覧表に転記する．
④　　一覧表からおもりの重さと支点からの距離の関係を読み取る．
⑤　　関係式を示す．

という構成で展開され，この指導がてこのきまりである関係式獲得の一般的な指導の過程である．

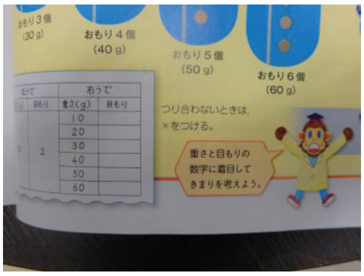

図２　実験方法の提示

具体的には，①｢実験用てこの腕が釣り合うときには，どのようなきまりがあるだろうか｣と課題を設定する（図１）．そのとき，左右のおもりの重さが同じならいつも釣り合うと思う｣,｢左右のおもりの位置が同じとき，釣り合うと思う｣といった考え方を子どもたちを想定したキャラクターに語らせ，さらに別の子ども役のキャラクターが｢左右の腕のおもりの重さとつるす位置に決まりがありそうだね｣というヒントを仄めかすのである．次に，②実験方法を提示する（図２）．提示する実験方法は，実験用てこの左腕の目もり２におもり３個（30g）つるす．右腕にいろいろな重さのおもりをつるし，どこの目もりにつるしたときにつり合うか試行錯誤的に調べるというものである．実験方法を提示した後,結果を整理するために,③結果を一覧表に転記することを指示する．

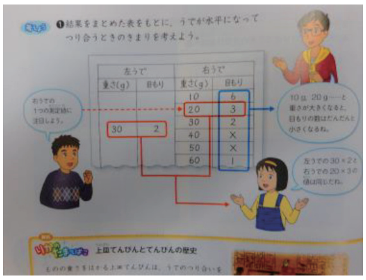

図３　実験結果の転記

一覧表に記載されている右腕につるすおもりの重さは，10g，20g，30g，40g，50g，60g である．それぞれの重さのおもりがどの目もりのところでつりあったかを調べさせ，一覧表に記録させるのである（図３）．左右の腕が水平に釣り合ったときは目もりの数字を一覧表に記入し，釣り合わないときは一覧表に「×」を記入するように指示している．例えば，10g のおもりは目もり６のところで釣り合ったので,目もりの欄の 10g の右隣の記入欄に｢6｣と転記するのである．同様に 20g の右隣の記入欄には「3」，30g の右隣の記入欄には「2」，40g と 50g は釣り合わないのでそれぞれの右隣の記入欄に「×」，60g の右隣の記入欄には「1」と転記される．さらに，指導者の役割のキャラクターが④一覧表の読み方を指示する(図２)．「重さと目もりの数字に着目してきまりを考えよう」という発問のもと，一覧表のおもりと目もりの数字に着目することを指示するのである．この指示は数値に着目しなさい」であるから，「計算式を見つけなさい」とほぼ同義になる．さらに，一覧表に転記した後，子ども役の

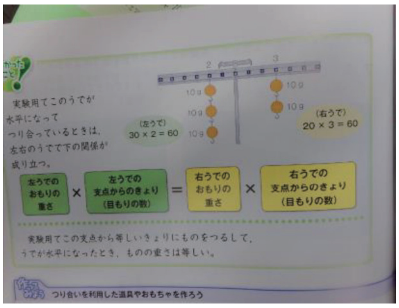

図４　関係式の提示

キャラクターが｢左腕の 30×2 と右腕の 20×3 の値は同じだね｣と掛け算の関係を仄めかすである．これは｢おもりの重さと目もりの数を掛け合わせた数値が同じになる｣と教示しているに等しいのである．さらに最終的には，「わかったこと」として，「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⑤関係式を示すのである（図４）．

2－2　シーグラーのルール評価アプローチ

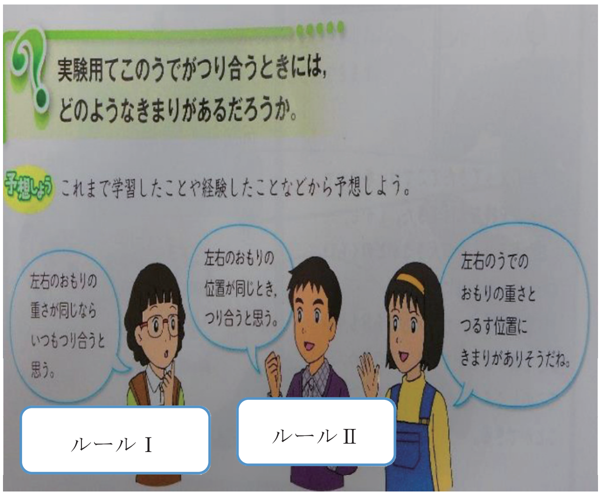

図５　子どもたちの判断の次元

シーグラーの天秤課題における「ルール評価アプローチ」4）では，子どもたちが天秤の釣り合いを予測する次元を次のように４つの次元に区分している．ちなみに教科書のキャラクターの提示する考え方もこれに依拠していると考えられる．

ルールⅠ：ルールⅠを適用して予測する次元にある子どもたちは，支点の両側のおもりの数しか考えない．おもりの数が同数なら天秤は釣り合うと予測し，同数でない場合は数の多い方に傾くと判断する．これは先ほどの教科書の仄めかしの「左右のおもりの重さが同じならいつも釣り合うと思う」と考える子どもの次元である．

ルールⅡ：ルールⅡを用いる子どもたちの，判断の際の重要な決定次元はおもりの数である．しかし，もし両側のおもりの数が同数なら次に距離の次元が考慮され，距離が同じなら釣り合うと判断し，同じでないなら支点から遠くにおもりがある方に傾くと判断する．

ルールⅢ：ルールⅢの次元にある子どもたちは，全ての場合について，おもりの数と距離の両次元を考える．両次元とも等しい場合，釣り合うと判断するのである．もし，一方の次元のみが等しい場合には，他方の次元によって判断が決定される．もし，両次元とも異なり且つ片側のおもりの数と距離の両次元が共に大きな値をとる場合には，その方に傾くと判断する．しかし，おもりの数が多い方が支点からの距離は近く，逆に支点からの距離が遠いほうがおもりの数は少ないという条件では，子どもは葛藤に陥り一貫した解決法を持たずでたらめな判断を行うのである．当然，小学校６年生の子どもたちの多くは，この次元を適用して天秤の釣り合いを考える．

ルールⅣ：ルールⅣの次元にある子どもたちは，おもりの数と支点からの距離をかけて，モーメントを計算し，両方の結果を比較して判断する．すなわち，「てこのきまり」である関係式，つまり左側の（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）に従って，左右の腕の釣り合いを判断できるようになるのである．小学校６年生理科「てこのきまり」の学習ではルールⅣの次元の獲得を目指すのである．

当然，小学校６年生の子どもたちの多くはルールⅢの次元を適用して考えるとはいえ，算数的考え方を持ち込み，計算が当てはまりはしないかと考える子どもたちも多く存在する．さらに，この次期の子どもたちは，自分で考えたきまりにいくつかの事例が当てはまると「この考え方は正しい」という自信が芽生えることがよく観察される．それがこの場合，加法的関係式であり，「天秤の釣り合いのきまり」に対する誤概念である．本研究では，子どもたち自らが乗法的な関係式に気づく可能性として，この誤概念を敢えて誘発したのである．

2－3　本研究における授業実践

異なる２つの次元の情報を乗法的に考えたり，処理したりするという習慣は，通常この時期の子どもたちにはない．したがって，「てこのきまりを，乗法の計算による関係式として子どもたち自らが発見する」ことを期待するためには，前述の教科書のような構成にならざるを得ないのである．

とはいえ，この時期の子どもたちの多くは，天秤の釣り合い課題の解決において「おもりの数と距離の両次元から判断する」という段階にある．この段階にある子どもたちは，「おもりの数と支点からの距離をかけて，モーメントを計算し，両方の結果を比較して判断する」段階への移行期にある．従って，関係式が成立するという判断基準を獲得すれば，異なる２つの次元の情報といえども乗法的に考え，処理するということが可能である 5）．そこでまず，子どもたちが２つの異なる次元の情報を加法的に処理し思考する場面を設定し，計算による関係式が成り立つ可能性を想起させた上で，その間違いに気づかせるという方法を採ることが可能となる．

実際の授業においては，子どもたちが加法あるいは減法によって処理し考えたことの価値を認めた上で，乗法的な処理の発見に意欲を持たせた．具体的には，おもりの重さを均一な重さのおもりの個数として表し，支点からの距離を目もりの数として表すという場面設定を行ったのである．

実際の授業は，次のように構成した．

○理科の問題解決学習において，実験や観察の結果から結論に至る過程で，子どもが自らの誤概念に気づくことができるように課題設定を行う．

次の課題のもと授業を展開した．

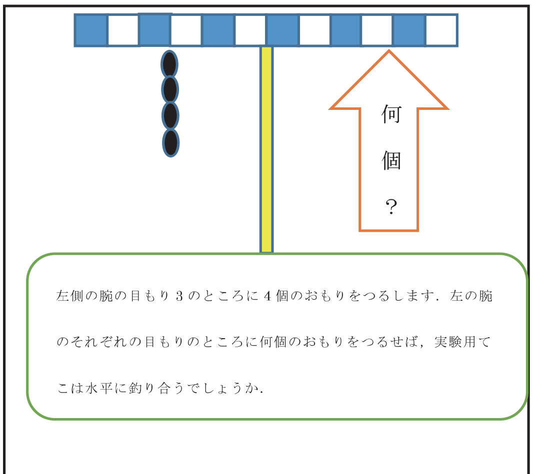

図 6　設定した課題

「左側の腕の目もり 3 に 4 個のおもりをつるします．右側の腕のそれぞれの目もりに何個のおもりをつるせば，実験用てこは水平に釣り合うでしょうか．」

○協同的な問題解決場面を構成することで，課題の解決を遂行し，子どもたち一人では超えられない誤概念からの脱却を図ることを支援する．

天秤の釣り合いのきまりに対する誤概念からの脱却は協同的な問題解決学習の展開により可能になる．敢えて誤概念を引き出し，子どもたちがその矛盾に気づいたなら協同的な問題解決学習を展開するのである．この協同的な問題解決学習の展開が，子どもたちの理解を促進させ論理性を育成するための支援となるのである．

3　結果

実際の授業では演示用の実験用てこを提示し，「左側の腕の目もり 3 のところに 4 個のおもりをつるします．右側の腕のそれぞれの目もりに何個のおもりをつるせば，実験用てこは水平に釣り合うでしょうか．」と問いかけた．

まず「右側の腕の目もり 3 のところには何個？」と問いかけると，子どもたちは迷わず 4 個と答えた．そして，実際に左側の腕の目もり 3 のところに 4 個のおもりをつるして，水平に釣り合うことを確認する．子どもたちは，当然，といった表情を見せた．ここではルールⅠの次元が適用されているのである．

続いて「右側の腕の目もり 4 のところは？」と問いかけると，今度も子どもたちは迷わず 3 個と答えた．そして実際に 3 個のおもりを目もり 4 につるしてみて，左右の腕が水平に釣り合ったのを確認すると多くの子どもたちは満足げな表情を見せた．この場合，おもりの数が多い方が支点からの距離は近く，逆に支点からの距離が遠い方がおもりの数は少ないという条件であるから，ルールⅢの次元が適用されて，本来なら子どもは葛藤に陥り一貫した解決法を持たずでたらめな判断を行うのであるが，この場合加法的な判断が働いて，「左が４＋３＝７で，右は合計が７になればいい訳だから７－４＝３である」とか，「さっきは同じ目もりだったから，同じ数のおもりをつるせば釣り合ったけど，今度は，一つ目もりが増えたからおもりを一つ減らせばよい」といった判断がなされたと考えられる．ちなみにこれは，この後「目もり５のところに２個」の問題における子どもたちの説明から判断したことである．

とりあえずここまでは，子どもたちにおもりの数を判断した理由の説明を求めなかった．子どもたちの判断理由を説明させるのは，次の「目もり５の場合」である．目もり５の場面でも，これまでと同様に子どもたちに「右側の腕の目もり 5 のところには何個？」と問いかけると，多くの子どもたちはこれまでよりもさらに自信に満ちた表情で 2 個と答えたのである．実際はこの 2 個という回答に疑問を持っている子どもがいたと考えられる．なぜなら，学級の子どもたちの中にはてこの決まりの関係式を知っている子どもがいる可能性は十分考えられるからである．そこで，2 個で釣り合うということの説明を求めると，3+4=7　4+3=7　5+2=7　だからという説明が返ってきた．多くの子どもたちがうなずいて同意を表明する．さらには，「さっきは一つ進んで，おもりを 1 個減らしたら釣り合ったでしょ．だから今度はもう一つ目もりが進んだから，おもりはもう 1 個減らして 2 個で釣り合う」と説

明する子どももいた．この間違った答えをこれほど自信たっぷりに宣言する仲間を見て，本当はおかしいと思っていた一部の子どもたちも，なんとなく「なるほど」と変に納得したようであった．

そこで，実際に目もり５のところにおもり２個をつるしてみると，もちろん腕は左側に傾いたままである．多くの子どもたちから「えっ」という反応が見られた．以下はそのときの子どもたちの発言である．

C1：「もう１個増やしてみて」
C2:「半分のおもりはないの？」
C3:「6のところに１個つるしてみて」
C4:「やっぱりだめだ」
C5：「6に２個にしてみて」

C1，C2，C3などのような要求も聞かれ始めた．この時点で，子どもたちはルールⅢにおける葛藤状態に陥っていると考えることができる．本来の次元に立ち戻ったと考えることができる．例えば，「目もり６におもり１個」という子どもは，まだ足し算の決まりに少しだけ未練を残して，このきまりの正当性を確認しているのだと考えられる．しかし，その後の「やっぱり，だめだ」の発言を見ると，もうこの考え方はあきらめようという意思も見て取れるのである．このとき適用されているのはルールⅡあるいはルールⅢ，さらには，加法による考え方の放棄に対する葛藤から乗法的な考え方への転換への移行段階であるとも考えられる．おそらくそれらが入り混じった状況が子どもたちにあったのだと考えられる．そこで，出されたのがC5の「6に２個にしてみて」というアイディアであった．目もり６におもり２個で水平に釣り合うことが確認できた子どもたちは，「足し算のきまり」を誤った考え方として自ら放棄したのである．確かに冷静に考えれば，目もりの数という距離をおもりの数という重さと足し合わせることの意味のなさや，算数でもそのような計算は成立しなかったことに子どもたちは気づいたのである．そこで，「計算式が成立するという考え方は理科として悪くない．むしろとてもよい考え方だ」ということを指導することで，先ほどまで「足し算の関係式」という誤概念に封じ込められていた，「目もり５におもり２個では釣り合わないのではないか」という考え方も見直されてくる．そのような子どもの中にはおぼろげながら掛け算の関係式が見えている子どもが存在するのである．ここに，協同的な問題解決学習として授業を構成する意義が存在する．多様な考えをもった子どもたちの多様な考え方が問題解決行動に機能するのである．そしてそれは，ルールⅢにおける葛藤状態を自ら自覚でき，その葛藤を仲間と共有できたたことが大きな要因として考えられるのである．

この後，子どもたち用の実験用てこを使って，どの目もりに何個のおもりをかければ釣り合うかを予測しながら，てこのきまりを確かめていった．一見するとその活動は試行錯誤的にも見えるが，何個のおもりをかければどうなるかを予測しながら子どもたちは「きまり」を探した．そして，一覧表に転記した結果から掛け算の成立に気づいたのである．この後子どもたちは，掛け算の計算式を適用し，腕の傾きを予測しながら，目もりの位置とおもりの数を変えて掛け算の関係式の正当性を確かめていった．さらには,複数の目もりにおもりをつるしたときにも掛け算の計算式の和で成立することも確かめたのである．さらに，子どもたちは目もり５のところには粘土でおもりを作って，その粘土の重さを計って掛け算の関係式の正当性も確かめることができた．

4 考察と今後の課題

もしはじめからおもりの重さを実際の重さ（ｇ）で扱い，視点からの距離を実際の長さ（㎝）で扱っていたとすれば，計算式は子どもたちに見えてこなかったはずである．本研究では，おもりの個数と支点からの目もりの合計が７になるように課題を設定する事で，全ての場合が，○＋△＝７で成立するという仮説を子どもたちに持たせた．子どもたちは,自らが立てた仮説を検証することで，その間違いに気づいたのである．子どもたちの理解を促進させ

論理性を育成するためには，子どもたちが事実から思考・判断を区別した上で，自己と他者の意見を比較し，その相違点に気づくための支援が必要なのである．このときの，関係を計算式に見出そうとする態度こそ「科学的見方や考え方」に特有なものなのであり，「てこの規則性」へと至る道である6）．

自己と他者の意見の比較は，とりもなおさず協同的な問題解決学習に参加することで可能になる．他者の考えに耳を傾けることにより問題解決に至るとともに，そのよさが実感され，さらに他者の考えに耳を傾けるという態度が育まれると考える．

子どもたちが自己の思考判断を無自覚・無批判のまま科学的概念を受け入れる態度を改める機会を提供するためには，私たちが理科の授業をどのように展開しているのかということに対する私たち「教師自身の自覚」が，これからの理科教育には必要であると考える．

文献

1）国沢亜矢，楠瀬弘哲，中城満，蒲生啓司，川崎謙：自己の思考を自覚する児童を育成するための具体的手法の開発，日本科学教育学会第40回年会（大分）,299-300 （2017）

2）三石初雄：教科教育学シリーズ04理科教育（一藝社，p19（2016）

3）「たのしい理科5年」大日本図書（2015）p146-150

4）Siegler.R.S: Three aspects of cognitive development,Cognitive Psychology,8.481-520(1976)

5)楠瀬:理科問題解決過程における認知とメタ認知の相互作用に関する研究,高知大学教育学研究科修士論文(1999)

6）楠瀬弘哲，国沢亜矢，中城満，蒲生啓司：自己の思考を自覚する児童を育成するための具体的手法の開発Ⅲ-誤概念からの脱却による「てこの規則性」の獲得-，日本科学教育学会第41回年会（香川）,p.367－368（2017）

平成29年（2017）10月12日受理
平成29年（2017）12月31日発行