

Ingenuity in Teaching Elementary School
Science: "The regularity of the lever" with Focus
on the Collection of Scientific Evidence :
Focusing on the ADI model

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-03-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 啓太郎, 郡司, 賀透 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00028707

論文

科学的証拠の収集に着目した小学校理科「てこの規則性」の指導の工夫

—ADI モデルに焦点を当てて—

¹中村啓太郎, ²郡司賀透

(¹静岡大学大学院教育学研究科, ¹浜松市立庄内中学校, ²静岡大学学術院教育学領域)

Ingenuity in Teaching Elementary School Science: "The regularity of the lever" with Focus on the Collection of Scientific Evidence

-Focusing on the ADI model-

Keitaro NAKAMURA, Yoshiyuki GUNJI

ABSTRACT

Recent years have seen a greater need to incorporate the understanding of the significance in science learning. Several countries across the world have content aimed at understanding scientific inquiry, represented by Nature of Scientific Inquiry (NOSI). The United States uses "Argument Driven Inquiry in Physical Science: Lab Investigation for Grade 6-8" (ADIPS) as teaching material for NOSI. In the unit, "The Regularity of the Lever," in the sixth grade of elementary school; the lesson practice was carried out with the unit plan according to the ADIPS teaching model, to verify the effect on the ability to collect scientific evidence. This paper describes the contents and results, and considers the unit plan that affects other scientific thinking abilities.

キーワード: NOSI ADI 科学的思考力

1. はじめに

1-1. 問題の所在

古くから、「科学とは何か」について様々な研究がなされており、その成果の一部として Nature of Science (NOS) とよばれるものがある。NOS は実証性、再現性、客観性を大切にした科学特有の探究の方法や論述形式等の必要性を学習する内容であり、日本の理科教育においてこれらは学習内容に含まれていない。一方で、米国の Next Generation Science Standards に代表されるように、諸外国では多くの国で理科カリキュラムの一部に導入されている。

さらに、NOS に関する研究の中で科学的探究に焦点化したものとして、Nature of Scientific Inquiry (以下 NOSI) が挙げられる。福田・中村¹⁾によれば、日本の理科教育において科学の内容と方法を教えるための教授方法として探究活動は広く行われているが、NOSI のような科学的探究そのものについての理解は等閑に付されているとされる。しかし、科学的に問題を解決する力の育成が求められている現在、NOSI のような科学的探究の全体像やその意義を認識する内容の導入が必要である。

諸外国の先行事例を見ると、NOSI の教授を目指した教材の一例として、米国の Argument-Driven Inquiry (以下 ADI) モデルと呼ばれる実験指導モデルが挙げられる。さらに、ADI の 6~8 学年の物理分野の指導書として "Argument-Driven Inquiry in Physical Science: Lab Investigations for Grade

6-8" ²⁾ (以下 ADIPS) があり、中村³⁾によって分析されている。この分析によれば、ADIPS の特徴は科学者が行う科学的探究を体験することで、そのスキルだけでなく意義等、幅広い認識を深めるものであるとされる。

NOSI の理解について実践的な研究を行ったものは、鈴木⁴⁾や中村⁵⁾によって行われたものもあるが、対象が中学生や高校生であったり、単元が化学分野であったりし、小学校における物理分野での実践的研究は十分に蓄積されているとはいえない。

科学的に問題を解決する力の育成のために、小学生を対象とした NOSI の理解についての単元開発が必要とされる。

1-2. 目的と仮説

本研究では小学校 6 年の「てこの規則性」の単元において、ADI モデルに沿った単元指導計画を作成し授業実践を行うことにより、児童の科学的思考力が向上するかを検証することとした。

2. 研究の手立て

中村の分析によると、ADI モデルは図 1 で示す 8 つのステージで構成される。このように、単元を貫いて解決する課題を設定し、それに向けて探究活動を行うスタイルになっている。特徴的なことは、アーギュメンテーションに代表される徹底的な言語活動である。

なお、アーギュメント、アーギュメンテーション、

ディスカッション、説明 (explanation) の違いについては、泉⁶⁾によって論じられている。泉によれば、科学的アーギュメントとは「ある問題状況の解消を目指してデータや論拠を基にしながら主張を展開すること、あるいは、そうした主張を正当化するための諸要素」としている。そして、科学的アーギュメンテーションとはそのプロセスであり、ある問題状況に対して、意見を表明し、その意見を異なる立場の人間に対し正当化しようとする一連のプロセスとしている。また、科学的アーギュメントは「ディスカッションの部分集合であり、特定の論争の解決に焦点化されたもの」としている。さらに、科学的アーギュメントと説明の区別について、泉は以下のように分析している。オズボーンの主張において説明は疑問に対する回答であり、アーギュメントはこの説明が妥当かどうかデータと根拠をもとに吟味しながら自分の主張を正当化することとし、これらを区別するべきであるとしている。一方で、マクニールはこれらが相補的で相乗的なものであり、これらを区別することで科学的な探究活動のプロセスを学習することに終始してしまい、科学的探究によって本来学ぶべき内容が学習できないと主張している。このように、アーギュメントと説明を区別して指導すべきか、融合的に扱うべきかは議論があるが、どちらもアーギュメントと説明とが異なった科学の実践であるという共通の認識をしている。

このような ADIPS における一連の探究活動を investigation と言う。日本の理科教育における探究活動とは認識が異なり適切な日本語訳がないことから、これより後は「インヴェスティゲイション」と表記する。日本の理科教育における探究活動では、実験方法には客観性、実証性、再現性が高くなるよう教科書や教師によって提示されることが多いが、インヴェスティゲイションでは生徒に自由度が与えられている。つまり、インヴェスティゲイションは日本の理科教育における自由研究に近い概念と捉えられる。ただし、探究の方向性が決められていることや探究が協働的に行われる点について自由研究とも相違がある。

今回、この ADIPS のステージ構成に沿うよう、「てこの規則性」の単元においてインヴェスティゲイションを行うこととした。特に、アーギュメント活動が重要となることから、「物を傾けるはたらきは、重さだけでなく支点からの距離が関係している」という主張を正当化するため、様々なデータや根拠を収集するといったアーギュメント活動を単元の中に位置づけた。

3. 研究内容

3-1. 対象者と実施日

研究協力校である浜松市の公立小学校第6学年の2学級 67名を対象に、2021年5月31日から7月2日の日程で行った。

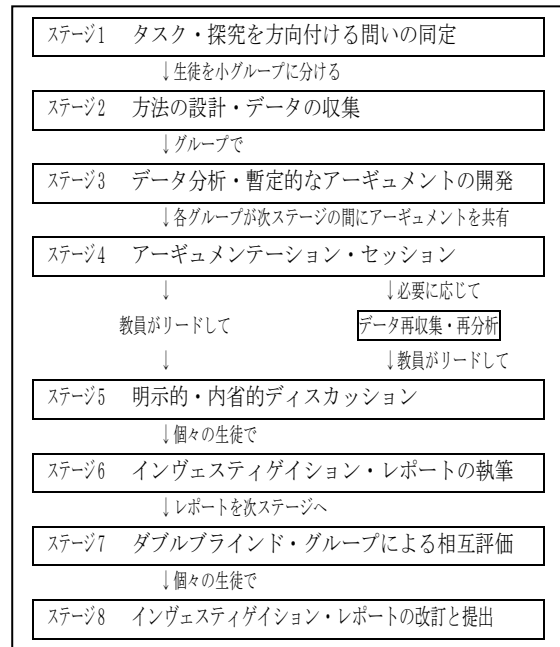


図1 ADIモデルのステージ概略

3-2. 方法

対象を1学級ずつ実験群、統制群に分けた。実験群にはADIモデルで構成した単元指導計画で授業を実施した。統制群は、教科書通りの単元構成で授業を実施した。図2が、両群の単元指導計画概略である。

時	実験群	統制群
1-2	針金を用いた実験による、探究を方向付ける問いの同定	大型てこを用いた重い物を持ち上げる方法についての仮説の設定及び検証方法の計画
3	探究課題に対する仮説の設定及びてこ実験器を用いた検証方法の計画、検証	てこ実験器を用いた第1次の仮説の検証による、てこのつり合いの規則性の導出
4	前時の分析によるてこのつり合いの規則性の検証 (パフォーマンス課題①)	
5	物の重さが25gかどうかを判定する秤の設計 (パフォーマンス課題②)	
6	大型てこを用いた重い物を持ち上げる方法についての仮説の設定及び検証	前時の分析によるてこのつり合いの規則性の検証 (パフォーマンス課題①)
7		物の重さが25gかどうかを判定する秤の設計 (パフォーマンス課題②)
8-10	身の回りのてこを活用した道具との関連付け	身の回りのてこを活用した道具との関連付け
11	探究課題に対するレポートの作成	針金を用いた実験と学習内容との関連付け
12	太さが一様でない棒をつり合わせた場合と学習内容との関連付け (パフォーマンス課題③)	太さが一様でない棒をつり合わせた場合と学習内容との関連付け (パフォーマンス課題③)

図2 両群の単元指導計画概略

両群において、以下の内容における児童の解答を比較し、分析した。

- ①単元途中におけるパフォーマンス課題
- ②単元終末におけるパフォーマンス課題
- ③単元学習直後の定着度調査
- ④単元終了2か月後の定着度調査
- ⑤単元学習前後の意識調査の比較

3-3. 実践前の児童の実態

実践前に、児童の科学的思考力について実態調査を行った。問題は、平成26年度実施浜松市新学力テスト⁷⁾より、既習単元である「ものの燃え方」「植物の成長と日光の関わり」の内容とした。表1が問題概略及びその正答数である。この結果を1問1点として両群を対応のないt検定で分析した結果が表2である。

なお、これより後の定着度調査やパフォーマンス課題に結果については、検定の信頼性を高める目的で、途中で1回でも欠席した児童は数に含めず欠損値としている。そのため、調査人数は実験群29名、統制群32名である。

表1 実践前の実態調査問題概略及び正答数

問題概略	正答数	
	実験群	統制群
びんの大きさ、ろうそくの本数を変えた3つの中から最も早く消えるものを選ぶ問題	19	18
上記の中から、最も長く燃えるものを選ぶ問題	25	27
ろうそくが燃える前後の酸素と二酸化炭素の変化の粒子モデルを選択する問題	25	31
上記の様子を正しく説明した文を選ぶ問題	28	31
空気中と窒素：酸素=1：1の中でろうそくを燃やした場合の燃え方を選択する問題	16	19
消火器中の二酸化炭素のはたらきを説明する問題	9	11
正体の分からない気体を実験結果から考える問題（正答は二酸化炭素）	23	21
光合成の実験において1つの葉は、日光に当てる前にヨウ素液に付ける理由を記述する問題	13	18

表2 実践前の実態調査結果のt検定分析結果
t-検定：等分散を仮定した2標本による検定

	統制群	実験群
平均	5.50	5.45
分散	2.77	3.26
観測数	32	29
プールされた分散	3.00	
仮説平均との差異	0	
自由度	59	
t	0.12	
P(T<t) 片側	0.45	
t 境界値 片側	1.67	
P(T<t) 両側	0.91	
t 境界値 両側	2.00	

この結果を見ると、t境界値両側が2.00となるのに対し、データから計算したt値が0.12となり、t値が境界値より低くなっている。P(T<t)両側も0.05以上となっていることから、5%水準では両群の有意差はないと考えられる。

両群において、基本的な知識や概念の理解については比較的定着している。一方で、この実態から児童の実態の課題としては2つが挙げられる。1つ目は「消火器中の二酸化炭素のはたらきを説明する問題」において、二酸化炭素の性質を誤って理解していたり、正しい記述ができなかったりする回答が目立った。このように、未知の状況に対して既知の知識や概念と関連付けて考える力に課題がある。2つ目は、「光合成の実験において1つの葉は、日光に当てる前にヨウ素液に付ける理由を記述する問題」において、初期状態ではデンプンがないことを記述できていた児童が少ないことから、条件を制御して実験を計画する力に課題があることが挙げられる。

この結果より、既知の知識や概念と関連付ける思考や、条件を制御して実験を計画する力について、実践後にどの程度の変容が見られるか検証を行うこととした。両群において、これらの力の有意差はないが、特に「条件を制御する力」に大きく関わる光合成の問題において正答数の少なかった学級を実験群とした。

3-4. 実験群での実践

図3に、実験群の単元指導計画のADIモデルとの対応を示す。特徴は、単元を方向付ける問いを設定し、単元終末においてその探究課題についてレポートを作成することである。また、ステージ4とステージ5をループさせることである。本来であれば、ステージ7及び8で相互評価活動を含めた徹底的なアーギュメンテーションが行われるべきではあるが、本実践はADIモデルを導入する初期段階であり、その活動を行うには指導内容が過剰となり、児童の負担が大きくなることから、省略することとした。

これより、各時間の詳細を示す。

①ステージ1：タスク、「探究を方向づける問い」(Guiding Question)の同定

このステージでは、教師がインヴェスティグेशनを行う現象を同定し、生徒たちに、答えるべき「探究を方向づける問い」を提供する。

そこで、最初につり合っているまっすぐな針金の片方を半分に曲げると、つり合いがどうなるかを予想し、実験、考察をする授業を2時間扱いで行った。児童は「物は形を変えても重さは変わらない」ということを3年生で学習している。このことから、針金を曲げてもつり合いは変わらないと予想する児童が多かった。しかし、この現象では針金がいまのままの方

に傾く。このような既存の知識だけでは解決できない現象との出会いを、「探究を方向づける問い」含んだ短い導入とした。

ステージ1 タスク、探究を方向付ける問いの同定	針金問題による探究課題の提示及び仮説の設定	
ステージ2 方法の設計、データの収集	てこ実験器を用い仮説の検証方法の立案及び検証	
ステージ3 データ分析 暫定的なアーギュメントの開発	ステージ2での検証結果を基にした、てこのつり合いの規則性の導出	
ステージ4 アーギュメント・セッション	ステージ3で導いた規則性について、どのような場面でも成り立つかについての検証	大型でこを用いた、小さな力で重い物を持ち上げる方法の検証
ステージ5 明示的・内省的ディスカッション	25 g を判定する秤の設計	身の回りの、てこを活用した道具についての考察
ステージ6 インヴェスティゲーション・レポートの執筆	探究課題であった針金問題を、単元の学習内容と関連付けて考察。さらに、発展課題としてエンジン問題の予想及び実験、考察。	
ステージ7 ダブルブラインド・グループによる相互評価		
ステージ8 インヴェスティゲーション・レポートの改訂と提出		

図3 実験群単元指導計画のADIモデルとの対応

また、このステージでは実験道具や発表用品を話題にする。そこで、針金の様子を今後の探究活動の実験道具であるてこ実験器を用いて再現させた。このてこ実験器が、今後の探究活動における実験道具である。さらに、モデル化した針金の様子をホワイトボード上で再現し、自由に記述できるようにした。このホワイトボードも、今後の探究活動の実験道具や発表用品である。

これらの活動を通して、児童は「物を傾けるはたらきは、その重さだけでなく、支点からの距離も関係しているのではないか」という仮説を導き出すことができ、探究の方向性に見通しを持つことができていた。

この針金の教材の授業アイデアは、伊藤⁸⁾によるものである。

②ステージ2：方法の設計、データの収集

本ステージの最初に、ステージ1で導き出した仮説を検証するための方法を考えた。この中で、片方うでにかけるおもりの位置と重さの条件は変えず、もう

片方うでにかけるおもりの位置を変化させ、つり合う時のおもりの重さを調べればよいという展開となった。このように、条件を制御する力が活用できる場面を設定することで、その意義が実感しやすいようにした。この考えを学級全体で共有し、具体的な方法を考えていった。そして、左のうでは6の位置に20gのおもりを1個つるし、それとつり合わせるためには右のうでの条件がおもりの位置によってどのように変化していくかを調べるよう実験計画を立て、実験を実施することができた。また、針金の様子をてこ実験器で再現したことと関連付け、「重さが同じでも、支点からの距離が長いほどものを傾けるはたらきが大きくなるだろう」という見通しをもつこともできた。

③ステージ3：データ分析、暫定的なアーギュメントの開発

ステージ2での実験におけるデータ収集により、「重さが同じでも、支点からの距離が長いほどものを傾けるはたらきが大きくなるだろう」という仮説が正しかったというアーギュメントを導き出すことができた。また、この実験では、右のうでの4と5の位置におもりをつるした場合、おもりの数をどんなに変えてもつり合わせることはできない。この位置でてこをつり合わせるためには、何gのおもりをつるせば良いか考える過程を通し、てこがつり合う時のおもりの重さと支点からの距離にはどのような規則性があるかを見つけ、それがどんな場合でも成り立つかを検証する時間にした。この段階では、てこがつり合う時は「支点からおもりまでの距離」と「おもりの重さ」の積が常に等しいことをすぐに見つけ出すことができた。

④ステージ4：アーギュメンテーション・セッション

本ステージでは、グループ内で児童一人一人が自分のアーギュメントを発表する。そこで、児童各自が自分のアーギュメントを発表しやすいよう、てこがつり合うであろう条件を複数考え、その考えが正しいかグループ内で実際に確かめるようにした。その際、使うことができるおもりは20gのおもり10個までということとした。また、複数の位置におもりをかけても良いこととした。この結果、児童からは多様な考えが出された。図4に、その一部を示す。

⑤ステージ5：明示的・内省的ディスカッション

本ステージでは、教師が生徒に対して中核の考えについて何を知っているかを説明するように求め、中核の考えがインヴェスティゲーションを行った現象を説明するのをどう助けるか、アーギュメントにおける証拠を正当化するためにこの考えをどう使えるか、考える。

これまでの学習内容を活用すれば、重さの分からない

い物の重さを量ることができることを実感できるようにする時間にした。具体的には、物の重さが 25 g かどうかを確かめるための秤を設計し、実際に確かめるようにした。この方法が科学的思考力の評価方法として有効であることは、高橋⁹⁾によって示されている。

また、使うことができるおもりを 20 g の物のみという条件にした。この秤は、最も単純な物では片方うでの 4 の位置に 25 g かどうかを確かめる物をつるし、もう片方うでの 5 の位置に 20 g のおもりを 1 個つする物になるが、児童からは複数の位置に 20 g のおもりをつする多様な考えが出された。また、25 g かどうかを判定する物が、正確に 25 g ではない物もあり、「この物は 25 g より重い (又は軽い)」といった考えが出され、思考を深めることにつながった。図 5 が、この時の児童の表れの一部である。

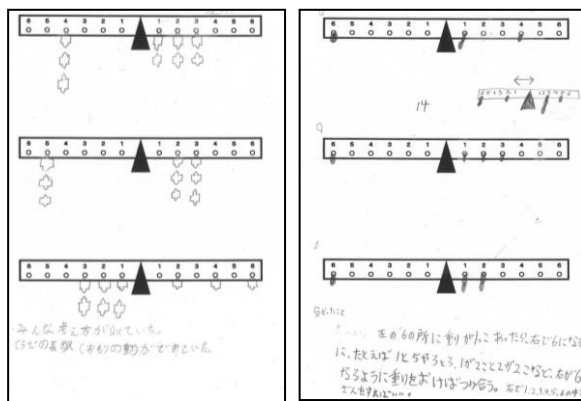


図 4 実験群でのステージ 4 の児童の表れ

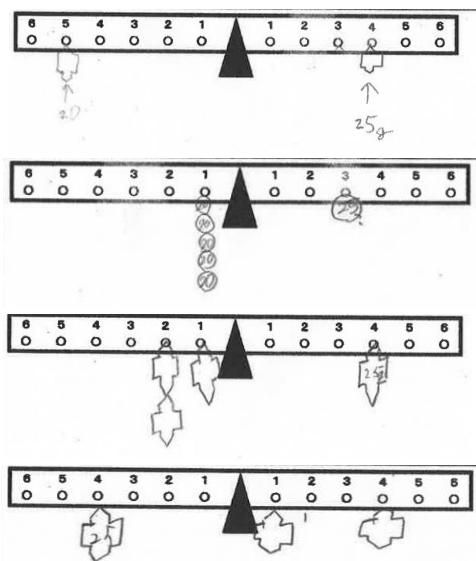


図 5 実験群での 25 g 秤の児童の表れの一部

⑥ステージ 4 : アーギュメント・セッションによるデータ再収集・再分析

ADI スタイルによれば、必要に応じてデータの再収集や再分析を行ってよいとされている。そこで、ここまでの学習と実生活を結びつけやすくするため、10 kg のおもりをできるだけ小さな力で持ち上げる方法を考え、検証する時間を設定した。てこのつり合いと関連付けて、「支点からの距離」についておもりをつるす位置 (作用点) は短くし、自分が力を加える位置 (力点) は長くすることで、小さな力で持ち上げることができるだろうと多くの児童が予想することができていた。この授業において、児童は科学的に問題解決した内容が実生活に汎用できることを実感することができた。図 6 が、この時の児童の表れの一部である。

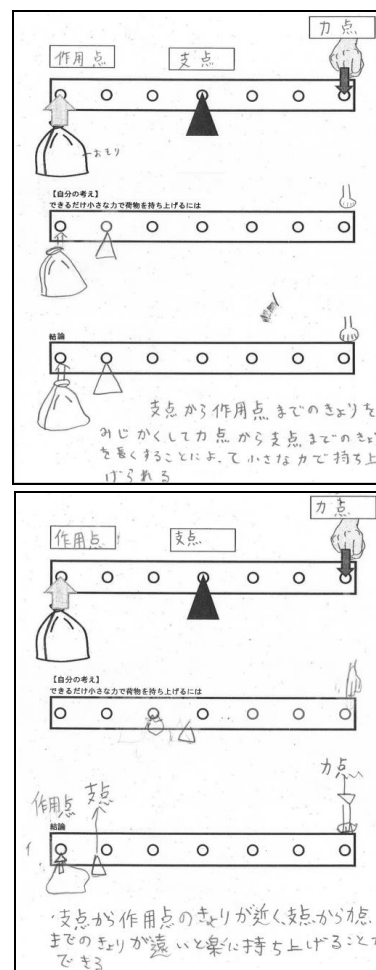


図 6 大型てこの授業での児童の表れの一部

⑦ステージ 5 : 明示的・内省的ディスカッション

本ステージでは、⑥で再収集・再分析したデータを基に、中核となる考えについて何を知っているかを説明する段階である。

そこで、身の回りに多く存在する、てこが活用されている道具について、支点、力点、作用点の位置を見出し、用途ごとに力点や作用点をどのようにするとよ

り良い使い方ができるか考える時間とした。ここでも（ア）と同様、児童は科学的に問題解決した内容が実生活に汎用できることを実感することができた。

A. 第1種のとこ

これまでの学習内容と最も関連付けやすい物である。支点をはさんで、その両側に力点と作用点がある。はさみやペンチ、釘抜きがこれに該当する。それぞれの道具の支点、力点、作用点がどこかを見出すとともに、作用点にはたらく力の大きさを大きくするためには、力点や作用点の位置をどのように変化させると良いかをこれまでの学習と関連付けて予想し、実際に確かめる授業を展開した。また、特に釘を打ったり抜いたりする経験が児童に不足していることから、全ての児童が釘を打ってから抜くまでの体験ができるようにした。図7が、この時の児童の表れの一部である。

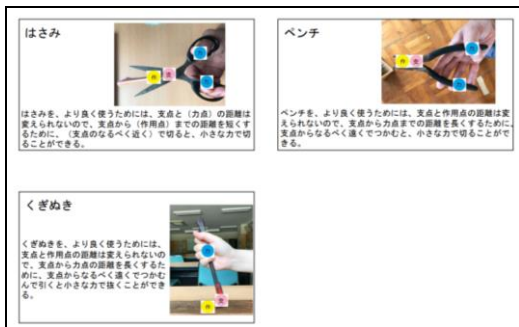


図7 第1種のとこの児童の表れの一部（実験群）

B. 第2種、第3種のとこ

この第2種、第3種のとこは支点が道具の端にあるため、てこのつり合いで学習した内容と関連付けるためには、難易度が高くなる。しかし、多くの児童は自分で力を加える場所が力点、物に力を加える場所が作用点と考え、支点、力点、作用点を見出すことができた。また、第2種のとこについては、支点からの距離を変化させて作用点に加える力の大きさをできるだけ大きくするという思考ができた。ただし、第3種のとこについては、支点から力点までの距離よりも作用点までの距離をあえて長くすることで、作用点に加わる力が小さくなり、繊細な作業をすることができることを考えられる児童が少なかった。道具を使えば、作用点に加わる力はすべて大きくなると考えてしまう児童が多かった。支点からの力点と作用点の位置関係により、どのような作業を行う道具なのかを考え、場合によっては作用点に加わる力を小さくするという多面的な思考がさらに深まるような単元構想が必要である。ただし、多面的な思考は小学校6年の1年間を通して大切にしたい理科の考え方であるため、他単元でも繰り返し発揮させる場面を作ることが重要である。ここでは、ピンセットを例に繊細な作業を行うことを実感

させるため、人工イクラをピンセットでつかむ場面を設定した。その結果、多くの児童が第3種のとこについて支点、力点、作用点の位置関係を理解し、より良い使い方を考えだすことができた。図8が、この時の児童の表れの一部である。



図8 第2種、第3種のとこの授業での児童の表れ

⑥ステージ6：インヴェスティゲイション・レポートの執筆

本ステージでは、「答えようとした問は何か、それはなぜか。」「問いに答えるために何をしたら、それはなぜか。」「あなたのアーギュメントは何か。」を中心として構成したレポートを執筆する。

そこで、ステージ1で出会った針金の現象について、これまでの学習内容と関連付けて説明する時間を設定した。その結果、多くの児童が「支点からの距離が変化することでつり合いが崩れた」というアーギュメントを記述することができていた。図9が、この時の児童の説明で使われたホワイトボードの一部である。

さらに、そのアーギュメントが他の現象にも転移させられるかを確認するために、ニンジンのように太さが一様でない棒をつり合わせた場合、つり合いの位置の左右で重さはどうなっているかを予想し、確かめる授業を展開した。この教材は、市川・鎬木¹⁰⁾によるものである。

予想の段階では、これまで科学的に問題解決してきた内容と関連付けて考えられていた児童は11名であった。この段階では、つり合うのであれば左右の重さは等しいと安易に思考してしまう児童がまだ多かった。予想が正しいかどうか実験し、その結果をこれまでの学習内容と関連付けて考察する場面では、多くの児童がてこ実験器を用いてモデル化して思考することができていた。図10が、この時の児童の表れの一部である。

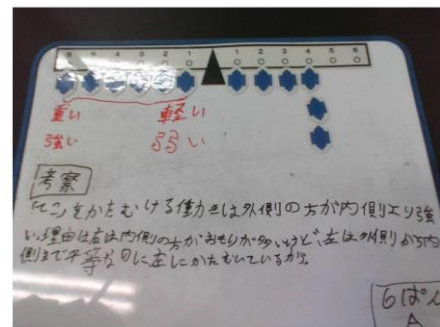


図9 児童の説明のホワイトボードの一部

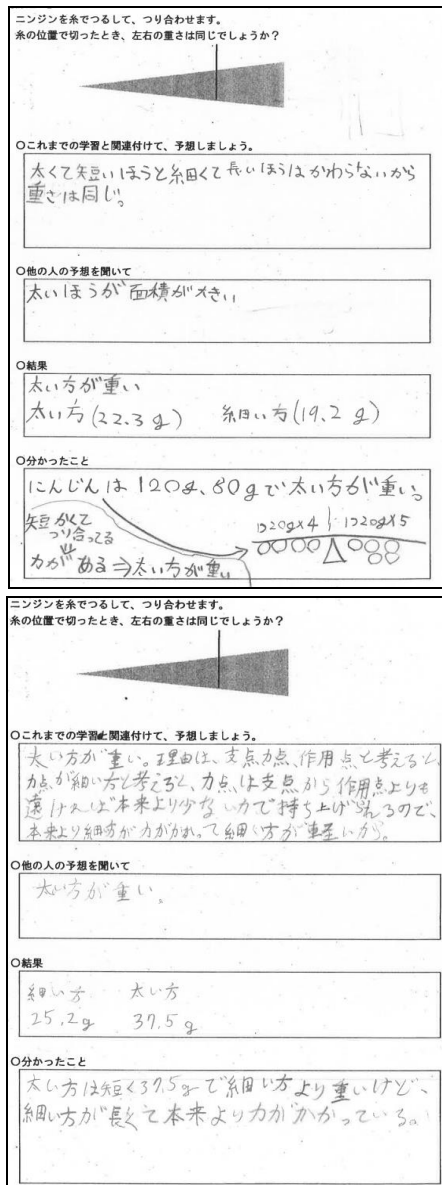


図10 ニンジンのつり合いでの児童の表れの一部

3-5. 統制群での実践

一方で、統制群の単元指導計画がADIモデルに当てはめた場合にどのようなステージ構成になるかを検討した。図11に、その構成を示す。なお、実験群と条件を揃えるため、統制群においてもステージ7と8は本実践では省略した。

このように、ADIモデルに対応させることも可能ではあるが、以下の2点が課題として挙げられる。

1点目は、単元導入課題に大型てこを教材として導入することは、単元を貫く問いにはなりにくく、単元終末のインヴェスティゲイション・レポートの執筆が難しくなることである。また、導入課題が特殊な事例であることから、一般化していく授業展開が難しくなる。

2つ目は、実験群では可能であったステージ4とステージ5をループさせるアーギュメンテーションの充

実が難しくなることである。以下、各時間の詳細を記す。

ステージ1 タスク、探究を方向付ける問いの同定	大型てこによる力点の力の变化の実体験
ステージ2 方法の設計、データの収集	てこ実験器を用い仮説の検証方法の立案及び検証
ステージ3 データ分析 暫定的なアーギュメントの開発	ステージ2での検証結果を基にした、てこのつり合いの規則性の導出
ステージ4 アーギュメント ・セッション	ステージ3で導いた規則性について、どのような場面でも成り立つかについての検証
ステージ5 明示的・内省的 ディスカッション	25gを判定する秤の設計 身の回りの、てこを活用した道具についての考察
ステージ6 インヴェスティゲイション・レポートの執筆	針金問題とニンジン問題について、単元の学習内容と関連付けて予想及び実験、考察
ステージ7 ダブルブラインド・グループによる相互評価	
ステージ8 インヴェスティゲイション・レポートの改訂と提出	

図11 統制群単元指導計画のADIモデルとの対応

①ステージ1：タスク、「探究を方向づける問い」(Guiding Question)の同定

一般的な「てこのはたらき」の単元の導入では、重い物体をできるだけ小さな力で持ち上げる方法を考え、検証する活動を実施する。この統制群の実践でも、この活動を導入として実施した。多くの児童たちは、試行錯誤しながら、支点からおもりをつるす位置(作用点)や自分が力を加える位置(力点)までの距離を変化させることで、おもりを持ち上げる力の大きさが変わっていくことを実感した。この過程において、「力点の手ごたえは支点から力点までの距離が関係している」「力点の手ごたえは支点から作用点までの距離が関係している」「力点の手ごたえは支点から力点までの距離と支点から作用点までの距離の両方が関係している」とグループによって仮説が3つに分かれた。ADIモデルではこのステージにおいて、教師がインヴェスティゲイションを行う現象を同定、生徒たちに、答えるべき「探究を方向付ける問い」を提供するとしていることから、3つの仮説のどれが正しいかを確かめることを「探究を方向づける問い」とした。

また、仮説を検証するためには「力点の手ごたえ」という実験者の主観によるものではなく「力の大きさ」という客観的な値で表す必要性に触れた。この「力の大きさ」をおもりの重さに置き換えることにつながりに難しさを感じる児童が多かった。この力の大きさの表し方を具体的にイメージしやすくすることと、大型てこをモデル化して考えるための道具として、てこ実験器を紹介し実験道具の話題とした。図 12 がこのときの児童の話し合いで使われたホワイトボードの一部である。

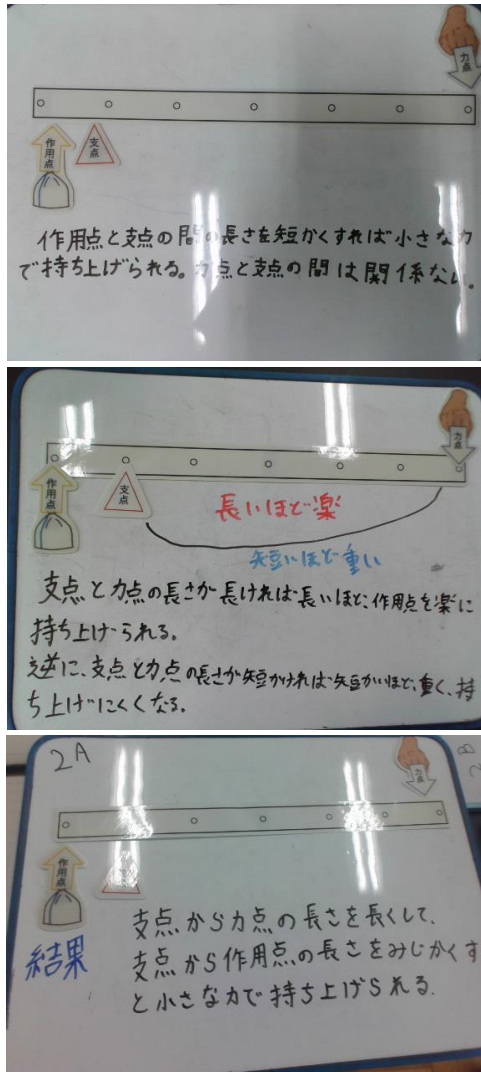


図 12 大型てこの話し合いのホワイトボードの一部

②ステージ 2：方法の設計、データの収集

ステージ 2 では、ステージ 1 で導き出した仮説を検証する方法を設計する。上記の仮説を検証するためには、「支点から力点までの距離」「支点から作用点までの距離」の 2 つの条件のどちらかを変化させずに調べる必要がある。この条件を制御することに難しさを感じる児童もいたため、ワークシートを作成して方法を設計しやすくした。この過程を通して、片方のうで

にかけるおもりの位置と重さの条件は変えず、もう片方のうでにかけるおもりの位置を変化させ、つり合う時のおもりの重さを調べればよいという展開となった。このように、条件を制御する力が活用できる場面を設定することで、その意義が実感できることとなった。この考えを学級全体で共有し、具体的な方法を考えていった。そして、左のうでは 1 の位置に 20 g のおもりを 6 個つるし、それとつり合わせるためには右のうでの条件がおもりの位置によってどのように変化していくかを調べるよう実験計画を立て、実験を実施した。この活動から、「力での力の大きさ」と「支点から作用点までの距離」の関係について関連付けて考えることができた。この時使用したワークシート及び児童の表れの一部が図 13 である。

位置	1	2	3	4	5	6
重さ(g)	120	120	10	40	40	40
つり合い		○	○	○	X	○

位置	1	2	3	4	5	6
重さ(g)	120	120	60	40	40	20
つり合い		○	○	○	X	○

図 13 ステージ 2 での児童のワークシートの一部

③ステージ 3：データ分析、暫定的なアーギュメントの開発

ステージ 2 での実験におけるデータ収集により、「力点の手ごたえは支点から力点までの距離と支点から作用点までの距離の両方が関係している」という仮説が正しかったというアーギュメントを導き出すことができた。また、この実験では、右のうでの 4 と 5 の位置におもりをつるした場合、おもりの数をどんなに変えてもつり合わせるができない。この位置でてこをつり合わせるためには、何 g のおもりをつるせば良いか考える過程を通し、てこがつり合う時のおもりの重さと支点からの距離にはどのような規則性がある

かを見つけ、それがどんな場合でも成り立つかを検証する時間にした。この段階では、算数科の学習で反比例を未習得であったために時間がかかったが、最終的にてこが釣り合う時は「支点からおもりまでの距離」と「おもりの重さ」の積が常に等しいことを見つけ出すことができた。

④ステージ4：アーギュメンテーション・セッション

本ステージでは、グループ内で児童一人一人が自分のアーギュメントを発表する。そこで実験群と同様、児童各自が自分のアーギュメントを発表しやすいよう、てこが釣り合うであろう条件を複数考え、その考えが正しいかグループ内で実際に確かめるようにした。その際、使うことができるおもりは20gのおもり10個までということとした。また、複数の位置におもりをかけても良いこととした。この結果、実験群と同様に児童から多様な考えが出されたが、複数の位置におもりをつるしてつり合わせる児童の数は、実験群より若干少なかった。図14が、この時の児童の表れの一部である。

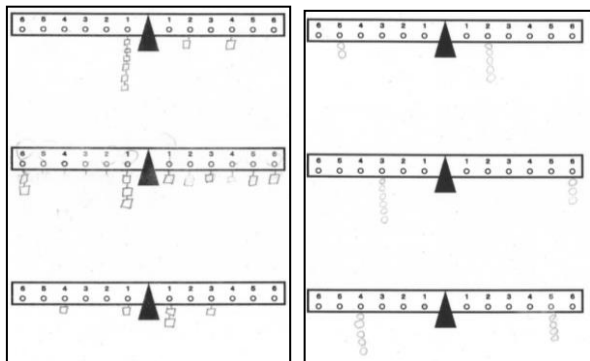


図14 統制群でのステージ4の児童の表れ

⑤ステージ5：明示的・内省的ディスカッション

本ステージでは、教師が生徒に対して中核の考えについて何を知っているかを説明するように求め、中核の考えがインヴェスティゲーションを行った現象を説明するのをどう助けるか、アーギュメントにおける証拠を正当化するためにこの考えをどう使えるか、考える。統制群においては、2つの学習をこのステージに位置づけた。

1つ目は、実験群と同様これまでの学習内容を活用すれば、重さの分からない物の重さを量ることができることを実感できるようにする時間にした。具体的には、物の重さが25gかどうかを確かめるための秤を設計し、実際に確かめるようにした。また、使うことができるおもりを20gの物のみという条件にした。統制群においては、8名の児童からは複数の位置に20gのおもりをつるする考えが出された。実験群では、そのような思考をした児童が14名であったため、統

制群の方が若干少ない人数である。

授業全体としては、25gかどうかを判定する物が正確に25gではない物もあり、「この物は25gより重い(又は軽い)」といった考えが出され、思考を深めることにつながった。図15が、この時の児童の表れの一部である。

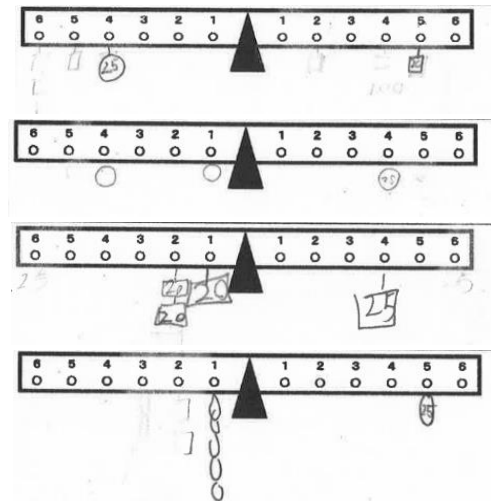


図15 統制群での25g秤の児童の表れの一部

さらに、中核となる考えについて何を知っているかを説明する2つ目の学習として、身の回りに多く存在する、てこが活用されている道具について、支点、力点、作用点の位置を見出し、用途ごとに力点や作用点をどのようにするとより良い使い方ができるか考える時間とした。ここでも1つ目の活動と同様、児童は科学的に問題解決した内容が実生活に汎用できることを実感することができた。

A. 第1種のとこ

実験群での授業と同様に、支点をはさんで、その両側に力点と作用点がある道具について、これまでの学習内容と関連付け、より良い使い方を予想して確かめる内容を実施した。この時間の児童の表れは、実験群とほぼ同じであった。図16が、この時の児童の表れの一部である。

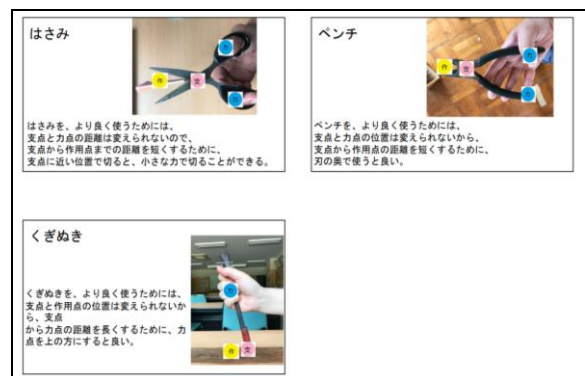


図16 第1種のとこの児童の表れの一部(統制群)

B. 第2種、第3種のでこ

支点が道具の端にあることで学習内容との関連付けた思考が難しくなる第2種、第3種のでこについて、実験群と同様の内容を実施した。多くの児童が自分で力を加える場所が力点、物に力を加える場所が作用点と考え、支点、力点、作用点を見出すことができたことも、実験群と同様である。また、第2種のでこについては、支点からの距離を変化させて作用点に加える力の大きさをできるだけ大きくするという思考ができた。さらに、統制群においては、缶つぶしについてできるだけ小さな力で缶をつぶすためには、どのように改良すると良いかまで考える児童もいた。

第3種のでこについては、実験群と同様、支点から力点までの距離よりも作用点までの距離をあえて長くすることで、作用点に加わる力が小さくなり、繊細な作業をすることができることを考えられる児童が少なかった。道具を使えば、作用点に加わる力はすべて大きくなると考えてしまう児童が多かった。支点からの力点と作用点の位置関係により、どのような作業を行う道具なのかを考え、場合によっては作用点に加わる力を小さくするという多面的な思考がさらに深まるような単元構想が必要である。ただし、多面的な思考は小学校6年の1年間を通して大切にしたい理科の考え方であるため、他単元でも繰り返し発揮させる場面を作ることが重要である。ここでは、ピンセットを例に繊細な作業を行うことを実感させるため、人工イクラをピンセットでつかむ場面を設定した。その結果、多くの児童が第3種のでこについて支点、力点、作用点の位置関係を理解し、より良い使い方を考えることができた。図16が、この時の児童の表れの一部である。

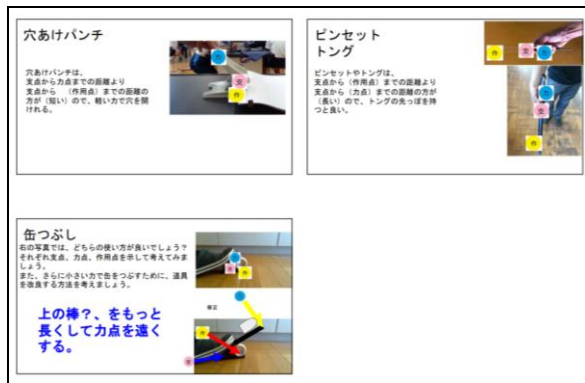


図17 第2種、第3種のでこの授業での児童の表れ

⑥ステージ6：インヴェスティゲイション・レポートの執筆

本ステージでは、「答えようとした問は何か、それはなぜか。」「問いに答えるために何をしたか、それはなぜか。」「あなたのアーギュメントは何か。」を中心として構成したレポートを執筆する。

そこで、児童の思考を実験群と比較するため、同様の活動を2つ実施した。

1つ目は、つり合っているまっすぐな針金の片方を半分に曲げると、つり合いがどうなるかを予想し、実験、考察をする活動である。統制群では、12名の児童が学習内容と関連付けた正しい予想ができていた。そして、予想が正しいかどうか検証し、実験結果をこれまでの学習内容と関連付けて説明する時間を設定した。その結果、多くの児童が「支点からの距離が変化することでつり合いが崩れた」というアーギュメントを記述することができていた。

2つ目は、そのアーギュメントが他の現象にも転移させられるかを確認するために、ニンジンのように太さが一様でない棒をつり合わせた場合、つり合いの位置の左右で重さはどうなっているかを予想し、確かめる授業を展開した。予想の段階では、これまで科学的に問題解決してきた内容と関連付けて考えられていた児童は11名であった。この段階では、つり合うのであれば左右の重さは等しいと安易に思考してしまう児童がまだ多かった。予想が正しいかどうか実験し、その結果をこれまでの学習内容と関連付けて考察する場面では、多くの児童がてこ実験器を用いてモデル化して思考することができていた。図17が、この時の児童の表れの一部である。

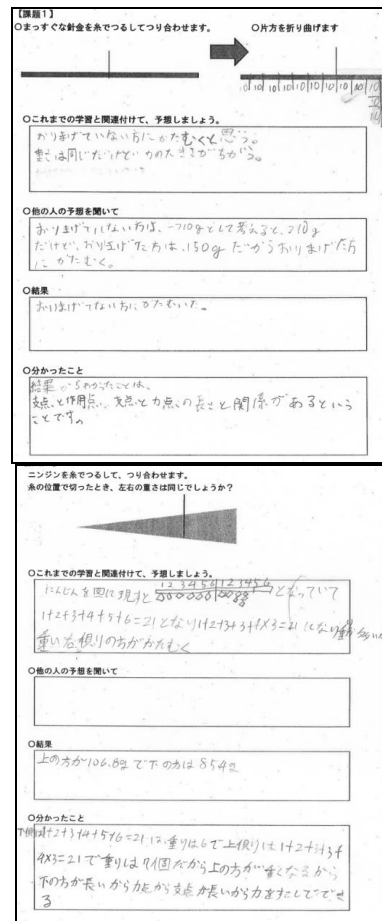


図18 ステージ6での児童の表れの一部

4. 結果

4-1. パフォーマンス課題

単元途中及び単元終末におけるパフォーマンス課題①～③での、実験群と統制群の比較を表3に示す。

表3 パフォーマンス課題に対する両群の比較

	実験群	統制群
パフォーマンス課題①において複数のパターンを考えることができた児童数	27	22
パフォーマンス課題②においておもりを複数箇所につるすパターンを考えることができた児童数	13	8
パフォーマンス課題③において予想の段階で単元の学習と関連付けた思考ができた児童数	11	4
パフォーマンス課題③において考察の段階で単元の学習と関連付けた思考ができた児童数	22	21

4-2. 単元学習直後の定着度調査の正答数

ここでは、平成26年度実施の浜松市新学力調査⁷⁾より「てこのはたらき」の問題を活用した。この問題の概略及び両群の正答数を表4に示す。

表4 単元学習直後の定着度調査結果

	実験群	統制群
実験計画における条件を制御する力	8	17
モビールアートへの活用	23	16
支点・力点・作用点の理解	21	23
てこのはたらきのトンガやとげ抜きへの活用	17	16
てこのはたらきの釣り竿への活用	25	24

4-3. 単元学習2カ月後の定着度調査

1問目は、科学的思考力がどの程度他の単元に活用できるか調査するために、平成30年度実施全国学力・学習状況調査¹¹⁾より「流れる水のはたらき」の単元の問題を活用した。この問題の概略及び両群の正答数を表5に示す。

2問目は、山田・小林の研究¹²⁾を参考にした図18のてこのつり合いの問題における児童の思考を比較した。問題概略及び両群の比較を表6に示す。

3問目は、4-2と同様の問題を含む平成26年度実施の浜松市新学力調査⁷⁾より「てこのはたらき」の問題を使用し、単元の学習内容が長期的に活用可能となっているか調査した。この問題の概略及び両群の正答数を表7に示す。

さらに、この調査の最後に「条件を制御する意義」及び「てこの活用」について自由に記述させた。「条件を制御する意義」について正しく認識していた児童数と、「てこの活用」について「支点」「力点」「作用点」の3つの言葉を使い適切に記述できていた児童数を表8に示す。

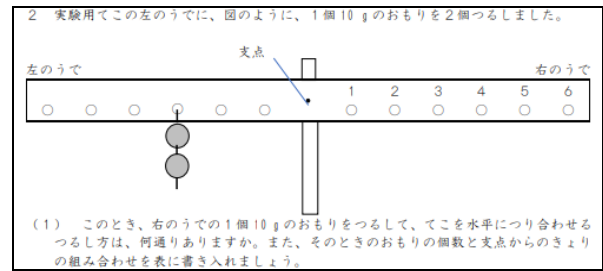


図19 4-3②の問題詳細

表5 「流れる水のはたらき」の問題概略及び結果

	実験群	統制群
「たい積」という言葉の理解	17	20
予想が確かめられた場合に得られる結果を見通して実験を構想する力	17	17
より妥当な考えをつくり出すために、実験結果を基に分析して考察し、その内容を記述する力	10	6

表6 4-3②における両群の比較

	実験群	統制群
右のうでの1箇所におもりをつるすつり合いのパターンを全て考えられていた児童数	17	11
右のうでの複数箇所におもりをつるすパターンを考えられていた児童数	18	14

表7 「てこのはたらき」に関する問題概略及び結果

	実験群	統制群
実験計画における条件を制御する力	11	11
大型てこにおけるてこのはたらきの理解	10	6
てこのはたらきのトンガやとげ抜きへの活用	12	11
てこのはたらきの釣り竿への活用	16	19

表8 調査問題最後の自由記述結果

	実験群	統制群
条件を制御する意義について正しく認識して記述できていた児童数	4	3
てこを利用した道具の使用について「支点」「力点」「作用点」を使い適切に記述できていた児童数	17	9

4-4. 理科学習についての意識調査

平成30年度実施の全国学力・学習状況調査及び大多和・木下¹³⁾の研究を参考に、以下の質問項目で理科学習についての意識調査を4件法で実施した。各質問項目において、実践前後に肯定的な回答をした児童数を示す。

表 9 実践前後の意識調査の結果

	実験群		統制群	
	前	後	前	後
理科の授業では、自分の予想をもとに観察や実験の計画を立てていますか。	24	25	30	31
理科の授業で、観察や実験の結果から、どのようなことが分かったのか考えていますか。	28	28	31	32
理科の授業で、自分の考えをまわりの人に説明したり発表したりしていますか。	19	17	20	22
理科の授業で、観察や実験の進め方や考え方が間違っていないかを振り返って考えていますか。	21	23	27	27
理科の授業で学習したことを普段の生活の中で活用できないか考えますか。	17	21	22	20
理科の授業で学習したことは、将来、社会に出たときに役に立つと思いますか。	25	27	29	29
観察・実験の前で、何を比較すればよいかを考えるようにしていますか。	24	27	28	29
観察・実験の前で、何が変化するのかを考えるようにしていますか。	27	27	30	31
観察・実験を計画するときに、変える条件が何かを考えるようにしていますか。	25	24	29	32
観察・実験を計画するときに、変えない条件が何かを考えるようにしていますか。	27	27	29	30

5. 考察

これより、表 3～8 のそれぞれの項目においてカイ二乗検定を実施し、その p 値が 5%水準で有意差が見られた点について論じる。

表 3 において、パフォーマンス課題③での予想の段階で p 値が 0.021 であった。また、表 4 においてもそれぞれの項目でカイ二乗検定を行った結果、モバイルアートへの活用について p 値が 0.017 であった。この結果から、ADIPS に沿った単元構成で授業を実施することは、未知の課題について学習内容と関連付けて解決する力を高めることに効果があると考えられる。

また、表 8 の 2 つ目の項目について p 値が 0.016 であった。このことから、実験群に科学的な思考を記述する力が向上していることが分かる。表 5 の 3 項目において「より妥当な考えをつくりだすために、実験結果を基に分析して考察し、その内容を記述する力」の問題を適切に解答できた児童が実験群に多くなっていることから、科学的な記述についての質的向上が見られる。

一方で、表 4 の定着度調査 1 項目を見ると、条件を制御する力においては、実践直後には統制群に正答した児童が多くなっている。検定の結果の p 値は 0.043 であり、統計的に有意差が認められる。これは、統制群の実践省察②のように、授業展開から条件を制御する場面が多くなったことが影響していると考えられる。

このことから、習得した理科の考え方を活用する場面を設定することで、その力が向上することが分かる。ただ、表 7 の 2 か月後の定着度調査 1 項目を見ると、統制群の正答数が実践直後に比べて大きく減少している。つまり、一旦習得した考え方も、繰り返し活用する場面を設定し、継続していかなければ、その力は定着しないことを示している。また、条件を制御する意義について正確に認識できている児童が少ないことも、表 8 の結果が表している。

理科学習の意識調査においては、肯定的な回答をした児童の数が、実践前後において、実験群、統制群ともに大きな変化がない。実践前から、各項目において肯定的な回答をしている児童が多かったことで、大きな変化がなかったと考えられる。ただ、質問項目 5 番目「理科の授業で学習したことを普段の生活の中で活用できないか考えますか」について、統制群の肯定的な回答の割合が低いことから、この点の改善が必要である。

6. おわりに

6-1. 成果

今回の実践において、小学校 6 年の物理分野を ADI モデルで実施することは、科学的に問題を解決するために必要な力の一部の向上には有効であることが検証できた。特に、未知の課題についてこれまでの学習内容と関連付けて科学的な解決の方法を考えたり、その考えを記述したりする力の向上に有効であることが確かめられた。統制群においても、授業実践の各時間の中ではそれらの力が発揮できる部分があった。しかし、その力の向上のためには、単元を貫く探究課題を設定し、その解決に向けて繰り返し技能として発揮させる場面を設定していくことが必要であることを、本研究の結果が示している。

6-2. 課題

一方で、本研究においては科学的に問題を解決するために必要な力の一部のみしか検証されなかった。特に、理科の考え方の中で大切な「条件を制御する力」については、本研究では活用する場面が少なく、その効果を検証するには至らなかった。また、科学的問題解決に必要な考え方一つ一つを向上させることは可能であるが、それらを統合して科学的に問題を解決し、その全体像や意義を理解することには、一つの単元では活用の場面が少ないため、その検証にはさらなる時間が必要である。今後は、その点を組み込んだ単元構想の作成が課題である。

附記

本研究における「2. 研究の手立て」「3-2. 研究方法」「3-3. 実践前の児童の実態」「4. 結

果」の一部については、日本理科教育学会第 66 回東海支部大会において発表したものである。

引用・参考文献

- 1) 福田成穂・中村泰輔 (2016) 「高校生が有する Nature of Science Inquiry の理解の実態－VASI アンケートを用いた調査から」『日本科学教育学会研究会研究報告』Vol. 30, No. 6, pp. 55-60
- 2) Jonathon Grooms, Patrick J. Enderle, Todd Hutner, Ashley Murphy, Victor Sampson (2016) 『Argument-Driven Inquiry in Physical Science』National Science Teachers Association
- 3) 中村泰輔 (2021) 「理科教育における NOSI (Nature of Scientific Inquiry) の理解を促す指導法の特質」『理科教育学研究』Vol. 62, No. 1, P297-307
- 4) 鈴木宏昭 (2016) 「理科における資質・能力の育成を志向した授業実践－Nature of Science の教授アプローチをもとに－」『日本科学教育学会研究会研究報告』Vol. 31, No. 4, pp. 107-110
- 5) 中村泰輔 (2020) 「中学校理科物理分野のオンライン授業における NOSI に関する指導の試み」『日本科学教育学会第 44 回年会論文集』pp. 443-446
- 6) 泉直志 (2017) 「科学学習におけるアーギュメンテーションの位置」大高泉編『理科教育基礎論研究』共同出版 pp. 163-180
- 7) 浜松市教育委員会 (2014) 「平成 26 年度浜松市新学力調査」(問題非公開)
- 8) 伊藤啓太 (2015) 「習得した知識を活用し、論理的に思考する力を高めるための授業展開の工夫－小 6 『てこのはたらき』の実践から』『平成 27 年度研究員研修研究のまとめ』浜松市教育センター、pp. 14-17
- 9) 高橋修 (2013) 「パフォーマンス評価による科学的思考力評価方法の開発と副次的効果の検証－6 学年 『てこのはたらき』の単元を通して－」『日本理科教育学会全国大会要項』(63), pp. 247
- 10) 森田和良 (2010) 「“まごの手”でも、『てこのきまり』は通用する？」市川伸一、鏑木良夫編『教えて考えさせる理科 小学校 基礎基本の定着・深化をはかる習得型授業の展開』図書文化、pp. 102-108
- 11) 文部科学省 (2018) 『全国学力・学習状況調査問題小学校理科』
- 12) 山田貴之・小林辰至 (2017) 「児童自らの変数の同定と仮説設定を行わせる指導が『てこの規則性』に関する科学的知識の理解に与える効果－算数の反比例の知識に基づいて－」『上越教育大学研究紀要』第 36 巻、第 2 号、pp. 555-564
- 13) 大多和浩弥・木下博義 (2014) 「中学校理科における科学的能力の育成に関する基礎的研究－科学的な疑問を認識する力に着目して－」『理科教育学研究』Vol. 55, No. 3, pp. 265-277