検証計画の立案に基づく
カリキュラム・マネジメントに関する研究
―― 反証例を扱う思考の枠組と計画シートの考案 ――

益 田 裕 充・斎 藤 剛 志・藤 本 義 博
半 田 良 廣・神 知 己

Research on Learning and Development Process for Curriculum Management Based on Verification Planning in Science Class

Hiromitsu MASUDA, Tsuyoshi SAITO, Yoshihiro FUJIMOTO,
Yoshihiro HANDA and Tomoki JIN

群馬大学教育学部紀要　自然科学編
第 67 巻　39—48 頁 2019 別刷

検証計画の立案に基づく カリキュラム・マネジメントに関する研究

―― 反証例を扱う思考の枠組と計画シートの考案 ――

益田裕充[1)]・斎藤剛志[2)]・藤本義博[3)]
半田良廣[4)]・神　知己[5)]
1）群馬大学教育学部理科教育講座
2）前橋市立南橘中学校
3）岡山理科大学
4）元埼玉県羽生市立南小学校
5）高崎市立中央小学校
（2018 年 9 月 26 日受理）

Research on Learning and Development Process for Curriculum Management Based on Verification Planning in Science Class

Hiromitsu MASUDA[1)], Tsuyoshi SAITO [2)], Yoshihiro FUJIMOTO[3)],
Yoshihiro HANDA[4)] and Tomoki JIN[5)]
1）Department of Science Education, Faculty of Education, Gunma University
Maebashi, Gunma 371-8510, Japan
2）Nankitu Lower Secondary School
3）Okayamarika University
4）Formerly Hanyu Minami Elementary School
5）Takasaki Chuou Elementary School
（Accepted on September 26th, 2018）

1　思考の枠組としての「検証計画の立案」の課題

平成 29 年 3 月に改訂された新学習指導要領では，「見方・考え方を働かせ」資質・能力を育成することとされた。これを受け, 総則・評価特別部会では, 前述の「考え方」を「思考の枠組」としている[1)]。これまで , 理科における「思考の枠組」を指摘したものとして，例えば，平成 27 年度全国学力・学習状況調査の結果を受け，同報告書は「課題に正対した実験を計画することに課題がある」，「予想が一致した場合に得られる結果を見通して実験を構想することに課題がある」等を挙げている。こうして理科の「思考の枠組」のひとつは，探究の各過程の関係の成立として示されてきたのである。

さらに同報告では，探究の過程について，「検証計画の立案」に課題があることを指摘している[2)]。この指摘を受け，平成 27 年度全国学力・学習状況

調査の調査結果を踏まえた指導の改善・充実に向けた説明会で，「検証計画の立案に関する指導の留意事項」として，国立教育政策研究所から「独立変数と従属変数で捉える」，「妥当性を検討する」，「仮説が不成立であった場合，仮説の見直しを行い新たな仮説を立てる」といった質的な面での充実に向けた提案がなされている[3)]。

益田（2013）は，「検証計画の立案は，予想を確かめるための計画がなされなくてはならない」と，探究の各過程の関係の中で成立する思考の枠組の重要性を指摘しており，予想・仮説と検証計画の立案の関係を成立させる「思考の枠組」の成立の重要性を具体的に指摘している[4)]。

また，学習指導要領の改訂を受け，思考の枠組と関連させ，小林は，学習過程を重視することの必要性を指摘している[5)]。

2　研究の背景

2.1　4枚カード課題

予想を確かめる方法として，心理学においてウェイソン，ジョンソン・レイヤードらによる4枚カード課題がある。これは図1の通り，大文字のA，小文字のe, 奇数の5, 偶数の8がそれぞれ書かれたカードがあり，この4枚の中で「表に大文字が書いてあれば，裏は必ず奇数である」という予想が正しいかどうかを調べるためにはどのカードをめくればよいか？という課題である（この場合の「裏」とは表側の反対面をさす）。

この答えは，Aと8のカードをめくるである。その解釈は図2に示す通りである。つまり，「表に大文字が書いてあれば，裏は必ず奇数である」という説を確かめるためには, 正事例「大文字の裏は奇数」と反証例①「大文字の裏は偶数」および反証例②「偶数の裏は大文字」を調べる必要がある[6)]。

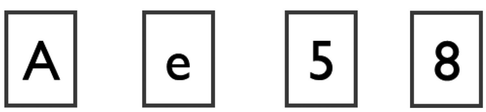

図1　4枚カード課題の実際

図2では予想が正しいかどうかを調べるために，実際に提示されているカードをそれぞれめくった際に考えられる解釈と，その行為の必要性を「必要」「必要ない」として検討している。

図2　4枚カードをめくる解釈

2.2　4枚カード課題と理科授業との関連

また，小学校理科の観察・実験の手引きには，課題解決の能力を育むための探究の過程が，8つのステップで示されてきた[7)]。

これらを4枚カード課題と対応させると，「表に大文字が書いてあれば，裏は必ず奇数である」という説は，理科授業における予想・仮説の設定の過程

に該当する。また，正事例・反証例①・反証例②を調べる必要があることを考えることや，それを確かめるためにどのような操作を行えばよいか考える過程は，検証計画の立案の過程に該当する。つまり，前述の指摘に従えば，仮説が正しいかどうかを調べるためには，正事例と反証例①および反証例②を調べ検証計画を立案する必要があるとも考えられる。そこで，探究の過程に前者の指摘を関係づけると表1の通りとなる。

表1　4枚カード課題と探究の過程との対応

4枚カード課題	探究の過程
「この4枚のカードに規則性はあるかな？」	課題
「表に大文字が書いてあれば，裏は必ず奇数である」	予想・仮説
A　大文字の裏は奇数 （正事例） B　大文字の裏は偶数 （反証例①） C　偶数の裏は大文字 （反証例②） ↓ ・「A」のカードをめくれば確かめられる ・「8」のカードをめくれば確かめられる	検証計画の立案
観察・実験1 「A」のカードをめくる 観察・実験2 「8」のカードをめくる	観察・実験

2.3　先行の諸研究

前述した正事例と反証例①および反証例②を取り上げる点に着目した先行研究として，藤本・半田・益田・馬場（2016）の研究がある。藤本らは，検証計画の立案で予想を立証・反証するためには，正事例（予想通りになっている例）と反証例（予想通りになっていない例）の両方が考えられなくてはいけないことを指摘し授業を分析した。その結果として，

1）反証例に視点を当てた検証計画の立案が行われている授業はほとんどないこと。反証例①の観点からでさえ検証計画を立案できないことが多く，かつ反証例②は，観察・実験として実現不可能な立案となることがあり，反証可能性の吟味が十分に為される必要があること

2）教師や子どもに何が反証例にあたるのかを捉えさせるための方略が求められること

を指摘した[8)]。

これらの結果から，理科授業の全てに反証例が当てはまるわけではなく，反証例を理科授業で扱うには，どのような学習で反証例を扱うことができるかがその課題であるとして示された。

さらに，藤本らの研究では，表2の通り反証例②の実験を行うことができないと位置づけられている授業例を示している。

表2　反証例②の実験を行うことができない例

仮説「電圧が電気の働きに影響する条件である」			
電圧を変えたとき電気の働きが変化する	正事例	電圧を変えても電気の働きは変化しない	反証例①
電気の働きを一定にしたとき電圧が変化する	反証例②		

しかし，指摘された表2の授業例は，仮説が反証例を扱うために変形させられる可能性がある。そのため，仮説がその過程において適切なものであるということを前提に，反証例を検討していく必要がある。このように，仮説を変更することなく適切な検証計画が検討される必要がある。そこで，本研究は反証例を扱うことが可能である学習内容がどのようなものか教科書中に掲載されている実験を取り上げ検討することとした。

3　研究の目的

教科書に掲載された実験を対象に，課題から実験

までの授業構想を行い，反証例②の実験を行うことが可能な授業を抽出する。これを反証例②の実験を行うことができない授業と比較することで，反証例②の実験を行うことができる条件を考察する。この条件をもとに，教師が「検証計画の立案」を構想するための「反証例計画シート」を考案し，その有効性を考察する。

4　研究の方法

反証例②が実験として成立する授業とはどのようなものか。小学校第6学年の教科書中の全授業から，課題から検証計画の立案までの局面を構想し，反証例②の実験を行うことができる授業とできない授業を検討した。特に，A社の教科書中に掲載されている課題を抽出し，調査の対象とした。さらに，両者を比較し，反証例②の実験を行うことができる条件を考察した。

次に，教師が「検証計画の立案」の授業を展開する際に用いるシートを考案し，そのシートの有効性を考察した。

5　検証結果および考察

5.1　検証の対象として抽出した理科授業

まず，反証例が成立したり，しなかったりする典型的な授業を抽出した。抽出した小学校第6学年の授業の単元は次の通りとなった。

①小学校第6学年　水溶液の性質
②小学校第6学年　電気の利用
③小学校第6学年　ものの燃え方と空気
④小学校第6学年　てこの仕組みと働き

小学校第6学年の教科書中に課題として捉えることのできる記述は全部で35箇所あった。それら35の課題から考えられる予想・仮説から検証計画の立案として反証例を取り上げる可能性について検討できる前述の4事例の授業を抽出し，課題と予想・仮説を表3にまとめた。

表3　課題とそれに正対した予想・仮説の一部

課題	予想・仮説
①AからDの4つの水溶液の中に，金属を溶かすものがあるだろうか	・Bは金属を溶かす
②電熱線に電流を流して，発熱するのだろうか	・電熱線に電流が流れると発熱する
③ものを燃やす働きのある気体は何だろう	・ものを燃やす働きのある気体は酸素である
課題	予想・仮説
④実験用てこを使って，力点に加える力と作用点で働く力の関係を説明しよう	・作用点と支点の距離を変化させれば，力点で加える力の大きさが変化する

5.2　反証例を適切に扱えない事例

表3の①から③は反証例が扱えない事例であった。それぞれ，表4，表5，表6に表3の3つの事例の分析結果を示した。

表4　反証例が適切に扱えない事例①（ケース1）

課題	AからDの4つの水溶液の中に，金属を溶かすものがあるだろうか
仮説	Bは金属を溶かす
正事例	・Bは金属を溶かす
反証例①	・Bは金属を溶かさない
実験①	【Bは金属を溶かすか調べる】
反証例②	・金属を溶かさないBがある
実験②	【金属を溶かさないBがあるか調べる】

表4の場合，Bの性質は「金属を溶かす」か「金属を溶かさない」かのどちらかである。そのため，正事例と反証例②の両方とも成り立つ場合の「Bは基本的には金属を溶かすが，溶かさない場合もある」といった結論にはなりえないため，反証例②としての実験②は行う根拠がない。このような場合をケース1とした。

表 5　反証例を適切に扱えない事例②（ケース 1）

課題	電熱線に電流を流して，発熱するのだろうか
仮説	電熱線は電流を流すと発熱する
正事例	・電熱線に電流が流れると発熱する
反証例①	・電熱線に電流が流れても発熱しない
実験①	【電熱線は電流を流すと発熱するか調べる】
反証例②	・電流を流しても発熱しない電熱線がある
実験②	【電流を流しても発熱しない電熱線があるか調べる】

次に，表 5 の事例は表 4 のケース 1 と同じ事例である。電熱線の性質は「電流を流すと発熱する」か「電流を流しても発熱しない」かのどちらかである。そのため，正事例と反証例②の両方とも成り立つ場合の,「電熱線は基本的には電流を流すと発熱するが,発熱しない場合もある」といった結論にはなりえないため，実験②は行う根拠がない。

次の表 6 は，これらとは異なる反証例を扱えない事例として抽出した。

表 6 は，予想・仮説が「ものを燃やす働き」と「酸素」の関係についてであるのに対して，実験は「ものを燃やす働き」と「酸素」のほかに「ものを燃やす働き」と「酸素以外の気体」について行うこととなる。実験は何を対象にしてどこまで行うのかといった対象の問題が生じた。このような場合をケース 2 とした。

表 6　反証例を適切に扱えない事例（ケース 2）

課題	ものを燃やす働きのある気体は何だろう
仮説	ものを燃やす働きのある気体は酸素である
正事例	・ものを燃やす働きのある気体は酸素である
反証例①	・ものを燃やす働きのある気体は酸素ではない
実験①	【酸素にはものを燃やす働きがあるか調べる】
反証例②	・酸素ではない気体にものを燃やす働きがある
実験②	【酸素以外の気体（二酸化炭素等）にものを燃やす働きがあるか調べる】

5.3　反証例を扱える事例

小学校第 6 学年の教科書中の全 35 の課題に対して，反証例が①および②ともに扱えると考えられる表 3 の④の授業例とその条件を表 7 に示した。

表 7　反証例を適切に扱える事例

課題	実験用てこを使って，力点に加える力と作用点で働く力の関係を説明しよう
仮説	作用点と支点の距離を変化させれば，力点で加える力の大きさが変化する
正事例	・作用点と支点の距離を変化させれば，力点で加える力の大きさが変化する
反証例①	・作用点と支点の距離を変化させても，力点で加える力の大きさが変化しない
実験①	【作用点と支点の距離を変化させたとき，力点で加える力の大きさが変化するか調べる】
反証例②	・力点で加える力の大きさを変化させないとき，作用点と支点の距離が変化する
実験②	【力点で加える力の大きさを 10N にしたとき,作用点と支点の距離が変化する】

仮説を，独立変数として「作用点と支点の距離」と，従属変数として「力点で加える力の大きさ」の関係を扱う表現とした。また,その仮説の表現は「独立変数を変化させれば従属変数が変化する」とした。このような仮説が設定できる場合，反証例が扱える可能性がある。さらに，仮説の設定に伴い，課題と実験の設定にも一定の条件があることが分かった。課題は「従属変数の変化は何に関係しているか」を問うものである。実験②は，何をどのようにすることで調べるのかという点を明確にするために，「従

属変数を変化させないとき」を「従属変数を○○としたとき」とするとよいことが分かる。

5.4　反証例を検証できる授業の条件

このように，反証例がうまく扱えない事例と扱える事例から反証例②まで扱える実験が成立する条件を考察すると次の通りとなる。

【条件（1)】課題が「従属変数」の変化は「何(独立変数)」によるものなのかを問うものであること。

【条件（2)】仮説が「独立変数」を変化させれば，「従属変数」が変化するというものであること。

【条件（3)】仮説は「独立変数」の数だけ挙げられること。

【条件（4)】仮説と実験で調べる対象が正対していること。

【条件（5)】反証例②を扱う実験②は「従属変数」をどのようにするのかを，具体的に設定する必要があること。

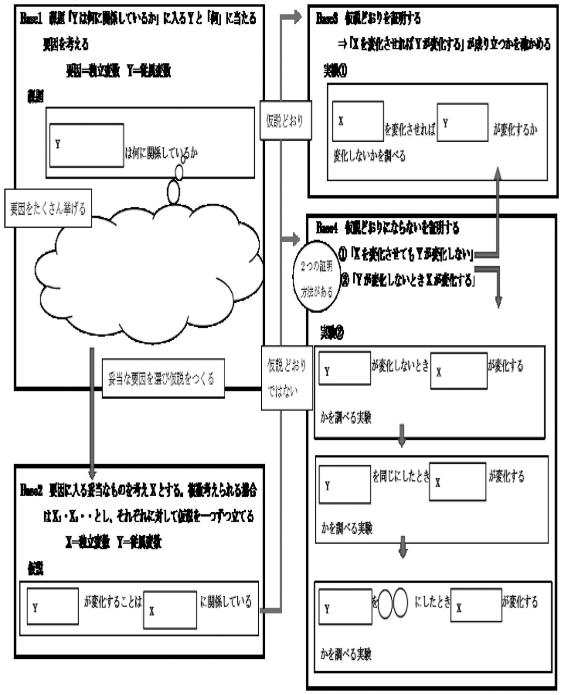

図3　反証例計画シート

6　反証例計画シートの考案

そこで，抽出された条件を満たす（課題から検証計画を立案する過程を構想する）ためのシートを図3の通り作成した。シート中は，授業者が手順に従うことで設定できる，4つのBaseとして組み込み考案した。

このシートの詳細について，それぞれのBaseごとに図4，図5，図6，図7に示した。

Base1として，仮説を導きやすい課題の設定をするステップを設けた。課題文の「Y」の空欄に「従属変数」を入れることで，課題文が設定できる。「従属変数」を「Y」とすることで，以降のBase2～4で，「Y」の空欄にそのまま同じものを書き込むことで，授業の構想を進めることができるようにした。次に，課題文の「何」に該当すると考えられる「要因」をできるだけ多く挙げさせる。前述の【条件（1)】課題が「従属変数」の変化は「何（独立変数)」によるものなのかを問うものである，を組み込んだシートとなっている。

図5のBase2として，反証例②の実験を行うこと

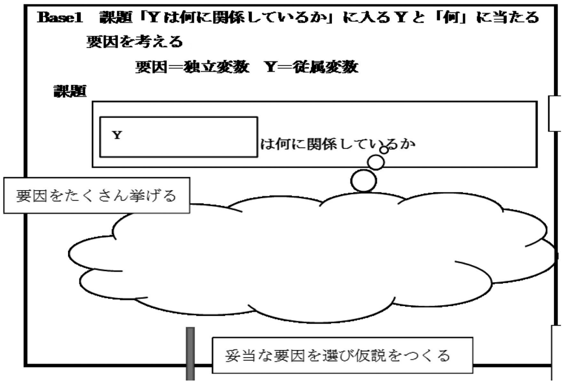

図4　Base1の過程

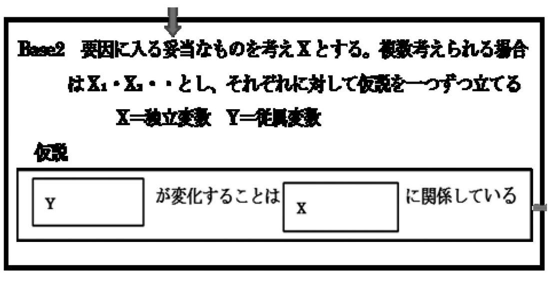

図5　Base2の過程

ができる仮説を設定する。「X」に独立変数，「Y」に従属変数を入れることで仮説が設定できる。「Y」には，Base1 で入れたものをそのまま当てはめる。「X」には，Base1 で挙げた「要因」の中でより妥当なものをいくつか選び当てはめる。「X」の数だけ仮説は立てられることとなるため，Base2 以降は，その数だけシートを用いることになる。

これは，【条件（2)】の「仮説が「独立変数」を変化させれば,「従属変数」が変化する」,【条件（3)】「仮説は「独立変数」の数だけ挙げられる」を組み込んだものとなっている。

図 6 の Base3 として，仮説通りになる場合（正事例）を確かめるために行わなければならない実験①がどのようなものになるかを考える。Base1，2 で用いた「X」，「Y」を当てはめることで，正事例を確かめる実験①を設定できる。これは，【条件（4)】仮説と実験で調べる対象が正対している，を組み込んだものとなっている。

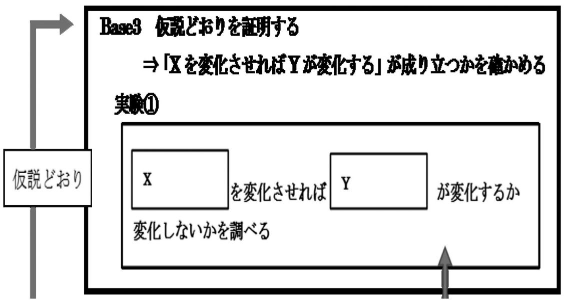

図 6　Base3 の過程

図 7 の Base4 として，仮説通りにならない場合（反証例①）を確かめるためには実験①を行う必要があることを確認する。また，仮説通りにならない場合（反証例②）を確かめるために行わなければならない実験②がどのようなものになるかを考える。ここで，Base3 同様に，Base1，2 で用いた「X」，「Y」を当てはめることで，反証例②を確かめる実験②を設定できる。さらに，実験②が【条件（5)】を満たすものにするために，『「Y」が変化しないとき「X」が変化するか調べる実験』を『「Y」を○○にしたとき「X」が変化するか調べる実験』へと転換するステップを設けた。また，反証例①に関しては，正事例と同じ実験①を行うため，Base3 の実験①に戻る過程をたどれるようにした。反証例を理解できていない教師からすると，「仮説通り」と「仮説通りではない」と区分したほうが，これらを構想する思考がスムーズになると考えたためである。

つまり，図 7 の過程は，【条件（4)】仮説と実験で調べる対象が正対している，【条件（5)】実験②は「従属変数」をどのようにするのかを，具体的に設定する必要がある，を組み込んだものとなっている。

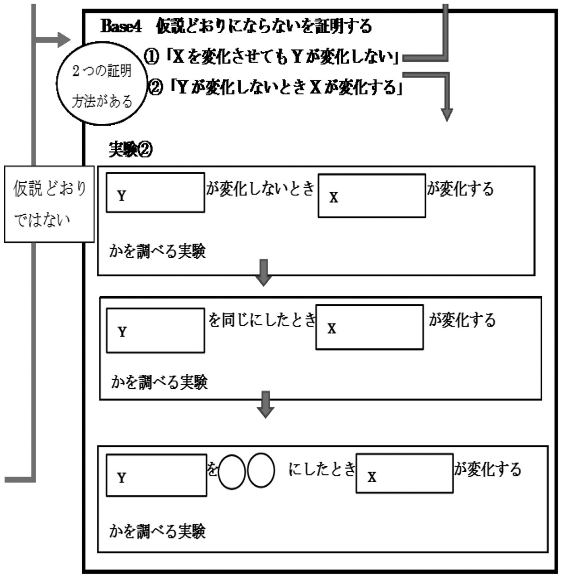

図 7　Base4 の過程

6.1　授業の実践・評価と開発したシートの改善

平成 27 年度全国学力・学習状況調査（中学校理科）では資料 1 の通りの設問が出題された[9]。

この設問に基づき，検証計画の立案において反証を取り入れた授業実践として，次の通り A 教諭による授業が実施された。

1）実施対象　　公立中学校第 1 学年　36 名
2）単元　　　　音の性質

図 3 に示した反証例計画シートに基づいて，この

表８　授業概要

課題	「プラスチック管笛の音の高さは何と関係しているのだろうか」
仮説	「音の高さは水の量に関係している」 「音の高さは空気の量に関係している」
正事例	・水の量を変化させれば，音の高さが変化する ・空気の量を変化させれば，音の高さが変化する
反証例①	・水の量を変化させても，音の高さが変化しない ・空気の量を変化させても，音の高さが変化しない
実験①	【水の量を変化させたとき，音の高さが変化するか調べる】 【空気の量を変化させたとき，音の高さが変化するか調べる】
反証例②	・音の高さを同じにしたとき，水の量が変化する ・音の高さを同じにしたとき，空気の量が変化する
実験②	【音の高さを同じにしたとき，水の量が変化するか調べる】 【音の高さを同じにしたとき，水の量が変化するか調べる】

授業は図８の通りに構想され分析された（図８中の×は実施不可能であることを示している)。

そこで，この授業が，反証例を授業で扱うための【条件（1)）から【条件（5)】にどの程度当てはまっているのかを考察した。

【条件（1)】課題が「従属変数」の変化は「何（独立変数)」によるものなのかを問うものである。

従属変数は「音の高さ」であり,「何（独立変数)」によるものなのかを問う形となっているため合致している。

【条件（2)】仮説が「独立変数」を変化させれば，「従属変数」が変化するというものである。

仮説は，意味合いとして「水の量」（独立変数）

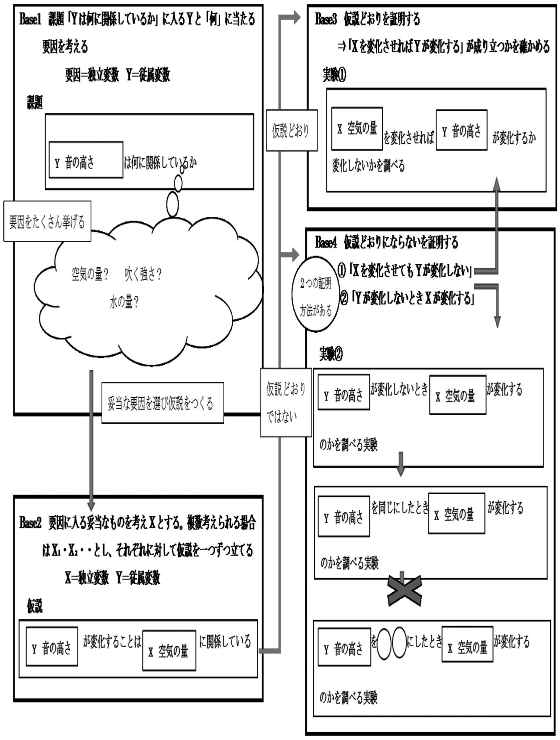

図８　反証例計画シートによる授業構造と分析

を変化させれば，「音の高さ」（従属変数）が変化する，というものになっているため合致している。

【条件（3)】仮説は「独立変数」の数だけ挙げられる。

仮説は「水の量」と「空気の量」の２つ挙げられているため合致している。

【条件（4)】仮説と実験で調べる対象が正対している。

「音の高さ」と「水の量」の仮説に対しては，「音の高さ」と「水の量」についての実験，「音の高さ」と「空気の量」の仮説に対しては，「音の高さ」と「空気の量」についての実験が行われているため合致している。

【条件（5)】実験②は「従属変数」をどのようにするのかを，具体的に設定する必要がある。

実験②が「音の高さを同じにしたとき」となっており，「従属変数」をどのようにするのかを具体的に設定できていない。

こうして，前述のシートは反証例を扱える授業の

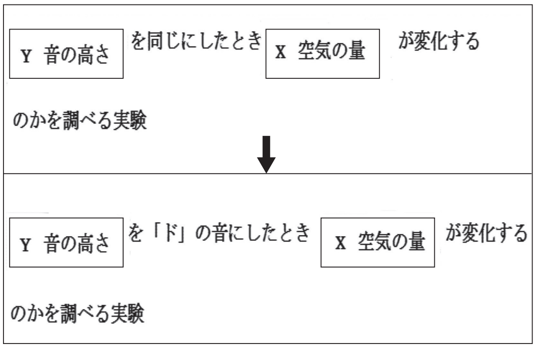

図 9　反証例計画シートによる授業改善

【条件 (5)】に課題があるため，図 9 のように改善を図る必要があることが分かった。

改善前の実験②「音の高さを同じにしたとき，空気の量が変化するか調べる」を「音の高さを○○にしたとき，空気の量が変化するか調べる」とするために，本事例では「○○」に『具体的な音の高さ「ド」』を当てはめることで改良した。

7　まとめ

本研究の結果，反証例②の実験を扱うことができる場合の条件として，課題から実験までの過程において，次の 5 つの条件が成立する必要があることを実証できた。

(1) 課題が「従属変数」の変化は「何（独立変数)」によるものなのかを問うものであること。
(2) 仮説が「独立変数」を変化させれば，「従属変数」が変化するというものであること。
(3) 仮説は「独立変数」の数だけ挙げられること。
(4) 仮説と実験で調べる対象が正対していること。
(5) 反証例②を扱う実験②は「従属変数」をどのようにするのかを，具体的に設定する必要があること。

さらに，これらの条件を基に，予想・仮説を立証・反証するための検証計画の立案の過程を構想する反証例計画シートを考案し，実際の理科授業に基づき修正を加えた。今後の課題として，このシートをより汎用的に活用できるシートへと改善していくことが考えられる。

資料 1　平成 27 年度全国学力・学習状況調査問題（中学校理科）

【疑問】
音の高さが高くなったのは，「空気の部分の長さ a」が短くなったからか，「水の部分の長さ b」が長くなったからか（図 3)。

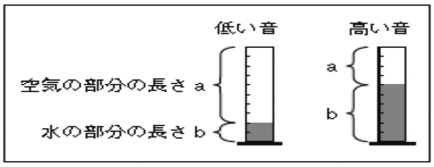

図 3

課題Ⅱ
音の高さは a と b のどちらに関係しているのだろうか。

【方法】
同じ太さの 4 本の容器に水を入れておく（図 4)。そして，その容器に水を注ぎ始めたときの音の高さを比較する。

【予想】
音の高さが「空気の部分の長さ a」に関係しているならば，音の高さが最も高いのは（ X ）で，音の高さが同じものは（ Y ）と（ Z ）のはずである。

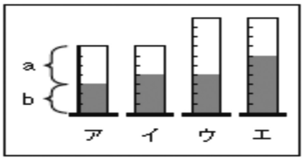

図 4

(2)【予想】の（X）（Y）（Z）に当てはまる最も適切なものを，それぞれ図 4 のアからエまでの中から 1 つ選びなさい。

引用文献

1) 中央教育審議会，初等中等教育分科会，教育課程部会，総則・評価特別部会：ワーキンググループにおける審議のとりまとめについて，2016.
2) 国立教育政策研究所：平成 27 年度全国学力・学習状況調査の結果について（概要），2015.
3) 国立教育政策研究所：平成 27 年度全国学力・学習状況調査の調査結果を踏まえた指導の改善・充実に向けた説明会説明資料，2015.
4) 益田裕充：理科指導の研究，上毛新聞社，pp.30-39，2012.
5) 小林辰至：平成 29 年度改訂中学校教育課邸実践講座，ぎょうせい，pp.14-16，2017.
6) 戸田山和久：『科学的思考』のレッスン－学校では教えてくれないサイエンス－，NHK 出版，pp.117-126，2011.
7) 文部科学省：小学校理科の観察・実験の手引き，p.16，2011.
8) 藤本義博・半田良廣・益田裕充・馬場祐介：理科授業における「検証計画の立案」に関する研究－予想を検証する実験計画を立案する局面の反証可能性に着目して－，臨床教科教育学会誌，第 16 巻，第 2 号，2016.
9) 国立教育政策研究所：平成 27 年度全国学力・学習状況調査の調査課題－中学校理科－，p.18，2015.