

## 創造性を育む理科の授業

蔦岡 孝則	大方 祐輔	佐々木康子	中田 晋介
磯崎 哲夫	鳥越 兼治	古賀 信吉	竹下 俊治
林 武広	前原 俊信	湯澤 正通	有田 正志
井上 純一	内海 良一	小川 麻貴	梶山 耕成
白神 聖也	平松 敦史		

### 1. はじめに

創造性 (Creativity, Originality) は、自然科学の研究や技術開発において新たな進歩を生み出す重要な要素である。科学技術の様々な分野におけるブレークスルーには、研究者・技術者個人や集団における創造性が大きく関与しており、今後ますます多様化する科学技術開発や、自然科学研究の要請に応えるためには、理科教育においても基本的な科学的リテラシーに加えて、科学技術における創造性の育成が必要となる。しかしながら、OECD (PISA) の調査結果等から、現状では科学的に解釈する力や表現する力に課題があるとされ、理科授業のあり方として、「問題を見いだし、解決する活動を通して創造的な思考を進めるようにする」ことが求められている。そのためには、授業の構成や教材を再検討し、思考の流動性・柔軟性の育成に対応した理科学習のあり方を検討することが必要である。理科教育における創造性の育成については、従来からその重要性が指摘されているが、どのようにすれば学習者の創造性を育むことができるのかといった、学習指導における具体的な内容についての検討はほとんど進められていないといってもよい。そこで、本研究では、生徒が創造性を育むことのできる理科学習の実現を目指して、教材開発と教育実践を行った。

### 2. 研究の目的・方法

理科学習において、創造的であると認識されるためには、他者との比較により、差違が認識され、その差違に対して価値が見いだされることが必要である。そのため、教材開発に当たっては、創造性を構成する要素としての以下の3点を重視した。

- (1) 自己の活動において他者との差違を認識すること
- (2) 他者との差違を表現すること
- (3) 他者との差違を互いに話し合うこと

そして、これらの要素を取り入れた授業展開および教材について、分野ごとの理論・文献研究を踏まえ、教材開発、実践研究を行った。また、小・中学校の学習指導要領改訂の動きとの関わりについても検討した。本報告では、小学校、中学校、高等学校の理科学習の内容から、「振り子」、「水溶液の性質」、および「音波」について行った教材開発、授業実践の結果について述べる。

### 3. 小学校における実践

指導者 中田 晋介

日時 2008年6月12日 (木) 14:45 ~ 15:30

場所 理科室

クラス 小学校1部第5学年 (男子18名, 女子18名)

単元 振り子

構 想

振り子についての取り扱い、昭和33年の学習指導要領から扱われるようになった。そこでは、第6学年において周期が振り子の長さによって変化することを学習するようになっている。また、振り子が時計にも使われ正確な時を刻むことを学習することになっており、実生活での利用場面を意識した学習展開になっている。昭和43年、52年の学習指導要領では、振り子は扱われていない。振り子が再び登場するのは、平成元年の学習指導要領になってからである。平成元年から再登場した理由としては、問題解決能力の指導重点項目として第5学年では条件制御という考えが示された

Takanori Tsutaoka, Yusuke Ohgata, Yasuko Sasaki, Shinsuke Nakata, Tetsuo Isozaki, Kenji Torigoe, Nobuyoshi Koga, Shunji Takeshita, Takehiro Hayashi, Toshinobu Maehara, Masamichi Yuzawa, Masashi Arita, Junichi Inoue, Ryouichi Utsumi, Maki Ogawa, Kousei Kajiyama, Masaya Shiraga and Atsushi Hiramatsu: A Study of Science Teaching to Develop Student's Creative Skills

ためである。内容よりも方法が重視されはじめたと考えることができるだろう。平成元年には、振り子の周期が違うのは糸の長さであるという記述がなされている。内容的に正確さを欠く表現になっている。この方法重視の傾向は、平成10年の学習指導要領にも引き継がれた。平成10年には、衝突と振り子が課題選択になり、どちらかを学習すれば良いということが示された。この課題選択は、平成20年3月28日告示の学習指導要領では、現行学習指導要領同様に第5学年での扱いであるが、課題選択ではなくなった。しかし、問題解決能力の指導重点項目としての条件制御の考え方は継続されている。そのため、学習指導要領における振り子の取り扱いは、条件制御に大きな意味合いがあると考えられることができるだろう。

また、「振り子」の単元は、これまでに小学生の子どもたちにとっては、理解することが非常に困難であることが指摘されてきた<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。理解が困難な理由としては、第一に振り子の実験は条件制御が難しく、かつ、測定として扱う時間が10分の1から100分の1秒単位であるために、誤差が生じやすい。理論値に近い測定を繰り返し行うが、誤差の扱いについて児童が混乱してしまう。第二に「振り子」の学習を受ける以前に幼稚園や小学校の低学年の段階で既に子どもたちはブランコ遊びなどの経験を通して、振り子について強固な概念を保有している。このように「振り子」の学習では、その実験の難しさや強固な素朴概念の変換をいかに行うのかという研究がされてきている。これ

らの先行研究を受け、本実践では、課題意識を明確に持たせた上で、振り子の測定方法を繰り返し練習しながら、誤差の解釈について混乱が起らないようにする。また、強固な素朴概念であるが、学習したことを活用する場を設定することを通して、科学的な概念の形成を図る。

- 第1次 振り子を知ろう…………… 2時間
- 第2次 振り子の秘密を探ろう…………… 6時間
- 第3次 振り子の長さとの関係を探ろう…………… 3時間 (本時3/3)

本時の目標

今までに作成したグラフや再実験から周期1秒の振り子の長さについて予測することができる。

考察

今回の実践を通して、本研究において活用する場を設定したクラスと設定しないクラスの知識については、有意な差は見られなかった。このことから、活用する場を設定した場合と設定しない場合について短期的な知識としては、差が生じないと考えられる。しかし、記述内容では、活用する場を設定したクラスの児童のほうに変化させてある要因について挙げている記述が多く見られた。このことは、活用する場において条件に着目する視点が強化されたと考えられる。また、活用する場を設定したクラスの児童の記述に実生活から思考する視点が入っていたり、実生活を振り返る視点が入っていたりしていた。このことから、活用する場を設定することは、設定しない場合よりも学校での学

本時の指導過程 (小学校)

学 習 活 動	指導の意図と手だて	評価の観点
1 本時の学習課題を確認する。	○ 前時までの振り子の学習(振り子の長さとの関係)を振り返り、本時の学習課題について確認する。	○ 本時の課題を明確にもつことができたか。
周期1秒の振り子の長さを言い当てよう。		
2 現段階でデータをもとに振り子の長さについて予測する。	○ 今までに作成したグラフから、周期1秒の振り子の長さについて予想を発表させ、データの整理方法について確認させることによって自ら課題へと働きかけさせる。また、実験前の自分をメタ認知させるために、自信度を聞く。	○ 自分の考えを持つことができたか。
3 予想をもとに実験を行う。	○ 自分たちの考えをもとに実験させることで、自分の考えを強化させたり、修正させたりするための手続きとする。また、実験後の自分をメタ認知させるために、自信度を聞く。	○ 自分の考えと友だちの意見を対比しながら考えを深めることができたか。
4 周期1秒の振り子の長さを確認する。	○ デジタルノギスを使用し、正確な振り子の長さを測定することによって、自分たちの予測の方法が正しかったか振り返りをさせる。	○ 結果を見て、わかったことをまとめることができたか。
5 本時を振り返る。	○ 本時の学習を振り返らせるとともに、周期の大きい映像(ブランコ)を見て、振り子の長さがどのくらいなのか、おおよその検討をつけることができるようにする。	○ 周期からおおよその振り子の長さを考えることができたか。

習を実生活の場でも活用しようとする姿勢が見られ、実生活とリンクした思考を促す可能性があることが示されたと考えられる。

また、事前・事後の質問紙調査の結果において、両クラスともに事後での正答数が増加したことから、課題意識を明確に持たせた上で、振り子の測定方法を繰り返し練習しながら、誤差の解釈について混乱が起こらないようにするという振り子の単元において留意することが、有効な指導法であると考えられる。

#### 4. 中学校における実践

指導者 大方 祐輔

日時 2008年11月14日（金） 9：30～10：20

場所 第1化学教室

クラス 中学校2年B組（男子20名，女子20名）

単元 水溶液の性質

目標

1. 身のまわりには酸性やアルカリ性を示す水溶液が多くあることに気づかせ、酸やアルカリに興味を持ち、さまざまな水溶液の液性を調べようとする。
2. 酸性やアルカリ性の水溶液の性質を調べる実験を行い、液性によってそれぞれ共通の性質があることを見いだすことができる。
3. 指示薬を使って水溶液の液性を判別することができる。
4. 中和の実験を行い、中和により塩と水ができることを理解する。
5. 粒子モデルを用いて中和反応を説明することができる。

時間配当

1. 酸性やアルカリ性の水溶液の性質を調べよう  
..... 2時間
2. 酸とアルカリを混ぜるとどうなるのか  
..... 6時間（含む本時）

#### 本時の指導過程（中学校）

学習内容	指導過程・学習活動	評価・指導上の留意点
前時までの復習 本時の課題確認	前時までの復習 1) 酸性・アルカリ性の水溶液には、それぞれ共通の性質がある。 2) 水溶液の液性によって指示薬の色が変化する。 本時の課題 酸とアルカリを混ぜるとどのような反応が起こるか確かめてみよう。	・すすんで発表しようとしている。（関心・意欲・態度） ・本時の課題を理解しようと努め、進んで実験を行おうとしている。（関心・意欲・態度）
実験手順の理解 実験 塩酸に水酸化ナトリウム水溶液を加える	手順を演示し、注意事項と実験のポイントを確認する。 ①試験管に塩酸を一定量入れたものを用意する。 ②点眼びんを用いて水酸化ナトリウムのエタノール溶液を塩酸に混合しながら、塩ができるようすを確認する。 ③生成した塩を顕微鏡で観察し、スケッチする。	・2人×20班で実験を行う。 ・塩酸，水酸化ナトリウム水溶液の取り扱いに注意させる。 ・保護めがねの着用を徹底する。 ・互いに協力し、実験を行っている。（関心・意欲・態度） ・安全に留意し、実験を行っている。（技能・表現） ・顕微鏡を正しく使えている。（技能・表現） ・正確にスケッチできている。（技能・表現）
結果の考察	各班で実験結果からわかることを考察する。 結果の考察 塩酸に水酸化ナトリウムを加えていくと、どのような変化が見られたか。 生成した塩は何だろうか。	・結晶の形から、生成した塩が何であるか判断できる。（知識・理解）
問題提起	問題提起 実験の結果から、中和はどんな反応が起こっていると考えられるだろうか。	・4人×10班で話し合う。 ・塩化水素と水酸化ナトリウムの中和について科学的に考察することができる。（思考）
備考	使用教科書：未来へひろがるサイエンス 1分野 上（啓林館） 準備物：塩酸（エタノール溶液），水酸化ナトリウム（エタノール溶液），試験管，試験管立て，点眼びん，顕微鏡，スライドガラス，ガラス棒，保護めがね，雑巾	

## 指導の経過と今後の計画

生徒はこれまでに、水溶液にはそれぞれ酸性、アルカリ性、中性を示すものがあり、それぞれに共通の性質があることを学習している。また、液性を調べる際に指示薬を加えるが、溶液そのものが呈色するため、実験後の片付けのときに異なる色に呈色した水溶液どうしを混ぜ合わせるとどうなるのだろう、と興味を持ち、実際に混ぜてみる生徒は少なくない。そこで、今回の授業実践では「酸とアルカリを混ぜるとどうなるのだろうか」という課題を設定し、中和の実験を行わせる。そして、中和によって酸とアルカリは互いにその性質を打ち消し合い、塩ができることを確認する。実験では、酸とアルカリの溶媒としてエタノールを用いることで、塩化水素と水酸化ナトリウムの中和によって塩化ナトリウム (NaCl) ができるようすが可視化できるように工夫した。次時以降は、「共同的な学び」を通じて、中和反応と塩の生成についてイオンレベルで微視的な見方や考え方ができるような展開にしたい。



写真1 NaClの結晶の観察の様子

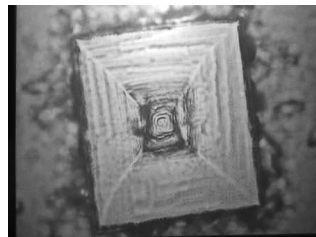


写真2 NaClの結晶

## 本時の題目

酸とアルカリを混ぜたときの変化を調べよう

## 本時の目標

1. 塩化水素と水酸化ナトリウムの中和によって、塩として塩化ナトリウムが生成することを、実験を通して理解することができる。
2. 塩化ナトリウムの生成という実験結果から、塩化水素と水酸化ナトリウムの中和について科学的に考察することができる。

## 実践結果と課題

今回の実践では、塩ができるようすを可視化するために、エタノール溶媒中で中和反応を行った。また、エタノールは気化しやすく、加熱することなく容易に乾燥でき、短時間で結晶の観察ができることから、エタノールを溶媒として用いることは有用であるといえる。生じた塩の結晶の形から塩化ナトリウムであることが容易にわかるが、顕微鏡で観察できた塩の結晶の大きさや数にばらつきが見られたので、滴下する水酸

化ナトリウムの量を一定にしたり、滴下する間隔を遅くしたりするなどの改善が必要であると考えられる。生じた塩をもとに中和の化学反応式を考えさせたところ、ほとんどの生徒が正しい化学反応式を書くことができた。そこで、生徒は前時までに、中和とは「酸とアルカリが互いに性質を打ち消しあうこと」と学習しているため、「『酸とアルカリが互いに性質を打ち消しあう』とはどのような反応が起こっているのか、化学反応式をもとに説明してみよう」と問題提起をした。次時以降でこの問題について「共同的な学び」を通して互いに意見交換をしながら中和反応のモデルを考えさせた(写真3)。Aグループのモデルでは、酸性を示す物質が塩化物イオン、アルカリ性を示す物質がナトリウムイオンであるとし、それらが結合することで互いに性質を打ち

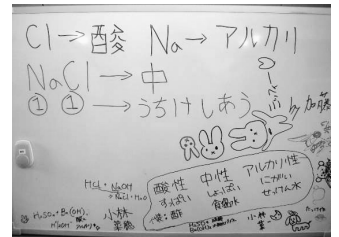


写真3 中和反応のモデル(Aグループ)

消しあうとしている。これは、中和反応を一般化せず、塩化水素と水酸化ナトリウムの反応のみから考えたことによると思われる。Aグループに限らず、はじめはほとんどのグループがこのようにモデル化していた。しかし、ここで教師側から他の中和反応ではどうか(例えば硫酸と水酸化バリウム)の中和)と、中和反応を一般化するような課題を提示したところ、いくつかのグループにおいて、酸性やアルカリ性の水溶液にはそれぞれ共通するイオンが存在することに気づくことができた。すなわち、酸性を示す物質が水素イオン、アルカリ性を示す物質が水酸化物イオンであり、それらが結合することで水ができ、互いに性質を打ち消しあうという中和反応の本質へ到達することができた。

このように、提示された課題に対して生徒が自分なりに考えたことを「共同的な学び」を通じて意見交換し、他者との差異を認め、受け入れながら、中和反応と塩の生成について生徒がイオンレベルで微視的な見方や考え方ができる実践となった。

## 5. 高等学校における実践

指導者 佐々木 康子

日時 2008年11月14日(金) 10:35 ~ 11:25

場所 第1物理教室

クラス 高等学校2年1, 2, 3組選択クラス33名  
(男子22名, 女子11名)

単元 音波

目標

1. 音波の表し方や音波の反射，屈折，回折，干渉などの波動現象に共通な性質を理解させる。
2. 発音体の振動・共鳴について基本的な概念や規則性を観察・実験などを通して探究させ，理解させる。
3. 観察・実験などを通して，音波現象について興味・関心を喚起し，基本的な概念や法則を理解させるとともに，それらを日常生活と関連付けて考察できる力を養う。

時間配当

1. 音波の性質とその伝わり方
  - ①音の三要素，音速，音の反射・屈折・回折  
..... 2時間
  - ②音の干渉・うなり..... 2時間
2. 発音体の振動と共鳴
  - ①弦の振動..... 2時間
  - ②気柱の振動..... 2時間（含む本時）
  - ③共鳴..... 1時間
3. ドップラー効果..... 1時間

指導の経過と今後の計画

生徒は波の伝わり方，波の基本性質である重ね合わせ，反射，屈折，回折，干渉について水面波やウェーブマシンの観察などを通して学習した。そして，縦波の具体的な現象として音波を学んだ。音波と一般的な波との共通の性質について，日常の生活で体験する現象と結びつけながら理解を深めた。音は，声や楽器など生活に密着した物理現象である。発音体の振動では，弦の固有振動をギターを用いて観察し，固有振動数についての考え方を学んだ。本時では小学校から慣れ親しんだリコーダーを始めとし，さまざまな楽器や物から出る音にどのような規則性が隠されているのかを探り，身近な自然現象に対する興味・関心を養うと共に，現象を科学的に探究する態度を養いたい。本時で学んだ気柱の振動の考え方をもとに，気柱の共鳴について観察・実験を行い，理解の定着をはかりたい。本時の目標

1. 開管・閉管の気柱の固有振動について，固有振動数と管の長さの関係を理解させる。
2. 実験・観察を通して，科学的に探究する能力と態

本時の指導過程（高等学校）

学習内容	指導過程・学習活動	評価・指導上の留意点
<b>【導入】</b> 本時の目的	本時の目的を説明する。 「気柱の振動の規則性について調べる。」 前時に録音した発音体を班ごとに確認する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・班ごとにPCを準備する。</li> <li>・発音体を発表。</li> </ul>
<b>【展開】</b> 音の高さについて調べる  倍音の振動数を調べる	〈実習1〉 基本音（実際に出ている一番大きい音）の振動数を読みとる。  〈実習2〉 FFTの結果から，倍音の振動数を読みとる。 倍音の現れ方の違いに着目させる。（発問） 倍音の現れ方の違いは，開管・閉管の違いであることを気づかせる。  〈演示実験〉 クント管を用いて，気柱の共鳴の様子を観察する。 開管・閉管の気柱の固有振動数について説明する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・振動数を発表。</li> <li>・倍音の振動数を発表。 （2倍音，3倍音あるいは4倍音，5倍音）</li> <li>・倍音の高さをピアノ・風琴を用いて確認させる。</li> <li>・空気の振動の様子を観察させる。密と疎の場所に着目させる。</li> <li>・既習の波長と振動数の関係を思い出させる。</li> </ul>
開管・閉管の気柱の固有振動数	$\text{開管} \quad f = \frac{mV}{2l}$ $\text{閉管} \quad f = \frac{(2m-1)V}{4l} \quad m=1, 2, 3\cdots$	
<b>【終結】</b> 倍音の現れ方の確認  本時のまとめ	〈演示実験〉 リコーダー・クラリネットの音の出し方と音を示す。 開管・閉管の倍音と2つの楽器の音の出方の関係を考える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・音はサンプリングしておき，提示装置で波形を示し，振動数を提示する。</li> </ul>
備考	使用教科書：高等学校物理 I（啓林館） 準備物：PC（10台），野津FFT（波形分析ソフト），クント管，スマートボード（提示装置） リコーダー，ピアノ等の楽器ほか	

度を養う。

### 3. 身近な発音体から発生する音についての現象に興味・関心を持たせる。

#### 実践結果と課題

本実践では、音の単元を取り上げ、生活の中で聞いている音と教科内容の結びつきを重視した内容を目指した。身近な存在である楽器やものから出る音が、波としてどのように存在しているのかを考えさせ、生徒一人ひとりが考えた案を共有しあうことで、理解の深化をねらった。学習で積み重ねてきた知識をもとに、自然現象のしくみを自分の言葉で表現し、また班での意見交換を通して自分の考えを修正していく取り組みが、理科の授業において創造性を培うことにつながると考えた。具体的な活動を以下に示す。生徒には事前に音が持続して出せるものという条件を提示し、班単位でサンプリングする音を決めさせ、それぞれ班員が音を実際に出してサンプリングを行った。生徒たちがサンプリングした音は、リコーダー、フルート、オーボエのリード、口笛、ビンを吹いたときの音などであった。音波の様子を分析する手法として、今回は波形分析ソフト(野津FFT)を用い、音の波形の確認、およびFFTによる振動数の分析を行った。また、各班(4人ずつ)に1台PCを準備し、自分たちが実際に出した音を班毎にサンプリングし分析できるように準備した。それぞれ出ている音の基本音の振動数を求めた後、空気振動の様子を考えるヒントとして、クント管による気柱の固有振動の観察を行った。クント管において粒子が並ぶ現象については、観察していた生徒から歓声があるほど、驚きのある現象であったようだ。なぜ粒子が並ぶのかについては、様々な説もあり、研究されている実験ではあるが、空気振動の様子が実感できる教材であると改めて感じた。観察をもとにして、気柱の振動の様子を表現することを試みた。振動数分析では、基本音の他に倍音の振動数を読み取り、どのモードの振動が含まれているかを確認した。その上で、気柱の固有振動数の表式にあてはめて考え、自分たちがサンプリングした音が開管であるか、閉管であるかを班で意見を共有し合い考察した。今回の授業を通して、生徒たちは、気柱の固有振動のモードと実際の音に含まれている倍音を結び付けて考えることができたように思われる。単に知識として理解するのではなく、音を実際に分析し、振動の様子を観察することを通して、関連が明確になったと思われる。改善点としては、今回は時間の都合でFFTについて詳しく説明することができなかったが、倍音の振動数を知る方法として有用であるので、高校数学の範囲を超えない程度に丁寧

に理解させることが必要であると思われる。また学びあいに関しては、理科において、観察・実験を行う際に班活動として、日常的に行われている。その活動を支援する方法に工夫が必要であり、お互いの関わり方をより深化させることを仕組んでいかねばならない。



写真4 波形分析の様子 写真5 クント管の観察

## 6. おわりに

小学校では「振り子」を題材に、条件制御に力点を置いた授業実践を行った。どのような条件をどのように制御するのか、グループ内での他者との差異を互いに話し合う場面を取り入れた実践になった。

中学校では「中和反応」を取り上げ、「中和とはどのような反応が起こっているのだろう」という課題に対し、「共同的な学び」を通じてグループで意見交換しながら、イオンモデルを用いて酸とアルカリが互いに性質を打ち消しあう反応を説明することができた。

高等学校では、身近な「音」がテーマであったため、普段よりも一人ひとりが積極的に自分自身の考えを表現できたことで、他者の意見を聞く機会が増えた。つまり、他者の別の意見を認識できる実践になった。

このように、他者とのかわりの中で、子どもたちが互いの差異を認め、受け入れることが、理科授業における問題の解決、思考の転換、新たな課題の発見など、理科の授業における創造性の育成の一助となることがわかった。

### 引用・参考文献

- 1) 加藤尚裕, 「振り子の特性に関する概念形成の研究—自由試行を中心にして—」, 『理科教育学研究』, Vol.40, No.3, 2000.
- 2) 阪本秀典, 「課題選択学習で子どもは何を学ぶのか—おもりの働きを通して—」, 『理科の教育』, Vol.52, pp.12-14, 2003.
- 3) 並木一幸, 「小学校ワークシートの作成過程を通して」, 『理科の教育』, Vol.39, pp.20-23, 1990.
- 4) 福岡敏行・岩井徳二, 「振り子・衝突(小5)その1」, 『理科の教育』, Vol.39, pp.38-39, 1990.