

科学的思考力を高める授業の創造 (3)

鳥越 兼治	大方 祐輔	井上 純一	岸 俊之
磯崎 哲夫	古賀 信吉	鈴木 盛久	竹下 俊治
林 武広	前原 俊信	有田 正志	内海 良一
梶山 耕成	佐々木康子	白神 聖也	中田 晋介
平松 敦史	横山 道昭		

I はじめに

科学的思考力は種々あるが、その中で理科という自然科学を扱う教科において、どのような力を育成していけばよいのだろうか。

当然のことであるが、理科では特に事実をしっかりと認識すること、論理的思考の重要性を認識すること、そして正しく考えるための基礎的な理科の知識などが必要であろう。我々は何よりもまず科学というものを、科学の思考法を、科学の常識を学ばなければならない。遠回りのようだが、それが科学的思考力を育成する上で一番確実な方法ではないだろうか。

一方で、今はすぐに結果を求める社会になっているようである。その要因の一つに、インターネットと携帯電話の普及に伴い、コミュニケーション速度が格段に増している環境がある。科学的に事象を活用する力の向上には、思考力が不可欠である。思考力は、『身についた!』という実感が直に表れるわけではないので、この力を育成するための教育手法に、『面倒くさい!』と考える傾向が以前より増したのではないだろうか。その結果、その場その場で楽な方法を探すようになってくる。そのような社会では、勉強することは大変なことで勉強したいとは思わなくなるのではないだろうか。その結果、思考することを中止した状態で『非科学的』なことに導かれていると思われる。

理科の中では、特に数値の正当性とその根拠をいつも確認すべきである。そして、その数値を定量的に考えるべきである。つまり、上の文の中で『増したのでは』ということは曖昧であり感性の問題になり真偽が判断できないが、理科ではいつの時点と比べてどれだけの数値が増えたということを議論できる態度を養う

ことである。さらに、『統計』や『非科学的』なものに騙されないようにするには、『相関関係』と『因果関係』とは全く違うものである、という視点を忘れないことであり、これらの関係を証明するためにはあまり楽でない作業が待ち構えている。

従って、『勉強したらその思考力でずいぶん結果を導くのが楽になった』という何らかの成功体験も必要であろう。

II 研究の目的・方法

これまでの研究課題であった「科学的思考力を高める授業の創造(1),(2)」では、生徒の科学的思考力を高める授業実践を行うことができた。しかしながら、これまでの実践研究を振り返ってみるに、たとえば現行の中学校学習指導要領で示されている「…探究する活動を通して、課題解決の方法を習得させるとともに科学的に調べる態度を養うこと及び課題解決の過程を通して科学的思考力を育成…」のような科学的思考力育成のための「探究」活動という視点を十分に盛り込んだ実践ではなかった。また、中央教育審議会の審議経過報告においても、理科について「見通しや目的意識を持った観察、実験を通して探究的な活動を一層充実し、『科学的な思考力』を育成する必要がある、…」と示されたように、探究活動を通して科学的思考力を育成することの重要性は周知のことである。したがって、年次計画最後の今年度は、「探究」活動という視点を盛り込んだ科学的思考力を高める授業実践を行い、児童・生徒の科学的思考力の高まりについて、これまでの実践研究をふまえて理論的・実践的に研究を行うことを目的とする。

第2年次にあたる昨年度は、小学校において「ものの燃え方」の単元で、中学校において「運動の規則性」の単元で、高等学校において「体液とその恒常性」の単元でそれぞれ実践を行った。小学校では、思考の過程を重視した課題解決活動の有効性が提示され、中学校では、先人の科学者のアイデアを実験に取り入れることにより思考が深まる場面を提供できること、高等学校では、教材や実験方法の工夫により生命現象の形態的・生理的变化をより身近な問題として思考できるようになることが示された。

Ⅲ 小学校における実践

指導者 岸 俊之

日時 2007年12月10日(月) 9:35~10:20

場所 理科室

クラス 小学校1部第6学年

(男子18名, 女子18名)

単元 水溶液の性質

構想

小学校学習指導要領において、第6学年のB領域「物質とエネルギー」における水溶液に関わる内容は次のように示されている。

- | |
|--------------------------------|
| ア 水溶液には、酸性、アルカリ性、及び中性のものがあること。 |
| イ 水溶液には、気体が溶けているものがあること。 |
| ウ 水溶液には、金属を変化させるものがあること。 |

これによると、小学校理科で扱う内容には、「中和」は含まれていない。したがって、ここで実践した内容は、発展的な学習内容にあたる。しかし、酸性とアルカリ性が相反する性質を示すことや、お互いを混ぜ合わせるとどうなるかといった、必ず子どもたちから出てくる疑問に答える意味、あるいは環境問題を考える点でも、「中和」に関する内容は不可欠であると考えられる。本稿は、定量実験を取り入れ、ものが溶けることについての理解を発展的に捉えさせようとした実践である。

水溶液については第5学年「ものの溶け方」で、①ものが水に溶けても全体の重さは変わらないこと、②ものが水に溶ける量には限度があること、③水の量や温度によって溶ける量が変わること、④ものの種類によって水に溶ける量が違うこと、⑤水溶液の温度を下げたり水溶液の水を蒸発させたりすることで、溶けたものが結晶として析出すること等、ものが水に溶けるときの規則性について学習している。一方、他の単元においては、第5学年「植物の発芽と成長」では、水に溶けた養分について、あるいは「生命のたん生」ではメダカが水に溶けている酸素をえらで体内に取り入

れていることを学習している。第6学年「ものの燃え方」では、石灰石に希塩酸を注いで二酸化炭素が発生すること、「人と動物の体」においては食物の消化・吸収について理解させる学習を行ってきている。

水溶液に関する教材は、学年の系統性を追って指導されなければならないことはいまでもない。しかし、「溶ける」という概念は、多くの単元に登場する「とける」という言葉によって、たびたび混乱を生じる場合がある。一つは、「溶ける」と「融ける」の混乱である。子どもの概念を分化させるため、これまで学習してきた「とける」の区別をしっかりとつけたいところである。もう一つは、「溶解現象」と「化学反応」との混乱である。広義では「溶解現象」も化学変化ではあるが、「化学反応」は元の物質には戻らない現象として区別したい。それにはまず、第5学年の学習が「水」を「物質を溶かす液体」としていたことに対して、本単元の学習が「水溶液」を「物質を溶かす液体」にしていることに気づかせ、その違いを意識を持たせながら整理して教えなければならない。

本単元に限らず、自然現象を明らかにする上で子どもたちの理解を困難にしていたのは、現象だけの指導にとどまっていたためではないか、という反省がある。本単元においては、溶解した後の物質の追究をさせたり、水溶液の濃度や金属の量にも目を向けさせたりしながら、化学反応として「水溶液の性質」を子どもたちに理解させたいと考えた。そこで、これまでの学習内容を振り返らせながら、新しい現象に対する自分の考えをイメージ化させたり、意見交換させたりすることで、目に見えない反応を科学的に思考させるようにし、水の中に溶けている物質を「もの」として意識させたい。水溶液の濃度を扱うことは、こうした水溶液の中にある物質に目を向けさせるためである。さらに、水溶液の性質が人の体や環境にどう影響するのかについても興味を持って調べたり、考えたりすることができるよう、課題意識を高めたい。

そこで本単元では、これまでの学習内容を振り返らせながら、新しい現象に対する子ども自身の考えをイメージ化させたり意見交換させたりすることで、目に見えない反応を科学的に思考させるようにしたい。発展として中和を扱うのは、こうした目に見えないpHの変化に目を向けさせることで、改めて水の中に溶けている物質を「もの」として意識させることができると考えたからである。

本研究は水溶液に溶けている物質の濃度を、中和するときに使われた性質の異なる水溶液の量から明らかにしようとするのが、水溶液に対する科学的概念を形成することに効果的であるかということを検証する

ものである。

第4次 水溶液を混ぜ合わせるとどうなるのかを調べる。…………… 3時間 (本時2 / 3)

第5次 発展…………… 3時間

指導計画 (全15時間)

- 第1次 水溶液には何が溶けているかを調べる。…………… 2時間
- 第2次 水溶液の仲間分けをする。…………… 3時間
- 第3次 金属を水溶液に入れるとどうなるかを調べる。…………… 4時間

本時の目標

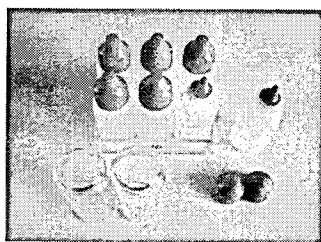
濃さの違う塩酸をアルカリ性の水溶液で中和することで、もとの水溶液の濃さを知ることができることを理解することができる。

本時の指導過程

学 習 活 動	指 導 の 意 図 と 手 だ て	評 価 の 観 点
1 前時の学習を想起する。	○ 性質の異なる水溶液を混ぜ合わせると中性になることを確認し、本時の課題につなげる。	○ 酸性とアルカリ性の性質について理解しているか。
2 本時の課題を知る。	塩酸の濃度を調べるには、どのようにしたらよいだろう。	
3 自分の考えを持ち、どうしてそう考えたかについて意見交換する。	○ 食塩水の濃度を調べる方法を思い出させながら、その方法が同じように使えるかについても考えるように助言する。 ○ 中和するとき水溶液のなかではどのようなことが起こっているのかをイメージさせることで、見えないものをより科学的に捉えさせるようにする。	○ 自分の考えを持つことができたか。 ○ 水溶液の物質の変化をイメージ化することができたか。
4 塩酸の濃度を、アルカリ性の水溶液を加えて中和することで調べる。	○ 中和を性質として捉えるだけでなく、滴定によって定量的に捉えることができることを伝える。	○ 中和によって塩酸の濃度がわかることを理解することができたか。
5 実験の結果からわかったことをまとめる。	○ 中性になった水溶液の物質の変化について考えさせ、次時につなげる。	

実践結果と課題

今回の実験器具はプチボトル (中村理科) を使用した。(右写真) これは、ボトルを圧す力の大小にかかわらず、1滴ずつ液を滴下することができるものである。予備実験で1滴は0.038mlであり、水も各水溶液も、100滴は3.8mlであることを確認している。今回用いた水溶液は、中和に用いる水酸化ナトリウム水溶液が、1モル/リットルで、塩酸の濃度は表1の通りである。実験はそれぞれの塩酸100滴に1モル/リットルの水酸化ナトリウム水溶液を滴下し、フェノールフタレイン液が赤くなった点を中和点とする方法で行った。



濃度のわからない6つの塩酸の濃さを調べるにはど

表1

塩酸濃度	中和点までの水酸化ナトリウム水溶液滴下量 (理論値)
A 2mol/l	200滴
B 1mol/l	100滴
C 0.5mol/l	50滴
D 0.1mol/l	10滴
E 0.05mol/l	5滴
F 0.02mol/l	2滴

のようにすればよいかという課題では、次のような考えが出された。

ア アルミニウムを入れてとけ方のちがいをみる。

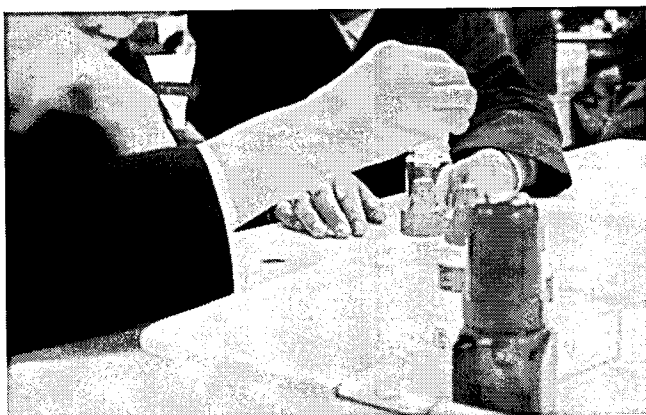
イ pHを測る。

ウ 濃さの違う塩酸を水酸化ナトリウム水溶液に入れ、中性になる点を調べる。

エ 水酸化ナトリウム水溶液を濃さの違う塩酸に入れ、中性になる点を調べる。

アについては時間がかかることと濃さをはっきりしないこと、イについては万能試験紙で全て同じ色になったことから、最終的にはウかエの方法をとることになった。実験では各濃度の塩酸100滴をサンプルびんに滴下し、フェノールフタレインを数滴加えた後、水酸化ナトリウム水溶液を滴下して、液が赤く変化するまでの滴加量を記録していった。次時ではその濃さがどの程度まで正確だったかを検証したが、各班の結果を検討すると、薄い水溶液に関しては、ほぼ2~3滴の誤差で塩酸の濃度が特定できた。他の塩酸についても、ほぼ正確に塩酸の濃度を確定することができた。

中和点を説明する際、長さに例えたり、粒の概念を使ったりして説明する子どもが多かった。これは、日頃からメタファーやイメージ図等によって、見えない「もの」を解明しようとする科学的な考え方が浸透しているものである。中和の学習は学習指導要領の一部改正により、発展的な学習として扱うことができるようになった。今年度から使用される教科書でも、事例として中和を扱っているものが多い。中和は、単に酸性の水溶液の性質をアルカリ性の水溶液で打ち消すことだけを学習するために取り扱うのではなく、ものが粒の状態の水に溶けているということを実感させたり、気体が溶けていても、他の物質と反応すると食塩のような固体になることもあるといった、化学変化の楽しさを知らせる教材として扱いたい。さらに、わずかな量の粒子が存在しているだけで、水溶液の性質が大きく変化することを実感することは、環境問題を考える上でも重要であったと考えている。



Ⅳ 中学校における実践

指導者 大方 祐輔

日時 2007年11月9日(金) 10:35~11:25

場所 第1化学教室

クラス 中学校1年A組 39名

(男子19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、それぞれに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、中和により塩ができることを理解する。

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)

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、液性にそれぞれ共通の性質があること、酸性とアルカリ性の水溶液を混ぜると液性が変化することを学習している。また、発展的な内容として、同じ濃度の塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を同じ体積ずつ混合すると、中性になることを学習している。一方、身近な植物の色素が酸性やアルカリ性を調べる指示薬としてはたらくことについて、知らない生徒が多い。

そこで、今回の授業実践では、酸やアルカリの指示薬として、簡単に手に入れることができるムラサキキャベツ溶液を用い、これらが指示薬として有用であることを確認し、その色見本を作成する。また、色見本を作成する過程において、酸性とアルカリ性の水溶液をさまざまな割合で混合することで、水溶液の液性が変化することから、酸性やアルカリ性の強さと中和の量的関係についても考えさせたい。

これを受けて次時以降は、雨水や河川水、生活排水など、生徒に自ら調べてみたい水溶液を挙げさせ、その液性を調べる実験計画を立てさせることにより、身のまわりにあるさまざまな水溶液に対する生徒の興味関心を高めたい。また、作成した色見本を利用するこ

とによって、生徒が目的を持って主体的に環境問題について考えるきっかけとなるような展開にしたい。

本時の題目

酸性やアルカリ性を調べる指示薬の色見本をつくらう

本時の目標

- 身近な植物に含まれる色素が、酸やアルカリの指示薬としてはたらくことが理解できる。

2. 酸とアルカリを混ぜると液性が変化することを利用して、色見本をつくることができる。

3. 液性の変化と色の関係について考え、日常生活の中で見られる現象と関連付けることができる。

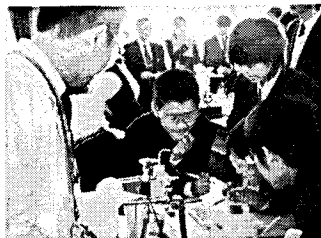
実践結果と課題

今回の授業実践では、pH指示薬として、食料品店などで簡単に入手できるムラサキキャベツ溶液を用いた。色素としてアントシアンを含むムラサキキャベツ

本時の指導過程

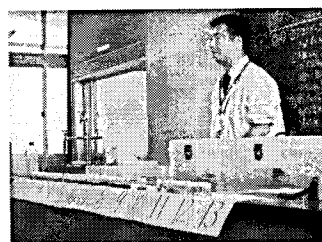
学習内容	指導過程・学習活動	評価・指導上の留意点
【導入】 前時までの復習 本時の目標確認	前時までの復習 1) 水溶液の液性によって、指示薬の色が変化する。 2) 酸性とアルカリ性の水溶液を混ぜると、互いの性質を打ち消し合う。 本時の目標 1) 身近な植物の色素を使って、指示薬の色見本をつくらう。 2) 色見本を利用して、身近な水溶液の液性を調べよう。	<ul style="list-style-type: none"> ・すすんで発表しようとしているか。(関心・意欲・態度) ・本時の目的を理解しようとするめ、すすんで実験を行おうとしているか。(関心・意欲・態度)
【展開】 実験手順の理解 【実験】 ①指示薬の色の変化の確認 ②指示薬の色見本をつくる	手順を演示し、注意事項と実験のポイントを確認する。 ムラサキキャベツ溶液(指示薬)に、点眼びんに入れたうすい塩酸とうすい水酸化ナトリウム水溶液を加え、色の変化を確認する。 確認した指示薬の色を、それぞれもっとも酸性が強いとき、もっともアルカリ性が強いときの色(基準)とする。 点眼びんを用いて、指示薬にうすい塩酸とうすい水酸化ナトリウム水溶液をさまざまな割合で混合したときの色の変化とpHを確認し、それを色見本としてサンプルびんに密封して保存する。	<ul style="list-style-type: none"> ・4人×10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。 ・保護めがねの装着を徹底する。 ・班員と協力し実験を行っているか。(関心・意欲・態度) ・安全に留意し、実験を行っているか。(技能・表現) ・液性と指示薬の色の関係を見出すことができるか。(思考)
【終結】 実験のまとめ	液性によって指示薬の色がどのように変わっていくか考察する。 今回用いた指示薬のように、身のまわりで液性によって色が変わる現象の例を挙げる。 身のまわりにある水溶液の液性を調べる計画を立てる。	<ul style="list-style-type: none"> ・実験結果を意欲的に発表しようとしているか。(関心・意欲・態度) ・身のまわりの物質の色とその液性を関連付けて考えることができるか。(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：ムラサキキャベツ溶液(40mL)、たまごパック(1)、点眼びん(3) 0.1mol/L塩酸(10mL)、0.1mol/L水酸化ナトリウム水溶液(10mL) リン酸塩標準液、駒込ピペット(1)、pH計(1)、ラベルシール(10) ガラス棒(1)、サンプルびん(10)、保護めがね、雑巾、キムワイブ	

溶液は、BTB溶液やフェノールフタレイン溶液と比べて、液性によって色が多様に変化するため、生徒の興味関心を高め、主体的に色見本の作成に取り組むことができた。



本実験は、スモールスケールで行うため、点眼びん(10mL用)を用いてうすい塩酸(0.1mol/L: pH 1.0)とうすい水酸化ナトリウム水溶液(0.1mol/L: pH 13)を滴下して混合した。点眼びんは一定の体積の水溶液を一滴ずつ滴下させることができるので、うすい塩酸とうすい水酸化ナトリウム水溶液を滴下する体積(滴下数)を変えることによって、それぞれを混合する割合を容易に変化させることができる。また、生徒は、発展的な内容であるが、同じ濃度で同じ価数の酸とアルカリの水溶液を同じ体積(滴下数)だけ混合したとき、ちょうど中和することは既に学習している。このため、今回の授業実践では、「混合する割合を変える」という手だてをこちらから提示せず、各班でさまざまな色をつくるにはどのようにすればよいかを自由に考えさせ、できるだけ多くの色をつくるよう喚起した。すると、酸とアルカリを滴下する量を一滴ずつ変化させながら混合したり、たまごパックに作成したさまざまなpHの水溶液どうしを混合したりするなど、それぞれが工夫しながらできるだけたくさんの色の水溶液をつくらうと意欲的に取り組んでいた。したがって、本教材は中和の量的関係について考えるきっかけを与えるのに適した教材であるといえる。最終的に、各班で作成したさまざまな色の水溶液を入れたサンプルびんをpHが小さい順に並べることにより、クラス全体で1つの色見本を完成させた。

次時では、はじめにこの色見本をもとに水溶液の液性とムラサキキャベツ溶液の色の関係を見だし、まとめた。次に、日常生活において、ムラサキキャベツのように水溶液の液性によって色が変化するような身近な現象がないか考えさせたところ、レモン汁を入れると紅茶の色がうすくなることや、土壌の性質によってアジサイの花の色が変化するなどを挙げる



生徒がいた。このように、色の変化で水溶液の液性を調べることができることに気づかせたうえで、身のまわりにある水溶液で液性を調べてみたいものがないか各自考えさせたところ、生活排水や雨水、HR教室で飼育しているクロメダカの水槽の水など、環境汚染について考えるきっかけとなるような素材を選んでいる生徒が多数見られた。

今回の授業実践のように、探究的な活動を通して身近な水溶液の液性や環境問題などの発展的な問題について考えることができたことから、生徒の科学的思考力を高める授業展開になったのではないかと考えている。

V 高等学校における実践

指導者 井上 純一

日時 2007年11月9日(金) 9:30~10:20

場所 第2生物教室

クラス 高等学校2年1, 2, 3組選択クラス37名
(男子14名, 女子23名)

単元 体液とその恒常性

目標

1. 内部環境や恒常性の概念およびそれらを維持するしくみについて理解させる。
2. 恒常性の維持に関わる種々の構造や調節作用のしくみを、自己(ヒト)と関連づけて理解させるとともに、生命維持の精巧さや複雑さについて深く探究することのできる見方や考え方を育成する。
3. 観察・実験技能を習得させるとともに、結果を考察し、自らの考えを導き出すことのできる科学的な思考力を高める。
4. 生命尊重の精神や倫理観を養う。

時間配当

1. 内部環境としての体液 …… 6時間(含む本時)
2. 自律神経系とホルモンの働き …… 4時間
3. 恒常性を保つ働き …… 4時間

指導の経過と今後の計画

生徒はこれまでに様々な動物の組織、器官を用いて観察や実験を行い、実物に触れながら学習する機会を得ている。しかし、それらを「ヒト(自分自身)」に置き換えた場合、ヒトの体内の精巧かつ複雑なしくみを理解することは容易ではない。自分自身の体内で起こる様々な生命現象を深く探究できるようになるためには、現象自体を目の当たりにする、つまり、「可視化」することが求められ、それによって形態的、生理的变化などを科学的に分析することが必要であると考えられる。

そこで、今回の授業実践では、できるだけヒトの体

内を「可視化」するために、体表面の筋肉の形態がヒトの血管のつくりと類似しているミミズを用いることにした。まず、ミミズのぜん動運動を観察させることにより、体表面に存在する筋肉が収縮するようすを体感させる。次に、実験結果より、環状筋および縦走筋という2種類の筋肉がそれぞれ異なる方向に収縮していることを理解させる。そして、これらの活動を通して、ヒトの血管が筋肉を含めて層状のつくりになっていることや、円周方向と長手方向にそれぞれ収縮性があることなどを見いださせたい。また、その複雑かつ精巧なしくみについて問題意識を持ち、既存の知識を用いて科学的に探究することができるようなきっかけを与えたい。

こうした展開を受けて、次時の授業では、体液の循環について学習していく。まず、心臓の構造において、心房と心室が絶えず収縮と弛緩をくり返し、多量の血液が出し入れされていることを学習し、半永久的に血液が流れる場としての血管の構造的な意義を理解させる。そして、血液循環の全体的な流れを捉えた上で、動脈と静脈あるいは毛細血管では、血管のつくりがそれぞれ異なっており、それがどのような理由によるも

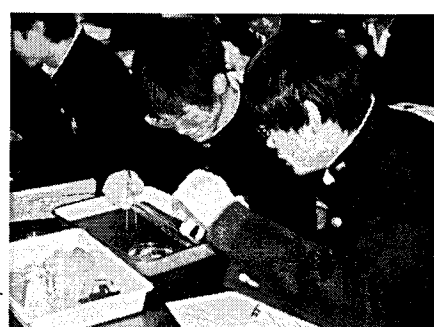
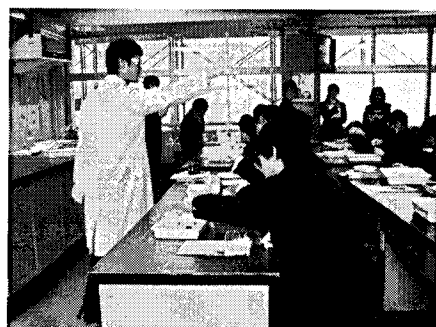
のかを思考させ、科学的に説明できるようにさせたい。こうした学習により、生徒は生命維持の複雑かつ精巧なしくみを自己に関わる問題として身近に捉え、健康問題や化学物質の影響などの発展的な内容へと思考を広げるようになり、科学的思考力を育成できると考えている。

本時の題目

「ミミズの形態的变化とヒトの血管のつくり」

本時の目標

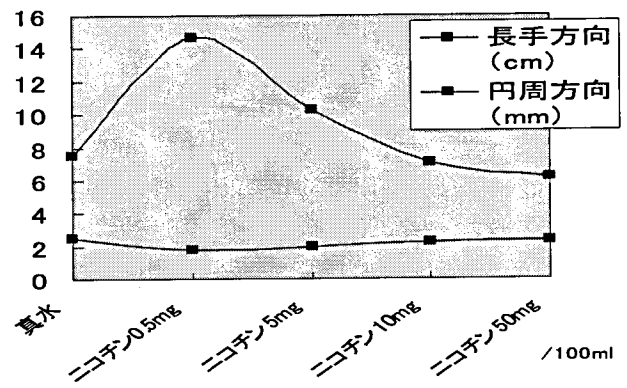
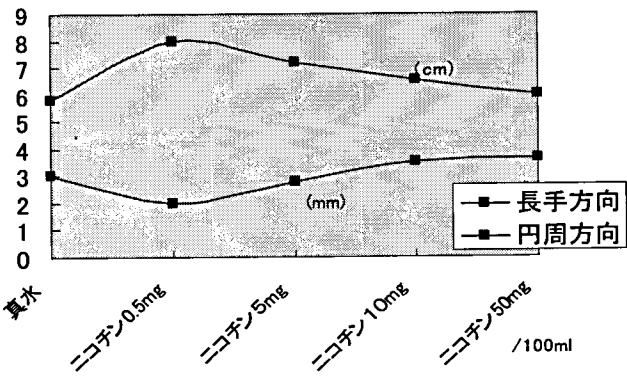
1. ミミズの筋肉の形態とヒトの血管のつくりが類似していることを理解させる。
2. ニコチンの濃度によってミミズの形態的变化が異なることから、2種類の筋肉（環状筋・縦走筋）がそれぞれ収縮していることを理解させる。
3. 観察・実験の結果から、ヒトの血管のつくりや収縮が起こるしくみを見いださせる。
4. 生命維持の複雑かつ精巧なしくみや化学物質の影響などを自己に関わる問題として身近に捉え、科学的に探究できる力を育成するとともに、生命尊重の精神や倫理観を養う。



本時の指導過程

学習内容	指導過程・学習活動	評価・指導上の留意点
【導入】 本時の目的の理解	本時の目的を理解する。 ① ミミズのぜん動運動は、どのようにして起こるか。 ② ニコチンの作用によって、ミミズの形態はどの方向にどのように変化するか。 ③ ミミズの形態的变化から、ヒトの血管のつくりと収縮のしくみはどのように説明できるか。	18班で観察、実験を行う。 ①, ②については予想させる。 ③については、①, ②の結果をもとに考察することを伝える。 本時の目的を理解しようと努め、すすんで観察・実験を行おうとする姿勢が伺えるか。(関心・意欲・態度)
【展開】 ミミズの運動および外部形態の観察 観察、実験の手順の理解	動物実験における配慮事項を理解する。 実物投影機にて、ミミズが運動するようすや外部形態の特徴（環帯や分節構造など）を観察する。	生命尊重についての指導を行う。 体表面に筋肉が存在し、それらの働きによってぜん動運動が起こっていることを確認させる。

観察・実験	手順を演示し、注意事項と観察、実験のポイントを確認する。	ニコチン(猛毒)の取り扱いに注意させ、保護めがねと手袋の装着を徹底させる。
ニコチンの作用によるミミズの形態的变化	各班、ミミズ数匹と濃度の異なるニコチン水溶液を準備する。	安全に注意し、また、生命に配慮しながら、丁寧に観察・実験を行っているか。
【終結】	ミミズを①～⑤のシャーレに順に入れ、それぞれ長手方向と円周方向の体長を測定する。	(技能・表現)
実験のまとめ	① 純水(対照実験) ② 0.5mg/100ml ニコチン水溶液 ③ 5mg/100ml ニコチン水溶液 ④ 10mg/100ml ニコチン水溶液 ⑤ 50mg/100ml ニコチン水溶液	環帯を中心として、その前後の収縮のようすに着目させる。
考 察	体長の測定結果を集計し、全てのデータに基づいたグラフを提示する。	実験結果を適切に表現できているか。(技能・表現)
	実験結果より、ニコチンの濃度と形態の収縮(長手・円周)の関係についてどのようなことが言えるか。	濃度の違いにより収縮方向が異なることから、2種類の筋肉(環状筋、縦走筋)が収縮していることを理解しているか。(知識・理解)
	ミミズの筋肉の形態とヒトの血管のつくりが類似していることから、血管内部の構造や血管の収縮はどのように説明できるか。	ヒトの血管のつくりや血管収縮のしくみを見いだすことができるか。(思考・判断)
備 考	使用教科書：高等学校改訂生物Ⅰ(第一学習社) 準備物：ミミズ(市販の釣餌)、ニコチン水溶液、蒸留水、定規、小型シャーレ、試験管、ピンセット、解剖皿・ゴム板、解剖用手袋、保護めがね、消毒液、雑巾	



実践結果と課題

今回の実践では、体表面の筋肉の形態がヒトの血管のつくりと類似しているミミズを用いることで、ヒトの血管のつくりや収縮するようすを「可視化」できるという大きな利点があった。実践に用いたイトミミズは釣餌として売られているもので、安価で購入しやすく、大型のミミズに比べて生徒の抵抗感も少なかった。また、ミミズは高濃度のニコチン溶液に浸したあとでも真水にしばらく戻しておけば、正常な状態に戻るため、生き物を死なせずに実験を行えるという点でも、大変有用であった。

一方で、ニコチン溶液は猛毒であり、生徒が扱う際には細心の注意を払った。また、予備実験の段階で、長手方向は最初伸びて徐々に縮むように、逆に円周方向は最初細くて徐々に太くなるように、それぞれ最適な濃度を調整するのにかなりの時間を費やした。さらに、ニコチン溶液に浸してもミミズが固定されたわけではなく、個体によっても形態変化に差が見られるため、生徒にとって体長の測定は大変難しい作業であっ

た。測定方法については、データの信頼性の問題と併せて工夫・改善していく必要があると考えている。

上記の図は、実践における生徒の実験データをグラフ化したものである（長手方向はcm，円周方向はmmで示してある）。真水（対照実験）に浸した状態から低濃度（0.5mg/100ml）に移したときには、長手方向では1.3～1.9倍程度伸長し、円周方向では0.3～1.0mm程度細くなっていた。一方で、高濃度（10mg/100mlおよび50mg/100ml）に移したときには、長手方向では2/3程度短縮し、円周方向では1.0～2.0mm程度太くなった。得られた数値だけを見ると、データとしては信頼性に乏しいかもしれないが、生徒は実際に形態が変化しているようすを肉眼で確認することができたので、濃度の違いによる形態的な変化を容易に理解することができたのではないかと考えられる。

実験後に、ミミズの体表面には縦走筋と環状筋という2種類の筋肉が層状に存在していることを伝え、ニコチンの濃度によってそれぞれの筋肉がどのように変化したか考察させた。実験においてmm単位までの測定を行っていたことと、肉眼でその変化を容易に観察することができたため、ほぼ全ての生徒が低濃度では環状筋が円周方向に収縮し、高濃度では縦走筋が長手方向に収縮していることを理解することができていた。

次時では、ミミズの体表面の筋肉の形態がヒトの動脈のつくりと類似していることから、ヒトの動脈の内部構造および動脈が収縮するしくみについて、それぞれ自分なりの仮説を立てさせた。ヒトの動脈は実際には筋肉だけでなく、内皮、弾性繊維、結合組織などから成る複合的な構造を持つものである。今回の実践では、筋肉（環状筋、縦走筋）だけを取り上げているので、仮説を立てる段階で正確な内部構造までを求めることはしなかった。しかし、生徒はこれまでに、平滑筋が紡錘形をしており、筋原繊維が放射状に存在していること、毎分5～6Lもの血液が心室の収縮から送り出されていることなどを学習していたため、多くが仮説において、動脈の内部が平滑筋を含めた層状構造になっていること、弾力性に富んでいることなどを記述あるいは図示することができていた。また、動脈が収縮するしくみについても、多くの生徒が縦走方向や円周方向にそれぞれ収縮性があることのみならず、心臓が押し出した血液が全身に流れるために弾力性があることや自分自身の脈拍の動きなどに気づき、自分なりの仮説を立てることができていた。さらに、何人かの生徒は、実験中、最高濃度に浸した状態でミミズの形態が短縮するとともに弾力性が失われて硬化していたことに気づいており、動脈硬化など健康問題につい

ても触れていた。

以上のことから、今回の実践においては、体内で起こる現象を「可視化」し、その形態的・生理的変化を分析させることにより、多くの生徒に、複雑かつ精巧な生命現象を科学的に探究する機会を提供することができたと考えている。また、探究的な活動を通して、健康問題や化学物質の影響などの発展的な問題へと思考の幅が広がったことにより、生徒にとっては科学的思考力を高めるきっかけが得られたのではないかと考えている。

一方で、血管が収縮するしくみについて生徒の誤った理解や認識をなかなか払拭することができなかったことが大きな課題である。例えば、実践の最初にミミズのぜん動運動にも触れていたため、「ヒトの血管の収縮＝ミミズのぜん動運動」というイメージを最後まで持ってしまった生徒が多かったことである。個々に助言することで対応できたが、生徒が思考する場面において、それらを修正するための教師側の細かな投げかけや問いかけが適宜必要であったと反省している。これらのことを踏まえ、今後は、授業展開や指導方法について再検討し、生徒の科学的思考力をより高めることのできる実践にしていきたい。

VI 研究のまとめ

本年度は、小学校および中学校において化学領域から「酸・アルカリ」を、高等学校においては生物領域から「体液とその恒常性」を取り上げ、探究活動という視点を盛り込んだ科学的思考力を高める授業実践を行った。

まず、小学校では、「酸とアルカリの水溶液を混ぜるとどうなるか」という児童から必ず出される疑問から出発することで、発展的な内容ではあるが、「中和」について実験を通して理解させ、さらに塩酸の濃度決定という量的関係について探究的な実践を行った。加えた水酸化ナトリウム水溶液の量が異なることから、塩酸中にとけている物質の数が異なる。つまり、水溶液中に存在する物質は数えられることのできる「もの」として理解させることで、児童は理科において重要な粒子概念をもちいて、酸とアルカリの反応を説明することができるようになった。

中学校では、小学校と同じ「酸・アルカリ」をテーマに実践を行ったが、pHという酸やアルカリの数値指標である新しい考え方と身近なムラサキキャベツ液の色の変化とを関係付け、単に定量的な探究だけでなく、身近な素材を用いることで学校理科と日常理科とが乖離したものではないという理解を生徒に印象付けることができた。

このように、小学校・中学校では「酸・アルカリ」という同一テーマで実践したことにより、改めてスパイラルに系統立てて学習することで、重要な概念（今回は粒子概念）の理解が高まるのではないかと感じた。また、プチボトルやたまごケースを用いて実験をスモールスケールで行ったことにより、環境への負荷を配慮した教材で実践できたことも、児童・生徒に環境問題を考えさせるきっかけとなったのではないかと考えている。

高等学校では、実験・観察によりニコチン濃度の違いによって収縮する筋肉が異なることが確かめられたことと、ミミズの体表面の筋肉の形態はヒトの血管のつくりと類似していることから、ヒトの動脈の内部構造や動脈が収縮する仕組みについて、生徒が仮説を立てることができた。つまり、ミミズという代替品を用いることで、観察不可能な血管を「可視化」できたという点で教材として有効ではないかと考えられる。また、生徒が「可視化」することで仮説を立てることができたという思考の過程が科学的思考力の向上につながるのではないかと捉えている。

科学的思考力とは何であるかを端的に表現することは難しいが、「思考」とは「考えること」であり、「考える」とはさまざまなことを材料として結論・判断などを導き出す行為であり、理科における材料とは科学的な知識や概念であろう。したがって、実験・観察の結果を知識や概念をもちいて考察していく過程を取り入れた探究活動であった今回の実践を通して、児童・生徒は科学的思考力を高めることができたのではないかと考えている。また、今回の小・中・高の実践は、具体的に扱ったテーマは異なっているが、すべて「水溶液」それも濃度と関連付けており、加えてすべて身近な材料を用い、環境とも関連付けたものであり、

水という我々人間が生きていく上で切り離すことのできない物質を児童・生徒に科学的に考えさせるきっかけになったのではないかと捉えている。しかし、科学的思考力とは何かと端的に表現できる言葉、そして児童・生徒のそれを高めることができたかどうかについて数量的に評価する方法は、明確になっていない。したがって、こうした実践を客観的に評価する視点においてははまだ不十分であり、今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) 文部科学省中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会、「審議経過報告 平成18年2月」、2006。(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/06021401.htm)
- 2) 日本理科教育学会編、「科学的思考力をどう育てるか」,『理科の教育7月号Vol. 54』, 東洋館出版社, 2005.
- 3) 日本理科教育学会編、「探究して習得する理科学習」,『理科の教育4月号Vol. 56』, 東洋館出版社, 2007.
- 4) 日本理科教育学会編、「理科における言葉の重視と体験の充実」,『理科の教育6月号Vol. 56』, 東洋館出版社, 2007.
- 5) 日本理科教育学会編、「観察・実験の結果から考察へ」,『理科の教育11月号Vol. 56』, 東洋館出版社, 2007.
- 6) 岩本伸一他著、「実験観察生物図説」, 秀文堂, 2005.
- 7) 児玉竜彦他著、「血管生物学」, 講談社, 1997.
- 8) 広島大学生物学会編、「日本動物解剖図説」, 森北出版, 1971.