

プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

—小学校 6 学年理科の授業実践を通して—

民部田 悟（千葉市立新宿小学校） 植草 創太（千葉市立新宿小学校）
福田 陽（千葉市立新宿小学校） 沼倉 徹（千葉敬愛短期大学）

Identification of aqueous solutions using programming thinking
—A case study of science class at elementary school 6th grade—

MIBUTA Satoru UEKUSA Sota FUKUDA Akira NUMAKURA Toru

キーワード：（プログラミング的思考，フローチャート，水溶液の同定，小学校理科）

1 はじめに

平成 32 年度施行の小学校学習指導要領第 1 章総則第 3 の 1 の (3) にプログラミング教育が規定された。内容は次のとおりである。

「情報活用能力の育成を図るため…各教科等の特質に応じて、次の学習活動を計画的に実施すること」として「イ 児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動」

しかし、その解説では「小学校段階において学習活動としてプログラミングに取り組むねらいは、プログラミング言語を覚えたり、プログラミングの技能を習得したりといったことではなく、論理的思考力を育むとともに、プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータをはじめとする情報技術によって支えられていることなどに気付き、身近な問題の解決に主体的に取り組む態度やコンピュータ等を上手に活用してよりよい社会を築いていこうとする態度などを育むこと、さらに、教科等で学ぶ知識及び技能等をより確実に身に付けさせることにある。」としている¹⁾。

ここから、2 つの活動が想定できる。一つはコンピュータを動かしているプログラムの働きや良さを実感させるための、コンピュータを使ったプログラム体験学習であり、もう一つはプログラミングに用いられている論理的思考法を身に付けさせる学習活動である。

前者は小学校学習指導要領の例示にあるような活動であり、数回の体験で実現できるのかもしれないが、後者についてはそんなに簡単ではない。もちろん「プログラミング的思考」とは論理的思考の一部分でしかないが、小学校課程の間の数回の学習で身に着けられるものではない。発達段階に応じて必要な回数を意図的に学習活動に組み入れなければならない。

2 問題の所在と研究の目的

本論で研究対象とするのは、前述した 2 つの学習活動の後者、論理的思考としてのプログラミング的思考法を身に着ける学習活動である。

これが、簡単に身に着けられる能力でないとすれば、ある程度の数のプログラミング的思考を活用した教科等の指導事例の開発が必要である。これについてはいくつかの事例紹介本²⁾が出版されているが、実践を促すものではあっても、事例研究としての内容が充実しているとは言えないものが多い。本論の課題の一つは、事例研究としてのプログラミング的思考を活用した教科の指導事例を児童の変容を含めて提示することにある。

さらに、一般論として論理的思考力を身に着けるための学習活動は全教科等を通じてこれまでも実施してきているが、改めてその中でプログラミング的思考を取り上げてみると、この思考方法が児童の問題解決に役立つと思われるのにあまり使われていないことに気が付く。

今回は特に小学校6学年理科の「水よう液の性質」の単元の最後に実施されることが多い「何種類かの水溶液の同定」に着目した。

これまで、この同定課題は4～5種類の透明な水溶液（塩酸、炭酸水、食塩水、石灰水、水酸化ナトリウム水溶液 等）で実施されることが多かったが、薄めてあると見た目がすべて同じ水溶液で、どのように同定していったらよいか戸惑う児童が少なくなかった。多くは、リトマス試験紙での液性検査と蒸発乾固をすべての水溶液に実施して、そこから得られたデータをマトリックスに表して最後に同定しようとする。

すべての実験をすべての水溶液に対して行わなくても、順次、結果を論理的に考察して同定するほうが効率的で、かつわかりやすいにもかかわらず、マトリックスを埋めようとして、かえってわかりにくくしている児童が少なくない。結果として、4種類の水溶液でも同定できない児童が現れ、6種類7種類となるとその複雑さで、初めからあきらめてしまう児童がいる。

こうしてすべての水溶液に同様の実験を繰り返してしまうのはいくつかの原因が考えられるが、最も大きな原因はリトマス試験紙の使い方の学習で、酸性の水溶液も中性の水溶液もアルカリ性の水溶液もすべて赤リトマス試験紙と青リトマス試験紙の両方につけてみてから判断する経験が影響しているのではないと思われる。導入でのリトマス試験紙判定効果の検証過程としては欠かせない作業ではあるが、リトマス試験紙の使い方がわかったら、次は赤リトマス試験紙が青くなった時点でアルカリ性であることが明らかなので、さらにその水溶液を青リトマス試験紙にはつけてもよいのだが、子どもの学習経験として、こうした同定はすべてをつけてみるものだと考えてしまうのではないだろうか。

しかし、プログラミング的思考法を意図的に導入し、水溶液同定のためのフローチャートを作らせると、不必要なプロセスに気が付きやすくなり、より合理的で効率的な同定プロセスを作り上げやすくなるだろう。

ここで言う「プログラミング的思考」とは

- ①簡単なものから順次処理すること。
- ②もし～なら～、でなければ～と、分岐させ

ること。

③同じ処理を繰り返すこと。

④試してみて、不具合を発見すること。

⑤不具合の原因を探し、修正すること。

の5つの方法と規定した。

児童が、この考え方を今回の実践ですぐに全面活用できるとは考えられないが、本研究のような事例が多くなり、児童の「プログラミング的思考」の体験が多く積み重なっていけば、効果的な思考法として定着するのではないかと考えられる。

ここでの研究目的は、プログラミング的思考を活用した理科の事例を提示することと、水溶液の同定では、より効果的に理科学習が進められ、4種類とは言わず、6種類以上の水溶液の同定も可能になるのではないかという仮説を検証することである。

3 検証授業の概要

(1) 実施期日

平成30年10月～12月

(2) 授業対象児童

公立小学校6学年2学級

児童数1学級33人 計66人

(3) 授業計画

① 総合的な学習の時間におけるプログラミング体験の授業

平成32年度からの全面実施以降の6年生は少なくとも1回以上、「児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動」を、小学校学習指導要領解説の例示にあるような教科等学習の中で体験するものと想定できる。しかし、現在はまだ全面実施になっていないため、対象児童は体験していない。そこで、事前に総合的な学習の時間を活用してコンピュータを使ったプログラミング体験やフローチャートを使ったアンプラグドのプログラミング体験を実施することとした。こうすることで、完全ではないが、全面実施以降の6年生児童の実態に近づけるように試みた。指導計画は次のようにした。

<指導計画4時間扱い> (福田)

1次「コンピュータでプログラミングをしよう」

プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

2次「プログラミング的思考を生かしてフローチャートを作ろう」

② 理科「水よう液の性質」の授業

ここでは、2つの内容に留意して指導計画を作成した。

一つは前述したように、リトマス試験紙の判定効果検証実験の後、フローチャートを使い、必ずしも両方の色のリトマス試験紙を使わなくてもよい場合があることを学習経験として入れることである。

もう一つは、当然のことであるが、同定させようとするすべての水溶液の同定根拠となる性質を児童と一緒に確認しておくことである。

以下が、その二つの内容を同定学習の前に組み込んだ指導計画である。

<指導計画 13時間扱い> (民部田・植草)

1次「酸性・中性・アルカリ性の水溶液」

- ・無色透明な3つの水溶液（ホウ酸水、食塩水、石灰水）を同定する方法を考え、フローチャートを作る。
- ・リトマス紙を使って、いろいろな水溶液の液性を調べ、同定フローチャートを作る。

2次「気体がとけている水溶液」

- ・蒸発させて、水溶液に何が溶けているのか調べ、同定フローチャートを作る。
- ・炭酸水の泡の正体を調べる。

3次「金属をとかす水よう液」

- ・塩酸に金属を入れたときに起こる変化や、溶かした後の液を蒸発させて調べる。
- ・いろいろな水溶液が金属を溶かすか調べる。

4次「活用」

- ・無色透明な8種類の水溶液を同定する方法を、フローチャートを作って考える。
- ・同定プログラムのフローチャートに沿って、実験を行う。
- ・実験結果をもとに、自身のフローチャートの修正をする。

4 調査方法

(1) 児童が「水溶液同定プログラム」のフローチャートを、プログラミング的思考を活用して作成できるかを、児童の作成したフローチャートをもとに分析し、検証する。

(2) 児童が誤った、もしくは不効率なフローチャートを実験の後、修正することができたかどうかを、事例を拾い出して検証する。

(3) 総括テストとして、水溶液の同定問題を作成し、フローチャートを活用した同定プログラムを作成する力がついているか検証する。

5 授業実践の内容と児童の反応

(1) 総合的な学習の時間におけるプログラミング体験の授業 (福田)

1次では、2時間扱いでタブレットPCを使用したプログラムを組む活動に取り組んだ。コンピュータを使ったプログラミングを通して、前述の「プログラミング的思考」の習得をねらった。中でも理科学習の問題解決の素地となるよう、「簡単なものから順次処理」していくこと、「不具合の原因を探し、修正」していくこと、「条件分岐」で考えていくことの3つを重点に指導した。

初めに、キャラクターを指定した場所まで歩かせるプログラムを組んだ。使用したソフトはScratchである。楽しくプログラムを組んでいく中で、試行錯誤していった。「○歩進む」「○歩進むことを△回繰り返す」「ずっと進んで○色に触れたら止まる」など、動いた結果は同じでも様々なプログラムが考えられることに、体験を通して気が付くことができた。

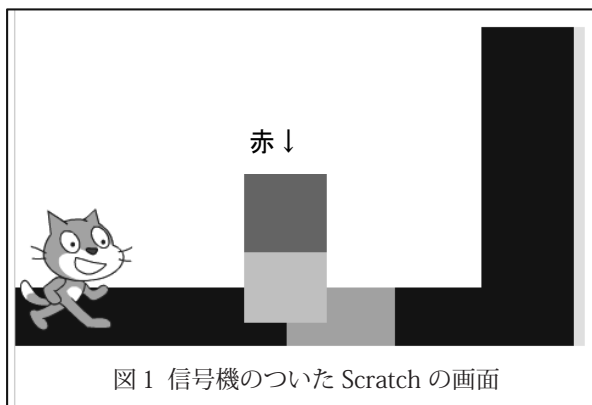


図1 信号機のついたScratchの画面

また、その中でより簡単なプログラムはどれか、図の大きさが変わった際に汎用性があるプログラムはどれか、などを比較検討する時間を設けた。それにより、自分の作ったプログラムの良さや特徴などを客観的に理解することができた。また、より簡単で分かりやすいプログラムを制作しよう

という意欲につながった。

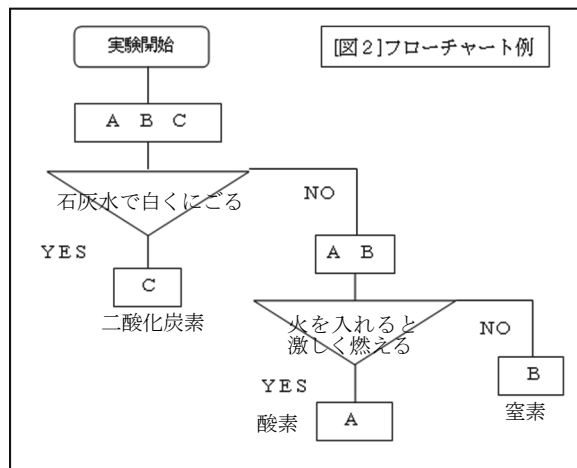
次に、信号機を提示して「条件分岐」について考えさせた。「もし～だったら A、でなければ B」という考え方を身に着けさせるため、信号機を提示した。問題点を発見し、修正を繰り返しながら「赤に触れたら○秒止まる、でなければ進む。」などのプログラムを組もうとしていた。ただ、初めてコンピュータを使用したプログラミングに取り組んだ児童には困難な課題であり、半数程度の児童が2時間ではプログラムを作成することができなかった。試行錯誤を繰り返しながらプログラムを完成させるためには、もう少し時間が必要であった。

2次では、「プログラミング的思考」を生かして、アンプラグドでプログラミング体験をするフローチャート作りに取り組んだ。具体的には、既習事項である理科「ものの燃え方」における、酸素、二酸化炭素、窒素の3つの気体を同定するプログラムを立案した。

児童は、3つの気体から1つを選び取るために、「石灰水に吹き込んで白く濁れば二酸化炭素、でなければ…」または、「気体の中に火のついたろうそくを入れ、激しく燃えたら酸素、でなければ…」などの実験を条件分岐のフローチャートに表していった。作成した気体の同定プログラムについては、どちらの実験を先に行うかの差異はあれども、どちらも適正であることを伝えた。

実験の手順をフローチャートに表すことで、自

分の実験計画のねらいと手順が可視化でき、明確になることにつながった。教師にとっても、児童の意図が把握しやすくなり、指導の視点が明確になるという利点が見られた。



最後に、一つの目的を達成するには様々な方法があること、より簡単なものから順次処理していくことが大切であること、うまくいかないときには一つ一つ解きほぐしていくことで、修正すべき点が見えてくることなどを板書し、プログラミングの考え方を日常の学習や生活でも生かしていく大切さを伝え、まとめた。

(2) 理科「水よう液の性質」の授業（民部田・植草）

本研究の「水よう液の性質」の授業実践では、単元を通して「複数の無色透明な水溶液を同定す

〔表1〕水溶液の性質一覧表（完成版）

	ホウ酸水	食塩水	石灰水	酢酸	アンモニア水	炭酸水	塩酸	水酸化ナトリウム水溶液
液性	酸性	中性	アルカリ性	酸性	アルカリ性	酸性	酸性	アルカリ性
見た目						泡が出る		
におい				あり	あり		あり	
溶けているもの	固体	固体	固体	気体	気体	気体	気体	固体
鉄	溶ける	溶けない	溶けない	溶ける	溶けない	溶ける	溶ける	溶けない
アルミニウム	溶ける	溶けない	溶ける	溶ける	溶ける	溶ける	溶ける	溶ける
マグネシウム	溶ける	溶けない	溶けない	溶ける	溶けない	溶ける	溶ける	溶けない
その他	温度によって溶ける量が大きく変わる		二酸化炭素と反応して白くにごる			石灰水と反応して白くにごる		

プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

る方法を考える」ということをキーワードとして実践を行った。具体的には、単元の導入で単元の学習の最後に8種類の水溶液の同定を行うという課題を提示し、そのために水溶液の性質を記録するための水溶液の性質一覧表〔表1〕を作成することとした。

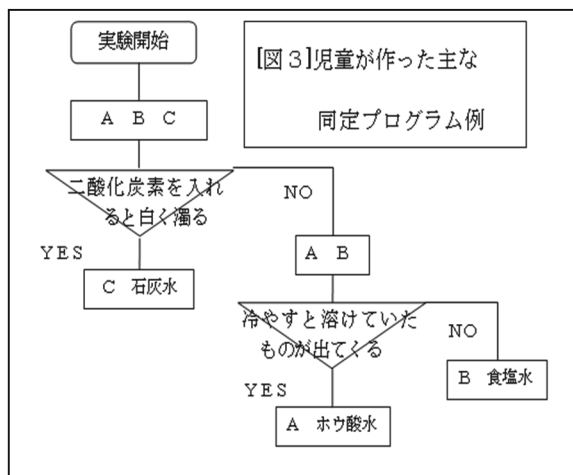
なお、2つの学級で検証授業を実践したが、1～3次までは両学級とも同様に進めた。

①1次の学習の様子

導入では、A～Hまでのラベルを付けた試験管に入っている8種類の無色透明な水溶液（塩酸、酢酸、炭酸水、ホウ酸水、食塩水、アンモニア水、石灰水、水酸化ナトリウム水溶液）を提示し、本単元で、これらの水溶液を同定していく方法について学習していくことを課題として提示した。

8種類の水溶液を同定することは難易度が高いため、第一段階として5年生で学習した単元「ものの溶け方」で扱ったホウ酸水、食塩水、そしてこれまで実験で扱う機会が多かった石灰水の3種類の水溶液を選択して、同定プログラムを作成させた。

児童はこれまでの学習の経験を振り返り、石灰水は二酸化炭素を混ぜた際に白く濁るということ、ホウ酸水は温度によって溶質の溶ける量が大きく変わるという性質に着目し、下図のような同定プログラム〔図3〕を作成した。

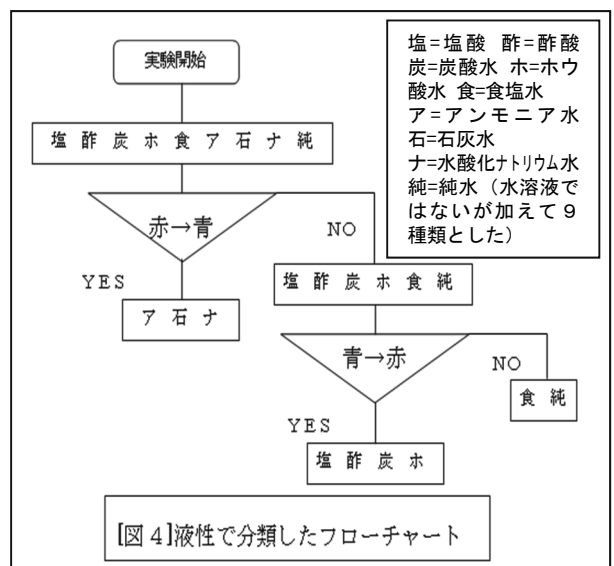


児童が作った同定プログラムに沿って、実験を行い石灰水は同定することができたが、ホウ酸水の濃度が低く、水溶液を冷やした際の温度差があまり大きくなかったことから、ホウ酸水と食

塩水を同定することができなかった。そこで、蒸発させなくても調べられる方法としてBTB溶液を提示し、3つの水溶液にそれぞれBTB溶液を入れた際の色の変化を観察させた。児童にBTB溶液の色を変化させた性質を液性と呼ぶこと、またその液性は酸性・中性・アルカリ性の3つに分類することができることを伝え、同様に液性に反応し、水溶液の液性を特定することのできるものとしてリトマス紙を提示し、その使用方法やリトマス紙の色の変化の結果から分かることについて教示した。

3つの水溶液の液性をリトマス紙を使って確かめていく中で、液性の特定に不必要な実験手順を減らすことを強調した。具体的には、アルカリ性の水溶液である石灰水を赤色のリトマス紙につけて青色に変化したことを確認した後に、青色のリトマス紙に再度、石灰水をつける必要はないということである。石灰水の液性は赤色のリトマス紙につけた時点で、特定することができるからである。そこで、今回の実践では、実験手順の必要性について児童が気付くことができるように、液性を確かめる水溶液の順番や、2色のリトマス紙の扱う順番を教師が指定をした。このようにして実験手順の必要性について考えていくことで、児童の考えを、水溶液を同定していくプログラムであるフローチャートの考え方に近づけていくことができると考えた。

この3つの水溶液の液性について確かめたこと



から、児童は水溶液の同定をするためには8種類全ての水溶液の液性を調べる必要があるという考えをもち、実験を行った。全ての液性を確かめた後に、水溶液の性質一覧表に記録し、水溶液を液性で分類するプログラムを学習の終わりに作成した[図4]。

また、児童は実験で8種類の水溶液の液性を調べる実験の中でリトマス紙の色の反応に濃淡があるのに気付く、同じ液性でも強弱があるのではないかと考えることができた。さらに、8種類の水溶液を扱う中で、炭酸水の泡や、酢酸やアンモニア水などの刺激臭をもつ水溶液があることに気付く、見た目や匂いなどの特性も表に書き入れていった。

② 2次の学習の様子

児童から8つの水溶液を同定するために、液性以外の水溶液の性質について調べたいという声が挙がった。これまでの学習を振り返り、水溶液を蒸発皿に入れて熱し、水溶液の中に溶けているものを取り出して見比べてみるという意見が出た。8種類の水溶液全ての蒸発実験を児童に行わせるのは危険があるため、児童には、食塩水、ホウ酸水、炭酸水、薄めた酢酸やアンモニア水の蒸発実験を行わせた。毒性や危険性のある塩酸、水酸化ナトリウム水溶液、石灰水の蒸発実験は演示実験のみを行い、結果を共有した。

食塩水やホウ酸水を蒸発させた後の結果と異なり、蒸発皿に何も残らないという結果や、蒸発させている途中で近づけたリトマス紙の色が変化した様子から、児童は水溶液の中には気体が溶

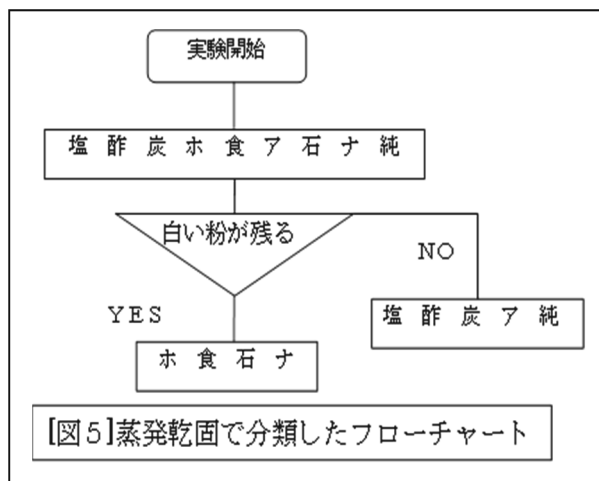
けているものがあると推論した。また、水溶液の中には固体が溶けているものと気体(液体)が溶けているものに分けられ、水溶液を蒸発させて溶けているものを調べることによって水溶液を同定する手掛かりになると気付くことができた。実験終了後には、1次と同じように水溶液の性質一覧表に水溶液に溶けているものが固体と気体のどちらであるか記入をし、水溶液を溶けているもので分類するプログラムを作成した[図5]。

2次後半では、気体が溶けている水溶液の中でも直接目で見て泡を出している様子がわかる炭酸水について詳しく調べた。児童たちは炭酸水の泡を水上置換法で集め、ロウソクの火に近づけた様子や石灰水との反応の結果から、泡の正体を二酸化炭素であると推論することができた。さらに500mlのペットボトルに水と二酸化炭素を入れ、蓋をして振った際にペットボトルが音を立ててへこむ様子が見られる実験を行い、気体が水に溶けることについて実感を伴いながら理解することができた。

③ 3次の学習の様子

始めに、酸化され色が変化している10円玉Aと、酢酸にしばらく浸し光沢を取り戻した10円玉Bを見比べさせた。「二つの10円玉のうちより新しく製造されたものはどちらであるか」という問いに対して、児童の多くはBの10円玉の方が製造された年号が新しいだろうと答えた。しかし、本当に新しく製造されたのはAの10円玉であることと、Bの10円玉は酢酸にしばらく浸していたことを明かした。この事象提示から、児童は水溶液の中には金属に影響を与えるものもあるのではないかと考えることができた。また、児童の中から1次での水溶液の液性を調べる実験を振り返り、酢酸と同じ液性である塩酸がリトマス紙の色をよりはっきりと変化させた様子から、塩酸に10円玉を浸せばもっと大きな変化を見ることができるのではないかという意見も出てきた。

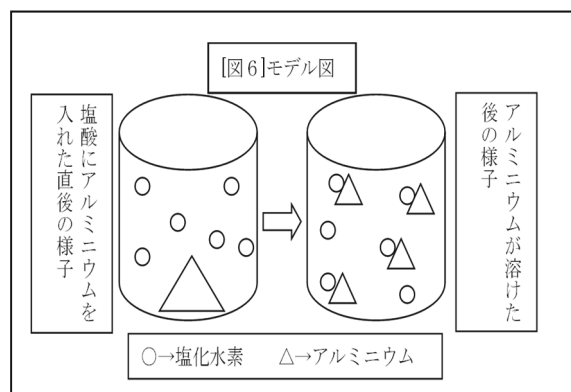
塩酸にアルミニウム片と鉄片を入れ、溶ける様子を観察した後、完全に溶けたアルミニウム片がどのような状態で、どこにあるのか疑問が出された。そこで、アルミニウム片を溶かした後の塩酸を蒸発させて、白い粉が残ることを観察した。その後に取り出した白い粉の重さを調べると、溶か



プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

す前のアルミニウムの重さよりもはるかに重くなっていることを知った児童の多くは、白い粉がアルミニウムではなく、アルミニウムと塩酸の一部が合わさったものなのではないかと推論することができた。実験を終えた後に、塩酸にアルミニウム片を入れた直後とアルミニウム片が溶けて見えなくなった後の水溶液の中の様子についてモデル図〔図6〕を描いた。

その白い粉は電気を通す性質がないことや、塩酸に溶けるが泡を出すことはなく、また水に少量溶けるなどとのアルミニウムとは異なる性質をもつことが分かった。さらに、塩酸に入れる前のアルミニウム片の重さと塩酸に溶かし細かく砕かれた、アルミニウムが塩酸の一部と合わさって、水溶液の中に存在しているという図を描き表す児童の様子が多く見られた。



3次後半では、同じ酸性の他の水溶液は金属に影響を与えることができるか確かめる実験を行った。塩酸の反応と比べるとどれも、変化が小さいが金属片が泡を出していることが分かった。変化をより顕著に見せるためにマグネシウムリボンを提示した。塩酸でもアルミニウム片を溶かしきるのに1時間程度の時間を要したが、マグネシウムリボンは1分程度で溶けきる様子を見ることができた。また、炭酸水や酢酸、ホウ酸といった弱酸性の水溶液であっても反応が見て分かりやすく、弱酸の水溶液も金属に影響を与えることを理解することができた。

さらに、他の液性の水溶液も試した。アルカリ性の水酸化ナトリウム水溶液、石灰水、アンモニア水に入れたアルミニウム片は泡が出ている様子が分かりやすく、アルカリ性の水溶液も金属に影響

を与えていることを捉えることはできたが、鉄片については児童の結果の捉え方にばらつきがあった。そこで、再度マグネシウムリボンを提示し、アルカリ性の全ての水溶液にマグネシウムリボンを入れる演示実験を行った。弱酸性の水溶液の時とは異なり、マグネシウムリボンに反応が見られないことを確認した児童は、液性の強さだけでなく、液性そのものによって、影響を受ける金属とそうではない金属があることに気付くことができた。その後、これまでと同じように、水溶液の性質一覧表に各水溶液が金属へ影響を与えることができるかどうかの性質について記入をした。

④ 4次の学習の様子

これまで学習したことを元にして4次では、複数の水溶液の同定を行うためのプログラムを作成し、そのプログラムに沿った実験を行った。単元の導入で、8つの水溶液の同定をしていくことを児童に予告をしたが、児童の実態に合わせて選択ができるように4種類、6種類、9種類(純水を含める)の無色透明な水溶液を提示した。〔表2〕

4種類	6種類	9種類
食塩水	石灰水	アンモニア水
塩酸	ホウ酸水	純水
石灰水	炭酸水	ホウ酸水
ホウ酸水	塩酸	酢酸
	食塩水	石灰水
	アンモニア水	水酸化ナトリウム水溶液
		食塩水
		塩酸
		炭酸水

〔表2〕実験で扱う水溶液

ア 同定プログラムの作成

児童は、挑戦する水溶液の数を決め、これまで記入を進めた水溶液の性質一覧表を活用しながら同定プログラムを作成した。実態に合わせた支援として、フローチャートの分岐の言葉例〔表3〕

水溶液から泡が出ている。	水溶液ににおいがあ	石灰水を入
赤色リトマス紙につけると青色に変わる。	青色リトマス紙につけると赤色に変わる。	二酸化炭素を入れると白くにごる。
冷やすと水溶液中に溶けていたものが出てくる。	蒸発皿に入れて熱すると白い粉が残る。	アルミニウム片を入
鉄片を入	マグネシウムリボンを入	
鉄片を入	マグネシウムリボンを入	
[表3]フローチャート分岐の言葉例		

や、同定の際に行う実験の方法や結果についての掲示を行った。

A学級では[表3]の「言葉例」を模造紙に拡大して掲示したが、B学級では、児童が手元で確認しながらプログラムを作成できるよう、縮小したプリントにして各グループに一枚配布した。

フローチャートは、四角形や三角形に切った付箋を使い、その付箋に水溶液名を簡略化した記号や、分岐の言葉を記入し、付箋を剥がして移動させるようにした。こうしてプログラムを簡単に修正できるように工夫した。

プログラムを作成し終わった児童は、水溶液を同定することができなくなるようなバグ(修正すべき点のことをこのように呼んでいる)がないかどうか、より早く実験を進められる方法はないか見直しをした。その際に必要に応じてプログラムの修正を行った。また、友達同士でも作成したプログラムを見合い、互いのプログラムにバグがないかどうか確認をした。

児童全員の作成したプログラムを次時の実験の前に、教師が確認をしたところ、ほとんどの児童がプログラム上は、水溶液を同定することができるフローチャートを作ることができていた。

この中で、先に実施したA学級では、水酸化ナトリウム水溶液や石灰水といったアルカリ性の水

溶液を蒸発させるような危険が伴う実験を行おうとするプログラムが見られた。安全のため、実験前に児童に液性の分かっていない水溶液を蒸発させることは今回の実験では行わないように指示し、該当児童にプログラムを修正させた。A学級の状況からB学級はフローチャート作成前にアルカリ性の水溶液の蒸発乾固は組み込まないよう全体に指示をしていた。

イ 同定プログラムに沿った各自の実験

実験は、前時に作成した同定プログラムに沿って、個人で取り組ませるようにした。あらかじめ、児童全員が水溶液の性質を利用した同定プログラムを作成していたので、児童は明確な目的意識をもって活動することができた。普段はグループでの実験が多く、全員に実験操作を十分に行わせることは難しいが、一人で全ての実験操作を行うことに、児童は不安感よりも期待感をもち、意欲的に取り組むことができた。

実験途中でバグに気付いた場合には、その場でプログラムを修正して実験を進め、修正した場合には、実験終了後に修正したプログラムに書きかえてフローチャートを提出するように指示をした。実際に、計画通りにいかない児童もいたが、どの児童も最後まであきらめることなくバグを修正しつつ結論を導いていた。

この時、A学級では、自分の出した同定結果を確かめることなく終了したが、そのことにより、同定の結果が違って気付かないまま提出した児童が出てきた。B学級ではその反省点から、同定実験が終わった児童が、同じ種類数の水溶液を扱ったもの同士で互いに「答え合わせ」を行い、くい違いがあった場合には、どちらかにバグがあったものとして再検討するように指示をした。その結果、授業では児童同士で進んで結果を照らし合わせて自己検証を進めていた。

6 調査結果と考察(民部田・植草)(〈考察〉は沼倉)

(1) フローチャートと実験結果の完答率

児童が作成したフローチャートが理論上、全ての水溶液を同定することができているものを「完答」とした。またフローチャートに沿った実験の結果も、全ての水溶液を同定することができた

プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

場合を「完答」とした。以下のように結果をまとめた[表4]。

水溶液の種類	学級	人数 (人)	フロー チャート 完答者数 (人)	フローチャート 完答率(%)	実験結果 完答者数 (人)	実験結果 完答率 (%)
4種類	A	1	1	100	0	0
	B	2	2	100	2	100
6種類	A	14	12	86	6	43
	B	13	13	100	12	92
9種類	A	17	16	94	14	82
	B	18	17	94	16	89

[表4]フローチャートと実験結果の完答率

＜考察＞

まず、両学級共に9種類の水溶液の同定課題を選んだ児童が過半数であることに着目したい。通常、6学年児童に9種類の水溶液では難易度が高すぎて、戸惑いがあるのではないかと考えたが、筆者の杞憂に終わった。児童がこれまでの学習で9種類の同定という複雑な課題にも十分な見通しを持っていたことを示している。しかも、両学級共に、ほとんどの児童がそれぞれ自分で独自のフローチャートを完成させることができた(後掲資料を参照)。これは児童が論理的に順序立てて解決の方法を組み立てることができたことを示している。

6年「水よう液」の学習では、前掲した水溶液の性質一覧表(表1)の作成を多くの学校・学級で行っているものと考えられるが、今回の授業実践ではこの表を「水溶液を同定する」ために活用するものとして作成してきたこと、また、第1次の学習からフローチャートを作成しつつ進めてきたことが、こうした結果に結びついたといえよう。

つまり、プログラミング的思考の「①簡単なものから順次処理すること」「②もし～なら～、でなければ～と、分岐させること」「③同じ処理を繰り返すこと」の3つが水溶液同定の方法として児童の記憶に定着し、同定する際の児童の道具になったのだと考えることができる。

かつ、自ら作り上げた同定プログラムにしたがっ

て意欲的に同定実験に取り組み、結果の完答率も高い。A学級に比べ、B学級の完答率が高いのは、同定実験が終わった児童が、互いに「答え合わせ」を行い、くい違いがあった場合には、どちらかにバグがあったものとして再検討するように指示したことによるものと考えられる。視点を変えると、両学級とも児童がバグを発見できれば、自分で修正していくことができる状況にあったとみることができる。これはプログラミング的思考の「④試してみて不具合を発見すること」「⑤不具合の原因を探し、修正すること」の2点についても児童は積極的に活用できていることを示しているともいえよう。

(2) 実験時のフローチャートの修正事例

実際に、児童がどのようなバグを発見し、どのようにデバッグしていったのか、見てみよう。

① 実験途中でバグに気付いた場合

・児童Aの場合(6種類の同定に挑戦)

実験前に作成したフローチャートは、実験の始めに温度による溶解度の変化を利用し、溶質を析出させるものであった。実験方法としては「水溶液を冷やす」である。しかし、実験を始め、氷水に入れて、全ての水溶液を冷やしても、元々の水溶液の温度との差が小さかったせいもあり、析出が見られる水溶液はなかった。そこで、実験の後半で行う予定であったリトマス紙を使っての液性を確かめる実験を先に行うなどをするプログラムの修正をした。プログラムを修正したことで完答することができた。

・児童Bの場合(9種類の同定に挑戦)

フローチャートは、始めに水溶液を液性で分類するものであった。アルカリ性の石灰水・アンモニア水・水酸化ナトリウム水溶液を同定する際に、水溶液の匂いでアンモニア水を同定してから、残り二つの水溶液を炭酸水と反応させ、石灰水と水酸化ナトリウム水溶液を同定する予定であったが、薄い水溶液であったため、匂いの判別が難しいことに気付いた。そこで、先に炭酸水との反応実験を行ってから匂いで判別をすることにした。このように結果を判別しづらい実験を行う前に、調べる水溶液の数を減らすことで、より正確な結果がでるようにすることができた。プログラムを修正することで完答することができた。

・児童Cの場合（9種類の同定に挑戦）

まず始めに青色のリトマス紙のみ扱い酸性の水溶液を取り出す実験を行った。フローチャートでは、その後、酸性の酢酸・塩酸・ホウ酸の水溶液を匂いのある酢酸・塩酸と匂いのないホウ酸に分類する予定であった。しかし塩酸が薄く匂いが判別できなかったため、塩酸とホウ酸にマグネシウムリボンを入れて溶け方を比べ、同定するプログラムに修正した。

また、アンモニア水・水酸化ナトリウム水溶液・食塩水・純水については、もともと匂いで判別し、アンモニア水を同定する予定であったが、判別することができなかった。そこで、アルミニウムと激しく反応する水酸化ナトリウム水溶液を除いたあとに、赤色リトマス紙を使ってアルカリ性と中性に分類し、アンモニア水を同定することができた。このようなプログラムの修正を通して、完答することができた。

・児童Dの場合（9種類の同定に挑戦）

この児童は実験を始めてすぐにプログラムの修正をした。フローチャートでは、まず、青色リトマス試験紙を用いて、酸性の水溶液を取り出す実験を行うこととしていた。その後、酸性のホウ酸、塩酸、炭酸水、酢酸の水溶液から、固体の溶けているホウ酸、マグネシウムリボンに激しく反応する塩酸、最後に泡が出ている炭酸水と同定実験を進めていく予定だった。しかし、水溶液が配られた際に、その中の一つの水溶液から泡が出ていることに気付いた。そこで、プログラムの初めに「水溶液から泡が出ている」というフローチャートを追加した。その結果、初めの実験で炭酸水を同定することができ、残りの8つの水溶液で実験を進め、実験にかかる時間を短縮させることができた。

② 結果を照合してからバグを発見した場合

・児童Eの場合（9種類の同定に挑戦）

実験を終了させた友達同士で結果を照合すると、友達の解答と異なっていることに気付いた。ホウ酸水と塩酸が逆になっていたのである。そこでホウ酸水と塩酸を同定した蒸発乾固の実験まで遡り、再度実験を行った。すると、塩酸だと結論づけていた水溶液から白い粉が出てきたため、初めに行った実験の誤り（もしかすると試験管の

取り違い？）に気付くことができた。その後の実験もフローチャート通りに進め、解答を訂正することができた。

<考察>

以上の事例のように、実験で「④試してみても不具合を発見」し、「⑤不具合の原因を探し、修正」した実験方法を考えて実践に移している。

特徴的なのは、理論上は正しく結果が出るはずの実験でも、実際に行ってみると計画通りにはいかないことを発見して修正している事例が多いことであった。自然は机上の理論よりもはるかに複雑であり、実験は「やってみないとわからない」ところがあることを児童が実感した授業だったのではないだろうか。

児童は自分で作成したプログラムだからこそ不具合を発見すると、すぐに修正に取り掛かることができたのだと思われる。もし、他から与えられた、もしくはグループ作成で自分の関与が少なかったプログラムであった場合、このようにスムーズに修正できなかったのではないだろうか。

（3）総括テストの結果

単元の授業終了後、次のテストを実施した。

問1 赤リトマス試験紙ですべての液を試したところ、㉑㉒が青くなり㉓㉔㉕㉖は不変だった。次に青リトマス紙で㉓㉔㉕㉖を調べたところ、㉓㉔㉖は赤くなり、㉕だけは青のまま不変だった。

（1）㉑㉒、（2）㉓㉔㉕（3）㉕ はそれぞれ何の液性か？（4）㉕の水溶液名は何か。

問2 この後、㉑㉒の水溶液を同定するために、どうするか。2つ方法を書き、それぞれどうなれば何の水溶液だとわかるかを記述しなさい。ただし、この2つの水溶液の中には、熱して水分を蒸発させると危険な水溶液があるので、蒸発させる方法を行うことができない。

問3 さらに、㉓㉔㉕の水溶液を同定するために、どうするか。3つ方法を書き、それぞれどうなれば何の水溶液だとわかるかを記述しなさい。

①目的

論理的にフローチャートを作成できる力がついているかどうかを見る。

②方法

ペーパーテストの形で実施し、児童の知識量の

プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

差を捨象するため授業で作成した水溶液の性質一覧表を手元に置かせて実施した。

③内容

炭酸水、石灰水、食塩水、ホウ酸水、うすい塩酸、うすい水酸化ナトリウム水溶液の6種類をどれかわからない⑦～⑩の水溶液として同定する実験として設問をした。

④結果

問2、問3の記述問題は、水溶液が2つの場合は1つ、3つの場合は2つ分かれば最後の1つは自動的に判明するので、2つ目、3つ目の方法を、「上記の反応がなければ〇〇」と書いた児童が少なくなかった。これは問題が適切ではなかったことによるので、間違いとは言えず「正答」とした。そこで、設問の意図通り、2ないし3種類の同定方法を正しく記入していたものを「完全正答」とした〔表5〕。

水溶液の種類	学級	人数 (人)	テスト 正答者数 (人)	テスト 正答率 (%)	テスト 完全正 答者数 (人)	テスト 完全正 答者率 (%)
4種類	A	1	0	0	0	0
	B	2	2	100	1	50
6種類	A	14	12	86	9	64
	B	13	12	92	7	54
9種類	A	17	16	94	15	88
	B	18	17	94	11	61

〔表5〕総括テスト結果

＜考察＞

この表のように、友達と相談できる授業中のフローチャート作りだけでなく、事後のペーパーテストでもほぼ9割の児童が正答していることから、児童にフローチャートを作成する力が育っているといえよう。

7 まとめと課題

研究目的は、次の二つであった。一つは「プログラミング的思考を活用した理科の事例を提示すること」もう一つは「水溶液の同定では、プログラミング的思考を活用することで、より効果的に

理科学習が進められ、4種類とは言わず、6種類以上の水溶液の同定も可能になるのではないかという仮説を検証すること。」である。本研究では、この2つの目的は実現できたと考える。

第1の目的の「事例提示」については、まず、「水溶液の同定プログラムを作ろう」という課題意識で単元全体を貫き、フローチャートで同定プログラムを作成し、最終的に児童が多くの種類の水溶液を自らの力だけで同定できるという、達成感と「実感」を伴った学習にすることができると示した事例になった。プログラミング的思考を活用した単元構成が本単元の学習にとって有効であることを、単元を通した授業の流れと児童の考えの推移で示すことができた。

本単元は水溶液の液性、金属を溶かす水溶液の性質という化学分野の2つの内容と気体が溶けている水溶液という物理分野の内容の合計3つの内容が含まれており、「学習ユニット」として中心概念を設定したり、児童の考えを途切れさせずにつなげていったりすることに困難性があつた単元である。今回の事例がこうした課題を完全に解決するわけではないが、児童の考えをつなげていく事例の一つとしても役割を果たすのではないだろうか。

第2の目的である、「水溶液の同定では、プログラミング的思考を活用することで、より効果的に理科学習が進められ、4種類とは言わず、6種類以上の水溶液の同定も可能になるのではないかという仮説を検証すること。」についても、十分な成果が挙げられたと考える。結果として、自ら進んで6種類以上の水溶液の同定課題を選んだ児童が95%を超え、9種類を選んだ児童も過半数を超えている。

プログラミング的思考の①簡単なものから順次処理すること。②もし～なら～、でなければ～と、分岐させること。③同じ処理を繰り返すこと。④試してみても不具合を発見すること。⑤不具合の原因を探し、修正すること、という5つの内容が、水溶液の同定という実験手順にうまく合致することを示したものと考えられる。

これまでの授業の多くは、水溶液の性質を調べた結果のマトリックスから直接、何種類かの水溶液を同定しようとしていたので、手順がわから

ず混乱した児童がいたのではないだろうか。今回、フローチャートを用いて同定する手順を身に着けていったことで、児童の多くが見通しをもって自分なりの水溶液同定プログラムを作り、自分のプログラムにしたがって、すべての実験を一人で行うことができたといえよう。

研究のスタートに当たって「児童が、この考え方を今回の実践ですぐに全面活用できるとは考えられないが、本研究のような事例が多くなり、児童の『プログラミング的思考』の体験が多く積み重なっていけば、効果的な思考法として定着するのではないか」と考えていたが、この予想は覆った。事前に、総合的な学習の時間でScratchを使った「プログラミング体験」はしているが、理科授業で初めてのフローチャートを使ったプログラミング的思考方法を多くの児童がここまで使えるようになるというのは驚きでもあった。

理科の問題解決は「決まりの発見」と「同定」が多くを占める。水溶液だけでなく、他の同定課題でもフローチャートを使った解決「手順」を導入することができる。今後、多くの事例を積み上げることが課題となる。また、こうした実践で培ったプログラミング的思考方法をコンピュータプログラミングの理解と関連付けていく作業も大切となる。

<授業者のまとめ> (民部田・植草)

本研究では単元を通した課題として「水溶液の同定」を設定した。導入で明確に課題を把握することで、多くの児童が単元の中で学習する水溶液の性質を学習する必要性について理解し、目的をもって単元の学習を進めていくことができた。

単元後半の4次では、これまで単元で学習した知識やプログラム作りを基にして、ほぼ全員の児童が同定プログラムである、フローチャートを作ることができ、かつ、そのフローチャートに沿って実験を行うことができた。

普段のグループを中心とした実験の計画では、必ずしも全員がグループの実験の手順を全て納得・理解した上で実験を進めていくことができていた訳ではなく、グループで中心となる児童に先導され受け身になって参加をすることが多かった児童も見られたものだった。今回はそうした児童も自らの力で水溶液の同定プログラムを作成し、

そのプログラムに沿って一人で実験を行うことができた。これらの児童にとっては、これまで以上の主体性をもちながら実験に取り組むことができた学習だったのではないだろうか。

単元の学習を終えた後の児童からは、「これまで学習したことを利用すると簡単に同定することができた。」「作成したフローチャートに沿って実験を進めていくことがわかりやすかった。」などの感想が見られた。単元を通してフローチャート作りを段階的に行ったことから、フローチャートを使った順次処理の有用性について児童自身が気付くことができたことと推察される。また、実験前後のフローチャートの変容からは1つの実験操作で1ないし2種類の水溶液を分岐させる実験よりも、液性などで大きなグループに分けた方がその後の実験操作で同定しやすくなるということに気付いた児童も少なくなかった。これは、1つの実験操作による結果だけを見るのではなく、プログラム全体を見て、そして実験の見通しをもつことができたことによるものと考えられる。

今回実践した2学級においては、以上のように、「水溶液の同定」でのプログラミング的思考の活用は、実験を計画する際や実際の実験操作の場面において、児童の思考の一助となるような非常に効果的な手段だったといえる。

註・引用、参考文献

- 1) 小学校学習指導要領解説総則編(文部科学省)
- 2) 次の5冊を参考とした
 - ・黒上晴夫・堀田龍也著「プログラミング教育導入の前に知っておきたい思考のアイディア」小学館
 - ・利根川裕太、佐藤智著、一般社団法人みんなのコード監修「先生のための小学校プログラミング教育がよくわかる本」翔泳社
 - ・小林祐紀・兼宗進・白井詩沙香・白井英成編著・監修「これで大丈夫!小学校プログラミングの授業」翔泳社
 - ・赤堀侃司著「プログラミング教育の考え方とすぐに使える教材集」ジャムハウス
 - ・一般社団法人教育デザイン研究所編「小学校プログラミング教育がわかる、できる」学

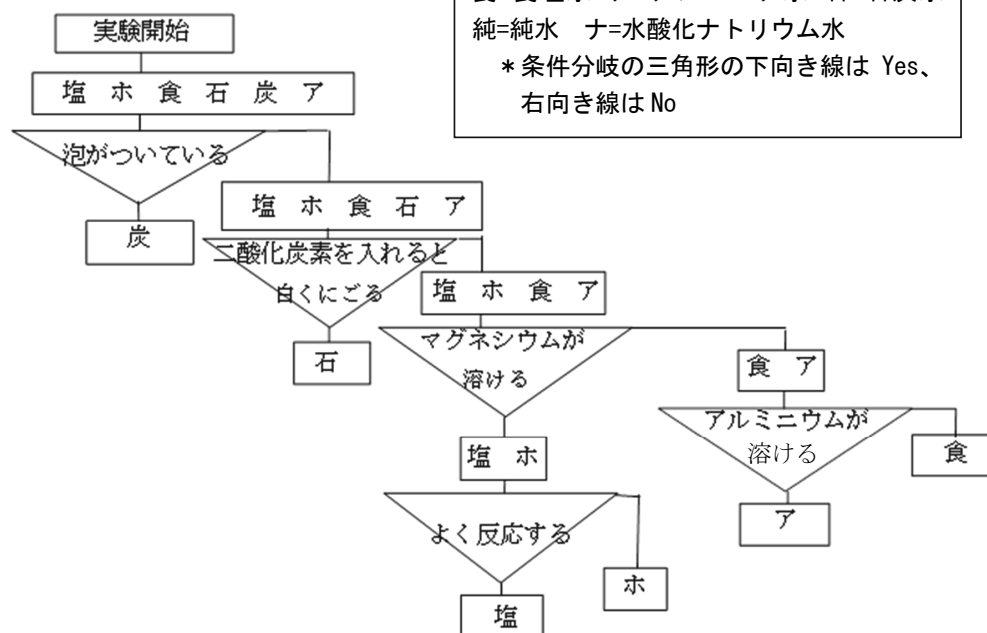
プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

事出版

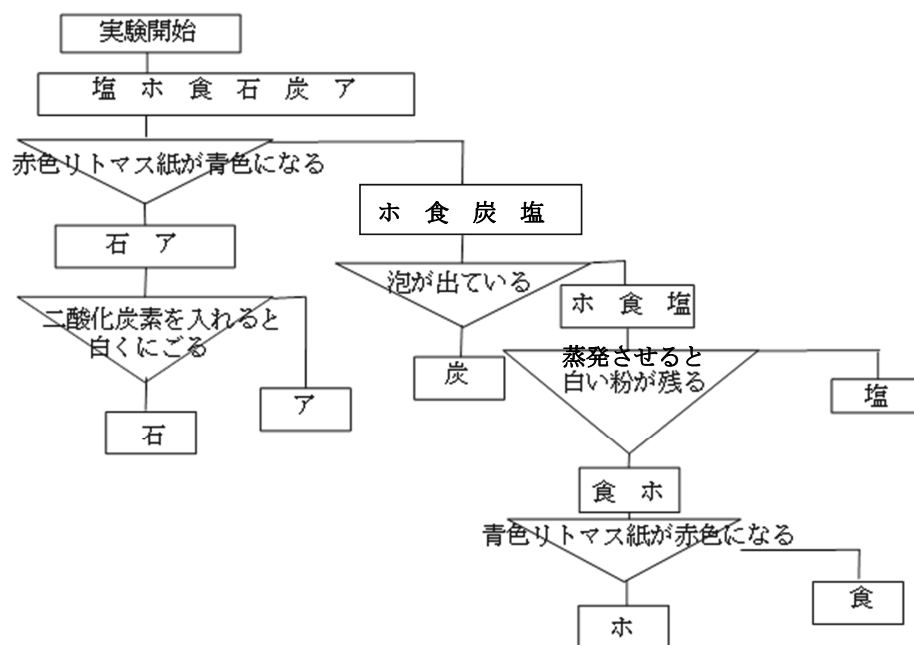
※本編は共同執筆であり、授業者(福田・民部田・植草)の執筆部分は本文中に示してある。
他の部分は沼倉。

資料 児童が作成したフローチャート例

[B学級の資料① (6種類)]

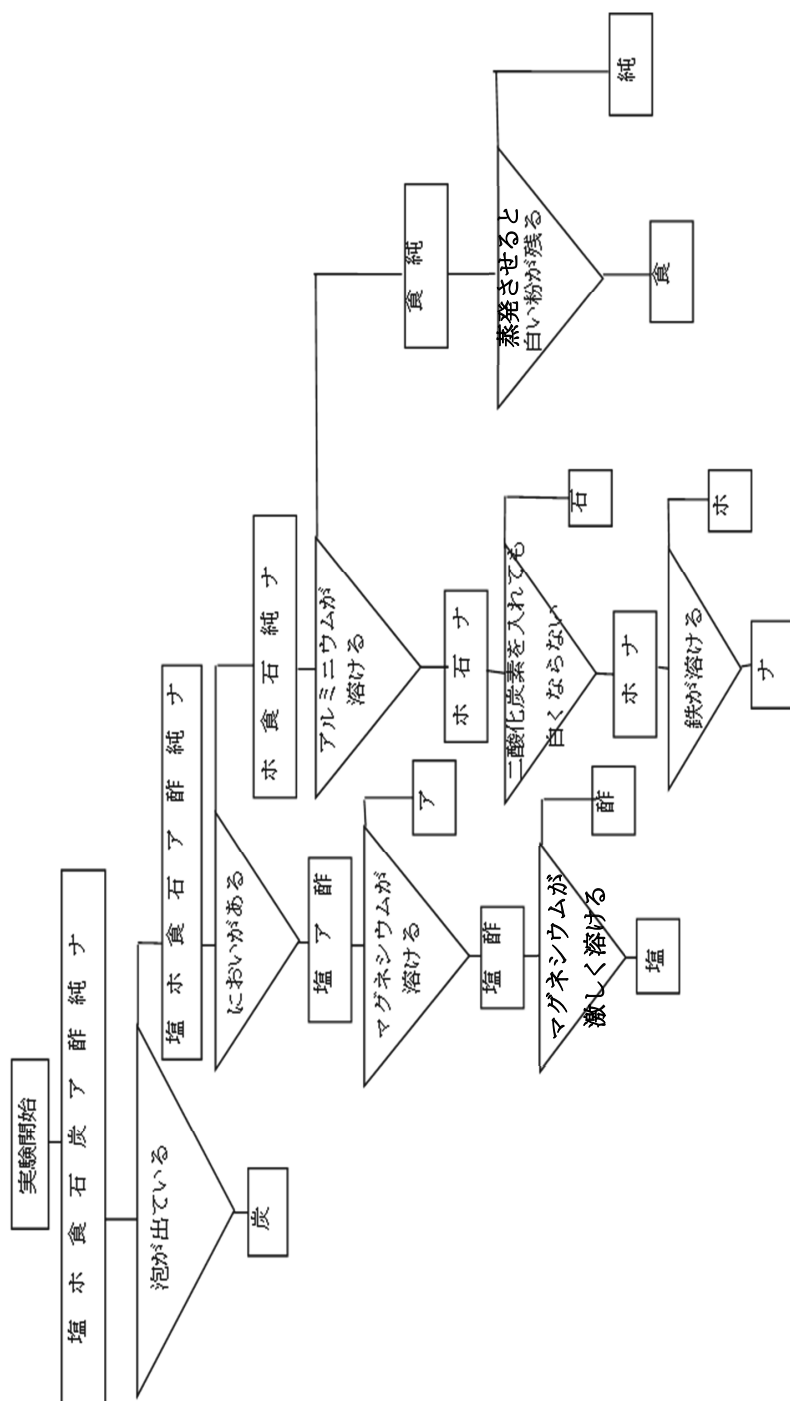


[B学級の資料② (6種類)]



プログラミング的思考を活用した水溶液の同定

[A学級の資料③（9種類）]



[B学級の資料④（9種類）]

