

LabVIEW を用いた化学分野のシミュレーション教材の開発

大友博世¹, 内山哲治², 池山剛²

¹宮城教育大学大学院 教科教育専攻 理科教育専修

²宮城教育大学 教育学部 理科教育講座

われわれは、理工系分野において、計測・制御用プログラムとしてよく知られている LabVIEW というグラフィック型プログラミング言語を用いて、理科教材支援としてのシミュレーション開発を行っている。これまで物理分野の教材開発を行ってきたが、今回、物理以外の科目への応用と物理のシミュレーション教材との比較を行うために、実験が物理よりも多く行われている化学分野に着目し、シミュレーション教材を作成した。教材のテーマは、多くの高等学校で実験が行われている、中和滴定と金属イオン系統分離を取り上げた。また、シミュレーションの有用性を検証するために、作成したシミュレーションを高等学校の化学の先生方に評価していただいた。その中で、化学と物理でシミュレーション教材の使い方に大きな違いがあることが分かった。今後の授業実践に生かすために、シミュレーション教材の意義を含めて、報告する。

キーワード: LabVIEW、シミュレーション、教材開発、中和滴定、金属イオン系統分離

1. はじめに

「Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench」の略である LabVIEW は、ナショナルインスツルメンツ社が開発した、コンピュータ上で動作する計測・制御用ソフトウェアである。LabVIEW は、グラフィカルプログラミング言語（G 言語）によってプログラミングを行う開発環境であり、Fortran や C のようなテキストベースのプログラミング言語とは大きく異なる。G 言語ではアイコンなどを使ってグラフィカルにプログラムを作成することができるため、機能や入出力関係、データフローを直感的に把握することができる。そのためプログラミング経験の少ない場合であっても、短期間で実用的なソフトウェアを開発することが可能である。

LabVIEW を用いる利点は、フロントパネルのグラフィックの良さと、プログラム実行中においても自由にパラメータを変更できる点である。そ

のため、測定や制御・解析のみならず、シミュレーション教材としての応用も可能となる。われわれは、ヴィジュアル的に優れたシミュレーション教材開発のために、LabVIEW を用いた物理分野のシミュレーション作成を行ってきた。本研究では、今回、物理以外の科目への応用と物理のシミュレーション教材との比較を行うために、化学分野に着目しシミュレーション教材を作成した。化学分野は物理分野とは異なり、実験が多く行われている。そのため、化学分野でシミュレーション教材を用いた授業を行うときには、実験を再現できるようなシミュレーションが有用であると考えた。生徒が実験で行った操作を振り返りながら、シミュレーションにより過程を詳細に理解ができるからである。そのため、教材のテーマは、多くの高等学校で実験が行われている、中和滴定と金属イオン系統分離を取り上げた。また、シミュレーションの有用性を検証するために、作成したシミュレーションを高等学校の化学の先生方に評

働していただいた。

2. 開発したシミュレーション

2.1 中和滴定

『中和滴定シミュレーション』は、酸の水溶液に塩基を滴下したときの pH の変化を 1 回の滴下ごとに観察できるシミュレーションである。最後まで観察を続けると、滴定曲線が完成する仕組みになっている。

滴定曲線を学習することで、中和点での水溶液はすべて中性 ($\text{pH}=7$) とはならず、溶液の組み合わせによって異なることが理解できる。ここは、生徒にとっても間違いやすく、かつ中和滴定を理解するためにも重要な箇所である。しかし、高等学校における中和滴定の実験では、中和点を求めることが主な目的となっており、滴定曲線はこの実験の後に学ぶ内容となっている。そこで、生徒自身が中和滴定の実験で行った操作を振り返りつつ滴定曲線が理解できるシミュレーションを作成した。ここで重要視したのは、実験とシミュレーションの対応であり、たとえば溶液の組み合わせが変わったとしても、実験のイメージをもったままプログラムの実行および確認ができることである。また、写真などの実物を表示することで、より実験との関連付けを強調した。よって、このシミュレーションは実験の復習ができるだけでなく、生徒の興味・関心を引き出し、手を動かしながら中和のすべてを理解することができるものとなっている。

『中和滴定シミュレーション』のプログラムを図 1 に示す。操作方法は、「使用する塩基の水溶液」で中和滴定に使用する塩基を選択する。使用する塩基を選ぶと、中和滴定でその塩基に対してよく用いられる酸が選択できるようになる。一般的には塩基を滴下し、酸で受けることが多いため、シミュレーションも塩基を滴下し、酸で受ける方式を採った。さらなる学習のために、実験では行われない酸と塩基が逆の場合の滴定曲線も観測できるようにし、滴定曲線の変化の違いを明確に比較

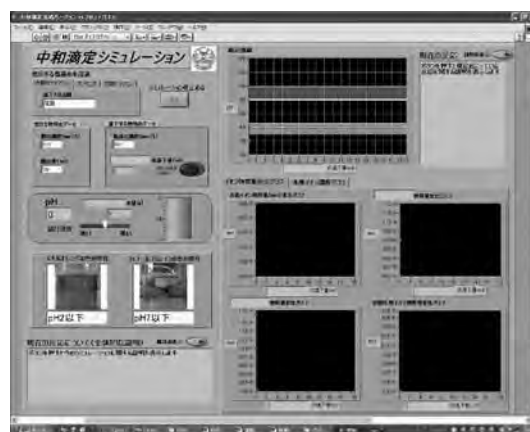


図 1 中和滴定シミュレーション

できるようにした。

次に、酸と塩基の濃度と、受ける酸の量を設定する。塩基は基本的に 1 回に 0.1mL 滴下するように設定したが、詳しいデータが欲しい時などはボタンにより 0.01mL に設定することもできるようにした。また、実際の高等学校の化学実験では 0.01mol/L の濃度を使うことが多いのでその値をデフォルトとして設定した。

以上の準備の後、試行した結果が図 2 である。特長としては、1 回の滴下ごとの変化を逐次見ることが可能である点である。pH と書かれている項目で 1 回の滴下での pH の変化が表示され、その横の部分に中和反応で出来る塩の名前と出来る量が表示される。ここで塩の出来る量もイメージができるように、右のゲージを見て実感できるように工夫した。溶液の pH は、中和点の前後で急激に変化する。滴定曲線(図 1 右上のグラフ)には、単に滴定曲線が描かれるだけでなく、フェノールフタレインやメチルオレンジと呼ばれる pH 指示薬の変色域を桃色と橙色の帯で示した。滴定曲線の中和点付近における pH の変化と、変色域の帯とを比較することで、中和点を知るためにはどの指示薬を使えば良いのかが理解できる。また、pH 指示薬の色の変化も写真で確認できる仕組みを取り入れた。中和滴定の応用として、滴定曲線の下には、酸と塩基が反応した溶液に含まれるそれぞれのイオンの物質量 (mol) がグラフで表示される。これは、酸-塩基の溶液の組み合わせによ

る変化の違いを別の視点から理解できるように採用した。グラフの軸の名前も溶液に合わせて変えるようにして、見やすくした。

また、個人的な自学自習のサポートとして、ボタンを押すことで説明を表示させる項目を2箇所用意した。1箇所は、指示薬の写真の下の部分で、試行しているシミュレーションに関する全体的な説明を行い、もう1箇所は、滴定曲線の横で、試行している最中の溶液の状態の説明が表示されるようにした。

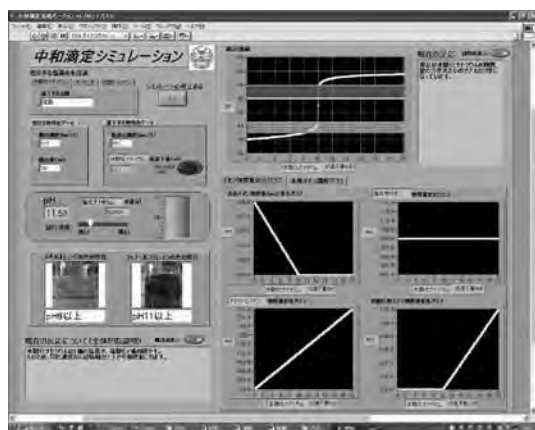


図2 シミュレーション実行後の画面

2.2 金属イオン系統分離

『金属イオン系統分離シミュレーション』は、数種類の金属イオンの混合物から、それぞれの金属イオンを分離していくシミュレーションである。プログラム作成に関しては、教科書や資料集、問題集によく掲載されている銀、銅(2価)、鉄(3価)、亜鉛、カルシウム、ナトリウムイオンの分離を取り上げた[1]。金属イオン系統分離も中和滴定と同様によく実験が行われている単元であるため、実験を再現する形式を採っている。しかし、間違った操作を選択できるようにしたことが大きく異なる点であり、間違った選択肢を選ぶと、実験失敗と表示され、シミュレーションが停止するようになっている。これは実験失敗の理由を生徒に考えてもらうことで、より深い理解ができると思ったためである。高等学校におけるこの単元の目的は、金属イオンの特性を知識として習得して

いくことである。つまり、金属イオン特性を暗記しさえすれば単元を習得したことになる。しかしながら、科学の面白さは知識から演繹した予想と実験結果との差異にあり、この場合は、実験失敗と表示された原因を探究することにある、とわれわれは考えている。よって、このシミュレーションは知識の確認や習得のためだけではなく、実験の本質を楽しみながら理解することが出来るものとなっている。

『金属イオン系統分離シミュレーション』のプログラムを図3に示す。操作方法は、操作1の項目で実験操作を選択すると、選択した内容に沿って、操作1以降のクエスチョンマークの項目が変化し、あとは表示された指示に従って操作していくようになっている。



図3 金属イオン系統分離シミュレーション

操作1では、「希塩酸を加える」という選択肢が正解であり、それを選択すると図4のようになる。出来た沈殿は、「析出*」(*は数字)の項目で確認が出来る。反応式についてはボタンを押すことで確認できるようになっている。「溶液*」(*は数字)の項目では、沈殿を分離したときの溶液の様子が表示され、次の操作に進む。シミュレーション画面の左側にある「検出されるイオン」の項目で、検出されたイオンが沈殿の色で表示される。これは、操作が進むにつれて画面が下に進んでいった時、どの操作段階で何のイオンが検出されたかを生徒が明確に分かるようにするためであ

る。この項目は、画面をスクロールさせても位置が変わらない。そのため、実験の全体図と合わせて、常に実験の進行具合を確認することが可能となる。



図4 操作1で正しい操作を選択したときのシミュレーション画面



図5 操作1で間違った操作を選択したときのシミュレーション画面

一方、操作1において、「希塩酸を加える」という正解以外を選択すると図5のようになる。「析出*」（*は数字）の項目では、実験失敗と表示される。「溶液*」（*は数字）の項目では、次のような操作をすればよいかが表示される。図5の場合は2種類以上のイオンが反応しているため、実験はやり直しとなる。これは、「検出されるイオン」の項目で複数のランプが点灯することで分かる仕組みになっている。一方で、どのイオンとも反応しない試薬を加える選択肢を選んだ場

合は、反応が起こらず、前操作のやり直しが指示される。

3. シミュレーションの評価

今回作成したシミュレーションは複数の高等学校の化学の先生方に見ていただいた。ここでは、先生方から頂いた意見を示しながら、われわれが考えるシミュレーション教材との違いと、化学シミュレーション教材の有用性について述べる。

『中和滴定』のシミュレーションにおいては、生徒に考えさせる要素が多く含まれており、理解しやすいものであるという意見を頂いた。しかし、違う先生方から、表示される情報量が多すぎて、生徒が混乱するのではないかという指摘を頂いた。また、シミュレーションでは、実験で用いられる酸・塩基の種類は教科書で取り上げられているパターンをすべて網羅したが、全てのパターンを授業で取り上げることは難しいという指摘も頂いた。そのため、授業よりも自学自習用として使う方が有効ではないかという意見が多かった。

『金属イオン系統分離シミュレーション』においては、間違った操作を選択できるようにした点で、高評価を頂いた。また、反応式を記入するプリントを配布し、シミュレーションを見ながら知識を確認していく授業が可能なのではないかという意見を頂いた。改善点としては、銀イオンと同様に、希塩酸と反応して沈殿を作る鉛イオンが含まれていなかったことが挙げられた。また、分離するイオンの種類が自由に選べるような仕組みがあると使いやすいという意見も頂いた。シミュレーションでは、溶液に含まれているイオンが分かっている状態で、適切な分離方法を選択していくが、自習用としては、逆にイオンの種類が分からない状態で分離を行っていき、含まれているイオンを答えるシミュレーションがあると面白いのではないかという意見を頂いた。

われわれは、化学分野でシミュレーション教材を用いた授業を行うときには、実験を再現できるようなシミュレーションが有用であると考えてい

る。この点に関して先生方からも、実験の再現のシミュレーションを使う際には、実験を重視した上で補助的にシミュレーションを使わないと、知識の押し付けになってしまうという指摘があった。

さらに、先生方からパラメータを豊富に含ませたシミュレーション教材を使っても、すべてのパラメータを授業で取り上げることが難しいという指摘があった。物理においては、動的なイメージが困難であるものを学習することが多い。そのため、パラメータを豊富に含んだシミュレーション教材は、生徒に様々な現象を見せることが出来るため、深い理解につながるとわれわれは考えている。しかし、化学においては、実験を行うことで、ありのままの現象として見せることができる場合が多い。また、学習の仕方においても、自然現象を考察し、法則化する過程を通じて理解を深める物理とは異なり、化学では一般的なパターンを知識として習得し、その知識を用いて応用的な事柄を理解していくことが多い。よって、授業でシミュレーションを用いる場合は、一般的なパターンが網羅されているもので十分であるという意見が先生方から出された。その点で、物理のシミュレーションとは根本的にスタンスが異なることを実感した。

4. まとめ

『中和滴定シミュレーション』は、酸-塩基の組み合わせによる滴定曲線の違いから、どの pH 指示薬を利用すれば中和点を知ることができるかを理解できるものが完成した。グラフと写真から、「この指示薬を使うことが、中和点の pH の変化に対応している点で有益である。」といった論理的な理解が出来る。われわれは、教科書などの知識の暗記ではなく、本質（第一原理）を理解し演繹による応用展開が大切であると考えており、特に力を入れた部分である。

『金属イオン系統分離シミュレーション』は、試薬を加える順番によって反応に違いが見られる

という実験の特徴を生かし、授業用、自学自習用の両方に対応できるシミュレーションを作成した。実験は、結果も大切ではあるが、実験の目的や本質を理解することで、学習内容を深く学ぶことができる。それに気付きやすいのが実験失敗であると考ええる。そのため、あえて失敗させるような流れを作ることにした。また、その失敗の理由を考えてもらうように、プログラムが停止したり、ヒントとなるものを表示したり、などの工夫を行った。

作成したシミュレーションを高等学校の化学の先生方に見ていただき、化学のシミュレーション教材の意義を実感することが出来た。今回開発したシミュレーションは、必要な要素が一通り備わっているものであり、一般性のあるものとなった。今後の改善点としては、生徒の学習実態を把握した上で、個々人に対して教えたいことを明確にし、それが伝えられるように要素のみを表示するようなシミュレーションの多様化を図りたいと考えている。

本論文で紹介したプログラムを含め開発してきたシミュレーションソフトは、現在、広く使って頂くために、宮城教育大学 内山研究室のホームページ[2]でフリーソフトとして公開している。

最後に、シミュレーションを見て頂き、ご指導を頂いた仙台第一高等学校の渡部知子先生、仙台西高等学校の窪田篤人先生、および SCN 宮城においてご指導を頂いた先生方に感謝いたします。

参考文献

- [1] 数研出版編集部編：視覚でとらえるフォトサイエンス化学図録，pp.138-139，数研出版株式会社 (2004).
- [2] 宮城教育大学 内山研究室ホームページ：
<http://supercond.miyakyo-u.ac.jp/FreeSoft.html>