科学的思考における予想の意義を見出すための生徒実験授業の実践

古結　尚

Practice of student experiment classes for finding the significance of prediction in scientific thinking

Hisashi KOGETSU

教職キャリア高度化センター教育実践研究紀要

第６号（2024年１月）

Journal of Educational Research
Center for Educational Career Enhancement

No.6（January 2024）

科学的思考における予想の意義を見出すための生徒実験授業の実践

古結　尚
（同志社中学校・高等学校）

Practice of student experiment classes for finding the significance of prediction in scientific thinking

Hisashi KOGETSU

2023 年 8 月 30 日受理

抄録：高校化学実験では一般に直前に学習した内容がそのまま予想となり，予想を立てて検証する科学的思考のプロセスとなることが少ない。本研究は，科学的思考における予想の意義を見出すための生徒実験授業の開発，実践を試みた。各単元は講義型授業の後，生徒実験授業を行う。生徒実験授業では個人の予想を班でまとめ，班どうしで討論した後に実験を行い，予想と結果を比較する。討論を活性化させるために，立てる予想は多様な素朴概念がある粒子概念や平衡概念を必要とする場面を問うた。このような生徒実験授業を年間 15 回実践した。実践後振り返りとしてアンケート調査を行った結果，予想が学習に役立ったと認識する生徒が多いことがわかった。

キーワード：化学教育、生徒実験、科学的思考、アクティブ・ラーニング

Ⅰ．はじめに

自然現象を理解する代表的な方法に，現象にはたらきかけ，立てた仮説（予想）を実験で検証するプロセスがある。一連のプロセスは科学的思考と呼ばれる。高校学習指導要領では，この理科探究の過程 1)として，仮説の設定，実験の計画・実施，結果の処理，考察・推論を繰り返すことが科学的思考の理解を深める例として紹介されているが，通常の授業時数では，すべての過程を実践することは難しい。ここで，ピア・インストラクション 2)や反転授業 3)などの，アクティブ・ラーニングの視点に立つと，ある現象の概念的理解は，次のプロセスで実現されるといえる。(1)生徒が事前に持っている個人の考え（予想）と他者の考えとの相違を認識する（メタ認知する）ことにより，その現象において着目するべき視点を明確化する。(2)現象に臨み，事実を確認した上で，事前の予想との相違に対する議論を行う。(3)以上のプロセス全体をメタ認知する。つまり，このプロセスは，個人と他者との考えの相違を共有することから始まるといえる。

高校化学実験では，一般に直前に学習した内容がそのまま予想となることが多く，予想を立てる過程が重視されることは少ない。その結果，生徒の注意と関心は実験の操作手順の忠実な履行および結果が教科書通りであるかどうかに向き，予想についての振り返りが乏しくなり科学的思考のプロセスとなることは少ない。予想に対する議論を活性化させるためには、生徒の概念の理解状況を把握し，予想が分かれるような質問を作成する必要がある。例えば，粒子や平衡などの概念について生徒の素朴概念の調査が行われており 4)，このような結果を活用することが重要である。本実践では，科学的思考における予想の意義を見出すためのアクティブ・ラーニング型生徒実験の開発，授業実践を試みた。

Ⅱ．生徒実験授業の開発・実践

1．単元と授業の構成

各単元は，図１に示すように講義型授業の後に実験授業を行った。講義型授業では，その単元で定着させたい概念を理解するための基本的な知識を学習し，一連の問題演習で知識を活用する経験をさせた後に，予想・実験を含んだ実験授業を行うように計画した。ここで，講義と演習の後に実験授業を行う目的は，高校化学で扱う概念は抽象的なものが多いため，それを理解するための基本となる知識とともに，具体的な操作が必要である。講義型授業で学習した後に実験授業を行うという点に，実験授業は反転授業的な位置づけとなる。

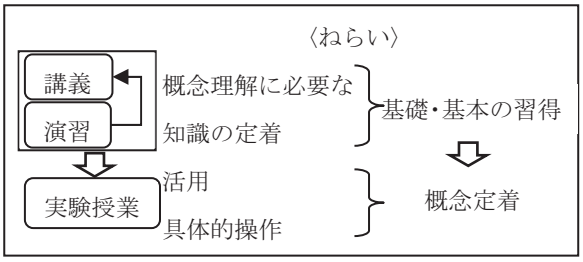


図１　単元の進め方

実験授業で行う実験は，通常の教科書記載の内容であるが，図２のように通常行う生徒実験の前に予想を立てることと，実験の結果や考察と予想とを比較することを徹底する展開とした。

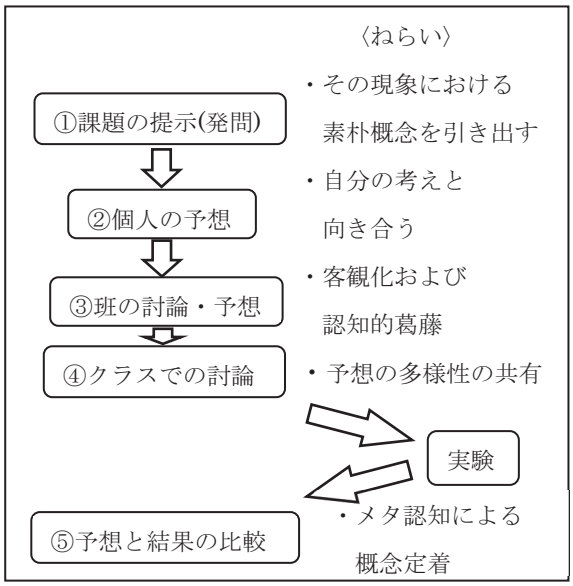


図２　実験授業の進め方

①課題の提示では，生徒のもつ素朴概念が浮き彫りになるような設問が重要である。ここで化学的現象の理解の根幹となる粒子概念や平衡概念は極めて抽象的であるため，生徒にとって難しく，定着している生徒は多くない。そこで，ピア・インストラクションを参考にして，これらの概念を必要とする場面を設定して問うことによって，素朴概念を持つ生徒と正しい概念を持つ生徒との間で予想が分かれることが期待される。具体的には，モデルを用いて説明する活動を設けることにより，ミクロな現象を記述することができ，現象を把握する際に必要な概念がより明確になることが期待される。

予想，討論の場面では，②個人で予想を行う，③班で予想を出し合ってホワイトボードにまとめる，④クラス全体で共有する,の３段階で行う。それぞれの段階の目的は，②個人で予想を行うことにより，自己の考えを明確にする，③班で各自の予想を出し合い，比較により自己の考えを相対化する，④クラス共有において，班ごとに予想が異なることが明確にすることである。以上の段階をふむことにより，なぜそのような予想に至ったのか理由を考え，出し合うことができ，予想と理由が明確になることにより，その理由に焦点をあてて実験に取り組むことを促すことが期待できる。実験後は結果や考察をクラス全体で共有し個人や班の予想と比較して振り返りを行う。ここでは，個人では出てこない多様な意見が出てくることにより多面的な考察をすることが目的であるため，授業時間中に班で必ず行うことを心がけた。

2．実践の概要

対象は私立高校２年生選択化学１講座 32 名，授業時数は週４単位である。カリキュラムの都合上，４単位のうち２単位が連続授業となっている。1,2 学期 74 回の授業のうち 15 回生徒実験を行った。生徒実験のテーマは教科書に載っている標準的なものを取り扱っている。実践した実験を図３に示す。生徒の活動は４人１班の班で行った。授業での議論や演習も班単位で行った。

各実験では，中心発問に対する②予想と，⑤予想と結果の比較を記入するワークシート形式のミニレポートを課した。この活動により，メタ認知による概念定着を促した。また，各授業後に振り返りシートを記入させた。シートの内容は「気づいたこと，不思議に思ったこと」「わからないこと，難しかったこと」「他の人の意見を聞いて気づいたこと」について，自由記述で記入させた。これらの情意的な側面の内容の振り返りを，動機づけを促す目的で行った。提出は週に一度まとめて行い，教員がコメントを記入し次週に返却しフィードバックを行った。その際，授業内容に対して派生的な内容を記述しているものについて，匿名性を確保しながらパワーポイントを用いてプロジェクターやモニターでクラス全体に紹介し，補足的な説明を行うことによって共有化をはかった。これにより，振り返りの方法に困難を感じている生徒や消極的な生徒に，他の生徒がどのようなことを書いているかがわかり，振り返りシートの記入をしていない生徒に対しても記入を促す効果がある。

- 蒸気圧
- 物質の三態
- 分子量
- ヘンリーの法則
- 凝固点降下度
- コロイド
- ヘスの法則
- 電気分解
- 反応速度
- ハロゲン
- 炭素，ケイ素
- ２族元素の性質
- 金属元素の分類
- 電離平衡
- 中和滴定

図３　実践した生徒実験

また，本実践の評価として，各授業後の振り返りシートとともに，実践後の２学期末に授業の振り返りアンケート調査を行った。授業の振り返りでは，「予想が考察に役立ったか」「予想が実験に役立ったか」という質問を「１：全く役に立たなかった－５：とても役に立った」の５件法で行い，その理由について自由記述で尋ねた。さらに，「予想する意義」について，自由記述で尋ねた。

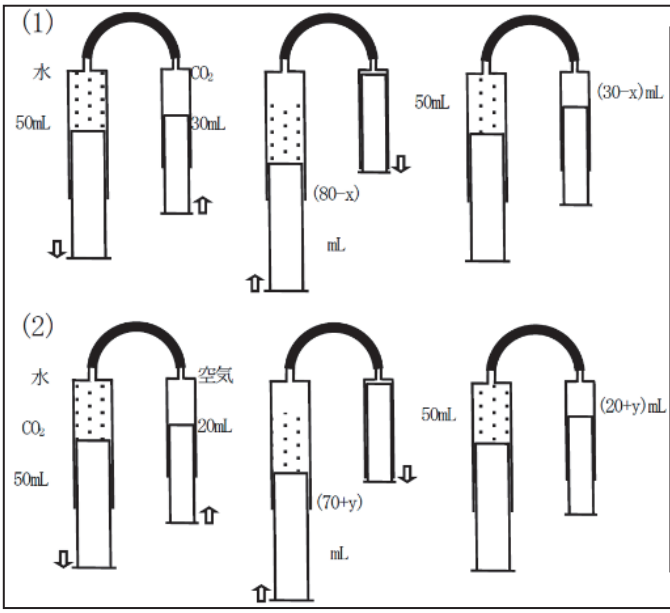
3. 実践例

実践の例として，ヘンリーの法則の単元についての授業計画を記す。授業の流れについては表１のとおりである。１時限目にヘンリーの法則について教科書に沿って講義形式の授業を行い，２時限目に問題演習を行った。次の２時限連続の実験授業で予想と実験を行った。

１時限目	講義型授業
２時限目	問題演習
３時限目	実験授業（予想）
４時限目	実験授業（班実験・考察）

表１　実践した生徒実験

実験は図４のように，定性的な観点を重視したものを扱った。実験の方法については，図中に記してある。実験(1)，実験(2)の操作について，実践をしない状況で実験装置を見せながら，予想を行った。

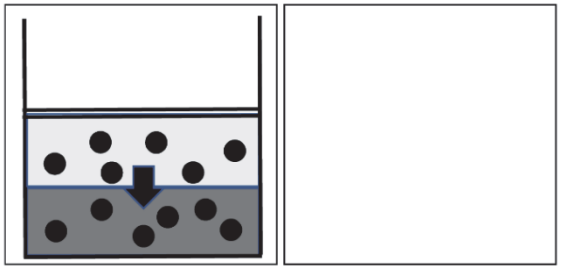


２本の大きさの異なる注射器をゴムチューブで接続し，注射器（大）に蒸留水を入れ，注射器（小）に二酸化炭素を入れる。
(1)二酸化炭素の入った注射器（小）のピストンを押して注射器（大）に二酸化炭素を入れた後，注射器（大）のピストンを押して溶け残った二酸化炭素を小注射器（小）に戻す。
(2)二酸化炭素を空気に入れ替え，注射器（小）のピストンを押して空気を注射器（大）に入れた後、注射器（大）のピストンを押して気体を注射器（小）に戻す。

図４　実験内容（その１）

ワークシートの課題を図５に示す。教科書では，純粋な気体の場合についてモデルで表しているが，混合気体の場合についてのモデルは示されていない。モデルは気体が液体に加える圧力と溶ける量の関係を，気体の粒子数と溶けている粒子数の関係として表している。教科書に載っているモデルを踏まえて，実験で混合気体について扱った。混合気体の場合についてモデルで予想させることにより，平衡概念を理解している生徒とそうでない生徒の間で，予想が分かれるように作成した。

予想後，各班で実験(1), (2)を行い，それに続いて図６の実験を行った。実験(3)では，実験(2)で行ったように注射器を再び押してよく振るということを行った。実験(4)では，実験(2)，(3)と比較しながら考察した。実験(1)～(4)を班で行った後，結果が予想と比較して同じだったか，あるいは異なっているかをクラス全体で考察する機会を設けた。



ピストンの中の気体を(1)二酸化炭素から(2)空気にして空気を水の中に通す。1 と 2 の状態はどのように異なるか。1 のモデルを左図のように表したとき，2 のモデルを描いて説明せよ。

図５　ヘンリーの法則の実験授業での提示

(3)　(2)の注射器 B を再び押して，A に気体を入れる。蒸留水と気体の入った注射器 A をよく振った後，A の目盛りを 50mL に戻す。このときの B の目盛りを読むことにより，溶けている二酸化炭素の体積を求める。

(4)　二酸化炭素の分圧と，溶けている二酸化炭素の体積の関係を求めよ。

図６　実験内容（その２）

Ⅲ．結果と考察

1．実践の結果

実践の結果について述べる。予想の内容については，班ごとに様々な捉え方が表出した。図５の質問に対する班ごとの予想は，図７を含めて３通りが出された。(a)は正解の図で，溶けている二酸化炭素の量が減ることを示している。(b)は空気が溶けるところのみ説明しており，二酸化炭素の溶け方は変わらないことを示している。残り１通りの予想は，変化なしであった。分布としては，(a)の予想は２班，(b)の予想は２班，その他は４班であった。正しい予想をしたのは２班に留まっており，正しい概念を持っていた生徒がクラス全体の中でも少ないことを示している。これらの予想をクラス全体で比較することによって，全体討論では，生徒は異なる意見に直面し活発なものになった。

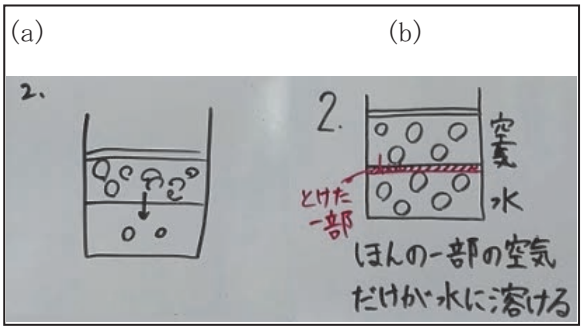


図７　班による予想(a)正解の例，(b)誤りの例

その後，各班で実験を行い，結果を共有した。実験の考察では，気体中の二酸化炭素の分圧に比例して溶けるという関係が出てくることが期待されたが，期待通りの考察ができた班はなかった。量的に注目することを促すはたらきかけが必要だと言える。

2．実践全体の結果

実践全体を通じた結果について述べる。実践開始当初，生徒は実験の前に予想することや結果を考察することに慣れておらず，班での議論がなかなか進まなかったが，授業回数を重ねるうちに議論は活発になった。特に，予想を考察する活動には，初めのうち時間がかかったが，徐々に議論できるようになった。

また，予想，実験という生徒実験の展開については，「班によって全然考えがちがったことが不思議でした」「他の班の予想がおもしろかった」など，自分の予想を他の班と比べている記述が見られた。また，実験後には，「思っていた結果とすこし違った」「グラフが完成したのを見たが，ところどころ違う点がどうなのだろうかと思った」など，予想を考察している記述が見られた。つまり，自分の予想と異なるものに直面することにより認知的葛藤が生じ，理由を考えるきっかけとなったと考えられる。一方で，クラスで共有する場面での討論では，概念的な理解を深めるに至らず，実験を考察することが難しい生徒もいた。

実践後の２学期末に行った授業の振り返りを用いて，授業評価を行った。「予想が考察に役立ったか」「予想が実験に役立ったか」という質問に対する回答を「１：全く役に立たなかった―５：とても役に立った」の５件法で回答させた。その結果，図８のように生徒の 60%が４または５を選択し、考察について肯定的に捉えていることが分かった。一方で，実験について肯定的に答えた生徒は 30%に留まった。その理由として，実験の結果の内容がうまく出ず，予想と比較しにくかった実験がいくつかあったことが理由として挙げられる。

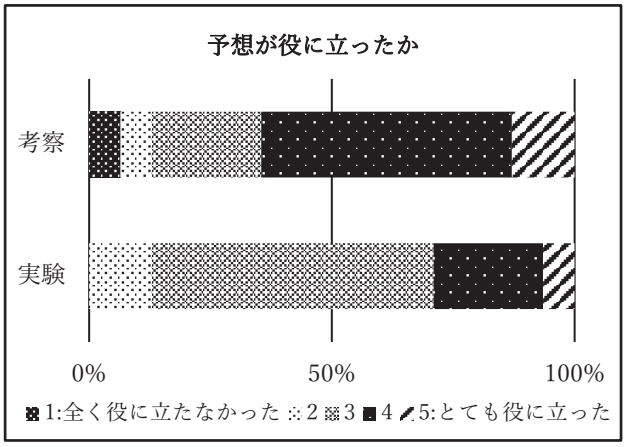


図８　アンケートの分布

役に立った理由の自由記述について計量テキスト分析を行ったところ，「予想と結果の違いを考えられる」「失敗を次に活かせる」「自分の実験の結果と見比べられる」といった点が評価されていることが明らかになった。特に，各班の予想をクラス全体で共有することが，実験の結果と予想の比較を容易にしていることが示唆された。また，「予想にはどのような意義があるか」という質問に対しては，「実験を予想することで結果を考えることができる」「比較することによって理解が深まる」「自分の考えを整理できる」といった記述が見られたことから，予想する活動が，実験結果を客観的に捉えることを可能にしていることがわかった。

Ⅳ．おわりに

今回の実践では，科学的思考のプロセスの意義を意識づけるために，予想による認知的葛藤によって気づきを得るというアクティブ・ラーニングの構造を持つ生徒実験の開発を行った。具体的には，概念のあいまいさに直面する発問に対する各自の予想と，全体共有の予想および実験結果との相違による認知的葛藤を生じさせ，全体での討論を通して解釈し，概念定着を行うことを目指した。その結果，現象を解釈するための討論が活性化され，約６割の生徒が実験前に予想を立てることの意義を見出していることが確認された。

一方で，概念の定着には課題が残った。その理由としては，予想や考察における議論の活発さにむらがあることがあげられる。そのため今後は，日本の高校生の持つ各分野における素朴概念の研究を行い，予想時や実験時における発問や考察の質的向上を目指した教材研究が必要である。さらに，化学概念調査や動機づけ診断などの客観的評価を行うことも必要である。これらの点を重視しながら，今後さらに教育研究を進めていきたい。

参考文献

1) 高等学校学習指導要領（平成 30 年度告示），文部科学省, 2018,
2) E. Mazur, Peer Instruction: Pearson new International Edition: A User's Manual, Pearson Education Limited, 2013.
3) バーグマン，サムズ，反転学習－生徒の主体的参加への入り口，オデッセイコミュニケーションズ, 2015.
4) Hans-Dieter Barke, et al., Misconception in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education, Springer, 2010.