

高校化学における実験と対話的活動による科学的知識の活用力の育成：
一チョークに含まれる炭酸カルシウムの分子数を求める活動を例として一

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-03-16 キーワード (Ja): キーワード (En): High School Chemistry, Calcium Carbonate, Chemical Reaction Formula, Quantitative Relations, Inquiry Based Learning 作成者: 立石, 虎太郎, 浅原, 雅浩, Tateishi, Kotarou , Asahara, Masahiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/00029337

高校化学における実験と対話的活動による科学的知識の活用力の育成 —チョークに含まれる炭酸カルシウムの分子数を求める活動を例として—

福井大学大学院連合教職開発研究科大学院生 立石 虎太郎
福井大学教育学部 浅原 雅浩

2022年度から高等学校でも新学習指導要領が施行され、これまで以上に「何ができるようになるか」「どのように学ぶか」「何が身についたか」などの具体的な方策とともに、育成を目指す資質・能力の明確化にも踏み込んでおり、どの教科においても「主体的・対話的で深い学び」の推進が謳われている。しかし、指導内容の増加や時間数の制限などから高校での「主体的・対話的で深い学び」の実践は難しい。本報では、主体的・対話的で深い学びを行う1つの手立てとして、「チョークを炭酸カルシウム源として扱った分子数を測定する」実験を開発し、その実践について報告する。科学的知識の活用力の育成と実験操作の簡素化に注力した今回の実践は、福井大学大学院連合教職開発研究科の必修科目「学校インターンシップ」の中での取り組みとして、福井県内高等学校で行ったものである。

キーワード：高校化学、炭酸カルシウム、化学反応式、量的関係、探究

1. はじめに

福井大学大学院福井大学・奈良女子大学・岐阜聖徳学園大学連合教職開発研究科（以下、教職大学院と略記）では、2020年度より、これまでのストレートマスターの課程である、教職専門性開発コースを授業研究・教職専門性開発コースに拡充した。すなわち、既存の3つの系に加えて授業研究の専門性を向上させるための授業研究専門性開発アプローチの拡充である。ここでは、2年間のカリキュラムにおいて、カリキュラム開発実践研究Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳの4科目を1年前期後期、2年前期後期各2単位で積み上げていくものである。この中で、1年次の取組として、探究的な授業づくりを行い、その実践と評価を行ったので報告する。第一著者は大学院のインターンシップ生として福井県立高等学校での実習に取り組んでおり、特に、高等学校「化学基礎」及び「化学」の授業を中心に授業研究を進めている。

平成30年に告示された学習指導要領¹⁾では、「何ができるようになるか」「どのように学ぶか」「何が身についたか」などの具体的な方策とともに、育成を目指す資質・能力の明確化にも踏み込んでおり、どの教科においても「主体的・対話的で深い学び」の推進が謳われている。深い学びの鍵として、「見方・考え方」を生徒自身が学習や人生において自在に働かせることができるようになることも1つの目標とされている。また、このためには、育成を目指す資質・能力の3つの柱として示されているうちの1つである「学びに向かう力・人間性等の涵養」が求められている。理科の授業の中でも、生徒自身が主体的に取り組む状況、すなわち、興味を持ち取り組む中で課題を発見し、理科の見方・考え方を主体的に働かせ

ることでその課題に取り組み、そして、実験やその考察の過程での主体的な対話的取組を通じて、思考力・判断力・表現力を育成する状況の発現を含んだ授業である。

そこで、高等学校「化学基礎」では、「日常生活や社会との関連を図りながら、物質とその変化について理解するとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。」ことを、育成すべき資質・能力の3つの柱の1つ「知識及び技能」の目標として掲げており、「観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。」ことが、「思考力・判断力・表現力等」の目標として示されている。¹⁾

さて、このような背景の中、「化学基礎」の目標を達成する授業内容の開発、実践およびその評価を行った。

本実践は2021年9月30日に50分1コマで福井県内の高等学校化学基礎を選択する生徒25名に対して行った。実施後、アンケートにより簡便な効果測定を行ったので併せて報告する。

2. 本実験開発の背景

2-1. 教材開発の背景

今回は、「化学基礎」の単元「化学反応式と量的関係」について実験教材およびこれを活用した授業開発を行った。開発にあたり、既存実験の調査を行った結果、今回使用した教科書、改訂版新編「化学基礎」(2018)では本単元において次の実験が提案されている。²⁾

(1) 化学反応で生じる気体の体積測定

【器具】

電子天秤 二股試験管 200mLメスシリンダー

水槽 保護メガネ

【試料】

2mol/L 塩酸 マグネシウムリボン

【実験操作】

- ① 長さ約2cmのマグネシウムリボンを電子天秤にのせて質量を測定する。
- ② 二股試験管の一方に①のマグネシウムリボンを入れもう片方に2mol/L塩酸を5mLほど入れる。
- ③ 水槽に水道水をいれ、水道水で満たした200mLメスシリンダーを倒立させる。
 - 1 二股試験管から発生する気体をメスシリンダーで捕集する準備が整ったら、二股試験管内の2mol/L塩酸をマグネシウムリボンのほうに移して反応を開始させる。
 - 2 マグネシウムリボンが完全に反応したら、メスシリンダーに捕集した気体の体積を計量する。

【実験時間】

実験準備 10分 実験活動 10分

【実験で学ぶこと】

化学反応式から想定される量的関係が実際に成立する。

(2) 炭酸カルシウム粉末と塩酸による質量変化の測定

【器具】

電子天秤 薬包紙 薬さじ コニカルピーカー
200mLメスシリンダー 保護メガネ

【試料】

2mol/L 塩酸 粉末状の炭酸カルシウム

【実験操作】

- ① 炭酸カルシウム粉末を1.0gずつ薬包紙に量り取り、6回分用意する。
- ② 2mol/L塩酸30mLをメスシリンダーで量り取り、コニカルピーカーに入れる。
- ③ コニカルピーカーごと全体質量を計量する。
- ④ コニカルピーカーに①の炭酸カルシウム粉末を1包ずつ投入し質量の変化を観察する。

【実験時間】

実験準備 10分 実験活動 20分

【実験で学ぶこと】

化学反応式から想定される量的関係が実際に成立する。

また教科書に記載されている実験以外にも炭酸カルシウムを用いた化学反応式と量的関係を題材とした中学校理科または高等学校化学での取り組みはこれまでに多数報告されている。

庄司・中村・荒田(1998)では、中学校理科「物質と原子」の単元で扱う「質量保存の法則」を扱う例として、

500mLペットボトルとゴム風船で閉鎖された環境の中で炭酸カルシウム(CaCO₃)、チョーク、炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)、炭酸水素ナトリウム(NaHCO₃)を10%塩酸(HClaq)や30%酢酸などと反応させ、二酸化炭素(CO₂)の発生が完了するまでの時間を計り、気体の発生する前後での質量変化の幅が小さいことを確認する実験である。著者らの実験ではNaHCO₃-HClaq実験系が、短時間でいえるため扱いやすく、安全面を考慮するのであれば、10%塩酸を30%酢酸に代えた系も適切であると述べている³⁾。山本(2001)では、高等学校化学での4月に行う最初の授業に使える簡単な演示実験として、チョークを扱う事例を紹介している。演示実験の展開の中で、チョークと2mol/L塩酸を反応させることで、チョークの成分には炭酸カルシウムが含まれており、二酸化炭素が発生することを示しながら化学変化を視覚的にも反応式的にも捉えていくきっかけとなる実験として紹介されている⁴⁾。また、山口(2009)は、中学校第1学年の二酸化炭素発生実験の一例として、発泡入浴剤やドライアイスに水を入れる、あるいは、石灰石、チョーク、胃腸薬、卵の殻などと酸を反応させるなどの方法を提示し⁵⁾。最近、兼(2022)は、チョークとかさ袋を使った化学実験として、高等学校化学における「化学変化の量的関係」を実験的に学ぶ手法や、空気の平均分子量と試料気体の密度比を用いることで、二酸化炭素の分子量を高精度で求める実験を紹介している⁶⁾。前者は、酸と反応させるチョークの量により、かさ袋に満たされる二酸化炭素の量を視覚的に比較できる実験であり、後者は気体の体積による質量の差と空気の浮力の関係から二酸化炭素の分子量を求める実験であり、汎用の実験器具と安価な試薬の活用が可能なため個人実験に適しているとの提案がなされている。

2-2. 教材開発の考え方

以上の調査から教科書に記載されている本単元の既存の実験はどちらも化学反応式から想定される量的関係について実験的に立証するものとなっており「教科書で獲得した知識を確認する性格」が強いと考えられる。また報告されている取り組みで行われた実験も用意する器具が多い、操作が複雑であるなど準備と実験活動に必要な時間が20~30分と多いことも課題である。

新学習指導要領では「何を学んだのか」に加え「何ができるようになったのか」という部分にまで踏み込んでいる。そのため、実験活動においても知識を確認するだけでなく、獲得した知識を活用して未知の課題を解決するような実験が求められている。

また、生徒が実験結果をもとに探究活動を通じた学びを展開するにはある程度の時間を確保することが必要である。そのためにも実験活動自体は短時間で完結することが求められる。

以上のことから、次の2点を今回の開発目標とし、実

験及び授業開発を行うこととした。

- ① 活用力の育成：知識を活用して課題解決する探究的な授業
- ② 簡易性：できる限り簡単な実験準備・活動

3. 本実験開発の経緯と内容

3-1. 開発実験の絞り込み

上記の背景を踏まえ、「化学反応式と量的関係」に関する実験を開発するにあたり実験内容を検討した。

まず検討したのが「酸化銀の還元による質量変化を用いた銀の粒子数測定」である。しかし、酸化銀自体が高価な材料であるため、人数分用意するのは現実的ではないとなり不採用とした。次に検討したのが「銅線の加熱による酸化反応を用いた銅線表面の銅の粒子数測定」である。しかし、予備実験を行った結果、はっきりとした重量変化が観測できなかつたため不採用とした。

次に検討したのが「銅粉末の加熱による酸化反応を用いた銅粉末の粒子数測定」である。これは、実験自体は成功し、はっきりとした重量変化が確認されたものの、複数回に分けて加熱を行わなくてはならず、実験時間が約30分と長すぎるため不採用とした。

最後に検討したのが「炭酸カルシウムと塩酸の反応からチョークに含まれる炭酸カルシウムの分子数を実験的に求める活動」である。予備実験の結果、探究性・簡易性ともに良好であったため、このチョークを用いた実験を検討していくこととした。

3-2. 教材研究

授業中に行う実験では、簡易性に加えて、再現性も求められる。そこで、「炭酸カルシウムと塩酸の反応からチョークに含まれる炭酸カルシウムの分子数を実験的に求める実験」において、実験の簡易性と再現性を両立できるように、反応させる各試料の分量を決定するための予備実験を行った。開発実験が備える条件として、実験準備と活動時間を合わせて10分以内、そして、化学反応式の量的関係からあらかじめ計算で求めた理論値の8割程度の精度で実験が行えることを目標とした。

今回の実験では多くの学校で用いられている日本理化学工業製のダストレスチョークを使用することを想定した。ダストレスチョークの主原料は炭酸カルシウム粉末とホタテの貝殻粉末である。これらの主成分以外に、粉末を練り固めるための糊や表面コーティング剤、吸湿された水分などが含まれている。以上のことからチョーク中の炭酸カルシウムの含有率はおおよそ95%程度であると仮定し、チョーク1本を10gとして理論値を計算すると、チョーク1本あたり炭酸カルシウム分子が 0.57×10^{23} 個存在すると推定することができる。

以上の理論値導出後、以下の予備実験を行った。当初は、生徒がよりチョークの粒子に着目できるようにチョークを丸々1本使用し、このチョークを素早く溶かすため

に6mol/Lの塩酸を約50mL使用した。実験方法は次の通りである。

- ① 実験前の総質量（塩酸・チョーク）を測定
- ② 塩酸の中にチョークを入れ反応させる
- ③ 再び総質量を測定
- ④ 発生した二酸化炭素の質量から炭酸カルシウムの分子数を求める

その実験画像を図1に示した。



図1 6mol/L塩酸約50mL+チョーク1本での実験画像

このように泡が大量に発生しビーカーから溶液が溢れ出す結果となった。この実験値から求めたチョーク1本当たりの炭酸カルシウムの分子数が 0.62×10^{23} 個となり理論値を上回るという問題が生じた。これは発生した泡に周辺の空気などの気体が含まれているために実験誤差が生まれたと考えられる。

このことから反応系を小さくすることが必要と考え、チョーク、塩酸濃度共に分量を検討した。

前述の実験結果を踏まえ、塩酸濃度を3, 4, 5mol/Lの3パターン用意し、チョークの量を約半分（約5g）に変更しそれぞれ実験を行った。その結果の写真を図2から図4に示す。図3, 4からわかるように、5mol/L、4mol/Lでは泡が多く発生し、図1に示した実験結果と同程度の誤差が生じた。



図2 3mol/L塩酸約50mL+チョーク約0.5本分での実験画像



図3 4mol/L塩酸約50mL+チョーク約0.5本分での実験画像



図4 5mol/L塩酸約50mL+チョーク約0.5本分での実験画像

一方、図2の3mol/L塩酸使用時には実験値から求めたチョーク1本当当たりの炭酸カルシウムの分子数は 0.48×10^{23} 個となり理論値の中に納まった。この実験系の場合、およそ理論値の85%程度の精度で実験を終えることができた。

その後、実験時間をより短くするため、チョークを約1g、塩酸濃度3mol/Lで行った。その結果が図5である。チョークのサイズを小さくすることで実験時間を5分に収めながら、泡の発生を極力抑え、実験値から求めた炭酸カルシウムの分子数も 0.5×10^{23} 個となり精度を落とさずに素早く実験を行うことができる事が判明した。



図5 3mol/L塩酸約50mL+チョーク0.1本分(約1g)での実験画像

3-3. 開発下実験の内容

3-2での予備実験・教材研究から実験を伴う活動内容を確定した。実際の授業で用いた実験材料の分量と道具は以下ようになった。

【1班当たりの実験材料】

- ① チョーク (約1g/約1cm) (日本理化学工業製)
- ② 塩酸 (3mol/L) (50 mL以上)
- ③ ビーカー (100 mL)
- ④ 電子天秤
- ⑤ 保護メガネ

また実験手順については以下のように決定した。

【実験手順】

- 1) あらかじめ①~③の総質量を秤量したのち、塩酸とチョークをビーカー内で反応させる。
- 2) 反応後の総質量を秤量する。(発生した二酸化炭素

の質量分、軽くなる)

- 3) 質量差を求め、化学反応式と量的関係からチョークに含まれる炭酸カルシウムの割合とその粒子数を測定する。

【廃液処理】

班ごとの廃液を1つのビーカーに集め、水酸化ナトリウムでpHが7に近づくまで中和したのち、排水として処理する。

【安全管理】

濃度の高い塩酸を使うため取り扱いには細心の注意を払うことを周知し、保護メガネの着用を徹底する。

4. 授業内容の詳細と分析

4-1. 授業実践の実施

2021年9月30日に50分1コマで福井県内の高等学校化学基礎を選択する生徒25名に対して開発した教材を用いた授業実践を行った。

始めに授業実践を行うにあたり、予想、実験、考察が行いやすいようにプリントを作成した。作成したプリントを図6に示す。

4-2. 実施した授業の流れ

授業実践は以下のような流れで行った

【導入 (15分)】

本授業の目的(今まで培った知識を用いて未知の数値を求めること)と具体的な実験物(チョーク)について実験プリントを用いて実験試料に関する知識の確認を行い、実験方法を予想した。

【実験方法 (5分)】

プリントを用いて、各班(4~5名/班)で実験方法を確認した。

【実験操作 (10分)】

実験方法に基づいて各班で実験を行った。

【結果と考察 (20分)】

実験結果を基に、各班で「化学反応式と量的関係」の知識を活用し、チョーク1本当当たりの炭酸カルシウムの粒子数を求めた。

4-3. 授業における実験結果

実験結果から求めた各班の炭酸カルシウムの分子数等の計算値を表1にまとめた。

授業を行ったクラス(全6班)において班ごとにはばらつきはあるもののチョークに含まれる炭酸カルシウムの割合は6班の平均値として約84%であった。この結果を基に、チョーク1本を10gと仮定して計算すると、チョーク1本あたりに含まれる炭酸カルシウムの粒子数は約 0.50×10^{23} 個であった。

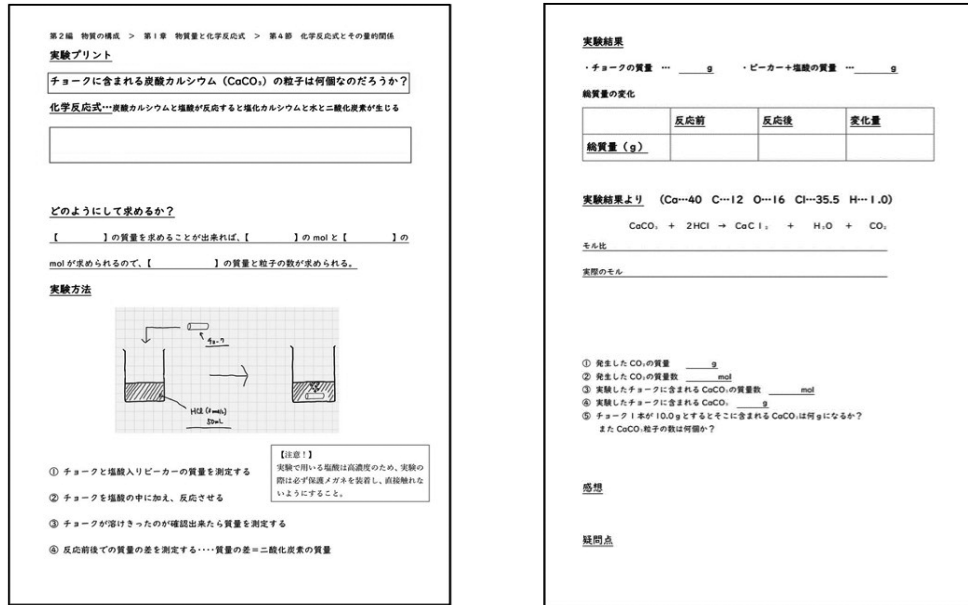


図6 授業プリント

表1 チョークと塩酸の反応実験の各班の結果

班	実験値より炭酸カルシウムの物質質量 (mol)	炭酸カルシウムの分子数 (個)	チョークに含まれる炭酸カルシウムの割合 (%)
1	0.085	0.51×10^{23}	85
2	0.082	0.49×10^{23}	82
3	0.085	0.51×10^{23}	85
4	0.087	0.52×10^{23}	87
5	0.080	0.48×10^{23}	80
6	0.083	0.50×10^{23}	83
平均値	0.084	0.50×10^{23}	84

4-4. 実施内容の結果と考察

本授業実践から大きく3つの効果を確認できた。

1つ目は生徒の発意である。チョークという生徒にとって身近なものを題材にしたことで、導入段階で以下のような生徒からの発言を引き出すことができた。

【導入時の生徒の発言】

- ・ チョークの成分の予想
「チョークって石灰からできているらしいよ」
- ・ 実験方法の予想
「石灰なら塩酸と反応した気がする」
「二酸化炭素が発生すると思う」

チョークという身近な題材を用いたこと、プリントを用いて班で実験方法について考えたことから、どのようにすればチョークの粒子数を求められるのか、導入の時点で実験方法について考える生徒が複数見受けられた。

実験自体は時間の都合上、あらかじめ教師側が用意したもので行なったが、導入の段階で生徒からチョークの成分についての予想や石灰と塩酸の反応についての予想を引き出すことができ、実験に向けた予想としては十分

なものであったと考える。

2つ目は実験時間の短縮である。今回開発した実験で生徒が行う実験操作は大まかには、

- ① 実験用具（塩酸とチョーク）の準備
- ② 質量の秤量
- ③ チョークを塩酸の中に入れる

のみである。そのため全体指示を素早く、かつ正確におこなうことができるため、実験準備を5分程度で完了させることができた。また、全生徒の実験活動も5分程度で終了し、操作ミスもなく終了した。実験に関わる時間を短縮できたことで、実験前後の導入および考察に時間を割くことができ、50分の中に生徒同士の対話的活動の時間を十分に確保することができた。

3つ目は活用力の育成である。今回の授業実践では(1)未知の数値を既知の知識を活用して導出すること、および(2)時短実験の開発に成功したこと、実験前後の予想・考察にある程度の時間を割くことができた。この時間に、生徒が自主的に今まで学習したプリントや教科書を振り返り、生徒同士で相談しながらチョークに含まれる炭酸カルシウムの粒子数について検討する様子が確認できた。実験後のアンケートを以下に示す。(一部抜粋)

【知識に関する意見】

- ・ 教科書で勉強した知識を実際に使うことができた。
- ・ 実験結果を出して終わりではなかったので難しかった。
- ・ 話し合う時間が長かったのでわからないことを他の人に聞いたので良かった。
- ・ 化学反応式と量的関係が身についたと思う。
- ・ 実験結果からさらに計算して考えるのが、今までと違って本格的な実験だと思った。

【実験に関する意見】

- ・ 簡単で面白かった。
- ・ 泡が発生している様子を観察できた。

アンケートの結果から「知識を実際に使う」や「実験結果から考える」といった言葉が確認できた。このことから実験時間を短縮することによって得た時間を用いて、既得知識と実験で得たデータを活用する課題を行うことで、教科書・過去のプリントを用いた調べ学習や対話的活動を通し、生徒が科学的知識の活用について意欲的に取り組んでいると考える。

5. まとめ

本研究では科学的活用力と実験の短縮に注力した実験開発を行った。過去に開発された実験では実験結果から化学反応の量的関係を確かめる内容がほとんどだったことに加え実験時間の短縮については着目されていない。^{2)~6)} 本研究ではチョークと塩酸の反応を用いて炭酸カルシウム含有率や粒子数を求める実験を通して、「化学反応式と量的関係」の既得知識を活用し課題を解決する力を養う取り組みを行った。開発した実験系では、実験時間を10分程度に短縮することに成功した。この結果、授業時数を圧迫せず、1回の授業時間内に、20分程度の対話的活動を導入するための時間に割くことが可能となり、その結果実験後に既得知識を活用する課題を行うことが可能となった。

これらの結果から従来に比べ簡易性及び科学的知識の活用力の育成において成果のある実験・授業であると考ええる。

6. 謝辞

本研究の一部は、JSPS (課題番号: 21H00918) の支援を受けている。

今回の研究実施にあたり、福井県立丸岡高等学校小林直彦教諭にはインターンシップ指導教諭として終始熱心なご指導を頂きました。心から感謝いたします。また授業実践をさせていただいた福井県立丸岡高等学校および受講いただいた生徒の皆様にもお礼申し上げます。本当に有難うございました。

7. 引用文献

- 1) 文部科学省, 高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理科編 理数編, 実教出版 (2019).
- 2) 竹内敬人 ほか19名, 改訂版 新編 化学基礎 東京書籍 pp.101, 108, 109 (2018).
- 3) 庄司美幸・中村秀夫・荒田一志, 気体発生における質量保存の法則 (小・中・高のページ), 化学と教育, 46巻, 11号, p.750 (1998).
- 4) 山本進一, 初めての授業で行うチョークを使った演習実験 (定番! 化学実験 (高校版) 1 最初の授業に使える簡単な実験), 化学と教育, 49巻, 3号, pp.172-173 (2001).
- 5) 山口晃弘, 中学校第1学年における二酸化炭素の発生実験 (実験の広場: ビギナーのための実験マニュアル), 化学と教育, 57巻, 9号, pp.426-427 (2009).
- 6) 兼瀧盛, チョークとかさ袋を使った実験, 化学と教育, 70巻, 2号, pp.74-75 (2022).

Fostering the Ability to Utilize Scientific Knowledge through Experiments and Interactive Activities in High School Chemistry: Chemistry Experiment and Activity to Determine the Number of Molecules of Calcium Carbonate Contained in Chalk, as an Example

Kotarou TATEISHI, Masahiro ASAHARA

Keywords : High School Chemistry, Calcium Carbonate, Chemical Reaction Formula, Quantitative Relations, Inquiry Based Learning