

実験・観察による分子比の学習方法 — 鉱物や岩石を用いた実験・観察方法の提案 —

自然科学系サブプログラム(理科)

鈴木 一幸

【指導教員】 岡本和明 大朝由美子 大向隆三

【キーワード】 分子比 熱力学 計算 ノルム計算

1. はじめに

2024年9月26日～11月22日の期間で実地研究Iを埼玉県内の公立中学校にて実施した。そこで指導教員から理科で扱う量比に関する計算が苦手な生徒がいるということをお話していただいた。分子や原子の量比を考える場合、マイクロからナノスケールでの物質の理解が必要になる。生徒たちにイメージしやすいような授業展開が必要である。中学校理科では様々な酸化化合物を含む化合物が取り上げられている。例えばMgO、CO₂、FeO、SiO₂、FeS、などがある。元素鉱物ではMg、Fe、S、Cなどがある。中学校理科の化学分野で行われる実験は粉末を用いたものが多い。これは反応が速く進み結果が分かりやすい、色の変化が分かりやすいといったメリットがある一方でパッと見て区別がつきにくいといったデメリットがある。例えば、硫黄は黄色い粉末であるがそれを見て「これは硫黄だ」という理解にはつながりにくいだろう。また、金属元素の粉末も大体外見は銀色であり、見分けがつきやすいとは言えない。物質や分子比について理解を深めるためにも、分かりやすい大きな鉱物を見せ、観察を行うことが重要である。分子を視覚的や触覚で理解することができれば、量比の学習は容易となる。固体地球のマントル、地殻を構成する岩石は、鉱物の集合体だ。そして鉱物単結晶は、分子として具体的に理解しやすい外形(幾何学的多面体)と色や透過度を持っている。鉱物の色や透過度は、鉱物を構成する元素も関係しており、酸化物は化学反応実験に用いられている。さらに分子や原子の量的関係について理解することは中学・高校で化学分野を学ぶにあたって重要であり、計算についても学年が進むにつれ必要となってくる。上記のことから中学校理科の地学、化学分野に関して生徒の思考を手助けする教材が必要であると考えた。

中学校学習指導要領(平成29年告示)解説の「火山活動と火成岩について」では、火成岩の組織と造岩鉱物の種類を、火成岩の分類やマグマの起源、性質や冷却過程と関連づけて考察させることが狙いになっている。また「化学変化と原子・分子」に記載されている主なねらいとして、観察・実験などから物質の変化や量的関係(分子比)について微視的に理解させるといった内容の記載がある。

炭酸水素ナトリウムの分解・塩酸との反応	$2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
水の電気分解・化合	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
硫化鉄の化合	$\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$ $\text{FeS} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{FeCl}_2$
鉄の酸化	$2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$ $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$
マグネシウム、銅の酸化・還元	$2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$
中和反応	$\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

表1: 中学校理科で量比を取り扱う実験

2. 目的

化学反応がなぜ起こるのかということは熱力学によって説明が付くことが多い。また、子供達に原子・分子を実感してもらうための教材として、様々な分子から成っている鉱物や岩石を用いるのが有用だと考えた。ここでは岩石・鉱物を観察し、岩石熱力学や岩石学で用いられている計算手法を用いた分子比と量的関係を理解できる教材を検討していくことを目的とする。課題研究IIでは主に、適していると考えられる内容を複数挙げることに実践に移すといった2つの活動を行い、検証を試みた。

3. 手法

熱力学を中学生向けに平易な説明をするためには自身が十分に理解していることが必須である。そこでまずは、化学熱力学や岩石熱力学などの様々な文献から自身が学びその中から中学生向けの教材にはどういった内容が適しているのか検討をする。また、熱力学以外にも適した教材を検討するために地球化学に関する文献も参照し検討する。

また、検討した教材の実践として埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野で開講している地学実験にて授業を行った。

4. 結果

我々が普段使っているシャープペンシルや鉛筆の芯は「黒鉛」と呼ばれる鉱物である。宝石で有名な「ダイヤモンド」も鉱物の一種である。これらの化学式は「炭素(C)」で表されるが、「ダイヤモンド」は地下深くの高温高圧な環境下でできるものである。

中学校学習指導要領解説(平成29年告示)【理科編】では、第一分野の「(4)化学変化と原子・分子」の主なねらいについて「理科の見方・考え方を働かせ、化学変化についての観

察, 実験などを行い, 化学変化における物質の変化やその量的な関係について, 原子や分子のモデルと関連付けて微視的に捉えさせて理解させるとともに, それらの観察, 実験などに関する技能を身に付けさせ, 思考力, 判断力, 表現力等を育成すること」といったことが示されている。中学校理科における実験は今まで様々な実践がなされてきた。その中でも特に行われてきたのは気体や液体に関するものである。具体的には, 水素を燃焼させる実験, 水溶液の電気分解などである。

もちろん, 気体や液体について学ぶことは化学を体系的に理解するうえで非常に重要である。さらに気体と液体も我々にとって非常に身近な存在である。気体であれば空気があり, 液体であれば水, 醤油, 消毒液など代表的な物が多くある。しかし, 窒素や酸素, アルゴンなどの気体や水酸化ナトリウム水溶液, 塩酸, アルコールなどの液体の見分け方などはパッと見ただけでは判別できないものが多い。また, 気体や液体は手で掴むことができないという特徴も持ち合わせている。それゆえに, 地球表層のみならず, 地球内部, 宇宙に存在する物質が様々な分子から成っていることを理解させることが難しくなっていると考えられる。

気体や液体を用いるメリットは直ぐに反応が進み短い授業の中でも実験を行いやすい, 駒込ピペットやメスシリンダーなどの実験器具の基本的な操作の仕方を学びやすいなど多々ある。これに対して固体(岩石・鉱物)のメリットとして, パッと外観を見ただけで違いが分かること, 手で掴めるため分子でできていることをより実感しやすいこと, 宝石などは綺麗で見ごたえがあり子供達の興味を引き出させやすいことなどが挙げられる。

分子比を岩石学ではノルム計算という方法で, マグマの冷却により形成された火山岩に含まれる鉱物の化学式と量比(モル比)から岩石全体の化学組成(全岩化学組成)すなわちマグマの科学組成の特徴を推定することができる。これは, 連立方程式の計算であるが, 全岩化学組成を系成分, 鉱物を相として取り扱うことで, 多成分多相系の熱力学で鉱物晶出反応を取り扱うことが出来る(ギブスの相律)。つまり, マグマがマントルや地殻深部で形成される際の化学組成, 温度, 圧力条件の推定が可能となる。連立方程式での計算は, 中学校数学での計算反復練習と組み合わせる学習できる利点がある。

本研究から中学生の分子比の学習において有効と考えられる手法を以下に示す。

5. 岩石の化学変化

岩石の化学変化にもさまざまな種類があり, 地下深くの高温・高圧な環境下で起こるものや地表付近で起こるもの, 熱水噴出孔などが例として挙げられる。地球内部(深さ120km から150 km 以深)の上部マントルで起こる化学変化(正しくは構造の変化である)の例として(神田, 角谷, 2007)では黒鉛とダイヤモンドを挙げている。



式①の変化は高圧高温実験室以外で再現する事は難しい。というのも黒鉛からダイヤモンドを合成するために必要な条件は5GPa, 1500°Cであるからである。(神田, 角谷, 2007)

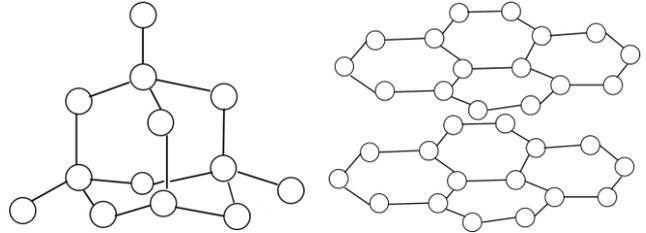
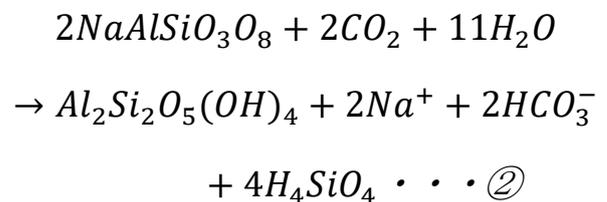


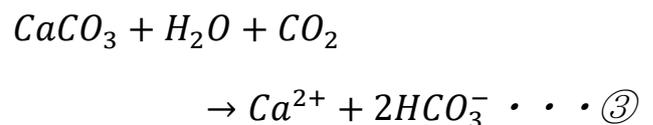
図1 ダイヤモンドと黒鉛の構造(数研出版 化学 2018)

ダイヤモンドと黒鉛は共に共有結合であるが, 構造が違う。ダイヤモンドはテトラポッドのような構造が続いているが, 黒鉛は正六角形がシート状に続いておりシート同士がファンデスワールス力で結び付いている。この力は共有結合に比べると弱いので薄くはがれることがポイントである。

地表付近で起こる化学変化の例として, 化学風化がある。具体的には酸性雨や地下水, 雨水などと岩石が反応し分解されるといったものである。以下に例を示す



式②はアルバイト(曹長石: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)が二酸化炭素を含んだ水によって風化される際の化学反応式である。ここではカオリナイト($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)とその他の溶存化学種が生成される。ちなみにカオリナイトは化粧品に使われている。長石類は花崗岩の中に多く含まれている。それは大陸地殻を形成する主な岩石であり幅広い地域で見られる。日本では墓石などで広く用いられており, 特に身近な岩石である。



式③は炭酸カルシウムが二酸化炭素を含む水によってカルシウムイオンと炭酸イオンに分解される化学反応式である。この反応は主に鍾乳洞で見られる。(吉村, 井倉, 2001) こういった地表付近で起こる風化作用は, 高温状態や高

圧状態を作り出す特別な実験器具は必要ない。特に式⑤の反応について炭酸カルシウムと炭酸水を用いて実験室での実験が可能である。石灰岩が手に入らない場合は同じ炭酸カルシウムできているチョークで代用することも可能である。

これまで岩石の化学変化、主に風化について述べてきたがこの反応に時間がかかると誤解されている。陸水（河川水、地下水）は酸性なので、風化花崗岩をお酢につければ、数日のうちに風化されない石英粒子がピーカーの底に認められる。



図 2: 様々な花崗岩 (学生室のあったもの)



6. 岩石の熱力学

「1、はじめに」で述べたように公立中学校で理科で扱う量比に関する計算が苦手な生徒がいるというお話を伺ったこと、化学反応がなぜ起こるかということも熱力学で説明がつくことが多いこと、計算で論理的に学習することは化学分野を学ぶ上でより深い理解や体系的に学ぶことができる点、計算によって得られるスキルは、高校で学習することを見据えたうえで非常に重要になってくることなどから「熱力学」が子供達に適していると考えた。中でも「ギブスの自由エネルギー」と「ギブスの相律」が有用だと考えた。

6-1. ギブスの自由エネルギー

化学反応を理解するための熱力学における概念としてギブスの自由エネルギー(G)がある(川寄 2006)。言葉で説明すると、「自由エネルギーの変化(ΔG)を計算した結果が負になれば反応は自発的に進む」というシンプルなものである。ギブスの自由エネルギーを式で表すと以下のようになる。

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \dots \textcircled{4}$$

式④についてΔHはエンタルピー変化、ΔSがエントロピー

変化、Tが温度である。ΔG自体は既知の数字を代入することで求められるが、これらの用語の概念が難解で生徒達へ伝える際は工夫が必要である。分子比を扱った熱力学の計算について平衡定数を求めるというものがあることも分かった。この内容は高校化学でも扱うので、理解しやすいと考えられる。また、平衡状態のときはΔG=0となることからつながりを持たせて理解させることも考えられる。

6-2. ギブスの相律

$$f = c + 2 - p \dots \textcircled{5}$$

式⑤においてFは自由度、cは成分の数、pは相の数である。

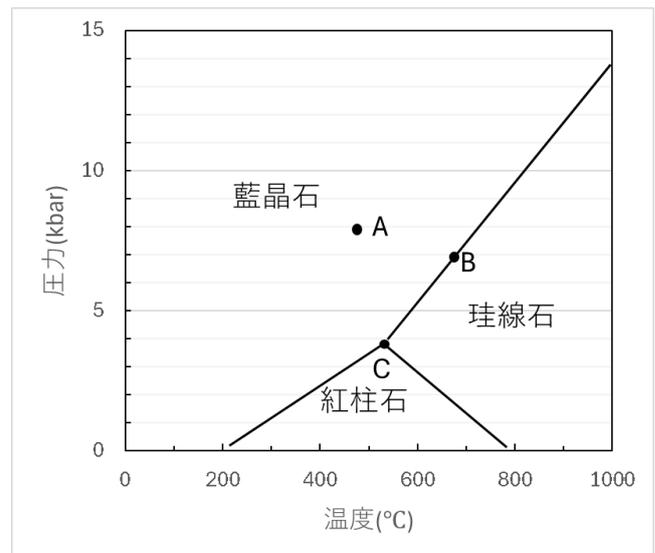


図 3、 Al_2SiO_5 鉱物の安定関係 (川寄 2006 より作成) Cではf=0でT,Pは不変である。Bではf=1でTかPのどちらか一方が決まればもう一つも一義的に決まる。AではT,Pのどちらかが決まっても他の一つは決まらない。(道林 2022)

7. ノルム計算とマグマ混合

分子比について岩石学ではノルム計算という方法で、マグマの冷却により形成された火山岩に含まれる鉱物の化学式と量比(モル比)から岩石全体の化学組成(全岩化学組成)すなわちマグマの科学組成の特徴を推定することができる。これは、連立方程式の計算であるが、全岩化学組成を系成分、鉱物を相として取り扱うことで、多成分多相系の固体熱力学で鉱物晶出反応を取り扱うことができる。つまり、マグマがマントルや地殻深部で形成される際の化学組成、温度、圧力条件の推定が可能となる。連立方程式での計算は、中学校数学での計算反復練習と組み合わせることで学習できる利点がある。ノルム計算はパズルのように解くことができ、全岩化学組成の値の取り方によって難易度の調整がしやすい

い。中学生やひいては小学校でも取り扱うことが可能になると考えられる。

ノルム計算の手順については様々な文献によって示されている。具体的には様々な分子で鉱物を作り、その過程で余った分子でまた鉱物を作るという動作を繰り返すものである。以下に簡単な流れを示す。またこの流れは、都城、久城(1975)によるものである。

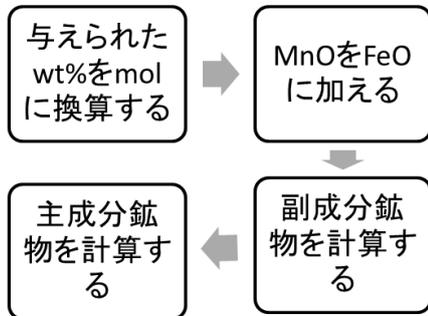


図4: ノルム計算の流れ(都城、久城(1975)を元に作成)

ノルム計算をする際、用いる鉱物をノルム鉱物という。ノルム鉱物とは火成岩によく含まれる鉱物の中で、化学組成の比較的簡単な鉱物である。その中でも副生分鉱物と主成分鉱物に分類され、前者はノルム鉱物の中でも比較的少量出てくるものであり、後者はそれ以外である。具体的には石英、輝石、長石など堆積岩、火成岩、変成岩などに普通に含まれるものがそれにあたる。

化学式	鉱物名
$FeO \cdot TiO_2$	イルメナイト
$CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$	チタナイト
$3(3CaO \cdot P_2O_5) \cdot CaF_2$	リン灰石
Na_2Cl_2	ハライト
$Na_2O \cdot SO_2$	テナルド石
FeS_2	黄鉄鉱
$FeO \cdot Cr_2O_3$	クロマイト

表2: 副成分鉱物(都城、久城(1975)を元に作成)

化学式	鉱物名
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	正長石
$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	アルバイト
$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	アノーサイト
Al_2O_3	コランダム
$Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	鍾輝石
$FeO \cdot Fe_2O_3$	磁鉄鉱
Fe_2O_3	赤鉄鉱
$CaO \cdot SiO_2$	ウラストナイト
$CaO \cdot (Mg, Fe)O \cdot 2SiO_2$	ディオプサイド(単斜輝石)
$(Mg, Fe)O \cdot SiO_2$	紫蘇輝石(斜方輝石)
$2(Mg, Fe)O \cdot SiO_2$	かんらん石

表3: 主成分鉱物(都城、久城(1975)を元に作成)

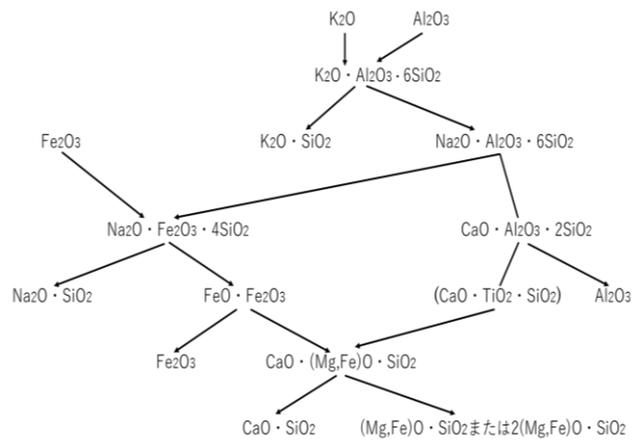


図5: ノルムの主成分鉱物の計算手順(都城、久城(1975)に加筆)

ノルム計算の実践として埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野で開講している地学実験にて授業を行った。そこで計算の流れを具体的に示す。なお、地学実験では主成分鉱物を主に取り扱ったため、正長石とアルバイトを例として示す。最初に K_2O が1mol、 Al_2O_3 が2mol、 Na_2O が2mol、 SiO_2 が10mol あったとする。正長石に含まれている酸化物の mol 比は $K_2O:Al_2O_3:SiO_2=1:1:6$ であるため K_2O から順に1mol、1mol、6mol 消費される。残るのは K_2O から順に0mol、1mol、4mol である。ここで K_2O が残る場合は左に進むが今回は右である。アルバイトも正長石と同じように mol 比を考えそれぞれ何 mol 消費されるかを考える。

地学実験で使用した全岩化学組成のデータは玄武岩と、高橋ほか(2024)の浅間山のデータである。学生らに計算で扱う岩石・鉱物についてイメージを持たせるために、事前に浅間山の見学に同行した。浅間山北麓ビジターセンター、鬼押し出し溶岩などを観察し、歴史や何岩で構成されているのかといった事柄を確認した。



図6: 鬼押し出し溶岩



図7:鉄を多く含む溶岩(表面の赤茶の部分)が赤鉄鉱である

観察の次に実験室で授業実践を行った。流れを以下に示す。

- ① 浅間山で観察した内容の復習
- ② 全岩化学組成とは何か
- ③ 玄武岩の分類(アルカリ玄武岩、非アルカリ玄武岩、カルクアルカリ系列、ソレアイト系列、微量・希土類元素)
- ④ ノルム計算の手順の説明
- ⑤ 浅間山の溶岩の特徴(マグマ混合)

計算を行うに当たって、島津製作所によるデータ解析(2020)から斜方輝石中のMgOとFeOの比は1:1とした。また単斜輝石の比も簡単のため1:1とし、かんらん石の比も浅間山の実態に即すようにMgO:FeO=9:1としたが、計算があまりにも複雑になりすぎたため先に輝石($FeO \cdot SiO_2$)を作り、余りをかんらん石($2MgO \cdot SiO_2$)と石(SiO_2)を作るという流れに途中で変更した。なお、この変更については月曜日と火曜日ある中の火曜日で行ったため、次週月曜日の班を訂正した。

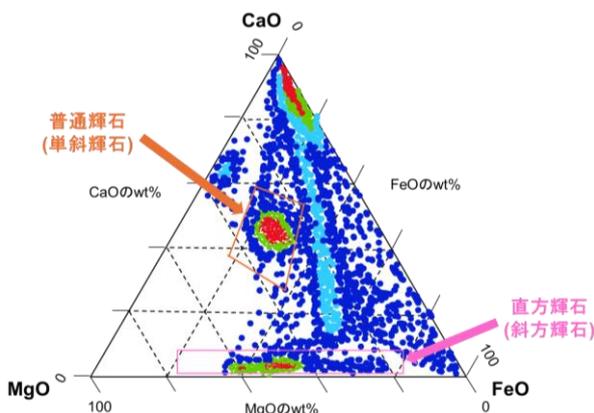


図8:CaO-MgO-FeOの3元散佈図(島津製作所によるデータ解析(2020)を改変して作成)

この訂正で本来共存することのない、かんらん石と石英が

現れるがその際、ノルム計算は仮想上のもので実際のマグマの様子を表しているのではないことを伝えた。

高橋ほか(2024)は以下の図を用いて浅間山のマグマは2つのそれが混合していると述べている。今回はそれを課題にも反映し、マグマ混合についても説明を行った。

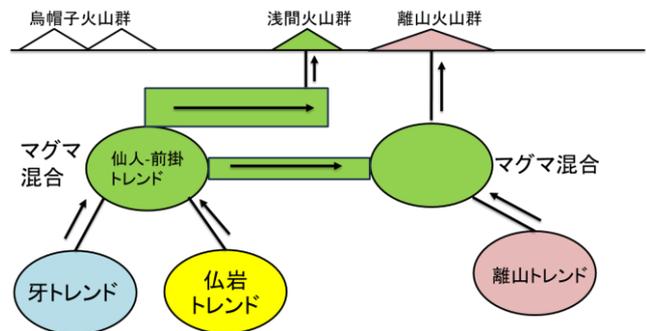


図9:高橋ほか(2024)によるマグマ混合モデル、高橋ほか(2024)に加筆

玄武岩	wt%	分子量
SiO ₂	49.06	60.09
TiO ₂	1.36	79.87
Al ₂ O ₃	15.7	101.96
Fe ₂ O ₃	5.38	159.69
FeO	6.37	71.85
MnO	0.31	70.94
MgO	6.17	40.31
CaO	8.95	56.08
Na ₂ O	3.11	61.98
K ₂ O	1.52	94.20
P ₂ O ₅	0.45	141.95
TOTAL	100	

図10:地学実験で用いた問題1

課題

2 浅間山の3つの溶岩のノルム鉱物の量比を見積もってみよう(Feは、FeOになっています)。

酸化物	分析値(wt%)					
	①	②	③	④	⑤	⑥
SiO ₂	54.47	53.53	73.93	73.85	60.12	60.15
TiO ₂	0.88	1.05	0.42	0.4	0.72	0.69
Al ₂ O ₃	17.89	18.05	13.68	13.67	16.46	16.66
FeO	8.7	9.12	2.38	2.05	6.68	6.54
MnO	0.14	0.16	0.07	0.07	0.12	0.11
MgO	5.31	5.18	0.54	0.56	4.24	4.13
CaO	9.13	9	2.07	2.18	7.24	7.23
Na ₂ O	2.89	3.16	4.25	4.43	3.17	3.22
K ₂ O	0.47	0.6	2.61	2.61	1.14	1.14
P ₂ O ₅	0.12	0.15	0.07	0.06	0.12	0.11
計	100	100	100	100	100	100
溶岩の名称	Gippa		Hotokeiwa		Maekake	
高橋他24分析ref	152	228	553	571	943	962

図11:地学実験で用いた課題2

実験中の学生の様子を観察していると、最初は初めての概念に戸惑いながらも、一回計算のコツが分かると集中して取り組んでいるように見受けられた。このノルム計算で

必要な知識は四則演算と高校の化学基礎で学ぶ mol の基礎的な概念が分かっているれば容易に取り組むことが可能である。また、提出された学生の回答をチェックしていると学生によって値がまちまちであることにも気づいた。有効数字の桁の取り方によって変わってくることもあるが、一人一人どのようなやり方をして答えを導き出したのか聞き取り調査をする必要があるのではないかと考える。

月曜日の班は、訂正前に MgO:FeO=9:1 でかんらん石を計算することを試みたが非常に複雑になり学生たちも混乱しているようだった。しかし、学生たちも真剣に取り組んでおりある程度複雑な問題をやることでやりがいを感じているのではないかと考えられる。今回のように複雑すぎる問題だと混乱してしまう可能性も大いにあるため難易度調整が今後の課題である。

今回の地学実験ではマグマ混合の説明を「SiO₂のwt%に注目して54と73が合わされば中間の60くらいになる」といった説明をしたが、岩石薄片などで視覚的に分からせることが出来なかった。生徒たちにインパクトを与えつつ学習内容を理解させるには観察が非常に重要である。日本各地でマグマ混合の証拠とされるものが数多く見ついている。今岡ほか(2015)では花崗岩にマグマ混合の証拠が残っていると述べている。この報告により、露頭で石英閃緑岩とトータル岩のマグマ混合現象が確認されている。中学校では偏光顕微鏡を所持していないところがほとんどであろう。マグマ混合が起こった岩石標本を確保しておくことが教員に求められることだと考える。

視覚的に理解するためのツールとして、標本や薄片が用意できない場合は web サイトを活用することも有用な手段の一つである。ここでは一例として、米国スミス大学 John B. Brady 名誉教授によって作成されたウェブサイトを紹介する。

サイト名: Igneous and Metamorphic Rocks Interactive diagrams, investigative tools, images, and information for students and teachers of petrology
URL: <https://www.science.smith.edu/~jbrady/petrology/igrocks-tools/norm-calc.php>

このサイトは酸化物のwt%を自由に変えることができ、それに応じて晶出する鉱物が右側に赤文字で表示されるというものである。これは計算結果が合っているか確認するためにも使え、学習者の意欲の向上にも寄与するものであると考えられる。今回の地学実験ではできなかったが、石英とかんらん石は同時に出てこないことを確かめるなど共存状態を知るためにも有用なツールである。

地学実験とは別の機会に、科学の甲子園ジュニアという埼玉県の取り組みの中で県内の中学生に火成岩についての講義をする際 TA として参加したため、そこでの取り組みについても述べる。

当日の講義の流れを以下に示す。

① 浅間山の溶岩を観察(五感で確認する)

- ② 中央海嶺玄武岩の観察(水が関与したか確認)
- ③ 方解石、ガラスの観察(固体は結晶であることの確認)
- ④ 流紋岩の観察(多孔質な火成岩を観察することで水蒸気関与していることの確認)
- ⑤ 浅間山と中央海嶺玄武岩の薄片観察(結晶の大きさの違いを確認)
- ⑥ ボーエンの反応原理

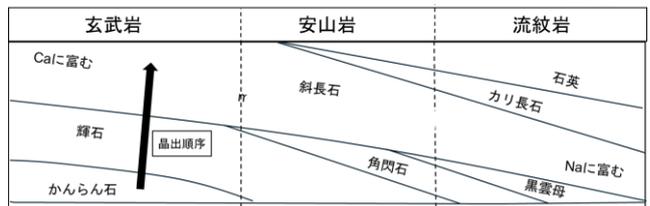


図 12: ボーエンの反応原理(地学図表 2003 に加筆)

埼玉大学岡本研究室所有の浅間山の薄片の観察では斜方輝石と単斜輝石の量の違いに注意して観察させ、斜方輝石が多いものと単斜輝石が多いものについて話し、マグマ混合について説明をした。中学生たちは浅間山の溶岩や玄武岩、流紋岩の観察で、興味深く観察をしていた。中でも手触りや色、形の特徴をすぐに周囲と共有していた点が印象的であった。このことから、実物を見せる、自由に観察をさせる時間を十分にとるなど五感で体験できる時間を多く確保できると、それに応じて子供たちの興味の深まり方や理解のしやすさが変わってくると実感した。

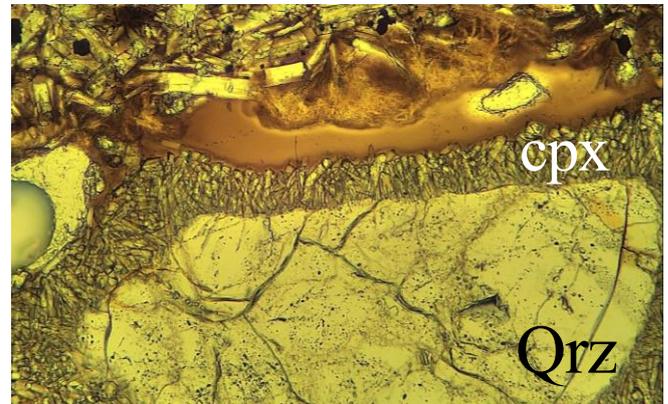


図 13: 浅間山の溶岩薄片(オープンニコル)、石英(Qrz)の周辺にマグマ混合の証拠である普通輝石(cpx)の反応縁が確認できる。

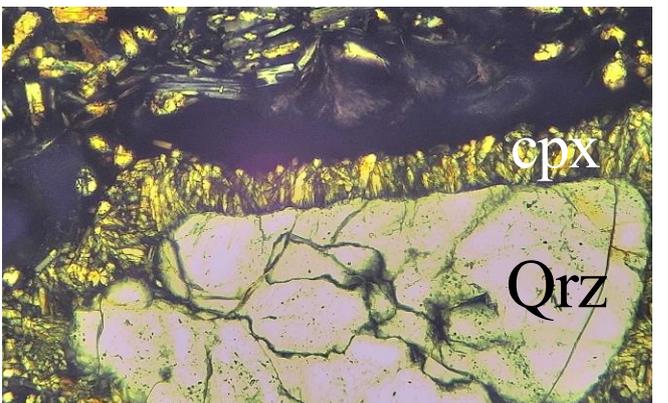


図 14: 浅間山の溶岩薄片(クロスニコル)

図 13、14 の鉱物の同定は薄片観察とラマン分光法を用いて行った。

8. 中学生を対象とした分子比の学習

通常のノルム計算では多くの鉱物が測定されるため、それに伴い計算手順や回数も多くなる。そこで中学生向けには鉱物の数を減らして計算を行ってもらうことで学習効果を引き出せる。また、モルについて中学生は習わないので「 SiO_2 が何個ある」といった形に変えることで対応していく。

はじめに以下の表を用いて説明を行う。

	反応前	反応後
K_2O	10	0
Al_2O_3	20	10
SiO_2	80	20
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0	10

表 4: 正長石の化学組成表 1

上記の鉱物に対して「 $Al_2O_3 : Na_2O : SiO_2 = 1 : 1 : 6$ 」という比で反応するため、反応前後でそれぞれの個数が分かる。また、一分子当たりの質量も与えることで質量比も求めることができる。

	反応前	反応後
K_2O	Y	0
Al_2O_3	20	X
SiO_2	80	X+Y
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0	10

表 5: 正長石の化学組成表 2

表 3 は表 2 の数値を一部文字にしたものである。この X と Y を求めると両方とも 10 という値になる。求める上では「 $1 : 1 : 6 = Y : 20 - X : 80 - (X + Y)$ 」を解けばよく、これは連立方程式となる。

上記のような問題は数字を変える、文字に置き換えるなどで応用がききやすい。また、もう少し難しくしようと思ったらアルバイトやアノサイトも含めた問題も作成できる。これによって連立方程式を用いた計算練習を反復して行いやすくなると考えられる。

9. まとめ

今回の研究では、岩石・鉱物を観察し、岩石熱力学や岩石

学で用いられている計算手法を用いた分子比と量的関係を理解できる教材を検討していくことを目的とする。課題研究Ⅱでは主に、適していると考えられる内容を複数挙げることにそれを実践に移すといった 2 つの活動を行い、有効性の検証を試みた。その結果、自然界に存在する岩石・鉱物の化学反応式、ギブスの自由エネルギー・ギブスの相律などの岩石熱力学、ノルム計算とマグマ混合、薄片観察、web サイトの活用など様々な教材があることが分かった。鉄の酸化や中和反応、炭酸カルシウムと水と二酸化炭素による反応など中学校の実験でも様々な鉱物が扱われている。このことと、理科で扱う量比に関する計算が苦手な生徒がいるという学校現場の現状を鑑みたところ、ノルム計算を中学校で取り扱うことで生徒たちの苦手を克服できるようになるのではないかと考える。全岩化学組成の値を変えることで難易度を変えられる。これらのメリットを最大限活用することが求められる。その際、問題を難しくしすぎないことが学習に対するモチベーション維持のためにも重要だと考える。今回は浅間山を題材にノルム計算と、それに関連してマグマ混合について取り扱った。鉱物の晶出は熱力学とも深く関係しているため、この内容も絡めることで物理学を通じた化学の量比というものがより深く理解できるだろう。また、科学の甲子園ジュニアの子供たちと関わって、岩石や鉱物に親しみを持ってもらうためにも観察は重要だと再認識をした。子供たちは学外に出ることで気分転換にもなると思われるため、積極的な野外観察の時間が必要だと考える。

10. 今後に向けて

課題研究Ⅰでは「ギブスの自由エネルギー」と「ノルム計算」という 2 つの内容が適しているのではないかという結論であった。課題研究Ⅱではこれらの内容を元に、埼玉大学で開講されている地学実験と科学の甲子園ジュニアの 2 つで実践を行った。ノルム計算については概ね満足のいく結果だったが、問題が難しく実験の途中で内容を変更することがあったため、今後は程よい難易度の問題を作成すること、事前に複数人でチェックをすることが必要である。岩石熱力学に関する教材の検討は不十分であるため、教員生活を通じて授業の中にこれらのことを組み込めるように尽力していく。

11. 謝辞

本研究を進めるにあたり、最後まで丁寧な指導をしてくださった岡本和明先生をはじめ、諸先生方に心より感謝を申し上げますとともに、厚くお礼を申し上げます。また、研究室の皆様にも多くのお力添えをいただきました。お礼を申し上げます。

12. 参考文献

・文部科学省 (2019) 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解 説理科編

- ・神田、角谷 2007: 特集—中高生のための高圧科学入門—
ダイヤモンドの高圧合成とその特徴, 高圧力の科学と技
術, 2007, Vol. 17, No. 3
- ・吉村、井倉 2001: 石灰岩地域の地下水と地球規模の炭素
循環. 一般財団法人九州環境管理協会 環境管理. 2001. 第
30 号. p13-25
- ・今岡ほか(2015): 今岡照喜 小林実和 曾根原崇文, 山口県
蓋井島花崗岩に記録されたマグマ混交・混合現象, 地質技術
第 5 号, 2015, p37-52
- ・道林 2022: 名古屋大学 理学部 2022 年春学期「岩石学」
講義資料 第 6 回
<https://ocw.nagoya-u.jp/files/875/岩石学第6回.pdf>
- ・都城、久城(1975): 都城秋穂 久城育夫 共著, 岩石学Ⅱ
岩石の性質と分類, 共立出版, 1975, p166
- ・島津製作所によるデータ解析(2020): 浅間山火山岩の元
素マッピング
<https://www.an.shimadzu.co.jp/ap1/19200/index.html>
- ・高橋ほか(2024): 高橋正樹 金丸達夫 安井真也, 浅間火山
群噴出物の全岩主化学組成—分析データ 1922 個の総括—,
日本大学文理学部自然科学研究所研究紀
要, 2024, No59, p47-108
- ・数研出版 化学 2018: 辰巳敬ほか 16 名 著, 改訂版 化学,
数研出版, 2018, p20
- ・川寄 2006: 川寄智佑 著, 岩石熱力学—成因解析の基礎—,
共立出版, 2006, p266
- ・地学図表 2003: 浜島書店編集部 編著, 新訂 ニューステー
ジ地学図表 地学Ⅰ・Ⅱ+理科総合B, 浜島書店, 2003, p17