

生徒の資質・能力を育成する 探究の問いの工夫

—SOCIAL CHANGE の視点を生み出し探究の道程へ導くために—



2021年 3月

東京学芸大学附属国際中等教育学校

目 次

1章	はじめに	1
2章	授業実践	5
	蒸発と沸騰の違いは？ 【事実を問う問い】（中学1年化学）	5
	「Logic」が果たす役割とは？ —結論を導くまでの道筋において、証拠・根拠が果たす役割— 【概念理解を促す問い】（中学2年物理）	9
	50+50 = 96 ? 【事実を問う問い】（中学3年化学）	13
	トリチウム水どうする？ 【議論するための問い】（中学3年化学）	18
	人間と生態系の捉え方、問い方でどう変わるか？ 【概念理解を促す問い】（高校1年生物）	24
	福島第一原発事故は天災か、人災か？ 【議論するための問い】（高校1年地学）	30
	「仕事する」って直感的にはどういうこと？ 【事実を問う問い】（高校2年物理）	35
	「科学用語」の望ましい使い方とは？ 【議論するための問い】（高校2年DP化学）	39
	つながりは永遠か？ 【概念理解を促す問い】（高校3年化学）	46

1章 はじめに

1.1 なぜ、SSH 研究開発で授業改善なのか？

理科の授業を設計する際、まず最初に学習内容や教科書での取扱いを確認することから始めることが多いのではないだろうか。理科の学習に、概念や文脈を持ち込むという発想はあまり一般的ではないのかもしれない。高等学校理科学習指導要領の各基礎科目の目標には、「日常生活や社会との関連を図りながら…」と示されているが、教科書や資料集等での扱い方を見ると、学習内容とつながる日常生活や社会のトピックが要所所で紹介される展開が多い。日常生活や社会の切り口から授業が展開されたり、概念¹理解を軸とした授業構成は、その授業実践事例が少ない。

本校のスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の 2 期目の研究開発課題は、『学びの本質』を捉え、SOCIAL CHANGE をもたらす科学技術人材の育成」であり、主体的に取り組む探究的な学びを通して、社会に変革をもたらす科学技術人材の育成をめざしている。この「SOCIAL CHANGE」の視点を生み出すプロセスを研究開発の主眼としている。SSH 課題研究の実施により、研究テーマに向き合い試行錯誤を繰り返すことで生み出される「SOCIAL CHANGE」の視点は必ずあるが、課題研究に至る前のテーマ探しで苦勞する生徒が多いのも現実である。そこで、本校 SSH では、課題研究テーマ探しの芽になる部分を、普段の授業の中で散りばめたいと考えた。それが、SSH 研究開発における授業改善の原点である。

1.2 研究開発における授業改善の方法

本校 SSH 研究開発では、高校 1～3 年生の理科科目を SS 理科科目とし、研究開発の対象とした。SS 理科科目では、本校で導入している国際バカロレア (IB) プログラムの理科の「探究的な学び」の趣旨に基づき、文脈や概念を取り入れた単元設計を行う。さらに、学習指導要領における「探究の過程」を実現するために、中高一貫の 6 年間を通じて、生徒が実験デザインの経験を積み重ねさせるとともに、教員は科学的探究活動に必要な能力やスキルを明確に示した学習評価を実施することとした。中でも、高校 1～3 年生で開設する SS 理科科目においては以下の 3 つに重点を置く。

1. 「社会への応用、現代社会への課題」を授業設計の軸にする
2. 「科学的な研究の方法」を習得することを目的とした実験デザインの重視
3. 「構造化された探究」ではなく「導かれた探究」の実施

1. については、生徒が現実社会の課題について科学的な知識を得たうえで、分野を超えた解決策を考えられるよう、理科と他領域とのつながりを意識して授業設計を行う。

2. については、生徒が実験デザインを実施できる機会を多く設け、科学的探究の手法を身につける。これについては、昨年度は SS 理科成果物として「実験デザイン集」を作成し、公開した。

¹ 概念とは ここで言う概念は科学的概念ではなく、「大きな考え方」のことである。Wiggins and McTighe(1998)によると、概念は普遍的な原則や考えであり、その重要性は、特定の起源、主題、ある時代の場所などといった側面を超越するものである。また、Erickson (2008) によると、概念は範囲の点からはマクロからマイクロまで幅広いもので、次の規準を満たしている。・ 時間、場所、空間を横断して意味をもち、重んじられる ・ 抽象的である ・ 簡潔である ・ 特定の例に共通する属性を表す

3. については、一般的に探究的な学習には表1のような3つの段階があると考える。SS 理科科目における探究は、「導かれた探究」の実施を目指している。授業クラス内で共通の課題に取り組みながらも、それに対応する問題解決のアプローチは生徒ごと（グループごと）に異なる。手法の多様性を共有し、議論する機会を設けることにより、課題の本質に気づき、より深い学びにつながることを狙う。また、この経験を繰り返すことにより、SSH 課題研究における「オープンな探究」の実施が可能になると考える。昨年度の報告冊子の「実験デザイン集」においても、一つの課題に対して、生徒がそれぞれ異なる手法で取り組む様子を取り上げた。

表1 探究的活動の段階

構造化された探究	導かれた探究	オープンな探究	
教員が生徒に探究のための質問をする。 ↓ 生徒は、ある程度決まった過程で探究する。	教員が生徒に探究のための質問をする。 ↓ 生徒は、自身で問題解決の過程を考える。	生徒が質問を考案し、自身で探究する。 ↓ 生徒は、自身で問題解決の過程を考える。	
易			難

1.3 今年度の研究開発は「探究の問い」の工夫

上記のSS 理科科目の特長および目標を踏まえて、本年度も研究開発を行った。しかし、昨年度末から今年度6月にかけて、COVID-19の感染拡大による緊急事態宣言の発令、学校の臨時休校があった。その後も分散登校やグループワークの制限などにより、生徒の実験・観察活動や探究活動を十分に設定・実施することができなかった。そこで、このような状況下においても、重点項目1～3の実現をするために、「探究の問い」の設定の工夫をSS 理科科目の研究開発の主眼にした。社会への応用、現代社会への課題を授業設計の軸とし、生徒を探究の道程にのせるための「探究の問い」を工夫することで、文脈の中で学習する探究的な授業スタイルを提案する。この「探究の問い」の設定によって、授業が変わり、生徒のグローバルな視野と柔軟な科学的思考力の育成に導くことを目指した。さらに、この実践をKH Coder²によるテキストマイニングの手法で分析し、その効果の検証を試みた。

国際バカロレア中等教育プログラム（IBMYP）で行う探究テーマに基づいた単元設計をベースに「探究の問い」を定義した。探究テーマとは、概念や文脈を組み合わせて、生徒が理解できるような意義のある単元のテーマである。探究テーマは概念と文脈との関係を表すものとなるので、Erickson(2007)やMarzano(2009)によると、思考プロセスの事実的な面と概念的な面を統合し、単体そのものよりも認知発達により大きな影響を与えることによって、相乗的思考を促すと考えられている。この探究テーマに取り組むために設定するのが「探究の問い」である。探究の問いは、表1に示すように、事実を問う問い（Factual）、概念理解を促す問い（Conceptual）、議論するための問い（Debatable）の3つに分類される。

² KH Coder 樋口耕一、「社会調査のための計量テキスト分析－内容分析の継承と発展をめざして－」,ナカニシヤ出版, 2014

表2 探究の問いの特徴（MYP：原則から実践へより）

事実を問う問い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 知識・事実に基づいている ・ 内容主導である ・ スキルに関連している ・ 証拠によって裏づけられている ・ 探究テーマの用語を検証するために用いることができる ・ しばしば時事問題的である ・ 回想や読解を促す
概念理解を促す問い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事実とトピックをつなぐような大きな考え方の探究を可能にする ・ 比較・対比させる機会を強調する ・ 矛盾を探究する ・ 教科内の、そして学際的な内容についてのより深い理解に導く ・ なじみのある、あるいはあまりなじみのない状況、課題、アイデア、文脈への移行を促す ・ 分析と応用を促す
議論するための問い	<ul style="list-style-type: none"> ・ ある立場で議論するために事実や概念の使用を可能にする ・ 議論を推進する ・ 重要な概念や問題を多角的なもの見方で探究する ・ 競い合うことができる ・ 緊張感がある ・ 故意に挑発的になりうる ・ 統合と評価を促す

「探究の問い」の前段である探究テーマの設定は、一見するととても壮大なテーマのように思えることがある。しかし、そのテーマに即した「探究の問い」を設定することで、年齢に合わせた学びを行うことができる。これらの「探究の問い」を意識的に使い分けることで、科学的な学習内容に文脈を生み出し、知識・技能の定着に留まらない概念理解を可能にさせ、SOCIAL CHANGEに目を向けた問題解決が提案されるのではないかと考える。本稿の実践事例における「探究の問い」とその分類、そして対応する学習内容を表2に示す。

表3 探究の問いと学習内容

学年	「探究の問い」とその分類	学習内容
中1 理科(化学領域)	蒸発と沸騰の違いは？ 【事実を問う問い】	状態変化
中2 理科(物理領域)	「Logic」が果たす役割とは？ 【概念理解を促す問い】	音の性質
中3 理科(化学領域)	50+50=96？ 【事実を問う問い】	粒子モデル
中3 理科(化学領域)	トリチウム水どうする？ 【議論するための問い】	原子の構造・同位体・電気分解
高1 SS 生物基礎	人間は生態系の中のどこに位置づけられているだろうか？ 【概念理解を促す問い】	生態系とその保全
高1 SS 地学基礎	福島第一原発事故は天災か、人災か？ 【議論するための問い】	日本の自然環境
高2 SS 物理基礎	「仕事する」って直感的にはどういうこと？ 【事実を問う問い】	力学的エネルギー
高2 DP 化学	「化学用語」の望ましい使い方とは？ 【議論するための問い】	化学基礎全般
高3 SS 化学	つながりは永遠か？ 【概念理解を促す問い】	有機化合物

2章 授業実践

蒸発と沸騰の違いは？

中学1年理科(化学分野) 笹岡聖也

1. 探究の問い

<input checked="" type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

「蒸発と沸騰の違いは？」

水を加熱することで、沸騰が起こる。沸騰は液体から気体への状態変化の一つであり、液体内部において状態変化が起きる現象である。沸騰という現象を通して、物質の状態変化を考えるための問いである。まず、生徒はこの問いに回答する。さらに、実験により、水の沸騰現象を確認した。実験では、ビーカー内に水と沸騰石、逆さ向きにした漏斗を入れた(図1)。このとき、使用したビーカーは200 mL ビーカーであり、水は50 mL 入れている。ガスバーナーにより水を加熱し、沸騰させた。沸騰により得られた気体をチャック付き袋で捕集した。硫酸銅(Ⅱ)無水物は白色の粉末であり、水と反応することで青色の硫酸銅(Ⅱ)五水和物を生成する。硫酸銅(Ⅱ)無水物の反応により得られた気体の正体が水蒸気であることを探った(塩化コバルト紙でも同様に沸騰で得られる気体が水蒸気であることを確認することができる。この場合、青色の塩化コバルト紙が赤色に変化することで水蒸気だと確認できる)。また、水の蒸発の様子動画を視聴し、沸騰と蒸発の違いを考察した(実際の動画は、図2のQRコードから視聴することができる)。動画最後に、実験及び動画視聴後の問いに対する回答を得た。

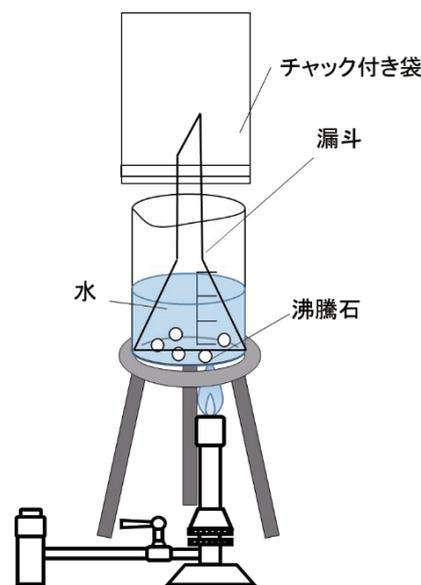


図1 水の沸騰実験装置図



図2 動画へのリンクが
つながる QR コード

2. 学習内容との関係

中学校学習指導要領(平成29年告示)

第2章 各教科 第4節理科

理科第一分野 (2)身の回りの物質 (ウ)状態変化 (ア)状態変化と熱

沸騰は、加熱されることで起こる。その際、液体の底から気泡が発生する事象である。これは熱エネルギーを受け取った粒子が液体から気体へ状態変化を起こしているためである。沸騰の様子を観察することは、液体から気体の状態変化の瞬間を観察することに繋がる。本探究の問いは、物質の状態変化の学習の導入のために問いかけたものである。中学校理科の学習内容は、科学の基本的な概念等である「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」を柱として構成されている。同解説においては、「粒子」を柱とする領域では、自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点で捉えることが示されている。粒子の熱運動のモデ

ルは高等学校化学基礎でも扱われるなど、「粒子」を柱とする領域における基礎的な知識であるといえる。

3. 生徒の回答例

「蒸発と沸騰の違いは？」の問いに対する実験及び動画視聴前の生徒の回答を以下に示す。有効な回答数は70件であった。生徒の回答は以下の5つのパターンに分類された(A:10件,B:30件,C:11件,D:11件,E:8件)。また、回答について具体例(回答を一部抜粋したもの)もそれぞれのパターンに追加で記した。

パターン A：沸騰は高温で内部から水蒸気が発生し,蒸発は表面から液体が水蒸気に変化する

- ・蒸発は上部の水が気体になること。沸騰は水が熱くなり,下から気体になること。
- ・蒸発は液体が表面から穏やかに気化し,沸騰→液体が内部から激しく気化する。

パターン B：沸騰は高温で空気の泡が発生し,蒸発は水蒸気が発生する。

- ・蒸発は水が水蒸気となって大気中に出ていくこと。沸騰は液体が暖められるときに,液体の中に入っていた空気が外へ出ていくこと。
- ・「蒸発」：空気中に水が気体となって出て行く。「沸騰」：水の中でボコボコ空気がぼこぼこする。

パターン C：沸騰は水が 100°Cの時に起こり,蒸発は常温で起きる

- ・沸騰は 100°Cになったこと,蒸発は常温。

パターン D：沸騰は蒸発の前段階である

- ・沸騰により水蒸気が発生し,水蒸気が空気中に放出されるのが,蒸発。
- ・沸騰は水が蒸発直前の事。

パターン E：その他

- ・水が空気中の水蒸気に変化するはやさ。

「蒸発と沸騰の違いは？」の実験及び動画視聴後に生徒の考え方が変化する。その変容については、次節「4. 探究の問いに対する検証」で述べる。また、学習内容との関連を考慮し、本探究の問いに対する回答として理想的なものをパターン A と設定した。

4. 「探究の問い」に対する検証

実験実施後及び動画の視聴後、生徒の回答は以下のような振り分けに変化した（表）。得られた回答の変化が有意であるか、 χ^2 検定により調査した。

表 クロス集計結果

	パターン A	パターン B	パターン C	パターン D	パターン E
実験後・動画視聴(N=70)	10	30	11	11	8
実験前・動画視聴(N=70)	33	13	13	2	9
合計	43	43	24	13	17
χ^2 値	4.214**	-3.115**	0.448	-2.621**	0.259

** p<0.01

表に示す χ^2 値より、パターン A,B および D には 1%水準で有意な変化があったことがわかる。パターン A は沸騰と蒸発の違いを明確に記述ができています。沸騰の際に発生する気泡の正体が水蒸気であり、状態変化が起きていることを理解できている。パターン A の変化が 1%水準で有意であることにより、生徒が状態変化について知識の獲得に成功したといえる。また、パターン B は沸騰の際に発生する気泡の正体が空気、酸素であると認識している生徒の回答であった。同様にパターン D も沸騰と蒸発の定義が曖昧な生徒の回答である。パターン B・D の減少が 1%水準で有意であることから、生徒が沸騰と蒸発を別の事象であると理解できたといえる。しかし、実践後にもパターン B 及び C という回答が一定数残ってしまった。パターン B に対して実験で集めた気体が空気ではないということの確認のために、実験で集めた空気に火のついた線香を近づける追加実験をすることや、窒素を純水に溶解させる実験等をさらに行い、本実験で発生する気体が水蒸気であることを再確認できるように改善する必要があると思われる。パターン D は、実験の際や、動画の撮影の際に温度計を用い、温度を視覚的に捉えさせることで改善できると思われる。

また、KH Coder(樋口, 2014)¹⁾を用いることにより、生徒の記述に見られる単語(名詞)の抽出を行った。分析にあたっては、実験及び動画視聴前において、「3. 生徒の回答例」で分類したパターン A を除いた残りの解答を対称に解析を行った(図3)。

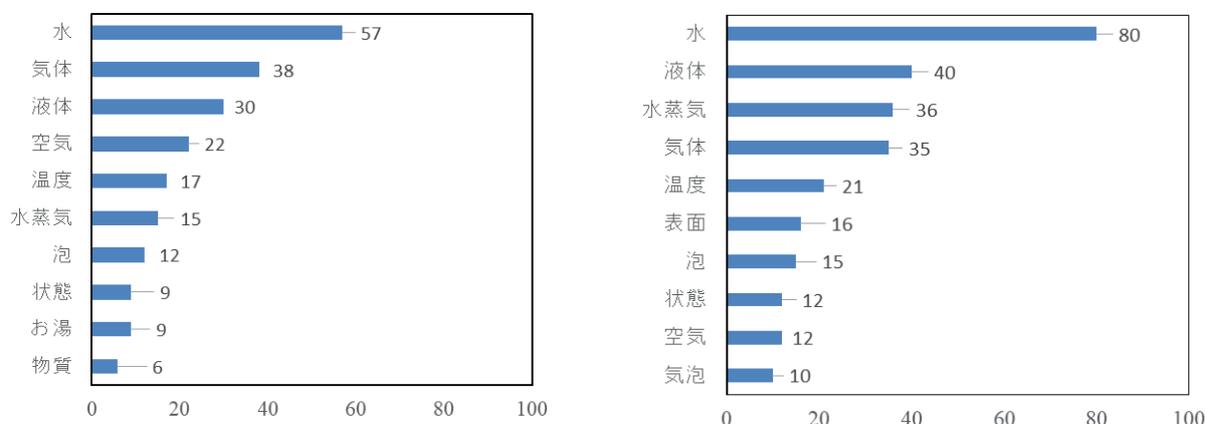


図3 抽出した単語リストの変化 (左：実験・動画視聴前, 右：実験・動画視聴後)

図3に抽出した単語のリストを示した。生徒の記述の中において登場回数の多かった単語10語をそれぞれ示している(左:実験・動画視聴前,右:実験・動画視聴後)。実験及び動画視聴後に増加が見られた単語に、「水蒸気」がある。実験・動画視聴前では15語のみの記載数であったが,実験・動画視聴後は36語まで記載数が増加した。最初にパターンA以外の回答をした生徒たちの中の認識の変化が χ^2 検定同様に確認することができた。

KH Coder(樋口, 2014)¹⁾を用いた単語の共起ネットワーク(実験・動画視聴後)を示す(図4)。図4の上部には、「水」や「蒸発」、「沸騰」、「気体」、「液体」、「水蒸気」という単語が関連づいていることがわかる。また,図3の下部には「表面」や「高温」、「上昇」、「量」などの変化に関する単語が関連づいている。この共起ネットワークの中心に位置している単語が「温度」である。物質の状態変化の本質は熱運動の激しさ=温度であるため(図5),本単元を指導する際は温度がどのように日々の授業内容に関連するか,明確に意識することが必要だと考えられる。

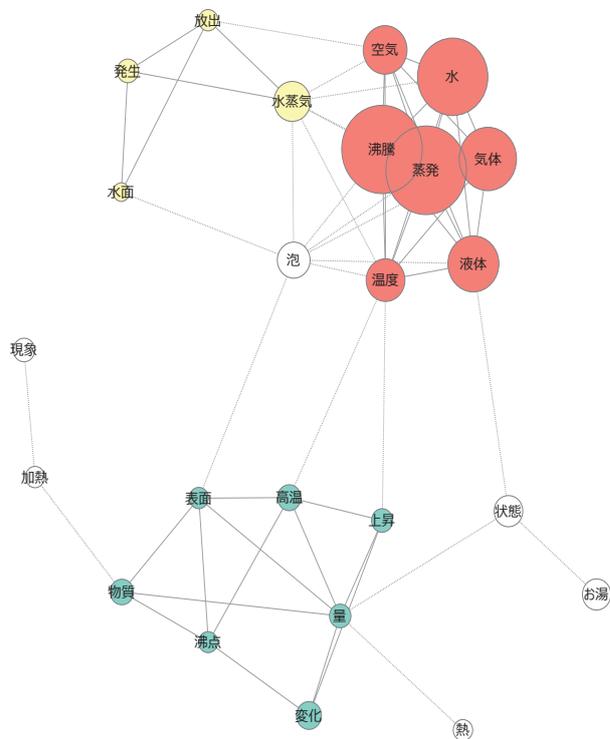


図4 「蒸発と沸騰の違いは？」に対する回答の共起ネットワーク(実験・動画視聴後)

5. 授業者より

今回の問いかけは,状態変化を学習する前に,視覚的に状態変化を実感することが目的であった。実験自体は小学校4年生の理科で行われるものである。しかし,本校は帰国生を多く受け入れているため,学習を始めるにあたり,共通の知識を持たせることが目的にもなっていた。また,この単元に入る以前はコロナ感染拡大により緊急事態宣言が出されていた。本来は既に実験室でガスバーナーの使い方を学んでいるはずであったが,感染予防の観点から実験を控えていた。本探究での実験でガスバーナーの使い方に苦戦する生徒の姿が多く見られた。実験がうまく機能しない際に,動画の利用やKH Coder(樋口, 2014)¹⁾によるテキストマイニング等の手法を積極的に学び,授業に取り入れることが新たな授業展開の手助けになるかもしれない。

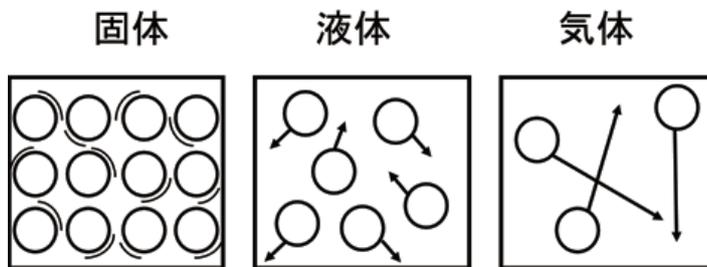


図5 物質の三態のモデル

参考文献

1) 樋口耕一,「社会調査のための計量テキスト分析-内容分析の継承と発展をめざして-」,ナカニシヤ出版, 2014

「Logic」が果たす役割とは？

—結論を導くまでの道筋において、証拠・根拠が果たす役割—

中学2年 理科（物理領域） 川上 佑美

<input type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input checked="" type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

1. 単元の目標と探究の問い

本単元では、身近な物理現象を日常生活や社会と関連付けながら、音の性質について理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けることが求められている。音は身近な現象であるために、親しみの湧きやすい教材である。一方で、当たり前を感じていることを再考し、証拠・根拠を適切に収集しながら、結論を導くことが求められる。そこで、「私たちは、見えないものをどのように共有しているのだろうか?」という問いとともに、結論を導くまでの道筋において、証拠・根拠が果たす役割、概念「Logic」の理解を促す単元構成とした。

科学においては、観察、実験によって収集した証拠・根拠によって結論を導き、合意形成をしていくことで、知識を獲得する。例えば、音そのものは目に見えない現象であるが、音の性質を知るために観察、実験を繰り返し、誰もが納得できる証拠・根拠を収集することで、音の性質を理解することができる。それらの証拠・根拠から結論を導く際には、帰納的に思考することが多い。したがって、本単元では、証拠・根拠から帰納的に結論を導く過程を意識できるようにすることで、概念「Logic」の理解を促すこととした。そのために、大きな問い「私たちは、見えないものをどのように共有しているのだろうか?」に対して、小さな問いを授業ごとに設定し、その問いに取り組むことで、概念理解の促進を図る。

2. 学習内容との関係

中学校学習指導要領（平成29年告示）

第2章 各教科 第4節 理科 (1) 身近な物理現象 ア(ア) 光と音 ㊦音の性質

中学校学習指導要領（平成29年告示）において、中学校第一学年では「問題を見いだし見通しをもって観察、実験などを行い、【規則性、関係性、共通点や相違点、分類するための観点や基準】を見いだし表現すること」が、第二学年では「見通しをもって解決する方法を立案して観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、【規則性や関係性】を見いだし表現すること」が求められている。

問いに対して解決する方法を立案し、観察、実験の結果を証拠・根拠として、問いに対する結論を記述するときには、ひとつひとつの証拠・根拠の規則性、関係性等を見いだし、考えを構築する必要がある。本単元では、問いに対する結論を導けるような証拠・根拠を生徒自らが収集できるような問いを設定した。このように理科の学習において、証拠・根拠の役割を意識し、結論を導出することで「Logic」の理解が深まり、思考力、判断力、表現力等の育成にもつながると考えられる。

3. 単元構成

学習内容と提示した問いを以下に示す。

○理科の学習内容を深めるための問い ◎概念「Logic」を深めるための問い	・学習内容
○音の正体とは？ ◎問いから結論まで、どのような道筋をたどっている？	・音は物体の振動によって生じること ・音は空気中などを伝わること ・音を伝える物質が必要であること
○水深を測るためには、どうしたらよいだろうか？ ○橋などの建造物にひび割れや空洞がないか、どのように調べられるだろうか？ ○音の速さを測定するためには？ ◎よりよい証拠・根拠とは？	・音の速さ ・音の聞こえ方
○音の大小、高低を決めるものは？ ◎納得できる証拠・根拠は？隠れた証拠・根拠は？	・音の高さと振動数 ・音の大きさと振幅 ・さまざまな生物の可聴音域
○音が鳴るのは、どうして？	・共鳴現象
○音の聞こえ方の変化は、どのように説明できるだろうか？	・音のドップラー効果

理科の学習内容を深めるための問いとともに、概念「Logic」の理解を促すための問いを提示した。学習は理科の学習内容を深めるための問いを中心に実施し、その学習過程で概念「Logic」を深めるための問いを提示した。本単元では、問いから結論を導くまでの過程を「地図」に表す活動を行った。「地図」とは、問いから結論（自分の考え）に至るまでの思考過程を可視化したものである。形式は生徒それぞれであるが、どのような思考を経て、結論にたどり着いたのかを記述できるようにした。

4. 概念理解の促進についての検証

4. 1. 「地図」の変化

本単元では、問いから結論を導くまでの過程を「地図」に表す活動を行った。生徒の作成した地図の変遷を以下に示す。

【図1】は、問い「音の正体は？」に取り組んだときに作成した地図である。【図1】左では、音のまわりにある「糸電話」「ドラム」などは生徒が音の正体を見いだすために実施した実験に関わる単語である。単語がつながっているものの、結論を導くことはできておらず、視点は散漫であるようすが窺える。【図1】右では、実施した実験について、箇条書きに記録できているが、それらを証拠・根拠として、問いに対する結論を

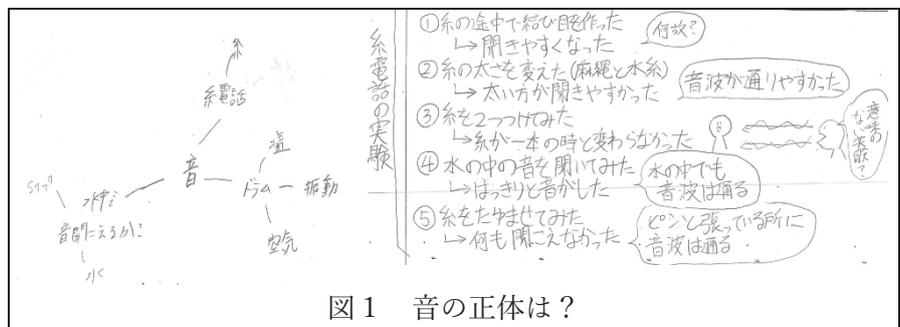


図1 音の正体は？

実施した実験について、箇条書きに記録できているが、それらを証拠・根拠として、問いに対する結論を

導くことはできておらず、ひとつひとつの事象のつながりに乏しいようすが窺える。

【図2】は、問い「橋などの建造物にひび割れや空洞がないか、どのように調べられるだろうか？」に取り組んだときに作成した地図である。この地図では、学校で画鋲を壁に刺す際に壁を叩いて板の存在を確認すること、家の壁を叩いたときの音の違いの2つの例を挙げ、それらに共通することとして、一つの結論を導いている。【図1】では各実験がlogicalなつながりが乏しかったが、【図2】では、各実験をつなげて結論を見いだせているようすが窺える。

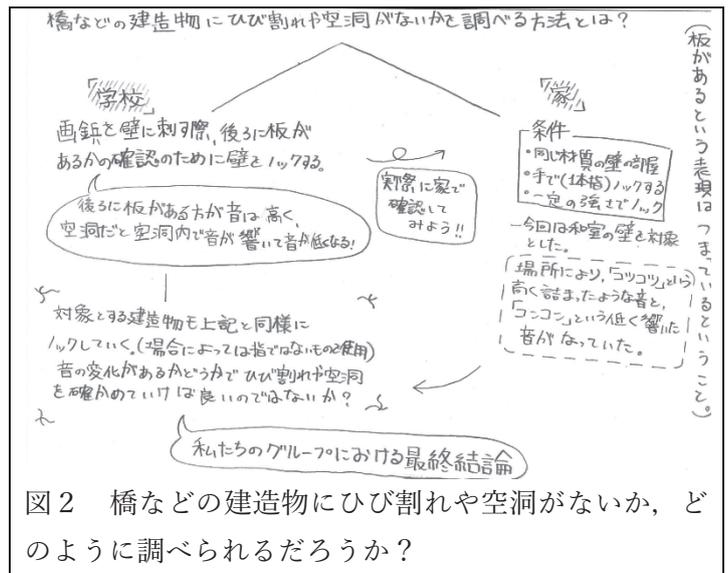


図2 橋などの建造物にひび割れや空洞がないか、どのように調べられるだろうか？

【図3】は、問い「音の大小を決めるものは？」に取り組んだときに作成した地図である。この地図では、問いに対して仮説を立てたのち、仮説を確かめるための実験を4種類行い、それらの実験の結果から一つの結論を見いだしている。さらに、各実験結果（証拠・根拠）が適切だったかどうかを振り返っている。証拠・根拠と問いや結論とのつながりを示すだけでなく、証拠・根拠の質を吟味していることは、よりよい結論を導くために、証拠・根拠への意識が強くなっていると言えるだろう。

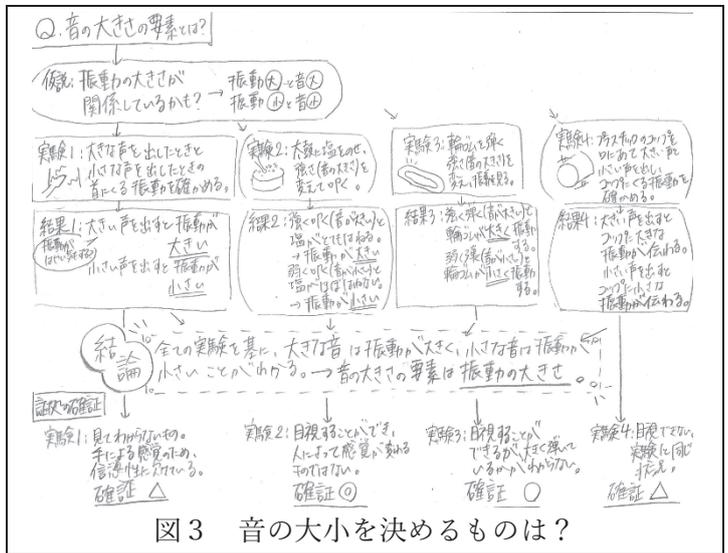


図3 音の大小を決めるものは？

4. 2. KH coder による検証

単元終了後に、ねらいとした概念である「Logic」について、物理の学習を通じた生徒の考えを知るために、「物理における『Logic』とは何だと思えますか？」と問うた。生徒の回答とともに、回答を KH Coder（樋口，2014）を用いて分析を行った結果を示す。

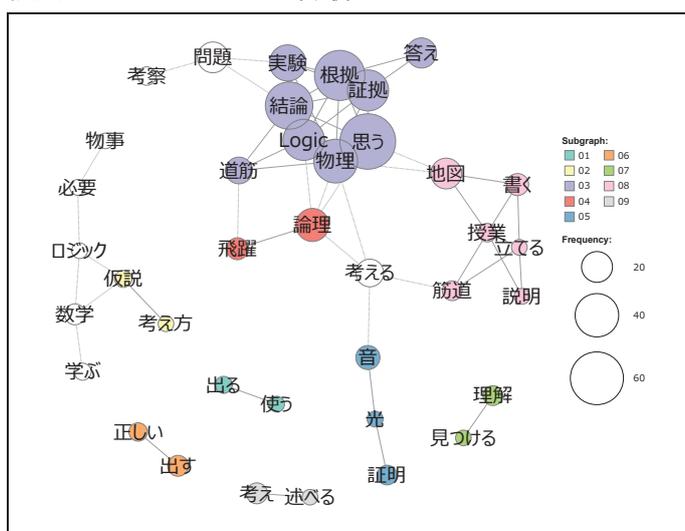
生徒の回答（下線は筆者による）

- ・ 実験結果や、経験を根拠・証拠として、その知識を関連させながら、答えを導くことであると思います。地図をかいていくなかでも、チームのみんなの体験したことや、実験をして得た結果の共通点や相違点を比べながら、答えを導いていきました。
- ・ 物理におけるロジックは、大枠を理解してから、細かいところにつなげていたり、関連したことを見つけたりすると思う。音とかもベースを理解してから、ほかのこととや現実と関連付けながら考え、最終的には一つの結論をみつけた。
- ・ 筋道を立てて、根拠から結論に導いていくことが物理における logic であると思います。授業中

に書いた地図のような、問題だったり課題だったりから様々な実験や根拠を得て、結論まで導いていくという過程がlogic なんじゃないかと思います。また他の事実や前に習ったことと結びつけて/関連付けて考え新たな事実を見つけることも、logic であると思います。関連づけるということは関係性を理解したうえでできることなので、その理解して結びつけられるということがlogic なんじゃないかと思います。

- ・ Logic(論理)がない限り、正しい答えを出すことは不可能に等しいと思う。しっかりと過程あるからこそ、論理的なことが言えるわけである。Logic は過程...?

共起ネットワークによる分析



生徒の記述をみると、証拠・根拠からひとつの結論を導く帰納的思考への気づきと思われる発言が見られる。結論(知識)を与えられるのではなく、自ら知識を構築する学習の成果であると考えられる。また、生徒の記述(下線部)には、共通点、相違点、関係づけ、関係性といった学習指導要領で目指されている内容が散見される。概念「Logic」を意識した授業は、生徒の資質・能力の育成にも資する可能性があると言えるだろう。

共起ネットワークによると、証拠、根

拠、Logic、結論等の単語の結びつきが強いことから、証拠・根拠を意識することで概念「Logic」の理解を促す手立ては、ある程度有効であったことが窺える。

5. 授業者より

本単元では、科学的知識の理解だけではなく、科学的知識がどのように構築されるか、といった科学についての理解も意図した。生徒自身が探究できるようになるためには、科学とはどういったものであるのか、科学を科学たらしめるものは何か、といった理解が必要であると考えられる。「地図」の作成を通して、自分たちはどのように思考しているのかを意識できるようにし、問いから結論に至るまでに、より多くの人が納得できるような道筋を考えられるようにした。最初は物事をつなげて考えることが難しかった生徒たちも、証拠・根拠に着目しながら「地図」の作成を繰り返すことで、よりつながりのある思考ができるようになったようすが窺えた。

なお、本単元で意図した概念「Logic」は同学年他教科でも概念理解を図った授業を実施している。その詳細は、国際中等研究紀要を参考されたい。

参考文献

- 1) 文部科学省, 中学校学習指導要領解説 理科編
- 2) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析-内容分析の継承と発展をめざして-」, ナカニシヤ出版, 2014

50+50=96?

中学3年理科(化学領域) 鮫島 朋美

1. 探究の問い

「50+50=96?」

エタノール 50mL に水 50mL を加えると、その体積は 96mL になる。¹⁾ この事象を、動画で視聴し、その理由を考えるための問いである。まずは、これまでの既習事項からこの問いに回答する。さらに、この事象の解説として、大豆約 50mL にゴマ約 50mL を加える様子を解説動画として用意し、解説動画視聴後の問いに対する回答を得た。溶液混合において体積は保存されないという現実事象に対する科学的理解を促すための問いである。

動画は、以下より視聴可能である。

エタノール 50mL+水 50mL	大豆約 50mL+ゴマ約 50mL
	

2. 学習内容との関係

エタノールと水の混合は、化学変化ではなく、粒子同士の混ざり合いである。エタノール分子と水分子の粒子の大きさの違いから起こる事象であることを学習する。本探究の問いは、化学変化の学習の導入時に、これまでの学習内容の復習も兼ねて問いかけたものである。

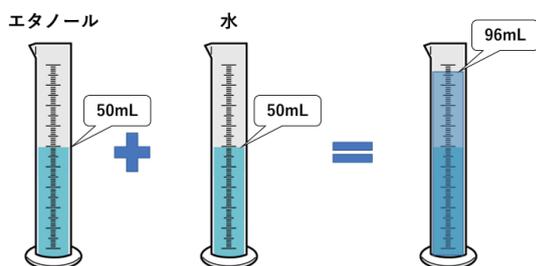


図1 実験の様子

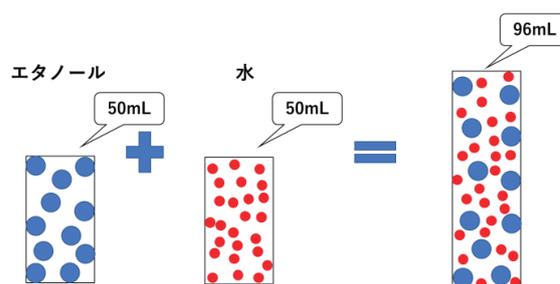


図2 粒子のモデル¹⁾

¹⁾ ここでは、中学生の学習なので、粒子のモデルは簡略化して示した。実際には、クラスターを形成しており、こんなに単純な現象ではない。²⁾

学習指導要領(平成 29 年告示)において、中学校理科の学習内容は、科学の基本的な概念等である「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」を柱として構成されている。³⁾ 同解説においては、「粒子」を柱とする領域では、自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点で捉えることが示されている。また、「水溶液」や「状態変化」の学習においては粒子のモデルと関連づけて扱うこと、「化学変化」の学習においては原子や分子やイオンのモデルと関連付けながら理解することが示されている。このように、中学理科化学領域においては、粒子モデルの活用が科学的理解につながると考えられる。

3. 生徒の回答例

「エタノール 50mL+水 50mL」の動画視聴後の生徒の回答を以下に示す。生徒の回答は大きく 4 つのパターンに分類された。

パターン A：エタノールもしくは水が蒸発した

- ・エタノールは熱に弱いため、水がエタノールよりも温度が高かったから、エタノールが少し蒸発してしまった。
- ・エタノールと水を混ぜることにより、どちらかの成分が蒸発(?) のような動作をし、4mL の液体がなくなるのではないかと考えました。

パターン B：エタノールと水が化学反応した

- ・水とエタノールが混ざると何かしらの化学反応が起き、体積が減るのではないか。
- ・エタノールの中に入っている成分が、水と混ざり粒子が小さくなる反応を起こした。

パターン C：エタノールと水では粒子の大きさが異なり、小さな粒子が大きな粒子の隙間に入り込んだ

- ・エタノールと水を混ぜると、水の分子がエタノールの分子の中に入り込むため、合わせる前のそれぞれの量を単純に足した時よりも、小さくなる。
- ・エタノールと水のどちらかが、分子レベルですが他の一方より大きさが大きくて、小さい方が大きい方に生まれる隙間に入っていくことで起きる現象だと考えた。例えば、何か大きなものを詰め込んだ袋の中に砂を入れると、砂は物と物の隙間に入り込み、体積としては隙間の中に入った砂は差し引かれると考察できる。

パターン D：エタノールと水では密度が異なる

- ・水とエタノールが混ざることによって、別々のメスシリンダーで分けられていた時より密度が小さい。二つの液体が混ざると中にあるものが強い圧で押し付けられ、ぎゅっと詰まっていることによって全体的に減っているのではないか。
- ・水とエタノールは体積が同じでも密度は異なる。例えば、りんごと同じ大きさの風船があったとして、二つを足しても、りんご二つ分の重さにはならないだろう。エタノールと水も同じで、体積が 50 ml と同じでも、密度が異なる為、100 ml には必ずしもならないと考えられる。

その他にも、下記のような回答があった。

- ・エタノールの特徴として、水にも油にも溶けるといふ変わった性質を持っているため、エタノールの50mlから4mlが水に溶けたと考えられる。
- ・水とエタノールを混ぜ合わせるとぎゅっとくっつくから。
- ・水の中の物質とエタノールの中の物質が結びついている

「大豆約50mL+ゴマ約50mL」の解説動画視聴後に生徒の考え方が変化する。その変容については、「4. 探究の問いに対する検証」で述べる。

4. 「探究の問い」に対する検証

解説動画の視聴前後で、「探究の問い」に対する生徒の回答がどのように変化したかについて、KH Coder(樋口, 2014)⁴⁾を用いたコード出現割合の変化による分析を行った。分析にあたっては、「3. 生徒の回答例」で分類したパターンA~Dについて以下の表1に示すコーディングルールを作成し、クロス集計を行った。

表1 使用したコーディングルール

コード名	コーディングに用いた語
パターンA	蒸発 気化
パターンB	化学 反応 変化
パターンC	隙間 入り込む 間隔 空間 入りこむ 間 詰まる すき間
パターンD	密度 重さ ギュッ 圧縮 重み

解説動画の視聴前後のクロス集計結果(表2)、バブルプロット(図3)を示す。

表2 クロス集計結果

	パターンA	パターンB	パターンC	パターンD
解説動画_視聴後(N=69)	<u>1.45%</u>	<u>4.35%</u>	<u>88.41%</u>	17.39%
解説動画_視聴前(N=85)	20.00%	18.82%	36.47%	17.65%
合計	11.69%	12.34%	59.74%	17.53%
χ^2 値	10.963**	6.101*	40.578**	0

** p<0.01, * P<0.05

表2に示す χ^2 値より、パターンAおよびCには1%水準で有意な変化があり、パターンBには5%水準で有意な変化があったことがわかる。

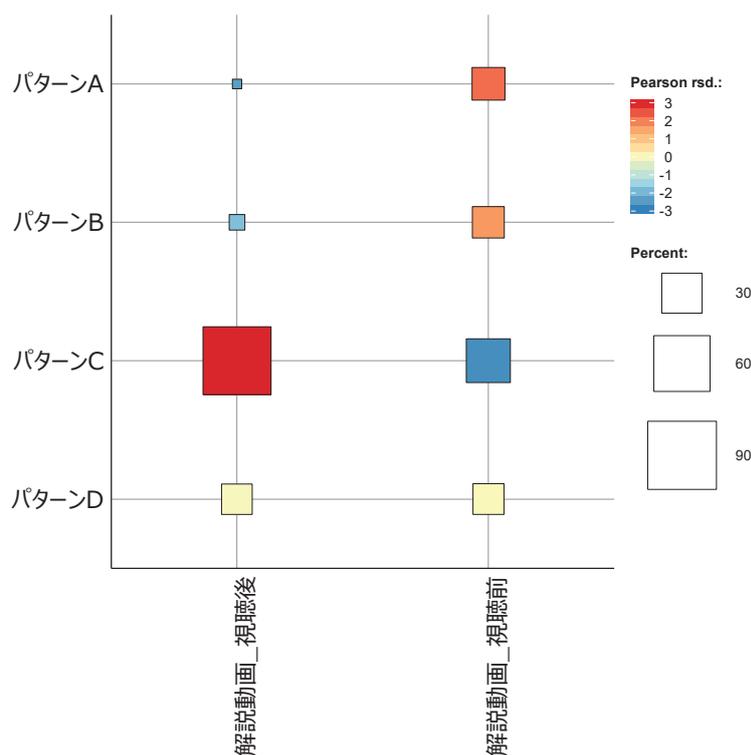


図3 解説動画視聴前後の回答の変容(バブルプロット)

表2および図3より、解説動画視聴後にパターンCの回答が増加していることがわかる。エタノールや水のように液体の状態では、その粒子感を意識できなかった生徒たちが、大豆とゴマのように目に見えるサイズの粒子の実験と比較することにより、大きな粒子の隙間に小さな粒子が入り込む様子をイメージできたのではないかと思う。しかし、一方でパターンDの回答については変容が見られず、粒子の重みによってギュッと押しつぶされるイメージを持っている生徒は一定数存在する。溶液中に存在する粒子の動きをイメージさせたい。

生徒の回答の変容から、この「探究の問い」によって、エタノール50mLと水50mLの合計体積が96mLになるという現象の原理に主体的に向き合い、理解しようとする姿勢が見られた。

5. 授業者より

今回の問いかけは、「化学変化と原子・分子」を学習する前に、どんな物質であっても粒子から構成されているということを実感し、共有することが目的であった。また、この探究の問いや動画視聴は、コロナ感染拡大により緊急事態宣言が出されていた時期に、オンライン学習として行ったものである。本来なら、実際に実験して、「えっ、ウソ！ 何で100mLじゃないの？」という疑問からスタートしたかった。一方的な動画配信に対して、色々考えて回答してくれた生徒たちに感謝する一方で、自由記述の回答において科学用語の不適切な使用が多く見受けられた。

参考文献

- 1) 後藤顕一他, 『『資質・能力』を育む高校化学 探究で変える授業実践』, 化学同人, 2019
- 2) K.Egashira, N.Nishi, *J. Phys. Chem. B.* 102, 4054~4057(1998)
- 3) 文部科学者, 中学校学習指導要領 (平成 29 年公示)
- 4) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析ー内容分析の継承と発展をめざしてー」, ナカニシヤ出版, 2014

トリチウム水、どうする？

中学 3 年理科(化学領域) 鮫島 朋美

1. 探究の問い

「トリチウム水、どうする？」

トリチウム水とは、三重水素(トリチウム)を含む水のことである。ここでは、原発事故の汚染水を浄化した後の水(処理水)をトリチウム水と呼んでいる。東京電力では、専用装置を使って汚染水からセシウム、ストロンチウムなどの放射性物質を取り除いている。しかし、現在の技術では大規模に取り除くのが困難なトリチウムが処理水に残る。現在、処理水は増加し続け、2022年夏には保管するタンクが満杯になると言われている 1)。タンクに貯蔵されている処理水を今後どのように取り扱うかについては、処理水の扱いに関する国の小委員会での議論、地元の関係者の理解・調整を踏まえて、国から基本的な方針が示される予定である 2)。令和 2 年 2 月に経済産業省により報告書 3)が取りまとめられ、以下の内容が盛り込まれていた。

- ・「海洋放出」と「水蒸気放出」が現実的な処分方法であり、そのうち国内でも実績があり、かつ放出設備の取扱いやモニタリングが比較的容易な「海洋放出」が確実に処分を実施できる手段であること
- ・いずれの方法であっても風評が生じうるため、対策をとるべきである

しかし、海洋放出は風評被害への懸念が強く、まだ処分方法を決定するに至っていない 4)。この社会的な問題について、授業内で取り上げ、議論した。

2. 学習内容との関係

中学理科学習指導要領解説 5)によると、(6)化学変化とイオン(7)水溶液とイオン(8)原子の成り立ちとイオンにおいて、「原子核は陽子と中性子からできていること、同じ元素でも中性子の数が異なる原子があることにも触れる」とされている。本探究の問いで取り上げたトリチウムは、陽子 1 つと中性子 2 つから構成される水素の同位体であり(図 1 参照)、原子の成り立ちの学習とともに単元内で扱ったものである。

また、トリチウム水の処分方法として、以下の 6 つの方法が検討されている 6)。

- ・海洋放出(薄めて海に流す)
- ・継続保管(敷地内外でのタンク増設)
- ・水蒸気放出(水蒸気にして大気に放出)
- ・地下埋設(固めて、地下に埋める)
- ・地層注入(パイプラインで深い地層に注入)
- ・電気分解(電気分解で水素にして大気に放出)

<input type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input checked="" type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

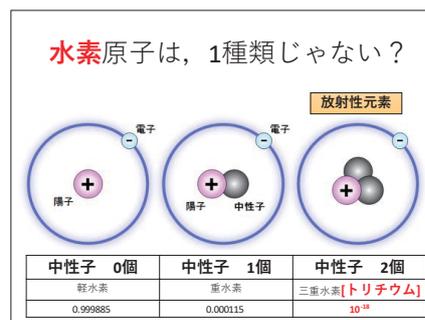


図 1 授業で使用した「トリチウム」の説明資料

ここで着目したのは、中学理科で扱う「水の電気分解」による水素発生が、処分方法の1つとして提案されていることである。6つの処理方法の中でも電気分解による処理は、中学生にとってイメージしにくい方法であるとも考えられ、本単元の中で水の電気分解、塩化銅水溶液や塩酸などの水溶液の電気分解の実験を実際に行い、生徒の思考の一助とした。

本探究の問い「トリチウム水、どうする？」に生徒が向き合うための学習展開は以下の通りである。

時間	学習活動の内容
第1時	・トリチウム水処理に関する社会問題について紹介 ・同位体および放射性同位体についての講義
第2時	・「根拠となる資料」を持ちより、トリチウム水処理に関する問題について、グループ内で個人の意見を述べる。 ※この段階では議論することが目的ではなく、この問題には様々な視点があることを生徒自らが見出すことが目的である。
第3時	・前時の生徒の議論を整理するとともに、現段階での政府の考え方を紹介。 ・検討されている6つの処分方法を示し、その1つである「水の電気分解」の実験を行う。
第4時	・水そのものには、電気が流れにくいことを確認し、色々な水溶液の電気分解の実験を行う。
第5時	・電気分解の原理を知るために、電気を流した時のイオンの動きを確認する実験を行う。
第6時	・課題の提示 これまでの授業や議論をふり返って、さらに情報収集して「トリチウム水、どうする？」に対する考えをエッセイとして表現する。

第6時に提示したエッセイ課題によって、生徒は探究の問い「トリチウム水、どうする？」に対する自身の考えをまとめ、表現した。

3. 生徒の回答例

生徒がエッセイ課題にて表現した意見を集計すると、トリチウム水の処理方法に対する意見は図2のようになった。

それぞれの考えに対する生徒の考えを以下に紹介する。(生徒の記述を一部抜粋)

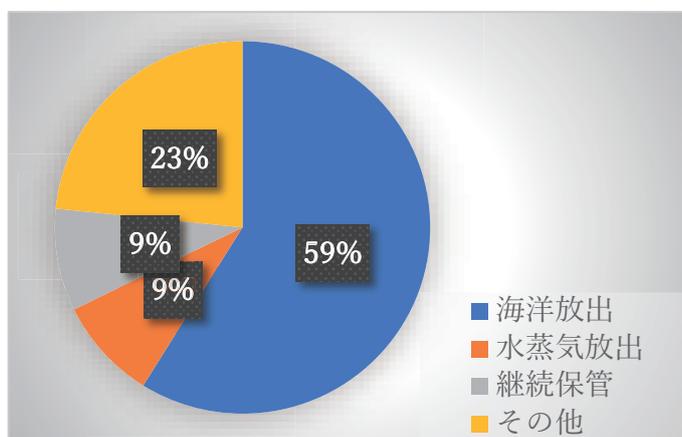


図2 トリチウム水処理に対する生徒の考え(n=124)

海洋放出

- ・私は、コストがかからなくてすぐに実行できる海洋放出が妥当だと考えているが、もし何も知らないこの授業を受ける前に、放射性物質の含んだトリチウム水を福島から海洋放出すると決まったら、怖くて危なそうだし、やめてほしいと感じると思う。また、福島の水産物も危なそうになってしまうと思う。前の私のように、そう感じる人は多いと思うので、国民や世界の人々に海洋放出の安全性を理解してもらうことが一番大切だと思っている。そのために、もっと日本政府などが分かりやすい情報発信をしたり、メディアがトリチウム水の正しい知識を発信したりしてほしい。
- ・海洋放出は海外でも多くの前例があり、今のところ健康への被害は確認されていないので、人体や環境

への影響はないに等しいと言えると思う。(中略)健康や環境への被害はないというのがおそらく正しい情報なのでこれを広めるしかなく、他に現実的な処理方法がないので、海洋放出をし、正しい情報を広めていくしかないと思う。

- ・僕はトリチウム水を規定ぎりぎりまで海洋放出をしつつ、浮いた資金を新しい土地の確保と新技術への投資に使うべきだと思います。周りの人たちには悪いですが、規定ぎりぎりなら被害は起こらないと思います。そして、回せる金は新技術の投資を行い、もっと耐えるべきだと思います。そして海洋放出する場所なのですが、自然がなるべくなく、人がいないところに放出をするという善処はするべきだと思います。やはり、海洋放出は抵抗感がありますが、この現状を見るとこれ以上のいい手がないので、規定ぎりぎりの海洋放出を行い、資金を新技術と新しい場所の確保に使うべきだと思います。

水蒸気放出

- ・トリチウム水の処理は失敗が許されない重大な問題で科学知識を用いることで誤った方法や結論に至るのをある程度予防できる。ただし科学的な面だけでこの問題を見ることも悪影響を及ぼす。福島の漁師たちはようやく最近になって漁業が再開できるようになった。たとえトリチウムの出すベータ線が紙一枚で遮れるものだとしても風評被害は免れられない。また、水蒸気放出は前例がなく予測がしにくいいため手間がかかるが、アメリカのスリーマイル島の事故で水蒸気放出を行った前例は一応ある。そうした意味でも多少コストがかかり、日本で行った前例がなくとも福島の人々の生活を考えれば水蒸気放出が適切だと考えた。

継続保管

- ・トリチウム水の本質は公害だ。公害対策を最優先にすることを考えれば安易に格安な手法を選べば却って高くつく。私は、人間の命と福島の人々の生活が脅かされないを第一に考えた上で、大型タンクによる長期保管がトリチウム水の処理に関する問題解決だと考えている。
- ・元々の原子力等がかなり専門的で難しいのでトリチウム水の風評被害は起きやすいと思う。科学的根拠があるうえで行った海洋放出は弱った福島の人にさらに追い打ちをかけてしまうのではないかと思う。これは完全にできればの話だがどこか遠くめの日本の領海に流せばな、と思う。しかし、これはただでさえ希釈されて多くなったトリチウム水を運ぶ作業が現実的でないが、これが福島の人に害がなく、周りの人からも文句が出ないやり方なのではないかと思う。これが可能でないならば、長期的な解決を目指し保管場所の増加（とりあえず先のばしにするため）等をするべきではないかと思う。正直、海洋放出の良さも福島県民の風評被害を恐れる気持ちも両方よくわかるのでどっちかというはつきりとした意見が持てていない。こういうところが少し原子力発電の問題に似ているな、と思った。上で述べたように処理の仕方の対立は気持ちに近い根拠と科学的根拠と予算の対立なので、どちらにも都合がいいような素晴らしい解決策以外でまとまるはずがないというのがネックだと思う。でも、自分の気持ちとしてはなるべくただでさえ被害を受けている福島の人にこれ以上苦しんでほしくないので海洋放出には反対に近い。

その他

- ・今回のトリチウム水の海洋放出の案に関して私は、否定的である。これも、先ほど述べた社会と科学の

影響力が釣り合っていないと考えたからだ。一時的という考え方もあるがいずれも風評被害が悪化してしまうので、これに加え、問題となっている漁業の風評被害を及ぼさない陸上保管案も視野に入れるのが妥当であると思う。また、長期的な対策による風評被害がないように、きちんとトリチウム水を安全な水素と酸素に分離可能な電気分解が妥当であると感じる。しかし授業を通して時間、コスト、人体被害、それから残渣という問題が新たに生じる。だからこそ短期的と長期的な処理方法を併用することで、そのような問題を解決しつつも、実行しやすい短期的な処理方法で満水状態を防ぐことができる。高性能で短時間なトリチウム水の電気分解が実現できる技術はまだ確立していないが、科学をそもそも用いなければ、何も進まないということを想像すると、将来の安全なトリチウム処理開発が期待できる。

上記で紹介した生徒の意見に示されるように、生徒の気持ちは揺さぶられている。トリチウム水の処理は、科学的な社会問題であるはずなのに、科学だけでは解決できないことに気づいているからだ。科学、環境、経済、倫理など複数の視点から解決策を模索し、社会的な合意形成が求められている。近々、政府から方針が示されるとは言われているものの、解決には長期間かかることが予想される。また、原発が稼働する限り、トリチウム水処理の問題は続く。授業で扱った「探究の問い」を機会に、今後もこの社会問題に生徒たちが向き合ってくれることを期待する。

4. 「探究の問い」に対する検証

本探究の問いは、議論するための問いとして設定した。しかし、自己の意見を述べ論じ合う「議論」ではなく、ここでの議論は「ある事柄を問題として、論ずること」とした。つまり、生徒個人の中で、筋道を立てて自身の意見を述べ、問いに対して答えているかを検証する。この問いに対する正解はない。筋道を立てるためには、様々な視点からこの問題に向き合わなければならない。海洋放出、水蒸気放出、継続保管、その他、それぞれの意見を述べた生徒の思考のプロセスを追究するために、KH Coder(樋口, 2014)⁷⁾を用いた共起ネットワークにより分析した。

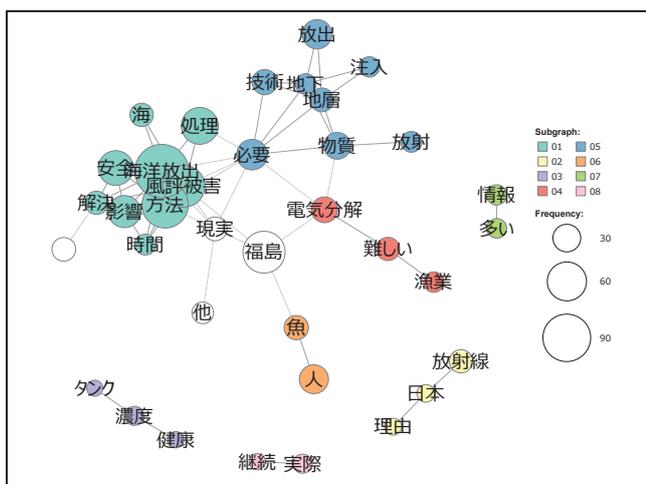


図 3 「海洋放出」の共起ネットワーク

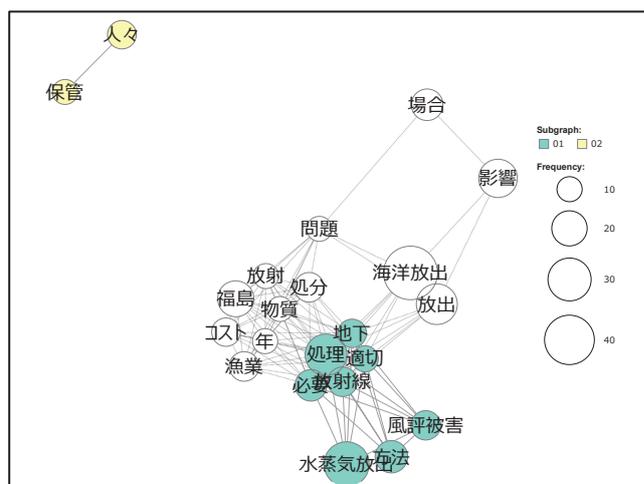


図 4 「水蒸気放出」の共起ネットワーク

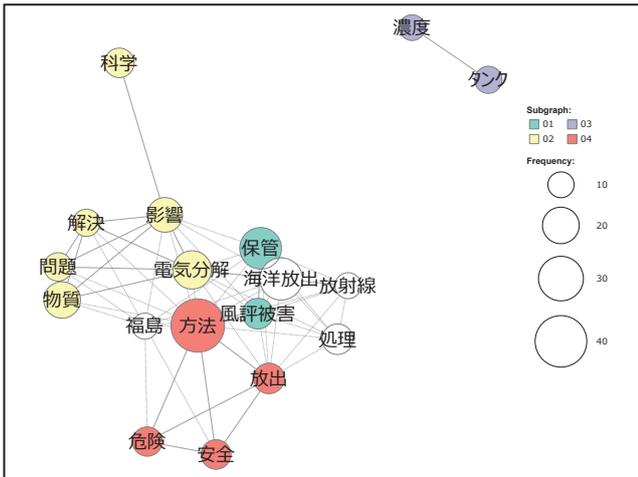


図 5 「継続保管」の共起ネットワーク

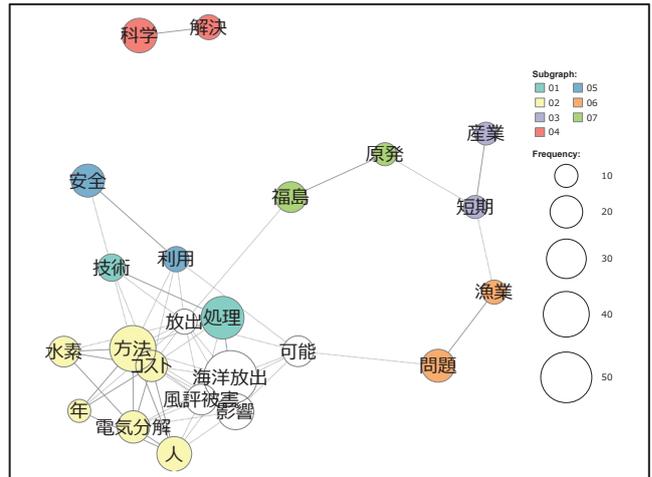


図 6 「その他」の共起ネットワーク

海洋放出を選択した生徒の考えに対する共起ネットワークを図3に示す。「風評被害」と「安全」のキーワードとの関係性が強く出ていることから分かるように、トリチウム水による放射線の影響はそれほど高くなく、科学的には安全と言えるレベルであることを理解しながらも、風評被害は避けられないであろうことを強く意識していることがわかる。また離れた位置にはあるが、他の方法の実施の難しさを考えて、海洋放出の考えに至った生徒もいることがわかる。水蒸気放出を選択した生徒の考えに対する共起ネットワークを図4に示す。キーワードが多く集まっている部分に「福島」のキーワードが存在する。水蒸気放出することによって、トリチウム水の蒸気は大気中で拡散されるため、風評被害を「福島」だけに押し付けないという考え方によるものであると考えられる。「継続保管」を選択した生徒の考えに対する共起ネットワークを図5に示す。図5は様々なキーワードが同じ頻度で使用されている傾向があり、あらゆる可能性を考えて現状維持を選択したいという生徒の考え方がうかがえる。

最終的に選んだ方法は異なっても、トリチウム水処理に関係するすべての課題を解決できる方法はなく、何を優先させるべきかの視点についてどのように筋道立てて議論するかが、この探究の問いの本質である。

5. 授業者より

単元終了後に、以下の1～3に対して、そう思うを「5」、そう思わないを「1」として、数値で選択する質問紙調査を実施した。

1. 「社会への応用」や「現代社会への課題」を学ぶ機会となった
2. 「科学的研究の方法」を学ぶ機会となった
3. 自身で「問題解決のプロセス」を考える機会となった

その結果を図7に示す。多くの生徒が、問題解決のプロセス

を考える機会となったと回答している。これは、理科での学習が実社会の状況とつながり、学習内容を活用しながら、探究の問いに向き合った生徒の学習過程によるものである。

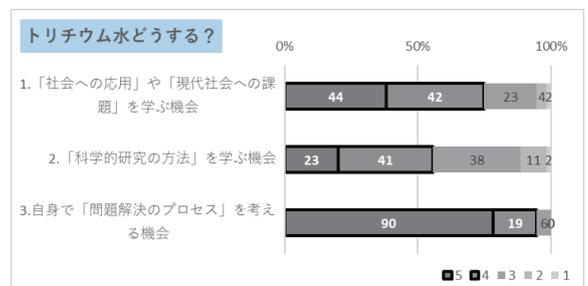


図 7 質問紙調査の結果

東日本大震災から10年経った現時点(2021年3月11日)で、懸案となっている東京電力福島第一原発の処理済み汚染水の処分方法については、「適切なタイミングで結論を出す」などと記すにとどまっている。海洋放出に反対する全国の漁協などとの交渉が難航しているという⁸⁾。今後の政府の判断に、生徒たちはこれまで以上に注視することだろう。本単元の探究の問いによる議論に終着点はなかったが、社会問題に科学の視点をもって向き合う姿勢が培われたものとする。

参考文献

- 1) SankeiBiz, "福島第1原発、処理水増加の一途 再来年タンク満杯…政府の判断急務", SankeiBiz 経済・政治 国内, 2020.12.21, <https://www.sankeibiz.jp/macro/news/201221/mca2012210900003-n1.htm>, (参照 2020.12.24)
- 2) TEPCO, "処理水ポータルサイト", <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/>, (参照 2020.12.24)
- 3) 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会, 「多核種除去設備処理水の取扱いに関する小委員会」報告書, 経済産業省, 2020年2月10日
- 4) 朝日新聞, 「海洋放出、月内決定見送り 風評被害懸念に配慮 処理水」, 2020年10月24日, 朝刊 3ページ
- 5) 中学学習指導要領解説, 平成29年3月, 文部科学省
- 6) きょうのことば, 「処理水とは 原発事故の汚染水を浄化した後の水」, <https://www.nikkei.com/article/DGXKZO48398220Y9A800C1EA2000>, 日本経済新聞, 2019年8月9日
- 7) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析－内容分析の継承と発展をめざして－」, ナカニシヤ出版, 2014
- 8) 朝日新聞, 「原発汚染水先送り続く」, 2021年3月10日, 朝刊, 1ページ

人間は生態系の中でどこに位置づけられるか

高校1年 SS 生物基礎 伊藤穂波

<input type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input checked="" type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

1. 探究の問い

本実践は、地理と教科横断的学習の展開に向けた学習の過程の一部である。地理では、人間生活の多様性が自然環境の多様性によって形成されていることを学習するが、生物基礎では、生物を取り巻く生態系がどのように構成されているかを学習する。これら2つの教科を、「システム」という共通の概念理解に向かって学習を進めた。16の重要概念のうち「システム」の定義とは、「MYP:原則から実践へ」¹⁾によると、「相互に作用し依存している要素のまとまりであり、人間や自然環境、つくられた環境に構造と秩序をもたらします。「システム」は、静的であることもあればダイナミックなこともあり、単純なことも複雑なこともあります。」とされている。生徒達が人間生活を支えるシステムと生態系のシステムを学習することで、システムの多様性、対立構造ではない人間と自然環境との関わり方の複雑性について改めて考える起点とすることを目標とした。本実践報告では、生物基礎において、学習段階に応じて2種類の問A、問Bを用い、それぞれの回答から生徒達の視点の変容を分析した。

2. 学習内容との関係

本実践は、高等学校学習指導要領(平成30年告示)²⁾の以下の項目に該当する。

第6 生物基礎 (3)生物の多様性と生態系

(イ) 生態系とその保全 ㊦ 生態系と生物の多様性 ① 生態系のバランスと保全

また、本実践の単元指導計画は表1の通りである。

表1. 単元の指導計画

時間	内容
1～3	生物と非生物学的要因の相互作用
4～5	生物間の関係（食物連鎖，食物網，栄養段階）
6	エネルギーの流れ
7	物質循環（炭素循環と窒素循環）
8～9	「大気を変える錬金術」第1章より，食糧問題と窒素固定の関係 ^{3) 4)}
10	富栄養化～窒素固定量の増加がどのように環境に影響を与えたと考えられるか～
11～12	生態系の保全，DDTと生物濃縮～「奇跡の薬」と「沈黙の春」～

生態系の学習では、まず、生態系が生物と非生物的環境要因の相互作用によって成立していることを学習した(図1)。これを基に、質問A「人間は生態系とどのように関わっているだろうか」という人間を中心とした視点で、生態系との関係性を問う問いかけをおこなった。次に、生態系における物質の循環やエネルギーの流れについて学習し、階層的に捉えたり、網目状につないだり、食物連鎖に沿って流れる等の様々な

システムのパターンを学習した（図2）。これを
 基に、学習の最後の問いとして質問B「人間は生態系の中のどこに位置付けられているだろう
 か？」という俯瞰的な視点からの問いかけを行った。なお、それぞれの問いかけの時期は問い

A：11回目、問いB：単元終了後の課題提出後に実施した。

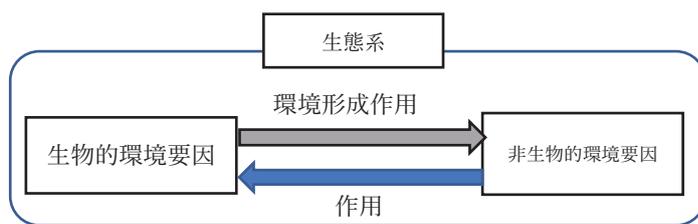


図1.生態系の基本構造

3. 分析方法

問A,問Bそれぞれの生徒
 回答をKH Coder(樋口,2014)
 を用いて、頻出語句と共起ネ
 ットワーク解析を行い、それ
 ぞれの回答の傾向について分
 析した。

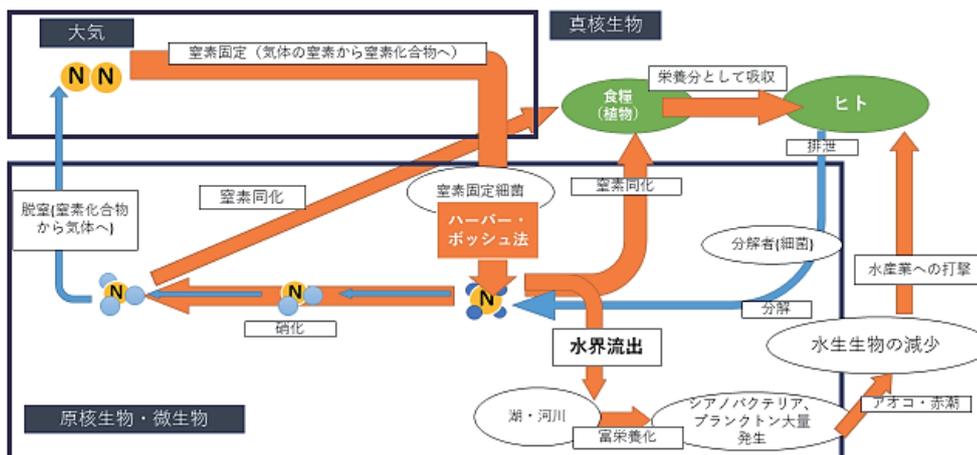


図2.窒素循環と人間活動の関係

4. 結果

(1) [問A]「人間は生態系にどのようにかかわっているだろうか？」

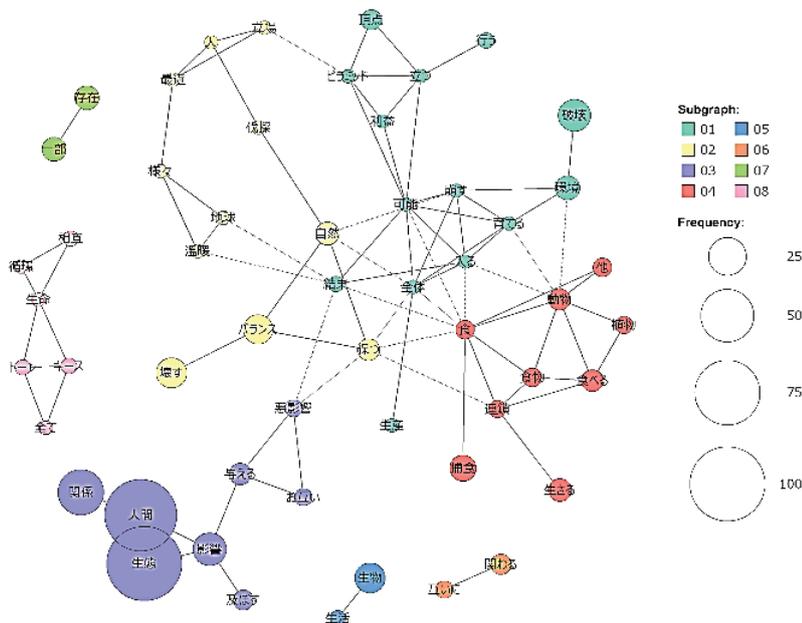


表2. 問A回答の頻出語句

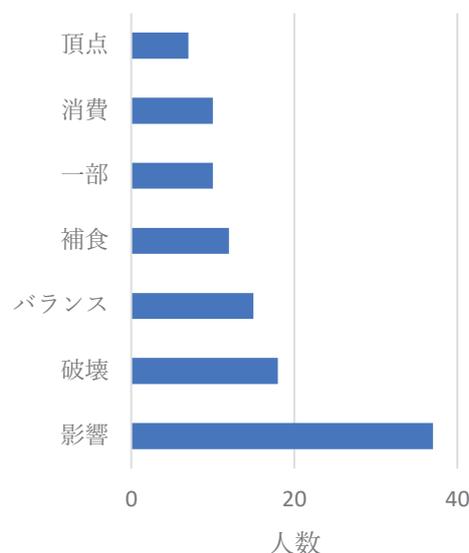


図3.問A回答結果の共起ネットワーク図

表3. 問A 回答例

語句	回答例
頂点	頂点に立って破壊すると同時に調整を行っ図4ると人間と生態系の関係を表す頻出語句
消費	人間が消費者の頂点に立っていると思うが、なんやかんや分解者が最強説もある
一部	バランスがありつながっている生態系の一部に人間はいて、お互いが存在することで今の自然が成り立っている。
補食	人間は消費者、捕食者である。動物や植物をとって食べることで生態系に関係しているが、自分たちで育てることも多いためその時は生態系から切り離されている。環境破壊や外来種の持ち込みで生態系を壊したりもする。
バランス	人間は頭脳と技術を持つので環境問題を引き起こしたりして、生態系のバランスを壊しつつあると思う。
破壊	生息地や種自体を人間の都合で破壊している。
影響	人間が環境を汚染したら、生物に悪影響を及ぼしてしまうことがある。例えば、工場の排水が川に流れてしまい、川に生息する生物が影響を受けてしまうかもしれない。 また、人間が（養殖でない）自然界から動物をとり、食や衣類に変えるとなると、生態系全体のバランスを崩してしまう可能性がある。 例えば、養殖魚であれば、狭い土地の中で育てているため、数が視野に入る。よって、数を保つことができる。しかし海から魚をとるとなると、時によっては一種の生物をとりすぎてしまう可能性がある。その結果として、生態系のバランスが崩れてしまうかもしれない。

表2より、最も多く使用された語句が「影響」であったが、その使用方法として、図3、表3より、「悪影響」等、人間が生態系に対してネガティブな影響を与えているという記述が比較的多く見られた。一方で、「人間と生態系はお互いに影響を与える関係」という、相互関係を示す記述もられた。これは、「一部」という語句を使用した意見とも類似している捉え方と言える。また、人間と生態系の関係について問うていたが、「人間は生態系の中ではないと思う。何故なら人間は絶対的立場にいて生態系に影響を及ぼすことはあるけれども人間は生態系に左右されない関係であると思う。」のような俯瞰的立場で捉える意見も見られた。

(2) [問 B] 「人間は生態系の中のどこに位置づけられるだろうか？」

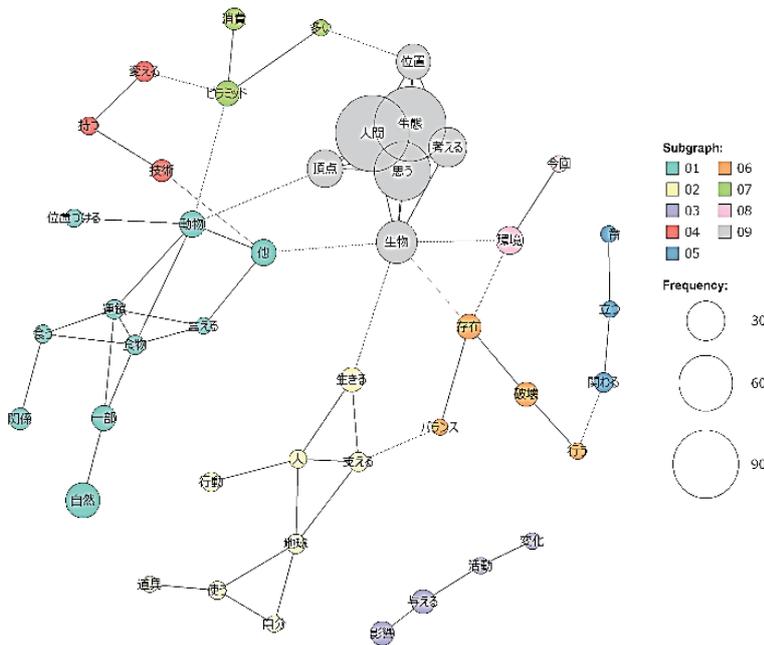


図 5. 問 B 回答結果の共起ネットワーク図

図 6. 問 B 回答の頻出語句

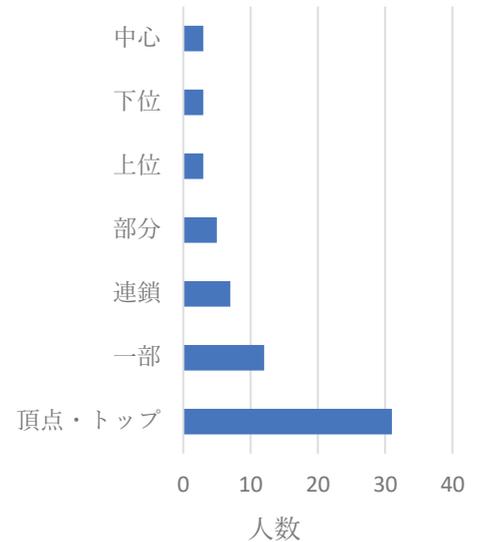


表 3. 問 B 解答例

語句	解答例
中心	人間は生態系の中心だと思う。人間を中心に自然が壊されたり生き物が死んでしまったりするから。
下位	人間は生態系の頂点に位置付けられており、ほかの生物に支えられて生きているのだと思う。ほかの生物に絶滅させられる危険性がほぼないという点ではとても強い存在である。しかし、人間より生態系ピラミッドで下位に位置付けられる生物を不恰当に扱ったり、自然を修復不能なほどに破壊すると、やがて生存の危機を迎えてしまうという点では脆い存在である。組体操で人間ピラミッドを行うとき、土台の人がしっかりしていなかったり、その場所に強い風が吹いていたりする(=環境が悪い)と、一番上に乗る人はどんなにバランスの感覚があったとしても倒れてしまうのと、似ているなど思った。
上位	人間は生態系の一員でありながら、近年は生態系を崩壊させることもできるほどの影響力を持ち出した。その点では、生態系の頂点にあるともいえるが、悪影響を及ぼしても、それを戻すほどの力もないことから、上位層の一部であると考えている。

部分	人間は生態系と部分的に関わっていると思う。ベン図で考えると、生態系と人間という2つの枠（円）があり、その一部が重なっているということになると思う。つまり、人間の行動次第では生態系の中にすっぽりと入ることもあれば、全く自然の生態系とは関わらず人が人為的に作物や家畜を育てて生態系のトップに立つこともできると思う。現状は後者に近いと思う。
連鎖	生態系を構成する生物の食物連鎖においては、人間が一番強い捕食者に位置付けられると思う。また、地球上のほとんど全ての生態系には人間が関わっていると考えられる。今や、人間はさまざまな生物を捕食し、利用できるものは全て利用しようと考えている。例えば、今までの食料に加え、昆虫なども食料として徐々に市場に出回っている。これらの量は、これから先の人間にとって食糧難の時代において、だんだんと増えていくだろう。このことから、人間は食物連鎖の頂点に立ち、生態系を乱すいわば生態系の目の上のたんこぶといった位置付けになるのではないだろうか。
一部	人間は食う食われるという食物連鎖の生態系の一部ではあるが、人間が環境を変えることによって生態系が変わることもあるため、生態系のキーポイントであると思う。
頂点・トップ	食物連鎖のピラミッドの中で考えるなら、植物と動物どちらも捕食するので、頂点に立つ動物だと言えると思う。しかし、人間は他の動物と違い、食料を大量に備蓄する、養殖や栽培をする、食事のために様々な形で調理するなど、決してそのまま生態系の一部となるとは言えないと考える。よって、生態系からは一歩外れたところにある動物だと思う。

図5、図6より、人間の生態系での位置づけとして「頂点」や「トップ」という語句を使用する数が多く見られた。また、表3のように、その他の語句を使用した例でも、内容としては人間が頂点に位置づけられるような表記が多く見られた。特に、生態系の捉え方を食物連鎖や栄養段階で捉える例が多くみられた。

4. 探究の問いに対する検証

問A,問Bの回答結果を比較すると、問Aでは関係性について質問していたにも関わらず、すでに生態系における位置づけに言及している回答もいくつか見られた。理由として、問いを投げかけた時期は物質循環等やエネルギーの流れなど基本的なシステムについて履修していたことが挙げられる。また、共通点として、人間が生態系に対して良い影響を与えていないという見方が挙げられる。一方、2度にわたる問いかけから、生徒達の中には人間と生態系の関係性、人間と自然環境とのかかわり方とその捉えかたを深く考察する意見も見られた。

また、図3、図5を比較すると、図3では様々な語句がそれぞれの関係を持っているのに対し、図5ではそれぞれ独立した文脈が形成されていることがわかる。つまり、生徒たちは生態系について、食物連鎖や物質循環等、あるシステムの視点からとらえようとしているのではないかと考えられる。また、そうした捉え方自体にも多様性があることを客観視している意見も見られた。

例えば、「以前は、人間と自然環境を分けて考えたり、人間も自然の一部と考えたり、場合に合わせて都合の良いように変えていた。今回の学習を通して、それがどちらなのかは分からなかったが、少なくとも、人間は自然と全くかけ離れているわけではなく、きつてもきれない関係であるとわかった。また、生態系ピラミッドの学習をしたが、人間が自然に影響を与え、最終的に悪影響を被ることも多いから、ピラミッドで位置を捉えるというより、相互に関係している、循環している関係だと思った。」

他にも、「世界には人間が食物連鎖という中で頂点に居ると考える人もいれば、命は平等であるためお互いが生きるために支え合う（食う、食われる、使う、使われるといった関係も含めて）と考える人もいると思う。私はどちらかと言うと後者の考え方に近い。人間は豚や牛、その他動物を家畜として人間が生きるために殺したりするが、それらは私達が支え合って生きているから、といった見方をしている。また自分たちも、植林をしたり、排せつ物が土の栄養分になったりと、生態系のサイクルの一部として存在をしているのだと考える。具体的な位置はさまざまあるが、一つ言えるのは地球で生きている生物として他の動物や植物たちと支え合って生きている、垂直ではなく水平関係にあるのだと考える。」という回答があった。

以上のように、2度の問いを通じて、生徒達は学習内容を使用して生態系と人間の関わり方について多様な視点から考えることができるようになったのではないかと考えられる。

5. 授業者より

今回の実践を通じて、生徒達は環境問題に対する意識、あるいは理解を示そうとする姿勢がより明らかになった。一方で、何故、生態系を保全する必要があるのかという根源的な問いを持つ生徒も見られた。こうした問いは「多様性はなぜ必要か」という問いとも解釈することができ、生物多様性について学習する必要がある。

今後の改善点として、「生態系」の分野は時間、空間ともに規模が大きく実感として捉えにくいいため、フィールド調査等をより積極的に取り入れる等の工夫や生物多様性についての理解を深める学習も実践していきたい。

参考文献

- 1) MYP,2013,「原則から実践へ」
- 2) 文部科学省, 高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)
- 3) T.ヘイガー著, 渡会圭子 訳, 白川英樹 解説 「大気を変える錬金術—ハーバー, ボッシュと化学の世紀—」 みすず書房
- 4) ハンス・ロスリングほか著, 上杉周作, 関美和 訳 「FACTFULNESS—10 の思い込みを乗り越え, データを基に世界を正しく見る習慣—」日経 BP
- 5) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展をめざして—」,ナカニシヤ出版, 2014

福島第一原発事故は天災か、人災か？

高校1年 SS 地学基礎 中沢 隆

1. 探究の問い

「福島第一原発事故は天災か、人災か？」

2011年3月11日、宮城県の沖合を震源とするマグニチュード9.0という日本の地震観測史上最大の地震「東北地方太平洋沖地震」が起こり、東北地方の太平洋沿岸地域を中心として主に津波によって壊滅的な被害を受けた。いわゆる東日本大震災である。この地震による津波は、福島県双葉郡大熊町と双葉町にまたがる東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）にも容赦なく襲いかかり、原子炉の冷却に必要な不可欠な電源設備を破壊した。冷却ができなくなった原子炉はメルトダウンを起こし、3月12日に1号機が、そして3月14日には3号機が水素爆発を起こして大破するとともに、大量の放射性物質が環境中に拡散することとなった。この福島第一原発事故がいまだに東北地方、特に福島県の復興に暗い影を落としているのは疑いようもない事実である。

福島第一原発事故は一見すると津波という自然災害が起こした「天災」のように見えるが、果たして天災とひとりで片付けてよいものなのだろうか。福島第一原発が建設された経緯から始まり、過去にこの地域を襲った津波の地学的なデータ、事故後のさまざまな検証などを授業内で取り上げ、議論した。

本校の4年生（高校1年生）の地学基礎では、東日本大震災を題材として、プレートテクトニクス、地震、津波などの学習をするとともに、福島第一原発事故を例に、放射性同位体の性質や太陽光発電などの再生可能エネルギー、さらには福島第一原発が設置された政治的な背景、福島第一原発の設計とそこで使用される原子炉や原子炉格納容器などについても総合的に学習する。本研究は、その一連の学習における1つの「探究の問い」を取り上げたものである。

2. 学習内容との関係

高等学校学習指導要領（平成30年告示）

第2章 各学科に共通する各教科 第5節 理科 第8 地学基礎

(2) 変動する地球 (イ) 地球の環境 ①日本の自然環境

上記の①日本の自然環境では、「日本の自然環境を理解し、それがもたらす恩恵や災害など自然環境と人間生活との関わりについて認識すること」と述べられている。また、津波の原因となる海溝型地震やさらにスケールの大きなプレート運動などについても学習するが、これは

(1) 地球のすがた (イ) 活動する地球 ㉞プレートの運動、①火山活動と地震
で扱う。津波の物理的な性質については

(1) 地球のすがた (ウ) 大気と海洋 ①大気と海水の運動
で扱う。また、海岸段丘については

(2) 変動する地球 (イ) 地球の環境 ㉞地球環境の科学
で扱う。さらに、放射性同位体については、

<input type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input checked="" type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

(2) 変動する地球 (ア) 地球の変遷 ①古生物の変遷と地球環境
 において、絶対年代測定法で扱う。

本探究の問い「福島第一原発事故は天災か、人災か？」に生徒が向き合うための学習展開は以下の通りである。

時間	学習活動の内容
第1時	<ul style="list-style-type: none"> ・福島第一原発事故について紹介 ・放射性同位体、半減期などについての講義
第2時	<ul style="list-style-type: none"> ・福島第一原発がどのような経緯で作られたのか、建設当時の映像資料などを用いて検証。 ・過去に東北地方を襲った津波の資料を検証。
第3時	<ul style="list-style-type: none"> ・各班で「福島第一原発事故は天災か、人災か？」というテーマでディスカッション。 ・各自の意見をエッセイにまとめる。

3. 生徒の回答例

生徒の考えを以下に紹介する。(生徒の記述を一部抜粋)。回答数 89 に対して、「天災である」と答えたのが 3, 「人災である」と答えたのが 69, 「天災と人災の両方の側面がある」と答えたのが 12, 「その他」が 5 であった。

天災である

- ・福島第一原発には、想定を超える高さの津波が押し寄せたため、そのような事故に至った。津波に対する対策がじゅうぶんでなかった部分はあるが、想定範囲外ということもあるので、やはり天災と考えるのが妥当だろう。
- ・現代の科学をもってしても地震はいつどこで起こるか分からないので、それによって起こる事故はすべて天災として扱わなければならないと思う。

人災である

- ・地質調査により、この地域には過去に何度も大きな津波が到来していたことがわかっていたにもかかわらず、政府も東京電力も福島第一原発を将来襲うことが予想される津波の高さを低く見積もってきた。そういった点を考えると、人災と言われても仕方ないと思う。
- ・経済性を優先して原子炉を当初の予定通り 30m の海岸段丘の上に建設せず、わざわざ海岸段丘を削って低い土地を作り、そこに建設した。安全性よりも目先の利益を優先した結果であることを考えると、人災と言わざるを得ない。
- ・地震国である日本では、海岸沿いの地域はいつ津波に襲われてもおかしくないといえる。そんな土地に危険な原子力発電所を建設したこと自体、人災と言えるのではないだろうか？
- ・そもそも、活断層の分布から考えて、地震はどこでも起こりえるものだ。津波に襲われなくても、地震

によって原子炉が破壊されることも考えられるので、地震国・日本に原子力発電所を作ったのは間違いである。よって、人災であると言える。

- ・フランスのような安定した大陸の上にある国ならいざ知らず、地震国である日本に原発を作る場合、安全対策を充分に取らないと、運用は難しいと思う。にもかかわらず、政府も東京電力も経済性を優先して安全対策を怠ってきた。よって、人災であると考えられる。
- ・原発がいったん事故を起こすと、周辺に大量の放射性物質をばらまき、その影響は人間の時間的スケールから考えると「永遠」とも言える長きにわたって残ってしまう。つまり、原発事故は取り返しのつかない被害を残してしまうのである。また、原発は人間の作ったものであるから、100%安全などと言うことはできない。仮に原子炉が100%事故を起こさないように作られていたとしても、それを扱う人間は完璧ではないのだから、ヒューマンエラーの可能性を100%なくすることはできない。つまり、原発事故はある一定の確率で起こるのである。この2つの事実から考えると、原発を作ること自身、人災であると言える。

天災と人災の両方の側面がある

- ・津波対策の甘さなどはあったものの、津波が直接の原因であったことを考えると天災と言えるだろう。しかし、過去にこの地域が大きな津波に襲われていたことが何度もあったことを知っていながら、経済性を優先して津波対策をじゅうぶんに行ってこなかったのは明らかに人災である。
- ・想定を超える津波が来てしまったことは、天災の厳しさを我々に教えてくれた。しかし、どんな津波が来ても、最低限原子炉を冷却できるだけの電力を確保しておくことは必須であった。これは人災の側面と言えるだろう。
- ・答えは簡単だ。津波は天災、津波対策を充分に行ってこなかったことは人災。

その他

- ・津波という自然現象で起こった事故であるが、地震の多い日本に原発を作ってしまったのは人間の愚かさとも言えそうだ。天災とも人災とも言えない難しい問題だ。
- ・事故というのは、不幸な偶然が重なって起きるものである。福島第一原発事故も、大きな津波、低い位置にあったバックアップ用の電源設備、初期対応の遅れなど、様々な要因が絡み合っていて起きている。そういう意味で、天災とも人災とも決められないデリケートな問題であるとも言えそうだ。

上記のように様々な意見が出されたが、全体としては多くの生徒が「福島第一原発事故は人災だ」、あるいは「天災の側面はあるものの、人災の側面の方が大きい」という意見に傾いている。

4. 「探究の問い」に対する検証

本探究の問いは、議論するための問いとして設定した。しかし、自己の意見を述べ論じ合う「議論」ではなく、ここでの議論は「ある事柄を問題として、論ずること」とした。つまり、生徒個人の中で、筋道

を立てて自身の意見を述べ、問いに対して答えているかを検証する。この問いに対する正解はない。筋道を立てるためには、様々な視点からこの問題に向き合わなければならない。その過程を通じて、東日本大震災や福島第一原発事故に関する理解が深まれば、学習の目標は達成されたと言えるだろう。

それぞれの意見を述べた生徒の思考のプロセスを追究するために、KH Coder(樋口, 2014)を用いた共起ネットワークにより分析した。「天災である」とした生徒は非常に少なかったということもあるが、思考パターンが「津波だから天災」と極めて単純なことが見て取れる。一方、「人災である」とした生徒は、「津波自身は天災であるのに、なぜこの事故を人災と判断したのか」という部分で様々な思考を巡らせているので、やや複雑な図となった。「天災でも人災でもある」とした生徒は、一見より高度な思考をしたようにも思えるのだが、実際には当たり障りのない結論であるため、共起ネットワークの図も「人災である」とした生徒のもの比べると単純である。

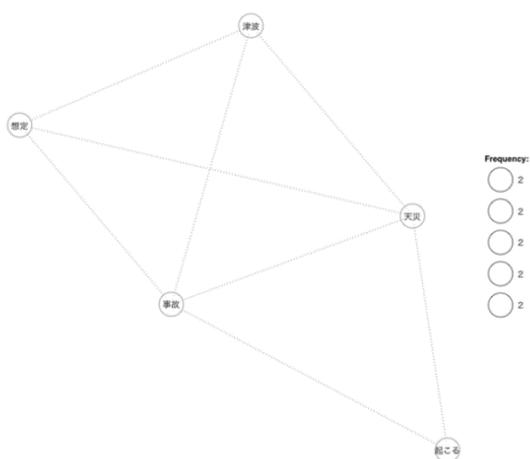


図1 「天災である」の共起ネットワーク

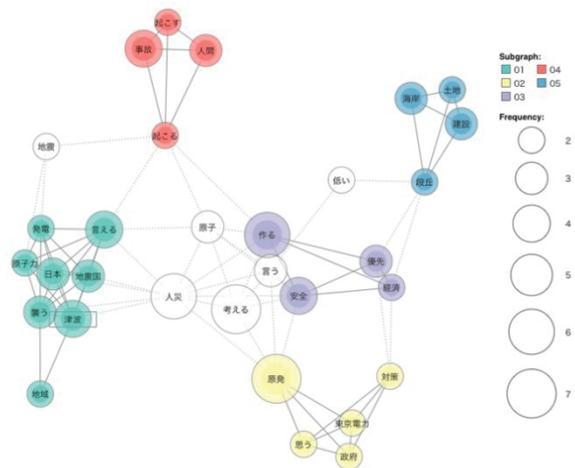


図2 「人災である」の共起ネットワーク

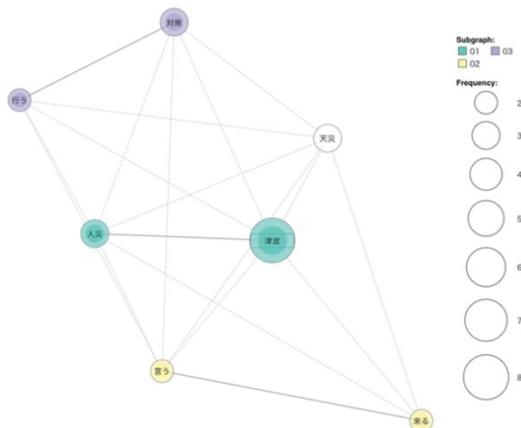


図3 「天災でも人災でもある」の共起ネットワーク

5. 授業者より

与えられた資料により、生徒たちの意見は大きく変化する。新聞やテレビの報道を見るだけでは、福島第一原発事故は天災にしか見えない。また、原発推進派の意見ばかり紹介していると、生徒たちは「原発は必要。したがって、福島第一原発事故は致し方なかった」という考え方に傾倒していくし、逆に原発反対派の意見ばかり紹介していると、「原発は必要ない。廃止すべき」という考え方に傾倒していく。さらに、福島第一原発が建設された政治的背景や経済効率を重視した設計を紹介すると、大部分の生徒が福島第一原発事故は人災であるという考え方に傾倒していく。したがって、バイアスのかかっていない「客観的な事実」のみを授業で紹介していくことが大切だと痛感した。

参考文献

- 1) 高等学校学習指導要領（平成 30 年度告示）（平成 30 年 3 月）
- 2) 樋口耕一、「社会調査のための計量テキスト分析－内容分析の継承と発展をめざして－」,ナカニシヤ出版, 2014

「仕事する」って直観的にはどういうこと？

高校 2 年 SS 物理基礎 荻谷麻子

1. 探究の問い

本実践は全 21 回のエネルギー単元の 20 回目の授業における実践である。20 回目の授業では表 1 に示す①～④の 4 つの探究の問いを中心に構成し、表 1 に示した順で扱った。

<input checked="" type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

表 1：20 回目の授業で用いた探究の問いとその目的、扱い方

探究の問い	目的	他の問とのつながり	授業での扱い方
①教室に置いてあった発泡スチロールと鉄くぎの温度はどちらが高いか。	熱平衡の復習	②の問いを考える上で熱平衡の概念を使うため設定した。	予想をさせた後、サーモカメラの画像を見て、どちらの物体も同じ温度の空気と熱平衡状態にあるため、同じ温度であることを確認した。
②変温動物であるワニの 1 日あたりの食事は、ヒトより多いのか、少ないのか。	力学的な形態以外のエネルギーに着目させること。	③の問いのヒントとなるよう、食べ物から熱のエネルギーへの変換に注目させた。	変温動物は常に外気とほぼ熱平衡の状態であることを伝えた上で、予想をさせた。その後、全体で実際にワニが食べる量を計算した。結果からワニの方が人より食事で得るエネルギーが小さいことを確認し、ヒトからは外気に常に熱が放射されており、その分エネルギーを多く消費することを確認した。
③動かない壁を押している人のエネルギーに関する一連の問い (図 1)	物理の仕事と日常の仕事の違いを明確にすること。②の問いで学んだことを活用すること。	④の問いを考える際に参考となる事例の 1 つとなるよう設定した。	図 1 に示す一連の問いを「練習問題」として、考察させた。一定時間をとった後、クラス全体で代表者の意見を共有し、花子さんが「使った」エネルギーは熱となっていること、熱も含めて考えるとエネルギーは保存されていることを確認した。
④まとめの問い (図 2)	「仕事」の意味を、自身の感覚なども用いて改めて考えること。	③の問い (図 1) を活用して考察することを想定した。	最後に授業のまとめとして、図 2 に示す問いについて、各自で考える時間を取り、記述させた。次 (21 回目) の授業の冒頭で、全体対しいくつかの意見を紹介し、考えを共有した。

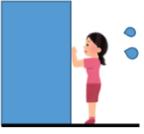
※表では授業で扱った主な問いを示している。実際の授業では表に掲載されていない内容も取り扱っている。

なお、②は石井による実践¹⁾、③④は Scherr らによる教材²⁾の一部を取り入れたものである。

(1) 花子さんは汗をかきながら、力いっぱい壁を押しているが、壁は全く動いていない。この間、花子さんは仕事をしているだろうか？

① 直感的に、または日常生活の感覚で考えると…

② 物理の仕事の定義に基づくと…



(2)

① 花子さんは壁に対して、運動エネルギーや位置エネルギーを与えているだろうか？

② 花子さんはエネルギーを消費しているか？（体に蓄えられたエネルギーを使っているか？）

③ 花子さんがエネルギーを「使った」としても、壁のエネルギーは増加していない。花子さんのエネルギーはどこかに消えてしまったのだろうか？それとも別のものになったのだろうか？

図1：動かない壁を押している人のエネルギーに関する一連の問い

今回の授業を受けて、クラスメイトが以下のように言っています。

「日常生活においては、「仕事する」って「エネルギーを消費する」ってことと同じような意味だね。でも、物理における仕事って、直感的にいうと「役に立つ仕事」ってことだと思う。つまり、エネルギーの無駄遣いじゃない仕事ってこと。だから、エネルギーを消費したのに、物理的には何も仕事してないってことがあり得るんだと思うよ。」

あなたは、このクラスメイトの分析についてどう思いますか？どんな点に賛成しますか？または反対しますか？

図2：まとめの問い

2. 学習内容との関係と実践のねらい

多くの生徒のもつ直感や素朴概念と物理概念の間には違いがあることが指摘されており³⁾、学習指導要領（平成30年度告示）の解説においては、物理現象を扱う際は、こうした生徒が経験的にもっている素朴な概念に留意して指導することが大切であり、そのために、学習課題に関する生徒の考えを引き出し、物理学の基本となる原理・法則との整合性を議論させることが重要であることが述べられている。⁴⁾ こうした授業法の具体的な例としては、例えば元々持っている素朴概念を引き出しやすいような実験課題を提示し、その結果を生徒に予想させた後に実験結果を提示し、結果について議論させる手法などが挙げられる。そして、こうした手法が物理の概念理解を促すことが定量的にも示されている。³⁾ 本実践の内容は、高等学校学習指導要領（平成30年度告示）では第5節理科 第2款各科 第2物理基礎 2内容(1)物体の運動とエネルギー(ウ)力学的エネルギーに相当する。⁵⁾ エネルギーの単元でも、例えば「仕事」の物理における定義が日常生活のそれとは異なるように、物理概念と生徒の日常的な感覚には違いがある。そこで、本実践でも、「生徒の素朴な概念・感覚を引き出し、概念理解を促すこと」をねらいとした。

ただし、直感や素朴概念と物理概念の違いに対峙させる手法においては、生徒は直観に基づいた予想が外れてしまう経験をするようになるため、自身の感覚や日常生活の経験は物理学習において無関係なものである、と考える危険性があることも指摘されている。⁶⁾ 学習指導要領（平成30年度告示）の解説に、物理学と日常生活の関わりを考えられるようにすることが大切であると述べられている⁴⁾ ように、現実世界と物理を関連付けながら学ぶ姿勢を育成することは物理教育の重要な目標の一つと考えられる。そこで、本実践では、生徒の日常生活の経験・感覚を引き出し、物理概念との違いを意識させつつも、それらを物理と無関係なものとして捉えることのないよう、授業の最後の問いは、生徒が自分自身の感覚や経験も生かして考察できるような問いにした。

エネルギーに関する全21回の授業の中で、19回目の授業までに仕事、力学的エネルギー、熱について一通りの学習が済んでいる。20回目の本時は、「仕事」の意味を、自身の感覚も用いて改めて考えること（表1の④まとめの問い、図2）を授業の最終ゴールとし、授業では表1に示すようにゴールに向けて複数の探究の問いを考える活動を行った。各探究の問いでは、生徒の日常の感覚や素朴概念を引き出しやすくするために、食べ物や人の身体に蓄えられたエネルギーなど、なるべく身近な題材を用いた。

※本稿では「概念」をIBの「重要概念」とは異なる意味で用いている。

3. 生徒の回答例

ここで図 2 に示したまとめの問いに対する生徒の回答を示す。問いに示された「クラスメイト」の意見に対し、賛成、反対、一部賛成する意見のすべてが見られた。曖昧さも含む「クラスメイト」の意見を参考にしながら、物理における「仕事」のとらえ方について日常生活との関連も踏まえ、自分なりの解釈を考えている様子が見られた。生徒の回答例を以下に示す。

・ 賛成します。日常生活では、汗をかいたり疲れたりするときに仕事をしているように考えてしまうけれど、物理では汗をかいていても疲れていても距離が 0 になってしまったら計算上仕事をしていることにならないから。

・ ある程度賛成しますが、「役に立つ」という言葉が、何に対して役に立つのか曖昧だと思いました。恐らくこの人が言いたいのは、「ものの動き」に対して役に立つということだと思います。自分の解釈も含めて言い直すと、物理の仕事は「結果」だと思います。別の方向に引っ張ったり、壁を押ししたりエネルギーを消費しても、ものの動きに反映されていない分は仕事をしたとみなされないからです。

・ 半分あっていて半分違うように感じる。日常生活において仕事=エネルギーの消費という部分は賛成するが、物理における仕事は役に立つ仕事とするのには反対する。理由としては、「役に立つ」とはあまりにも抽象的すぎて様々な解釈が可能であるからである。物理的に物が動いていなくても筋トレとかのように、人体へは「役に立っている」と言える。そのため物理の仕事を式のように、力が加わって物体が動くというイメージで持った方が正しいのではないかと思う。

また、この問の回答について、KH Coder⁷⁾を用いて抽出語・共起ネットワークを作成したところ、図 3 のような結果が得られた。図から、仕事の物理的な定義について改めて振り返っていること、図 1 の問を踏まえながら、考察していることなどがうかがえる。この問いに対し、授業者が想定した活動が一定程度行われたと推測できる。

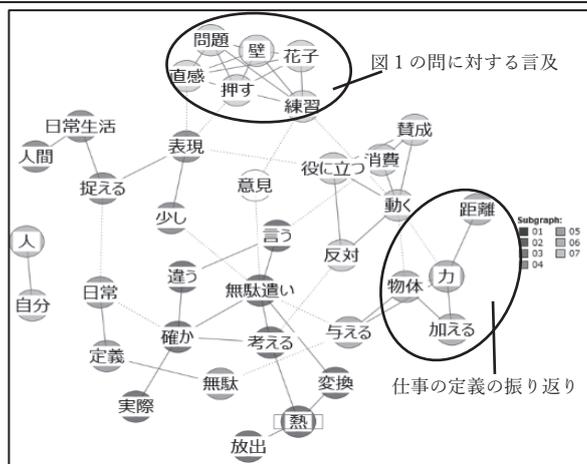


図 3：まとめの問いの回答の抽出語・共起ネットワーク

4. 「探究の問い」に対する検証

エネルギーの概念理解を測定するために、Energy and Momentum Conceptual Survey (EMCS)⁸⁾を実施した。EMCS は、エネルギーと運動量に関する概念理解を問う多肢選択肢式の調査紙である。この中からエネルギーに関する 12 問を取り出し、エネルギー単元の授業の前後で実施した。以下ではそのうちの人の体のエネルギーに関する問いである 8 番目に掲載した問いについて注目する。具体的には、以下 3 つの場合について、自転車に乗っている人と自転車の力学的エネルギーが保存される場合を選ぶ問いである。

- ① 漕ぐのをやめて丘を上った場合
- ② 自転車を漕いで一定の速さで丘を上る場合
- ③ 加速しながら上る場合

選択肢は(a)①のみ、(b)②のみ、(c)①と②のみ、(d)②と③のみ、(e)①②③すべて、の 5 択である。

結果は図4のようになった。pre の段階では(d)を選ぶ生徒が最も多いが、post ではそれが減少し、正答の(a)を選ぶ生徒の割合が増加している。全 21 回のエネルギーの授業の内、人の身体のエネルギーに関連する事項を扱ったのは 20 回目の本時のみである。本実践によって概念理解が一定程度、促されたと推測できる。ただし、post の段階でも半分以上の生徒が不正解の選択肢を選択している。要因を解明し、授業改善へつなげることは今後の課題である。

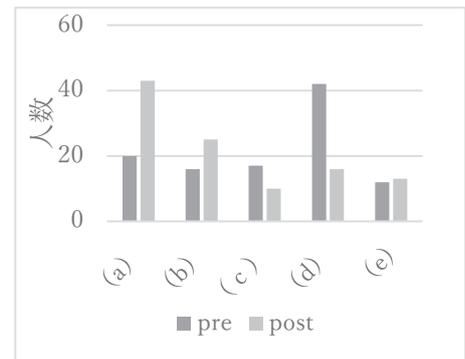


図4：8番目に掲載した問の回答分布

5. 授業者より

本実践では、探究の問いを通じて生徒の素朴な考えや感覚、日常生活での経験を引き出し、物理の概念理解を促すことを目指した。3に示したまとめの問いの生徒の回答からは、「仕事」とは直感的にはどういうことなのかについて、自分自身の感覚や日常生活における経験を活用して考察が行われたことがうかがえた。そして、4に示した概念調査の結果では正答率の向上がみられ、一定程度本実践のねらいが達成できたと推測できた。

一方で、概念調査の post においても不正解を選択する生徒がまだまだ多く、授業内の生徒の発言などからは力とエネルギーを混同して考えるなど、複数の概念を混同して考えている様子も見られた。これらを分離して考えるためのサポートをはじめとする授業の改善を検討していきたい。また、自身の感覚や日常生活と関連付けて物理を学ぶ姿勢を育成するためには、1回の授業だけでなく、継続的な取り組みが必要と考えられる。今回扱った「仕事」以外についても、生徒が自身の感覚や日常生活の経験を生かしながら、理解を構築していけるような問いのありかたを引き続き検討していきたい。

引用文献

- 1) 石井登志夫, 物理教育通信 175, p41-44 (2019)
- 2) R. Scherr, A.Elby, Maryland Open Source Tutorials in Physics Sense making,
https://www.physport.org/curricula/MD_OST/ (2020.12.14 Access)
- 3) E.F.レディッシュ著, 日本物理教育学会監修・翻訳, 「科学をどう教えるか: アメリカにおける新しい物理教育の実践」, 丸善出版(2012)
- 4) 高等学校学習指導要領 (平成 30 年度告示) 解説 理科編理数編 (平成 30 年 7 月)
https://www.mext.go.jp/content/1407073_06_1_2.pdf (2020.12.20 Access)
- 5) 高等学校学習指導要領 (平成 30 年度告知) (平成 30 年 3 月)
https://www.mext.go.jp/content/1384661_6_1_3.pdf(2020.1.18 Access)
- 6) E.Redish, D.Hammer, American Journal of Physics 77-7, 629-642(2009)
- 7) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析ー内容分析の継承と発展をめざしてー」, ナカニシヤ出版(2014)
- 8) D.Rosengrant, C.Singh, Energy and Momentum Conceptual Survey (EMCS)
<https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=EMCS> (2020.12.14 Access)

実施の際は著者が所属する PEPPER (Physics Education Practice based on Physics Education Research) 研究会が作成した和訳版を用いた。

「化学用語」の望ましい使い方とは？

高校2年 DP 化学 小川 智子

<input type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input checked="" type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

1. 探究の問い

「化学用語」の望ましい使い方とは？

本時では、「化学(科学)用語」をテーマに取り上げている。そのうえで、生徒一人ひとりがこれから先、学習や生活を通して化学とどう関わっていくのかを考えることを目的として、問いを設定した。

「化学(科学)用語」は、「学術、技芸などの専門の分野で用いられる言葉。専門用語」¹⁾のうち、化学の分野で用いられる言葉といえる。しかし化学用語は、化学の中で使われるだけでなく、早い段階から比喩的表現として文学に使われてきた歴史がある。その長い歴史の中で、広く社会に受け入れられており、国語辞典にも、化学で用いられるときの定義(意味)とともに、比喩的表現が併記されるほどである。言い換えれば、文学の中では独自の定義を確立している一面も持つといえるのではないだろうか？また、「化学用語」であらわされる化学現象を、理解したり説明したりするときに用いられる表現方法の1つであるモデル図は、概念の理解を促すが、その全てを表現したものではなく、「化学(科学)用語としての定義」のうち、ある要素(一部分)を抽出するに留まるものでもある。比喩的表現もモデル図も、分かりやすく表現するためのツールであるが、その一方で化学用語の定義から都合のよい部分だけを、ある程度抽象化して表現しているのではないかという疑問もわく。その抽象化を、使用している者はどの程度理解しているのだろうか？このような背景を考えると、「化学用語」の望ましい使い方とは、決してただ1つの正答があるものではなく、使い手が意図や責任を自覚した使い方をすべきではないだろうか。生徒には、論じ合うことで化学用語の望ましい使い方とは何か、考えの多様化や深まりを期待し、問いを設定した。

2. 学習内容との関係

これまでの学習の中で、多くの科学的事象を学び、自らの探究した内容を「化学用語」を使ってレポートにまとめる取り組みも行ってきた。そのため、基本的な「化学用語」を用いて化学現象を説明することができる。また、比喩的表現で使うことやモデル図で理解を容易にすることについても、これまでの学習経験や日常生活の中で頻繁に行われている。しかし、化学用語とは「専門用語」であり、「化学でしか使わない言葉である」という認識が生徒の中に強くあり、比喩的表現として使われている場合との関連は考えていないようだ。

本時の授業では、「化学用語」が、化学を説明するときだけでなく、日常の中でも使われていることを提起した。具体的に問いを考える手立てとして、生徒には化学用語の一つである「蒸発」の表現方法の例を提示した(図1)。

図1を参照しながら、問いに対する今の自分の考えをワークシートに記入した(生徒解答 pre とする)。記入後、3-4人のグループの中で、お互いの考えを共有した。

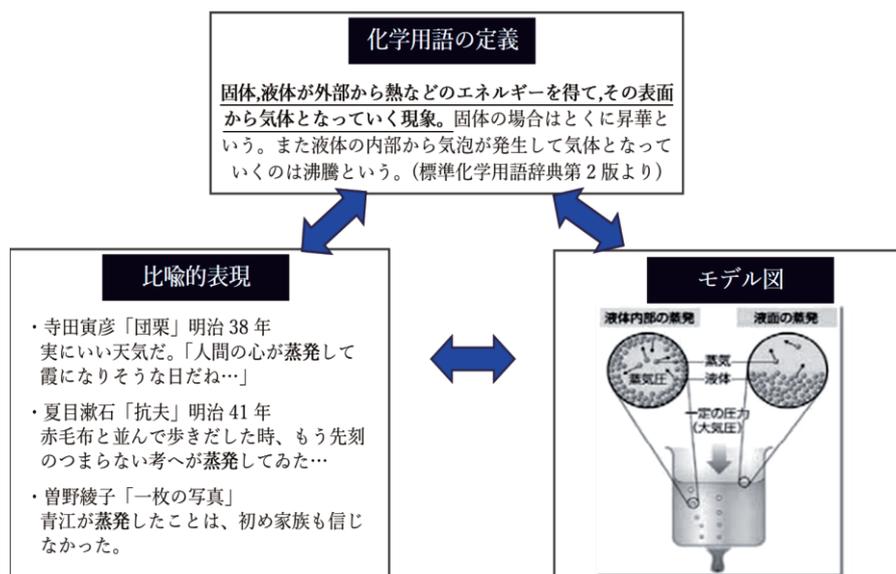


図1

より広い視野をもたせるため、既習事項の中から以下に示した範囲に出てきた「化学用語」から各自1つを選び、「化学用語」の定義²⁾、モデル図、さらに化学以外のシチュエーションで比喩的表現として用いられている例^{3) 4) 5)}を探し、まとめる活動をとった(図2)。範囲は以下の3単元である⁶⁾。

- ・ 5. Energetics/thermochemistry(熱エンタルピー)
- ・ 8. Acids and bases(酸と塩基)
- ・ 9. Redox processes(酸化と還元)

生徒が紹介した「化学用語」と「比喩的表現」の一例を抜粋して以下に示す。

中和	性に対する対立が中和されている。 ⁷⁾ 中和に無偏無党の中和ならざるはなし。 ⁸⁾
燃焼(完全一、不完全一)	道義の情火がバツと燃焼した刹那 ⁹⁾ 僕は君に、いつか「燃焼しない」と言って避難されたことを思い出した ¹⁰⁾
還元	部に得たものを還元する。
分解	何故とか此故とか云ふのは事件が過ぎてから冷静な頭脳に復したとき当時を回想して初めて分解し得た智識に過ぎん ¹¹⁾ 空中分解をとげた ¹²⁾
熱	口調に熱が籠り、頬が紅潮してきた。 ¹³⁾

生徒が作成した例を全体で共有した後、問いに対する自己の考えを論じ合った。議論を通して生徒一人ひとりの問いに対する考えがどのように変容したのかは、議論の動画記録および、議論後のワークシート記述にてみとった(生徒解答 post とする)。

3. 生徒の回答例

議論の前(生徒解答 pre)と後(生徒解答 post)とで同じ問いかけをした。

生徒解答 pre で生徒が記載した内容は以下の通りであった。生徒の解答は、大きく4つのパターンに分類された。それぞれのパターンに対する生徒の考えを、以下に紹介する(生徒の記述を一部抜粋)。

パターン A どの使い方であっても、化学用語の定義が重要だ。

- 化学用語は、3つすべての使用方法があってよい。しかし、化学の為につくられた言葉であるため、定義が確立されたうえで、他の用途で使用すればよい。
- 根本的な意味・定義を変えずに使う。その現象を使って、ある情景を表現したり、イメージ化させたりすることは、結局元の定義を変えていないので望ましい使い方ではある。

パターン B 化学で使う場合と、化学以外で使う場合では定義が異なる。

- 化学で使う場合は、化学用語の定義に沿って使用する。比喩的表現の場合、定めた定義がなくてもよい。読者の想像に任せる。
- 化学用語、比喩的表現、モデル図にそれぞれの定義がある。ある範囲の人の間で共有された知識だ。

パターン C 読み手と書き手の間で共通理解があれば、自由に使える。

- 意味が通じていればどのような使い方をしてよい。元々の化学用語の定義の概念に基づいていればOK。
- 好きなように使う。自分が表現できると思う。定義で決める。

パターン D 化学の事象以外で使うのは、間違っている。

- 化学用語は、化学の事象を説明するために使う。その用語を比喩表現として用いるのは間違いだ。
- 日常生活で起こる現象を化学的に説明するときに使うものだ。文学に使うと、間違った解釈をしてしまうかもしれない。

上記で紹介した生徒の記述から、化学用語の「定義」に目を向けながら、どの使い方が望ましいのか、現時点でも生徒によって、ある程度異なることが読み取れる。

生徒解答 pre のグループ分けに対して、生徒解答 post ではそれぞれのグループがより細分化された。得られた内容をグループごとに以下に示す（生徒の記述を一部抜粋）。

パターン A-1 化学用語の定義が重要。比喩的表現の定義は、化学用語の定義と近いほどよい。

- 化学用語とは、もとは化学のために自然科学の事象を説明するために作られた用語。比喩的表現に関しては、その定義のニュアンスを対象のオーディエンスが読み取って理解することができれば使ってもよい。この「ニュアンス」とは、定義の意味と、使用されている表現方法の共通・相違点のベンズを書いたときにオーバーラップするところが大きいほど良い。
- 化学用語を比喩的表現に意図的に転用する際、文学では化学的定義の一部やその大まかなイメージしか表せていない。そのため、化学的定義と文学的定義を分ければ誤差は生まれにくくなる。意味のイメージは残しながら定義を広げたり狭めたりして、文学に応用するのが望ましい。

パターン A-2 化学用語の定義が重要。比喩的表現の定義は、化学用語から一部独立する。

- 化学においては、その定義と等しい意味で使われることが望ましい。拡大解釈はできないので、現象を直に説明するものでなくてはならない。比喩的表現としては、化学の定義とかぶる部分はあるが、その表現の一部が独立した意味合いをあわせもつ。

パターン A-3 どの使い方であっても、化学の定義と同じ使い方ならよい。

- 化学用語を化学用語本来の意味として化学の事象を説明するのに使うか、用語をモデル図化してイメージとして用語を説明するか、その用語のイメージを比喩表現として用いるかというのが望ましい使い方だ。間違った使い方は、化学的事象を説明するうえで定義と異なる使い方をしている場合。

パターン B 答えはない。でも化学用語の定義を尊重すべきだ。

- 化学用語の望ましい使い方とは、化学分野における説明や文体を用いる際に使うのが最もよい。化学用語の定義が適切に用いられているのがベストである。化学用語を文学的な比喩表現として用いてもよいが、比喩的表現として用いる場合、これは化学用語を使っているとは言えない。
- 望ましい使い方は、その化学用語に求める正確さによる。化学における場面で化学用語を用いたいのであれば、比喩的表現は望ましくないのかもしれない。だが、その化学用語の言葉としての可能性を認知する方法として、比喩的表現を日常において用いることはできるのではないか。

パターン C 化学の中でのみ使われるべき。使い方によって定義を区別すべき。

- 化学用語は化学の中でのみ使われるべきだ。文学などで比喩的表現に使用される場合、本来の意味・定義から離れる場合が多いため、化学用語として扱われるべきではない。化学的定義と比喩的定義を明確に分離し、区別することによって、不正確さや曖昧さを大幅に減少させることができる。
- 化学用語の望ましい使い方として、この3つのどれであっても、しっかりと意味を理解していれば望ましい使い方であるといえる。たとえ化学用語としての使い方と比喩的表現が違っていても、それぞれの意味が違うという事を知っていればそれでよい。

パターン D 化学以外の使い方は望ましくない。

- 望ましい使い方は、化学においては正しい本当の意味を使うことだ。化学で用いるべきは化学としての意味であり、それは化学用語が事象を正しく伝えられるようにという目的で作られているから。文学的に使うということは、言葉の普及の面では、望ましい一方で意味が大幅に変わってしまったり、捉え違いが起こったり、本来の意味を曲げたりと、化学としては望ましくないのではないか。

パターン E 答えが出ない。

- 授業や話し合いの中で、そのある範囲というものが特に対象とする化学用語、比喩的表現に置いてはそれが用いられる理由及び対象によって変化するといえるとも考えた。また、モデル図においては、どの程度共有された知識であるべきなのかという疑問も得た。

生徒解答 pre と比べ、論じ合った後の生徒解答 post では生徒の考えが変化した。その変容については、「4. 探究の問いに対する検証」で分析結果とともに述べる。

4. 「探究の問い」に対する検証

本時では、議論するための問いを設定した。自己の意見を述べ論じ合うことで、個人で探究する以上の考えの深まりを期待するものである。つまり、**生徒解答 pre** と比べて、**生徒解答 post** が、より多くの生徒の意見とリンクした多様な意見を述べているか、問いに対する自分の意見を具体的に深めて答えているかを検証する。思考のリンクを追及するため、KH Corder(樋口, 2014)¹⁰⁾を用いた共起ネットワークにより分析を行った。生徒解答 post については、同じ傾向の解答をまとめたグループをグループ A~E とし、解答数の少ないグループ D と E は「グループ Z」として分析を行った。

まず、議論後の生徒同士の意見がどんなキーワードを中心として展開されたのかを検証するため¹⁵⁾、生徒解答 post のグループごとに、共起ネットワークと共起ネットワークの中心性を分析した。分析結果を以下に示す(図3~図6)。

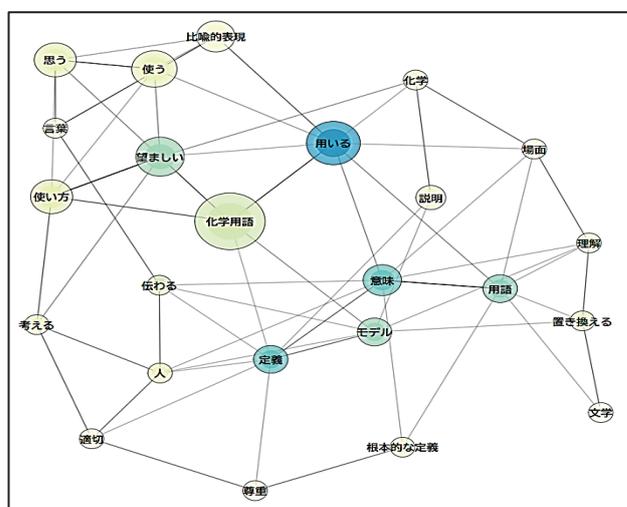
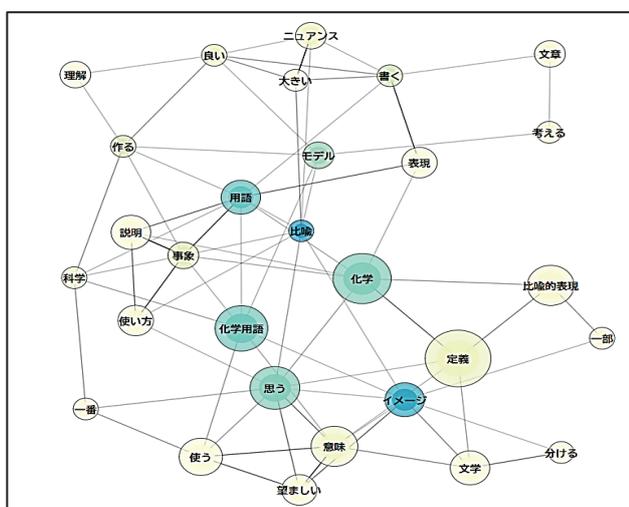


図3. グループ A の共起ネットワーク図(中心性) 図4. グループ B の共起ネットワーク図(中心性)

グループ A の生徒は、「化学用語」の表す「比喩」やそこから受ける「イメージ」を中心に、それらを「説明」すること、「表現」の「ニュアンス」、「意味」などにこだわっているようだ。

グループ B の生徒は、「化学用語の望ましい使い方」について、「どう用いるか」という具体的な場面想定を中心としながら、「化学用語」の「定義」や「意味」を重要視する考えを持っていることがわかる。

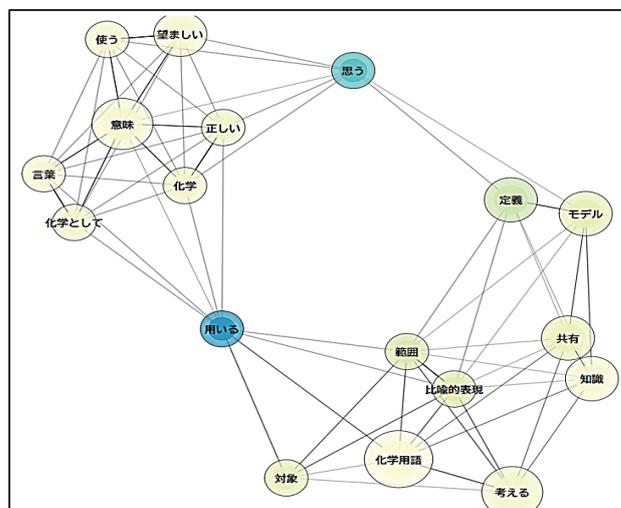
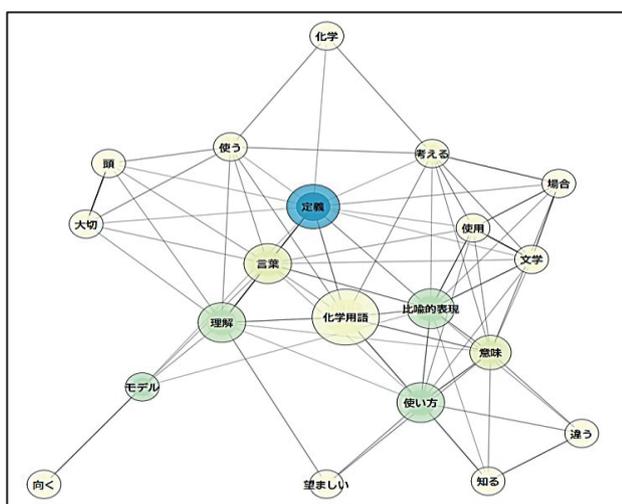


図5. グループ C の共起ネットワーク図(中心性) 図6. グループ Z の共起ネットワーク図(中心性)

グループ C の生徒は、「化学用語」の「定義」を中心に、「比喩的表現」や「モデル図」、「人の理解」などを比べながら、視野を広げていることがわかる。

グループ Z の生徒は、2つの異なる意見を持つグループで、それぞれの意見は「化学用語をどのように用いるか」という点で重なるが、考え方や想定には違いがあることがわかる。グループ A～C と同様に、「化学としての意味」や「化学用語」の「定義」の使用回数が高く、リンクが読み取れる。

生徒同士の意見のリンクと、問いに対する自己の考えの変化を検証するため、生徒解答 pre と生徒解答 post で得られた全ての解答を共起ネットワークにより分析した。分析した図を以下に示す(図7、図8)。

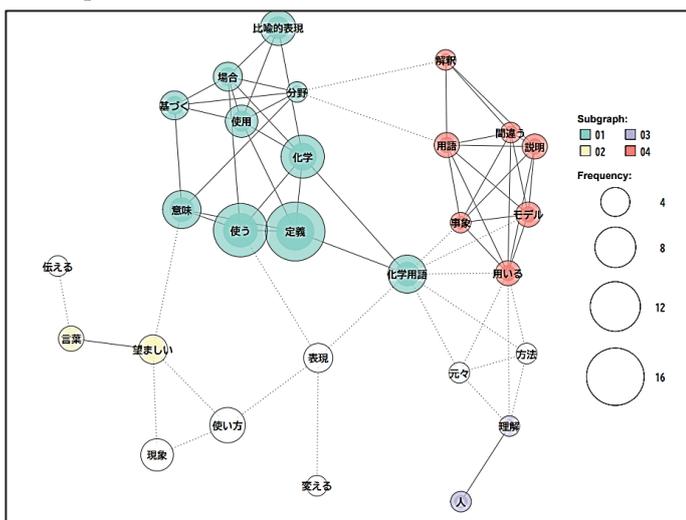


図7. 生徒解答 pre の共起ネットワーク図

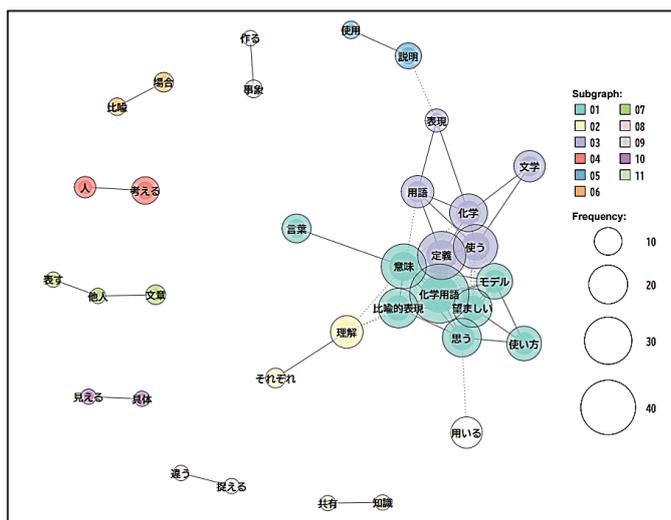


図8. 生徒解答 post の共起ネットワーク図

生徒解答 post では「定義」など複数の語句の出現率が高くなり、さらに生徒解答 pre では出なかった新たな語句や考えが出現していることがわかる。語句の出現増加は、意見を論じあう中でお互いの考えや発言を吸収し、考えを深めたことに起因すると考えられる。また、新たな語句や考えが出現していることから、聞いたことをそのまま自分の考えに転用するのではなく、新たな視点を持ち、自分なりの表現に繋がっているからだと考えられる。

5. 授業者より

この問いは、「化学用語」を化学という枠組み以外の場面で、どのように用いていくのかを問いかけている。生徒の化学の学習者としての経験を活かしながら、お互いの意見を聞きあうことで視野を広げ、考えを深め、現時点の自己の考えを見出すことが目的であった。活動の中で、「化学用語」を比喩的表現として用いる例を生徒に問いかけたときには、予想以上に多様な回答を得た。それは、日本の小説だけでなく、海外の小説での使用例、企業や政府の政策等の広告やキャッチフレーズとしての例、自分が使ったことのある例など、多岐にわたるものだった。

このことは、「化学用語」が私たちの生活に身近であるという「化学に対する親近感」(＝正の側面)と、「化学としての定義があいまいになりつつある」という不透明さ(＝負の側面)の両面を暗示しているのではないだろうか。現代社会での生活には、「原子力発電所の稼働」や「新型コロナウイルス感染症」などの社会問題がどうしても切り離せない。これらの問題を、正確に説明したり理解したりするには「化学

用語」が必要不可欠であり、この用語を使うことに対するハードルを低くすることは、社会問題に対する誤解を減らす重要な因子であるといえる。一方で、あいまいな定義で使われた「化学用語」からは、正しい理解を十分に伝えることは難しくなるだろう。化学用語に対する誤解を最小限に抑えつつ、化学用語に対する親近感も失わずにするには、どのように化学用語を用いることが望ましいのだろうか。今回、意図せず「化学用語」の担う社会問題に対する2つの側面を垣間見ることとなったが、生徒の解答から「化学用語」の可能性や表現と定義とのギャップに対する言及があがったことには、希望を感じられる。

社会問題と私たちの生活は密接な関係があるものの、ただ一つの正解はない。化学用語に留まらず、今後日常生活を送る中で、「化学」とどう付き合っていくことが望ましいのかを考えることは、とても重要になるだろう。生徒には、今回のように様々な意見を聞き、自分の考えを視点を移しながら論じ合い、吸収し吟味することで、考えを高めていってほしい。また、私自身も教育者として、どのように化学と付き合っていくことが望ましいのかを探求することを、止めてはいけなと感じた。

参考文献

- 1) 精選版日本国語大辞典より「専門語」, 小学館, 2006
- 2) 標準化学用語辞典第2版, 丸善出版, 2005
- 3) 寺田寅彦, 「団栗」, 1903(明治36)
- 4) 夏目漱石, 「抗夫」, 1908(明治41)
- 5) 曾野綾子, 「1枚の写真」, 光文社, 1990
- 6) CHEMISTRY 2014 EDITION, Sergey Bylikin, Gary Horner, Brian Murphy, David Tarcy 著 (OXFORD UNIVERSITY PRESS)
- 7) 井上嘉彦, 「記号論への招待」, 岩波書店, 1984
- 8) 利光鶴松, 「政党評判記」, 文昌堂, 1890(明治23)
- 9) 夏目漱石, 「文芸と道徳」, 1911(明治44)
- 10) 芥川竜之介, 「出帆」, 1916
- 11) 夏目漱石, 「趣味の遺伝」, 1906
- 12) 星新一, 「人民は弱し官吏は剛」, 文藝春秋, 1967
- 13) 池井戸潤, 「下町ロケット」, 小学館, 2010
- 14) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析－内容分析の継承と発展をめざして－」, ナカニシヤ出版, 2014
- 15) 田中京子 KH CorderとRを用いたネットワーク分析, 久留米大学コンピュータジャーナル, 2014

つながりは永遠か？

高校3年 SS 化学 森本裕子

1. 探究の問い

「つながりは永遠か？」

<input type="checkbox"/>	事実を問う問い(Factual)
<input checked="" type="checkbox"/>	概念理解を促す問い(Conceptual)
<input type="checkbox"/>	議論するための問い(Debatable)

国際バカロレアでは概念理解について次のように定められている。¹⁾

国際バカロレア (IB) プログラムの指導と学習では概念理解が重要かつ揺るぎない目標となります。生徒は概念によって、事実やトピックというレベルを超えた思考を示すよう求められます。また、概念をもとに生徒が将来にわたってもち続ける理解が形成されます。つまり概念は、生徒が世界を理解し、今後の学習や学校の枠をこえた人生で成功するために活用することのできる、普遍的な原則となります。

16 の重要概念のうちの一つである「つながり」は、人、物、有機物、アイデアの間の結びつきや結合、関係性です。

つまり、生徒は「つながり」という概念を軸にして化学の学習の理解を深めるだけでなく、教科横断的に「つながり」という概念を扱うことで、各教科科目での学習を統合し体系化することができる。これにより、生徒は生きていくうえで、より複雑な考えに取り組んだり、この概念理解を新しい状況に転移させたりすることができる。

高校3年化学の「有機化合物」の単元では、重要概念を「つながり」と定め、原子や官能基のつながりとその変化に着目しながら学習を進めた。評価課題として「つながりは永遠か？」を設定し、概念理解を促した。

2. 学習内容との関係

単元設計として

(4) 有機化合物の性質と利用

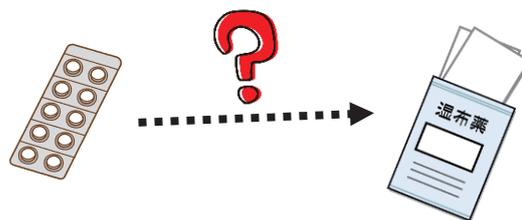
ア 有機化合物

において、重要概念を「つながり」として定めた。

評価課題はエステルアルカリ加水分解、弱酸遊離、カルボン酸とアルコールのエステル化を実験として扱った。

〈評価課題〉「つながりは永遠か？」

解熱鎮痛剤として用いられているアセチルサリチル酸をアルカリ加水分解してサリチル酸を得る。サリチル酸をメタノールとエステル化させて、消炎鎮痛剤(湿布薬)として用いられているサリチル酸メチルを合成する。



この実験を通して、化学変化における“つながり”とあなたにとって大切な“つながり”について、比較し、関連付けながら述べよ。

有機化合物のつながり（結合）を切ったり、新たなつながり（結合）を作ったりという過程を実験で経験しながら、「つながり」という概念を考えるきっかけを作り、その理解を促す問いである。なお、有機化合物について、結合の開裂や生成の反応機構は複雑で、単純に安定な共有結合が切れたりつながったりするものではない。このことは、アルケンへのハロゲン化水素（HX）の付加反応の反応機構を簡単に示すことで伝えている。

3. 「探究の問い」に対する検証

生徒は 1000 字程度の文章で探究の問いに対して述べた。これを KH Coder(樋口, 2014)²⁾で共起ネットワークによる分析を行った。共起ネットワークでは、出現パターンの似通った語、つまり共起の程度が強い語を線で結んだネットワークを描くことができる。共起の程度が強いほど、線が濃くなる。また、語の出現数と円の面積が比例する。

すべての生徒の文章を共起ネットワークで表したものを図 1 に示す。「有機」と「化合」、「アルコール」と「カルボン酸」と「硫酸」と「H⁺」、「平衡」と「移動」と「方向」のように、化学の学習内容に直結した語が共起しているとともに、教科横断的な内容を含む語や、社会問題に関わる語、身近な人とのつながりを想起させる語の共起も多く見られることがわかる。

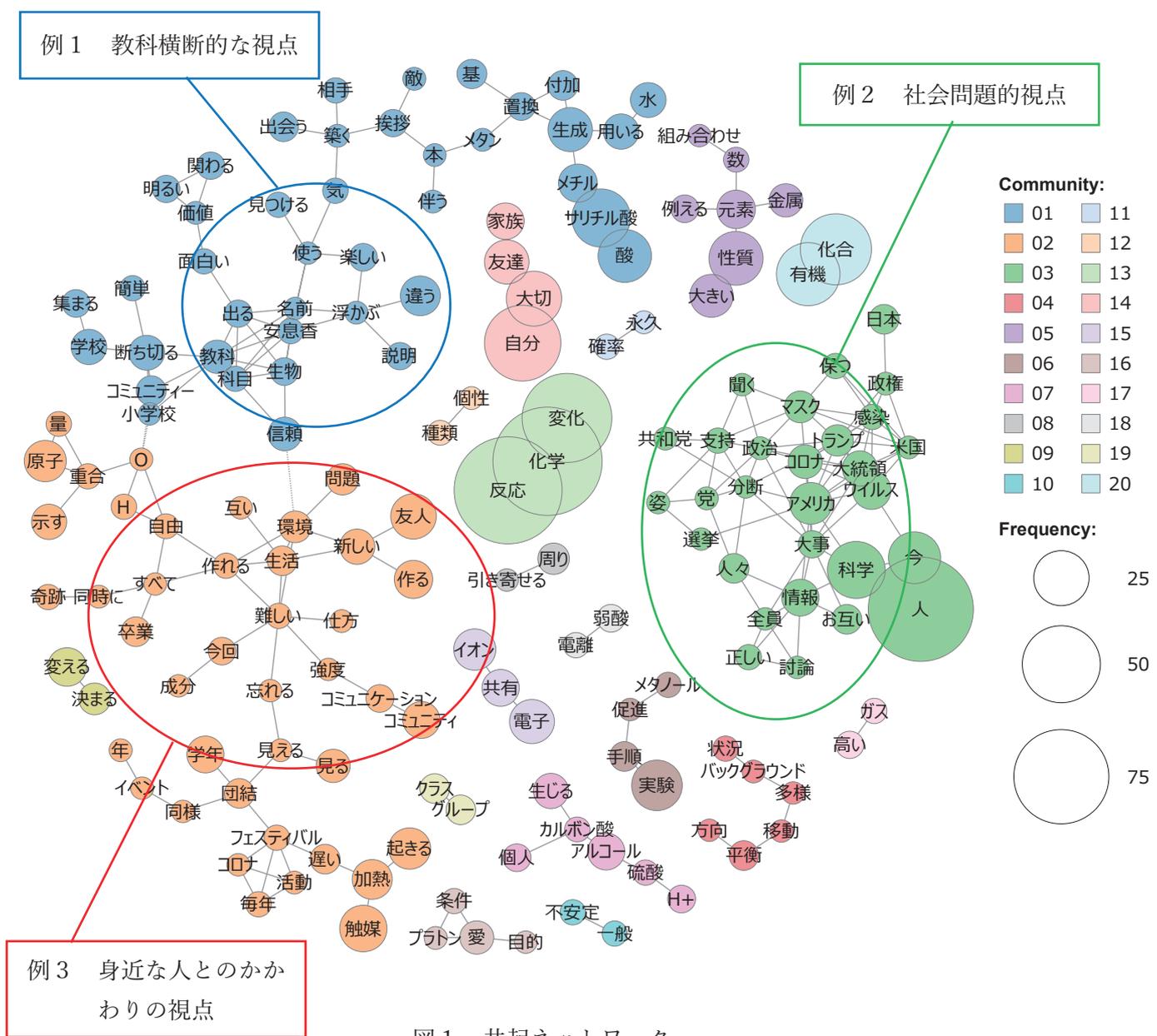


図1 共起ネットワーク

生徒が「つながり」という概念をどのような視点で深めたのかについて、生徒の文章の一部を取り出して示したい。

〈例1 教科横断的な視点〉

自分にとっての大切なつながりは教科間のつながりである。別の教科で学んでいることがまた別の教科で出てくると非常に面白く、学ぶことの楽しさを実感する。・・・(略)・・・私は社会科科目として世界史を選択しているのだが、その世界史と化学がつながった瞬間が二回あった。一回目は何らかの理由(忘れてしまった)でアンモニアについて調べていた時である。ウィキペディアのページを読んでいた

のだが、そこに「名称の由来は、古代エジプトのアモン神殿の近くからアンモニウム塩が産出した事による。」という文章を見つけた。アモンは世界史の中でも古代エジプトに出てくるエジプトテーベの土着宗教の神であり、後に太陽神ラーと一体化してアモン＝ラーとなった神である。世界史を勉強していた時はこの神がまさかアンモニアというごく普通に使われる単語の語源であるとは思ってもしなかったため、このつながりが見えた時は非常に感動した。また、二回目は有機化合物で安息香酸という名前を見た時である。まず沢山のカタカナの中で異質な漢字表記が目にとまり、次に「安息」という部分に気が付いた。安息といえばかつてイラン高原で栄えたパルティア（アルサケス朝）の漢名である。そこで早速調べてみたところ、安息香酸はそのエステルが安息香に多く含まれることから名前がつき、安息香は（諸説あるそうだが）その香りがパルティア（安息）で使われていた香りに似ていたことからその名前がついたようである。つまり、安息香酸の名前も元を辿るとパルティアにつながるのである。このように化学と世界史という全く関連のなさそうな教科につながりがあることに気付いた時は感動を覚え、その楽しさ故に勉強することの意味も感じる事ができる。よって、このような教科間のつながりは自分にとって大切である。

〈例2 社会問題的な視点〉

彼の政権のなにが一番問題なのだろうか。彼の政権の一番の問題はアメリカを分断させてしまっていること、完全に分極化させてしまっていることだと思う。本来なくてはならない国内の人々の“つながり”を、共和党支持者だけを包含し、他の人々、人種、宗教などを排斥する彼のやり方は、アメリカを分断させたといっても過言ではないだろう。・・・（略）・・・アメリカのコロナウイルスの科学者チームを率いる Dr. Fauci はマスク着用を促し、社会的距離を保つように訴えているのに対し、トランプ大統領はそれを無視するようにマスクをつけない。また米国内ではマスクをつけない人は共和党支持者が圧倒的に多い。・・・（略）・・・今ではマスクは政治的な意味を持っており、マスクを支持すれば民主党寄りに、マスクを支持しなければ共和党寄りになってしまっている。科学によってアメリカは分断させられたと思う。しかし私はこのように分断されたアメリカのような状況で橋渡しとなる存在はこれも科学であると思っている。科学は情報であり、数値的データであり、それ以上に意味はない。トランプ大統領は科学を従わなかったがために何十万の人をもコロナウイルスの犠牲にしてきた。しかし的確な科学情報がもし両党の人々に伝わり、またはアメリカ国民全員に伝わったとすれば事態は良くなったのではないだろうか。・・・（略）・・・科学情報格差があればそれは正しい討論にならないで、今のアメリカのようにお互いのつながりを切り、独立し、相手を非難するだけになってしまう。思想の違いがあるのは当たり前だからこそその討論だと思っているので、その討論をするにおいて正しい科学の情報の伝達が大事で、その正しい科学の情報が正しい討論を行わせ、人々をもう少しつなげる橋渡しになると思った。これが科学のつながりだと思う：科学にはこのように人を繋げる力、または今回のアメリカのように正しく扱わなければつながりを切る力があると思う。

〈例3 身近な人とのかかわりについての視点〉

少ない人間のなかでも、これほど多くの多様性があるのはやはり、繋がり存在だろう。例えば、140人の学年で、人間の組み合わせは合計で $2^{140}-1$ 通りが存在する。実質無限大のようなものだ。

人の持つ特徴や性質が他の人とうまくハマれば、共有結合のように固い安定化した繋がりが生まれるかもしれない。あるいは一つのことを皆で共有する、広く、柔軟性のあるコミュニティが生まれるかもしれない。あるいは、一時的には華やかで色があるが限定的な状況下で生まれるような錯イオンのような人たちもいるだろう。意外な形で水素のような何かを挟んで安定となる人もいるかもしれない。電子という特徴や性格、バックグラウンドの相性、位置で大きくつながりは変化しうるのだ。それは安定ならば良いというような単純なものではない。皆が皆ダイヤモンドのようでは何も変わらず時には周りに叩かれて分裂したり、展がったり、延べられたり、あるいは引き寄せあったり、反発しあったりしないと何も起こらないのだ。永遠に続く、というのは永久に何も変わらない、退屈な、鎖国的なものということの意味しており、それは桃源郷のように存在しうる、するべきものではない。そんな社会を健全であるということとはできないだろう。もっとも、それらのつながりは一時的には消え去ることはあれど、そのような状況が安定である、と言った事実は変化するわけではないために、消える、というかはあらゆる状態であり続けるという方が適切であろう。

話の面白さ、外見、性格など人を引き寄せる力がある人もいる。あるいは、それに引き寄せられやすい人もいるかもしれない。触媒のような働きをする人がいても良い。時には激しく反応を起こすような人も必要だろうし、ただ1人で周りの干渉を拒否するような人も欠いてはならない存在である。それらを許容しうるのが真の健在なコミュニティであり、それに気づくことができた、感じさせてくれたものに感謝したいと思う。

例3の身近な人とのかかわりについての視点は他にも多くの生徒が挙げていた。卒業を控え、6年間の学校生活を振り返ったり、家族や友人などが自分にとっていかに大切なつながりかを述べたりした。またその他にも、つながりの1つの形として愛を挙げ、プラトンの「饗宴」の中で述べた愛と有機化合物の「つながり」を比較した生徒もいた。有機化合物の「つながり」から、それぞれの生徒が様々な「つながり」について考え、その概念を複合的なものとして捉えることができた。

4. 授業者より

概念理解を促す問いを設定したことにより、「つながり」という概念について化学の視点だけでなく、教科横断的視点、社会問題的視点、身近な人とのかかわりの視点など多角的に捉えて考えを述べ、探究的な学びへと向かう様子が見て取れる。生徒は、「化学と世界史という全く関連のなさそうな教科につながりがあることに気付けた時は感動を覚え、その楽しさ故に勉強することの意味も感じることができる。」と、これまでの学びを統合し、さらなる学びに向かう力を示してくれた。また、現代社会の課題について自分の意見を表現することもできた。今年度、高3SS数学では、現代的な課題を数学的に読み解く活動として「『人の接触8割減』は妥当だったのか？」を実践した。³⁾これは感染症の数理モデルを実践するもので、感染者数の変化を記述するための変数(構成要素)の同定、それらの変数(構成要素)についてどのように仮定を設定していくかの議論を経て、それらの変数(構成要素)を変化させることでシミュレーションを自発的に実施するものである。この活動を通して、数学の社会的有用性の感得および、今後も「市民」として数学理論を用いて得られた事項について積極的に判断していこう

とする姿勢が培われることを期待する。このように、これまでに散りばめられた学際的な学びの成果が生徒の人間性を形成し、今回の「つながりは永遠か？」においても示されたと言えるであろう。

参考文献

- 1) 国際バカロレア機構, 「MYP: 原則から実践へ」, 2014 年
- 2) 樋口耕一, 「社会調査のための計量テキスト分析－内容分析の継承と発展をめざして－」, ナカニシヤ出版, 2014
- 3) 小林廉, 国際中等教育研究, 「東京学芸大学附属国際中等教育学校研究紀要」, No.14

