

化学と生物の融合授業の実践

—「窒素の循環」をめぐる—

松浦 紀之・小倉 真純

1. はじめに

「深い学び」に関して中央教育審議会答申では、「単に知識を記録する学びにとどまらず、身に付けた資質・能力が様々な課題の対応に生かせることが実感できるような、学びの深まり」の重要性が指摘されている¹⁾。ここでは、各教科等の特質に応じた「見方・考え方」を働かせ、教師が教える場面と生徒たちに思考・判断・表現させる場面を、効果的に設計し関連させながら指導していくことが必要とされている。しかし、「深い学び」は生徒の内面で進行するものであり、どのような状態のことを指すのかがわかりにくい。

そこで著者らは、生徒が身に付けた知識・技能を活用したり発揮したりする場を設定することで、生徒の中で散らばっていた知識がつながり合い、構造化することができる仕掛けが作れないかと考え、理科における知識・技能を活用したり発揮したりする場を模索してきた。その中で、他者との協働の場面を通じて学習した事柄を応用し、課題解決へと導いていくような授業を理科の各科目間の横断的な授業を行うことで、生徒が新たな視点で自然や科学技術への関心を高めることができるのではないかと考えた。「窒素の循環」を題材とし、化学と生物の双方の分野から授業を行うことにより、生徒がこれまでの知識を整理し全体を俯瞰することができ、生態系内の生物の営みをより深く理解できるような授業をめざした。

2. 授業実践の概要と方法

平成30年11月に、本校6年生（高校3年生）の理系生徒に対して次のように実施した。

第1時 化学「窒素の化合物とその性質」

対象：6年生理系「化学」選択者（2講座、計42名）

第2時 生物「窒素循環」（本校公開研究会「公開授業」として実施）

対象：6年生理系「生物」選択者（1講座、15名）

融合授業の第1時の化学の授業では、非金属元素の単元で学習した「窒素やその化合物」の製法や反応について、生徒実験を取り入れながら化合物の比較を行い、生徒自らが知識を深めていく展開とした。第2時の生物の授業では、化学の授業を受けて、具体的にヒト体内の窒素量をもとに食物連鎖を支える土壌中に存在するべき窒素量を計算し、また「土壌における余剰窒素の問題」の解決のために議論を交わしながら、その方策を考える展開とした。

化学 学習指導案

授業者 松浦 紀之

1. 日 時 平成30年11月19日(月)／20日(火)
2. 学年・組 6年C組(26名)／6年D組(26名)
3. 単元名 無機物質「窒素の化合物とその性質」
4. 単元目標

- ・窒素の単体やその化合物について、実験を通じて化学的性質や特徴を理解する。
- ・窒素化合物間の変化に注目し、自然界における窒素循環との比較することで、科学的な自然観を育成する。

5. 教材観

化学の授業において窒素は、「無機物質」で窒素の単体と窒素の化合物として、また、「有機化合物」で窒素を含む芳香族化合物として学習する。窒素は+5から-3までの多数の酸化数を取りうる原子のため、多くの窒素化合物が存在し、多様な酸化還元反応に関わることができる。一方、生物の授業において窒素は、窒素循環、窒素固定として物質循環の1つとして扱う。生物体内や湖沼・河川、大気、土壌など環境中の窒素のゆくえをみると、化学で学ぶ窒素や窒素の化合物の反応との共通点も多い。アンモニアや硝酸の工業的製法、大気汚染の原因としての窒素化合物など、工業や人間生活とも関連させて授業を行う。

6. 生徒観

理系クラスであり、高校で学習する化学が身の回りにどの様に関わっているかに興味を示す生徒が多い。生徒実験では、班で相談しながら実験を行い、得られたデータの分析や検証を丁寧に行うことができる。

7. 指導計画

5年生では「化学基礎」の全領域、「化学」の「物質の状態」のすべて、「物質の変化と平衡」のうち化学反応と熱・光エネルギー、化学反応と電気エネルギーを学習した。6年生では「化学」の学習を継続し、1学期に「物質の変化と平衡」の残り、「有機化合物」、2学期9～10月に「無機物質」、11月に「高分子化合物」を学習する。適時、演示実験や生徒実験を取り入れている。

8. 本時の展開

窒素や窒素の化合物について、生物で学習する窒素循環と関連させながら、化学で学習する窒素化合物の反応や変化、工業的製法などに注目させる。

(1) 本時の目標

- ・窒素化合物について、目的意識をもって実験を行う。
- ・窒素やその化合物間の変化に注目し、自然界における窒素循環との比較により科学的な自然観を育成する。

(2) 本時の評価規準

- ・窒素および窒素の化合物について、関心を持つ。(関心・意欲・態度)
- ・適切な器具を用いて実験することができる。(技能)
- ・大気中の窒素化合物の役割を説明することができる。(思考・判断・表現)

(3) 本時の学習過程

(○教師の発問など ●教師の支援 ※生徒の活動)

| | 学習活動 | 指導上の留意点 | 評価の観点 |
|------------|--|---|---|
| 導入 15分 | <p>1. 窒素や窒素の化合物についての復習</p> <p>※窒素の化合物の実験室的及び工業的製法について復習する。</p> <p>○生物で学習した窒素循環と関連がないか。</p> <p>○生命に不可欠な窒素は生物体のどこに含まれているのか。</p> <p>○窒素が地球上で存在する形と、生物の窒素の摂取のしかたを考えよう。</p> | <p>●硝酸やアンモニアの工業的製法について、生物の窒素循環と関係づけながら説明する。</p> <p>●窒素循環の図を示しながら説明する。</p> <p>●有機物・無機物の観点から例をあげ、反応性の有無や存在比にも触れる。</p> | <p>窒素および窒素の化合物について、関心を持つ。</p> <p>【関心・意欲・態度】</p> |
| 展開 40分 | <p>2. 窒素および窒素の化合物やイオン</p> <p>(1) 窒素の発見【火薬の成分】</p> <p>※硝酸カリウム(硝石)、硫黄、炭素(木炭)より火薬を合成し、点火する。</p> <p>○火薬の発明、ハーバー・ボッシュ法などから、私たちの生活がどのように変化したか。</p> <p>(2) 窒素酸化物【大気汚染物質】</p> <p>※窒素の酸化物(一酸化窒素 NO、二酸化窒素 NO₂)を合成し、性質を確認する。</p> <p>○大気中の窒素酸化物は、どのように循環しているか。</p> <p>(3) 窒素を含むイオン【河川や湖水の化学】</p> <p>※水中のアンモニウムイオン NH₄⁺、亜硝酸イオン NO₂⁻、硝酸イオン NO₃⁻を実験により確認する。</p> <p>○河川や湖水中の窒素を含むイオンは、どのように循環しているか。</p> | <p>●窒素が発見される前より、中国では火薬をつくり、利用してきたことを説明する。</p> <p>※生徒実験は3名1班で行う。</p> <p>●二酸化窒素 NO₂ と四酸化二窒素 N₂O₄ の平衡を注射器を用いて確認する方法を計画し、実施させる。</p> <p>●実験後は速やかに気体の入った容器をドラフトへ移す。</p> <p>●亜硝酸イオン NO₂⁻を酸化剤により NO₃⁺に、また還元剤により NH₄⁺に変化することを実験で確認させる。</p> <p>●溶液中の亜硝酸イオン NO₂⁻をザルツマン法により検出する。</p> | <p>適切な器具を用いて実験することができる。【技能】</p> |
| まとめ 10分 | <p>3. 窒素の循環と環境問題</p> <p>※窒素が生態系でうまく循環するためには、何が必要かまとめる。</p> | <p>●窒素を含む化合物が引き起こす環境問題について、意見を述べさせる。</p> | <p>大気中の窒素化合物の役割を説明することができる。</p> <p>【思考・判断・表現】</p> |

生物 学習指導案

授業者 小倉 真純

1. 日 時 平成 30 年 11 月 23 日(金)
2. 学年・組 6 年「生物」選択者 (15 名)
3. 単 元 名 生態系とその保全「窒素の循環」
4. 単元目標

- ・生態系における生物それぞれの働きを、窒素循環の流れとして理解する。
- ・生態系の一部である人間の活動が物質の循環に及ぼす影響について考えるとともに、課題解決に向かう姿勢を育成する。

5. 教材観

これまで学習してきた細菌類の「化学合成(硝化)」、生物全般における「窒素同化」、そして「窒素固定」など、断片的であった知識がつながると生態系の中での生物の働きの意味や循環の流れが理解でき、生態系内の生物の営みをより俯瞰することができる。また、人間の活動による窒素循環への関わりを考え、社会が工業化した結果生じた化学肥料の多量の施肥や工業生産物の廃棄等といった諸問題に対して科学技術がどのように向き合っていけるのかを議論により深めたい。

6. 生徒観

理系クラスであり、生物に対して関心の高い生徒が多い。実験を行うときには、自分なりの筋道を立て、互いに相談しながら積極的に作業することができる。また、発展的な内容にも興味があり、疑問に感じた内容を自分で調べることができる。全体としては比較のおとなしい生徒が多いが、自分の意見はしっかりと持っている。

7. 指導計画

4 年生から「生物基礎」の学習をはじめ、5、6 年生で「生物」の学習を継続し、すでに学習内容のほぼ全範囲を終えている。窒素循環の流れをまとめ、さらに環境問題への取り掛かりとし、科学技術への発展も含めた総合的な内容とする。

8. 本時の展開

土壌中に必要とされる窒素量をヒト体内の窒素量をもとに計算する。また、環境への関わり・科学技術を用いて解決できることについて議論する。

(1) 本時の目標

- ・ヒト体内に摂取されるまでの窒素化合物の流れを理解する。
- ・余剰窒素がどのようなかたちで地球環境に影響を与えているのかを考え、それを解決するための方策を、科学技術面から議論できることをめざす。

(2) 本時の評価規準

- ・課題に対して積極的に取り組み、自分の意見をまとめ、議論に参加する。(関心・意欲・態度)
- ・現状が引き起こす環境問題を省みて、今後の方策を考えることができる。(思考・判断・表現)
- ・窒素の循環に関わって窒素の量を具体的に考えることができる。(観察・実験の技能)
- ・ヒトに関わる窒素の循環が説明できる。(知識・理解)

(3) 本時の学習過程

(○教師の発問など ●教師の支援 ※生徒の活動)

| | 学習活動 | 指導上の留意点 | 評価の観点 |
|----------------|--|--|---|
| 導入 10分 | 1. 窒素について復習する ○生物が窒素を摂取する方法を考えよう。 | ●生物が生きていくには窒素が必要不可欠であり、生産者と消費者の摂取方法には違いがあることに気づかせる。 | 窒素の循環について積極的に考える。 【関心・意欲・態度】 |
| 展開 1 25分 | 2. 窒素量を計算する ※精白米のみからタンパク質を摂取する場合の、精白米の必要量を考える。 ※その収穫を維持するために必要な土壌中の窒素量を考える。 ○土壌中には窒素がどのような化合物やイオンとして含まれ、生物に取り込まれているか。 | ●ヒトが摂取したタンパク質のゆくえを確認する。 ●タンパク質維持量 60 g/日 ²⁾ タンパク質 6.1 g/精白米 100 g ³⁾ 精白米必要量 $60/6.1 \times 100 \approx 984\text{g}$ タンパク質中の窒素 16.8% ⁴⁾ 土壌中に必要とされる窒素 $60 \times 16.8 / 100 \times 100 / 23 \approx 43.9\text{ g}^5)$ ●現代社会では、化学肥料の施肥が土壌の窒素供給を支えていることに気づかせる。 | 体内での窒素に関わる物質の変換が分かる。 【知識・意欲・理解】 数値を用いて窒素をめぐる物質の関係を把握できる。 【技能】 |
| 展開 2 25分 | 3. 窒素フローと今後の課題 ○ハーバー・ボッシュ法により窒素肥料が大量生産されることで、世界の人口が急速に増加にした。その恩恵と引き換えに起こった問題とは何か。 ○完全な循環型社会を実現することが困難であるなら、未来に向けての科学技術をどのように発展させれば窒素の流出を防ぐことができるのか。 ※余剰窒素を減らすための方策について議論する。 | ●過剰な施肥や土壌からの窒素の流出が引き起こす環境問題に注目させる。 (例) ・植物に対する科学技術 ・ゲノム編集 ・窒素肥料に関わる工夫 ・土壌の施肥システムの改良 など | 現状が引き起こす問題を考えることができる。 【思考・判断・表現】 未来に向けた技術を創造することができる。 【思考・判断・表現】 |
| まとめ 5分 | 4. 窒素の循環と環境問題 ※窒素の循環と、循環のバランスが崩れたときに起こる問題をまとめる。 | ●未来に生きていく自分たちが、環境に向き合って何ができるのかを考える。 | |

3. 効果と検証

生態系を循環する窒素は、生物にとって必要不可欠な物質である⁶⁾。窒素に関する学習は、「化学基礎」、「化学」、「生物基礎」、「生物」の各科目で取り扱われている(図1)。

| | |
|--|---|
| <p>化学</p> <p>(3) 無機物質の性質と利用 ア 無機物質 「窒素化合物」 イ 無機物質と人間生活 「肥料」</p> <p>(4) 有機化合物の性質と利用 ア 有機化合物 「ニトロ化合物」「アミン」 イ 有機化合物と人間生活 「アミノ酸・タンパク質」 「医薬品」「染料」</p> <p>(5) 高分子化合物の性質と利用 ア 高分子化合物 「合成繊維」「プラスチック」 「タンパク質」「核酸」 イ 高分子化合物と人間生活</p> | <p>生物基礎</p> <p>(3) 生物の多様性と生態系 イ 生態系とその保全 「窒素固定」「窒素同化」 「有機窒素化合物」 「硝化菌(亜硝酸菌・硝酸菌)」「脱窒」</p> |
| | <p>生物</p> <p>(1) 生命現象と物質 ア 細胞と分子 「アミノ酸」「タンパク質」 イ 代謝 「窒素同化」「窒素固定」「脱窒」 「化学合成」</p> <p>(4) 生態と環境 イ 生態系 「物質循環」</p> |

図1. 高等学校学習指導要領における「窒素」の取り扱い⁷⁾

()内の番号、ア、イ…の記号は、学習指導要領の表記による)

第1時の化学「窒素の化合物とその性質」では、窒素やその化合物の化学的性質について、実験を通じて理解することができ、生徒自らの知識を深めることができた(図2上段)。生徒は、既に「生物基礎」において「窒素固定」、「窒素同化」「有機窒素化合物」等を学習しているものの、知識が断片的であった。今回の化学の授業において、窒素は+5 から-3 までの多数の酸化数を取りうる原子のため、多くの窒素化合物が存在し、多様な酸化還元反応に関わることを学んだ。第2時への接続を意識し、環境や工業、人間生活とも関連させて授業を行い⁸⁾、特に、第2時の生物で取り扱う化学肥料の施肥等を授業展開中に取り入れた。

第2時の生物「窒素の循環」では、1日の成人男性のタンパク質維持推奨量から窒素量を計算し、食物連鎖を支える土壤中に存在するべき窒素量を計算した。具体的な数字を用いたことで、ヒトをめぐる窒素の移動量がイメージしやすくなったのではないかと考えられる。また、ハーバー・ボッシュ法の発明により、近年ではむしろ窒素肥料の大量施肥とともに土壤の余剰窒素が問題⁹⁾になっていることから、その問題を解決するための方策をグループでディスカッションした(図2下段)。今まで学習した事柄を総動員し、物理的な側面から「窒素を外に漏らさないシステムをつくり窒素量を管理する」と考えた班、バイオテクノロジーを駆使して「脱窒を行う細菌がもつ酵素のDNAをプラスミドに組み込み、酵素を大量生産する」と考えた班、化学的なアプローチから「触媒を用いて化学反応を起こし、窒素化合物を窒素に戻す」「何らかのフィルターを開発して窒素を固体として析出させ回収する」と考えた班など、異なるアイデアを持つ生徒同士の協働により、自らの知見を得る場面が見られた(図3)。

本融合授業を終えた生徒からは、「題材がおもしろかった」、「もう少し時間が長く取れたなら、もっと考えたかった」等、概ね肯定的な感想を得た。6年生だからこそ展開できた内容であり、断片的に学んできた事柄が複合的につながり、科目間の領域を超えて協働できた場面でもあったと考えている。

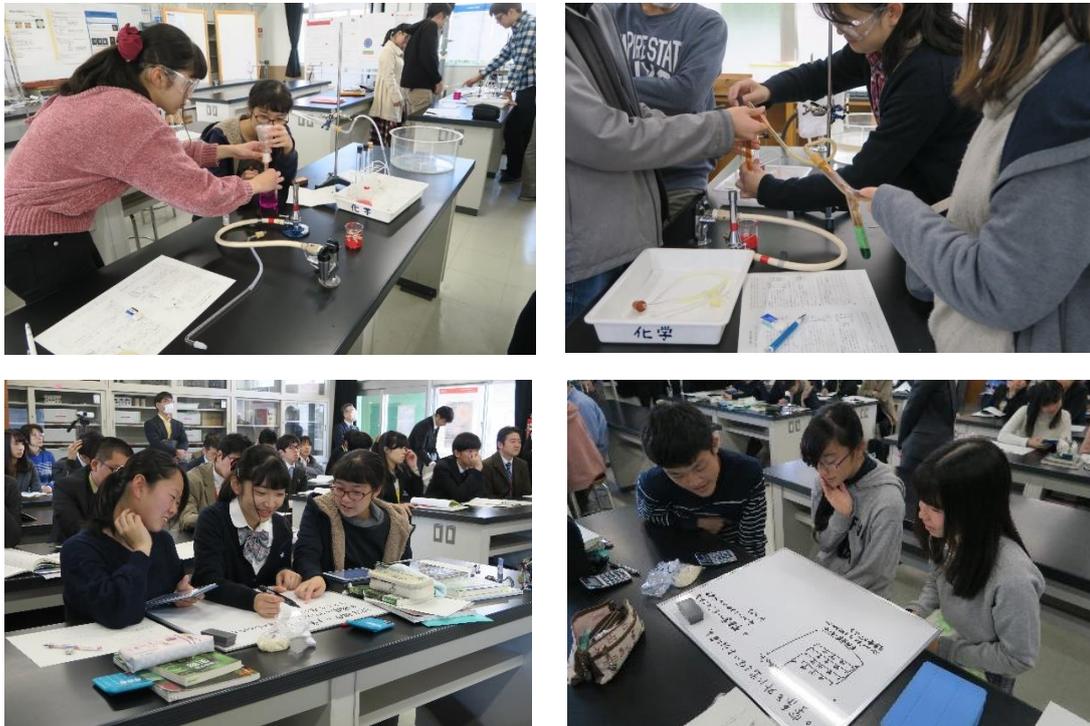


図2. 授業中の生徒の様子（上段：第1時 化学「窒素の化合物とその性質」、
下段：第2時 生物「窒素の循環」）

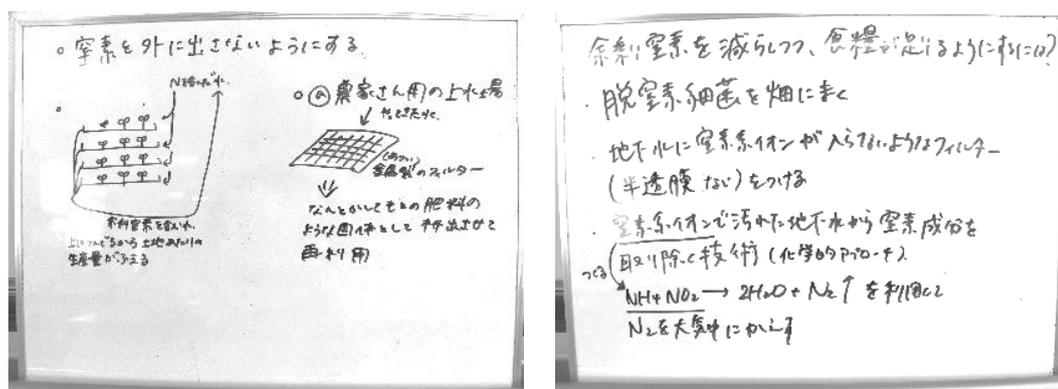


図3. 第2時生物「窒素の循環」で生徒から提案された「余剰窒素課題を解決するには…」

4. まとめ

「窒素の循環」には窒素を取り巻く複合的な要素が多く絡んでおり、窒素だけを取り出してシンプルに考えることは難しい。しかし、今回の融合授業では、「窒素の循環」について可能な限りシンプルに取り扱うことに留意した。化学の授業における実験や講義を通して、生徒たちが窒素の性質や特徴をよく捉えられていたため、第2時の生物の授業時におけるディスカッションにおいても科目を超えて独自のアイデアが出され、他者との意見交換が活発に行うことができた。社会的な問題を切り口として、窒素循環に関わる新たな視点を持つことは、地球環境を考える上で欠かせない要素であり、問題解決のためには従来の専門分野を横断した思考が必要である。今回の融合授業はその一例として生徒たちにとって非常によい教材になったと考える。

本融合授業の実践より、授業における課題の設定はよりシンプルに、しかしディスカッションはより深まるような独自性の高まる仕掛けが必要であると感じた。それとともに、科目の域を超えた、自分の持てる知識を総動員させて意見を交わすことに、生徒たちの意欲も高まることを実感している。

謝辞

本融合授業を行うにあたり、奈良女子大学大学院自然科学系の佐伯和彦教授に窒素循環に関する資料を提供頂きました。

参考文献

- 1) 幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申), 2016.
- 2) 厚生労働省, 日本人の食事摂取基準(2015年版)策定検討会報告書, 2016.
- 3) 文部科学省, 食品成分データベース, <https://fooddb.mext.go.jp/> (参照 2018-10-30)
- 4) 藤原しのぶ, 佐々木弘子, 菅原龍幸, 日本食生活学会誌, 20, pp.220-225, 2009.
- 5) 種田あずさ, 柴田英昭, 新藤純子, *Journal of Life Cycle Assessment, Japan*, 14, pp.120-133, 2018.
- 6) 干鯛眞信, 窒素固定の科学 化学と生物学からの挑戦, 裳華房, 2014.
- 7) 文部科学省, 高等学校学習指導要領, 2009.
- 8) カレン・フィッツジェラルド著, 竹内敬人監修, 藤田千枝訳, 窒素の物語, 大月書店, 2006.
- 9) 新藤純子, 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター「窒素循環研究戦略ワークショップ」報告書, pp.11-15, 2012.