

科学観の育成を意図した光合成の授業デザインの理論的検討

— 文脈と Nature of Science を視点として —

嶋田 亘佑・龍岡 寛幸・本田 洸輔・磯崎 哲夫*

1. はじめに

科学技術社会論の研究者である藤垣 (2021) は、人々は科学的知識が書き換えられることを認識しているものの、科学・技術が背景にある社会的諸問題 (socio-scientific issues ; 以降 SSI) ¹⁾ になると、人々は「書き換えられる」という科学の性質を忘れて、科学に対する要求水準を上げることを指摘している。現代における科学研究において、科学的な知見が更新されることは当然である (Latour 1987)。一方、藤垣 (2021) の指摘を踏まえると、一般の人々は、科学は常に厳密で確実なものであるという科学観を有している可能性がある。つまり、現代の科学研究と人々の科学観には差異があるとみなせる。人々が SSI に直面した際に、この差異が個人や公共の意思決定を悪化させかねず、人々の科学に対する信頼が失われ、ややもすると、人類が SSI に対処するにあたって、科学そのものが軽視されかねない。

本稿では、現代の科学・技術を背景とする社会の動向に適合する科学観の形成に際して、教授・学習活動における文脈 (context) の観点が有効であることを明らかにした上で、文脈を観点とした光合成の授業デザインをする。そのために、まず、今日の理科教育において科学観の育成の研究動向について整理し、科学観の育成のために文脈を考慮する必要性について検討する。そして、このことを踏まえた上で、中学校 2 年生の光合成の理科授業デザインについて検討する。

光合成に着目したのは、次の 4 点からである。それは、①光合成は、小学校から高等学校において、系統性を踏まえた上で取扱われており、②諸外国においても、その重要性が指摘されていること (例えば、Harlen 2010, 2015)、③光合成は、農業をはじめとして日常生活や社会との関連性があり、生徒にとって興味・関心を持ちやすく、また、食料問題や生態系を考える際にも重要な学習内容であること、④光合成の歴史的側面を取り扱うことで、作動中の科学 (science in the making) (Latour 1987) の理解ができること、である。

2. 科学観の育成について

科学観は、「科学とは何か」についての総括的観念のことであり (例えば、横山 2020)、科学者に限らず、科学教育研究者、科学教師、児童生徒、そして一般の人々も保持している。近年の科学教育研究においては、科学観の育成に関する具体的な取組みとして、Nature of Science (科学の本質や本性と訳される。以降 NOS) が注目されている。NOS は、科学的営為がどのように機能しているのかについての概念であり、欧米諸国を中心に、科学カリキュラムの学習内容として位置づけている (例えば、Lederman et al. 2002 ; Olson 2018)。なお、日本の平成 29・30 年度告示の小学校から高等学校の学習指導要領理科編において、NOS を教授・学習することは明示されていない。

Driver et al. (1996) は、NOS を学ぶ意義を 5 つ提示している。例えば、実利的・功利的意義は、普段の生活において科学的知識が関わるような選択が存在し、人々は実際に遭遇する科学的知識の信頼性と限界について判断しなければならないという考え方である。また、科学の学習としての意義は、科学の学習をする上で、NOS の学習が有用であるという考え方である。

Lederman et al. (2002) は、哲学者、歴史家、科学社会学者の間には、ある程度の NOS の知見が共有されていると指摘している。そのため、哲学や科学史を専攻する大学院生に対する概念規定ではなく、

* 広島大学大学院人間社会科学研究科

義務教育段階での科学教育の文脈で NOS が解釈されるのであれば、一般的に認められている NOS を導入するべきであるとしている。さらに、児童生徒の背景や学年に応じて、学習可能なレベルで指導することができるもの、そして将来のすべての市民にとって重要とされる NOS の要素を選定の基準としている。以上を踏まえて、義務教育段階における NOS の要素を 7 つ提示している (表 1)。

学校教育段階における効果的な NOS の指導方略は、①明示的アプローチ (explicit approach)、②省察的なアプローチ (reflective approach) であることが明らかにされている (例えば、Khishfe & Abd-El-Chalice 2002)。①については、教師が、明確な認知的な目標として設定し、意図的にかつ明確に NOS の概念を学ぶ機会を実施する必要があることである。②については、省察的なアプローチは、単に生徒が、NOS の考えを記憶することや、提示している NOS の内容を単に教師が繰り返し伝えるのではなく、生徒自身が NOS に関する考え方や課題に対して考え、その理解を促すような指導を行うことである。学習者は、自然現象に関する誤概念が暗黙的に形成されることと同様に、NOS に関しても誤概念を保持している可能性が指摘されている。これは、テレビや新聞紙などのメディア、インターネットなどで描かれる科学のイメージによって影響を受けているからであり、学校内においても科学の教科書や授業内の実験活動においても同様である (Clough 2006)。そのため、Clough (2006) は、概念変容の観点から、一度 NOS に関する考えが形成されると、それは強い抵抗力を持つことから、①と②の必要性を指摘している。これは、上述の藤垣 (2021) の論点とも結びつく。

表 1 Lederman ら (2002) の提示する NOS

NOS の概念要素	概要
実証的な科学的知識の本質	科学は、少なくとも部分的には観察に基づいている。生徒は観察と推論を区別できるようにすべきである。
科学的理論と科学的法則	観察と推論の区別と密接に関連しているのは、科学的な理論と法則の区別である。理論と法則は異なる種類の知識であり、一方が他方になることはない。
創造的・想像的な科学的知識の本質	科学は実証的であり、科学的知識の発展は自然の観察を行うことを含む。それにもかかわらず、生成された科学的知識は人間の想像力や創造性を含む。
観察の理論負荷性のある科学的知識の本質	科学的知識は、観察の理論負荷性を持つ。科学者の理論的・学問的なコミットメント、信念、予備知識、訓練、経験、そして期待は、実際に科学的営為に影響を与える。
社会的・文化的に位置づけられる科学的知識	人間の営為としての科学は、より大きな文化の中で実践されている。そのため、科学はあらゆる要因や学問分野の影響を与えたり、受けたりする。
科学の方法の神話性	科学について最も広く知られている誤解に、間違いのない知識の発展を保証する唯一の科学の方法が存在することがある。
暫定的な科学的知識の本質	科学的知識は、信頼性と耐久性があるが、決して絶対的ではないし、確実ではない。

(出典：Lederman et al. 2002, pp. 499-502 を参考に作成した。)

また、NOS の指導方略に関して、文脈を取り入れることも指摘されている。先に示したような、Lederman らの NOS 概念規定で示されている宣言的知識 (表 1) では、その意味自体が歪められる危険性や単にそれらの知識を暗記されることが指摘されている (例えば、Allchin et al. 2014)。つまり、学習者は、科学の (*of/in*science) 知識と関連づけた上で、NOS の概念を認識している (Driver et al. 1996)。

概念変容の観点からも文脈と NOS の関連が指摘されている。Clough (2006) は、脱文脈化と文脈化された NOS の学習をそれぞれ行うことで、学習者の NOS の概念変容を促すことができると指摘している。脱文脈化された NOS の学習は限定的であると指摘があるものの (例えば、Allchin et al. 2014)、少なくとも、Clough (2006) の指摘は、異なる文脈で NOS の学習を行う必要性を指摘していると解釈

できる。Allchin et al. (2014) は、NOS の学習をどのように文脈化するのかに焦点を当てるべきであり、①探究 (inquiry)、②現代的な事例 (例えば、SSI)、③歴史的事例を文脈化することを提案している (表 2)。この際、どのような指導上の長所・短所が出てくるのかを把握した上で、適切な文脈化のアプローチを採用することを推奨している。以上を踏まえ、本実践では、脱文脈化された NOS の学習は採用せず、科学の知識と NOS を関連づけて、異なる文脈における NOS の学習を意図している。

表 2 Nature of Science 指導の長所・短所の具体

テーマ	長所	短所
探究	<ul style="list-style-type: none"> ○ 学習意欲を高めることができる。 ○ 解釈の仕方、モデル、証拠の形式、などの理解を支援する。 ○ 科学的知識の本質と探究のスキルと関連づけることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 本物の科学ではなく、人工的な取り組み (artificial exercise) や学校内の「ゲーム」として捉えられるかもしれない。 ○ 通常、文化的・社会的・政治的文脈からは切り離されている。
現代的な事例	<ul style="list-style-type: none"> ○ 真正性と「今ここ (here-now)」での関連性によって、参加意欲を高めることができる。 ○ 科学の文化的・政治的・経済的背景の理解を助けることができる。 ○ 科学とその価値がどのように関連しているかの理解を助けることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 現代的な事例は、完全に解決されていないため、不確実な NOS の授業になる。 ○ まだ公開されていない、あるいは文化的に不明瞭な科学的プロセスの詳細を提示することが困難である。
歴史的 事例	<ul style="list-style-type: none"> ○ 文化的・人間的な文脈を通して、動機づけを促すことができる ○ エラーや修正 (revision) の理解を促進することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 「古い」・無関係であるとみなされるかもしれない。 ○ テキストベースだけでは、ハンズオン (hands-on) の実験能力の育成に限界がある。

(出典：Allchin et al. 2014, p. 473 を一部抜粋し訳出した。)

3. 授業デザインの視点としての文脈

そもそも、理科の教授・学習における文脈への注目は新しいものではない。1970 年代以降、欧米諸国を中心として、文脈を基盤とするアプローチ (context-based approach) は導入されており、化学教育や STS 教育などでカリキュラム開発がなされている (Eijkelhof 2015)。文脈を基盤とするアプローチは、「科学概念の理解のために、文脈及び科学の応用が『出発点』 (starting point) として用いられるアプローチ」 (Bennett, et al. 2007, p. 348. 斜体は原典) である。

それでは、理科カリキュラムに文脈を取り入れる際に、どのようなアプローチがあるのか。Holman(1987)は“science-first model”と“application-first model”の2つのモデルを提示している。まず、“science-first model”は、関連性の欠いた既存の科学カリキュラムに日常生活や社会との関連を組み込んでいるモデルである。つまり、contents-based/led な科学カリキュラムを実施していく過程で、必要に応じて日常生活や社会との関連のある内容を取り扱うというアプローチである。次に、“application-first model”は、科学の応用や科学に関連する諸問題を用いて、当該内容の中にある科学について取り上げるモデルである。今日のわが国の理科教科書でのコラムなどにおいて散見されるような科学的内容と何らかの関連が見られるような形式で示されている文脈の多くは、“science-first model”に該当すると考えられる。

これまでの理科の学習内容は、自然科学の学問的な体系を参考にし、contents-based/led を基本としていた (磯崎・野添 2017)。文脈を基盤とした学習を行うことを前提とするのであれば、理科授業で“science-first model”は、比較的容易に文脈を取り入れることができるアプローチであると考えられる。

また, NOS の概念変容の観点においても, 意図的に異なる文脈を用いることが肝要であることから, 本研究においては, “science-first model”を基盤として授業展開を検討している。

4. 光合成の授業デザイン

以上を踏まえて, 理科教育において, 光合成の取扱いがどのようになされるのかを検討したい。小学校段階では, 植物の葉に日光が当たるとデンプンが生成されることを学習する(文部科学省 2018)。このことを既習事項として踏まえた上で, 中学校第 2 学年では, 実験活動を①植物の葉, 茎, 根のつくりと光合成を関連づけていること, ②光合成における葉緑体の働きについて学習する(文部科学省 2018)。中学校第 3 学年では, 単元「自然と人間」の「自然界のつり合い」(p.110)において, 光合成の学習を踏まえた学習が意図されている。

本実践では, 光合成の学習における NOS は, 科学的不確実性に着目した。つまり, 信頼できる科学的知識を導くために, 適切な科学的なデータ収集の理解を意図している。Millar (2006) は, NOS の概念の構成要素として「データとその限界」(Date and Their Limitation)を設定しており, この定義は, 「①すべての観察と測定には不確実性が伴うことを認識すること, ②データの信頼性を評価するために, データセットの広がりとこれを使用する手法」(p.1508)である。本単元では, 対照実験の考えを理解・活用して学習する機会を繰り返し設定しており, 異なる文脈での活用も意図している。なお, この他にも, 科学を作動中の科学としての理解を促すために, 科学の人間的側面・歴史的側面, 科学の限界性などに着目している。以上をふまえ, 本単元の目標及び授業展開を考えた。これらを以下の表 3 に示す。

1・2 時間目は, 学習者が光合成を学ぶための必然性を促すことを意図している。まず, 小学校の光合成に関する学習を振り返り, ①植物の成長にデンプンが使われていること, ②果実, 種子, 茎, 根に栄養分としてのデンプンが蓄えられることを理解させたい。このことを通して, 農作物と光合成のかかわりに気づかせることで, 興味・関心をもたせたい(学習目標 1・2 に対応)。そして, 葉緑体で光合成が行われ, そこでデンプンが生成されることを観察させたい(学習目標 3 に対応)。

3・4 時間目では, まず, 科学史上の光合成に関する実験を取り上げる。ヘールズ(1677~1761)の実験は, 植物は空気の出入りをすることを確かめる実験を行った。この事例を取り上げることで, 植物が空気と関係していること, 対照実験について理解させたい(学習目標 4・5 に対応)。また, 科学史上の事例を通して, 科学の人間側面や歴史的側面についても触れたい(学習目標 6 に対応)。例えば, ヘールズは, 中学校 1 年生で学習した水上置換法が考案したことや, 対照実験の考え方が昔から存在していたことに触れたい。

5~7 時間目は, 光合成では, 気体の出入りとして二酸化炭素を吸収して酸素を放出することを確かめる実験計画をさせる(学習目標 7・8 に対応)。この際, 前時の対照実験の考え方を異なる文脈においても活用することができるのかを意図している。このことを踏まえて, 光合成には水と二酸化炭素を原料とし, 栄養分としてのデンプンを合成するとともに, 酸素を放出することを理解させたい(学習目標 9 に対応)。

8・9 時間目は, 酸素と二酸化炭素といった気体がどこから吸収, 放出しているのかを理解することを意図している(学習目標 10 に対応)。また, 植物の養分・水分がどのように移動しているのかを光合成と関連づけて理解させたい(学習目標 11 に対応)。具体的には, ムラサキツユクサの葉の裏にある気孔や, 茎や根の道管および師管を染色した横断面のプレパラートなどを観察させることを通して, 葉・茎・根との関連を意識したい。

10 時間目は, 蒸散について実験計画を立てさせたい。このことを通して, 植物における水がどのように移動するのか, また水の役割について理解させたい(学習目標 12 に対応)。実験計画を立てる際に, 対照実験の考え方をを用いる必要があることを理解させたい(学習目標 13 に対応)。

11・12 時間目は, ヘルモントの実験やプレストリーの実験を取り上げ, 歴史的に光合成に関する知識がどのように発達したのかを理解させたい。具体的には, ヘルモントの実験場面を取り上げ, 現在では誤った考え方をどのようにして, 反証するのかを考えさせる活動(学習活動 14 に対応)や, プレストリーの実験場面を取り上げ, 科学的事象に対して, どのような解釈が考えられるのかに気づかせたい(学習目標 15 に対応)。

13 時間目は, 現代における光合成に関する科学的応用を取り上げたい。具体的には, ビニールハウスや植物工場の事例を取り上げ, 光合成を促進させる要因を考察させたい。そして, これらを踏まえた上

で、効率よく収穫物を得られる方法を提案させたい（学習目標 16 に対応）。この際、経済的な側面について触れることで、科学の限界性についても理解させたい（学習目標 17 に対応）。

本単元の目標

1. 光合成の基礎的・基本的な概念を、植物の呼吸、成長、蒸散の働きと関連づけて理解する。
2. 光合成に関する探究活動、現代的事例、科学史上の実験などを通して、科学的データの不確実性を説明する。
3. ビニールハウスや植物工場などの現代的事例や光合成に関する科学史上の実験と関連させて、光合成と日常生活・社会とのかかわりや光合成の歴史的背景についての興味・関心を高める。

表 3 文脈を視点とした光合成の授業展開

時限	文脈	学習目標	学習活動
1・2	現代探究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 光合成と日常生活・社会とのかかわりについて知り、興味を持つ。 2. 光合成の仕組みについて理解する。 3. 光合成は、植物の葉緑体で行われていることを理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 農作物と光合成のかかわりを確認する。 ○ オオカナダモを用いて、光合成が行われる場所を確かめる観察を行わせる。
3・4	歴史	<ol style="list-style-type: none"> 4. 植物は気体が入り出していることを理解する。 5. 対照実験について理解する。 6. 科学の人間の側面・歴史的側面について理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ヘールズの実験場面を取り上げて、考察させる。 ○ 植物は、気体の出入りがあることを理解させる。
5～7	探究	<ol style="list-style-type: none"> 7. 光合成は、二酸化炭素が吸収されて酸素を放出していることを確かめるための実験計画を立てることができる。 8. 対照実験の考え方を活用することができる。 9. 光合成のしくみについて理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 光合成の際、二酸化炭素を取り入れることを確かめる実験計画を立てさせ、実験を行う。 ○ 光合成の際、酸素が発生していることを確かめる実験計画を立てさせ、実験を行う。
8・9	探究	<ol style="list-style-type: none"> 10. 観察を通して、葉の細胞のつくりについて理解する。 11. 植物における水や養分の通り道について、光合成と関連づけて理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ムラサキツユクサの気孔の観察を行う。 ○ 道管・師管・維管束のプレパラートの観察を行う。
10	探究	<ol style="list-style-type: none"> 12. 植物における水のゆくえつについて理解する。 13. 対照実験について理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 蒸散に関する実験計画を立てさせる。
11・12	歴史	<ol style="list-style-type: none"> 14. 歴史的に光合成に関する知識がどのように発展したのかを理解する。 15. 科学的証拠の不確実性について理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ヘルモントの実験場面で、科学的知識を評価する活動をする。 ○ プレーストリーの実験場面で、多様な環境要因や各要因の影響について推定させる活動をする。
13	現代	<ol style="list-style-type: none"> 16. 光合成を促進させるための要因を考え、効率よく収穫物を得られる方法を提案することができる。 17. 科学の限界性について理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 光合成を促進させるための要因を考えさせる。 ○ 効率よく収穫物を得られる方法を提案させる。

(筆者作成)

5. おわりに

本研究は、中学校第 2 学年の光合成の学習にあたって、現代の科学・技術を背景とする社会の動向に適合する科学観の形成に際して、教授・学習活動における文脈の観点の有効であることを明らかにした上で、文脈を観点とした光合成の授業実践をデザインした。今後は、指導案の作成、評価問題の作成を検討事項とし、試行的に実践を行っていききたい。

註

1) ここでは、「科学と社会との接点で起こる問題」(藤垣 2021)を SSI とみなした。藤垣 (2021)によると、その具体として、水俣病や新型コロナウイルスの事例を提示している。

【引用・参考文献】

- 藤垣裕子 (2021),「作動中の科学と科学的助言～時間軸と責任境界をめぐって」,『研究技術計画』第 36 巻, 第 2 号, 108–115.
- Latour, B. (1987), *Science in Action*. Harvard University Press.
- Harlen, W. E.(ed.) (2010), *Principles and Big Ideas of Science Education*. The Association for Science Education.
- Harlen, W. E.(ed.) (2015), *Working With Big Ideas of Science Education*. The Association for Science Education.
- 横山輝雄 (2020),「科学の不定性と専門知：科学論の第 3 の波」,『科学・技術研究』第 9 巻, 第 2 号, 115–120.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002), Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- Olson, J. K. (2018), The inclusion of the nature of science in nine recent international science education standards documents. *Science & Education*, 27, 637–660.
- Driver, R., Leach, J., & Millar, R., & Scott, P. (1996), *Young people's images of science*. Open University Press.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002), Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551–578.
- Clough, M. P. (2006), Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15(5), 463–494.
- Allchin, D., Andersen, H. M., & Nielsen, K. (2014), Complementary approaches to teaching nature of science: Integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. *Science Education*, 98(3), 461–486.
- Eijkkelhof, H. (2015), Context-led science projects. In R. Gunstone (Ed.). *Encyclopedia of science education*. Springer Reference, 232–235.
- Bennett, J., Lubben, F., Hogarth S. (2007), Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education*, 91(3), 347–370.
- 磯崎哲夫・野添生 (2017),「卓越性の科学教育を意図したカリキュラムの構成原理序説」『科学教育研究』第 41 巻, 第 4 号, 388–397.
- Holman, J. (1987), Resources or Courses? Contrasting Approaches to the Introduction of Industry and Technology to the Secondary Curriculum. *School Science Review*, 68, 432–438.
- 文部科学省 (2018),『中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 理科編』学校図書.
- Millar, R. (2006), Twenty first century science: Insights from design and implementation of scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499–1521.