

生徒によるモデル生成と説明を促進する理科授業の実践 Practices in Science Instruction that Promote Student - Generated Models and Explanations

○足羽光一^{*1}, 隅田学^{*2}, 山本浅幸^{*2}

ASHIWA Koichi^{*1}, SUMIDA Manabu^{*2}, YAMAMOTO Asayuki^{*2}

^{*1}愛媛大学教職大学院, ^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Graduate School of Education, Ehime University, ^{*2}Ehime University Faculty of Education

【要約】学習者が現象や事象を説明するためにモデルを構築・活用する力は、国際的にも重視されているが、日本の理科授業、特に生命領域における協働的モデリングの研究は十分とはいえない。そこで本研究は、中学校理科の光合成を題材に、生徒が個人で作成したモデルを基に班で議論し、協働を通じたそのモデルの変容について、具体的な授業実践に基づき明らかにすることを目的とした。その結果、多くの班でモデルの変容や評価の向上が見られた一方、協働の質には班の間で差があり、相互にモデルを比較・統合した班や、特定のモデルを写し取るにとどまる班が認められた。また、実験結果と整合しないモデルが共有された事例等から、生徒自身によるモデル評価や教師による適切な介入の必要性が明らかとなった。さらに、構造モデルと機能モデルを区別し、説明の目的に応じてモデルの適切性を判断させる指導の必要性が示唆された。

【キーワード】中学校理科, 協働的学習, モデル生成, モデルの変容, 生命領域

I. 研究の背景および目的

学習者がモデルを構築したり、そのモデルを使用して説明したりする能力の育成が国際的に求められている。例えば、アメリカのNext Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013) では、「期待される学習成果」にある「科学的・工学的な実践」の8つの実践の中に、「モデルの開発と使用」と「説明の構築」がある。これらについて、NGSSを開発するために作成されたフレームワーク (National Research Council, 2012) では、「生徒の目標は、論理的に首尾一貫した現象の説明を構築することである。そのとき、科学に対する生徒自身の現在の理解、またはそれを表すモデルを取り入れ、利用可能な根拠と矛盾のない、説明をつくることである」と記されている。

日本でも、実験や観察を通して事象を説明するモデルをつくり、モデルの修正を繰り返しながら自身の理解を吟味していく実践が行われている (モデルベース学習)。猪口・和田 (2024) は、モデル生成による事象の説明を加味した小学校理科における課題解決活動の中で、自己のモデルだけでなく、他者のモデルの変容や特徴をメタ認知することでモデルの理解が促進することを明らかにしている。

以上より、モデル生成による事象の説明を目指す理科授業の必要性が高まっており、その際、協働的な学習により学習効果が高まることが期待されている。一

方でモデル生成の分野として生命領域における生徒のモデリングに関する先行研究は限られている。また、生徒が協働する場面では、それぞれの生徒が有するモデルの種類、グループ内でのモデルの組み合わせが相互作用を左右する可能性があるが、その詳細は十分に検討されていない。そこで本研究は、中学校の光合成に関するモデル生成を題材として、グループでのディスカッションを通して生徒のモデルがどのように変容するのかを明らかにすることをリサーチクエスチョンとした。

II. 授業実践の概要

1. 授業実践の時期

2025年9月に授業者として授業実践を行なった。

2. 授業実践の対象と単元

松山市立の中学校2年生29名を授業実践の対象とした。授業の単元は、「植物のからだのつくりとはたらき (葉のはたらきについて)」であった。

3. 学習の流れ

現行の中学校学習指導要領理科は、「葉のはたらき」について、以下を理解させることをねらいとしている (文部科学省, 2017)。

- 光合成を行う器官であること
- 光合成は光のエネルギーを利用して、二酸化炭素と水からデンプンなどの有機物と酸素を生じる

反応であること

- 光合成が細胞中にある葉緑体で行われていること

本研究では、以上の内容に物質とエネルギーの視点を加え、学習者自身が自身の理解に基づいてモデルをつくり、光合成を説明することを授業の目標として設定した。

本授業で使用したワークシートの一部を図1に示す。本授業では、光合成に関する知識やモデルを教師から一方的に伝えて整理させるのではなく、生徒自身が自分の理解している内容を可視化し、他者と共有しながら説明を練り直していくことを重視した。そのため、個人でのモデル生成と、班での話し合いによるモデルの検討・修正を組み合わせた学習過程を設定した。これにより、生徒が自他のモデルを比較し、説明としての分かりやすさや妥当性について考える機会を確保するようにした。

授業の流れとして、まず、葉の光合成を説明する上で必要な情報として、光合成に関係する物質とエネルギーをまとめさせた。次に、そもそもモデルとはどのようなものかを説明した後、個人で葉の光合成のモデ

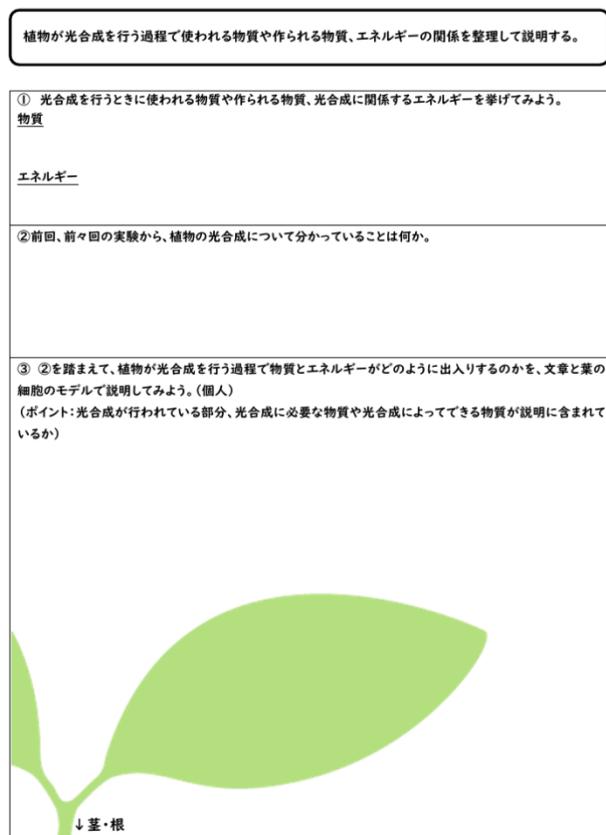


図1 本授業で使用したワークシート（一部）

ルをつくらせた。そして、各班3~5人の班に分け（合計7班）、グループディスカッションを行った後、各自でモデルを修正させた。

4. モデルの評価・分析の方法

生徒による葉の光合成のモデルの評価規準を独自に開発した（表1）。そして、授業中における修正前と修正後の両方のモデルについて評価を行った。

表1 葉の光合成のモデルの評価規準

① 光合成が葉緑体で行われていることを説明している	・①と②-1, 2を両方満たしていればA
②-1 光合成の材料（二酸化炭素と水）と生成物（酸素とデンプンなど）がすべて説明に含まれている	・①または②-1, 2を満たしていればB ・②-1のみを満たしていればC
②-2 光合成の材料（二酸化炭素と水）と生成物（酸素とデンプンなど）の流れを全て正しく説明している	・全て満たしていなければD
文章による補足説明もしている	（上記の評価）+
物質とエネルギーを分けて、エネルギーの流れについても説明している	（上記の評価）○

5. モデルの評価例

- A[○] 評価（図2）

光合成が葉緑体で行われていることを説明している。また、光合成の材料と生成物が全て説明に含まれており、それらの流れを正しく説明している。さらに、物質とエネルギーを分けて、エネルギーの流れについても説明している。

- B⁺ 評価（図3）

光合成が葉緑体で行われていることを説明しており、光合成の材料と生成物がすべて説明に含まれている。また、文章による補足説明をしている。

- C 評価（図4）

光合成の材料と生成物がすべて説明に含まれているが、葉緑体がかかれておらず、デンプンについての内容が実験結果と異なる。

- D 評価（図5）

二酸化炭素と酸素のみがかかれており、葉緑体や水、デンプンがかかれていない。

Ⅲ. 結果

表2に授業中における班での話し合いの前後にお

1. 協働を通じた光合成モデルの変容

表3より、グループ2は班での話し合いを通して、平均値の差が比較的大きくなっており、分散は最も小さくなっていることがわかる。そこで、グループ2の生徒の修正前のモデルを図6に、修正後のモデルを図7に示す。図6、7より、修正前の生徒①の気孔について

ての説明や、生徒③の葉緑体の中で起きている反応についての説明が、班での話し合いを通して統合されたモデルとして生成されていることがわかる。このことからグループ2では、生徒が自他のモデルを見比べながら、より説明しやすいモデルについて個人または班で考え、修正した様子が推察できる。

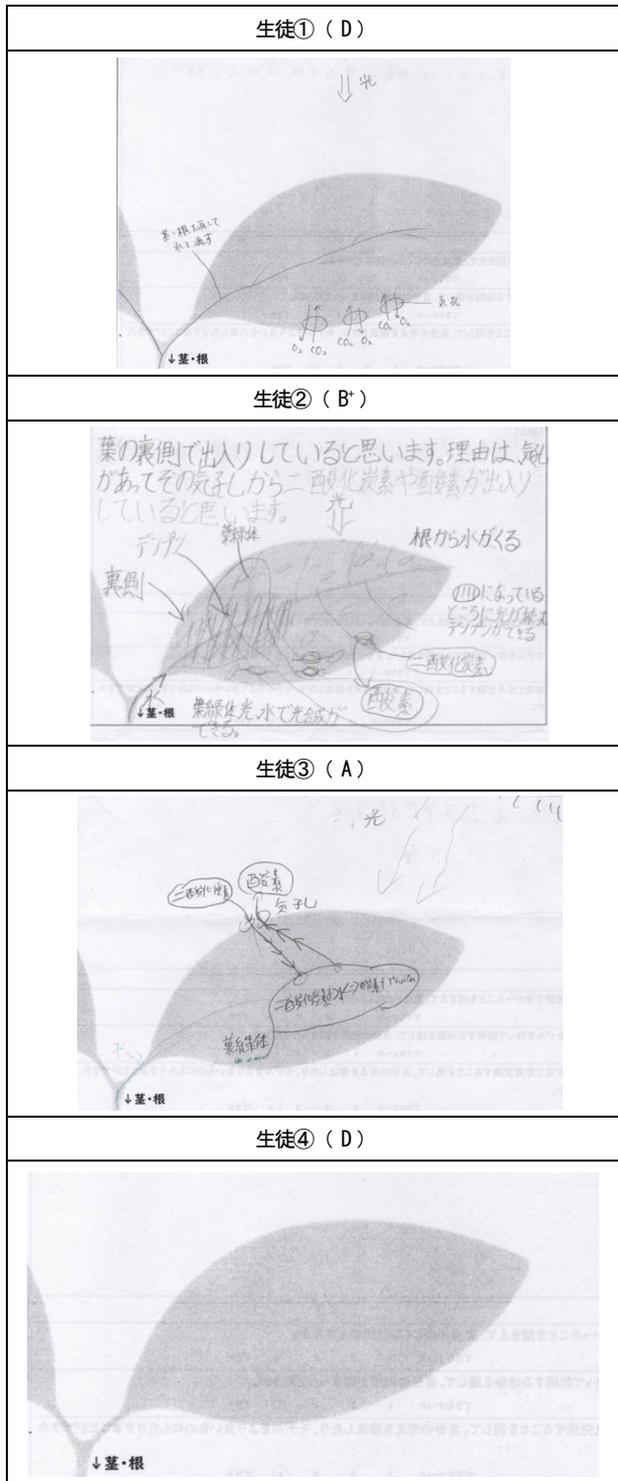


図6 グループ2の生徒のモデル (修正前)

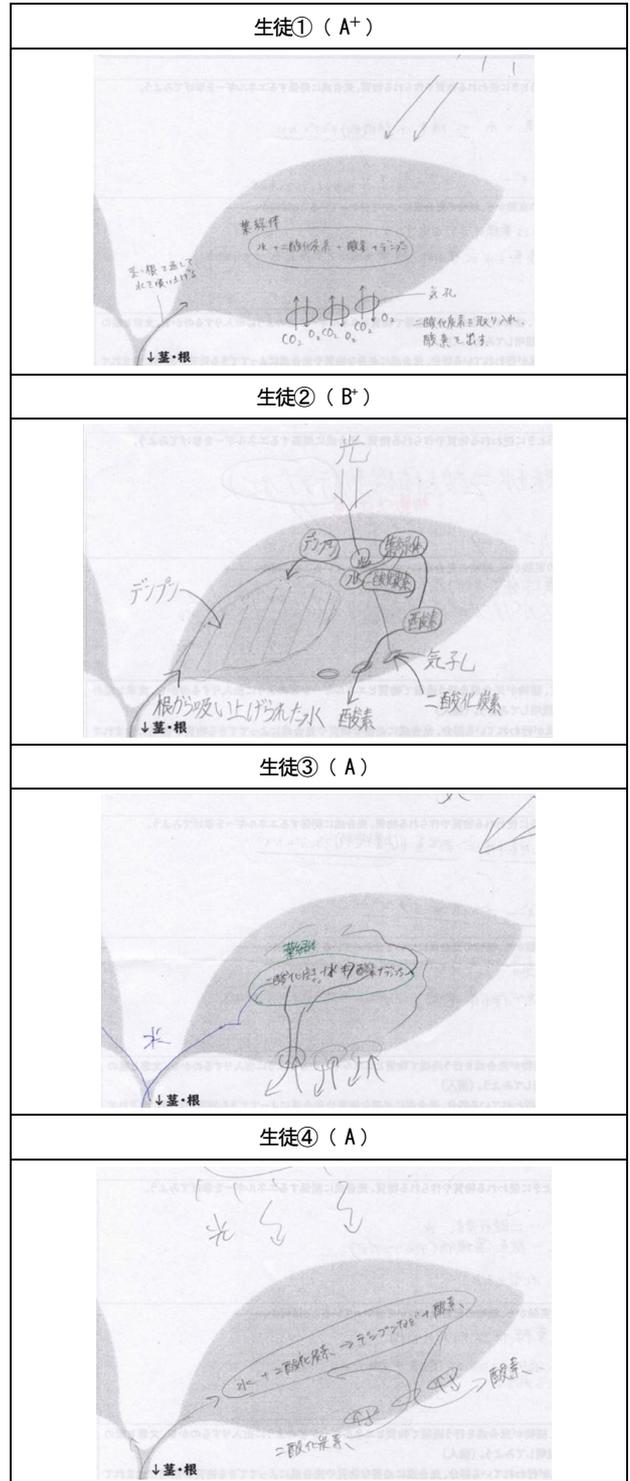


図7 グループ2の生徒のモデル (修正後)

次に、表3において、平均値の差が最も大きくなっており、分散は2番目に小さくなっているグループ3の生徒の修正前のモデルを図8に、修正後のモデルを図9に示す。図8において、修正前は生徒⑤のモデル

のみが比較的詳しく説明できていることがわかる。このグループについては、班での話し合いにおいて、生徒⑤のモデルを他の班員がそのまま写し取ったことが推察される。

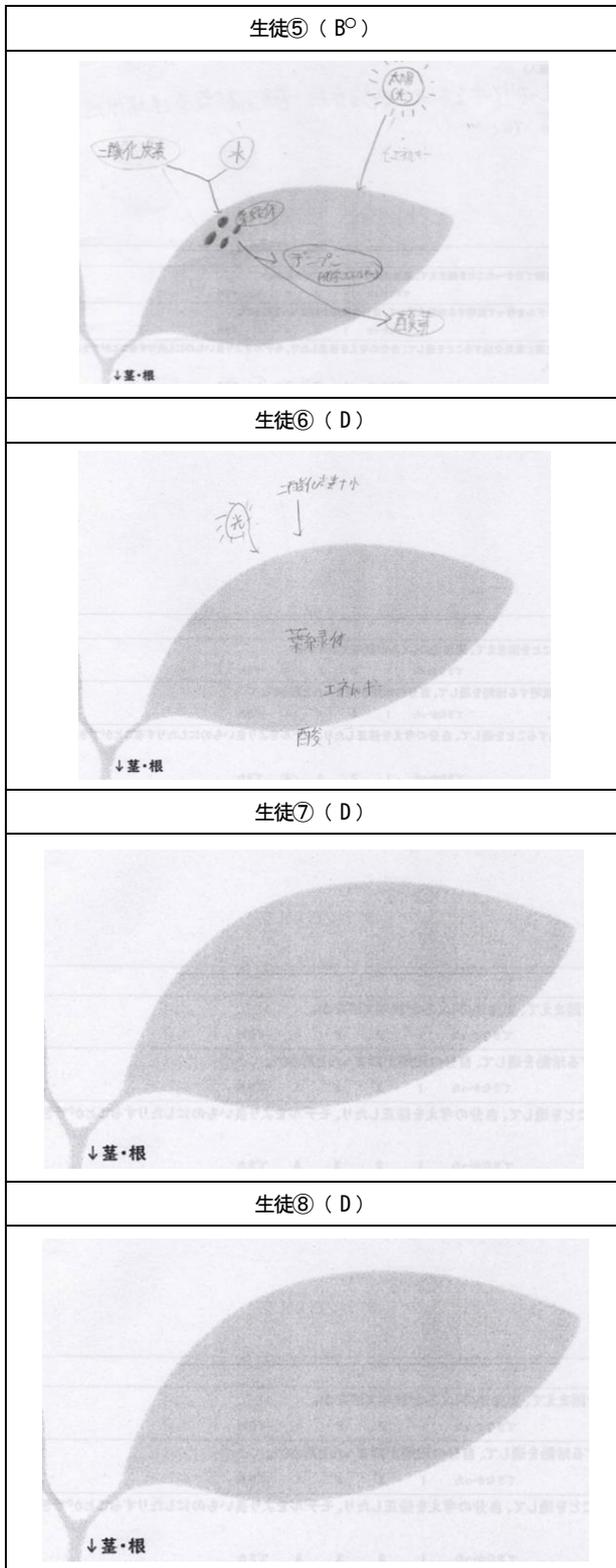


図8 グループ3の生徒のモデル（修正前）

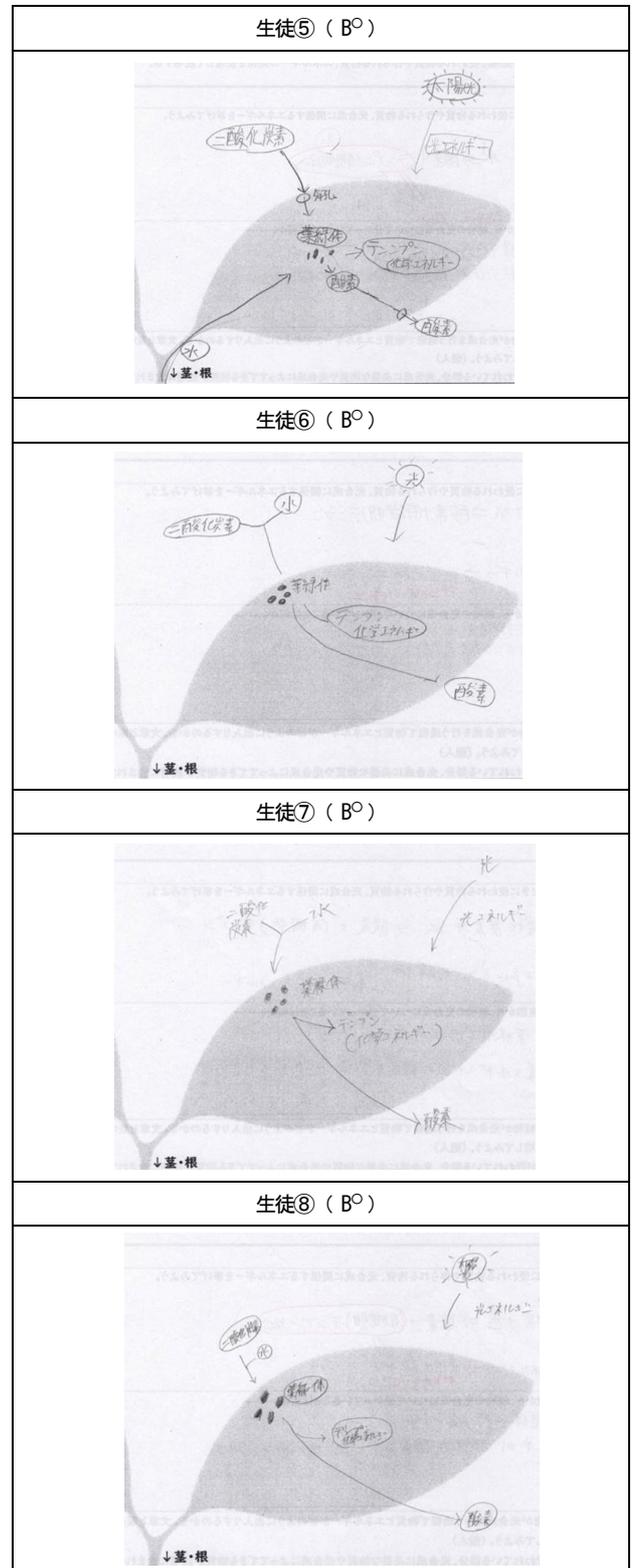


図9 グループ3の生徒のモデル（修正後）

すなわち、モデルの平均や分散による評価だけではわからない、班による協働の質の違いが明らかになった。また、いわゆる授業後のモデルの評価のみでは、本当に生徒の思考が深まっているか判断が難しいことも考えられる。協働の質を高めたり、生徒の思考を深めたりするような支援と評価が必要である。

2. 協働の質を規定する要因に関する仮説的検討

本研究の結果から、協働的なモデル生成においては、班によって協働の質の違いが生じていたことが明らかとなった。これらの違いは、単に学力差やモデルの完成度の差によるものではなく、協働の進め方や、班内で共有された視点の違いが影響していた可能性がある。具体的には、グループ2のように、複数の生徒のモデルを比較しながら、それぞれの良さを統合しようとする話し合いが行われた班では、モデルの質の向上とともに、班内の評価のばらつきも小さくなっていった。一方で、グループ3のように、特定の生徒のモデルをそのまま写し取る形で協働が進んだ班では、表面的には評価が向上したものの、モデルの妥当性を吟味する過程は十分とは言えなかったと考えられる。

これらのことから、協働の質を規定する要因として、①複数のモデルを比較・検討する視点が共有されていたか、②モデルと実験結果との整合性を確認する観点が話し合いの中で意識されていたか、③説明の目的に応じてモデルの適切性を問い直す働きかけがあったか、といった点が影響していた可能性が示唆される。

3. 学習者によるモデルに関する自己評価の必要性

本授業前に行った理科実験では、光合成により葉緑体中にデンプンがつくられていることが確認できていた。一方、図8の生徒⑤のモデルはデンプンが葉緑体の外に出ており、実験結果とは異なるモデルをかいいていた。グループ3はこのモデルを他の班員が写し取ったために、修正後も全員のモデルが不十分なままと考えられる。協働的な学習を行う場合であっても、学習者自身がモデル評価を行い、実験結果と一致するかを考える必要がある。

これについて、学習者が自身でモデルを評価することは、モデリング能力を高めるうえで重要なスキルであることが指摘されている (Cheng et al., 2021)。一方、松井ら (2025) より、中学生が溶解現象のモデリングを評価する活動において、得られた実験結果とモデルが一致するかを考える活動は、生徒にとっては難しいことも明らかにされている。したがって、モデル

生成による事象の説明を目指す協働の際には、生徒だけで話し合うのではなく、実験や観察の結果と異なる部分があるモデル等を教師がとりあげ、生徒自身に評価をさせる活動が有効であろう。

4. モデルのタイプと適切性

河野ら (2019) は、教科書には、構造を説明するための構造モデルと、機能を説明するための機能モデルがあると指摘している。東京書籍の理科の教科書に記載されている植物細胞のモデルと葉の光合成のモデルには、構造モデルと機能モデルがある。これらのモデルは、それぞれ区別して理解する必要があり、モデル生成による事象の説明を目的とする授業では尚更であると考えられる。

図10は、本授業で見られたある生徒のモデルの変容である。図10のモデルの変容は、単なる表現の修正ではなく、構造モデルと機能モデルという異なる性質のモデル間の移行として捉えることができる。構造モデルは、細胞や葉緑体といった構成要素の位置関係を捉えるうえで有効である一方、光合成における物質やエネルギーの流れを説明するには限界がある。これに

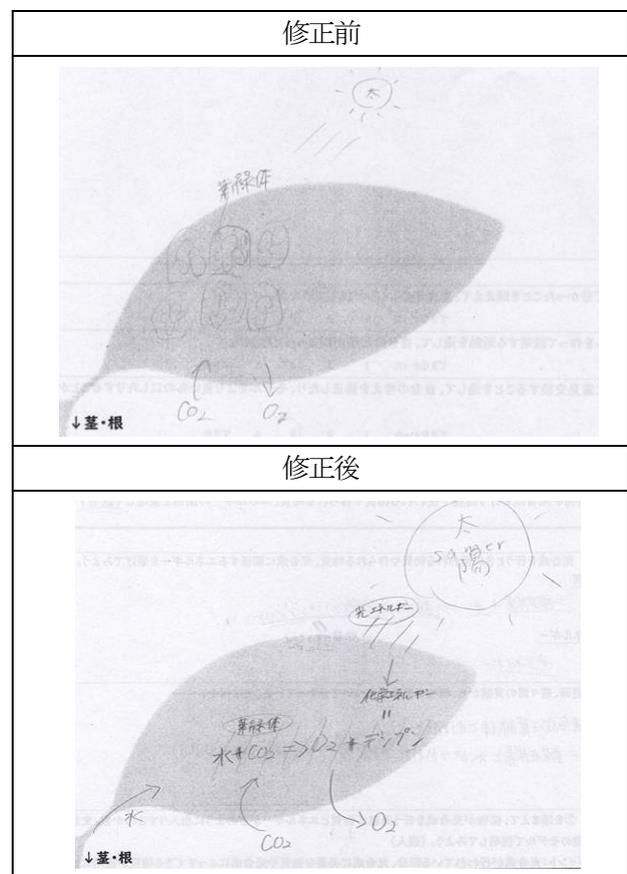


図10 ある生徒の構造モデルから機能モデルへの変容

対し、機能モデルは、現象の過程や関係性を説明するのに適している。本実践では、協働的な話し合いを通して、説明の目的に対して構造モデルだけでは不十分であることに気づき、機能モデルへと説明の枠組みを移行させた生徒が見られた。このことから、生命領域におけるモデル生成では、構造モデルと機能モデルを区別して扱い、説明の目的に応じて両者を使い分けたり、関連付けたりする支援が重要であると考えられる。

V. おわりに

本研究は、生命領域における協働的なモデル生成において、成果としてのモデルだけでなく、具体的な実践例に基づき、協働の質がモデルの変容に与える影響を示した点に新規性がある。先行研究におけるモデルベース学習は、単元を通して、実験や観察を通して事象を説明するモデルをつくり、モデルの修正を繰り返しながら自身の理解を吟味していく実践であった。本実践は1時数のみであったため、今後は単元を通じた実践も行いたい。一方で、全ての単元においてモデルベース学習が効果的とは限らない。特に生命領域では、分子-細胞-個体といった階層構造があり、単一のモデルで事象を説明するのは難しく、モデルの適切性の判断自体が難しい。今後モデルベース学習を実践する際には、効果的なモデルの種類やその生成のタイミングも含め、検討を行なっていきたい。

本研究で行った協働的なモデル生成は、生徒が互いのモデルを見比べながら、どのモデルがより説明に適しているかを検討し、修正していく学習活動であった。授業実践は、授業経験が浅い授業者による、ある学校の一クラスでの実践のみであることから、結果の一般化には限界がある。しかしながら、教師には、生徒同士の話し合いを任せきりにするのではなく、モデルと実験結果との整合性や、説明の目的に対するモデルの適切性に目を向けさせる働きかけが求められることが明らかとなった。特に、特定のモデルを写し取ることにとどまっている場合には、複数のモデルを比較させたり、説明の観点を問い返したりするなど、協働の質を高めるための意図的な介入が重要である。また、本研究において示唆された協働の質を規定する要因については、今後、授業中の発話や記述の分析を通して、より詳細に検討していく必要がある。

文献

- Cheng, M., Wu, T., & Lin, S. (2021). Investigation the relationship between views of scientific models and modeling practice. *Research in Science Education*, 51(1), 307-323.
- 猪口達也・和田一郎(2024) : 小学校理科における科学的な問題解決を促進するモデリング学習サイクルとメタ認知機能の関連についての事例的研究, *理科教育学研究*, 第65巻, 第2号, 309-322.
- 河野慶太郎・森藤義孝・甲斐初美(2019) : 中学校理科におけるモデルの取扱いに関する研究, *日本科学教育学会研究会研究報告*, 第34巻, 第2号, 33-36.
- 松井淳・山根悠平・稲田結美(2025) : 溶解現象のモデルの評価能力に関する中学生の実態, *理科教育学研究*, 第66巻, 第1号, 163-174.
- 文部科学省(2017) : 中学校学習指導要領解説 理科編 National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academic Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.