

科学的概念獲得の流れ（コンセプト・フロー）を用いた 高等学校理科（生物）「生物の体内環境とその維持」の授業実践

菊池 涼夏^{*1}・多部田 弘光^{*1}・原田 和雄^{*2}

理科教員高度支援センター

(2019年5月23日受理)

KIKUCHI, S., TABETA, H. and HARADA, K.: Practicing the use of Conceptual Flow Diagrams for facilitating the understanding of scientific concepts in High School Biology “Homeostasis of the Internal Environment”. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 71: 167-174 (2019) ISSN 2434-9380

Abstract

In science education, developing an understanding of scientific concepts and nurturing scientific thinking should be carried out in a reciprocal manner. The use of conceptual flow diagrams has been proposed as a tool to promote a comprehensive understanding of scientific concepts using scientific thinking. In this study, conceptual flow diagrams were used as teaching materials for High School Biology “Homeostasis of the Internal Environment”, and their effectiveness in facilitating the comprehensive understanding of scientific concepts was evaluated. The use of conceptual flow diagrams was shown to promote student understanding of the relationship between individual concepts, and to be effective in achieving a comprehensive understanding of the teaching unit “Homeostasis of the Internal Environment”.

Keywords: Scientific Concepts, Scientific Thinking, Conceptual Flow, Focus Questions, High School Biology, Homeostasis of the Internal Environment

Advanced Support Center for Science Teachers, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨： 理科教育において、科学的概念の理解と科学的思考力の育成が互恵的に行われることが重要である。科学的概念を科学的思考法により論理的に理解させるための手法として、コンセプト・フロー（Conceptual Flow）を用いることが提案されている。本研究では、高等学校理科（生物基礎）「生物の体内環境とその維持」の授業実践において、コンセプト・フローを用いることによる生徒の科学的概念の理解に対する効果について評価した。その結果、コンセプト・フローを用いた学習により、生徒は学習内容同士の「つながり」を意識することが促進されることが分かった。このことから、コンセプト・フローを用いた授業は、生徒が単元全体を総合的に理解するために有効であることが示された。

* 1 東京学芸大学 大学院 教育学研究科 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

* 2 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1. はじめに

科学的概念は、様々な事実や事柄の関係を明らかにする一般性のある見方・考え方であり、身の周りの事象や科学における重要な内容と結びつけて教えることが多い。理科教育において、科学的概念（コンセプト）の理解と科学的思考力の育成が互恵的に行われることが重要である。これにより、児童・生徒は論理的に身の回りの事柄を理解することができる。科学的概念を科学的思考法により論理的に理解させるためのツールとして、コンセプト・フロー（Conceptual Flow）を用いることが提案されている（DiRanna, 2008）。コンセプト・フローは、概念獲得の流れを図式化したものである。概念獲得の流れを考える時、最も一般性の高いコンセプトから出発して、階層的にこのコンセプトを理解させるための下位のコンセプトを設定する。この時、それぞれの下位の概念に焦点を当てたフォーカス・クエスチョン（Focus Question）を設定することにより、概念どうしの関連を理解させることができる（Lustik, 2010）。指導者がコンセプト・フローを作成し用いることにより、児童・生徒に教えた科学的概念が明確になり、その指導の順序が示される。また、児童・生徒の科学的概念の理解が評価しやすくなる。さらに、児童・生徒もコンセプト・フローを意識することにより、科学的概念を深く理解することができる。

東京学芸大学の理科教員高度支援センター（ASCeST）では教員研修を開発するためのツールとして、指導案の一種である「指導チャート」の設計法を含む Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking (ICST) システムを開発した（原田ほか, 2018）。ICST システムでは、コンセプト・フローによる概念獲得の流れを示すとともに、科学の技法である米国の次世代科学スタンダード（NGSS）のサイエンス・プラクティスを意識的に連動させることにより科学的思考法を用いさせ、研修内容をより深く学べるようにデザインされている。実際、事後のアンケート調査から、教員研修の中で、指導チャートの作成手順について受講者に理解を促すことにより、科学的思考法をより強く意識するようになった受講者が増加したことが明らかになった（松川ほか, 2019）。このことから、ICST システムを用いることは、学習指導要領で求められている学校の授業の中での「主体的・対話的で深い学び」（文部科学省, 2017a, 2017b）が実践可能となり、児童生徒の問題解決能力の育成に役立つことが期待される。高等学校の授業「恒星の進化」に

おける実践において、コンセプト・フローを明確にした ICST システムを用いることにより、生徒の科学的概念に理解に効果があることが実証された（小荒井ほか, 2018）。

本研究では、高等学校理科（生物基礎）「生物の体内環境とその維持」の授業実践において、コンセプト・フローを用いることによる科学的概念の理解に対する効果について評価した。

2. 「生物の体内環境とその維持」のコンセプト・フローを用いた教材開発

2.1 「生物の体内環境とその維持」の目標とその内容の特徴

高等学校学習指導要領理科編では、本単元の目標は「生物の体内環境の維持について観察、実験などを通して探求し、生物には体内環境を維持する仕組みがあることを理解させ、体内環境の維持と健康の関係について認識させる。」（文部科学省, 2009）と定められている。具体的な学習内容は循環系・神経系・内分泌系・免疫と多岐にわたるが、それぞれが体内環境の恒常性を保つために重要な役割を果たしているという点で共通している。

中道（2017）は、5つの教科書会社が出版した教科書について、総頁数に対する学習指導要領で定められている中項目の割合を調査した。その結果、生物基礎の中項目のうち「生物の体内環境」は配当頁数の割合が大きいことが示された。また、日本学術会議が発表している生物教育重要用語（2017）においても、生物基礎の学習内容の中で「生物の体内環境とその維持」の単元で学習すべき用語が最も多く選出されている。これらのことから、本単元は学習する内容が他単元と比較して最も多く、重要用語の暗記が中心となった学習になる傾向があると考えられる。さらに、本単元は授業時数が比較的多くなる傾向があり、中間試験・期末試験など、試験範囲によって学習内容が分断され、循環系・神経系・内分泌系・免疫系のそれぞれの内容を独立して学習しているという意識を生徒が持ちやすいと考えられる。「本単元で学習する個々の内容は、全て体内環境の維持に関わっている。」と生徒が実感できるような、単元全体を包括的に理解するための学習体系が必要とされる。

本単元の内容について、コンセプト・フローを作成し、生徒による単元の振り返りに際して利用することにより、「恒常性」という一つのキー・コンセプトから、恒常性を保つための様々な働き

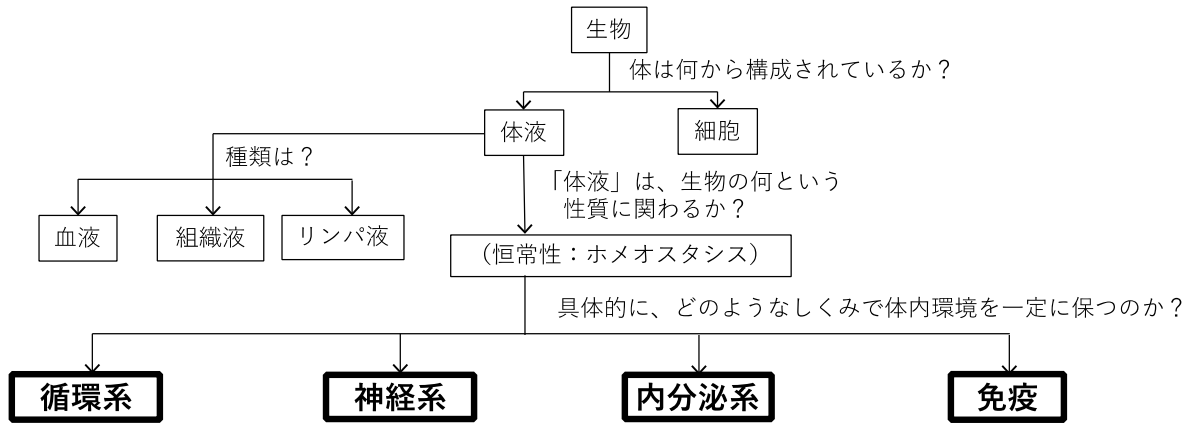


図1 単元「生物の体内環境とその維持」のコンセプト・フロー

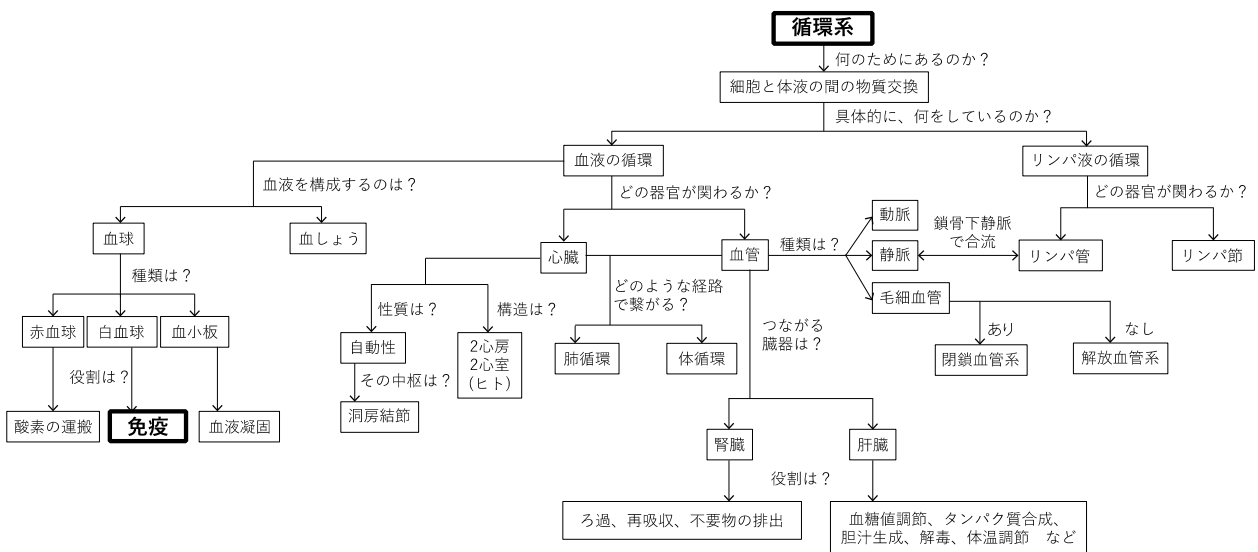


図2 「循環系」の内容に関するコンセプト・フロー

つながっているという実感を生徒に持たせることができるか検証した。このような指導法により、生徒は単に重要語の暗記をしたり、章ごとに独立した内容として学習したりするのではなく、単元全体としてつながりをもって体系的に理解することができるかと期待された。なお、コンセプト・フローにおける個々の科学的概念は、以下、キー・コンセプトと呼ぶこととする(原田ほか, 2018)。

2.2 「生物の体内環境とその維持」に関するコンセプト・フローの作成と授業の方法

本単元において生徒に獲得させるべき概念とそれらのつながりを明確化するために、原田ほか(2018)の手法を参考に以下の手順でコンセプト・フローを作成した(図1~4)。最初に、上位の最も一般性の高いコンセプトである「生物」から出発して、階層的にこのコンセプトを理解するための下位のキー・コンセプ

トを設定した(図1)。コンセプト・フローでは、それぞれのキー・コンセプトは四角で囲んだ。また、下位の概念に焦点を当てたフォーカス・クエスチョンを設定した。例えば、最上位のコンセプトである「生物」から下位のコンセプト「体液」と「細胞」を導くためのフォーカス・クエスチョンは、「体は何から構成されているか?」と設定した。「体液」の下位のコンセプトについても同様に、「種類は?」「体液」は生物の何という性質に関わるか?と設定し、キー・コンセプト「恒常性: ホメオスタシス」の位置付けを明確にした。さらに、「具体的にどのようなしくみで体内環境を一定に保つのか?」と設定し、「循環系」、「神経系」、「内分泌系」、「免疫」という4つの小単元の内容の位置付けを明らかにした。教科書内での小単元において中心となるコンセプト(「循環系」「神経系」「内分泌系」「免疫」)は太枠で囲った。

次に、太枠で囲ったそれぞれのコンセプトを最上位

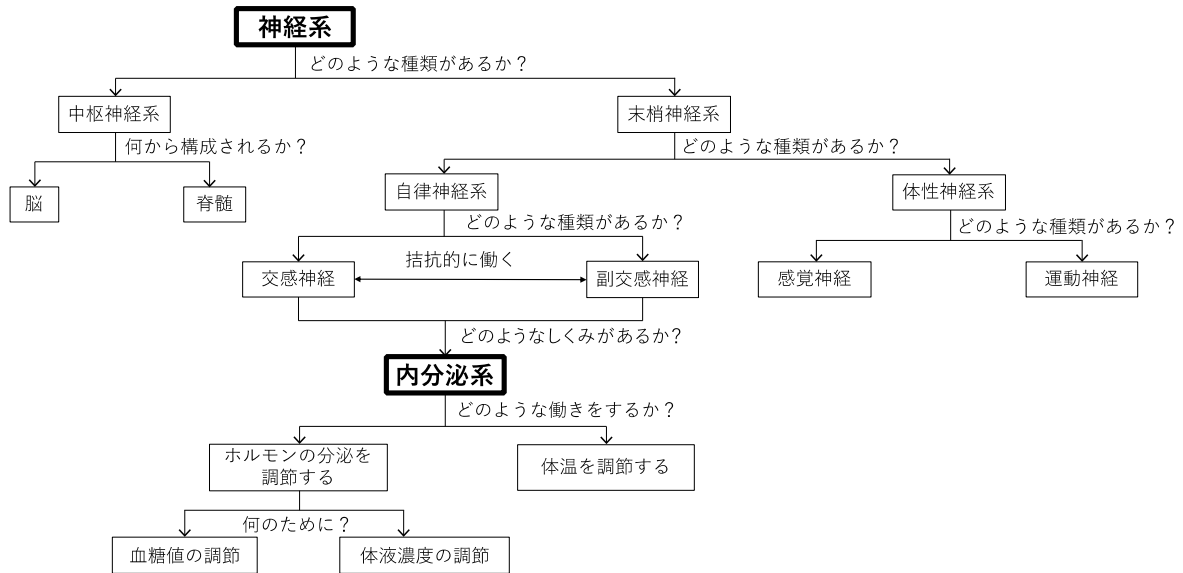


図3 「神経系」の内容に関するコンセプト・フロー

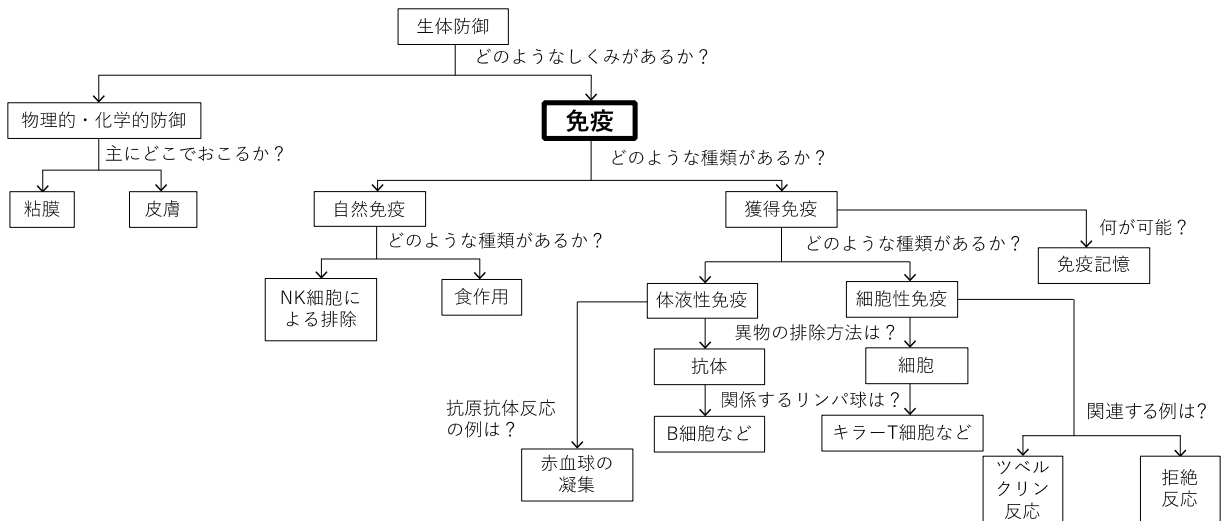


図4 「免疫」の内容に関するコンセプト・フロー

のコンセプトとして、それぞれのコンセプト・フローを作成した(図2~4)。「内分泌系」に関しては、「神経系」よりも下位のキー・コンセプトとして設定した(図3)。また、「免疫」に関するコンセプト・フローでは、体内の恒常性を保つための機構であることが意識づけられるように、異物の侵入などにより乱された体内環境を正常な状態に復帰させる(恒常性を保つ)しくみである「生体防御」を上位のコンセプトとして追加した(図4)。

授業実践は、中央大学附属中学校・高等学校において、2018年9月~12月に高校2年生(3クラス)を対象に行った。実際の授業は、表1に示した流れで行った。単元全体の導入では、図1のコンセプト・フローの板書を行い、生徒に単元全体の見通しをもた

せるように留意した。また、小単元が変わる際にはその都度生徒にコンセプト・フローを参照するように促し、その学習内容が「恒常性」というキー・コンセプトにつながることを確認した。個々の授業内容に関しては、作成したコンセプト・フローをもとに、概念の流れを授業者自身が常に意識しながら行った。

3. 授業実践

3.1 授業実践の内容

定期試験前の最後の授業(二時間連続授業のうち、その一時間目)の際に、コンセプト・フロー(図1~4)を配布し、それをういながら単元全体の授業内容を振り返った。まず、単元全体の概要を示したコン

表 1 単元「生物の体内環境とその維持」の指導計画

学習内容 (3章「生物の体内環境とその維持」)		時間数	試験範囲
1節 体内環境	体内環境と体液	1	中間試験 (※)
	体内環境維持のしくみ	7	
2節 体内環境維持のしくみ	中枢神経系と末梢神経系	1	期末試験
	自律神経系による調節	2	
	内分泌系による調節	2	
	自律神経系とホルモンによる調節	2	
3節 免疫	生体防御と免疫	1	
	獲得免疫のしくみ	2	
	免疫と疾患	3	
単元全体のまとめ	コンセプト・フローを用いた復習	2 (本時)	

(※) カリキュラムの都合上, 4章「生物の多様性と生態系」の内容も試験範囲に含まれる。

セプト・フロー (図 1) を用いて本単元の構成を再確認した。その後, 循環系・神経系・内分泌系・免疫それぞれの内容について, より詳細なコンセプト・フロー (図 2~4) を用いてキー・コンセプト同士のつながりを確認した。この授業を行った時の試験範囲は, 神経系・内分泌系・免疫の内容であったが, 前回の試験範囲の内容である循環系についても取り扱った。このことにより, 神経系・内分泌系・免疫は, 循環系とともに体内の恒常性の維持に関わる機構であることを改めて確認し, 「生物の体内環境とその維持」の単元全体としての理解の促進を目指した。

また, 後半の一時間では単元全体の学習内容を振り返るための自習時間を設けた。その際, 生徒からの質問に答えることと平行して, 自習時間においてコンセプト・フローの活用をのぞき方を観察した。コンセプト・フローを用いた単元全体の振り返りの後に設けた自習時間には, 配布されたコンセプト・フローを用いて復習をする生徒が多く見られた。配布したコンセプト・フローは, 教科書の太字部分を全て組み込んだものではなく, 主要なキー・コンセプトの流れを示したものであるため, 自身でコンセプト・フローに書き足していきながら学習内容の整理を行っている生徒もいた。また, 今回の定期試験の範囲外である循環系の学習内容を振り返る生徒もおり, 循環系や神経系といった各節ごとではなく, 単元全体として学習する姿勢が見られた。

3.2 生徒の反応と授業方法の評価

コンセプト・フローを用いた授業実践の後に, 授業に参加した生徒全員にアンケート調査を実施した (図 5)。アンケート調査の設問は, 「Q1 コンセプト・フローの考え方が理解できましたか?」「Q2 コンセプト・フローを用いたことで, 「恒常性」の単元をより

深く理解できたと思いますか?」「Q3 コンセプト・フローのように, 学習内容のつながりを理解することは大切だと思いますか?」「Q4 コンセプト・フローを用いたことで, 新たな発見はありましたか?」「Q5 それは, どのような発見でしたか? (Q4 で「そう思う」と回答した人のみ)」「Q6 コンセプト・フローを用いた学習は, 試験勉強のために有効 (効率よく勉強が可能) だと思いますか?」「Q7 コンセプト・フローを用いた授業を, 今後も希望しますか?」「Q8 その他, 授業への感想・意見など」とした。

その結果, Q4 以外の全ての質問 (自由記述の Q5 と Q8 を除く) で, 8 割以上の生徒が「そう思う」「どちらかと言えばそう思う」と回答した (図 6)。このことから, 本授業実践で使用したコンセプト・フローは, 「生物の体内環境とその維持」の単元全体の理解を促進するために有用な教材であると考えられる。Q4 については 7 割程度の生徒が「そう思わない」と回答したが, これはコンセプト・フローを構成するキー・コンセプトが全て既習事項であり, 「コンセプト・フローから未知の内容を学習した。」という実感がわきにくいことが一因であると考えられる。Q4 で「そう思う」と回答した生徒は, その後の Q5 において, コンセプト・フローから得た発見について, 「つながり」「まとまり」「関係性」などの語句を使用して回答し (表 2), 新たな知識体系の構築を「新たな発見」と考えていることが分かった。Q8 への回答 (表 3) では, コンセプト・フローを用いた今回の授業実践の内容について, 肯定的な感想を持つ生徒が多いことが分かった。特に復習的な用途としての有効性を感じていた回答が何人か見られた。

- Q1 コンセプト・フローの考え方が理解できましたか？
 そう思う・どちらかと言えばそう思う・どちらかと言えばそう思わない・そう思わない
- Q2 コンセプト・フローを用いたことで、「恒常性」の単元をより深く理解できたと思いますか？
 そう思う・どちらかと言えばそう思う・どちらかと言えばそう思わない・そう思わない
- Q3 コンセプト・フローのように、学習内容のつながりを理解することは大切だと思いますか？
 そう思う・どちらかと言えばそう思う・どちらかと言えばそう思わない・そう思わない
- Q4 コンセプト・フローを用いたことで、新たな発見はありましたか？
 そう思う・そう思わない
- Q5 それは、どのような発見でしたか？(Q4で「そう思う」と回答した人のみ)
 自由記述
- Q6 コンセプト・フローを用いた学習は、試験勉強のために有効(効率よく勉強が可能)だと思いますか？
 そう思う・どちらかと言えばそう思う・どちらかと言えばそう思わない・そう思わない
- Q7 コンセプト・フローを用いた授業を、今後も希望しますか？
 そう思う・どちらかと言えばそう思う・どちらかと言えばそう思わない・そう思わない
- Q8 その他、授業への感想・意見など
 自由記述

図5 アンケート調査の各設問とその回答様式

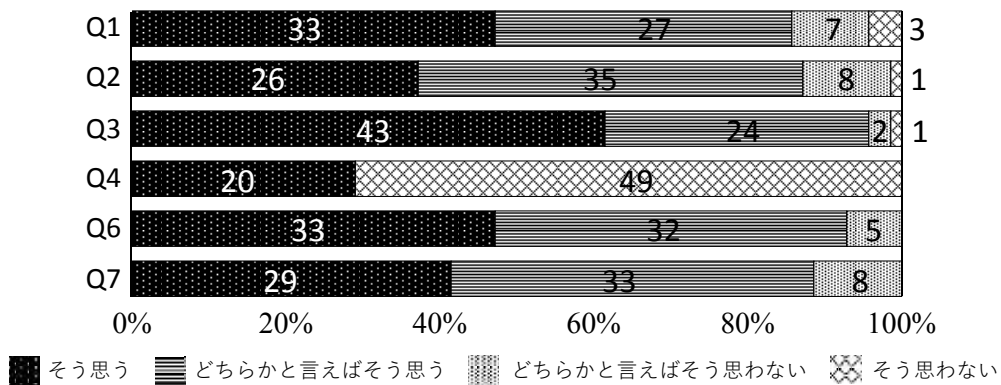


図6 アンケート調査の各設問に対する回答

4. 授業方法に関する考察

4.1 授業者による授業方法の評価

本授業実践は、「生物の体内環境とその維持」の単元のまとめにあたる内容であった。単元全体として見ると、中間試験と期末試験をまたいで行う、長期間にわたる単元であった。教科書の内容通りの進行では、循環系・神経系・内分泌系・免疫の各小単元が、あたかも独立した内容のようにとらえられ、体内環境を一定に保つ働きをしているという共通性が抜け落ちたまま学習が進んでしまう恐れがある。そのため、本授業実践において、コンセプト・フローを用いてそれらの共通性やつながりを生徒に実感させることを目的に取り組んだ。そして、アンケート結果からその目的は概ね達成できたと考えられる。

また、本単元の授業が始まる前に単元全体のコンセ

プト・フローを作成してから授業に臨んだところ、授業者側として循環系・神経系・内分泌系・免疫の学習内容が恒常性というキー・コンセプトにつながっているという意識を改めて強くもつことができた。さらに、キー・コンセプト同士のつながりを整理したことで、各授業に関しても論理の流れをスムーズに構成することができた。生徒が単元全体の学習内容を体系的に理解するための授業づくりをするにあたって、コンセプト・フローを作成することは、授業者にとっても意義があると考えられる。

今回の授業実践に関するアンケートの自由記述欄に、「(コンセプト・フローを)自分で書いてみたい」というような記述があった。生徒たち自身に記述させていき、コンセプト・フローを完成させるという授業形態では、今回の方法よりもより能動的な学習になり、定着度も高くなる可能性がある。キー・コンセプ

表2 アンケート調査の設問 Q5 における自由記述の内容

Q5
・思ったよりつながりが多く細かい。
・つながりが図によってわかりやすく見れた。
・そこがつながるんだーって思いました。
・やったことのがつながりがよく分かり覚えやすくなった。
・つながりがわかりやすくなった。
・分からなかった関係性が見えるようになったと思う。
・神経のつながりがわかりやすかった。
・全体のつながりが全然分からずにいたので、 どこどこがつながっているのかが一目でわかりやすかった。
・理解しやすい。
・まとめて書いてあるので再確認できて分かりやすかった。
・免疫が恒常性の中に入ることや体液性免疫と細胞性免疫が獲得免疫に入ること。
・単語同士がつながり、意味が理解できた。
・免疫の仕組みがわかった。
・ゴチャゴチャしてたのが、まとまりがあって関連しているところがわかりました。

表3 アンケート調査の設問 Q8 における自由記述の内容

Q8
・生物好きです。
・分かりやすいです
・ちょっと難しかった。
・一回一回学んだことをすぐ覚えられるようにするために「節」ごととかに小テストしてほしいです。
・わかりやすいと思います。
・コンセプトフローがあると今勉強していることを大きな枠組み客観視できてよかったです。
・コンセプトフローって素敵ですね。
・元々自分の体のことなので知っていることもあったが、 授業を通して初めて知ることも多かった。それがどのようなものなのかも知れた。
・単元が終わったらコンセプトフローを配ってもらえると復習しやすいので次からお願いしたいです。
・楽しかったです。
・自分で書きたいと思うことがありましたが、正解が分からなかったので、とてもいいと思います。
・中間→期末のつながりがわかりやすいと思った。
・関連づけて覚えることで、理解が深まった。
・復習のためのいい教材だと思う。

トの選出や、それらをどのように科学的思考法に基づいて繋いでいくかなどを十分に指導することを念頭に、今後は生徒自身がコンセプト・フローを作成する授業設計も検討していく。

4.2 科学的概念獲得の方法としての授業方法の評価

コンセプト・フローを用いた今回の授業実践では、個々のキー・コンセプト同士のつながりを生徒に意識させることができ、科学的概念を体系的に獲得するために有効な授業方法であったと考えられる。アンケート調査の回答結果から、8割以上が今後もコンセプト・フローを用いた授業を希望しており、生徒自身もコンセプト・フローを用いた学習の有効性を感じてい

ることが分かった。今後、コンセプト・フローを用いた授業実践が広く行われていくことで、科学的概念獲得のための授業実践がさらに発展していくことが期待される。

5. 結論

- (1) 高等学校理科(生物基礎)に含まれる「生物の体内環境とその維持」の授業内容について、科学的概念獲得の流れをコンセプト・フローとして図式化し、フォーカス・クエスチョンを設定した。
- (2) 授業実践を通して、コンセプト・フローを用い

た学習を有効だと考える生徒は多く、学習内容同士の「つながり」を意識することが促進されることが分かった。そのため、コンセプト・フローを用いた授業は、生徒が単元全体を体系的に理解するために有効であると評価した。

謝辞

本研究を進めるに際して、中央大学附属中学校・高等学校の岡崎弘幸氏にご指導・協力を頂きましたので、謝意を表します。本研究は、科学研究費補助金(19H01665)の支援を受けて実施されました。

引用文献

- DiRanna, K., Osmundson, E., Topps, J., Barakos, L., Gearhart, M., Cerwin, K. Carnahan, D. and Strang, C., 2008: "Assessment-centered teaching: a reflective practice", Corwin Press & WestEd.
- 小荒井千人・松川正樹・原田和雄, 2018: 科学的思考力を育成するための方法を用いた高等学校理科(地学)「恒星の進化」の授業実践. 東京学芸大学紀要, 自然科学, 70, 151-159.
- 日本学術会議, 2017. 高等学校の生物教育における重要語の選定について. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170928-1.pdf>
- 原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川正, 2018. 科学的思考力を育成する理科教員研修の体系的な構築法—指導チャートの意義—. 科学教育研究 42, 407-418.
- 長谷川正・原田和雄・松川正樹, 2017. 理科教員研修のデザイン—科学的思考と問題解決能力の育成を目指して—, 東京学芸大学紀要, 自然科学 69, 321-334.
- Lustick, D., 2010: The Priority of the Question: Focus Questions for Sustained Reasoning in Science. *Journal of Science Teacher Education* 21, 495-511.
- 松川正樹・原田和雄・吉野正巳・長谷川正, 2019. 理科の教員研修による研修受講者への効果. 東京学芸大学紀要, 自然科学 71, 175-181.
- 文部科学省, 2009. 高等学校学習指導要領(平成21年告示). http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2010/01/29/1282000_6.pdf
- 文部科学省, 2017a: 小学校学習指導要領(平成29年告示). http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_4_3_2.pdf
- 文部科学省, 2017b: 中学校学習指導要領(平成29年告示). http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf
- 中道貞子, 2017. 高等学校「生物基礎」教科書における用語と頁数について—初版と改訂版の比較—, 生物教育 59, 19-25.