東京学芸大学リポジトリ
Tokyo Gakugei University Repository

ICSTシステムによる授業における生徒の概念獲得の評価の試み：高等学校理科 (生物基礎)「遺伝子とその働き」の授業実践を例に

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-01-21 キーワード (Ja): キーワード (En): ICST system, High School Biology, Genes and their Function, Rubric-based assessment 作成者: 棚村,慧史, 原田,和雄 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/00173473

東京学芸大学紀要　自然科学系　73: 70－78，2021

ICSTシステムによる授業における生徒の概念獲得の評価の試み

―― 高等学校理科（生物基礎）「遺伝子とその働き」の授業実践を例に ――

棚　村　慧　史*1・原　田　和　雄*2

生命科学分野

（2021年8月16日受理）

TANAMURA, S. and HARADA, K.: Assessing Students Understanding of Scientific Concepts through the Use of the ICST System: High School Biology (Basic Biology) “Genes and their Function”. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 73: 70–78. (2021)

ISSN 2434–9380

Abstract

The ICST system, which is based on the construction of a conceptual flow diagram that determines the instructional sequence, has been developed as a framework for assisting instructors so that students are able to learn scientific concepts (key concepts) through scientific thinking. In this study, the ICST system was used for classroom teaching of Senior High School Biology (Basic Biology), and the student’s understanding of scientific concepts was evaluated. When assessing the student’s understanding of scientific concepts, the conventional self-check survey was compared to a descriptive test and Rubric-based test. As a result, the use of the ICST system, which assists the student in deriving key concepts based on scientific reasoning, was found to be effective in understanding scientific concepts through scientific thinking. In addition, it was suggested that sharing the criteria for evaluation with the students is useful for objective evaluation of the student’s understanding.

Keywords: ICST system, High School Biology, Genes and their Function, Rubric-based assessment

Division of Life Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要　旨

児童生徒が理科で学習する概念を科学的に獲得するための方法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）システムが開発されている。本論文では，ICSTシステムを用いて，原田ほか（2018）の手法により，高等学校生物基礎「遺伝情報とタンパク質の合成」について授業実践し，科学的概念の獲得について評価を行った。その際に，これまでチェック・テストによる自己評価のみで評価されていた科学的概念の獲得について，ルーブリック方式や自由記述方式についても実施し，評価方法の検討を行った。その結果，ICSTシステムを用いた授業において，フォーカス・クエスチョンをもとにキー・コンセプトを導き出すことを通して授業を展開していく過程には科学的な根拠を必要とするため，科学的な概念を獲得できる方法であるこ

＊1　九里学園高等学校（992-0039　山形県米沢市門東町 1-1-72）／（現所属）仙台市立仙台青陵中等教育学校（989-3201　宮城県仙台市青葉区国見ケ丘 7-144）
＊2　東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野（184-8501　東京都小金井市貫井北町 4-1-1）

とが示された。また，科学的概念の獲得の評価について，ルーブリック表を用いて生徒と授業者で評価基準を共有することで，より客観的な評価とすることができると考えられる。

キーワード: ICSTシステム，高等学校生物，遺伝子とその働き，ルーブリックによる評価

1．はじめに

児童生徒が理科で学習する概念を科学的に獲得させるための方法として，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)システムが開発された（原田ほか，2018）。ICSTシステムにおいて作成する指導チャートは，理科で学習する概念を科学的に獲得させる道筋を示すことに特徴がある。理科教育の観点として，自然科学の事象の理解と自然科学の方法の習得があり，本システムを用いて授業を設計することにより，両者を互恵的に働かせることが可能になる。ICSTシステムは，①コンセプト・フローの設計（児童生徒に理解させたい概念の抽出・配列，フォーカス・クエスチョンの設定），②プロセス・スキルの設定，③指導チャートの作成，④チェック・テストの実施を体系的に授業実施することで自然科学の方法を習得するための，科学的思考法による問題解決能力を育成できることが示されている（小荒井ほか，2018；田子ほか，2020）。本システムを用いた学校での授業実践として，高等学校の地学分野「恒星の進化」（小荒井ほか，2018），高等学校の生物分野「生物の体内環境とその維持」（菊池ほか，2019），中学校の物理分野「光とものの見え方」（田子ほか，2020），中学校の化学分野『「状態変化」と「気体の性質」』（淺原ほか，印刷中），中学校地学分野「気象」（田子ほか，印刷中）がある。これらの授業実践では生徒による科学的概念獲得を評価するため，チェック・テストを行った。このチェック・テストでは，それぞれの項目（概念）について生徒が「理解できた」，「だいたい理解できた」，「理解できなかった」について自己評価をさせた。このような選択式の回答は，記述による回答方法と比較して，生徒の理解を正しく評価できないことが考えられる（北尾，2013）。

本研究では，高等学校理科（生物基礎）「遺伝子とその働き」の授業実践において，ICSTシステムを用いることによる科学的概念の理解について，その評価方法に関する検討を行った。すなわち，従来のチェック・テストによる自己評価のほか，ルーブリックを用いた自己評価，および，自由記述に対する指導者の評価の3種類の評価を行い，比較することにより生徒の理解について考察した。

2．科学的思考の育成のための「遺伝情報とタンパク質の合成」の教材開発

「遺伝情報とタンパク質の合成」は，生物基礎の生物と遺伝子の中の「遺伝子とその働き」において扱う。この章では，生物と遺伝子について観察，実験などを通して探究し，細胞の働き及びDNAの構造と機能の概要を理解させ，生物についての共通性と多様性の視点を身につけることを目標としている（文部科学省，2017）。教材開発では，生徒に理解させたい概念を抽出し，次の概念を論理的に導くためのフォーカス・クエスチョンを設定し，「遺伝情報とタンパク質の合成」の最下位から最上位の概念にたどり着くためのコンセプト・フローを図式化し，それを基に指導チャートを作成した。授業を実践し，評価を行った。

本実践を通して生徒に理解させたい科学的概念は階層構造を呈し，これらの概念を理解する流れを明確化するために，原田ほか（2018）の手法を参考にコンセプト・フローを作成した（図1）。最も素朴な概念として「生命活動」を抽出し，この最下位の概念から階層的に上位の概念を抽出して配置した。

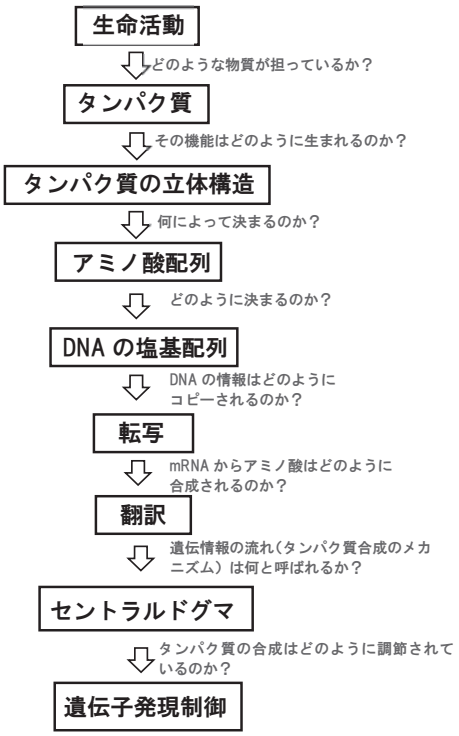

図1 「遺伝子とその働き」のコンセプト・フロー

遺伝情報とタンパク質の合成を理解する上で，最も素朴な概念は「生命活動」として抽出した。そして，「どのような物質が担っているか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。この質問により，生命を構成する重要な役割を果たす物質にはタンパク質や脂質，炭水化物，核酸など多くの物質から構成されているが，その中でも，酵素やホルモンなどで重要な役割を果たすものがタンパク質であることとその機能を理解させる。これにより生徒は上位の概念の「タンパク質」を獲得する。次に，タンパク質の立体構造を理解するために，「その機能はどのように生まれるのか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。この質問により，タンパク質が機能を果たすためには，二次構造から四次構造までの立体構造を取る必要があり，それぞれの特徴を理解することができる。これにより「タンパク質の立体構造」の概念を獲得する。さらに，タンパク質の立体構造を決めているものを理解するために，「何によって決まるのか？」というフォーカス・クエスチョンを設定した。この質問により，タンパク質の一次構造，つまりアミノ酸配列によりタンパク質の二次構造から四次構造までが決定し，その機能に違いが見られることを理解させる。これにより，「アミノ酸配列」の概念を獲得する。次に，アミノ酸配列は「どのように決まるのか？」というフォーカス・クエスチョンによって，DNAの塩基配列とアミノ酸配列の関係性について考えさせる。この質問により，生物の遺伝情報の違いは，DNAの塩基配列の違いであることを気づかせる。これにより「DNAの塩基配列」の概念を獲得する。次に，「DNAの情報はどのようにコピーされるのか？」というフォーカス・クエスチョンを用いて，タンパク質とDNAの関係性について理解させる。この質問により，「転写」によってDNAの情報がRNAに写し取られることを理解する。次に，「mRNAからアミノ酸はどのように合成されるか？」というフォーカス・クエスチョンにより，「翻訳」の過程により，tRNAがアミノ酸を運搬し，アミノ酸が連結されてタンパク質が合成されることを理解する。次に「遺伝情報の流れは何と呼ばれるか？」というフォーカス・クエスチョンによって，遺伝情報がDNAからRNA，そしてタンパク質へと伝達され，その一方向の流れをセントラルドグマと呼ぶことを理解する。「タンパク質の合成はどのように調節されているか？」というフォーカス・クエスチョンによって，すべての細胞は同じ情報を持ち，分化の過程において，異なる細胞では異なるタンパク質が合成されることを気づかせる。これによって，遺伝情報とタンパク質の合成における最上位の概念である「遺伝子発現制御」の概念を獲得する。

指導チャートは授業内容を３つに分割し，キー・コンセプトとそれを引き出すためのフォーカス・クエスチョンを配置した（表１）。次の列に示したプロセス・スキル（PS）は，事物・現象について科学的思考力を用いて科学的な概念を形成する際に用いる技法（方法や考え方）である（原田ほか，2019）。プロセス・スキルは９つに整理され，①観察，②情報の収集・評価・伝達，③予測，④問題の明確化，⑤仮設の設定，⑥観察・実験の計画・実行，⑦データの分析・解釈，⑧モデルの作成，⑨仮設・モデルの再評価・検証からなる。指導チャートのプロセス・スキル（PS）の列には，生徒がそれぞれのキー・コンセプトを導く時に用いるスキルを記載した。次の列にどのような資料を提示するかも明示することで，他の教員も授業内容を理解しやすくなるよう工夫した。さらに，次の二つの列には，指導者の働きかけ，および，期待される生徒の活動を記載した。授業の概要を把握するだけでなく評価まで一貫して行えるようにし，実用性を高めるため，各キー・コンセプトに対する評価の欄を設けた。生徒は科学的思考を活用し，DNAの塩基配列という遺伝情報からタンパク質が合成される過程について，論理的に説明できることができるようになると考えられる。

３．授業実践の内容

作成した指導チャートに基づき，高校１年生を対象に，生物基礎の教科書，資料集を使用し，全５時間での授業を実施した。

３．１　事前調査の実施

生徒が「遺伝子」と「遺伝子の働き」という概念をどの程度理解しているのか，また，これらの概念に対する理解がどのように変化するのかを明らかにするために事前調査を実施した（表２）。事前調査は問１「遺伝子に関するイメージはどのようなものか」，問２「遺伝子の働きとはどのようなものか」に対する自由記述方式で回答を得た。その結果，上位３つは「人によって違う」「受け継がれる」「DNA」などの正しい理解が見られた。同時に，「難しくてわからない」，「複雑である」という回答も多かった。

中学校学習指導要領（以下，指導要領）における「遺伝の規則性」の変遷を整理すると，表３のようになる。平成元年・10年告示の指導要領までは，遺伝

表1 「遺伝子とその働き」の指導チャート

授業内容		キー・コンセプト	フォーカスクエスチョン	PS	提示する資料	指導者の働きかけ	生徒の活動	ルーブリック評価 （A・Bを満たさない場合はC）	
過程	タイトル							A	B
1	生命活動とタンパク質	生命活動	―	②	生体を構成する物質	・生体において，どのような物質がどのような割合で含まれているかを理解させる。	・生体において，水，タンパク質，脂質，核酸などが多く含まれることを理解する。	Bに加え，各物質のおおよその割合と，タンパク質が水に次いで多いことを理解する。	生体において，水，タンパク質，脂質，核酸などの含まれる物質を理解している。
		タンパク質	どのような物質が担っているか	②	生体で働くタンパク質（図）	・生体においてどのようなタンパク質が存在し，機能するのか理解させる。（「細胞と分子」復習を含む）	・生体においてどのようなタンパク質があり，どのような機能を持つものかを理解する。	Bに加え，具体的なタンパク質と機能をあげることができる。	生体において，タンパク質が重要な役割を担っていることを理解している。
		タンパク質の立体構造	タンパク質の機能はどのように生まれるのか	②	ヘモグロビンの立体構造モデル（図） 一次～四次構造までの詳細なモデル（図）	・ヘモグロビンの立体構造のモデルを提示し，一次から四次構造によって，タンパク質の機能が決定していることを理解させる	・タンパク質が機能するためには，立体構造をとることが重要であり，その結合を理解する	Bに加え，タンパク質の一次構造から4次構造までの特徴をあげることができる。	タンパク質が機能するには，立体構造を取る必要があることを理解している。
		アミノ酸配列	タンパク質の立体構造は何によって決まるのか	② ③ ⑦	ヘモグロビンの立体構造モデル（図）	・タンパク質の一次構造について，ヘモグロビンを例に説明する。 ・鎌状赤血球貧血症の塩基配列を提示し，アミノ酸配列にどのような変化が見られるか気づかせる。 ・鎌状赤血球貧血症とマラリア流行地域に相関がみられる理由について考察させる。	・タンパク質の一次構造によって，タンパク質の立体構造が決まることに気づく。 ・鎌状赤血球貧血症の塩基配列を提示し，アミノ酸配列にどのような変化が見られるか気づかせる。 ・鎌状赤血球貧血症とマラリア流行地域に相関がみられる理由について考察する	Bに加えて，一次構造の違いが，タンパク質の立体構造に与える影響について，具体例を挙げることができる。	タンパク質の一次構造によって，タンパク質の立体構造が決まることを理解している。
		DNAの塩基配列	アミノ酸配列はどのように決まるのか	② ③	様々な生物のDNAの塩基の割合（表）	・遺伝子の本体であることを確認する（中学の復習） ・様々な生物のDNAを構成する塩基の割合を提示し，生物の遺伝情報の違いは，塩基配列の違いであることに気づかせる	・DNAが遺伝子の本体であることを理解する。 ・生物のDNAに含まれる塩基配列には違いがあり，この違いによりアミノ酸配列の違いが生じることに気づく	DNAの塩基配列の違いによって，アミノ酸の配列が異なることに気づく。	DNAの配列が遺伝子の本体であることを理解している。
2	セントラルドグマとタンパク質の合成	転写	タンパク質はDNAからどのように合成されるのか DNAの情報はどのようにコピーされるか？	②	転写の概要（動画） RNAの構造（図）	・転写についての資料を提示し，DNAのうちの一方の鋳型鎖をもとにmRNAが合成される過程であることに気づかせる。 ・なぜ，RNAを介した情報伝達が必要なのかについて議論させる。 ・DNAとRNAの違いを理解させる	・DNAの遺伝情報は，一時的にRNAに写し取られることで伝えられることを理解する ・DNAとRNAの違いを理解する	Bに加えて，DNAとRNAの性質の違いを理解し，転写にRNAが用いられている理由を理解している。	転写とは，DNAの遺伝情報が，一時的にRNAに写し取られることで伝えられる過程であることを理解する
		翻訳	mRNAからアミノ酸はどのように合成されるか。	②	・翻訳の概要（動画） ・レーニンバーグとコラーナの実験概要（表）	・翻訳についての資料を提示し，mRNAの塩基配列をもとにtRNAがアミノ酸が運搬し，アミノ酸が結合させることに気づかせる。 ・ニーレンバーグ，コラーナらの実験を提示し，遺伝暗号について理解させる	・塩基配列によりアミノ酸の種類は指定されることを見出す。 ・3つの塩基配列の組み合わせにより，アミノ酸が指定されることを理解する。	Bに加えて，コドンを指定する塩基が3つの組み合わせからなることを理解している。	翻訳とは，mRNAの塩基配列をもとにtRNAがアミノ酸が運搬し，アミノ酸が結合させる過程であることを理解している。
		セントラル・ドグマ	・遺伝情報の流れは何と呼ばれるか ・DNAの塩基配列の変異はどのような影響を与えるか	② ⑤	・遺伝情報の流れ（動画） ・ウイルスの生活環（図） ・鎌状赤血球貧血症のDNA配列（表）	・DNAが自己複製し，転写によってRNAが生じ，RNAをもとに翻訳が行われてタンパク質が合成されるという流れを理解させる。 ・逆転写についても理解させる。 ・DNAの変異はタンパク質にどのような影響を与えるか気づかせる。	・DNAの塩基配列が，タンパク質のアミノ酸配列に変換されることを見出す。 ・DNAの変異はタンパク質にどのような影響を与えるか気づかせる。	逆方向の遺伝情報の流れ（逆転写）があることについても，具体例をあげることができる。	DNAが自己複製し，転写によってRNAが生じ，RNAをもとに翻訳が行われてタンパク質が合成されるという流れを理解している。
3	タンパク質合成の調節	遺伝子発現制御	タンパク質の合成はどのように調整されているのか	① ⑥	・パフの観察（転写の調節） ・分化した細胞の例（図）	・すべての細胞は同じ情報を持ち，分化することによって，異なるタンパク質を合成されることに気づかせる。	・個体を構成する細胞は遺伝的に同一だが，細胞の機能に応じて発現している遺伝子が異なることを理解する。	細胞の機能に応じて発現している遺伝子が異なることを理解している。	個体を構成する細胞は遺伝的に同一であることを理解している。

表2 事前調査の結果

1．遺伝子に関するイメージ

回答の特徴	数	%
DNA	4	21
受け継がれるもの	3	16
ヒトによって違うもの	3	16
難しい，複雑である	3	16
重要なもの	2	11
生物の体は遺伝子に基づいて形成されている	2	11
形状に関するもの	1	5
その他	1	5

2．遺伝子の働き

回答の特徴	数	%
ヒトの能力，容姿，体質，病気を決定する	8	42
遺伝情報を与えるもの（保持するもの）	5	26
染色体を構成するもの	2	11
子へと受け継がれるもの	2	11
分からない，難しい	2	11

表３　中学校学習指導要領　遺伝の規則性についての記述の変遷

学習指導要領 告示年	遺伝の規則性についての記述 （「内容の取扱い）より）
平成元年	(6)　内容の（5）については，次のとおり取り扱うものとする。 ア　イの（イ）については，一つの形質を扱うものとし，**遺伝の規則性**は遺伝子を想定して説明できることを**扱うこと**。
平成10年	(6)　内容の（5）については，次のとおり取り扱うものとする。 ア　イの（ア）については，有性生殖の仕組みを減数分裂と関連付けて簡単に扱うこと。その際，遺伝の**規則性は扱わない**こと。「無性生殖」については，単細胞の分裂や挿し木，挿し芽を扱うにとどめること。
平成20年	(6)　内容の（5）については，次のとおり取り扱うものとする。 ア　アの（ア）については，染色体が複製されることにも触れること。 イ　アの（イ）については，有性生殖の仕組みを減数分裂と関連付けて扱うこと。「無性生殖」については，単細胞生物の分裂や栄養生殖にも触れること。 ウ　イの（ア）　については，**分離の法則を扱う**こと。また，遺伝子に変化が起きて形質が変化することがあることや遺伝子の本体がDNAであることにも触れること。
平成29年	(7) 内容の（5）については，次のとおり取り扱うものとする。 ア　アの（ア）の㋐については，染色体が複製されることにも触れること。 イ　アの（ア）の㋑については，有性生殖の仕組みを減数分裂と関連付けて扱うこと。「無性生殖」については，単細胞生物の分裂や栄養生殖にも触れること。 ウ　アの（イ）の㋐については，**分離の法則を扱う**こと。また，遺伝子の本体がDNAであることにも触れること。 エ　アの（ウ）の㋐については，進化の証拠とされる事柄や進化の具体例について扱うこと。その際，生物にはその生息環境での生活に都合のよい特徴が見られることにも触れること。また，遺伝子に変化が起きて形質が変化することがあることにも触れること。

の規則性を遺伝子を想定して説明できることを扱う，または遺伝の規則性は扱わないという取り扱いであった（文部科学省，1989；文部科学省，1998）。しかし，平成20年告示の指導要領からは「分離の法則を扱う」ようになるだけでなく，染色体の複製や遺伝子の変化，遺伝子の本体がDNAであることを扱うようになり，学習内容がより複雑で高度になっていることがこのように感じる一つの要因であると考えられる（文部科学省，2007；文部科学省，2016；文部科学省，2017）。

また，「遺伝子の働き」については，「ヒトの能力，容姿，体質，病気を決定する」という概念が４割を超え，「遺伝情報を与えるもの」，「保持するもの」という答えも２割を超えた。しかし，タンパク質との関係について回答した生徒は一人もいなかった。高校の学習内容として，「DNAとタンパク質の関係性」を明確にし，概念形成する必要性があると確認できた。

３．２　生徒の活動

授業に際して，フォーカス・クエスチョンを生徒への「課題」として授業プリントにまとめて配布した。生徒は，フォーカス・クエスチョンに対して，与えられた資料を基にグループで議論をしながら解答を作り上げていく。この議論は，データや資料を基に進められるので，科学的な思考力を育成する場になる。グループによっては，どのように回答すればよいか戸惑う場面もあったが，ほとんどの場合はグループ間での情報共有・議論によって解決することができた。また，それでも解決できない場合には，授業者が介入して身近な例や追発問を行った。

３．３　授業者の取り組み

従来の授業では，「課題」に対する話し合いを基本とした共同学習を取り入れた授業を行っている。これまでの課題プリントにはキーワード（キー・コンセプト）が提示され，その現象や意味するところを議論しながら解答を作っていくという過程であった。しかし，コンセプト・フローを用いた授業では，フォーカス・クエスチョンにキーワードが入っていないため，生徒は何を聞かれているのか戸惑っている場面が見られた。例えば，これまでの授業では「転写とはどのような現象か」という課題であり，キー・コンセプトを含んだ形で提示されていたが，ICSTシステムにおいては「DNAからどのようにしてｍＲＮＡが合成されるのか」というキー・コンセプトが隠された形で提示される。これにより，単純に教科書の説明を覚えたり，説明するのではなく，各種の資料を比較したり，関連付けしたりできるかが問われ，思考力・判断力・表現力を鍛えることができるようになると期待される。

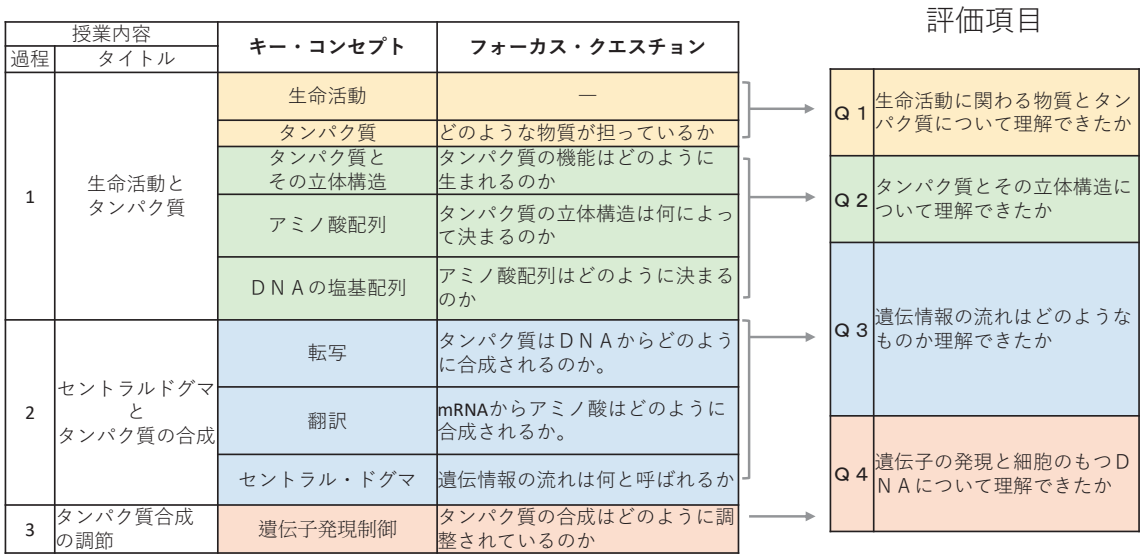

図２　指導チャートと評価項目の関係

３．４　生徒の反応と教材の評価

これまでの課題プリントにはキーワード（キー・コンセプト）が提示され，その現象や意味するところを議論しながら解を作っていくという過程であった。しかし，フォーカス・クエスチョンにはキーワードが入っていないため，生徒は何を聞かれているのか戸惑っている場面が見られた。例えば，これまでは「転写とはどのような現象か」という課題であり，キー・コンセプトを含んだ形で提示されていたが，ICSTシステムにおいては「DNAからどのようにしてmRNAが合成されるのか」というキー・コンセプトが隠された形で提示される。

生徒の概念獲得を評価するために，指導チャートをもとに，「生命現象に関わる物質とタンパク質について理解できたか」「タンパク質とその立体構造について理解できたか」「遺伝情報の流れはどのようなものか理解できたか」「遺伝子の発現と細胞の持つDNAについて理解できたか」の４つの評価項目にまとめ（図２），ルーブリック表を作成した。これらの設問に対して，３つの評価方法を同じ対象に実施した。実施した順は，自由記述（表４）・チェック・テストによる自己評価（表５）（小荒井ら，2018；田子ら，2020），ルーブリック表（表６）を用いた自己評価とした。自由記述については，ルーブリック表をもとに教員がA～Cの評価を付けた。チェック・テストとルーブリックに関しては，生徒がA～Cの自己評価を行った（図３）。その結果，全４設問に共通する特徴として，一般的な試験と同様にチェック・テストやルーブリックなどの選択式回答よりも，自由記述回答の方が正答率は低くなった。このような傾向は記述回答方式が知識理解だけでなく，論理的思考を必要とし，より回答の難易度が上昇するためと考えられる。設問３について，他の設問に比べて自由記述におけるA＋Bの割合が２割以上も高かった。この理由として，DNAからRNA，そしてアミノ酸・タンパク質へと遺伝情報が流れていくという概念を表す「セントラルドグマ」という用語が概念の理解を促進したためであると考えられる。ルーブリックにおいては，概ね７割～８割の生徒が「よく理解できた」「大体理解できた」の解答をしており，授業の実施によって概念形成が促進されたと考えられる。

３．５　授業者による教材の評価

ICSTシステムを用いた授業では，生徒に理解させたい概念をフォーカス・クエスチョンにより引き出し，思考の論理性を構築させ，問題解決を促す。授業者にとっては，科学的思考を育成するための授業設計が容易になり，コンセプト・フローによって授業の流れを単純化，明確化し，使用する資料，語句，説明を精選，抽出することができる。

「遺伝情報とタンパク質の合成」に関する内容は，実物を見ることができない・容易に実験を計画することが困難なため，理解を促すための工夫が必要である。実際，３種類の評価結果からも，生徒にとって理解しにくい内容であったことがわかる。今後，改善策としてコンピュータ上でタンパク質のモデリングができるソフト（UCSF Chimera, Jmolなど）を用いて，より体感的・３次元的にタンパク質の立体構造を学習する授業設計が求められる。

表４　評価方法①　自由記述

		記述
Q1	生命活動に関わる物質とタンパク質について理解できたか。	
Q2	タンパク質とその立体構造について理解できたか。	
Q3	遺伝情報の流れはどのようなものか理解できたか。	
Q4	遺伝子の発現と細胞のもつDNAについて理解できたか。	

表５　評価方法②　チェックテスト

		A	B	C
Q1	生命活動に関わる物質とタンパク質について理解できたか。	よく理解できた	大体理解できた	理解できなかった
Q2	タンパク質とその立体構造について理解できたか。	よく理解できた	大体理解できた	理解できなかった
Q3	遺伝情報の流れはどのようなものか理解できたか。	よく理解できた	大体理解できた	理解できなかった
Q4	遺伝子の発現と細胞のもつDNAについて理解できたか。	よく理解できた	大体理解できた	理解できなかった

表６　評価方法③　ルーブリック表

		A	B
Q1	生命活動に関わる物質とタンパク質について理解できたか。	Bに加え，具体的なタンパク質と機能をあげることができる。	生体において，タンパク質が重要な役割を担っていることを理解している。
Q2	タンパク質とその立体構造について理解できたか。	Bに加え，タンパク質の一次構造から4次構造までの特徴をあげることができる。	タンパク質が機能するには，立体構造を取る必要があることを理解している。
Q3	遺伝情報の流れはどのようなものか理解できたか。	Bに加え，mRNAの三つの塩基配列をもとにして，アミノ酸の種類が決定することを理解している。	DNAが自己複製し，転写によってRNAが生じ，RNAをもとに翻訳が行われてアミノ酸の配列が決定されるという流れを理解している。
Q4	遺伝子の発現と細胞のもつDNAについて理解できたか。	Bに加え，個体の部位に応じて，発現している遺伝子が異なることを理解している。	個体を構成する細胞は遺伝的に同一であることを理解している。

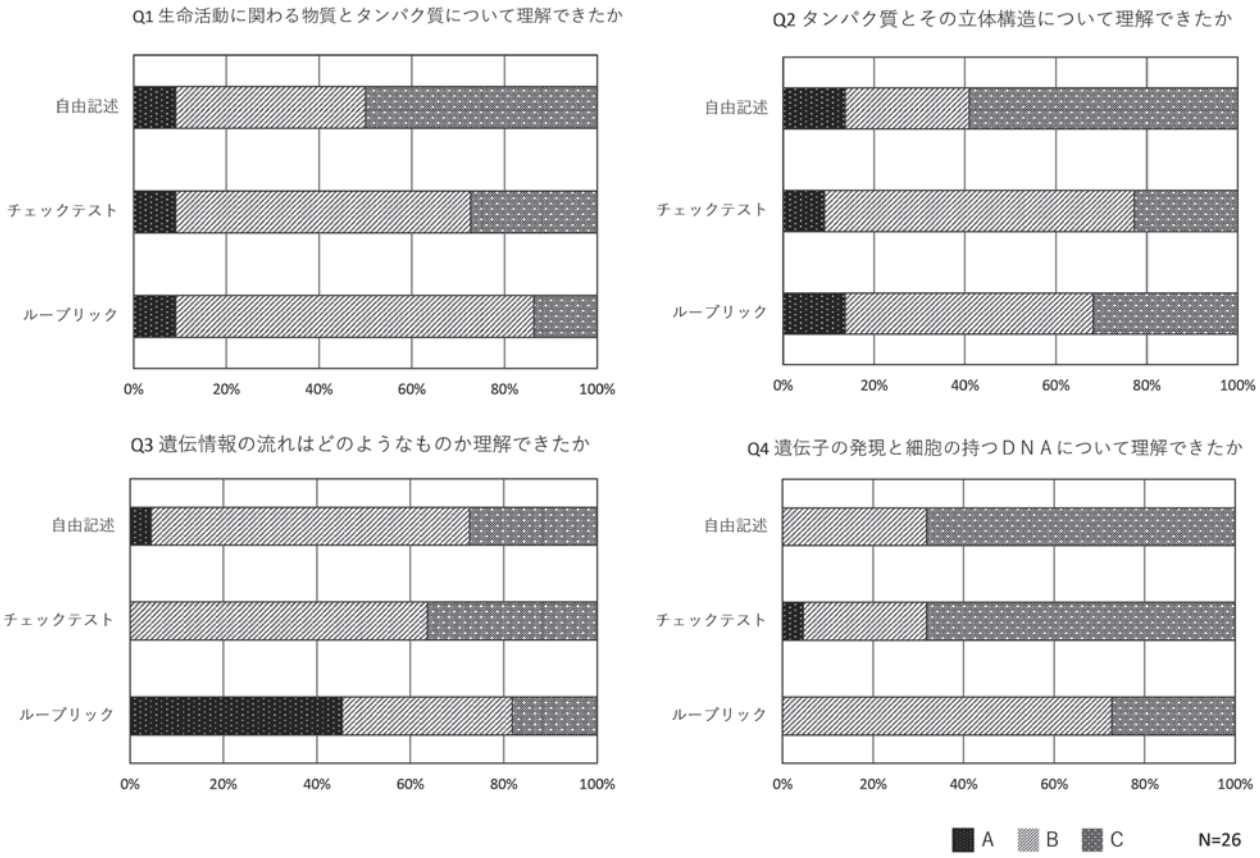

図３　評価方法①～③の結果の比較

４．評価方法についての検討

４．１　概念獲得の評価

概念を獲得できたかどうかについて評価する方法として，自由記述，チェック・テスト，ルーブリックの３種類を用いた。チェック・テストについては客観性に欠けるため，自由記述やルーブリック評価が有効であると考えられる。ルーブリック評価については，授業者と生徒とで評価基準を共有できる点で優れているが，実際の生徒の理解については，チェック・テストと同様に生徒の自己評価に任せることになる。自由記述については，設問で何を聞かれているか分からないと記述できない点やある程度文章の型を習得させる必要があるため，検討が必要である。自由記述方式を実現する上で，評価する教員側の負担が大きいという課題が挙げられる。年間を通したICSTシステムの運用を考えた場合，単元や内容のまとまり毎にフロー・チャートを作成し，授業実施，評価を行うことを考えると自由記述を採点するためには多くの時間を割かなければならず，多くの教員にとって実現可能性が高いとは言えないのではないかと考える。また，採点基準の作成のためには，本実践のようにルーブリック等を作成しなければならないが，このルーブリックの提示によって，児童・生徒の学習意欲や振り返りによる学習速度の向上も見込めると考えられる。以上のことから，科学的概念の獲得を評価するためには，ルーブリック表による評価が適していると考えられる。

４．２　科学的思考力の評価

科学的概念の獲得については，ルーブリック評価によって評価できると考えられるが，科学的思考力の獲得について評価するためには，科学的思考の活用を用いるような課題を与える必要があると考えられる。

５．結論

(1) コンセプト・フローとフォーカス・クエスチョンを図式化し，プロセス・スキルの技法を適応した指導チャートとワークシートを作成する方法（ICSTシステム）を用いて，高校生物基礎「遺伝情報とタンパク質の合成」の授業用教材を開発し，授業を実践した。

(2) ICSTシステムを用いた授業は，フォーカス・クエスチョンをもとにキー・コンセプトを導き出すことを通して授業を展開していく。この過程には科学的な根拠を必要とするため，科学的な概念の獲得とともに，科学的思考力を同時に獲得できる方法であると考えられる。

(3) 科学的概念の獲得の評価について，ルーブリック表を用いて生徒と授業者で評価基準を共有することで，より客観的な評価とすることができると考えられる。

謝辞

ICSTプロジェクトの研究会においては，貴重なご意見，議論を頂き，研究を深めることができた。謝意を表する。本研究には，科学研究費補助金（19H01665）を使用した。

引用文献

淺原（印刷中，これから記述します）

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.

原田和雄・松川正樹・吉野正巳・長谷川正，2019．科学的思考力を育成するための教員研修とプロセス・スキルの再検討．東京学芸大学紀要　自然科学系71，159−165.

菊地涼夏・多部田弘光・原田和雄．2019．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．東京学芸大学紀要　自然科学系71，167−174.

北尾倫彦．2013．観点別学習状況の評価基準と判定基準．図書文化

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　自然科学系70，151−159

文部科学省，2017，高等学校学習指導要領（平成30年告示）

文部科学省，2016，中学校学習指導要領（平成29年告示）

文部科学省，2007，中学校学習指導要領（平成19年告示）

文部科学省，1998，中学校学習指導要領（平成10年告示）

文部科学省，1989，中学校学習指導要領（平成元年告示）

文部科学省．平成27年12月22日．高大接続システム改革会議・配布資料

首都圏模試センター．2017.「子供の学力の新観点　思考コードを知っていますか？」．https://www.syutoken-mosi.co.jp/column/entry/entry000668.php

田子　豪・小荒井千人・原田和雄・松川正樹，2020.ICSTシステムを用いた理科の授業における生徒と教員への効果―中学校理科第１分野「光とものの見え方」を例として

―. 東京学芸大学紀要　自然科学系72. 97-109
田子　豪・小荒井千人・原田和雄・松川正樹,（2021）ICSTシステムの授業で，帰納的なアプローチを取り入れる試み　―中学校理科気象分野の指導を例に―. 東京学芸大学紀要　自然科学系，印刷中.