



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	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「光ともの見え方」を例として( fulltext )
Author(s)	田子,豪; 小荒井,千人; 原田,和雄; 松川,正樹
Citation	東京学芸大学紀要. 自然科学系, 72: 97-109
Issue Date	2020-10-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2309/159759">http://hdl.handle.net/2309/159759</a>
Publisher	東京学芸大学教育実践研究推進本部
Rights	

## 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「光ともの見え方」を例として ——

田子 豪\*<sup>1</sup>・小荒井 千人\*<sup>2</sup>・原田 和雄\*<sup>3</sup>・松川 正樹\*<sup>4</sup>

環境科学分野

(2020年7月7日受理)

TAGO, T., KOARAI, K., HARADA, K. and MATSUKAWA, M.: The effect of the ICST system on students and teachers in the science classroom: as an example of “Light and How We See Objects” in Junior High School Science (Field 1). Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 72: 97-109. (2020) ISSN 2434-9380

### Abstract

The objective of science education is to ensure that students learn basic scientific concepts and acquire skills necessary for scientific thinking and problem solving. The ICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking) system was developed as a framework for helping teachers to organize teaching plans so that students can learn scientific concepts through scientific thinking. In this study, the ICST system was used for classroom teaching of Junior High School Science (Field 1) “Light and How We See Objects”, and the ability of the students to use scientific thinking in their understanding of the subject was evaluated. Many students thought that they were able to use scientific thinking in a self-evaluation, suggesting that the ICST system was effective in nurturing scientific thinking. Based on a comparison between the classroom teaching using in the ICST system and those not using the system, the significance and effects of the classroom teaching using the system were considered. It was found that the ICST system provides an opportunity for teachers to organize scientific thinking processes, facilitate classroom design, and simplify classroom teaching.

**Keywords:** scientific thinking, ICST system, “Light and How We See Objects”, Junior High School Science

*Department of Environmental Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan*

**要旨:** 理科では、自然の事象とそれを科学的に理解する方法を学ぶ。これにより、児童・生徒が、科学の概念を形成し、科学的思考力を身につけることを目標にしている。児童・生徒に理科で習得する概念を科学的に活用させるための手法としてICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking; 科学的思考を育成するための指導チャート) が開発されている。本論文では、ICSTシステムを用いて、中学校理科第1分野「光ともの見え方」を例に授業を実践し、受講した生徒の科学的思考の活用について評価した。その結果、多くの生徒は、フォーカス・クエスチョンにより、下位から上位の概念を引き出していると自己評価したため、ICSTシステムを用いた授業は、科学的思考の方法を習得する方法として適していると考えられる。また、ICSTシステムの有無による授業を比較し、このシステムを用いることに対する授業者の意義や効果について考察した。その結果、科学的思考力を身につける上で、ICST

\* 1 北見市立北光中学校 (090-0824 北海道北見市北光 328-12)

\* 2 慶應義塾横浜初等部 (225-0012 神奈川県横浜市青葉区あざみ野南 3-1-3)

\* 3 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)

\* 4 東京学芸大学 (184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1)

システムを用いた授業を実践することの有用性が示され、その授業実践は、生徒だけでなく、授業者自身にも大きな成果が得られると考えられる。

## 1. はじめに

理科では、自然の事象とそれを科学的に理解する方法を学ぶ。これにより、児童・生徒が、科学の概念を形成し、科学的思考力を身につけることを目標にしている。児童・生徒に理科で習得する概念を科学的に獲得させるために、理科の指導システムが開発されている(原田ほか, 2018)。このシステムは、ICST (Instructional Charts for nurturing Scientific Thinking: 科学的思考を育成するための指導チャート)(原田ほか, 2018 in 松川ほか, 2019)と呼ばれ、①理科で習得する概念をコンセプト・フローとして階層構造に積み上げ、②各概念を関連づけるフォーカス・クエスチョンにより、児童・生徒の科学的思考を促し、科学的なものの見え方・考え方の育成を目指すものである。

ICSTシステムを用いた学校での授業実践として、高等学校理科(地学)「恒星の進化」(小荒井ほか, 2018)、高等学校理科(生物)「生物の体内環境とその維持」(菊池ほか, 2019)、小学校理科「人の体の作りと運動」(小荒井, 2020)などがあり、このシステムの実践により児童・生徒の科学的思考力が育成されることが示されている。ICSTシステムを用いた授業を構築するには、①児童・生徒に理解させたい概念の抽出、②抽出した概念を下位から上位の概念に積み上げ、階層化させたコンセプト・フローの作成、③下位概念から上位概念を引き出すためのフォーカス・クエスチョンの設定、④自然を科学的に探究するためのスキル(プロセス・スキル)の設定、⑤「授業の設計図」となる指導チャートの作成、⑥授業評価のためのチェック・テストの作成が必要である。そのため、このシステムを用いた授業実践に際しての授業者としての教員への負担が懸念される。

本研究では、中学校理科第1分野「光ともの見え方」を例に、ICSTシステム(原田ほか, 2018)の方法を用いて、授業用教材を開発し、授業を実践し、受講した生徒の科学的思考の活用について評価した。そして、このシステムを用いることに対する授業者の意義や効果について考察した。

## 2. ICSTシステムとは

原田ほか(2018)により開発された理科の指導システムは、以下のステップにより構築する。

### 2. 1 概念の抽出とコンセプト・フローの図式化

児童・生徒に理解させたい科学の概念(教科書に掲載されている内容)を抽出する。抽出した概念は、最も下位の概念から、到達目標とする最も上位の概念まで、階層構造となるよう概念獲得の流れをコンセプト・フローとして図式化する(DiRanna et al., 2008)。

### 2. 2 フォーカス・クエスチョンの設定

児童・生徒が科学的思考の方法を用いて能動的にコンセプト・フローにおける各概念を関連づけるため、フォーカス・クエスチョンを設定する(Lustick, 2010)。

### 2. 3 プロセス・スキルの設定

児童・生徒の科学的思考を促すため、各概念を導く際に用いるプロセス・スキルを明確にする。プロセス・スキルは、データの分析、仮説設定などの科学の研究手法を指す。プロセス・スキルは、米国の次世代科学スタンダード(NGSS)ではサイエンス・プラクティスとして整理されている(NGSS Lead States, 2013)。本研究では、原田ほか(2019)により再検討されたプロセス・スキルを用いる。

### 2. 4 指導チャートの作成

授業では、抽出した概念とフォーカス・クエスチョンを設計図にして、指導チャートと称する学習指導案に似た表の内容を進める。指導チャートは、単元毎に作成するもので、授業の内容、概念、フォーカス・クエスチョン、プロセス・スキル、指導者からの働きかけ、児童・生徒の活動、評価の列からなる、そして、授業を実施するには、1校時ごとの学習指導案を作成する。

### 2. 5 児童・生徒の理解を評価するためのチェック・テストの作成

児童・生徒が、科学的思考を活用し、概念を形成したことを評価するためのチェック・テストを作成する。例えば、「反射」、「屈折」の概念形成を評価するためには、「光がもつ性質について理解できたか」という問いを設定した。チェック・テストでは、児童・生徒の自己評価による方法を用いているので、調査結果の客観性が問われる可能性がある。そのため、「xxなので、xxxだから」という表現を用いて、児童・生徒に文章での回答を求め、その内容に結論に至る因果関

係が論理的に記述されていることにより, 児童・生徒の科学的思考の活用を評価することができる。この場合も, 客観性に欠ける可能性はあるが, 日頃から児童・生徒と接している授業者の教員は, この文章での回答を評価の目安にすることができるはずである。

### 3. 「光ともの見え方」の授業の目標と内容

#### 3. 1 科学的思考の育成のための「光ともの見え方」の教材開発

「光ともの見え方」は, 中学校理科第1分野(1)身近な物理現象で扱う。この章では, 身近な事物・現象についての観察・実験を通して, 光や音の規則性, 力の性質について理解するとともに, これらの事物・現象を日常生活や社会と関連づけて科学的に見る見方や考え方を養う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, 「光ともの見え方」の最下位から最上位の概念に辿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とワークシートを作成した。そして, 授業を実践した。

#### 3. 2 教材の特徴

光ともの見え方を解釈するために, 光が直進するという性質が軸となり授業が展開される。さらに, ①光が他の物体に当たったときに反射する性質, ②光が異なる他の物体内に進入したときに屈折する性質を学習する。この教材では, 屈折する性質を利用した身近な物体である凸レンズを用いて, 光源からの光が凸レンズを通した時に見られる像について, 実験を通して学習する。そして, フォーカス・クエスチョンを取り入れた設問により, 凸レンズを通して見られる像は, 光源と凸レンズの距離によって決定され, 像は実像と虚像に区分されることを生徒に解釈させる。使用するワークシートには, 実験結果として, 凸レンズと光源の距離, 凸レンズとスクリーンの距離, 像の大きさと像の向きを記入することができる。実験結果の表化により, 生徒は科学的思考を活用し, 光源の位置の変化が像に及ぼす影響の規則性について, 論理的に説明することができるようになると考えられる。

#### 3. 3 「光ともの見え方」の指導チャートの作成と授業の方法

本章の授業を通して生徒に理解させる科学的な概念は複数あり, それらは階層構造を呈する。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)。図1は, 「ものが見える」を最も素朴な概念(最下位の概念)として抽出し, この最下位の概念から階層的により上位の概念を抽出して配置した。階層的に配置される概念は, 下位の概念から上位の概念が導き出されるようにフォーカス・クエスチョンで結びつける。そして, 生徒が, フォーカス・クエスチョンに答え, 下位の概念から上位の概念を導くとき, 問題解決の技法としてプロセス・スキルを使用する。プロセス・スキルとは, 自然科学や, 身の回りの事柄を論理的・実証的に検証するための技法である(表1)(原田ほか, 2019)。授業では, 授業者の働きかけとそれに対する生徒の活動や評価が想定されるので, 単元や授業の流れに沿って, ①授業内容, ②概念(授業の各過程で理解させたい科学的概念), ③フォーカス・クエスチョン, ④プロセス・スキル, ⑤指導者の働きかけ, ⑥生徒の活動, ⑦評価を表化した図が指導チャートである(原田ほか, 2018)。図2は, 本章

表1 原田ほか(2019)のプロセス・スキルの一覧

- |                 |
|-----------------|
| ① 観察            |
| ② 情報の収集・評価・伝達   |
| ③ 予測            |
| ④ 問題の明確化        |
| ⑤ 仮説の設定         |
| 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 仮説・モデルの再評価・検証 |

の授業の指導チャートである。

光ともの見え方を科学的に理解するためには, まず, ものが見えるためには光が必要であることに気づき, そして, その光の性質を把握することが重要である。そこで, 「ものが見える」とは何かと言う素朴な疑問を下位概念として抽出した。そして, 「ものが見えるには何が必要か?」のフォーカス・クエスチョンを設定した。この設問により, 生徒に, 「暗い」「まぶしい」「死角にある」など, これまでにものが見えなくなった経験を思い出させ, ものが見えるには光が必要で, 尚且つそれを受け取る目がなければならぬことを認識させる。これにより, 生徒は上位の概念の「光」を獲得することになる。次に, 光の性質を理解させるために, 「光はどのように進むか?」のフォーカ

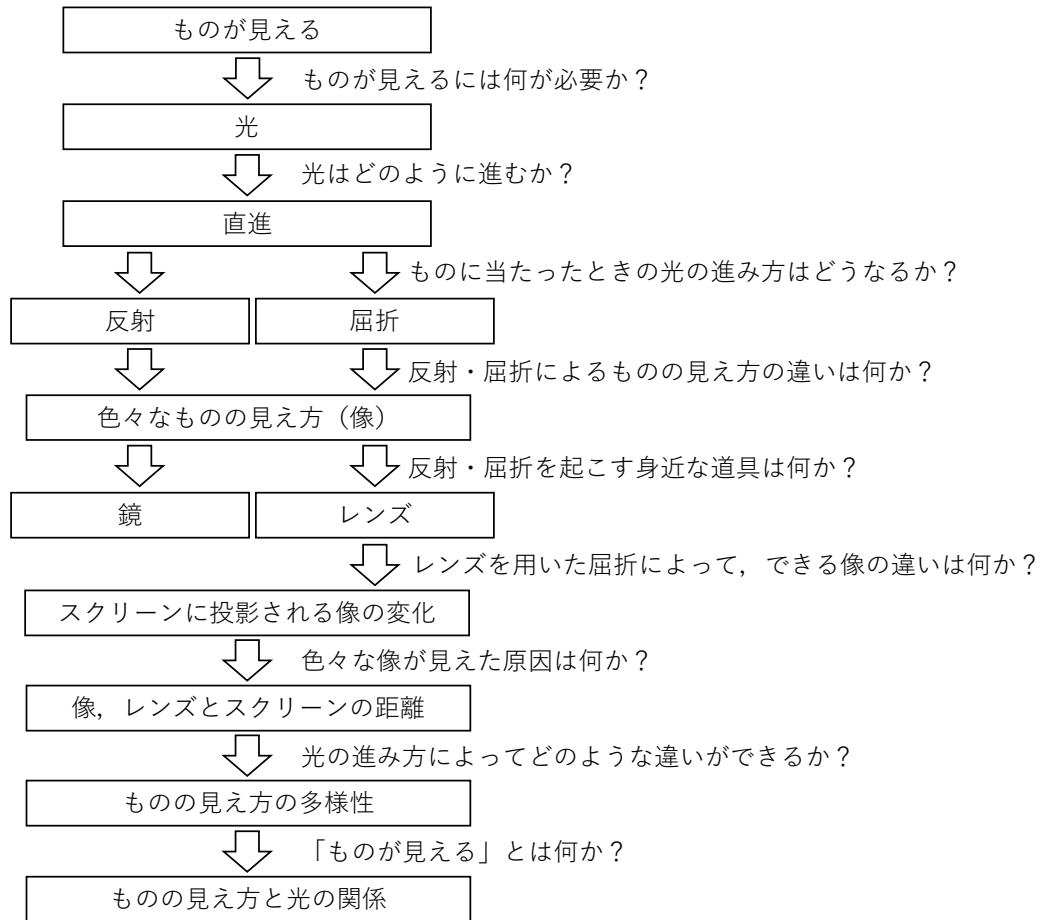


図1 「光ともの見え方」のコンセプト・フロー

ス・クエスチョンを設定した。ここで授業者は、太陽光が可視化される「天使のはしご」や、線香の煙の中を進むレーザーポインターの光の演示実験などを通して、さらに上位概念の光が「直進」することを生徒に確認させる。そして、次に「ものに当たったときの光の進み方はどうなるか?」のフォーカス・クエスチョンを設定し、鏡を用いた実験から光が反射することに気づかせ、また、そこには規則性があることも合わせて生徒に理解させる。さらに、台形ガラスを用いた実験から光が屈折することに気づかせる。そして、それらを通してものが見える位置や向きなどが変化することから、次のフォーカス・クエスチョンを「反射・屈折によるもの見え方の違いは何か?」とした。そして、ここで確認した「色々なもの見え方 (像)」を概念とし、以後、光が「反射」「屈折」して見えたものを「像」と呼ぶことを生徒に理解させる。反射の実験を通して理解できるように、像のでき方には一定の法則がある。日常ではこの法則を利用し、我々の暮らしに活用している道具が多く存在する。そこで、次に

「反射・屈折を起こす身近な道具は何か?」のフォーカス・クエスチョンを設定した。授業者は、日常の経験から、「鏡」や「レンズ」がそれに相当する道具であると生徒に気づかせる。凸レンズは規則的に光を屈折させ、光軸に平行な光を一点に集める性質がある。しかし、凸レンズを通したものの見え方は一つではない。そこで、次のフォーカス・クエスチョンを「レンズを用いた屈折によって、できる像の違いは何か?」とした。実験は、焦点距離が明らかな凸レンズを固定し、光源と、それによりできる像を映し出すスクリーンをスライドできる装置を用いた。授業者は、光源を動かすことで、像ができるスクリーンの位置が変化すること、また、変化の仕方には規則性があることや、光源を一定の位置よりレンズに近づけると、スクリーン側からのぞくことで確認できる像があることなど、「スクリーンに投影される像の変化」の概念を生徒に気づかせる。そこで、次のフォーカス・クエスチョンを「色々な像が見えた原因は何か?」とした。実験から、概念として、「像, レンズとスクリーンの距離」

授業内容 過程 タイトル	概念	フォーカス・クエスチョン	プロセス・スキル (原田ほか, 2019)	指導者の働きかけ	生徒の活動	評価	
展開1	光の性質	ものが見えるということ		④, ⑤, ⑦	・暗い部屋や目を閉じることを例示し, ものが見えるには光が必要であることに気づかせる。	・目を閉じたり, ものが見えない状況を想像し, ものが見えるには光が必要であることに気づく。	・ものが見えるには光が必要であると理解できること。
		光の直進	光はどのように進むか?	③, ④, ⑤ ①, ⑥, ⑦ ②	・光の進み方を可視化する方法を考えさせる。 ・レーザーポインター等から光が直進することに気づかせる。 ・「天使のはしご」など, 自然界でも光の直進を確認できることを伝える。	・光の進み方を可視化する方法を話し合う。 ・レーザーポインター等から光が直進することを見出す。 ・日常や自然の中で光の直進を観察できることを見出す。	・光の進み方を調べる方法を理解できること。 ・光が直進することを理解できること。 ・日常や自然の中で光の直進を観察できることを理解できること。
		光の反射と屈折	ものに当たったときの光の進み方はどうなるか?	①, ②, ④, ⑤	・太陽の光が海面に当たった写真を例に, 光がものに当たったとき, どうなるかを考えさせる。	・太陽の光の一部が海面ではね返っている(反射)ことを見出す。また, 一部は海の中にも入っていることに気づく。	・海面に太陽光が当たったときの光の変化について考えられること。
				①, ②, ⑤, ⑥ ②, ⑦ ②, ⑧, ⑨ ②	・光源を用いて, 反射という現象について確かめさせる。 ・光の当たる角度と反射した光の角度の関係に気づかせる。 ・入射角と反射角について説明する(反射の法則)。 ・過去の海面の写真の例から乱反射について説明する。	・光源の光を実際に反射させ, 反射させるのに有効な物体を見出す。 ・方眼紙を用いて任意の角度をつくり, 反射の前後関係を調べる。 ・入射角=反射角の関係について理解する(反射の法則)。 ・凹凸のある面で起きる反射について, その仕組みに気づく。	・反射の仕方は物体によって異なることを見出すことができること。 ・方眼紙, 光源, 鏡などを用いて適切に実験できること。 ・反射の法則について理解できること。 ・乱反射の仕組みについて理解できること。
①, ② ①, ②, ⑤, ⑥ ②, ⑧, ⑨	・海面の写真から, 水中(透明な物質)にも光が移動することに触れ, その様子を演示する。 ・ガラス体に様々な角度から光を当てさせ, 入射角と屈折した光の角度の関係に気づかせる。 ・屈折という現象, 入射角と屈折角について, 光の道筋と合わせて説明する。	・水中やガラスの内部に移動する光の様子から, 光が境目では直進しないことに気づく。 ・ガラス体に光を当てる実験を通して光の角度の変化の関係に気づく。 ・入射角と屈折角は大きさが異なること, 光の道筋により関係が逆転することなどに気づく。	・異なる物質間で光が直進しない現象について気づくことができること。 ・光の当たる角度と屈折する角度の関係に気づくことができること。 ・入射角と屈折角の場所, 大きさの違いについて理解できること。				
展開2	光の性質の利用	色々なものの見え方(像)	反射によるもの見え方の違いは何か?	①, ②, ④, ⑦	・反射による「像」は実物とは異なる部分があることに, 作図などを通して気づかせる。	・反射による像は実物と異なる位置にあることや, 実物が見えない場所にあっても像は確認できることなどに気づく。	・反射による像の作図方法, 実物と像の異なる点を理解できること。
			屈折によるもの見え方の違いは何か?	①, ②, ④, ⑦	・水を張った容器に沈めた硬貨の見え方の変化, 水を入れたビーカー越しに見た世界などを通して, 屈折による像は実物とは異なる部分があることに気づかせる。	・屈折による像は実物と異なる位置にあること, 形や大きさ, ビントが異なることに気づく。	・屈折による像の作図方法, 実物と像の異なる点を理解できること。
		鏡・レンズ	反射・屈折を起こす身近な道具は何か?	③, ⑤ ②, ⑧, ⑨	・反射・屈折を起こす身近な道具について考えさせる。 ・凸レンズの構造, 焦点を通じた光の集まり方について説明する。	・実験に用いた道具を思い出し, 日常見かける物から該当する道具に気づく。 ・凸レンズの構造, 焦点を通じた光の集まり方について理解する。	・反射・屈折を利用している日用品について理解できること。 ・凸レンズの構造, 焦点を通じた光の集まり方について理解できること。
展開3	もの見え方と光の関係	スクリーンに投影される像の変化	レンズを用いた屈折によって, できる像の違いは何か?	①, ②, ④ ①, ③, ⑤, ⑥ ①, ③, ⑤, ⑥	・実験装置を用いて, 光源の位置を固定し, スクリーンに光源の像を映させる。(基準) ・最もビントが合う距離と, そのときの像の大きさを記録させる。 ・光源を任意の距離遠ざけたとき, 近づけたときに同様に記録させる。	・実験装置を用いてスクリーンに像を映す。 ・スクリーンを動かし, ビントと像の大きさの変化に気づく。 ・光源の位置が変化したときの像の変化を追う。	・実験装置の操作方法を理解できること。 ・像が投影できること。 ・ビントを合わせ, 像を計測できること。 ・光源の位置が変化すると像の位置や大きさに変化があることに気づくこと。
		像, レンズとスクリーンの距離	色々な像が見えた原因は何か?	⑦, ⑧, ⑨ ②, ⑦, ⑧, ⑨ ②, ④	・光源の位置と像の位置のパターンを整理して示す。 ・像が出来ないとき, 虚像が見えるときについて, 作図を通して説明する。 ・像の違いは, 光源とレンズ, スクリーンの距離の違いによるものと気づかせる。	・光源の位置と像のパターンの一覧を作図する。 ・像が出来ないとき, 虚像が見えるときの光の軌道を作図する。 ・像を決定づける原因について考え, 説明する。	・光源の位置と出来る像を整理し, 作図できること。 ・実像以外の場合の光の軌道について理解できること。 ・像を決定づける原因について理解できること。
		もの見え方の多様性	光の進み方によってどのような違いができるか?	②, ⑤, ⑦	・過去の実験を通して, 「光の進み方が変わるとどのような違いができるのか」について考えさせる。	・光の進み方が変わるともの見え方が変わること気づく。	・光の進み方が変わると, もの見え方が変わることを理解できること。
		もの見え方と光の関係	「ものが見える」とは何か?	②, ④, ⑤, ⑦	・「ものが見えること」について, 光源から目までの推移も踏まえて考えさせ, 説明する。	・自分たちが見ているものが, 様々な光の性質を経て目に届いているものであると気づく。	・ものが見えることについてその仕組みを理解できること。

図2 「光ともの見え方」の指導チャート

が導かれる。その後, 生徒は, 実験での光源からの光の進み方を作図することにより, 実験結果を論理的に解釈することができる。そこで, 次のフォーカス・クエスチョンを「光の進み方によってどのような違いができるか?」とした。そして, 光の進み方の作図では, 光源とする物体に対して, できる像の大きさが変化すること, 向きが変化すること, そして像ができないこともあることなどを生徒が確認できるため, この「もの見え方の多様性」を次の概念とした。そして, これまで学習した光の性質のまとめとなる最上位の概念になる「もの見え方と光の関係」を生徒から引き出させるための最後のフォーカス・クエスチョンとして「『ものが見える』とは何か?」を設定した。

### 3. 4 学習指導案の作成

指導チャートは, 単元全体の授業の流れを明確化した設計図である。授業実践する場合は, これに基づき1校時ごとの学習指導案を作成することが必要である。授業における主となる発問は, フォーカス・クエスチョンにより設定されており, 授業で最終的に理解させたい概念はコンセプト・フローに示されているため, 学習指導案は, 概念をフォーカス・クエスチョンで結びつけるための指導のメモ的な役割をもつ。本論文では, 指導チャートの展開3, 「もの見え方と光の関係~スクリーンに投影される像の変化~」について扱う。1校時分の学習指導案を提示する(図3)。

本時の学習指導

(1) 本時の狙い

- ・凸レンズを用いてできる像のピントを合わせ、像を計測できる。(観察・実験の技能)
- ・光源の位置が変化すると像の位置や大きさに変化があることを理解する。(科学的な思考・表現)

(2) 準備

教科書(東京書籍)、ワークシート、光源装置、レール、スクリーン、凸レンズ(焦点距離10cm)

(3) 展開

過程	生徒の学習活動	教師の働きかけ及び評価規準 ○教師の働きかけ ☆評価
導入 10分	<p>「レンズ」からの「凸レンズ」← 「大きく見える」「逆さまに見える」←</p> <p>・本日の課題の確認</p>	<p>○発問「前回紹介した、光の屈折を利用した道具を何というか？」 ○「凸レンズ越しの見え方には2通りあった。どんな見え方だったか？」 ○「では、どうしてその違いが生まれるのか？そして、それ以外に見え方の特徴は無いかを調べよう」→課題提示 ○本時の課題を記入する。</p>
	<p>課題：レンズを用いた屈折によって、できる像の違いは何か？(フォーカス・クエスチョン)</p>	
	<p>・前回のプリントを見返しながら、像ができる仕組みを確認する。 ・前回学習した内容から、それぞれを20cmの位置に置くことが、光源と像を結びつけることに繋がることに気づく。</p>	<p>○「焦点」「焦点距離」など基本的語句を復習し、今回焦点距離10cmのレンズを用いて実験することを伝える。 ☆レンズによって像ができる仕組みを理解している。 ○図を用いて、20cmの位置に物体とスクリーンを置くことを確認する。(前回の授業の確認)</p>
	<p>実験：「光源を動かしたとき、できる像の位置と大きさはどうなるか？」</p>	
展開 25分	<p>○実験(1)に取り組む ・基準の位置(それぞれ20cm)のときの像の向き・大きさを記入する。 ・基準より少し外側・少し内側にしたときの、ピントが合うスクリーンの位置、像の向き・大きさをそれぞれ記入する。 ・レンズをのぞき「大きく見える」見え方になるには、光源をどこまで近づければ良いか、実験で確認し、その範囲を記入する。 ・考察にあてはまる言葉、文章を班ごとに話し合い、記入する。</p>	<p>○実験内容を説明する。 ○基準の位置で全班の見え方、値が一致していることを確認し、その後の活動に取り組ませる。 ・極端な光源、スクリーンの移動は変化を捉えるには難しくなるため、あくまで数cmの移動がどのような像の違いを生むかを確認させる。 ・レンズをのぞいて確認できる像(虚像)については、班員全員が確認できるよう配慮する。</p> <p>○実験取り組み時間を表示し、実験の状況と残り時間の状況をこまめに確認しながら巡視する。</p>
終末 15分	<p>・自らの班の結果から導き出した考察と全体の考察とを比較する。 ・課題で示したフォーカス・クエスチョンの解答が、「できる像の違いは、位置・大きさ・向きなどで、その原因は光源の位置の変化」であることに気づく。 ・まとめを記入する。</p>	<p>○課題と比較し、各班の結果を取り上げ、まとめる。 ☆光源を遠ざければ、スクリーンは(近くなり)、像は(小さくなる)こと、光源を近づければ、スクリーンは(遠くなり)、像は(大きくなる)こと。 ☆レンズをのぞくと光源が大きくなる見え方(虚像)は、光源の位置が約10cm(焦点距離)より手前であること。以上の2つのポイントが班ごとに考察されていることが望ましい。 ○まとめを記入する</p>
	<p>まとめ：「光源の位置が変化することで、像の位置や大きさが変化する」</p>	
	<p>・片付けに取り組む。</p>	<p>○片付けに取り組ませる。</p>

図3 展開3、「ものの見え方と光の関係～スクリーンに投影される像の変化～」の学習指導案

4. 授業実践

4. 1 授業実践の内容

作成した指導チャートに基づいて、中学1年生を対象に、中学校理科の教科書を使用し、全9時間で

の授業を設計した。さらに、授業では、教科書の内容を補足するワークシートを作成し、実験結果を表にまとめながら授業を進めた(図4)。

月 日 ( ) 授業 68 光源と凸レンズとできる像	年 組 番 名前:			
<b>今日の課題</b> レンズを用いた屈折によって、できる像の違いは何か、を理解する。				
<b>【はじめに・疑問】</b> 凸レンズを用いると、様々なもの見え方があることを確認した。では、それらの見え方の違いは何故起こるのか？実験を通して確認していこう。				
<b>【実験の前に】</b> ・レンズの焦点を明らかにする。→焦点距離 ( ) のものを用いる。 ・実験の基準点を作る→レンズを中心に、光源とスクリーンをそれぞれ ( ) の位置に置く。( )				
<b>【実験】「光源を動かしたとき、できる像の位置と大きさはどうなるか？」</b>				
①基準点に光源とスクリーンを置いたとき、スクリーンに映る像の様子を結果に記入する。 ②光源を基準点から数 cm レンズから遠ざける。スクリーンのピントが合う位置を探し、その距離と、映る像の様子を結果に記入する。 ③光源を基準点から数 cm 近づけ、同様の実験を行う。 ④光源を外し、レンズ越しにスクリーンを見て、ピントの合った「↑」が確認できる範囲を調べる。				
<b>【結果】</b>				
	凸レンズと 光源の距離 (cm)	凸レンズと スクリーンの距離 (cm)	像の大きさ (光源より大・小・同)	像の向き (光源と同じ・逆)
①基準点	cm	cm		
②遠ざけた	cm	cm		
③近づけた	cm	cm		
④レンズ越し		cm 以下	大きくなる	同じ向き
<b>【考察】</b> 光源を遠ざければ像の位置は ( ) くなり、像は ( ) くなる。 光源を近づければ像の位置は ( ) くなり、像は ( ) くなる。 レンズ越しに見える同じ向きの像は、光源が ( ) より内側のとき見られる。				
<b>【まとめ】</b>				

図4 授業で使用したワークシート

#### 4. 2 生徒の活動

授業を進める際に、例えば、フォーカス・クエスチョン「光はどのように進むか？」という内容を問う場合、「懐中電灯から出た光はこのあとどう進んでいくかな？」というように、フォーカス・クエスチョンの内容を身近なものに置き換えるなど発問を工夫した。図1に設定したフォーカス・クエスチョンを発問とすると、内容に唐突感があり、生徒の困惑が予想されるためである。かみ砕いた内容のフォーカス・クエスチョンで発問したとしても、単語ならば答えられるが、考え方を言葉としてまとめることが困難な生徒も見かける。そこで、授業者が言葉と言葉をつなぐ手助けをすることがしばしばあった。しかし、生徒は、フォーカス・クエスチョンに対して、実験データや経

験を基に議論して、概ね上位の概念を獲得することができた。

#### 4. 3 授業者の取り組み

ICSTシステムを用いた本単元の授業では、抽出した概念を階層構造として並べ、フォーカス・クエスチョンにより、生徒に下位の概念から上位の概念を獲得させ、論理的に到達目標とする概念に辿り着かせることを試みる。これまでの、主著者による教科書に則った授業では、光の直進、反射、屈折がそれぞれ「光の性質」として扱われ、概念が独立したものとなっており、概念の上位と下位の関係、つながりが明確ではなかった。また、レンズを用いた実験により章が終了するため、「光ともの見え方」の全体像を論



理的に整理して授業することができなかった。しかし、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抽出し、フォーカス・クエスチョンを用いてより上位の概念を引き出させるために、観測・実験で得られるデータや生徒の有する経験などを常に必要とするので、授業者としての主著者は、科学的思考の重要性を再認識することとなった。また、到達目標とする最上位の概念を引き出すための「『ものが見える』とは何か?」として設定したフォーカス・クエスチョンにより、生徒には最も下位に位置づけた概念である「ものが見える」ことを改めて意識させた。そして、生徒には最下位と最上位の概念を結びつかせ、章全体をまとめることができた。そして、チェック・テストの結果から、生徒は「光ともの見え方」を理解

するために不可欠な知識や概念を概ね理解したと判定できた。そのため、生徒は、授業者と同様に、科学的思考に基づいて、授業の展開、流れを整理していたと考えられる。従って、ICSTシステムを用いた授業は、授業者と生徒が科学的に思考しながら授業内容を理解する授業方法として適切であると思われる。

#### 4. 4 生徒の反応と教材の評価

「光ともの見え方」の授業実践後、受講した生徒全員にチェック・テストを実施した(図5)。チェック・テストは、ICSTシステムを用いた授業による、生徒の科学的思考の活用に関して評価するために行う。本授業のチェック・テストは、光の「反射」、「屈折」の概念形成を評価するための「光がもつ性質につ

### 「光ともの見え方」の授業を終えて

この範囲の授業を通して学んだ内容について、皆さんが自分自身をどのように分析しているかを知るためのアンケート(チェックテスト)を実施します。これは、成績を左右するようなものではないため、気軽に回答して下さい。3択のものは、下の回答欄に選んだ数字を記入し、自由記述欄は任意で記入して下さい。

設問1. (光の直進など)光がもつ性質について理解できましたか? 1. 理解できた 2. だいたい理解できた 3. 理解できなかった
設問2. 光の反射や屈折によって起きる、もの見え方の変化を理解できましたか? 1. 理解できた 2. だいたい理解できた 3. 理解できなかった
設問3. 凸レンズを用いた、光の屈折の様子を作図することができましたか? 1. 作図できた 2. だいたい作図できた 3. 作図できなかった
設問4. 光源とレンズの距離によって、できる像が異なる仕組みを理解できましたか? 1. 理解できた 2. だいたい理解できた 3. 理解できなかった
設問5. もの見える仕組みについて理解できましたか? 1. 理解できた 2. だいたい理解できた 3. 理解できなかった

#### 【回答欄】

設問1	設問2	設問3	設問4	設問5

#### <自由記述欄>

もの見え方について、さらに知りたいと思ったこと、疑問に思った現象などがありますか?もしあれば、記入して下さい。(単語でも構いません)

チェックテストは以上です。

1年 組 番 名 前 :

図5 チェック・テスト

いて理解できたか」(設問1), 「色々なものの見え方(像)」の概念形成を評価するための「光の反射や屈折によって起きるものの見え方の変化を理解できたか」(設問2), 「スクリーンに投影される像の変化」の概念形成を評価するための「凸レンズを用いた光の屈折の様子を作図することができたか」(設問3), 「像, レンズとスクリーンの距離」の概念形成を評価するための「光源とレンズの距離によって, できる像が異なる仕組みを理解できたか」(設問4), 最下位から最上位までの一貫した概念形成を評価するための「ものが見える仕組みについて理解できたか」(設問5)とした。これらの設問に対し, 生徒には「理解できた」, 「だいたい理解できた」, 「理解できなかった」のいずれかを選択させることとした。また, 本授業を終えて「さらに知りたいと思ったこと」がある場合, チェック・テストの用紙の自由記述欄に記入させた。その結果, 各設問で, 9割以上の生徒が「できた/理解できた」「だいたいできた/だいたい理解できた」と回答した(表2)。このことから, ICSTシステムを用いた本授業実践により, 多くの生徒は, 自己の概念形成を概ね評価することができており, 科学的思考は大いに

活用されたものと考えられる。また, 「さらに知りたいと思ったこと」の記述では, 「虹はどのような仕組みで見えるのか」「オーロラはなぜ見えるのか」など, 授業内で扱われていなかった自然現象についての記述があった。これらは何れも, 生徒が持っている知識と授業で得られた概念が結びつけられたことから生じた興味であると考えられる。自由記述欄の質問字句に, 「何故か? どうしてか?」を付記しておけば, 生徒は, その理由を「xxなので, xxxだから」との因果関係を説明した文章を記述する筈である。これにより, 文章を通して, 生徒の科学的思考の活用の評価に関して判定できる可能性が高い。

#### 4. 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。また, 授業者が論理的に問題解決を導くために必要な科学的な思考過程を整理する機会となる。そのため, 授業者は, 科学的思考の方法を用いた授業の設計が容易になり, 授業の流れを単純化し, 使用する語句や説明

表2 チェック・テストの結果

		できた/理解できた	だいたいできた/ だいたい理解できた	できなかった/ 理解できなかった	
設問1	光がもつ性質について 理解できたか	全クラス (N=77)	41.6%	57.1%	1.3%
		A組 (N=25)	11	13	1
		B組 (N=27)	9	18	0
		C組 (N=25)	12	13	0
設問2	光の反射や屈折によって起きる ものの見え方の変化を 理解できたか	全クラス (N=77)	33.8%	64.9%	1.3%
		A組 (N=25)	10	15	0
		B組 (N=27)	8	19	0
		C組 (N=25)	8	16	1
設問3	凸レンズを用いた光の屈折の 様子を作図することができたか	全クラス (N=77)	40.3%	55.8%	3.9%
		A組 (N=25)	13	9	3
		B組 (N=27)	8	19	0
		C組 (N=25)	10	15	0
設問4	光源とレンズの距離によって, できる像が異なる仕組みを 理解できたか	全クラス (N=77)	32.5%	63.6%	3.9%
		A組 (N=25)	11	13	1
		B組 (N=27)	7	19	1
		C組 (N=25)	7	17	1
設問5	ものが見える仕組みについて 理解できたか	全クラス (N=77)	32.5%	66.2%	1.3%
		A組 (N=25)	6	19	0
		B組 (N=27)	10	17	0
		C組 (N=25)	9	15	1

内容を精選，抽出することができる。そして，その結果として，生徒は，論理的な概念の形成が促されると考えられる。

しかし，本授業実践のために作成したワークシートは，実験データを記入し，穴埋めする形式のものである。生徒に科学的思考を活用させ，実験内容から次の概念を論理的に思考させるためには，「xxなので，xxxだから」など，生徒自身が記述する文章形式の教材を作成する必要があると考えられる。また，本授業実践で用いた実験器具では，スクリーンは不透明な板であったため，スクリーンの裏側から見た像を確認することができなかった。半透明なスクリーンを用いて像を形成し，両側から観察することで，生徒は「実像は上下左右が反転して見える」ことを，より論理的に導き出せると思われる。使用する実験器具についても，生徒に導き出させたい目的に合わせて作成する必要があると考えられる。

## 5. ICSTシステムを用いた授業についての 授業者に対する意義と効果

### 5. 1 授業設計の考察

ICSTシステムを用いた授業の有用性を考察するために，授業を「授業設計」「授業準備」「授業の実施」「授業の評価」「授業後」と区分し，ICSTシステムを用いた授業と，用いない授業を比較した（表3）。

### 5. 1. 1 授業設計

ICSTシステムを用いた授業では，コンセプト・フローの作成が授業設計の鍵となる。コンセプト・フローの作成のためには，概念を抽出し，それらを階層構造に配置し，フォーカス・クエスチョンで繋ぐことが必要となる。階層構造を形成する各概念は，フォーカス・クエスチョンにより論理的に繋がっているため，単元全体を通しての授業の論理性は大いに保証される。概念の抽出と階層構造の作成は，生徒への対応を考えながら試行錯誤的に進めるので，時間を要する。

一方，ICSTシステムを用いない授業では，教科書や指導書に配置された知識や重要用語を意識的に使用することで，生徒は科学的思考に基づかなくとも，ICSTシステムを用いた授業で示される各概念について理解することができる。しかし，その場合，各概念は孤立したものとなり，生徒全員の理解が，ICSTシステムを用いた授業のような下位から上位の概念に論理的に移行するものになるとは考えにくい。つまり，授業設計における論理性については，教員の力量によって大きく変動するものと考えられる。

なお，授業設計のリソースについては，いずれも教科書や指導書がベースとなり，そこに教員の科学的思考力や経験による内容が肉付けされるため，大きな差は無いと考えられる。

表3 ICSTシステムの有無による授業者視点の授業の比較

	ICSTシステムを用いた授業	ICSTシステムを用いない授業	
授業設計	論理性	大いに保証される	教員の力量に因る
	要する時間	試行錯誤を繰り返すため，多くを要する	多くを要しない（教員の力量に因る）
	リソース	教科書や指導書+教員の科学的思考力（経験）	
授業準備	準備する内容	どちらにおいても大きな差は無い	
	教材準備の時間		
授業の実施	生徒への論理的指導	思考の過程が整理されているため，同程度の学習内容が保証される	教員の力量，生徒個々の理解力により，大きく異なる可能性が高い
	生徒間の対話	FQを使用するため，話し合う目的が明確化でき，授業の流れに組み入れやすい	目的が明確にならず，授業の中に論理的に位置づけられない可能性がある
授業の評価	論理的思考・科学的思考の獲得	論理的な思考過程を授業で共有しているため，チェック・テストで確認できる	暗記による回答と，自身を見直した回答とを分けることが困難である
	学習内容の理解	FQを用いて使用するため，関連性を確認しながら授業が展開される	学習内容（重要用語）の暗記量を測りながら授業が展開される
授業後	他の単元との関連づけ	他の単元と論理的につなげることができる（体系的な理解に加担）	各単元が並列化する（体系的な理解を阻害）

FQ：フォーカス・クエスチョン

### 5. 1. 2 授業準備

授業準備の内容や要する時間については、授業設計した内容に基づき行われるため、ICSTシステムの有無による差はないと考えられる。

### 5. 1. 3 授業の実施

ICSTシステムを用いた授業では、作成したコンセプト・フローと指導チャートを基に授業が展開されるため、フォーカス・クエスチョンを用いた授業者と生徒との間、あるいは生徒同士の対話で、「次の概念を論理的に導く」ことが明確化される。従って、生徒は「何を話し合えば良いか」を理解し、対話内容の論理性も保証されると考えられる。

ICSTシステムを用いない授業では、対話の内容、目的、論理性は、教員の力量や生徒個々の理解力により大きく異なる可能性が高い。

### 5. 1. 4 授業の評価

ICSTシステムを用いた授業では、フォーカス・クエスチョンを用いて、生徒に概念を形成させ、そして、下位から上位へ概念を積み上げ、論理的に学習内容を理解させて授業が展開される。そのため、授業での論理的な思考過程は学級全体で共有できると考えられる。従って、科学的思考の活用を確認するためのチェック・テストの実施により、生徒は、自身の思考が整理されていることを確認・実感することができると考えられる。また、生徒自身の科学的思考の活用を用いた回答をその評価とするには、例えば、因果関係を表現させる記述式にするなどの工夫が必要であると考えられる。

ICSTシステムを用いない授業では、確認テストなど、重要用語の暗記量を測ることで評価とする場合が多く、それでは、科学的思考の活用を評価することは困難である。

### 5. 1. 5 授業後

ICSTシステムを用いた授業は、単元全体を論理的に一貫したものとして扱う。従って、生徒は体系的な理解力が養われ、それは、他の単元と論理的に関連づけることに繋がると考えられる。

ICSTシステムを用いない授業では、単元全体の論理的な関連性が明確化されず授業が展開され、知識や重要用語が独立したものとして扱われやすい。従って、生徒は体系的な理解力が養われにくく、各単元が並列化するおそれがある。

### 5. 2 ICSTシステムを用いた授業の教員への意義と効果

ICSTシステムを用いた授業は、生徒に理解させた概念を、下位から上位へ、フォーカス・クエスチョンにより科学的思考から導く根拠を積み重ねることで展開される。このような授業を設定し、生徒に科学的思考を活用させるためには、授業者自身が科学的思考の方法を身につけておく必要がある。ICSTシステムを用いた授業設計は、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。また、授業者が論理的に問題解決を導くために必要な科学的な思考過程を整理する機会となるため、授業設計が容易になり、授業の流れを単純化することができる。また、コンセプト・フローを作成する上で試行錯誤を繰り返すため、授業者自身の科学的思考力を養う効果があると考えられる。従って、科学的思考を活用する上で、ICSTシステムを用いた授業を実践することは、生徒だけでなく、授業者自身にも高い効果があると考えられる。

### 5. 3 ICSTシステムを用いた授業実践における課題とその対応策

本授業を実践するにあたり、ICSTシステムを用いて作成したコンセプト・フロー（図1）は、幾度も改良を重ねたものであり、初期の作成した図では、概念が単元として一貫したもので、上位・下位の認識が明確なもの、最上位の概念と最下位の概念が結びついたものになっていなかった（図6）。新たにICSTシステムを授業に導入する際、コンセプト・フローの作成は、授業設計の鍵でもあるため、授業者にとって大きな課題となる。

概念を抽出・配置すること、また、フォーカス・クエスチョンを設定する上で重要なことは、教員の科学的思考力であることは明確であるが、作成したコンセプト・フローが児童・生徒の概念形成に有用であるかどうかを検討するためには、議論を積み重ねることが重要であると考えられる。より良い議論のためには、例えば、同じ学校や、他の学校の教員など、他者を巻き込んで、コンセプト・フローの作成について検討することなどが考えられる。検討する主な場としては、教員研修が挙げられる。従って、現職教員の科学的思考を育成するための教員研修を拡充し、多くの教員へICSTシステムの理解が広まることで、教員は、より精選された授業設計が可能になると考えられる。

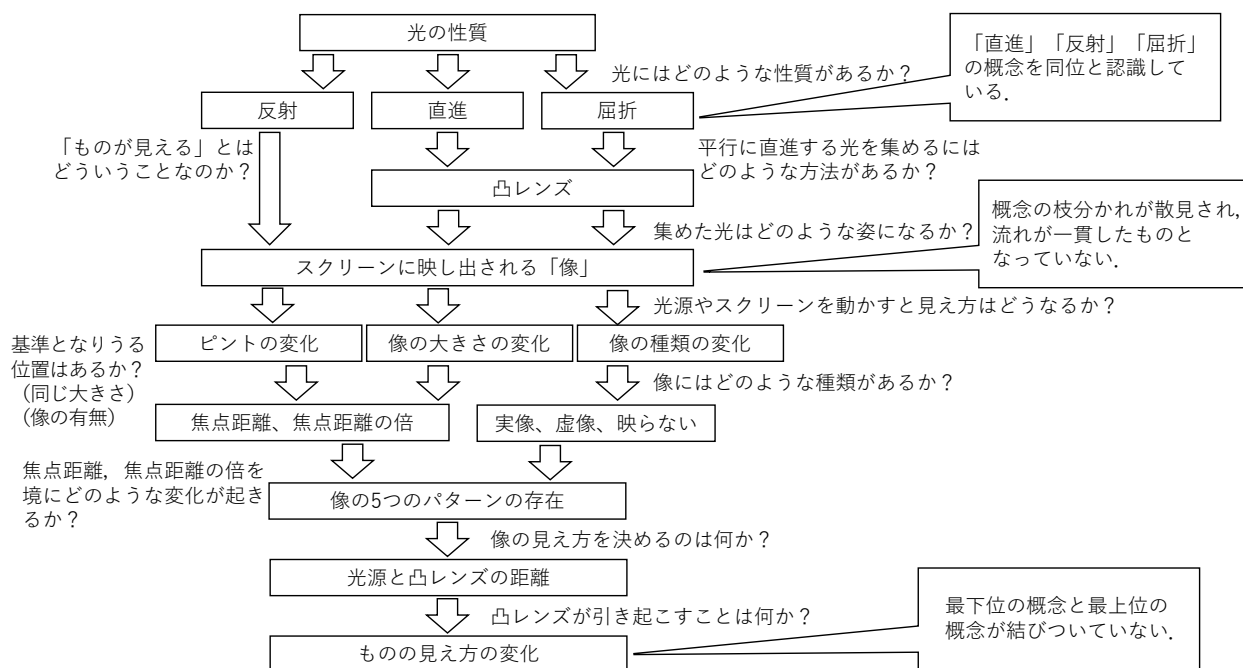


図6 授業設計初期のコンセプト・フロー。吹き出しは、指摘された問題点

## 6. 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・スキルの技法を適用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、中学校理科「光とものの見え方」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、生徒に理解させたい概念を、下位から上位へ、フォーカス・クエスチョンにより科学的思考から導く根拠を積み重ねることで展開される。授業後、生徒に科学的思考の活用についてチェック・テストを実施した結果、多くの生徒はフォーカス・クエスチョンにより、下位から上位概念を自ら引き出すことができていると自己評価したので、ICSTシステムを用いた授業は、科学的思考の方法を習得する方法として適していると考えられる。
- (3) このような授業を設定し、生徒に科学的思考を活用させるためには、授業者自身が科学的思考の方法を身につけておく必要がある。科学的思考の方法を身につける上で、コンセプト・フローを基にした授業を実践することは、生徒だけでなく、授業者自身にも大きな成果が得られると考えられる。
- (4) ICSTシステムを用いた授業と、用いない授業を

比較し、その有用性について考察した。また、ICSTシステムを用いた授業を実施する上での課題と、その対応策について考察した。

## 謝辞

本研究を進めるに際して、竹村博英校長 (北見市立北光中学校)、八木沼明博教頭 (北見市立北光中学校) と尾島康人主幹 (北見市教育委員会) には討論いただいた。また、ICSTプロジェクトの先生方には集会での発表に対して、貴重なご意見を頂き、論文が改善された。謝意を表す。本研究には、科学研究費補助金 (19H01665) を使用した。

## 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". 37-58, Corwin Press & WestEd.
- 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.

- 菊池涼夏・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.
- 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.
- 小荒井千人, 2020. 科学的思考力の育成を目指した方法(ICST)を用いた: 小学校理科第4学年「人の体のつくりと運動」の新しい指導方法の開発と実践. 理科教育研究, 査読中.
- 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 自然科学系71. 175-181.
- 文部科学省, 2017. 中学校学習指導要領(平成29年告示). [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afidfile/2019/03/18/1387018\\_001.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afidfile/2019/03/18/1387018_001.pdf)
- NGSS Lead States, 2013. *Next Generation Science Standards: For States, By States*. National Academies Press, Washington DC.