

## 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

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

理科教員高度支援センター

(2018年5月30日受理)

KOARAI, K., MATSUKAWA, M. and HARADA, K.: Practicing a newly developed framework for cultivating scientific thinking and problem-solving in high school Earth Science “the evolution of stars.” Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 70: 151-159. (2018) ISSN 1880-4330

### Abstract

Scientific thinking is used to understand scientific concepts. However, in Senior High School Science, the scientific contents are often simply lectured when observation and experimentation can not be readily put into practice, resulting in passive learning. In this study, teaching methods proposed by Hasegawa (2017) and Harada (2018) for cultivating scientific thinking were adapted to a Senior High School Earth Science class about “the evolution of stars” for 10<sup>th</sup> grade students. The conceptual flow and instructional charts for understanding “evolution of stars” were created according to Harada (2018) and put into practice. The student’s understanding of the scientific concepts was evaluated by a survey after the class, and almost all of the students were able to reach an understanding of the key concepts. A number of students expressed an interest in learning more about the higher, overarching concepts. These results show that creating conceptual flow diagrams and instructional charts for Senior High School Science classes is an effective way to nurture scientific thinking of the students.

**Keywords:** scientific-thinking, Earth Science, evolution of stars, conceptual flow, focus question, science practices, instructional chart

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

**要旨:** 自然科学を理解するためには科学的思考法が用いられる。しかし、高等学校の理科では、特に観察・実験の実施が困難な内容の場合、授業はその内容に関する用語の提示にとどまることが少なくない。このような授業の場合、多くの生徒は重要用語を暗記することが目的となり、科学的思考力が育成されているとは考えにくい。そこで、長谷川ほか（2017）、原田ほか（2018）が提唱・開発した、科学的思考力を育成する教員研修の手法を高校理科の授業に取り入れることを試みた。本授業は高校理科の地学の「恒星の進化」を扱い、高校1年生を対象に実践した。授業を実践するにあたり、原田ほか（2018）の手法に従い、「恒星の進化」を理解するために必要な概念の流れを示し

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

\*2 東京学芸大学 理科教員高度支援センター (184-8501 小金井市貫井北町4-1-1)

\*3 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野

たコンセプト・フローと、指導チャートを作成し、これらを用いて授業を実践した。そして、授業後にアンケートを実施し教材と授業を評価した。その結果、ほぼ全員の生徒が「恒星の進化」の理解に不可欠なキー・コンセプトが理解できていた。また、何人かの生徒は、本授業実践の上位概念に位置する内容に興味を持った。これらの結果から、コンセプト・フローと指導チャートを用いた高校理科の授業は、生徒の科学的思考力の育成に効果があると判断される。

## 1. はじめに

自然科学を理解するためには科学的思考法が用いられる。この手法は、仮説設定と事実・データ収集を繰り返すことを特徴とし、その手法は経済学、社会学や歴史学にも取り入れられており、マーケティング活動などビジネスにおいても利用されている。高等学校の学習指導要領理科（文部科学省、2009）の目標では、「自然の事物・現象に対する関心や探求心を高め、目的意識を持って観察、実験などを行い、科学的に探求する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な自然観を育成する」と明記されており、また、新学習指導要領（文部科学省、2018）でも、「自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方をはたらかせ、見通しを持って観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探求するために必要な資質・能力を育成する」こととされているので、「科学的な自然観の育成」や「科学的に探求するために必要な資質・能力を育成する」上では、科学的な思考力を身につけさせることは不可欠である。

長谷川ほか（2017）は、理科教員を対象にした科学的思考力と問題解決能力を育成する研修プログラムを開発・実施する手法を開発した。これは、教員研修を通して、児童・生徒の科学的思考力と問題解決力を育成することを目指すものである。この研修プログラムの大きな特徴は、①研修の内容と流れをコンセプト・フローとして図化し、獲得する概念を明確にすること、②理解すべき内容に焦点をあてた質問事項となるフォーカス・クエスチョンを設定すること、③科学的に問題を解決する手法のサイエンス・プラクティスを用いることである。そして、原田ほか（2018）は研修の流れに沿ってその指導内容を示す指導チャートを開発し、長谷川ほか（2017）の手法に指導チャートを組み入れることを提案した。そして、生物分野と地学分野の教員研修用プログラムを提案した。これらの手法は、問題点（フォーカス・クエスチョン）、観察、獲得する概念（コンセプト）の関連性と連続性が明確になるので、科学的思考力や問題解決力を育成する上で、高等学校の理科の授業に適応できる可能性がある。そ

こで、本研究では、高等学校理科（地学）「恒星の進化」を例に、コンセプト・フローとフォーカス・クエスチョンを図化し、サイエンス・プラクティスの科学の手法を適用した指導チャートとワークシートを作成し、教材化した。そして、授業を実践し、受講した高校生の科学的思考力と問題解決力について評価した。また、この手法を用いることによる授業指導する教員の指導の明確化についても考察する。

## 2. 「恒星の進化」の授業の目標と内容

### 2. 1 科学的思考力の育成の方法による

#### 「恒星の進化」の教材開発

「恒星の進化」は、高等学校「地学基礎」の太陽と恒星と、高等学校「地学」の恒星の性質と進化で扱う。「地学基礎」では、恒星としての太陽の特徴を理解する中で、太陽を中心に恒星の誕生から末期までの過程を理解することを目標としている。一方、「地学」では、恒星の表面温度、半径などの定量的な特徴と恒星の進化を関連づけ、恒星の進化の速さ、終末が異なることを理解することを目標としている（文部科学省、2009）。教材開発では、生徒に理解させたい概念を抽出し、問題解決のためのフォーカス・クエスチョンを設定し、「恒星の進化」の仮説に辿り着くためのコンセプト・フローを図示し、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。

#### 2. 1. 1 教材の特徴

恒星の進化の過程を解釈するためHR図が用いられている。HR図とは、恒星を絶対等級で示す明るさを縦軸に、スペクトル型で示す表面温度を横軸にした図で、この図上に位置する恒星の分布の特徴を読み取る。この教材では、生徒は恒星のスペクトル型と明るさの観測データを用いてHR図を作成する。そして、フォーカス・クエスチョンを取り入れた設問を通して、HR図から恒星の特徴を読み取り、恒星が主系列星、赤色巨星、白色矮星に区分され、HR図が恒星の進化の過程を示していることを解釈する。この解釈は科学的根拠に基づき論理的に情報を関連づけることで導き出されるため、生徒は科学的思考が求められる。また、

多様な元素の存在は、恒星が変化する時に内部で物質が生成され、それらが超新星爆発で拡散し、次の星の材料になるという解釈で説明できることに触れる。

## 2. 1. 2 「恒星の進化」の指導チャートの作成と授業の方法

本授業で、生徒に獲得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。これらの概念を獲得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、「恒星」を最も一般性の高い概念として抽出し、それから階層的に下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、上位の概念から下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、上位の概念から下位の概念を導くとき、問題解決の技法としてサイエンス・プラクティスを使用させる。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、授業の流れに沿って、①授業内容、②キー・コンセプト (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サイエンス・プラクティス、⑤指導者の働きかけ、⑥生徒の活動、⑦生徒の評価からなる指導チャートが提案されている (原田ほか, 2018)。図2は、本授業の指導チャートである。

恒星の進化を科学的に理解するためには、まず、恒星の特徴を見定める観点の理解が必要である。そこで、フォーカス・クエスチョンを、「恒星の違いは何を用いて表すことができるか?」とした。この設問により、生徒にこれまでの夜空の星を見た経験を思い出させ、資料集などの天の川銀河の写真を見せ、恒星は色と明るさが異なることに気づかせ、色と明るさが恒星の特徴を示す指標となり得ることを理解させる。次に、恒星の色と明るさにはどのような関係があるのかを理解させるために、フォーカス・クエスチョンを「恒星の色と明るさにはどのような関係があるか?」と設定した。ここで、授業者は、HR図の基となる観測データを生徒に与えHR図を作成させる (図3)。そして、フォーカス・クエスチョンを「恒星はどのように区分できるか?」と設定し、恒星が少なくとも3領域 (主系列星、赤色巨星、白色矮星) に区分されることに気づかせる (図1)。そして、それぞれの領域の恒星は色と明るさが大きく異なることから、フォーカス・クエスチョンを「区分された恒星は、それぞれどのような特徴があるか?」とした。恒星の色と明るさの相違は、恒星の進化過程の位置を探る重要な指標となるの

で、次のキー・コンセプトを「恒星の色と明るさの関係」とした。主系列星は、青白く見えるほど明るい光を放ち、赤く見えるほど暗い光を出し、物質の表面の色と放つ光の明るさの物理の法則に従う。しかし、赤色巨星は赤色なので本来暗いはずであるが明るく、白色矮星は白色なので本来明るいはずであるが暗く見えるので、これらの恒星は物理の法則には従わないという問題点が生じる。そこで、次のフォーカス・クエスチョンを「赤色巨星と白色矮星の色と明るさの矛盾をどのように解釈するか?」とした (図1)。赤色巨星と白色矮星の色と明るさの関係の矛盾の解釈には、恒星の大きさが重要となる。恒星が大きければ暗い光を放っていても明るく見え、小さければ明るい光を放っていても暗く見える。このように、恒星の大きさが主系列星とは著しく異なることで、赤色巨星、白色矮星の姿を推定する。次に、主系列星と異なる大きさの恒星について考える。主系列星は、内部での核融合反応が継続し、中心部に重い元素が蓄積することにより初期の大きさを保つことができなくなり徐々に外層大気が膨張する。その結果、中心部を包み込む大気が希薄となり、外層の温度が低くなり、赤い光を放つ大きな

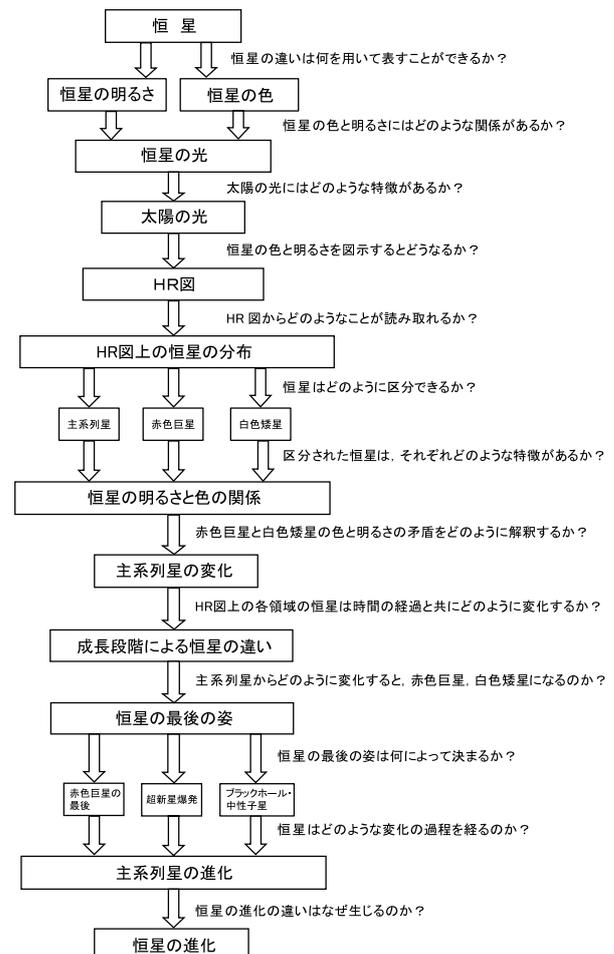


図1 「恒星の進化」のコンセプト・フロー

過程	キー・コンセプト		フォーカス・クエスチョン	サイエンス・プラクティス	授業者からの働きかけ	生徒の活動	評価
	タイトル	内容					
展開1	恒星	恒星の色と明るさで特徴づける	恒星の違いは何を用いて表すことができるか?	疑問(問題)を発見(明確化)する	恒星の写真と提示し、色々な色があることに気づかせる。	恒星(もしくは、銀河)の画像(資料集、webなど)を見て、恒星により色が異なることを見出す。	恒星の色の違いに気づくことができるか。
	恒星の色と明るさ	恒星の色と明るさから表面温度を探る	恒星の色と明るさにはどのような関係があるか?	疑問(問題)を発見(明確化)する	恒星の明るさを比較するときの注意(絶対等級とみかけの等級)表面温度と波長の関係のグラフを用意する。	恒星の写真を用いて恒星の色で区分する(資料集、webなど)。表面温度と波長の関係のグラフを用いて、光の色と表面温度の関係を見る。	恒星の色を区分することができるか。光の色(波長)と光を放つ物体の表面温度の法則性を理解できるか。
展開2	恒星の特徴とHR図	太陽を例に恒星の光(スペクトル)を観察する	太陽の光にはどのような特徴があるか?	観察する	複数の色の組み合わせでできていることに気づかせる。※中学校で学ぶ光の性質	直視分光器を用いて、太陽光を観察する。	太陽光を例にして、スペクトルを理解できるか。
		恒星のデータ(絶対等級、スペクトル型)を用いてHR図を作成する	恒星の色と明るさの関係を図示するとどうなるか?	疑問(問題)を発見(明確化)する	横軸にスペクトル型、縦軸に絶対等級をとって、恒星をプロットする。	HR図を作成する。	HR図を指示通りに作成できるか。
	恒星の明るさとスペクトル型(表面温度)の関係	HR図からどのようなことが読み取れるか?	データを分析し、解釈する	スペクトル型は表面温度を表すので、絶対等級と表面温度の関係を示した図という解釈もできる。	作成したHR図にプロットした点の分布の特徴を読み取る。多くの恒星は、明るさと表面温度が相関関係があることを読み取る。	多くの恒星が、表面温度が高いほど明るいことを見出すことができるか。表面温度と明るさの関係が多くの恒星と逆の恒星があること(矛盾点)に気づくことができるか。	
	HR図上の恒星の分布とそれぞれの特徴を読み取る	恒星はどのように区分できるか?	データを分析し、解釈する	HR図にプロットした恒星の分布の特徴は何か?	HR図のプロットから、恒星の分布を区分する(3領域)。	恒星の分布が3つの領域に区分できるか。	
展開3	恒星の区分: 主系列星、赤色巨星、白色矮星	HR図上の恒星は、主系列星、赤色巨星、白色矮星の3領域に分布され、それぞれの明るさと表面温度の関係が異なる	区分された恒星はそれぞれどのような特徴があるか?	データを分析し、解釈する	区分した3つの領域に分布する恒星の、明るさと表面温度の特徴は何か?	区分した3領域(主系列星、赤色巨星、白色矮星)の恒星それぞれの特徴を読み取る。	明るさと表面温度に相関関係がある恒星の特徴を読み取ることができるか(主系列星)。表面温度が低い明るい恒星の特徴を読み取る事ができるか(赤色巨星)。表面温度が高い暗い恒星の特徴を読み取る事ができるか(白色矮星)。
	恒星の色、明るさと大きさの関係	一般的な明るさと表面温度の関係に従わない恒星の解釈と主系列星との関係	赤色巨星と白色矮星の色と明るさの矛盾をどのように解釈するか?	データを分析し、解釈する	明るくて表面温度が低い恒星(赤色巨星)の明るさと表面温度の関係に矛盾はないだろうか? 暗くて表面温度が高い恒星(白色矮星)の明るさと表面温度の関係に矛盾はないだろうか?	明るさと表面温度から、赤色巨星の特徴を推定する。明るさと表面温度から、白色矮星の特徴を推定する。	赤色巨星と白色矮星の色(表面温度)と明るさの物理学的矛盾を説明できるか。
	HR図上の各領域の恒星の関係	主系列星の変化を基に、各領域の恒星を関連づける	HR図上の各領域の恒星は時間の経過と共にどのように変化するのか?	データを分析し、解釈する	主系列星は、時間が経過するとどのような変化が生じるだろうか。(主系列星は、核融合反応が進むと中心部の質量が増す。その結果恒星にどのような変化が生じるだろうか。)	恒星の特徴(内部の核融合反応)が続いた時に、恒星の内部にどのような変化が生じるか考える。	主系列星が変化することを説明できるか。
	成長段階による恒星の違い	主系列星から赤色巨星、白色矮星への変化	主系列星からどのように変化すると、赤色巨星、白色矮星になるのか?	データを分析し、解釈する	主系列星が変化し続けるとどのような姿の恒星になるだろうか?	主系列星から赤色巨星への変化を推測する。赤色巨星から白色矮星への変化を推測する。	主系列星から赤色巨星への変化を説明できるか。赤色巨星から白色矮星への変化を説明できるか。
	恒星の最後の姿	赤色巨星と超新星爆発、白色矮星の最後	恒星の最後の姿は何によって決まるか?	データを分析し、解釈する	赤色巨星の中心部でさらに核融合反応が進むとどのような変化が生じるか? 白色矮星の中心部でさらに核融合反応が進むとどのような変化が生じるか? 白色矮星のような大質量の天体の中心部で核融合反応が進むとどのような変化が生じるか?(万有引力の法則を用いて考える) 超新星爆発の瞬間、圧力や温度にどのような変化が生じるだろうか。また、その変化はどのようなことを引き起こすか?	主系列星から赤色巨星への変化を参考に、赤色巨星の最後の姿を推測する。赤色巨星から白色矮星への変化を参考に、白色矮星の最後の姿を推測する。	赤色巨星の最後の姿を説明できるか。白色矮星の最後の姿を説明できるか。超新星爆発について説明できるか。超新星爆発の瞬間に重い物質が作られること、その仕組みを説明できるか。恒星の最後とブラックホール、中性子星の関係を説明できるか。
	主系列星の進化	主系列星から、赤色巨星、白色矮星への変化	恒星はどのような変化の過程を経るのか?	データを分析し、解釈する	恒星はどのように変化するか? 恒星の変化は1種類だけか?	主系列星から、赤色巨星、白色矮星への変化を、それぞれの特徴を基に推測する。	主系列星から赤色巨星、白色矮星への変化を説明できるか。
恒星の進化	恒星の変化の違いが生じる理由	恒星の進化の違いはなぜ生じるのか?	データを分析し、解釈する	主系列星はどのような特徴を持つ恒星だったか(復習)。恒星の中心部の質量(引力)が大きくなるためには、どのような初期条件が必要か?	主系列星内の違いが生じる原因を推定する。HR図に、主系列星、赤色巨星、白色矮星をつなぐ矢印を書き入れる。	恒星の進化のしかたの違いは、恒星の質量によって生じることが説明できるか。	

図2 「恒星の進化」の指導チャート

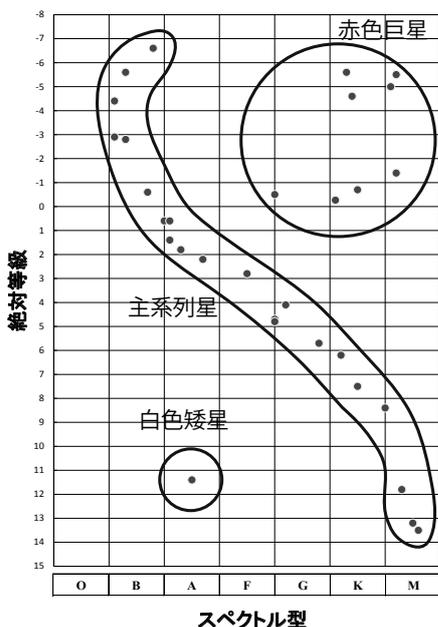


図3 授業で作成したHR図

恒星となる。従って、次のキー・コンセプトを「主系列星の変化」とし、フォーカス・クエスチョンを「主系列星からどのように変化すると、赤色巨星、白色矮星になるのか?」とした。このフォーカス・クエスチョンは、前述の主系列星から赤色巨星への変化を授業者が単に紹介するのではなく、中心部への重い元素の集積、外層大気の膨張の仕組みなどに関する原因と結果を生徒への発問の積み重ねで展開した。また、赤色巨星、白色矮星への変化は、主系列星の質量で異なることを、それぞれの恒星の変化の仕組みと関連づけた。そして、赤色巨星、白色矮星がむかえる最後の姿につなげるため、キー・コンセプト「恒星の最後の姿」を配し、フォーカス・クエスチョンを「恒星の最後の姿は何によって決まるか?」とした。恒星の最後の姿は質量により異なるので、次のキー・コンセプトを「赤色巨星の最後」、「超新星爆発」、「ブラックホー

ル・中性子星」とし、フォーカス・クエスチョンを「恒星の最後にどのようなことが起きるか?」とした。そして、HR図上の主系列星、赤色巨星、白色矮星、超新星爆発、ブラックホール、中性子星などへの変化は主系列星の連続的な変化と解釈できるので、次のキー・コンセプトを「主系列星の進化」とし、フォーカス・クエスチョンを「恒星はどのように姿を変えるか?」とした。

### 3. 授業実践

#### 3. 1 授業実践の内容

##### 3. 1. 1 内容

この内容の授業を高校1年生を対象に、学校設置科目「地球科学」で実践した。本授業は地学基礎の教科書を使用し1単位(週1時間の学校設置科目)の授業で実施した(図4)。本授業実践は、「恒星の進化」を科学的思考に基づいて理解することを目的としたため、「地学基礎」の内容を超えた授業内容となった。従って、「地学基礎」の教科書で不足する内容を加えたワークシートを作成し授業を進めた(図5)。

##### 3. 1. 2 生徒の活動

授業を進める際に、フォーカス・クエスチョンを生徒に対する発問とした。フォーカス・クエスチョンは、キー・コンセプトを基に考えることができるので、単語のような単純な答えを問うのではなく論理的な考え方を求める。従って、フォーカス・クエスチョンは、生徒同士で議論する場を提供することとなった。この生徒間の議論は、観測データや物理学の法則など客観的な根拠を基に進めるので、科学的な思考力が求められる。また、生徒はフォーカス・クエスチョンに対する考えを発言するので、生徒は情報を共有しながら考えを進めることができた。

「恒星の進化」では、生徒が観察・観測したデータを使用して授業を展開することが困難である。従って、「恒星の進化」は、生徒に観察・観測の実感を伴わせることなく理論のみで授業が展開していくことになる。そこで、キー・コンセプト「恒星の特徴とHR図」で、「恒星の進化」を理解する上で重要な恒星のスペクトルを太陽を対象に直視分光計を用いて観察させた。また、本実践では理科年表プレミアム(インターネットで提供されるデジタル版の「理科年表」)に掲載されている恒星のスペクトル型と絶対等級のデータの一部を使用して生徒にHR図を作成させた。

	タイトル	内 容
1次	恒星の特徴	色と明るさによる恒星の区分 恒星の明るさと表面温度の関係 太陽のスペクトルの観察
2次	恒星の特徴とHR図	HR図の作成 HR図を基にした恒星の区分
3次	区分した恒星の特徴とそれぞれの関係	主系列星、赤色巨星、白色矮星の特徴 主系列星と赤色巨星の関係(進化) 赤色巨星の終末と、白色矮星との関係(進化)
4次	恒星の終末と宇宙の物質循環	恒星の終末の姿 恒星の進化に違いが生じる理由 重い物質が作られるしくみ

図4 授業の概要

**恒星の特徴と進化**

恒星はどのような光を放っているか?

物体が放つ光の色と( )の関係  
→恒星の色→( )がわかる  
波長が短いほど表面温度は高温になる (低) 赤→黄→白→青(高)

大気組成の違いにより( )の違いが生じる  
恒星の光の区分→( )の種類で区分する=( )型 例) 太陽=G2型

★恒星の( )型と色・表面温度の関係(図 p.37)

青白

白色

淡黄色

黄色

橙色

赤色

( )型 ( )型

恒星の明るさの表し方・・・等級で表す。マイナスほど明るい(図 p.36)  
1等星は6等星(肉眼で見える最も暗い星)の100倍の明るさ 等級が1違えば、明るさは約2.5倍異なる。  
1等星より明るい星は、マイナスを付ける(例 -1等星)。  
①見かけの等級 例) 太陽=-27等星

②絶対等級・・・光の明るさ(光強度)は、距離の2乗に反比例する。

恒星の進化(誕生から消滅)を調べる方法  
→1つの恒星の一生を調べるのは不可能 一解決策=さまざまな「成長過程」の恒星を探せばよい  
Q: 恒星の一生を調べるには?

図5 授業で使用したワークシートの一部

##### 3. 1. 3 授業者の取り組み

著者は、従来の授業では「恒星の進化」で用いる語句を、恒星の変化に合わせた時系列で配置し、それぞれの語句の前後の関連に留意して授業を展開していた。しかし、コンセプト・フローを用いた授業では、キー・コンセプトに関連する語句の科学的な根拠を踏まえて理論的に関連づけて、次のキー・コンセプトにつなげた。授業中は、従来の授業の場合、「この語句を次に出さなければストーリーが繋がらない」という意識であった。しかし、コンセプト・フローに従っ

た授業では、次のキー・コンセプトにつなげるために観測データ、物理の法則などの根拠が必要となり、根拠とコンセプトの積み重ねで授業を展開するので、自身の中で科学的思考を意識することとなった。チェック・テストの結果から、多くの生徒は「恒星の進化」に不可欠なキー・コンセプトを理解していることから、授業者と同様に、科学的に思考しながら恒星の進化のストーリーをイメージしていたと解釈される。従って、コンセプト・フローを用いた授業は、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考えられる。

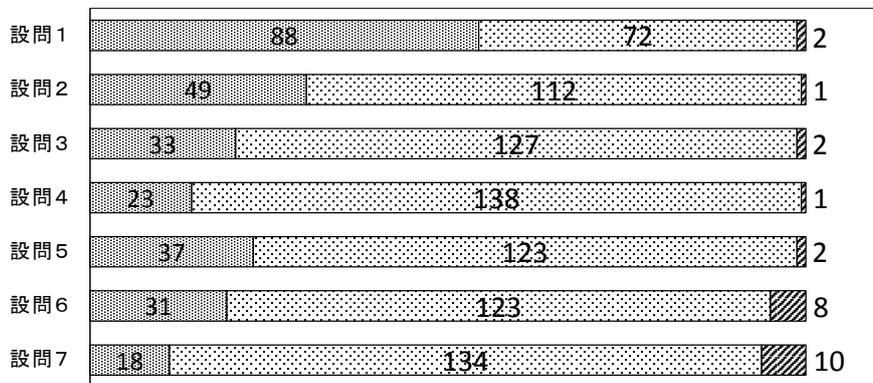
### 3. 1. 4 生徒の反応と教材の評価

「恒星の進化」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(表1)。チェック・テストは、コンセプト・フローに基づいた授業で、キー・コンセプトの理解を評価するために行う(原田ほか, 2018)。「恒星の進化」の授業のチェック・テストは、「恒星の色の違いに気づくことができたか」(設問1)、「恒星の光と色と、その光を放つ天体の表面温

度の関係を理解できたか」(設問2)、「HR図で区分された恒星の特徴を理解できたか」(設問3)、「一般的な恒星と異なる明るさと表面温度の関係を持つ恒星(赤色巨星、白色矮星)の解釈が理解できたか」(設問4)、「主系列星から、赤色巨星、白色矮星への変化の仕組みを理解できたか」(設問5)、「恒星の最後の姿がどのようになるかを理解できたか」(設問6)、「恒星の変化の違いはなぜ生じるのか理解できたか」(設問7)とした。これらの設問は、「理解できた」、「だいたい理解できた」、「理解できなかった」のどれかを選択することとした。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、全ての設問で8割以上の生徒が、「気づく事ができた/理解できた」「だいたい気づく事ができた/だいたい理解できた」と回答した(図6, 表2)。このことから、本授業実践で設定したキー・コンセプトは、「恒星の進化」の理解に適切であったと判断できる。また、「さらに知りたいと思ったこと」は、37名が回答した。最も多かった回答は、「ブラックホール、中性子星」

表1 チェック・テスト

設問	設問内容	a. 気づく事ができた	b. だいたい気づく事ができた	c. 気づく事ができなかった
設問1	恒星の色の違いに気づくことができたか	88	72	2
設問2	恒星の光の色と、その光を放つ天体の表面温度の関係を理解できたか	49	112	1
設問3	HR図で区分された恒星の特徴を理解できたか	33	127	2
設問4	一般的な恒星と異なる明るさと表面温度の関係を持つ恒星(赤色巨星、白色矮星)の解釈が理解できたか	23	138	1
設問5	主系列星から、赤色巨星、白色矮星への変化の仕組みを理解できたか	37	123	2
設問6	恒星の最後の姿がどのようになるか理解できたか	31	123	8
設問7	恒星の変化(進化)の違いはなぜ生じるのか理解できたか	18	134	10



■ 気づく事ができた/理解できた □ だいたい理解できた ▨ 理解できなかった

図6 チェック・テストの結果

表2 チェック・テストの結果

		回答率 (%)	気づくことができた/ 理解できた	だいたい気づくこと ができた/ だいたい理解できた	気づくことができ なかった/ 理解できなかった
設問1 恒星の色の違いに気づくことができたか	全クラス (N=162)	66.7	88 54.3 %	72 44.4 %	2 1.2 %
	A組 (N=23)	56	9	14	0
	B組 (N=26)	65	11	15	0
	C組 (N=27)	69	18	9	0
	D組 (N=30)	73	18	12	0
	E組 (N=32)	78	19	13	0
	F組 (N=24)	59	13	9	2
設問2 恒星の光の色と, その光を放つ天体の表面温度の関係を理解できたか	全クラス (N=162)	66.7	49 30.2 %	112 69.1 %	1 0.6 %
	A組 (N=23)	56	6	17	0
	B組 (N=26)	65	9	17	0
	C組 (N=27)	69	13	14	0
	D組 (N=30)	73	3	27	0
	E組 (N=32)	78	10	22	0
	F組 (N=24)	59	8	15	1
設問3 HR図で区分された恒星の特徴を理解できたか	全クラス (N=162)	66.7	33 20.4 %	127 78.4 %	2 1.2 %
	A組 (N=23)	56	2	21	0
	B組 (N=26)	65	2	24	0
	C組 (N=27)	69	14	13	0
	D組 (N=30)	73	4	26	0
	E組 (N=32)	78	4	28	0
	F組 (N=24)	59	7	15	2
設問4 一般的な恒星と異なる明るさと表面温度の関係を持つ恒星(赤色巨星, 白色矮星)の解釈が理解できたか	全クラス (N=162)	66.7	23 14.2 %	138 85.2 %	1 0.6 %
	A組 (N=23)	56	2	21	0
	B組 (N=26)	65	3	23	0
	C組 (N=27)	69	9	18	0
	D組 (N=30)	73	3	27	0
	E組 (N=32)	78	5	27	0
	F組 (N=24)	59	1	22	1
設問5 主系列星から, 赤色巨星, 白色矮星への変化の仕組みを理解できたか	全クラス (N=162)	66.7	37 22.8 %	123 75.9 %	2 1.2 %
	A組 (N=23)	56	5	18	0
	B組 (N=26)	65	6	19	1
	C組 (N=27)	69	10	17	0
	D組 (N=30)	73	3	26	1
	E組 (N=32)	78	7	25	0
	F組 (N=24)	59	6	18	0
設問6 恒星の最後の姿がどのようなになるか理解できたか	全クラス (N=162)	66.7	31 19.1 %	123 75.9 %	8 4.9 %
	A組 (N=23)	56	4	19	0
	B組 (N=26)	65	4	19	3
	C組 (N=27)	69	10	16	1
	D組 (N=30)	73	3	26	1
	E組 (N=32)	78	8	23	1
	F組 (N=24)	59	2	20	2
設問7 恒星の変化(進化)の違いはなぜ生じるのか理解できたか	全クラス (N=162)	66.7	18 11.1 %	134 82.7 %	10 6.2 %
	A組 (N=23)	56	1	21	1
	B組 (N=26)	65	2	20	4
	C組 (N=27)	69	8	17	2
	D組 (N=30)	73	1	29	0
	E組 (N=32)	78	4	28	0
	F組 (N=24)	59	2	19	3

についてであった(27名)。これらは、大質量の恒星が赤色巨星(赤色超巨星)を経て超新星爆発を起こした後に残る天体なので、本授業では「恒星の最後の姿」と位置づけた。また、本授業実践の目的は「恒星の進化」であるので、大質量の恒星の最後の姿のブラックホールと中性子星については詳しく扱わなかった。従って、これら2つの天体について、より知りたい項目として回答したと考えられる。また、2名の生徒が、主系列星の誕生について知りたいと回答した。本授業実践では、HR図上に表すことができる恒星の進化を、キー・コンセプトを積み重ねることで生徒が理解することを試みた。そのため、授業を原始星から「恒星の進化」を始めると、恒星の誕生について加える必要が生じ、HR図を中心に配置したキー・コンセプトとは別のコンセプト・フローが必要となることが分かった。

### 3. 1. 5 授業者による教材の評価

コンセプト・フローに基づく授業では、生徒に理解させたい概念(コンセプト)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、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。これにより、授業者の授業の進め方が整理され、使用する語句や説明について要点を抽出することができる。その結果、生徒の理解が促される。

## 4. 授業設計の考察

### 4. 1 授業設計に関する問題点

コンセプト・フローを作成するには、まず、その授業に必要なコンセプトを選出・設定しなければならない。コンセプトは到達目標に至る過程に必要な考えなので、授業者自身が科学的思考に基づき授業展開を理解しなければならない。これは、教科書の重要語句の羅列ではない。教科書の流れに従い重要語句を並べると、教科書の流れ通りにスタートからゴールまで矢印でつなぐことができる(図7)。しかし、これは一見するとコンセプト・フローに見えるが、多くの場合上位概念への移動の際に科学的な根拠を必要としない。このことから、図7のフローに基づいた授業では、生徒が科学的思考法を習得する方法として適さないと考えられる。

### 4. 2 科学的思考力を育成するための方法の評価

教科書の流れに従った授業設計では、そのトピックのゴールに至るまでに必要な知識が適切に配列されている。そのため、授業者と生徒は科学的思考を持たなくても、結論に到達できるように、情報(知識=用語)が配列されている。従って、生徒は単語などの「知識」を積み重ねることで目標に到達することができる。しかし、コンセプト・フローを基にした授業では、キー・コンセプトとそれを理解するための根拠の積み重ねで展開するので、科学的な思考法を育成する授業になり得る。ただし、このような授業を立案するには、授業者自身に科学的思考が求められる。科学的な思考法を身につけるには、科学的思考の経験が不可欠である。教員が科学的思考法を習得するには、自身が科学的思考の経験を積むことである。現職の教員が科学的思考の経験を積む場として教員研修が挙げられる。従って、教員研修の場を提供する大学などの高等教育機関は、参加した現職の教員が科学的思考の実践できるようなプログラムを提供する必要があるだろう。

## 5. 結論

- (1) 理科の教員研修で開発されたコンセプト・フローとフォーカス・クエスチョンを図化し、サイエンス・プラクティスの科学の手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を用いて、高校の地学と地学基礎に含まれる「恒星の進化」の授業用教材を開発した。
- (2) 授業実践では、生徒はコンセプトを共有・理解しながら授業に臨むので、到達目標に至る過程をストーリーとして理解できることが分かった。そのため、コンセプト・フローを用いた理科授業は、生徒の科学的思考法の学習機会として適していると判断できた。
- (3) コンセプト・フローを基にした授業では、キー・コンセプトとそれを理解するための根拠の積み重ねで展開するので、科学的な思考法を育成する授業になり得る。ただし、このような授業を立案するには、授業者自身に科学的思考が求められることが不可欠である。従って、授業を担当する教員は、学生時代に科学的思考力と問題解決力を身につける必要がある。また、教員研修の場を提供する大学などの高等教育機関は、参加した現職の教員が科学的思考の実践できるようなプログラムを提供する必要がある。

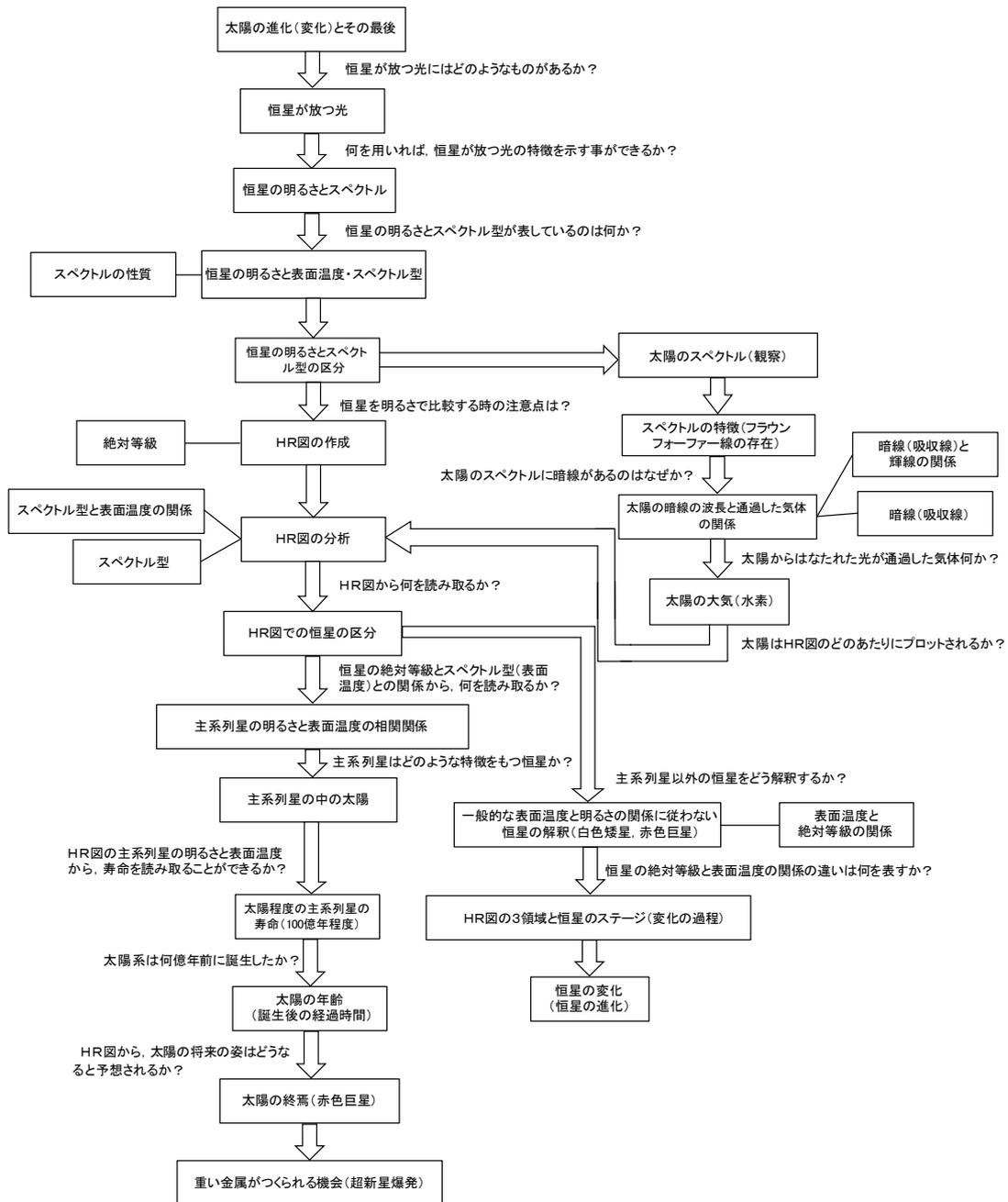


図7 悪いコンセプト・フローの例

## 謝辞

長谷川正理事・副学長（東京学芸大学）には、本論文の構想や内容に関して、議論して頂き、論文が改善された。御礼申しあげます。

## 引用文献

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 69, 321–334.

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—. (印刷中, 投稿日:平成30年3月27日, 受理日:平成30年8月12日)

文部科学省, 2009. 高等学校学習指導要領解説.

[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1304427\\_002.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1304427_002.pdf)

文部科学省, 2018. 高等学校学習指導要領.

[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2018/04/24/1384661\\_6\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/04/24/1384661_6_1.pdf)