

天球概念の認識達成を志向した学習指導方策の提案

Suggestion of Teaching and Learning Strategies for Recognizing about the Celestial Sphere

佐々木 智 謙* 松 森 靖 夫*

SASAKI Tomonori MATSUMORI Yasuo

要約：本稿では，天球概念の認識達成を志向した学習指導方策を提案した．得られた知見は，次の通りである．(1) 計 2 種類の学習指導方法（学習指導資料を使用した指導，及び解決構築を活用した面接指導）を選定したこと，(2) 天球概念の認識達成に要求される計 7 の知識・思考等（A-1～C-3）を抽出したこと，及び (3) 計 9 の学習指導資料（学習指導資料 1～9）を作成したこと

キーワード：天球，天文教育，科学的認識，解決構築，学習指導資料

I はじめに

既に筆者らは，天球という用語に対する高等学校第 1 学年の低い認識状態¹⁾や，視覚可能な天球面の範囲に関する小学校教員志望学生の非科学的な認識の実態²⁾等を報告してきた．さらに，調査結果及びその分析に基づきながら，視覚可能な天球面の範囲の認識達成に際して，要求される計 3 種類の知識（天球の概念規定に関する知識，天球・地球・観測者の相対的な大きさに関する知識，及び地平線の概念規定に関する知識）を抽出した．

ところで，これまでにも，天球を使用した理科学習指導方策等が報告されてきた．例えば，諸外国においては，1960年代にアメリカ地質協会（AGI）が中心となり開発された ESCP³⁾（Earth Science Curriculum Project）による中学生・高校生を対象にした地学教科書⁴⁾をはじめとして，それ以降の地学教科書⁵⁾においても天球が取り上げられている．また，アメリカ合衆国における古代の環状の天球儀（アーミラリ天球儀）モデルの開発⁶⁾や，プラスチック製のコーヒークップの蓋を天球儀に見立て，タイの子どもを対象にして実施された授業実践⁷⁾等を挙げることができる．

一方，我が国においては，天球モデル（透明半球モデルや全球モデル等）を使用した中学校理科授業実践等が報告されている．例えば，天体の日周運動や年周運動の科学的認識の向上⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾や，空間認識の形成を支える視点移動能力の習得¹¹⁾，及び地球儀上での方位認識能力の育成¹²⁾等を図った授業実践である．さらに，高校生を対象にしてプラネタリウム施設での天球座標の認識を促す実践¹³⁾や，天球の動きの認識達成を志向した紙工作による実践¹⁴⁾等も遂行されてきた．

しかしながら，内外にみる既存研究においては，天球を併用した天文事象の認識達成を図る実践研究が遂行されている一方，天球概念自体に焦点を当ててその科学的認識の達成を促す学習指導方策等の提案は皆無に近い．

そこで，既存研究の動向等を鑑み，本研究では，天球の認識達成を志向する理科学習指導方策を考案したので，その概要について報告する．

* 科学文化教育講座

II 学習指導方法の選定

1. 学習指導資料の使用について

前報¹⁵⁾において、筆者らは、文部科学省検定済小・中学校理科教科書にみる天球に関する描画表現を精査し、天球に関する描画表現が学習者に非科学的な認識を生じさせる可能性（想定される誤解釈や認知的混乱）について考察を加えた。さらに、得られた知見をもとに、視覚可能な天球面の範囲に関する認識調査¹⁶⁾を実施し、理科教科書中の天球内に描き添えられる異なるスケールの地球や観測者が、学習者に非科学的な認識を生じさせていることを明らかにした。また、岡崎・高橋・吉岡¹⁷⁾は、中学校理科教科書において、天球概念に関する取り扱いが不十分であることを指摘している。例えば、教科書には天球の大きさについて生徒に理解を与える十分な記述がみられないこと、一部の教科書には日周運動により太陽や他の恒星が天球に対して相対的に動く誤解を与える表現がみられること等である。

こうした調査報告からも分かるように、現行の理科教科書等にみる天球に関する描画表現や記述説明が、学習者の科学的な認識の形成を妨げている可能性も少なからず存在するものと推察される。そこで、本稿では、学習者に具備させるべき知識・思考や必須内容等を盛り込んだ学習指導資料を新たに作成し、指導に取り入れることにした。

2. 解決構築を活用した面接指導

既述した通り、天球に関する学習後間もない高校1年生（中学校第3学年理科単元「地球と宇宙」において天球概念を既習済）や将来教壇に立ち理科指導を行う立場にある学生であっても、天球概念に関する学習内容の定着率は低く、関連する天文学的資質の向上も容易ではない。

そこで、本稿では、作成した学習指導資料を使用して、1対1の対話により、より多くの知識・思考の意識化が期待できる面接法による指導を行う。その際に、解決構築¹⁸⁾（Solution Focused Approach, 以下SFAと略記）という「クライアントの思考の枠組みを理解して、問題解決に役立つクライアントの認識を引き出す。」ことを特徴とするカウンセリング技法を積極的に活用することにした。

III 具体的な学習指導方策の構成

1. 天球の認識達成に要求される知識・思考

上記Iで述べた視覚可能な天球面の範囲の認識達成に要求される計3種類の知識に加えて、これまでの一連の研究¹⁹⁾²⁰⁾で得られた知見等を含み合わせながら、天球概念の認識達成に要求される知識・思考を絞り込む作業を行った。具体的には、表1に挙げた3項目（A：天球の概念規定，B：天球・地球・観測者の表現スケール，C：地平線）に分けて整理し、計7の要求される知識・思考（本表右端のA-1～C-3）を抽出した。

2. 学習指導資料の骨子及び全容

表2は、計4のステップ（ステップI～ステップIV）で使用される計11の学習指導資料（学習指導資料1～10）と、表1の「要求される知識・思考（A-1～C-3）」との対応関係（本表右側）を示している。学習指導資料は、「要求される知識・思考（A-1～C-3）」に加えて、松森²¹⁾を参考にしながら作成し、図2～11（使用時はA4判に拡大）に示したので参照されたい。なお、学習指導資料9は学習指導資料2（図3）と同一のものを使用した。

3. 学習指導方策の構成

計4のステップからなる学習指導方策の詳細（学習指導資料及び解決構築を活用した面接指導の概要を含む）を、図1に示したので参照されたい。

IV 本学習指導方策を実施する際の留意点

1. 本学習指導方策を試行する対象について

本学習指導方策を試行する対象は、中学生や高校生、及び小学校教員志望学生とした。中学生及び高校生は、現行の中学校理科学習指導要領²²⁾における理科単元「地球と宇宙」において天球既習済みにも関わらず、その認識状態が極めて低く、従前の学習指導方策の再考が必要であるため、本学習指導方策の対象とした。また、小学校教員志望学生については、小学校理科において天球と関わる内容（理科教科書中にみる星座早見盤や半球状の天空の描画等）が含まれており、天球に対する科学的な知識・思考を具備する必要があるためである。さらに、視覚可能な天球面の範囲に関する極めて低い認識状態、及び公立高等学校における地学関連科目の履修状況²³⁾（地学基礎26.9%、地学0.8%）を鑑みても、小学校理科において学習指導を行う小学校教員志望学生にあっては、天球に関する科学的な知識・思考等の補完が急務である。

2. SFAを用いた面接指導について

本稿では、SFAを用いた面接指導を提案しているが、SFAは従来の問題解決アプローチのように、クライアントが抱える問題を正確に査定した後、その問題の軽減や解決のための介入を行うカウンセリングとは大きく異なる。つまり、「カウンセラーがクライアントに対して、身近な事柄等についての質問を積極的に行いながら、クライアント自身が気づいていないだけで既に達成できている事柄や、クライアントと自身に既に備わっている“解決のために活用可能な資源等”を意識化させてクライアント自らの手で解決していく場や機会を設定してやること²⁴⁾が、SFAの主な手法である。

理科における学習に置き換えると、「学習者（クライアント）に対して、教員（カウンセラー）が積極的に質問を行いながら、学習者が既に持っている“解決のために有効な知識・思考”を意識化させ、自ら認識達成を志向する機会や場面を設定する」となる。

学習者は、小・中学校理科における天文学習を一通り終えており、中学校段階では天球概念に関する学習も終了している。その既習内容には、天球に関する科学的認識を達成する上で有効な情報も含まれている。例えば、日中の太陽や夜空の天体が弧を描きながら運行する様子は、教科書を通して、また日常的にも頻繁に目にする現象の一つである。また、学校理科において、小学校第4学年で扱う星座早見盤は、観測者を中心にして視覚可能な恒星を投影した模型であり、学校内外を問わず、一度は見聞きしたり使用した経験もあるものと推察される。こうした日常経験や学習経験を、SFAを通して想起させることで、天球の認識達成に有効な知識・思考を意識化させることが可能である。

3. 学習者の情意面の評価について

学習指導資料3（ステップI）及び学習指導資料11（ステップIV）では学習前後、学習指導資料5～10（ステップIII）では学習指導過程における情意面の評価を試みている。情意面を把握することは、学習上の諸問題やその原因等を詳細に把握するとともに、指導を振り返るための一助になるものと考えられるためである。例えば、学習指導前に天球の学習が「好きではない」、「難しい」、または「役に立たない」と考える学習者の場合であれば、中学校理科で、魅力的な授業が展開されなかった

表1：天球概念に関する認識状態と要求される知識・思考との対応表

項目	高校生もしくは小学校教員志望学生の 天球概念に関する認識状態	要求される知識・思考
A 天球の 概念規定	<ul style="list-style-type: none"> ・「天球を聞いたことがない」という高校生が30%以上存在すること ・天球の概念規定を正しく回答できた高校生は皆無であったこと ・天球に関して多様な認識を有しており、特に天球=1/2天球（透明半球）と誤認している者が約30%，及び天球を天体（恒星，惑星，及び衛星など）と誤認している高校生が約16%存在すること 	<ul style="list-style-type: none"> A-1) 天球は仮想の球体であること A-2) 天球には、距離の異なる恒星を貼り付けていること
B 天球・地球・観測者の表現 スケール	<ul style="list-style-type: none"> ・小学校教員志望学生の視覚可能な天球面の範囲は19種類に及び、適切な回答理由を記述できた学生は皆無であったこと ・天球に関する描画表現内に描き添えられる地球及び観測者のスケールを、描画通りに捉える小学校教員志望学生が少なからず存在すること ・観測者から天球面の恒星までの距離が異なると認識している小学校教員志望学生が散見されること 	<ul style="list-style-type: none"> B-1) 天球・地球・観測者のスケール B-2) 天球の中心は観測地点であり、中心から天球面に貼り付けられた恒星までの距離は一定とみなしていること
C 地平線	<ul style="list-style-type: none"> ・観測者と地球との接線が地平線であることを認識できていない小学校教員志望学生が存在すること ・観測者と接している地面を球形に捉えている小学校教員志望学生が相当数存在すると推察されること 	<ul style="list-style-type: none"> C-1) 観測者の地面は平らであり、地球との接線が地平線であること C-2) 地平線は、天球を2分すること C-3) 地平線より上空域が視覚可能なこと

表2：学習指導資料の全体構成

ステップ	学習指導資料	内包する 主な知識・思考
I・II	1 天球という用語に関する認識について	A-1), A-2)
	2 視覚可能な天球面の範囲に関する認識について（学習前）	A-1) ~ C-3)
	3 天球の学習に対する情意面について（学習前）	
III	4 天球の形状の認識について	A-1), A-2), B-2)
	5-1 天球に描き添えられる観測者のスケールの認識について（比例式の挿入無）	B-1)
	5-2 天球に描き添えられる観測者のスケールの認識について（比例式の挿入有）	B-1)
	6 地平線に関する認識について	C-1) ~ C-3)
	7 天球に描き添えられる地球のスケールに関する認識について	B-1)
	8 バランスのよい天球・地球・観測者の表現に関する認識について	A-1), B-1), B-2)
IV	9 視覚可能な天球面の範囲に関する認識について（学習後）	A-1) ~ C-3)
	10 天球の学習に対する情意面について（学習後）	

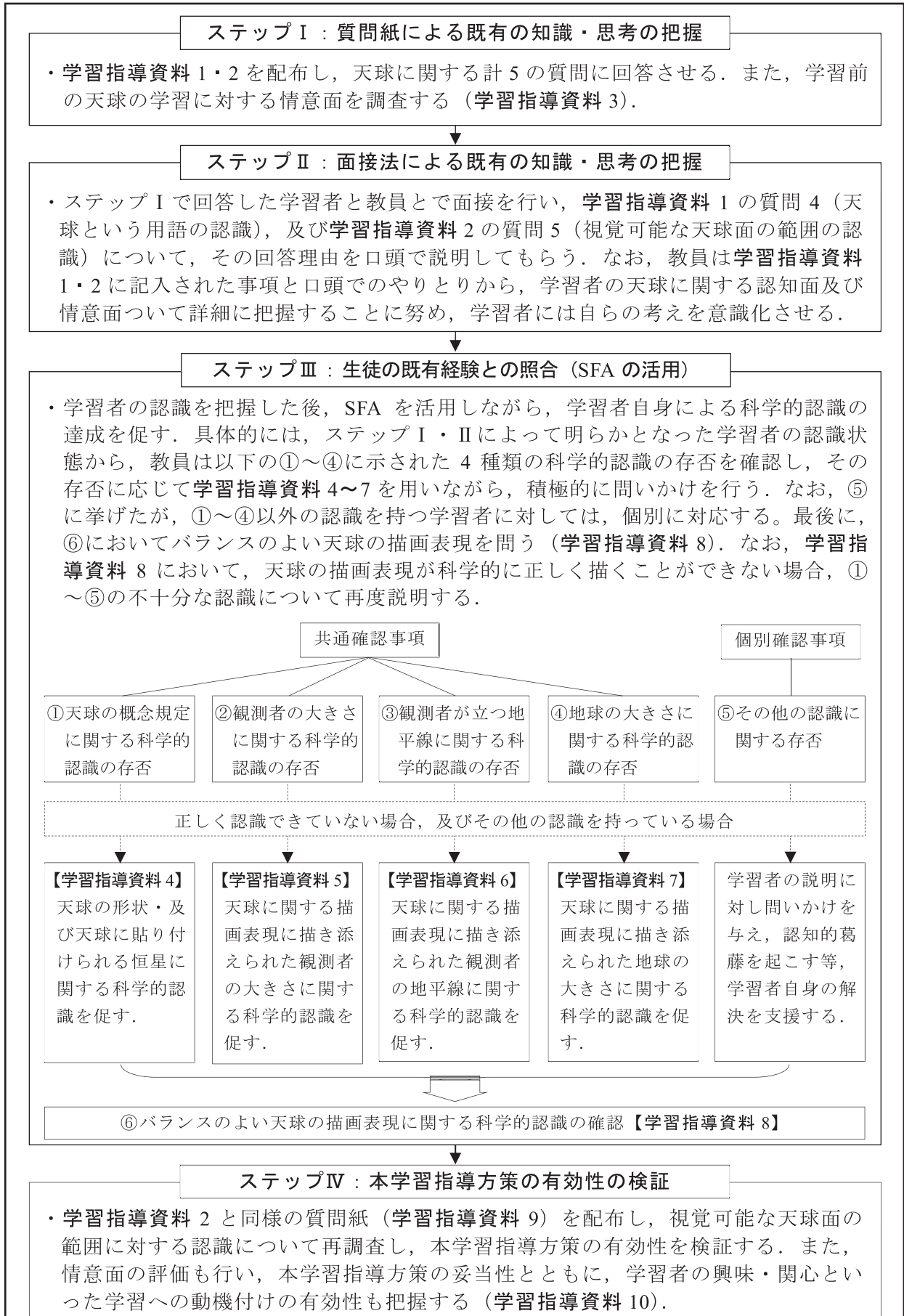


図 1：本学習指導方策の概要

●質問1：高等学校で授業を受けていた科目に、○をして下さい。
 (科学と人間生活・物理基礎・化学基礎・生物基礎・地学基礎・物理・化学・生物・地学)

●質問2：“天球”という言葉聞いたことがありますか。
 (はい・いいえ)

●質問3：質問2で「はい」と答えた人は，“天球”という言葉、いつ頃・どこで、初めて聞きましたか
 (質問1で「いいえ」と答えた人は、抜かして構いません)。
 いつ頃・・・ []
 どこで・・・ []

●質問4：“天球”とは何ですか。下に、絵や図や言葉などで詳しく説明してください。

図2：学習指導資料1

●質問5：

天球上に26個の★(恒星)があります。この時、地球のてっぺんに立っている自分(観測者)から見ることのできる★は、どれだと思いますか。
 見える★の番号すべてに○をつけ、理由も書いて下さい。

できるだけ詳しく書いてください
 ○をつけた理由 (なぜ、『見ることができる』と、思ったのか)

○をつけなかった理由 (なぜ、『見ることができる』とは、思わなかったのか)

図3：学習指導資料2・9

授業前アンケート

①あなたは、天球に関する学習が好きですか。
 []

②あなたは、天球に関する学習が難しいと感じていますか。
 []

③あなたは、天球に関する学習を深めたいと思いますか。
 []

④あなたは、天球に関する学習が生活の中で役に立つと思いますか。
 []

⑤あなたが、今までに受けた天球に関する学習に関して感じていることを、下に自由に書いて下さい。

図4：学習指導資料3

【質問】

地球にいる自分(観測者)から、夜空に見える星までの距離は様々です。しかし、私たちが夜空を眺めると、星までの距離がみな等しく感じます。
 右図に、自分(観測者)からそれぞれの星までの距離が等しいとして、左図の星を描いてみてください。

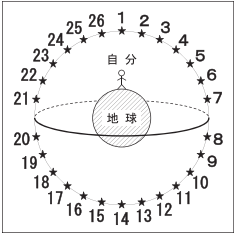
左図の星を自分から等距離に描こう!

【アンケート】

①天球の形状について理解できましたか。
 ②説明は分かりやすかったですか。
 ③今回の説明の感想を書いて下さい。

図5：学習指導資料4

【質問】
 図の地球の直径は、約 1 cm で描かれていますが、**大きさのバランスを正しく描くと、図の自分（観測者）はどれくらいの身長になるでしょうか。**電卓を使って計算してみよう。



図

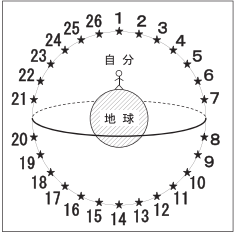
<ヒント>実際の地球の直径 : 13000km
 実際の自分の身長 : _____cm

【答え】 図の自分（観測者）の身長 _____cm

【アンケート】
 ①天球描画内の自分（観測者）の大きさについて理解できましたか。
 ②説明は分かりやすかったですか。
 ③今回の説明の感想を書いて下さい。

図 6：学習指導資料 5-1

【質問】
 図の地球の直径は、約 1 cm で描かれていますが、**大きさのバランスを正しく描くと、図の自分（観測者）はどれくらいの身長になるでしょうか。**電卓を使って計算してみよう。



図

<ヒント>実際の地球の直径 : 13000km
 実際の自分の身長 : _____cm

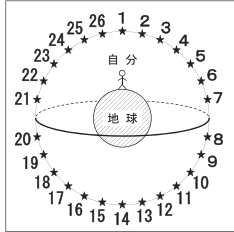
実際の地球の直径	実際の自分の身長	図の地球の直径	図の自分の身長
_____cm	: _____cm	= _____cm	: X cm
		X cm	= _____cm

【答え】 図の自分（観測者）の身長 _____cm

【アンケート】
 ①天球描画内の自分（観測者）の大きさについて理解できましたか。
 ②説明は分かりやすかったですか。
 ③今回の説明の感想を書いて下さい。

図 7：学習指導資料 5-2

【質問】
 図の地球の直径は、約 1 cm で描かれていますが、**大きさのバランスを正しく描くと、図の自分（観測者）はどれくらいの身長になるでしょうか。**電卓を使って計算してみよう。



図

<ヒント>実際の地球の直径 : 13000km
 実際の自分の身長 : _____cm

実際の地球の直径	実際の自分の身長	図の地球の直径	図の自分の身長
_____cm	: _____cm	= _____cm	: X cm
		X cm	= _____cm

【答え】 図の自分（観測者）の身長 _____cm

【アンケート】
 ①天球描画内の自分（観測者）の大きさについて理解できましたか。
 ②説明は分かりやすかったですか。
 ③今回の説明の感想を書いて下さい。

図 8：学習指導資料 6

【質問 1】
 図の地球の直径に対して、図の天球の直径は約何倍に描かれていますか。
 約 () 倍

【質問 2】
 地球から一番近い距離の星はケンタウルス座のアルファ星といえます。ケンタウルス座のアルファ星までの距離は、実際の地球の直径の約何倍ですか。下のヒントを使い電卓で計算しましょう。



図

<ヒント> 実際の地球の直径 : 13000km
 地球からケンタウルス座のアルファ星までの距離 : 40000000000000km
 約 () 倍

【質問 3】
 図の直径が約 1 cm の地球に対して、ケンタウルス座のアルファ星は、地球から約何 cm 離れたところにありますか。
 約 () cm = 約 () km

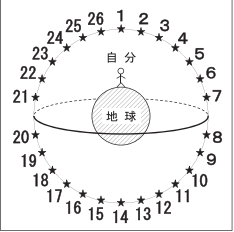
【質問 4】
 図の天球の直径は、約 3 cm で描かれています。**大きさのバランスを正しく描くとすると、図の地球はどれくらいに描けばよいと思いますか。**

【アンケート】
 ①天球面に貼り付けられた恒星までの距離について理解できましたか。
 ②説明は分かりやすかったですか。
 ③今回の説明の感想を書いて下さい。

図 9：学習指導資料 7

【質問】

下にある左図の天球の描画表現において、アンバランスな表現はどこだと思いますか。下の空欄に言葉で説明して下さい。また、“自分（観測者）”と“地球”と“天球”の大きさをバランスよく描くとどう描けますか。右側の四角枠に、大きさのバランスの正しい天球を描いて下さい。



バランスの正しい天球を描いてみよう。

上の図のアンバランスな表現はどこですか。

【アンケート】

- ① 大きさのバランスの正しい天球に関する描画表現について理解できましたか。
- ② 説明は分かりやすかったですか。
- ③ 今回の説明の感想を書いて下さい。

図 10: 学習指導資料 8

授業後アンケート

- ① あなたは、今回受けた天球に関する学習が好きですか。
- ② あなたは、今回受けた天球に関する学習が難しいと感じていますか。
- ③ あなたは、今回の学習を通して、もっと天球に関する学習を深めたいと思いますか。
- ④ あなたは、今回受けた天球に関する学習が生活の中で役に立つと思いますか。
- ⑤ あなたが、今回受けた天球に関する学習に関して感じていることを、下に自由に書いて下さい。

図 11: 学習指導資料 10

ことや、理科教科書等の天球に関する記述が理解できなかったこと、あるいは天球を使用する利便性を感じ出来なかった等、諸々の要因が内在している可能性が考えられる。こうした学習者の抱える諸問題やその原因等を学習指導資料の記述や面接によるやりとりから読み取り、学習者の状況に応じた指導を行うのである。情意面に配慮することで、指導過程における指導方法の修正や指導時間の長短等の調整にも役立つ。さらに、学習後においては、本学習指導方策に対する学習者の感想や有用性の感得等についても把握することができる。

V 結語に変えて

本学習指導方策では、学習指導資料と解決構築を活用した面接法による積極的な問いかけ等を通して、学習者自身が既に持ち合わせている知識・思考を喚起し、科学的認識を獲得できるような学習指導方策を設計した。しかしながら、本学習指導方策を実施し、その効果を実証するには至っていない。今後は、実効について検証するとともに、結果に基づきながら、学習指導方策の更なる改良・発展、及び教員側の適切なアプローチについて、継続的に研究していく必要がある。

註

- 1) 19) 松森靖夫, 佐々木智謙 (2009) 「用語“天球”に関する高校生の認識状態の分析」『理科教育学研究』第 50 卷, 第 2 号, 121-129.
- 2) 16) 佐々木智謙・松森靖夫・佐藤寛之 (2016) 「視覚可能な天球面の範囲に関する小学校教員志望学生の認識状態の分析－表現スケールの異なる天球・地球・観測者の描画に基づいて－」『理

- 科教育学研究』第57巻, 第2号, 213-222.
- 3) 加藤貞夫 (1971): 「アメリカの理科教育プロジェクト」『名古屋大学教育学部附属中・高等学校紀要』第16集, 134-137.
 - 4) Bisque, R. E. *et al.* (1967) Part1 teacher's guide investigating the earth. pp.131-132. Houghton Mifflin Company, U.S.A.
 - 5) Jackson, J. K. and Evans, E. D. (1980) Teachers manual spaceship earth earth science . pp.T47-48. Houghton Mifflin Company, U.S.A.
 - 6) Gangui, A., Casazza, R. and Paez, C. (2014) From the scale model of the sky to the armillary sphere. *The Physics Teacher*, 52, 403-405.
 - 7) Ruangsuwan, C. and Arayathanitkul, K. (2009) A low-cost celestial globe for hands-on astronomy. *Physics Education*, 44 (5), 503-508.
 - 8) 渡辺寛樹・川上紳一 (2010) 「透明半球を用いた天球モデルを活用した理科授業の試みー中学校理科「地球と宇宙」における実践ー」『岐阜大学教育学部研究報告』第34巻, 87-90.
 - 9) 吉田香純 (2013) 「天体の運動に関するモデルの作成ー教科書で図示されるモデルの立体化と教材としての活用を目指してー」『北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要』第25号, 132-135.
 - 10) 佐々木修一 (2017) 「小・中学校の円滑な接続により, 太陽の日周運動の変化を理解するー実際の観察とモデルを使った実験によって形成される空間の認識を通してー」『理科の教育』第66巻, 第779号, 42-44.
 - 11) 荒井豊 (2000) 「理科における視点移動能力の習得に関する一考察ー「地球の自転」の指導においてー」『理科教育学研究』第41巻, 第1号, 25-36.
 - 12) 中高下亨・前原俊信・永田邦生・荒森圭子 (2002) 「中学校天体学習に関する一考察ー自作モデル教材の購入と生徒の方位認識ー」『理科教育学研究』第43号, 第2号, 35-43.
 - 13) 川村教一 (2002) 「プラネタリウム施設で行う天体の動きと天球座標の授業ー高等学校地学I Bでの実践例」『地学教育』第55巻, 第5号, 183-187.
 - 14) 盛岡隆・大脇直明 (1989) 「天球の動きを理解するための紙工作」『地学教育』第42巻, 第6号, 231-242.
 - 15) 20) 松森靖夫・佐々木智謙 (2010) 「理科教科書中の天球に関する描画表現について」『初等中等教育用理科教科書の学習材機能の向上に関する調査研究: 研究成果報告書』第II巻, 359-372.
 - 17) 岡崎彰・高橋信貴・吉岡一男 (2013) 「中学理科における天球モデルについての一考察」『群馬大学教育実践研究』第30号, 9-16.
 - 18) 24) De Jong, P. and Berg, I. K. (2001) : Interviewing for Solutions. Brooks/Cole. (邦訳: 住谷裕子・桐田弘江 (2004) : 『解決のための面接技法ーソリューション・フォーカスト・アプローチの手引きー』300p, 金剛出版.)
 - 21) 松森靖夫 (2007) 『学びなおしの天文学基礎編』193p, 恒星社厚生閣.
 - 22) 文部科学省 (2008) : 『中学校学習指導要領解説 理科編』149p, 大日本図書.
 - 23) 文部科学省 (2015) 「平成27年度公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査」http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1368209