

[理 科]

中学校理科におけるタンジブル地球儀システムの利用

ー タンジブル地球儀システムによる「日周運動と地球の自転」の学習からー

大崎 貢*

1 はじめに

筆者は、以前から科学を学ぶ意義・有用性を実感させる授業実践を行ってきた。その方法として、本物を用いた観察・実験に力を入れている。しかし、中学校の天文学習において、毎時間実際の天体を観測しながら授業を進めていくことは難しい。しかし、生徒が進んで探究活動を行うことができる「問題提示」と、生徒の探究活動を支援する手だてになる「システム」を教材として用いれば、本物を用いた観察・実験にせまる授業実践を行うことができると考える。

天文学習では、見かけの動き（以下、地球視点とする）を、実際の天体の動き（以下、宇宙視点とする）によって考察しなければならない。この学習では、対象に応じて地球視点と宇宙視点を移動したり、地球視点や宇宙視点の中でも、任意の地点に視点を移動したりする。また、各視点から見える現象は、連動して捉える必要がある。そのため、学習の困難が数多く指摘されている。そこで、生徒の視点移動を支援する手だてとして、地球視点と宇宙視点の統合を目指すタンジブル地球儀システムを利用した。本システムは、地球儀と自分のアバタ（化身）となる人形をインタフェースとし、連動した地球視点と宇宙視点の天文シミュレーションを自由に観察できる。

タンジブル地球儀システムは、手で体と首の向きを動かすことが可能な人形型のタンジブルアバタと、ロータリエンコーダが取り付けられ、その回転量を計測できる地球儀（以下、タンジブル地球儀とする）、そしてタンジブル地球儀の下部にある回転台で構成されている。タンジブルアバタは地球儀の表面に取り付けることができ、取り付けられた地点から周囲や空を見渡すことのできるVRコンテンツ（MITAKA Plus）が用意されている。（図1）

すなわち、地球儀を回転させることでコンテンツ内の時刻を操作することができ、タンジブルアバタの頭や体の向きを変えることで、あたかもアバタが見ている映像であるようにコンテンツ内の視点を動かすことができる。この時、サブディスプレイ内にはアバタの仰角が表示されている。また、タンジブルアバタはポテンシオメータが内蔵されているため、体の向きから方位を把握できる。タンジブル地球儀上には観測地点が日本、オーストラリア、ホンジュラスの3ヵ所あり、タンジブルアバタの立つ位置を変えることでコンテンツ内の観測地点を変更することができる。生徒は、タンジブル地球儀システムを用いることによって、日の出、日の入りの時刻、季節や地点による太陽の南中高度の違いなど太陽の日周運動に関する学習を直観的に行うことができる。（図2）

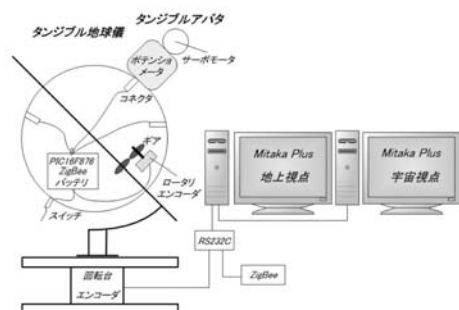


図1 システムの内部構成



図2 実際のシステムの様子

同様な実践に久保田らの研究があるが、これは小学生に対する実践であるとともに、システム利用は教師による演示である。中学生を対象にし、生徒自身にシステムを使わせている実践は他にない。さらに、地球視点と宇宙視点のそれぞれを評価し、考察している研究は見当たらない。

* 新潟県立柏崎翔洋中等教育学校

2 研究仮説

理科の授業において、生徒が天文学習における空間認知を支援するタンジブル地球儀システムを自ら操作することによって、地球視点と宇宙視点を結びつけることができ、次の3点の学習効果が高まるであろう。

- (1) 地球視点と宇宙視点を同時に観察することで、「日周運動と地球の自転」の理解が深まる。
- (2) 地球視点と宇宙視点を同時に観察することで、「日本とオーストラリアの日周運動の違い」を理解できる。
- (3) 日本とオーストラリアで視点移動させることが、月の満ち欠けの視点移動にも影響する。

3 授業実践と評価の方法

- (1) 調査対象となる生徒 新潟県内公立中等教育学校の3学年2クラス、計77人
- (2) 実践期間 平成22年7月
- (3) 学習の流れ

3年生の単元、地球と宇宙「天体の動きと地球の運動」の学習において、教師の演示による課題把握後、生徒がタンジブル地球儀システムを自ら操作して探究活動を行うという学習過程を構成した。(表1)以下の学習指導計画では、システムを利用した場面を中心に示す。

表1 3年生「地球と宇宙」指導計画

時	○主な学習活動 ・教師の支援
天体の動きと地球の自転・公転	1 天体の動きと地球の運動(日周運動と地球の自転) ○天球の説明+プレテスト(太陽の動き予想問題, 視点移動) ・透明半球を使って演示。その後、休み時間を利用して、透明半球の実験をさせる。
	2 ○太陽の日周運動と地球の自転の現象理解 ・システムのモニタ(地球視点)をプロジェクタで投影し、夏至の太陽の動きを確認させる(演示による一斉指導)。 ・日の出・日の入りを、地球儀の明暗とその時間から朝夕を特定し、地球の自転方向を確認させる(演示による一斉指導)。次時のグループ学習で再確認させるために、詳細は指導しない。 ・アバタをオーストラリアにセットし、オーストラリアの日周運動を確認させる(演示による一斉指導)。この学習も次時のグループ学習で確認するため、オーストラリアの地球上の位置の確認と現象の確認のみを行う。
	3 ○太陽の日周運動を地球の自転から考察 ・日本にアバタをセットし、地球の自転を確認させる(グループ活動)。 ・オーストラリアにアバタをセットし、地球の自転を確認させる(グループ活動)。 ・日本とオーストラリアでは、太陽の動きが違うことを考察させる(グループ活動)。本課題は、発展的課題として行う。
	4 ○夜の星の動き+ポストテスト(太陽の動き確認問題, 視点移動) ・星の動きを地球の自転と関係づけながら考察させる。

(4) 評価の方法

生徒がタンジブル地球儀システムを操作することによる学習効果を調査する。クラスを名簿順により4~5人班に分け、システムを操作するシステム群(3班×2クラス・26名)と、地球儀と方位板に固定されたアバタを操作する地球儀群(6班×2クラス・51名)とした。(図3, 4)どちらも学習の流れは、同じである。(図5)また、生徒全員にシステムを使う機会を与えるため、本実践以降の学習活動では、システム群と地球儀群を入れ替えて行った。



図3 システム群の学習のようす



図4 地球儀群の学習のようす

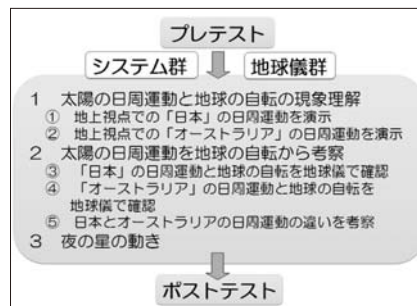


図5 両群の学習の流れ

両群とも、生徒は地球儀を斜め上から見下ろしている。つまり、生徒の視野は宇宙視点で地球儀を操作、および観察することになる。ただし、図5の学習の流れ2の活動⑤では、システム群は太陽の日周運動（地球視点）をモニタで確認しながら地球儀を操作して考察しているが、地球儀群は地球儀の操作のみで考察を行う。そのため、システム群と地球儀群を比較することで、「日周運動と地球の自転」および「日本とオーストラリアの日周運動の違い」の理解に対し、地球視点モニタを閲覧することの効果の評価できる。

システム使用の直前にはプレテスト、直後にはプレテストと同じ問題を使ってポストテストを行った。テストの内容は、地球視点に関する問題（2問×3点：3つの観点を設定し、0～3点で評価する）、宇宙視点に関する問題（5問×1点）で構成されている。地球視点に関する問題は、天球に太陽の動きを図示させることで、太陽の日周運動の理解度を測定した。（図6）宇宙視点に関する問題は、宇宙視点から見た地球について図を使い、自転方向や朝夕の地点を回答させることで、地球の自転の理解度を測定した。（図7）それぞれの問題は、回答に対する自信の度合い（以下、回答の自信度とする）についても4件法で評価した。理解度、回答の自信度とも、地球視点に関する得点の合計、宇宙視点に関する得点の合計を分析した。ただし、今回使用した宇宙視点に関する問題は、プレテストが全問正解の生徒が数名存在した。学習効果を測定するため、すでに学習内容を理解していると思われる全問正解の生徒は、両群とも除外して分析を行った。

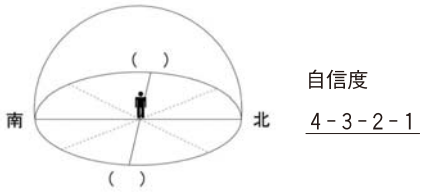
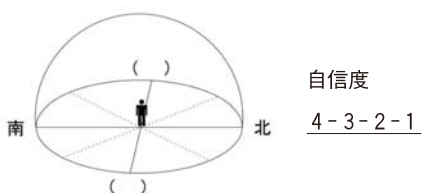
<p><u>太陽の日周運動</u></p> <p>問1 下の図中の2つの（ ）に正しい方位を書き込んでください。日本で観察できる夏至（6月21日頃）の太陽の日の出、12時、日の入りの太陽の位置を下の天球の図に書き込んでください。また、太陽の動く方向を矢印で表してください。</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p><u>オーストラリアの日周運動</u></p> <p>問2 オーストラリアで観察できる6月21日の太陽の日周運動を、問1と同様に下の天球の図に書き込んでください。</p> <div style="text-align: center;">  </div>
--	---

図6 地球視点に関する問題（2問×3点）

<p><u>自転の向き</u></p> <p>下の図は、宇宙空間での太陽と地球の関係を示したものです。以下の問いに答えてください。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>問1 地球の正しい自転方向は、図中の①、②のうちどちらか。 A. _____ 自信度 4-3-2-1</p> <p>問2 地球が回転する方位を下から選び、丸を付けてください。 (東・西・南・北) → (東・西・南・北) 自信度 4-3-2-1</p>	<p><u>日本の日の出と日の入</u></p> <p>下の図は、地球を北極側から見ています。日本が、日の出の図と日の入りの図をそれぞれ選択し、記号で答えてください。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>自信度 4-3-2-1</p> <p><u>自転の向き</u></p> <p>地球はどちらの方向に回転していますか。下の図の正しい矢印を選択し、記号で答えてください。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>A. _____ 自信度 4-3-2-1</p>
---	--

図7 宇宙視点に関する問題（5問×1点）

4 研究の成果

本実践が生徒にとって、有効であるかどうかについてプレ・ポストテストを比較して、以下の3点で分析した。その結果、授業前後において得点の有意な向上が見られ、システムの効果が示唆される点と、今後の課題となる点が明らかになった。

(1) 「日周運動と地球の自転」の理解について

① 地球視点から見た太陽の日周運動

地球視点から見た太陽の日周運動に関して、システム群と地球儀群の授業前後における理解度を示したものが、表2および図8である。分散分析の結果、授業前後の主効果 ($F(1,75)=275.19$) が1%水準で有意であった。交互作用は有意ではなかった。同様に、回答の自信度を示したものが、表3および図9である。分散分析の結果、授業前後の主効果 ($F(1,75)=81.27$) が1%水準で有意であった。交互作用は有意ではなかった。

両群とも、地球視点から見た太陽の日周運動に関する理解度と回答の自信度が向上した。特に理解度については、地球儀群よりシステム群の方がより向上している。回答の自信度については、システム群と地球儀群に差はなかった。

表2 地球視点に関する問題の理解度 (満点: 6点)

		N	Mean	S.D.
システム群	プレ	26	0.88	1.22
	ポスト	26	4.08	1.07
地球儀群	プレ	51	1.02	1.02
	ポスト	51	3.88	1.17

表3 地球視点に関する問題の回答の自信度 (満点: 8点)

		N	Mean	S.D.
システム群	プレ	26	3.08	1.27
	ポスト	26	5.38	1.78
地球儀群	プレ	51	3.25	1.52
	ポスト	51	5.61	1.99

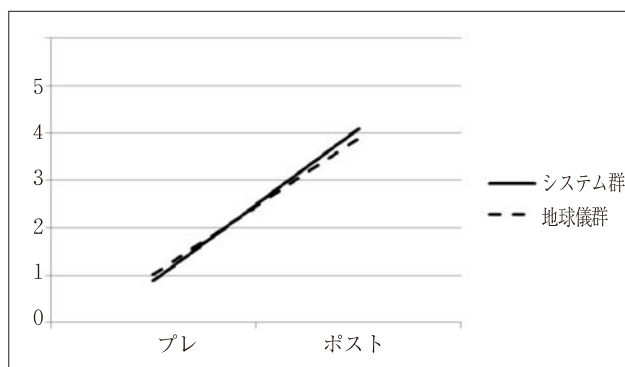


図8 地球視点に関する問題の理解度

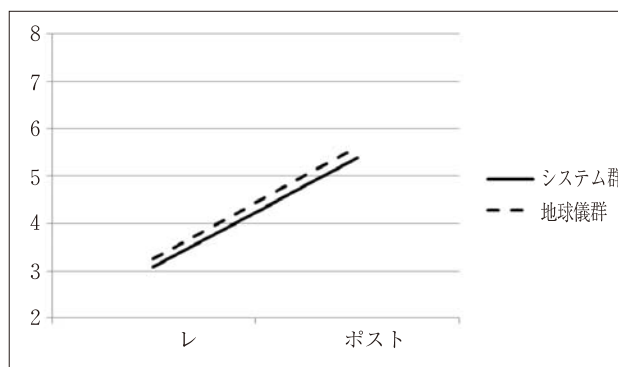


図9 地球視点に関する問題の回答の自信度

地球視点から見た太陽の日周運動の学習は、最初両群とも演示による一斉指導を行った。その後、システム群は、自ら地球儀を操作しながらモニターで日周運動を確認した。結果としては、両群とも理解度および回答の自信度が向上しているため、システムを操作しながら地球視点の日周運動を観察することの効果は、判断できない。この結果の理由として、太陽の日周運動について、小学校での学習や日常生活の経験の中で感覚的に理解できている生徒が多いため、演示による確認のみで、容易に理解できたと考えられる。

② 宇宙視点から見た地球の自転

宇宙視点から見た地球の自転に関して、システム群と地球儀群の授業前後における理解度を示したものが、表4および図10である。分散分析の結果、交互作用が有意であった ($F(1,61)=7.05$ * $p<.05$)。授業前後の単純主効果を検定したところ、両群共に1%水準で有意であった (システム群 $F(1,61)=83.48$, 地球儀群 $F(1,61)=28.96$)。システム群・地球儀群の単純主効果を検定したところ、授業前および授業後とも有意な差はなかった。同様に、回答の自信度を示したものが、表5および図11である。分散分析の結果、交互作用が有意傾向であった ($F(1,61)=3.96$ + $p<.10$)。授業前後の単純主効果を検定したところ、両群共に1%水準で有意であった (システム群 $F(1,61)=63.68$, 地球儀群 $F(1,61)=26.70$)。システム群・地球儀群の単純主効果を検定したところ、有意な差はなかった (授業前 $F(1,61)=0.04$, 授業後 $F(1,61)=1.96$)。

両群とも、宇宙視点から見た地球の自転に関する理解度と回答の自信度が向上した。特に理解度については、地球儀

群よりシステム群の方がより大きく向上しているため、システムを自ら操作して観察しながら、宇宙視点から見た地球の自転を考察することの効果が示唆される。また、回答の自信度は、理解度の高まりと同様に両群が向上し、地球儀群よりシステム群の方がより大きく向上している。

表4 宇宙視点に関する問題の理解度 (満点: 5点)

		N	Mean	S.D.
システム群	プレ	23	2.39	1.24
	ポスト	23	4.17	0.76
地球儀群	プレ	40	2.88	1.14
	ポスト	40	3.93	1.08

表5 宇宙視点に関する問題の回答の自信度 (満点: 16点)

		N	Mean	S.D.
システム群	プレ	23	9.65	2.39
	ポスト	23	14.48	4.37
地球儀群	プレ	40	9.83	3.48
	ポスト	40	12.95	3.94

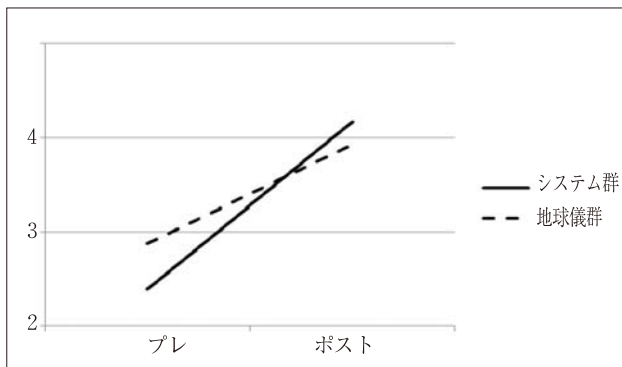


図10 宇宙視点に関する問題の理解度

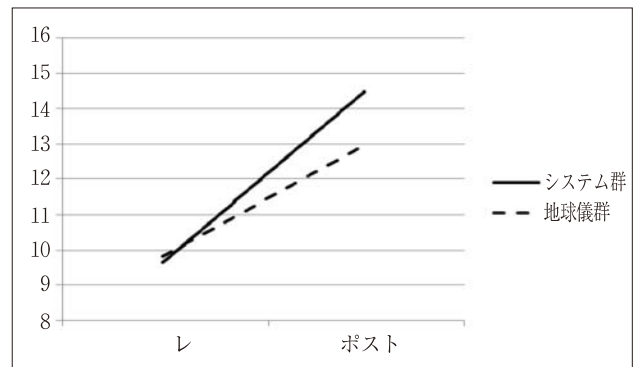


図11 宇宙視点に関する問題の回答の自信度

宇宙視点から見た地球の自転の学習は、グループ活動で考察した。システム群は、太陽の日周運動（地球視点）をモニタで確認しながら地球儀を操作している。この活動が、地球の自転の理解に影響があることがわかる。太陽の日周運動は、小学校での学習や日常生活の経験の中で感覚的に理解しやすい現象であるのに対し、地球の自転は観察したりその動きを考えたりする機会は少ない。そのため、地球の自転の理解に自信のない生徒が多い。システム群は、理解しにくい宇宙視点の動きを、容易に理解できる地球視点と結びつけることができたため、理解度と回答の自信度が大きく高まったと考えられる。

(2) 「日本とオーストラリアの日周運動の違い」について

日本とオーストラリアの日周運動の違いを考察する活動では、グループに分かれ、日本とオーストラリアの太陽の動きの違いを確認した後、太陽が昇る方位の違いを、システム群はシステムを使いながら、地球儀群は地球儀を使いながら考察した。活動後に、各自の考えを図と文章でワークシートに書かせた。(図12) そのワークシートの記述は、教師が4段階の観点を設定して評価した。その結果を集計して得点を示したのが、表6である。分散分析の結果、システム群が1%水準で有意に向上した ($F(1,76)=10.73$)。この結果から、システム群は、北半球と南半球の日周運動の違いをより正確に考察できたとと言える。

発展問題

日本とオーストラリアでは、正午に太陽が昇る方位は異なりました。異なった理由を、地球儀を使いながら考えてください。その結果、分かったことを図や文章を用いて説明してください。




表6 「日本とオーストラリアの違い」の理解度 (満点: 4点)

	N	Mean	S.D.
システム群	24	1.96	0.71
地球儀群	52	1.29	0.91

図12 「日本とオーストラリアの違い」の問題

地球の自転と日周運動の関係を理解するためには、地球の自転に伴う視点移動（公転面に水平な回転移動）が必要である。今回の発展学習は、それに加えて日本とオーストラリアの視点移動（公転面に垂直な回転移動）が必要となる。システム群は、この課題に対してより詳細な考察をしているため、公転面に水平な視点移動とともに、垂直な視点移動ができた生徒が多いと考えられる。

システム群の生徒の考察場面を観察すると、生徒は以下の2通りの利用の仕方に分けられた。

- ① システムによって現象を確認した後に、地球視点モニタを見ながら、アバタの仰角と方位を動かし、地球儀とアバタ、太陽の位置関係を観察することで、その要因を発見するグループ。
- ② システムによって現象を確認した後に、ワークシート上で仮説を生成し、仮説をシステムで確認するグループ。
つまり、操作しながら帰納的に課題解決するツールとしてだけでなく、仮説を検証する演繹的なツールとして利用していた。

また、2通りの利用法を適宜変更しながら考察を進めるグループもあった。生徒の思考の程度に応じて、解決法を選択できたことは、システムの効果に影響していると考えられる。

(3) 日本とオーストラリアでの視点移動が月の満ち欠けの理解に影響するかについて

本実践によって、視点移動は複雑な要因が関係していることが分かり、今回の方法で仮説を検証することは難しかった。調査結果をさらに分析し、公転面に水平な回転と垂直な回転における視点移動の関連を考察する必要がある。今後、調査用紙の改善を行い、本実践が月や金星の満ち欠けに関する視点移動に影響を与えるかについて、調査していきたい。

5 おわりに

地球視点の理解は、システムを使った演示実験で十分に向上した。宇宙視点の理解は、演示に加えて、地球儀を宇宙視点で操作することが有効である。しかし、地球の自転は通常思考する機会の少ない宇宙視点である。このシステムは、単に地球儀を操作するだけでなく、地球儀操作（宇宙視点）と地球視点の動きを連動させることができる。そのため、日常生活や学習の中で理解が容易に確立できる地球視点（太陽の日周運動）と宇宙視点を結びつけることで、宇宙視点の理解が向上したと考えられる。また、理解に対する自信度も同様の傾向であることは、地球視点と宇宙視点の統合が図られたことと関連していると考えられる。

また、本実践から以下の4点が課題としてあげられる。

- (1) それぞれの問題の回答の自信度は、理解度と連動していた。自信度が高いことで、長期間の理解の定着が期待される。システム利用が、理解の定着と関連するかについて、さらに今後の追跡調査が必要である。
- (2) 地球の自転に関する問題は、地球儀のポストテストに天井効果が見られる。そのため、評価問題の工夫が必要である。
- (3) 北半球と南半球の日周運動の違いは、異なる視点移動が必要である。それぞれの視点移動の関連を調査する必要がある。また、中学生の理解が困難とされる月の満ち欠けに関する視点移動能力の獲得との関連も調査すべきである。
- (4) 視点移動（例えば、日本とオーストラリア）と視野移動（方位や仰角）が同時に必要な場面で、システム群は視点移動と視野移動を混同する生徒もいた。モニタとしてもっと広い視野のものを準備する等、システムの改良が必要である。

6 参考文献

葛岡英明, 藤門千明, 山下淳, 奥村信太郎, 安藤真, 吉田和弘, 谷川智洋, 広瀬通孝「タンジブルアバタを用いた天文教育支援の研究」『ヒューマンインターフェイス2005発表資料』, 2005年, 495-498.

久保田善彦, 山下淳, 奥村信太郎, 葛岡英明, 加藤浩「太陽系シミュレーションを利用した月の満ち欠け学習の実践と効果」『科学教育研究』日本科学教育学会, 2007年, 248-256.

瀬戸崎典夫, 森田裕介「Web3Dと実物模型を併用した多視点型天体教材の開発」『日本科学教育学会研究会研究報告』, 2006年, 95-98.

田中敏『実践心理データ解析』, 新曜社, 2006年

藤門千明, 安藤真, 山下淳, 吉田和弘, 葛岡英明, 廣瀬通孝「タンジブルアバタを利用した空間ナビゲーションインタフェースの評価」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』2004年, 123-134.

[謝辞] 本研究は、挑戦的萌芽研究21650203（研究代表：葛岡英明）の助成を受けて行った。

授業デザインと評価手法の検討において、久保田善彦（上越教育大学、准教授）の協力を得た。