

89 - T 2 1

B 1 - 0 4

平成元年度 佐賀県教育センター

長期研修生 研修報告書

< 研究主題 >

中学校理科第二分野におけるシミュレーションプログラム  
「地球の公転における季節変化」の作成

佐賀県立金立養護学校

教 諭 山 田 洋

< 内容の要約 >

「地球の公転」の単元を扱う場合、身近な観察記録の結果を大切にし、地球の公転や地軸の傾きと昼夜の長さを関連付けて捉えさせて行くことが必要である。その一つの方法として、地球のモデルを地球儀として、昼夜の長さを紐で測る方法がある。しかし、地球儀では、測定するのが難しくもあり、正確な値が出せず理解しづらい面もあった。そこで、地球儀で理解する時の補助的な道具として役に立つシミュレーションプログラムを開発した。

< 検索用語 > 中学校 理科教育 地学 C A I シミュレーション コンピュータ  
高等学校

<目次>

・ 研究主題	-----	1
・ 主題設定の理由	-----	1
・ 研究の目標	-----	1
・ 研究の内容と方法	-----	1
1 文献による研修	-----	1
2 シミュレーションプログラム「地球の公転における季節変化」の作成	---	2
・ 研究の実際	-----	2
1 教育用ソフトウェアの分類	-----	2
2 教育用シミュレーションについて	-----	3
(1) シミュレーションを用いる目的	-----	3
(2) シミュレーション教材の開発について	-----	3
3 中学校理科教育におけるシミュレーションプログラムの開発	-----	5
(1) 基礎資料	-----	5
・ 学習指導要領及び中学校指導書理科編	-----	5
・ 関連する概念の関係図	-----	7
・ 単元の指導計画とシミュレーションプログラムの位置づけ	-----	8
(2) 「地球の公転における季節変化」の単元の問題点	-----	8
(3) 地球のモデルとしての「地球儀」と「シミュレーションプログラム」の比較	-----	9
(4) プログラム開発の基本方針	-----	13
(5) プログラムで使用する式	-----	14
・ 概略	-----	14
・ 理論式の説明	-----	16
・ 精度及び楕円軌道効果について	-----	26
(6) プログラムの説明	-----	28
・ フローチャート	-----	28
・ 画面	-----	35
・ プログラムドキュメント	-----	37
(7) プログラムの授業での使用法	-----	42
・ 従来の考え方	-----	42
・ シミュレーションプログラムを使用した時の考え方	-----	42
・ 発展的利用法	-----	43
・ 授業での使い方と生徒の理解	-----	44
(8) 昼夜の長さ及び楕円軌道効果の導入について	-----	47
・ まとめと今後の課題	-----	49
引用文献、参考文献	-----	50

- ・ 研究主題  
中学校理科第二分野におけるシミュレーションプログラム「地球の公転における季節変化」の作成

- ・ 主題設定の理由

昭和六十年より、情報化教育への取り組みが本格化してきた。さらに、平成五年度に施行される中学校新学習指導要領においても、各教科の中に情報化教育を目指した内容が入れられている。とくに、中学校理科においては観察・実験などの直接経験を大切にし、その中でコンピュータ等を効果的に活用するよう配慮するものとして書かれている。このことは、実験データの処理、実験の計測などにおいて必要に応じ活用することを意味している。しかし、直接経験できないこと、長時間観測しなければならないこと、目に見えないこと、危険なことなどをコンピュータでシミュレートすることは、自然現象を理解する上で大変重要な手段の一つになると思われる。また、今までは提示するだけのシミュレーションも多かったが、パラメータを生徒自身が操作しコンピュータと対話するように諸条件を設定するシミュレーションの方が、問題を解決する時の有効な道具の一つとなると考える。

本校のように肢体に障害を持つ生徒の中には、理科学習の中で直接経験できることが少なく、テレビやコンピュータでの間接経験も重視しなくてはならない状況にある。また、近年障害者用の入力装置も開発されつつあり、これを使用すれば簡単に入力することができ、障害を持つ生徒たちも意欲的に授業に参加できるものと思われる。

このような理由により、中学校理科第二分野の中でも学校の授業では観測不可能な「地球の公転における季節変化」を選び、そのシミュレーションプログラムを開発するために本主題を設定した。

- ・ 研究の目標

中学校理科第二分野におけるシミュレーションプログラム「地球の公転における季節変化」を作成する。

- ・ 研究の内容と方法

- 1 文献による研修
  - (1) C A I について
  - (2) シミュレーション様式について

## 2 シミュレーションプログラム「地球の公転における季節変化」の作成

- (1) 中学校理科でのシミュレーション様式の利用方法の検討
- (2) 基本設計
- (3) 試行
- (4) 修正
- (5) 使用説明書作成

### ・ 研究の実際

#### 1 教育用ソフトウェアの分類

以前、アメリカや日本ではC A I (Computer Assisted Instruction:コンピュータ支援教授) と言って、教師が教えるのをコンピュータが助ける使い方が主であった。それに対してイギリスでは、C A L (Computer Assisted Learning:コンピュータ支援学習) と呼ばれ、コンピュータは子供が学習するのを助ける道具として位置づけられて、子供中心の使い方が展開されてきた。その主たる計画は、M E P (Microelectronics Education Programme:マイクロエレクトロニクス教育計画) と呼ばれ国家計画で進められた。これは、1980年から1986年まで続き、現在はN C E T (全国教育工学カウンスル) に引き継がれている。

M E Pの中で特徴的な事は、ソフトウェアの開発計画も含まれている事である。このソフトウェアの開発にたずさわったラフバラ大学のブリーズ教授は、教育ソフトウェアを次の6つに分類している<sup>1)</sup>。

##### (1) 病院モデル (学習者は患者)

プログラム学習式の個別学習用C A I、ドリル・チュートリアル形式で学習者が自ら学習をコントロールする事は困難である。

##### (2) 遊園地モデル (学習者は勝負師)

A r c a d eゲームのように、コンピュータがプレイヤーやレフリーの役目をするものである。

##### (3) 演劇モデル (学習者は役割演技者)

シミュレーションゲームのように、論理的な推論、問題解決、仮設の設定と検証などの能力を育てる。これらのソフトウェアは、想像上の世界を作り出す。

##### (4) 実験室モデル (学習者は実験者)

実際に行うと危険だったり、費用や時間がかかり過ぎる実験のシミュレーション。理科実験の数学的モデルや技術の製作過程など範囲は広い。

##### (5) リソース・センターモデル (学習者は芸術家や研究者)

ワープロ、データベース、ロボットのように内容に関係のないcontent-freeな学習ソフトウェア (コンテンツ・フリー・ソフトウェア)。このソフトウェアは、使用者がコントロールできる余地が大きいものである。コンテンツ・フリー・ソフトウェアは、ある教科のある単元内容に直接かかわりあうというより、全ての教科、科目で使えるということから利用価値の大きいものであり、“Across the Curriculum” の意図にも合っているものである

##### (6) ワークショップモデル (学習者は発明家)

B A S I C、L O G Oのようなプログラミング言語のソフトウェア。このうち、L O G Oについては、問題解決のスキルズを育成する上で非常に有用である。

#### 2 教育用シミュレーションについて

一般のシミュレーションについて、木村は『シミュレーションとは、通常、模擬実験、疑似実験と呼ばれている。それは、実際の現象や状況をまねたモデルを作り、このモデルを実行させ、実際の動きに似たものを実現して、実験、観察、検証、評価を行うものである。』と述べている<sup>2)</sup>。この模擬実験をし、観察、検証、評価を行うということは教育にも応用できる。以下、教育用シミュレーションについて、用いる目的、開発について述べてみることにする。

##### (1) シミュレーションを用いる目的

エスター・R・スタインバーグは『教育でシミュレーションを用いる目的は大きく分けて二つある。一つは、原理や複雑な概念を教えることであり、もう一つは、プロセスや技能を教えることである。』と述べている<sup>3)</sup>。

シミュレーションを使って原理や複雑な概念を理解させる時には、学習者がそのモデルに働きかけ動かしてみ、システムがどの様に構成され機能するか、その特性を明らかにしたり、理論値、予測との対応をとって検証したり、法則・原理を追求して行く様にさせる事が大切である。また、プロセスを理解させたり技能を身につけさせる時には、シミュレーターのように、その組み込んだモデルの動きによって目標とする所定の動きそのものを得させる事が大切になる。

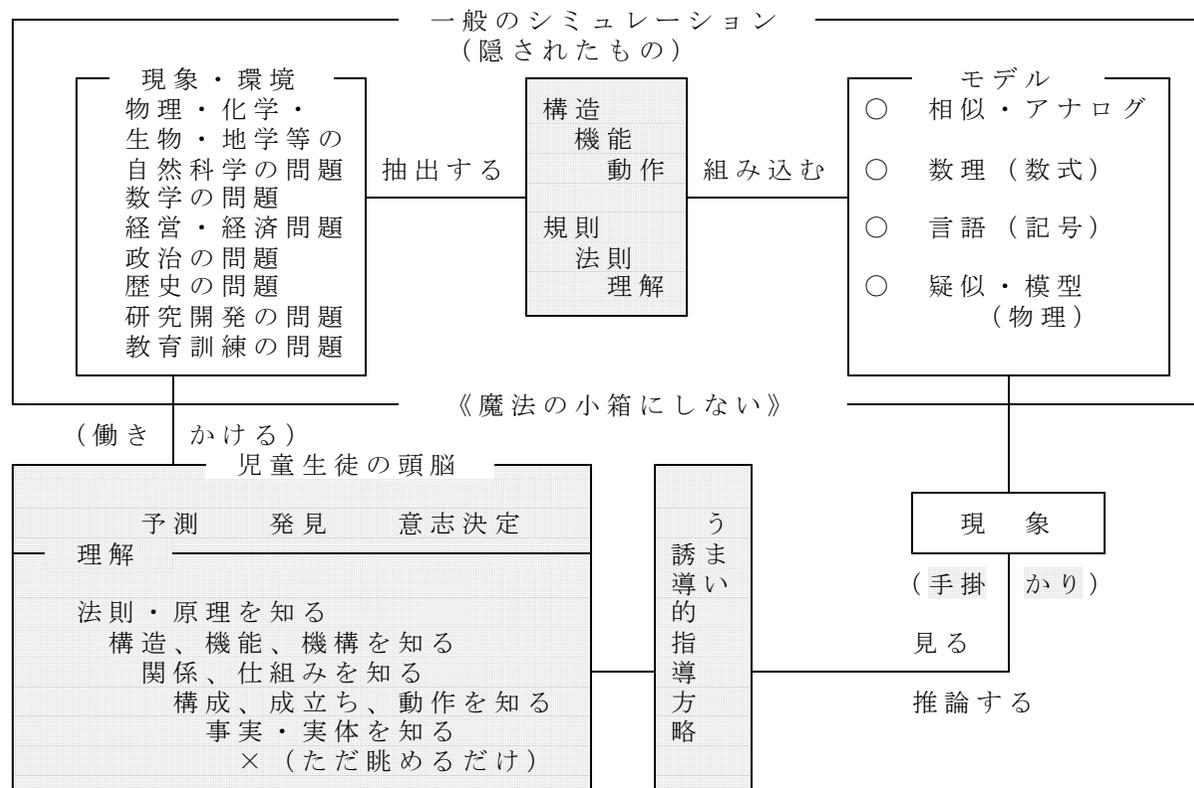
##### (2) 教育用シミュレーションの開発について

木村は教育用シミュレーションを開発をする時の注意事項を次のように述べている<sup>4)</sup>。

教育用シミュレーションにとっては、通常のものに比べて、図1の中の網掛けの部分の機能に相当の独自の考慮を払う必要があり、次のような事に気を付けておかねばならない。

- ・ 児童生徒に「探究する未知な部分」が用意され、構造化が可能であること。
- ・ 探究によって、徐々に現象を支配する構成、仕組み、関係、構造などが明らかにされ得るプログラム構造のものであること。
- ・ 「浅い知識」から「深い知識」に迫れる上手な仕掛が準備されていること。（眺めるだけのシミュレーションではもう意味がない）
- ・ 「魔法の小箱」にしないシミュレーションであること。モデルに仕組まれた構成、原理などに迫れるしかけが必要である。
- ・ 利用目的を明確にする必要がある。すべてのシミュレーションが探究の過程の学習である必要はない。授業での事前学習、補修的補充的授業カリキュラム外学習、観察不可能な実験、短時間学習－拡大実験、高価・危険を伴う実験学習など指導計画の中で、児童生徒の「学習の改善」に役立つ位置づけを明確にする必要がある。

図1 上手な仕掛のある教育用シミュレーションの構成と構造（引用文献4）pp.10-11）



### 3 中学校理科教育におけるシミュレーションプログラムの開発 中学校理科第二分野におけるシミュレーションプログラム「地球の公転における季節変化」の作成

#### (1) 基礎資料

- ・ 学習指導要領及び中学校指導書理科編  
平成元年3月に文部省より出された新中学校学習指導要領<sup>5)</sup>には、各分野の目標の中に、

(1) 地学的な事物・現象についての観察や実験を行い、観察・実験技能を習得させるとともに、地球と太陽系、天気、大地の変化などについて理解させ、これらの事象に対する科学的な見方や化学的な考え方を養う。

とある。また、内容の中では、

#### (2) 地球と太陽系

身近な天体の観察を通して、地球の運動について考察させるとともに、天体としての月、太陽及び地球の特徴について理解させ、太陽系についての認識を深める。

##### ア 身近な天体

(ア) 月、太陽の観察を行い、その観察記録及び地球に関する資料などに基づいて、月、太陽及び地球の特徴を見いだすこと。

(イ) 天体の日周運動の観察を行い、その観察記録を地球の自転と関連付けてとらえること。

(ウ) 四季の星座の移り変わり、季節に昼夜の長さ、太陽高度の変化などの観察を行い、その観察記録を地球の公転や地軸の傾きと関連付けてとらえること。

##### イ 惑星と太陽系

(ア) 星の観察を行い、その観察記録及び資料に基づいて星と恒星の違いを知ると共に、惑星の大きさや表面の様子にはそれぞれ特徴があることを見いだすこと。

(イ) 惑星の動きを観察し、その観察記録及び資料などにおいて、太陽系の構造と惑星の公転を関連付けてとらえること。

とあり、観察記録の結果を活かすようにと書いてある。  
 また、中学校指導書理科編<sup>6)</sup>には、指導要領の解説がのせてあり、内容の(2)地球と太陽系の(イ)と(ウ)に関連する所を抜粋する。

(イ) について

小学校理科では、太陽、星の一日の動きには決まりがあることを学習している。ここでは、小学校理科で学習した内容とも関連付けつつ観測した太陽や星の日周運動が地球の自転によって起こる相対的な動きであることを理解させることがねらいである。

ここでは、まず半透明球を用いて太陽の日周運動の経路を調べたり天球の各部の星座の長時間露出による写真などを活用したりして、太陽や星の天球上の見かけの動き方を認識させ、次に、その動きを地球の自転と結び付けて考察する学習活動が考えられる。監察された事実(天動説的な見方)を基に、地動説的な考察を行うには、観測者の視点(位置)を、自転する地球の外に置くことが必要であり、天球儀や地球儀を用いてのモデル実験などを通し、多様な考察を行わせるようにする。

(ウ) について

ここでは、四季の星座の位置が季節によって移り変わるのは、地球の公転による見かけの動きであることをとらえさせる。また、太陽の南中高度や、日の出、日の入りの時刻などが季節によって変化することを、地球が地軸を傾けて公転していることと結び付けてとらえさせることがねらいである。

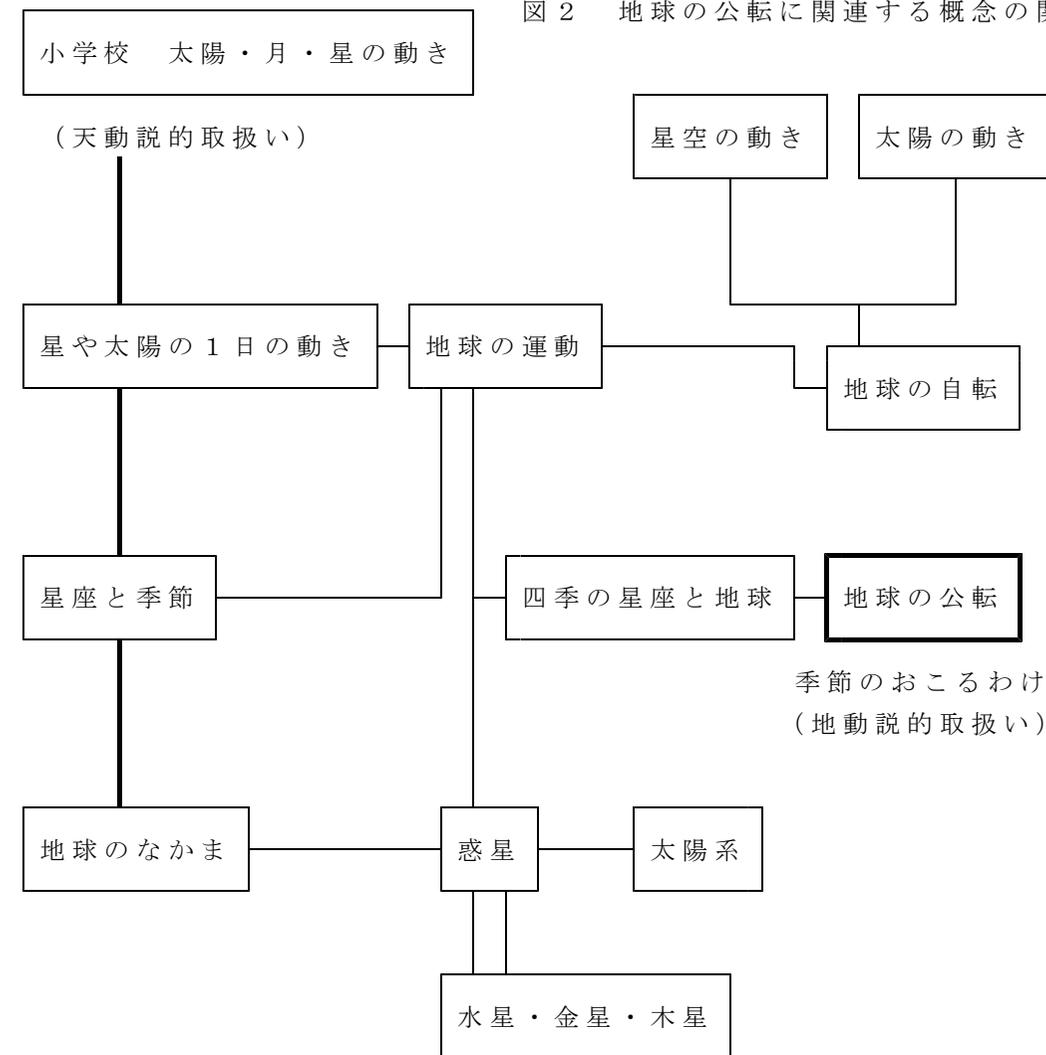
このためには、例えば、日没直後の西の空の地平線近くに見られる星座をある期間観察させ、その結果から太陽は天球上を毎日に西から東へ少しずつ移動していることを見いださせたり、同じ時刻に見られる星座の位置をある期間観察させ、星座の位置が毎日東から西へ少しずつ移動することを見いださせる。そしてこれらの資料を、太陽を中心とした地球の公転と結び付けて考察させる学習が考えられる。(イ)の場合と同様に、観測者の視点(位置)を変えさせて考えさせることが大切になってくる。

また、地球が地軸を傾けて公転していることについては、例えば太陽の南中高度や昼夜の長さについての継続的な観測を行い、それらが年周的な変化をすることを見いださせ、次いで、公転する地球の地軸が傾いていると考えれば、それらの現象を説明できることに気付かせ

る学習が考えられる。この際、地軸が傾いていないと仮定したら南中高度や昼夜の長さはどうなるかを考えさせるのもよい。さらに、ここでは、太陽高度の変化に伴う気温の変化についても取り扱い、季節の生じる理由を考察させる。

- ・ 関連する概念の関係図  
 東京書籍の理科指導書<sup>7)</sup>を基に、地球の公転に関連する概念の関係図を以下のようにまとめた。

図2 地球の公転に関連する概念の関係図



- 単元の指導計画とシミュレーションプログラムの位置づけ  
東京書籍の教科書<sup>8)</sup>をもとに「2 星の世界」の単元の指導計画を次の様に立てた。

星の世界 20時間

1 宇宙への旅

- 1. 地球や月はどのような天体か 2時間
- 2. 太陽はどのような天体か 2時間
- 3. 地球のなかまとは 2時間
- 4. 太陽のなかまにはどんな天体があるか 2時間
- 5. 銀河系や宇宙はどうなっているか 1時間
- 1章のまとめ 1時間

2 地球の運動と天体の見かけの動き

- 1. 星や太陽は1日の間にどう動いて見えるか 3時間
- 2. 星座は季節によってどう変わるか 4時間

この中の「四季の変化」を扱っている部分についてのシミュレーションプログラムを作成した。

- 3. 惑星はどのように見えるか 2時間
- 2章のまとめ 1時間

(2) 「地球の公転」の単元の問題点

中学校指導書理科編によると、「地球の公転」の単元を扱う場合に、『四季の星座の移り変わり、季節に昼夜の長さ、太陽高度の変化などの観察を行い、その観察記録を地球の公転や地軸の傾きと関連付けてとらえること。』とある。しかし、実際に生徒が観察するのは地球上であり、地球の外からは観察が行えない。従来の教授方法は、地球のモデルとして地球儀を使って、地球の外から見るという立場から地軸の傾きと昼夜の長さの関係を説明していた。しかし、生徒の思考過程を考えると、急に視点を地球上から地球の外に移して考えることは生徒にとって難しいことである。また、地球儀でのモデルでは、昼夜の長さの正確な値が出せず必ずしも生徒の観察記録と直接結びつけられるものではなかった。実際の観察記録を基にして地球儀で地軸の傾きと昼夜の長さの関係を理解させようとする時、経験上従来用いてきた地球儀だけでは不足であった。

- (3) 地球のモデルとしての「地球儀」と「シミュレーションプログラム」の比較  
地球のモデルとしての「地球儀」と「シミュレーションプログラム」の特徴を機能別に比較してみた。また、それらを理科学習で使うことを前提に、メディアの比較表という形でまとめてみた。

- 「地球儀」と「シミュレーションプログラム」の機能別比較表

表1 機能別比較表

地球儀	シミュレーションプログラム
○ 三次元 (モデルとして分かりやすい)	△ 二次元 (平面に描くので地球儀より分かりにくい が平面的な表現が分かりやすいときもある)
× 正確な値が測定できない	○ 正確な値の入出力ができる
<ul style="list-style-type: none"> <li>△ 緯度</li> <li>× 月日</li> <li>△ 地軸の傾き</li> <li>△ 昼の長さ夜の長さ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 緯度</li> <li>○ 月日</li> <li>○ 地軸の傾き</li> <li>○ 昼の長さ夜の長さ</li> </ul>
× 処理が遅い	○ 処理が速い

- メディアの比較表

「地球の公転」の単元の中の昼夜の長さに関する部分について、行動目標を立て、それらに対する「地球儀」と「シミュレーションプログラム」(表の中ではシミュレーションと表記している。)の比較を行なった。また、生徒には、次のようなレディネスがあるとした。

- 地球は地軸を中心にして1日に1回自転をしている。
- 地球は太陽の周りを1年に1回公転をしている。
- 四季において昼の長さ、夜の長さが増える。

表2 メディアの比較表

行動目標	地球儀	シミュレーション	併用
地球儀のモデルにおいて昼の長さ、夜の長さを測定し割合を出すことができる。	地球儀に紐を当てて測定する。実際の地球を測定しているようである。何回も測定する時には時間がかかる。正確な値は出せない。	見えない部分があり、測定できない所もあるが、数値がでてくるので補間できる。正確な数値がでてくる。短時間の内に何回も施行することができる。	大体の測定を地球儀で行い数値的に曖昧な部分をコンピュータでおさえる。
地軸が傾くと昼の長さ夜の長さの変化することを指摘できる。	実測ができ、その結果の記録を基に知ることができる。	短時間の内に何回もその関係を確認することができ視覚的にまたは、数値的に多くのデータから知ることができる。	何回か地球儀で実測をさせ、地球儀とコンピュータを対応させておく。その後コンピュータを使うことによって短時間の内に何回もその関係を確認することができ視覚的にまたは、数値的に多くのデータから知ることができる。
地球の公転において四季の位置を示すことができる。	実際の空間的な位置関係を確認することができる。場所がいり個別	画面上に春夏秋冬などの表示が簡単にらせ確認が容易である。個別に確認が	地球儀で空間的な位置関係を把握してコンピュータの画面上でそれを示すこと

	的には指導しにくい。	できる。	によって個別に理解を深めることができる。
四季において昼の長さ夜の長さの変化することを指摘できる。	春夏秋冬のそれぞれにおいて測定しその結果の比較で知ることができる。地球儀を四つ使うと視覚的にも理解できる。	春夏秋冬のそれぞれの状態を一度に画面に表すことができ数値的にも視覚的にも理解することができる。	地球儀で空間的な位置関係を把握してコンピュータの画面上でそれを示すことによって個別に理解を深めることができる。
四季において地軸が傾いていないときには昼の長さ夜の長さが一定で変化しないと言える。	地球儀の地軸の傾きを0度にして測定する。春夏秋冬のそれぞれにおいて測定しその結果の比較で知ることができる。地球儀を四つ使うと視覚的にも理解できる。	地軸の傾きを連続的に0度に近づけて調べることができる。春夏秋冬のそれぞれの状態を一度に画面に表すことができ数値的にも視覚的にも理解することができる。	地球儀で空間的な位置関係を把握してコンピュータの画面上でそれを示すことによって個別に理解を深めることができる。
昼の長さ夜の長さの変化する理由は地軸が傾きながら公転しているからと指摘できる。	現実的なモデルで昼の長さ夜の長さの値と地軸の傾きの関係の定性的な理解は良くなる。	昼の長さ夜の長さの値と地軸の傾きの関係の定量的な理解ができる。	地球儀で定性的なことを扱い、定量的な詳しい値を知りたいときにはコンピュータを使う。

・ 発展的使用法におけるメディアの比較表

この単元の目標ではないが、高等学校とのつながりやその他の応用を考え発展的使用法におけるメディアの比較表と言う形でまとめた。

表3 発展的使用法におけるメディアの比較表

行動目標	地球儀	シミュレーション	併用
日の出日の入りの実際の観測データとモデルでの実験値を比較して地軸の傾きを逆に出すことができる。	大まかな値しかでてこない。	正確な値がでてくる。	大体の測定を地球儀で行い数値的に曖昧な部分をコンピュータでおさえる。
公転軌道を円軌道→楕円軌道にすることによって昼の長さ、夜の長さ、南中時刻が変化することができる。	測定することが困難である。	楕円軌道の効果は計算上正確に出すことができる。数値的な確認ができる。	楕円軌道の効果を言う場合には正確な測定値が必要なのでコンピュータでしかできない。
他の惑星にも応用ができる。	地球儀を他の惑星とみると定性的なことが色々と言うことができる。	定量的な事まで分かれようと思ったらコンピュータを使う必要がある。	他の惑星のイメージを捕らえるためには地球儀を使い、定量的なことを言う場合にはコンピュータを使う。
地軸の傾きや緯度を変化させいつも夜いつも昼と言う場所を発見できる。	地球儀で大体の位置関係が出せる。	画面上で大体の位置関係が分かり数値的な確認もできる。	定量的なことを言う場合にはコンピュータを使う。
昼の長さ、夜の長さは南半球では北半球と逆になっていることを発見することができる。	地球儀で大体の関係が出せる。	画面上で大体の関係が分かり数値的な確認もできる。	定量的なことを言う場合にはコンピュータを使う。

(4) プログラム開発の基本方針

次の様な基本方針の基にプログラムを開発する。

- ・ 「地球の公転」の単元の中で、特に生徒が理解しにくい 地軸の傾きと昼夜の長さの変化の関係に焦点を絞る。
- ・ 生徒の昼夜の長さの観察記録の結果と、地球儀による地軸の傾きと昼夜の長さの関係の理解を結びつけるシミュレーションプログラムにする。
- ・ この単元では実物（地球）を使って実験できないのでモデルを使うことになる。地球のモデルとして地球儀を使う場合と、シミュレーションプログラムを使う場合が考えられるが、生徒の具体的な実験観察のできる地球儀を地球のモデルとして重要視し、シミュレーションプログラムは、あくまでも地球儀で理解する時の補助として使う。
- ・ 昼夜の長さは、地球儀に紐をあてて測定するが、正確な値が出せない。これを正確に出すためにシミュレーションプログラムを使用する。この時に、シミュレーションプログラムが計算しているのは、その紐の長さであることを理解させ、地球儀での測定値とコンピュータで計算した値が1対1に対応する事を確かめさせる必要がある（図3参照）
- ・ 小学校では、自分の観察記録を中心に天動説的な捉え方をさせていたが、中学校になって初めて視点を地球外に移しモデルを用いて地動説的な捉え方をさせる。この生徒の観察記録と地球のモデルとを結びつけるためにシミュレーションプログラムを媒介にする。（図3参照）

図3

