

## 天文領域の理解を深める教材開発

—— 3次元対話型ソフトをつかって ——

宇田川祐子\*・吉田 裕午\*\*・高橋 泰道\*\*

Development of the Teaching Materials for the Strengthened Understanding  
in Astronomic Fields: Using of the 3-Dimensional Interactive Software

Yuko UDAGAWA\*, Yugo YOSIDA\*\* and Taidoh TAKAHASHI\*\*

キーワード：会話、存在、メタ認知、AR、可触性、科学史、コペルニクスの転回、地動説、  
ユニバーサルデザイン、パッシブデザイン、実感を伴った理解、宇宙からの視点、  
地球からの視点、自分からの視点、シンメトリ、動的幾何、臨場感

### 1. はじめに

「ソフィーの世界」のソフィーとヒルデの神秘的な会話にあったように、地球という舟の状況を共有し、何故という探究心を持ち続けられ、我々のまわりのいろいろな存在に関心を持ち続けられる。

しかし、道を尋ねるような子どもの頃の興味とは裏腹に、天文領域の経験不足がたたって、教員になってからのその指導に困難を感じ、それに苦手意識を持つ場合が多いといわれる。

この溝を埋めるためには、教員の経験・理解を深め、メタ認知や授業力を向上させる必要があるが、本論文は、最近話題の **AR** (Augmented Reality; 強化現実) を活用し、未来の教材・教具 (デジタル教科書・タブレットなど) に、次の2つの願いを托した。

1：天文を、教員にも子どもたちにも、わかりやすく示す教材 (ソフト) を開発する

### こと

2：それを生かした授業を考えること

留意点は、時間・空間的スケールが非常に大きいので、訓練しないとほとんど直感が役に立たないことにある。また、記述をいつも自分中心におくと、知らず知らずに言葉の迷路に入り込んでしまうことを、まず視覚的・感覚的に突破したい動機がある。場合によっては、無重量空間においても、自在に活動できる感覚を普遍化したい。文化・制度の違う未知の国を旅したり、会話しながら充実した時を過ごすような協働学習が教育の俎上に上っている今日、天文領域は、相手の考えになって考えてみたり、話し合う格好の教材となっている。

なお、具体的な教材は、次のような単元内容を目標として扱った。共通の教材 (ソフト) つくりのコンセプトは、**可触性**、つまり触れることのできるインタラクティブ (相互作用) 的な対話性にある。

\* 本学初等教育学科30期生

\*\* 本学教授

・季節による太陽光の当たり方の変化 (南中

高度)

- ・正しい月の形と日周運動の判断
- ・星の日周運動と北極星

なお、本研究を通し、科学史的な視点も、天文領域の指導方法に、陰に陽に影響を与えている実感をもった。人類の活動範囲の増大とともに、北極星や太陽の高度が変わる、ということすでに人類の歴史の早い段階で発見され、エラトステネス（ギリシャ）は、地球が球体であるとの確信を持って地球の周囲の長さもほぼ正確に求めている。17世紀、カントがコペルニクスの転回とよんだ地動説は、進化論とともに、神の創造に相反するとして、長い論争を必要とした。現代においても、未だにエセ科学を入口とした商業的な勧誘が横行していることに対し、科学的方法や理科教育の必要性は論を待たない。

地球中心、あるいは自分中心の発想は、教育のどこかで止揚され、視点の次元を高めなければならない。これは、後述する教科書記述の揺れにも顕著にいえることで、小学校での取り扱いも、中高との連携・連続性の中で扱われるべきで、類似協調的なユニバーサルデザイン、あるいは、問えば応えるパッシブデザインは常に心がける教育の環境・態度であろう。

たとえば、太陽のかげの単元は、太陽の日周運動の導入部であるが、南中高度を計算しようとすると、天球および地平面の扱いがほぼ必須になる。白夜、極夜、南北回帰線、赤道、南北極も地理との関連が深いので、それらも調べ学習の範囲に自然に入ってくる。国際や南北に長い日本の交流にも、太陽に関わるエピソード想起やこれから示すような立体シミュレーションの経験によって、より実感を伴った理解をすることができる。

次に、月の満ち欠けについて、リニューアル

された「月の満ち欠けは地球と月と太陽の位置関係によって決まる」の分析から始める。この中に、自分が入っていないことに注目する。自分の見る月は、時々刻々、形と傾きと明るさを変える。新月や突っ立った三日月など、太陽や空の光を遮断した特殊な条件下でしか見ることはできないことを強調したい。突っ立った月の形は、月の南中時に見えるだろう形の推測ではない。逆にいえば、単なる暗記記憶の羅列ではなく、地球と月と太陽の位置関係による科学的思考によって、月の形と見える時刻を導けることを目標とすべきだろうし、すでに設問内容はそうになっている。

そこで、本教材（ソフト）をつかった月の形の指導のポイントを次の3つに要約した。

ア：太陽は、球体である月や地球を照らし、太陽に面した半球部が明るく、遠い側の逆の半球部に影ができる。（公転面に垂直な方角から月や地球を表現）…ここでは、それを「宇宙からの視点」とよぶ。地球とは、無関係であることに注意する。

イ：地球から月を見た方角に、地球から見た月の形を描く。（太陽、月、地球の位置関係で、月の形が決まる。また、視点の連続性からいえば、アの公転面に垂直な視点を公転面内の地球の位置に下げる3次元的な想像力を要請）…ここでは、それを「地球からの視点」とよぶ。自分が入っていないことに注意する。

ウ：月の日周運動も、星や太陽の日周運動と同じく、地球の自転を考慮したわずかな拡張によって扱うことができる。（ア・イとウの間には、記憶のみでは、大きなギャップが生じている。特に、満月を過ぎてからの未経験ゾーンについての想像力は、暗記のみ

では、記述表現が真逆になってしまうことすらある。)…ここでは、それを「自分からの視点」とよぶ。

3 番目の星の日周運動については、簡易的な黄道12星座を南に向いてアニメ化し、北極星の周りの動きを北に向いてアニメ化した。GPS を活用したタブレット版をプラネタリウム式につかうのも印象に残り、効果的だろう。星や星座めぐりのイベントも、工夫次第で教室でも実現できる。ビデオ視聴覚教材の活用は、強化確認的に日常化されていく。もちろん、実生活で何らかの手段で追体験できる環境が好ましい。

また、人間観からいえば、宇宙開発技術、宇宙論、銀河（恒星と太陽系、ブラックマター、SF ファンタジー）なども成長の原体験となる要素が多分にある。

## 2. 天文領域の学修の必要性

「我々は宇宙に宿った一つの命、地球はその命を乗せた船」という比喻（認識）も、意識した存在には不可欠である。その共生意識は、さまざまな問題解決に共通する要素を持っている。かつて、海や大陸を旅する人々が文化を運んだように、宇宙からの視点は、Google Earth が現実化したように、遠い距離を瞬時に近づけてくれる、等方的で繰り返されたシンメトリ感覚を与えてくれる。宇宙に関するニュースがポンプとなり、感動の連鎖が、宇宙に生きる喜びにつながる。

知識中心の教育では、宇宙（地球）の神秘性に至たる道を逆に遠ざけてしまいかねないことに留意したい。また、活動にこだわりすぎても、我々が宇宙における存在であるという驚異を見失ってしまう。

とはいえ、現場の指導上の問題点を整理する

と次のようになるだろう。

- (1) 多くの教員は、月や太陽、星の動きの学習指導に困難を感じている。
- (2) 夜に観察を直接指導できないことや、月と太陽の位置関係がわかるような観察や記録に工夫を要する。
- (3) 理科を専攻した教員にたよりすぎている。  
(月の満ち欠けの仕組みを学習する機会が少ない。)

小学校での扱いが簡単になったとはいえ、将来小学校教師を目指す教員養成課程の学生が月の満ち欠けの仕組みを説明できないなら、それは非常に大きな問題であろう。

## 3. 季節による太陽光の当たり方の変化 (南中高度)

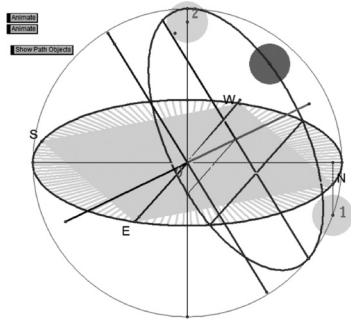
簡単のため、北半球を考えた教材（ソフト）を作成した。小学生でもできる簡易コントローラは、緯度のスライド C と季節のスライドであろう。しかし、さらなる地球の公転の導入を意識して、軌道上の位置 D をコントローラとして、季節のスライドに投影した。

たとえば、緯度 0 度（赤道）、北緯34度（広島）、北緯90度（北極）の夏至を即時に立体的な天球に表示できる。北緯66.6度以北で白夜が起こることも発見的に探究できる。

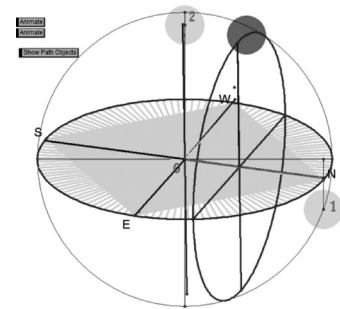
夏至の時の、緯度をさまざまに変えた天球上の太陽の軌道は次のようになる。

まず、広島付近での図を示す。ボタンを押すと、日周運動をアニメーションできる。地平面（東西南北を EWSN で表記）と地軸も示されている。1 や 2 をコントロールすると、いろいろな方角から、天球上の太陽の軌道を眺めることができる。

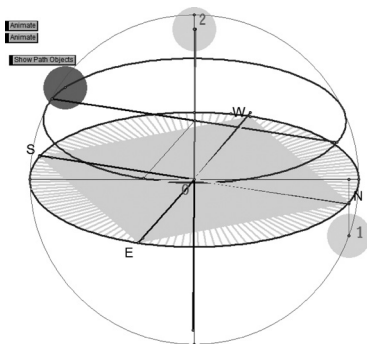
なお、使用したソフトは、動的幾何で有名な Key Curriculum 社の Geometer's SketchPad (略称 GSP) である。



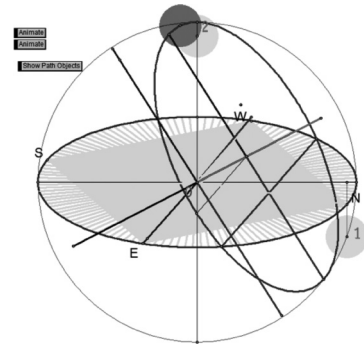
赤道での太陽の軌道は、俄かには想像しにくいですが、下図を見るとすぐに納得できる。



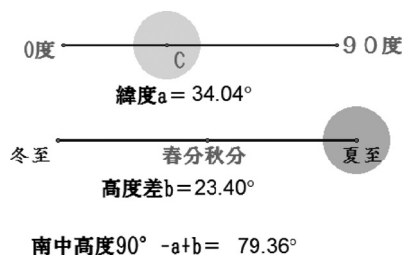
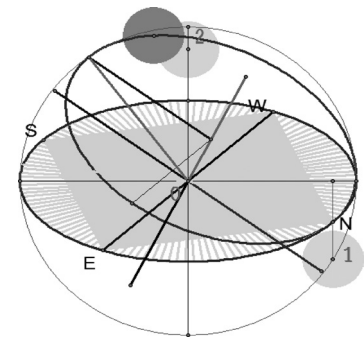
北極での様子も、同様に次図を見るとすぐに納得できる。



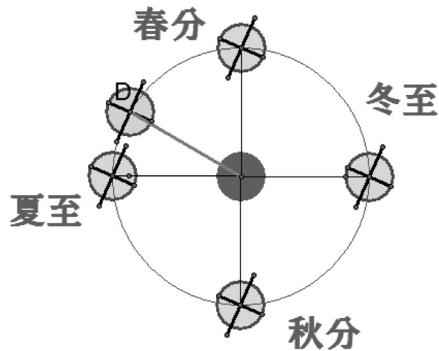
北回帰線（北緯23.4度）での振り舞いも下図のように、一目瞭然である。確かに、正午に天頂を通っている。



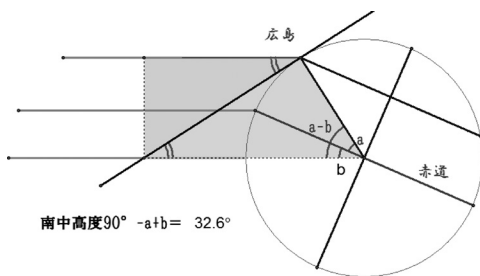
北極圏での状況のひとつである白夜を想像できることも AR 活用の驚異のうちであろう。



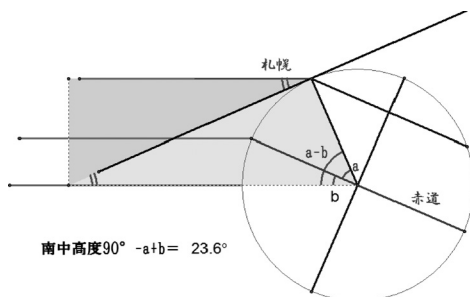
太陽の南中高度の変化は、地球の公転および公転面と地軸（地球の自転軸）のなす角が直角でないことによる。季節のコントローラ D は先回りして、公転軌道上の位置とした。結果的には、春分・秋分時との南中高度差をコントロールしたことになるが、数値を意識する前に現象が再現されているので、注目はまずそこに向かう。



南中高度計算への発展形も補足表示されている。簡単な作図を加えることによって、太陽の南中高度の季節変化も、視覚的・可触的に記憶に強化される。



前図は、冬至の広島付近の場合だが、簡単に札幌（北緯43度）では、南中高度がどんどん低くなることを実感でき、ロンドン（北緯51度）の冬、北欧の冬や極夜を類推することも容易である。



#### ・記録・観察法の工夫例

天体望遠鏡に太陽投影板（動きがすぐわか

る；動く向きがひっくりかえることに注意）

同インターバル撮影（カメラ過熱注意）

かげの向きから太陽の位置を逆算する。（記録用紙がひっくり返り、かげの長さや太陽高度も逆相関しているの、で、深入り注意）

#### ・指導方法の工夫例

ビニルシートに結果を書き込むと班ごとや季節間の比較が楽になる。

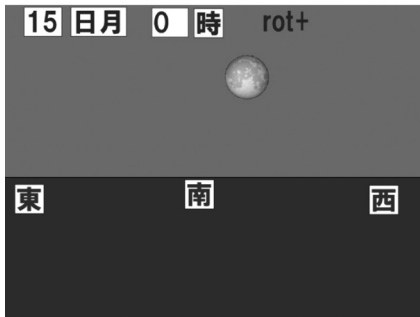
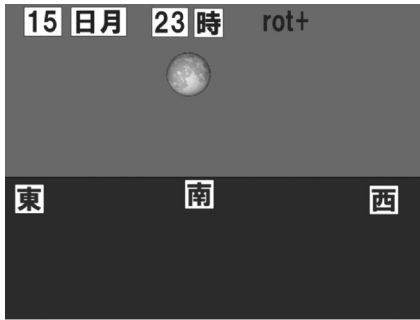
太陽電池で光線に対する向きと受けるエネルギーの関係を直感的に示すことができる。

## 4. 正しい月の形と日周運動の判断

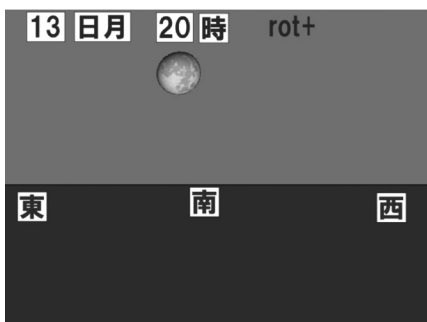
小学校第4学年では、「月は日によって形が変わって見え、1日のうちでも時刻によって位置が変わること」、第6学年では、「月の輝いている側に太陽があること。また、月の形の見え方は、太陽と月と地球と自分の位置関係によって変わること」を学習する。しかし、前にも述べたような特に北寄りを通る時の3日月（三日月）の傾き方に気づく子どもには、評価の星をたくさん与えたいが、その理由を説明できる人はどれくらいいるだろうか。

月の形単元の、記憶の想起と次への発展のために、3日月や15日月（十五夜、満月）の確認から入るのが一般的であろう。エピソードを含むような写真も効果的であるが、ワークシートと連携したようなインタラクティブな動く教材（ソフト）を Adobe 社の flash をつかって作成した。

月の1日の動きを、以下の図のように辿ることができる。マウスを時計回りに動かすことで、時間が進み、月が東から西へ動いて見えるようになっている。地球は1日（24時間）に1周（360°）自転するため、東から西にマウスを15°回すと1時間進むようにしている。



後に月の形について述べるが、このソフトは月の形の変化にも対応している。右上にあるrot+のボタンを押すことで、○日月のところが変わり、それに伴って同時刻で見た月の形と位置も変わっていく。



月は約29.5日かけて地球の周りを北極側から見ると反時計回りに回っているため、同じ時刻では月が西から東へ動いているように見える。このため、1日に西から東方向へ約12度移動するので、月の出は1日に約50分ずつ遅くなる。



また、以下のようにそれぞれの場所に対応して太陽との位置関係で時刻を表示するようになっている。

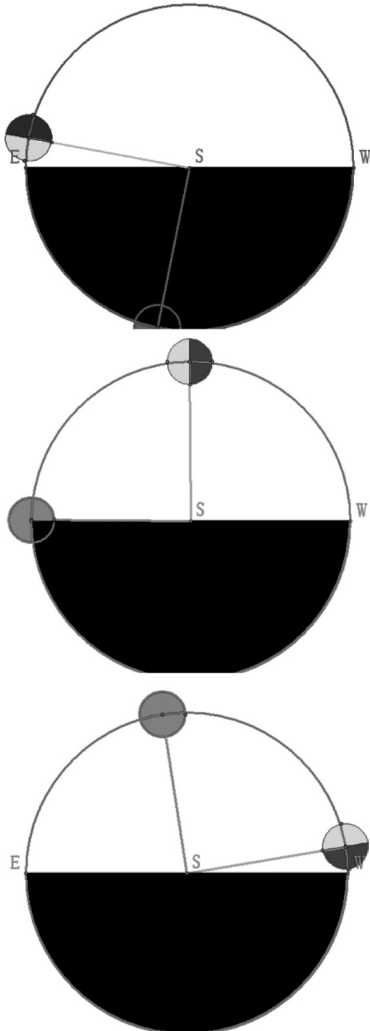
この教材（ソフト）は、記憶の確認や予想に重きをおいており、必ずしも精密さにこだわってはいない。（むしろ、教科書に傾きの指摘は少ないように思われる。）

月・太陽・地球の位置関係で月の形は決まるが、自分がいつどこから月を見ているかによって、月の傾きは変わってくる。（地球の自転および月の公転の結果として）自分から見える月と太陽を連動して動かせると、月の形の連続変化と見える時刻の関係を表現しやすい。

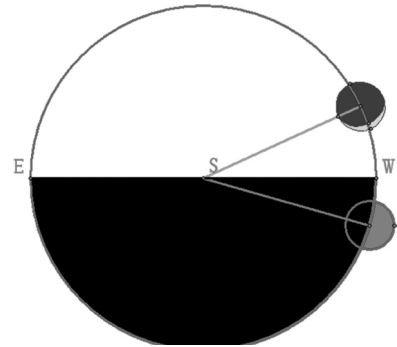
たとえば、同じ下弦の月でも月の出、南中、月の入りによって下弦の月の傾きは変わってい



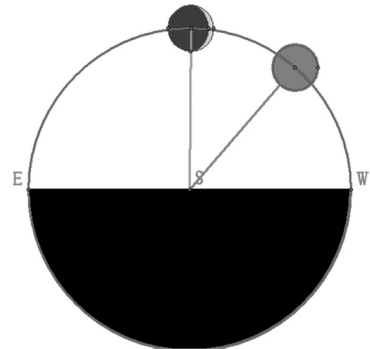
る。そこで、GSP をつかって月の（3次元）表示をし、月の公転を連動させて、自分から見える月を作図的に描いてみた。



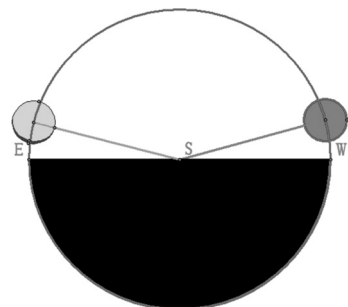
ここで、左直角方向にある○は太陽、薄い半円は月の形および傾きを示す。下弦の月の位置は、地球に対して、太陽が月の左直角方向にある位置関係を保っているが、徐々に月が太陽に近づいていくように見える。（天球表示は、地球からの距離は考慮されていない。後に、月の公転を考慮したモデルとの対応を示す。また、実際には、天の赤道や地軸と地平面とのずれがあるが、省略している。）



新月を過ぎ、3日月が夕方に見えるようになる理由も一目瞭然である。従って、下図のような月の南中時の立った3日月は空が明かる過ぎて見ることができないが、比較されるのはこの月である。

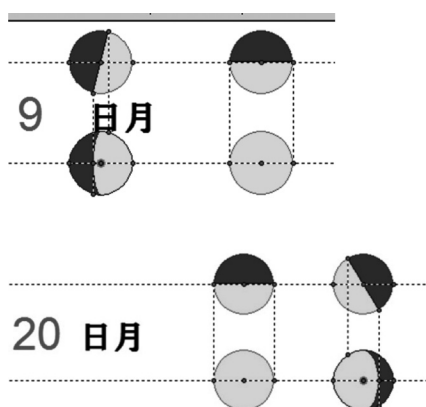


次の図は、満月の頃の太陽と月の位置関係である。満月に近い時は太陽と月は反対側にあるため、太陽が沈む頃に月の出を見ることができる。与謝蕪村の「菜の花や月は東に日は西に」という俳句は、この状況を詠っている。

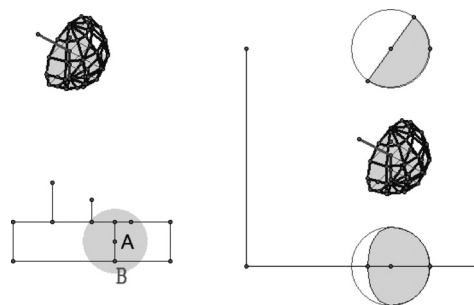


月の傾きの説明はできるが、この表記では形の説明には今ひとつ疑問が残る。同様に、後述する教科書にある円周上に月の形を並べた表現も、観察記憶や推測を優先させてしまうおそれがある。

さらにいうと、月の形を、記憶でなく論理的に導こうとする際に、次のような立体的な視点への変更は不可欠である。月の形を南中時で表すと、新月（0日月）から、中央の満月（15日月）を経て再び新月（29.5日月）となるが、それは、月の公転面に垂直な方角から見た（宇宙からの視点の）半月（上側）を横から捉えた（地球から見た視点の）月（下側）になっている。○日月の○をコントロールしながら見比べる過程が、より確かな学力に結びつける。



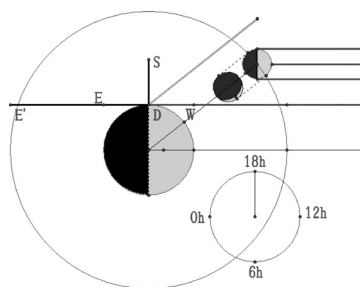
必要ならば、3次元表示で、次のように宇宙からの視点を地球からの視点に連続的にコントロールできる。



視点のコントロール（対象の立体的な回転）に慣れることは、まさしく論理的に月の形を描くことに相当している。ここでは、明るい半球部の形に着目し半分のみ強調して描いている。

これらを総合的に理解できる月の形説明アニメを GSP で作成した。太陽光線は、教科書によく採用されているように、右方向からとしたが、これは、観察しやすい午後6時に真南に向き、新月～満月の形の変化を空に並べやすいためと思われる。逆にいえば、満月～新月の月の形は、（記憶ではなく）科学的思考の連続性からいって、向こう側から見る感覚を（午前6時に左方向からの太陽光線として）取り入れるべきであろう。後述するように、調べた中では、向こう側から見た（地球から見た）図を思考的に表現した教科書は半数程度であった。

3日月の例で示すと、北極側から見た月の公転面および月の位置と形（影）、地球からの見え方を前の○日月の見え方の訓練と重ねるとわかりやすい。地球の自転によって、夕方6時は、D 点が昼から夜に変わる位置となり、南 S に向かってみると、右手西 W 側に3日月が沈みつつある様子がよくわかる。月の傾きも右に傾いている。数時間後に、3日月が地平線に隠れていく様子は、前に示した通りであり、すべて運動しているので、どこからでも考えを広げることができる。

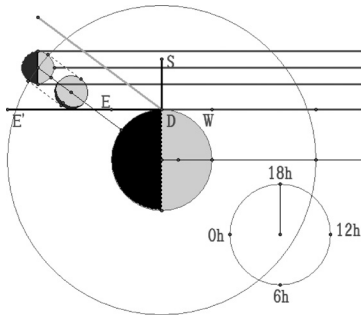


夕方6時くらいが観察しやすい時刻であるが、

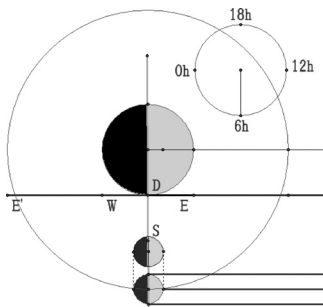


12日月では、同時刻に東の空に昇ってきている。

天地をひっくり返して見ることになる。



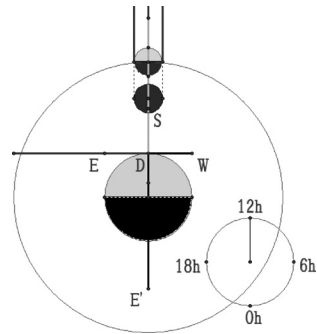
上弦の月や真夜中の満月なども同様に説明できるが、ここで、下弦の月の扱いについて示す。月の南中時（明け方6時頃）の図である。



地球からの視点を常に意識すれば、月のどちら半分が明るいかについて、間違えて推論することはないであろう。（確かに、実験時の意識で左側が明るいとされるだろうが、それは、記憶が鮮明に残っている限りにおいてである。）

このように、自分からの視点は、地球の自転と深く関わるにもよらず、地球からの視点と混同されがちである。また、教科書によっては、宇宙からの視点すらあいまいにされているものがある。

昼間の月は見えないことを前提に、思考実験として太陽南中時（正午）の月の形を推定あるいは、モデルとすることもできる。これなら、下図のように、3日月や26日月を突っ立った理想の形に捉えやすい。上弦の月や下弦の月も少し体を傾けると想像できる。ただ、満月のみは、



ここで、視点をふたたび整理してみる。

#### ① 宇宙からの視点

宇宙から月・太陽・地球を見る。（すでに地球とは無関係に月や地球の影は決まっている。）

#### ② 地球からの視点

地球から月を見る。月・太陽・地球の位置関係によって月の形が決まる。

#### ③ 自分からの視点

自分が月を見上げている。自転する地球のどこにいるか（つまり時刻）によって、月の形の傾きがかわる。（地平面より下では見ることができない。）

#### ・記録・観察法の工夫例

天体望遠鏡に地上レンズを取り付けて観察する。

ボールを月に見立て、平行光をあてる。

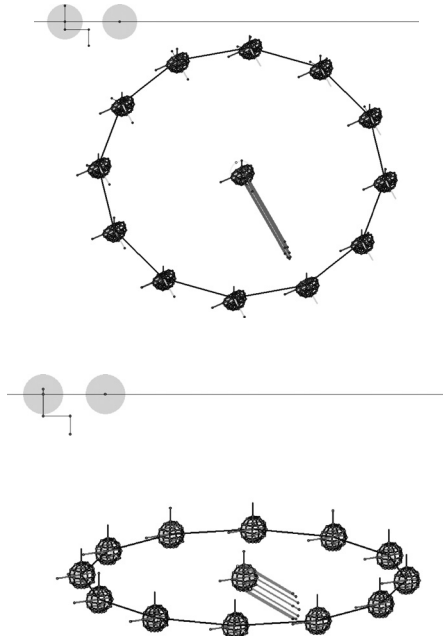
動く衛星モデルをつくる。

#### ・指導方法の工夫例

（人が動く場合、ボールが動く場合、カメラを見る人の代表とする場合）

いずれも注意点として、視点の移動があげられる。まさに、この混同によって、天文領域が

苦手となったり、真意が伝わらない事態を生じている。究極のモデルを目指して自作した3次元シミュレーションモデルを紹介する。宇宙からの視点と地球からの視点が連続的にパノラマ展開する。これからのデジタル教科書やタブレットにぜひとも組み入れてほしい機能である。



月と太陽の関係でいえば、月の公転面上のどこにきても月の影は同一である。宇宙からの視点はそれを表現している。地球からの視点は、視点を公転面の近くまで近づけ、しかも地球の向こうに月を見る方角になっている。月の軌道面を3次元コントロールすることによって、正面にくる月の形を変えることができる。自動で月を動かし、いつも月を正面に見ると（太陽光線が逆に回り）、まさしく月の形の変化が手に取るように再現される。

ここで、教科書や問題集での記述を概観する。

いずれも太陽光線を右から平行にあてている。B社は宇宙からの視点がない。E社は自分からの視点がない。上段は、地球からの視点を自分

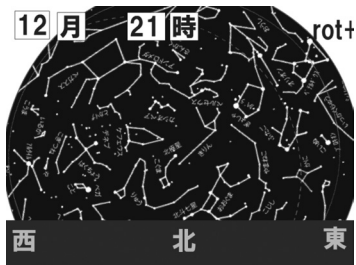
教科書A社	教科書B社	
教科書C社	教科書D社	問題集E社

からの向きにして月の位置に並べている。下段は、地球からの視点を地球からの向きに月の位置に並べている。（必要ならば、宇宙からの視点を地球からの視点に下ろすことが容易である。）ただ、E社は、中間の月の傾きが不明瞭である。D社は、地球の位置に人物を2人配置し、月の形を直線上に並べているのは、地球からの視点の分離強調であろう。いずれにしても、3次元的なシメトリな記述を今後取り入れることが要望される。

## 5. 星の日周運動と北極星

星の日周運動のソフトも flash でつくった。星が東から西に動いているように見えるのは、地球が地軸の回りに、1日に1回西から東に（北極点側から見ると反時計回りに）自転している事実による。

この教材（ソフト）は、北の空では、星は北極星を中心として反時計回りにまわっている様子をスモールステップで確認できる。まず、マウスを北極星の回りで動かすと時刻が変わり、マウスに追従して星の位置も回転するようになっている。地球が1日（24時間）で1周（360度）自転するため、1時間に15度ずつ動くようにしている。



季節によって見える星座が違うのは、地球が太陽を中心として1年に1周、北極側から見て反時計回りに公転しているからである。そのため、星座はだんだん出るのが早くなって、同じ時刻に地球上で観察すると、東から西へ移っていき、1年で1周するように見える。rot+ のボタンを押すと月が増え、それに伴って星の位置が、1年（12か月）で1周（360度）するので、地軸の周りに、1ヶ月で西方向へ（北の空では、反時計まわりに）30度動く。



南の空では、天の赤道近辺を黄道12星座が季節や時間によって、どのように見えるかを表した。北の空同様に、時刻と月が変化するようにになっていて、自動でも星座の動きをプラネタリウムのように楽しめる。なお、昼に表れている星座は太陽と同じ方角にあるため、実際は見る事ができないが、空の明るさを変え、黄道と太陽の位置、その歴史的なずれの変化を口頭でも強調できる。



#### ・記録・観察法の工夫例

ビデオ録画のコマ落とし（スケール変換、早回し）

モンタージュ工夫（レイヤ重ね写し、画面の上のクリアシートに書き写す、黒板に投影して軌跡を辿る）

#### ・指導方法の工夫例

天球儀（天球・地軸）を意識するとよい。南天では、地平面の下に地軸がくることに注意する。

星座盤やそのタブレット版使用も状況によるが、実感を伴った理解に留意する。

代表的な星座を用いるとよい。

傘の天球儀モデル（蓄光テープで星座ラインなど）

## 6. おわりに

今後の課題は、主に次の2点ある。

1点目は、教員に対して教材（ソフト）の有効性を調べることである。2点目は、今回作成した教材（ソフト）を用いた授業実践を行うことである。

教員や子どもの理解をどれほど深められるか検証した上で、教材（ソフト）や授業の改善を行っていきたい。また、天文教育の意義について、さらに学び、臨場感を深めていくことも課題である。

茨城県立高校地学担当の高橋淳先生は天文教育の意義について、「宇宙を知することは人間の財産であり、究極のエンターテインメント産業である。疑問を持つことは答を示すことよりも大切なことであるから、天文教育・普及の目的は天文学への貢献というだけではなく、人類がどれだけ文明を続けることができるかを問う大切な使命がある」、「宇宙を知る、宇宙的世界観をもつことは人類の未来にとって非常に重要なこと」だと述べている。教員という立場から、このような天文教育の意義を、子どもたちに伝えていくという役割があるのだと自覚し、その責任を感じながら、努力し続けていきたい。そしてそ

れが、好循環スパイラルとして教育活動全般の活性化につながれば幸いである。

## 引用・参考文献

- 文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編
- 鈴木文二：“いま、中・高校生の天文の意識はどうなっているか” 天文月報（1992）
- 山崎良雄，高橋典嗣，宮脇 陽：“中学校理科における天文分野に関する基礎研究” 千葉大学教育学部研究紀要，Ⅲ，自然科学編（2001）
- 伊東明彦，千田 恵，田原博人：“大学生の天文分野に関する知識の変化—1976年と2006年の調査結果の比較—” 宇都宮大学教育学部 教育実践総合センター紀要第30号（2007）
- 河守博一：“天体望遠鏡を用いた太陽・月の動きを実感する授業” 天文教育2010年3月号（2010）
- 清水哲司，川上紳一：“飛騨プラネタリウムを活用した月の動きや星座の学習” 岐阜大学教育学部教師教育研究6（2010）
- 石野昌太郎，松本謙一：“観察・実験とシミュレーションの一元化を目指す6年理科「月と太陽」” 富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要 教育実践研究第7号（2013）
- 山田えりな：“実感を通して子どもが理解できる授業の工夫” 愛知教育大学教育実践研究科（教職大学院）修了報告論集（2012）
- “みんなと学ぶ小学校理科3年，4年，6年” 学校図書（平成23年度用）
- “地球となかよし 小学校理科3，4，6” 教育出版（平成23年度用）
- “新しい理科3，4，6” 東京書籍（平成23年度用）
- “わくわく理科3，4，6” 啓林館（平成23年度用）
- 柴田美怜，吉田裕午：“ICT活用指導力と理科教育” 広島文教教育第26巻（2012）
- 金本瑞生，川口知里，吉田裕午，高橋泰道：“思慮深い市民のための科学的リテラシー” 広島文教教育第27巻（2013）