

「太陽と地球の運動」の指導

吉田 専一¹⁾ 藤田 剛²⁾
和泉 劭平³⁾ 大滝健次郎⁴⁾

この研究は、「太陽と地球の運動」について、太陽・地球の相対的な位置関係を、できるだけ定量的に扱うことをねらっている。学習の展開にあたっては、生徒の行なう観測、天球概念の深化、太陽の位置（赤経・赤緯）の推論、太陽・地球の関係のモデル化などを、具体的な作業をとおして考察し、理解できるよう配慮している。

1 はじめに

人類は、地球が自転し、太陽のまわりを公転していることを認めるまでに長い年月を必要とした。これは、地球上という限られた範囲でしか得ることのできない情報をもとにして、地球をも含めた広い宇宙空間のひろがりや、その構成を認識することがいかにむずかしいものであるかを示すものである。しかし、太陽が恒星に対して1年の周期で位置を変えていることや、その経路がきままっていることなどはかなり昔から、相当な正確さで知られていた。このことは、「太陽と地球の運動」の学習をすすめる上で、いくつかの示唆を与えてくれる。

本研究は、下記の諸点について検討し、授業実践によって検証することを意図したものである。

ア "地球の公転"を理解するためには、「太陽がいま何座を運行しているか」ということを、できるだけ定量的に推測させる。

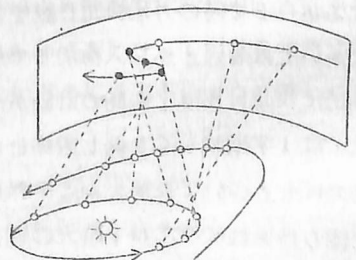
イ そのためには、どのような観測を計画し、それをどのように発展させていけばよいかという学習の流れを明らかにする。

ウ "地球の公転"を中学校段階で証明することは不可能である。したがって、この問題をどの程度まで、どのような観点でとり扱うかを検討する。

2 研究のねらい

(1) 太陽の位置（赤経・赤緯）を明らかにすること

外惑星の見かけの運動と、地球、惑星の公転の関係については（図1）に示すような図がほとんどの教科書に記載されている。



（図1）惑星の公転と見かけの運動

惑星の運動を考え、太陽系の構造を推論し、正しく理科するため

1) 新潟県立教育センター所員 2) 上越市立直江津中学校教諭 3) 西蒲原郡西川町立曾郷中学校教諭 4) 北蒲原郡中条町立築地中学校教諭

には、その基準として任意の観測時刻における地球の位置が、地球の公転軌道上のどこにあるかということが正しく知られていなければならない。この点についての配慮は、新、旧いずれの教科書を見ても、あまりじゅうぶんとは言えない。このように、地球が公転軌道上のどこにあるかを具体的に知るためには、太陽の赤経・赤緯が正しく知られていなければならない。このため中学校の段階においても、太陽および恒星の日周運動の観測によって、「太陽がいま何座のどのあたりを運行しているか」ということをできるだけ正しく求めさせるような学習がおこなわれなければならないと考える。また、太陽および恒星の日周運動(方位、高度の変化)から、太陽の位置(赤経、赤緯)を求めようとすることは、地平座標から、赤道座標へと、座標系を変換することであり、このような操作をはじめて経験する中学生たちには、かなりの抵抗を伴うことが予想され、慎重な学習計画に基づく、注意深い授業の展開が望まれる。

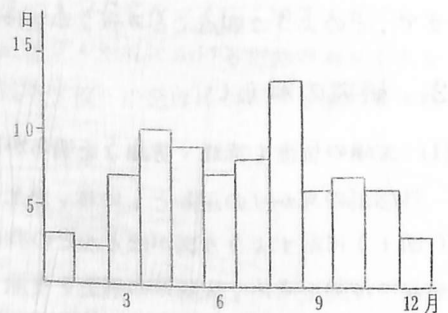
(2) 定量的に取り扱うこと

「太陽がいま何座のどのあたりを運行しているか」ということを、できるだけ正確に知るためには、太陽や恒星が子午線を通過する時刻や高度を観測機器などにより測定し、星図などを用いて具体的に検討しなければならない。このためには、太陽や恒星の方位、高度の変化を観測し、日周運動についての知識を利用して、南中時刻や南中高度を求め、これから太陽の位置(赤経・赤緯)を推測する。したがって、方位、高度の観測結果から、南中時刻、南中高度を推論し、太陽の位置を推測していく過程において、測定値のとり扱い方についての指導も必要になってくる。また、天体観測においては、天気の良い否によって、観測時刻を等間隔にとることができない場合が多い。このような時のデータの処理の方法や誤差のとり扱いなどについて、正しい指導をおこなうことが必要になってくる。同時に、とり扱うことのできる問題の程度、範囲についても考えさせるような指導も必要になってくる。

(3) 実行可能な観測計画をたてること

ア 観測時期の選定

天体の観測は天気の良い時でなければじゅうぶん目的を果たすことができない。特に夜間の観測はたとえ生徒を集めるにしても、雲ゆきについての予測はつきにくく、その実施にたいへん苦勞するところである。そこで、夜間は、各家庭において晴天の日に適宜観測させることにした。また観測および授業をおこなう時期についても検討した。(図2)は新潟市における毎日22時の月別快晴日数を表わしたものである。本県においては春さきから入梅前までが、最も天気が安定し、周期的に快晴になり、観測の計画がたて易い。そこで、この研究では1学期は、くり返し観測をおこなわせ、2学期にその結果にもとづいて授業をおこなうことにした。また、観測は生徒の自発性にゆだね、晴天の日を選んで、生徒が自分の力でおこなえるように配慮し、観測期間は7~10日おくことを原則とした。



(図2) 月別快晴日数表

イ 観測方法についての検討

天体の観測は「太陽はいま何座のどのあたりを運行しているか」を明らかにするために必要な観測だけに限定した。また一度学習した観測方法や、データ処理の技術が、その後有効に生かされ、さらに質の高いものとして発展していくように配慮した。すなわち、太陽の日周運動の観測によって、観測およびデータ処理の方法の基本を理解し、この方法をそのまま使うことによって、恒星の日周運動、天球の概念の深化がはかれるようにした。特に太陽の日周運動の観測においては、小学校における経験が有効に生かされるように配慮し、日影曲線による観測、透明半球、方位、高度計による観測がそれぞれ有機的に結びつき、生かされるようにした。

ウ 教師の観測による資料の利用

太陽の日周運動の観測は、生徒自身に、日の出から日の入りまで観測させることが可能であるが、星の場合は、徹夜の観測が必要であり、これを強要することはできない。このような場合は、生徒に対しては就寝時までの2~3時間程度の観測によって、星の日周運動についてのおよそのことを把握させ、一方教師が夜間を通して観測した値を資料として提示し、これらを有機的につなぐことによって、具体的・定量的な検討がおこなわれるように努めた。さらに、太陽・恒星の南中時刻、南中高度の1年間にわたる値などは、測定することがたいへん困難であること、それまでの学習で、太陽の位置の求め方についての基本的なことが理解されているものと考えられることから、各月の値を教師が計算によって求めたものを資料として使うことにした。(4資料の作成 参照)。

(4) 天球の概念および相対的な見方・考え方を育てること

「太陽と地球の運動」に関する学習は、天体観測の方法や、天文現象に特有のデータの取り扱い方などを学びながら、そこへ到達するまでの過程において、天球の概念を深め、空間のひろがりについての認識や、時間の概念を深めていくことをねらいたい。このようにして深められた太陽と星の日周運動についての学習を、さらに、地球もつけ加え、具体的な作業を通して、お互いの位置関係をできるだけいろいろな立場で眺め、相対的な見方・考え方を育てたい。あまりにも巨大で、直接目で見ることのできない、太陽・地球・恒星の関係は、一種のブラックボックスである。太陽系の構造が地球という限られた位置からしか得ることのできない情報をもとにして、どのようにして明らかにされてきたかを考えることは、今後、ブラックボックス的な現象を考える上で貴重な経験となるであろう。また、黄道を手がかりにして、地球の公転軌道を推測し、惑星の見かけの運動の観測結果から惑星の公転軌道、太陽系の構造を推論していくためには、モデルが大きな働きをする。このようにモデルを使って現象を考察することは、生徒にとってはじめての経験でもあるので、モデルが科学的思考の場面でどのように使われていくかを注意深く指導していきたい。

3 太陽の位置の測定方法について

太陽の位置(赤経, 赤緯)は、外惑星や月のように、その背景の星座といっしょに見ることはできない。このため、太陽、恒星の日周運動の性質を利用して推測する。

(1) 太陽の位置(赤経, 赤緯)の測定

太陽の位置は次のようにして推測することにした。

ア 日沈後しばらくして、太陽が沈んだあたりの空に見える星座を調べる。また、その翌朝、日の出少し前に、太陽が出てくる予定の位置に見える星座と、日の出の時の太陽の位置の関係を調べる。両方の観測結果から、太陽の位置は、日没後に見えた星座と、日の出前の星座の間にあると推測する。実際には、日没前後の太陽、恒星の関係だけで、太陽の位置(赤経、赤緯)を推測する機会が多いと思われる。また、地平線近くでは、星が見えなくなるので、太陽も恒星も、ある程度の高度のところで比較する。

イ 太陽、恒星が子午線を通過する時刻と高度を測定し、南中時刻、南中高度の差を手がかりにして求める。この方法は、精密な観測装置を使えば、高い精度で太陽の位置を求めることができる。しかし、中学校では、恒星時と平均太陽時を区別して考えることは困難であること、学校で使用する観測器械は、非常に簡単なものであることなどから、太陽、恒星とも同じ速度で日周運動をしているものとして、取り扱うことにした。このようにすれば、太陽、恒星とも、赤経が1時間違えば、子午線を通過する時刻の差も1時間かゝるものとして、太陽と恒星の南中時刻の差から、太陽の赤経を推測することができる。赤緯は南中高度の差から求める。

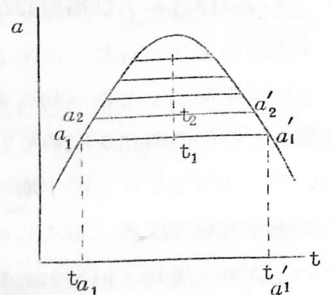
(2) 南中時刻、南中高度の測定

南中時刻、南中高度は、真南が定まらなければ求められない。真南は天体の高度が最も高くなる場所である。方位高度計による観測結果からこの最高になる場所を正確に求めるには次のようにする。

- ① 観測結果から、観測時刻(t)と高度(a)の関係を表わすグラフを書く。
- ② 同じ高度を示す点 $a_1, a'_1; a_2, a'_2; \dots$ を結ぶ。
- ③ 線分 $a_1, a'_1; a_2, a'_2; \dots$ を2等分し、2等分点 $t_1, t_2; \dots$ を求める。

(2)(3)の操作は、天体が南中時刻をはさんで2回同じ高度(a_1, a'_1)になり、同じ高度になる時刻($t_{a_1}, t_{a'_1}$)が南中時刻をはさんで同じ時間だけ前後しておくことによる。

- ④ 観測値には誤差が伴うものであるから、同じことをくり返し、高度の等しい各組の値、 $a_2, a'_2; a_3, a'_3; \dots$ を求めこれに対応する南中時刻 t_2, t_3, \dots を求める。
- ⑤ このようにして求めた t_1, t_2, t_3, \dots を平均することによって、より確らしい南中時刻 t を求める。



(図3) 南中時刻の推定

南中高度は、南中時刻における天体の高度を使ってもよいし、(図3)において、時刻の代りに方位を横軸にとって、前述の場合と同じ考え方で求めてもよい。より大まかに考えるのであれば、天体の日周運動の軌跡を、透明半球上に記入し、天体が最も高い所を求める方法もある。

学習計画をたてるにあたっては、透明半球上で直接求める方法を先行させ、ここで南が方位の基準であることや、天体の日周運動の関係などをじっくり理解させ、その上で、より正確な求め方を考えさせる。

(3) 観測データの処理

天体観測は、天気の状態によって、断続的な観測を余儀なくされることが多い。また、南中高度などは、一般には、真南が正しくわからないため、まず、真南を求め、その上で南中高度を推定するという手順でおこなうことがよくある。このような場合、雲がかかっている時の高度や、南中高度などは内挿的に求め、星などあまり明るくない天体の出没方位や時刻などは、その日周運動の軌跡から、外挿的に推測する。このように目的の値を内挿的、外挿的に推測することは、中学校1年生の生徒たちにとっては、新しい経験であり、このような考え方は、今後、この種の測定値について考えていく上で非常に参考になると考えられる。また、透明半球上の太陽の位置を示す点をなめらかに結んで、直接太陽の日周運動の軌跡を求めたり、これを(図3)のようにグラフで表わして、太陽の高度の時間的な変化を連続的に把握することなどは、その後の測定値のとり扱い方についての基本的な考え方を養うことになるものとする。さらに、第1分野における測定値の取り扱い方の学習とも、じゅうぶん関連づけて指導するように心がけたい。

4 資料の作成

(1) 教師による太陽、恒星の日周運動の観測データ

天気図などにより、天気の安定しそうな日を選び方位・高度計によって、日の出から日没までの太陽の方位、高度の変化を測定し、測定器をそのまま固定した状態で夜間の観測をおこなった。これによって、方位の基準は昼夜を通じて一定し、方位を比較的正しく、定めることができた。

(2) 星図

この星図は、南中時刻、南中高度の差と赤経・赤緯の差の関係について調べたり、太陽の位置を具体的に記入するものである。このため、赤緯 $+30^{\circ}$ ～ -30° 程度の範囲の星を赤経0時～24時にわたって、1枚の紙におさまるようにした。恒星の赤経、赤緯は天文気象年鑑(1971年)により1971.0分点年の値を使った。また星図の下には、恒星の南中時刻、南中高度を記入し、いくつかの恒星どうしの南中時刻、南中高度の差が、星図の赤経方向、赤緯方向のひらきとほぼ一致することを認めることができるような欄も設けておいた。(図13)

(3) 円筒モデル用星図

たて23cm、横144cmのグラフ用紙を用意し、天文気象年鑑により1971.0分点年の恒星の位置を、赤緯 $+30^{\circ}$ ～ -26° にわたって、40等級までのものすべてを記入した。この星図の両端をつなぎあわせて円筒形にした。(図16)はグラフ用紙の上にO・H・P用の透明なシートをのせて写しとり作ったものである。

(4) 「太陽、恒星の南中時刻、南中高度の表」

毎月22～23日の太陽、恒星の南中時刻と南中高度を計算し一覧表をつくった。この表から、各月の太陽の位置を星図上で求め、星図の上に記入することによって、黄道を画くことができるようにした。

5 学習計画について

以上の観点により、次のように学習計画をたてた。

(1) 1学期から夏休みへかけての観測

1学期は、主として、太陽や星の日周運動、太陽や星の沈む時間やそのときの位置の観測をおこなう。また、惑星の見かけの運動についての観測もおこなう。夏休みには、より正確に観測をおこなわせる。観測の方法は、小学校で学習してきたことを復習する意味もかねて、小学校で学習した観測の方法をできるだけ生かすように心がける。また観測についての指導は、1学期のはじめに1~2時間とる程度にとどめ、その後の指導は、晴天の次の日他の教材の授業開始前に数分程度の時間をさき、生徒の注意を喚起し、大きな間違いを起こしたりすることを防ぐ程度にとどめ、詳しい検討と指導は、提出物を調べることによっておこなう。

(2) 太陽の日周運動

太陽の観測を通して、観測やデータ処理の方法についての基本的なことがらを把握する。

(3) 恒星の日周運動

太陽で学習した方法をそのまま利用して、恒星の日周運動を調べ、天球の概念を深化させる。

(4) 恒星に対する太陽の位置の推測


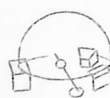
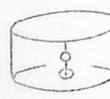
(3)の学習の上になって、太陽の位置を推測し、さらに、黄道を推測する。

(5) 太陽、地球の相対的な位置関係の検討

太陽が黄道上を運行することから、太陽、地球の相対的な位置関係について検討する。

展開例

学 習 内 容	学 習 の 展 開	備 考
(1) 観測	(省略)	1学期早々にはじめる
(2) 太陽の日周運動	<ul style="list-style-type: none"> ○ 日影曲線の観測結果からどんなことがわかるか 	a, bは天文教材の授業の最初におこない、透明半球によるデータの収集をしている間に、「太陽・月の大きさ、距離」の学習をする。この学習が終わってからcへすすむ
a 太陽の1日の動き		
b 透明半球による観測方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> ○ 透明半球によって太陽の動きを観測するにはどうしたらよいか ○ 太陽の日周運動を観測しよう <ul style="list-style-type: none"> ・ 7~10日間に1回の割合で ・ 日影曲線による観測も同時におこなう 	
データの集収	<ul style="list-style-type: none"> ○ 太陽の1日の動きを調べよう <ul style="list-style-type: none"> ・ 透明半球の記録を手がかりにして、朝・昼・夕方太陽が見えるおよその位置を表わしてみる 	
c 太陽の日周運動の軌跡		

学 習 内 容	学 習 の 展 開	備 考
<p>b 星の日周運動</p> <p>c 天球の日周運動</p> <p>d 地球と星の関係</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 全体としてどのような動きをしているか <ul style="list-style-type: none"> ・ 東天の星：右上へ ・ 南天の星：左へ ・ …………… →北極星を中心にして回転している ○ 星の日周運動の観測データから、その軌跡を、透明半球に表わしてみよう ○ 透明半球に記入した軌跡からどのようなことがわかるか ○ 次の値を推測しよう <ul style="list-style-type: none"> ・ 各星の南中時刻，南中高度 ・ 各星の出・没時刻，方位 ・ 任意の時刻における方位・高度 ○ 星は24時間でどのように動くか ○ 2個の透明半球を球状につなぎ，24時間の軌跡をたどる ○ 各星の軌跡は平行である ○ 任意の2星の南中時刻，南中高度の差について調べよう <ul style="list-style-type: none"> ・ 各星の動く軌跡は平行であり，この幅は南中高度の差に等しい ・ 南中時刻，南中高度の差はつねに一定である。これらの差は，星図上の横軸，縦軸方向の目盛りの差に等しい。このことは恒星がお互いの位置を変えないことにほかならない ○ 星の日周運動をモデル的に表わしてみよう <ul style="list-style-type: none"> ・ 透明半球の中心に地球をおく ・ 円筒形にした星図の中心に地球をおく ・ 地軸の傾き—地軸はどちらへ向けたらよいか ・ 地球の自転と観測地点における方位・高度の変化 	<p>観測結果を手がかりにして天球の回転について，およその見透しを与える</p> <p>教師による観測データをもとにして定量的に扱う</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div>

学 習 内 容	学 習 の 展 開	備 考
<p>(4) 太陽と星の日周運動の比較</p> <p>a 太陽と星の日周運動</p> <p>b 星に対する太陽の位置を推測</p> <p>c 太陽の位置の変化を推測</p> <p>d 黄道を推論</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 太陽と星の日周運動を比較しよう ・透明半球を球状につなぎ、太陽、星の日周運動を記入する ・太陽は星と平行な軌跡を画く ・太陽が南中している時の星の位置、星が南中している時の太陽の位置に印をつける→太陽と星の南中時刻の差を推測 ○ 太陽はいま何座のあたりか ・太陽・星の南中時刻、南中高度を比較する ・太陽の位置を星図上に記入する ・いくつかの星について同じことを試み、太陽の位置がどの場合についても同じになることを確める ○ 太陽・星を観測した各時刻における太陽・星の位置を検討しよう ○ 日没後まもなく見える西空の星はいつも同じだろうか ・生徒各自のデータと比較 ○ 資料を使って、1月～12月までの各月の太陽の位置を求めよう ・星図に記入する ・黄道を定義する ○ いままで、南中時または日没時に、地上物に対する太陽と星の関係をスケッチしておいたものを使って、求めた黄道が正しいかどうかを確める 	<p>およその傾向を知る</p> <p>各月の太陽・恒星の南中時刻・高度に関する資料</p>
<p>(5) 太陽・地球・星の相互の位置関係</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 天球が回転するのではなく、天球が固定しているものとして ・地球が中心にある場合 ・太陽が中心にある場合 <p>について考えよう</p>	

6 実践例

(1) 1学期から夏休みへかけての観測

この観測に入るに先だって、実態調査をしたが、この結果、小学校では、日影曲線の観測は、おこなっているが、それ以外の観測は、ほとんどなされていないことがわかった。このことは、生徒ひとりひとりが探究者になって、宇宙の構造を究めていこうとするとき、まことに心細い限りであった。そこで5月下旬以来、授業前の事前観測を実施して、まず、天文現象に親ませ、その上で、天体観測の方法を考えさせようとした。

ア 天体観測への導入

(ア) 木星の観測にあたって(5月30日第1回目)

T 「新しい科学」をだしてごらん下さい。君達は、今年、天体の学習をします。

P₁ 天体は、いやだなあ。!

P₂ おもしろいよ、天体って。!

T 天体は、どうしていやなんだ?

P₁ だってさ、星があつちからでたり、こつちからでたりして、面倒くさくていやだ。!

T やはり、君達は、実際の観測がないためにむずかしく感じるのです。先ほど話しをしたように、第二学期のはじめには、天体の学習を、はじめます。その準備として、今日はま

す、木星の観測をしてもらいます。木星というと、どんなことが頭にうかんできますか。

P₂ 太陽を中心にして、太陽から5番目に遠い星です。

P₃ 本で読んだのですが、ガスが燃えています。

T まちがったことも含めて、いろいろなことを知っているようですね。ところで、今回は夜の8時から9時の間に、南の空を見てください。他の星よりも一だんと明るく、ボヤッとして、ほとんどまばたきのしない星があります。それが木星です。1時間おきに2~3回観測してください。

(イ) 生徒の反応(6月2日)

T 木星は、わかったですか?

P わかりました。

P₁ 先主、南の空にはなかったよ。

P₂ いや、あったよ。!

T それでは、きいてみたいのですが、君達は何時に観測しましたか?君はどうでしたか?

P₄ おそく観測すれば南の空にあります。

T そうだな。! 木星の位置は、時刻によって変化しているんだな。1回しか観測しなかった人は、1回だけでなく、何回か観測してもらおう予定です。よし。!第1回目については、観測結果を6月5日までに提出してください。

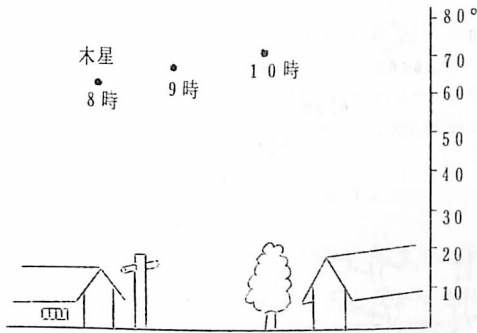
ほとんどの生徒は、星座を知らない。そこで、誰にも目立つ、わかりやすい星として、木星を選んだ。ここでは、星の日周運動を観測させるのがねらいであるので、恒星、惑星の区別は必要としないのであるが、たとえば、シリウス、アルデバランなどのように、星の名前を紹介しておくという程度の気持ちで、木星を説明しておいた。上記の反応からも推測されるとおり、ほとんどの生徒は、木星が、恒星とは異った運動をする惑星であることは知らない。また星が、日周運動によって、時刻とともに方位・高度を変えることなども、小学校で、実際に観測したことがある生徒は、少ないようであった。そこで、天体観測には、時刻を記録することが、重要であることを、強調しておいた。

(ウ) 観測結果について

ほとんどの生徒が、観測をおこない、それを画用紙にまとめてきた。

特に天体に関心をもっている生徒は、自分なりに、気づいたことを、文章によって記してあった。

。実際に見ていると、本に書いてあることや、先生のおっしゃったことと同じで、ゆれが少なく、あ



(図4)木星の観測(生徒の観測)

- んがいほかの星よりも低いところにあった。
- 9時には、8時よりも少し、たかいところになって、その星が特に明るくかがやいていたので、すぐわかった。
 - 北には、北斗七星が、ひしやく型によく見えた
 - 先生がおっしゃったよりも、高いところにあった。
- ばく然とではあるが、生徒自身が、木星の高さが時間とともに、変っていくことに、気づきはじめて

いる。

イ 木星を観測してみる (6月21日第2回目)

第1回目の観測と比較して、木星の位置(同時刻において)は、どのように変化しているかを、はっきりさせるために、観測を指示する。また、木星が、さそり座に対して、どのように位置(方位、高度)を変えていくかを観測させるため、木星を手がかりにして、さそり座をみつけた方法を、21時ころの木星、さそり座を、地上の風景との位置関係で説明し、これを確認し、記録をとるように、指示する。翌日、生徒に観測のようすを聞くが、ほとんどの生徒は、確認していなかった。第1回の観測に比較して、生徒の意欲は見られなかった。これは、生徒ひとりひとりが、自分の力で、星座をみつけたことが、困難であることを示すものと考えられる。また家庭の観測では、自宅の周囲がすべて人家にかこまれて観測しにくい生徒、観測に適した場所へ行くためには、国道を横切らなければならない生徒、周囲が明るすぎて星が見えない生徒などがあり、これらに対する対策が、今後の課題である。

ウ 日影曲線による観測

ほとんどの生徒が、小学校で経験しているので、観測方法や注意すべき点については、生徒に考えさせ、晴れた日に適宜おこなうよう指示した。4人1組で班を編成し、観測体制を整え、朝(7時30分)理科室前の芝生に机をだす。前日に準備した、日影曲線用紙を机上にとりつけ、1時間ごとの休けい時間を利用して観測をおこなう。午前中は非常に意欲的であったが、午後は一部の生徒に限定され、窓から依頼するようすもみられた。

エ 透明半球による観測

このあと、透明半球は、生徒にとって、はじめてのものでもあるので、観測方法を説明し、練習をおこなった後、晴れた日に、日影曲線といっしょに観測させた。

オ 日没前後の太陽の方位、高度の観測

観測場所、開始時刻は、生徒各自の家のまわりなどの条件によって、異なるために、自主的、主体的におこなうようにした。5月から6月上旬にかけては、日没後しばらくすると、ふたご座の α 星、 β 星が、太陽が沈んだ位置の近くに見えはじめ、やがて、没する。したがって、太陽と、明るくて印象的な、ふたご座の α 星、 β 星の動きを追うことは、太陽と恒星の位置関係を考えさせる手がかりとして、非常にわかりやすいと考えた。そこで日没時の太陽とそのあとを追いかけるようにして沈んでいく、ふ

たご座の α 星, β 星を, 下の景色とともにスケッチさせた。

しかし日没までの太陽の位置については, 比較的正確にスケッチしているが, ふたご座の観測は, 困難のようである。ふたご座を正確にたしかめて, スケッチしている生徒は, わずしか見られなかった。この点に関しては, さそり座の観測でも, 同じことがいえ, 天球上で星どうしの距離を把握することが, いかにも困難であるか, 改めて考えさせられた。

オ 南中高度の測定

南中時刻の測定には, 学校や, 生徒の家で, 北極星および, 太陽の南中時の棒の影から方位をきめさせた。また南中高度の測定は(図7)のようなものを自作させておこなった。

カ 夏休みの観測

夏休み中の生徒の観測の課題はつぎのようなものである。

- 太陽の一日の動きの観測, 日影曲線(棒の長さも記入する)
- 星の動きの観測(さそり座, うしかい座, 夏の大三角形)

星の日周運動の観測には, さそり座をプリン

トしたものを渡し, これらの星の高度の変化を測定させ, その変化のようすを, 観測用紙にはらせ, 記録させた。(図8)

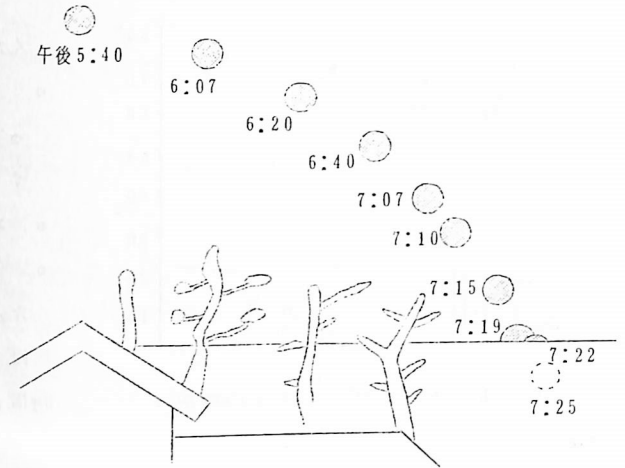
(2) 太陽の日周運動

ア 太陽の一日の動きについて

「透明半球に記入してある点を見て, どんなことがわかるか」という質問をしたところ

- 太陽の一日の動きがわかる。
- 11時と12時のあたりが一番高い。
- 1日の動き一高度の変化がわかる。
- 日の出・日の入りの時刻には高度が低い。
- 太陽の動きが, 全体として, 真夏より低くなっている。

という反応があり, さらに

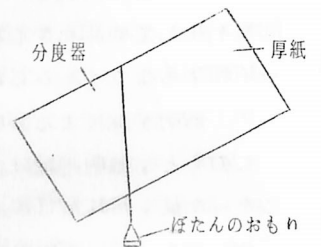


(図5) 太陽の観測(6月26日)

日没	46.5.25	6:05
星座	46.5.25	9:40

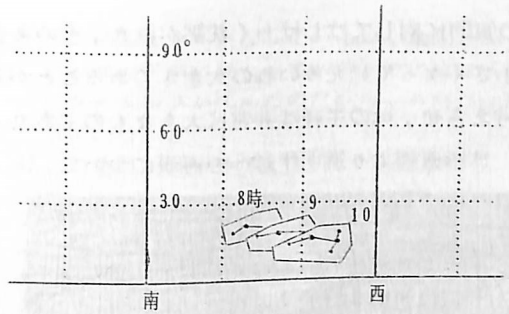


(図6) 太陽と星の沈む位置と時刻の関係



(図7) 生徒の作った高度計

- T 何十回も、何百回も観測したらどうなりますか。
- P 太陽の動きを、線で表わすことができます。
- T それでは、各点を結んだ線は、何を意味しますか。
- P 太陽の動きを意味しています。



(図8) さそり座の方位・高度の変化の記録

というやりとりによって、太陽の動きが連続的変化であることを意識させようとした。これらの反応は、日影曲線による場合と異なり、透明半球

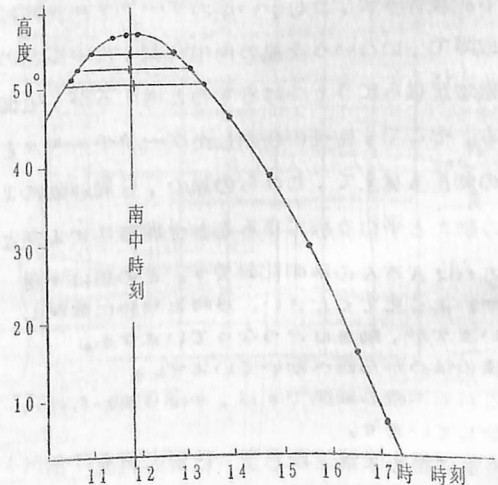
という立体的な空間にしるされているため、太陽の日周運動の軌跡について、比較的容易に理解することが、できたものと考えられる。つぎに、太陽の動きを指でたどらせ、太陽が朝見えた位置、昼、夕方見えた位置などを確認させた。これは透明半球が外から記入されているため、往々にして、東西の方向を間違えることを防ぐためにおこなったもので、透明半球を片手でもちあげ、その中心が目や鼻の位置にくるようにして、球の内側から眺め、太陽の1日の動きをたどらせた。南中時刻については、11時と12時あたりが、一番高いという考えが多く、最初11時が一番高いという意見が10名、12時が20名、その他が2名であった。これは小学校以来、12時→お昼→太陽が一番高い、という考え方が固定化されていることによるものと考えられる。太陽の日周運動の軌跡を画くと、11時から12時にかけては高度がほとんど変わらず、南中時刻を求めることは、生徒にとって、たいへんむずかしい問題であった。最初、3(1)の(図3)による方法を生徒に考えつかせようとしたが、太陽が1日に2回同じ高さになるという事実をひきだすことはできても、これが、南中時刻をはさんで、同じ時間だけ前後しておきることへ発展させることができず、うまくいかなかった。この過程で、南中時刻や、日の出、日の入りの時刻を内挿法的に求めたり、外挿法的に求めたりすることは、生徒にとって、大へんな仕事で、予想外に多くの時間と助言が必要であった。

なお、上記の方法は、透明半球上で直接求めるものであるが、太陽の高度と、観測時刻をグラフ用紙の上に書いて考えさせたところ、南中時刻は比較的容易に求まり、生徒もよく理解した。これは、透明半球の場合は立体であるために抵抗があるのではないかと考えている。

イ 天球のひろがりについて

透明半球を使っていると、天球を有限の大きさのもの、小さいものと考えがちである。そこで

- T 透明半球から太陽の高さがわかるかといっていますが、高さとは何をさしているのでしょうか。
- P 透明半球の中心と、太陽の位置を表わす点を結んだ線と、平面のなす角です。



(図9) 太陽の南中時刻の推測

- T それでは、観測している自分はどこにいることになりますか。

この質問に対してはしばらく沈黙が続き、そのあとで、観測者は透明半球の中心に居ること、人は非常に小さくなって見えない程の大きさであることが発言された。このことから逆に、実際の天球の大きさを考えさせ、球の半径は非常に大きなものであり、その大きさは任意に考えてよいことを説明した。

ウ 日影曲線より透明半球への再現について

T 日影曲線から透明半球にうつすにはどうしたらよいでしょう。各班で話し合いなさい。もしうつすとしたら何と何がわかればよいでしょう。

P (しばらく話し合う)

P 高度と方位がわかればできると思います。

T 高度はどのようにしたら求められますか。

P 棒の長さは10cmです。だから、紙の上に10cmの直線をひいて、このようにして(図10)影の長さから高度をはかります。



(図10) P 影が一番短くなったところが南中しているところです。だから真南を中心にして測れば記入できます。



(図11) 日影の長さから太陽高度を求める

T よし、それでは、日影曲線から透明半球にうつしてください。

Tの質問に対して、ある班では(図11)に示すように、直接鉛筆をたて、ものさしや分度器を使って、高度を求めていた。しかし、この班も、全体の話し合いのあとは、紙の上で作図して求めた。

(3) 星の日周運動

生徒の観測例にみられたように、太陽の沈んだ位置を、地上の不動の物体を基準にして、スケッチさせておき、その日の夜の星のうごきを観測させ、日没時の太陽の位置とほぼ同じ位置にくる星のスケッチをさせた。これは、星座も時間の経過とともに動いているということを見せさせるのに役立つものとする。夏休みに、うしかい座のアークチュルスについて観測させたが、観測できたのは数名であった。この段階で、いろいろな星の南中時刻、南中高度の測定、予想などもじゅうぶんやるのが、より深い天球概念を彼らにうえつけるものとするが、生徒は星の名前をあまり知らず、むずかしい問題を含んでいる。そこで、生徒の観測したアークチュルスとふたご座を手がかりに、さらに誰にも目立ち易い、木星の動きも加えて、これらの星の、日周運動による方位・高度の変化も透明半球に記入させ、それが太陽の動きと平行な線になることを理解させようとした。

T これはAさんの観測記録です。この星は木星です。よく見てください。8時と9時に観測していますが、動きはどうなっていますか。

P 東のほうから西へ動いています。

T これも木星の観測ですが、やはり東から西へ移動しています。

P₁ 先生、星も太陽と同じように東から西へ動いているのですから当然です。

T 今、P₁君からこのような発言がありましたがこのように考えてよいですか。

P (全員納得する)

T ところで君達の観測データだけでは、天体の動きを正確にとらえることが困難です。先主が観測した、方位・高度を値を使って天体の動きを透明半球に表わしてみよう。(4(1)の資料)

P (いろいろやってみて)先生、地平線の下の部分がかうまくいかないのですが、下にもうひとつ、つないでもよいですか。

T それはよい考えた。完全な球でやることにしよう。

P 8月の太陽の動きと、アークチュルスの動きとは、重なってしまう。

T 太陽とアークチュルスは、同じところにありますか。

P 太陽よりもアークチュルスのほうが速いからいっしょに動くのではないか。

P それもすこし違う。通る道すじは、太陽もア

ークチュルスも重なっているが、観測の時、太陽が沈んで数時間たってから、その位置へ、アークチュルスが沈んだのだから、ふたつは重なっていない。

P (全員が賛意を示す)

この発想から、透明半球を球状につなぎ、太陽が南中した時のアークチュルスの位置、アークチュルスが南中している時の太陽の位置を考えさせた。さらにこの方法を用いて、ふたご座 α 星とアークチュルスの位置が、どのような関係になっているかを調べさせた。

T 君達の天球に、アークチュルスの動きが記入されていますが、そこに同じ日に観測した、ふたご座 α 星の動きも書いてみなさい。

P 6月の太陽の動きと重なります。

T 星どうしも平行になっていることがわかったと思いますが、これらの高度の差はどうしたらはかれるかな。

P 南中した時の高度を、谷形分度器ではかれはよいと思います。

P (測定する)

T これを、星図と比較しましょう。星図の下の南中時刻と南中高度のグラフ(図13下段)に記入してごらんください。これを、上の星図と比較するとどんなことがわかりますか。

P ((図13)に記入し、上下を比較する)

P ふたご座 α 星とアークチュルスの南中時刻の差はこの図(図13)の上の段の図で横へはかったときの違いと同じです。

P 高度の差も縦軸の目盛りの違いと同じです。

T では、ふたつの星は同時に南中しますか。

P ちがいます。ふたご座のほうがさきに南中します。

T ふたご座の α 星が南中した時、アークチュルスはどこにあるか考えてごらんください。わかったら透明半球に記入しなさい。

P ((図13)により南中時刻、南中高度の差を読みとる)

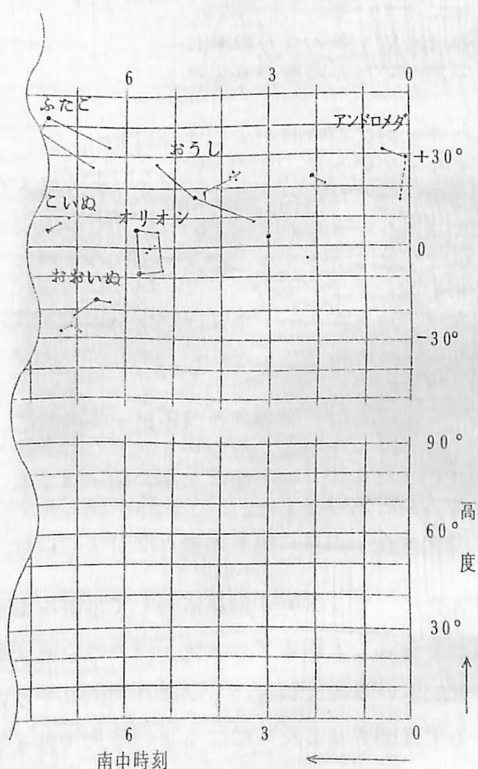
T 東側か西側かよく考えて印をつけなさい。

P (アークチュルスの位置に印をつける)

T こんどは、アークチュルスが南中しています。これから7時間後には、アークチュルスはどこへいきますか。



(図12) 星の日周運動の軌跡を記入する



(図13) 南中時刻・高度との関係を調べる星図

P ふたごのところですよ。

このような問答をくり返して、星の日周運動の軌跡は平行であり、お互いの南中高度、南中時刻の差が一定に保たれていることを理解させた。この場合の注意として、透明半球の真南が、太陽の南中時刻

の位置と一致していないと、星や太陽の動いた軌跡が平行にならず、生徒が混乱した場合もあった。

(4) 太陽と星の日周運動の比較

生徒は、太陽の日周運動と星の日周運動について、それぞれ学習してきているが、両者の関係については、無関心である。両者の関係に注目し、太陽が何座のどのあたりにあるかを推論し、さらに1年間の太陽の位置の変化を理解するのが、こゝでのねらいである。そこで、最初、生徒が1学期から夏休みにかけて、日没時の太陽と星の関係をスケッチしたものを手がかりにして、太陽は季節とともに、星座に対する位置が変っていくことに気づかせようとした。(図14)は生徒のスケッチをもとにして、教師がプリントし、生徒に配ったものである。

T この図を見てどんなことがわかりますか。

P 太陽の沈む場所が違っている。

P 夏の太陽は北よりで、8月10日と南へ変っている。

P 太陽が沈んだあとに見える星が変わってきている。

T そのほかに、みんなが観測していて気づいたことをいってごらん。

P ふたご座が沈む時間が少しずつ早くなっていった。

T 8月頃はどうかだった。

P もう見えなかった。

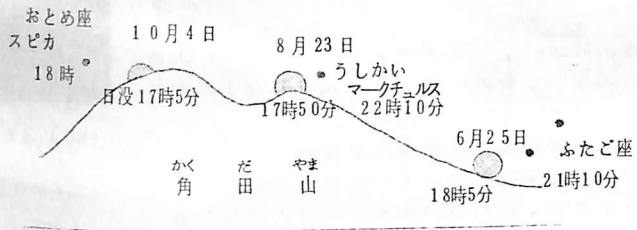
P だけど、アークチュルスが太陽の沈んだあたりに見えました。

T そうするとアークチュルスは、ふたご座が見えなくなる頃になって、どこからか変わってきたわけだね。

P 違います。ふたご座の見える頃は、アークチュルスはもっと高いところに見えました。

P ふたご座だって、観測をはじめた頃には、もっと高い所にありました。

T そうすると、ふたご座も太陽と同じように沈



(図14) 太陽・星の沈む位置・時刻の変化

む場所が変わっていくわけだね。

P ふたご座の沈む場所は、家から見た時にはいつでも、角田山の頂上あたりみたいでした。

P ふたご座はいつでも同じところを通過して、同じところに沈んでいる。

P ふたご座はいつも同じところに沈むけど、沈む時間が少しずつ早くなる。

T そうだね。ふたご座ばかりでなく、アークチュルスもスピカも、同じところを通過して同じところへ沈みますが、太陽は季節によって沈む場所が違います。

このようにして、太陽が恒星に対して位置を変えていくことを確かめ、さらに4(1)の資料により透明半球と星図を使って太陽とアークチュルスの位置関係を、できるだけ定量的に考えさせようとした。しかし、探究的というには程遠い、誘導尋問的なやりとりが多かった。太陽が何座のどのあたりにあるかを生徒の力で推測させるためには、星の日周運動を手がかりにして、天球の概念をじゅうぶんに深めておかなければならないことが反省された。

(5) 地球・太陽・星のおたがいの位置関係

太陽と星の位置関係がはっきりしたところで、地球も含めたお互いの関係を考えさせた。(3)および(4)で用いた星、太陽の日周運動の軌跡の記入してある透明半球を各班に配り

- T 明半球が、天球のモデルだとすると、地球の位置、地軸の向きはどうなるか考えなさい。
- P (各班でいろいろなモデルができる)
- T どの班のがよくできているか、みんなで見せあひましよう。
- (結局(図15)のモデルがよいことになる)
- T 星が東から出て西へ沈むように、動かしてごらん。
- P 地球をまわして説明するのは簡単だけど、天球を動かすのはやりにくい。
- T それでは、地球を自転させてみよう。具体的な例として、角田山へ沈む太陽と星の位置をスケッチしたもの(図14)を使おう。最初、6月25日の場合で考えよう。21時頃、西の空にふたご座が見えるようにするには、地球上のわれわれはどんな状態のところにいるのだろう。
- P (どの班も、正しい状態を示す)

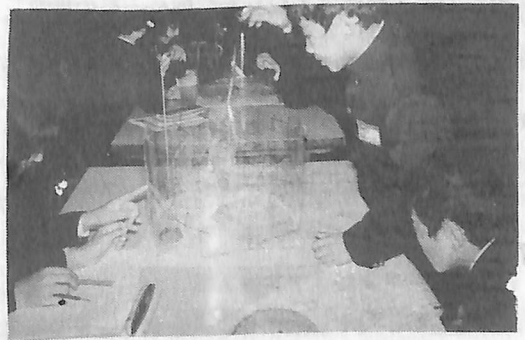


(図15) 星の日周運動と地球の自転の関係

- T それでは、地球をゆっくり自転させて、ふたご座が沈む時刻と方位、出てくる時刻と方位、南中時刻と高度が、およそいくらになるか調べなさい。
- P (略)
- T 太陽もつけ加えて考えてみましょう。

この段階で、太陽や地球を表わす粘土の球の、半球との位置関係や、地球の上につける地平面を表わす円板のとりつけ位置など、かなり厳密にしないといいかげんなものになってしまう。生徒は、この点についてはかなり無神経であるから、たえず注意をうながしながら、定量的に意味のあるモデルをつくらせなければならぬ。このあと、(図16)の円筒モデルへ発展させ

- T 6月、8月に君達が観測した太陽と星の位置関係が、このモデルでうまく説明できるかな。
- P (いろいろやってみて)説明できる。
- P 先生、太陽が中心では、うまく説明できませんか。
- T いゝことに気がついた。みんなで太陽中心の立場で説明してみよう。
- P (各班で太陽と地球をおきかえてやってみる)これでも説明できる。どっちが正しいのだろう。



このようにして、1年間の太陽の動きを円筒モデルの中でたどらせてみた。そして、太陽が中心でも地球が中心でも、また天球が回転しても説明がつく

(図16) 太陽と地球の位置関係を調べる

ことを理解させた。ただし、この場合、星座と太陽の位置関係がしっかり理解されていること、モデルによって事象をできるだけ忠実に再現するように努めることなどが徹底しないと、単に油粘土のかたまりを星の円筒の中で、あちらこちらへ動かしたゞけという、底の浅い学習になる恐れがじゅうぶんにある。またこの学習においても、観測をじゅうぶんにおこなった生徒は、理解が早く、各班において指導的な役割りを果たしていた。星の日周運動の観測と天球の概念の掘り下げがさらに深められていればこの授業は、もっと価値のあるものになったことゝ考えている。

(6) 太陽の日周運動と黄道

円筒モデルでは、地球の地軸は上をむくことを使らは考えたが、さらに、この考え方を発展させるように指導してみた。その理由は、かなり程度の高い生徒が、説明の中で、太陽の日周運動は、1日の間に黄道をすべて通るかのような発言をしたからである。その誤りをたゞす意味においてもこの時間の指

導はむたでなかったと考える。

T 地軸は上をむいているが、P₁君、6月の太陽の1日の動きを円筒モデルに沿って動かさない。

P₁ (はじめ天球モデルのふたご座のあたりから太陽を動かし、その後黄道にそって太陽を反時計まわりに1周させた)

T これではよいのかな。

P (よいというものが多い。しかししばらくして) 違います。P₁君は、6月の太陽を黄道にそって動かしましたが、それでは、(日周運動の軌跡が)地軸と直角にならないから、透明半球で、太陽の日周運動を調べたときの、あの平行な線と地球の地軸との関係にあてはまらない。

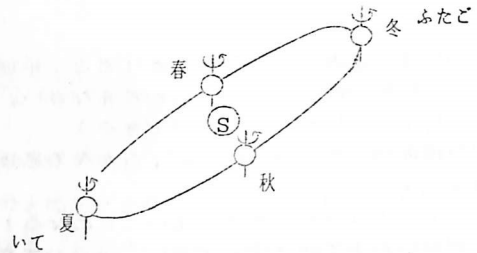
T そうだ。この点についてどうしたらよいか。

P (かなりの生徒が) 6月の太陽は、ふたご座とはほぼ同じ高さで、地球のまわりをまわる。そして毎日少しずつ場所を変えて、8月頃には、アークトゥルスと同じところを、1日に1回転しているのだ。

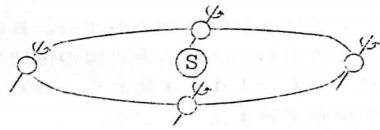
T その通りだ。その毎日少しずつ高さの変るようすを、線で結んだのが、黄道だったね。さてそれでは、こんどは、太陽が中心で動かないものとして、地球をまわしてごらん。この場合、お互いの高さに注意しよう。

P (生徒、各季節について、地球を回転させ、太陽の南中高度などを調べる)

T それでは、各季節の地球の位置と、その時の地軸の向きや、回転のしかたを図に書いてごらん。(生徒1名に板書させる(図17))



(図17) 円筒モデルから得られる地球の公転の姿



(図18) 地球の公転面を水平にして書き直す

T この図(図17)は、公転軌道面が傾いているが、これが水平になるように書き直してごらん。

P (各自のノートに書く。1名板書(図18))

T どうだね。これは、君達がよく見かける図と同じだろう。この図も、さっきの図も共通していることは、地軸が公転面に対して一定の傾きを保っていることだ。この地軸はどちらへ向いていたかな。

P 北極星のほうです。

T そうだね。地球は、つねに地軸を北極星のほうへ向けて公転している。そして、地軸が公転面と垂直でないために、どんな現象がおこる?

P 季節の変化がおきる。

7 おわりに

今年の3年生は、旧指導要領による最後の学年であり、天体の学習については、1年生と比較する機会を得た。木星の逆行現象を、1, 3年生とも同じ器材を使って指導したところ、むしろ1年生のほうが木星、太陽、地球の位置関係について正確にモデル化することができた。このことは、自らの観測を基盤にして、黄道を理解し、太陽と地球の相対的な位置関係を定量的に把握していたためと考える。しかし、天体観測の実施にあたっては、未解決の問題を多く残したままであり、太陽の位置(赤経・赤緯)を理解する過程にはかなりの無理が感じられる。今後これらの問題も含め、さらに、太陽・地球の大きさや距離、太陽系の構成について、学習の流れ、および、観測・実習との関連などについて検討を加えていきたい。

最後に、この研究をすゝめるにあたって、研修の機会を与えていたとき、種々ご指導をたまわった、直江津中学校長 佐藤正一郎、曾郷中学校長 武石伊一、築地中学校長 野沢倉吉の諸先生に対し厚くお礼申し上げます。