

## 天体望遠鏡(スピカ)とインターネットを活用した中学校理科 金星の満ち欠けの指導: 内合通過前後の観察を通じて

Observation on the waxing and waning of Venus in science classes of the junior high school by using the small telescope( Spica )and the CCD images on the internet:  
Case study around the Venusian inner conjunction

渡辺進武\*・川上紳一\*\*・上田康信\*\*・江川直\*\*・山田茂樹\*\*\*

Susumu Watanabe\*, Shin-ichi Kawakami\*\*, Yasunobu Ueda\*\*, Nao Egawa\*\*,  
Shigeki Yamada\*\*\*

### 要旨

岐阜大学附属中学校3年生4クラス約160名を対象に、天体望遠鏡製作キット(スピカ)とweb教材を用いて、金星の満ち欠けの指導を行った。金星の観測期間は東方最大離角付近を通過した2002年8月から内合を通過した12月までの約5か月である。天体望遠鏡製作キット(スピカ)は生徒160名分用意し、授業中に製作し自宅へ持ち帰って観測を続けさせた。観察を行った生徒は、金星の位置の変化、大きさの変化、形の変化に気がついた。こうした観察結果をモデルを用いて検証させる授業を10月に行った。授業の最後にモデルを用いて、内合を通過したあと朝方に出現する金星の形を予想させた。その結果、ほぼ全員の生徒が誤った予想を立てたが、さらなる観測の継続によって事実を認識し、金星の公転と地球の自転運動を考慮して観察事実を整合的に説明できる正しい理解へと到達することができた。一人ひとりの観察を重視することで、天文現象の理解における視点移動能力を高めることができた。金星の満ち欠けは、モデルによって現象の理解が深まるだけでなく、モデルに基づいて立てた予想を観測で検証できる点で非常にユニークかつ有益な学習内容であることが示された。

キーワード: 理科教育, 天文学, 惑星, 金星, CCDカメラ, 中学校, インターネット

key words: science education, astronomy, planet, Venus, CCD camera, junior high school, the internet

### 1. はじめに

金星は宵の明星, 明けの明星といわれているように, 夕闇が迫るころ西の空に輝いて見えたり, 夜明け前に東の空に輝いて見える。最も明るい時には4.6等級にまでなるため, 一番星として見つけやすい。また, 地球のすぐ内側を公転している

ことで特徴的な動きを見せる。金星が東方最大離角を過ぎて内合に向かうまでは, 西の空で徐々に高度を下げつつ, 明るさ, 大きさ, 形が変化していくので, 望遠鏡で継続的に観察を続けると, 金星の公転にともなう変化が追跡できる。また, 内合を通過すると, それまで西の空に見えていた金星が数週間のうち東の空に明るく輝いて見える

\* 岐阜大学教育学部附属中学校

Junior High School attached to Faculty of Education, Gifu University

\*\* 岐阜大学教育学部理科教育講座(地学)

Faculty of Education, Gifu University

\*\*\* 長良中学校

Nagara Junior High School

ようになるため、地上の観察者からみると大きな変化が起こったように見える。こうした金星の見かけの変化は、従来から中学校で教える内容に含まれてきたが、新学習指導要領（文部省，1998 a）の中でも学習すべき内容として明記されており、観察を行うなどして惑星としての金星の動きを理解させることになっている。

さて、児童・生徒の理科離れが指摘される中で、金星の満ち欠けに関する学習内容をより魅力的なものにし、生徒が意欲的に学習するにはどのように工夫したらよいか。観察を行うための動機づけとして、生徒に天体望遠鏡を貸し出し、自宅に帰って観測するように促すことはできないか。こうした検討の中で、山田ほか（2001）は、双眼鏡と天体望遠鏡組み立てキット（スピカ）を1クラス分確保し、それらを生徒に貸し出して指導を行った。その際に、岐阜大学教育学部屋上の天体観測ドームに設置されている口径27センチのニュートン・カセグレン型望遠鏡で金星の撮像を行い、数日以内にインターネットのホームページで公開して、その日その日の金星の姿を確認できるようにした。まとめの授業では、生徒たちの観察結果をもとに交流会をもち、モデルをもちいて生徒たちが

観察した期間における金星の公転を確認した。この授業においては、多くの生徒が金星に興味や関心を示しただけでなく、身近な天文現象でも継続して観察することでわかっていくことがあることに気づくことができた。

本研究は、こうしたこれまでの実績を踏まえ、2002年8月から12月にかけて東方最大離角から内合へ向かう金星を対象に、天体望遠鏡（スピカ）による継続的観察を岐阜大学附属中学校の生徒一人ひとりに行わせ、その結果を踏まえた授業を実践したので報告する。なお、長良中学校でも内合をはさんで金星の動きと形の変化に関する授業を実践しているが、その実践報告は別の機会にする予定である。

## 2．金星の観測

### 1）生徒による観察の指導

金星の形の変化を観察するには、倍率が10倍以上の双眼鏡か天体望遠鏡を用いる必要がある。山田ほか（2001）は、双眼鏡と天体望遠鏡（スピカ）の両方を用いて授業を実践し、天体望遠鏡の方がすぐれていることを明らかにしている。そこで、



図1．生徒が観察に用いた天体望遠鏡．

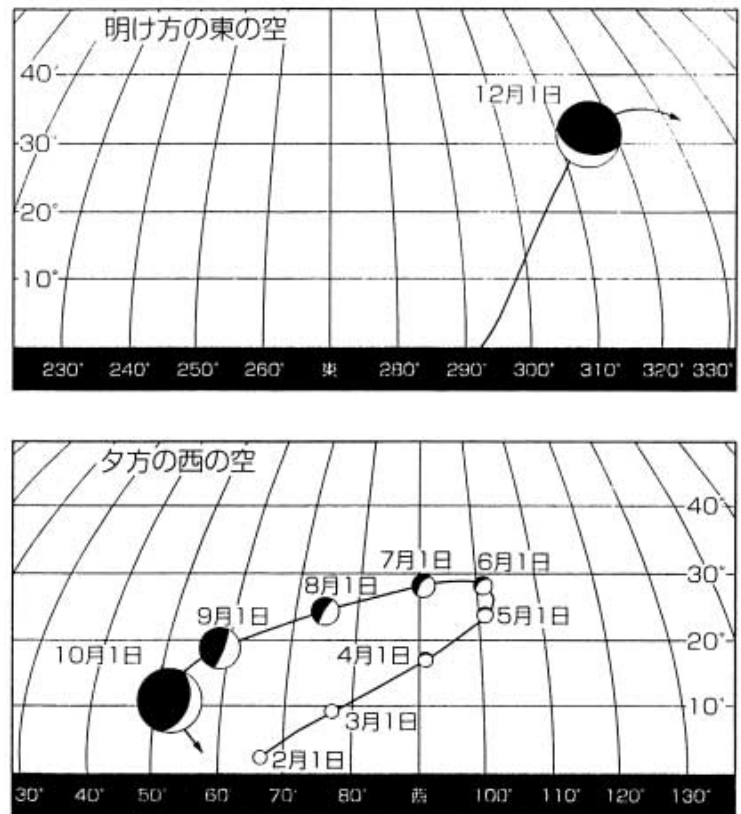


図2．2002年7月から12月にかけての金星の動き．  
教育出版株式会社編集部（2002）より．

本研究でも天体望遠鏡組み立てキット（スピカ）を用いた．生徒一人ひとりにキットを与え，授業中に製作させた．観察期間は夏休みにまたがるため，作った望遠鏡は自宅に持ち帰らせた．金星の位置を確認するには，三脚を使用した方がよいので，スピカ用木製三脚を40台確保して組み立てたものを希望する生徒に貸与した．図1に生徒たちが観測に用いた天体望遠鏡を示す．生徒たちは，金星の見える西の景色をスケッチし，そこに金星の方位と高度を記入し，さらに望遠鏡で見えた金星の姿を書き込んだ観察記録を作成した．高度の測定にはにぎりこぶし法を用いた．また，岐阜大学附属中学校のインターネットを活用した電子会議室というメールによる交流の場を設置して，観測に成功した生徒からの報告を他の生徒に伝えられるようにした．その結果，ある生徒の送信した月や金星の観察結果を受けて，ほかの生徒たちも望遠鏡を取り出して観察する姿がみられた．図2に，2002年の金星の位置の変化と形の変化に関する概念図を示す．

## 2) 岐阜大学での観測

山田ほか（2001）では，生徒たちが観測に取り組んだ2001年1月から3月にかけて，岐阜大学教育学部屋上の天体観測ドームで観測した金星の画像を岐阜大学教育学部理科教育講座（地学）のホームページ（<http://chigaku.ed.gifu-u.ac.jp/chigakuhp/>）で公開した．これらの画像は，生徒たちがその日にみえるであろう金星のイメージ作りに重要な役割を果たした．それまで金星を望遠鏡で見たことがない生徒の中には，ピンぼけの画像でもちゃんと見えたと判断する可能性があるからである．また，その日に実際に見た金星の姿をインターネットで確認することにも使われた．そこで，2002年7月から10月にかけても，岐阜大学教育学部の屋上の天体観測ドームで継続的な観察を試みたが，夏季は大気の揺らぎが大きいいため良好な画像はほとんど得られなかった．そこで，2001年に取得した画像を東方最大離角からの日数にもとづいて配列したものを作成し，2002年の暦に対応させた．

内合を通過した11月以降は大気も安定してきたため取得した金星画像をホームページで公開し，

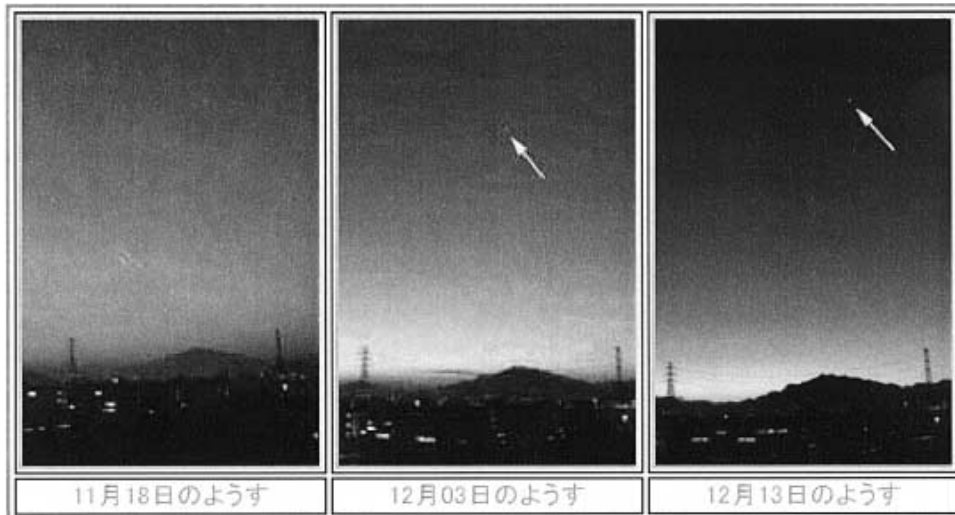


図3．11月から12月にかけて日の出30分前における金星の高度の変化．

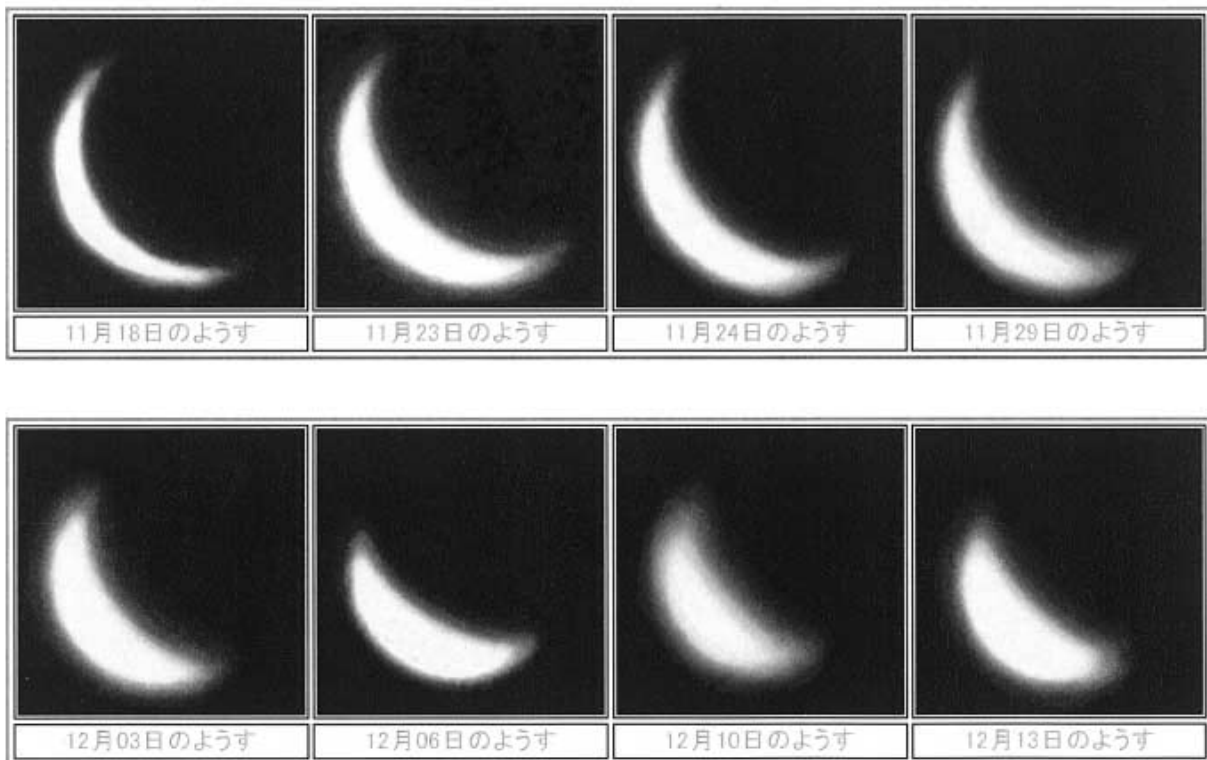


図4．インターネットで公開した金星の天体望遠鏡画像．

生徒たちが朝6時ごろ金星を観察するよう促した。図3，図4に新たに公開した金星画像を示す。

### 3．授業の実践

金星の動きと形の変化に関する授業は10月中旬から下旬にかけて行った。金星に関する授業は1時間としその目標は、これまでの観察を確認し、モデルによる検証を行うことである。まず、交流

会を開き生徒たちに観察結果を報告してもらった。生徒の中には初めてみた月や金星の姿に感動し、母親を呼んで来ていっしょに望遠鏡をのぞいたり、その感動をメールで友達に送るなどしたことが発表された。続いて3ヶ月にわたる観察記録が提示され、(1)金星の高度が徐々に下がっていったこと、(2)金星の大きさが徐々に大きくなっていったこと、(3)大きくなるにつれて、形が三日月のように欠けていったことが確認され

課題：金星の見かけの様子の違いは、太陽や地球の位置関係で説明できるか。

観測した結果：日の入り時の「金星」の位置と満ち欠けの様子（浅野さんの結果から）

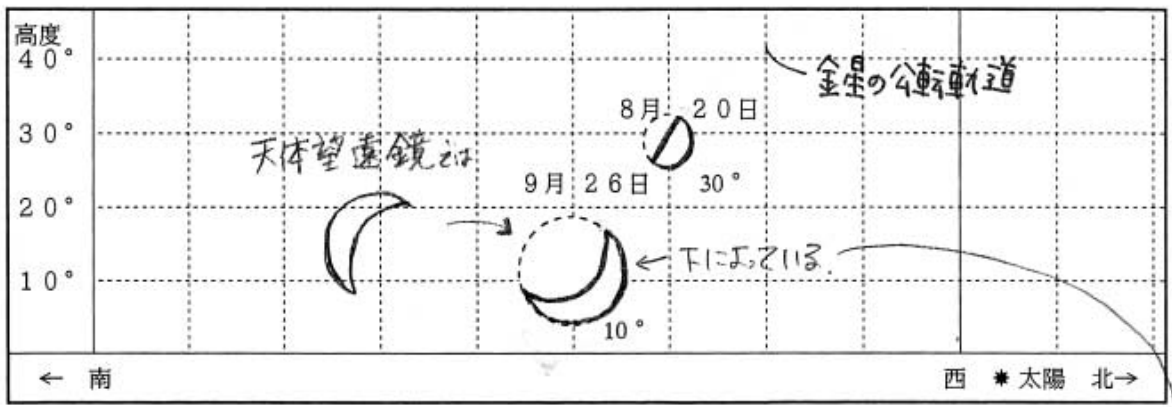


図5．生徒のスケッチの例．



図6．授業で用いたモデルで形の変化を確認する生徒たち．

た．図5に生徒が作成したスケッチの例を示す．

続いて、金星の動きと形の変化を確認するモデル20個を提示し、二人一組になって金星の観察の模擬体験を行った（図6）．一人が太陽のまわりをまわる金星を模擬した板をもち、もう一人が望遠鏡を模擬した筒から金星をのぞいた．その結果、全員の生徒がこのモデルで金星が地球に近づいてくるにつれて形が大きくなり、欠け方も半月状から三日月状へと移り変わっていくことを確かめる

ことができた．

さらに、金星の高度変化を説明するにはどうすればよいか．この問いかけに対し、生徒たちは板を傾げることで金星が地球に近づくにつれて、高度が低下することを確認めた（図7）．ここで、金星が太陽を一周する動きを筒でのぞいて確かめている生徒たちの中に、金星の高度がある限度より大きくなれないことに気づくものが現れた．すなわち、宵の明星は、東方最大離角である47度以上



図7．モデルで金星の高度変化の説明を試みる生徒の姿．

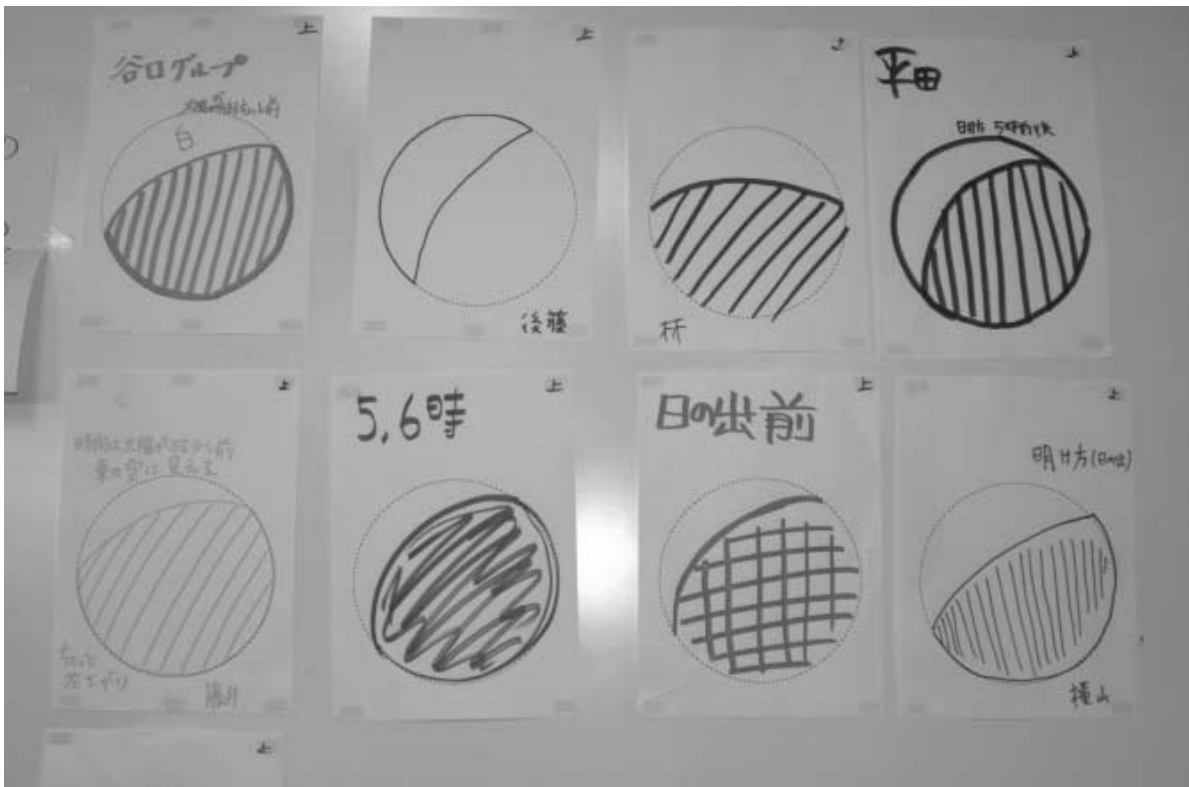


図8．生徒たちが予想した明けの明星の形．

には太陽から遠ざからないという事実に対し、生徒たちがモデルを操作する中で見いだしたものとして注目したい。

最後のまとめの段階で、教師がさらに金星が公転を続け、太陽、金星、地球が一直線になる（内合）ことを示唆し、内合通過したあとの金星は明

けの明星として東の空に出現することが語られた。この示唆を受けて明けの明星がどのように見えるかをモデルをもとに検討させた。検討結果は各グループごとに相談し、それを紙に描いて黒板に掲示させた。図8に示すように全員の生徒が上に膨らんだ三日月型の金星を思い浮かべた。こうした予想は、内合を通過したあと、太陽と地球を結ぶ線より金星が下にくると考え、モデルを用いてそのときの金星の形を推察したものである。

最後に教師は、生徒たちの予想を数週間後に実際に望遠鏡をのぞいて確認するよう促し授業を終了した。

#### 4. 考察

##### (1) 金星の内合前後の観察の意義

今回行った指導は、山田ほか(2001)が行った試みをさらに発展させたものである。大きな違いは、山田ほか(2001)は1月から3月という学年

末に観測の好機を迎えたということで、授業を弾力的に変更しつつ、よりよい指導法や教具を求めて試行錯誤しながら実践したものである。今回は、その結果を受けて指導に取り組んだため、準備が十分にできたことでより到達度の高い授業を展開できた。まず、観測が夏休みにかかることを踏まえ、天体望遠鏡組み立てキット（スピカ）を1学年4クラス約160名分用意したことである。その結果、一つの学校の3年生全員が自分で作った望遠鏡をのぞき、金星の動きを学習することができた。全員が観察することで、メールや電子会議室を通じて友達どうし交流した結果、多くの生徒が観察に意欲的に取り組んだといえよう。

続いて、金星の公転運動を考察する簡単なモデルを作成し、1クラス40名が2人一組で自分たちの観察を説明しようとしたことが挙げられる。生徒たちは、それぞれ自分の経験から観察記録を作っており、自分の見た金星を説明するために、一人ずつ思い思いにモデルを使えるような学習環

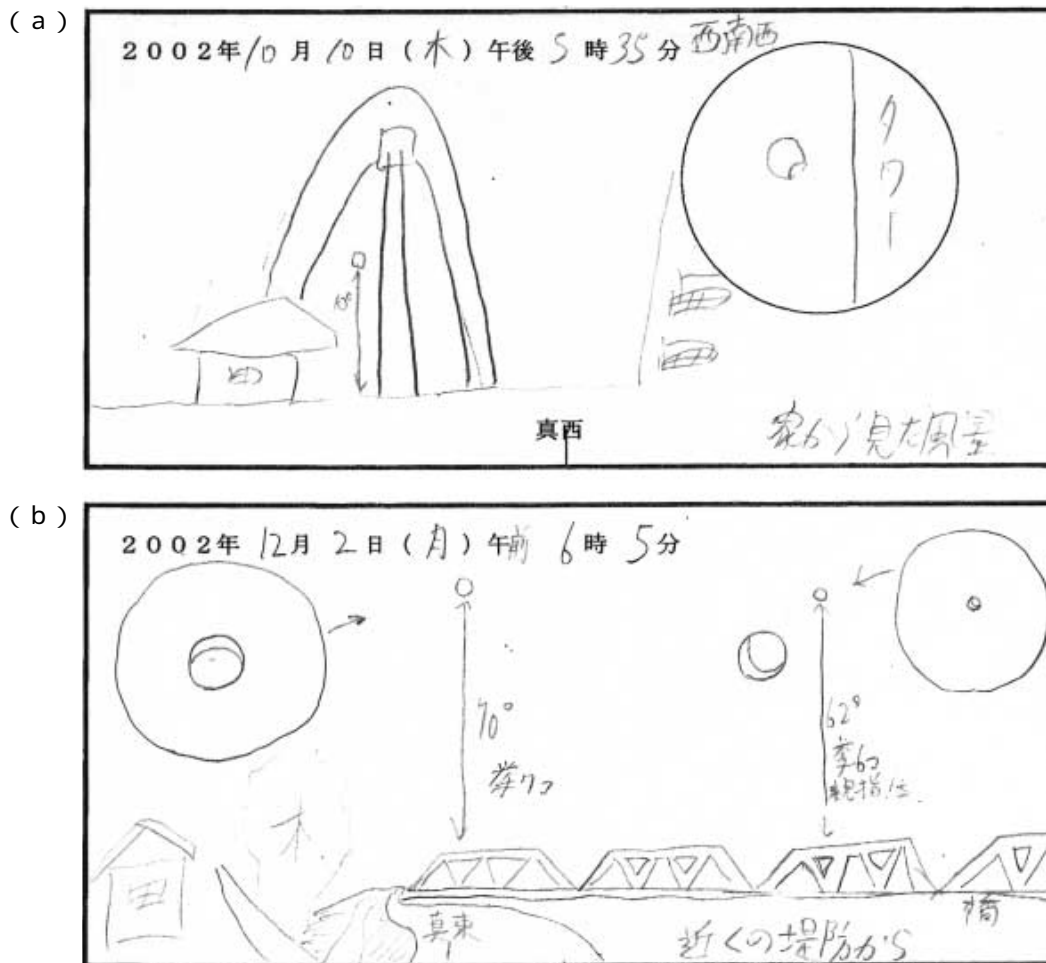


図9. ある男子生徒が描いた観察結果。(a) 宵の明星, (b) 明けの明星。

境を提供した。その結果、先に述べたように金星が東方最大離角以上には太陽から離れないことを気づくような探求に取り組む生徒の姿を誘発することができたものと考えられる。

さらに、自分たちの観察記録を説明するモデルを用いて、今後どうなるかを予想するという課題に意欲的に取り組む姿勢が見られたことも大きな成果であった。とりわけ、予想した結果が全員一致し、しかも実際とは逆に見えるとしたことは指導する側の予想を超えたものであった。生徒たちは11月以降にも観察を続け、東の空に現れた金星を望遠鏡で観察した(図9)。その結果、自分たちが予想した金星とは異なる姿の金星に接し、モデルの扱い方が不十分であったことに気づくことができた。すなわち、金星が公転しているという現象と地球が自転しているという現象を組み合わせることで初めて、自分たちの観察を完全に理解できるようになったわけであり、生徒たちの学びが一層深まったといえるだろう。

## (2) 理科教育における天文教育の位置づけ

新学習指導要領の下で、小学4年の月の観察で満ち欠けするという現象が軽視され、満ち欠けのしくみは扱わないことになった(文部省,1998b)。にも関わらず中学3年の地球と宇宙の単元では金星の満ち欠けとそのしくみを学習することになっている。これは従来の学習指導要領の中身と比較すると、学習内容の大きな後退というべきであろう。天体の運動を理解することは、地上の座標系から太陽系を北極星の方向から眺めるような座標系へと視点の移動が必要である(土田・小林,1986)。実際に星空を眺めて継続的な観察を行ったことがない児童・生徒にとっては、視点の移動が困難なため、従来から難解な単元であるとみなされた。こうした状況を踏まえて新学習指導要領の内容が削減されたとしたらたいへん残念なことである。本授業における実践からわかることは、適切な教具を与えて生徒たちの意欲や関心を高めれば、自ら得た観察を説明するために視点を移動して考えるような取り組みにも充分ついてこれるような生徒の姿である。逆に、こうした困難な課題を理解できたという喜びが他の単元における学びの姿勢にも波及していくのではなからうか。そう

いう意味において、今後月の満ち欠けや金星の満ち欠けについては、観察とモデルを使った指導を行っていきたいと考えている。

## (3) 季節変化と金星の動き

2002年における金星の見かけの動き(図1)を詳しくみると、6月から9月にかけて徐々に高度を下げながら南へ向かい、9月中旬から西に戻りつつ高度が急激に下がっていくことがわかる。6月から9月にかけての南への動きは、太陽高度の季節変化にともなうものである。夏至から冬至へ向かって日没の場所が南へ移動するが、金星も同じ動き方をするために地上座標系からみると金星も南へ移動していくように見える。9月以降は金星の見かけの動きが加速するため、太陽の季節変化に伴う動きよりも金星の公転による動きの方が顕著になり、西へともどりつつ高度が下がるわけである。生徒に精度の高い観測を行うよう促せば、生徒たちの中にもこのような動きに気づくものが現れたかもしれないが、一度にたくさんの現象を観察させるとかえって混乱する可能性もある。まとめの授業が終わった段階で、教師が図1を見せながら太陽の動きを踏まえて金星の動きを振り返るような指導を行えば、金星の見かけの動きが金星の公転運動だけではなく、地球の自転や公転運動も関係していることが理解できるのではなからうか。

## 5. おわりに

本研究では、岐阜大学附属中学校の3年生4クラス約160名に天体望遠鏡組み立てキット(スピカ)を与えて、金星の満ち欠けのしくみに関する指導を行った。宇宙は神秘的な存在であり、生徒たちにとって憧れのような存在でもあるので、適切な動機づけができれば学習効果は非常に高いと期待される。実際に、今回の指導では天体望遠鏡製作キット(スピカ)によって、金星を観察することの動機づけができた。また、インターネットを活用することで自分が見ようとする金星のイメージづくりができた。さらに、インターネットを使って、観察した感動を友達と共有することも大きな効果があった。そして実際にまとめの授業



では、予想を立てて確認するといった、仮説の提示とその検証へと向かう生徒たちの姿に出会うことができた。できるだけ多くの中学校の先生がこうした指導ができるよう今後も多くの小中学校との連携を深めていきたいと考えている。

謝辞．本研究には，文部科学省科学研究費補助金，特定領域研究008新世紀型理数科系教育の展開研究における採択課題「天文・地質分野におけるデジタル教材開発と初等中等教育現場での教育実践研究」（研究代表者川上紳一，課題番号14022224）の一部を使用した．岐阜大学教育学部の渡村悠美子さんと澤村秀彦さんには，スピカ用木製三脚の製作に協力して頂いた．ここに記して感謝いたします．

## 文献

教育出版株式会社編集局（2002）中学理科2分野下教師用指導書，教育出版．

文部省（1998 a）中学校学習指導要領（平成10年12月）：解説 理科編，大日本図書．

文部省（1998 b）小学校学習指導要領解説理科編，東洋館出版社．

土田理・小林学（1986）児童・生徒の天文分野における視点移動能力の発達過程と関係する基礎的研究，地学教育，39，167-176．

山田茂樹・川上紳一・上田康信・江川直（2001）金星の観察を取り入れた惑星の運動に関する中学校理科授業の実践 インターネットの活用による大学天体望遠鏡施設の CCD 画像との対照観察．岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），26，No.1，61-71．