

研究論文

8年間に5パターンで順番に変化する金星の見え方 —教科書における金星の見え方の取り扱い—

山崎 寛己** · 角縁 進* · 高島 千鶴* · 大隅 秀晃*

Five Sequential Variations of the Direction to the Venus in 8 Years :
How to Describe in School Textbooks When and Where We Find the Venus

Hiroki YAMASAKI**, Susumu KAKUBUCHI*, Chizuru TAKASHIMA*,
and Hideaki OHSUMI*

【要約】

金星はほぼ8年間に5パターンの見え方の変化を順番に繰り返すという周期性がある。この変化の全貌をわかりやすく具体的に図示することができた。この変化は複雑に見えるが、太陽をいつも基準位置にとると公転の単純な動きを反映したものに帰着することがわかった。その上で、代表的な中学校理科の教科書における金星の見え方の記述を点検した。金星の見え方の指導において、上記内容を理解しておくことは大変有効であるということがわかった。

【キーワード】

金星の見え方, 中学校理科教科書

1. はじめに

夕方の空に見える「宵の明星」や明け方の空に見える「明けの明星」と呼ばれるのは金星のことである。その金星は、水星とともに地球軌道の内側にある惑星のため太陽と地球の位置関係から、太陽が沈んだ直後の西の空に明るく輝いて見えることを中学校の理科教員は理解していると思われる。しかし、正確な金星が見える時期や見える方向は天文雑誌の記事や天体シミュレーションソフトに頼らないかぎりわからないのが現状であろう。これは、日の出や日の入り時刻とその方向についての理解状況と比べて（太陽という天体の身近さを考えれば当然のことであると考えられるが）対照的である。実際に中学校理科の教科書を調べても、金星の見える時期や位置について何か規則性があるという記述は全く見当たらない。逆に規則性のない複雑な動きが金星の特徴であるという記述が多く見受けられる。

本研究の主要テーマである金星の見え方の変化に興味を持った直接のきっかけは、中学校3年生の教科書(大日本図書, 平成23年検定済; 参考文献1) の記述である。その図には、東京における日の入り時刻の2011年9月から2015年の8月までの3期間にわたる金星の方位と高度の変化が示されていた(後述する図5)。中学校の理科教員志望の学生と一緒にその図をながめた際、その3期間の金星の位置変化の不思議なパターンにひきつけられたのが研究の始まりである。その学生は当時の教科書にはまだ記述されていない2016年の金星の位置が特に気になったようである。2016年の以降の金星の位置とともに、何か金星の見え方について規則性があるとしたらどのようなものであるかを深く考える一つのきっかけとなった。

*佐賀大学教育学部

**唐津市立第一中学校

最終的に本研究では、金星の見え方が8年間にわたる周期性を持ち、さらに5つのパターンで順番に変化していくことを理解し、その変化を具体的に図示することができた。このことについて2章で詳しく述べることにする。また本研究の著者の一人は現職の中学校の理科教員であり、金星の見え方の部分について、本研究で得られた理解をもとに、代表的な中学校の理科教科書の内容を点検した。金星の見え方に関する取り上げ方に教科書それぞれの特徴はあるが、2章で述べる内容の8年周期をもつ5つのパターン変化を繰り返す規則性を前面に出したものは全くなかった。しかし教員がその規則性の背景を理解しておくことは大変有効であるということがわかった。3章では、そのことについて詳しく述べる。

2. 周期8年で5つのパターンが順番に変化する金星の見え方

金星が見える位置に規則性があるとすれば、どのような規則性があるのかを考えてみる。そのために、金星と地球が太陽を一周する時間(軌道周期)を考えてみた。金星の軌道周期はほぼ224.7日であり、地球は365.25日である。この2つの周期の最小公倍数を考えてみると、金星が13周するのはほぼ2921.1日、地球が8周するのはほぼ2922日となり、その差はわずかに約1日であり、ほぼ等しいと考えてよい。

さらに考えを進めると、地球が太陽の周りを8周する(8年経つ)と、その間に金星は13周してほぼ同じ位置関係にくることになる。このことは、8年経つと地球から見える金星の動きは8年前のものとはほぼ同じになることを意味している。またその8年の間に金星は地球を5(=13-8)回追い越している。8年間に5回地球を追い越すという事実も金星の見える位置の変化の規則性に重要な意味を持つ。

一方会合周期については地学などの一般的な教科書でも取り上げられているのでよく知られている。地球と金星の会合周期、つまり太陽、金星、地球が一直線に並ぶ周期のことで、それは583.92日である。この周期は約1.6年で、その周期で太陽、金星、地球の位置関係が変化するはずなので、その半分の期間の約0.8年ごとに明けの明星、宵の明星と認識される位置の変化をくり返すはずである。この会合周期の5倍の期間(2919.6日)は上記の8年とほぼ一致する。この会合周期を考えれば、金星の見え方の変化を単純にとらえることが可能である。図1に示すように、日の入り時刻の太陽の位置をいつも原点にして地球から見れば、会合周期で金星はその太陽を周回するような位置変化を繰り返すだけである。地球の軌道平面と金星の軌道平面がほぼ重なっているので実際は図1の下図はほぼ直線上の位置変化となる。

日の入り時刻の太陽がいつも同じ位置に固定されていれば、図1に示されているように、金星の位置は会合周期に同期した単純変化となるはずである。しかし基準となる日の入り時刻の太陽は季節の変化にともなって西の空の地平線上で大きな水平移動を繰り返す。それに伴う形で、金星の位置は西の空を大きく移動することになる。したがって金星の位置変化は複雑な動きをするという印象を与えることになる。また会合周期の1.6年という周期は単純に1年の倍数ではないので、基準となる太陽の位置の季節変化につられる形で水平移動をし、1会合周期後の金星の位置変化は、その前とは同じパターンにはならない。その影響は1会合周期を経るごとに、1.6年、3.2年、4.8年、6.4年、8.0年という形で蓄積し変化する。その少数点以下の数字の変化がそれぞれ違った数字になっていることから金星の見え方は会合周期ごとには同じにならないことがわかる。この影響のせいで、最初の5会合期間の間は金星の見え方についての規則性はまるでなく複雑な動きだと感じられるのである。5会合周期の8.0年が経過してはじめて季節のずれの影響は全くなり8年前と同様の動きにもどる。ただ、この8年という期間は長いのでその周期性を実はあまり認識されていなかったというわけである。

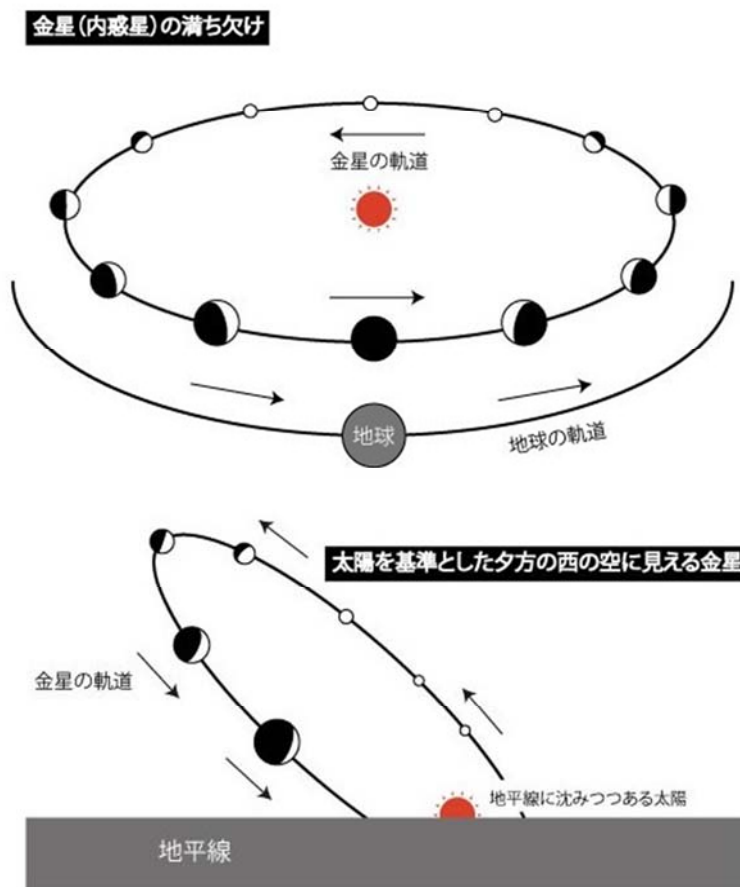


図1 金星の軌道と地球の軌道（上図）日の入り時刻の太陽を基準にした金星の位置変化（下図）

実際に日の入り時刻に金星を観察する場合、5会合周期のそれぞれに相当する期間の金星の見え方の変化を図示した参考文献1の図（後述する図5）のようなものが手元があれば、いつ頃どの方向をながめればよいかのよい参考になる。ほぼ8年周期での5つのパターンでの繰り返しがもとにもどるので、その図は、何十年という長期間経過後にこの8年周期の小さなずれ（約1日程度）の蓄積が大きくなって目立つようになるまでは、繰り返し使える。具体的にこの図をつくるためのひとつの方法は理科年表（参考文献3）などに掲載されている過去の金星の視赤経、視赤緯のデータから座標回転の計算を行うことである（参考文献2）。図2はこのやり方で計算した2011年から2018年にかけての8年間にわたる5会合周期に相当する期間の日の入り時刻（観測値は東京）の金星の見え方を表示したものである。

比較のため同条件の次の8年間（2019年から2026年にかけての5会合期間）の金星の見え方についても図示している（図3）。この図の作成に使用した金星の方位や高度は、最近普及してきている天体シミュレーションソフトを利用することにした。場所と日時の入力で簡単に求めることができるので大変便利である。使用したのはアストロアーツ社のステラナビゲータ10（参考文献4）である。

金星の方位や高度を図に表示するには、そのまま直交座標で表示する方法（メルカトル図法）もあるが、この図法では高度が高くなるほど方位方向が実際よりも引き延ばされるので違和感が生じる。教科書などでは、実際に空をみあげた状況と比べて違和感の少ないステレオ投影法が使用されているようである。これに準じて図2や図3も適切な座標変換を行いステレオ投影法での表示を行っている。

- 2011年9月～2012年6月 → 2013年5月～2014年1月 → 2014年11月～2015年8月
 - 2016年7月～2017年3月 → 2018年2月～2018年10月
- 太丸は各月の1日、点は11日と21日の金星の位置を示す

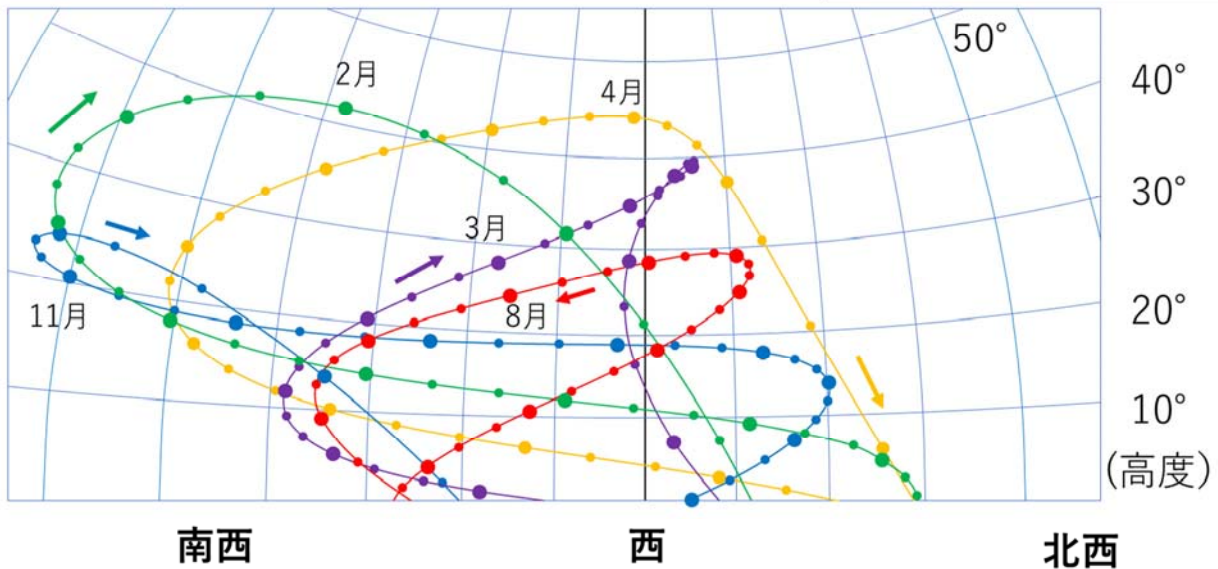


図2 日の入り時刻の金星の位置変化（2011年から2018年にかけての8年間）

- 2019年9月～2020年6月 → 2021年4月～2022年1月 → 2022年11月～2023年8月
 - 2024年7月～2025年3月 → 2026年2月～2026年10月
- 太丸は各月の1日、点は11日と21日の金星の位置を示す

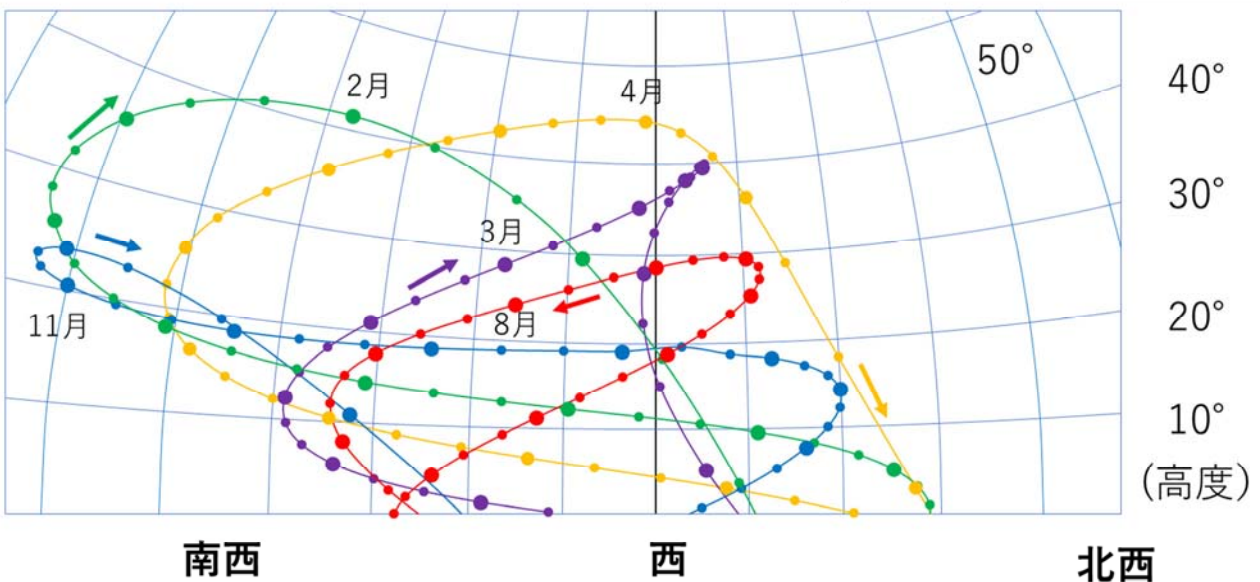


図3 日の入り時刻の金星の位置変化（2019年から2026年にかけての8年間）

図2と図3に違いはほとんどみられないことから、過去の8年間の理科年表に掲載されているデータを用いて計算された金星の見え方と天体シミュレーションソフトを用いて調べたその次の8年間の金星の見え方に関して8年周期で5会合期間にそれぞれ対応する5つの金星の見え方の変化のパターンを順番にたどることが実際に確かめられたと言える（ここで表示した組み合わせ以外にも理科年表データと天体シミュレーションソフトを用いて調べたさまざまな組み合わせでもその結果が一致していることも実際

に確かめている)。したがって、図3を手元にもってれば、今後8年間だけではなく、さらにその先の8年ごとの金星の見え方にも参考となる便利な図であるということをここで特に強調しておきたい。

日の入り時刻は毎日刻々と変化するので不便だと考え、毎日定時（東京午後6時）の金星の位置を同様に図示した（図4）。この図は毎日定時を基準としているため、実際の観察などに使用する場合は使いやすいように見えるが、夏の期間はまだ空が明るくて金星がでていてもまだみえにくいことや、東京とは経度の違う場所では、経度に対応する天体の日周運動が及ぼす時差（経度10度の違いに対応して40分）を考慮して使用する必要があることなど実際に使用してはじめてその使いにくい点に気が付く。これに対して日の入り時刻の図（図3）は、西の空で明るく輝きはじめる時間の金星の位置がすぐにわかるという意味であらかじめ日の入り時刻を調べてさえおけばこの図のほうが使いやすいと考えることもできる。

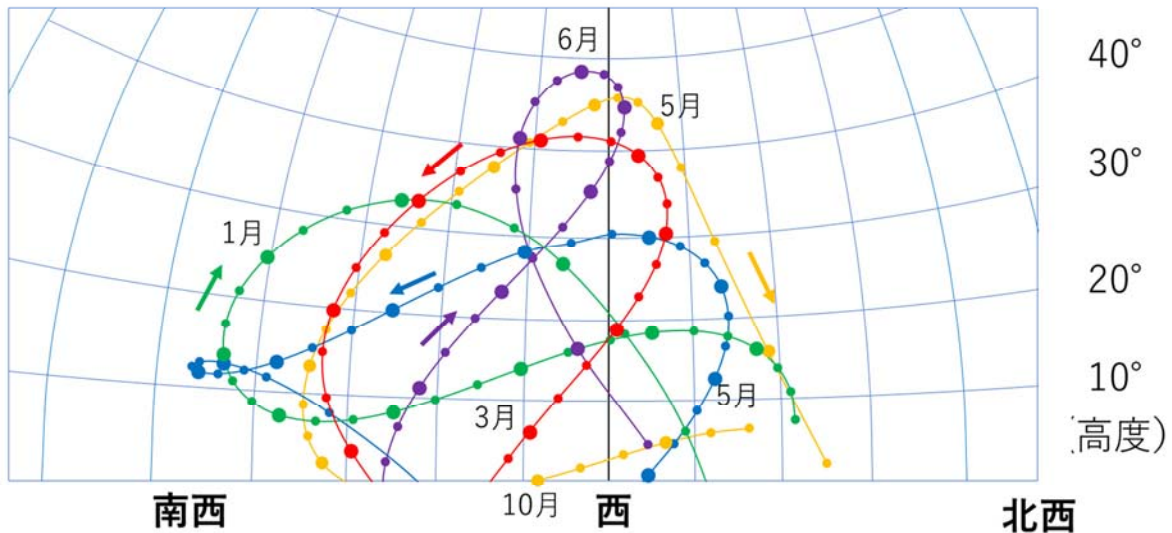
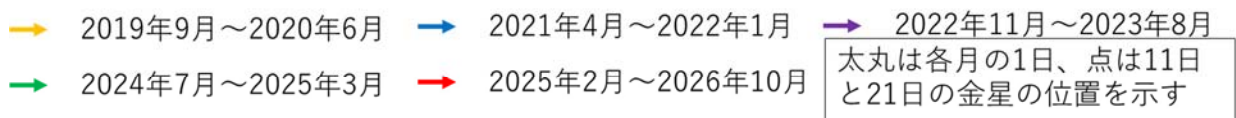


図4 図3と同様の期間に対応する東京18時の金星位置（2019年から2026年にかけての8年間）
 （期間によっては、金星位置は地平線下で表示されていないことに注意すること。）

太陽を基準にとると、金星の位置は会合周期の1.6年周期でほぼ規則的に変化するはずである。その点に着目して考えると、図3は、日の入り時刻なので太陽は水平線上にいつも固定された位置にあり、季節変化に対応して太陽位置は水平線上を横方向に動くので、金星の位置もその動きにしたがって横方向へずれるという動きを反映している。それに対して、毎日定時の図4では、基準となる太陽の位置は、図3と同様の水平方向の動きに加えてさらに高度方向（正確には天体の日周運動の方向）の動きが加わる（参考文献5）。その影響で、さらに金星にもこの高度方向の動きが加わり、その位置変化はさらに複雑さを増す。したがって金星の位置の変化は複雑で規則性がまるでないのかもしれないという認識をもっと強めているのかもしれない。

ここで図3の日の入り時刻の図のもうひとつの利点を述べておく。実は太陽や金星が同じ方向に見える時刻はその土地の経度の違いで変化するが、太陽の位置を基準にすることで太陽や金星の方向の相対的な位置関係（赤経・赤緯の違い）のみを表示することができる。したがって、日の入り時刻の金星の

位置を示す図3は、そもそも東京での観察用に計算されたものであるが、経度の違う佐賀でも緯度の違いによるわずかなずれの効果を無視すれば、問題なくそのまま使用が可能になる。

実際に、金星の観察に図3や図4を利用する場合には、日の入り時刻ではまだ空が明るいので、日の入り後30分以上経過後が適している。その場合、経過時間に応じて、たとえば40分経過ごとに高度を下げる方向（正確には日周運動方向）に約10度移動すればよいと考えておけば、日の入り時刻以外の時間でも利用が可能である。

3. 現行教科書の記述について

(1) 大日本図書の教科書（平成23年検定済版）

佐賀県の公立学校では大日本図書の教科書が採択されているので、大日本図書の教科書の取り扱いから見ていく。平成23年検定済版（参考文献1）では、2011年9月から2015年の8月までの日没後の金星の位置の図が載せられている。その図を詳しく見てみると、2011年9月～2012年6月、2013年5月～2014年1月、2014年11月～2015年8月の3期間の日没直後の金星の位置の変化が描かれている（図5）。3期間分のデータが書いてあることでより金星の位置の動きの詳細が分かるようになっている。また日の入り時刻の金星の位置を示すことで、実際に観察する場合の際に金星を見つけるよい手掛かりになる。

図5の内容は本研究で作成した図2に示された3期間分と完全に一致している。ただ図2のような完全な5期間の動きを示すのではなく、次の教科書改定までの時期を考慮した3期間の動きのみにしぼられた図なので、図2のように線が複雑に込み合うこともなく見やすくなっている。中学校の教科書として用いるにはふさわしい図になっているのかもしれない。

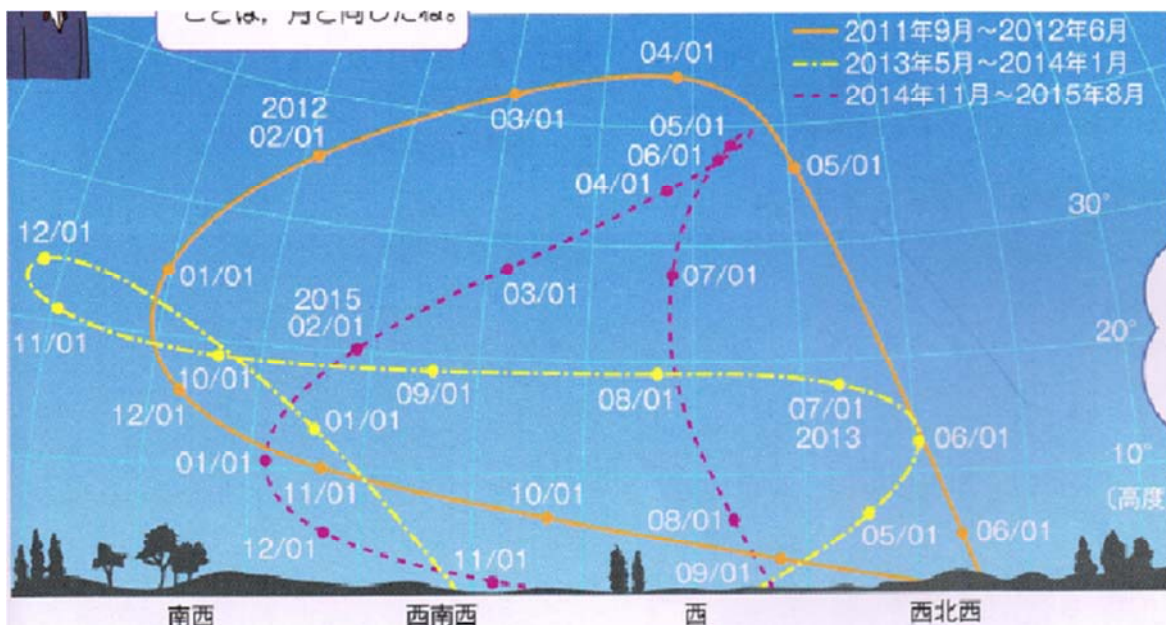


図5 大日本図書（平成23年検定済版）に記載されている日の入り時刻の金星の位置変化

(2) 大日本図書の教科書（平成27年検定済版）

平成27年に改訂された大日本図書の現行の教科書（参考文献6）では、2016年6月15日～2017年3月15日の午後5時の金星の位置が示してある（図6）。一つ前の教科書と比べ検定年の直近の宵の明星として

観測可能な1期間分しか書かれていない。次の改訂までの期間を考えると、この図はすぐに使用できなくなる。したがって実際の観測の参考にするためと考えるのことはではないと思われる。時刻も午後5時の金星の位置なので、観測するには夏場ではまだ明るく実際の金星の位置を確認するには必ずしも適さないようにも思われる。観測地の表記がどこにもないが、東京であることは2章で示した図4（東京午後6時の図）からすぐに類推できる。佐賀など経度が東京と少し違う地方でもこの教科書が使われるということを考えると、図中にある午後5時という観測時刻の単なる表記ではなく東京午後5時というように観測地の表示を追加することは必要であろう。

2章で述べた観点から考えると、平成26年版の図5のパターンを次の3期間の変化を表す図への改訂を期待していたのであるが、実際はそうではなかった。その意図はよくはわからないが、この内容になったことは、図5は教科書に使用するにはひょっとしたら複雑すぎるという印象をあたえてしまうという判断や、日の入り時刻という毎日刻々と変化する時刻を観測の基準にすることの妥当性の判断があつてのことかもしれない。夜空を感うように動くので惑星と名付けられたというコラムのタイトルから考えると十分その役割を果たしている図であることは確かである。教科書本文では、毎日同じ時刻での観測を自分で行うことと天体シミュレーションソフトの活用で金星の位置を自分で把握することが強調されていたことをここに付記しておく。

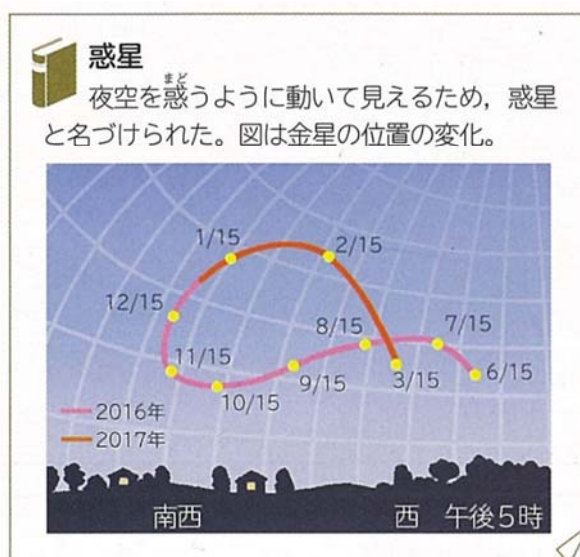


図6 大日本図書の教科書（平成27年検定版）に記載されている金星の位置の変化図

（3）啓林館の教科書

啓林館の教科書（参考文献7）では大日本図書の平成23年度検定済版と同じような記述となっている（図7）。日没30分後の金星の位置となっていることから、観測するにも一番いい時間帯である。また、2019年（平成31年）9月～2020年5月のデータも載せてあることから、これから先も使える図であることがわかる。また、啓林館の図に記載された2019年9月～2020年5月の期間の金星の動きが、大日本図書に記載されている8年前の期間の2011年9月～2012年5月と同様の動きになっていることは、2章で述べた8年周期に関する内容を裏付けるものである。

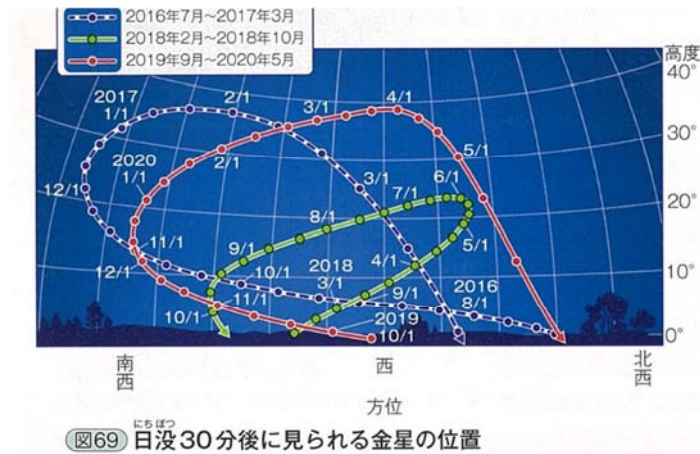


図7 啓林館の教科書に記載された金星の見え方

(4) 学校図書出版の教科書

学校図書の教科書(参考文献8)では2016年10月23日~2017年3月22日の18時における金星の位置と見え方を示してある(図8)。この図は2章で示した図4の2024年から2025年にかけての同期間の動きと同じものであり、当然8年前の2016年から2017年の同期間もほとんど同じ動きである。(図4と比べて、同年の7月から10月に対応する部分は省略されているので、一見した感じでは、金星の位置変化の印象が違うという感じを受けるということには少し注意が必要である。)

惑星の見える位置の変化と見かけの大きさ、満ち欠けを説明するにはわかりやすい図になっている。図の横には人のこぶしの大きさで高度約10度を表現してあり、観察に配慮しているだろう。しかし、1期間だけの図なので、該当期間以外の期間に使用する場合、金星を実際に観察する為には適した図とは言えず、授業で金星の位置の変化の一例を示すためにのみに有効な図と言えそうだ。

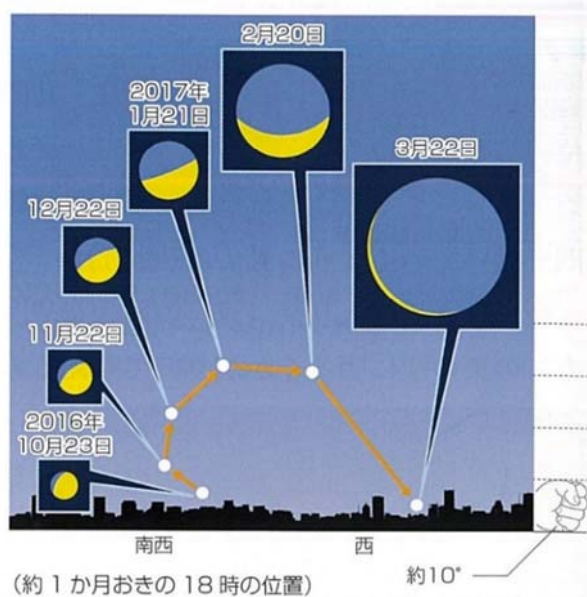


図8 学校図書の教科書に記載された金星の見え方

(5) 東京書籍の教科書

東京書籍の教科書(参考文献9)では11/10と12/8、12/23の金星の位置と望遠鏡で見た時の観察ノートの参考例が書かれてある(図9)。実際に自分で観察する手助けになりそうだが、西暦何年の11/10や12/8、12/23が分かっておらず、観測した時間もばらばらで授業で参考にしにくいという印象を与える。実は、2章の図2や図3を用いて推測すれば、2013年やその8年後の2021年のそれぞれ対応する日の日没後の2時間程度経過後の時刻に観察した場合にこの結果が得られることが予想される。実際に天体シミュレーションソフトで再現した結果でも同じであることを確認した。ここでは自分で観察することを強調するための3点だけのデータ表記だけなので金星の動きの詳細を示すという役割は果たしていない。ここでは、金星のみかけの位置の変化というよりは、その背景にある星座との位置関係の変化や、満ち欠けを自分で観察するというところに重点が置かれているようである。金星と星座の位置関係の変化についての規則性は、また別の議論となるのでここではこれ以上述べない。

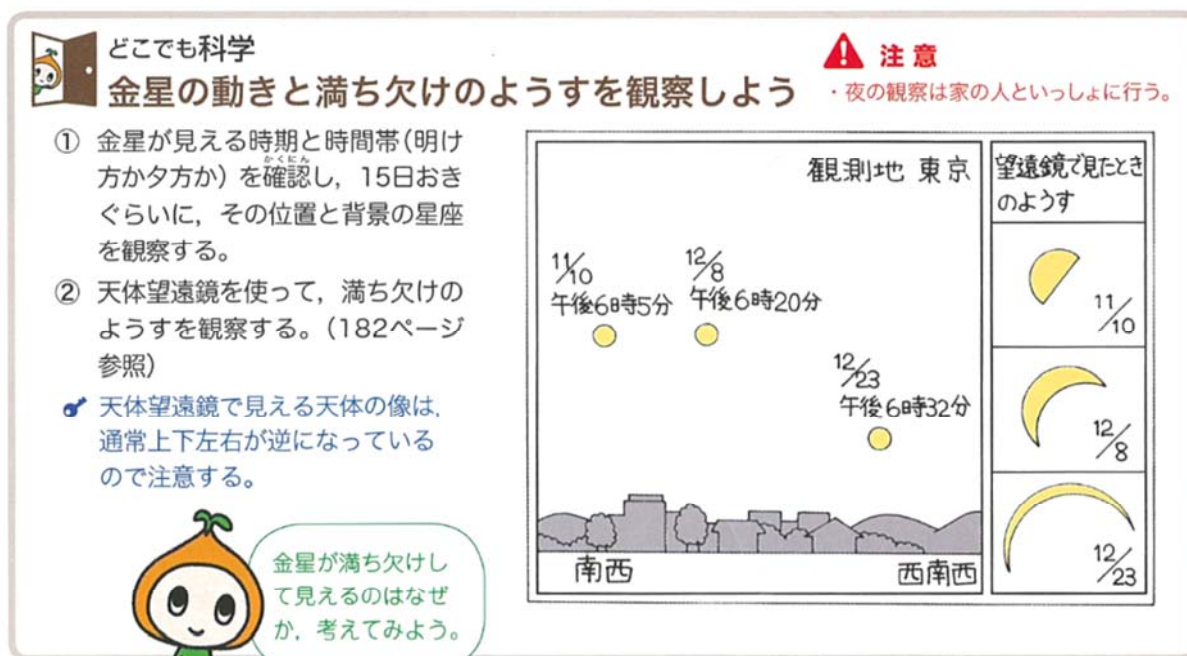


図9 東京書籍の教科書に記載されている金星の見え方に関連した図

(6) 教育出版の教科書

教育出版の教科書(参考文献10)では惑星の動きと見え方を示す部分で、天体シミュレーションソフトを利用して西の空の金星と火星の動きを示している(図10)。満ち欠けも含めて天体シミュレーションソフトを利用し拡大してそのまま表示しているが、望遠鏡を使用しなくては見えない金星のみかけを、このように表示することは、生徒が見かけの大きさを勘違いする可能性もあり、詳しい説明とともに示す必要があると思われる。また、シミュレーションを行った期間についての説明が全くなく、時間帯もわからないので授業でそのままの形で利用するには不向きだと思われる。

しかし2章で述べた図2、図3および図5を活用すると、この図の金星の位置の動きがどの期間のものかということが簡単に判明し、図5の定時に観察した2023年1月から2023年8月の期間の金星の動きに近いことがわかる。教科書の改訂時期から考えるとおそらくその8年前の2015年1月から同年の8月の期間の

ものだと推測される。図5と同じ東京午後6時のその期間の金星と火星の動きを天体シミュレーションソフトで得られた結果を右横に示す。教科書の図の軌跡がほんの少し右下にずれている（日周運動している）ことから、教科書の図は東京午後6時30分から7時ごろくらいのものだと推測することができる。またこの図から金星の満ち欠けの拡大率も推測できるので、望遠鏡等で金星の満ち欠けを観察する場合に見える金星のサイズの参考にもなると考えられる。このように2章の内容の理解ができていれば、教科書の図の説明が必ずしも十分でない場合でも、その背景の理解ができると、実際に授業期間に対応する金星の同様の動きを再現し、授業で実際に使用することが可能となるのである。

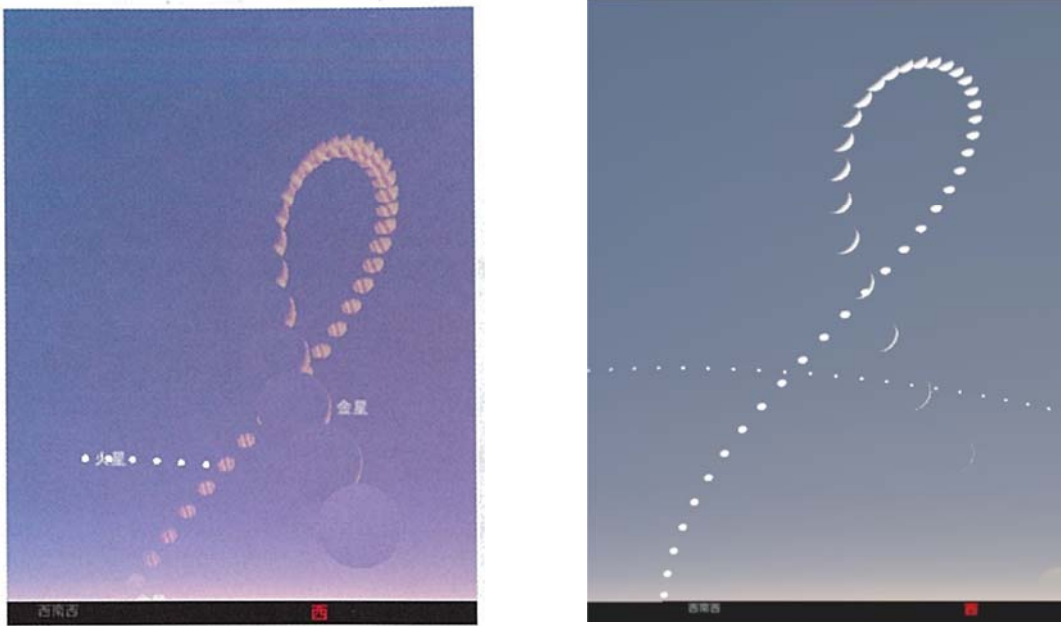


図10（左図）教育出版の教科書に記載された天体シミュレーションソフトの活用による金星の動き（右図）図5との比較で推測した期間の同様の内容を再現した図（東京午後6時）

4. 考察とまとめ

現行の教科書では、金星は惑星なのでその名前のごとく惑う星の典型的な星のひとつという形でとりあげようとしているものが多く、地球上からみた金星の見え方は複雑に変化するという記述内容に終始している。また実際に観察する際に参考になる図を載せているものと、授業での説明に特化した図を載せているものに分類できる。金星の公転や地球からみた金星のみちかけについては多くの記述がなされているのがどの教科書にも共通した特徴である。したがって、それに対応した規則的な動きがあることにも着目できるような内容（たとえば図1などにわかりやすい説明を加えたもの）があれば教育的にもさらに効果が高くなると思う。

金星の複雑な動きは、本研究の2章で述べたように、地球からみた、ひとつの会合周期にわたる太陽を基準にした金星の動きについての周期性が地球の地軸の傾きによる効果でそのままの形で見えにくくなっているのが原因である。たまたま地球の8公転周期と金星の13公転周期がほぼ同じ（5会合周期も同じ）なので、8年経過するとそのずれが打ち消されてもとにもどることがわかった。それにしたがって8年間の間に5つの位置変化のパターンを経るという変化が繰り返されるのである。その内容は少し中学校の教科書にそのまま記述するには複雑すぎるということは予想できる。ただ金星の動きは意味もなく複雑に変化しているのではなく、上記のようなことが重なった結果、一見複雑に見えているということ

を、教員も背景理解として持っているとは有効であると思われる。2章で記述した内容を知っていれば、必ずしも天体シミュレーションソフトに頼らずとも、教科書に掲載された関連の図の役割についての背景をすぐに知ることができる。もし教科書に記載された図と実際に授業したり観察したりする時期が合わなければ、すぐに代替の時期での金星の観察に関する準備も可能となる。したがって、2章で述べた金星の位置の動きについて理科教員がその背景を理解しておくことは大変有効となる。

最後に図3は今後8年にわたる夕方の方に見える金星の観察（8年周期を考慮すれば、そのわずかなずれの蓄積が目立ってくるまで数十年間有効）の良い参考になることを強調しておく。それに加えて、ここではその詳細を取り上げなかった日の出時刻の金星（明けの明星）の位置についても、図3と同様な今後も使用可能な8年間にわたる金星の見え方の変化図（図11）を掲示しておく。

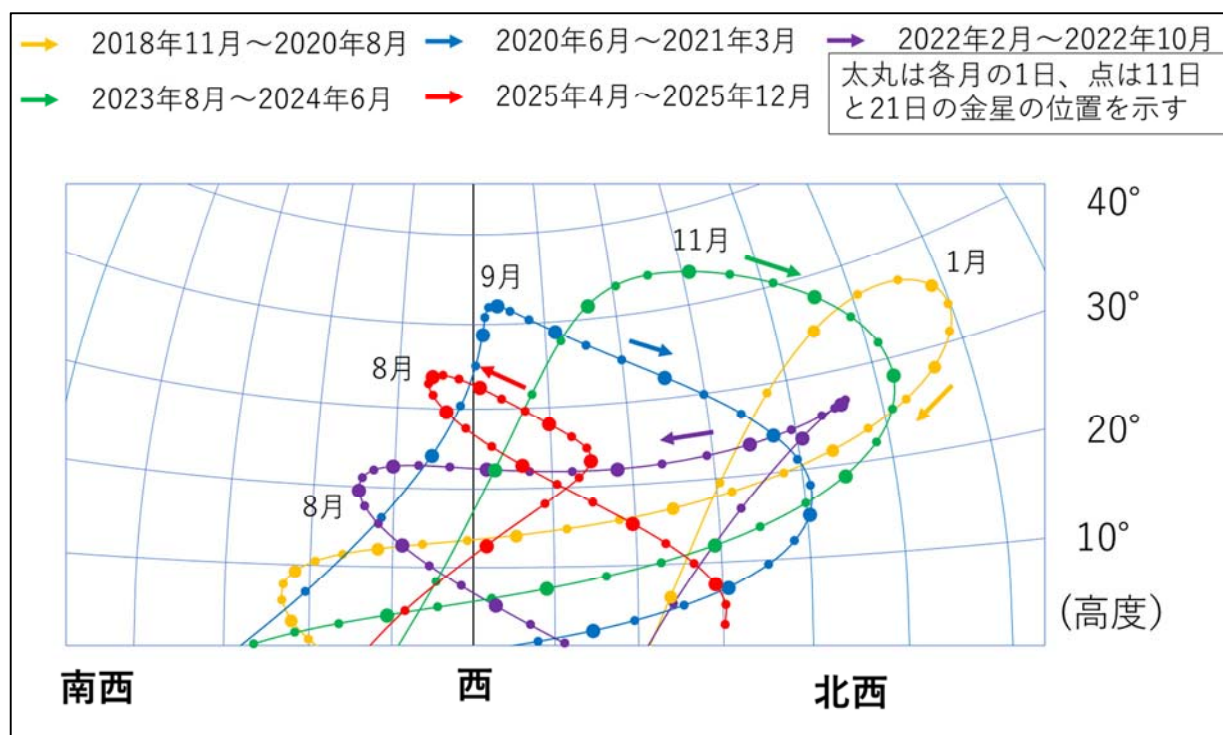


図11 日の出時刻の金星の位置変化（2018年から2025年にかけての8年間）

謝辞

本研究は佐賀大学文化教育学部の宗田悠希さん、佐藤雄大君の卒業研究がきっかけとなって始まったもので、当初の二人の本研究への貢献に感謝する。

参考文献

- 1) 理科の世界3年，有馬明人ほか57名，大日本図書，平成23年2月 検定済教科書
- 2) 宗田悠希，金星のみかけの動きの周期性について，佐賀大学卒業論文（2016年1月）
 佐藤雄大，金星の動きの8年間の長期安定性について，佐賀大学卒業論文（2017年1月）
- 3) 理科年表，国立天文台編，丸善出版
- 4) ステラナビゲータ10，天体シミュレーションソフト，アストローツ社
- 5) 大隅秀晃・角縁進・高島千鶴・中村聡，太陽の動きやその影からわかること，佐賀大学教育実践研究 30，pp 81-92. (2013).
- 6) 新版理科の世界3年，有馬明人ほか57名，大日本図書，平成27年3月 検定済教科書

- 7) 未来へひろがるサイエンス3, 塚田捷・大矢禎一・江口太郎・鈴木盛久ほか58名, 啓林館, 平成27年3月 検定済教科書
- 8) 中学校科学3, 霜田光一・森本信也ほか29名, 学校図書, 平成27年3月 検定済教科書
- 9) 新編新しい科学3, 岡村定矩・藤島昭ほか49名, 東京書籍, 平成27年3月 検定済教科書
- 10) 自然の探求 中学校理科 3, 細谷治夫・養老孟司・丸山茂徳, 教育出版, 平成27年3月 検定済教科書