

# 木星の衛星イオと光速速度 ～ジュニアセッションとSSH～



前原 英夫

〈金光学園中学・高等学校 〒719-0104 岡山県浅口市金光町占見新田1350〉

e-mail: maehara1@kcv.ne.jp

私たちは金光学園中学・高等学校の望遠鏡を用いて、2012年秋から2013年春にかけて木星の衛星イオの食を観測した。そして、その光度変化から食時刻を精度よく決め、レーマーの方法(1676)に従って光速速度を求めた。しかしながら、その値は想定を超えて大きくばらつき、観測やデータ処理の誤差では説明できなかった。そこで、光速速度を定数としてイオの公転周期を求めたところ、半年間で約8秒の変動が得られた。この結果は、イオの公転運動に対するほかのガリレオ衛星の摂動の影響を考慮した研究論文に基づく数値計算(E5暦)と一致した。結論として、イオの公転周期は摂動により変動していること、衛星の公転運動の精密な測光観測はその運動理論を検証できることが示唆された。

## 1. はじめに

日本天文学会春季年会の終盤、会場は三鷹市の国際キリスト教大学、広大な敷地の中心近くに位置するデュッフエンドルファー記念館は高校生たちの熱気であふれていた。2014年3月21, 22日の2日間ジュニアセッション(JS)が開催されていたのである。JSは16回目の開催となるが、回を重ねるごとに盛んになり、今回は2日間で口頭発表28件、ポスター発表82件が行われた。天文学会の個々のセッションを超える講演数、180ページに及ぶ予稿集、そして詰めかける若者で立ち見が出るほどの参加者がある(図1)。

私は岡山県浅口市にある金光学園中学・高等学校で非常勤講師として指導・補佐を行っている。今回は学校の探究授業で進めてきた天文ゼミの課題の発表をJSにて行うことになり、付き添いとして参加した。テーマは「木星の衛星イオと光速速度～イオの公転周期変動を確認した～」というもので、金光学園屋上にある天文台で2012年秋か

ら始めた観測の結果を報告しようとした。背景には17世紀にレーマーが行った光速速度の決定がある。

高校生を中心とした会場は、若い人の声があふれ、賑やかである。一段高いステージの中央奥には大きなスクリーンがあり、プレゼンのスライドが投影される。壇上には司会進行を行う座長と進行係がおり、特徴のある風貌の大西委員長による



図1 ジュニアセッション会場風景。



挨拶と連絡などがあり、富田小冬さん（小学5年生）の講演から口頭発表が始められた。金光学園の生徒の発表はセッションCで行われたが、イオの公転周期の変動についてちょっと突っ込んだ質疑も行われた。

17世紀初頭ガリレオは木星の周囲を回る四つの明るい衛星を発見したが、この様子を太陽系のミニモデルと思い、地動説を確信したと言われている。これらの衛星は、イオ、エウロパ、ガニメデ、カリストと名づけられている。この中で最も木星の近くを回るイオは、その大きさは木星の1/40、地球の月に近く、木星半径の約6倍の軌道を1.77日の周期で公転している。

光は一瞬で届くために、古来その速さは無限であると考えられていた。ガリレオらにより地上で実験が行われたが、精密な時計や実験器具がそろわず、光速度を決めることは不可能であった。そして、ケプラー（1609-18）やニュートン（1666-87）により天体の運動についての法則が明らかにされ、天体の運行は精密な時計として広く利用されるようになった。特に、カッシーニは正確な経度を計測するために木星の衛星の食を利用することとし、当時パリ天文台に職を得たレーマーはその天体観測に従事した。

この状況の中で、レーマー（1676）は木星の衛星イオの観測から、科学的に意味のある光速度の値を求めた。彼の業績は天文・物理の分野における金字塔として、その名を長くとどめている。彼の方法の原理は、イオが木星の周りを公転すると、木星の影に出入りする食現象を起こし、公転周期がわかる。継続的に観測していると、地球と木星の公転により距離が変化するため、イオの公転周期が見かけ上変化する（図4参照）。このことから光の到達時間を知り、光速度を求めるものである。

以下に、私たちが金光学園において実施してきた観測、データ解析、結果について、順を追って説明していきたい。要約にも述べたが、当初の目

的である「光速度」を高い精度で求めることはできず、その代わりにイオの公転周期が変動することがわかった。なお、以下の記述は主に担当した高校生の思考と作業手順に従ってまとめた。また、ここで使用する図表などは彼らの作成したものを基本とし、私がチェックし多少の改変を行っている。

## 2. 観測とデータ解析

使用した金光学園天文台の望遠鏡はセレストロン社製のC-14、口径355 mmのシュミットカセグレン式の望遠鏡である（図2）。焦点距離は3.9 mで、レデューサーを用いて2.5 mの焦点距離で観測する。この焦点に一眼レフカメラを（レンズを外して）取り付ける。太陽に照らされた木星の影はイオの40倍あり、その影に入っていく「消滅」と、影から出てくる「出現」とが観測される。木星の会合周期は約1年1カ月であり、このところ年末近くに衝を迎え、それ以前が消滅、それ以降が出現の食となる。

イオの食の時刻は「天文年鑑」（誠文堂新光社）の予報（分単位）から得た。そして、その時刻を挟んで前後10分間観測を行った。観測は1秒露出で、その後3秒間シャッターを閉じ、そのサイクルを繰り返す連続撮影を行った。この設定は、地球大気の乱れを均し、かつ食時刻を1秒の精度



図2 金光学園天文台。

表1 観測と得られた食時刻.

観測期日	食時刻 (日本標準時)	食	撮影画像数
2012/9/26	3:37:24	消滅	226
2012/10/20	22:16:36	//	204
2012/11/12	22:28:00	//	367
2013/1/22	19:46:42	出現	360
2013/2/21	21:56:24	//	295
2013/3/9	20:15:40	//	306

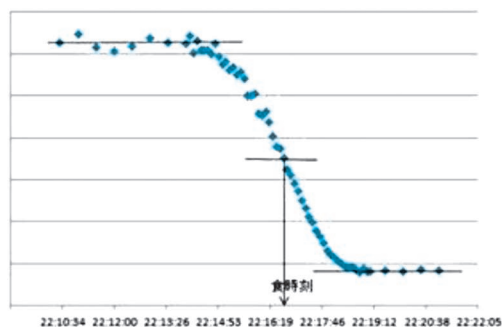


図3 イオの光度変化と食時刻 (2012/10/20). 横軸: 日本標準時, 縦軸: イオのカウント値.

で決定でき、データ取得・転送に無理のないものとして採用した。なお、ビデオレート (1/30 秒露出) などの撮影も試みたが、光量不足で、かつ大気の流れのため測光には向かなかった。また、毎回観測開始前にカメラの時刻合わせを行った。

消滅の食から出現の食まで、半年の期間中に合計約30回の観測可能な食があるが、天候などの条件により13回の観測を行った。データを解析して見ると、観測中に薄雲が通過していたり、衝に近い食の場合は影が木星本体のごく近くで、イオがその光芒を受け測光精度が落ちたりもした。その中で、測光精度の良い6回分、すなわち消滅3回、出現3回の食のデータを解析した。撮影された食は表1のとおりであり、それぞれの食で撮影した画像は200枚を超え、合計枚数は1,758枚になった。

次に、表1に示されたすべての画像について、以下の処理を施した。

- (1) 「ステライメージ」(アストローツ) に

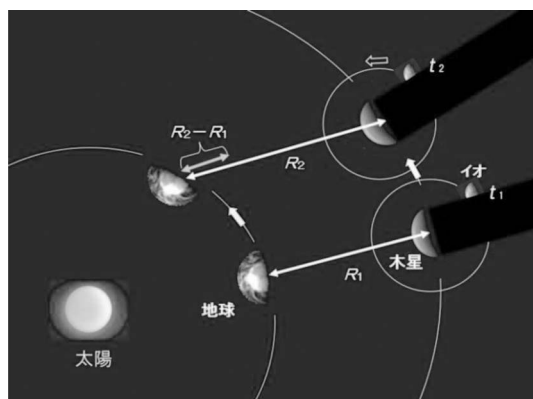


図4 地球と木星とイオ (レーマーの方法).

より、RAW 画像を FITS 画像に変換する。

- (2) 国立天文台作成のソフトウェア「マカリ」を使用し、イオの測光 (光度測定) を行う。
- (3) イオの明るさの時間変化をグラフ化し、食時刻を決定する。

図3で示されているように、イオの大きさのため、食の出入りに約3分間かかる。求める食時刻としては、最も精度の高くなる時刻として、太陽の光がイオの全面に当たっている食外と、完全に木星の影に入っている食中との平均値の光度を示す瞬間の時刻を読み取った。得られた食時刻は表1に載せている。それぞれの食の観測は1回しか行えないが、人を替えて独立に何度か解析を試み、食時刻の誤差を求めてみた。測光的に安定した観測では2秒程度の誤差で求められたが、やや条件の悪い観測の場合まで考慮すると、一般的には精度は約5秒と考えられる。

### 3. レーマーの方法

さて、ここでレーマーが用いた方法について見ていこう。図4は、イオが木星の影の中 (図の黒色の部分) から出てくる「出現」の食を観測する場合である。最初の食で求めた時刻を  $t_1$ 、イオが木星の回りを公転して次に観測した食の時刻を  $t_2$  とする。この間に、木星の公転につれて影も動き、



イオがそれを追いかけるため、食が起こるまで若干余分にかかる。なお、木星の公転軌道は5.2天文単位の円軌道と仮定し、公転周期11.86年で計算した。

この条件に基づいて食の時刻を決定すると、(光速度が無限でなければ) 実際に観測される食時刻はイオの公転周期に「ずれ」が生じる。このずれについて; 最初の食から次の食までに地球と木星の距離が変化し、その距離の差だけ光が遅れて(あるいは速く)届く、とレーマーは仮定した。そこで、光の速さは距離の差を時間のずれで割ることで求めることができると考えた。

これらの時間の関係から、式(1) レーマーの方法の関係式が導かれる。

$$t_2 - t_1 = n \times (P + A) + \frac{R_2 - R_1}{c} \quad (1)$$

今回の研究ではこの式を使って光速度を求めていくことにした。なお、実際観測した食は何回も公転の離れた食であり、最初を1、次を2の添え字で表す。また、 $t$ は食時刻、 $n$ は公転の回数、 $P$ は公転周期、 $R$ は地球から木星までの距離(木星の地心距離)<sup>5)</sup>、を示すものとする。式(1)の右辺第1項はイオの公転にかかる時間であり、右辺第2項は光の到達時間の差を表す。また、 $A$ は木星の公転による影の移動をイオが追いつく時間、 $P + A$ は木星から見たイオの公転周期であり、木星とイオ双方の公転が円軌道と仮定すると、 $A \sim 62.4$ 秒となる。

レーマーたちの観測は、イオが木星の影に隠れる「食」を用い、本体に隠れる「掩蔽」を使わなかった。その理由は; 掩蔽は明るい木星本体への出入り(潜入および離出)を見るので、眼視観測で精密な時刻を求めることが困難である。それに対し、食現象は木星本体から離れたイオ単体を測光するので、眼視で精密な時刻が求められるためである。カメラを用いた撮像観測でも事情は同様であり、私たちも公転運動の時刻としてイオが木星の影に出入りする「食」を用いた。

私たちの観測の場合では、隣り合う観測の間にイオは9回から17回公転をしている。なお、それぞれの食時刻における地球から木星までの距離は、国立天文台のホームページの「暦象年表」から、木星の地心距離を採用した。また、光速度を求めるために用いたイオの公転周期としては、Goldstein et al.<sup>1)</sup>による152,853.5秒(与えられた「平均運動」の逆数)を採用した。

#### 4. 光速度とイオの公転周期

光速度の計算結果は表2のようである。既知の光速度約30万km/秒に対して、1/22-2/21と2/21-3/9の値は比較的近いが、9/26-10/20と10/20-11/12の光速度の値は30万km/秒から大きくかけ離れている。そこで、私たちはこの違いが何に起因するか検討してみた。

式(1)は時間の計算式であり、各項の値を秒単位で表すと、左辺と右辺の第1項はそれぞれ7桁になるのに対して、光速度を含む右辺第2項は3桁にとどまる。すなわち光の到達時間の項は他の項より4桁小さく、また、光速度は分母に入っていて、食時刻や公転周期の誤差に大きく影響されることになる。食時刻は、2章および図3で説明したように誤差約5秒に押さえられたので、光速度に対する誤差は無視できないものの数パーセントを超えないと思われる。地球から木星までの距離は0.0000001天文単位の精度で与えられており、光速度に対する影響は無視できる。

ほかに考えられる原因としては、イオの公転周期の誤差がある。公転周期には公転回数の $n$ が掛かっているため、食時刻の誤差よりも1桁程光速

表2 得られた光速度。

観測期日	光速度 (万km/秒)
2012/09/26-10/20	69.2
2012/10/20-11/12	132
2013/01/22-02/21	32.3
2013/02/21-03/09	34.0



度に与える影響が大きい。私たちはGoldstein et al.<sup>1)</sup>によって与えられた公転周期を引用したが、ほかのデータとしては、理科年表に1.7691日の値が載っているが、桁が不足している。

そして、別の公転周期を与えても、一定値である限り、消滅と出現では光速度の値が明らかに異なることも確かめた。念のために、それぞれ3回の消滅の食、3回の出現の食時刻を用いて、光速度と公転周期を共に変数として2元連立方程式で解いてみた。やはり消滅の食では上記の表3と同様の光速度が得られ、また消滅と出現の食では明らかに公転周期が異なり、上記の結果と矛盾しない値が得られた。

木星の公転の離心率は0.0485、赤道傾斜角は3.1°であり、長い期間にわたる一般的な観測においては私たちの仮定では誤差が大きくなる。しかし、レーマーの方法を計算する場合、私たちの観測期間は約半年間で、木星公転全周の24分の1程度であり、また消滅と出現の食を別々に扱い、両者を含めて解くことはしなかった。これらの扱いから、上記パラメーターの影響は食時刻の誤差を超えることはないと思われる。結果として、私たちは表2で得られた光速度の大きなばらつきを生じる真犯人を突き止めることはできなかった。

そこで、初期の目的であるレーマーの方法から離れ、光速度を未知数として求めることを止める。すなわち、これまでと未知数を入れ換え、既知の光速度を与えて公転周期を解いてみる。結果を表3にまとめるが、2012年秋の公転周期の値は2013年春の値より約8秒大きい。公転周期のわずか0.005パーセントであるが、これが私たちの観測・解析の誤差から生じたものかどうか検討してみなければならぬ。

式(1)から、また上述の議論からわかるように、公転周期に与える食時刻の誤差は公転の回数 $n$ の分だけ小さくなる。例えば9回の公転だけ離れた食を比較すると、食時刻の統計的な誤差は0.8秒ほどにおさまる、1秒以下であることがわかる。

これは得られた公転周期の違い(～8秒)より明らかに小さい。もちろん光速度や木星までの距離の誤差は無視できるほど小さい。結論として、公転周期の値のばらつきは、私たちの観測・測定の誤差を明らかに超えていて、実際にもイオの公転周期が変動しているのではないかと考えた。

そこで、私たちは天文シミュレーションソフト「ステラ・ナビゲータ9」(アストロアーツ)によりイオの動きをチェックしてみた。このソフトからイオの公転周期を算出すると、時期により明らかに公転周期が変化する。図5に示すように、2013年春はほぼGoldstein et al.<sup>1)</sup>の平均値に近く、2012年夏頃はそれより10秒ほど大きい。この図に、私たちの得たイオの公転周期の値(図5の★印)をプロットしてみると、暦の予報と非常によく合っている。「ステラ・ナビゲータ」の計算の元となった資料は(アストロアーツ社に確認したところ)“Astronomical algorithms”<sup>3)</sup>という文献であり、イオの運動についてはLieske<sup>2)</sup>の暦

表3 得られた公転周期.

観測期日	公転周期 (秒)
2012/09/26-10/20	152860.0
2012/10/20-11/12	152859.4
2013/01/22-02/21	152852.5
2013/02/21-03/09	152851.8

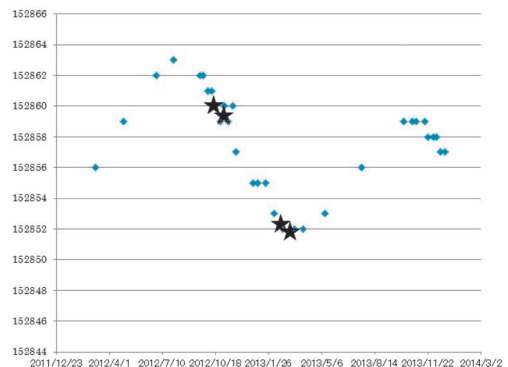


図5 イオの公転周期の変動(2012-2013)。横軸: 日付, 縦軸: イオの公転周期(秒)。★印は私たちの結果。



を使用していることが明らかになった。

ここまで秒の桁の誤差をあれこれ詮索してきたが、イオの公転周期が時間とともに変動していることはどうも疑いないようである。

## 5. 考察と議論

今回のテーマは、天文学および物理学の歴史の中で金字塔といわれるレーマーの光速度の決定を取り上げ、そのプロセスを新しい精密な時計とカメラでなぞって見たものである。しかしながら、正確な光速度は求められなかった。

レーマーの場合は、パリ天文台の眼視観測の中から40-60回の食について食時刻を求め、光速度を算出したと言われている。Goldstein et al.<sup>1)</sup>によってその業績が再調査されたが、この観測に対して平均の公転周期を求めて平均の光速度を求めると、1/200程度の誤差しか生じないとのことである。ところが、彼らの表から少数回の食を抜き出し一定の公転周期を用いて計算すると、光速度の大きな違いが導かれ、私たちの結果と矛盾しない。現在は当時より精度の高い時計やカメラが利用でき、また地球や木星の運動についても格段に正確な情報が手に入るものの、少数回の観測はこの課題研究に大きな制限を与えていることがわかる。

地球や太陽系の惑星は、太陽の引力により公転運動を行っている。古典的な天体力学の問題としては、地球と月、太陽と地球などをそれぞれ2体問題として扱えば厳密に解くことができる。しかし、現実には3体以上が存在し、この「多体問題」を厳密に解くことは一般的には不可能である。ミニ太陽系といわれる木星系において、四つのガリレオ衛星は月に似たサイズの大きな衛星である。そして、木星の強大な重力に縛られているものの、これらの衛星同士も互いに重力を及ぼし合っているはずであり、公転運動に影響が出る可能性もある。

そこで、衛星同士の間にも働く重力を考慮すると

多体問題となり、その力学を扱う「摂動論」に基づく考察に目を向けることになる。そして、今回の課題研究をさらに深化させるために、天体力学の専門家から新しい情報を提供していただいた。高校生のレベルでは理論的、定量的な理解は困難としても、NASA等による惑星の探査に利用するためにも、これらの運動を精密に知らなければならぬことは理解できる。例えば、イオの表面に多数の活火山があり噴煙を上げていることが知られているが(図6)、これは木星の重力(潮汐力)が主な原因と考えられるが、ほかの衛星からの重力の影響も無視できないと思われる。

太陽系の惑星軌道の安定性については長い間研究が進められてきたが、ラプラスらによって理論的に唱えられた「軌道共鳴」という現象がある。特に、イオ、エウロパ、ガニメデの3衛星間では、公転周期が1:2:4という整数比となる共鳴が成り立っていることが知られている。仮にイオが単独の衛星ならば(木星の強烈な潮汐力の結果)等速円運動に落ち着くかもしれないが、軌道共鳴によりイオの公転に「ぶれ」が生じ、公転軌道の離心率も維持されることが示唆される。すなわち、力学的に軌道が共鳴することを、私たちは公転周期の変化として観測的に見たと思われる。

Lieskeの研究論文<sup>2)</sup>は、これまでの地上観測や探査機のデータから木星の衛星の精密な運動を調べ、NASAで改訂を重ねてきた新しい暦(E5)として作成されたものである。そして、今回の観測



図6 イオの表面: NASA撮影.

から現在もこの暦が正確であることもわかった。翻って、レーマーが光速度を求める際に扱ったイオの公転周期の変動は、公転により生じた木星までの距離の変化を、光が伝わる時間だけ公転周期が増減する「見かけの変化」である。これに対して、私たちの課題研究は、この見かけの変化を補正した後に、イオの公転周期そのものが変動しているという、一段と深化した知見にたどり着いたと思われる。

## 6. 結 論

今回の結論を箇条にまとめると、以下のとおりである。

- (1) 金光学園天文台の機材による観測で、精度約5秒でイオの食時刻を決定した。
- (2) レーマーの方法で光速度を求めるには、イオの公転周期の変動を正確に知る必要がある。
- (3) 精度1秒程度でイオの公転周期を求めた結果、約8秒の変動を見つけた。この結果は最新成果を取り込んだ天体シミュレーションソフトの予報とよく一致した。
- (4) 木星の衛星の詳細な運動を知るには、衛星同士の重力による摂動の効果を考慮する必要がある。特に、イオ・エウロパ・ガニメデの間には軌道共鳴現象があり、イオの公転運動の精密な観測は、衛星の運動理論を検証できる可能性もある。

私たちは当初の目的であった正確な光速度は得られなかったものの、イオの公転周期が変動していることを見つけた。この結果が得られたのは、私たちが精密な測光観測に基づいて正確な食時刻を求めたことが根底にある。眼視観測で進めたレーマーの時代には到達しえない結末であるが、彼らは長期間にわたり多数回の食を扱ったことにより、公転周期の変動がならされ、求めた光速度も平均化されたと推測される。この課題研究に取り組んだ結果として、私たちは17世紀のガリレ

オやレーマーの時代の偉業に触れることができた。

木星の衝を挟む観測好機に今回の観測を行ったが、結果に用いられたのは6回の食に限られ、良質の観測データ数が少ない。今回の結果をより確かなものにするには、私たちは観測を継続すべきと考える。さらに、エウロパや他の衛星の食現象も調べてみたいが、公転周期の長い分だけ観測機会が少ない。また、天体力学の知識、特に摂動の理論やその数値解析は高校生の数学・物理の力では遠く及ばないが、できるだけ関連分野の専門家に指導を仰ぎ、少しでも理解し、自分たちのもの にしたいと思う。

## 7. おわりに

光速度の決定に関しては、レーマー以降はブラドリー(1727)により光行差の観測からより精度の高い値が得られた。その後フィゾー(1849)により実験室で5%の精度の光速度決定がなされ、地上の実験室で精度よく決定できるようになり、現在では干渉計等を用いて1 m/秒の精度で決められる。光の速さは秒速30万kmといわれるが、 $c=299,792,458$  m/秒と定義された光速度は、現在は空間(m)および時間(秒)の基準とされ、相対性理論とも関連して基本的な物理量となっている。

金光学園中学・高等学校は国立天文台岡山天体物理観測所の設置されている竹林寺山系の裾野にあるが、この両者には深いつながりがある。1950年代に東京大学東京天文台(当時)が口径188 cmの大望遠鏡を設置しようとして、全国の候補地からベストサイトに絞るために現地で試験観測を行った。東京天文台ではすでにその校庭の隅に金光観測所を開設し職員を派遣していたが、ここでの観測がサイト調査に役立ち、結果として岡山観測所の設置につながったと聞く。

それ以来天文台の開設、望遠鏡の設置から維持・運営にかけて、地元の支援・協力は惜しみなく注がれた。その一つの拠点が金光学園であり、天体



図7 岡山天体物理観測所188 cm望遠鏡（夜間公開，ホームページより）。

観測の指導者であった藤井永喜雄さん（故人）が熱心に協力され、隣の倉敷市から彗星ハンターの本田 実さん（故人）も駆けつけ、地域の人々の熱いサポートの下岡山観測所が立ち上げられたことが、文書や写真の記録に残っている。岡山県とは「覚書」を交わし、近隣自治体からは光害防止等で陰に陽に支援をいただいていた。この伝統は脈々と受けつがれ、現在も一般公開や連携事業が行われ、そして多くの研究者・関係者を輩出している。岡山県は「晴れの国」を標榜しているが、岡山観測所が設置されたことで種がまかれ、この地域は言わばわが国における星空のメッカとなり、地域社会と宇宙とが最も近い地域となっている。

ところで、金光学園では平成23年度からスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の認定を受け、ゼミ形式による探究授業で多数の課題研究が走っている。本研究は天文気象部の部活動の一環としても取り組みを始め、2013年SSH生徒研究



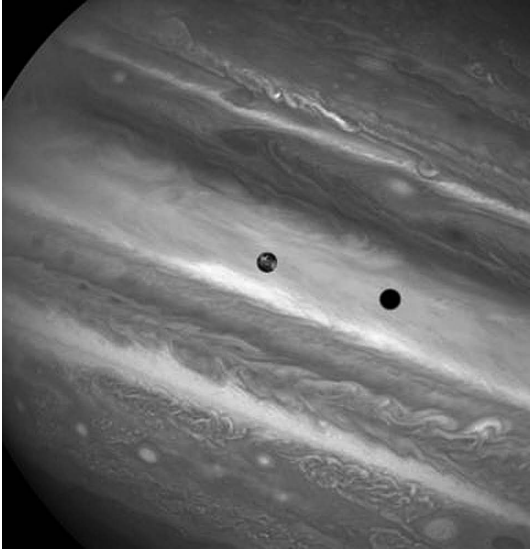
図8 SSH全国大会ポスター発表。

発表会に向けてまとめられた。この間指導や観測・データ処理・考察の指導と補助を進めた教官は、岡崎 裕、戸田洋平の両教官であり、私はこの間補佐役として付き添った。最初課題を提案し種々の助言をいただいた定金晃三名誉教授（大阪教育大）、天体力学について助言・指導をされた木下 宙名誉教授（国立天文台）両氏のお力添えがなければ、とてもこの結論にはたどり着けなかったと思う。

たとえて言えば、今回の研究は「レーマーの方法」という確かな道を進んだにもかかわらず転んでしまった。想定外の結末に対して、種々の試行錯誤や紆余曲折の末「転んでもただでは起きない」精神で何とか目的地にたどり着いた。この結果は2013年春頃から見え出したのだが、2013年8月7、8日パシフィコ横浜において開催された全国大会に間に合った。参加した201校の選りすぐりの研究発表が行われたが、金光学園は本研究を持ち込み参加した（図8）。SSH全国大会の発表を行った生徒は、大熊由貴子、谷田瑞季、磯崎日奈子、萩谷昇平の4名である。結果は、4,000名の参加者の前で口頭発表を行う4校のうちに残り、文部科学大臣賞に次ぐ科学技術振興機構理事長賞を獲得することができた。

さらに付け加えると、その1週間前に開催された岡山大学主催の「高校生・大学院生による研究紹介と交流の会」でも彼らはこの研究発表を行い、





木星の前面を通過するイオとその影。Credits: John Spencer (Lowell Observatory) and NASA

最優秀賞を獲得した。生徒たちは学業の忙しさの中で、計算や処理をやり直し、繰り返し何度もプレゼン原稿やポスターを作成し、発表を経験しながら、徐々に完成の高みへと到達したと言えると思う。私たちの1年あまりに及ぶ作業と紆余曲折はこのようにして発信され、評価され、金光学園の探究ゼミの生徒や教師にとっては貴重な経験となった。私自身にとっても、孫のような若者と膝を突き合わせ、時には熱く議論をし、楽しいひとときを過ごさせてもらった。

ここにお名前を記した方々や組織に対して、この欄をお借りして感謝を申し上げたい。

## 参考文献

- 1) Goldstein S. J., Trasco J. D., Ogburn III T. J., 1973, AJ 78, 122
- 2) Lieske J., 1998, A&AS 129, 205
- 3) "Astronomical algorithms" ed. Jean Meeus, Willmann-Bell, Inc., 1991
- 4) 天文年鑑 (誠文堂新光社), 2012年版, 2013年版
- 5) 国立天文台暦象年表, <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/cande/>

## Jupiter Satellite Io and the Light Velocity —Junior Session and SSH—

**Hideo MAEHARA**

*Konko Gakuen Junior and Senior High School,  
1350 Uramishinden, Konko, Asakuchi, Okayama  
719-0104, Japan*

Abstract: We observed eclipses of Jupiter's satellite Io with a telescope of Konko Gakuen Observatory from 2012 autumn to 2013 spring. We obtained accurate eclipse times photometrically, and determined the light velocity following Roemer's method. However, the results scattered much widely than estimated errors in our observations. Then we replace the variable from light velocity to orbital period. We find that the change of Io's orbital period is consistent with the new ephemerides (E5), which includes gravitational perturbations by other Galilean satellites. As a result, our work suggests that precise photometric observations of a satellite eclipse verify the theory of its orbital motion.