

## 国際宇宙ステーション観測プロジェクト“Discover the ISS”

東京工業大学附属科学技術高等学校科学部顧問 小菅京

### 1. “Discover the ISS”

これから紹介するプロジェクト“Discover the ISS”では、WEBサイト([http://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci\\_club/event.html](http://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/event.html))を通じて国際宇宙ステーション(International Space Station:以下ISS)の軌道を調べるいろいろな方法を提供している。高校生向けの探求活動や一般向けのイベントなど自分にあった方法が選べ、全国どこからでも参加でき、他の参加者と協力する作業があって連帯感も楽しめる。ぜひ、宇宙に関する手ごたえある活動を求める高校生にお勧めしたい。

### 2. プロジェクトの概要

ISSは、地球上空400kmを周回している有人の人工衛星である。最も明るい時は-1等級近くに達し、動く明るい光点として、宵または明け方の空に肉眼で簡単に見ることができる。『ISSについて研究できたら!』, そんな高校生に魅力的な探求活動を届けたい。』その思いで、ここ数年ISSを題材とした活動を科学部員と行い、それを整備・集約したのがこのプロジェクトである。2006年夏休み、インターネット上で公開し、広く一般に参加を呼びかけた。その結果、高校生だけでなく、こどもから大人まで多くの皆さんに楽しんでいただくことができた。

WEBサイトの構成は、『見る』『Tracking the ISS』、『撮る』『Photographing the ISS』、『計算する』『Calculating the Orbit of the ISS』の3つのコーナーからなる。方法も難易度も対象も様々で、自分にあったものを楽しめる。何もやったことがなくても、『見る』→『撮る』→『計算する』の順に体験していくと、ISSの観察・観測・軌道計算を通じて、天体写真撮影の技法の学習からはじめて観測やその計画、さらには探求活動へとつなげることができる。

### 3. “Tracking the ISS”

ISSの通り道(軌道)を可視化するコーナーである。

地上からISSは、その軌道の両側数百キロの範囲

から観察可能である。つまり目撃情報を集めてマッピングすると、太い带状ではあるが一本の線が現れる。それがISSの軌道である。

各地からISSを肉眼でみてその場所をサイトで報告するだけなので、道具不要で誰でも参加できる。また、その簡単さにも関わらず、見つけた時のワクワク感、うまく通り道が現れるかどうかゲームのような楽しみを味わうことができる。なお、図1は、2006年8月16日に行われた観測の結果である。

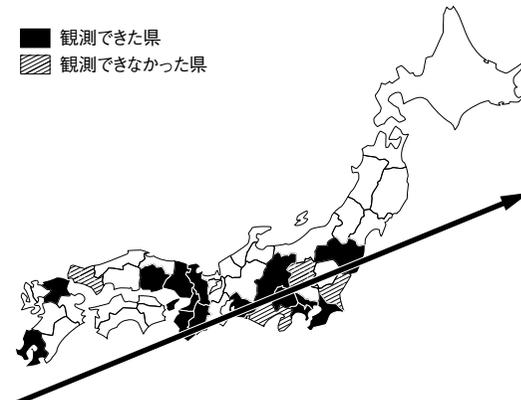


図1 “Tracking the ISS”の結果 矢印はISSの実際の通過位置

### 4. “Photographing the ISS”

ISSの撮影法を解説したコーナーである。

ISSは明るいので、写真撮影は難しい。撮影方法は天体撮影の基礎の固定撮影であり、ISSが通る予定のあたりにカメラを向けて固定し、通りかかったらシャッターを切るだけでよい。デジタルカメラであれば花火モードや夜景モードといった、長時間露出の機能で写すことができる。

なお、条件を満たすように撮影すれば、次の“Calculating the Orbit of the ISS”で軌道計算を行う際の材料とすることができる。

### 5. “Calculating the Orbit of the ISS”

ISSの軌道計算方法を解説したコーナーである。

ここで用いている軌道計算の方法は、ISSを流星に見立てて、高校生にも取り組みやすい流星多点観

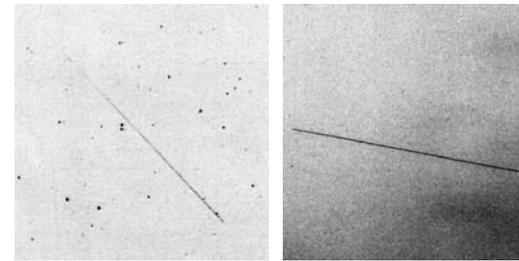


図2 流星(左), 国際宇宙ステーション(右)

測の手法を適用している。

きっかけは生徒が流星写真とISSの写真が似ていることに気づいたこと(図2)。流星多点観測法は、流星写真観測の方法のひとつで、離れた複数の観測点から同時に撮影された同一流星の軌道を調べる方法である(図3)。撮影された画像の背景の恒星の位置から、軌跡の座標を求め、それをもとに通過した高度や到来方向(放射点)、実経路を求める。グラフや作図中心のわかりやすい方法で、高校生にも自分の作業の意味がイメージしやすい。

この方法をISSに適用すると、軌道の高さとお地軌道、さらに得られた高度角 $H$ ・方位角 $A$ から、最低限の計算により軌道要素を割り出せる。

ここで要求する能力は、三角関数を用いる計算、グラフ・作図だけである。使用する計算式の理解まで要求すれば、球面三角法を用いているため高校生には手ごわいが、計算作業自体は、関数電卓さえあればさほど難しいものではない。従って、サイトにはJavaScriptによる関数電卓を置いて、意欲ある中学生にも挑戦できるようにしている。

人工天体の軌道要素は、軌道上の複数の点の座標値から計算だけ、あるいはソフトウェアで求められる。しかし、それでは高校生にとってブラックボッ

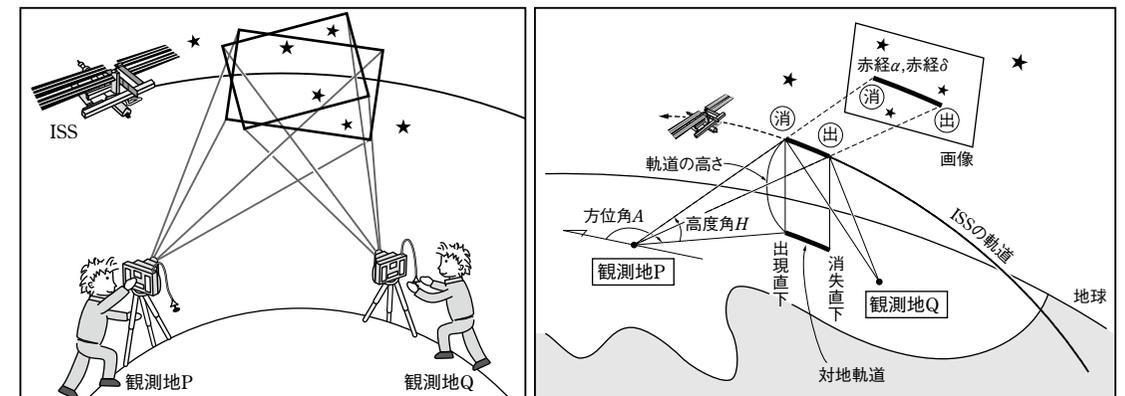


図3 多点観測のISSへの適用

クス部分が多過ぎて自力で求めたという実感も湧かず、探求につながらない。この方法ならば、これらの問題をクリアすることができる。

人工天体の軌道要素は、下記の項目がある(便利により種々表し方があるが、ここではKeplerian Elementによるものを一例として示す<sup>(4)</sup>)。

人工天体の軌道要素	
元期(計算の基準日時)	
楕円の形を示す要素	
● 軌道半長径 $a$ (または近地点高度と遠地点高度)	
○ 離心率 $e$	
軌道面の向きを決める要素	
● 傾斜角 $i$	
● 昇交点赤経 $\Omega$	
○ 近地点引数 $\omega$	
軌道上のどこにあるか	
○ 平均近点角 $M$	

●:この方法で求めている要素, ○:求めない要素

ここでは、これらのうち、ISSの軌道面がどのように配置されているかを示す要素に限定して求めた。軌道面が地球の赤道面に対してどのくらい傾いているかを示す傾斜角 $i$ 、それが宇宙(春分点)に対してどちら方面を向いているかを示す昇交点赤経 $\Omega$ であり、比較的高中生にもイメージしやすい要素である。なお、軌道を真円と仮定している( $e=0$ 、実際には $e=0.0011241$  ← 2006/8/25時点)。従って、軌道半長径ではなく軌道半径となる。実際には地上からの軌道の高さを求め、それにその地点の地球半径を足して算出する。また、楕円の半短径の位置を示す近地点引数 $\omega$ も求めない。さらに位置予報が目的ではないので、軌道上のどこにあるかを示す平均近点角 $M$ は省略した。これらを求める作業は計算だけなので、次のステップに進みたい高校生向けの課題として残す。

軌道計算の方法は、サイトにて詳しく紹介しているので、ここでは概略を中心に、サイトには記載しなかった指導の注意点を補足して紹介する。手順の概略は図4の通り。

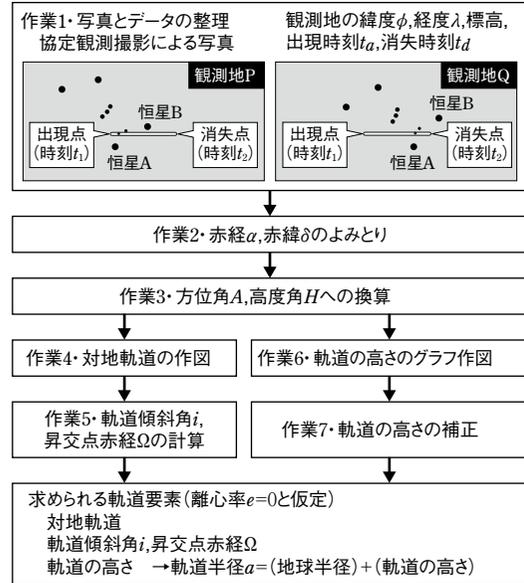


図4 軌道計算の手順

#### < 撮影計画 >

観測点は、数十キロ程度離れたところに置くのが望ましい。観測点が多いほど、観測成立の可能性が高くなり、結果の精度も向上する。どの観測点からも撮影可能な時刻を協定撮影時刻とする。写野(特に軌道位置周辺)に、2～4等級の恒星が二つ以上入っている必要があり、その位置は高度が高い方がよい。

私たちが計画の詳細を決める際に使用しているのは、下記のサイトである。

撮影計画に便利なサイト
Heavens-Above/ ドイツ航空宇宙センター (英語) <a href="http://www.heavens-above.com">http://www.heavens-above.com</a>
国際宇宙ステーション・スペースシャトルを見よう/JAXA (日本語, 10日分の予報) <a href="http://www.kibo.tksj.jaxa.jp/">http://www.kibo.tksj.jaxa.jp/</a>

予報日時確認の他、天球上での軌道の通過位置や恒星の配置を確認し、協定撮影時刻に通る位置の詳細を確認し、写野を決定している。

#### < 写真撮影 >

レンズは広角なら確実に写るが、あまり広角過ぎると座標のひずみも無視できなくなるので、35～50mmを目安とする。

撮影画像の中に、軌跡の始点(流星観測にならない出現点と呼ぶ)と終点(消失点)が入っていないと軌道計算が行えないので注意する。そこで、実際には、露出途中でレンズを遮へいし、軌跡に切れ目を入れて、一枚の写真に複数の線分を作る工夫をしている。そうすれば、始点と終点の組み合わせを増やすことができ、1枚の撮影写真の中に、複数回分のデータを作れる(図5)。

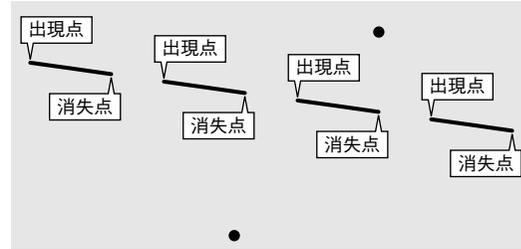


図5 タイムマーク入り画像のイメージ

撮影時刻、つまりは遮へいの時刻を正確に計測することがもっとも重要で、確実に誤差1秒以内になりたい。この時刻の正確さが精度を左右する。

#### < 赤経・赤緯のよみとりと方位角・高度角への換算 >

画像を星図と対照して、赤経・赤緯を読み取り、方位角・高度角へ換算する。読み取りの手がかりとする恒星はなるべく軌跡のそばにあるものを選ぶ。(図4:作業2, 3)

#### < 対地軌道の作図 >

作図用地図に観測地をプロットし、それぞれの観測点から出現点、消失点の方位角をとり直線を引く。各観測点からの交点が出現点と消失点の直下位置であり、この点を結ぶ直線が対地軌道である。(図4:作業4)

#### < 軌道要素の計算 >

出現( $a$ )、消失( $d$ )の直下位置の地心緯度 $\phi'$ と恒星時 $\theta$ とから、次式により軌道傾斜角 $i$ と昇交点赤経 $\Omega$ を求める。(図4:作業5)

$$\tan i \cdot \sin(\theta_a - \Omega) = \tan \phi'_a$$

$$\tan i \cdot \cos(\theta_a - \Omega) = \frac{\{\tan \phi'_d - \tan \phi'_a \cdot \cos(\theta_d - \theta_a)\}}{\sin(\theta_d - \theta_a)}$$

#### < 軌道の高さのグラフ作図 >

「(出現または消失直下位置～観測地間距離)－軌道高さ」のグラフを書く。原点を直下点位置と仮定し、観測地距離で高度角をとり直線を引く。それぞれの観測点から引かれた直線の交点が、実際の直下

点位置であり、その軌道の高さを読み取る。この交点が一ヶ所に収束し、縦軸に近ければ近いほど正確な値が出たということであり、データの信頼度の目安になる。(図4:作業6)

なお、ここで得た値は参照値より低い値を示す。観測地の標高や地球の丸みを考慮して補正を加える必要があるが、これは高校生にとって力試しをできるところであり、サイトでは方法を紹介していない。

#### < 結果と課題 >

現在までに協定撮影を9回計画し、1組の写真セットを得て出した結果は図6の通り。

実施してみて、問題点が二つ見つかった。単独ではできない観測ゆえ他の観測点との協力が必須であり、それが生徒の交流を生み出す点は魅力的であった。しかし、複数の観測点の天候に左右されることで、計算に使用する写真が得にくくなった。これは観測点を増やすことで解決可能である。また、撮影時刻の計測精度、そして写真からの座標値の読み取り精度が、結果を大きく左右することである。この点については、方法の改良を検討したい。

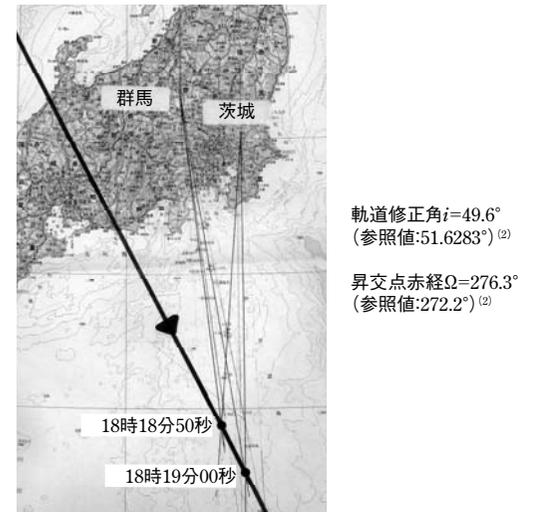


図6 結果の一例:対地軌道と軌道要素

## 6. 今後の展開

“Discover the ISS”は今後継続して行っていく予定である。“Tracking the ISS”は、ご厚意により無償提供されていた外部サーバー (dreamkids 社) で目撃報告入力・集計部分を運用してきたが、借用期限の9月で一旦終了した。今後、ソフトウェアの改良整備を行い、完了次第、年数回のイベントとして、

あるいは日本人宇宙飛行士のフライトなどにあわせて、不定期に運用する予定である。“Photographing the ISS”及び“Calculating the Orbit of the ISS”は、科学部のサイト内に常設し、参加希望の学校と交流しながら、活動を続ける。特に後者はまだまだ改良の余地があり、高校生自身のアイデアや専門家のアドバイス等も入れて、より洗練された楽しめるものにしたい。そして、宇宙に関する活動をしたいクラブのネットワークの拠点とし、宇宙好きな中高生に楽しみと交流を提供していきたいと考えている。参加をご希望のクラブや、ご協力下さる皆様からのご連絡を期待する。

なお、これらは、学校のクラブ活動で取り組む活動として強くお勧めするが、教科や学校行事に組み込むのは残念ながら難しいと考えている。原因はISSに起因する観測日時の設定の困難さである。ISSが宵に観測可能な回数は年に数回程度、日にちが確定するのが約1週間前、時刻は当日まで確認を必要とする。不定期に行われる軌道高度の修正や補給船のドッキングなどで、寸前に予報時期がずれることもあるためである。

このイベントの実施にあたり、たくさんの方にご支援ご協力頂きました。特に分析でLAT加茂昭様、サーバー提供のDreamkids様には格別のご支援を頂きました。この場をお借りし、皆様に御礼申し上げます。そして、代々の科学部員、特に軌道計算に取り組んだ山田翔大君・高津貴大君に感謝します。

#### 参考図書・参照

- JAMSAT「軌道要素の解説」  
<http://www.jamsat.or.jp/keps/kepmodel.html>
- NASA/Human Space Flight, Realtime Data - Orbital Elements (英語)  
<http://spaceflight1.nasa.gov/realdata/>
- 長谷川一郎著「天文計算入門」、恒星社厚生閣 1996
- 日本天文学会ジュニアセッション発表  
「国際宇宙ステーションを用いた流星経路同定手法の練習」(2002年第5回)  
「流星多点観測法による国際宇宙ステーションの経路同定の検証」(2003年第6回)  
東京工業大学工学部附属工業高等学校科学部・山田翔大, 他
- 斎藤馨児・長沢工編「流星I」恒星社厚生閣 1984
- 日本流星研究会編「流星観測ガイドブック」誠文堂新光社 1974