

太陽観測衛星ひのでが観測した水星太陽面通過画像を用いた実習

矢治健太郎(国立天文台)

要旨

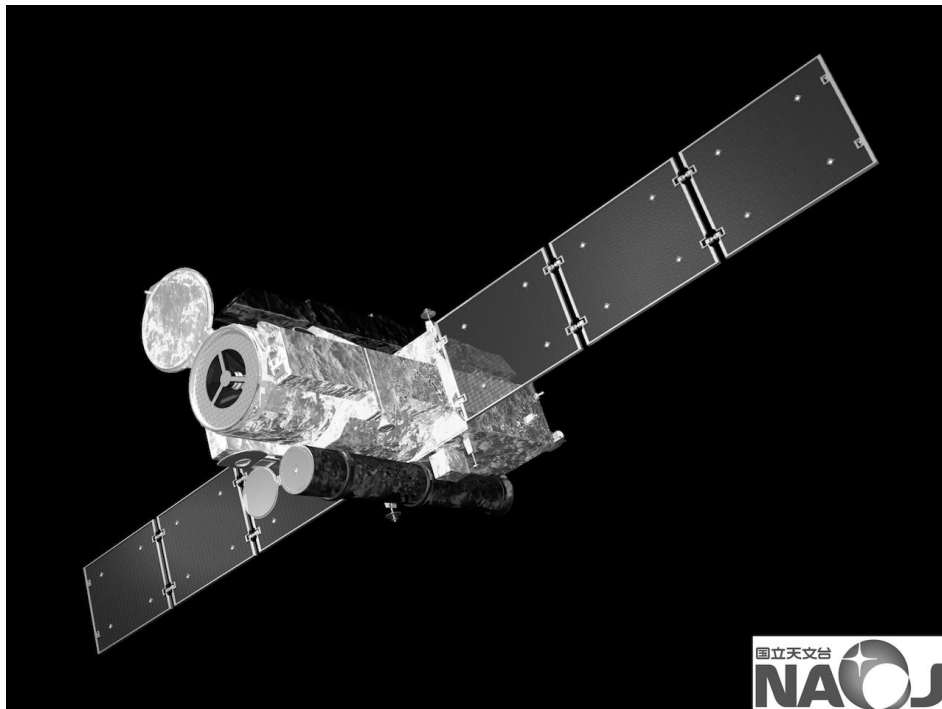
太陽観測衛星が観測した水星太陽面通過のデータを使って、太陽・地球間の距離（1天文単位）を求める方法が、これまでいくつか提案されている。2016年5月9日に水星太陽面通過が起こっており、太陽観測衛星「ひので」でも、X線望遠鏡などで観測されている。この観測データを使って、1天文単位を求める実習をワークショップ内で行った。この際、クラウド上(google drive)の共有ファイル(グーグルドキュメント)を活用した。

1. 目的

太陽観測衛星ひのでが観測した水星太陽面通過画像を用いて、1天文単位の値を求める。また、クラウド上(google drive)の共有ファイルを用いて、共同作業を行なう。

2. 太陽観測衛星「ひので」

「ひので」は2006年9月23日に打ち上げられた太陽観測衛星で(図1)、昨年打ち上げ10周年を迎えた。可視光・磁場望遠鏡(SOT)、X線望遠鏡(XRT)、極端紫外線撮像分光装置(EIT)の3種類の望遠鏡を搭載しており、太陽コロナ加熱・太陽磁場の生成機構の解明を目的としている。



(図1) 太陽観測衛星「ひので」の外観

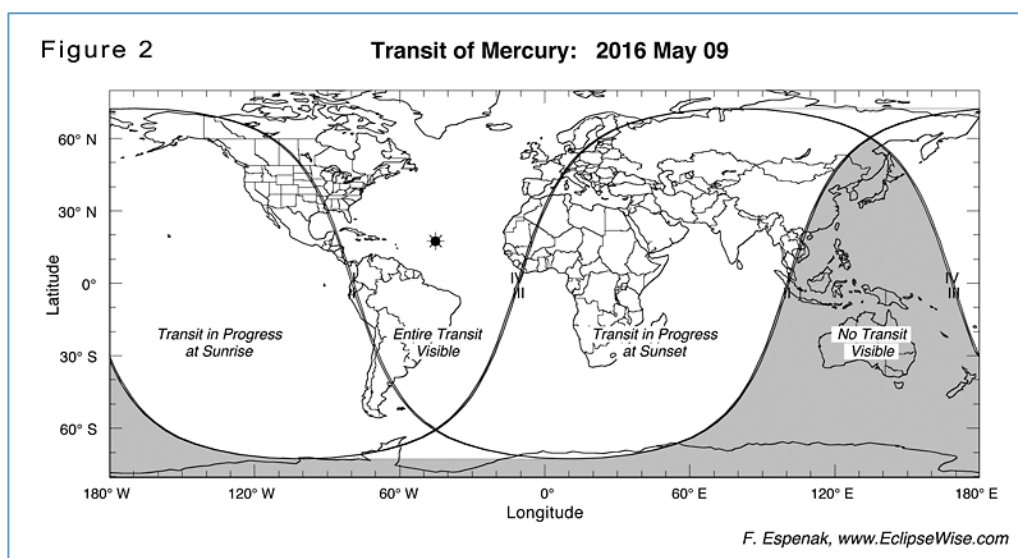
3. 水星太陽面通過の観測

3-1 2016年5月9日の水星太陽面通過

2016年5月9日 11時12分19秒 - 18時42分26秒(世界時)

2016年5月9日 20時12分19秒 - 27時42分26秒(日本時)

残念ながら、日本では見えなかったが、欧米、アフリカ、中東、南アジア、東南アジアでは見ることができた。特にフランス・スペイン・イギリス、北欧では水星太陽面通過を最初から終わりまで(潜入から離脱まで) 見ることができた(図2)。



(図2) 水星太陽面通過が見られた地域

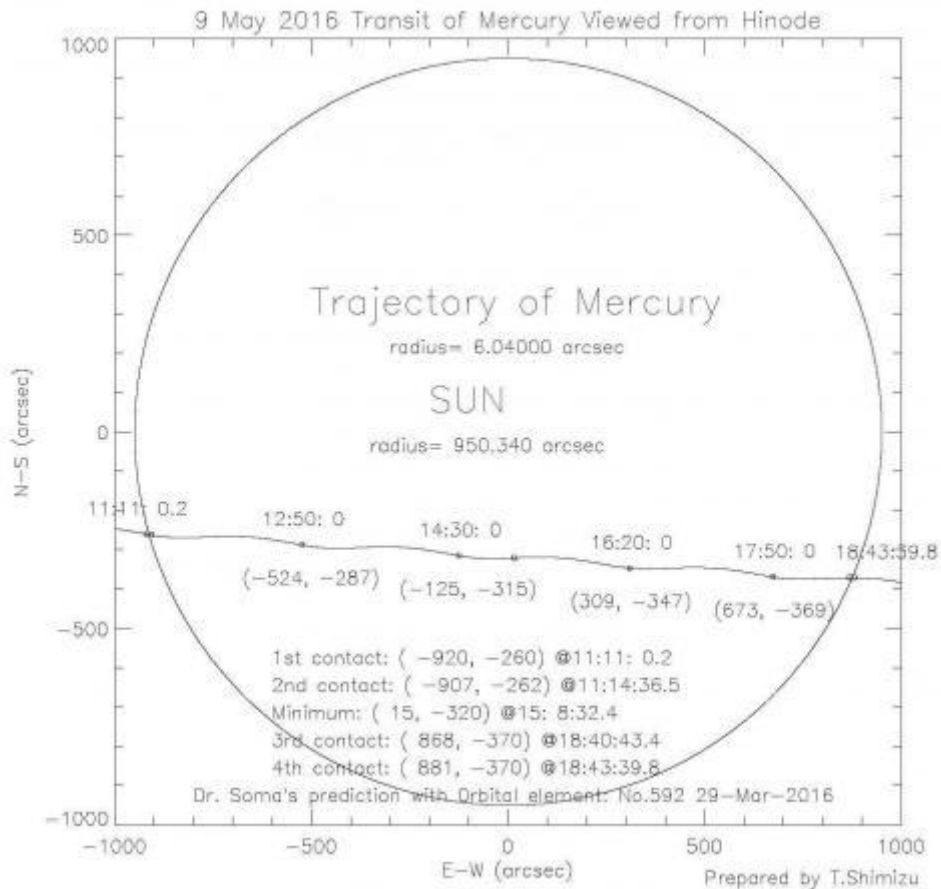
<http://eclipsewise.com/oh/tm2016.html> より

3-2 ひのちによる観測

ひのちでも、3つの各観測装置で水星太陽面通過を観測している。ひのちでは2006年11月にも水星太陽面通過を観測している。2012年6月9日には金星太陽面通過も観測した。この金星太陽面通過のときには、ひのちで観測した太陽全面画像が少ない、との声があった。

その反省も踏まえて、今回の水星太陽面通過では、特に、X線望遠鏡では、できるだけ全面像をたくさん撮ってもらえるように観測リクエストを出した。その結果、約25-30分ごとに1セット(7種類)、計20回、全面像の観測(2048x2048pix)を行った。この間、5回ポインティングを変更して、視野中心を変更している。全面画像の観測の間には部分画像の観測を行っている(768x384pix)。ひのちで衛星は極軌道を取っているため、地球を周回するごとに、水星が太陽面を波打って動いてるように見える(図3)。

太陽観測衛星「ようこう」も、1993年11月6日に水星太陽面通過の観測を行っている。ただし、ようこうは軌道傾斜角が31度あったため、水星が波打つようには観測されなかった。



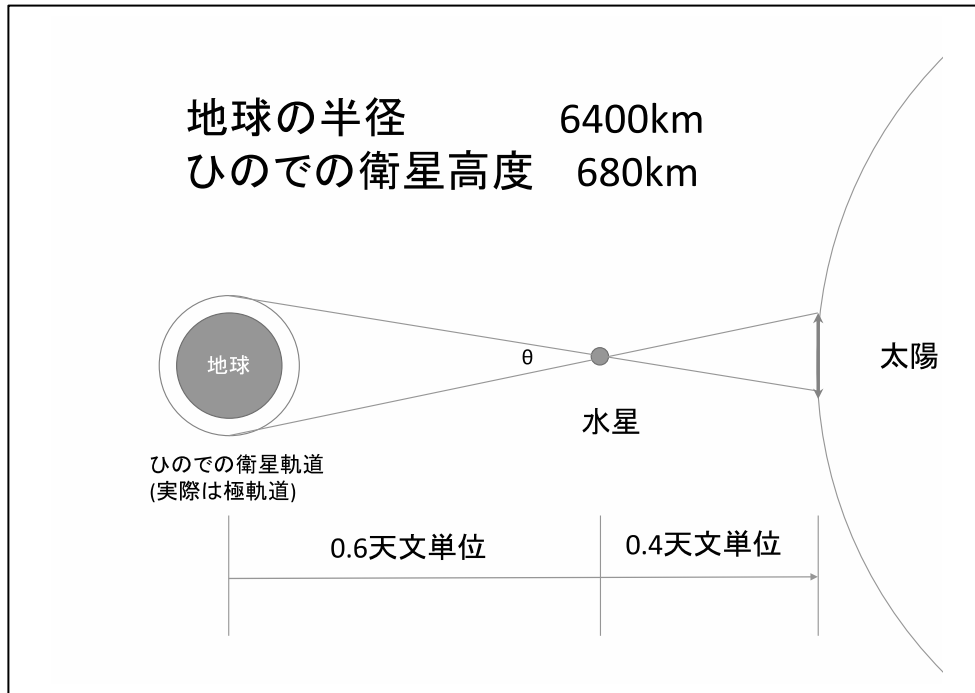
(図3) ひので衛星から見た太陽面上の水星の予報位置

計算：相馬充(国立天文台)

4. 水星太陽面通過から1天文単位を求める

ここでは、(図4)に示す原理で、以下のようにして1天文単位を具体的に求めた。筆者が事前に解析したところ、ひのでの軌道上からの水星の視差が32.21秒角と求めた(図6)。最終的に1天文単位が、 1.51×10^8 kmと、まあいい値が求まっている。

- 地球-水星までの距離: Rem
- 地球-太陽までの距離: Res
- 地球の半径 : 6400km
- ひのでの衛星高度 : 680km
- ひのでの軌道上からの視差: θ 32.21 秒角 = 1.56×10^{-4} rad
- $Rem \cdot \theta / 2 = 6400 + 680$
- $Rem = 9.07 \times 10^7$ km
- 地球-水星間の距離: 水星-太陽間の距離 = 3:2 より
- $Res = 5/3 * Rem$
 $= 1.51 \times 10^8$ km まあいい値



(図4) 水星太陽面通過から1天文単位を求める原理

5. データセット

本実習では、以下のデータセットを用意した。

- ひので X線全面画像 (FITS 形式) 2048x2048 27 枚
- ひので X線全面画像 (PNG 形式) 2048x2048 19 枚
 - ・3種類の露出画像のコンポジット
- ひので X線部分画像(12-13時) 12:21:35-13:32:06 133 枚
- ひので X線部分画像(14時) 14:01:35-14:39:36 76 枚
- ひので X線部分画像(14-15時) 14:35:36-15:10:07 70 枚
- ひので X線部分画像(16-18時) 16:12:05-18:27:06 173 枚
- ひので X線部分画像(19-20時) 19:10:35-20:05:36 106 枚
- 動画 ひので X線部分画像(12-13)の全面画像を動画にしたもの
- ※ひので X線部分画像は全て FITS 形式
 - ・部分画像のサイズは 768x384pix
 - ・Al-poly フィルター
 - ・露出時間は 8 秒(露出時間が 4 秒のデータも取得されている)

なお、ひのでの観測データ (FITS) は JAXA/ISAS (宇宙科学研究所) の DARTS というデータベースからダウンロードできる。

<http://www.darts.isas.jaxa.jp/solar/hinode/>

6. 実習

6-1 ひので X 線全面画像 (PNG 形式) を使って水星を探してみる。

<注意>

コンタミネーション (CCD 表面に付着している汚れ) に注意

前後の時刻の画像と比べると、同じ場所に見えるので容易にわかる。

6-2 ひので X 線全面画像 (FITS 形式) を使ってマカリに慣れよう

(1) ひので X 線全面画像をマカリで開く。

(2) マカリの基本機能を試してみる

(3) ヘッダー情報を確認する。観測時間、露出時間、フィルターの種類などがわかる。

(4) グラフ機能を使って、X 線画像の特徴を捉える

(5) 水星を探す。対数表示にすると探しやすい。露出時間 4 秒の画像が見つけやすい。

(6) グラフ機能を使って、水星の直径(ピクセル)を測定する []

(7) 画像演算で全体に -1 を掛ける

(8) 位置測定機能を使って、水星の位置(x, y)を測定する

6-3 ひので X 線部分画像 (FITS 形式) で水星の位置を測定する。(図 5)

(1) ひので X 線部分画像をマカリで開く。

(2) 画像演算で全体に-1 を掛ける

(3) 位置測定機能を使って、水星の位置を測定する

(4) google drive 上の共有シート(エクセル)に、(3)で求めた値を直接入力する。

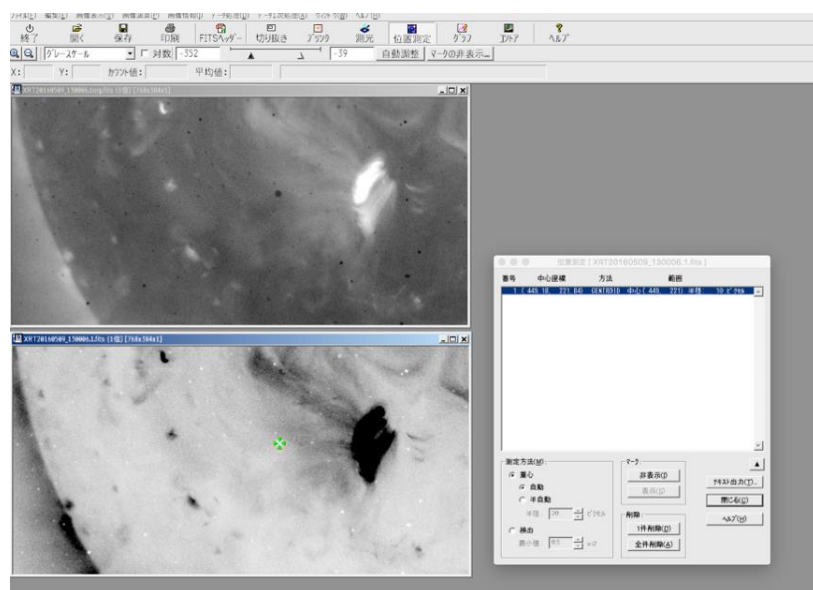
時刻も記入する。時刻はファイル名からわかる。

(5) 以上の作業を分担されたファイルで繰り返す。他人が測定したデータを上書きしないように注意

以下のデータを 34 人で分担して、水星の位置を測定する・

A : ひので X 線部分画像(12-13 時) 12:21:35-13:32:06 133 枚 (A01-A15)

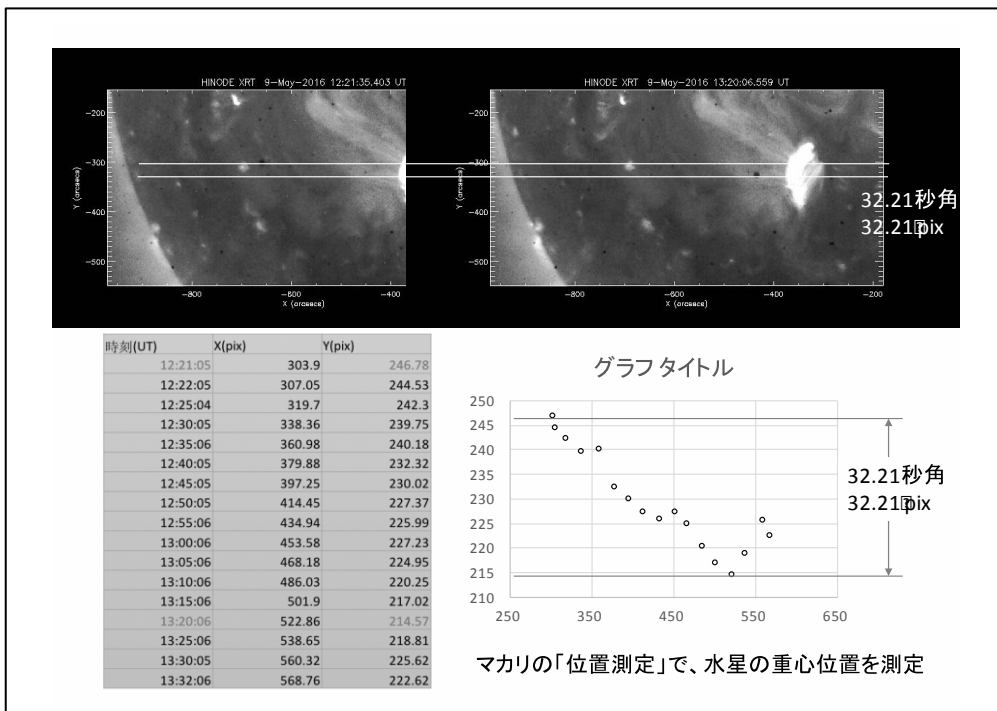
D : ひので X 線部分画像(16-18 時) 16:12:05-18:27:06 173 枚 (D01-D19)



(図 5) マカリを使ったひので画像の表示例

6-4 1 天文単位を求める。

- (1) 縦軸に水星のY座標、横軸に時刻で、グラフを表示する。
- (2) グラフからY座標の極大値と極小値を確認する。
極大値 () 極小値 ()
- (3) (2)の値から、衛星上からの視差を求める ()
XRT では、1 ピクセル=1 秒角である。
- (4) (3)で求めた視差の値を、共有シートに入力すると、1 天文単位の距離が求まる。
1 天文単位= () km



(図6) 12:21:35-13:32:06 の時間帯の観測データを使った実習例

7. ワークショップでの実習結果

このワークショップでは、参加者を2つのグループに分けて、実習を行った。データセットは以下の時間帯で、極大・極小が得られやすい時間帯を用いた。

グループA：ひのでX線部分画像(12-13時) 12:21:35-13:32:06 133枚 (13名)

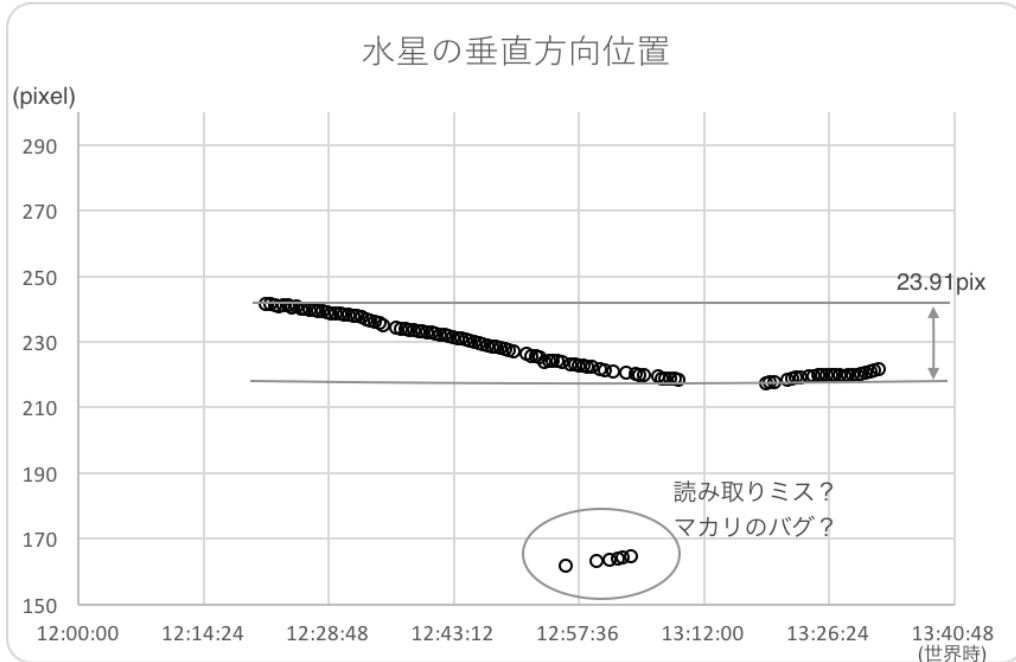
グループD：ひのでX線部分画像(16-18時) 16:12:05-18:27:06 173枚 (15名)

グループAの実習結果が、(図7)である。ひので軌道上からの水星の視差は23.91pixで、1天文単位=2.04億kmという値が得られた。これは実際の値(1.5億km)よりかなり大きい。

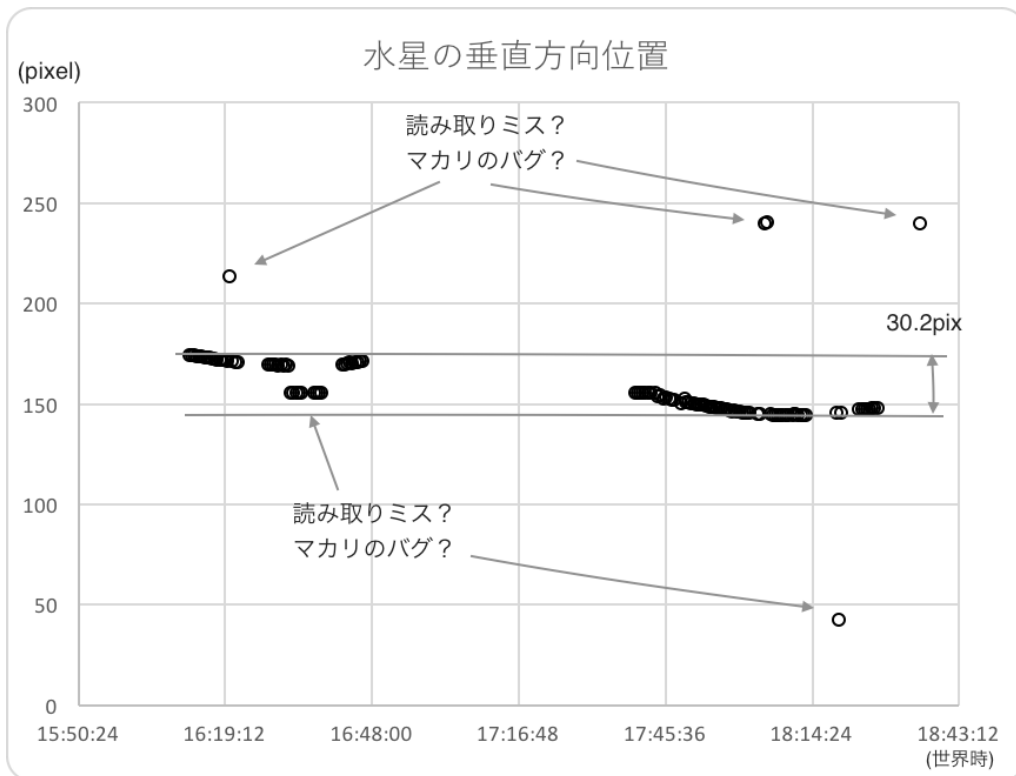
グループDの実習結果は、(図8)である。ひので軌道上からの水星の視差は32.21pixで、1天文単位=1.61億kmという値が得られた。これは実際の値に割と近い。

(図7)(図8)とも、ひのでが極軌道を取ったために、垂直方向の位置が変化したことがわかるが、中には大きく外れたものもある。これは、実習者の読み取りミスかマカリのバグと考えられる。実際、誤って、部分画像ではなく、全面画像を使って測定したものや、

ファイルを読み直すと、それらしい値が出たというものもいた。また、データの割当がうまくいかず、(図7)(図8)の実習結果に反映されないものもあった。



(図7) グループAの実習結果



(図8) グループDの実習結果

8. 参加者のアンケートから

<マカリについて>

- ・ マカリを用いた画像の分析を学ぶことができた。
- ・ Fits ファイルを使った初めての作業になりました。マカリの使い方で、たくさんのファイルの一括処理機能が欲しいと思いました。説明されなかっただけで機能があるのかもしれないですね。これから Fits ファイルを扱うようにしていきたいので、まずはよかったです。
- ・ 大変勉強になりました。共同作業で実習をしながら、マカリのいろいろな機能に慣れていくということが、実際の教育活動でも活用できるのではないかと感じました。水星太陽面通過などの天文現象に触れて、作業をすることで、次にどんな天文現象が起こるだろうかなど、様々な天文現象に興味を持つ効果も期待できると思いました。ありがとうございました。
- ・ 実際に測定されたデータを用いて、マカリの演習をするのはとても興味深く面白かったです。マカリ初心者の私としましては満足のいく内容でした。ありがとうございました。
- ・ なぜか位置測定が、ずれた値を求めているエラーがありました。A09 です。Y=164 あたりのデータです。ポインタは 220 を示すのですが。開き直すと正しくなりました。

<水星太陽面通過について>

- ・ 水星が視差約 30 秒角ということですが、距離的に太陽も無限遠に対して半分程度視差が発生するかと思います。今回は太陽が固定された画像になっているのでしょうか。同じように疑問を持つ方も出るかと思いますので、どこが基準になっているかの情報があると良いように思いました。
- ・ 水星の太陽面上の投影位置を基に仮定と比較的単純な式からそれらしい太陽までの距離が求められることは教育的には興味深い。

<Google Drive について>

- ・ また、全員でデータ処理を分担して結果を共有できたのも大変面白かったです。
- ・ 大量のデータを分担して解析する様子がリアルタイムに見えたのがとても新鮮でした。
- ・ Google drive を用いているので、全体でひとつのことができるのはおもしろいし、とてもやりやすいと感じた。データの読み込み（重くなる）ことを考慮してやらなくていけないので、うまくやるとさらにいいと感じた。
- ・ 全員で同じファイルにアクセスして、リアルタイムで求めていくという作業は新しい試みで楽しかったです。大学の学生実験等に還元できればいいなと思いました。
- ・ オンライン上の共有ファイルを使い、同時並行的に結果をまとめていくというのは、なかなか効率的、自分もいつか試してみたい。
- ・ 全員で共有ファイルにデータを入力し、ひとつの結果が得られるという形式を学校の授業で活かさないかと思いました。ICT 環境が整わないと難しい面もありますが。

<データセットについて>

- ・ 全体のファイル容量が 600MB というのはやはり多すぎる。全面画像は、サンプルとして、少数でよいのでは？

- 全面画像のJPGフォルダは参照されないわりにユーザーを(どちらのフォルダを開いたらよいのか?)と混乱させるので、無くてよいかも。深いフォルダも(ここを開いていくのでよいのか?)と不安にさせる

<実習の感想>

- 大勢で作業したのは楽しいですが、最大と最小しか使わないのでは、ほとんどの計算が無駄になりちょっと残念でした。
- とても興味深い内容でした。全体の流れのうちにおける、各作業の意図がわかりづらいところはありません。
- みんなでの共同作業は、面白いと思いました。日本宇宙少年団など、子供たちにもこのような方法は経験させたいと思いました。ありがとうございます。
- 測定の手間がかかり過ぎ、もっと自動化できるようにならないかと思った。
- WiFi 接続ができなかったので、打ち込んだデータを揚げられませんでした。参加のメールには WiFi 接続の件は書いてなかった気がするのですが。
- もう少し時間をかけてほしかった。
- 1天文単位がうまく出なかったのは残念だった。
-

9. 課題

今回、ひので衛星が観測した水星太陽面通過のデータを使って、1天文単位を求める実習を行った。特に、大量のデータを扱うため、グーグルドキュメントを活用して、データの読み取りを分担することを初めて試みた。試験的意味合いが強かったこともあり、いろいろな課題や改善点が見つかった。

- 実際の位置測定の実習には部分画像を使うところで、誤って全面画像で位置測定をした者もいて、読み取りミスが生じた。また、マカリのバグで誤った値を読む者もあった。このあたりのフォローアップが必要。
- あるデータセットでは、実際の1天文単位の値からかなり外れてしまった。何が原因なのか吟味したい。
- アクセスが集中して、グーグルドキュメントの共有ファイルになかなか入力できないことがあった。サブグループに分けて、アクセスする時間を割り当てるなどの工夫が必要かもしれない。
- 水星の位置測定の精度はどれくらい正しいか。元データに-1をかけるだけで十分か?
- 「結局、最大と最小の値しか使われていなくて残念」という声があり、全データの位置測定を行なう意義付けが必要。最終的には、全データを有効活用して、サインカーブでフィッティングして、視差を求めるといいのでは?
- 水星までの距離(天文単位)が既知であり、ケプラーの第3法則が前提となっている。この意味付けをどうするか?
- グーグルドライブ(グーグルドキュメント)の活用という試みは、興味深く感じた参加者も多く、その目的はある程度達成できた。特に、参加者全体で一つの作業を行なうという方法を提案した意義は大きい。

10. まとめ

太陽観測衛星が観測した、水星太陽面通過の観測データを用いて、太陽-地球間の距離(1天文単位)を求める方法が以前から知られている。今回、2016年5月9日に水星太陽面通過が起こっており、太陽観測衛星ひのでで観測されている。そこで、この観測データを使った、1天文単位を求める実習課題を提案し、天体画像利用ワークショップで実践した。特に、大量のデータを処理するために、グーグルドライブ上のエクセルファイルにアクセスすることを試みた。アクセスの集中や、画像データの位置測定の精度など、いろいろ課題が発見できた。また、グーグルドライブを活用して、全員で一つの結果を導き出すという手法は関心を呼んだ。今後は、今回の課題を改善して、再度、この実習課題の実践を行っていききたい。

<参考資料>

太陽観測衛星ひのでのホームページ <http://hinode.nao.ac.jp>

ひので X線望遠鏡画像

http://solar.physics.montana.edu/HINODE/XRT/SCIA/latest_month.html

「ひので」衛星が見た水星の太陽面通過

<http://hinode.nao.ac.jp/news/topics/post-29/>

JAXA/ISAS の DARTS (衛星データベース)

<http://www.darts.isas.jaxa.jp/solar/hinode/>

「水星と金星の太陽面通過による 1天文単位の測定教材開発」大西浩次(長野工業高等専門学校)

<http://paofits.nao.ac.jp/naoWS04/1AU.pdf>