

## 第2回インターネット望遠鏡プロジェクト・シンポジウム

主催 慶應義塾大学自然科学研究教育センター

いつでも、どこでも、だれでも、天体観測  
—インターネット望遠鏡ネットワークの魅力—

報告書

## 趣旨

「我慶應義塾に於いて初学を導くに専ら物理学を以ってして、恰も諸課の予備となす・・・」(福澤諭吉:時事新報 1882 年)は、慶應義塾がその教育の基本理念として自然科学教育重視を宣言したのですが、理系・文系を問わず現代の高度に科学・技術が発展した社会を生きるものにとって、自然科学(理科)に関する基礎的な素養を持つことの重要性は、慶應義塾の枠を超えて国内・国外における教育の基本理念として普遍的な意味を持っています。

慶應義塾大学では「実験と観測を重視した自然科学教育」を 60 年以上の長年にわたって実践していますが、その底流には自然科学の研究・教育の両面において実験および観測の果たす役割の重要性についての基本的な認識があります。

小・中・高校の教育においても、実験と観測を重視した自然科学(理科)教育が、大学におけると同様に、あるいはそれ以上に重要であることは言うまでもありません。特に、天文現象は、その観測に人類が古くから取組んできた課題であり、自然科学(理科)の生みの母ともいえる分野であるだけでなく、老若男女を問わず多くの人々が興味を抱く分野でもあります。その意味で、小・中・高校から大学における自然科学(理科)教育の現場で、実験と観測を重視した天文教育を行うことの意義は計り知れないものがあるといえます。

その一方で、太陽を除く天体の観測が夜間に限られること、天体観測は観測当日の天候に左右されること、市街地では夜間の照明の影響で天体観測が困難であること、望遠鏡を操作できる指導者が少なくなっていることなどの理由により、実際に観測を伴う天文教育を実践することが難しくなっているのが現状です。

慶應義塾大学では、2003 年「インターネット望遠鏡プロジェクト」を立ち上げ、観測を伴う天文教育実践の妨げとなっているこれらのハードルを低くすることによって、「観測を重視した天文教育」を実践できる環境造りに取り組んでいます。詳細はシンポジウムでの講演に譲りますが、その概要は「国内外の数箇所にインターネット経由で操作可能な望遠鏡を設置し、それを一つのネットワークで結ぶことによって、経度の違い(時差)を利用して**‘24時間何時でも’**、**‘国内外の何処からでも’**、**‘望遠鏡の初心者を含めて誰でも’**天体観測可能な環境を整備し、そのネットワークを無料で開放することです。

2003 年のプロジェクト立ち上げ以来、慶應義塾の枠を超えて他の大学・高校・小学校教員の方々への参加・協力を得て、プロジェクトの目的実現に向かって多くの成果を挙げてきました。2009 年にはプロジェクトとして第 1 回シンポジウムを持ちましたが、第 2 回目の今回のシンポジウムはその後の研究および教育実践について発表し、今後の取り組みの課題について議論することを目的としています。

# 「いつでも、どこでも、だれでも、天体観測」 —インターネット望遠鏡ネットワークの魅力—

## Program

開会の挨拶 9:30~9:35

早見 均氏 (慶應義塾大学 プロジェクト代表)

第1部 9:35~10:30

講演「いつでも、どこでも、だれでも、天体観測」

山本 裕樹氏 (東北公益文科大学)

第2部 10:30~12:45 インターネット望遠鏡プロジェクトの研究と教育実践の成果発表

開閉式ドーム開発—インターネット望遠鏡のバージョンアップ—

高橋 由昭氏 (五藤光学研究所)

インターネット望遠鏡を利用したアウトリーチ活動

上田 晴彦氏 (秋田大学)

文系学生によるガリレオ衛星観測—防衛大学校の試み—

迫田 誠治氏 (防衛大学校)

ガリレオ衛星の観測データ解析ソフト開発

吉田 宏氏 (福島県立医大)

山形県立鶴岡南高校におけるインターネット望遠鏡を利用した教育実践

山本 裕樹氏 (東北公益文科大学)

インターネット望遠鏡を用いた天体観測のいろいろな例

近藤 弘之氏 (五藤光学研究所)

小学校におけるインターネット望遠鏡を利用した学習

松本 榮次氏 (西宮市立上ヶ原南小学校 代読)

閉会の挨拶 12:45~12:50

五藤 信隆氏 (五藤光学研究所)



2012年 **3**月**5**日(月) 9:30~12:50

慶應義塾大学日吉キャンパス 来往舎1階シンポジウムスペース

参加費：無料 (会場の都合上、塾外の方は事前申し込みをお願いします)

主催：慶應義塾大学 自然科学研究教育センター

## 講演者プロフィール

---

**山本 裕樹** 東北公益文科大学 公益学部 講師  
九州大学理学部物理学科卒  
同大学大学院理学研究科基礎粒子系科学専攻博士課程修了  
博士（理学）。慶應義塾大学商学部助手（有期，非常勤）を経て現職  
専門は素粒子物理学

### 講演要旨

## 「いつでも、どこでも、だれでも、天体観測」

インターネット望遠鏡とは、遠隔地に設置された望遠鏡をインターネット経由でコントロールし、星、惑星、銀河、その他の天体を観測するための装置とシステムのことです。慶應義塾大学インターネット望遠鏡プロジェクトでは、五藤光学研究所と共同で、2003年1月からインターネット望遠鏡の開発を進め、同年11月より運用を開始しました。現在では、東京都府中市、ニューヨーク（アメリカ）、メラーテ（イタリア）の三カ所に設置されています。インターネット望遠鏡の特徴を表すキーワードは、「いつでも、どこでも、だれでも、天体観測」です。「いつでも」たとえ昼間であっても時差を利用して夜空の観測ができます。「どこでも」インターネットに接続されたPCさえあれば、利用できます。「だれでも」無料で利用でき、ブラウザで簡単に操作できます。学校における天文教育では、昼間の授業時間には夜空の天体を観測できない、教員が望遠鏡の扱い方をよく知らないなどの障害があり、実際の天体観測を通じた教育はあまり行われていませんが、インターネット望遠鏡はこれらの問題を解消してくれます。この講演では、インターネット望遠鏡の魅力を、天体観測の実演を行いながら紹介します。また、インターネット望遠鏡が、学校の天文教育にどのように役立てられるかを紹介します。

## 発表者プロフィール

---

**高橋 由昭** 株式会社 五藤光学研究所 嘱託  
秋田県立横手工業高等学校機械科卒  
株式会社 五藤光学研究所 勤務・定年を経て現職  
専門領域 プラネタリウム設計

**上田 晴彦** 秋田大学 教授 教育文化学部 環境情報講座  
京都大学工学部卒、広島大学大学院理学研究科物理学専攻博士課程修了  
博士（理学）。秋田大学講師、助教授を経て現職  
専門領域 宇宙論・銀河力学・情報教育

**迫田 誠治** 防衛大学校応用科学群応用物理学科講師  
九州大学理学部物理学科卒。同大学大学院理学研究科物理学専攻博士課程修了  
博士（理学）。慶應義塾大学商学部助手などを経て現職  
専門領域 素粒子論

**吉田 宏** 福島県立医科大学医学部自然科学講座（物理学）准教授  
筑波大学第一学群自然科学類卒。同大学大学院博士課程物理学研究科単位取得退学  
理学博士。福島県立医科大学物理学講座助手、助教授等を経て現職  
専門領域 重力レンズ・素粒子論

**近藤 弘之** 株式会社 五藤光学研究所  
東京工芸大学写真工学科卒  
株式会社 五藤光学研究所勤務・新潟県立自然科学館勤務を含む  
専門領域 天体写真・光学

**松本 榮次** 西宮市立上ヶ原南小学校  
兵庫教育大学大学院修士課程修了、現在 兵庫教育大学連合大学院学校教育学研究科在学中  
専門領域 天文教育  
主な著書 「自然環境学習」明治図書（共著）「外国の天文台を活用した天文を題材とする総合的な学習の研究：ハワイ Ironwood 天文台を活用して」『理科教育学研究』

# いつでも、どこでも、だれでも、 天体観測

東北公益文科大学  
山本 裕樹

2012年3月5日  
第2回慶應義塾大学インターネット望遠鏡シンポジウム

## 講演内容

- インターネット望遠鏡とは
- インターネット望遠鏡の装置
- 観測例
- インターネット望遠鏡と天文教育
- 最後に

## インターネット望遠鏡とは

## インターネット望遠鏡とは

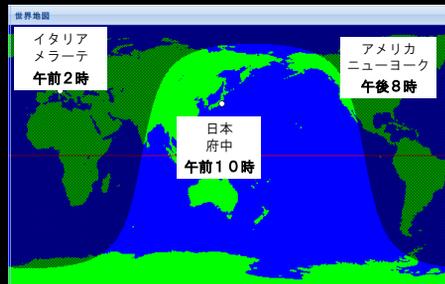
- 遠隔地に設置した望遠鏡をインターネットを通じて操作し、天体観測を行うための装置一式とシステム
- 観測を重視した天文教育の環境作りのためのツール
- 五藤光学研究所との共同開発

<http://arcadia.koeki-u.ac.jp/itp/>

## 履歴

- 2003年1月 インターネット望遠鏡プロジェクト発足
- 2003年11月 五藤光学研究所（府中市）に望遠鏡を設置し試験運用開始
- 2004年8月 五藤光学研究所設置の望遠鏡を本格運用開始（1号機）
- 2004年9月 慶應義塾NY学院（アメリカ・NY）に望遠鏡を設置（2号機）
- 2005年9月 一般に公開
- 2009年6月 プレラ天文台（イタリア・メラーテ）に望遠鏡を設置（3号機）
- 2009年10月 操作インターフェースの変更
- 2011年11月 五藤光学研究所設置の望遠鏡をドーム開閉式に改良

## いつでも



時差を利用していつでも天体観測が可能  
天候の良いところを選べる

## どこでも

望遠鏡設置地点

日本

インターネットが利用できれば**どこでも**天体観測が可能

7

## だれでも

ブラウザ上のログイン画面

だれでも無料で利用可能  
ブラウザでアクセスでき、特別なソフトウェアは必要ありません

8

## インターネット望遠鏡の装置

9

## インターネット望遠鏡の装置

- 光学望遠鏡
- モノクロCCDカメラ（サブ、メインスコープ）
- カラーCCDカメラ（広角スコープ）
- 望遠鏡コントロール用PC
- 画像配信用PC
- UPS（無停電電源装置）
- 筐体

11

## 望遠鏡の種類

広角スコープ	星座
サブスコープ	恒星、惑星、衛星、星雲、星団、銀河
メインスコープ	恒星、惑星、月面

12

## 望遠鏡装置の格納方式

- ガラスドーム方式（NY、以前の府中）
  - 上面をガラスで覆った筐体内に望遠鏡装置を格納
  - 全天候型で、曇りでも観測できることが多い
  - ガラスを通しての観測になるため、星像がはつきりしないという欠点あり（メインスコープで顕著）
- ルーフ開閉方式（府中、メラーテ）
  - ルーフがついた筐体内に望遠鏡装置を格納
  - 観測可能な天候であれば自動的にルーフが開く
  - 雲センサーにより観測可能か判断

13

## ユーザーの利用

- ブラウザでホームページにアクセスし、観測地を選んでログイン
- ブラウザとメディアプレイヤー以外の特別なソフトウェアは必要ありません
- 1回の利用時間は30分
- 1カ所にログインできるのは1人のみですが、他の人が観覧することは可能
- 登録すれば時間予約も可能（教育利用のみ）

14

## 操作インターフェース

The screenshot shows a web-based interface for telescope observation. It features several panels and controls:

- スライド** (Slide): A control for switching observation images every 4 seconds.
- 星図** (Star Chart): A panel for simulating the position of stars.
- ステータス** (Status): A panel displaying the status of the telescope, including pointing position.
- セレクト** (Select): A control for switching the observation scope.
- コントロール** (Control): A panel for adjusting camera brightness and other settings.
- 動画** (Video): A panel for displaying observation images as a video stream.

15

## トレーニングモード

- 望遠鏡操作の練習を行うためのモード
- 一度に3、4人程度なら同時に使用可能
- 講習会などで役立ちます



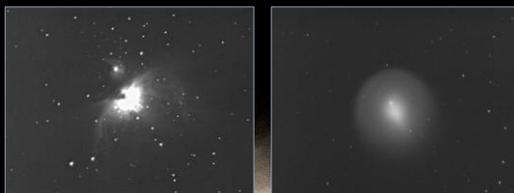
16

## 観測例



17

## サブスコープによる観測



M42 オリオン大星雲 (NY)

ホームズ彗星 (NY)

18

## メインスコープによる観測



木星 (府中)

月面 (府中)

19

## 皆既月食（2011年12月10日）

- 五藤光学社屋上のインターネット望遠鏡にて観測
- 操作は山形県酒田市より（当日現地は雨）



20

## インターネット望遠鏡と 天文教育

21

## 天文教育における利点

- 自分で観測してデータがとれます
- 望遠鏡を準備する必要がありません
- 望遠鏡を触ったことがない人でも容易に操作できます
- インターネットが使えれば観測する場所を問いません
- 登録すれば時間予約が可能
- 観測画像の取得が容易
- 観測画像上で分離角の測定が容易
- 長期間の定点観測が行えます

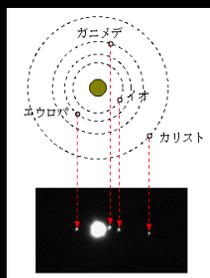
22

## インターネット望遠鏡を利用した 天文教育カリキュラムの例

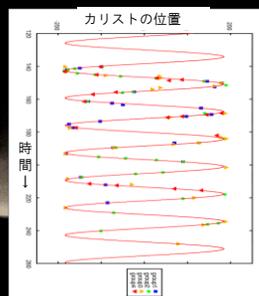
- 木星や土星の衛星の観測によるケプラーの第三法則の検証
- 月面のクレーターの高さの測定
- 天体の光度測定
- etc

23

## 木星の衛星の観測によるケプラー の第三法則の検証



サブスコープの画像



24

## 最後に

- インターネット望遠鏡はだれでも自由に使うことができます
- 天文教育にどんどん活用してください
- 活用アイデアも募集中
- 利用した方はゲスト掲示板に感想を書いてください

<http://arcadia.koeki-u.ac.jp/itp/>

25

## 開閉式ドーム開発

インターネット望遠鏡のバージョンアップ

2012年3月5日

第2回 インターネット望遠鏡プロジェクト・シンポジウム

(株)五藤光学研究所 高橋由昭

## 1. ドーム第一世代

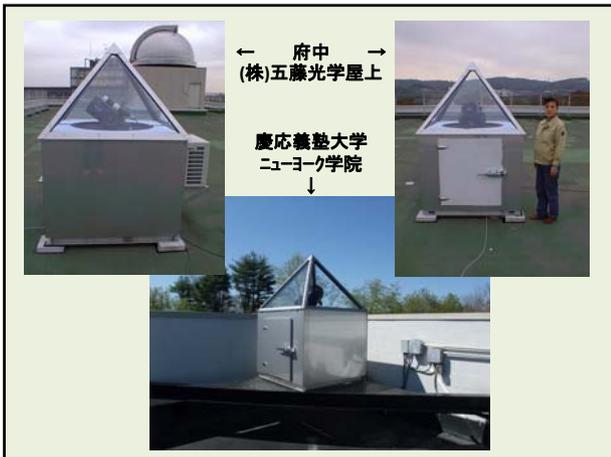
- 密閉ガラス張りピラミッド型ドーム

【長所】

- ①密閉型なのでドーム内の空調ができ、望遠鏡や電子機器が天候の影響を受けない
- ②可動部分が無く安全なため、無人化に最適

【短所】

- ①星像がガラスの収差の影響を受ける
- ②ガラスを全天シームレスにできないため、構造物により視界が遮られる



## 2. 一般的な天文ドーム

回転ドーム



スライディングルーフ



ハケ岳ロイヤルホテル  
インターネット天文台

## 3. インターネット天文台事例



・スライディングルーフ式  
宮城教育大学  
月光天文台  
津山インターネット天文台



## 4. 各社インターネット対応製品

・電動スライディング  
・クラムシェルタイプ ルーフ



・電動回転ルーフ



## 5. ブレラ天文台(メラーテ観測所)

- 既存スライディングルーフ改造



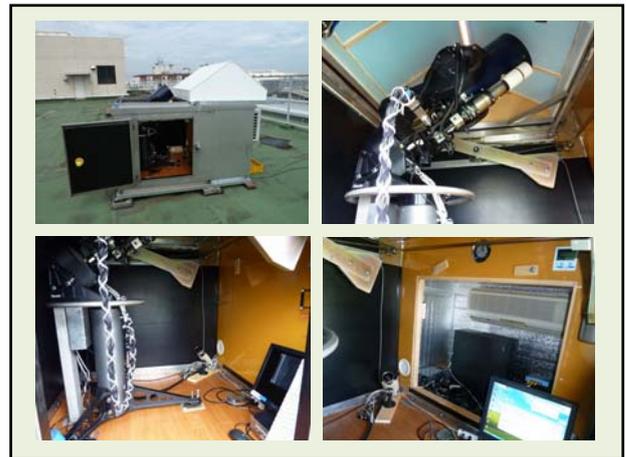
## 6. 新開発開閉式ドーム

### 【開発目標】

- 良好な視界が確保できる
- 簡単な構造である
- 空調ができる
- 風雨対策が施される
- 既存建屋に設置可能

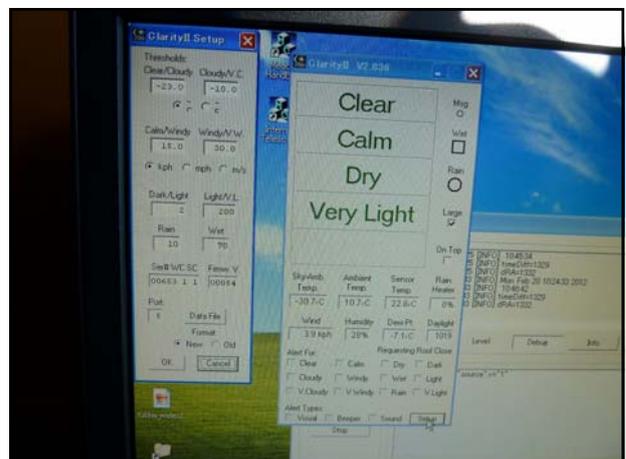
### 【結論】

インターネット望遠鏡に最適な開閉式ドームを開発する！！



## 7. 気象センサー

- 雨センサー  
⇒ 漏水センサー(電極感知式)
- 雲センサー「Clarity II」の採用  
⇒ 雲量(上空気温)  
⇒ 風速(Km/h)  
⇒ 照度(周囲Lux)  
⇒ 雨感知(雨滴数)  
⇒ 湿度(%)



## 8. その他の設備

- 望遠鏡状態監視WEBカメラ
- 赤経・赤緯目盛確認WEBカメラ
- 天候監視広角カメラ

## 9. 運用結果

### ☆星像がクリアになった

- 風雨による浸水が防止できている
- 良好な建屋内環境(エアコンバイパス)
- 規定雲量(※)により停止
- 日中は停止
- 未経験事項
  - ⇒突発的な雨による機材への影響
  - ⇒雪氷凍結による停止
  - ⇒ルーフが飛ばされるような強風



## 10. 今後の課題

- 標準建屋の開発
- 標準軽量ルーフの開発
- ユニット化とコスト低減
- 特許出願中
- 製品化に向けての広報活動

※注)2~4項の画像は①~⑥のWEBサイトから利用させていただきました。

### 2. 一般的な天文ドーム

- ①「回転ドーム」「スライディングルーフ」
- ②ハケ岳ローヤルホテル:インターネット天文台
- 3. インターネット天文台事例:スライディングルーフ式
- ③左上 ①右上 ④右下
- 4. 各社インターネット対応製品
- ①シェルタイプ ⑤電動スライディングルーフ ⑥電動回転ルーフ

### ①アストロ光学工業株式会社

<http://www.7a.biglobe.ne.jp/~astro-opt/>

### ②アストロアーツ天文ニュース

<http://www.astroarts.co.jp/news/2001/03/06hotel/index-j.shtml>

### ③宮城教育大学・星空観察ネットの広場

<http://www.hozizora.miyakyo-u.ac.jp/telescope/index.html>

### ④津山インターネット天文台の実現に向けて

<http://ph1.ed.hiroshima-u.ac.jp/pesj-cs/shibukai2009/Hp2-3.pdf#search=津山インターネット天文台>

### ⑤K-ASTECブログ:今日のデスクから

<http://astec.typepad.jp/blog/2012/01/my-entry-3.html>

### ⑥ニッシンドーム

[http://www.nisshindome.com/n\\_index.html](http://www.nisshindome.com/n_index.html)

ご清聴ありがとうございました！！

# インターネット望遠鏡を利用したアウトリーチ活動

第2回インターネット望遠鏡プロジェクト  
シンポジウム  
2012年3月5日 慶應義塾大学日吉キャンパス

上田晴彦(秋田大学 教育文化学部)

## なぜアウトリーチ活動なのか？

### 提言型政策仕分け (行政刷新会議)

世界に通用するのか？

数が多すぎるのではないかと？

人材を育てられているのか？

資格講座

どのように改革すべきなのか？

大学改組

## 大学改革と地域密着

### 市民活動の支援

秋田大学天文ボランティア主催  
のサイエンスカフェに対する支援 ⇒①

### 地元小・中学校に対する訪問授業

科学的な思考を促す理科授業 ⇒②

慶應義塾大学インターネット望遠鏡の可能性を、①、②  
の具体例を通して考える

+ 今後のプロジェクトへの期待 ⇒③

## 1 天文サイエンスカフェでの活用

昨年度に、秋田大学天文ボランティアが発足

⇒ 秋田大学・秋田駅前などで、サイエンス・カフェ  
を実施。



通常イメージされる  
サイエンスカフェ

天文サイエンスカフェ  
(天文ボランティア)



科学者は一市民として参加

情報機器を積極的に利用することで、より有意義な  
サイエンスコミュニケーションを促進したい！！

⇒ インターネット望遠鏡の可能性

## 第10回天文サイエンスカフェ (2月11日実施)

インターネット望遠鏡  
～ニューヨークの夜空を見よう～

⇒ 学生たちが主体的に実施

### 内容

・インターネット望遠鏡でニューヨークの夜空を見る  
(慶應義塾大学インターネット望遠鏡の紹介)

・デジタル紙芝居、天体写真の撮り方

### 当日観望した天体

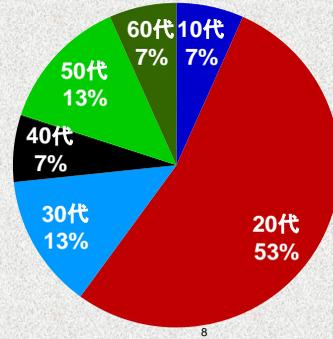
月 ⇒ 火星 ⇒ オリオン大星雲 ⇒ シリウス

・各天体について、学生たちが説明を加えながら観望  
(科学的な話題+文化的な話題)

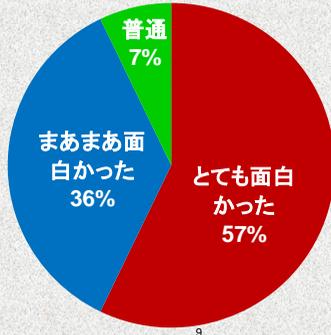
・部屋を暗くして、  
スライドを併用  
した観望



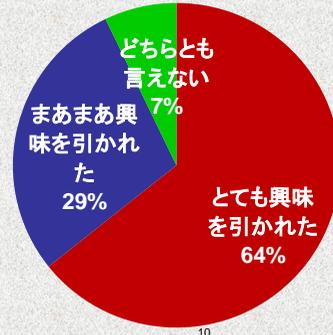
### 年齢構成



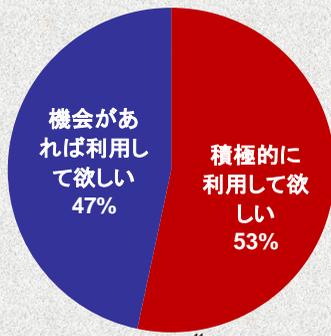
### 面白かった？



### どれぐらい興味を引かれた？



### 情報機器の利用について



## 2 出前授業での活用

『学力日本一の秋田県』を担う教員養成の再構築

「科学的な思考を促す出前・訪問授業の継続実施と  
学部学生・大学院生の教科指導力の強化」  
(秋田大学教育文化学部の学部戦略事業)

⇒ 小学校(高学年)・中学生を対象とし、出前授業  
30件、訪問授業2件を実施予定！！

### 新学習指導要領

数学(算数)・理科を中心に教授内容の増大  
+ 英語教育の開始(小学校)

理科：教科書がかなり分厚くなった！！

⇒ まますます観察・実験が重視されるように！！

情報機器を利用することで、観察・実験の難しい単元の  
学習支援が出来ないか？

⇒ インターネット望遠鏡の可能性

### 能代東中学校における出前授業（1月24日実施）

#### 実施メニュー

・ニューヨークの星空観望  
(木星・オリオン大星雲・プレアデス星団など)

⇒ トレーニングモードで実施

・月までの距離を測る

⇒ その原理を説明 + 実際に距離を求める

14

### 1) 月食を利用する方法

月食の際の、地球の影と月の相対的な大きさを調べる

⇒ 月の直径を求める（地球直径の1/3倍程度）

月の見かけの大きさ

⇒ 月までの距離が分かる

註)より詳しい解析では、月の  
直径は地球の約1/4倍

15

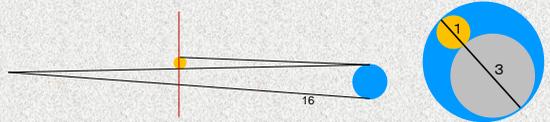
### 理由

太陽・月の見かけの大きさが両者とも $0.5^\circ$

⇒ 地球の作る本影は頂角 $0.5^\circ$ の二等辺三角形

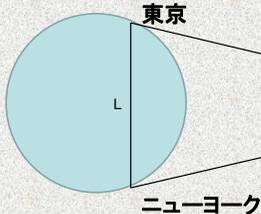
また月を見込む際も、頂角 $0.5^\circ$ の二等辺三角形

⇒ 地球の直径 = 本影の直径 + 月の直径

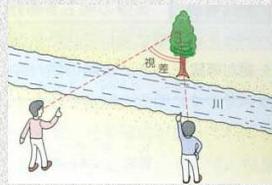


### 2) 視差を利用する方法

三角測量を利用



17



インターネット望遠鏡

Select Language

ログイン 予約 トレーニング 文書

世界地図

ログイン方法

観望したい場所の丸いアイコンをクリックしてください。  
アイコンの意味は以下の通りです。  
O: 利用可能 / ●: 利用中 / ●: 予約中 / ●: 利用不可(休止中) / ●: 利用不可(休止中)

ご意見は[掲示板](#)にどうぞ。

## 授業実践の概要

1) 府中〜ニューヨーク間の、地球表面に沿った距離を求める。

インターネット上には、  
2地点間の距離を求めることができるサイトが無料で公開されている。



[http://www.benricho.org/map\\_straightdistance/](http://www.benricho.org/map_straightdistance/)

19

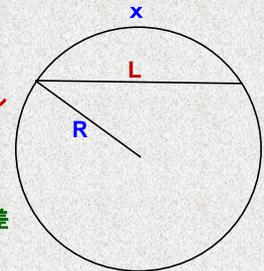
2) 地球の半径から、府中とニューヨーク間の直線距離を求める。(高校レベル)

xとRからLを求める

ダウンロードしたファイルで、自動計算

3) インターネット望遠鏡を利用して、月の視差を測定

⇒ 1.475°



20

23

	A	B	C	D	E
1	府中〜ニューヨーク間の地表距離	地球半径	府中〜ニューヨーク間の直線距離	月の視差	月までの距離
2		108711	6378.137	9602.170964	1.47
3					374450.967

エクセルのファイルを用意

⇒ 数値を打ち込むと自動計算してくれるようにあらかじめ設定

⇒ 月までの距離が求まる！！

22

## 3 今後のプロジェクトへの期待 — 世界への情報発信 —

インターネット望遠鏡プロジェクトの成果

⇒ ハードウェアの整備はかなり進んだ

授業・その他での活用のノウハウ

⇒ 不十分ではあるが、徐々に蓄積されつつある  
(多数の人に参加してもらう必要あり！！)

私見ですが、最も不足しているのは広報  
(インターネット望遠鏡を広めようとする努力が不足)

1) 様々な場面での、インターネット望遠鏡の利用

⇒ サイエンスアゴラ、被災地でのイベント

皆さんと一緒に  
手分けして実施  
したい！！



手始めに、私が動きます

25

2) 国内外の研究会・学会で成果発表+書籍化

⇒ 本日のシンポジウムをまとめて、IAUで発表

+ 書籍化 (+ ジャーナルへ投稿)

26

3) 外部資金の獲得

⇒ 科学研究費(10月?)や民間助成団体への申請

27

ITPの課題

サイエンス・アゴラ  
被災地でのイベント

利用実践の  
積み重ね

IAU(北京)・論文化  
+ 書籍化

世界への情報発信

外部資金の獲得

グループで科研費  
などに申請

28

# 文系学生による ガリレオ衛星の観測

防衛大学校 迫田誠治

## 文系学生の物理教育

- 対象学生は殆ど物理の素養がない
- 数学の知識も期待できない
- 半期15回の講義で力学の基礎
- 電磁気等の分野は別科目

## 講義中心でも実験は重要

- 振り子の長さとの関係
- LCR回路を用いた減衰振動の観察
- 惑星の軌道長半径と公転周期からケプラーの法則を確認 (実験は無理)

## ケプラーの法則 (従来)

### 太陽系の惑星

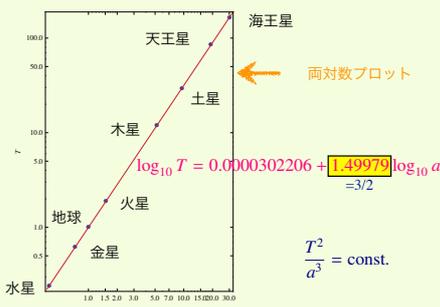
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E7%B3%BB>

惑星	軌道長半径(AU)	公転周期(year)
水星	0.38710	0.241
金星	0.72333	0.615
地球	1.00	1.000
火星	1.52366	1.881
木星	5.20336	11.86
土星	9.53707	29.46
天王星	19.19138	84.01
海王星	30.06896	164.79

1 AU = 149,597,870 km = 太陽と地球の距離

## ケプラーの法則 (従来)

### 周期と長半径の関係



## インターネット望遠鏡の可能性

- ガリレオ衛星の木星に対する位置の時間的変化を観測できる
- 3週間程度の観測で全部の衛星が周期的な運動をすることが確認できる
- 太陽系の場合の太陽を木星に置き換えたケプラーの法則を確認できる

## 準備を要する内容

- 木星の観測に適した時期を知っておく必要がある
- 地球から見たときに衛星がどのような動きをするのか事前に説明が必要
- 地球と木星との距離は別途与えるしか無い
- 望遠鏡をどの程度利用させてよいか検討が必要

## 観測データを共有する仕組み

- 校内ネットワークを利用してデータを共有
- データベースサーバに観測グループごとのテーブルを作成
- 観測日時を入力すればそのときの地球・木星間の距離を自動的に挿入
- データは任意のタイミングでエクセルに出力可能

## データ解析の実習

- プロジェクトメンバーによる過去の観測記録をデータベースに登録
- モデルによるデータの最適化を最小二乗法で行う
- 各衛星の軌道半径と周期を決定
- 解析処理はサーバ上で行う
- エクセルに出力して学生の課題にすることも

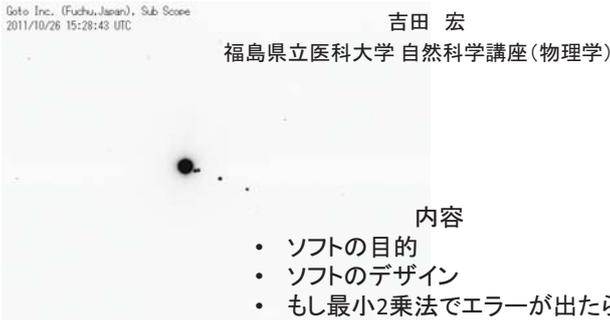
## 観測データの解析

- 自身で取得したデータを対象に解析を行う
- 4つの衛星について決定した軌道半径と公転周期の関係をプロット
- 木星版ケプラーの法則を確認
- 木星の質量の推定

## まとめ

- インターネット望遠鏡を利用することで学生の空き時間に天体観測が可能
- ガリレオ衛星の観測からケプラーの法則を実験的に確認できる
- 講義の開講時期や進捗状況と観測に適した時期が噛み合わない場合の対応策が必要
- データを共有する仕組みを提供することで年度を超えてデータの蓄積が可能になる
- サーバ側に説明資料を充実させることにより独立した教材となる可能性も考えられる

# ガリレオ衛星 解析ソフトの開発



# ソフトの目的

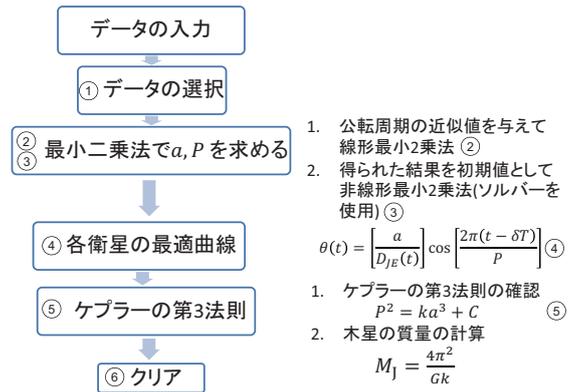
ガリレオ衛星の測定データ(時刻  $t_i$  と離角  $\theta_i$ )を入力するだけで

- ①各衛星の軌道半径  $a$ , 公転周期  $P$  を求め、
- ②ケプラーの第3法則  $P^2 = ka^3$  を確認し、
- ③木星の質量  $M_J = \frac{4\pi^2}{Gk}$  を求める。

# エクセルを使うメリット・デメリット

- エクセルを扱うメリット
  - エクセルは多くの人が入力しているアプリケーション
  - C言語等でプログラミングすると、GUIの扱いが大変
  - 個人的にはCUIのプログラムでデータを解析し、グラフソフトを使って可視化するほうが好み。だけど・・・, 誰も使わない
- エクセルを扱うデメリット
  - 非線形最小2乗法のマクロを組むのが大変
  - ⇒ ソルバーが解決してくれる!

# このツールのデザイン



# ユーザのすること

## 測定データの入力

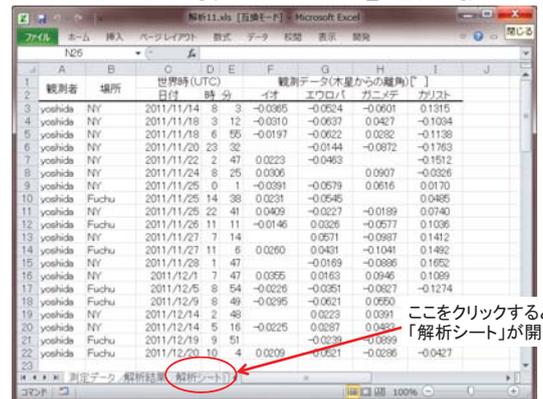
### 「測定データ」シート

観測者	場所	世界時(UTC)		観測データ(木星からの離角) [°]			
		日付	時 分	イオ	エウロパ	ガニメデ	カリスト
yoshida	NY	2011/11/14	8 3	-0.0365	-0.0524	-0.0601	0.1315
yoshida	NY	2011/11/18	3 12	-0.0310	-0.0637	0.0427	-0.1034
yoshida	NY	2011/11/18	6 55	-0.0197	-0.0622	0.0282	-0.1138
yoshida	NY	2011/11/20	23 32	-0.0144	-0.0872	-0.1763	
yoshida	NY	2011/11/22	2 47	0.0223	-0.0463		-0.1512

観測者と観測場所 (オプション)      時間  $t_i$  (必須)      木星からの離角  $\theta_i$  (必須)

あとは、データを選択して、クリックするだけ

# まずは「解析シート」を選択



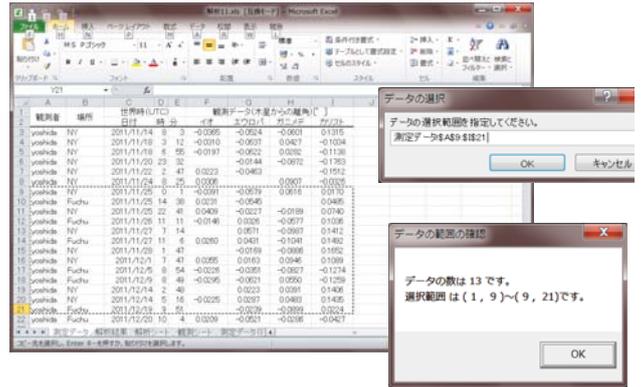
# ① データの選択



1. ここをクリックすると「データの選択」窓が開く
2. 測定データが入力されているシート(「測定データ」)のタブをクリック

7

# マウスでデータを選択



8



次に「②最小2乗法1」をクリックする...

9

# 最小2乗法1

周期の近似値を与えて線形最小2乗法

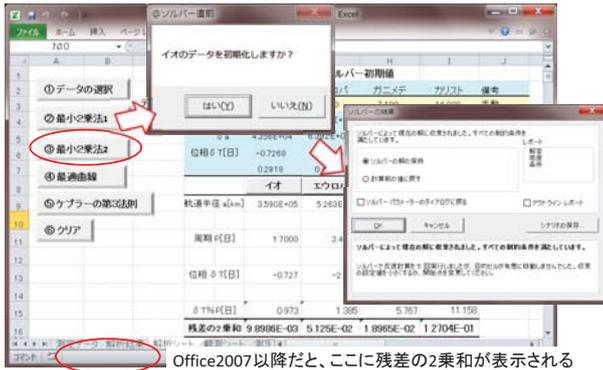


線形の結果を非線形の初期値にセット

10

# ③最小2乗法2をクリック

周期の近似値を与えて線形最小2乗法



Office2007以降だと、ここに残差の2乗和が表示される

11

# ④最適曲線



各衛星名のグラフシートができる。「イオ」を選択

12

## ⑤ケプラーの第3法則

「解析シート」の ⑤ケプラーの第3法則 をクリックすると「解析結果」シートに移動し、線形最小2乗法の結果と木星の質量を表示する

ガリレオ衛星のデータ								
イオ	ユーロパ	ガニメデ	カリスト					
半長 [km]	周期 [日]	半長 [km]	周期 [日]	半長 [km]	周期 [日]	半長 [km]	周期 [日]	
天文定数	4.218E+05	1.769	6.711E+05	3.951	1.070E+06	7.195	1.892E+06	16.699
測定	4.246E+05	1.764	6.732E+05	3.948	1.0821E+06	7.198	1.896E+06	16.669
誤差	1.142E+04	0.001	1.209E+04	0.003	7.896E+03	0.007	1.283E+04	0.028

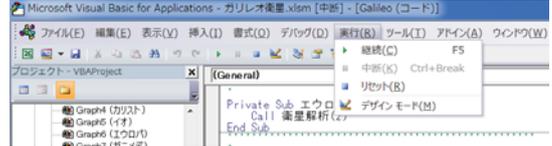
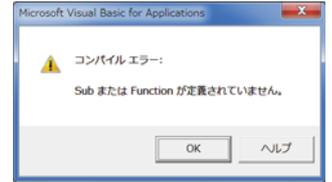
  

ケプラーの第3法則 $P^2 = ka^3 + C$				木星の質量	
$k$	$\delta k$	$C$	$\delta C$	$M_J$	$\delta M_J$
理論	3.1173E-16	-	0	-	1.8987E+27
測定	3.0035E-16	2.5421E-18	8.2549E+07	2.8343E+08	1.9706E+27

13

## ③ 最小2乗法2 を押したらエラー？

③ 最小2乗法2 を押して、右のようなエラーが出たら、下図のメニューバーの「実行(R)」→「リセット(R)」を選択します。

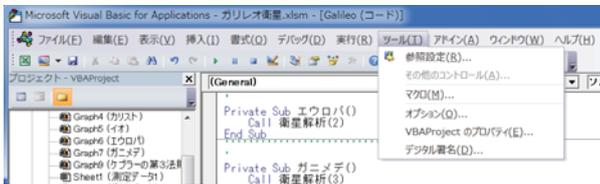


次に、「マクロでソルバーを使うために」を参考に、ライブラリの設定をします。

14

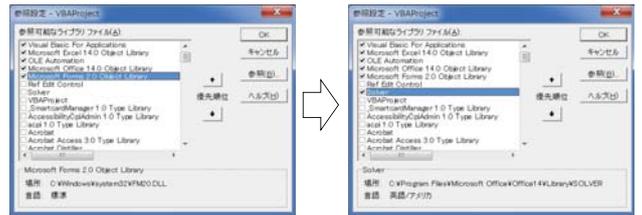
## マクロでソルバーを使うために

このファイルを実行するためには、エクセル内のマクロでソルバーのライブラリを参照可能とする設定をしなければなりません。まず、「Alt」キーを押しながら「F11」を押し、下図のように現れた「Microsoft Visual Basic for Applications」のメニューバーの「ツール(T)」→「参照設定(R)...」を選択します。



15

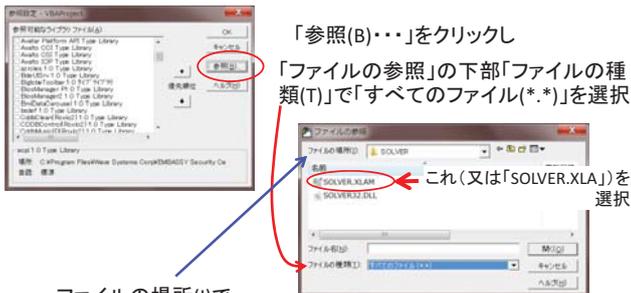
「参照設定」の窓の「参照可能なライブラリファイル(A)」の中の Solver にチェックを入れます。



「OK」をクリックして「Microsoft Visual Basic for Application」を閉じます (Altキー+QでもOK)。

16

## 参照設定の中に「solver」がないときは



ファイルの場所(I)で  
c:\Program Files\Microsoft Office\OfficeAA\Library\SOLVER  
を選択。AAはバージョン番号  
Office2003→AA=11, Office2007→AA=12, Office2010→AA=14

17

## まとめ

- エクセル上で、ガリレオ衛星の測定データを解析するマクロを作成した
- 生徒や学生が、難しいこと(理論)は取りあえずスルーして、「自分で測定したデータ」が見事にケプラーの第3法則を満たしていることを実感し、そこから更に理解を深める助けになれば、と願っている  
その為には、ケプラーの第3法則のグラフも欲しいところ。現在作成中です。

18

畚

## 山形県立鶴岡南高校における インターネット望遠鏡を利用した 教育実践

東北公益文科大学  
山本 裕樹

2012年3月5日  
第2回慶應義塾大学インターネット望遠鏡シンポジウム

畚

## 鶴南ゼミ

- ▶ 山形県立鶴岡南高校では平成23年度より総合的な学習の時間を「鶴南ゼミ」と銘打って探求的な学習活動を開始
- ▶ テーマの一つとして「インターネット望遠鏡」を設定
- ▶ 鶴岡南高校の友野先生(地学)と協力
- ▶ 期間
  - 6月29日～11月16日の水曜日7校時(16時～16時50分)(全12回)
- ▶ 参加高校生
  - 1年生 14名、2年生 6名

2

畚

## 思わぬトラブル

- ▶ 府中の望遠鏡
  - 計画停電のために府中の望遠鏡はしばらく休止とし、これを機に開閉式のルーフに改修へ(10月まで)
- ▶ NYの望遠鏡
  - 4月よりうまく動かなくなり、現地のPCとUPSの交換が必要になる(9月末に復旧)
- ▶ メラーテの望遠鏡
  - 4月よりうまく動かなくなり、おそらく現地の望遠鏡が故障(未復旧)

しばらくはインターネット望遠鏡が全て使えない状況  
インターネット望遠鏡で観測できたのは最後の3回

3

畚

## 対応策

- ▶ 天文学の基礎的な話とインターネット望遠鏡の操作方法の解説
- ▶ トレーニングモードで練習
- ▶ パソコン教室でインターネットが使えるので、ネット上の情報を活用できる課題を与える

4

畚

## 4つのミッション

- ▶ 20名の学生を4つのグループに分けて、各グループにそれぞれミッション(課題)を与える

- ①天体カタログ作成
- ②月面図作成
- ③月の調査
- ④木星の衛星の調査

5

畚

## ミッション① 天体カタログ作成

1. インターネット望遠鏡のサブスコープを用いてメシエ天体やNGC,ICの天体の観測画像を集める
2. 集めた画像で天体カタログを作成する
3. それぞれの天体の名前、分類、特徴を調べる
4. メシエ天体の大きさと地球からの距離を調べて、分類ごとにグラフを描く

6

## ④

### ミッション② 月面図作成

1. インターネット望遠鏡のメインスコープで月面の観測画像を集める
2. 月面の観測画像を月面図に貼り付ける
3. 月面上のクレーターの名前や人類が月面に残した痕跡を調べて月面図に記す
4. Google Earthを使って月のクレーターの深さと大きさの関係を調べる

7

## ④

### ミッション③ 月の調査

1. インターネット望遠鏡のサブスコープで月の観測画像を集める
2. 月の大きさによって地球からの距離の変化を調べる
3. 月の満ち欠けの月齢カレンダーを作る
4. 世界中で月の模様は何に見えると言われているかを調べる

8

## ④

### ミッション④ 木星の衛星の調査

1. インターネット望遠鏡のサブスコープで木星のガリレオ衛星の観測画像を集める
2. メインスコープで木星を観測する
3. ガリレオ衛星の運動図を作る
4. 木星とガリレオ衛星について調べる

9

## ④

### 掲示板の活用

- ▶ 専用の掲示板を作り、データや観測画像を共有



10

## ④

### 発表会

- ▶ 最後の時間にグループごとに発表



11

## ④

### 感想

- ▶ 現在の高校生のITスキルはかなり高い
- ▶ 理解が早い学生が多く、もう少し高度な課題を与えてやればよかったかもしれない
- ▶ 三角関数をまだ習ってはいなかったが、Excelの関数を利用してグラフを描くことはできた
- ▶ 高校の回線速度が遅く、望遠鏡の操作がうまくいかないことがたびたびあった
- ▶ 1回に操作できるのは1人のため、他の学生は暇をためてあましていた
- ▶ 最後の日に観望会を予定したが、雨でできなかった

12

## インターネット望遠鏡を用いた 天体観測のいろいろな例

五藤光学研究所  
近藤弘之

### 1. インターネット望遠鏡による観測の模索

天体観測

位置 測光 分光

インターネット望遠鏡これまでの観測実績

位置観測→ガリレオ衛星の公転運動から  
ケプラー第三法則の検証

測光観測と分光観測が試みられていない  
→ インターネット望遠鏡で観測できるのか？

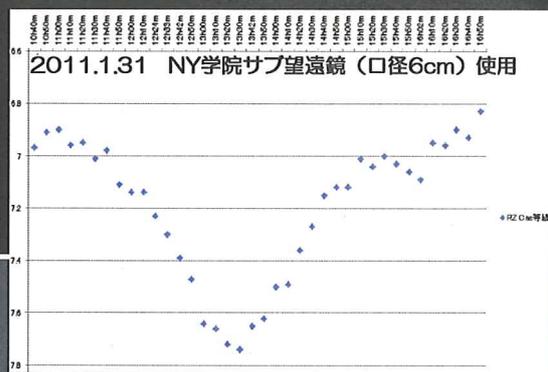
### 2. 測光観測の問題点

16ビット(65535階調)のCCDカメラ  
測光用フィルター (B・V・R)  
FITSフォーマット

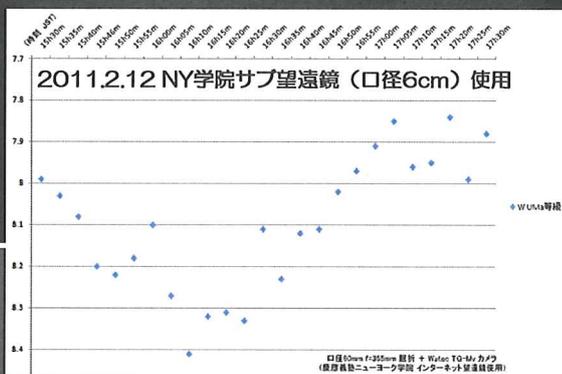
カメラは8ビット(256階調)  
ノーフィルター(分光感度の問題)  
JPEGフォーマット(データ非可逆圧縮)

先入観を持たずにまずはやってみる

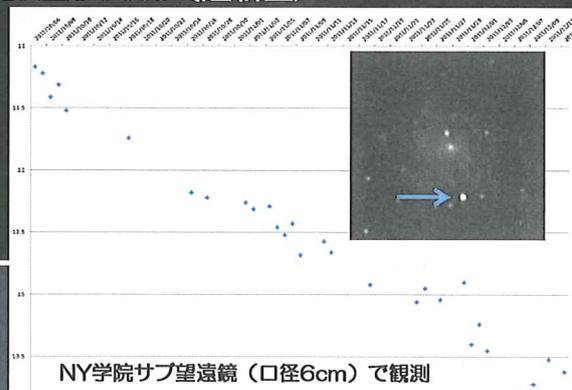
### 3. 実際の観測例 RZCas (食変光星)



### W UMa (食変光星)

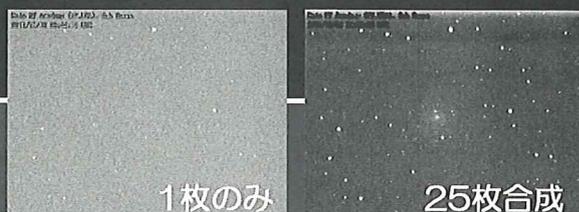


### SN2011fe (超新星)



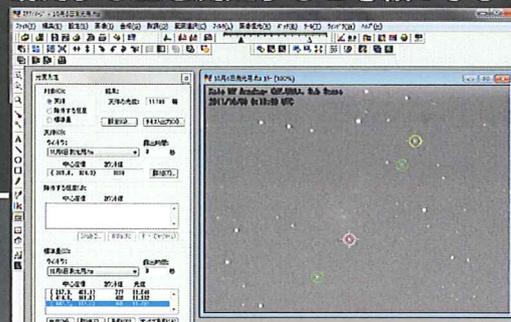
#### 4.測光のプロセス

Stellimage6を使った画像処理・測光  
 ホットピクセル・クールピクセル処理  
 コンポジット処理  
 周辺減光・カブリ補正



#### 測光

比較星のカウント→Vt等級の設定  
 観測する星を測定すると等級が求まる



#### 5.評価と今後

##### 評価

変光星 変光の様子を記録できた  
 コンポジットすれば6cmで13等級まで測定可

##### 今後

多数画像の自動保存  
 フラットフィールド画像取得と補正  
 フィルターワークや光度補正の計算

最低限の仕様を満たす冷却CCDの導入  
 →目標:系外惑星のトランジットを捉える

#### 6.分光観測

天体の組成 入射光型 ドップラシフト etc  
 →天文学の魅力が集約

ツール → 分光器 とても高価 運用が  
 限られる(天文台 大学の中・大口径望遠鏡)

それ故、天文市場において啓発されていない分野

簡単な器材や方法で分光観測をできないだろうか？

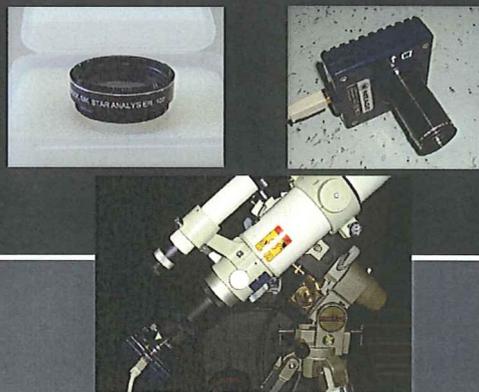
#### 7.簡単な分光観測について

撮像センサー前に低分散回折格子を入れて  
 スペクトルを撮影 (100本/mm)  
 PATON HAWKSLEY EDUCATION 製  
 Star Analyser100

分光解析ソフトでグラフ化・解析  
 R-SPEC (<http://www.rspect-astro.com/>)

Sky&Telescope 2011 8月号 P68  
 Spectroscopy for Everyone より

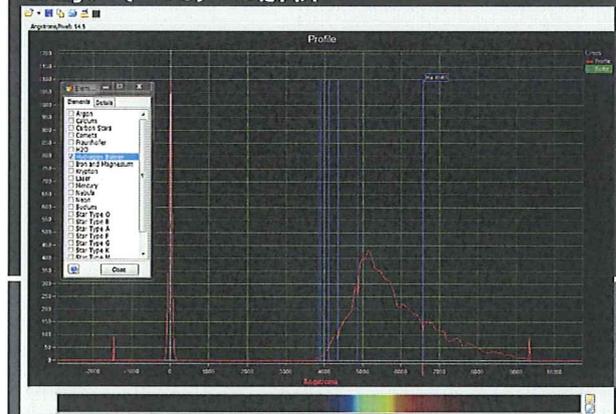
#### 8.実際の観測例



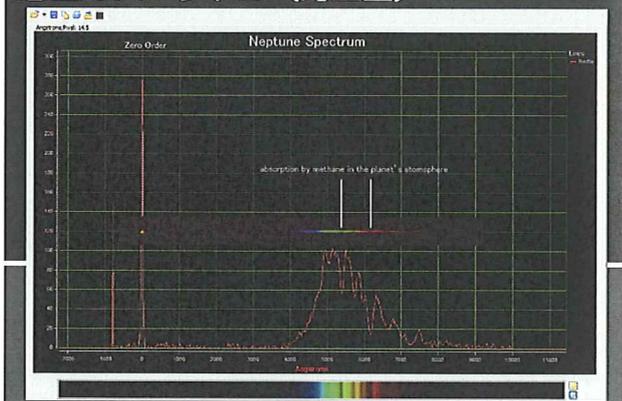
### 実際のスペクトル



### $\alpha$ Lyr (ベガ) の解析



### 惑星のスペクトル (海王星)



### 9. 評価と今後

#### 評価

低分解能でも対象・テーマを選べば観測できる  
小型望遠鏡で十分観測できる可能性あり

#### 今後

入手しやすい回折格子  
インターネット望遠鏡への実装と運用  
解析ソフトの開発・普及  
気軽にできる分光観測の啓発

### 10. インターネット望遠鏡観測カリキュラムの展望

学校 (中学 高校 大学) の天体観測実習  
科学館での観測WS 知識だけから、実際の確認・理解・感動へ  
科学館職員の研修

天文市場 天体撮影中心から 観測を通じて  
宇宙を自らの手で理解する感動を創生

(天体撮影の機材・技術を観測に生かし、評価する仕組みづくりへ)

## 小学校におけるインターネット望遠鏡 を利用した学習

西宮市立上ヶ原南小学校 松本 榮次

慶應義塾大学インターネット望遠鏡（慶應ニューヨーク学院）による月

## 新学習指導要領

小学校第6学年理科の学習  
において、月の満ち欠けの  
学習が導入された。

## 月の満ち欠け

太陽・地球・月の位置関係から、  
どのような月が見えるか？

視点の移動をともなうため理解が難しい

## 月の観察

授業時間内における月の観察は、  
下弦の月の頃に限られる。

実際夜空を一緒に見ることは簡単で  
はない。

## インターネット望遠鏡の活用

上弦の月や満月等、通常夕方から  
夜にかけて見やすい月の観察が  
可能である。



Goto Inc. (Fuchu, Japan)  
2009/10/10 13:58:00 UTC



# インターネット望遠鏡

+

## 月・地球・太陽の 位置関係をモデル化

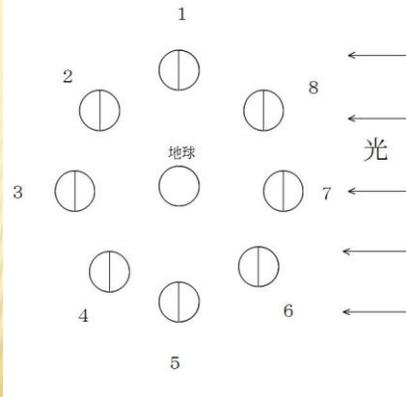
視点移動

### 学習モデルの構想

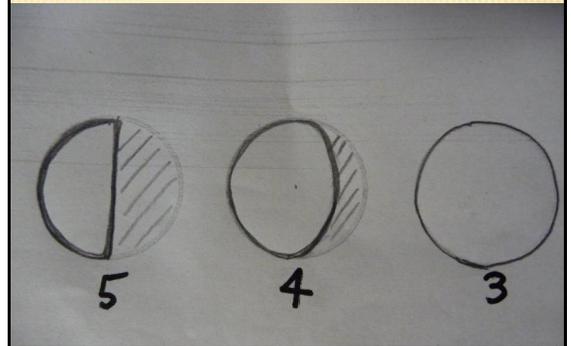
- 満月のころは授業時間内に観察しにくい。
- 観察を共有化しにくい。
- 満月と下弦の月の間の月

(18夜・19夜ごろ)の月の形を理解するのは球形概念と左右概念の両方の概念の理解が必要で最も理解しにくい場合の1つである。

4の月の形を理解するには左右概念と球形概念の理解が必要



### 4の月 球形概念 左右概念

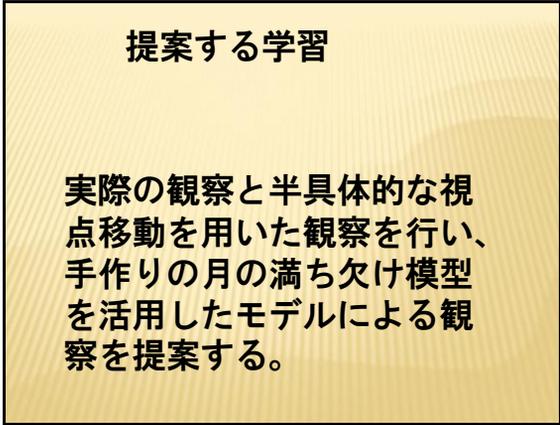
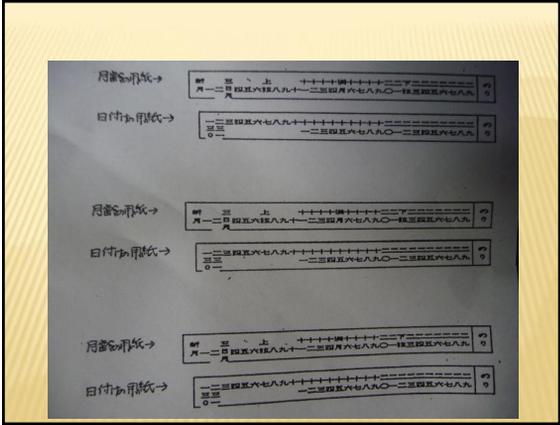


理解がむずかしい頃の月をインターネット望遠鏡でリアルタイムに観察し自分が見た月と同じ形に見える月の位置を一人一人が月の満ち欠け模型を利用して探し出す。

### 月の満ち欠け模型



(西宮市香櫨園小学校 建部昇氏設計)



# 1 授業時間内における実際の月の観察

○肉眼による観察

○双眼望遠鏡による観察

# 2 月の満ち欠け模型作り

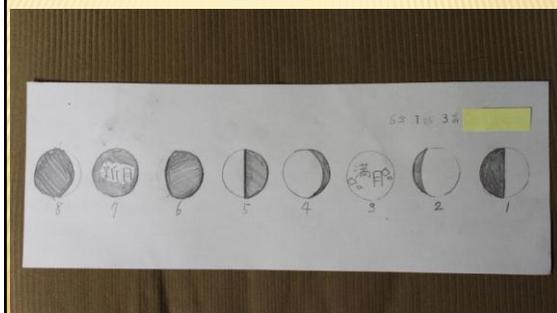


# 9月29日の授業（6年B組） 授業最後にリアルタイムの月

慶應大学インターネット望遠鏡（ニューヨーク）  
操作画面

見つけた月に○をつけている

# 1 から 8 までの月の模型 の見え方を記録にとる。



2010年9月30日の授業（6年C組）

慶應大学インターネット望遠鏡  
(イタリア・ミラノ)



A組

実際の月をみながら、モデル学習  
をやりたかったか。

実際の月 21人

プラネタリウムでもよい 7人

どちらでもよい 3人

A組の感想

○月はいろんな形に変化するのが分かったけど、  
またもどってくるのもおもしろかった。だから、  
回り続けているって分かった。

○紙の上で、フィルムケースの上に玉がつけて  
ある月を地球がわから見るといのは、とても  
分かりやすく、完璧に覚えられました。

○本物の月を見た児童

偽物とはちがい、とても神秘的でした。  
次見る時も本物で月とは何かを調べてみたい。

C組

イタリアの月とプラネタリウムの月  
どちらを見ながら、モデル学習をしま  
したか。

イタリアの月 24人

プラネタリウムの月 7人

イタリアを選んだ理由 (24人)

○現在の月の方が正確だと思った  
から。

○本物の今現在の月だから。

○今、イタリアで見えている月だ  
から

プラネタリウムを選んだ理由 (7人)

○どちらでもよかった

○リアルタイムの月は動くから

○自分に一番近い距離で見れてわかりやすかつ  
た。(2人)

○プラネタリウムの月の方が見やすかった。  
イタリアの月は暗くて見にくかった。(3人)

### C組の感想

○理科の勉強で一番楽しくできた。

○月の動く速さが思っていたよりはやくてびっくりした。簡単に模型をつくって月をみれるのがすごいと思った。

○月の表面をクレーターが見えるまで大きく見たことはなかったのでよかった。(新指導要領・月の表面)

○日本の月とあまりかわっていなかった。イタリアの月が日本で見れてすごいと思った。

### 事前調査・事後調査の結果（正解率%）

	A組	B組	C組
事前調査	67	56	38 (40)
事後調査	77	70	80 (83)

\* ( ) 内の数字は、リアルタイムの月を見ながら学習した児童

### 考察

○児童には、リアルタイムの月の観察がより望まれている。

○児童によっては、リアルタイムの観察学習を本物の観察と感じている場合もある。

○リアルタイムで月の形を観察した方が、月の満ち欠けについての認識を高めたことが示唆された。

### 月の観察において

月の満ち欠けの観察において、慶応義塾大学のインターネット望遠鏡（イタリア・ニューヨーク・東京）は、最も観察がしやすいことがわかりました。ちょうど画面いっぱいに入るからです。また、表面の様子学習（小学6年）においてもメインの望遠鏡を使用することでよりわかりやすくなります。



月の表面の様子。クレーターの中にクレーターのほうがよくわかる。(慶応義塾大学インターネット望遠鏡)

紙コップを用いた月の満ち欠け模型の試作  
(建部昇氏設計)



## その他の利用 公民館の場合

2010年12月21日（火） 夕方の皆既月食

西宮市W公民館にて皆既月食と星を見る会を実施した。対象は、主に地域の小学生と保護者

しかし、あいにくの天気でもり・・・雨

ところが、幸い慶應義塾大学のインターネット望遠鏡（東京）で、リアルタイムの皆既月食をみてもらうことができ、見た人は大喜び！！

「インターネット望遠鏡」感謝・感謝

ありがとうございました

Goto Inc. (Fuchu, Japan)  
2009/10/10 13:58:00 UTC



慶應インターネット望遠鏡  
（東京・五藤光学屋上）