

東北公益文科大学

総合研究論集

18

インターネット望遠鏡の新展開
— イタリアへの設置と新たな操作インターフェース —

山 本 裕 樹

2010年7月20日発行

インターネット望遠鏡の新展開

— イタリアへの設置と新たな操作インターフェース —

山 本 裕 樹

1 はじめに

インターネット望遠鏡とは、遠隔地に設置した無人の天体望遠鏡をインターネットを通じて操作し、天体観測を行えるシステムである[1-3]。インターネット望遠鏡のURLは“インターネット望遠鏡”で検索して欲しい¹。キーワードは“いつでも、どこでも、だれでも天体観測”である。

- いつでも・・・昼間であっても夜空の天体観測ができる

天体望遠鏡を用いた夜空の天体観測は、夜に行えないため、学校の授業等で天体観測を行うのは難しいが、インターネット望遠鏡を使えば、日本の昼間でも夜空の天体観測が可能となる。

- どこでも・・・世界中のどこにいてもインターネットで天体観測できる
インターネットは今や世界中で利用できると言ってもいいだろう。インターネット望遠鏡はWEBブラウザでアクセスすればすぐに使える。

- だれでも・・・インターネットができればだれでも利用できる

必要なハードウェアはインターネットが使えるPCだけである。使用するソフトウェアはWEBブラウザ（と動画プレイヤー）のみで、他に特別なソフトウェアを必要としない。操作インターフェースはWEBブラウザ上で実現されるため、すべての操作はWEBブラウザを通して行う。使用料も必要なく、無料で登録せずに利用できる。

インターネット望遠鏡の目的の一つは、小学校・中学校・高等学校などの教育現場で、現在はほとんど行われていない天体観測を重視した天文教育のための環境作りにある。実験や観測に基づいた自然科学教育の重要性が高まっている中、このような気軽に利用できる観測環境は、教育現場で役に立つはずである。

¹ 現在のURLは<http://sylph.fbc.hc.keio.ac.jp/itp/>である。



図1 三地点の位置と時差

インターネット望遠鏡を設置して教育に役立てようというインターネット望遠鏡プロジェクトは2003年1月に慶應義塾大学でスタートした。我々は五藤光学研究所と共同でインターネット望遠鏡のシステムを開発し、2003年11月に東京都府中市の五藤光学研究所社屋に1号機、2007年4月にアメリカニューヨークの慶應義塾ニューヨーク学院のカフェテリア屋上に2号機を設置した。2009年4月より、拠点を東北公益文科大学に移し、そして、2009年5月にイタリアミラノ市郊外にあるメラーテのブレラ天文台メラーテ観測所に3号機を設置した。この3カ所に設置したことにより、地球の北半球の夜空をほぼ24時間カバーできるようになった（図1）。

本稿では、新たにイタリアのメラーテ観測所に設置したインターネット望遠鏡の紹介と、新たに開発した操作インターフェースを用いた操作方法について記述する。

2 メラーテのインターネット望遠鏡

2009年はガリレオ・ガリレイが初めて望遠鏡を用いて天体観測を行ってから400年目の節目の年で、世界天文年と定められている。このような記念の年に、ガリレオ・ガリレイの生きたイタリアでインターネット望遠鏡を設置できたこ

とは誠に喜ばしいことである。我々はイタリアのブレラ天文台と五藤光学研究所の関係者と協議を重ね、ブレラ天文台がミラノ市郊外のメラータに所有するメラータ観測所の使用されていないクーポラ（ドーム）（写真1）にインターネット望遠鏡を設置することになった。メラータはミラノ市から30kmほど離れているため光害の心配はほとんどなく、天体観測に適した環境にある。我々は2009年5月末にメラータ観測所を訪れ、インターネット望遠鏡の設置作業を行った。メラータ観測所には望遠鏡の扱いに慣れたプロフェッショナルが揃っており、設置時に発生した様々なトラブルに対し、迅速かつ適切に対処していただいた（写真2）。6月をはじめには望遠鏡設置も無事済み、7月には運用を開始した。図2はメラータのインターネット望遠鏡で観測した月の観測画像である。

今回、新たにメラータに設置したインターネット望遠鏡は、表1の機材を使用している。インターネット望遠鏡1号機を設置した2003年からは6年も経過しており、装置も当時のものから性能が向上している。今回は今まで設置してきたインターネット望遠鏡とは大きく異なる点が二つある。

一点目は、スライディングルーフにより観測時にのみ屋根を開く方式とした。今までの府中市とニューヨークの望遠鏡は、鉄製の筐体の中に設置し、上面をガラスで覆うことで全天候対応型となっているが、ガラスの屈折と反射の影響が大きく、メインスコップでは天体がきれいに映らなかったり、ガラスを固定するためのピラーが邪魔で、広角スコップで星座を観測することが難しいという問題があった。今回はメラータ観測所で使用されていないスライディングルーフ付きのクーポラを利用し、屋根をサーバから開閉できるようにしたため、このような問題は全く起こらない。ただし、雨が降ってくると屋根を閉じなくてはならないため、雲センサーを新たに取付けて屋根開閉と連動するような仕組みにした。また、屋根を開く前に空の様子が確認できるようにクーポラの外に野外カメラを設置した。

二点目は、メインスコップのカメラを冷却CCDカメラに変更した。今までは高感度のビデオ出力付きのモノクロCCDカメラを使用していたが、冷却方式ではなく、冷却CCDカメラよりは感度が落ちるものであった。今回使用している冷却CCDカメラも、カラーCCDではないが、RGB（赤,緑,青）の3種

類のフィルターを機械的に交換して使うことが出来る。原理的には各フィルターで取得した画像を合成してカラー画像を得ることが可能となった。



写真1 望遠鏡を設置したクーポラ



写真2 メラーテに設置した望遠鏡と関係者

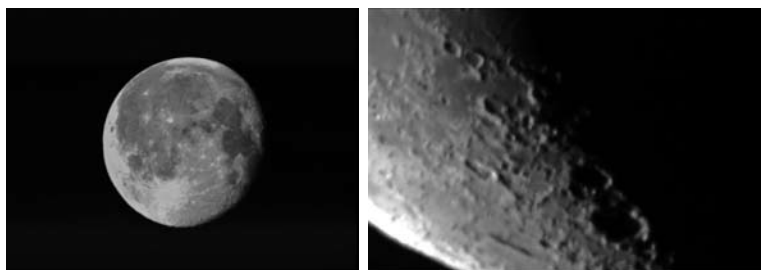


図2 メラーテからの月の観測画像(左がサブスコープ、右がメインスコープ)

機 材	用 途
MEADE LX200R-30	メインスコープ(口径 305mm)
MEADE ULTRAWEDGE	赤道儀型架台
miniBORG 60ED	サブスコープ(口径 60mm)
SBIG ST-3200ME	メインスコープ用冷却 CCD カメラ
Waterc WAT-120N+(EIA)	サブスコープ用高感度ビデオカメラ
MINITRON MTV-63V6HN+TC0812	星野用広角高感度カラービデオカメラ
DELL Optiplex755	望遠鏡制御・カメラ用サーバ
Clarity II	雲センサー

表1 主な機材

3 新たな操作インターフェース

メラータに望遠鏡を設置するのに合わせて操作インターフェースを新たに開発した。開発言語は一般的なWEBブラウザ上で動作するJavaScriptで、Ext JS²というライブラリを利用している。操作インターフェースはOSや特別なソフトウェアに依存することなく、誰でも気軽に利用できることをコンセプトとして開発している。

既存の操作インターフェースからの大きな改良点は以下の通りである。

² URL: <http://www.extjs.com/>

- ログインページで、世界地図上に現地の天気と使用状況が表示されるようになり、現在使用可能かどうかが一目で分かるようになった。
- 以前はユーザー登録制であったが、今回から誰でも登録無しに利用することが可能となった。ただし、あらかじめ望遠鏡を使用する時間を予約をするには、ユーザー登録が必要となる。
- トレーニングモードを用意した。トレーニングモードとは、実際のインターネット望遠鏡を使わず、仮想的に操作を練習することができるモードである。トレーニングモードは同時に複数人が利用可能である。
- メラーテのメインスコープについてはRGBフィルターごとのFITS形式の画像を取得できる。ただし、カラー画像にするには、取得した画像を手動で合成する必要がある。
- インターフェース上で、ヘルプが表示できるようになった。

メラーテのメインスコープ用の冷却CCDカメラは、今まで使用してきたビデオ出力のCCDカメラと異なり、USB経由で画像データを出力する方式になっている。このため、今までのキャプチャボード経由の画像取得の方法が使えず、新たに画像取得と画像変換のプログラムを組む必要があった。SBIG社製のライブラリ³を使用し、FITS形式の画像の取得が可能となった。FITSとはFlexible Image Transport Systemの略称で、天文の観測研究で広く用いられている画像データフォーマットの規格である。JPEG形式よりファイルサイズは大きくなるが、画質や望遠鏡に関する多くの情報を含むことができ、スペクトル解析なども可能である。マカリイやgimpなどのソフトウェアを使えば簡単にJPEG形式の画像へ変換ができる。

³ URL: <http://www.sbig.com/sbwhtmls/devswframe.htm>

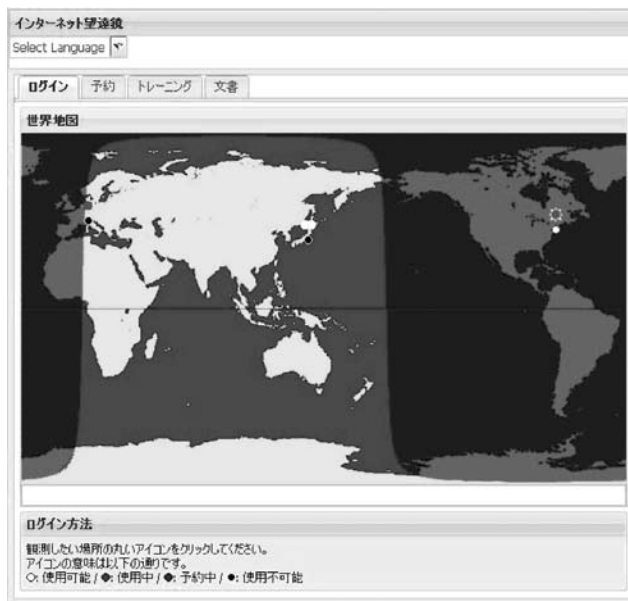


図3 ログインページ

4 操作方法

4.1 ログインページ

インターネット望遠鏡を利用するには、ログインページからログインする必要があります。インターネット望遠鏡のトップページから「インターネット望遠鏡のログインページはこちら」のリンクをたどればログインページ（図3）にたどり着ける。ログインページには「ログイン」、「予約」、「トレーニング」、「文書」の4つのタブがある。

「ログイン」タブでは世界地図が表示され、望遠鏡を利用するためにここからログインする。ログインに特別なユーザー登録は必要なく、誰でも使うことができる。一回の使用時間は30分（1800秒）である。

「予約」タブではあらかじめ授業などでインターネット望遠鏡を使う時間を予約できる。ただし、予約にはユーザー登録が必要なので管理者にメールで問い合わせを欲しい。設定のところで望遠鏡とタイムゾーンを選択し、予約フォームに予約する日時と登録したメールアドレスを入力後、[予約する]ボタンを

クリックすると予約できる。予約が完了すると、登録したメールアドレス宛にランダムに作成されたパスワードの書かれたメールが届く。このパスワードは予約日時のログインと予約取り消し時に必要となる。

「トレーニング」タブは、トレーニングモードを利用するためのものである。トレーニングモードとは実際のインターネット望遠鏡を使わず、仮想的に操作を練習することができるモードである。実際のインターネット望遠鏡は一カ所を同時に二人以上は使えず、曇っていると天体を観測できないが、トレーニングモードは同時に複数人が使用可能で、天候は全く関係ない。

「文書」タブには、操作マニュアルやチュートリアルなどを準備する予定である。

4.2 ログイン

ここではインターネット望遠鏡へのログイン方法について記述する。まず、ログインページの「ログイン」タブで世界地図を表示する（図3）。世界地図の暗い部分は、今の時刻で夜の地域を表し、その暗い部分にある地点では天体観測可能である。世界地図上の3カ所に丸いアイコンがあるが、これはインターネット望遠鏡が設置されている地点を示している。このアイコンは、色で現在の望遠鏡の状態を示し、白ならば使用可能、赤ならば現在使用中、紫ならば予約中、黒ならば使用不可能をそれぞれ意味する。丸いアイコンの上に表示されているアイコンは天気アイコンで、現地付近の現在の天気を表す。丸いアイコン付近にマウスカーソルを合わせると現在の望遠鏡の状態が表示される。

インターネット望遠鏡にログインするには、観測したい場所の丸いアイコンをクリックする。すると、ログインするかを尋ねるダイアログが表示される。このダイアログ中で、メラテだけは空の様子を野外カメラで確認できるが、野外カメラの性能が良くないので、夜に晴れているかどうかを確認するのは難しいかもしれない。ダイアログ中の「ログイン」ボタンをクリックするとログインすることができる。あらかじめ予約をしている場合は、ここでパスワードを聞かれるのでパスワードを入力する必要がある。他の誰かがすでにログインしている場合はログインできないが、ダイアログ中の「観覧」ボタンをクリックすることで、観測中の観測画像を見ることだけ是可以する。

ログイン後、しばらくすると操作インターフェースが表示される。Internet

Explorerでは、たまにログインできずに再びログインページに戻ることもあるが、何度かログインを試せばログインできるはずである⁴。メラーテの場合は、スライディングルーフを採用しているため、ログイン後に屋根が開くのを待たなければ観測が出来ない⁵。雲センサーによって空が曇っていると判断されたときは、屋根は開かないようになっている。残念ながら屋根が開いているかどうかを感知するためのセンサーは設置していないので、観測画像を見て屋根が開いたか判断するしかない。一方、府中市とニューヨークのインターネット望遠鏡は、上部がガラス張りのため、天気に関係なく空を観測できるが、もちろん曇っていれば天体は映らない。



図4 操作インターフェース

4.3 操作インターフェース

操作インターフェースは図4である。操作インターフェースにはいくつかのウィンドウがあり、それぞれ役目が異なる。望遠鏡のCCDカメラで撮ったものは観測画像（スライドウィンドウ）と観測映像（動画ウィンドウ）の2種類で中継される。どの望遠鏡のCCDカメラを中継するかは、それぞれ個別にセレクタウィンドウで選択できる。観測に使用できる望遠鏡は3種類あり、倍率の高い順にメインスコップ、サブスコップ、広角スコップと呼ぶ。それぞれの

⁴ 他のWEBブラウザでは発生しない問題なので、Internet Explorer特有の不具合と思われる。

⁵ 屋根はあらかじめ開いている場合もある。

望遠鏡で観測するのに適した天体は、メインスコープでは惑星や月面、サブスコープでは一般の天体、広角スコープでは星座である。各ウインドウの機能は以下の通り。

- スライドウインドウ

- 観測画像を表示し、4秒ごとに自動更新される。
- ウインドウのタイトルに、スライドウインドウで現在選択している望遠鏡名と、その画角が表示される。
- マウスで画像をクリックすると、現在選択している望遠鏡よりも一段階倍率の高い望遠鏡の画角が赤い枠で表示される（広角スコープならサブスコープの画角、サブスコープならメインスコープの画角）。
- 画像上の目的の天体の場所から別の場所へドラッグ&ドロップすることで、天体はその別の場所に映るように望遠鏡を動かすことができる。
- 画像上でダブルクリックすると、スナップショットウインドウが開き、よりサイズの大きな画像を表示できる。

- 動画ウインドウ

- 観測映像を動画で表示する。ただし、Windows Media Playerなどの動画プレイヤーがWEBブラウザ上で動くようになっている必要がある。
- ウインドウのタイトルに、動画ウインドウで現在選択している望遠鏡名と、その画角が表示される。
- 動画プレイヤーによってはダブルクリックで動画を拡大して表示できる。

- 星図ウインドウ

- 天体の配置をコンピュータで計算して星図として描画する。天体は星図上で円として描画され、天体の種類と昇っているか沈んでいるかが色で分かるようになっている。
- 星図上の天体にマウスマウスカーソルを合わせると、その天体名と座標が表示される。
- ウインドウのタイトルに、星図ウインドウで現在選択している望遠鏡名と、その画角と、どの等級までの天体を描画するかが表示される。
- 右下の[太陽系],[銀河・星雲],[恒星],[星座]のセレクトから目的の天体を選択すると、その天体付近の星図が描画される。セレクトの天体

名は文字が黒色だと現在昇っている天体、水色だと現在沈んでいる天体を表す。

- 右上の赤経(RA), 赤緯(Dec)に赤道座標を入力して[描画]ボタンをクリックすると、その座標付近の星図が描画される。
- 実際に観測中の望遠鏡が向いている座標の星図を描画するには[同期]ボタンをクリックする。
- 現在表示されている星図の座標へ実際の望遠鏡を向けたければ、[導入]ボタンをクリックする。
- どこまでの明るさの等級の天体を描画するかは[等級]セレクトで選択し、どの望遠鏡の星図を描画するかは[スコープ]セレクトで選択する。
- ステータスウインドウ
 - 実際の望遠鏡の向いている座標を赤道座標(赤経(RA), 赤緯(Dec))と地平座標(方位(Az), 高度(Alt))で表示する。情報は4秒ごとに更新される。
 - 下部の領域には、望遠鏡へコマンドを送ったときの応答が表示される。
- セレクトウインドウ
 - スライドウインドウと動画ウインドウでそれぞれ中継する望遠鏡を個別に選択できる。
- コントロールウインドウ
 - メインスコープとサブスコープについては、CCDカメラの[感度]と[露出時間]をそれぞれのセレクトから数字を選ぶことで設定できる。感度を上げたり、露出時間を長くすると暗い天体が映りやすくなる。ただし、感度を上げるとノイズが多くなり、露出時間を長くするとノイズは減るが画像がぼやけてしまうというデメリットがある。
 - メインスコープについてはフォーカスを調整することができる。セレクトでフォーカスを動かす方向と速さを選択できるが、選択するだけでは何も起こらず、選択後に[1秒]ボタンをクリックしなければ動作しない。残念ながら現在のフォーカスの位置をパラメータとして知ることにはできないので、フォーカスが合っているかは観測画像で見ても判断するしかない。

- ログアウトウインドウ
 - 残り使用時間があと何秒かが表示される。残り使用時間が0になると自動的に終了する。
 - [ログアウト]ボタンをクリックすると即座に終了し、ログインページに戻る。
- スナップショットウインドウ
 - スライドウインドウの画像をダブルクリックすると現れるウインドウである(図5)。「JPEG」か「JPEG(スタンプ付き)」を選ぶと、JPEG形式の画像が表示される。「スタンプ付き」を選ぶと観測場所や時刻が画像に刻み込まれるが、画質はやや落ちる。さらに、メラーテのメインスコープでは、RGBフィルターごとのFITS形式の画像を保存できる。
 - スナップショットウインドウの画像上でドラッグ&ドロップすると2点間の距離を角度で表示できる。



図5 スナップショットウインドウ

各ウインドウの右上にある[?]をクリックするとヘルプが表示できるようになっているので、操作の際に参考にして欲しい。

4.4 チュートリアル

ここでは一般的な天体観測の手順について記述する。初めは明るくて大きい月で試してみるのがいいだろう。

1. 目的の天体に合わせてどの望遠鏡で天体を導入するかを決める。導入とは望遠鏡の画角内に天体が入るように望遠鏡を移動させるという意味である。星座を観測したいなら広角スコープ、その他の天体ならサブスコープが望ましい。この望遠鏡の装置では、いきなりメインスコープで天体を導入できるほどの精度はないので、初めはサブスコープや広角スコープで天体を導入し、位置を調整してから、より倍率の高い望遠鏡に切り替えるという作業が必要となる。
2. セレクタウインドウの[スライド]でその望遠鏡を選ぶ。天体を導入するために主に使用するのはスライドウインドウである。
3. 星図ウインドウで、スライドウインドウの望遠鏡と同じ望遠鏡を選び、[太陽系],[銀河・星雲],[恒星],[星座]のセレクタから目的の天体を選択する。
4. 星図ウインドウで目的の天体付近の星図が表示されたら[導入]ボタンをクリックする。ステータスウインドウに“success”と表示されたら望遠鏡が動き出す。もし“error”などと表示されたら再び[導入]ボタンをクリックする。
5. 望遠鏡の移動中はステータスウインドウの赤経(RA),赤緯(Dec)の値が変化する。これが星図ウインドウの赤経(RA),赤緯(Dec)の値とほぼ同じになって止まるまで待つ。うまくいけばスライドウインドウの観測画像に天体が映るはずである。天体が映らない場合、その理由は二つ考えられる。一つは物理的に天体が見えない場合である。空が曇っている、府中市やニューヨークだとピラーの影になっている、メラータだとスライディングルーフが開いていないなどが考えられるが、このような場合はどうしようもないので、後に天候などの状況が良くなったときにリトライして欲しい。もう一つはCCDカメラの感度や露出時間が天体の明るさに合っていない場合である。これはコントロールウインドウでCCDカメラの感度や露出時間を調整することで対応できる。
6. スライドウインドウの画像上で天体が画像中心から外れている場合、その画像上で天体を画像中心へドラッグ&ドロップすると、その位置に天体が

映るように望遠鏡を移動できる。

7. 目的の天体を、より倍率が高い望遠鏡へ切り替えて観測したい場合（広角ならサブ、サブならメインへ）、天体はその望遠鏡の画角内に映るように望遠鏡を移動させなくてはならない。スライドウィンドウの画像上をクリックすると赤い枠が表示されるので、その中に天体が入るようにドラッグ&ドロップで望遠鏡を移動させる。枠内に天体が入ったら、セレクトウインドウで高倍率の望遠鏡へ切り替える。
8. メインスコープに切り替えた場合は、フォーカスを合わせる必要があるかもしれない。コントロールウインドウのセレクトでフォーカスの移動方向と速度を選択し、[1秒]ボタンをクリックすることでフォーカスを合わせていく。フォーカスの移動方向は、観測画像中の天体がよりシャープになる方向へ合わせる。
9. スライドウィンドウの画像を、より大きな画像として表示したければ、スライドウィンドウの画像をダブルクリックする。現れたウインドウでJPEG形式を選ぶと大きな画像が表示される。メラーテではFITS形式として保存することも可能である。

メインスコープについてはフォーカスを合わせなくてはならないが、フォーカスをうまく合わせるのは非常に難しい。その理由として以下が挙げられる。

- フォーカスが現在どの位置にあるかをパラメータとして知る手だてがない。
- フォーカスが合ったかどうかは観測画像から判断するしかないが、観測画像はユーザーに届くまでタイムラグがあり、フォーカスを動かしてからその影響が観測画像に現れるまで少し待たなくてはならない。特に、メラーテではタイムラグが数十秒のオーダーなので厳しい。
- 大気の影響⁶と望遠鏡が微動するため、観測画像にフォーカスとは関係ない残像を生じることがある。

現状、フォーカス合わせはユーザーに慣れてもらう他ない。コツとしては、いきなり木星などの大きく映る天体でフォーカスを合わせるのではなく、まず

⁶ 府中やニューヨークではガラスの影響もある。

は明るい恒星で、光が1点になるようにフォーカスを合わせておいてから、木星などの天体を見るという。

一カ所のインターネット望遠鏡を一度に使えるのは一人だけである。使用時間がなくなる前に観測が終了したければ、[ログアウト]ボタンをクリックして終了して欲しい。[ログアウト]ボタンをクリックせずにWEBブラウザを閉じてしまうと、ログインは継続しているとみなされ、次にログイン可能となるまで無駄に待たなくてはならなくなる。

5 まとめと今後の課題

メラーテに新しいインターネット望遠鏡を設置したことで、より多くの人にインターネット望遠鏡を使ってもらえる環境ができた。北半球の夜空をほぼ24時間カバーできるようになったことで、同じ天体を24時間観測し続けるような観測ができるかもしれない。このメラーテへのインターネット望遠鏡の設置に伴い、新たにインターフェースを開発した。以前よりも機能が増えたが、操作をシンプルにすることで使いやすくなったと思われる。また、メインスコープにカラー対応の冷却CCDカメラを取り付けたことにより、天体のカラーでの観測や、木星や土星の衛星の位置測定の精度が上がることも期待できる。

残る課題としては、メラーテのメインスコープの冷却CCDカメラ用のソフトウェアの改善がある。冷却CCDの画像データは、望遠鏡から圧縮せずに公益大のサーバに送り、画像処理を行ったあと、ユーザーのWEBブラウザに送っているため、画像の転送に非常に時間がかかる。メラーテ観測所のインターネットの回線速度が、日本に比べて非常に遅いのも転送に時間がかかる一因である。メラーテの回線速度の向上はしばらくは見込めないため、望遠鏡側で画像を圧縮して転送データ量を少なくするように改善しなくてはならないだろう。

既存のインターネット望遠鏡の機材の老朽化も問題である。最初のインターネット望遠鏡を設置してから6年が経過しており、そろそろ望遠鏡やカメラの更新も考えなくてはならない時期にきている。

以上のような課題があるが、インターネット望遠鏡は現在十分使えるレベルにある。インターネット望遠鏡は、望遠鏡を実際に触ったことが無くても誰にでも簡単に扱えるものである。皆さんもたまには天体観測してみたいかだろうか。

謝辞

インターネット望遠鏡プロジェクトのリーダーである表實氏、全てのインターネット望遠鏡の開発から設置までご協力いただいた五藤光学研究所の関係者の皆様に感謝いたします。また、メラータのインターネット望遠鏡設置にご協力いただいたブレラ天文台台長の Giovanni Pareschi 氏とブレラ天文台の関係者の皆様、在日イタリア大使館の関係者の皆様、特にイタリアとの架け橋になっていただいた Fabio Maiorano 氏に感謝いたします。本研究は平成21年度慶應義塾学事振興資金の助成を受けて行われた研究の一部である。

参考文献

1. 表實, 「インターネット望遠鏡ネットワークの構築と科学教育カリキュラムの研究」中間報告, 慶應義塾大学日吉紀要自然科学36 (2004)
2. 山本裕樹・表實, 「インターネット望遠鏡とその応用」, 慶應義塾大学商学部創立五十周年記念日吉論文集 (2007)
3. 山本裕樹・表實, 「インターネット望遠鏡の応用: 衛星の観測による木星と土星の質量の測定」, 慶應義塾大学日吉紀要自然科学44 (2008)