

れている天文台はある」のご存じの方も多いであろう。例えば、アメリカのウィルソン山天文台 (TIE; Telescope In Education Program)^{2), 3)}, HOU (Hands On Universe Program)^{4), 5)}, 英国のブラッドフォード望遠鏡^{6), 7)} などが有名である。これらの望遠鏡はリアルタイムで映像を見るのではなく、画像の取得を申請し、後日画像が送られてくる形式となっている。つまり、キーワードの一つである「いつでも」を満足していない。そして、多くのリクエストを受け付けるため、画像取得までに長い時間 (数週間の) がかかることが少なくない。教育研究の見地^{8), 9)} から言えば、教材は適度の早さで生徒に提示される必要があり、画像の取得に時間がかかることは教育効果の低下に直結する問題である。さらに、HOU は会員制であり、利用に際しては年会費納入と教員の研修が必要とされるなど、決して「手軽」とも言えないのである。

上に例を挙げたような、インターネット経由で撮像依頼を受け付けている望遠鏡を、我々は「インターネット望遠鏡」と呼び、「インターネット天文台」とは区別したい。インターネット天文台と称されるためには、観測所の屋根を開く段階から天体の観測、そして観測終了手順まで全てを遠隔地から操作できる天文台でなければならない。リアルタイムに観測を実行できることは、もちろんである。日本においては、美星天文台やみさと天文台がインターネット望遠鏡を試みている。みさと天文台では、リアルタイム遠隔操作を受け付けるシステムが構築され、教育実践もなされているが、常時利用を受け付けているわけではない^{10), 11), 12), 13)}。

大型望遠鏡を備えた立派な天文台を「手軽に」使えるようには解放できないであろうし、ユーザが多くなれば「いつでも」というわけにはゆかないのが当然である。結局、小望遠鏡を中心とした低価格なシステムを自前で用意するのが、

インターネット天文台を手にする最良の方法であるように思われる。そこで「安く、早く、簡単に」設置できることが重要となってくる。これらの条件が満たされれば、全国各地への普及が期待できる。数が増えれば、相互連絡により天候の良い天文台や空いている天文台を利用することができ、利用者の要求「いつでも観測できる」を満たすことになるわけだ。

3. 我々のインターネット天文台

インターネット天文台の「安く、早く、簡単な」部分は、次のような構成要素からなる。今回は、これらについて報告する。

- ・遠隔操作望遠鏡
- ・遠隔操作撮像装置
- ・制御コンピュータ
- ・インターネットサーバ

もう少し進んで、「完全な」インターネット天文台とするには、次のような構成要素が必要であり、それらについては次回に述べようと思う。

- ・自動気象観測装置
- ・自動観測室

インターネット天文台の全体のブロックダイアグラムを図1に示す。

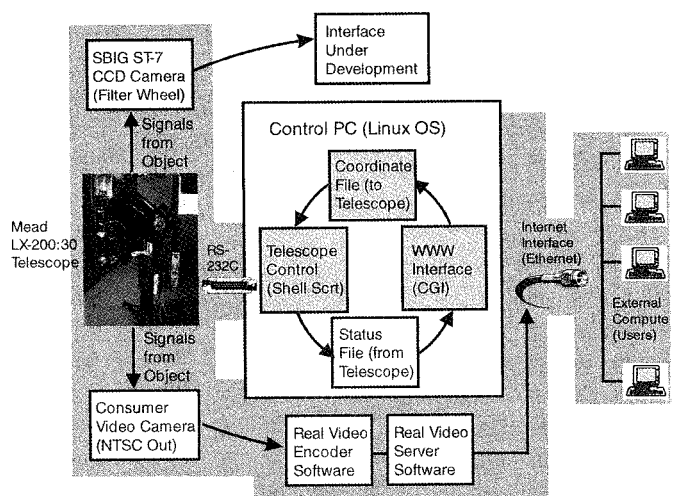


図1 インターネット天文台のシステム構成



3.1.遠隔操作望遠鏡

遠隔操作望遠鏡は、市販のコンピュータ制御式望遠鏡であれば、基本的に何でも良いであろう。条件としては、制御コマンド体系が公開されていることであるが、たいていの機種はこの条件を満たしていると思う。我々は Meade 社製 LX-200 型を使用している。これを隣に置かれたコンピュータから操作するのが普通だが、デスクトップ・シミュレーション・ソフトを利用すれば、特定のユーザが遠隔地から操作することも簡単である。しかし、本研究ではインターネット経由で複数の利用者が任意の時間に操作することを想定しているので、独自にインターフェイス・プログラム（後述）を作成した。このときに、制御コマンドが必要になるのである。

3.2.遠隔操作撮像装置

遠隔操作撮像装置には、高感度 CCD カメラや、家庭用 CCD カメラが利用可能である。高感度 CCD カメラは焦点合わせが面倒ではあるものの、星雲など暗い天体の撮像に威力を発揮し、多くのインターネット望遠鏡で主流となっている。ただし、高感度 CCD カメラは出力が NTSC 信号ではないので、インターネット経由で画像をリアルタイムに送るには工夫が必要だ。一方、家庭用 CCD カメラの長所短所は、高感度 CCD カメラの場合の反対となる。既存のインターネット会議システムなどのソフトウェアを用いて、容易にインターネットに映像を流せることは大きな利点だ。我々も高感度 CCD カメラ SBIG 社製 ST-7 型を所有しているが、現在は、家庭用 CCD カメラによる NTSC 信号出力を映像配信ソフトウェア Real Video を利用¹⁴⁾して、インターネットに提供している。

3.3.制御コンピュータと

インターネットサーバ

制御コンピュータとインターネットサーバは分離

したシステムとすることもできるし、一台のコンピュータで兼用することも可能である。制御コンピュータは、望遠鏡、CCD カメラ、スライディンググループの制御を担当する。インターネットサーバは、インターネット経由の利用者に制御コンピュータとのインターフェイスを提供する。

本研究で構築したインターネット天文台のシステム構成を表 1 に示す。

表 1.システム構成

望遠鏡		Meade 社製 LX-200:30 型
カメラ	冷却 CCD	SBIG 社製 ST-7 型
	家庭用 CCD	東芝製 CCD カメラ
制御用 PC		Gateway 2000 社製 Linux OS
望遠鏡格納小屋		アストロドーム社製 スライディンググループ
気象観測装置		Davis 社製 Gro Weather

4. インターフェイスの開発

インターネット天文台の個々の要素は、上で述べたように既成品の望遠鏡や CCD カメラなどであり、一つ一つは決して高価なものではない。「安く」という条件は満たしている。次に、これらを接続するインターフェイスが「簡単に」開発できることを紹介しよう。

第一に開発したのは、望遠鏡を遠隔操作するためのインターフェイスである。利用者は通常、ネットスケープナビゲータやインターネットエクスプローラなどの WWW ブラウザを用いて、インターネットにアクセスしているであろう。「手軽に」という条件を考えれば、特別なソフトウェアを導入しなくとも、ブラウザから目的の天体を指定することにより観測ができるという形式がベストである。ユーザから見えるのはここまでであり、後はユーザから

のリクエストに応じて、望遠鏡を制御するインターフェイスの出番である。

我々の用いている LX-200 型望遠鏡は、予め観測地点の緯度、経度、時刻など初期設定をすませておけば、太陽、月、惑星、主な恒星や星雲、星団などについては、天体コードを含むコマンド列をシリアルポートから送るだけで、望遠鏡が自動的に目標天体を導入する便利な設計となっている。インターフェイスの機能は、ユーザからの要求を解釈し、望遠鏡を制御するコマンド列をシリアルポートに書き出すこととなる。もちろん、ブラウザから天体座標（赤経、赤緯）を直接入力することもできる。この場合にも、パネルから数値を選択する方式として不正値の入力を防ぐなど、システムの安全とユーザの「手軽な」操作という条件を満足するように考慮している。操作画面を図 2 に示す。

上のように、利用者が直接シリアルポートへコマンドを書き込む方式を、セキュリティ上の観点から好まない管理者もいるであろう。ユーザがアクセスするインターネットサーバと、望遠鏡制御用コンピュータとを分離すれば、セキュリティ問題はある程度は回避することができる。この方式のシステムも試作した。ブラウザから指定された目標天体のコードあるいは座標値はいったん、サーバと制御コンピュータの共有領域上の特定ファイルに書き込まれる。制御コンピュータは常にそのファイルを監視し、新しい情報を検出すると、それを制御コマンド列に変換し、シリアルポート経由で望遠鏡へ送る。こ

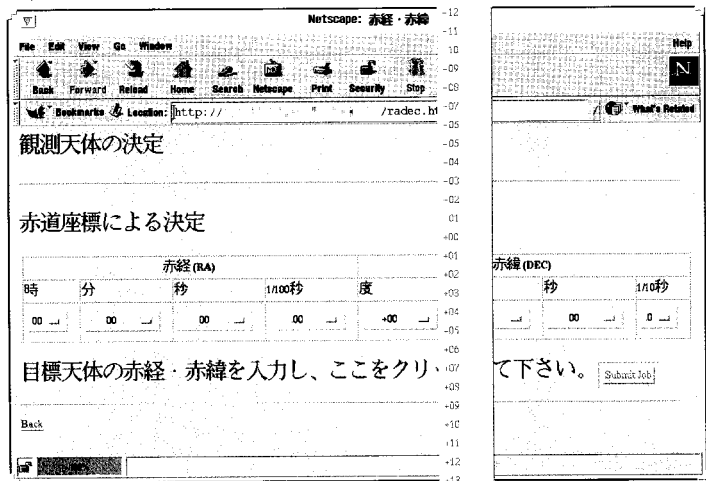
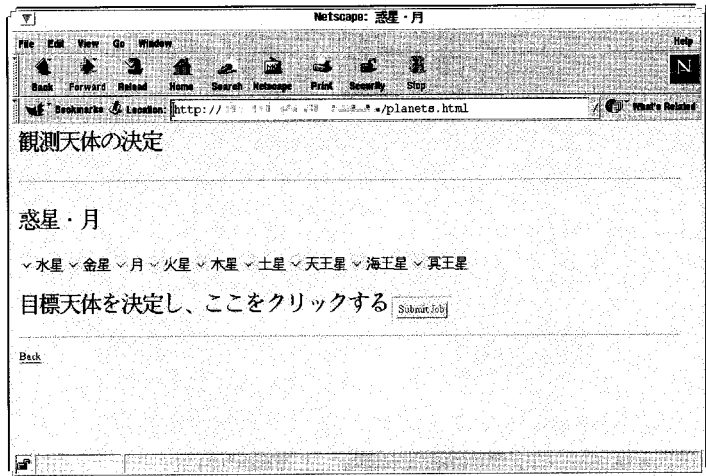


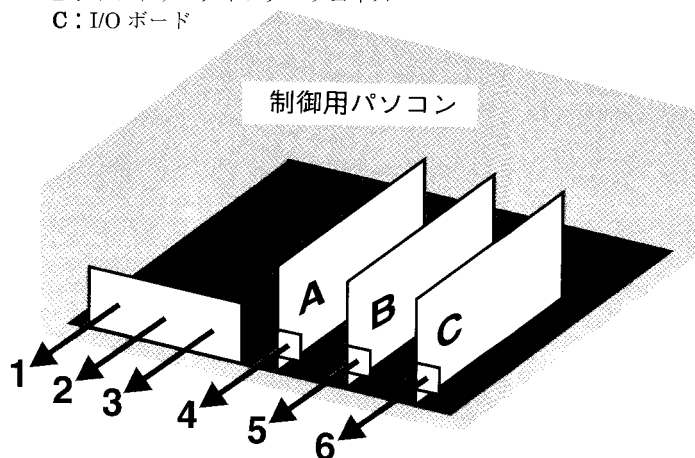
図 2 観測天体指定画面（上：太陽系天体，下：赤経・赤緯入力）

の方式では、共有領域だけが書き込み可能であれば良いので、セキュリティに神経質な人はこちらを採用すれば良いだろう。セキュリティ以外にも、制御コンピュータとインターネットサーバとが分かれているため負荷の分散が図れること、物理的に離して設置することが可能な点などが、利点として挙げられる。

第二のインターフェイスは、CCD カメラの映像をインターネットサーバへ送信する部分である。家庭用 CCD カメラからの NTSC 信号を、制御コンピュータの拡張スロットに装着したビデオキャブ



- A: ビデオキャプチャボード
- B: ネットワークインターフェイス
- C: I/O ボード



- 1: 冷却 CCD カメラ (パラレルポート)
- 2: 望遠鏡制御 (シリアルポート)
- 3: 気象監視装置 (シリアルポート)
- 4: 家庭用 CCD ビデオカメラ
- 5: インターネット
- 6: スライディングルーフ制御

図3 制御コンピュータの構成

チャーボードにより、コンピュータへ取り込んでいる。前述のように、映像の配信には RealVideo の利用¹⁴⁾が手軽だ。高感度 CCD カメラ ST-7 の場合は、カメラの制御と画像の取得をパラレルポート経由で行い、このためのインターフェイスは現在開発中である。以上のインターフェイスを備えた制御コンピュータの構成をまとめると図3のようになる。

5. ここまでのまとめ

インターネット天文台の基本であるロボット望遠鏡部分はこうして、「安く、早く、簡単に」できることを示した。我々のシステムは現在試験運用中¹⁵⁾であり、望遠鏡の遠隔操作は特定ユーザーに限定されているものの、映像はインターネットに公開し、同時に誰でも観望できるようになっている。事前に観測内容を知らせておき、教員が望遠鏡を操作し、生徒がそれぞれの自宅から天体観測を利用し学習することが可能である。

撮像装置が家庭用 CCD カメラでは、感度の不足から太陽、月、惑星などの明るい天体しか観測できない点は不利であると感じられるかも知れない。しかし、教育教材と割り切ってしまうえば、大きな問題ではない。限られた授業時間内に、暗い天体に向けて長時間の積分を行なうことは実用的とはいえず、それならばもっと大口径のインターネット望遠鏡にリクエストを出し、事前に画像を用意しておく方が理にかなっている³⁾。それ以外にも、インターネット上には素晴らしい天体画像があふれているのだ。やはり、臨場感を伴った(シーイングでゆらゆらと動く)太陽や月、惑星などが、教材としてのインターネット天文台の真骨頂を示す対象であろう。

真剣に考えなければいけない問題

として、教材開発の重要性が挙げられる。多くの学校には、理振法によって購入された望遠鏡が数多く眠っているのではないだろうか？ せっかく「安く、早く、簡単に」インターネット天文台を作ることができても、良い教材を開発し恒常的に利用しなければ、開設当初だけでもはやされて、その後は忘れられてしまう可能性も充分にある。インターネット天文台の利点を活かし、今までには不可能だった教育実践を行えるような充実した教材の開発がキーとなる¹²⁾。この問題については、また稿を改めて論じたい。

解決しなければならない問題点、乗り越えなければならない課題はあるものの、インターネット天文台の構築は案外と簡単なことである。我々は開発したインターフェイスやノウハウを秘密にしておくつもりはないので、興味のある方はぜひご連絡頂きたい¹⁵⁾。ある限りの情報を提供し、我々に続きインターネット天文台をさらに「安く、早く、簡

単に」増やしていった欲しいと思う。念のため付け加えておくと、我々は大望遠鏡を中心とした既存のインターネット望遠鏡の能力を低く評価しているのではない。ただ、小回りという点では、小望遠鏡によるお手軽システムが有利であると思う。ファーストフードにもフルコースにもそれぞれの存在理由があり、片方がもう一方を否定する関係ではないのである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、数多くの有益なアドバイスをいただいた曾我真人氏（和歌山大学システム工学部）に心より感謝の意を表します。本研究には、平成9年度（財）電気通信普及財団からの助成金が利用されました。

参 考 文 献

- 1) 根岸潔, 1994, 地学教育 47(4), 149-154.
- 2) 渋谷英紀, 1997, 天文月報 90(4), 174-181.
- 3) <http://www.mtwilson.edu/Science/TIE/>
- 4) 戎崎俊一, 1998, 天文月報 90(9), 423-427.
- 5) <http://hou.lbl.gov/>
- 6) Cox M.J., 1994, 2nd Int'l WWW Conf. "Mosaic and the Web", October 17-20th, 1994 (Chicago, USA).
- 7) <http://www.telescope.org/rti/>
- 8) Bijou S.W., 1970, Journal of Applied Behavior Analysis 3, 65-71.
- 9) Wittrock M.C., 1986, in Handbook of research on teaching 3rd ed., (Macmillan, New York).
- 10) 曾我真人他, 1998, 教育システム情報学会第23回全国大会, pp.393-394.
- 11) 曾我真人他, 1998, 教育システム情報学会第23回全国大会, pp.347-350.
- 12) 有本淳一他, 1998, 天文月報 91(6), 271-276.
- 13) <http://www.obs.misato.wakayama.jp/mo.html>
- 14) <http://www.real.com/solutions/servers/index.html>
- 15) <http://www.hc.cc.keio.ac.jp/earth/>
- 16) 川井和彦, 吉川真, 1998, 天文教育 10, 29-30.

Making an "Internet Astronomical Observatory": I. Cheaper, Faster, and Easier.

Takehiko SATOH

FRCCS, Science University of Tokyo
Noda, Chiba 278-8510

Yukimasa TSUBOTA and Naoki MATSUMOTO

Earth Science Department, Keio Senior High School
Yokohama, Kanagawa 223-8524

Abstract: An "Internet Astronomical Observatory", of which concept is "Cheaper, Faster, and Easier", is being made. It is demonstrated that making such a facility is indeed easier than anticipated. Configuration of the remote-operated telescope, camera, and the Internet server, the heart of the Internet Astronomical Observatory, is discussed.