

熊本大学インターネット天文台の構築 - その新機軸 -

佐藤 毅彦・前田 健悟・大中 敦・森本 康裕
高橋 庸哉*・児島 紘†・坪田 幸政・松本 直記‡

Developing an Internet Astronomical Observatory at Kumamoto University: New Features

Takehiko SATOH, Kengo MAEDA, Atsushi OHNAKA, Yasuhiro MORIMOTO, Tsuneya TAKAHASHI,
Hiroshi KOJIMA, Yukimasa TSUBOTA, and Naoki MATSUMOTO

(Received September 2, 2002)

The third Internet astronomical observatory is being developed at the Faculty of Education, Kumamoto University. As the first two observatories are closely located within the Tokyo Metropolitan area, the third one should serve upon completion as *the only and indispensable* Internet observatory in the western part of Japan. The Internet observatory at Kumamoto University is given several new features, which include 1.) a CCD video camera in which a detector chip is cooled to substantially lessen the thermal-electron noise, and 2.) an advanced design of the control software, which allows greater flexibility in physical/electronic configuration of the control PCs. The former is expected to enhance the applicability of the Internet observatory to science courses in which a wide variety of astronomical objects needs to be targeted. The latter may help increase the number of similar observatories all over the country, which ultimately means increasing opportunities of successful observations.

The next step of the Internet Observatory Project should be to develop an overseas observatory, so that the true “starry sky” would be brought to the classrooms in Japan via the Internet. Currently, we are planning and getting prepared for such a move.

Key words : Internet, remote control, astronomy, science education

1. はじめに

「インターネット天文台」とは、学校現場などからインターネットを経由して、子どもたちが天文台のあらゆる機能（屋根の開閉，望遠鏡の操作，カメラの操作）を利用することのできる，新時代の理科学習ツールである。平成 10 年度に電気通信普及財団の研究助成を受けてプロジェクトをス

* 北海道教育大学・教育実践総合センター

† 東京理科大学・理工学部・教養科

‡ 慶應義塾高等学校・地学科

タート^{1,2)}，慶應義塾高等学校（神奈川県横浜市）³⁾，東京理科大学（千葉県野田市）⁴⁾の二ヶ所に設置されて以来，内外多くの利用者によりその有用性が示されてきた^{5,6)}．熊本では，「青少年のための科学の祭典・熊本大会 2001」（2001年8月）においてデモンストレーションを行い，その様子は紀要第50号にて報告したとおりである⁷⁾．



図1：熊大インターネット天文台設置予定サイトである理科棟屋上を南から望む（左）．ひまわり受信用パラボラが見える．天文台サイトへは昇降ハシゴによりアクセスする（右）．



既設の二基はいずれも首都圏にあったが，平成14年度の文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「新世紀型理数科系教育の展開研究」を受けて，本学教育学部理科棟屋上に「西日本初の拠点」として，熊大インターネット天文台設置作業が進んでいる（本稿執筆時）．天候条件の大きく異なる地点にこのような遠隔操作型天文台を置くことにより，1+1が2となる以上の利点を生じることがは論を待たない⁸⁾．さらに，熊大インターネット天文台は，既設の二基からだいぶ時間を経て設置することとなったため，ハードウェア・ソフトウェアともに，従来天文台から大きく進歩している点が見逃せない．その中でも，学校現場における理科教育に利点をもたらすと期待される新機軸を中心に，本稿では紹介しよう．

2. 好適なハードウェア（CCDカメラ）の登場

平成10年度に始まったインターネット天文台開発の初期には，「望遠鏡を遠隔操作して，冷却CCDカメラによるきれいな画像を教室へ配信しよう！」という考えを持っていた．しかし，その実現には「教育ツールとしての成立を難しくする」ハードルがあった¹⁾．今日でも，インターネット天文台の利用者から，「どうして冷却CCDカメラによる高品質な画像を得ることができないのか」とたずねられることは少なくないが，ここでその問題点を改めて整理しておく，

- (1) 冷却CCDカメラは（高精細であるがゆえ）画像のダウンロードに少なからぬ時間を要し，そしてそれが画像を確認する唯一の手段である点が問題だ．ピント合わせの場合など，「ピント調整 画像ダウンロードと確認 再びピント調整」といった操作を繰り返すことになり，非常に能率が悪い．教室における限られた時間内に教員が，あるいは子どもたちがこのような作業に時間を費やしては，本来の目的である学習時間を圧迫することは必至である．教材が適切なタイミングで提示されることは，子どもたちの学習に対する集中力維持のために重要である．
- (2) 暗い星雲・星団など，無理をして長時間積分の画像を得なくても，インターネット上やCD-ROM教材としてきれいな画像が豊富に存在している．だいたい，動きのない一枚のデジタル画像となった時点で，それはもう「死んでしまっている」のであって，子どもたちにいきいきと話しかける力を失っている．とすれば，小望遠鏡による迫力に乏しい画像が，

大望遠鏡や宇宙望遠鏡から撮影された画像にかなうはずがない。星雲・星団は（超新星出現時などを除けば）いつも同じ姿を見せていると言ってよいので、その点からもこれら暗い天体をインターネット天文台の主対象とする必然性は低い。

- (3) 結局、子どもたちを魅了するのは、月・惑星・太陽などの身近な天体であり、それが大気シーイングによりゆらゆらと揺らめく姿である。満ち欠けに伴いさまざまな姿を見せる月面のクレーター、惑星の表面模様やその衛星の運動、太陽黒点やフレア・プロミネンスなどのダイナミックな活動、やはりこれらがインターネット天文台の主対象としてふさわしいものである。

以上見てきたように、静止画ダウンロード方式は利点はあるものの、学習教材としての利用を考えた場合、欠点が利点を上回る。そのため、既存のインターネット天文台においては明るい天体を主ターゲットとし、「静止画ではなく動画」を観察できるようにしてきた。動画のネットワーク配信は、RealVideo 形式によるストリーミング技術を用いている⁹⁾。そうした中でも、以下のような撮像カメラを備え、暗い天体へも可能な限りの対応を試みてきた¹⁰⁾。

- CCD ビデオ・カメラ：ソニー製 XC-75，ビジョンフリーザーにより 1/30～30 秒の範囲で長時間積分が可能。ただし，検出チップは非冷却
- ビジョン・フリーザ：蝶理製 TKIF-70，上記 XC-75 に長時間積分を与える一方，バッファ中の画像（ただし，8 ビット階調）を常時ビデオ出力するコントローラー
- 光電子増倍管：受光面から出る光電子を加速・増幅することで微弱光の観察を補助する装置。ただし，画質はノイジー（理大天文台で装備）

熊大インターネット天文台においては，SBIG 社製の STV という新型の冷却 CCD ビデオ・カメラを採用することとした。このカメラの特徴は，

- (a) 0.001 秒～600 秒という幅広い積分時間の設定が可能，月面などの明るい天体への対応用として，濃緑色フィルターが一枚ターレットに装備されている
- (b) CCD チップを電子冷却することで暗電流を抑え，暗い天体も撮像可能（長時間積分時には，暗電流をチップ上でリアルタイムに差し引くこともできる）
- (c) 画像は常時ビデオ出力される他，瞬間の静止画（ビデオ信号へ変換前の高画質のもの）をダウンロードすることもできる
- (d) 以上の機能はすべて，シリアル回線

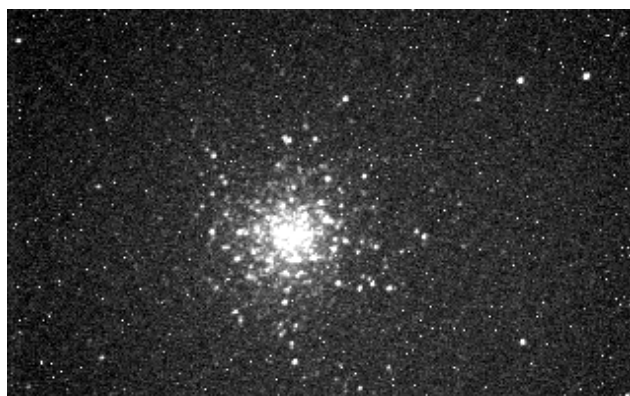
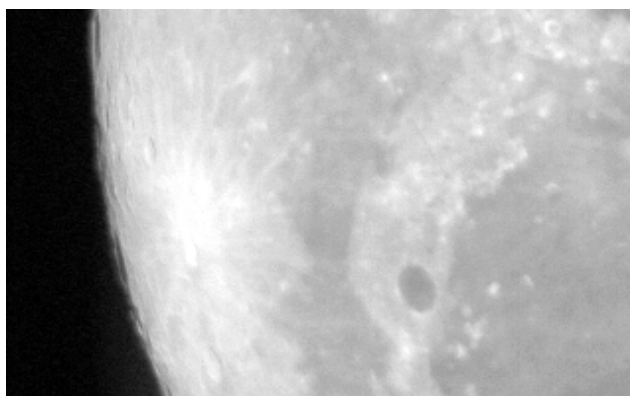


図 2：SBIG 製 STV 型冷却 CCD ビデオ・カメラによる球状星団 M13（上）と月面（下）。この例に見るように，広い明るさダイナミック・レンジに対応可能である（2002 年 8 月 22 日，御立岬にて観測）



経由で遠隔操作が可能である

といった、インターネット天文台用としてピッタリの特性を備えている¹¹⁾。(a)の特徴から、月や惑星のように明るい天体から、暗い星雲・星団まで、きわめて広いダイナミック・レンジへの対応が可能である(図2)。既存インターネット天文台で用いていたビジョン・フリーザも長時間積分を可能とするハードではあったが、暗電流の影響により30秒程度の積分時間が実用上の限界であった。STVの(b)の特徴のおかげで、実用的な(無理のない)範囲において、暗い天体の撮像にも挑戦できる。

そして、(c)の特徴は、ピント合わせ時の高い作業能率を約束するだけでなく、インターネット天文台からの画像を「より深く対象を研究する」用途に使うことを可能とする。従来は、定量的な測定を行いたい場合、RealPlayerで受信・再生していた動画の一瞬をキャプチャーしなければならず、その品質は非常に低いものであった(図3)。STVからダウンロードされる静止画は、画素数こそ320x200(わずか0.06メガピクセル)に限られているものの、10ビット階調の高いリニアリティを持った画像であり、定量的な測定にも十分に耐え得るデータである。熊大インターネット天文台は、「見る」だけのインターネット天文台を超えて、「調べる」ためのデータをも提供できる「一歩進んだ」理科教育ツールになったといえる。

特徴(d)を活かしてSTVを遠隔制御するためのソフトウェアは、プロトタイプ(Linux上で動作するもの)を開発済みであり、次章に述べるデザインに従って制御ソフトウェアに組み込まれるのを待つばかりとなっている。

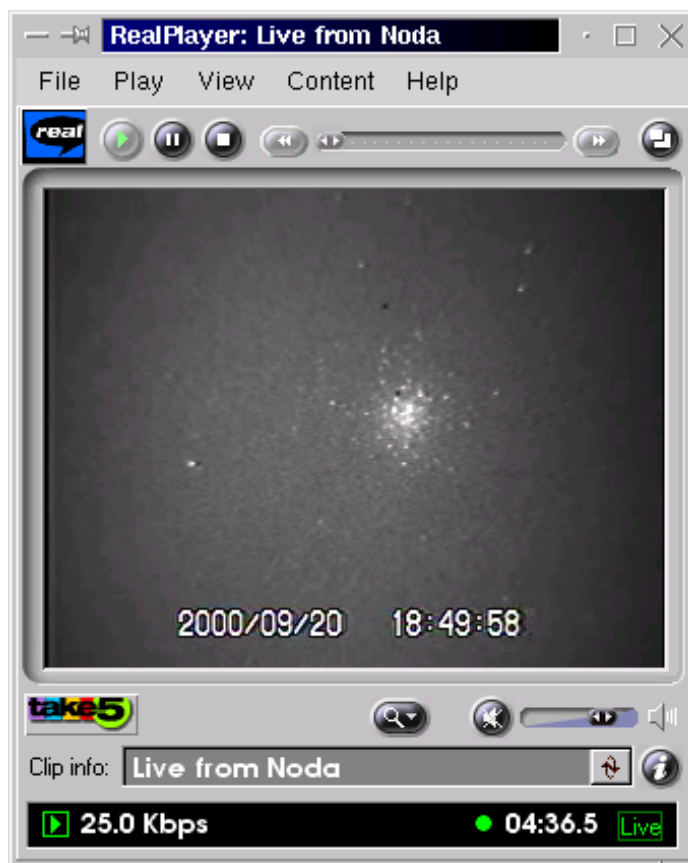


図3：理大インターネット天文台システム(XC-75E+TKIF-70+光電子増倍管)で撮影した球状星団M13。図2のSTVによる画像の方が(印刷では分かりにくい)ずっと高画質である。

3. ソフトウェア・デザインの進歩

今となっては反省することではあるが、最初のインターネット天文台制御ソフトウェア¹²⁾は、かなりいきあたりぱつぱりに書いたものであった。当初は小さなソフトであったが、天文台として動き始めるに従い、あれもしたいこれもしたいという要望が生じ、それらを強引に付け足していった結果でもある。インターネット天文台制御ソフトは整理すれば、入り口部分においては「利用者に簡単な操作を提供する」役割、そして最終的には「天文台ハードウェアを安全確実に動かす」役割を

担っている．初期のバージョンでは，この多様な役割のすべてを一つのソフトが（本当にただ一本のプログラムというわけではないが）行っていた．例えて言えば，町の小さな食堂で，お客さんの注文を聞き，厨房で調理，お客さんへ料理を出し，最後はお勘定の面倒まですべて一人の店員で働いているようなものである．

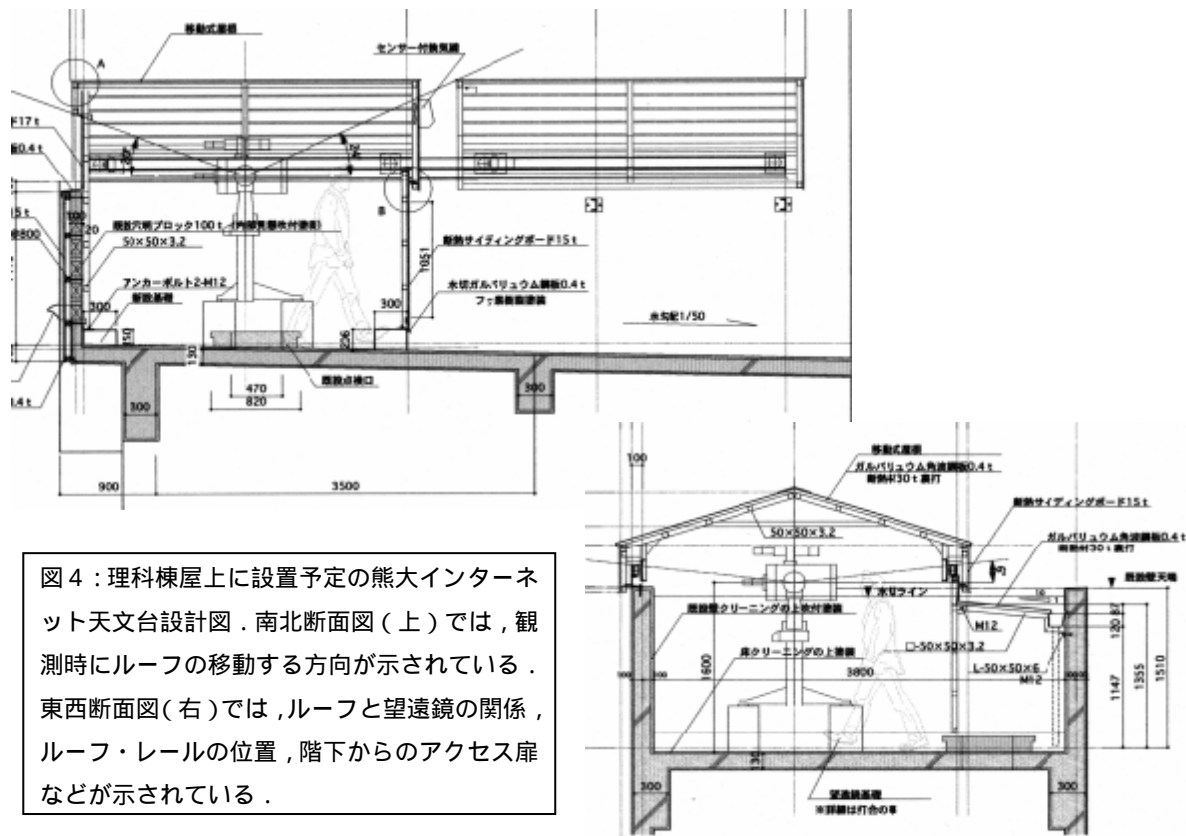


図4：理科棟屋上に設置予定の熊大インターネット天文台設計図．南北断面図（上）では，観測時にルーフの移動する方向が示されている．東西断面図（右）では，ルーフと望遠鏡の関係，ルーフ・レールの位置，階下からのアクセス扉などが示されている．

熊大インターネット天文台用のソフトウェア見直しに際し，このあたりをもう少しスッキリ整理することを目指した．つまり上記の食堂の例で言えば，接客部門と調理部門の分業化であり，インターネット天文台において「利用者に向けた側 A」と「ハードウェアに向けた側 B」を明確に分離し，その両者の協調により全体を機能させてゆこうという方針である．この場合にプログラム A は，自分の天文台がどのようなハードにより構成されているかを知っている必要はまったくない．利用者からのリクエストを一般化されたコマンドに展開し，例えば「roof open（天文台屋根を開ける）」とか「telescope object galaxy:M31（M31 銀河へ望遠鏡を向ける）」という形式で，プログラム B に伝えればよい．それを受けたプログラム B が，自サイトの構成ハードウェアに対応した個別のプログラムを呼び出し適切なパラメータ受け渡しを行うことで，利用者が意図したとおりに天文台が動作するわけである．プログラム A と B との間では，ソケット通信を利用することとした．

ソケット通信とは，プログラム間（正確にはプロセス間）があるポートを介して情報のやり取りを行うもので，同一マシン上だけではなくネットワークを隔てたプロセス間でもまったく同じことができるという点で便利な手法だ．つまり，プログラム A と B とは必ずしも同一マシン上で動作していなくてもよいのである．現実に理科教育教室では，理科棟 2F にウェブ・サーバーを立ち上げ¹³⁾，学科・教官・学生のホームページを提供している．天文台を利用する入り口としてふさわしいサーバーであるといえる一方，天文台は理科棟屋上に設置されるので，そこに置かれるハードウェアを 2F のサーバー・PC から制御することはかなり苦しい（さまざまな信号線ごとに延長限界がある）．

しかし新しいソフトウェア・デザインに基づけば、2F のサーバーPC 上でプログラム A を動作、屋上に制御用 PC を設置しその上でプログラム B を動作させ、両者の間をソケット通信で結べばよいわけで、問題はスッキリ解決である。

このような問題は、実は多くの学校現場において起こり得るであろう。例えば、ごく限られた教師用 PC だけがグローバル IP アドレスを持っていて、それ以外がローカル IP アドレスを割り当てられているようなケースである。もしインターネット天文台制御ソフトウェアが「一人がすべてを面倒見る食堂」のようなコンセプトで書かれていたら、必然的にグローバル IP アドレスを持ったウェブ・サーバーを天文台の近くに設置し、ハードウェア制御をも兼ねさせなければならない。さまざまな条件により、それが不可能な場合もあるはずだ。インターネット天文台の利用価値は、本質的にその設置台数が増える以上に増すものである。できるだけ多くの学校や施設に普及してもらいたいと我々は切望している。その目的のために、今回の新デザインは障壁を一つ減らすものとなっていると思う。

新デザインが提供するものは、設置上の自由度だけではない。さまざまな場所に設置されたインターネット天文台のいわば「最大の利点」として、相互利用により天候条件の影響を軽減できるということが挙げられる。つまり、ある天文台が天体観測に不向きな天候のとき、別のより好条件の天文台を用いることで、学習計画どおり滞りなく授業を進めることが可能だ。そのような場面において、利用者が天候を意識して別サイトへ移動しなくても、プログラム A と B (そして別サイトの B) が通信により自動的に最良条件のサイトへと利用者を導けば、余計なことに煩わせられない学習ができるというものである。究極的には、すべてのインターネット天文台へ分岐する「唯一つのマスター・サイト」を設定し、そこで動いているプログラム A が利用者を、日本各地のそして世界各地の天文台へと案内することもできるわけだ。

プログラム A, B ではあまりに味気ないので、Meister と Singer と名づけよう。上記の機能を有するプログラム A は支配人 Meister と呼ぶにふさわしく、A と B の関係は、支配人がお客 (天文台利用者) の要望に従い指令を出し、歌手が歌を聞かせる (ハードを制御する) というイメージである。そして両者が通信により一体化したとき Meistersinger となって、かのヴァーグナーの名曲のような絶妙のハーモニーで天文台利用者を楽しませることができるよう、という願いもこめられているのである。

4. 天文台設置スケジュールと、今後の展開

望遠鏡を格納する電動スライディングルーフ小屋は、平成 14 年 9 月下旬に理科棟屋上に設置、その後望遠鏡の据え付けと、新デザインにより書かれたソフトウェアの調整を行う。Meister, Singer とともに、各々「何を知っているべきか、どのようなリクエストにどのように応えるべきか」が明確な、独立性の高いプログラムとして設計されている。調整作業に長い時間は必要とせず、年内には本格稼働を開始するはずである。できるだけ早い時期に、附属校などでの教育実践に利用を開始したいと考えている。また、既設の理大サイトの増強に加え、北海道教育大学の協力により、北日本向け映像配信用ミラー・サーバーを設置することで、インターネット天文台の全国展開を本格化させる予定だ。

新しいハード・ソフトを与えられ産声をあげた熊大インターネット天文台であるが、これでもまだ「教室へ星空を！」という大目標にはたどりつかない。日本国内のサイトばかりではインターネ

ットを經由しても、当然のことながら、夜の天体を見るためには夜間にそれらを利用しなければならないからである。昼間の教室から夜の星空を観察することは、これは大きな時差を利用することではじめて可能なウルトラ C であり、海外拠点が渴望される所以である。次の目標は従って海外拠点の設置であり、現在はそのために必要な情報収集を行い計画を練っているところである。関東の二基が実用化のためのプロトタイプであったとすれば、熊大インターネット天文台は全国展開、そして海外進出を視野に入れたプロダクション・モデルに位置づけることができよう。新世紀の理科学習ツール「インターネット天文台」は、まさにこれから大きく羽ばたこうとしているのである。

参考文献

- 1) 佐藤毅彦・坪田幸政・松本直記：インターネットを經由した望遠鏡遠隔操作による、ライブ天体画像の取得とその教育現場での活用。電気通信普及財団研究調査報告書, No. 14-I, 195-206, 2000.
- 2) 佐藤毅彦・坪田幸政・松本直記：インターネットを經由した望遠鏡遠隔操作による、ライブ天体画像の取得とその教育現場での活用。電気通信普及財団研究調査報告書, No. 15, 185-196, 2001.
- 3) 佐藤毅彦・松本直記・坪田幸政：インターネット天文台の構築：1.安く、早く、簡単に。天文月報, 第 92号, 312-317, 1999.
- 4) 佐藤毅彦：理大インターネット天文台。SUT Bulletin, 第 17 巻, 第 4 号, 64-65, 2000.
- 5) 松本直記・坪田幸政・佐藤毅彦：インターネット天文台の国際利用 - 真昼にリアルタイム天体観測 - . 慶應義塾高等学校紀要, 第 30 号, 31-36, 2000.
- 6) 松本直記, 坪田幸政, 佐藤毅彦, 高橋典嗣：インターネット天文台とその教育利用。日本天文学会春季年会講演予稿集, Y07c, 2000.
- 7) 佐藤毅彦・前田健悟・松本直記・坪田幸政：インターネット天文台と理科教育。熊本大学教育学部紀要, 第 50 号, 17-22, 2001.
- 8) 佐藤毅彦：理大インターネット天文台の活躍～星食現象のライブ中継～. SUT Bulletin, 第 17 巻, 第 10 号, 70-71, 2000.
- 9) <http://www.real.com/>
- 10) 松本直記・坪田幸政・佐藤毅彦：インターネット天文台, その進化と真価。日本天文学会春季年会講演予稿集, Y07b, 2001.
- 11) <http://www.kkohki.com/STV/STV.html>
- 12) 佐藤毅彦・松本直記・坪田幸政：インターネット天文台の構築：2.良い物は作らない。天文月報, 第 93 号, 313-318, 2000.
- 13) <http://rika.educ.kumamoto-u.ac.jp/>