

卒業論文題目

宮教大インターネット天文台連続運用システムの開発

宮城教育大学 教育学部 生涯教育総合課程 自然環境専攻
d 8632 桑原 永介

目次

論文要旨

第1章 はじめに

第2章 インターネット天文台

1. インターネット天文台の概要と変遷
2. インターネット天文台システムの課題整理
3. インターネット天文台連続運用システムの開発
 - (1)観測終了時の望遠鏡の姿勢制御
 - (2)宮教大インターネット天文台遠隔操作必要ポートと映像配信
 - (3)天文台スライディングルーフの遠隔操作
 - (4)携帯電話を用いたインターネット天文台のリモート操作

第3章 インターネット天文台を活用した月・金星ライブ

1. 月・金星ライブの実施概要
 - (1)2009年度の月ライブ実施報告
 - (2)2009年度の金星ライブ実施報告
2. 金星・月追尾補正の検証

第4章 インターネット天文台を用いた実践授業

1. ひらめきときめきサイエンスでの実践
 - (1)実践授業の内容
 - (2)実践授業の評価

第5章 結論

謝辞

参考文献

付録1 「LANアダプターキット（ルーフ開閉制御）のセットアップ方法」

付録2 「ソフトウェアスタンバイを用いた望遠鏡のパークとパークの定義」

付録3 「スマートフォンを用いた天文台リモート操作に向けた準備」

論文要旨

宮城教育大学惑星科学研究室では、2003 年より本格的にインターネット天文台システムが構築されて以降、様々な教育現場におけるインターネット天文台の活用事例が報告されている。

これまでの宮教大インターネット天文台は、システム稼働時はインターネットによる望遠鏡の遠隔操作は可能だったが、観測開始時に一度天文台まで行き、スライディングルーフオープン、望遠鏡およびパソコンの電源アップ、そして望遠鏡制御ソフトと望遠鏡とのセットアップ、観測終了時には再び天文台まで行き、全てのシステムをシャットダウンし、スライディングルーフをクローズする必要があった。そのため、インターネット天文台の操作中やインターネット天文台を活用した月・金星ライブ中の急激な天候悪化などに対応しきれない状況があった。

本研究では、スライディングルーフ開閉の遠隔操作、そして観測終了時には望遠鏡のシステムをシャットダウンすることなく望遠鏡の姿勢をルーフ内で制御し、次回観測開始時に望遠鏡を姿勢制御した位置から目的天体導入を可能とする宮教大インターネット天文台の連続運用システムを開発した。連続運用システムの確立は、システムの立ち上げおよびシャットダウンするために天文台まで行き来する時間と手間を省き、いつでも誰でも宮教大インターネット天文台を遠隔操作することを可能とした。また、宮教大インターネット天文台連続運用システムにおける赤道儀の天体導入精度についての検証を行い、宮教大インターネット天文台がインターネット望遠鏡として採用している MT-300 (高橋製作所) にファインダーとしての miniBORG45ED(トミーテック社)を搭載したことが、全天の天体導入を容易なものとし、インターネット望遠鏡として操作性が向上したことを実証した。さらに、スマートフォンによる宮教大インターネット天文台の遠隔操作の検証を行なった。ソフトウェアを変えることをせずにスマートフォンのリモートデスクトップ接続を利用して、ネットワーク環境の制約にとらわれずにスマートフォンの高速パケット通信のつながる場所であればどこにいても宮教大インターネット天文台の操作が可能となった。本研究を通して、宮教大インターネット天文台をいつでも、誰でも、どこでも遠隔操作ができる環境が整った。

また、本論では宮教大インターネット天文台連続運用システムを活用した事例として、月・金星のライブ映像配信と追尾精度の検証、そして中学生を対象に行なった「ひらめき☆ときめきサイエンス」での実践授業について報告する。

第1章 はじめに

現行の学習指導要領は平成10年から11年にかけて改訂され、学校週5日制の完全実施と併せて小・中学校は平成14年度から実施された。現行学習指導要領は、平成元年の学習指導要領改訂の趣旨を更に発展させ、変化の激しい次の時代を担う子どもたちに必要な力は「生きる力」であるとした上で、その「生きる力」をはぐくむために、教育内容の厳選と授業時数の削減、総合的な学習の時間の創設、中学校における選択教科の授業時数の増加などを行った。しかし、「生きる力」を育む「ゆとり教育」の中で「学力低下」が騒がれるようになり、文部科学省では、平成20年に学校教育法施行規則の一部改正と小・中学校学習指導要領の改訂を行った。平成23年度以降の新課程実施に向けて、平成21年度から移行期間に入っている。小中学校理科における新課程実施に向けた授業時数の変化を以下表1に示す（文部科学省, 2008, 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について（答申）」）。

表 1：小学校理科における授業時数の変化

	授業時数（現行）	授業時数（新課程）
小学 3 年	70	90
小学 4 年	90	105
小学 5、6 年	95	105
中学 3 年	80	140 (平成 21~22 年度は 105 時間)

授業時数の増加に伴い、天文分野における内容の取扱いにも大きな変化がみられる。小学 3 年、4 年ではそれぞれ現行通りの「太陽と地面の様子」、「月と星」を扱うが、小学 6 年に新たに「月と太陽」という単元が設けられた。ここでは、月の形と満ち欠け、太陽の位置、月面の様子を学ぶことになっており、地球から見た月と太陽の位置関係から満ち欠けが起こることを学ぶことが指摘されている（文部科学省,平成 10 年 12 月,小学校学習指導要領,4 節理科）。さらに中学理科では、中学 3 年理科 2 分野において、これまでの「天体の動きと地球の自転・公転」、「太陽系と惑星」の他に「月の運動と見え方」が新たに追加されている。ここでは日食や月食についても取り扱うこととなっている（文部科学省,平成 10 年 12 月「中学校学習指導要領」,4 節理科）。

天文分野においてはかねてから天体の運動の理解、本物の天体の観察には、夜間の長時間観測が必要で、かつ観測機材や準備時間が不可欠になることから、昼間の理科の授業で実際に天体を観測することは現実的にできていなかった。新課程では、理科の実験・観察する時間の十分な確保が目標とされており、小中学校の天文分野の学習では、昼間でも観察できる月の単元が増えている。

そのような中、インターネットを介して望遠鏡を制御するシステムにより昼間でも気軽にかつ有効的に天体観測ができるインターネット天文台を宮城教育大学惑星科学研究室では、2000年より開発および改良、運営を行っている(高田他2001、2002、中堤2001、林2002、佐々木2003、千島2004、2005)。本研究では、これまでのインターネット天文台のシステムを概括し、学校教育現場や様々な教育活動により柔軟に活用できるように現在のシステムをより発展的な宮教大インターネット天文台の連続運用システムの確立を目指した。また、インターネット環境のない場所でも携帯電話の電波環境で宮教大インターネット天文台を「いつでも」、「どこでも」、「だれでも」遠隔操作できる環境を目指した。

第2章 インターネット天文台

1. インターネット天文台の概要と変遷

宮城教育大学インターネット天文台は 2000 年に構築され、その後、ハードウェア、ソフトウェアの更新などにより、現在に至る。これまでの活用事例として以下の教育プログラムが実施されており、障害者・病虚弱体質生徒を対象とした室内での星空観察（中堤, 2002）、海外からの時差を利用した星空観察（林, 2003）、昼間の星の観察（高田他, 2004、佐々木, 2004、千島, 2005）、昼間の金星・月ライブ（木村, 2008、鈴木, 2008）と様々なアプリケーションに活用されてきた。学校教育において、昼間の限られた理科の授業時間の中で、観測機器を準備し、実際に観測することは現実的に非常に難しい。観測機材も非常に高価で、望遠鏡を所有していない学校や、望遠鏡があるにも関わらず準備する時間がない、操作方法がわからないなどの理由でお蔵入りしているケースも少なからずあることが過去の調査からわかっている（中堤, 2002）。

そのような中で、インターネットを介して望遠鏡を制御することができるインターネット天文台は、一つの天体望遠鏡を遠く離れた観測者の誰もが共有できるという点において非常に有用であると、中堤(2002) は述べている。学校教育の現場ではインターネット天文台を利用することで、観測機器の準備の時間が省け、教室を移動する時間も短縮できる利点がある。さらに、画面を通しての観察になるため、擬似的ではあるものの実際の天体に触れる機会を有効かつ効果的に提供することのできるインターネット天文台は子どもたちの興味関心を惹く意味でも非常に有用である。そして、インターネット通信を利用するため、インターネット天文台のネットワークが確立されていれば、日本で昼間の授業中に海外の夜間の天体を観察することもできる。

ここでは、これまでに提案されてきたインターネット天文台システムおよび宮教大インターネット天文台の概略について以下表2-1-1にまとめる。表2-1-1が示すように、中堤(2002)によりインターネット天文台システムが構築され、遠隔操作による望遠鏡の制御を可能とした。このときの望遠鏡制御方法は現在も活用しているが、IAソフト (Software Bisuque社) を用いた遠隔操作である。これは、サーバー側とクライアント側にそれぞれ望遠鏡制御ソフトである「The Sky6」 (Software Bisuque社) をインストールし、サーバー側には望遠鏡と直接接続しているパソコンにサーバー機能を持たせるソフト「IAserver」、クライアント側にはサーバー側へのアクセス権の認証を行なうソフト「Scheduler」をインストールすることでインターネット環境が整えさえすれば、ネットワークを経由して制御し、望遠鏡を遠隔操作することができる (表2-1-2)。

表2-1-1：宮教大インターネット天文台システムの変遷

インターネット天文台システムの機能・改良点	具体的なシステム内容	報告例
インターネット天文台システムの構築	IAソフト (Software Bisque社) を用いた望遠鏡の遠隔制御	中堤, 2002
ボイスコミュニケーションシステムの追加	ボイス機能を併用した望遠鏡の映像中継	林, 2003
広視野をとらえる高感度CCDカメラの追加	広視野高感度CCDカメラによる天体撮像	吉田, 2003
天体カラー映像の取得システムの構築	天体カラー映像取得	佐々木, 2004
天体映像のリアルタイム映像の配信システム	リモートデスクトップ機能を用いた望遠鏡の遠隔制御	佐々木, 2004
多地点同時取得を想定したリアルタイム映像の配信システムの構築	天体カラー映像のストリーミング配信システム	千島, 2005
天体インターネットライブ映像システムの構築	月ライブ・金星ライブの運用と教育的活用	千島, 2007

表2-1-2：IAソフトを用いた望遠鏡遠隔操作方法

Internet Astronomy Software (IAソフト)	
ソフト名	ソフトウェアの役割
TheSky6	望遠鏡制御 (天文シミュレーション)
IAserver	望遠鏡を直接接続しているパソコンにサーバー機能を持たせる
IAclient	クライアント側管理
Scheduler	クライアント側からのアクセス権の認証、ユーザ管理

林 (2003) によってパソコンにインターネットでの画像公開が可能なデジタルビデオカメラ (web カメラ) とマイクを接続し、Yahoo!メッセンジャーのビデオ機能を用いて望遠鏡の映像の中継をすることを元にボイス機能を併用して双方向の会議システムが導入された。これは、望遠鏡が実際に動く様子の中継するので、遠隔操作側 (クライアント側) がインターネット経由で送信する望遠鏡操作の指令を確認することができるだけでなく、天文台側 (サーバー側) と遠隔操作側 (クライアント側) との遠隔授業の際に、方角ごとの雲量や天候の報告、操作の説明、トラブルシューティングをすることが可能となった。

佐々木 (2004) は、これまでのCCDカメラによる白黒撮像を、WEBカメラを用いることにより、カラー映像の取得システムを確立、望遠鏡の制御方法もIAソフトを用いた方法だけではなく、WinXPのリモートデスクトップ機能を用いた方法も導入した。

千島（2007）は、これまでのYahoo！メッセンジャーを用いた映像配信システムからWindowsMediaサービスによるストリーミング配信システムを確立したことで、映像を多地点に効率よく公開できるようになった。これにより、どこでも、誰でも天体のリアルタイム映像を確認することができるようになった。これは、現在、月ライブや金星ライブに活用されている。

現在、使用している宮教大インターネット天文台の観測機器を以下表2-1-3および図2-1-1に示す。鏡筒は高橋製作所のMT-300を採用しており、これにトミーテック社のminiBORG45EDを副望遠鏡として取り付けている。赤道儀は高橋製作所のEM-500を採用している。口径300 mmのMT-300および口径45 mmのminiBORGの接眼部にはそれぞれ天体撮像カメラとして、Philips社のWebカメラ、ToUcamPRO II (480×640画素)を取り付けている。このカメラから取得されたリアルタイムのカラー映像をWindowsMediaエンコーダというストリーミング配信ソフトを用いて配信している（千島, 2007）。

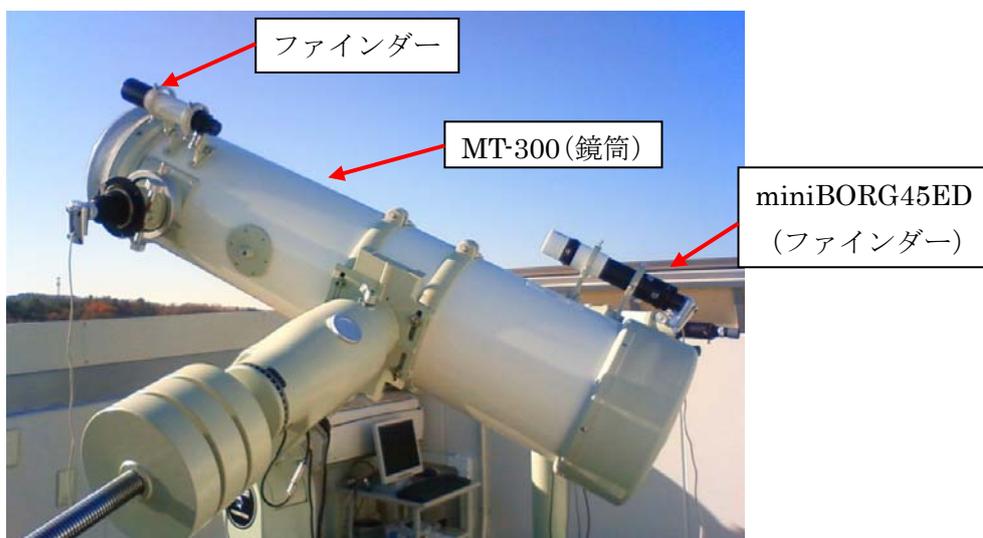


図2-1-1：観測機器

口径300mmのET-300(高橋製作所)にファインダーとして口径45のmmminiBORG45ED
(トミーテック社)を取り付けた状況を表す。

表2-1-3：宮教大インターネット天文台の観測機器

「望遠鏡1」は金星ライブで使用し、「望遠鏡2」は月ライブに使用している。

観測設備	望遠鏡	赤道儀	撮像カメラ	対象
望遠鏡 1	MT-300(高橋製作所) 口径:300 mm/焦点距離1500 mm	EM-500 (高橋製作所)	ToUcamPRO II (Philip 社)	月
望遠鏡 2	miniBORG45ED(トミーテック) 口径:45 mm・焦点距離:255 mm			惑星 恒星

千島（2007）によると、ToUcamPRO II（Philips社）のカメラは直焦点撮像としたため、拡焦点距離が1500 mm のMT-300 で、6×8 分角、焦点距離が255 mm のminiBORGで、37×50 分角と視野角の違う2種の映像を配信することができる。MT-300にminiBORGを搭載したことにより、一つの赤道儀で視野角の違う映像を同時に確認することができるようになった（図2-1-2）。



図2-1-2(1)miniBORG45EDによる木星画像



図2-1-2(2)MT-300による木星画像

図2-1-2：視野角の異なる木星画像で両者は2009年12月1日20：11に撮影されたもの。広視野角のminiBORG45EDの中央に目的天体を導入するとET-300が捉える画面中央に目的天体が導入されるようにファインダー調整を行なった。背景色が異なるのは、倍率/シャッタースピードによって天体からの光量が決まるため、その光量によって画質調整を施しているためである。

（1）：広視野角のminiBORG45ED（口径45 mm）により撮影した木星（シャッタースピードは1/25sec）。視野角が37×50分角のため木星の衛星が確認できる。（2）：狭視野角のMT-300（口径300 mm）により撮影した木星（シャッタースピードは1/100sec）。視野角が6×8分角と狭いため、木星の縞模様を確認することができる。

2. 宮教大インターネット天文台システムの課題整理

2002年に宮教大インターネット天文台が構築されて以来、ソフトウェア・ハードウェア両面の更新と活用事例が報告されてきたことは前節で示した。ここでは宮教大インターネット天文台のシステムをシャットダウンすることなく常に稼働し、いつでも誰でもインターネット天文台を遠隔操作することのできるシステム、いわゆる連続運用システムの確立に向けた課題を整理する。

表2-2-1：宮教大インターネット天文台連続運用システム開発に向けた課題整理

遠隔操作方法	望遠鏡	望遠鏡姿勢制御	運営状況
IAソフト	Internet Telescope	パーク	クライアントにIAソフトおよび天文台ルーフ開閉制御ソフトのインストールが必要。
リモートデスクトップ	Temma by Takahashi	ソフトウェアスタンバイ	インターネット環境のみでシステム全般の遠隔操作が可能。

宮教大インターネット天文台の連続運用に向けて、天文台ルーフ開閉の遠隔操作および望遠鏡の操作をする場合は常時望遠鏡の電源を入れたままルーフ内で望遠鏡を不動の状態に維持する必要がある。そのため、観測終了時に決まったポジションに望遠鏡を移動し、次回観測開始時に保持していた望遠鏡の位置から観測(天体導入)を可能としなければ、インターネット天文台としての連続運用ができない。宮教大インターネット天文台が望遠鏡制御ソフトに採用しているThe Sky6(Software Bisque社)には望遠鏡のシステムをシャットダウンすることなく、望遠鏡の姿勢制御をする「パーク」と呼ばれるコマンドがある。しかし、宮教大インターネット天文台のTemma EM-500(高橋製作所)では「パーク」機能のコマンドが使用できない。そのため、Internet TelescopeとしてクライアントからサーバーへアクセスするIAソフトを用いた遠隔操作の場合はThe Sky6の「パーク」コマンドは有効だが、リモートデスクトップ接続によるTemma Takahashiを望遠鏡として設定する場合は「パーク」コマンドは使用できない(表2-2-1)。

また、宮教大インターネット天文台はWEBカメラにより天体のカラー映像を取得し、Windows Mediaサービスによって取得した映像を配信しているため、観測の際は目的とする惑星や恒星、月などによって画質調整が必要になる。そのため、IAソフトを用いた遠隔操作では、宮教大インターネット天文台の場合、望遠鏡の遠隔操作のみ有効となり、遠隔地での画質調整ができない問題がある。この問題はサーバーパソコンのデスクトップをクライアントパソコンで操作するリモートデスクトップ接続では解決できる。よってリモートデスクトップ接続を利用して望遠鏡の姿勢制御が可能となれば、宮教大インターネット天文台の連続運用が可能となる。

宮教大インターネット天文台の連続運用にあたって、連続運用はシステムを常時稼働しておくことが前提となるが、24時間システムを稼働しておくことは、これまで以上にシステムをウイルスアタックなどの脅威から保護するためのセキュリティ対策も講じなければならない。Windowsのリモートデスクトップの場合、クライアント側からのアクセスを許容するために、サーバー側のポート3389番を開放する必要があるのだが、ポート3389番はリモートデスクトップのポートとして一般的に広く知られているため、ウイルスのアタックなどを受けやすい問題がある。また、宮教大には大学関係者のみが学内ネットワークに入ることが許容されているVPN接続があるが、VPN接続は利用者を制限できるということでセ

セキュリティレベルは高くなるが、現状では接続が学内関係者のみに制限されている。安全にかつ効果的にインターネット天文台を普及していくためにどのようにセキュリティ対策を講じていくのかを検証する必要がある。

3. インターネット天文台連続運用システムの開発

(1) 観測終了時の望遠鏡の姿勢制御

○IAソフトを用いた観測終了時の望遠鏡の姿勢制御

IAソフトを用いた遠隔操作における観測終了時の望遠鏡姿勢制御は、The Sky6 (Software Bisque 社) が提供している「パーク」コマンドによって可能である(図 2-3-1)。

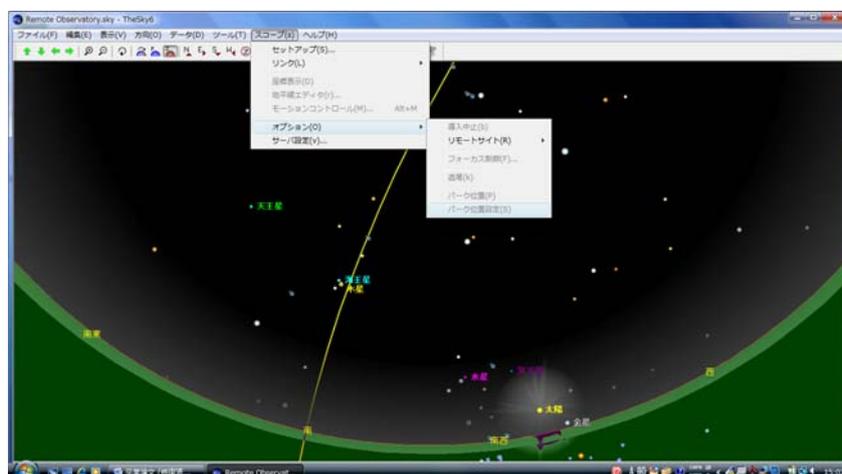


図 2-3-1 : IA ソフトを用いた望遠鏡の姿勢制御

IAソフトを用いた場合、望遠鏡のパークはTheSky6が提供しているコマンドによりできる。上図のようにスコープ/オプション/「パーク位置」および「パーク位置設定」により望遠鏡のパークは実現するが、あらかじめ望遠鏡をパーク位置に相応しいポジションに向け、そこで「パーク位置設定」をクリックする。望遠鏡はパーク位置を認識し、観測終了時に「パーク位置」コマンドを選択すると、望遠鏡はパーク位置へ移動を開始し、自動的に望遠鏡とTheSky6とのリンクが切断される。次回観測開始時にTheSky6を立ち上げ、望遠鏡とのリンクを確立すると、天体と望遠鏡との「同期」を取る必要がなく、パークポジションから、目的天体を導入し、観測することができる。一度、パーク位置を設定し、ドキュメントの保存をすると、パソコンの電源を入切してもTheSky6はパーク位置を認識し続けるのでパーク位置設定は一度行えば再度行う必要はない。

現在使用している高橋製作所の Temma (EM-500) は電源を入れると恒星追尾を開始する。赤道儀の電源を入れたままで鏡筒の姿勢を保持するためには、The Sky6 (Software Bisque 社) の「パーク位置設定」および「パーク位置」というコマンドを用いる。それぞれパーク位置を設定するコマンド、パーク位置へ移動するコマンドになっているが、このコマンドは IA ソフトを用いたインターネット望遠鏡でコントロールする際には使用できる。IA ソフト (Software Bisque 社) の IAServer および Scheduler を用いてインターネット経由でサーバを管理する場合、サーバの The Sky6 (Software Bisque 社) が認識する望遠鏡は「Internet Telescope」であり、天文台内に格納されている望遠鏡 Temma (高橋製作所) としては認識されない。そのため、IA ソフトを用いて遠隔操作する場合、パークコマンドを使用することができる。このパークは、望遠鏡をパークポジションでパークすると、自動的に望遠鏡と The Sky6 とのリンクが自動的に切れるが、ソフトウェアのスタンバイをしている状態になる。そのため、次回観測時に The Sky6 と望遠鏡のリンクを再度確立すると、新たに天体で望遠鏡との同期を取る必要がなく、パークポジションから目的天体の導入が行える (図 2-3-1)。

○リモートデスクトップを用いた観測終了時の望遠鏡姿勢制御

宮教大インターネット天文台が採用している高橋製作所の Temma は TheSky6 との相性の問題で、IA ソフトによるインターネット望遠鏡としての The Sky6 のパークコマンドを使用できない。リモートデスクトップ接続による望遠鏡の遠隔操作では、望遠鏡設定が Temma by Takahashi (高橋製作所) になるため、リモートデスクトップ接続における望遠鏡のパーク位置設定については、The Sky6 のソフトウェアスタンバイを用いた方法を検証した。

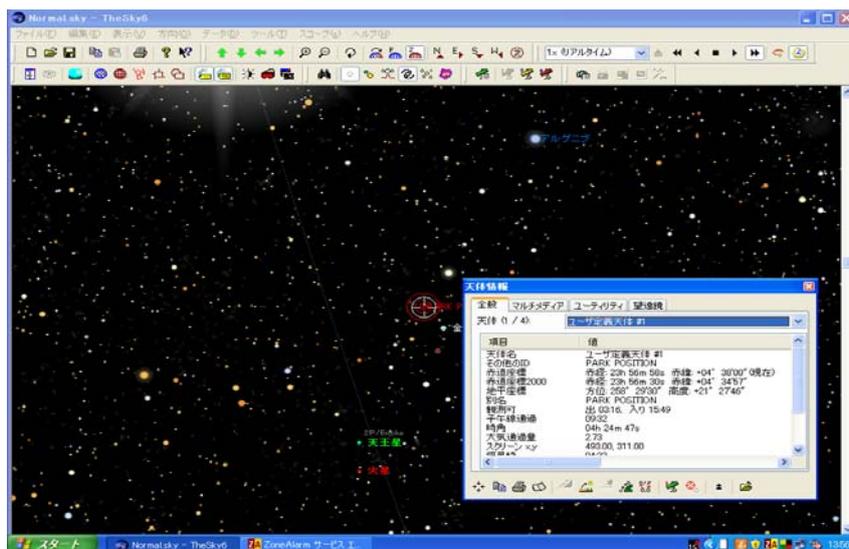


図 2-3-2(1) : ソフトウェアスタンバイ開始時

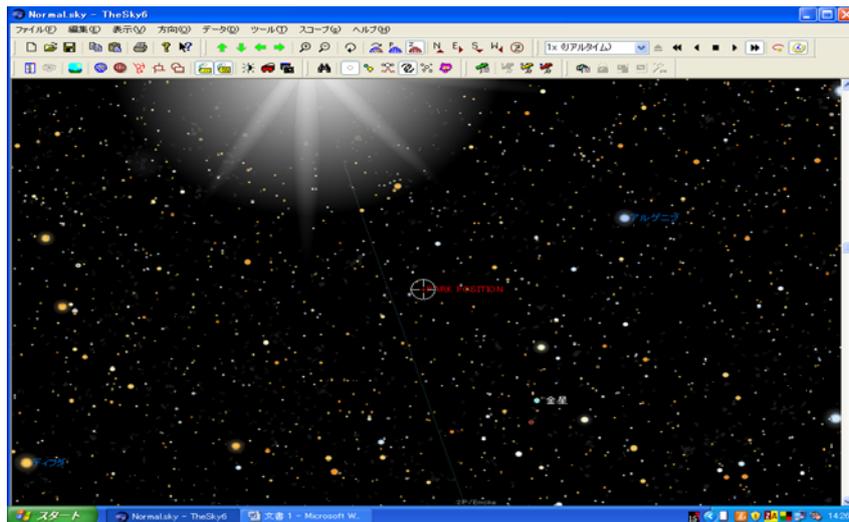


図 2-3-2 (2) : ソフトウェアスタンバイ検証結果

(1) 2009 年 4 月 13 日 13:56 (ソフトウェアスタンバイ開始時) の TheSky6 画面。ソフトウェアスタンバイを開始する前に、望遠鏡のパーク位置に相応しい位置を検討するため、望遠鏡と TheSky とをリンクさせた後、太陽で同期を取り、望遠鏡の向いている方向を確認した。その後、適当な恒星を視野導入し、地平座標 (高度/方位) でパーク位置として定義 (以下「パークポジションの定義」) した。

(2) : 2009 年 4 月 13 日 14:26 (ソフトウェアスタンバイ開始 30 分後) の TheSky6 画面。地平座標 (高度/方位) で望遠鏡の位置を定めているため、天体の運動とは関係なく、望遠鏡の向いている方向は 30 分たっても変わらなかった。ソフトウェアスタンバイ中は赤道儀の運動が停止しているため、スタンバイ開始時とスタンバイ開始 30 分後もパーク位置の誤差は生じていなかった。

図 2-3-2 の 2 つの The Sky6 (Software Bisque 社) 画面の拡大率は異なるが、図を見てもらえばわかるように、望遠鏡はソフトウェアスタンバイを開始してから 30 分経過した後も、定義した位置に望遠鏡は姿勢制御されていた。

次にソフトウェアスタンバイ解除後の天体導入精度についての検証を行なった。検証にあたって、まず、mini BORG45ED による広視野角映像が望遠鏡リモート操作におけるファインダーとしての役割を果たすのかを検証するため、宮教大インターネット天文台の赤道儀 EM-500 (高橋製作所) の天体導入精度を検証した (図 2-3-3)。

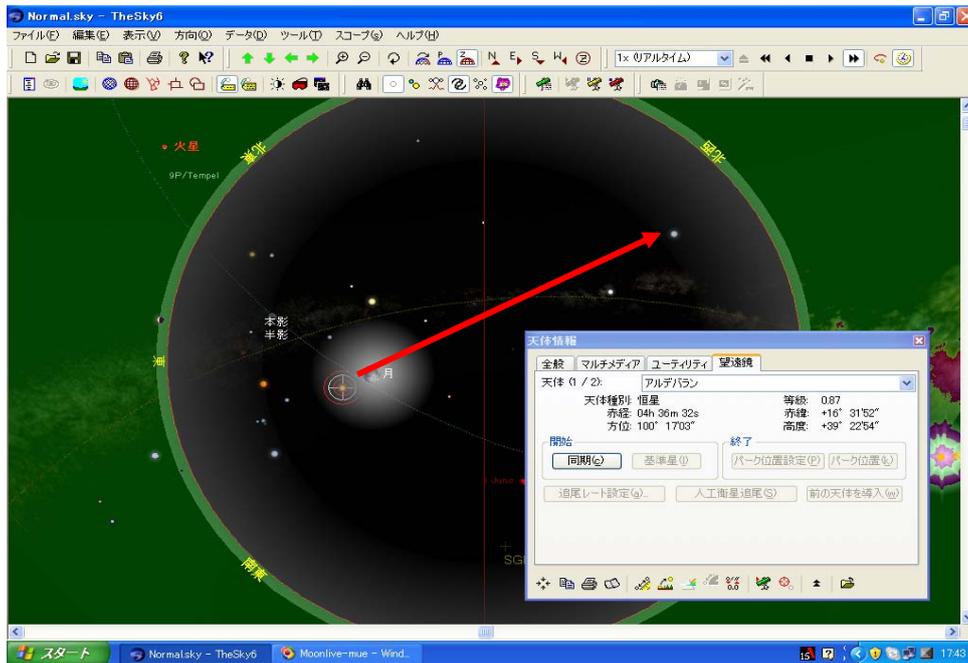


図2-3-3：天体導入精度検証時の空

2009年12月29日17:43の空。子午線から東側の1等星アルデバランで望遠鏡と望遠鏡制御ソフト TheSky6 (SoftwareBisque社) の同期を取った。同期取得はWindows Mediaサービス出力画面の中央付近にアルデバランを導入し、正確に同期を取った。アルデバランで同期取得後、子午線の西側にある0等星ベガの天体導入を行なった。検証にあたって赤道儀はTemma EM500(高橋製作所)、望遠鏡に取り付けたWEBカメラは、ToUCamPro II (Philips社) を使用した。

図2-3-3は赤道儀Temma EM-500(高橋製作所)の天体導入精度の検証を行なった時のThe Sky6(Software Bisque社)画面である。南東の空のアルデバランから北西のベガの導入を行ない、その導入精度を検証した。ベガを導入する前にアルデバランで望遠鏡とThe Sky6 (Software Bisque社)との同期を正確に取得してからベガの導入を行なった。

アルデバランとベガの2天体を導入精度の検証に用いたのは、検証時、アルデバランに対してベガが子午線を挟んだ反対側に位置しており、赤道儀の移動量が 90° 以上となるため、全天に対しての天体導入精度が検証できると考えたからである。

Adobe Photo Shop Elements8にてアルデバランとベガのWindows Mediaサービス出力画面(240×320pix)を合成し、すばる画像処理ソフト「マカリ」にて位置測定をした。ベガ導入時、できるだけWindows Mediaサービス出力画面の横(X)方向が赤経、縦(Y)方向が赤緯になるようにWEBカメラの向きを赤道儀の極軸に対して垂直になるように接眼部へ取り付けた。「マカリ」の位置測定はpix単位で指定した範囲の最大輝度値の位置を座標で示すことができる。位置測定を行なった結果を以下に示す。

表2-3-1：アルデバランとベガの位置測定結果

	アルデバラン(pixel)	ベガ(pixel)	誤差(pixel)	誤差(分角)
X (横方向) 座標	151.01	135.48	15.53	2.48
Y (縦方向) 座標	128.63	130.50	1.87	0.28

表2-3-1はアルデバランとベガの位置測定結果を示す。すばる画像処理ソフト「マカリ」ではアルデバラン(同期天体)とベガ(目的天体)の合成画像から両天体の位置を座標で示すことができるため、両天体が横方向(X方向)と縦方向(Y方向)にどの程度の誤差があるのかがわかる。位置測定の結果、ベガとアルデバランはX方向に15.53pix、Y方向に1.87pixの誤差があることがわかった。1pixが0.15分角なので、X方向に2.48分角、Y方向に0.28分角の誤差があることが検証された。しかし、赤緯方向の誤差0.28分角はカメラの設置した向きによって生じた可能性もある。いずれにせよ、この誤差はMT-300(6×8分角)のWindows Mediaサービス出力画面に一度で導入される誤差範囲ではある。さらに、これはアルデバランで正確に同期を取得した際の天体導入精度であるため、連続運用システムの望遠鏡姿勢制御ポジションからの天体導入精度とは異なる。

ソフトウェアスタンバイ解除後の天体導入精度の検証は、2009年1月4日20:15分にまず、シリウスを望遠鏡およびファインダーカメラ映像の中央に導入し、望遠鏡とThe Sky6(Software Bisque社)との同期を取得した。その後、望遠鏡をルーフ内に格納できるポジションを任意に定めてから定義した位置へ望遠鏡を制御し、望遠鏡のソフトウェアスタンバイを開始した。ソフトウェアスタンバイ開始から45時間26分後の1月6日17:41分にソフトウェアスタンバイを解除し、望遠鏡を姿勢制御していたポジションから木星の導入を試みた(図2-3-5)。

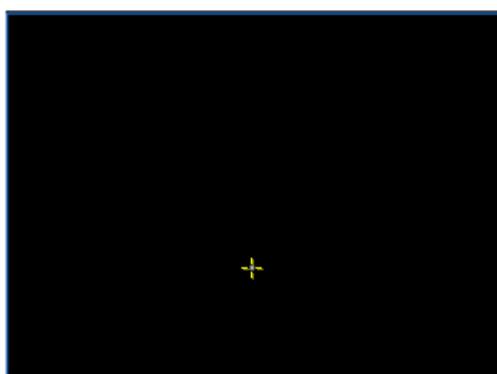


図2-3-5：木星の位置測定

ソフトウェアスタンバイ解除後に miniBORG45ED(37×50分角)によって木星を導入した際のWindows Mediaサービス出力画面(240×320pix)を、すばる画像処理ソフトマカリにて位置測定した時の画像。

図 2-3-5 に示すように、Windows Media サービス出力画面のどの位置に木星が導入されたのかを検証するため、すばる画像処理ソフト「マカリ」の位置測定を行ない、木星導入時の木星の位置を座標で示した(表 2-3-2)。

表 2-3-2 : ソフトウェアスタンバイ解除後の木星の位置測定結果

	木星の位置 (pix)	画面中央位置 (pix)	誤差 (pix)	誤差 (分角)
X (横方向)座標	158.36	160	1.64	0.26
Y (縦方向)座標	166.92	120	46.92	7.0

表 2-3-2 に示したように、木星は画面中央から横方向に 0.26 分角、縦方向に 7.0 分角外れていることがわかった。ソフトウェアスタンバイするための望遠鏡姿勢制御ポジションは天体のような対象物ではなく、地平座標(高度/方位)でポジションを定めているため、望遠鏡の姿勢制御ポジションで望遠鏡と The Sky6 (Software Bisque 社)の同期取得することが困難であり、正確に望遠鏡姿勢制御ポジションに望遠鏡が導入されているのかは判断できない。ファインダーとして採用している広視野角(37×50 分角)の mini BORG45ED (トミーテック社)がインターネット天文台の連続運用には非常に有用であることが証明された。

OVPN 接続を利用した望遠鏡の遠隔操作

VPN 接続は、仮想的に学内ネットワークからインターネットに接続するものである。そのため、VPN 接続を確立すると学内ネットワーク網の IP アドレスが自動的にクライアント側パソコンに振り分けられる(図 2-3-6)。よって、IA 関連ソフトのポートを学外へ開放せずとも望遠鏡の遠隔操作が可能となる。VPN 接続によって学内サーバーへログインした場合、インターネット天文台の遠隔操作方法は IA ソフトを用いたインターネット望遠鏡による操作と具体的な操作方法は等しくなる。よって、サーバー側とクライアント側に IA ソフトがインストールされていることが条件になる。宮教大の VPN 接続は (<http://sslvpn.miyakyo-u.ac.jp/>) にアクセスし、ログインすることで望遠鏡操作サーバーとの接続が確立される(図 2-3-7)。

VPN 接続には、宮城教育大学発行の ID およびパスワードが必要になる。そのため、利用者の制限がかかることで、セキュリティの向上は見込めるが、現状では学外関係者によるアクセスは基本的にはできないため、VPN 接続を利用するためのゲストアカウントの発行が必要となる。

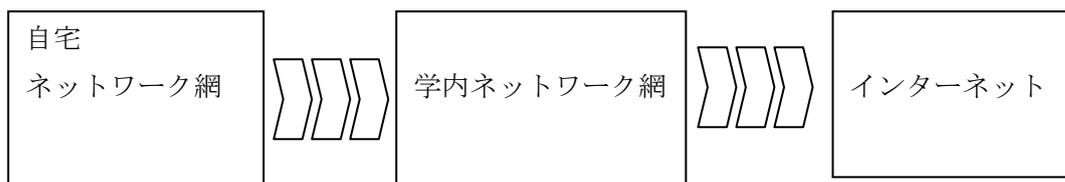


図 2-3-6 : VPN 接続確立後のネットワーク状況

自宅ネットワーク網から宮教大の VPN 接続が確立されると、自宅 PC に学内ネットワーク網の IP アドレスが自動的に振られる。この状態は仮想的に学内ネットワーク網に入り込んでいることを表す。VPN 接続は組織の外から組織内でのネットワーク環境を確立するための手段である。そのため、学外へ IA ソフト関連ポートが閉じている場合でも VPN 接続を利用することで望遠鏡を遠隔操作できる。

図 2-3-7 : 宮教大 VPN 接続ログイン画面

本学学生が VPN 接続にログインする場合、Username には学籍番号を、Password には学籍番号を持つ本人が任意に定めたパスワードを入力する

(2). 宮教大インターネット天文台遠隔操作必要ポートと映像配信

宮教大インターネット天文台のシステムを学外から遠隔操作するには、サーバー側のパソコンのアプリケーション既定のポートを外部へ開放する必要がある。宮教大インターネット天文台を遠隔操作するために必要なポートは表 2-3-3 の通りである。

表 2-3-3：宮教大インターネット天文台の遠隔操作必要ポート

ソフトウェア		ポート番号
IA ソフト	The Sky6 Scheduler	TCP/UDP9032 TCP/UDP9030
機能		ポート番号
月ライブ映像配信		http(TCP80)
金星ライブ映像配信		http(TCP8080)
リモートデスクトップ		TCP10001
ハードウェア		ポート番号
ネットワークカメラ (天文台内映像)		http(TCP80)
LAN アダプターキット (ルーフコントロール)		http(TCP80) UDP10001 ~10002

クライアントからサーバーへ IA ソフト (Software Bisque 社) を用いて望遠鏡を遠隔操作する場合、サーバー側の IA ソフトのポート (TCP/UDP 9030・9032) を開放する必要がある。リモートデスクトップでクライアントからサーバーを操作する場合は、IA ソフト関連 (Software Bisque 社) ポート開放は不必要である。しかし、リモートデスクトップのポート TCP3389 は、ウイルスの侵入やハッキングに利用されやすいポートとして知られている。セキュリティの面において非常に問題がある。そこで、表 2-3-3 に示すように、宮教大インターネット天文台では、リモートデスクトップはデフォルトの TCP3389 から TCP10001 へ変更した。一般的に 10000 番以上のいわゆるハイヤーポートを使用することでセキュリティ強化を図った。アプリケーションの使用ポート変更は、レジストリエディタの変更を行なうことで可能である。

ルーフコントロールに用いる LAN アダプターキット、天体映像配信に用いる WindowsMedia サービス、天文台内映像の配信に用いるネットワークカメラは、基本的に http80 ポート、または 80 ポートの代わりとなる 8080 ポートの開放により、学外から操作および確認をすることができる。

(3) 天文台スライディングルーフの遠隔操作

宮教大インターネット天文台はスライディングルーフ式天文台 (ヒューマンコム社製) (図2-3-8) を採用している。宮教大インターネット天文台は (有) トライステート社製の LAN アダプターキット (図2-3-9) を使用する。これはインターネットに接続するリモート I/O ボードで、パソコン同様に LAN に直接接続し、ネットワークに接続されているパソコン

ンのWebブラウザからI/OのON, OFF、およびプログラムによるコントロールをするものである。単純なI/OのON, OFFならWebブラウザから操作できるので、機種・OSを選ばない。

プログラムは市販の開発言語・ツール（例：Visual BASIC/Visual C++）が必要となる。今回はルーフの開閉スピードなどを考慮した独自のプログラムにより制御することとした。プログラムの実行ファイル（exeファイル）と実行ファイルの起動支援するためのdllファイル、ocxファイルを、コントロールするパソコンへコピーし、
<http://www.tristate.ne.jp/picnic.htm>((有)トライステート社)よりProject1.exeのセットアップファイルをインストールし、セットアップを実行した段階でプログラム実行ファイルの起動が可能となる(表2-3-4)。

図2-3-10はルーフ開閉実行ファイル「Project1.exe」を起動した際の画面である。平行スライドルーフと、回転ルーフの開閉・停止を各々別々に制御できるように設計されている。本ルーフ開閉制御画面だけでは、実際にルーフの開閉や、天文台内の様子が判断できないため、ルーフを遠隔操作する際は、「天文台内カメラ」 (<http://160.28.190.108>)の映像を確認し、天文台の様子を把握する必要がある。

表2-3-4: プログラム実行にあたってのファイル一覧

ファイル名 (宮教大インターネット天文台)	ファイルの役割
Project1.exe	実行プログラムが収められたファイル。
PICNIC.dll	プログラム拡張ファイル。 (exeファイルと構造は変わらないが単独で動作しない)
PICCOX.ocx	ソフトウェアを構成するプログラム。 アプリケーション間のデータ連携を実現する共有プログラム。
Setup (フォルダocxdemo)	Project1.exeファイルのセットアップファイル。 (トライステートのホームページよりダウンロードする)



図2-3-8 : 宮教大インターネット天文台スライディングルーフ

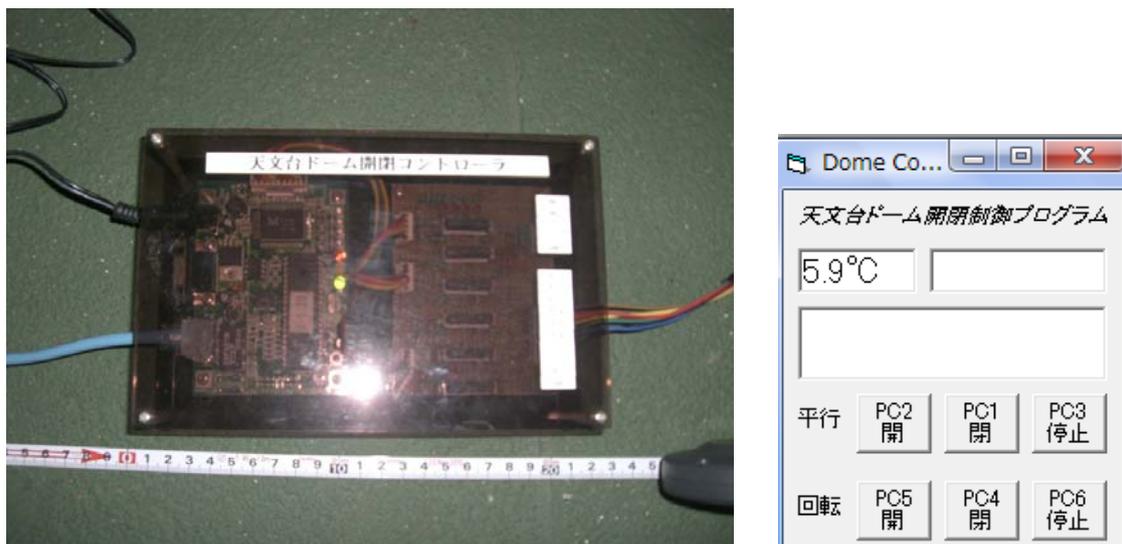


図2-3-9(左)：ルーフコントローラ/PICNIC（トライステート社製）

コントローラからはLANケーブル、電源ケーブル（ACアダプタ）、および天文台の電源制御装置につながるケーブルがそれぞれ接続されている。ルーフコントローラにIPアドレスが振られているので、学内ネットワーク網を經由してルーフ制御を行なう。

図2-3-10（右）：天文台ルーフ開閉制御プログラム起動画面

Project1.exe実行ファイル起動画面。ルーフの開閉に関する操作は開閉ボタンをクリックすることで可能となる。開閉時は必ず停止ボタンを押してプログラムを終えるようにする。図2-3-8に示すように本学インターネット天文台のルーフは平行と回転の2枚のルーフで観測室内が保護されている。

(4) 携帯電話を用いたインターネット天文台のリモート操作

近年、「パソコンのような携帯電話」、いわゆるスマートフォンが急速に普及している。スマートフォンを使って The Sky6(Software Bisque 社)を起動することができれば宮教大インターネット天文台を、ソフトウェアを変えことなく遠隔操作できるようになる。しかし、宮教大インターネット天文台が望遠鏡制御に使用しているソフトウェア The Sky6(Software Bisque 社)のドキュメントサイズは 2.84GB(インストール後)であり、ポケット PC(スマートフォン)対応のアプリケーションではないため、スマートフォンにソフトウェアをインストールすることができない。ただ、スマートフォンの中には、Windows Mobile という OS を採用しているものがあり、リモートデスクトップ機能が付加されている機種も存在している。リモートデスクトップを使うことで、携帯電話からパソコンの OS である Windows XP を操作することができる。スマートフォンのリモートデスクトップを使って宮教大インターネット天文台の遠隔操作を検証することとした。スマートフォンの通信手段は、無線 LAN の他にパケット通信となっている（表 2-3-5）。

表 2-3-5 : スマートフォン (リモートデスクトップ付加) の基本情報

機種	OS	CPU・メモリ	通信方法・速度
WS011SH(WILLCOM)	WindowsMobile6.0 (Classic)	MarvellPXA270 520MHz 256MB	PHS (W-OAM 対応 W-SIM) →64kbps 無線 LAN (IEEE802.11b/g) →54Mbps
HT-01A (Docomo)	WindowsMobile6.1 (Professional)	QualcommMSM7201A 528MHz 512MB	HSPD (ハイスピード) →7.2Mbps 無線 LAN (IEEE802.11b/g) →54Mbps

表 2-3-5 に示す 2 種についてリモートデスクトップの検証を行った。WILLCOM は無線 LAN の他に PHS 電波による通信をサポートしており、DOCOMO は無線 LAN の他に FOMA ハイスピードエリアで通信可能な HSPD (ハイスピード) を提供している。HSPD (ハイスピード) は DOCOMO の moperaU と呼ばれるプロバイダを経由して行なう高速パケット通信である。

そこで、スマートフォンのリモートデスクトップ機能を用いて、宮教大インターネット天文台のサーバーへのアクセスが可能かどうか検証した(図 2-3-11/図 2-3-12)。

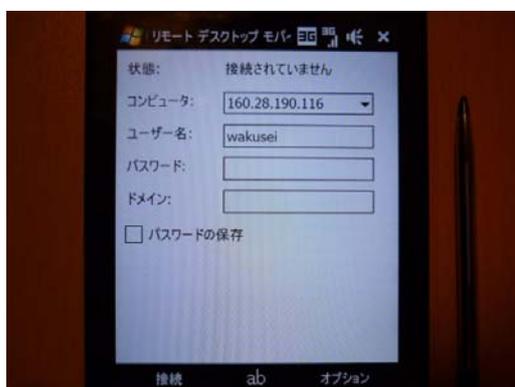


図 2-3-11(左) : リモートデスクトップログイン画面

リモートデスクトップ接続ログイン画面。リモートデスクトップ接続のログイン情報はコンピュータ名にサーバー側パソコンの IP アドレス、ユーザー名にサーバー側パソコンのユーザーアカウント名、パスワードにはアカウントで設定した任意のパスワードを入力。リモートデスクトップ接続にはサーバー側パソコンのアカウントにおけるパスワードを設定しなければアクセスできない。WS011SH における PHS 通信では回線速度が 64Kbps と遅く、リモートデスクトップ接続はできない。

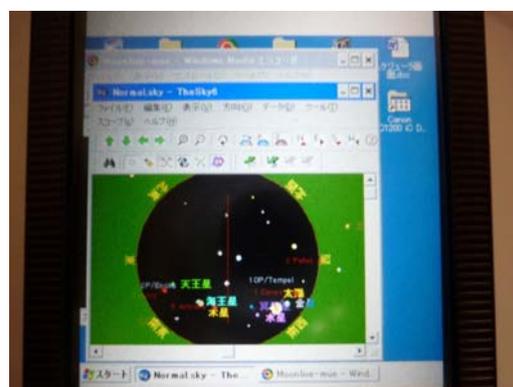


図 2-3-12(右) : TheSky6 起動画面 (リモートデスクトップ接続)

ウィルコム WS011SH のワイヤレス LAN 通信 (54Mbps) による TheSky6 起動画面。操作は付属のスタイラスペンを使用しタッチパネルで基本操作を行う (画面色 256 色)。

今回、リモートデスクトップ接続については無線 LAN での接続と、パケット通信での接続を検証した。スマートフォンのパケット通信を用いて宮教大のインターネット天文台を操作できるようになったことで、ワイヤレス LAN やローカルエリアネットワーク等の環境にいずれもパケット通信可能なエリアでの遠隔操作が可能となった。ワイヤレス LAN の接続設定は機種によって異なる。(付録 3 「スマートフォンを用いた天文台リモート操作に向けた準備」)。また、基本的にウィルコム の PHS 電波や DOCOMO の HSPD (ハイスピード) 通信を利用する場合は無線 LAN 機能を OFF にすることで通信が確立される。

ウィルコム の WS011SH では、PHS 通信 (64Kbps) によるリモートデスクトップ接続ができないため、ワイヤレス LAN による望遠鏡の遠隔操作を検証した。DOCOMO の HT-01A も他のスマートフォンもウィルコム の WS011SH と同様にワイヤレス LAN の通信速度は 54Mbps と同等である。ワイヤレス LAN によるリモートデスクトップ接続では、The Sky6(Software Bisque 社)と Windows Media サービスの両者を同時に起動し実行してもリモートで望遠鏡に制御指令した後、時差なく望遠鏡は動き出したことが確認できた。

また、DOCOMO の HSPD (ハイスピード) 通信でも通信速度が最大 7.2Mbps だがリモートデスクトップ接続が可能であり、望遠鏡の遠隔操作も時差なくスムーズな制御が確認できた。

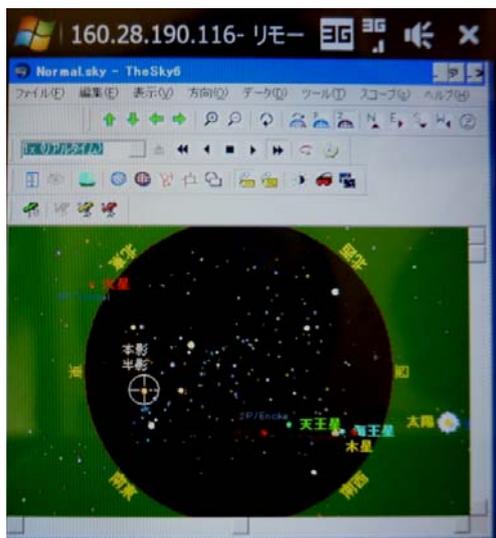


図 2-3-13 : TheSky6 起動画面

図 2-3-13 : TheSky6(SoftwareBisque 社)起動画面。白十字円は望遠鏡の向いている方向を示す。オリオン座のベテルギウスを導入した状態を示す。

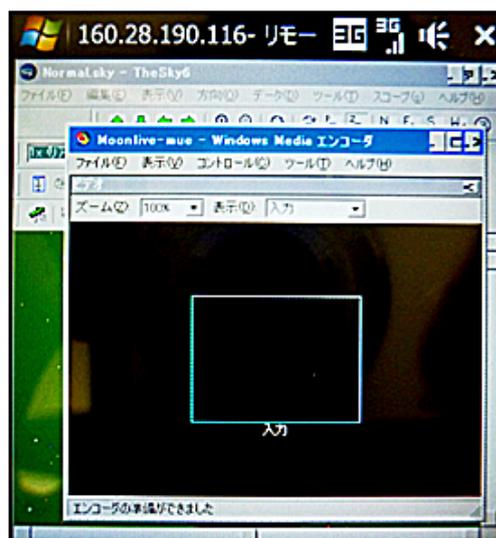


図 2-3-14 : WindowsMedia サービス画面

図 2-3-14 : WindowsMedia サービスエンコーダ起動画面(37×50 分角)。映像サイズをスマートフォンのディスプレイにも対応できるようにマルチビットレートビデオの 32kbps(160pix×120pix)に変更した状態を示す。エンコーダ入力画面にベテルギウスが導入されている(miniBORG45ED(トミーテック社))。

DOCOMO の HSPD (ハイスピード) 通信は、DOCOMO 独自の moperaU というプロバイダを経由して行なう高速パケット通信のため、FOMA ハイスピードエリアで接続が可能となる。これにより、DOCOMO のスマートフォンでリモートデスクトップが付加されている機種であれば、無線 LAN の環境がなくとも、宮教大インターネット天文台の遠隔操作が可能ということがわかった(図 2-3-13/図 2-3-14)。

表 2-3-6 : マルチビットレートビデオ圧縮サイズ

ビットレート (kbps)	フレームレート (fps)	出力サイズ (pix)
32	15	120×160
128	15	240×320

表 2-3-6 に示したようにクライアント端末に合わせて Windows Media サービスの出力サイズを適応させる必要がある。これまで宮教大インターネット天文台はクライアント端末をコンピュータのみと想定していたため、Windows Media サービスによる天体映像配信のビットレートを 128kbps、出力サイズを 240×320pix としていた。スマートフォンによる遠隔操作が可能となったことで、スマートフォンの画面でもエンコーダ出力映像全体が端末画面で確認できるように出力サイズを変更する必要がある。検証では、スマートフォン端末でもビットレート 128kbps、出力サイズ 240×320pix で天体映像の配信、取得は可能だが、端末画面サイズが小さいため、240×320pix の出力サイズでは画面をスクロールしないと全体が確認できなかった。そのため、出力サイズを 120×160pix に変更することで画面のスクロールをせずに天体映像全体を確認できるようにした(図 2-3-15)。

スマートフォンのリモートデスクトップ接続を利用して宮教大インターネット天文台を遠隔操作する場合、観測終了時にはソフトウェアスタンバイによる望遠鏡姿勢制御を行なう。

第3章 インターネット天文台を活用した月・金星ライブ

1：月・金星ライブの実施概要

(1)．2009 年度月ライブ実施報告

宮教大インターネット天文台では、2006 年度より昼間の月のリアルタイム映像を、インターネットを通じて配信する「月ライブ」を本格的に運用している。昼間の月では、満ち欠けの様子を確認することができるため、インターネットを開くだけでリアルタイムの月の映像を取得することができる点において非常に有効かつ効果的な教材になっている。実施時期は小学校で月を学習する夏季前後に合わせて月ライブの映像を配信している。

2009 年度も月ライブの配信を7月から9月までの3か月間行った。しかし、昼間に月が見えていることが前提になるため、満月を挟んだ前後1週間、新月を挟んだ前後2日はライブの配信を行なえない。また、小学校のスケジュールに合わせるため、平日のみの運用となった。これらのことを踏まえると、7月に月ライブが可能となる日は7月15、16、17日の3日間のみとなった。7月半ばから夏季休業に入ってしまうため、夏季休業後の月ライブの再開は8月24日からの4日間となった。9月の実施可能日は、11日、14～17、21～25日の計10日となり、3か月合計で17日間のみ配信となった。

17日間ある実施可能日のうち実際に月ライブの配信を行えたのは、9日間だった。実施率は約53%で、月ライブを行なえなかった原因の全てが悪天候によるものであった。実施できた9日間の中でも予定していた時間すべてを通してライブを行えたのは、3日間のみで、その実施率は18%程度にとどまった。

(2)．2009 年度金星ライブ実施報告

宮教大インターネット天文台では、月ライブの運用と並行して金星ライブの運用も行っている。金星は平均的な等級が-3~4等あり、望遠鏡を通して観測すれば昼間でも満ち欠けの様子や見かけの大きさなどははっきりと確認することができる。明るさの変化は望遠鏡からの映像ではわかりにくい、見かけの大きさ（視直径）は外合付近の最小の時期で10"程度、最大離角の最大の時で60"程度と50"程度大きさに差があるため、経過観察によってははっきりと気づくことができる。内惑星の満ち欠けの様子や惑星の形はある程度の口径を持った望遠鏡等の機材が必要であり、なおかつ肉眼で望遠鏡に金星を導入するとなると手間がかかる。昼間の授業中に機材の準備などから行えば授業時間内に観察することは厳しいものになる。金星ライブは月ライブ同様にリアルタイムの映像をインターネットから取得することができるようになっている。教室から気軽にリアルタイムの金星の姿を知ることができ、生徒の興味関心を喚起する上でも非常に有用なものである。金星ライブは中

学校の授業に合わせて毎年秋ごろ金星の映像を配信している。

2009年度の金星ライブは11月4日から運用を開始した。ただし、1月に金星は外合を迎えるため、太陽に日に日に近づくことになる。そのため、実質的な運用は12月中旬までが限界になると考えた。11月4日から運用を開始した金星ライブだが、映像配信用ソフトWindowsMedia サービスの関連ポート、学外へ開放するべきポートが何らかの原因で開放されておらず、学外にライブ映像が配信されていないことに気付いた。各機器のポートの整理を行い問題は解決したが、停電による大学のサーバー停止など2009年度の金星ライブは思うように運用できなかった。

2：金星・月追尾補正

宮教大インターネット天文台が採用している赤道儀 Temma EM-500(高橋製作所)は電源を入れると恒星追尾を開始する。望遠鏡制御ソフト The Sky6(Software Bisque 社)における追尾レートグループは恒星時と太陽時の2つがあるが、月や惑星を追尾する際、恒星時では追尾しきれないという状況がある。ただ、The Sky6(Software Bisque 社)には、彗星追尾レートグループがある。これは、赤経および赤緯レートを定め恒星追尾レートとは異なるレートで天体を追尾することが可能なため、彗星や惑星、月のように赤経・赤緯が経時変化する天体に有効なものである。しかし、彗星追尾レートグループへの補正入力値と The Sky6(Software Bisque 社)が提供している天体の赤経および赤緯レート値の単位が異なるため、彗星追尾レートグループに入力する赤経および赤緯補正值を求めるには、天体の赤経、赤緯レートの単位を変換する必要がある。これは鈴木(2008)によっても検証されているが、本論では追尾補正值を求める式の導出、金星および月追尾の検証をした。

① 赤経補正值（彗星追尾レートに入力する値）の算出方法

The Sky6における天体の赤経レートは1秒あたりの秒で表されている。彗星追尾レートに入力する赤経補正值は1日あたりの恒星秒単位で認識されるため、彗星追尾レートに入力する赤経補正值を求めるためには、天体の赤経レートの単位を変換する必要がある。天体の赤経レートはThe Sky6画面上で目的天体をクリックすると、天体情報の一つとして表示される。天体の赤経レートの単位変換を行うための固定値の算出方法を以下の式3-2-1、式3-2-2に示す。地球の1自転日は24時間(86400秒)である。24時間で360度回転するため、1時角(1h)=15° (1m=15′ ・ 1s=15″)となる。角度から時角への変換は1自転日に時間を角度(24時間で360°)で割ることで求まる。

$$(60 \text{ 秒/分}) \times (60 \text{ 分/時}) \times (24 \text{ 時/日}) \times (24 \text{ 時間}/360^\circ) \quad (\text{式 3-2-1})$$
$$=5760.000029$$

1日は太陽が南中してから翌日再び南中するまでだが、地球は自転だけでなく公転もしているため、実際には南中から再び南中までは1.002738回転することになる。よって、1回転は24時間/1.002738から23時間56分4秒となり、これを1恒星日という。式3-2-1で求めた値と地球の自転の角速度から、

$$5760.000029 \times 1.002738 = 5775.770909 \quad (\text{式 3-2-2})$$

と求まる。

式3-2-1と3-2-2式より、

[天体の赤経レート (″ / 秒)] × [-5775.770909 (固定値)] = 赤経補正值 (s/日) (式 3-2-3)
を導くことができる。

赤経補正值は、地上から見て恒星時における赤経に対して逆行する運動(赤経+の方向)を取る場合に負の値となるために、赤経補正值を求める際の固定値は負の値を取る。

② 緯補正值(彗星追尾レートに入力する値)の算出方法

赤緯レートの単位は赤経レート同様に1秒あたりの秒で表されている。彗星追尾レートに入力する赤緯補正值は1日あたりの分で認識されるため、赤緯補正值を求めるには赤緯レートの秒を分に換算する必要がある。1自転日は24時間であるため、24時間を分に変換し、1日あたりの地球の自転角速度から、

$$(24 \times 60) \times 1.002738 = 1443.94272 \quad (\text{式 3-2-4})$$

となる。

上の式3-2-4より、

[天体の赤緯レート (″ / 秒)] × [-1443.94272] = 赤緯補正值 (′ / 日) (式 3-2-5)
を導くことができる。

○金星追尾の検証

計算式から求めた補正值を実際に使って、金星追尾の検証を行った。
検証日時は2009年12月17日8:58~10:00の間、追尾補正を行った場合と、追尾補正を行わない場合とそれぞれ30分ごとに行った。観測時の金星の赤経、赤緯レートを以下の表3-2-1、観測機器を表3-2-2に示す(The Sky6の天体情報より抜粋)。

表 3-2-1 : 観測時の金星の赤経レートおよび赤緯レート

	赤経レート (″ /秒)	赤緯レート (″ /秒)
2009/12/17/8 : 58 (金星)	0.0563	-0.0060

表 3-2-1 に示した赤経・赤緯レートを用いて、それぞれ赤経・赤緯補正值を算出した。
以下に示す。

$$\text{赤経補正值} : 0.0563 \times (-5775.770909) = -325 \text{ s/日} \quad (\text{式 3-2-6})$$

(小数点以下は四捨五入する)

$$\text{赤緯補正值} : -0.0060 \times (-1443.94272) = 9' \text{ /日} \quad (\text{式 3-2-7})$$

これにより、Temma の赤経軸の追尾レートが恒星時レートの 85839/86164 となり、赤緯軸の追尾レートが北方向に 9 分/日になった。

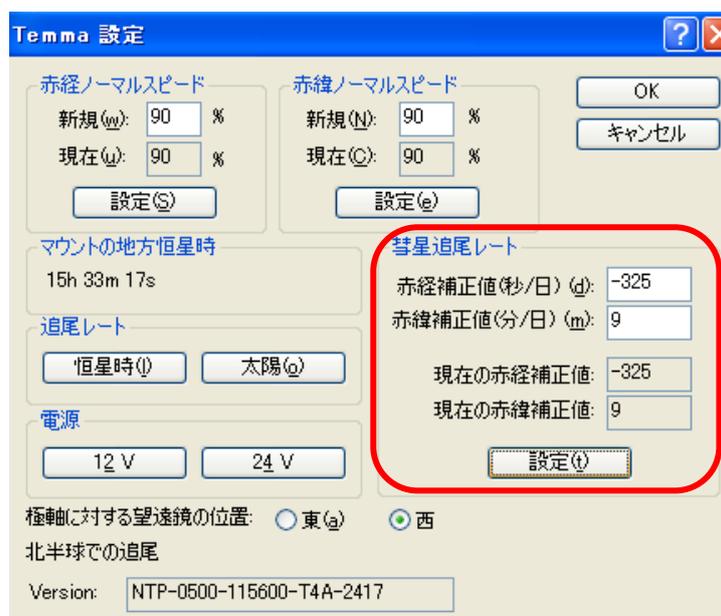


図 3-2-1 : Temma 追尾設定画面

赤経・赤緯補正值を「彗星追尾レート」グループに入力する。ボックスには整数の数値のみ入力が有効なため、小数点以下は四捨五入して入力する。
([スコープ]/[オプション]/[設定とステータス])

表 3-2-2 : 金星追尾に用いた観測機器

	赤道儀	望遠鏡	カメラ
金星追尾検証機器	EM500(高橋製作所)	ET-300 (高橋製作所)	ToUcamPRO II (Phillips 社) 6×8 分角

金星追尾は視野角が 6×8 分角の ET-300(高橋製作所)を望遠鏡として採用している。WindowsMedia エンコーダの画像出力サイズは 240×320 画素(1pix=0.025 分角)である。

まず、TheSky6(SoftwareBisque 社)の彗星追尾レートグループに赤経および赤緯補正值を入力し、金星追尾の検証を行なった(図 3-2-2)。

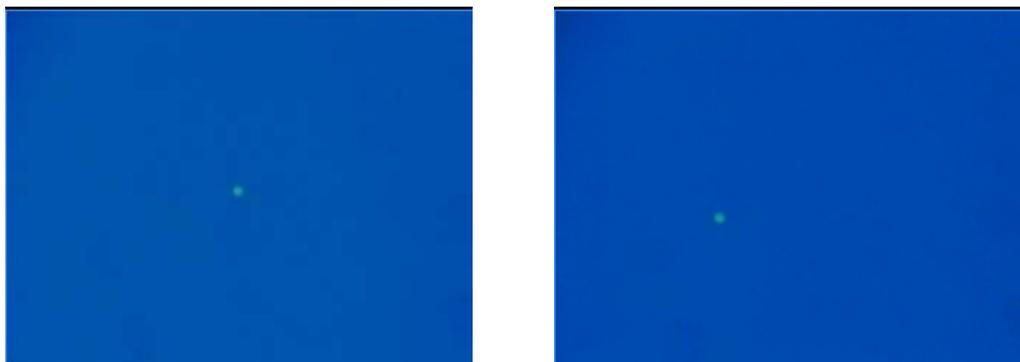


図 3-2-2(1) : 追尾(補正)開始時の金星 図 3-2-2(2) : 追尾(補正)開始 30 分後の金星

図 3-2-2 : Windows Media サービス (エンコーダ) 出力画面(縦 6 分角×横 8 分角)。画面横方向が赤経、縦方向が赤緯になるように WEB カメラを赤道儀の極軸に対して垂直になるように向きを調節し接眼部へ取り付けた。(1) : 追尾補正を施した際の追尾開始時 (8 : 58) の金星。(2) : 追尾補正を施した際の追尾終了時 (9 : 28) の金星。

追尾補正後の金星追尾時、できるだけ、Windows Media サービスの出力画面(図 3-2-3)の横方向が赤経、縦方向が赤緯になるように、赤道儀 Temma EM-500(高橋製作所)の極軸に対して垂直に WEB カメラを接眼部に固定した。追尾開始時と追尾開始 30 分後の金星画像を合成し、すばる画像処理ソフトマカリの位置測定によって追尾開始時と追尾開始 30 分後の金星の位置を座標で示した(表 3-2-3)。マカリの位置測定は指定した範囲内の最大輝度値の位置を示すことができる。検証時の金星の視直径が 10" であるためエンコーダ画面上では金星の直径は 6.8pix と表すことができる。よって金星の位置測定は半径 4pix の範囲で測定した。

表 3-2-3 : 金星の位置測定結果(追尾補正時)

	開始時(pix)	30 分後(pix)	誤差(pix)	誤差(分角)
X(横方向)座標	159.68	112.26	47.42	1.19
Y(縦方向)座標	123.45	141.00	17.55	-0.44

位置測定によると、追尾開始時の金星の位置を 0(基準)とすると、追尾補正後 30 分で金星は基準点から X(横)方向に 1.19 分角、Y(縦)方向に 0.44 分角ずれている。次に、追尾補正を行わずに TemmaEM-500 の恒星追尾による金星追尾を行なった(図 3-2-4)。



図 3-2-4(1) : 追尾開始時の金星



図 3-2-4(2) : 追尾開始 30 分後

図 3-2-4 : 追尾補正をせず、恒星追尾で金星を追尾した Windows Media サービス出力画面(6×8 分角)。追尾補正した時と同様に画面横が赤経、縦が赤緯を表すように WEB カメラの向きを極軸に対して垂直になるように取り付けた。

(1) : 恒星追尾による金星追尾開始時の金星。(2) : 恒星追尾開始 30 分後の金星の位置を表す(シャッタースピード 1/5,000)。

恒星追尾による金星追尾でも追尾補正した・時と同様に、すばる画像処理ソフトのマカリアにある位置測定によって追尾開始時と追尾開始 30 分後の金星位置を座標で示した(表 3-2-4)。

表 3-2-4 : 金星の位置測定結果(恒星追尾時)

	開始時(pix)	30 分後(pix)	誤差(pix)	誤差
X(横方向)座標	155.86	75.34	80.52	8.04s
Y(縦方向)座標	129.84	143.97	14.13	-21"

表 3-2-4 に示すように、WindowsMedia サービス出力画面の X(横)方向には、30 分間の恒星追尾で 2.01 分角、Y(縦)方向には 0.35 分角ずれているのがわかった。恒星追尾結果によると、金星の 30 分間の移動量は赤経に 8.04s、赤緯に 21 秒角となる。

ここで、金星の移動量の理論値を考える。The Sky6(Software Bisque 社)で 30 分間の金星の移動量を赤道座標系(赤経・赤緯)から参照した(表 3-2-5)。

表 3-2-5 : 金星の移動量

	8 : 58(追尾開始時)	9 : 28(追尾終了時)	移動量(30 分間)
赤経	17h12m05s	17h12m11s	6s
赤緯	-22° 49' 30"	-22° 49' 40"	-10"

表 3-2-5 で示した赤経・赤緯は The Sky6(Software Bisque 社)から得た情報である。30 分間の金星の赤緯方向の移動量は南方向に 10"、赤経方向の移動量は 6s であることがわかった。恒星追尾による金星追尾の検証では、赤緯方向に実際の金星の移動量(南へ 10")の 2

倍程度(南へ 21")の移動が検出された。赤経方向には、金星の移動量(6s)に対して恒星追尾による結果が赤経の増える方向へ 2.04s 大きい 8.04s の移動量が検出された。この結果を踏まえると、30 分間で補正量が正しく認識されていても、赤経は追尾補正後、0.31 分角、赤緯は南方向へ 0.54 分角の誤差が生じることが考えられる。赤緯は南方向への補正が必要であったが、北方向へ補正していたため、金星の移動量に補正量を加えた分の移動量が生じる。30 分間の金星の移動量と補正量、追尾誤差を以下に示す(表 3-2-6)。

表 3-2-6 : 追尾補正後の追尾誤差の検証

	移動量(観測値)	補正量(計算値)	想定追尾誤差(分角)
赤経	8.04s	6.77s	0.31
赤緯	-21"	11.25"	-0.54

表 3-2-6 は、追尾開始時の金星の赤経・赤緯レートによって求めた 30 分間の補正量と、恒星追尾によって検証した金星の 30 分間の移動量を比較した表である。現状では、移動量に対して補正量がカバーされていない分、30 分間で追尾補正後の追尾結果は赤経に 0.31 分角、赤緯は南に 0.54 分角の誤差が生じることが予想されるが、実際の追尾補正後の追尾結果は赤経に 1.19 分角(予想値の 3.8 倍)、赤緯に 0.44 分角(予想値の 0.83 倍)の誤差が生じている。赤緯に金星の移動する南方向への補正がなされているとすると、追尾補正後 30 分間で 0.16 分角の誤差になることが考えられる。北方向の補正では予想値の 0.83 倍の移動量が検証されたため、南方向も同様に 0.83 倍の移動量を考慮すると 0.13 分角の誤差になる。これは外合付近の金星(視直径 10")一つ分にも満たない。

○月追尾の検証

金星追尾と同様に月追尾の検証を行った。検証日時は 2009 年 12 月 25 日 14 : 05~14 : 35 の 30 分の間、Temma EM-500(高橋製作所)の恒星追尾での月追尾検証を行った(図 3-2-5)。月追尾における観測機器を以下の表に示す。

表 3-2-7 : 月追尾検証に用いた観測機器

	赤道儀	望遠鏡	カメラ
月追尾検証機器	EM500(高橋製作所)	miniBORG45ED (トミーテック社)	ToUcamPRO II (Phillips 社) 37×50 分角

金星追尾で使用している鏡筒 ET-300 (高橋製作所) では、視野角が狭いため、月面のクレーター観察には最適だが、月の形を把握することができない。また、クレーターも昼間

の月でははっきりと確認できないため、月ライブではインターネット望遠鏡のファインダーとして採用している mini BORG45ED(トミーテック社)の広視野角映像で配信している。月追尾精度の検証にあたって、昼間に検証を行なったため、昼間でも確認することのできるクレーターを選定し、そのクレーターの時間経過に伴う移動量から追尾精度の検証を行なった。



図 3-2-5(1) : 月追尾開始時



図 3-2-5(2) : 月追尾開始 30 分後

図 3-2-5 : 恒星追尾による月追尾。Windows Media サービス出力画面 (37×50 分角)。できるだけ画面横方向が赤経、縦方向が赤緯を表すように WEB カメラの向きが極軸に対して垂直になるように取り付けた。(1) : 恒星追尾による月追尾開始時。(2) : 恒星追尾による月追尾開始 30 分後。



図 3-2-6(1)/(2) : クレーターの位置測定

すばる画像処理ソフトマカリで月追尾開始時と月追尾開始 30 分後の位置測定を行なった。選定したクレーターは光条クレーターの Menelaus(上)と CATHARINA(下)で、クレーター部の詳細な位置指定が昼間の月ということもあり困難なため、半径 2pix の範囲で位置測定を行なった。

恒星追尾による月追尾時、できるだけ Windows Media サービスの出力画面(図 3-2-5)の横方向が赤経、縦方向が赤緯になるように、赤道儀 Temma EM-500(高橋製作所)の極軸に対して垂直に WEB カメラを接眼部に固定した。月追尾開始時と追尾開始 30 分後のそれぞれの画像をすばる画像処理ソフトマカリの位置測定によって追尾開始時と追尾開始 30 分後

の月の位置を座標で示した(表 3-2-8)。位置測定の対象に選定したのは、昼間の月でも確認できる「Menelaus」(直径 3.3pix)と「CATHARINA」(直径 3.2pix)の光条クレーターとした。検証時が昼間ということもあり、クレーター部の詳細な位置指定が困難なため、半径 2pix の範囲で位置測定を行なった。

表 3-2-8 : 月の位置測定結果(恒星追尾時)

		月(開始時) (pix)	追尾 30 分後 (pix)	誤差 (pix)	誤差 (分角)
Menelaus	X(横方向)座標	189.68	121.45	68.23	10.23
	Y(縦方向)座標	98.39	52.99	45.4	6.81
CATHARINA	X(横方向)座標	177.83	110.12	67.71	10.16
	Y(縦方向)座標	148.91	103.52	45.39	6.81

位置測定によると、追尾開始時の Menelaus クレーターの位置を 0(基準)とすると、恒星追尾による月追尾開始後 30 分で月は基準点から X(横)方向に 10.23 分角、Y(縦)方向に 6.81 分角ずれている。これは、出力画面の縦×横が 240×320pix であるから、1pix は 0.15 分角で示される。よって、月の位置が座標(ピクセル)で表現できれば、どの程度(分角)月がずれたのかがわかる。CATHARINA クレーターの位置測定でも、30 分間の追尾で X 方向に 10.16 分角、Y 方向に 6.81 分角となった。2 地点の位置測定の平均によると、X 方向に 10.2 分角、Y 方向に 6.81 分角になる。X(赤経)方向の 10.2 分角は恒星時に対して赤経が正の方向への移動で、Y(赤緯)方向の 6.81 分角は北方向への移動であることが恒星追尾の検証でわかった。

次に、月追尾補正をして TemmaEM-500 による月追尾を行なった(図 3-2-7)。検証日時は 2009 年 12 月 25 日 14 : 35~15 : 05 の 30 分間である。観測開始時の月の赤経および赤緯レート、それぞれの値から算出した赤経・赤緯補正値を以下の表 3-2-9 にまとめる。

表 3-2-9 : 月追尾補正に必要な観測時の月追尾レートおよび月追尾補正値

	赤経レート(" /秒)	赤緯レート(" /秒)	赤経補正値(s/日)	赤緯補正値 (' /日)
観測開始時の月	0.3298	0.2334	-1905	-337

表 3-2-9 に示す赤経および赤緯レートより、赤経補正値と赤緯補正値を算出した。その結果、Temma EM-500(高橋製作所)の赤経軸の追尾レートが恒星時レートの 84256/86164 となり、赤緯軸の追尾レートが南方向に 337 分/日となった。これらの数値を金星追尾の時と同様に、The Sky6(Software Bisque 社)の「彗星追尾レートグループ」に入力し、追尾検証を行った。以下図 3-2-7 に検証結果を示す。



図 3-2-7(1) : 追尾補正後の月追尾開始時 図 3-2-7(2) : 追尾補正後 30 分後の月

図 3-2-7 : 追尾補正後の月追尾。WindowsMedia サービス出力画面(37×50 分角)。(1) : 追尾補正後の月追尾開始時。
図(2) : 追尾開始 30 分が経過したときの WindowMedia サービスの出力画面。

図 3-2-7 は TheSky6 (SoftwareBisque 社) の彗星追尾レートグループに赤経・赤緯レートの補正值を入力した後の WindowsMedia サービス出力画面(37×50 分角)である。図 3-2-7(1) は月追尾開始時を表し、図 3-2-7(2) は月追尾開始後 30 分を表している。すばる画像処理ソフトマカリの位置測定によって選定したクレーターの位置のずれを求めた (図 3-2-11)。

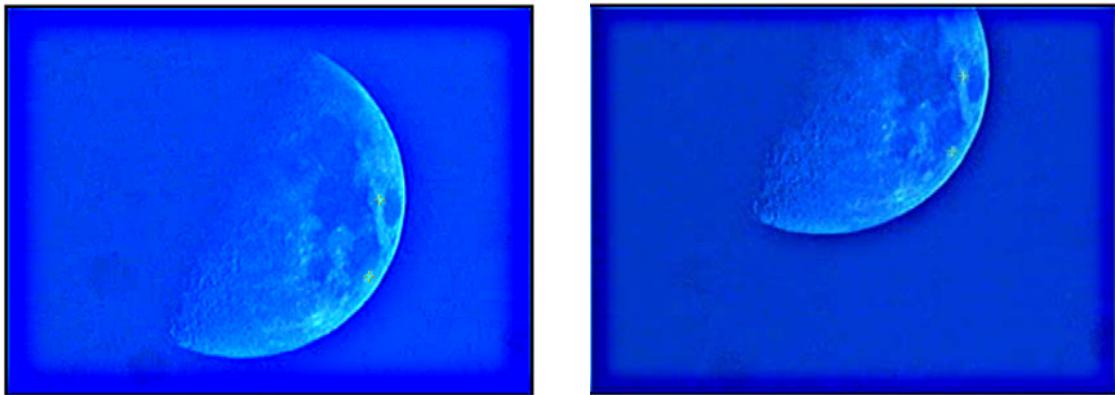


図 3-2-8(1)/(2) : クレーターの位置測定 (追尾補正)

すばる画像処理ソフトマカリの位置測定で選定した 2 つのクレーターの位置のずれを求めた。選定したクレーターは光条クレーターの Proclus、豊かの海の左端に位置する LANGRENUS とした。クレーターのどの位置に指定するのかは昼間ということもあり、目視での判別が困難なため、半径 5pix の範囲を位置測定した。中央丘があるとされる大規模な LANGRENUS クレーターの直径が 8pix ということもあり、半径 5pix に指定した。

すばる画像処理ソフトマカリの位置測定結果を表 3-2-10 に示す。

表 3-2-10 : 月の位置測定結果(追尾補正時)

		月(開始時) (pix)	追尾 30 分後 (pix)	誤差 (pix)	誤差 (分角)
Proclus	X(横方向)座標	226.27	225.17	1.1	0.17
	Y(縦方向)座標	119.41	45.28	74.13	11.12
LANGRENUS	X(横方向)座標	219.41	218.31	1.1	0.17
	Y(縦方向)座標	165.79	91.51	74.28	11.14

位置測定によると、追尾開始時の Proclus クレーター的位置を 0(基準)とすると、追尾補正後 30 分で月は基準点から X(横)方向に 0.17 分角、Y(縦)方向に 11.12 分角ずれている。また、LANGRENUS クレーター的位置測定では、X 方向に 0.17 分角、Y 方向に 11.14 分角ずれることがわかった。平均すると、月追尾補正時の月の移動量は、X 方向に 0.17 分角、Y 方向に 11.13 分角となる。Y(赤緯)方向のずれは恒星追尾による月追尾以上に北方向への移動が見られた。

ここで、金星同様に月の移動量の理論値を考える。The Sky6(Software Bisque 社)の天体情報を元に月の赤経・赤緯の移動量を参照した(表 3-2-11)。

表 3-2-11 : 月の移動量

	14 : 05(追尾開始時)	14 : 35(追尾終了時)	移動量(30 分間)
赤経	00h26m58s	00h27m39s	41s
赤緯	+7° 48' 09"	+7° 55' 12"	7.05'

表 3-2-11 で示した赤経・赤緯は The Sky6(Software Bisque 社)から得た情報である。30 分間の月の移動量を示した。月の赤緯方向の移動量は北方向に 7' 3" (7.05 分角)、赤経方向の移動量は赤経の増える方向へ 41s(10.25 分角)であることがわかった。恒星追尾による月追尾検証では、赤経方向に 10.2 分角、赤緯方向に 6.81 分角の移動が検出されたため、赤経方向は実際の月の移動量よりも 0.05 分角大きく、赤緯方向には月の移動量よりも 0.24 分角大きいことがわかった。

表 3-2-12 : 追尾補正後の追尾誤差の検証

	移動量(観測値)	補正量(計算値)	追尾誤差(分角)
赤経	40.8s	39.68s	0.28
赤緯	6.81'	-7.02'	13.83

表 3-2-12 は恒星追尾による月追尾結果から 30 分間の月の移動量と、追尾開始時の赤経・赤緯レートによって算出した 30 分間の補正量である。現状では、補正量が赤道儀に正しく認識されていたとすると、30 分間で赤経方向は 0.28 分角、赤緯は北方向への月の移動に対して南方向へ補正したため、月の移動量に補正量を加えた分だけ、エンコーダ出力画面中では北方向への移動を示すことが考えられるため、13.83 分角の追尾誤差が生じると予想できる。実際の追尾補正後の追尾結果では、赤経に 0.17 分角(予想値の 0.59 倍)、赤緯は北方向に 11.13 分角の誤差であった。赤緯に月の北方向の移動に対して北方向の補正をしたとすると、30 分間での追尾補正後の追尾誤差は 0.21 分角になることが考えられる。南方向の補正の際に補正量と移動量の誤差の 0.83 倍の移動量を検出したため、その誤差を考慮しても 0.17 分角の誤差になることが考えられる。

金星・月追尾検証によって赤緯方向の補正に問題があることが分かった。赤緯方向の追尾精度向上に向けて再度、月追尾の検証を行なった。検証にあたって赤緯補正値を算出する式(式 3-2-5)の見直しを行なった。天体の南方向の移動に対して南方向の補正(負の値)をし、北方向の移動に対しては北方向への補正(正の値)となるようにしなければならない。式 3-2-5 では、赤緯補正値を求める際の単位を変換する固定値が負の値としていたために天体の赤緯レートの符号が補正値に反映されずにいた。

$$[\text{天体の赤緯レート (＂ / 秒)}] \times [1443.94272] = \text{赤緯補正値 (＇ / 日)} \quad (\text{式 3-2-8})$$

赤経レートに関しては、The Sky6(Software Bisque 社)の指定によると、恒星時に対して赤経が増える移動をする天体の補正の場合に負の値を取るとされているが、月・金星追尾の一連の検証によって赤緯方向には北方向の移動の場合に正の値を取り、南方向の移動の場合に負の値を取ることが確認できたため、赤緯レートの符号を反転させる必要がない。

よって、赤緯レートの単位変換のみが必要となるため、式 3-2-8 により赤緯方向の補正値を求めることができる。式 3-2-8 を使って改めて月追尾の検証を行なった。

検証日時、検証時の月の移動量、赤経・赤緯レート、および月追尾補正値を以下に示す。

表 3-2-13 : 月の移動量

	16 : 05(追尾開始時)	16 : 35(追尾終了時)	移動量(30 分間)	補正量(24 時間)
赤経	05h44m24s	05h45m32s	68s	3264s
赤緯	+25° 13' 38"	+25° 14' 52"	+1.24'	59.52'

表 3-2-12 で示した赤経・赤緯は The Sky6(Software Bisque 社)から得た情報である。追尾をしない場合、30 分間の月の移動量を示した。月の赤緯方向の移動量は北方向に 1' 14" (1.24 分角)、赤経方向の移動量は 68s(17 分角)であることがわかった。赤緯補正値は北方向への補正になるため、正の値として入力し、30 分間の追尾テストを行なった。

表 3-2-14 : 月追尾の検証

日時	赤経レート ("/秒)	赤緯レート ("/秒)	赤経補正值 (s/日)	赤緯補正值 ('/日)
2009/1/27 16:05~16:35	0.5690	0.0435	-3286	63

表 3-2-12 に示す月の移動量に対して、算出した月の赤経補正值は 1%(1pix)、赤緯補正值は 6%(0.5pix)ほど大きい値となっている。



図 3-2-9(1)/(2) : 月追尾検証

赤緯の南方向の補正值の符号を正の値を取り検証した際の月追尾検証。(1) : 月追尾開始時の Windows Media サービス出力画面(37×50 分角=240×320 画素)。(2)月追尾開始 30 分後の Windows Media サービス出力画面。

図 3-2-9 は月追尾検証結果である。Windows Media サービス出力画面の横方向が赤経、縦方向が赤緯になるように、Web カメラの向きを極軸に対して垂直になるように取り付けた。30 分間でどの程度の移動量があるのかを検証するために、すばる画像処理ソフト「マカリ」を用いて、月面クレーターの位置測定を行なった。位置測定に選定したクレーターは、光条クレーターの Tycho、Menelaus とした。Tycho クレーターの直径が 3.5pix、Menelaus クレーターの直径が 3.25pix であるから半径 2pix の範囲で位置測定を行なった。



図 3-2-10(1)/(2) : クレーターの位置測定

選定したクレーター(上から Menelaus、Tycho)の位置を月追尾開始時と追尾開始 30 分後で測定した。すばる画像処理ソフトマカリの位置測定は半径 5pix でクレーターの位置座標を示す。37×50 分角(240×320 画素)の出力画面なので 1pix=0.15 分角となりクレーターの位置からずれを角度に変換できる。

表 3-2-15 : 月の位置測定結果(月追尾補正時)

		月(開始時) (pix)	追尾 30 分後 (pix)	誤差 (pix)	誤差 (分角)
Menelaus	X 座標	199.01	197.08	1.93	0.28
	Y 座標	87.55	90.50	2.95	0.44
Tycho	X 座標	145.55	143.52	2.03	0.30
	Y 座標	186.42	189.31	2.89	0.43

2 地点の位置測定結果から、30 分間の追尾で、X 方向の追尾誤差は平均で 30 分間では 0.29 分角(17.4 秒角)、Y 方向の追尾誤差は平均で 0.44 分角(26.4 秒角)になることがわかった。30 分間の月追尾の検証より、赤経、赤緯方向の月の移動量と補正量、そして実際に補正追尾による月の移動量について図にしてまとめた。図 3-2-11 は赤経方向の月の移動量を示したものである。月の移動量に対して補正量が 1%ほど大きく指定しているために、補正後の追尾結果は、30 分間で赤経が恒星時に対して遅れる方向に 2pix(0.3 分角)の月の移動量が見られた。

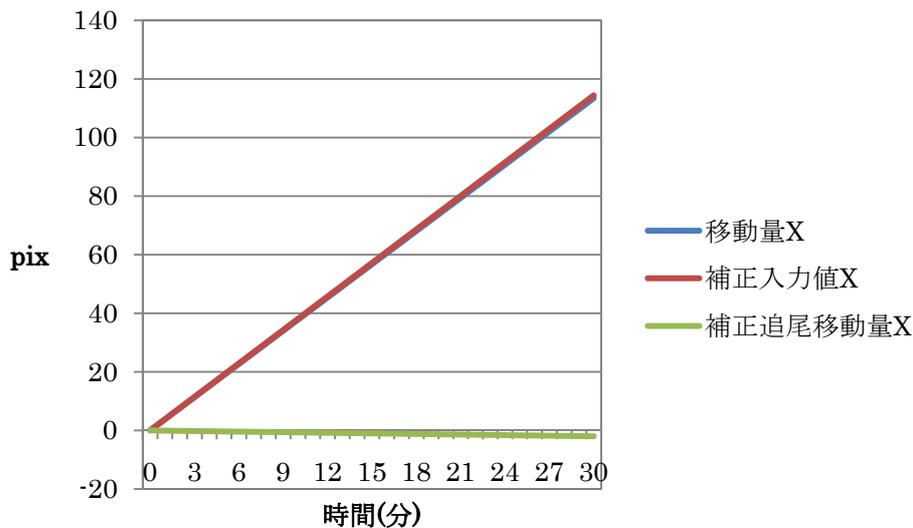


図 3-2-11：月（赤経方向）の移動量

赤経方向の月の移動量を示したグラフである。赤経方向に天体が正の運動をする場合、The Sky6 (Software Bisque 社) の彗星追尾レートでは補正値は負の値を取ると指定しているため、実際の補正は負の値を取ることで赤経は正の方向へ補正されている。

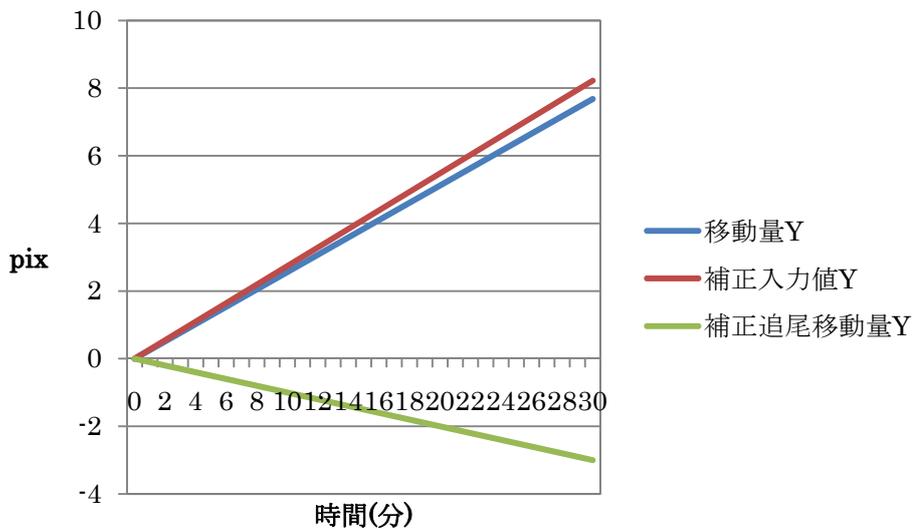


図 3-2-12：月（赤緯方向）の移動量

赤緯方向の月の移動量を示したグラフである。月は経時変化に伴い北方向の移動量を示すが、彗星追尾レートグループに入力した赤緯補正値は月の移動量よりも 6%程度大きい値を指定している。よって、月の移動量以上に赤道儀は北方向に移動することが考えられるため、Windows Media サービス出力画面上では月は南方向にずれていく。

図 3-2-12 は月の赤緯方向の移動量を示したグラフである。時間が進むにつれて、赤緯に月は北方向に移動するため、北方向への補正が必要になる。式 3-2-8 で示したように、赤緯補正値の算出方法を改めたことで、赤緯に天体の移動量の方向に補正されることがわかつ

た。それでも赤緯方向に 2.91pix(0.44 分角)の誤差が生じている。補正値が月の移動量に比べて 6%大きく指定しているが、この誤差は 0.5pix=0.08 分角である。

○金星・月追尾まとめ

金星・月ライブは1日最長5時間の運営となる。本研究で得た30分間の追尾検証結果を元に5時間でエンコーダ出力画面中での天体の移動量を考察した。

金星追尾では、現状の追尾精度では赤経方向に30分間で1.19分角の移動量が検出されたため、エンコーダ画面中央に金星を導入すると、2時間で画面から外れてしまうことが考えられる。30分間の補正量と移動量の誤差のみを考慮した場合、30分間で赤経に0.31分角、赤緯に0.16分角の誤差になるため、エンコーダ画面中央に金星を導入しても5時間では画面から外れることはない。補正量と移動量の誤差以上に実際の追尾補正後の追尾結果で金星の移動量が大いなのは、望遠鏡のバランス調整不足などの問題が考えられる。

月追尾では、1回目の追尾では、現状の追尾精度では30分間で赤経に0.17分角、赤緯にも0.17分角の追尾誤差になるため、5時間の追尾では赤経・赤緯ともに1.7分角の追尾誤差になる。この誤差は5時間の月ライブ運営中に月がエンコーダ画面から外れることはない。30分間の月の移動量と補正量の誤差のみを考慮した追尾結果は、赤経に0.28分角、赤緯に0.21分角の誤差になる。これは5時間で赤経は2.8分角、赤緯に2.1分角になる。5時間の月ライブ運営中に月がエンコーダ画面から外れてしまうことはない。

月追尾2回目では、30分間で赤経に0.29分角、赤緯に0.44分角の追尾誤差が検出されたため、5時間の月ライブ中では赤経に2.9分角、赤緯に4.4分角の誤差が生じることが考えられる。この誤差は赤緯方向には月の一部がエンコーダ画面から外れてしまうが、月の形がわからなくなるほど外れてしまうことはない。

月、金星ともに言えることは、実際の天体の移動量(TheSky6の情報)に比べて、恒星追尾による天体の移動量に誤差が見られた。また、恒星追尾による天体の移動量と補正量の誤差を考慮しても、実際の追尾補正後の追尾では、補正量と移動量の誤差以上の追尾誤差が生じていた。これは、望遠鏡のバランスや極軸調整の問題と考える。また、追尾検証で顕著なのは、月は金星に比べて30分間の移動量が5倍~9倍あるが、高い追尾精度を実現している。望遠鏡とウエイトバランスとのバランスが合っていないことで、大きい移動量に比べて移動量が小さくなるとバランスの影響を大きく受けてしまうのではないかと考えた。金星追尾の高精度実現に向けて極軸調整および、バランス調整を定期的に行なう必要がある。

第4章 インターネット天文台を用いた実践授業

1. ひらめき☆ときめきサイエンスでの実践

宮教大インターネット天文台のシステムの連続運用システムを利用した観望会を、日本学術振興会による研究成果の社会還元・普及事業である平成21年度「ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI」で中学生に対して行った（表4-1）。授業は13時から18:30まで行なったが、インターネット天文台および天体観測はそのうち13:10～14:45,17:30～18:30の間行なうこととした。宮教大屋上の天文台を遠隔操作し、実験室には2台のパソコン、およびプロジェクター、スクリーンを用意した。パソコンを2台用意したのは、3つのカメラの映像と望遠鏡制御ソフト TheSky6 (SoftwareBisque 社) 画面を同時に確認するためである（表4-2）。

表4-1：ひらめき☆ときめきサイエンスの概要

日時	2009年10月24日 13:10～14:45 / 17:30～18:30
場所	宮城教育大学
天候	曇天（雲量90～100%）
対象	中学生
参加者数	11人
アンケート集計	10人

表4-2（1）：パソコン1操作画面概要

機能	機能の説明	ソフトウェア	ハードウェア (天文台)
ファインダーカメラ	天体導入支援 (37×50分角)	Windows Media サービス	ToUcamPRO(Phillips 社)(240×320画素)
望遠鏡制御	天体の選定と導入	The Sky6	サーバー側パソコン
天文台ルーフ開閉	天文台ルーフ開閉 の遠隔制御	Project1.exe PICOCX.ocx PICNIC.dll	LANアダプターキット (PICNIC)

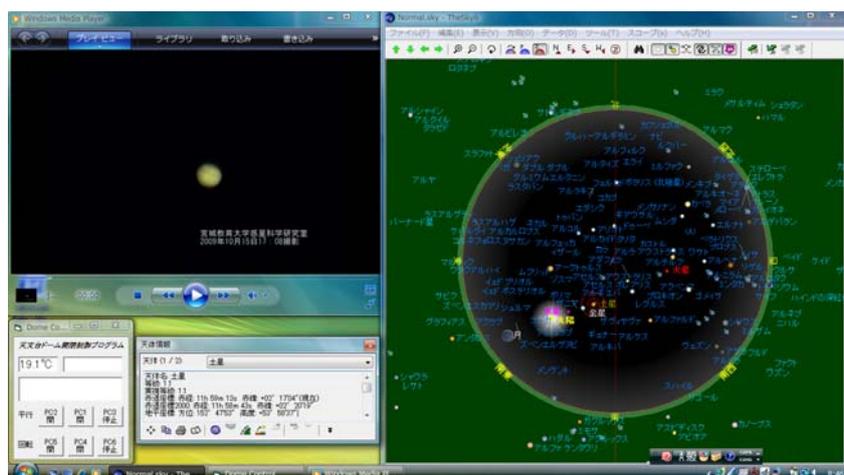


図 4-1 : パソコン 1 操作画面

望遠鏡制御画面 (右)、ファインダーカメラ画面 (左上)、天文台ルーフ開閉プログラム画面 (左下) を表示した。観測中はモーションコントロール (The Sky6) 画面を表示した。

表 4-2 (2) : パソコン 2 操作画面概要

機能	機能の説明	ソフトウェア	ハードウェア (天文台)
望遠鏡カメラ	天体観察用 (6×8 分角)	WindowsMediaPlayer WindowsMediaService	ToUcamPRO II (Phillips 社)
天文台カメラ	望遠鏡の動作確認 ルーフ開閉確認	http://160.28.190.109	CG-NCMN (ネットワークカメラ) (株式会社レカ社製)



図 4-2 : パソコン 2 操作画面

天文台内カメラ映像 (右)、望遠鏡カメラ映像 (左) を表示した。ルーフ開閉の状況や望遠鏡の動く様子を確認しながら操作できる。

(1). 実践授業の内容

実践授業でのプログラム案を以下に示す。

授業内容（授業の流れ）	指導留意点・具体的教授方法（学生側）
<p><昼間の天体観察></p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータ制御による望遠鏡操作の体験 ・天体望遠鏡の仕組みと使い方 —組み立てと観察の仕方— 組み立てた望遠鏡で建造物などに目的をおいて望遠鏡の使い方を学ぶ。 ・昼間の天体の観測 金星の観測・スケッチ 	<p>—天文台へ移動—</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータ制御における望遠鏡の操作についての説明。 ・ファインダーの合わせ方望遠鏡操作の支援。 ・満ち欠けの様子や金星の大きさに着目できるように支援する。
<p><宮教大インターネット天文台></p> <ul style="list-style-type: none"> ・インターネット天文台システム概要と、利点、ハードウェアについて知る。 インターネット天文台の概要と意義を知る。 ・インターネット天文台の遠隔操作 —遠隔操作方法の説明・体験・観測— インターネットによる天文台の遠隔操作について、その方法を知り、実際に体験する。 	<p>—実験室へ移動—</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パワーポイントを用いてインターネット天文台についての説明をする。（図 4-4） →インターネット天文台の利点、遠隔操作を実現する上で必要な機器・カメラ類の説明を行う。 ・遠隔操作の方法を図 4-1,図 4-2 を用いて行う。 →2 台のパソコンが何を表示しているのか留意して説明を行う。
<p><夜間天体観測></p> <ul style="list-style-type: none"> ・季節の星座・惑星について 星座早見表の使い方を知る。 	<p>—天文台へ移動—</p> <ul style="list-style-type: none"> ・星座早見表の使い方と授業日に見える天体の説明。

図 4-3：実践授業のプログラム案

授業当日は太陽が薄雲の中でなんとか確認できる程度の曇天で、当初計画していた昼間の金星観察および夜間の天体観察は行なえなかった。

授業はまず屋上天文台で行なった。生徒は、赤道儀の原理・望遠鏡の仕組みについて触れながら天体望遠鏡（赤道儀）の組み立てを実際に行った。組み立てた望遠鏡を使って、建造物や山などをのぞきながら、ファインダーの合わせ方、望遠鏡の使い方などを学習し

た。また、宮教大インターネット天文台のサーバーとなるコンピュータを使用した望遠鏡コントロールの説明を聞き、コンピュータ制御によって望遠鏡が動くことを体感した。

そして生徒たちは実験室に戻り、宮教大インターネット天文台のシステム、利点、意義、操作方法の説明を聞き、実際にインターネットを利用して実験室から天文台システムの遠隔操作を行なった。インターネットによる遠隔操作は基本的に限られた人のみの参加となりがちなため、それを防ぐためにコンピュータを自由に生徒に使ってもらうための時間を用意した。

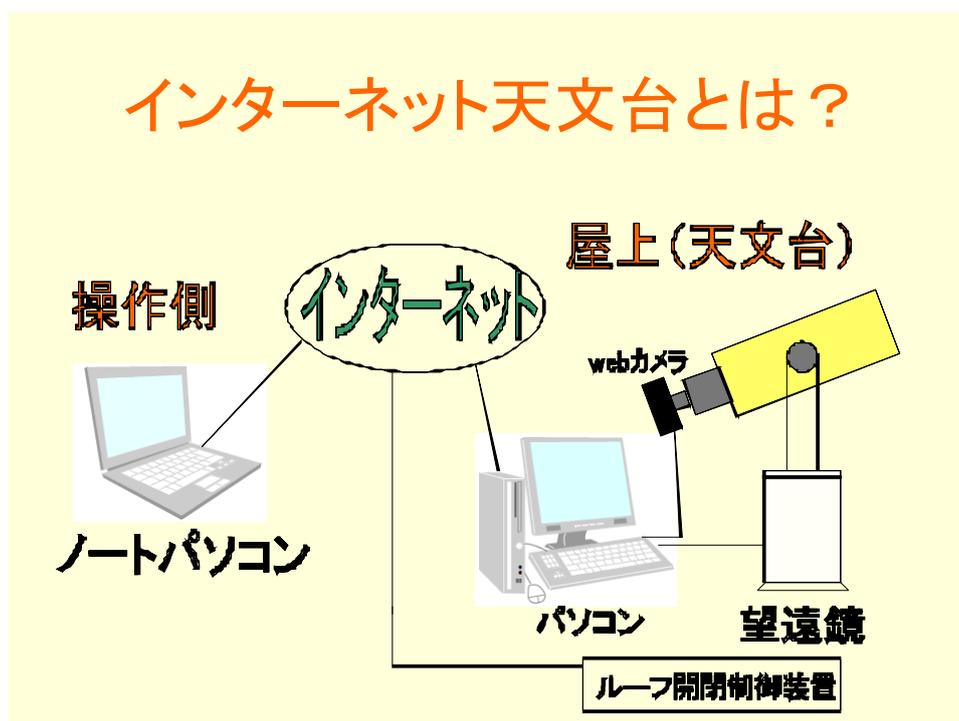


図 4-4 : インターネット望遠鏡のシステム (パワーポイント資料)

遠隔操作によるクライアントからサーバーへの情報伝達経路について、インターネットを介して行われるということをわかりやすく伝えるために模式的に示した。

(2) : 実践授業の評価

実践授業では参加者にアンケート調査を行なった。「参加しておもしろかったか」というアンケートに対して、「とてもおもしろかった」、「おもしろかった」と答えたのは全体の 90% となった。また、実践授業のプログラムは 100% の回答者が「とてもわかりやすかった」、「わかりやすかった」と回答した。そして、「科学に興味を湧いたか」、「このような企画があればまた参加したいか」のアンケートに対して、90% の回答者が「科学に興味を湧いた」、「参加したい」と回答した。これらのアンケート結果からひらめき☆ときめきサイエンス

の実践授業は生徒に科学の面白さ、魅力を伝えることはできたと評価できる。

具体的にプログラムで印象に残った事柄を聞くと、「インターネットで望遠鏡を操作できて自動であわせられること」、「ネット天文台の操作」「望遠鏡の組み立て」、「インターネットで他の国の様子がわかること」とインターネットを使った天体観察の方法が斬新で生徒の興味関心を喚起していたことがわかった。しかし、実践授業当日は天候が悪く、実際に天体を、望遠鏡を通して観察することができなかつたため、「もし、晴れていればもっと色々やりたかった」というアンケートの声もあったように、インターネットを通してできる天体観察だからこそ、インターネット天文台のネットワークを広げていくことで、観測地の天候不順に対応できるプログラムを検討していく必要があることを痛感した。

また、ひらめき☆ときめきサイエンスは、大学生が「今やっていること」を中学生に体感して学んでもらうプログラムを進行することができるという点で、参加者は普通の学校の授業では学ぶことのできないことを体感しながら学習することのできる場であり、さらには学校で学び得た知識を活かせる場でもあるということ非常に有用だと感じた。

反省点は、授業当日のネットワークはワイヤレスネットワークですべてを操作していたが、一度、原因不明のネットワーク切断が発生し、TheSky6による望遠鏡を操作していたコンピュータがネットワーク不通になり、一時望遠鏡の操作が不能となったことである。しかし、もう1台のパソコンでなんとか応急的に対処したが、ネットワークがあれば遠隔操作できるシステムだからこそ、ワイヤレスLANの不安定さ等のネットワークに関わる問題を考慮した方法を考えておく必要がある。

第5章 結論

本研究によって、宮教大インターネット天文台は連続運用できるようになった。スライディングルーフ開閉の遠隔操作を実現し、観測終了時の望遠鏡の天文台ルーフ内での姿勢制御には、IA ソフトによるパーク（インターネット望遠鏡）とリモートデスクトップ接続によるソフトウェアスタンバイ（**Temma by Takahashi**）の両者を検証し、望遠鏡の電源をシャットダウンすることなく、姿勢制御した位置から次回観測開始時に目的天体へ望遠鏡を向けることを可能とした。しかし、望遠鏡の姿勢制御位置は高度と方位の地平座標で固定されるため、観測終了時に赤道儀が望遠鏡姿勢制御位置ほどの程度正確に導入されるのかは不明である。そのため、望遠鏡の姿勢制御位置から目的天体導入の精度を検証する必要があったのだが、その結果、7分角の導入誤差が生じることがわかり、これまでの**ET-300**(高橋製作所)に広視野角の **miniBORG45ED**(トミーテック社)をファインダーとして搭載することで、全天における天体導入が容易となり、インターネット望遠鏡としての利便性が増した。さらに、システムの連続的な運用が可能となったことで、天文台まで行き来する時間の短縮、システムアップ・シャットダウンの手間が省けるようになり、金星・月ライブはこれまでよりも効率よく長時間運用できるようになった。

学校教育においても、昼間の理科の授業時間内で観測準備や教室移動時間の短縮が図られ、リアルタイムの天体映像を取得できることは、非常に有用的なことでもある。連続運用システムの確立で、宮教大インターネット天文台が一つの基盤となり、複数の学校がそれぞれ見たい時に見たい天体を見ることができるとは、機器を共有し、授業時間内にホンモノの天体観測ができることを意味する。本研究で紹介した「ひらめき☆ときめきサイエンス」での実践授業からもわかるように、インターネットを使って遠くの望遠鏡を動かすということは、生徒にとっては非常に斬新で理科への興味関心を喚起する術にもなることがわかった。

また、スマートフォンのリモートデスクトップ接続によって、宮教大インターネット天文台の遠隔操作を検証した。現在、宮教大インターネット天文台は望遠鏡制御に **The Sky6**(Software Bisque 社)を使用しているが、ファイルサイズが **2.8GB** でスマートフォン対応のアプリケーションではないため、直接本体にインストールし起動することができない。しかし、リモートデスクトップ接続によってアプリケーションの実行をスマートフォン上で確立し、さらにはネットワーク環境の制約にとらわれずにスマートフォンの高速パケット通信のつながる場所であればどこにいても宮教大インターネット天文台の操作が可能となった。これにより、宮教大インターネット天文台のシステムを改変せずに様々な用途でシステム制御が可能となり、一般観測者向けに汎用性が向上した。

しかし、これだけ自由に誰もがいつでも観測できる環境となると、惑星科学研究室としてクライアント側の管理が必要になってくる。まず、クライアントの選定である。教育関係者のみに提供するシステムとして管理するのか、または制限なく一般の人にも提供する

システムにするのかである。クライアント側の選定は宮教大インターネット天文台の位置付けにより明確になる。いずれにせよ、実用化に向けてはクライアントの観測スケジュールを管理して、選定したクライアントに観測スケジュールを公表し、誰もが平等に観測できる環境の整備が必要になってくる。また、インターネット天文台を管理していく上でクライアント側の情報把握をしていくことが大切なことと考える。天文台の遠隔操作の方法も本論でこれまでに述べてきたようにいくつか方法があるが、これはクライアント側のネットワーク環境等のニーズに合わせて提供する必要があるため、クライアント側の情報を把握し、それに合った操作方法をクライアント側にマニュアル等の情報開示を正確にする必要がある。

クライアントの管理と並行して今後改善していかなければならないのは、天候の判断をクライアント側で正確に把握できるような環境の整備が必要である。現在、昼間の観測においては「全天カメラ」、夜間の観測においては「星空カメラ」が設置しており、宮教大上空の全天雲量やおおまかな天候は判断できるようになっている。しかし、連続運用が可能となったことで、それだけでは不十分でもある。多湿や霧、晴れていても雨が突然降ったり、雪が舞ったりすることがあるからである。これらの状況を全天カメラや星空カメラで把握することは100%とは言い難い。精密な望遠鏡やコンピュータ類の機器の劣化を防ぐためにも、感雨計や温度湿度計などを天文台へ設置し、クライアント側のパソコン上で把握することのできる環境整備が必要と考える。

また、本研究では、月・金星ライブのより発展的な運用化に向けて月・金星追尾の検証を行なった。望遠鏡制御ソフトとして採用している The Sky6(Software Bisque 社)は、月追尾機能はないが、彗星追尾のように天体独自の移動量に対応できる彗星追尾レートグループがある。彗星追尾レートグループは天体の赤経赤緯の移動量に対して追尾補正を行なうもので、本研究では彗星追尾レートグループによる月・金星追尾補正の検証によって追尾補正值を求める式の検証を行い、月追尾では90%以上の追尾精度の実現を果たした。この追尾精度は通常の月ライブ運営時間である最大5時間の追尾であれば、形がわからなくなるほど月がエンコーダ画面から外れてしまうことがない。ライブ運営中に一度も再導入せずに月ライブが運営できるようになった。金星追尾においては、月追尾と同じ赤道儀を用いているのにも関わらず、月追尾と異なる追尾精度であることから、天体の移動量によって赤道儀のギアの噛み合いによる誤差が生じていると考える。鏡筒とウエイトバランスとのバランスが合っていないなどの理由で、赤道儀の微動を完全にカバーされていないのが現状であるため、定期的な望遠鏡のメンテナンスを行ない、観測条件を整備していくことが求められる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、適切な御助言、懇切丁寧な御指導をいただいた宮城教育大学教育学部惑星科学研究室の高田淑子教授に深く感謝いたします。

また、The Sky6 (Software Bisque社)のソフトウェアスタンバイならびに月・金星追尾について多くのご助言、ご教示をいただいた(株)日立ビジネスソリューションの菅原様に深く感謝いたします。

ならびに、研究活動全体を通して御指導・御意見、暖かい御援助をしてくださいました同研究室の相田知輝君、門脇駿君、菊池佳子さんに深く感謝いたします。

最後に、本研究でお世話になったすべての関係者の方に深く感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 文部科学省「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について（答申）」（平成20年）.
- [2] 文部科学省告示「中学校学習指導要領」（平成10年12月）.
- [3] 文部科学省告示「小学校学習指導要領」（平成10年12月）.
- [4] 佐々木佳恵(2004)「インターネット望遠鏡・IT機器を用いた天文教育教材の開発と中等教育への応用」（宮城教育大学卒業論文）.
- [5] 鈴木雄太(2008)「月ライブシステムの再構築と小学校理科への活用と評価」（宮城教育大学卒業論文）.
- [6] 千島拓朗(2007)「IT機器を利用した天文教育プログラム開発」（宮城教育大学理科専修修士論文）.
- [7] 中堤康友（2002）「インターネット望遠鏡を用いた天文教育プログラムの開発」（宮城教育大学卒業論文）.
- [8] 林美香(2003)「インターネット天文台中継システムを利用した天文教育プログラム開発」（宮城教育大学卒業論文）.
- [9] (有) トライステート社ホームページ
[<http://www.tristate.ne.jp/picnic.htm>]
- [10] Microsoft社Windows Mediaホームページ
[<http://www.microsoft.com/japan/windows/windowsmedia/default.mspx>].
- [11] NTT DoCoMoホームページ
[<http://www.nttdocomo.co.jp/>]
- [12] Software Bisque社ホームページ
[<http://www.bisque.com>]

[13] IAClient Internet Astronomy Client Software User' s Guide,
Software Bisque ,1993-2000.

[14] IAServer Internet Astronomy Server User' s Guide,
Software Bisque ,1993-2000.

付録 I

LAN アダプターキット（ループ開閉制御）のセットアップ方法

<動作チェック>

- ① ボードが正常に動いているか確認をする。ハブ及びパソコンの電源はあらかじめ入れておく。パソコンには作成したプログラムファイルを入れておく。
- ② DCプラグにACアダプタを差し込む。(電源電圧は8Vから12V程度の範囲)
- ③ 次にハブからのケーブルをボードへ接続する。(ボードのLINK (緑) LEDの点灯)
- ④ パソコン側からpingを送る。
 - ・パソコンのIPアドレスを192.168.0.1、ネットマスクを255.255.255.0に設定する。
 - ・MS-DOS プロンプトにて「ping 192.168.0.200」と入力。(デフォルトのボードのIP) →pingを送ったIPからの反応があれば、接続されていることになる。
- ⑤ Internet Explorer等のWeb ブラウザソフトを起動し、同様にIP アドレスを入力する。そうすると、画面にPIC Network Interface Card…と表示され、『リモートI/O画面』が表示される。

※この画面には現在のI/Oピンの方向、各ピンの状態をはじめ、IPアドレスやネットマスク、ポート番号の設定がブラウザに表示される。(図 I - 1)

<ボード情報の変更>

Configuration (図 I - 1)

現在設定されているIPアドレス、ポート番号などの状態を表示・変更することができる。MAC アドレス以外はユーザが変更することが可能である。変更はテキストBOXに変更値を入力し「Save」のボタンを押し、ボードのリセットボタンを押し、一度ボードのACアダプタを抜く。設定内容はPICマイコンの不揮発性メモリ (EEPROM) に記録されるため電源を切っても保持されるが、変更した情報は一度電源を切ると有効になる。

図 I - 1 は IP アドレス変更後の Configuration 画面になる。ここで IP アドレスを変更した際には、パソコンの IP アドレスも元々学内ネットワークに振り当てられている既存の IP アドレスに戻す作業が必要になる。基本的に IP アドレスの最初の3つのボックスの数字が LAN アダプターキットとパソコンで一致しないとプログラムの実行は行なえない。必ず、同じ LAN ネットワーク網に存在していることが必要になる。

Configuration

MAC Address	00-02-CB-01-2A-04
IP Addr	<input type="text" value="160.28.190.115"/>
NetMask	<input type="text" value="255.255.255.0"/>
GateWay	<input type="text" value="160.28.190.1"/>
http Port TCP:#	<input type="text" value="80"/>
LCD Port UDP:#	<input type="text" value="0"/>
Parallel Port UDP:#	<input type="text" value="10001"/>
Serial Port UDP:#	<input type="text" value="10002"/>
<input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Default"/>	

図 I - 1 : Configuration画面

IPAddr、GateWayは惑星科学研究室に割り当てられているネットワーク情報を入力する。ボードのIPアドレスを変更した際は、パソコンのIPアドレスの変更も忘れずに行う。

Status

Sent Packets	16
This IP	160.28.190.115

図 I - 2 : Status画面

現在のボードのIPアドレスが表示される。変更を行った後、電源を入れ直してから確認する。

<必要ソフトウェアのインストール>

作成したプログラムの実行ファイル「Project1.exe」、実行ファイルを起動するための「PICNIC.dll」、ActiveXコントロールファイル「PICOEX.ocx」の3つがルーフコントロールには必要になる。いくつかのパソコンでルーフコントロールを共有する場合、前述した3つのファイルを各パソコンヘデータの転送を行なう。そして、LANアダプターキットの開発元である（有）トライステートのホームページ<http://www.tristate.ne.jp/>より、プログラム実行ファイルのインストーラー（フォルダ「ocxdemo」）をダウンロードする。これは1hzファイルのため実行するためにはファイルの解凍が必要になる。フォルダocxdemo中にあるファイルsetup.exeを実行しプログラム実行ファイルをインストールする。インストールが完

了した時点で、ルーフコントロールが可能となる。

しかし、パソコンの環境変数の状態によってはプログラム実行ファイルのインストールが成立できないケースがあることがわかった。インストールできないパソコンに共通して「Path or file not found」とエラーが表示されることから、パソコンのシステムの環境変数を変更する必要があると考えた。この環境変数というのは、パスやファイル名などの情報を格納する文字列のことである。特に、今回、パスやファイルが不明というエラーが表示されたことから、一時ファイルを配置する場所を指定するため、TEMP 環境変数と TMP 環境変数の変更を試みた。プログラム実行ファイル[Project1.exe]の展開には、前にも述べたように ocx ファイルと dll ファイルの支援が必要である。今回はこれらの支援ファイルの配置先を環境変数の設定にて決めることとした。環境変数の変更後、プログラム実行ファイルは正常にインストールされた。以下（図 I - 3）にその方法を示す。



図 I - 3 : システムのプロパティ画面

図のシステムのプロパティ画面は、「スタート」/「コントロールパネル」/「パフォーマンスとメンテナンス」/「システム」により表示できる。そこで、「詳細設定」/「環境変数」をクリック。

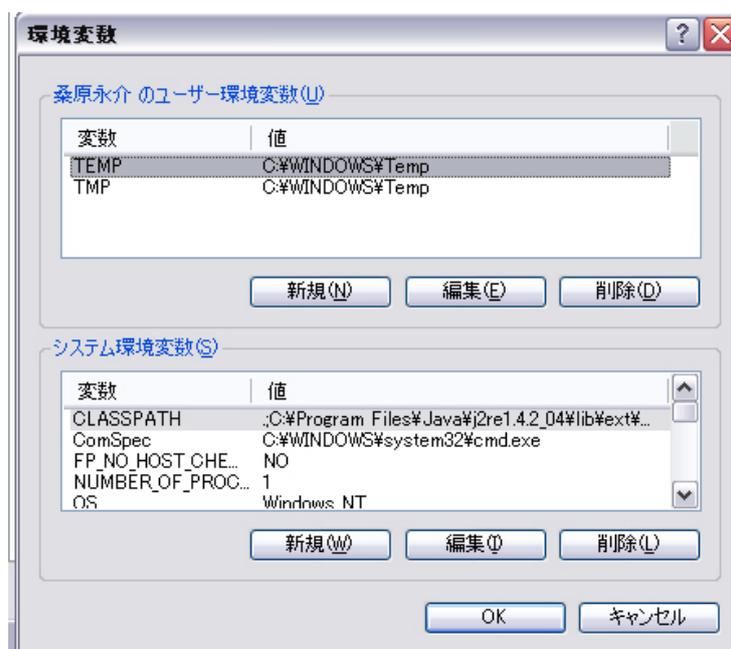


図 I - 4 : 環境変数変更画面

ユーザー環境変数[TEMP]を選択し「編集」をクリック。変数値を「%SystemRoot%\Temp」とする。(C:\WINDOWSの環境変数) ユーザー環境変数[TMP]も[TEMP]同様に変数値を変更する。すると、図 I - 4の画面のように変数値が変更されていることを確認する。この状態で、セットアップ後のファイルの配置先を「ローカルディスクC」→フォルダ「WINDOWS」中に格納することを指定したことになる。

付録Ⅱ

ソフトウェアスタンプを用いた望遠鏡のパークとパークの定義

<ソフトウェアスタンバイの手法>

- ① TheSky と Temma のリンクを確立する。
- ② TheSky6 にて「スコープ」→「オプション」→「ターミナル」を選択する。

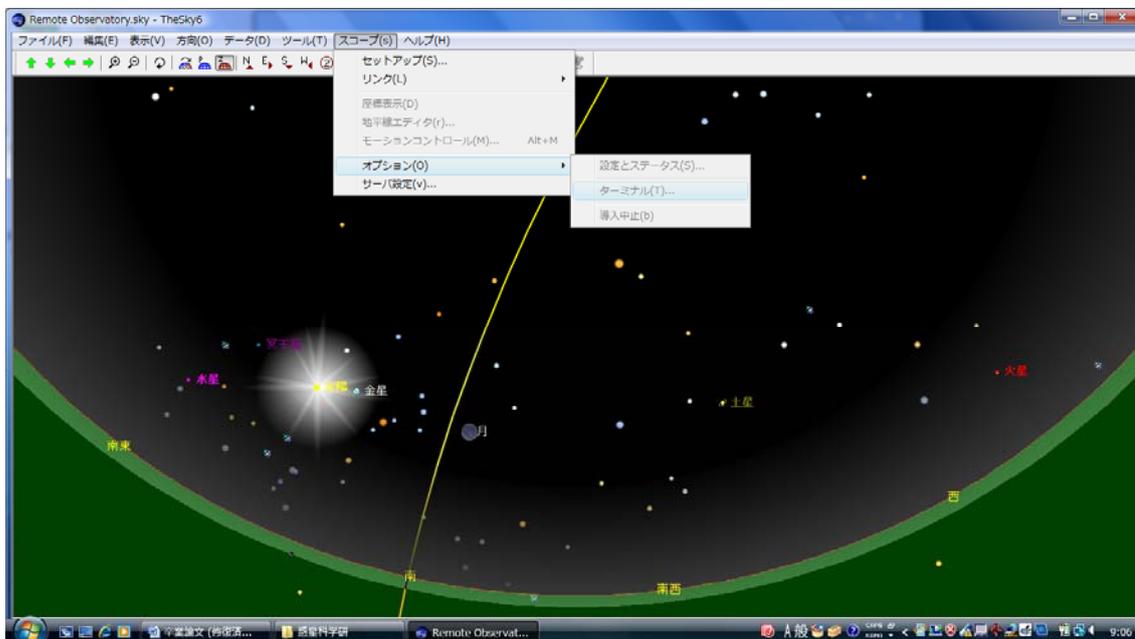


図 II-1 : ターミナル導出画面

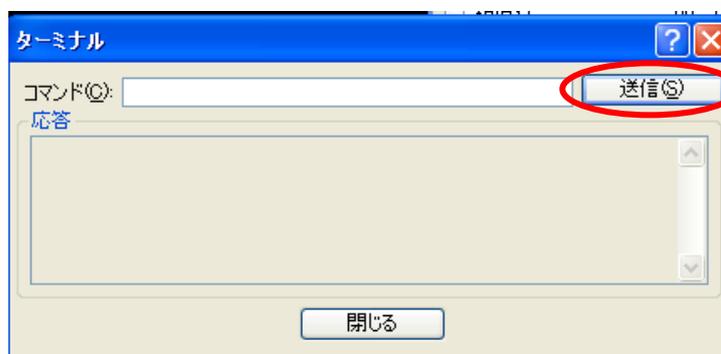


図 II-2 : ターミナル画面

- ③ コマンド欄 (図 II-2) に STN-ON (半角大文字) を入力し、[送信]ボタンを押す。

応答欄に「無応答」と表示されるが、これでスタンバイが完了。

(望遠鏡が地平座標 (高度/方位) を維持した状態を保つ。)

- ※ このコマンドは、接続されている望遠鏡コントロールシステムに手入力によるコマンド投入を可能とするもので、TheSky が直接サポートしていないコマンドを望遠鏡に送出する際に有効なものである。

- ④ 観測セッション開始時には、スタンバイを解除する。③と同じ手順で STN-OFF（半角大文字）と入力する。再び「無応答」と表示されるが、架台が恒星時追尾モードに入り、天体への視野導入も可能になる。

<パークポジションの定義>

- ① The Sky の「データ」メニューから「ユーザデータの追加」を選択後、「地平座標」オプションを選択。

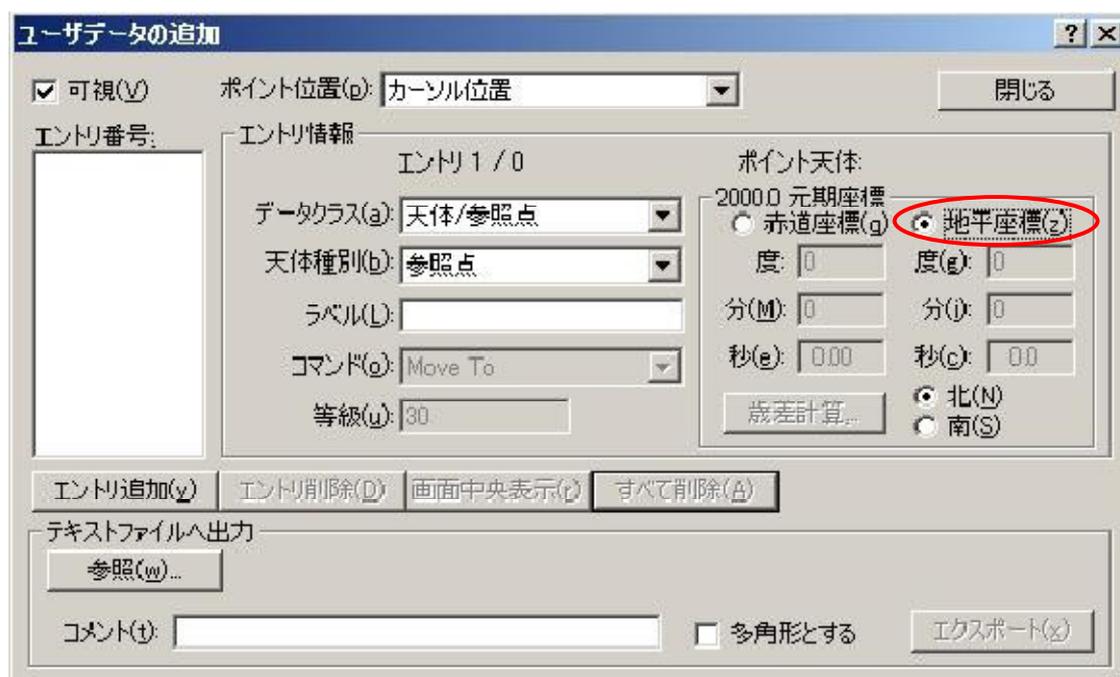


図 II-3 : ユーザデータの追加画面

ユーザデータを地平座標で表すことをここで決定される。

②Sky 画面上で、望遠鏡パークポジションにしたい位置を Ctrl キーを押しながらクリックする。すると、クリックした位置に赤い十字マークが表示される。

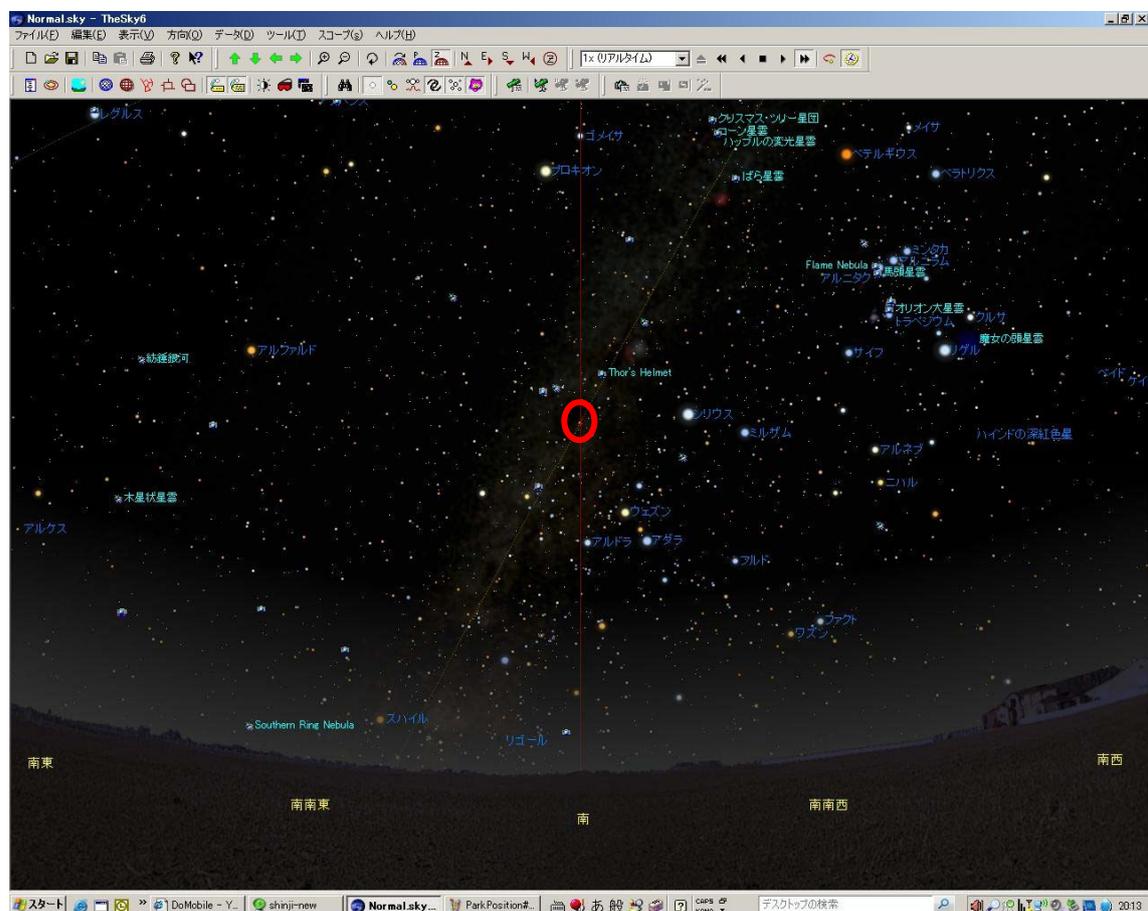


図 II-4 : TheSky6 におけるパークポジションの決定

ユーザデータの追加において地平座標を選択した後、観測者が任意の場所を選択し、地平座標（高度/方位）で選択した場所を固定する。（地平線以下は選択できない）

- ③再び「データ」の「ユーザデータを追加」を選択し、ラベルを適当に「望遠鏡パークポジション」などをつけると、Sky の画面上に表示される。(このポジションは地平座標で定義されているので、時間経過とともに移動することなく、常にこのポジションを維持する。)

図 II -5 : ユーザデータの追加画面

ここでは、これまでに地平座標で固定したパークポジションの位置にラベルをつける。ここで定めたラベルは、TheSky6 の画面上に表示されるため、観測終了時に望遠鏡をパークポジションへ導入しやすくなる。

- ④Sky ドキュメントファイルにユーザデータを保存する。ファイルメニューから上書き保存すれば完了。

※観測終了後は、定義したポジションを選択し、「視野導入」を行えばパーク位置へ望遠鏡は移動を開始する。

付録Ⅲ

スマートフォンを用いた天文台リモート操作に向けた準備

スマートフォンによる天文台のリモート操作を実行する場合、本論でも述べてきたが、現状ではリモートデスクトップ接続による方法のみが有効である。リモートデスクトップ接続におけるセキュリティを考慮すると、サーバー側が認めた者のみアクセスを許容する方法と、リモートデスクトップのポート番号を変更する方法が考えられる。ポート番号を変更することで、ポート番号を知る者のみがアクセスできることになるため、セキュリティの面において非常に有効的になると考えた。そこで、ここではリモートデスクトップのポート番号を変更する方法、およびスマートフォンによるリモートデスクトップ接続を確立するための接続設定について具体的に述べていく。

<リモートデスクトップのポート番号変更方法>

・ **レジストリエディタの起動**

「スタート」→「マイコンピュータ」→「C: ドライブ」→「Windows」→「regedit」

・ **リモートデスクトップのレジストリを開く**

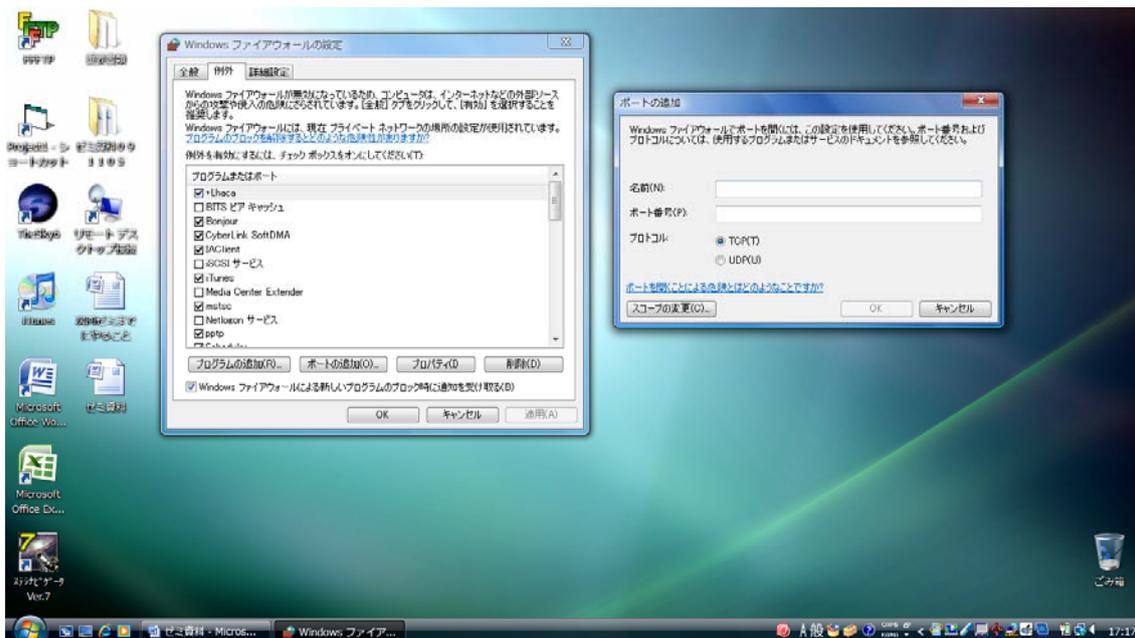
```
HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\TerminalServer\
WinStations\RDP-Tcp\portnumber
```

・ **ポート番号の変更**

デフォルトでは10進数でポート3389（16進数だとd3d）となっているので、10進法で10001と変更する。変更後はコンピュータの再起動を忘れずに実行する。

・ **サーバ側PCのファイアウォールの変更**

セキュリティを設定したネットワーク接続のアイコンを右クリック→[プロパティ]
→[詳細設定]→[インターネット接続ファイアウォール]→[設定]→[サービス]
→[ポート追加]（詳細は下図Ⅲ-1参照）

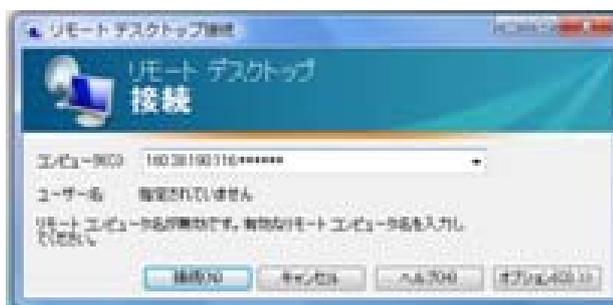


図Ⅲ - 1 : Windows ファイアウォールポート追加設定画面

サーバ側パソコンにおける Windows ファイアウォールポート追加の設定画面。ポートの追加の名前は自由に任意で決めることができる。ポート番号はレジストリエディタで変更したポート番号を入力する。プロトコルは TCP を選択する。ここでリモートデスクトップのポートがファイアウォールの例外接続設定として認識される。

・クライアント側 PC の変更

リモートデスクトップ接続画面における「コンピュータ名」のところ、従来まではサーバーPCの IP アドレスを入力していたが、IP アドレスの他に変更したポート番号を入力する（下図Ⅲ - 2 参照）



図Ⅲ - 2 : リモートデスクトップ接続ログイン画面

(入力例 : 160.28.190.115 : 10001) サーバ側パソコンの IP アドレスに続けて変更後のポート番号を入力して接続が確立される。

<スマートフォンの接続設定>

スタート/設定/接続により接続設定が行える。

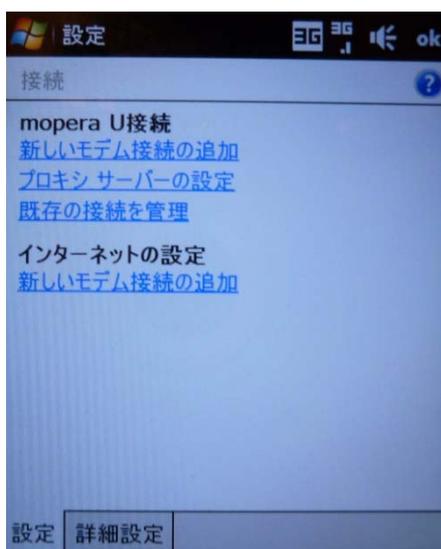
I. ワイヤレス LAN 接続設定 (DOCOMO/ウィルコム共通)

- ① 内蔵ワイヤレス LAN を有効にする。
- ② アクセスポイントの設定をする。
→ネットワーク名 (SSID)、ネットワークキー等の情報が必要。
- ③ ネットワークへ接続する。
ネットワークカード (インターネット設定/社内ネットワーク設定) の選択。
→IPアドレス・DNSサーバー名が必要な場合は入力する。

※公共のワイヤレス LAN アクセスポイントからインターネットに接続するには契約時に別途申し込みが必要な場合がある。

II. DOCOMO ハイスピード通信接続設定

- ① 設定/接続タブの選択
- ② [moperaU 接続]/「新しいモデム接続の追加」を選択。(図Ⅲ-3)
- ③ 接続名の入力・モデムの選択を行う。(図Ⅲ-4)
- ④ アクセスポイント名の入力。(図Ⅲ-5)
- ⑤ ユーザ名・パスワードの入力。(図Ⅲ-6)



図Ⅲ-3 : (設定/接続) 画面

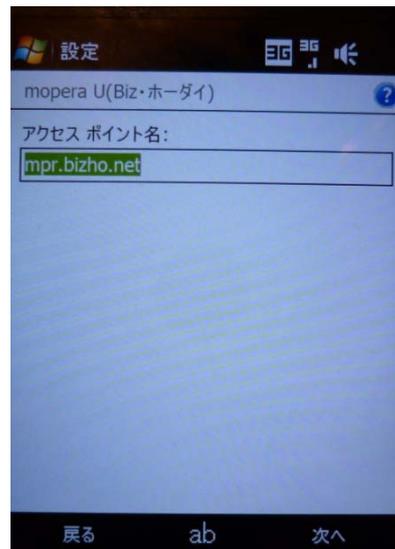
ワイヤレス LAN および HSPD 通信すべての通信の設定をここから行う。



図Ⅲ-4 : moperaU(Biz・ホーダイ)

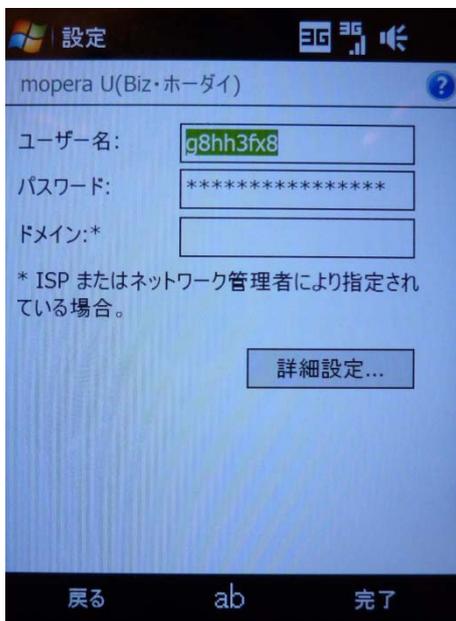
moperaU の接続名は moperaU(Biz ホーダイ)、
 モデムはパケット通信 (3G, GPRS) を選択する。

(moperaU の接続を確立するには、契約時に
 moperaU の申し込みが必要。)



図Ⅲ-5 : アクセスポイント名設定

moperaU のアクセスポイント名「mpr.bizho.net」
 を入力する。



図Ⅲ-6 : ユーザ名・パスワード画面

ユーザ名・パスワードを入力する。「完了」を選択し、
 HSPD(ハイスピード)通信の設定は完了。