

広帯域ネットワークを基盤とした大学と公開天文台との連携

杉山耕一郎^{1,2}，小高正嗣³，佐野康男⁴，大石憲旦⁵，馬場 聡⁶，
高井昌彰⁷，大石尊久³，林 祥介^{3,8}，倉本 圭³，渡部重十³

(要旨) 北海道大学と名寄市立木原天文台とを接続する広帯域ネットワークを構築し、研究と教育の連携のための実験を行った。広帯域ネットワークを用いる最大の利点は、地理的に離れた両拠点の既存の機材とソフトウェア環境を現地まで移動することなく相互に利用できるようになり、両拠点が一体の遠隔天文台として機能できることである。実際に、北海道大学から木原天文台の望遠鏡を遠隔操作して天体の撮像観測を試み、遠隔天文台としての機能の検証を行った。また、両拠点の観望映像のどちらか条件の良い映像をインターネット中継映像として配信する実験を行い、今回我々の構築したネットワーク環境が天文現象のインターネット中継の成功率向上に資することを確認した。

1. はじめに

北海道大学大学院理学研究院・理学院宇宙理学専攻(以下、北海道大学)と北海道北部に位置する名寄市立木原天文台(図1参照)は、2002年末から大学と地域間の交流促進および施設や機器の相互利用を包括的に進めている。2005年末には北海道大学と名寄市との間で相互協力協定が締結され、両者の連携が明文化された。

既存の小規模な公共天文台と大学等の研究機関が協定を締結し、大学と地域間の交流促進および施設や機器の相互利用を包括的に進める例は全国的にも珍しい。従来の大学と公開天文台の連携としては、例えば新設の大規模な天文台の一角に大学等の観測機材を設置するケース[1]、大学の教員が天文台主催の講演会等で講演するケースなどが挙げられる。これらの連携では、特定の教員が長期にわたり関与する、もしくは多数の教員が短期的に関与する形をとっている。これに対して、北海道大学と木原天文台との連携では、多数の教員や学生が教育から研究に至るさまざまな活動に継続

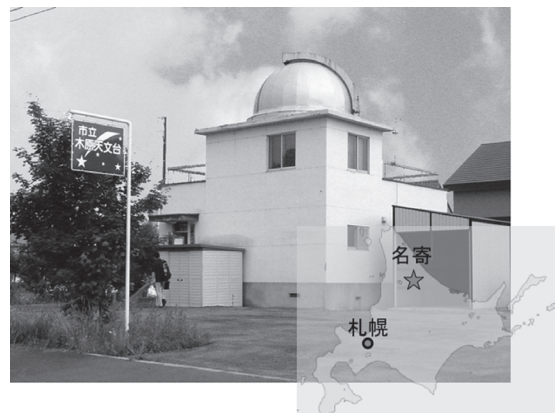


図1： 名寄市立木原天文台の外観とその場所。

的に取り組んでいる点に特徴がある。

北海道大学と木原天文台の連携の目的は、ひとつには、公共教育施設としての同天文台の役割強化と名寄市に造成が行われている道立公園内に大口径新望遠鏡を設置する構想の推進がある。もうひとつには、宇宙・惑星科学に関する多数の研究者を擁している北海道大学が目指す観測基盤の拡充がある。木原天文台は超新星の発見や激変星の観測で名を知られ[2]、観測研究に適した空の暗さと低シンチレーション環境を持つ。すでに同天文台における観測研究を論文題材とした修士課程修了者が出るなど[3]、連携による研究教育に一定の成果が挙がりつつある。

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学専攻
2. 現在、国立天文台に異動
3. 北海道大学大学院理学研究院宇宙理学専攻
4. 名寄市立木原天文台
5. 株式会社ネクステック
6. 北海道総合通信株式会社
7. 北海道大学情報基盤センター
8. 神戸大学理学部研究科地球惑星科学専攻

しかしながら、北海道大学札幌キャンパスと木原天文台は直線距離にして200km以上離れており、密接な連携を図るために職員や研究者、学生が頻繁に相互に行き来することは困難である。そこで我々は、密接な連携を図るための手段としてTCP/IP¹ネットワークを活用し、両拠点を遠隔天文台として一体化することを試みた。これは北海道大学において継続的に展開されてきた、ネットワークを用いた地球惑星科学の情報化をすすめる実験的活動(例えば[4])のひとつの延長線上に位置づけられるものである。

両拠点を一体の天文台として結び機能させるには、双方の人員があたかも対面しているように会話を交わしながら、観測地に置かれた観測制御機器類を自在に遠隔操作して観測データを取得できることが必要となる。そこで両拠点の間に広帯域ネットワークを構築してオンラインミーティング環境を整備し、遠隔天文台実現にむけた実験として遠隔操作による望遠鏡観測を行うことにした。

望遠鏡の遠隔操作システムとしては、これまでに「インターネット天文台」と名のつくシステムの構築が複数試みられてきた(例えば[5], [6])。これらのシステムは、不特定多数の市民が星空に親しむことを念頭に設計されており、狭帯域のネットワークでも動作可能な望遠鏡操作アプリケーションの開発と運用が必要である。我々のシステムはこれらとは目的が異なり、研究者が観測地にある観測装置とソフトウェア環境を、その場にいるかのごとく遠隔地から利用できるようにすることに主眼がある。それゆえ特別な望遠鏡操作アプリケーションを用意するよりも、既存のアプリケーションをネットワークを介してストレスなく利用できるほうが望ましい。したがって我々の目指すシステムの実現にとって、広帯域のネットワークを確保できるかどうかがきわめて重要である。これは、遠隔天文台の構築だけでなく、たとえば天文現象のネットワーク中継のような公共教育を目的とした活動に対しても言えることである。

以下では、北海道大学と木原天文台の間に構築した広帯域ネットワークの概要と、それを活用した遠隔天文台実現に向けた実験について紹介する。2章では、ネットワーク要件とその概要を述べる。3章ではネットワークを基盤とした遠隔観測や映像配信を行うため

に導入したソフトウェアを紹介する。4章では遠隔天文台構築に向けた実験として行った木星遠隔撮像観測と月蝕多元中継を紹介する。それらの実験を通じて得られた知見と今後の課題と展望を5章に述べる。

2. 広帯域ネットワーク

北海道大学と木原天文台の連携の特徴は、両拠点を広帯域ネットワークで接続したことにある。広帯域ネットワークを基盤に種々のメディアを組み合わせ、遠隔地に居ながら一体となった観測研究をスムーズかつ簡便に進めることが可能となった。本節では、ネットワーク基盤の構築について説明する。

両拠点が遠隔天文台として一体化した観測研究を行うためには、高品質の動画音声の双方向中継と、VNC(Virtual Network Computing [7], 詳細は後述)を用いたPC制御機器の遠隔操作を遅延なく同時に行えるよう、数10Mbps以上のネットワーク帯域を確保することが理想的である。商用プロバイダが提供する通常のネットワーク回線は、不特定多数のユーザが回線を共有するベストエフォート型の回線であるため、この要件をみたすことができない。その一方、商用の専用回線の利用には、多額の費用がかかるだけでなく、学術機関が接続しているネットワーク回線(SINET)と商用プロバイダのネットワーク回線との接続点(IX; Internet eXchange)が北海道内に存在しないため、北海道大学と木原天文台間の通信が東京のIX経由となって通信遅延が生じてしまう問題がある。

そこで我々は、ネットワーク回線として北海道広域高速学術ネットワークboreo [8]を利用することにした。boreoとは、北海道内IX実証実験のための実験ネットワークである。boreoでは最新IX技術であるMPLS(Multi-Protocol Label Switching)を用いており、北海道大学と木原天文台間で一定幅の帯域を占有したネットワークを構築することが可能である。さらに商用プロバイダのネットワーク回線を用いた場合よりも通信データの伝送距離が短縮され、通信遅延を抑制することが期待できる。

boreoは実験ネットワークであるため、初期費用を除けば回線使用料が極めて安価である。その代わり、ネットワークの設計や機材の設定は利用者自らが行わねばならない。ネットワークの設計と設定に関する議

1. インターネットで利用される通信規約

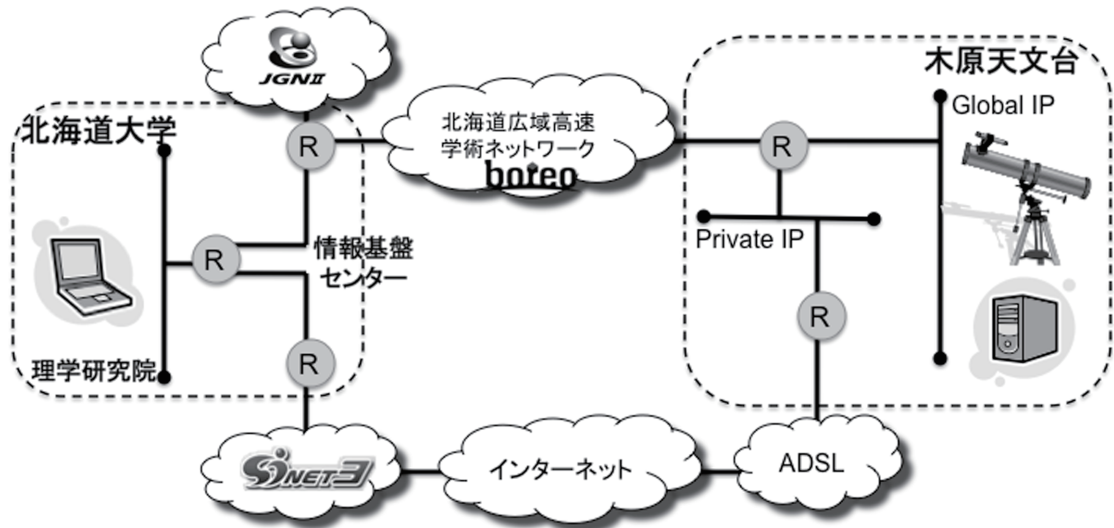


図2： 北海道大学と木原天文台との間に構築した広帯域ネットワークの構成図。図中のRは経路制御装置(ルータ)を意味する。

論は、筆者らが行っている北海道大学をベースとした北海道域ネットワーク活用振興を目的とする有志団体の会合で行われた。

北海道大学と木原天文台間のネットワークの構成図を図2に示す。両拠点間はboreoで接続され、100Mbpsのネットワーク帯域が保証されている。北海道大学のPC群は、木原天文台と通信するときにはboreoを経由し、それ以外の相手との通信はSINETを経由する。木原天文台のPC群は、北海道大学と通信するときのみboreoを経由し、それ以外はADSL回線を経由してインターネットに接続する。木原天文台において複数の経路制御装置(ルータ)を用いているのは、ひとつにはインターネット上の不特定多数のホストから木原天文台の観測制御PCへのアクセスを遮断する必要があるためである。もうひとつには、ネットワーク構成をなるべくシンプルにし、管理コストを下げる狙いがある。前述の木原天文台PC群の経路制御は、boreo向きとADSL向きの2つのルータを1つのネットワーク回線上に並列に並べることで実現可能ではある。しかし、その場合には、各PCの通信先に応じて最適なルータを知らせるためのメッセージ(ICMPリダイレクト)を送受信するように設定を行う必要がある。これは図2に示した構成に比べて設定が複雑でトラブルシューティングが難しく、結果としてネットワーク管理コストを上昇させてしまう。

3. 導入したソフトウェア

北海道大学と木原天文台を一体の遠隔天文台として結び機能させるには、双方の人員があたかも対面しているように会話を交わしながら、既存の観測機材とソフトウェア環境をネットワークを介してストレスなく利用できることが望ましい。さらに、月蝕のような天文現象の中継では、撮影した観測映像をリアルタイムに配信することになる。本節では、これらを実現するため我々が導入したソフトウェアを紹介する。

3.1 オンラインミーティング

オンラインミーティングには、skype[9]や北海道大学理学情報システムのテレビ会議を用いる。後者は、Flashコミュニケーションサーバを用いたシステムで、Internet Explorerなどのwebブラウザ経由で音声と映像のやりとりをするものである。skypeとこのテレビ会議システムはWindows, Mac, Linuxといった主要なOSで動作し、無償で利用可能である。

実際にオンラインミーティングを行う際に問題となるのは、ビデオ映像の質ではなく音声の質である。スピーカーで出力された音声をマイクが拾ってしまうと、自分と相手先の間で音声ループが回ってしまう。相手の声を全く聞き取れなくなってしまう。そこで相手の音声はスピーカーではなくイヤホンに出力するか、音声

をスピーカーに出力する場合にはエコーキャンセラと呼ばれる音声のループを防止する専用機器を導入し、この問題に対処する。

3.2 遠隔操作

北海道大学から木原天文台の既存の観測機材とソフトウェアを遠隔操作するためにVNC [7] を用いる。VNCを利用することで、遠隔地にあるリモートPCのデスクトップが手もとのローカルPCのデスクトップ内の1つのウィンドウとして表示され、そのウィンドウを介してリモートPCを操作できるようになる。VNCも主要なOSで動作可能であり、無償で利用できるという利点がある。同様な機能を持つソフトウェアとしてWindows標準装備のリモートデスクトップもあるが、このソフトウェア用いてリモートログインされたPCは他のユーザの操作を受け付けなくなるため、ここでは利用しないことにした。

3.3 動画配信

映像の配信には、DVTS(デジタルビデオ転送システム)[10]もしくはrobst(Robust Streaming Tools) [11]を用いる。これらはデジタルビデオ(DV)品質もしくはハイビジョン(MPEG2-HD)品質の映像配信を行うためのソフトウェアである。これらのアプリケーションも主要なOS上で動作し、無償で利用することができる。さらにDVTSはデジタルビデオの映像を無圧縮無変換で転送するので、受信先で2次コンテンツを作成し易いという利点がある。これらのソフトウェアは高品質の映像を転送を行うため、片方向で約30Mbpsの帯域を必要とする。しかし北海道大学と木原天文台の間を結ぶネットワークでは100Mbpsのネットワーク帯域が保証されているので、双方向に動画配信を行ったとしても帯域不足という問題は発生しない。

4. 遠隔天文台の実現に向けた実験

遠隔天文台の実現可能性の把握と問題点の洗い出しのために、木星の遠隔撮像を実施した。さらに、遠隔天文台の公共教育の場面での利用を想定し、天文現象の多元中継システムの構築とそれを用いた月蝕中継を行った。

4.1 木星遠隔撮像

木原天文台の45cm反射望遠鏡は天文シミュレーションソフトTHE SKYによって姿勢制御されており、それに装着された冷却CCDカメラは付属のソフトウェアによって制御されている。そのため、3.2節に述べたVNC [7] を活用すれば、北海道大学から望遠鏡やCCDカメラを遠隔操作可能となる。そこで我々は、遠隔望遠鏡操作による遠隔観測システムの構築を行い、そのシステムを用いた木星遠隔撮像を行った。観測日は2006年7月28日、8月5日、19日、19:30-20:30であり、作業者は北海道大学側1名と木原天文台側1名である。

遠隔観測システムの概要は以下の通りである。北海道大学の研究者は手元のPCからVNCで観測機材制御用PCにログインし、木原天文台の既存のソフトウェアを直接操作して観測を行う。木原天文台で利用されている観測機材と観測ソフトウェアをそのまま利用しているため、観測手順は現地で行う場合と全く同じである。観測データはWindowsのフォルダ共有機能を使用して木原天文台に設置されたファイルサーバに保存することにした。このファイルサーバに関係者のアカウントを作成し、北海道大学から常に遠隔アクセス可能としている。

上記のシステムを用いて遠隔観測を行ったところ、ソフトウェアの操作やCCDカメラのプレビュー画面の確認もほぼ遅延なく行うことができた(図3参照)。さらに、オンラインミーティングを活用することで、

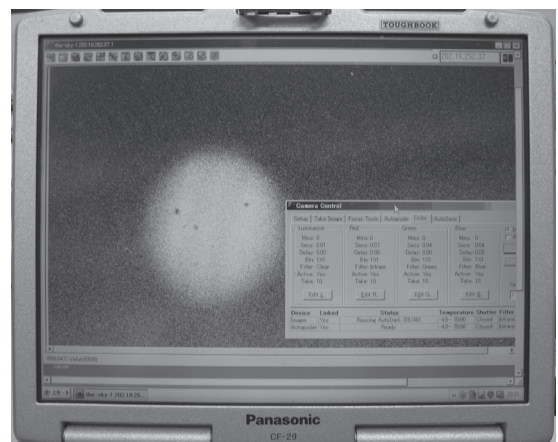


図3：北海道大学側の操作端末PCのデスクトップの様子。CCDカメラ制御用ソフトウェアをVNC ウィンドウ内で全画面表示し、撮像を行っている。画面の天体は木星である。

北海道大学の研究者と木原天文台職員のスムーズな会話が成立した。そのおかげで、観測設定を容易に相談することが可能となり、また木原天文台ドーム内の様子や現地の天候をいち早く把握することが可能となった。遠隔観測のために必要となる追加準備項目は、オンラインミーティングの準備とVNCサーバとクライアントの起動だけであった。これらの追加準備項目は作業員1名でも数分で終わるものであり、北海道大学の研究者や木原天文台職員の負担にはならなかった。

この観測システムは天文台ドームの回転に人手を要するが、そのこと自体は遠隔観測実施を阻む要因とはならなかった。天文台ドームの回転は頻繁に行う性質のものではなかったことが大きな理由である。加えて、今回の遠隔観測の観測時間が1時間と短かく、木星という1天体のみを観測対象としていたことも理由として挙げられる。

実際に遠隔観測を行ってみてわかったことは、現地の天候や天文台ドーム内の状況をリアルタイムで把握することの重要性である。観測実施期間は時々雲がかかるような天気だったために、観測中に突然望遠鏡の画像が写らなくなることが度々生じた。北海道大学側ではその原因が雲のせいなのか、望遠鏡の向きが天文台ドームのスリットから外れてしまったのか、または望遠鏡操作の誤りによるものなのかを判断することはできない。そのような状況が生じるたびに、木原天文職員に状況を問い合わせることとなった。双方の手間を軽減し、円滑な遠隔観測実施のためには、天候や天文台ドーム内の状況をリアルタイムで把握する仕組みを考案する必要があるだろう。

4.2 月蝕多元中継

天文現象の中継は研究者や学生のみならず一般市民の興味関心に答える優良コンテンツであり、それは北海道大学と木原天文台の連携を世間にアピールする絶好のチャンスと言うことができる。そこで我々は、遠隔天文台の一般市民向けの公共教育活動の実践を目的として、2006年9月8日の部分月蝕の際に、広帯域ネットワークを生かした多元中継システムの構築を行った(図4参照)。

両拠点での撮像と映像配信は次のように行う。北海道大学側では80mm屈折望遠鏡の投影板に映った月蝕の様子をDVカメラで撮影し、木原天文台では50mm

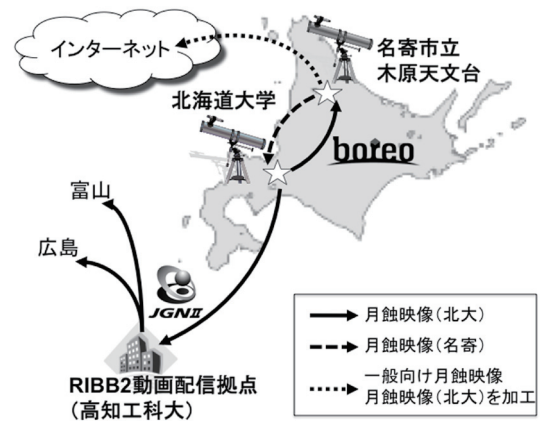


図4: 月蝕多元中継の模式図。中継日は名寄の天候が悪かったため、北海道大学で撮影した映像を一般市民向け配信とRIBB2 定常動画配信網のソースとして利用した。木原天文台では、北海道大学から送られてきた映像を加工し、一般市民向けインターネット中継を行った。

屈折望遠鏡に接続したCCDカメラで撮影する。両拠点で撮像した月蝕映像はメディアコンバータによってDV形式に変換され、iLinkケーブル経由でPCに取り込まれる。その後、映像は3.3節で述べたDVTSを用いてリアルタイムに相互配信される。相対的に良好な月蝕映像を一般市民向け公開資源として提供する。これはDVTSで受信した映像を適当なタイミングで静止画として保存し、それを適当なタイミングでWebサーバに転送するという方法を用いる。さらに今回は、その映像を超高速・高機能研究開発テストベッドネットワークJGN2の地域間相互接続プロジェクト(RIBB2) [12]に参加している大学と企業にも配信を行った。以上の多元中継システムの構築には、スケジュール調整やRIBB2に属する各拠点との折衝を含めて、数名の担当者が約1週間程度の準備時間を費やした。また、当日の中継は北海道大学側4名と木原天文台側3名の担当者によって行われた。

観測日は、名寄市は天気恵まれなかったが札幌市は快晴であったため、北海道大学が撮影した月蝕映像を一般市民向けと各地の配信先拠点向けのソース映像とした。ソース映像を北海道大学の映像に切り替える操作は、DVTSの配信先設定を変更するだけであり、簡便に行うことが可能であった。木原天文台のみの場合には月蝕中継を行うことができなかったことを考えると、複数の観測拠点を組み合わせることで天文現象の中継成功確率を高めることができたと言える。

一般市民向け中継では、深夜0時から明け方5時という深夜の中継にも拘わらず、木原天文台のWebには2,750件ものアクセス数が記録され、大変盛況であった。RIBB2に属する日本各地の拠点にはパケットロス無くDVTsの映像を配信することができた。今回は各拠点で月蝕映像を見てもらうに留まったが、今後はLive! Universe [13] でなされているように、各拠点が受信した映像を一般市民向けに2次配信できると良いのだろう。そうすることで公開サーバの負荷分散が可能となる。

5. まとめと議論

北海道大学と名寄市立木原天文台とを接続する広帯域ネットワークを構築し、研究と教育の連携のための実験を行った。広帯域を確保し通信遅延を防ぐために、両拠点を接続するネットワーク回線として北海道内の情報ハイウェイである北海道広域高速学術ネットワークboreoを用いた。これにより、地理的に離れた両拠点の既存の観測機材とソフトウェア環境の円滑な相互利用が可能となり、両者が一体となった遠隔天文台を実現するための基盤が整備された。

遠隔天文台の実現に向けた実験として行った木星遠隔撮像では、北海道大学から木原天文台の観測機材や観測ソフトウェア環境をそのまま利用した遠隔観測が可能であることを示した。現状の遠隔観測システムでも、少数の観測対象を数時間程度観測する分には問題がない。天文台ドームの回転を手動で行わねばならないが、人手に頼る部分の作業量は相対的に小さいからである。

遠隔天文台の一般市民向けの公共教育活動の実践を目的として行った月蝕多元中継では、観測拠点をネットワークで結び中継元映像を複数確保することで、中継成功の確率を高めることができるという手応えを得た。天気恵まれなかった観測拠点では、他拠点の映像を用いて観測を行うことができるからである。さらに、他拠点の映像を加工して、来台者対応や一般市民向け中継を行うことも可能となる。

今後は木星以外の天体も対象とした遠隔観測を繰り返し行い、北海道大学と木原天文台とを結んだ遠隔観測において、どのような観測研究が実施可能であるかを検討する。これは、観測機材の性能に加えて、遠隔

操作のためのネットワーク技術とそれを維持する人的経済的コストとの兼ね合いによって判断しなくてはならない。遠隔観測でもできることと、木原天文台現地でなければならないこととの切りわけをはっきりさせておくことにより、多くの研究者や学生がそれぞれの研究テーマに応じた使い方のできる遠隔天文台へと発展させることができるだろう。

本稿で紹介したような遠隔天文台に向けた一連の実験を通して得られるノウハウは、名寄市の道立公園に設置が検討されている大型望遠鏡の運用に生かしていく予定である。将来的には、北海道内の他の望遠鏡施設である苫小牧電波望遠鏡や陸別銀河の森天文台とも相互に広帯域ネットワークで接続し、「北海道遠隔天文台」というべき北海道域の宇宙惑星科学に関する研究と教育の連携を進める場を整備することを目指している。

本稿で述べた連携を行うためには、広帯域のネットワーク回線の確保が欠かせない。現在利用している北海道広域高速学術ネットワークboreoは実験回線であるため、実験期間が設けられていることは事実である。しかし、遠隔撮像や天文現象中継時に生じる大量のデータトラフィックの解析を題材とすることで、実験期間を延長することは可能であると考えている。boreoにおいて大量のデータトラフィックは、様々な情報工学的実験の対象として位置づけられているからである。

本稿で述べた連携は、広帯域かつ専用のネットワーク回線とそれを維持管理できる人材を確保できるならば、日本全国どこでも実践できるものである。多くの都道府県で情報ハイウェイが整備されており、筆者らのグループは他のイベントで岡山県、岐阜県、高知県のものを利用した経験がある。各大学の情報基盤センターの研究系教員がその情報を把握しているケースが多いので、まずはそこに問い合わせるのが良いだろう。全国各地で類似の活動が行われ、日本各地の天文台と大学との連携が進むことで、新たな方法による天文学・地球惑星科学の展開が進むことを期待したい。

謝辞

本稿で紹介した試みは、北海道大学理学部epnetfan [14] の協力の下で行った。北海道広域高速学術ネッ

トワークの利用にあたっては，NPO法人北海道地域ネットワーク協議会NORTH，株式会社ネクステック，北海道総合通信網株式会社，北海道大学情報基盤センターの協力を得た．JGN2の利用にあたっては，前述の組織に加え，地域間相互接続プロジェクトRIBB，次世代IX研究会distixの協力を得た．月蝕中継の一般市民向け配信においては，有限会社ラフィネプランニングの協力を得た．本研究は戦略的情報通信研究開発推進制度SCOPEの支援を受けて行われた．

参考文献

- [1] 日本公開天文台協会編，2006，http://www.bao.go.jp/japos/wp/wp2006/japos_wp2006_link.pdf
- [2] Akira IMADA, et al., 2005, Publ. Astron. Soc. Japan, 57, 193.
- [3] 大石尊久，2006，北海道大学修士論文．
- [4] 中神雄一，et al., 2003, 遊・星・人，12, 80.
- [5] 佐藤毅彦，et al., 1999, 天文月報，92, 312.
- [6] 佐藤毅彦，et al., 1999, 天文月報，93, 313.
- [7] VNC (Virtual Network Computing), <http://www.uvnc.com/>
- [8] 北海道広域高速学術ネットワークboreo, <http://www.north.ad.jp/boreo/>
- [9] skype, <http://www.skype.com/>
- [10] DVTS (デジタルビデオ転送システム), <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/>
- [11] robst (Robust Streaming Tools), <http://lab.net.hiroshima-u.ac.jp/robst/>
- [12] 地域間相互接続プロジェクト(RIBB2), <http://www.ribb.org/>
- [13] Live! Universe, <http://www.live-univers.org/>
- [14] epnetfan, <http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~epnetfan/>