

教室で行う宇宙の実験-2：インターネット望遠鏡システムの構築とその教育現場への活用

[Space experiments in classrooms- 2: Construction of Internet Telescope System and Its Application to the Education of Astronomy]

高田淑子、中堤康友（宮城教育大）、長島康雄（仙台市天文台、宮城教育大）、伊藤芳春（宮城県教育研修センター）

[TAKATA, T., Y. NAKATSUTSUMI (Miyagi University of Education), and Y. NAGASHIMA (Sendai City Observatory, Miyagi University of Education)]

KEY WORDS:

望遠鏡 : Telescope

インターネット : Internet

遠隔操作 : Remote operation

理科教育 : science education

自然体験 : natural experience

Abstract

Internet Telescope System has been constructed in Miyagi University of Education. It realized the remote operation of telescopes and CCD cameras connected to PC servers and the worldwide Internet network. Our PC client system can communicate with not only our Internet telescope system, but also all Internet telescopes in the world, technically. The merit of this system is 'beyond the time and the space'. That means, in the daytime of Japan, we can observe stars and planets using telescopes in nighttime places in the world. Even when it is raining or cloudy, we can use telescopes in places where it is clear. Thus, applications of Internet astronomy network realize observations of night sky in the daytime classroom. Various educational programs using this system can be now developed. Possible class programs and curriculums are also discussed.

はじめに

教室でできる天文学の実験の必要性

平成10年度の文部省が実施した、小中学校児童を対象にした「子どもの体験活動等に関するアンケート調査」のアンケート結果では、「夜空いっぱい輝く星をゆっくり見たこと」や「太陽が昇るところや沈むところを見たこと」といった自然体験に対して、5分の1から4分の1が「ほとんどない」と回答しており、児童の自然体験、特に、地球や宇宙の環境体験に乏しい現実が伺われる。とはいえ、日本人の宇宙飛行士が、スペースシャトルに搭乗し、様々な宇宙ミッションをこなしている様子を子供達は目を輝かせてみているのも現実である。ここからは宇宙に対する興味はあるが、それを体験する学校・家庭環境に乏しいことが考えられる。

昨年度、我々は仙台市内の中学校（回答市内中学校の40%）に対して、現在の天文教育に関するアンケートを実施した。その結果、生徒が理科の他の分野に比べて「天文分野に興味を持っている」、あるいは、「どちらかといえば持っている」と答えたのは、61%にのぼるが、そのうち、教師の目から見た生徒の天文分野の理解は66%が「難解である」・あるいは、「どちらかといえば難解である」と解答している。これらは、後に述べるように学習指導要領の改訂により解決される可能性もあるが、たとえば、日頃見慣れない星の運動と地球の自転公転等の関係を、いきなり地球上の座標系で理解しなければならない困難さがあるからであろう。また、望遠鏡などの天体観測装置の設備がある学校は、65%にのぼるが、そのうち授業で活用しているのは約半数で、また、活用度も1クラス1年に1-2回と活用度が小さい。これは、望遠鏡自体が高価で所有台数が少なく（所有台数は1台が最多）、現行の40人学級で実施するには、活用範囲が自ずと狭まられるという問題がある。そこで、授業時間内で展開できる実験・観察は、透明半球を用いた太陽の日周運動の観察等に落ち着き、プラネタリウム実習（仙台市天文台）や移動教室の屋外学習以外は、帰宅後の宿題として夜間、夜空を眺めて目視観察させる等が補完的に行われている実態が明らかになった。

このように広大な自然相手の理解には、理科の他教科と異なり教科書や授業内の実験だけでは、不十分であり、生徒の自発的な行動が唯一の理解の助けとなっている現実もある。そこで、我々は、授業時間内に展開できる天文教育の内容の開発並びに実践を追求している（例えば、高田他2000）。

学習指導要領の改訂と天文学習

平成14年度から新学習指導要領が本格的に導入される。これは、ほぼ10年ぶりの改訂でまさに21世紀を子どもたちが生き抜いていくために必要な学びを展開しようとしている。その中で天文教育の取り上げられ方を以下に整理する。

今回の学習指導要領は、平成11年度の中央教育審議会答申の内容を受けて改訂されている。この答申の柱の1つが「知識伝達型の学習」から「学び方を学ぶための学習」への転換である。諸外国との学力比較から「1つの解答が予め決まっている問いや選択式の問いに対しては日本の子どもたちは大変強いが、解答が複数あるような問いや1つの解答を論述するような問いに対して弱い」という傾向が示された。利用できる国土は狭く地下資源に乏しい日本が21世紀を切り開いていくためには科学技術立国を目指さねばならない。そういった現状を考えると、模範解答のない問題を克服していくための能力が求められる。その意味において上述したような子どもたちの弱点を補強していかねばならない。そこで学習指導要領では扱う知識の量を大幅に削減し、その分を調査、観察、実験などの学び方を学ぶための時間として確保しようとしているのである。

天文教育についても、まさにその考え方が適用されている。小学校の天文教育は内容が大幅に削減される。従来は小学5年生と6年生で扱われていたが、平成14年度からは小学4年生でのみ扱うことになる。小学5年生で扱われていた「太陽と月」、6年生で扱われていた「星の動き」が整理統合され、4年生では「月と星」

という単元名で扱われるようになる。削除された部分のうち太陽については気温との関わりで一部残されるものの、大半は中学3年生に移行する。

中学校の天文教育は、内容的には小規模ながら拡充されることになった。小学校から移されてきた分と、一部高等学校で扱われていた分の内容が含まれるからである。また履修する学年が中学校の1年生から3年生に移動する。これは天体の動きが立体的で、より抽象的であるため、思考能力が発達した3年生で扱うことになった。全体的には小中高という視点で見れば子どもたちが学ぶ内容は減らされている。

学ぶ知識量が減らされる一方で、取り上げられた実験や観察は逆に多くなっている。また以前に増して子どもたちが実際に実験や観察を行うよう強く指導されている。「覚えさせるのではなく、子どもたちが苦労して知識を獲得する行為を大切に」という理念が強く影響している。

天文教育においても、月の動きや形の変化や星の動き方の観察が大きく取り上げられている。資料を用いてではなく実際に子どもたちが自分の眼で星を観測することが義務づけられている。さらに、中学校においては太陽黒点の観測が望遠鏡を用いて行うよう記載されている。

現在の天文学習の問題点

このように、今後、授業内で展開すべき実験・観測が増える傾向の中、今後、解決すべき課題が多く残された形になっている。1つには天文現象の多くが日中ではなく夜間に生じる現象だということである。夜間に授業を行うことは難しいため観測の方法を授業で学び、課外の学習として天体観測を行う形が一般的になっていることである。2つめとして小学4年生では肉眼による観測のみが扱われるためワークシートを用意すれば済むが、中学校ではその発達段階に対応する形で各種の観測機器が必要に応じて導入されている。夜間に自宅で行うにしても現実には望遠鏡を持っているという子どもは、決して多くはない。看板倒れにならざるを得ない。そのため学校授業の中で望遠鏡を子どもたちに使わせていかねばならないのであるが、そこで問題になるのが天体望遠鏡の数である。現状の基準では200人に1台程度しか配備されていない。授業の中で天体望遠鏡を使う際、40人が同時に1台の望遠鏡で観測ができないのは明らかである。この際、利用する子どもたちに時間差を設けて天体望遠鏡を利用する方法が求められる。その時間差を設定できる点がインターネット望遠鏡の持つ「ハードウェアをユーザーが共有できる環境」である。

インターネット望遠鏡とは

インターネット望遠鏡とは、インターネット経由で遠隔操作が可能な望遠鏡のことを指す。望遠鏡だけでなく、天体ドーム等の関連施設を含めた天文台のインターネット経由の遠隔操作は、インターネット天文台と呼ばれ、もともと米国のTIE (Telescope in Education) という教育プログラムから始まっている。現在、日本では、東京理科大と慶応高校が運用プログラムを自ら開発して、稼働させている(佐藤他1999、佐藤他2000)。我々は市販のプログラムを利用し利用度を高め、将来的にはインターネット天文台を誰でもどこからでも利用できる一般化システムの構築を目指している。

現在、児童のコンピュータの技術習得は目覚しく、その有効利用を認知させることが重要な課題でもある。特に、インターネットの先には、無限の世界が広がっている。インターネットが学習活動に利用できる利点は、その情報量の多さ以外に、'時空を超えたつながり'があげられる。特に、星空観察から考えれば、日本が昼間、学校で授業をしている時に、たとえば米国では、夜、星が瞬いている環境が整っている。そこで、インターネット望遠鏡を用いれば、授業時間中に、教師あるいは、生徒自身が制御するインターネットの先に繋がれている米国の望遠鏡で、星空の動き・星の観察が可能となる。また、南半球に設置したインターネット接続の望遠鏡を用いた星の運動や星座の観察等を日本の星空と同時に実施することにより、地球が丸く自転していることが理解できるであろう。さらに、国際化が謳われる今日、インターネットを用いたIT教育、国際化教育、理科教育、自然体験、という、日本が今後取り組んでいかなければならない教育項目を複数網羅できる。このような、授業展開により、夜間自ら夜空を見上げ、星の瞬きを観察することのできる自発的学習への気概を起こさせることも必要である。インターネット望遠鏡を活用したさまざまな天体観測の教育プログラムの展開が可能であろう。

インターネット望遠鏡システムの概要

インターネット望遠鏡システムは、コンピュータ制御のできる天体望遠鏡と冷却CCDカメラを中心に、各種、制御・通信ソフトウェアを搭載したパソコンから構成される(図1、2)。天体望遠鏡とCCDカメラは、学内ネットワークに接続しているサーバー用のパソコンに接続され、外部ネットワークへとつながる。天体望遠鏡の操作、ならびに、CCDカメラの設定や撮像の操作、そして、撮像画像の表示は、ネットワーク上のパソコンから遠隔操作ができる。これが、インターネット望遠鏡と呼ばれる所以である。

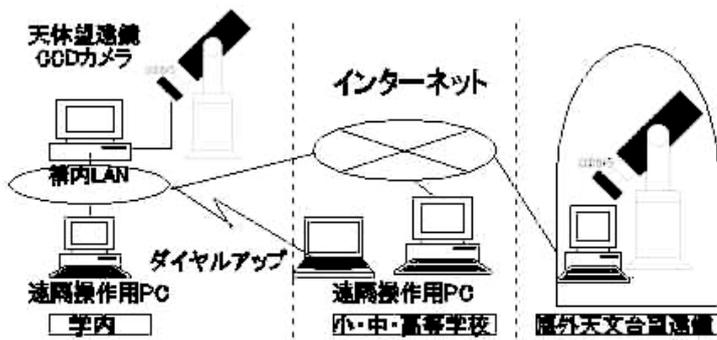
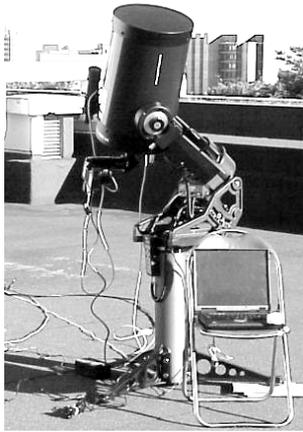
現在の宮教大インターネット望遠鏡システムには、Meade LX-200 口径30cmのシュミットカセグレン天体望遠鏡と、SBIG社の冷却CCDカメラST7を用いている。サーバー用パソコンのCPUは、Pentium 120MHzであるが、特に性能に問題はない。天体望遠鏡はシリアルケーブルで、また、冷却CCDカメラはパラレルケーブルでコンピュータに接続できるため、1台のサーバー用パソコンに直接接続できる。現在、サーバー用パソコンは無線LANを用いてコードレスで学内のネットワークに接続しているため、屋外観測が可能である。

また、現在のサーバーは、Windows95 (Microsoft社) のオペレーションシステムで稼働している。この上で稼働するソフトウェア、IAServer (Software Bisque社) が、サーバーと遠隔操作端末のクライアントとの通信を司る。実際には、Access2000によって環境設定される付属ソフトウェアの Scheduler (Software Bisque社) が、クライアントのサーバーへのアクセスの認証を行う。ここで、通信の許可がとれてはじめて、ユーザーが望遠鏡操作やカメラ操作が可能となる。サーバーとクライアントには、それぞれ、天体望遠鏡制御ソフトウェアThe Sky (日立ビジネスソリューション(株)) と 冷却CCDカメラ制御ソフトウェア CCDSOFT (Software Bisque社) が搭載されリンクを取り合う。クライアント側の制御ソフトウェアは、遠隔操作の指令をサーバー上の制御ソフトウェアに送り、その結果を遠隔操作上の制御ソフトウェアに返している。遠隔操作端末のクライアント上のCCDSOFTで、撮像画像が画面に出力される(図3)。

この遠隔操作作用のパソコンは、学内ネットワーク上のローカルエリアネットワーク(図2①)はもちろんのこと、学外から学内ネットワークへのダイヤルアップ(図2②)での接続が可能である。さらに、スタンドアロンのパソコンから、各種プロバイダを用いてインターネットを経由し(図2③)学内ネットワークに接続し、遠隔制御することも可能である。このシステムは、技術的には、学内のインターネット望遠鏡に限らず、我々のシステムと同等のシステムを導入している国内ならびに海外のインターネット望遠鏡に接続可能である。これにより、我々の住む地域の我々のパソコンから世界中に位置する望遠鏡の制御が可能になる。現在、米国ではインターネット天文台ネットワーク (IAN) というインターネット望遠鏡のネットワークを構築しているが、日本では公開型インターネット望遠鏡は未だ存在せず、今後有機的なネットワーク作りが望まれる状況である。

現在、宮教大のインターネット望遠鏡では、図3の①から③の経路については、動作確認を終えている。さらに、宮教大以外の国内外のインターネット望遠鏡にインターネットを通してアクセスすることは、技術的には十分可能であるため、現在協力機関を模索中である。

図1 宮教大インターネット望遠鏡の写真。Meade LX-200 口径30cmのシュミットカセグレン望遠鏡にSBIG社の冷却CCDカメラを接続。これらは、サーバー用パソコン(右下のラップトップパソコン)に接続し、学内ネットワークにつながる。現在は無線LANを利用し屋外観測が可能である。



経路説明 (下線は2001年9月時点で動作確認済み)

- ①学内PC→学内LAN経由→屋上望遠鏡、CCDカメラ操作
- ②学外PC→ダイヤルアップで学内LANに接続→屋上望遠鏡、CCDカメラ操作
- ③学外PC→インターネット経由→学内LAN→屋上望遠鏡、CCDカメラ操作
- ④学内PC→学内LAN経由→インターネット→海外サーバ→海外望遠鏡、CCDカメラ操作
- ⑤学外PC→ダイヤルアップで学内LANに接続→以下④と同経路
- ⑥学外PC→インターネット経由→以下④と同経路

図2 インターネット望遠鏡システムの概要。天体望遠鏡と冷却CCDカメラは、シリアルケーブルとパラレルケーブルでサーバー用パソコンに接続。サーバー用パソコンは、学内のネットワークに接続され外部ネットワークとつながる。天体望遠鏡の操作、ならびに、CCDカメラの設定や撮像の操作、そして、撮像画像の表示は、ネットワーク上のパソコンから遠隔操作する。この遠隔操作作用のパソコンは、学内ネットワーク上のローカルエリアネットワーク(・)、学外から学内ネットワークへのダイヤルアップ(・)、ならびに、インターネット経由の学内ネットワーク接続(・)が可能である。各種プロバイダを用いた遠隔制御も可能。技術的には、我々のシステムと同等のシステムを導入している国内外のインターネット望遠鏡に接続可能。これにより世界中の望遠鏡が我々の地域から制御可能となる。

必要ソフトウェア

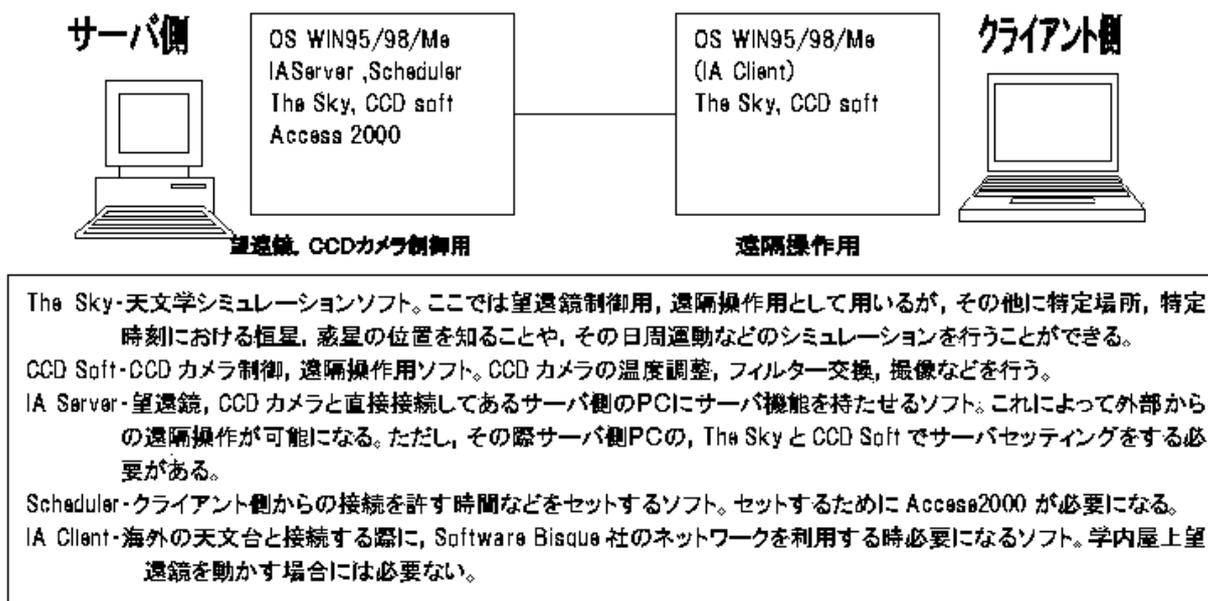


図3 インターネット望遠鏡操作端末システム。サーバー側のパソコンは、windows (Microsoft社) のオペレーションシステム上で稼動するソフトウェア、IA Server (Software Bisque社) がサーバー側とクライアント側の通信を司る。サーバーパソコンへのアクセス権の認証とユーザー管理は、Access2000によって設定される付属ソフトウェアのSchedulerが行う。ここで通信許可が得られてはじめて、望遠鏡やカメラ操作が可能となる。サーバー側とクライアント側には、それぞれ、天体望遠鏡制御ソフトウェアThe Sky V.5 (日立ビジネスソリューション (株)) と冷却CCDカメラ制御ソフトウェアCCDSOft (Software Bisque社) が搭載されリンクを取る。クライアント側の制御ソフトウェアは、遠隔操作指令をサーバー側の制御ソフトウェアに送り、その結果を遠隔操作端末上の制御ソフトウェアに返す。CCDSOftでは、撮像画像を遠隔端末に送信し画面で確認できる。

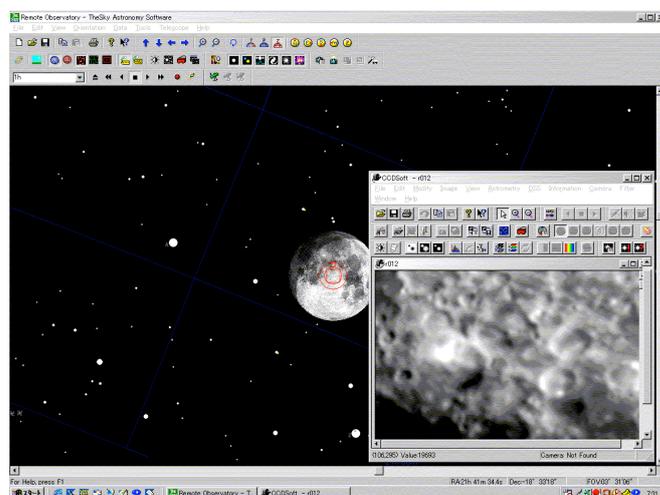


図4 インターネット望遠鏡遠隔操作端末の画面例。望遠鏡操作 (TheSky) 画面 (バックグラウンド) と、CCDカメラ撮像操作 (CCDSOft) (右下ウインドウ) 画面に撮像画像 (月面) が表示。

インターネット望遠鏡システムを用いた新たな学習展開

インターネット望遠鏡の実用化で最も大きな点は、ネットワークをつないだユーザーがハードウェアを共有できるという点である。前節で述べたように各小中学校には財政上の問題もあり、各校の天体望遠鏡の保有台数は、授業運営で利用できる数ではない。インターネット望遠鏡が実用化されれば、まさに「場所を選ばない天文学習」が具現化される。天文観測の学習は夜間の課外学習の形で行われることから、子どもたちを課外の時間帯に学校に集めることは難しい。天体観望会という形で実施するにしても毎日というわけにはいかない。ところがインターネット望遠鏡の場合、子どもを学校に集める必要がないため、個々の子どもが必要な時間帯に利用することが可能になる。時間差を設定することができるので1台の望遠鏡を多くの子どもたちが自分の手で操作し、星の観測をすることができるようになる。

また天体現象は天候の影響を受けやすい。晴れていれば何の問題もないが、雨天であったり、曇天であったりすると観測という目的を果たすことができない。インターネット望遠鏡があちこちに設置されるようになれば、天候の良いところを選んで利用するという形も可能になる。長島他(2000)は星空への興味関心の度合いが、星空環境の影響を強く受けることを指摘した。仙台市内の児童を対象にした調査からは、仙台市中心街に生活の根拠地を持つ生徒は、星空への興味が低く、条件の良いところは星空への関心が高いという傾向が見られた。当たり前のような結果ではあるが、子どもたちが周囲の環境の影響を受けているということを示唆した点で意味深い。インターネット望遠鏡を星空環境の良いところに設置すれば、星空が良く見えない場所で生活する子

もたちに、天体観測の楽しさを伝えることができるであろう。

さらに星食現象のように、ある特定の地域でのみ観測できるといった現象もある。北海道ではみられるが、仙台は見ることができないというような現象である。現行の学習指導要領では星食現象は扱われていないが、発展的な教材の扱いとして、選択理科などの素材として星食や掩蔽現象なども今後視野に入れていく必要があるであろう。これについても上述したように対象となる天体現象が観測できる特定の場所に設置されたインターネット望遠鏡を利用することで解決できる。インターネット望遠鏡を全国各地に張り巡らせていくという取り組みによって実現できるようになる。

同様の視点に立つ試みとして皆既日食のインターネット中継などがあるが、これらは見ることもできても、自分で操作しているのではなく、テレビ中継と何ら変わりがない。大切な視点は「自分で望遠鏡を操作して観測している子ども」の存在である。これを具現化するためには「インターネット中継ではなくインターネット望遠鏡でなければならない」のである。

インターネット望遠鏡が力を発揮するのは、天文教育のバリアフリー化である。特に活用が期待されている分野は、病院内で学習を続けている子どもたちの利用である。院内学級と呼ばれているが、長期の入院で実際にフィールド学習を行うことができない子どもたちが、インターネットを利用することで星空の観測を行うことができるようになるのである。ベッドの上という限られた範囲の中で生活する子どもたちにインターネット望遠鏡の導入によって広がる世界は大きな影響を与えることであろう。

インターネット望遠鏡は、距離の問題を一瞬で解決してしまう点が魅力である。ネットワークでつなぐことにより、海外からのアクセスも可能になる。これは大きな意味を持っている。時差が活用できることを意味しているからである。たとえば、姉妹都市交流活動の一環として「インターネット望遠鏡を用いた天体学習への協力」として、世界中の姉妹都市間のネットワークの実現が可能であろう。学校の授業は通常昼行われる。その意味で夜空を教材として提示することはできない。しかし地球の裏側では、日本が昼間である時間こそが、夜間に相当するのである。地球の裏側に同様のインターネット望遠鏡を設置することができれば、地球の裏側の夜空を日本で昼間の学習の中に利用できるようになるのである。現時点では技術的な問題もあり、星夜画像を相互配信することは難しいかもしれないが、望遠鏡の画像を補助的に利用していくことは現時点でも十分可能であり有効に活用できる良い事例となるであろう。「お互いの学習を支援しあうための観測活動」は真の国際交流を進めていくことができるに違いない。

生涯学習の視点から、学校の利用だけではなく一般の方々が天体観測を楽しめるようになることは意義のあることと考えられる。その意味で同様の利用の仕方として老人ホームなど高齢者向けの利用も考えられる。冬季の観測など体調をくずすことが多いが、インターネット望遠鏡を用いることで屋外に出ることなく宇宙のロマンを味わっていただくことができる。

インターネット望遠鏡からインターネット天文台へ

現在、宮城教育大学のインターネット望遠鏡は、インターネット接続した望遠鏡とCCDカメラのみであり、屋外への出し入れ等、実際には有人運営を行っている。しかし、インターネット望遠鏡の利点は、無人化が可能なことである。平常は格納しておき使用する時に開放できる天体ドームは不可欠であり、導入は今後の課題である。特に、天候を察知して天体ドームの開閉を自動、あるいは、遠隔操作によって行うことのできるシステムが望まれる。さらに、子供達がコンピューターゲームを扱っている感覚に陥らないよう、各自が操作している望遠鏡の動きを、赤外線ビデオカメラで撮像した映像のネットワークを通じたライブ中継で平行して見ることができれば、自ら動かしている現場が理解でき、より体感できるシステムになると考えられる。このような赤外線映像システムの導入も今後の課題である。また、様々な子供たちの自由なアクセスを可能にするために、セキュリティの問題も含め、大学のネットワークと独立したドメイン・ネットワークの構築が不可欠であろう。これらのシステムが構築された時、インターネット望遠鏡からインターネット天文台としての機能がそろい、活用度が無限に広がるであろう。

引用文献

佐藤毅彦・坪田幸政・松本直紀(1999)インターネット天文台の構築：その1. 安く、早く、簡単に. 天文月報 92, 312-317.

佐藤毅彦・坪田幸政・松本直紀(2000)インターネット天文台の構築：その2. 良い物は作らない. 天文月報 93, 313-318.

高田淑子・須田敏典・西川洋平(2000) 教室で行う宇宙の実験—1：クレーター形成実験、宮城教育大学紀要、35,95-99.

高田淑子・須田敏典・西川洋平(2000) 教室で行う宇宙の実験—1：クレーター形成実験、天文月報、35,95-99.

長島康雄・市川仁・林美香(2000) 仙台市に在住する中学生の星空への興味について、日本理科教育学会東北支部会要旨集、1-

その他

Windows95/98/Me、Access2000は、Microsoft社の登録商標である。また、IAServer、Scheduler、CCDSOFT、The Skyは、Software Bisque社の登録商標である。