

卒業論文 平成 17 年度

インターネットを活用した公開天文台の可能性とその展望

北海道教育大学旭川校

生涯教育課程コミュニティー計画コース

学生番号 2 4 2 6

中西靖男

目次

はじめに.....	- 4 -
1. わが国の公開天文施設の歴史	- 5 -
2. わが国における公開天文台の現状と課題	- 7 -
2.1. 辺鄙な立地で夜間に行なわれる天体観測	- 7 -
2.2. 天候に大きく左右される天体観測	- 7 -
2.3. 大型望遠鏡に対する市民の期待と現実の格差	- 8 -
3. 公開天文台のこれまでの取り組み	- 9 -
3.1. 札幌市青少年科学館移動天文車「オリオン2世号」	- 9 -
3.2. 北海道上富良野町立上富良野西小学校「チャレンジ天文台」	- 10 -
3.3. 北海道名寄市木原天文台	- 13 -
3.4. 小括	- 14 -
4. インターネット天文台の実験的取り組み	- 15 -
4.1. コンピュータ制御が可能にした遠隔操作と通信インフラの整備	- 15 -
4.2. 遠隔制御天文台の黎明期	- 16 -
4.3. インターネットと天文台の融合	- 18 -
4.4. インターネット天文台の特長と現状の問題点	- 19 -
4.4.1. ライブ中継型	- 19 -
4.4.2. リモート制御型	- 20 -
5. インターネット天体観測会という手法	- 22 -
5.1. インターネット天体観測会とは	- 22 -
5.1.1. テレビ電話型インターネット天体観測会	- 22 -
5.1.2. 多地点に向けたインターネット天体観測会	- 25 -
まとめ	- 27 -
参考文献	- 28 -

はじめに

わが国には、約 250 箇所の公開天文台と約 300 箇所のプラネタリウム館が運営中であるとされる。数だけを見れば、公開天文台は文句なく世界一であり、プラネタリウムも米国に次いで世界第二位となっているⁱ。しかし、その多くは来場者数の減少に歯止めがかからず、折からの予算削減・人員削減により、新たな運営企画もままならないという憂目に遭遇している。不幸にもこのような状況下が更なる来場者数の減少につながり、最終的には閉館に追い込まれるという悪循環に喘いでいるというのが現状である。

恵まれた環境に高性能な望遠鏡を備えた天文台も、開館当初はその珍しさもあって多くの来場者で賑わいを見せるものの、交通アクセスの不便さ、天候の影響、さらには観測内容のマンネリ化などにより、来場者は減少し続け、やがては一部の愛好家と僅かな来場者のために細々と運営を続けるというジレンマに陥ることとなる。

しかし、火星の大接近や金星の日面通過、しし座流星群といった極めて珍しい天文現象が起こるとマスコミ報道も手伝って一時的には普段と比べ極端に多くの来場者が押し寄せる事態になるのであるが、結局は一過性の賑わいに過ぎず、天体ショーがひとたび終わってしまえば、もとの状態に逆戻りしてしまうというのが現実である。

もちろん、中には熱心な職員やボランティアに支えられ、毎回様々な嗜好をこらした観測テーマや工夫された解説を行なってリピーターで賑わう天文台も少数ながらあるのも事実である。しかし、前述の大半の天文台のように運営母体である行政からも見放され、予算も人材も乏しく、消化試合のような観測会を重ねるばかりでは決して出口は見えてこないのである。

このように、多くの天文台が抱える問題解決の手段としてインターネットを活用した天文台の運用方法を考える。

1. わが国の公開天文施設の歴史

わが国で最初にプラネタリウムが設置されたのは、1937 年、大阪の市立電気科学館である。翌 1938 年には東京の東日会館にも設置されたが、第 2 次世界大戦の空襲で焼失した。戦後、1957 年に東京渋谷の東急文化会館に設置後、外国製に較べると安価な国産のプラネタリウムが開発されたことや戦後の高度成長期ということもあり、設置台数は急増していった。当初の設置数が少なくプラネタリウムが珍しかった頃、プラネタリウムがあるだけで人を呼べたので、観光地や温泉に人寄せのために設置されたこともあった。

その後 1960 年代、プラネタリウムが星空の動きを忠実に再現する機械であることから、主に教育目的で地方自治体により毎年 5～6 台位ずつ設置されていったⁱⁱ。その中で、アメリカ、旧ソ連の宇宙開発競争、特に 1969 年のアポロ 11 号の月面着陸成功は、人々の宇宙への興味関心を一気に高め、設置数増加の一因となった。

さらに、景気回復と 1979 年の国際児童年の影響もあり、1980 年代は平均すると毎年 10 館以上というハイペースでプラネタリウムが設置されていった。その背景にはこの時代に一気に進化を始めたコンピュータ技術と融合させた自動投影型の機械の登場によるところが大きく、天文的素養を持った担当職員を配置しなくとも、人間のやることの代わりを忠実に再現することが可能となったことも要因であった。さらにバブル経済の申し子とも言える 1988 年の竹下内閣による目玉事業「ふるさと創生の 1 億円」により、地方の自治体が次々と天文施設を建設した。

一方、実際の星空を観測し、一般に公開する目的の天文台の歴史は古く、わが国初の公開天文台は、1926 年（大正 15 年）の岡山県倉敷市の倉敷天文台と言われている。その後、プラネタリウムの建設と同調して公開天文台の数も増え続け、第 2 次世界大戦後の教育制度改革以降は、学校天文台や社会教育、青少年教育を目的とした博物館、科学館、青少年センター、児童館などが数多く建設され、それらの施設に天文台やプラネタリウムなどが設置されていったⁱⁱⁱ。

1980 年代に入るとプラネタリウムと同様にコンピュータ技術が天体望遠鏡や天体観測の自動化を実現させた。1986 年のハレー彗星回帰などの天文現象が天体観測ブームに拍車をかけ、バブル経済の後押しもあって、天体望遠鏡の大型化の競争が始まった。それまで 60cm 止まりであった口径が 90 年代には遂に 1m を超え、現在では国立天文台の岡山天体物理観測所の 1.8m を凌ぐ、公開天文台では世界最大の口径 2 m の天体望遠鏡が兵庫県西はりま天文公園天文台に完成している。

わが国にこれだけ多くの天文台が建設された背景には、わが国の高度成長期と同時期に始まった米ソ間の宇宙開発競争が無縁ではない。それまで SF の世界でしかなかった宇宙へ実際に人類が乗り出そうとしているのを、全世界が固唾を呑んで見守っていた。宇宙、そして天文学に対する人々の興味関心が急速な高まりを見せる中、社会教育、青少年教育

を目的にした博物館、科学館、青少年センター、児童館などといった公共施設の建設ラッシュが始まった。それらの多くには望遠鏡やプラネタリウムが設置され、学校教育の現場でも同様の動きが見られ、学校、教育センター、理科センターが相次いで天体望遠鏡やプラネタリウムといった充実した設備を備えることとなった。

その後、相次いでアマチュアによる彗星発見やハレー彗星の 76 年ぶりの回帰による天文ブームとバブル経済の申し子とも言える 1988 年の竹下内閣による目玉事業「ふるさと創生の 1 億円」により、全国の自治体が競って大型望遠鏡を備えた天文台建設をした。しかしながら、箱物行政といわれるように「仏作って魂入れず」のたとえどおり、立派な施設や設備を作ることそのものが目的になってしまい、その運営や活用、そして人材確保といった本来的には最も重要な部分が後回しにされるケースも少なくはなかった。

天文台という施設は、観測の妨げとなる街灯りから出来るだけ遠ざけたいという理由から、人里はなれた辺鄙な場所に建設される場合がほとんどである。このことは、恵まれた自然環境の一方、過疎化の止まらない町や村にとって天文台建設は“まちおこし”の期待の星であった。公開天文台の中には、国民の豊かな自然観を育むことを目的とする生涯学習施設として位置づけられるものもあれば、観光資源の一つとして集客による経済効果を期待されるものもある。望遠鏡の維持や施設管理には設置時の数%程度の経費を毎年要するため、後者のうち特に 1990 年代にふるさと創生資金を活用して設置されたものの中には自治体の財政難から閉鎖されるものも出始めている。前者についても公共の福祉に寄与しているかどうか、費用対効果はどうかなど、厳しい評価の目に晒されている。

2. わが国における公開天文台の現状と課題

2.1. 辺鄙な立地で夜間に行なわれる天体観測

天文台の望遠鏡は、はるか彼方の天体の微かな光を捉えるという機能的使命を実現するために街灯りの届かない人里はなれた山間部に建設されるのが一般的である。大都市の科学館などは例外で、自然科学全般を展示の範囲としており、天体望遠鏡による観測・観望の占める比率はごく僅かであるため、市民の利便性を重視して都市の中心部など交通の利便性にも配慮した立地に建設されている場合が多い。

一方、地方の町や村では、この街灯りの影響が少ないという天文台建設の立地条件として、大都市には絶対にまねの出来ない優位性となる。この優位性こそが、町おこしの救世主として天文台建設を推進した最大の理由であった。

しかし、天体観測に適しているという立地条件は人々の生活圏からは地理的に隔絶されており、その道のりには観測の支障となる街灯なども設置しないのが普通である。そのため、交通アクセスは各自が自動車で行ってくるか、シャトルバスを運行させるほかなく、さらに観測中の出入りを考慮して、駐車場も天文台施設からは離れた場所に設置する場合が一般的である。つまり、来場者の利便性を犠牲にしなければより良い観測条件が満たされないという宿命を背負っているのである。

また、深夜まで観測を可能にするためには宿泊施設を併設する必要があるなど、維持管理には相当なコストが必要となる。

2.2. 天候に大きく左右される天体観測

天体観測は、その性質上、当然晴天であることが絶対条件となる。雨天は当然のことながら、たとえ薄曇りであっても、天体観測には大きな支障をきたす。つまり、天体観測が可能な夜は快晴が望ましく、最悪でも、空の一部が晴れている必要がある。

一方、毎夜公開している天文台は少なく、1ヶ月に数回、あらかじめアナウンスしたスケジュールに基づいて公開する方式が一般的である。そのため、公開日に晴天になる確率は地域にもよるが、およそ50%、つまり2回に1回は悪天候の為、天体観測を中止にせざるをえないのである。観測が中止の場合でも来場者がある場合は、バックアップとして予め撮影しておいた写真、ビデオ、またはパソコンを使用したプラネタリウムソフトなどを上映したりしてその場をしのぐのが一般的である。

公開天文台にとって、雨天や曇天のように観測不能な日が50%の確率で行ってくるならば、それを例外と考えず、日常の出来事ととらえ、来場者に次回に期待してもらえるような工夫が必要となるのである。

2.3. 大型望遠鏡に対する市民の期待と現実の格差

天体望遠鏡は、その原理的意味合いにおいてはレンズや反射鏡の口径が大きいほどより多くの光を集めることができるためより暗い天体を見ることができ、より細部まで鮮明に見えてくる。言い換えれば、大きな望遠鏡ほど良く見えるということになる。しかしこれはあくまで理論上の話で、厚い大気層を通して宇宙空間を観測する天体望遠鏡は、その大気の揺らぎの影響をまともに受け、望遠鏡を通して見る天体はピンボケのようになってしまう。この大気の揺らぎの影響は望遠鏡の口径が大きくなるほどさらにその影響は大きくなる。

この大気の揺らぎははるか上空だけのものではない。天文台のドームの内部の空気の揺らぎも大きな影響を及ぼすのである。このため、観測ドームに大勢の人が入る公開天文台では、人体が発する熱により内部の空気が揺らぎ、像がピンボケになってしまう。

また、昼夜の寒暖の差が大きく、直前に観測準備をしても日中に暖められた望遠鏡本体やレンズそして観測室の壁面や床面が外気温の低下に追いつかず温度差が生じるため、やはり揺らぎの原因となってしまうのである。

この揺らぎによるピンボケは非常に深刻な問題で、研究目的の天文台などでは、空調に対してはレンズや反射鏡の精度と同じくらい気を使い、夜間の気温をあらかじめ予測想定して日中からドーム内の温度を調節している。また、観測中は風向などを考慮してドーム内をスムーズに風を通すための換気口を調整している。さらに人間の発する熱を嫌い別室や別棟から遠隔制御による観測を行なっている。ここまでして、初めてデリケートな大型望遠鏡はその性能を発揮できるのである。

一方、一般を対象とした公開天文台ではドーム内に大勢の人を入れ、望遠鏡を直接覗く形での観測を行なう形式の観測会が一般的に行なわれている。また人員やコストの問題もあり、観測の直前まで観測室は閉じたままで、空調や換気がされていない場合がほとんどである。このため、大型望遠鏡に抱いている期待に反してぼやけた天体や激しく揺らぐ天体しか見えず、来場者をがっかりさせる結果となっている。また、望遠鏡を直接覗く眼視観測では一度に一人しか見ることができない。その為に多数の来場者があった場合は順番待ちの列ができ、一人当たりせいぜい数十秒程度しか見ることができない。しかも、やっと回ってきたその僅かな時間に見たものがピンボケだったとしたら、次回もまた参加してみようという意欲は薄れてしまう。

3. 公開天文台のこれまでの取り組み

3.1. 札幌市青少年科学館移動天文車「オリオン2世号」

公開天文台の機能を大型のトラックに搭載し天文台そのものが、出張して天体観測を行なうという大変ユニークな天文台である。この移動天文台という仕組みは、すでに 1980 年にこの方式をいち早く導入しており、今回の「オリオン2世号」(図 3-1)はその名の通り2代目となる移動天文台で 2003 年に導入された。

移動天文台というのは、単に天体望遠鏡を積んだトラックではなく、トラックそのものが天文台としての機能を果たす必要があり、望遠鏡の赤道儀と呼ばれる架台を正確に水平かつ北に向け設置するための GPS 装置など



図 3-1 オリオン2世号の外観



図 3-2 オリオン2世号の観測の様子

が装備されている。さらに移動中の振動に耐えうる頑丈な望遠鏡でなければならず、一般的な固定式天文台に比べてもコストは高額となる。

しかし、これまで述べてきた公開天文台の問題点の中で、交通のアクセスの不便さから来場者の減少という一般の公開天文台では回避不可能な問題点が完全にクリアされることになる。札幌市青少年科学館では、札幌市内及び近郊の地域を対象に、学校や子ども会、地域の団体などを対象に公募し出張観測会を開催しており、平成 15 年度(2003 年度)は 38 回の観測会を開催(計画では 70 回の予定であったが天候等の理由で中止があった)延べ 5,073 人が天体観測に参加している。iv

1 回の観測会で 134 名が参加している計算になり、かなりの参加人数と言える。

このように、一般的な公開天文台の待ちの

(移動天文台実施状況)

年度 回数・人数	平成13年度		平成14年度		平成15年度	
	回数	人数	回数	人数	回数	人数
春季	5 (12)	801人	8 (13)	1,016人	7 (13)	878人
夏季	10 (27)	1,389人	8 (27)	904人	15 (27)	2,438人
秋季	10 (21)	1,277人	10 (20)	1,217人	8 (20)	1,105人
その他	4 (4)	500人	5 (6)	400人	8 (10)	652人
計	29 (64)	3,967人	31 (66)	3,537人	38 (70)	5,073人

*回数は、観望等実施できた回数を示し、()内は予定回数を示す。

体制と違って攻めの体制であることの強みと言

表 3-1 移動天文台実施状況

える。

また、この移動天文車はメインとなる口径 25 cmのコンピュータ制御クーデ式天体望遠鏡という特殊な構造をしており、観測者が覗く接眼部が望遠鏡の向いている方向に拘らず常に一定の位置にあり、さらに、その接眼レンズが自由な位置まで移動できるという非常に特殊な構造をしている。(図 3-2) このことにより、大人から子どもまで、その身長差によって台に乗るといような必要がないばかりか、車椅子やストレッチャーに乗った身障者の方に至るまで完全なバリアフリーを実現しているのもオリオン2世号の大きな特長である。

また、このメインの望遠鏡の他にも小型の望遠鏡を数台搭載しており、一度に多くの来場者に対しても先に小型望遠鏡で見てもらおうなど、ただ列を作って順番待ちということも回避できている。

さらに、天文指導員と呼ばれる科学館独自の資格認定されたボランティア組織により内容の濃い天体観測が行なわれており、来場者の満足度も高くリピーターが多いのもこの移動天文車の特長となっている。

このように、天文台が移動・出張するということは、天文台まで足を運んでくれなかった人たちが行きたくても行けなかった人たちにも実際に天体望遠鏡を通して天体を見するという経験をしてもらえするという計り知れないメリットを生んでいる。

しかし、ベースとなる車両が大型車両であるため、その運転には大型免許が必要であり札幌市青少年科学館では運送会社と契約して運転手を派遣してもらっている。また、車両である以上、燃料費の他に定期点検や車検が必要であり、さらに自動車保険といった一般の公開天文台ではありえない運用コストが掛かるという問題点もある。さらに、札幌という北国特有の冬事情というものがあり冬季の積雪期間は観測会が行なえないという問題もある。

3.2. 北海道上富良野町立上富良野西小学校「チャレンジ天文台」

上富良野町立西小学校の新校舎が完成したのは、2000 年 9 月である。口径 20 cmという小学校天文台として道内はもとより全国的にも屈指の大型の屈折望遠鏡天文台を備えた小学校の新校舎建設が実現した。

この天文台の特長は、天文台の観測室内だけでなく階下のコンピュータ教室から遠隔制御が可能で 80 インチの大型リアプロジェクターによって同時に多数の人たちが天体観測を行なうことができる仕組みが構築されている。さらにインターネットを経由して外部から操作して天体観測が可能であるなど最新の技術と設備が投入されている。

学校天文台として授業で使用されているのは当然として、さらに生涯学習の施設としても利用されており、毎月 1 回のペースで一般住民を対象とした天体観測会も開かれている。

このように、他の公開天文台と比較しても決して引けを取らない大変恵まれた施設環境

を誇っているものの来場者数は低迷しており、2003 年の火星大接近のあった年をピークに減り続けている。

マスコミなどを通じて大々的に報道された 2003 年 8 月の火星大接近は全国的にどの天文台も満員御礼状態であったが、それが終息すればまた元の閑散とした状況に戻ってしまった。このことは上富良野チャレンジ天文台でも同様で、大接近に伴う観測会では普段の 10 倍以上の 215 名もの来場者があったが、翌月の通常の観測会では約 20 名と一気に元の状況になってしまった。

この様な状況を打開するため、新たな試みとして「チャレンジ天文台スタンプラリー」(図 3-3)と銘打って、太陽系の主要天体とそのほかの有名天体の 1 年間の観測スケジュールが明記され観測に参加する毎にスタンプを押印するカードを作成し参加者に配布した。

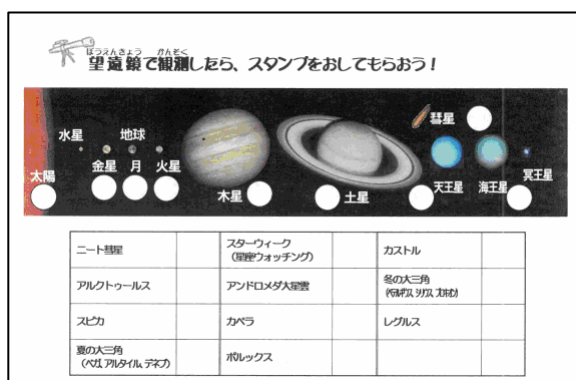


図 3-3 スタンプラリーカード

参加者は、観測した天体のところにスタンプを押してもらい、全部埋めると天文グッズがプレゼントされるというものである。

きわめて単純な手法ではあるが、これにより、ある程度参加者の増加とリピーターが定着するのではないかと目論みである。2004 年度（平成 14 年度）から実施し、当初は前年に比較して 2 倍程度来場者が増加したが、天候に恵まれなかったことにより、6 月以降は結局元の状況に戻ってしまっている。

参加者にしてみれば、天候が理由で観測が中止になればスタンプを埋めることが不可能になってしまうため、途中でリタイヤした人たちが多かったのではないかと推測される。

また、この来場者の年齢構成を見てみると、圧倒的に小学生以下の子どもたちとその父兄である 30 代以上が多く、中学生から 20 代がほとんどいないことがわかる。(表 3-2) 小学生以下の子どもを持つ父兄にとっては子どもの情操教育または自然科学教育という目的があるのかもしれないが、中学生以上の若者層がいないのは天文や宇宙といったことに対してまったく興味がない上、面白みがないという理由があるのではないかとと思われる。

天体観測会参加者状況について

平成16年12月20日現在

実施年度	実施日	参加人数	内 訳		小学生以下	中学生	高校生	年 齢 別															
			男	女				18～20	20～25	25～30	30～35	35～40	40～45	45～50	50～55	55～60	60～65	65～70	70～75				
H14年	4月18日	12	3	9	5						1	2		1		2	1						
	5月18日	4	1	3	1						1		1			1							
	6月17日	11	2	9	2							1	4	1		2	1						
	7月18日	18	9	9	7						1	3		2	1	3	1						
	8月19日	3		3										1		2							
	10月11日	19	11	8	8					3	5		1	1		1							
	12月7日	8	3	5	6											1	1						
	1月18日	9	3	6	3	1			1	1			1		1		1						
2月22日	20	3	17	20																			
合 計		104	35	69	52	1	0	0	1	4	8	6	7	6	2	12	5	0	0				
H15年	4月10日	18	14	4	5	1				1	3	1	2	2	1	1	1						
	5月9日	9	3	6	6							1	1				1						
	6月10日	44	26	18	23	2		2	2	4	3	4	2	1	1								
	7月6日	16	13	3	11	2				1	1	1											
	7月7日	80	30	50	28					2	7	13	11	11	6			1	1				
	9月3日	28	9	19	11		3			1	4	2	3	1	3								
	9月4日	215	113	102																			
	10月3日	20	12	8	8	1				1		6	1	2						1			
	11月5日	28	9	19	9	1				1	4	3	4	1	5								
	12月1日	7	3	4	4						2			1									
	1月31日	15	6	9	8					2	2	1	1	1									
	2月28日	11	4	7	4					1	5	1											
	3月29日	10	4	6	5						2			3									
合 計		501	246	255	122	7	3	0	2	9	29	26	30	24	21	8	2	1	2				
H16年	4月28日	28	15	13	7						3	5	4	5	2	1	1						
	5月27日	62	24	38	34	1					2	9	8	1	2	2	3						
	6月8日	36	17	19	30						3	2					1						
	6月25日	49	23	26	38					4	3	4											
	7月26日	18	7	11	12						3	2			1								
	8月22日	13	6	7	8						2	2					1						
	8月23日	0	0	0																			
	9月22日	15	8	7	6						3	2	2			2							
	10月21日	23	15	8	17				1	1	2	1			1								
	11月19日	17	9	8	8						4		2		3								
	12月20日	1		1								1											
	1月17日	0																					
	2月16日	0																					
	3月18日	0																					
合 計		262	124	138	160	1	0	0	1	5	25	28	16	6	9	5	6	0	0				

表 3-2 上富良野町西小学校「チャレンジ天文台」参加者状況

3.3. 北海道名寄市木原天文台

名寄市立木原天文台は、名寄高等学校の教師であった木原秀雄氏が、教員を退職した1973年に、私財を投じて設立した民間天文台の草分け的存在である。その後、天文台は1992年に名寄市に寄贈され、翌年の1993年に木原氏は81歳で永眠した。

木原氏は教員の傍らアマチュア天文家として1936年に遠軽町で始めて皆既日食を観



図 3-4 名寄市木原天文台の外観

測し、その後1943年には名寄市、1948年には礼文島においても皆既日食を観測するなど、戦前から戦後にかけての物資や情報も少なく、混乱した時代にあってわが国のアマチュアによる天文学の研究普及に尽くされた方である。

このように私設天文台をルーツとし、口径25cmの反射望遠鏡という公開天文台としてはかなり小さな望遠鏡が主力となっている。しかし、この小さな望遠鏡しかない小さな天文台がその活動実績において北海道内はもとより全国的にもかなり有名な天文台となっているのである。

天文台には、望遠鏡の他には、展示室といっても故木原氏の自作望遠鏡の展示と数点の天体写真、そして決して豊富とは言えない天文に関する図書があるだけである。

このように、設備的には決して恵まれているとは言えない施設を2名の専従職員が、月・火と祝祭日を除く毎日、午後1時から午後7時（5月から8月までは午後9時）まで開館している。名寄市という地方都市でしかも設備的にもこれといった特色もない天文台でありながら、来場者数は年間2,000人以上あるというのである。

その理由は、専従職員の佐野康男氏は超新星の探索家として有名で、今までに3個の超新星を発見した実績があり、全国のアマチュア天文家のみならず国立天文台のプロの研究者からも絶大な信頼を持たれていることがあげられる。さらに、佐野氏の人柄もあって、



図 3-5 移動天文車「ポラリス号」と観測会の様子

親切でわかりやすい天文の解説には定評があり、子どもたちからの

人気も抜群で学校帰りの小学生のたまり場となっている。

また、「ポラリス号」という移動天文車による天体観測の出前も積極的に行なっている。移動天文車といっても、3.1 で述べた札幌市青少年科学館の 1 億円の重装備車のような立派なものではなく、単なるワンボックスカーに小型望遠鏡を搭載して、現地で望遠鏡を下ろして観測会を行なうだけのものである。(図 3-5) しかし、天文台まで来られない人たちや小学校の行事などを対象に出前観測を行なっている。天気さえ良ければ日中は太陽を夜間は星空を毎日見せてくれるという天文台は少ない。通常は夜間観測を毎週 1 回程度としている天文台がほとんどである。このように、高額な設備を有していないことが幸いして、その維持管理費も結果的に僅かで済むという結果となり、小回りがきいて、地道ながら着実な活動が実を結び、アットホームな雰囲気の中、いつでも星空を観測できるという気軽さと親切な担当職員の献身的な努力の継続がリピーターを増やし続けていると言えるのである。

3.4. 小括

これまで述べてきたように、すべての公開天文台の共通項は「予算の削減」である。建設当初の華やかさが薄れるに従って天文台は役所のお荷物と化している場合がほとんどである。勿論、この章で取り上げたように、少ない予算の中でも成果を出している例も確かにある。しかし、予算削減、人員削減がもたらしたものは、子どもたちから宇宙や天文、さらには自然科学を学ぶという重要な機会を奪ってしまうという現実であるということを忘れてはならない。

教育機関である天文台が、その機能・役割を果たすために、消化試合のようにただ天体観測会を開催するだけでは、子どもたちは勿論、大人たちからも何れ見放されてしまうのである。それらを予算削減のせいにするだけでは、決して解決の糸口は見出せないのである。無いものねだりをせず、知恵を絞り、斬新な発想によってこの危機的現状から脱却することこそが公開天文台に最も求められている課題と言えるのである。

4. インターネット天文台の実験的取り組み

4.1. コンピュータ制御が可能にした遠隔操作と通信インフラの整備

公開天文台が使用する天体望遠鏡は、対物レンズで光を集める方式の屈折式望遠鏡の場合、口径が 15 cm から 30 cm 超までで、1960 年から 70 年にかけて全国的に設置されたのはこのタイプである。

屈折式天体望遠鏡は、性質上メンテナンスが楽で性能も温度などの環境に対するばらつきも少ないことから、当時の天文台の主力であった。

一方、レンズの代わりに放物面のガラスやセラミックス素材にアルミニウムメッキを施した反射鏡を使用する反射式天体望遠鏡は屈折式と比較して、口径あたりの価格が数分の一という安価の為、より大口径の天体望遠鏡が製作可能であることや、国内の数社のメーカーが大型反射式望遠鏡の製作を開始したこともあり、1980 年以降、口径 40 cm 以上の大型望遠鏡が次々と設置されていった。

1980 年代に入るとバブル景気の兆しと共に全国的に大型望遠鏡の設置競争とも言える現象が巻き起こった。それまでの口径 40 cm クラスから 60 cm 以上へと大型化が進み、90 年代に入るとその口径は 1 m を超えるまでになっていった。

このように望遠鏡の大型化を可能にした背景には、コンピュータによる望遠鏡の制御技術の確立という大きな理由があった。大型の望遠鏡は 40 cm クラスでもその重量は 1 トン以上にもなり、単純計算すれば口径の 3 乗に比例してその重量が増えることになる。つまり、口径 40 cm で 1 トンとすれば、倍の 80 cm の望遠鏡は 8 トンにもなる計算である。

このような重量級の機械装置はもはや人の手による操作は不可能となり電動の制御機構に頼らざるをえないのであるが、望遠鏡はクレーンや大型ダンプカーと違い、重量級であっても精密機械であるという性質に変わりはないのである。

そもそも、天体望遠鏡の光学的な能力・性能というのは、どれくらい暗い天体を見ることができるかという集光力とどれくらい細かく観察ができるかという分解能で表されることが多く、いずれも望遠鏡の口径が大きくなるほど向上する。

重量級かつ超精密機械である大型天体望遠鏡を目的の天体へ向けたりする行為は人間の技量ではもはや不可能に近く、コンピュータによる制御なくして大型望遠鏡はその性能を発揮できないのである。

日本各地に大型望遠鏡が設置され始めた 1980 年代は、パーソナルコンピュータの普及と無縁ではない。パーソナルコンピュータの登場によりそれまで望遠鏡制御装置にかかるコストは望遠鏡本体以上といわれていたのが、非常に低コストで専用コンピュータに匹敵する制御が可能となり、大型望遠鏡を備えた天文台の建設が急速に広まったのである。

そして、コンピュータによって望遠鏡やその周辺機器などの制御が実現したことにより、原理的には望遠鏡から離れた場所であっても制御が可能となるのである。しかし、当時は

まだ通信回線は電電公社が独占しており公衆電気通信法などの法的な壁、さらにはまだアナログ通信の時代であったためデータ通信速度も遅く、遠隔制御の実現には程遠かった。

1985年に電電公社が民営化されNTT（日本電信電話株式会社）の誕生に伴い、同時に制定された電気通信事業法第49条において、接続しようとする端末設備が技術基準等に適合していれば、第一種電気通信事業者は、その接続請求を一般的に拒むことが出来ないことを規定したことにより、本電話機を含めた全ての端末機器の開放が実現した。

さらに、1990年にはISDNというデジタル回線の登場によりより高速なデータ通信が可能となり、天体望遠鏡の遠隔制御がより現実味を帯びてくるのである。

1991年には日本ネットワークインフォメーションセンター（JPNIC）の前身、JNICができ、翌年には日本初のインターネットに関する国際会議、「INET'92 神戸」が開かれインターネットというまったく新しい通信の概念が登場するのである。1995年に発生した阪神淡路大震災において従来の通信インフラの多くが壊滅的打撃を受けた中、インターネットは被災者の安否確認に活躍するなどして広く全国にその存在が知れ渡った。また、この年の暮れにマイクロソフト社のWindows95が登場し、WWWブラウザソフトのバンドルなど一般パソコンユーザーがインターネットを利用するための下地が整い、その後の爆発的な普及へと繋がっていったのである。

現在では、ブロードバンドと呼ばれる大容量のインターネットインフラが全国津々浦々まで利用が可能になり、非常に低コストで誰でも利用できるまでになった。

4.2. 遠隔制御天文台の黎明期

このように、1990年代になって、それまで民生レベルでは到底不可能であった天体望遠鏡やその周辺機器がコンピュータによって制御が可能となり、さらにデータ通信の手段が実用的なコストの範囲で実現されたことにより、遠隔地から天文台の機能のすべてをリモートコントロールすることが原理的には可能となった。

この天文台と通信インフラを融合させて遠隔地から天体観測を実行するという発想を日本で最初に具体的に実現させたのは、公共天文台ではなく、意外にもNTTであった。

NTTは、1990年6月に大阪・神戸間ダイヤル通話開通100周年事業として神戸市の六甲山山頂に「NTT六甲天文通信館」という公開天文台を建設し、さらに同時期に始まったISDNの利用促進の一環として、この六甲天文通信館を遠隔制御するという実験的取り組みが開始された。この取り組みは、NTTの関西長距離通信事業部が担当し、1993年8月に大阪市北区堂島のNTT関西ネットワークセンターとの間で公開実験に成功した。実験の成功により、NTTは、この電話回線を利用した天体観測システムを本格的に



図 4-1 六甲天文通信館の外観

推進するため、このシステムを「星の寺子屋」と命名し、関西創価中学や熊本県白水村両併小学校をモデル校として、学校教育の現場で実際に活用された。(図4-1)

リアルタイムで天文台を遠隔操作して同時に鮮明な天体画像を見ることを可能とした「星の寺子屋」は、天文台と教室を結ぶ次世代の教育ツールとして一定の成果を収めたが、操作する側に100万円近い高額な専用端末装置が必要な上、一般通話と同様の従量制通信費が掛かるなどコスト面での課題を残し、その後急速に普及するインターネットに置き換わるまでは、国内唯一の遠隔制御天文台として活躍を続けた。



図 4-1 NTT「星の寺子屋」パンフレット

4.3. インターネットと天文台の融合

NTT が「星の寺子屋」で行なっていた電話回線を使用したダイヤルアップ接続に対し、TCP/IP と呼ばれるインターネットプロトコルを利用した接続による遠隔制御の取り組みは、1995 年の阪神淡路大震災や同じ年の Windows95 の発売を機に各地で始まった。その中でも 1995 年 7 月にオープンした和歌山県美里町（現在は紀美野町）の、みさと天文台は、台長の尾久土正巳氏により先進的なインターネットの活用が試みられた^v。

NTT が先陣を切って行なってきた天文台の遠隔制御や映像伝送の取り組みは、通信会社のシステム構築の延長上に過ぎず、天文台側や観測者側双方に多大な設備投資が必要な上、運用にあたっては通信費がかさむという問題を抱え、学校教育や生涯教育といった運用のノウハウの構築にまでは至らなかった。しかし、尾久土氏による取り組みは、逆に教育の現場から天文教育に対する危機感からの発想であった。子どもたちにとって最新の天文学が切り開く究極の宇宙の姿や日本人宇宙飛行士の活躍によって宇宙はどんどん魅力的なものになっている。一方で理科離れが進み、また教師にとっても宇宙や天文学という分野は大学でもほとんど学んだ経験のない分野でもあり、教室で子どもたちに宇宙を教えるだけの素養を持ち合わせていないというのが現実である。尾久土氏は、「授業中に星を観察できない」という現実が最大の原因であると述べている。星を観察できるのは夜間であり、教師は子どもたちに実際の星空を見せながら授業を行なうことは不可能なため、星の観察は、宿題や自由研究として子どもたちにお任せするしかないのである。ところが、授業中の時間帯でも地球の裏側では夜であり、地球の裏側の天文台からインターネットでリアルタイムの星空の映像が送られてきたなら授業中に子どもたちに星空を見せられるのではないかという発想が、インターネット天文台の出発点であった。

天文台からリアルタイムでの映像配信は天文台側にとっても大きな設備投資が必要ないことに加え、映像を受け取る側が単にインターネットの WEB ページを閲覧できる環境さえあれば即座に実現可能なため、国内でも多くの公開天文台や各地の科学館などが WEB ページ上でリアルタイムの天体映像の配信を実行している。

さらに、映像配信だけでなく望遠鏡の遠隔制御まで拡張した、インターネット天文台という概念やその運用に積極的に取り組んでいる熊本大学教育学部理科教育講座 佐藤毅彦研究室では、インターネット天文台とは、「インターネットを経由して天文台の全機能（望遠鏡や CCD カメラを含む）を遠隔操作し、天体観測を可能とする設備」と定義している^{vi}。

この方式は、遠隔地の観測者が天文台の起動から観測、そして終了の一切の操作がリモートコントロールできることを前提としており、天文台側は完全無人となっている。このことにより、観測者は自由に望遠鏡の向きを変え、目的の天体を観測できるという大きなメリットがある。また、同様な仕組みを持つ天文台が全国各地に配置され相互利用が実現すれば、天候に左右されず天体観測が計画通りすすめられることになる。

4.4. インターネット天文台の特長と現状の問題点

これまで述べてきたインターネット天文台と呼ばれる形態には、映像配信のみを行なう「ライブ中継型」と遠隔制御によって観測者が主体となり自主的観測が行なえる「リモート制御型」の2種類がある。

ここでは、それぞれの形態の特長と問題点を探る。

4.4.1. ライブ中継型

太陽や月・金星といった変化の様子が比較的ダイナミックな天体を対象に天体望遠鏡に取り付けられたテレビカメラの映像をライブ中継するもので、天文台のWEBページ上から誰でも閲覧ができるようになっている。この方式は天文台側にとっては

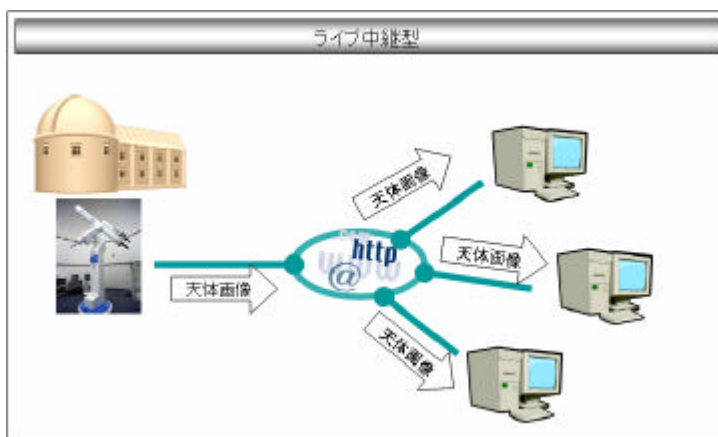


図 4-3 ライブ中継型のブロック図

時に多地点から観測できるという

特徴がある。しかしながら、天体映像というのは短時間での変化が少ないため、この方式は単にひとつの天体を長時間に渡って映像を垂れ流すだけとなり、観測者側からすれば非常に退屈な画像とを感じる場合が多い。そのため、視聴率に相当するアクセス件数も特別な天文現象でない限り非常に少ないのが現状である。



図 4-4 横浜市こども科学館のライブ映像

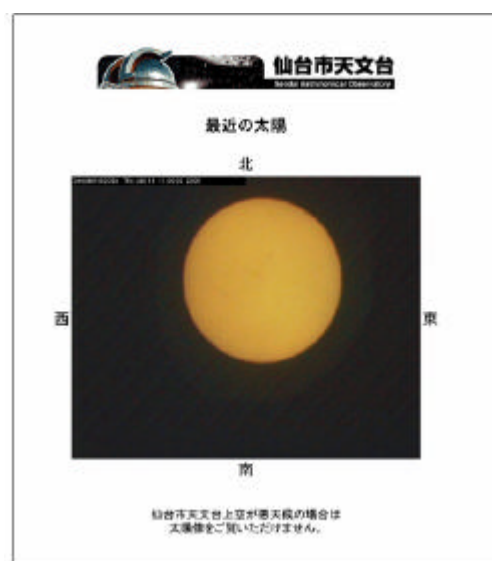


図 4-5 仙台市天文台のライブ映像

4.4.2. リモート制御型

観測者からの操作によって望遠鏡やカメラを動かし能動的に天体観測を行なうのがリモート制御型である。

リモート制御できる観測者は1箇所に限定されるが、他の地点でも画像だけなら先のライブ中継型と同様に閲覧することは可能である。

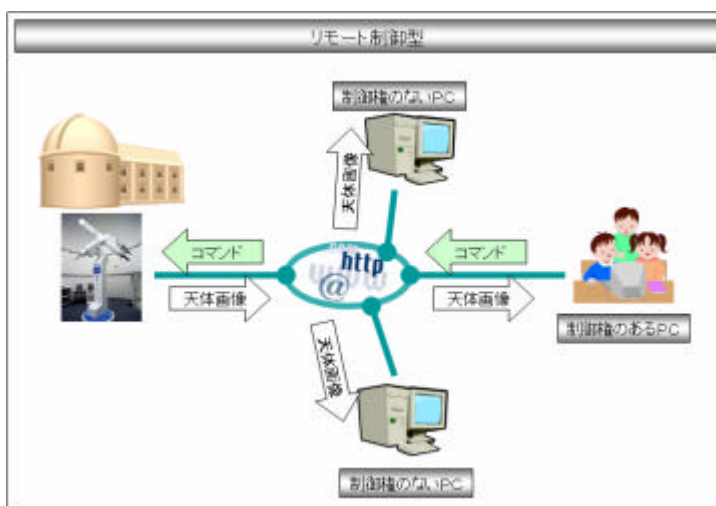


図 4-5 リモート制御型のブロック図

このリモート制御型は、観測者側が主体となって自由に目的天体を選ぶことができ、時間内にいくつもの天体を観測でき、さらにリモート制御という臨場感が味わえるという優れた手法であると言える。また、天文台側は職員が常駐する必要がないため、深夜であっても天体観測が可能である。しかし、高価な天文台設備を遠隔地の観測者に開放するということは機器の安全に対するリスクも大きく、そのための配慮が不可欠となる。たとえば雨降りの状態を知らずに観測室の屋根を開けてしまえば望遠鏡がずぶ濡れになることになる。また、日中に太陽に向けてしまえば、カメラや望遠鏡を損傷させるだけでなく、その強力な集光力により火災になる危険もある。このような観測者の誤操作を防止するための安全対策があらかじめシステムに組み込まれていなければならない。

さらに、インターネットという誰でもアクセスが可能な環境下では不正なアクセスに対してもセキュリティが強固なものにする必要も出てくる。

このため、現在稼動しているリモート制御型の天文台は既存の公開天文台ではなく、リモート制御専用に使われる場合がほとんどである。

自由に目的の天体を選べるということは、観測者が天体望遠鏡の操作をあらかじめ習熟している必要があるということでもある。さらに、観測する天体に対しても知識を有している必要がある。このことは重大な問題点である。せっかくの優れたシステムであっても、それを自力で操作をし、解説を行うことが出来る教師や担当者がどれくらい存在するのだろうか。また、トラブルが発生した場合の対処がスムーズに行なえなければ、観測会や授業の場が白けてしまい、かえって逆効果ということもありえるのである。

また、天体と一概に言っても、それぞれの天体の明るさは千差万別である。本来は目的の天体によってカメラの感度を調節する必要があり、時には目的別にカメラそのものを交換する必要が生じる。また天体によって拡大率を変更する必要も当然でてくる。

現状のリモート制御型天文台では遠隔制御によるカメラの交換などまでは対応はされ

ておらず、比較的ダイナミックレンジの大きいカメラを使用してある程度をカバーしている。このため、このシステムにおいても結局は月や太陽系の惑星といった数種類の天体に結果的に限定されてしまっているのが現状である。もっとも、カメラの交換や調整、拡大率の変更といった領域までを遠隔操作が可能とするシステムも決して不可能ではないであろうが、操作は複雑化し、機器の安全に関するリスクはさらに増大することになる。当然、それだけコストも上昇する。

5. インターネット天体観測会という手法

これまで、実際に運用されているインターネット天文台の特長や問題点を検証してきたが、さらに新しい手法とも言える「インターネット天体観測会」という手法を考案してみた。

5.1. インターネット天体観測会とは

ライブ中継型は天文台から観測者に対して一方通行であり、またリモート制御型は逆に観測者から天文台に対して一方通行であった。インターネット天体観測会というものは、天文台と観測者が双方向でのコミュニケーションを図りながら天体観測を行なうというものである。

5.1.1. テレビ電話型インターネット天体観測会

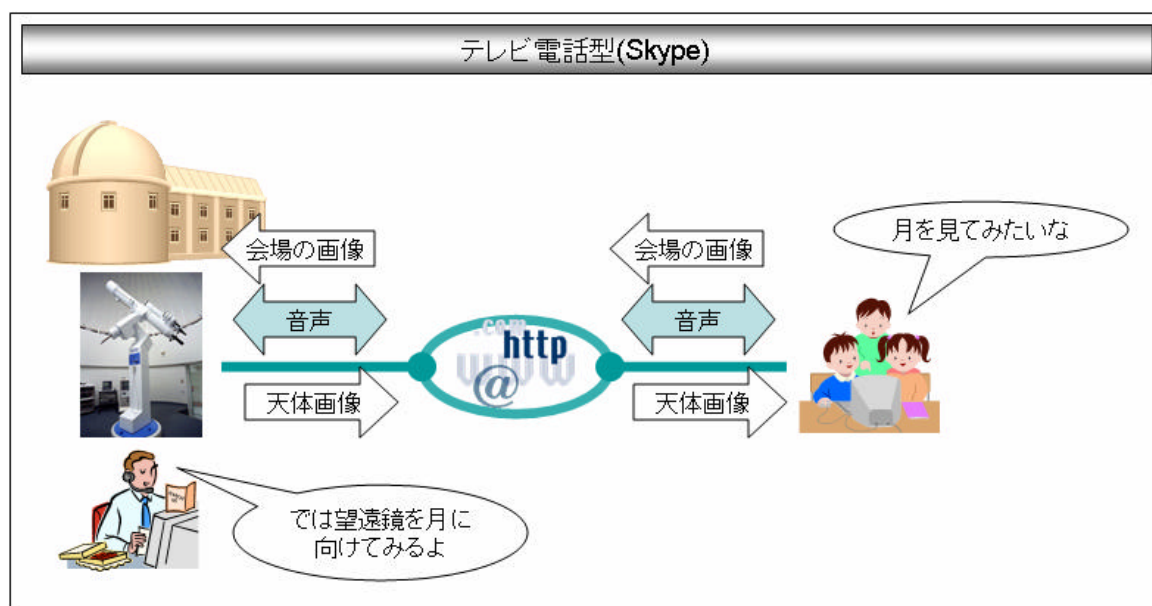


図 5-1 テレビ電話 Skype を利用した天体観測会のブロック図

具体的には、インターネットのテレビ電話機能を利用し、天文台からは天体画像を、観測者側からは観測会場の様子の映像を、さらに双方が音声によって対話するというコミュニケーションを図りながら天体観測を実行して行くというものである。このインターネットテレビ電話やテレビ会議といったシステムは、ビジネスの世界ではすでに活用されている。しかし、ここでは、ビジネス用の高価なシステムではなく、パーソナルユースを前提とした、世界的な標準 IP 電話としての地位を確立しつつある Skype^{vii}という無料のソフトウェアを使用する。Skype は P2P という技術によりサーバーを経由することなくポイントとポイントを直接接続するという手法によって通話が成立している。このことによって、従来からあるマイクロソフトメッセンジャーなどのようにサーバーを経由する方式と違ってユーザーが増加するに従ってそのレスポンスや音声・画像の品質が低下する心配がないというメリットがある。さらに Skype はインストールからシステムの設定までがほぼ自動化

されておりコンピュータの知識に乏しい人でもすぐに利用できるという特長を備えている。

この無料で提供される Skype がインストールされたパソコンにマイクやヘッドフォン、そしてWEBカメラと呼ばれるテレビカメラがあれば即座にテレビ電話によるコミュニケーションが始められる。しかも、ソフトウェアだけでなく通話料に相当する費用も一切無料なのである。

では実際に Skype を使用した天体観測会とはどのような運用がされるのであろうか。三重県津市にある天文機器の販売会社「アイベル」の協力のもと、アイベルを観測会場とし、中西の私設天文台である北海道上富良野町にある「一番星天文台」^{viii}と実際に天体観測会を実施した。

天文台の操作やカメラの切り替えなどの操作はすべて一番星天文台側で行なっている。観測者側であるアイベルでは画面に映し出された映像を見ながら、天文台と会話によって天体の説明を受けたり、見たい天体のリクエストをしたりでき、さらに天文台側では、その要望によって望遠鏡やカメラを操作したりするのである。

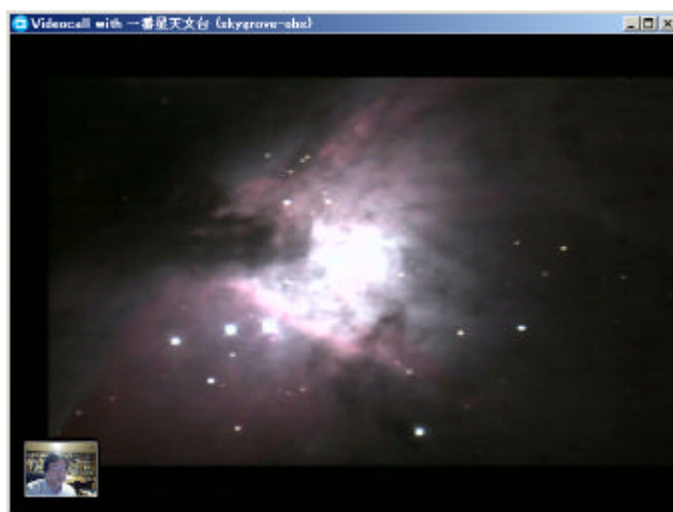


図 5-1 Skype でオリオン大星雲(M42)を観測

このように実際の機器操作は天文台側で人為的に行なっているため、観測者側は操作を習熟する必要もない上、機器の安全に対するリスクを負う必要がない。そのため、安心して利用することができる。

また、天文台側から天体の解説を受けることも出来るため、観測者側では天文に関する特別な知識も必要としないのである。

さらに、この方式の大きな特長は、既存の天文台の設備がそのまま利用できる点にある。先のリモート制御型のインターネット天文台では、原則として新規に専用の天文台を建設する必要があった。

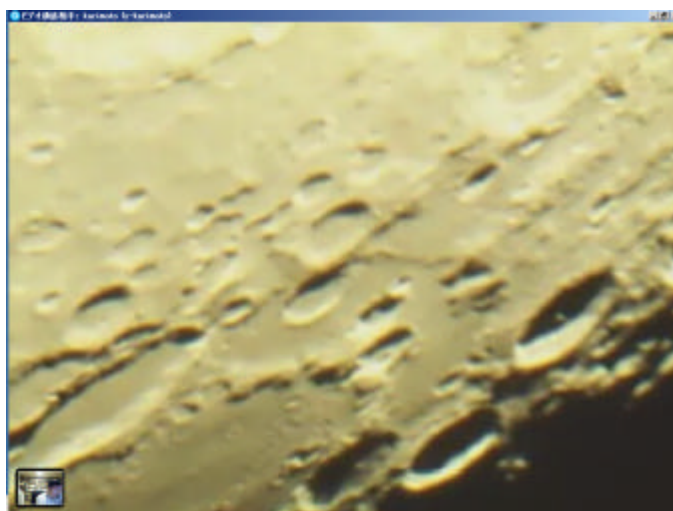


図 5-2 Skype で月面の観測

しかし、このインターネット観測

会では既存の天文台の設備をそのまま利用でき、Skype を経由して画像や音声を観測者に送り届けるだけで簡単に遠隔地に向けた天体観測会が開催できるのである。

しかし、この方式はテレビ電話という仕組みを利用しているために天文台と観測者が1対1の関係になり、多地点の観測者に対して同時に映像を配信することは出来ない。またリモート制御型天文台のように遠隔制御するわけではないため、天文台側には必ず担当者がその場にいる必要がある。しかし、実際に天文台において天体観測会を行なう場合と比較して、人員は最小限で済むのである。実際の天体観測会では、説明員の他に受付、来場者の整理誘導といった職員も配置しなければならないが、インターネット天体観測会では、操作と解説を一人でこなすことも可能である。

従来のリモート制御型のように無人の天文台を遠隔制御するという1点にこだわる必要性がどのくらいあるのであろうか。望遠鏡を操作するという臨場感を与えることが天体観測の目的ではないはずである。むしろ、よりスムーズにより安心して気軽に天体観測が行なえることの方が天文台側と観測者側の双方にとって大きなメリットであるはずである。また、天文台と観測者が1対1の関係ではあるが、時間をずらして1箇所の天文台で一晩に複数の地点に対して観測会を開催することも可能であり、さらには、実際に天文台に人が来て行なわれる観測会と同時に併用することも可能である。

つまり、既存の設備にほんの僅かな工夫をこらすだけで天文台の稼働率を上げることが容易に実現できるのである。

稼働率を上げるということは、多くの人々にその天文台の魅力や価値を知ってもらうということであり、このようなバーチャルな天体観測をきっかけにして、より興味を深め、実際に天文台まで足を運んでくれる人たちも増えてくるのではないだろうか。

5.1.2. 多地点に向けたインターネット天体観測会

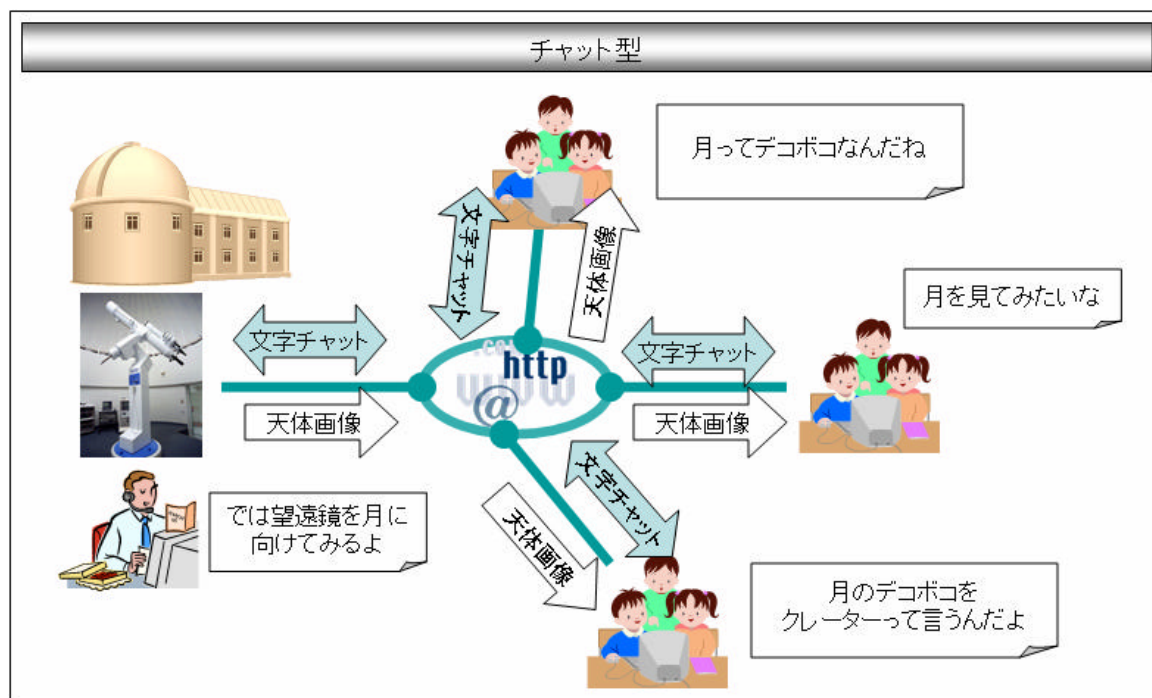


図 5-3 チャットとライブ中継を組み合わせた天体観測会のブロック図

Skype を利用する天体観測会では同時に複数の地点（会場）を対象とすることは原理的に不可能である。通常は1対1でも何ら問題は生じないはずであるが、日食や月食などのようにリアルタイム性が特に要求される天文現象の場合、一時期に多くのニーズが発生し、時間差をおいて観測というわけにはいなくなる。このような事態にはライブ中継型が有効であるのだが、これだけでは映像だけを垂れ流すに留まり天文台と観測者とのコミュニケーションは一切とることができない。

天文台と観測者が1対nの関係でなおかつコミュニケーションを図る目的でチャットと呼ばれる文字による対話を併用する手法も考案してみた。

この例も一番星天文台で実際に実験したものである。写真のように一番星天文台のホームページにライブ中継用のアプレットと FLASH PLAYER で動作するチャットを組み合わせたページを用意した。そして Skype 同様に三重県のアイベルそして名古屋市内にもう一箇所の1対2の3者で天体観測を行なった。Skype の時の音声とは違いキーボードから文字を入力しながらのコミュニケーションのためスムーズさにはやや欠けるが、天体の解説を行ったり、また感想や要望を受けたりすることが可能であり、従来の垂れ流し式のライブ中継と比較して格段にサービスの向上が図られた。しかし、このチャットという手法も多数がチャットに参加してしまうと収拾がつかなくなる事態も予想されるため、何らかのルール付けは必要となるであろう。

また、この手法は Skype と違って映像配信のためのサーバーが必要となるため、サーバーを持っていない天文台では多少設備投資が必要となる。

しかし、日食・月食といったリアルタイム性が重要な現象の場合、その進行状況を解説することもできる。雲が掛かって一時的に対象が見えなくなっても天候の状況などを説明し、もう少しで晴れそうなどという説明も可能となり、大きな効果が期待できる。



図 5-4 チャットとライブ中継を組み合わせた天体観測会の実例

まとめ

その数の多さで世界一の公開天文台保有国であるわが国も、そこに至った経緯から見ると、無計画な箱物行政という作る側の論理が優先されてしまい、完成後の運営計画に対しては、あまり熟慮されていない場合が多いといわざるをえない。

立派な器を作れば、自然と人が集まってくるという幻想が、多くの公開天文台の衰退を招いているのである。

公開天文台の本来の姿は、人々が天文台に足を運び、巨大な望遠鏡を通して見る宇宙の神秘的な姿に感動し、新たな興味を喚起することで次回へ繋がって行くというものに違いない。しかし、人々の興味や学習意欲は多様化し、時間的制約の多い現代の生活リズムと実用性や効率が重視される中においては、実生活においてほとんど実用性を見出せない天文分野の優先度は低いといわざるをえないのである。

インターネットと公開天文台の融合は、この現代社会で天文や自然科学の学習・教育、そして啓蒙のツールとして非常に強力な武器となりうるのである。

公開天文台に限らず、生涯学習施設全般に言えることであるが、運営の方法を誤ればその施設は設置者である自治体の財政を圧迫するだけのお荷物的存在になりかねない。しかし、逆に創意工夫を凝らし、積極的な運営を行なうことで施設は地域の財産となり、地域の人たちの英知の糧ともなりうるのである。インターネットを使用した公開天文台の運営手法は、その一例に過ぎない。しかし、三位一体の改革をむかえ、地方自治体は自らの力とその知恵を振り絞り、既存の施設をより有効に活用することで、地域住民すべての財産を単なる不動産資産としての価値から知的文化資産として未来へ引き継いで行けるのである。

「科学」は研究者やエンジニアといった一部の人間、または国や企業だけのものではなく、地球に住む誰でもが平等に楽しむことのできる「文化としての科学」に成長することが望ましい。学校での成績や好き嫌いに関わらず、大人になっても自らの好奇心にしたがって「科学」的な探究をしたり、意思決定の道具として「科学」を利用したりすることが出来る市民が「科学」を文化として身につけている市民と言える。このような市民の育成には米国とは違った日本独自の科学文化の創造が必要である。天文学はもっとも古い学問の一つと言われており、はるか彼方の宇宙に思いを馳せ、宇宙の中での自分自身の位置づけを考えることは、人間にとって極めて基本的な思考活動であり、科学への入り口として興味・関心を喚起するものと思われる。家族や地域の人々と星空を楽しむことをきっかけに、科学そのものの楽しみが芋蔓式に伝わっていくような効果的な科学普及活動が望まれている。このような活動の主体は市民であり、近隣の身近な生涯学習施設と連携して、科学を楽しむさまざまな「連携」の輪を広げることこそが望まれているのである。

参考文献

1. 『プラネタリウム白書 2001』日本プラネタリウム協会,2001 年
2. 『プラネタリウム白書 2005』日本プラネタリウム協会,2005 年
3. 尾久土正巳著『美里から世界へ インターネット天文台』(岩波書店),1999 年
4. 伊東昌市著『地上に星空をープラネタリウムの歴史と技術ー』(裳華房),1998 年
5. 青木満著『プラネタリウムへようこそ 星空を創る人々の知られざる世界』(地人書館),1998 年
6. 縣秀彦,2004,『天文月報』(日本天文学会),97,2
7. 尾久土正巳著『美里から世界へ インターネット天文台』(岩波書店),1999 年
8. 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),2001年
9. 財団法人札幌市生涯学習振興財団『札幌市青少年科学館事業概要』2004 年
10. Skype <http://www.skype.com/>
11. 一番星天文台 <http://www.skygrove.co.jp/ichibanboshi/>
12. 伊東昌市著『地上に星空をープラネタリウムの歴史と技術ー』(裳華房),1998 年
13. 青木満著『プラネタリウムへようこそ 星空を創る人々の知られざる世界』(地人書館),1998 年
14. 長沢工著『天文台の電話番』(地人書館),2001 年
15. 縣秀彦,2004,『天文月報』(日本天文学会),97,2

i 縣秀彦,2004,『天文月報』(日本天文学会),97,2

ii 『プラネタリウム白書 2001』日本プラネタリウム協会,2001 年

iii 藤井旭著『日本の天文台』誠文堂新光社,1971 年

iv 財団法人札幌市生涯学習振興財団『札幌市青少年科学館事業概要』2004 年

v 尾久土正巳著『美里から世界へ インターネット天文台』(岩波書店),1999 年

vi 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),2001 年

vii Skype <http://www.skype.com/>

viii 一番星天文台 http://www.skygrove.co.jp/ichibanboshi