

惑星科学を題材とした高大連携双方向遠隔授業の実践

中神雄一¹, 大島修², 杉山耕一郎¹, 川端善仁², 佐藤光一郎², 小林和真³, 笹川浩達⁴, 小高正嗣¹, 倉本圭¹, Mosir プロジェクト

2002年10月23日から合計4回にわたり、北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻(以下、北大地惑)と岡山県立鴨方高等学校(以下、鴨方高校)とをインターネット回線で結んだ双方向遠隔授業を実施した。今回の試みの特徴は、DVTS(Digital Video Transport System)を用いて、デジタルビデオ(以下DV)品質の映像を遅延無く双方向にやりとり出来る授業システムを新たに構築した点と、教材を高大が連携して整備したという点である。授業では北大地惑の教官が講師を務め、惑星科学を主題とした講演を行った。授業後生徒を対象に実施したアンケート調査結果から、本授業で開発した授業システムおよび教材は高校生向けの教育環境として十分に機能していることを確認した。

は[1])。一方北大地惑では、2000年7月から学生有志がMosir(モシリ)プロジェクト[2]を設立し、ストリーミング技術^{*)}を用いて講演会や研究紹介番組の配信を行ってきた。

表1: 授業までの経過

| | | |
|-------|-----|----------------------|
| 2001年 | 10月 | 高大連携による教材開発の呼びかけ(大島) |
| 2002年 | 2月 | 北大地惑から遠隔授業を提案 |
| | 5月 | プロジェクトスタート |
| | 9月 | 授業システム完成 |
| | 10月 | 教材完成 |
| | | 「月の科学」(23, 31日) |
| | | 「惑星気象学」(24, 30日) |

1. はじめに

1.1 経緯

今回の遠隔授業実施のきっかけは、大島が2001年度の秋季講演会シンポジウムにて、惑星科学の研究者と教育者の共同作業によって全く新しい教材が生まれる可能性を指摘した[1]ことである。それを受けて北大地惑が遠隔授業を提案した。その後2002年5月に授業実施に向けたプロジェクトがスタートし、授業システム構築と教材製作を行い、10月に遠隔授業を実施した(表1)。

大島は鴨方高校にて天文科目「宇宙の科学」を新たに設置し、天文学の基本的教養の習得を主目的として斬新なカリキュラムの授業を展開してきた(詳細

1.2 遠隔授業の意義

わが国の初等中等教育において「理科離れ」が社会問題化して久しい。たとえば世界的には日本の中学生の理科試験の得点は最高水準にあるが、興味や関心は最低水準にあることが報告されている[3,4]。それにもかかわらず移行が進む新学習指導要領は、「断片的な知識の羅列となっている」、「基礎、基本を徹底するあまり生徒が興味や関心を抱く内容までも削除している」等の批判が多く「理科離れ」の本質的な解決策を提供するものとは言い難い。科学に対する国民の関心が低い原因の一つには科学の現場が外側から見えないことがあげられよう。地球惑星科学においても研究成果の社会還元促進、研究機関と初等中等教育現場との連携を進めていくべきこと

1 北海道大学理学研究科地球惑星科学専攻
2 岡山県立鴨方高校
3 倉敷芸術科学大学
4 株式会社ネクステック

*) ビデオカメラで撮影された映像をネットワークで配信する技術。エンコード、配信、デコードの一連の技術からなる。代表的なソフトウェアとして、Helix、WindowsMedia、QuickTimeがある



図1：鴨方高校の教室に投影された講師（小高）

はいうまでもない。

近年、高校などでは最先端の研究者による出張授業が行われるようになってきた。これは、研究者と生徒が直接対話することによって研究者の持つ自然感や価値観を生徒に伝え、生徒の科学への興味や関心を喚起するきっかけを与える方法の一つとして期待されている。縣ら(2002)は専門家の講演による刺激は一時的なものであり、生徒の興味や関心を定着させるためには専門家の継続した学校教育への支援が重要であると指摘した[5]。しかしながら、専門家が学校に赴き講演するという支援形態の場合、研究現場と学校との空間的距離が制約となりそれを頻繁に行うことは困難である。

そこで我々は、このような空間的距離の制約を解消する手段としてインターネット上の動画音声配信技術に着目し、これを用いた遠隔授業の実施と生徒に対する有効性の検討を行った。同時に必要な技術や手順を整備し、今後の同様な試みへの実践的なモデルと課題を提示することを試みた。

1.3 本稿の概要

本稿では導入した技術や教材開発のノウハウについて解説するとともに、授業の評価とこれから遠隔授業が普及していく上での課題を提示する。

2章では授業環境構築に導入した機材、ソフトウェア、配線について触れる。さらに快適な授業環境を

提供するために必要な音声調整や、撮影時の工夫について解説する。3章では授業概要と教材の内容および製作手順を示す。又、有意義な授業になるよう配慮した項目について述べる。4章は授業後アンケート集計結果を示し、今回の遠隔授業の有効性について検証する。5章ではより広い視野から今後遠隔授業が普及していく上で予想される課題について示す。

2. 授業環境構築

2.1 授業システム開発

今回の試みでは、ネットワークを通じてDV品質の動画・音声を伝送できるソフトウェアDVTSを基盤とした低コストで簡便な授業システムの開発を試みた。これは、

- ・DVTS 送受信機
- ・音声/映像入出力装置
- ・ネットワーク

からなる。DVTSの構築および音声/映像入出力装置整備は北大地惑では4名の有志学生、鴨方高校では職員3名が担当した。

2.1.1 DVTS送受信機

DVTS(Digital Video Transport System)は、インターネットにおいてDV規格の動画像をリアルタイムで伝送するフリー・ソフトウェア[6]である。使用する帯域は双方向で40Mbps弱である。1998年にWIDEプロジェクト[7]の小川晃通氏らによって基盤となるシステムが開発された。2003年4月現在UNIX系OS、Windows系OSに対応している。

DVTSの基本的な機能は送信のdvsendと、受信のdvrecvからなる。DV規格の動画像を送信機に入力しIPパケットに変換し、受信側で再びDV規格の動画像を出力するというものである。テレビモニター等で投影するにはさらにNTSC※2信号に変換する必要がある。動画像のデジタル化やNTSC信号への変換には、市販のDVビデオカメラ

※2：日本やアメリカで採用されているアナログテレビ信号の形式

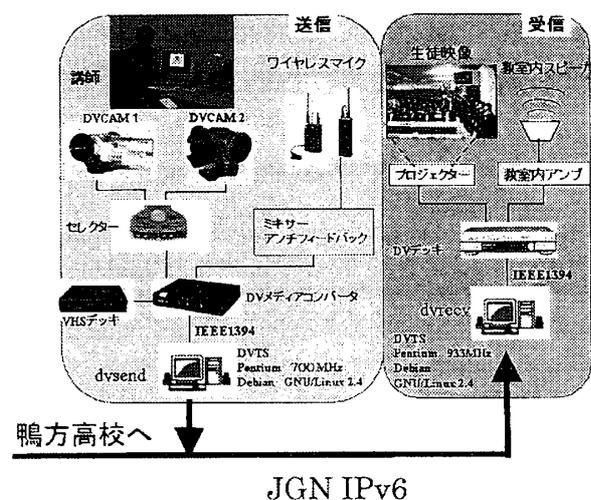


図3：北大側配線概略図

送信側では映像と音声を別々にDVメディアコンバータに入力してアナログデジタル変換を行いIEEE1394インターフェースからDVTS送信機に入力する。受信側ではDVTSから出力されるDV信号をDVデッキでデジタルアナログ変換し映像と音声を出力する。(鴨方高校側もこれとほぼ同様)。

を利用できる。市販品を用いることによって動画画像伝送を安価に実現することが可能である。

2. 1. 2 映像/音声入出力装置

図3に北大地惑側の機材および配線を示す。北大地惑、鴨方高校双方ともDVTS送信機と受信機を一組ずつ用意し、映像および音声機器と接続した。送信側では、映像システムと音声システムでそれぞれ別々に調整を行った後にDVメディアコンバータでデジタル化し、IEEE1394インターフェースを通じてDVTS送信機に入力した。又、DVメディアコンバータから入力映像をVHSデッキに出力し送出映像の同時録画も行った。一方、受信側ではDVTS受信機から出力されるDV画像をDVデッキでNTSC信号に変換し、音声は教室内のスピーカから、映像は液晶プロジェクターからスクリーンに投影した。

2. 1. 3 ネットワーク

ネットワーク回線には通信放送機構(TAO)が提供するJGN(Japan Gigabit Network)[8]を利用し、遠隔授業実施時には100Mbpsの帯域の割り当てを受け

た。経路は図2に示す通りである。北大地惑および鴨方高校からJGNまでの接続には、北大は学内専用線、鴨方高校は岡山情報ハイウェイ(OKIX: Okayama Internet eXchange)を利用した。インターネット接続は、DVTS送受信機の設定や経路制御技術のノウハウを得るために次世代プロトコルであるIPv6^{*3}を実験的に使用した。



図2：回線経路概略図

北大地惑から鴨方高校までの接続には、大阪大学と倉敷芸術科学大学を中継した。北海道-2から近畿-4までがATM網、近畿-4から中国-3までがIPv6網である。(括弧内はJGNアクセスポイント名)。

2. 2 授業システムの運用

このシステムの運用に要した北大地惑側の人員はカメラ1名、音声調整/映像切替え1名、講師補佐1名の合計3名、鴨方高校側はカメラ1名である。授業では対話的な授業環境の実現するために、音声のスムーズなやりとりおよび、見やすく違和感の無い映像を送出出来るよう心がけた。

2. 2. 1 音声エコーの回避

音声エコーの回避は対話的な授業環境を構築する上で最も重大な問題である。映像、音声を双方向でやりとりする環境では、スピーカからの音声を直接マイクが拾うことによってエコーが発生する。さらにエコー



図4：資料用カメラの映像(月の科学)

*3：現在使われているIPv4のアドレス数が32bitであるのに対しIPv6は128bitのアドレス数を有し、IPv4のアドレス枯渇問題にも十分なアドレス空間を提供できる

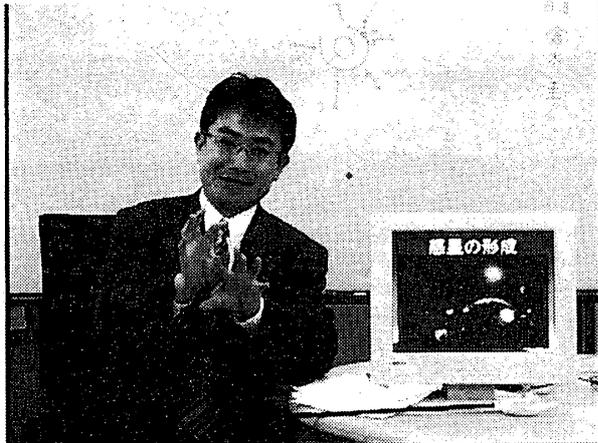


図5：講師用カメラの映像。(倉本)

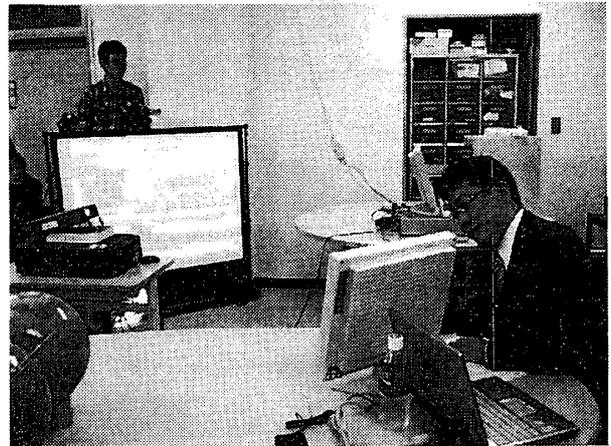


図6：目線を配慮したカメラの配置

を双方のマイクが拾い合うことで音声のループが形成され音が勝手に回り始めるという現象が生じる。一度このような状態になってしまうと、全くコミュニケーションがとれなくなってしまい授業は成り立たなくなる。エコーはスピーカからの出力が大きい程、マイクの集音範囲が大きい程発生しやすい。音声勝手に回る状態を回避するには、エコーの原因となる音声ループを機械的にもしくは電氣的に断ち切ってやる必要がある。今回我々は次のようにして対処した。

・ワイヤレスマイクの導入

集音範囲を小さくすると共に講師の声を確実に集音する。

・鴨方高校側のマイクの電源をこまめに切る

生徒の質問時以外はマイクをOFFにする。
遠隔授業では講師が解説する時間の方が長い
ため。

今回の遠隔授業においてはこの程度で十分な効果があったが双方の発言の頻度によって対応策は変わる。例えば、議論のように双方のマイクを常に生かしておかなくてはならない場合は、エコーキャンセラー^{※4}を導入して電氣的に音声ループを断ち切らねばならない。

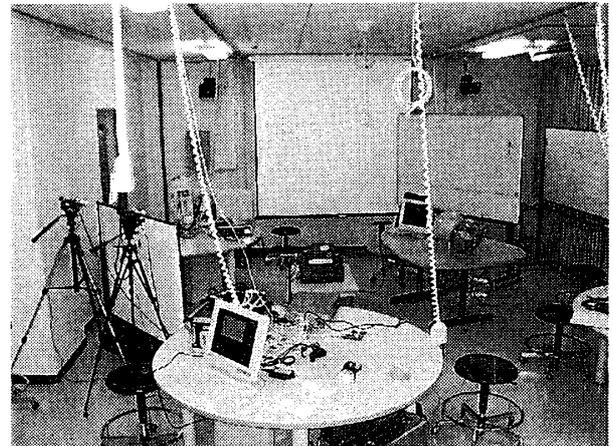


図7：北大地惑星仮設スタジオの様子。普段は情報実験室

2. 2. 2 授業に集中出来る映像の工夫

生徒が集中して遠隔授業に参加出来るようにするには、第1にプレゼンテーション資料が大きくはっきりと見ることが重要である。そこで、資料を講師卓に設置した液晶PCモニター(以下モニター)に投影した。このようにすることにより液晶プロジェクターでスクリーンに投影する場合よりサイズは小さいが鮮明に投影できる。そして、大きく見やすい映像で生徒に届けるために資料用カメラと講師用カメラとを別に用意した。資料用カメラはモニターだけを拡大したサイズ、講師用カメラは講師とモニターの両方をおさめるサイズでそれぞれ撮影した(図4：図5)。これらの2台のカメラを講師の合図に合わせてスタッフがセクターで適宜切替えた。又、プレゼンテーション資料で使用する文字は通常よりもかなり大きめにした。

第2に臨場感のある映像を届けることもまた重要で

※4：エコーが発生した周波数帯の音量レベルを自動的に下げる働きを持つ

ある。そこで、講師の目線が画面を介して生徒と一致するようにカメラおよびその他の機材の配置を工夫した。講師の正面に鴨方高校からの映像を映す高さ140cm程度の小型スクリーンを用意し、カメラをスクリーンの後ろに設置しその上から講師を撮影した(図6)。

3. 授業および教材の整備

授業の概要を表2に示す。授業には大島が受け持っている『宇宙の科学』の時間を利用した。授業時間は、50分×2コマである。普段の授業内容との関連性を意識して「月の科学」、「惑星気象学」という2つの講義内容を準備した。どちらも最先端の研究成果を取り入れた発展的な内容となっている。

教材にはプレゼンテーション資料、月に関するアンケート、月のスケッチ課題、参考Web資料、授業後アンケートを準備した。製作には担当講師と4名の学生有志があたった。授業シナリオとプレゼンテーション資料は担当講師と有志学生、その他の教材については有志学生が担当した。主に学生が直接鴨方高校に生徒の興味・関心や授業の進捗等について問い合わせ意見を交換しながら製作した。実際の授業では北大地惑側に講師、鴨方高校の教室に司会進行役を置いて進めた。10/23,24(第1週)は派遣された中神ら2名が、10/30,31(第2週)は大島が司会進行を行った。

3.1 教材

以下に今回の授業で準備した教材の内容と製作について示す。

1. 授業シナリオ

授業で何をどのような順番でどこまで取り上げるのかという授業方針を授業シナリオという形でまとめた。まず講師があらすじを作成しWeb, mailで鴨方高校に提示し生徒の興味や理解力を確認した。講師は有志学生と相談しながら内容の厳選を行った。完成まで約1ヵ月を要した。

2. プレゼンテーション資料

授業で提示する資料は、PowerPointあるいはそれと同様の機能をもつ Magic Point で製作した。製作段階ものはWeb上に載せ高大間で意見交換しながら製作を進めた。PC モニターをカメラで撮影する都合文字を大きくするよう努めた。資料の作成は講師が担当し約2週間を要した。

3. 事前アンケート

生徒の興味・関心、知識を直接確認するために事前アンケートを『月の科学』で実施した。北大地惑で用意したアンケートを鴨方高校に郵送し、集計した結果は授業シナリオやプレゼンテーション資料にフィードバックさせた。有志学生が担当し作成、配布、集計で1ヵ月程度を要した。

4. 授業後アンケート

授業終了直後に生徒を対象に毎回実施。音声や映像等の環境面と授業内容等について質問した。1週目の回答から改善点を洗い出し2週目の授業に活かした。2週目は1週目と同様の設問に改善点についての設問を加えた。有志学生が担当し作成に1週間、集計1週間を要した。

5. 参考Web資料

意欲のある生徒向けに発展的な内容を扱った資料をWebで公開した。最新の研究結果を素材にして分かりやすい解説を心がけた。『惑星気象学』は担当講師が作成し有志学生が校正、『月の科学』は有志学生が担当した。完成まで1~2ヵ月を要した。

3.2 有意義な授業のために

遠隔授業は画面を隔てた環境で実施されるために、講師は生徒の雰囲気をつかみにくい。さらに大抵は生徒のことを良く知ることも無く授業を行うことになるので、ややもすると生徒の理解度を把握できないまま授業を進めてしまうことになりかねない。教材

表2：授業の概要

| | 月の科学 | 惑星気象学 |
|----------|---|---|
| 担当講師 | 倉本 圭 | 小高 正嗣 |
| 実施日時 | 2002/10/23,31 | 2002/10/24,30 |
| 授業時間 | 3,4限目(50分×2) | 3,4限目(50分×2) |
| 授業内容 | 月の誕生とその後の進化について、最新の研究成果を織り混ぜながら解説。前半で現在の月の様々な特徴を紹介し、後半で4つの月の誕生説を検証する。現在、有力視されている巨大衝突説のCGも視聴 | 地球、金星、火星の大気現象、地表面環境の比較。それぞれの相違点を明らかにしその原因を追求。大気のある惑星の気候や気象といったものがどのようなメカニズムによって形成されているのか概説。 |
| 素材 | プレゼンテーション資料 月のスケッチ課題・月に関するアンケート(事前配布) 参考Web資料 授業後アンケート | プレゼンテーション資料 参考Web資料 授業後アンケート |
| 授業の進行 | 生徒との対話を重視。授業資料中に質問を用意し生徒を指名して答えてもらった。生徒の解答を軸に議論を進めた。 | |
| 高校側の司会進行 | 23日:中神ら2名 31日:大島ら | 24日:中神ら2名 30日:大島ら |

や授業内容はこのような遠隔授業の特徴を把握し準備すべきである。有意義な授業のために我々が工夫した点、あるいは気が付いた点について以下にまとめる。

1.事前に授業進度、生徒についての情報を得ておく
普通の授業の内容、使っている教材やクラスの雰囲気さらには普通の生徒の様子なども把握しておくことで授業中に指名しやすくなるかもしれない。

2.授業の対話性に心がける

生徒との質疑応答や会話を多く取り入れ生徒の声を授業に反映させる。今回の授業ではプレゼンテーションに予め質問を設け生徒の回答をもとに解説を進めた。

3.授業時間に合わせて内容を厳選

多くの場合、遠隔授業は時間が限られる上に一度きりである。生徒の情報をもとに内容を厳選し、授業進行にはストーリー性を持たせるとよい。

4.音声用の別回線を用意しておく

第1週の授業中、回線のパケットロスによって北大地感で受信する鴨方高校からの音声が非常に

聞き取りにくい状態となり携帯電話で対応するという事があった。幸い鴨方高校で受信する(北大地感からの)映像と音声には一部ノイズが入る程度で授業の進行には問題はなかった。双方向のコミュニケーションにおいては映像に多少のノイズがあっても音声確保を最優先に行うべきである。予め音声回線をもう1系統用意しておくことで安心である。音声だけでは必要とする帯域も数十 Kbps と通常回線でも十分伝送可能であるので、IP電話も有効であると思われる。

4. 授業の評価

授業後、受講した生徒全員にアンケート調査を実施した。質問は音声や映像などの授業環境に関する項目、関心や興味に関する項目、授業内容に関する項目、遠隔授業全体に関する項目を用意した。回答者数は以下の通りである。学年は全て3年生で文系のクラスに属している。

| | 10/23,30(水) | 10/24,31(木) |
|-------|-------------|-------------|
| 月の科学 | 16名 | 20名 |
| 惑星気象学 | 16名 | 23名 |

集計結果を図8～図12に示す。音声の聞きやすさについての回答(図8)によると、1週目から2週目

にかけて大幅に聞き取りやすくなったことがわかる。これは1週目に鴨方高校側でも一時音声の途切れたり、ノイズが混じったりしたことに起因している。1週目と2週目で臨場感の違いについて問うた項目(図9)では約8割の生徒が「先週より臨場感がある」と答えている。画質が1週目、2週目でそれほど違わなかったことから、音声は臨場感に大きな影響を与えていると言える。

月の科学と惑星気象学について面白さを問うた図10では、「強くそう思う」「そう思う」と答えた生徒の割合はともに8割程度で、今回の授業は生徒の興味を喚起出来たと言える。月の科学の方が「強くそう思う」と答えた生徒が多かったが、月の科学では月の誕生についてのコンピュータシミュレーションに基づくCG(小久保他[10]を利用)を放映し生徒に大変好評であったことによると思われる。

月の科学と惑星気象学の分りやすさの比較では(図11)、双方とも8割の生徒が分りやすかったと回答している。このことから、遠隔授業においても授業を工夫することで分りやすい授業を行うことが可能であると言える。

満足度の結果を図12に示す。満足度は、授業環境および授業内容を総合した遠隔授業全体の評価の指標になり得ると考えられる。「期待通り」、「まあ期待よりは」、「期待以上」と答えた生徒の割合は、1週目、2週目を問わず9割に達した。1週目の音声状態の悪化は、満足度に関して見る限りそれほど大きな影響を与えていないと言える。

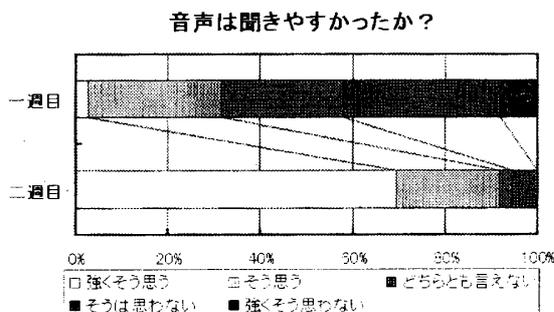


図8：音声の聞き取りやすさ(1, 2週)

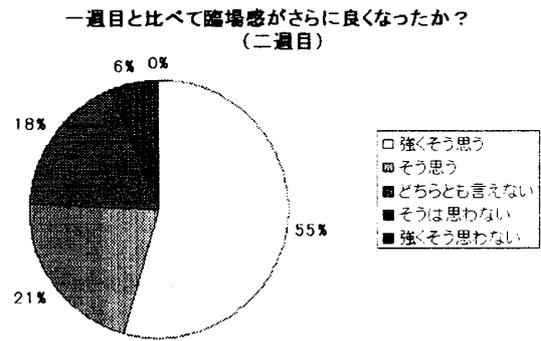


図9：先週より臨場感があるか(第2週)

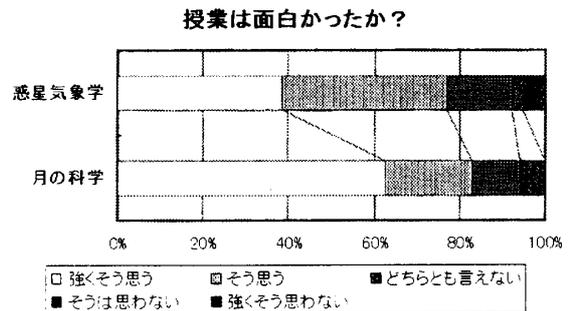


図10：面白さの比較(月の科学, 惑星気象学)

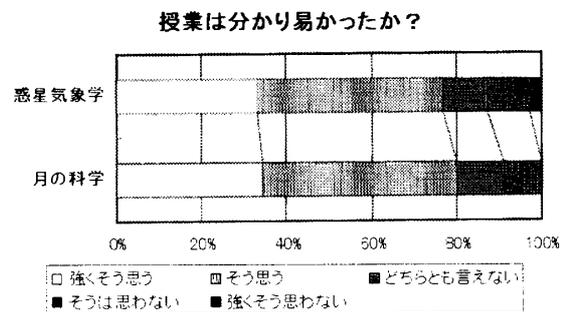


図11：分りやすさの比較(月の気象学, 惑星気象学)

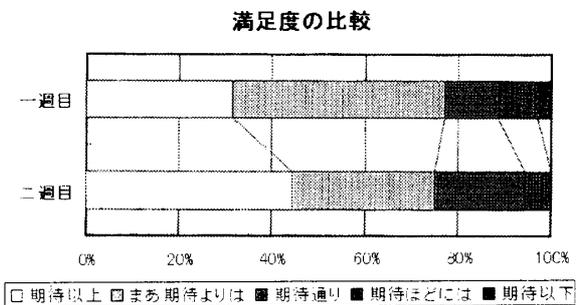


図12：遠隔授業の満足度(1, 2週)

又、生徒から寄せられたコメントでは、「いろいろな惑星の内部を覗きたい」、「地球のことをもっと知りたくなった」、「火星、金星の年齢」、「水はどのようにして

出来たのか？」など地球惑星科学の最先端にも通じる本質的な疑問もあった。

以上の結果から、本授業で開発したシステム、教材は高校生向けの教育環境として十分にその機能を果たし、生徒の興味・関心を喚起する場を提供可能であると言える。

5. 遠隔授業の普及に向けて

遠隔授業は出張講演に要する講師の負担を軽減し、それに変わる新たな教育、啓蒙の場を提供する可能性を持っている。遠隔授業の普及を進めて行くには今後何が必要であろうか？今回の授業から予想される事柄について以下に示す。

1. 簡便な授業システムの開発と普及

今回使用した授業システムはコストを抑えることは出来たものの、既存の機器を利用したために配線が複雑になりスタッフが習熟するまでに時間が必要であった。遠隔授業が気軽に実施できるようになるには簡単に操作できる授業システムを開発し、大学や高校への普及を進める必要がある。

2. 高大連携のさらなる促進

今回の授業は大島からの研究者と教育者による教材の共同開発の呼びかけがなければ実現しなかった。高大双方が理科離れへの危機感を持っていても、こうしたきっかけがなければ具体的な対策は生まれない。研究者と教育者が理科離れ等の問題について話し合う場を増やしていくべきである。そのような場での交流が遠隔授業のきっかけとなりうるだろう。

3. ブロードバンドの普及と大学と高校間IX^{※5}の整備

DVTSで使用する帯域は40Mbps 弱と、現在普及している回線での利用はまだまだ難しく学校間ネットワークのブロードバンド化が待たれる。又、現状ではSINET, SuperSINET等の学術ネットワークと学校ネットワーク間で経路設定に手間がかかってしまうのも問

題である。今回利用したJGNは申請から開通まで約3ヵ月を要した。

4. 授業環境と教育効果の調査

今回の授業では1週目に音声乱了れ授業環境が2週目と大きく異なったが、アンケートではその影響を十分に計測できたとは言いがたい。今後、学校教育として本格的に遠隔授業を取り入れるには、授業環境と生徒の学力の定着度や、興味・関心に与える影響を統計的に調査、分析する必要がある。

我々の先駆的試みが教育、研究公開の新たな方法として普及し、進行しつつある理科離れを防ぐ有効な手段となることを期待したい。尚、今回の遠隔授業の詳細は[10]にて公開されている。

6. 謝辞

以下の組織の方々の協力を頂きました。

岡山県立鴨方高等学校

笠岡放送株式会社

株式会社 ネクステック

株式会社 日立製作所

倉敷芸術科学大学 小林和真研究室

北海道大学情報基盤センター 高井昌彰研究室

北海道大学情報基盤センター

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

林祥介研究室

北海道地域ネットワーク協議会(NORTH)

国立天文台小久保英一郎氏には月形成のCGを提供して頂きました。又、北大地惑での機材および施設の使用にはEPnetFaN(Earth and Planetary science network FaNclub)の協力を頂きました。査読者の方には有益な助言を頂きました。尚、本研究はJGN

※5: 複数のインターネットサービスプロバイダや学術ネットワークを相互に接続するインターネット上の相互接続ポイント

(Japan Gigabit Network)を用いた通信・放送機構との共同研究[JGN-G14022]として行われたものです。

参考文献

- [1]大島修, 2002, 日本惑星科学会誌, Vol.11, No.1
58.
- [2]<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~mosir/>
- [3]国立教育研究所, 1996, 第3回国際数学・理科
教育調査国内中間報告書, p167.
- [4]国立教育政策研究所編, 2001, 第3回 国際数
学・理科教育調査の第2段階調査報告書, p88,
124.
- [5]Agata et al., 地学教育 55 卷3号, 81.
- [6]<http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/index-j.html>
- [7]<http://www.wide.ad.jp/index-j.html>
- [8]<http://www.jgn.tao.go.jp/>
- [9]Miura et al., Computer Visualization Symposium
'98 論文集, 49.
- [10][http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~
mosir/work/2002/kamokata/](http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~mosir/work/2002/kamokata/)