

## 衛星きずなを用いたアジア3カ国間遠隔授業について

筑波大学システム情報工学研究科  
コンピュータサイエンス専攻

高橋伸 久永忠 亀山啓輔 福井幸男 北脇信彦

### 1. はじめに

**昨**今大学における e ラーニングの重要性が増している。筑波大学においても若干遅れ気味であるが e ラーニングの活用が進みつつある。昨年度、我々は、筑波大学における e ラーニングの試みとして、超高速インターネット衛星 WINDS(通称:きずな)を利用してアジアの 3 大学を結んだ遠隔講義実験を行ったので、その概要について報告する。本実験は JAXA、KDDIと筑波大学との共同プロジェクトであり、2008 年度の WINDS 基本実験の一つとして行われたものである。プロジェクトにおける役割分担は基本的に JAXA が衛星回線を利用したネットワークの準備担当で、筑波大学は教室設備の準備および教育に関わる部分の担当である。KDDI は講義配信に用いるビデオ送信ソフトウェアの提供をした。

遠隔講義に参加したのはアジアの 3 大学:タイのアジア工科大学(AIT)、マレーシアのマルチメディア大学(MMU)、筑波大学である。この 3 大学の教室を WINDS の衛星回線を活用したメッシュ型のネットワークでつなぎ、相互にビデオ映像や音声、また講義スライド等を配信しあう環境を構築した。これにより各大学の受講者が議論を自由に行うことができる協調型講義形態の遠隔講義を可能とした。この環境を利用して我々は 2008 年 1 月から 3 月にかけて授業を開講した。

今回の遠隔講義実験の特徴としては、まず WINDS に搭載の ATM 交換機を活用することにより、1 ホップの低遅延で各地点間の映像音声伝送が実現できたことが挙げられる。また、映像や音声も比較的高性能の PC で H.264 によるエンコードを行うことにより十分な品質で伝送することができたことも挙げられる。我々の目的は WINDS によりアジアの 3 拠点を結んで多地点間の双方向リアルタイム通信の遠隔講義が実現可能かつ実用的であることを確認することである。本稿では、今回の試みの概要を述べ、今後の課題および予定について述べる。

### 2. 実験概要

#### 2.1 実験スケジュール

本実験は以下のスケジュールで行った。

表1 実験スケジュール

2008年10月6、7日	衛星確認試験
2009年1月26～1月29日	事前確認
2月9、10日	筑波大配信講義
2月14、15日	3地点確認
2月16、17日	AIT 配信講義
2月23、24日	筑波大配信講義
3月16、17日	MMU 配信講義

実験本番より前の2008年10月に、筑波大学において衛星確認試験を行った。この際には教室のある建物屋上に可搬型VSATを2つ設置して、衛星で折り返し通信をする環境を構築し、実験で利用するビデオ配信システム等の動作確認を行った。

2009年1月からの実験の主な内容は、筑波大学国際総合学類の単位認定を行う講義「国際学特別講義」全10回の8回分を、衛星を用いた遠隔講義で実施することである<sup>1</sup>。このうち2月10日まではマレーシアの衛星地上局の準備が間に合わずタイと筑波の2地点を結んだ講義を実施した。マレーシアの準備遅れはマレーシアにおける電波免許の取得に予想外に時間がかかったためである。2月16日以降の6回は3地点を結んだ講義で各地点からの配信を2回ずつ行った。

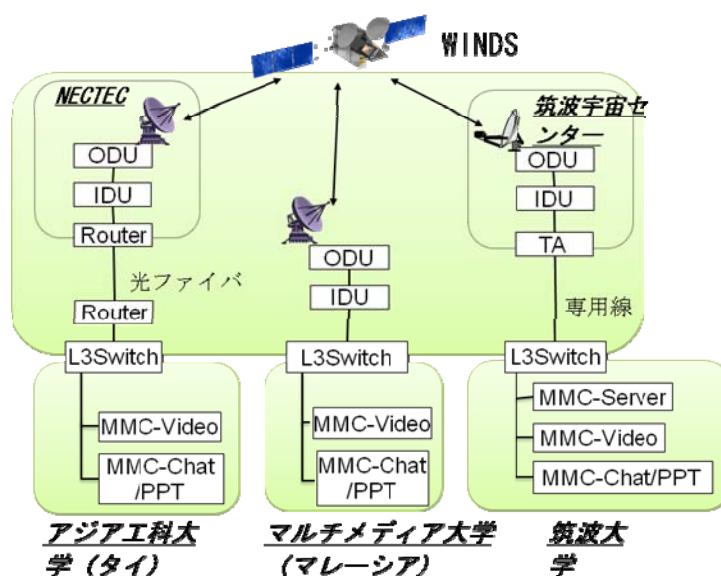


図 1: 配信システムの概要

## 2.2 配信システム

本実験において構築したネットワーク全体の構成図を図1に示す。基本的に地上局は衛星アンテナ、屋外ユニット(ODU)、屋内ユニット(IDU)から構成される。その先は通常のイー

<sup>1</sup> <http://aep.kokusai.tsukuba.ac.jp/jpn/> 参照。

サネットによる LAN となる。

タイでは当初 AIT 学内に地上局を設置する予定であったが、先方の要望でタイ国立電子・コンピュータ技術センター(NECTEC)に移動となった。そのため、NECTEC から AIT の教室までは専用線をつないでいる。筑波大学では実験前半では可搬型 VSAT を教室のある建物の屋上に設置して利用したが(図 2 参照)、後半では JAXA 筑波宇宙センターに設置した HDR-VSAT から筑波大学まで専用線をつないで利用した。各教室には MMC ソフトウェアのビデオ送受信用 PC とスライド(パワーポイント)表示/chat 用 PC を各 1 台ずつ設置した。さらに筑波大においてはスライド同期のためのサーバを 1 台設置した。



図 2: 可搬型 VSAT のアンテナと ODU

図 4、5、6 はそれぞれ筑波大学、アジア工科大学(タイ)、マルチメディア大学(マレーシア)の今回利用した教室の講義中の様子である。配信には KDDI より提供された MMC ソフトウェアを用いた。このソフトウェアにより、3 地点間でビデオ映像と音声相互に中継した。各地点では、ローカルのビデオ映像を含めて、3 地点のビデオ映像を



図 3: MMC-Video の表示画面例

それぞれの地点の環境に応じてプロジェクタや大型ディスプレイ等で表示した(図 3)。その際、講義配信地以外では講演者の映像を大きく表示した。また、使用した教室によっては複数のカメラが用意できたので、講演中には講師に向けたカメラ映像の配信をおこない、学生の質問の際には学生にカメラを向けてその映像に切り替えて配信するようにした。筑波大と MMU では講演者から自然に遠隔地の様子が見えるように教室の後方にも他地点のビデオ映像を表示している。

さらに各教室では各地点のビデオ映像とは別にスライドを表示する画面を設けた。スライドの表示には MMC のスライド同期機能を用いた。スライドのファイル(パワーポイント)は各地点の PC にあらかじめ用意しておく。講義配信地のページ更新情報が衛星通信を介して他地点に送られて、各地点で投影される表示が同期する仕組みになっている。そのためス



ライド表示画像はローカルにスライド上映するのと同じ品質で表示できた。また通信量は極めて少ない。ただし、動画の上映には対応していないので、講義において動画を上映した場合には、その画面にビデオカメラを向けて配信した。

### 2.3 ネットワークの評価

本実験では衛星回線のペイロードレートを約 19Mbps と設定して実験を行った。この速度は衛星/地上局の能力に十分におさまるものであり、LAN 部分を含めたネットワーク全体の iperf での測定においてもパケットロスがほぼ無いことを確認した。ただし、我々が利用した MMC-Video で使用している帯域は数 Mbps 程度であり衛星回線の帯域を使い切っていない。

一方、ping によるラウンドトリップ時間の測定結果によると、ネットワークの遅延は往復で 0.8~1 秒程度であった。実際の通信では、さらにカメラからの映像の取り込みとエンコード、ビデオ転送先での映像のデコード等の時間が追加される。今回試用した MMC-Video では、H.264 をビデオ圧縮に使っていて、高圧縮高品質であるが遅延は多少かかる。このビデオエンコード/デコードを含めた全体でどれだけの遅延が生じるかを実験で測定すると、総遅延時間は 1.5 秒~1.7 秒程度であった。この遅延は会話をする際には、や



図 4: 筑波大の教室風景



図 5: AIT の教室風景



図 6: MMU の教室風景

はり若干気になる長さであった。

また、その他の通常のアプリケーションによる通信テストも行った。まず、web 上に実装されたラーニングマネジメントシステム(LMS)である Moodle を、衛星回線を介して試用してみた。遅延の大きい回線における TCP/IP による通信であるが、結果としては、初回のアクセス時に多少時間がかかるがブラウザのキャッシュが効くためか 2 回目以降のアクセス時にはそれほど問題なく利用することができた。また、遠隔地間 PC の画面共有を行うソフトも利用してみた。このソフトでは画面解像度を上げると画面転送がつまってしまうようで不安定になった。これは TCP/IP での転送速度がやはりあまり高くないためと考えられる。東南アジア各国では地上回線の帯域がそれほど広くないことも多いため、衛星回線をつないだ授業中などにウェブなど通常の通信もできることのメリットは非常に大きい。さらにどの程度利用可能か今後調査したいと考えている。

## 2.4 講義アンケート結果

各回の講義終了後に受講者および講演者にアンケート調査を行った。全体としてはおおむね好意的な印象であったようである。いくつか挙げられた問題点としては、まず、2 月 23 日にはマレーシアの MMU においてスコールが講義時間中に発生し、講義を中断することになった。このことに関するコメントが多数寄せられた。また、画像よりも音声についての改善を望む意見が多い。これは、マイクやスピーカの調整が一般的な環境においても難しいことに加えて、本実験のように複数の遠隔地を結んだ環境ではエコー等の影響がさらに加わり調整が非常に難しくなる。そのため実験前に各教室環境に合わせた調整を入念に行う必要があるが、今回は十分に時間が取れなかったことが原因の一つである。また、筑波大においては十分な品質の機材を揃えることができたので筑波大における品質はかなり高かったが AIT/MMU においては視聴覚設備の品質が不十分であったことも原因と考えられる。しかし、実験を進めるにつれて調整を進めることができたので、後半においては大幅に改善された。

## 3. 考察

### 3.1 スコール

一般に衛星を用いた通信は降雨に弱い。今回の実験期間はマレーシアの雨季にあたり、実験中何度かスコールに遭遇した。スコールでは急激な降雨が発生して衛星の通信ができなくなる。通信中においてこのような通信断が発生すると、再度回線を再接続するまでに時間がかかる。スコール自体は短時間で終わることが多いが全体としては 1-2 時間以上の中断となる。これが講義の途中で起きた場合には講義を続けることが困難となる。バックアップ回線が用意できない場合には、あらかじめ自習教材を用意するなどの対策が必要と思われる。

### 3.2 フィードバックの重要性

講師にとって遠隔地の様子がわかることは重要である。今回の実験初期では音声の調整がうまくできていなかったのであるが、講師にそのことが伝わりにくかった。また、講義は必然的に英語での授業となるが、英語の能力がそれほど高くない学生が多く、音声の品質が悪い状況ではよく聞き取れないという問題があった。そのため遠隔地の学生が取り残される状況が発生した。画像に関しては各地点の映像が見えるので不具合が比較的わかりやすいが、遠隔地の音声の状況はわかりにくい。音声の調整を十分におこなうとともに、遠隔地の学生の反応をわかりやすく伝えて不具合が起きたときにすぐに気づくことができるようにする必要がある。

また、MMC のスライド同期機能では、マウスポインタが同期しないという問題があった。講師がスクリーンを直接指して説明を行う場合もあり、その様子は多くの場合遠隔地ではわかりにくい状況となった。複数の遠隔地を結んだ協調型の講義を実現するためには、単純に映像と音声を配信しあえば良いのではなく、各地点の状況が良く分かるように配慮する必要があると思われる。

### 3.3 その他

今回の実験は東南アジアの二カ国と日本とを結んで授業を行うという試みである。実際に講義を計画する際には、時差の問題や大学の学期の違いなどの問題があった。タイとは 2 時間、マレーシアとは 1 時間の時差しかないが、昼食時間がずれるなどの問題で実際に講義ができる時間が限られる問題があった。また電波免許やアンテナ設置など実験を始める前の海外との折衝や前準備には多大な労力が必要であった。JAXA/KDDI/SED の関係各位の御努力に改めて感謝したい。

## 4. 今後の課題と予定

3 大学を結んだ遠隔講義は 2009 年度も 9 月から筑波大学の 2 学期に相当する時期に週 1 回 2 科目を開講して AIT/MMU へ配信している。また、筑波大では独自の地上局を調達中であり、現在免許などの準備を行っている。この筑波大地上局は来年から稼働する予定である。

遠隔講義の技術的課題としては、まず映像の品質を上げることが挙げられる。今回の実験はビデオの解像度が SD(640x480)であった。AIT や MMU で利用することができる視聴覚機材を考えると妥当であるのだが、衛星回線の帯域を十分に使いきっているとは言えない。ハイビジョンレベルの高精細な映像を配信しあうことでより臨場感を高められる可能性がある。しかし、映像を高圧縮で伝送する場合には遅延が長くなる可能性があるため、慎重に検討する必要がある。

また、JAXA との基本実験としては降雨対策としてビームの出力レベルを積極的に調整

する降雨補償実験を開始している。つい最近の降雨時のデータではそれなりに良い結果が出ているようである。どの程度の降雨まで対応できるか実験で検証していく予定である。  
(本稿は電子情報通信学会衛星通信研究会 2009/7/10 発表を基にしている。)

## 謝辞

本実験は文部科学省特別教育研究経費(連携融合事業)推進プロジェクトとして行われた。本実験を共同で行った JAXA、KDDI および AIT、MMU のプロジェクト関係者一同に感謝する。■