

HD映像による遠隔講義 ライブ中継システムの構築 — 都市大付属塩尻高校への遠隔講義 —

小林 英一 藤井 哲郎

平成 24 年度後期，高大連携の一環として，横浜キャンパスで開講されている環境情報学科大守教授の「マクロ経済学」を都市大付属塩尻高校に遠隔講義として提供することになった。当初，テレビ会議システムのみを用いて遠隔講義を行う予定であったが，実験を行ってみると黒板の文字を読み取ることができず，急遽，対応策を考えて欲しいとの要請を受けた。HD 映像を塩尻高校に送る方法を検討し，HD 映像のライブ中継システムを構築し，大守教授の講義を塩尻高校に高品質な映像で配信することができた。さらに補講・復習用に，インターネット VPN を用いた録画映像ファイル伝送システムを構築し，8 回の補講・復習用録画映像ファイルの伝送も行った。本稿では，塩尻高校用に構築したライブ中継システムと録画映像ファイル配信システムについてその運用も含め報告する。

キーワード：遠隔講義，付属塩尻高校，HD 映像，ライブ中継，インターネット VPN

1 まえがき

高大連携の一環として，附属高校の学生が大学の講義を受講出来る制度が運用されている。今年度より長野県にある東京都市大学附属塩尻高校（以下塩尻高校）の学生も遠隔講義により，このプログラムに加わる事となった。選定された講義は，金曜 5 限に行われる大守教授の「マクロ経済学」である。大守教授が大学生に講義する様子をテレビ会議システムでライブ中継することにより，遠隔講義を実施しようと考えていた。しかし，塩尻高校で用意されていたテレビ会議用システムは SD 画質のため画質が荒く，黒板に書かれた文字及び PowerPoint の文字が読み取れない状況であった。やはり，黒板に書かれた文字を読み取るには，HD 映像の品質（1920×1080 画素）が必要である。

大守教授が講義を行う場所は，32A と呼ばれる一般講義用の部屋であり，他の講義でも使用されている。その為，配信システムを常設できない環境でもあった。講義の度に簡単に設置できる簡易型で，短時間で配信環境を構築でき，高品質な HD 映像をライブ中継できる遠隔講義システムが必要となった。

大学の講義は 14 回あるが，塩尻高校では高校の事情によりライブ中継による遠隔講義を受けられないことが

何回か発生した。また，大学生用の講義であるため，高校生には少し難しい内容かもしれないと考えた塩尻高校側は，復習ができる環境も整えたいと考えた。そのため，補講・復習用に講義を撮影した映像を Blu-ray Disc に焼き付けて提供をして欲しいと要望してきた。

しかし，Blu-ray Disc は制作に大幅な時間がかかると共に，塩尻高校に提供するにも郵送でしか送れない。それに対し，補講・復習する日程は事前に決まっている。その日時までに編集を完了し，Blu-ray Disc に焼き付け，発送を完了しなければならない。これは制作側にとって，非常に負担が大きく，大変な作業である。このような問題を解決するために，録画映像を Blu-ray Disc ではなく録画映像ファイルで提供すること。さらに，郵送ではなくインターネット VPN を使い，塩尻高校に電子的に送る方式を高校側に提案した。これを実現する為に，映像録画ファイルのインターネット配信環境の構築も必要となった。本稿では，HD 映像生中継システム及び VPN を用いた映像ファイル配信システムを構築し，実際に運用した結果を報告する。

2 ネットワーク環境

映像の送り側は東京都市大学横浜キャンパスとなり，受け側が塩尻高校となる。東京都市大学は，文部科学省が提供する学術情報ネットワークである SINET (Science Information Network) を介してインターネットに接続されている。これに対し，塩尻高校は，塩尻市が提供する塩尻インターネットに接続されている。この

KOBAYASHI Hidekazu
東京都市大学環境情報学部情報メディア学科2012年度卒業生
FUJII Tetsuro
東京都市大学メディア情報学部情報システム学科教授

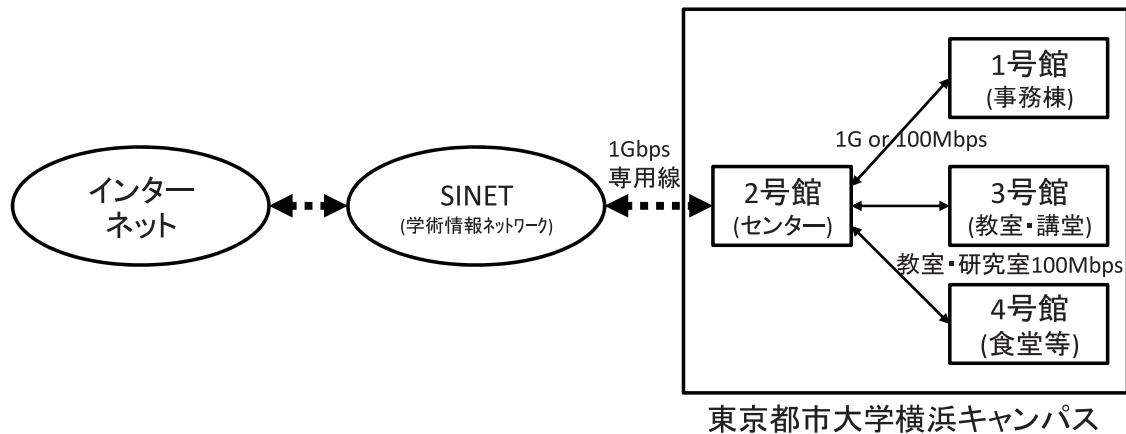


図1 東京都市大学横浜キャンパスのインターネットへの接続形態

インターネット接続環境を活用して、横浜キャンパスから塩尻高校へのライブ中継及び映像録画ファイルの伝送を行う。両キャンパスのインターネットへの接続形態を以下に述べる。

【横浜キャンパス】

横浜キャンパスの学内ネットワークは図1に示す様に構成されている。2号館にCiscoのルーターが設置され、スター状にネットワークが構成されている。キャンパス内では、基本的に演習室などの特別な部屋を除いて、100Mbpsのイーサネットが利用可能となっている。2003年度の本学卒業研究として、花澤^[1]が横浜キャンパス内各教室で通信速度を測定し、有線LANであれば25Mbpsのストリーム配信が可能であることを検証している。本稿では、H.264/AVCHD等の高能率符号化方式を用いた遠隔講義のライブ中継を考えており、12Mbpsが安定して通れば問題無い。従って、キャンパス内は、どの教室からも外部にIPを用いたライブ中継が可能といえる。

近年、本学のネットワークを利用した学外への不正アクセスを阻止するため、学内からインターネットを利用する全ての通信に関し認証が必要となった。DHCPクライアントの機器から学外ネットワークを利用する際にはウェブブラウザでの認証が必要となる。ただし、固定IPアドレス申請を行い、固定IPアドレスを設定している機器であれば認証無しで接続できる。この為、キャンパス外への映像伝送を行う為には、映像伝送システム用に固定IPアドレスを事前に取得しておく必要がある。

【塩尻高校】

塩尻高校のネットワークは、塩尻インターネットと言われる市の行政サービスの一環で提供されているネットワークに接続されている。このネットワークへの塩尻高校のアクセスラインの通信速度は100Mbpsである。以

下に塩尻高校のネットワーク情報を示す。

- ・IP アドレス：203.141.200.0/28
- ・ネットワーク名： SHINSHU-THS
- ・上位組織：塩尻インターネット（塩尻市役所）

前述の塩尻高校のTV会議用システムは、4（=32-28）ビットで割り当てられるアドレス空間内に設定され、利用されている。なお、塩尻高校内の高校生が利用する内部ネットワークとは、ファイアウォールであるProxyサーバーを介して接続されている。ダイレクトにポート番号を指定した外部との通信は許可されていない。この為、遠隔講義ライブ中継の受信側装置も、TV会議と同様に、ファイアウォールの外に接続する必要がある。

3 遠隔講義のライブ中継システム構築

3.1 インターネット映像ライブ配信方式について

インターネットを用いたHD映像のライブ配信を行う手法として、次の3種類が広く知られている。一般的には、これらの方式の中から、予算或いは要求条件にあわせて選定することになる。

【専用映像伝送装置】

HD映像をIPネットワークで伝送する為の専用装置。最新の方式ではH.264/MPEG-4 AVCを用いた高能率符号化方式を採用している。伝送レートは5~12Mbpsで伝送可能である。NEL社のHVD9100/HVE9100等が知られている。宝塚歌劇のインターネット用いた伝送実験などでも用いられている^[2]。但し、高額な為導入障壁が高い。

【カムコーダを利用した方式】

HDVカムコーダを利用したHD映像伝送方式。慶応大学SFC研究所で開発されたdvtsと呼ばれるソフトウェアと組み合わせて用いる方式が有名^[3]。HDVカメラ

からの IEEE1394 出力を IP パケットでカプセル化し、インターネットを介して映像を伝送する。HDV カムの符号化機能を利用して、綺麗な映像が伝送できる。但し、伝送レートが通常のインターネット回線を用いるには 25Mbps と少し高い。

【ソフトウェアベースの方式】

Ustream、ニコニコ生放送などの生中継用の映像伝送に用いられている方式。Ustream では、Adobe 社の Flash Media Live Encoder と呼ばれるソフトウェアを用いて映像の符号化を行い、ライブ配信を行う [4]。この他に、Windows Media Encoder を用いたライブ中継も可能である。藤井研究室でも、2012 年 1 月に青山貞一教授の最終講義を HD 映像で Ustream を用いて配信した [1]。但し、ソフトウェアで HD 映像のエンコードを行う為に、高性能なパソコン一式を送信現場に持ち込む必要がある。また、パソコンを用いているため、立ち上げ・設定にそれなりの時間がかかってしまう。

3. 2 映像配信機器の選定

相談を受けた 2012 年 9 月上旬、NTT からの受託研究実施の為に、上述の映像伝送装置 HVD9100/HVE9100 を研究室に設置していた。この装置であれば、講義室に持ち込み、短時間でセットアップ可能であり、電源オンで配信が開始できる。そこで、この CODEC と同様に簡単に設置ができるという観点から様々な映像伝送装置を検討した。

その結果、家庭で録画したテレビ映像をインターネット経由で出張先等にて視聴するための装置が数種類開発されており、この装置が映像のライブ中継にも利用できることが判明した。しかも、簡単な設置・オペレーションで利用できる。その代表格が Sling Media 社の Slingbox Pro-HD という装置である。H.264 方式で映像をエンコードし、IP パケットとして送信する機能を有している。HD 映像を約 8Mbps までの伝送レートで送信することができ、非常に高品質かつ低価格との売り込みである。アメリカのベンチャー企業が開発した装置である。

どの程度の HD 映像がインターネット経由で伝送可能なのか評価する為、評価実験を行った。横浜キャンパスの藤井研究室から、両筆者の自宅にテレビ放送をこの装置で転送し、自宅のパソコンでその映像を受信した。約 7Mbps のビットレートで、非常に綺麗な映像が受信できた。但し、夜になるとインターネット回線が混雑して、伝送可能なビットレートが下がり、画質が劣化することも確認できた。ビジネス回線でインターネットに接続している塩尻高校では、常時、高品質な映像を視聴できると考えられる。この実験の結果、Slingbox Pro-HD を映

像伝送装置として選定した。

なお、Slingbox Pro-HD の良いところは、受信側の装置として、一般的な PC で大丈夫というところである。セットボックス型の受信機も用意されており、選択の幅が広い。今回、塩尻高校では、Windows XP の PC をプロジェクタに接続して遠隔講義を行いたいとの希望であった。これに沿う構成が簡単に実現できる。

3. 3 遠隔講義ライブ中継システムの構築

遠隔講義が開講される講義室は 3 号館 32A 教室である。この教室から、塩尻高校に HD 映像でライブ中継を行う。講義の撮影に使用するカメラとして、SONY NEXCAM HXR-NX5J を用いた。教室などの暗部の撮影において低ノイズで撮影でき、1920×1080 60i の HD ファイル記録が可能である。このカメラで撮影した講義映像を Slingbox PRO-HD にコンポーネント信号で入力し、インターネットを介して塩尻高校に映像を伝送する。

Slingbox PRO-HD をインターネットに接続するために、富士通製ルーター Si-R180B を用いる。トラフィックシェーピング機能を有しており、教室のネットワークが混雑していた場合にレート制御を実現できる。このル

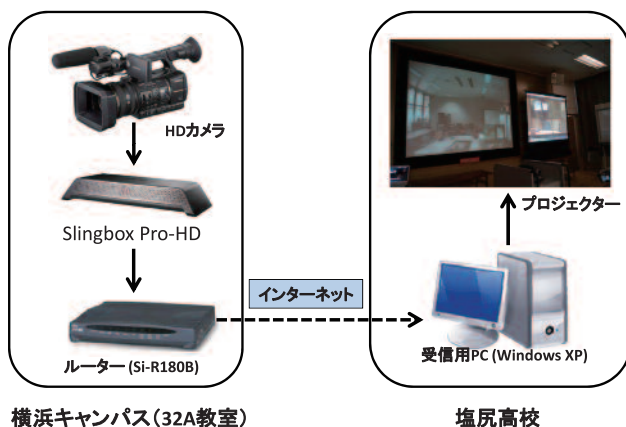


図2 遠隔講義の様子



図3 講義室32Aに設置されたHD映像配信システム

ーターに固定 IP アドレスを割り付け、認証無しでの学外へアクセスを可能とする。また、DHCP サーバー機能により Slingbox に IP アドレスを割つける。これにより、Slingbox PRO-HD に固定 IP アドレスを割り付ける必要がなくなる。

以上の装置を図 2 に示す様に接続し、遠隔講義ライブ中継システムを構築する。遠隔講義ライブ中継システムの送信側装置は、講義の度に装置一式を 32A 教室に持ち込み設営を行う。設営場所は、教室の最後列中央である。設営の様子を図 3 に示す。高品質な音声を得る為に、ワイヤレスマイクを直接受信する装置が接続されている。

映像の受信は、塩尻高校に備え付けのパソコンを利用する。その仕様は、Core2 Duo E7400、OS が Windows XP Pro である。これに専用の Slingbox 受信ソフトを組み込み、HD 映像を映し出す。塩尻高校において、HD 映像が大型スクリーンに映し出されている様子を図 4 に示す。

遠隔講義のライブ中継の実験を行ったところ、平均 7Mbps で HD 映像を問題なく配信することが出来た。HD 品質の講義映像により、PowerPoint や黒板の文字をきれいに塩尻高校側のスクリーンに映し出すことがで



図4 塩尻高校における遠隔講義受講の様子。正面のスクリーンにHD映像が映し出されている。

表1 ライブ中継を行った遠隔講義

日程	授業計画
9月28日	第1回
10月5日	第2回
10月12日	第3回
10月19日	第4回
10月26日	第5回
11月2日	第6回
12月7日	第10回
1月8日	第14回

き、塩尻高校の学生に十分に満足してもらえることができた。表 1 に示す様に、14 回の講義のうち 8 回をライブ中継により遠隔講義を行なった。なお、質疑応答の双方向通信の為に、従来の TV 会議システムも同時に用いて遠隔講義を行っている。

4 録画映像ファイルの VPN による配信

4.1 録画映像ファイルの提供

塩尻高校の都合により、金曜日 5 限の講義を学生が受講できない事態が複数回発生した。後日、補講を実施するため、講義の録画映像が必要になる。また、復習の為に、全ての講義の録画映像の提供も求められた。このような用途に適う為には、再生時に黒板の文字が十分読み取れる解像度が必要である。また同時に、塩尻高校に備え付けの Windows XP 環境で録画映像ファイルを取り扱えることも重要である。このような観点から、録画映像ファイルの形式の選定を行った。

上記の条件を満たす映像ファイルの形式として、撮影・編集した講義映像を 1920×1080 の画素のフル HD 映像で扱え、Windows XP でも簡単に取り扱える Windows Media Video 11 (*.wmv) 形式を選択した。Adobe 社の QuickTime や AVCHD 形式では Windows XP での取り扱いに困難を伴うことが判明したからである。また、Windows Media Video 11 形式を藤井研究室にある SONY 製編集ソフトである Vegas Pro 11 が簡単にレンダリングできることもその理由の一つである。

この形式の録画映像ファイルを塩尻高校に提供するにあたり、最初は USB メモリにファイルコピーし、郵送した。しかし、郵送では当然輸送に時間がかかる。その為、編集作業を行った後に、補講授業の予定日までに迅速かつ確実に塩尻高校に届けるのは提供側に大きな負担となった。どんなに急いでも、講義終了後 2~3 日かかってしまう。間に、土日が入るとさらに日程がかかってしまう。生憎、大守先生の講義は金曜 5 限であり、時間的な余裕が殆ど無い状態であった。

最初の対策として、Slingbox PRO-HD を用いて研究室から録画映像を塩尻高校にストリーミング配信を試みた。確かに、郵送にかかる時間が無くなり、HD 画質で補講を実施できたが、塩尻高校が補講授業を行う時間に、研究室に操作者が待機しておく必要がある。さらなる効率化を求め、研究室と塩尻高校を直接ネットワーク接続し、瞬時に講義映像ファイルを配信できる環境を構築する必要があることが解った。

4.2 インターネット VPN の構成

インターネットを介して、LAN 同士をつなぐ手法として VPN (Virtual Private Network) 接続がある。高価な専用線を用いることなく、ネットワーク同士を接続す

ることが可能であり、最近広く使われ始めている。また、暗号化を行う IPsec 機能を利用することにより、セキュリティの高い接続が実現できることも特徴である。

ここで問題となるのは、どのような形態で塩尻高校の先生にファイルを渡せばよいかである。塩尻高校の職員の方でも問題なく取り扱えることを念頭に模索し、USB メモリを用いる方式にたどり着いた。塩尻に USB サーバーなる小さな箱型の装置を設置し、この USB サーバーにセットされた USB メモリに横浜キャンパスからインターネット VPN 経由で直接書き込むというものである。編集済みの映像は約 5GByte の映像ファイルである。USB メモリなので、単純にパソコンに差し替えれば動画が再生できる。

VPN ルーターとして、暗号化によりセキュリティを確保する「IPsec 機能」を持っている富士通 Si-R180 を用いた。インタフェース速度は、LAN 側及び WAN 側ともに 100Mbps である。このルーターを藤井研究室と塩尻高校に対向で設置する。USB デバイスサーバーとして、BUFFALO 製 LDV-2UH を使用した。この USB サーバーは、サブネットマスクを超える通信が可能なのである。

VPN によるネットワーク接続の構成を図 5 に示す。研究室に設置するルーターの LAN0 には固定 IP アドレス

である 133.78.124.24 を用い、LAN1 にはプライベートアドレスである 192.168.105.1 を用いた。さらに、研究室のルーターに接続したパソコンには LDV-2UH を認識させるためのソフトをインストールする。

塩尻高校に設置する LAN0 には塩尻側のグローバルアドレスである 203.141.200.9 を設定し、LAN1 にはプライベートアドレスである 192.168.106.1 を用いた。またこのルーターには DHCP サーバー機能が備わっており、この機能を利用して LDV-2UH を接続する。そして、LDV-2UH に USB メモリを接続しておくことにより、研究室から映像ファイルを伝送できるようにした。また、USB メモリの挿し忘れや不具合があった時のために予備の USB メモリを余分に接続しておく。塩尻高校に設置した VPN ルーターと USB サーバーの様子を図 6 に示す。

4. 3 インターネット VPN による配信

講義を録画したままの映像ファイルでは、音声レベルが不適切な場合や、冗長な部分が有るため、全ての講義において映像編集を行った。塩尻高校への提供用の録画映像ファイルを作成するため、Adobe Premiere Pro CS5 を使用し映像編集を行った。また、映像編集を行う時、復習で使用するものと、補講で使用する場合とで、作成した映像ファイルは異なる。ライブ中継を行い復習用で使用する映像ファイルは、スクリーンに映し出された PowerPoint だけを撮影したものだけだが、補講用では PowerPoint だけでなく、大守教授を撮影した映像をも使用して編集を行っている。この Adobe Premiere Pro CS5 で編集したファイルをさらに Vegas Pro 11 で Windows Media Video 11 に変換している。

今回構築した環境を使い、実際に講義録画映像ファイルのインターネット VPN を用いた配信を行なった。1 時間半の講義の映像は約 5GB の Windows Media

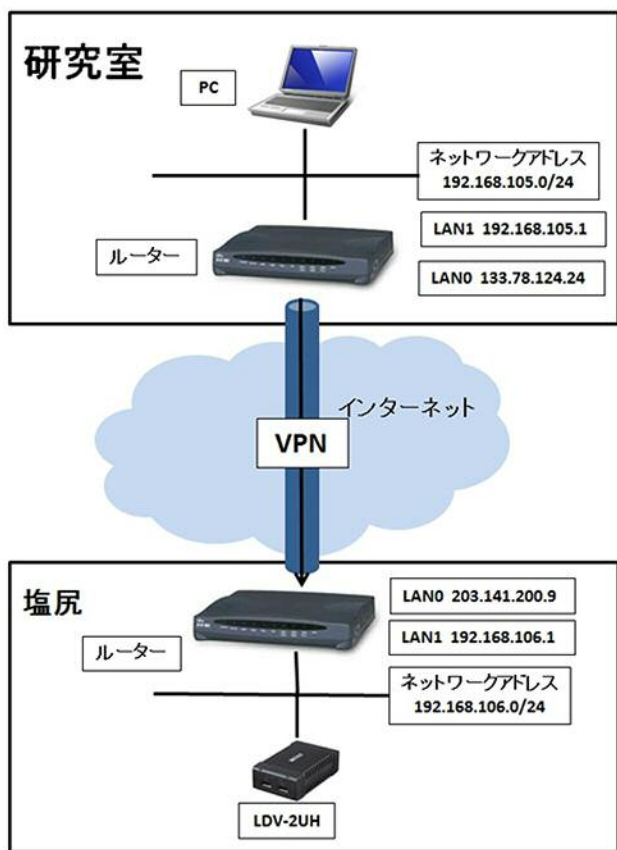


図5 インターネットVPNによる接続



図6 塩尻高校に設置されたVPNルータ（右）とUSBサーバー（左）。USBサーバーにはUSBメモリが刺さっている。

表2 録画ファイルの配信

授業計画	ファイル容量	配信時間	補講実施日
第7回	4.25GByte	1時間52分	(復習用)
第8回	4.70GByte	1時間51分	(復習用)
第9回	4.61GByte	2時間14分	12月4日
第10回	4.29GByte	2時間6分	(復習用)
第11回	5.07GByte	2時間34分	12月18日
第12回	4.90GByte	1時間59分	12月25日
第13回	5.00GByte	1時間49分	1月15日
第14回	5.15GByte	2時間0分	(復習用)

Video 11 形式の映像ファイルとなり、これを伝送した。ファイル転送に約2時間を要した。塩尻高校と横浜キャンパス間の RTT は計測すると 14msec であり、この遅延により実効転送レートが大幅に制約されていると推定される。補講・復習用に、合計8回の講義ファイル伝送を行なった。表2に各回の伝送時間を示す。最初の6回はUSBメモリとブルーレイで4日以上の日時をかけて塩尻に郵送で届いていたが、後半の8回は、インターネットVPNによるファイル伝送で、次週の月曜日には塩尻に確実に送り届けることができた。

5 まとめ

平成24年度後期、大森教授の「マクロ経済学」を高大連携の一環として高品質なHD映像でライブ中継により塩尻高校に提供できた。これにより、塩尻側では黒板の文字が明瞭に読み取れ、問題無く遠隔講義を受けることができた。さらに、横浜キャンパスと塩尻高校をインターネットVPN接続することにより、郵送ではなく、電子的に講義の録画映像ファイルを提供することを可能とした。今後課題として、映像ファイルの配信時間を短縮することが残されている。

参考文献

- [1] 花澤弘樹 「学内ネットワークを用いたHD映像ライブストリーミングの検討」東京都市大学2011年度卒業論文
- [2] 藤井竜也, 藤井哲郎, 小野定康, 白川千洋, 白井大介 「デジタルシネマ劇場へのライブ配信(ODS)技術」電子情報通信学会, 基礎境界ソサイエティ Fundamentals Review, Vol.5, No.1, pp.80-89, 2011年7月
- [3] DVTS コンソーシアム, 慶応義塾大学 SFC 研究所, <http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/ja/consortium/dvts.html>
- [4] Ustream, <http://www.ustream.tv/>