

377.5

K-11-2

2-12

マルチメディア通信の教育利用に関する研究



九州工業大学附属図書館



10276772

前田香織

目次

1	はじめに	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の目的	7
1.3	本論文の構成	9
2	マルチメディア通信のための遠隔教育環境	13
2.1	マルチキャスト技術	13
2.1.1	IP マルチキャスト	14
2.1.2	高信頼マルチキャストトランスポートプロトコル	15
2.2	Mbone	18
2.2.1	概要	18
2.2.2	Mbone 用ツール	19
2.3	遠隔講義実験	21
2.3.1	実験概要	22
2.3.2	実験結果	26
2.3.3	評価	31
2.3.3.1	ネットワークの回線帯域	31
2.3.3.2	遠隔講義の効果	32
2.3.3.3	教材提示ツール	32
2.3.3.4	講師側環境の評価	33
2.4	比較実験	33
2.4.1	受講者タイプ, 受講形態による差	34
2.4.2	衛星回線の場合との比較	36
2.4.3	対面講義と遠隔講義との比較	39
2.5	まとめ	45
3	遠隔映像のフィードバックに関する考察	55
3.1	WWWブラウザによる遠隔カメラ制御	56
3.1.1	ツールの概要	56
3.1.2	評価	58
3.2	遠隔操作における遅延	58
3.3	ジョイスティックによる遠隔カメラ制御	59

3.3.1	ツールの概要	59
3.3.1.1	照準の表示	61
3.3.1.2	カメラ位置の調整	62
3.4	まとめ	63
4	マルチメディア教材提示システム	65
4.1	デジタル教材の需要	65
4.2	システム設計の背景	65
4.3	システムの目的と基本概念	67
4.4	プロトタイプシステム World Wide Whiteboard(WWWb)	67
4.4.1	システム概要	67
4.4.2	キャプチャ部	68
4.4.3	表示部	71
4.5	プロトタイプシステムの評価	75
4.5.1	キャプチャ部の処理	75
4.5.2	データ転送	76
4.5.3	表示処理	77
4.6	まとめ	77
5	仮想現実の教育利用	81
5.1	仮想教室	81
5.2	教育効果を高めるための条件	83
5.3	仮想教室実現のための要素技術	84
5.3.1	連続メディア処理	84
5.3.2	QoS(Quality of Service)	85
5.4	仮想教室の実現例 -3次元仮想美術館-	85
5.4.1	設計方針	86
5.4.2	仮想美術館の機能	87
5.4.3	機能実現の技術的問題と解決方法	90
5.4.4	仮想美術館のプロトタイプ	91
5.5	まとめ	92
6	マルチメディア・ネットワークリテラシー	93
6.1	コンピュータリテラシーの分類	94
6.2	スタンドアロンリテラシー	98
6.3	ネットワークリテラシー	99
6.4	マルチメディアリテラシー	102
6.5	マルチメディア・ネットワークリテラシー	103
6.6	リテラシー教育環境	105
6.7	まとめ	105
7	おわりに	107

7.1 本研究の成果と適用限界	108
7.2 今後の課題と展望	111
謝辞	115
参考文献	117

1 章

はじめに

1.1 本研究の背景

インターネットはまさに爆発的勢いで成長し続けている。インターネットの始まりは実験・開発用ネットワークとして始まった ARPANET[Hinden83], CSNET[Comers83], USENET[Emerson83] などに代表されるように 1970 年代と言えよう。その後、日本国内でも 1984 年に JUNET[Murai85] の構築が開始された。これらのインターネットの原型はより広範囲に、より多様な分野で、より幅広い利用者層による利用への期待を満たすべく成長を続け、全世界規模のネットワークへと広がってきた。研究者の道具であったコンピュータやネットワークが今や、日常的通信手段として生活の中に浸透しつつあり、この 20 年間のインターネットの普及はコミュニケーションにおける革命といっても過言ではない。

既に教育、ビジネスにおいてもインターネットを利用した新しい応用が始まっている。ここでは、インターネットの教育利用に関して概観してみる。インターネットの普及は従来の指導形態に大きな影響を与えた。教育は従来、教育の場として教室を中心に、教材は指導者(教師)を中心に用意、提供されることが多く、その利用範囲は限定せざるを得ない状況だったと言える。しかし、インターネットによりこの概念は大きく変化した。特に、教育の場をできるだけ広げようとする姿勢の教育者にとってインターネットの利用は様々な可能性を秘めていると考えられた。教育材料を全世界から享受できる環境を学習者に与え

ただけでなく、教育者、学習者の場所や時間などによって制約されていた教育の機会を広げることも可能とした。特に、WWW (World Wide Web) の爆発的普及はその大きなトリガとなった [Ibrahim94]。WWW ではテキストベースの情報だけでなく、音声、動画まで利用できる他、リアルタイムな通信も利用可能で、広い意味での遠隔教育システムと言えよう。WWW を利用することによって、世界中を教材空間と考えることもでき、教育の場の範囲が飛躍的に拡大しつつある。しかし、現実にはインターネットの広帯域利用は深刻な問題である。インターネットのトラフィックや情報提供サーバの負荷の増大は著しく [Wakeman92][Claffy94][Arlitt97]、経由する複数のネットワークの他、サーバの性能などが常に安定、快適な状態で利用することは困難である。

一方、ネットワーク高速化のための技術研究・開発により、データ伝送能力はここ10年間に毎秒数メガビットから数テラビットが利用可能となっている。例えば、WDM (Wavelength division multiplexing: 波長分割多重) 技術 [Oda98] により、1本の光ファイバの通信容量を従来の数百倍に拡大することも可能となっている。さらに、データリンクだけでなく、その接続点となるルータの処理性能もスイッチング処理を導入することなどで飛躍的に向上している [Newman98][Craig98]。また、国内外の大きな教育機関のネットワーク基盤整備も急速に進み、通信速度も高速化の一途をたどっている。これにより、全世界における、広帯域、大容量伝送を要するマルチメディア通信の実用化が十分期待される。ここでは「マルチメディア通信」をデジタルマルチメディア情報の通信と定義し、以降でもその意味で使用するものとする。マルチメディア通信においては、映像や音声を用いる際にリアルタイム性を要求するアプリケーションがほとんどであり、通信網の高速性だけでなく、その品質が問題になってくる。そのため通信品質 (QoS: Quality of Service) を保証するための研究も進んでいる。

こうしたマルチメディア通信の利用が進む中、WWW の利用とともに研究が進んでいるのが遠隔教育への利用と言える。時間や空間の制限を克服することを目指す遠隔教育は既に試みや実践教育として始まっている。遠隔地間の放送・通信媒体もいくつかの種類が用いられている。古くはアナログのテレビ放送網

の教育番組の利用もその一種と言える。日本では普及が十分でないが、米国などでは CATV(Cable Television) が遠隔教育に利用される例は多い [Minoli96]. CATV 網内のサービスとして利用したり、近年はインターネットとの接続もされているが、CATV 局側から利用者端末向きの下り伝送周波数帯域とその逆の上りの差が大きいのが一般的で、映像は講師側から受講者側に一方向、音声は一方向もしくは双方向というケースが多い。CATV と衛星回線を組み合わせて教育プログラムを配信している例もある [KTV]. 専用衛星回線を用いた例としては、日本国内では大学間 VSAT を用いたスペースコラボレーションシステム (SCS: Space Collaboration System)[Kondo96a] が代表的であるが、VSAT を用いて大学内の分散地点間の講義に利用した例として [Shimizu96] などがある。海外では [NTU] が大学院大学として修士の学位を授与する教育プログラムを実施している。衛星回線の場合は、広範囲な場所をカバーすることができるが、通信遅延が他の回線より大きい。ATM (Asynchronous Transfer Mode) 回線網を利用した例も多く出ている [Otsuki96][Jung97][Wakahara98]. その他低速回線でも双方向での遠隔教育の試みが、ISDN 網を用いたり [DeMonner97], 移動体通信 PHS(Personal Handy phone System) を用いて [Keio] 試みられている。

遠隔教育の実施形態は、様々な観点から分類することができる。図 1-1 は受講者や講師の分散度、学習形態の観点からどのような型の遠隔教育があるかをまとめたものである。受講者の分散度を表す軸は原点から離れるほど同時に受講する受講地点が分散していることを表す。同様に講師の分散軸は原点から離れるほど、講義をする講師の場所が多地点に分散していること (同時に複数地点で複数の講師が教えるような場合) を表す。ここで、講師は必ずしも実在する人間ではなく、VOD(Video on Demand) などの教材システムである場合も含む。学習の同期性の軸は原点は受講者が単独で自分のペースで学習する場合を表し、そこから離れるにつれ受講者が一斉に学習する割合が高くなることを表すとす。すなわち、原点から離れると通常の授業のように一斉で受講するスタイルとなる。例えば、放送大学は図 1-1 では q 点に近く、r 点は [Harris96] や [Nakabayashi95] のような WWW や VOD のシステムによる教育に相当する。u

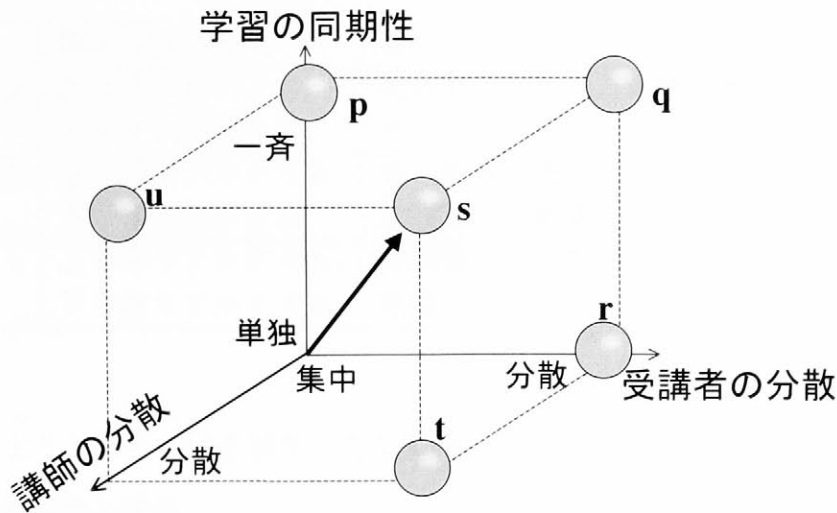


図 1-1. 遠隔教育の形態の分類
Figure 1-1 Taxonomy of distance learning styles

点は教室に集合した受講者が設置してあるいくつかのモニターに映る複数の講師の議論(討論)などを見ながら学習するようなケースが想定される。t点では講師、受講者ともに点在し、受講者のペースで目的に応じて複数のVODや講師とやりとりしながら学習する形態が想定される。s点は、複数受講者、複数講師が分散した場所において、かつ、一斉学習を実施する形態を表す。s点に近づくほど(分散数が増え、一斉学習に近づくほど)、ネットワーク環境に関しては帯域、サービス品質に対して、また、映像、音声用の設備への対する要求度が高くなり、要求を満たすための技術水準も高くなる。例えば、分散遠隔地間で一斉受講する場合はマルチキャスト技術を使用しないと、ネットワークトラフィックの問題で広域のネットワークを使用することは困難となるし、講師不在の個別学習の場合は、高機能なVOD(Video on Demand)システムなどが必要となる。

一方、受講者、講師間のマルチメディア通信の方向性やリアルタイム性の要素で遠隔教育を分類してみると、表1-1のようにまとめることができる。ここで、「下り」は講師、または、教材ソースの提供側から学習者方向への情報伝達

表 1-1. 情報流通方向とリアルタイム性に関する分類

Table 1-1 Taxonomy of information direction and its real-time function

	情報の流通方向	例
a	上りリアルタイム, 下りリアルタイム	双方向リアルタイム遠隔講義システム
b	上り非リアルタイム, 下りリアルタイム	地上放送, 衛星放送, CATV 等を利用した教育システム
c	上り非リアルタイム, 下り非リアルタイム	WWW や VOD 等を利用した自習システム

を示し,「上り」はその逆を示す. ここで表 1-1 の a を遠隔教育と区別してこの形態を遠隔講義と呼ぶ.

a の実施例としては衛星回線 [Shimizu96] や ATM 網 [Wakahara98] などの専用網が使用される場合と, インターネットが利用される場合がある. 上述のように, インターネットは安定性の面で問題を抱えているのに比べて, 専用線ではその問題は生じない. しかし, 衛星の場合の多くはテレビ映像 (NTSC) のみによる情報伝送で, 教材提示の解像度が十分ではない. このような問題を解決するため, 教材提示の解像度に留意した専用遠隔講義専用システムの開発も行われている. しかし, 高価な機器類や高速通信回線を必要とするため利用が限定される. しかも, 高機能であるために機器の操作が困難であったり, 使用に関するルールが複雑で, 気軽に利用できないケースが多々ある. これに対し, パーソナルコンピュータ (以下, PC) を用いた比較的安価な遠隔講義システムとして PHS を用いた双方授業 [Keio] の試みもあるが, この場合通信回線帯域の制約から映像が著しく不鮮明で, 教材の描画に要する時間が大きく, 現状では講義に利用することは困難と思われる.

本研究では講師が 1 人で受講者から離れた遠隔地にいる場合 (図 1-1 の p-q 線上) で, さらによりマルチメディア通信を採り入れた上り, 下りリアルタイムに情報通信できる遠隔講義に焦点をあてて研究を進める. この形態を対象としたのは従来の対面講義のスタイルに近いことを意識しているためである. 従来, 講師と受講者が向き合って講義を実施してきた. その形態において, 講師は学

習者に対して、より教育効果が高くなる教育方法を追求してきた。研究対象とする講義形態は、従来の講義スタイルが生かされた環境で、講師、受講生とも自然に受け入れやすい。しかも、従来の経験を生かせる一斉講義による教育において、距離の制約を取り除いた効果的な教育環境を構築する方法を明らかにすることの意義は大きい。

対象とする遠隔講義を実施する際に以下のような点が検討課題となる。

- 多人数受講者の音声，映像設備の確保
- 遅延のないリアルタイムな音声，映像の送受
- 多人数受講者への鮮明な音声，映像，教材配信
- 鮮明な教材提示
- 全受講者と講師間の教材共有
- 講師の遠隔講義用教材の準備
- 講師が多人数受講者の様子を把握する方法
- 遠隔講義に効果的な講義方法

これらの課題のうち、一般的に遠隔講義システムの検討においては、高品質な映像や音声の送受、またそのリアルタイム性を確保することに主眼がおかれ、広帯域回線を用いた高価、高性能な音声、映像装置を使用する専用システムが開発される傾向にある。音声、映像の品質を中心に検討されている例として [Kimura97] や [Kondo96b] がある。しかし、現実にはどの程度の回線帯域を必要としているのかについては言及していない。どの位の帯域を確保したら、どのような方法でどのような受講者を対象に遠隔講義が実施できるのかを明らかにすることは現実的な遠隔講義システムの構築を検討する際、有用な情報として提供でき、意義がある。また、多くの遠隔講義システムでは受講者の様子を自由に講師が観察できるようなしくみについて考慮されていないが、通常の講

義に近付けるためには必要な検討課題と言える。このための実現方法を検討することは、通常の講義の質を保つために有効である。さらに、整備された遠隔講義システムを使用すれば、通常の講義と同じように講義に臨めるという意識があるが、実際に遠隔講義を実施する際には、通常の講義と同じ教材を用意するだけでは十分と言えない。遠隔講義の特徴を生かすためにはマルチメディア通信を効率的に使用するため、オンライン教材が重要となってくる。しかし、遠隔講義システムの教材提示ツールに要求される特別な形式のオンライン教材作成は、講師にとって準備の負荷が高い。オンライン教材の重要性、また、そのための講師準備負荷の軽減について検討することは、マルチメディア通信を効果的に使用した遠隔講義の普及に寄与できると言える。

1.2 本研究の目的

本論文では、インターネットが教育空間を全世界的規模に広げることができたことを重要視し、できるだけ広域ネットワークを想定した遠隔講義の実践可能性を検討していく。現在でも、十分な帯域を確保できるなら、IP(Internet Protocol)ネットワークの技術はマルチメディアに対応可能である。しかし、現実にはインターネットを用いたマルチメディア通信はその帯域幅のコスト的制約を抱えている。コストの制約がある以上、帯域圧縮や輻輳制御、アプリケーションの工夫は不可欠である。また、全世界的にネットワークを使用しているため、使用者相互のネットワーク利用に対する認識の調整をとっていく必要がある。そのためには、利用者のネットワーク利用に関するリテラシー教育は必須と言える。そこで本研究では次の3つを研究の目的とする。

(1) 遠隔講義環境に関する検討

高速、広域ネットワークを想定した教育において、実践的に遠隔講義を行うことにより、効果的な教育利用に必要なネットワークの技術的問題を明らかにし、遠隔講義を実施する環境を構築する際に検討すべき点を整理することを主たる目的とし、今後のインタラクティブマルチメディア通信を

用いた遠隔教育に必要な環境について、音声や映像の品質だけでなく、教材提示や遠隔機器の操作などの支援環境も含めて考察することを目的とする。そのために遠隔講義実験を繰り返し、必要なツールの設計、開発も行う。遠隔講義は音声や映像の品質が確保され、十分な音声、映像施設が用意できれば、比較的問題なく実施可能で、そこには研究的側面が少ないという印象が持たれがちであるが、実際に遠隔講義を実施してみると予想以上に考察すべき問題があることがわかる。ネットワークの帯域確保と言っても実際に音声にどの程度の帯域があれば講義に支障がないのか、転送している音声や画像が使用している帯域はどの程度なのか、どのような映像を伝送することが効果的なのか、教材提示に必要な条件は何なのかなど、実践実験することでしか得られない知見は多い。このような知見を通して、実用的に使用できる遠隔講義環境について考察することは意義深い。本研究では遠隔講義のうち、従来の教育に関する経験が生かせる環境に近い形態、受講者と講師の間のコミュニケーション、協調作業について焦点をあてて遠隔講義環境を調べるため、講師は1人、受講者は同一地点に集合している場合の実践実験を実施する。それぞれが分散している場合には、各地点での協調に関する問題のための研究が必要であるが、本研究では対象としない。

(2) 仮想現実の教育利用に関する検討

マルチメディア通信技術の進歩に加え、仮想現実 (Virtual Reality) の技術の発展により、新しい教育の形態も現れている。仮想的な3次元空間上における教育の試みも始まっている [Kato96][Su97]。そこで、本研究ではマルチメディア通信が可能とする3次元仮想教育環境について検討し、その要素技術となるマルチメディア情報処理や通信技術について考察する。また、仮想現実を利用した時の効果、仮想教育環境の実現のための問題点やその解決法について述べる。さらに、仮想現実の教育利用の一例として仮想美術館について述べる。ここで想定する教育環境では、講師、受講者とも分散しており、講義はオンライン上に仮想的な教室を造るものであ

る。仮想的に学習対象物を共有することで得られる教育効果の可能性や、講師、学習者が分散した仮想教室でありながら、講師と学習者間、学習者と学習者間のコミュニケーションを阻害しない環境を検討することを目的とする。

(3) マルチメディア・ネットワークリテラシーの提案

現状では、急速に広まったインターネットの普及を考慮したリテラシー教育に関する検討が十分とは言えない。そこで本論文では、ネットワークの現状や技術的背景にも焦点をあてて、利用者に対するリテラシー教育について考察する。コンピュータリテラシーや情報リテラシーという言葉が氾濫し、マルチメディア情報社会に必要とされるリテラシーに関する考察は多いが、現在のインターネット技術の観点からの考察は十分とは言えない。インターネットの普及によって、それに出遅れない知識をもつ必要があることを強調されがちである。確かに世界的規模のネットワーク環境が自宅のコンピュータを接続しただけで利用できる状況になっているという事実はあるが、現実には急激な進歩がためのインターネットの技術的な弱点や運用体制の脆さを露呈した問題を抱えていることも事実である。また、非常に速い技術革新に追従していく必要がある。本研究を通して、このような現実と今後のマルチメディア通信技術を念頭におき、時代錯誤になることない、真に要求されているリテラシーの提案を行う。

1.3 本論文の構成

本論文の以降の章では、以下のような内容について述べる。2章では現状を明らかにするために、高速なインターネット上で利用可能な遠隔講義環境についてまとめ、実際に遠隔講義の実証実験を繰り返すことによってその問題の洗い出しを行った。Mbone(Multicast Backbone)はインターネット上にIPのマルチキャスト機能を拡張して構築された仮想的実験網で、そのための技術は全世界の多数地点の参加者による会議などの実施を可能とした。Mbone上で使用さ

れるビデオ、音声会議ツールなどは遠隔講義システムとしても利用可能である。そこで、いくつかの Mbone ツールと受講者の様子を講師側に伝えるための遠隔カメラ制御ツールを組み合わせた双方向、インタラクティブ遠隔講義システムを提案する。このシステムを用いて遠隔講義を繰り返し実施することにより、その有効性や問題点について考察を行った。また、その際にネットワーク環境や受講者のビデオや音声の送受方法などの環境を変え、従来の講義の質を維持できる遠隔講義の環境について調べた。その評価として、講義中に測定した使用するネットワーク帯域や音声、画像の圧縮方法による定量的評価や講師、受講者対象のアンケート集計による評価を用いた。実験を通して得られた成果や経験から、遠隔講義環境を構築する際に留意する点についてまとめる。

3章では、遠隔講義実験を通して得られた結果から、遠隔カメラ制御について焦点をあてる。講師にとって、講義中の受講者の様子をフィードバックすることは、円滑に講義を進めるために重要な要素であり、今回の実験で用いた遠隔講義システムにおける遠隔カメラ機能は有効な手段であることがわかった。使用したツールでは WWW ブラウザの簡単なボタン操作で、遠隔のカメラを制御する。ツールの操作自身は非常に平易で、httpd プロトコルを使用したものなので移植性もよい。しかし、改善すべき問題点も含んでいることが明らかとなった。例えば、ネットワークを介するため、通信や画像圧縮によって生じる遅延による操作の困難さやツールのユーザインターフェースなどである。そこで、これらの問題点を解決するジョイスティックによるツールを設計・開発した。後半ではこのシステムについて述べる。

4章では、遠隔講義における教材提示システムについて焦点をあてる。2章で述べた遠隔講義実験の過程で、円滑な遠隔講義を実施するために、教材提示をどのように行うかが重要な鍵となることが示された。教材提示画面の鮮明度、ツールの操作性、教材共有や複数地点での操作の整合性の維持などを解決する機能が必要である。実験で用いた Mbone ツールでこれらのいくつかの問題は解決できており、遠隔講義の教材提示ツールとして有効であることが示されたが、新たに講師の教材作成のためのコスト（時間や技能など）が課題の1つで

あるという結果も得られた。そこで、この問題を解決するシステムの開発を目指し、プロトタイプを製作した。本章では、この教材提示システムについて述べるとともに、今後の遠隔講義では、コンピュータなどで作成したオンライン、マルチメディア教材の重要性について述べる。

5章ではマルチメディア通信を利用した遠隔教育をより効果的に実施するために仮想現実の利用について検討する。仮想現実の利用は、より臨場感のある教育環境を実現したり、現実には体験できない教材を仮想的に体験するなど新たな教育環境として、種々の可能性を秘めている。しかし、実際にこのような3次元空間における、複数地点の参加者の場の共有や、リアルタイムなビデオ映像、音声による通信は技術的課題を多く含んでいる。そこで、本章ではこのような問題について検討するとともに、仮想現実を利用した教育環境の実現例として、仮想美術館について述べる。想定する仮想美術館における講義は複数地点から講師や受講者が仮想空間であるオンライン上の美術館に集まり、そこで実施される。教育的効果を高めるために必要な仮想美術館の機能について整理し、機能実現のための技術的問題を解決する手法について述べる。

6章では、マルチメディア通信が日常的に使用されることを想定し、そのために必要な教育について考察を行う。インターネットを利用するためのリテラシー教育であるネットワークリテラシーでは、電子メールやWWWを使用するためのツール類の操作方法だけでなく、インターネットが全世界で瞬時に情報を送受できる場であることの影響力の大きさについても教える。従来のネットワーク利用のための教育に加え、さらに、マルチメディア通信では、そこで必要とする音声や映像データの広帯域幅の影響力を考慮する必要がある。本章ではマルチメディア・ネットワークリテラシーを提案し、適切なガイドラインなしに、日常的にマルチメディア通信を利用することが及ぼすインターネットへの影響力について指摘することによって提案するリテラシー教育の重要性について述べる。また、電子メールやWWWとは異なり、マルチメディア通信で必要とされるインタラクティブに複数のメディアを扱うための操作など、教育内容に関しても検討する。遠隔講義実験を通して、遠隔講義がマルチメディア通

信を教育するために有効であるという結果が得られたことから、マルチメディア・ネットワークリテラシーの教育環境として、2章で述べた遠隔講義環境を提案する。

7章では、本研究のまとめを行い、研究の成果と有効範囲について述べるとともに、今後の研究の課題について検討する。

2 章

マルチメディア通信のための遠隔教育環境

2 章では最初に本研究で提案する遠隔講義環境の背景となる技術について概観し、その意義や問題点を明らかにすることによって、これらの技術の高速なインターネット上での利用可能性を検討する。さらに、この技術を用いた遠隔講義環境を提案し、実際に遠隔講義の実証実験を繰り返すことによって、その有効性と問題を洗い出し、対面講義の質を落さない遠隔講義環境について考察する。また、6 章で提案する新しいリテラシー教育のための教育環境としての有効性を論じる。

2.1 マルチキャスト技術

マルチキャストプロトコルはデータ転送のための拡張プロトコルである。TCP/IP など、既存のデータ転送プロトコルは 1 対多に対するマルチキャストデータ転送に対応していない。マルチキャストプロトコルは IETF (Internet Engineering Task Force) や IRTF (Internet Research Task Force) など非常に活発に研究が進んでいる [Obraczka98][Johnson97] が、ここでは、本研究に必要なマルチキャスト技術とその周辺の研究状況を概観する。

2.1.1 IP マルチキャスト

最初に利用可能となったマルチキャストの方式は、IP マルチキャスト [Deering89] である。このプロトコルは 0 以上のホストの集合、「ホストグループ」に対して、1 つの送信 IP アドレスをつけ、そこへ IP データグラムを転送するものである。マルチキャストデータグラムは、通常のユニキャスト IP データグラムと同様のベストエフォート (最善努力型) でホストグループに属すすべてのメンバーに配送されるため、データグラムがすべてのメンバーに配送されたかどうかは保証されず、一般的な IP データグラムと同じ信頼度でしか配送されない。ホストグループへは必要な時に適宜、メンバーが参加したり、抜けたりするので、そのメンバーは動的に変化している。ホストグループアドレスは、クラス D と定められており、上位 4 ビットが 1110 である (インターネットで使用されるドットと 10 進数の表現を使うと、224.0.0.0 から 239.255.255.255 までの間となる。このうち、224.0.0.1 などいくつかが既に予約されたアドレスとして特別に割り当てられており、使用できない)。クラス D のアドレスをホストグループ用として処理するためには、ホストは IGMP (Internet Group Management Protocol) が IP モジュールに実装されていなければならない。

IP マルチキャストの問題点がいくつか挙げられる。まず、第 1 に、ClassD アドレスが動的に割り当てられるため、グループアドレスの広告も含め無駄なセットアップ時間が必要である。ClassD アドレスをいちいち物理的なネットワークに対応づけなければならない。第 2 に、ホストグループの参加者がいなくなっても、無駄なネットワークトラフィックが流れる点である。IP マルチキャストでは、誰が実際にパケットを受けとっているかをポーリングによって調べているため、正常なマルチキャストネットワークの状態と判定できるまで、不要なポーリング用パケットが巡回している可能性がある。第 3 点目として、フロー制御可能な IP マルチキャストのためのトランスポートプロトコルがないことである。

2.1.2 高信頼マルチキャストトランスポートプロトコル

IP マルチキャストの問題点を解決するために、信頼性のあるトランスポートプロトコルの設計が進み始めた。近年の信頼性のあるマルチキャストトランスポートプロトコルの提案は様々な種類のグループ間通信用のアプリケーションの要求を満たすための機構を実現することに焦点があたっている。ここでは、初期に提案された一般的利用目的のプロトコル(分類 A)と多地点での双方向通信アプリケーションを想定したプロトコル(分類 B)に分けて、それぞれいくつかの例を挙げる。

A. 一般的利用目的のプロトコル

A1. MTP (Multicast Transport Protocol) [Armstrong92]

IP マルチキャストなどに比べ、高信頼性を維持するためのトランスポート層レベルのプロトコルである。このプロトコルは、「マルチキャストマスター」がすべてのグループ間通信を制御するという概念で作られている。通信プロセスの集合を「web」と呼び、web メンバー間でメッセージの受取りの順序と配送の同意をとるために、メンバー間で同期をとることにより、信頼性を上げている。マスターは web 内の送信者に送信トークンを配る。そのトークンには送信先ごとにどのようなレートで送ればよいか記述してあり、それによってフロー制御が行われていることになる。MTP の問題点はすべてのトラフィック制限がマスターで行われるため、処理の負荷が大きいことである。これにより、マルチメディアデータのマルチキャストにおいては、遅延や輻輳を生じる可能性がある。

A2. XTP(Express Transfer Protocol)[XTP4.0]

XTP では、MGM(Multicast Group Management Protocol)を使って、陽にグループ内の参加者へのアプリケーションの送信などの制御をしている。信頼性に関して、XTP は TCP 的な完全に信頼性のある配送、UDP のようなベストエフォート型の配送、高速に NACK を返す方式などを場合に応じて提供する。通信のタイプによって異なったプロトコルを使うの

でなく、プロトコルのオプションとパケットの型によって、それに適したパラダイム (信頼性のあるデータグラム, トランザクション, 信頼性のないストリーム, 信頼性のあるマルチキャスト通信など) を選択できるようになっている。エラー制御, フロー制御, レート制御も必要に応じて選ぶことができる。

A3. RMF (Reliable Multicast Frameworks) [Whetten]

近年, マルチキャストフレームワークという概念が導入された。これは特定のマルチキャストアプリケーションを対象にしたプロトコルではなく, 種々の異なった要求をもつアプリケーションのためのプロトコルを開発するのに必要な信頼性のある枠組 (フレームワーク) に使用される。高信頼マルチキャストプロトコルを実装するための枠組を定義したものである。

B. 多地点での双方向通信アプリケーションを想定したプロトコル

B1. RTP (Realtime Transport Protocol) [Schulzrinne96]

RTP はリアルタイム性を必要とする音声, ビデオデータや同時性を必要とするデータのための端末間の転送機能を提供する, アプリケーションレベルの枠組をもったプロトコルである。マルチメディアデータのストリームを転送するために TCP とともに用いられ, 例えば, 以下のような情報をもったパケットヘッダをもつ。

- 音声やビデオデータの調整に必要な同期に関する情報
- MPEG などのデータ圧縮方法を識別するための情報
- 様々なタイプの順番に関する情報

RTP は RTCP (Real-Time Control Protocol) とともに使われる。RTCP はネットワーク環境の変更などを監視し, 記録するためのプロトコルとして使用される。これによって, マルチキャストアプリケーションがリアルタイムに変更することに対応できる。RTP の制御機構はビデオ会議システム IVS [Turletti93] の一部として実装された。IVS ではビデオの送信元は

フィードバックを提供する受信者群を選ぶためにある確率でポーリングを出す。選ばれた受信者は現在の確率のポーリングに対して、受信者側の尺度で応答を出し、それによって、ビデオ送信元は転送レートを調整する。

B2. MTP-2 (Multicast Transport Protocol-2) [Bormann94]

MTP-2は遠隔会議などに必要な協調作業用のツールを対象にMTPを変更して設計された。MTPからの変更点は、グループへの新規参加の際にグループマスターからのトークンを待たずにすぐに参加できる、参加者がマスターへの到達性を失ったときは他に変更することができる、グループマスターは転送ウィンドウサイズなどのパラメータを動的に調整することができるなどである。

B3. SRM (Scalable Reliable Multicast)[Floyd97]

SRMは負荷の軽い、アプリケーションレベルのフレームのための高信頼マルチキャストフレームワークである。ここで使うアルゴリズムは、効率よく、大規模なネットワーク上における相当数のセッションにも耐えられるものとなっている。SRMではそこで使うデータはすべて、ユニークな名前をもち、便宜上、アプリケーションの名前は名前空間において階層構造を持っていると仮定している。このプロトコルを使ったツールのプロトタイプとして、ネットワーク会議用の分散共有ボードツールwb[Mccanne92]がある。SRMではすべての会議参加サイト間で信頼のあるデータ転送を行うために、転送中に失われたデータの再送にマルチキャストでNACKを要求する機構となっている。その際に再送データが重複しないように、再送要求用NACKや再送データを送る前にランダム時間待って送ったり、他のメンバーが元のデータ転送を受けている場合は再送用のデータ転送を停止するなどの機能をもっている。

2.2 Mbone

2.2.1 概要

Mbone(Multicast Backbone)はIPマルチキャスト通信のためにインターネット上に構築された仮想的実験網である[Macedonia94]。実験網はIPマルチキャスト機能拡張されている島(例えばEthernetのようなマルチキャストLAN)をトンネルと呼ばれる1対1の仮想リンクによって接続して構成されている。典型的なトンネルの最後はIPマルチキャスト機能をサポートするワークステーション(以下、WS)クラスのマシンが接続されている。IPマルチキャストパケットはユニキャストデータグラムのようにカプセル化されて、トンネル経由で転送される。トンネルの両端には、mrouterと呼ばれるマルチキャストルータがあり、そこでは送られてきたマルチキャストパケットのIPヘッダの送信先アドレスをトンネルの先にある次のマルチキャストルータのIPアドレスに付けかえを行っている。そのパケットを受けたマルチキャストルータでは、カプセル化されたIPヘッダを取り除き、本来のマルチキャストパケットを指定先に転送する。最初のトンネルは1988年にBBNとスタンフォード大学間にはられた。現在、Mboneの規模は世界に広がり、正確な接続状況は把握できない状態にまでなっている。現在のMboneではトンネルをはる際に、トンネルに使用する回線の帯域や、トンネル両端の組織の方針によってトンネルに使用する(マルチキャストパケットの配布に使用する)帯域をパケットのTTLの閾値によって設定している。また、Mbone上でセッションを開設する際にも、そのセッションを配布する範囲の設定をTTLで設定するだけで、確実にMboneのセッション用にアドミッションコントロールされるわけではない。TTLによる設定はMboneにどの程度の帯域を使うかを宣言(申し合わせ)するだけで、実際に資源予約されるわけではない。しかも、Mbone上で使われる多くのアプリケーション(Mboneツール)はIPマルチキャストを使用しているため、配送の信頼性が乏しい。また、世界唯一の実験網であるがための制約(事前に利用予約が必要)など、問題点も多く含んでいる。しかし、全世界の多数地点の参加者による会議などの実

施を可能とし、その意義は大きい。この実験網では既に音声、映像を使って、世界中から国際会議やコンサートなど各種イベントの放送が実験されている。このようなイベント情報のスケジュールは、スケジュール管理ツール（2.2.3で詳述）で見ることができ、同時にイベントの申込や取り消しも行うことができる。

2.2.2 Mbone 用ツール

マルチメディア通信を教育に利用する場合必要となるアプリケーションソフトウェアのうち、代表的なものを以下に挙げる。

- *vic*(Video Conference)[McCanne95]
動画を送受信するために使用する。*vic* は RTP(version 2) ベースに設計され、送出画像の最大使用帯域 (bit per second) やフレームレート (frame per second) 等を設定可能である。同様のビデオ会議ツールとして、RTP(version 1) によって、設計された *nv*(NetVideo) があり、こちらもフレームレートの選択が可能であるが、*vic* ではさらに、高品質な H.261 の符号化方式が使用可能となった。
- *vat*(Visual Audio Tool)[vat95]
音声の送受信のために使用する。さまざまな符号化・圧縮方式 (PCM, DVI 等) が指定でき、これらの方式を決めると結果的に使用帯域が決まる。UNIX 用のツールとして開発されたが、PC Windows にも移植されている。
- *wb* (WhiteBoard), *wbimport*[wb93][McCanne92][Floyd97]
wb は分散共有ボード機能を提供するネットワーク上の会議ツールとして使われる。会議参加者は ASCII テキストファイルや PostScript 形式のファイルなどをロードし、参加者間で共有することができる。このような新規ページのロードは会議の参加者は誰でも可能である。また、どのページへも書き込みができる。新規ページの作成や既存ページへの書き込みに関する管理機構は *wb* 以外で行っている。新規ページのロードに関して、特に、

PostScript 形式のファイルの場合には転送や展開に時間がかかるため、リアルタイム性を向上するために、あらかじめ *wbimport* で資料を送り、各会議参加者のマシンのメモリ上にキャッシュしておくことができる。

現在、Mbone 上で使用されている *wb* は実質的には Mbone 上の申し合わせベースのアドミッションコントロールのみによって、管理されているが、SRM のプロトタイプとして実装されている *wb*(version 1.59) では、信頼性の向上のため、レート制御機構や一方向の遅延見積もりの機能が含まれている。会議参加者が、ある範囲でランダムな時間を要求タイマーとしてセットしたり、受信側もある範囲でのランダム時間を修復タイマーとしてセットすることができる。このような他のメンバーまでの距離の見積もりは、以前の *wb* には含まれてない概念である。タイマにセットする範囲の見積もりは過去の広域ネットワークで実施されている典型的な *wb* のセッションから調べた値から選択される。さらに、輻輳制御は、*wb* のセッションごとに固定の最大帯域割り当てを設定でき、送信者は他の参加者にセッション情報として、帯域の制限を知らせ、参加者の方はそれを転送のピークレートとして使う。ページの単位で参加者が描画することができるが、グループの参加者ごとにユニークな識別子 Source-ID がつき、ページには最初にページを作った参加者の Souce-ID とその開設者ごとにユニークとなるローカルなページ番号からなる、ページ用識別子 Page-ID がつく。ボード上に書き込みをするメンバーは、描画操作 *drawop* (描画のタイムスタンプと順序番号がついており、例えば、あるページのある座標間に青い線を引くという操作) の列を関連送信者に送る。各描画操作列は関連ページの Page-ID とともに送られる。この列はそこに含まれているタイムスタンプなどの情報があるので、順番通りに送られる必要はない。このようなしくみを用い高信頼性を保つため、「すべてのデータはユニークで途中変更のない名前をもつ」などいくつかの設計仮定をおいている。

- CU-SeeMe[Dorcey95][CuSeeMe]

グループ通信をするもう1つの方法として、複数間の通信制御などサーバ機能をもつリフレクタを利用する方法がある。これはグループに属す各クライアントがそれぞれリフレクタと従来のユニキャストによる1対1通信を使用しており、リフレクタから同一パケットが各クライアントに向かって重複して流れている。Cu-SeeMeはリフレクタを利用したPC上でのビデオ会議システムとしてコーネル大学で開発されたソフトウェアである。開発当初は白黒映像しか扱えなかったが、現在はカラーもサポートしており、さらに、Mbone上で流れる映像や音声にも対応するように開発されている。PCによって比較的平易に中継の受信が可能であるため、PC利用の多い小、中、高等学校の現場でよく利用されている。

- *sdr*[SDR]

Mboneで流れるセッションのスケジュール管理に使われるソフトウェアである。新しくセッションを登録する際に、このツールを使って、セッションで使用するデータが何か（音声、ビデオ、ホワイトボード）、その配布範囲、セッションの利用期間などを指定する。登録すると、使用可能なマルチキャスト用アドレス（クラスD）が割り当てられ、Mbone上にその情報が流れる。*sdr*そのものがマルチキャストで情報を配布されており、その情報自身がセッションのTTLに応じて、セッション配布範囲に表示される。特に全世界対象にセッションを開設する場合は、*sdr*に登録すると同時に、Mboneセッション登録用ホームページ[Mbone-session]に登録申請する必要がある。このページではMboneセッションスケジュールの案内も出ている。

2.3 遠隔講義実験

本研究では提案するシステムを用いて、遠隔講義[Maeda97a][Maeda96b][Maeda98a]を繰り返し実施することにより、その有効性や問題点について考察を行った。遠

隔講義実験は8回実施し、ネットワーク環境や受講者のビデオや音声の送受方法などの環境を変え、従来の講義の質を維持できる遠隔講義の環境について調べた。最初に遠隔教育に必要なシステム構成やネットワーク環境等の条件について定量的にまとめるために代表的な3回の実験を対象として、実験概要、結果、考察を詳述する。その後、受講者のタイプ、講義環境、回線の種類等の違いに関する考察を、比較実験として2.4に詳述する。

2.3.1 実験概要

実験は広島市立大学(広島市)と広島大学(東広島市)の間で行われ、いずれもATMによる高速回線網であるNTTマルチメディア共同利用実験網[A-Shimizu96]を用いた。利用可能回線帯域は最大67Mbpsであり、本実験にはその一部が利用された。講師側、受講者側双方から動画像、音声を送り、さらに教材画面を講師側から受講者側に送る。

第1回実験では受講者側には動画像、音声、教材提示用ツールに用いるマシンは1台のワークステーション(以下、WS)で、その画面は教室既設のWS用画面転送システム(特定のWSの画面を同一解像度で複数のモニタに一斉同時転送するシステム)により受講者の全モニタに転送され、受講者は各自のモニタ(19インチ)上で講師の様子や教材を見ながら講義を受ける。質問は特定の場所に置かれた専用マイクによって行う。実験システムの概要を図2-1に、また、受講者の見るモニタのスクリーンダンプを図2-2に示す。

第2回実験は単にモニタを1人1台ずつ使うのではなく、マルチキャスト機能により受講者も1台ずつWSを使い、双方向、リアルタイムに動画像、音声通信ができる環境とした(受講者側WSのモニタは17インチ)。従って、受講者は自分のWS付属のカメラやマイクを用いて動画像や音声を講師側と受講者側のWSすべてに対して送信可能であり、質問時には質問者の様子を講師側に送ることができる。実験システムの概要を図2-3に示す。

第3回実験は第1回目と同様、動画像や音声ツールに用いるマシンは1台で、その画面は大型スクリーン(200インチ)にプロジェクタ(ビクターILA-M320S、

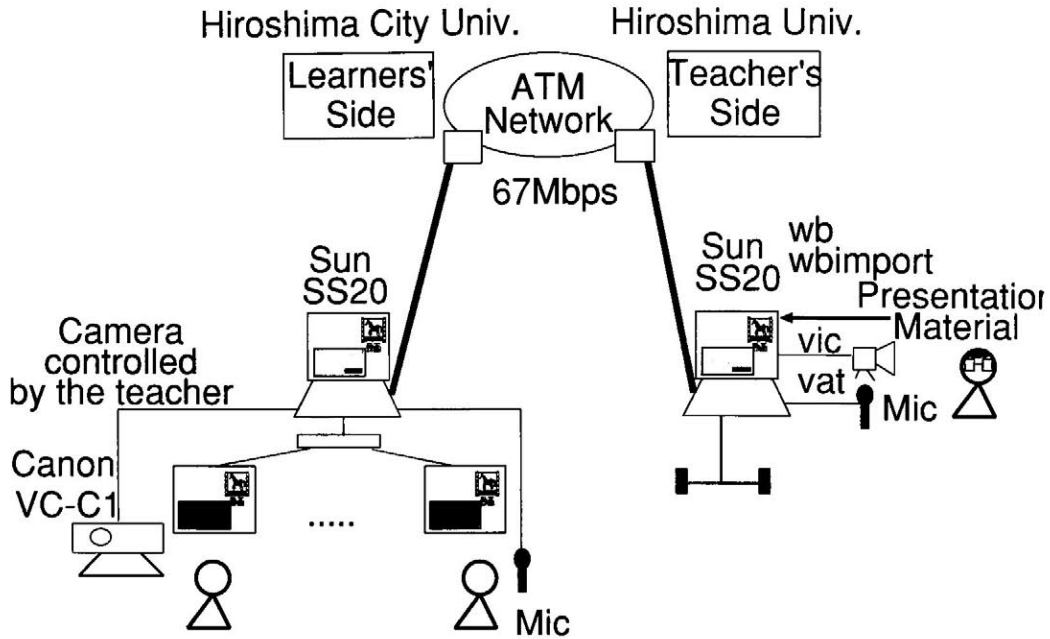


図 2-1: 第 1 回遠隔講義システム概要図

Figure 2-1 System configuration of the first experiment.

光出力 2300 ルーメン，水平解像度 1000 TV 本以上) で投影された。質問時に受講者はワイヤレスマイクで質問する。実験システムの概要は第 1 回の構成と同じである。ただし，画面は各人のモニタに転送されず，プロジェクタを通して，大型スクリーンに表示される。受講風景を図 2-4 に示す。

遠隔講義に使った主なツールの詳細を以下に示す。

- 動画像 vic (Video Conference)

講師側および受講者側それぞれの動画像を送受信するために使用する。実験によっては送出画像の最大使用帯域やフレームレートの設定を途中で変更し，講義への影響を調べた。

- 音声 vat (Visual Audio Tool)

音声の送受信のために使用する。実験によっては使用する符号化・圧縮方式を変更し，音声データの使用帯域の講義への影響を調べた。



図 2-2: 受講者側の画面
 Figure 2-2 Snapshot of a learner's screen monitor

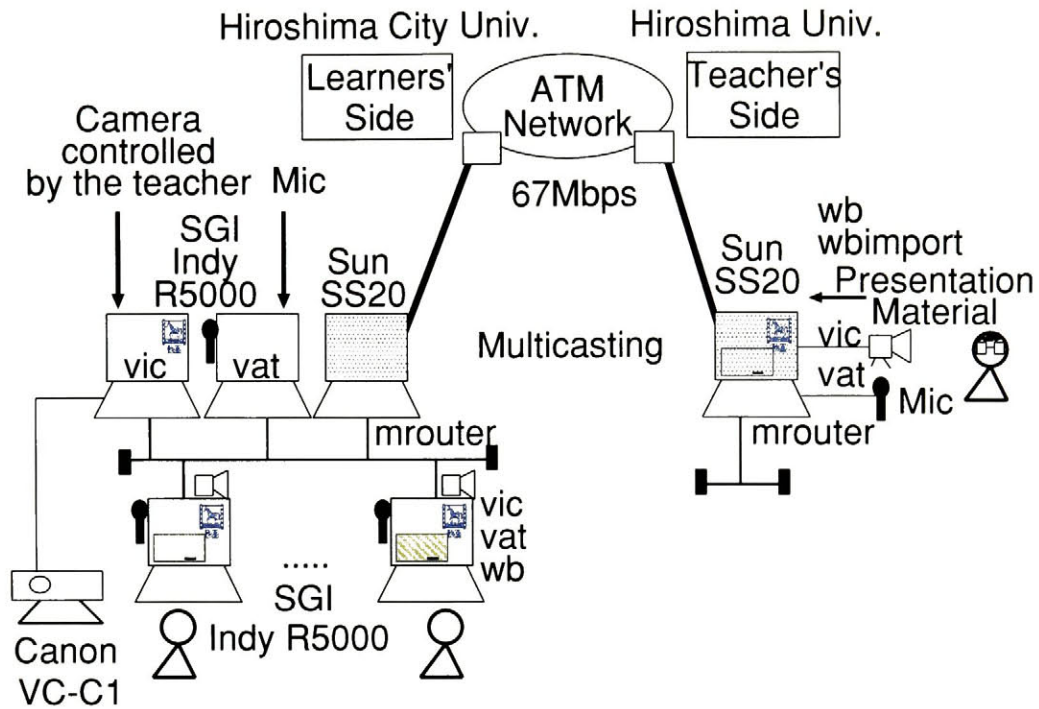


図 2-3: 第 2 回遠隔講義システム概要
 Figure 2-3 System configuration of the second experiment.



図 2-4: 第 3 回実験受講風景
 Figure 2-4 Scene of the third experiment

- 教材提示 `wb` (White Board), `wbimport`

あらかじめ `wbimport` で受講者側に資料を送ってキャッシュし、講義中は `wb` を用いて資料のページめくり、ポインタ機能による説明部分の指示や説明補足の書き込みが可能である。また、`wb` は講師、学生とも双方向で書き込み可能な共有ボードとしても使用する。

- 遠隔カメラ制御 (Netscape + 制御プログラム)

講師は受講者の教室に設置された遠隔操作可能なカメラを制御し、自由に学生の様子を見ることができる。カメラ操作は本実験のために作成した制御用の UNIX のシェルスクリプトと Netscape を用いて行われ、ボタン機能で上下、左右の視線方向やズーム等の変更が自由に可能である。このツールについては 3 章で詳述する。

3 回とも講師は受講者側に設置されたカメラ (講師側から遠隔操作可能) により学生の様子を見ながら、あらかじめ用意した教材を用いて講義を進めた。図 2-5 は講義中の講師側画面の一例である。右下のブラウザがカメラコントロール用である。

各回の実験内容の詳細を表 2-1 に示す。

2.3.2 実験結果

2.3.1 節で述べたツールを使用して、動画像、音声、教材を送りながら講義を進めたが、その際必要とした回線帯域は図 2-6 から最高でも 600Kbps を越えないことが分かる。受講者に実施したアンケート調査 (回答者総数 123 人) 結果が図 4 である。アンケートの項目は、(1) 遠隔講義のシステムに対する印象、(2) 内容理解度、(3) 動画像、(4) 音声、(5) 教材提示ツールに関するものに分類される。回答はそれぞれ項目内容に応じたいくつかのレベルから 1 つを選んで答

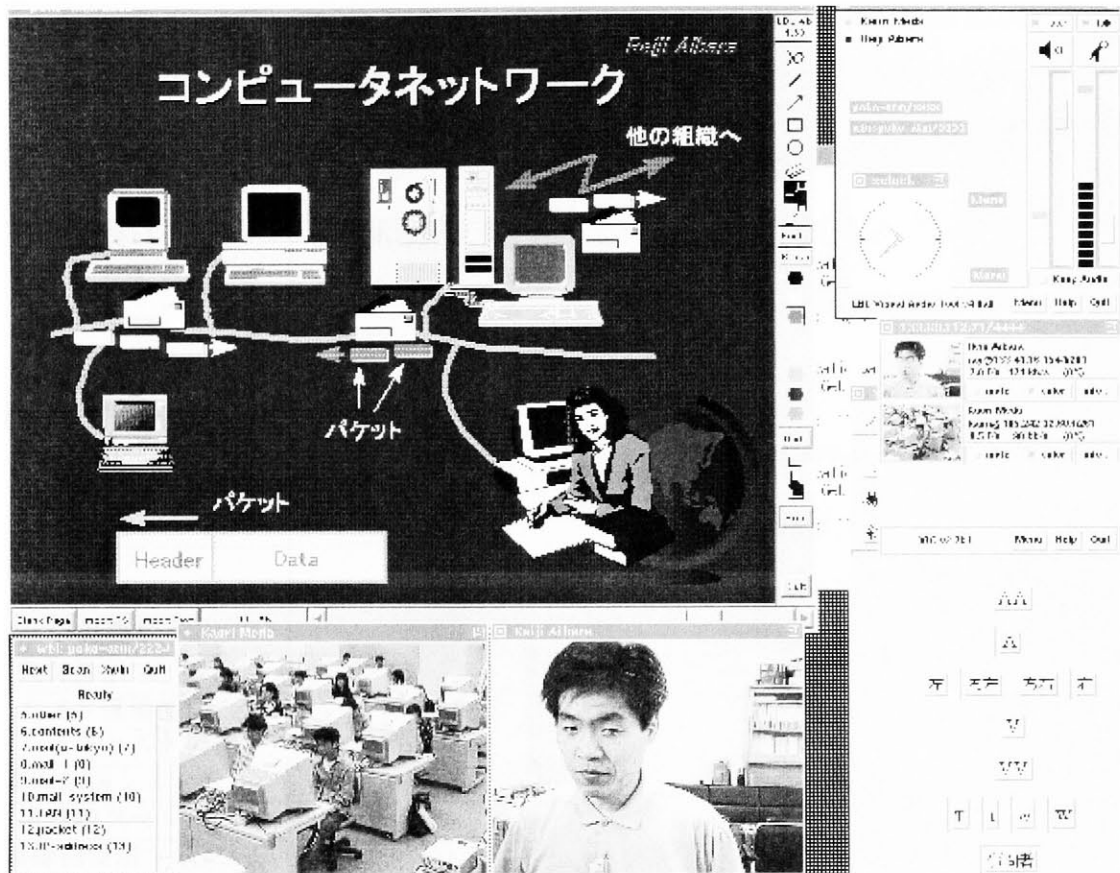


図 2-5: 遠隔講義の画面

Figure 2-5 Snapshot of a teacher's screen monitor.

表 2-1: 実験構成比較表

Table.2-1 Comparison of three configurations of experiments.

	第 1 回	第 2 回	第 3 回
対象者	大学 1 年生 (45 人) (芸術学部)	大学 3 年生 (38 人) (情報科学部)	大学 3 年生 (40 人) (情報科学部)
講義内容	電子メールのしくみ	電子メールのしくみ	ネットワーク アプリケーション
受講者のバック グラウンド	情報処理教育を 2ヶ月 受け, 基本的なコン ピュータ操作, ネット ワーク利用が可能	情報処理教育を半年 受け, その後もコン ピュータ実験の経験あり	同左
動画像用ツール	vic		
動画像の符号化方式	H.261		
最大帯域/フレームレート	510Kbps/8fps	400Kbps/10fps	512Kbps/10fps
講師 → 受講者	128Kbps/8fps		
受講者 → 講師			
音声用ツール	vat		
符号化方式	PCM2	PCM	PCM2
転送レート	71Kbps	78Kbps	71Kbps
教材提示ツール	wb/wbimport		
カメラ遠隔操作	可		
マルチキャスト機能	—	使用	使用
画面転送システム	使用	—	—
受講者のツール操作	不可	可	不可
講師側使用マシン OS	Sun SS20 SX (75MHz x 2, 128MB) Solaris 2.5		
受講側使用マシン OS	Sun SS20 SX (75MHz, 96MB) Solaris2.5	SGI Indy R5000 x 50 (150MHz, 64MB) IRIX 5.3	SGI Indy R5000 (150MHz, 128MB) IRIX 5.3
	Sun SS20 SX (75MHz, 96MB) Solaris2.5		

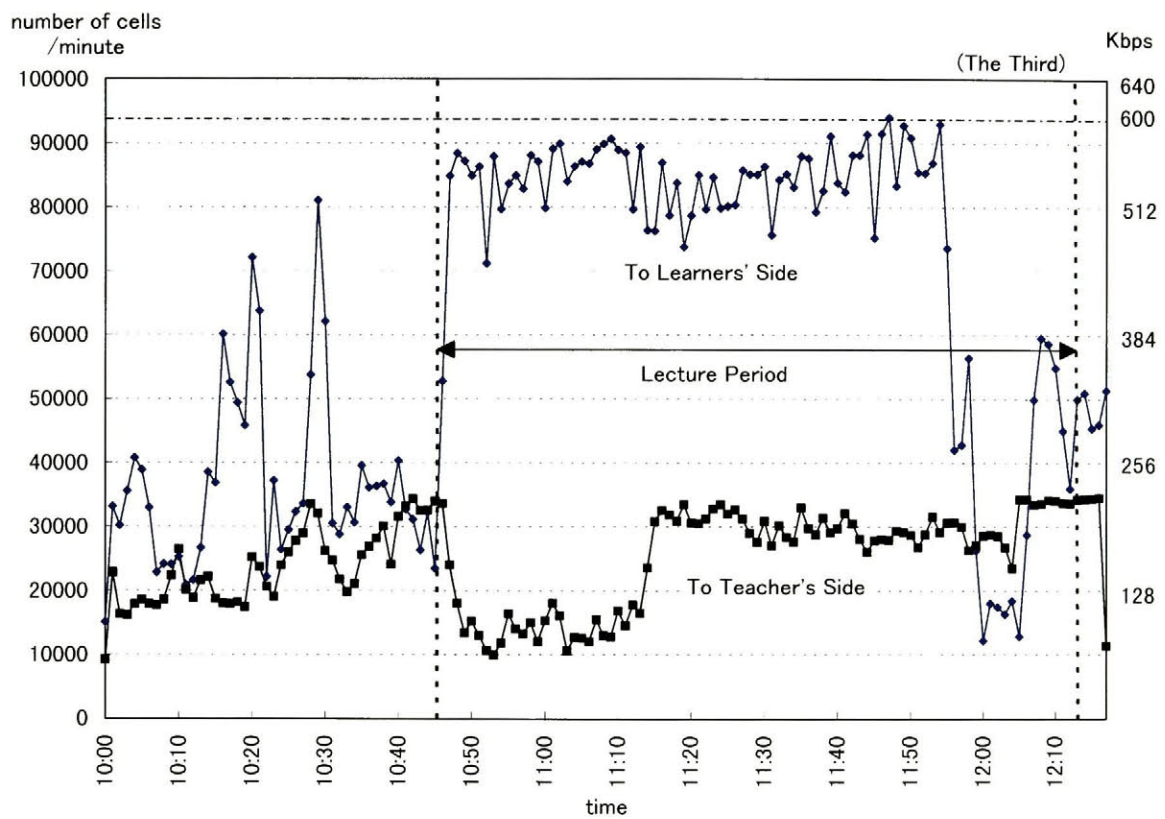
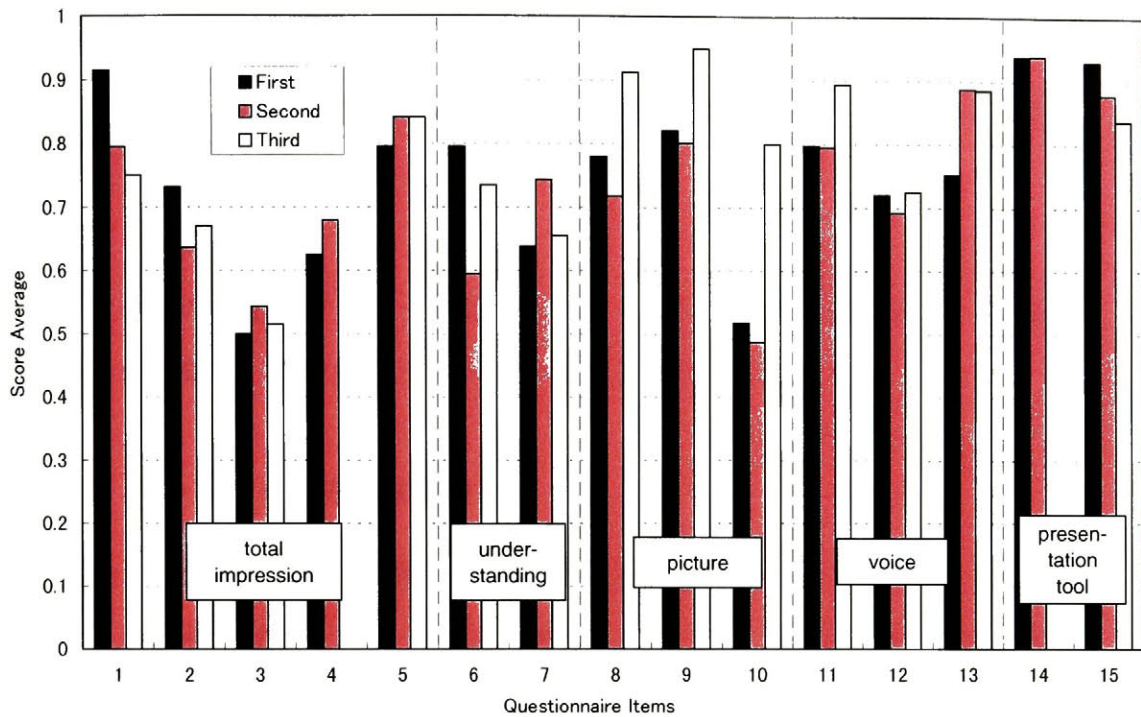


図 2-6: 転送セル数

Figure 2-6 The number of transferred cells.



主要アンケート項目

- | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| 1. 通常の講義より好ましい | 6. 講義の難しさ | 11. 動画像と音声の不一致の影響 |
| 2. 講義の緊張感 | 7. 講義の理解度 | 12. 対話時の音声の遅延の影響 |
| 3. 質問しやすさ | 8. 動画像のぎこちなさの影響 | 13. 音声の聞きやすさ |
| 4. ネットワーク環境の体感度 | 9. 動画像の不鮮明さの影響 | 14. 教材提示ツールの使いやすさ |
| 5. 再度受講希望 | 10. テレビやビデオに比べて見やすい | 15. 教材提示ツールの有効性 |

図 2-7: アンケート結果

Figure 2-7 Results of questionnaires.

える方法をとった。どの項目も高い値が実験に対して良い評価となるようにレベル設定してある。また、講義全体の印象や再受講の際の希望テーマなどを自由に記述する項目も設けた。図 2-7 は集計処理において各項目の結果の平均を 0 から 1 に正規化したものである。なお、第 3 回実験のアンケートでは項目 4 および 14 に関する質問がなかったため図 2-7 から削除している。各実験では受講者の年齢、コンピュータやネットワークの習熟度が若干異なっているが、アンケート結果の傾向はほぼ同じであった。また、動画像、音声、教材提示機能とも本実験の形態が講義に支障をきたすと回答した受講者は非常に少なかった。

以上の結果より、あらかじめオンライン形式の教材作成が可能であれば、本

稿で述べた形態での遠隔講義は可能であると言える。さらに、それら教材が受講者側に事前にキャッシュ可能であるなら、必要な回線帯域は動画像および音声を使用する帯域程度 (本実験の場合約 600Kbps) で十分であることが分かった。

2.3.3 評価

転送データの測定やアンケート結果から、ネットワークの回線帯域、遠隔講義そのものの効果、教材提示ツールについて考察を行った。

2.3.3.1 ネットワークの回線帯域

ATM によるネットワーク構築と言えば高速性に焦点があてられることが多いが、静止画教材を使用し、あらかじめ教材のキャッシュが可能な遠隔講義の場合、Ethernet (10Mbps) と比較してもかなり低速である 600Kbps 程度で、十分効果的な遠隔講義が可能であることが分かった。

動画像、音声に使用する回線帯域の下限を調査するため、第 3 回遠隔講義時間の一部を利用して、伝送速度を徐々に下げる追加実験を行った。その結果、受講者の多くが動画像 128Kbps、音声 32Kbps であれば、支障がないと回答した。しかし、動画像をこれ以下の速度にするとほとんどの受講者が品質に問題があると訴えた。一方、動画像転送に関する使用帯域の上限は、事前に行った予備実験の結果から 500Kbps 程度であることが分かっている。これは、今回使用したワークステーション (Sun SS20 SX) の性能、および動画像転送ソフトウェア (vic) による制限である。本システムが動画像および音声の符号化、圧縮、伝送、画面描画等をすべて 1 台のワークステーションで実現しているため、それ以上の伝送速度にするとマシンの処理が追いつかなくなり、かえって画像が乱れてしまう。この結果に基づき、本稿で述べた遠隔講義では上限付近の値 (400 ~ 500Kbps) を採用した。

さらに、通信回線に要求される品質として、帯域の確保がある。TCP/IP は基本的に最善努力型 (best effort) の性質を持つため、同一回線に別のトラフィックがあるとその影響を大きく受け、特に音声の品質劣化が激しくなる。音声品

質の著しい劣化現象は、Mbone 上で実施される遠隔会議では日常的に経験されている。音声の品質劣化が講義や会議へ与える影響は深刻であり、この問題を回避するため、今回遠隔講義実験に使用した回線には他のトラフィックをほとんど流さないよう設定してある。

2.3.3.2 遠隔講義の効果

講義全体に対する受講者の感想として、各自が持っていた想像上のテレビ会議が実際に目の前の画面上で体験できたことの影響は大きく、現状のネットワークやコンピュータの性能を実感するには効果的であった。遠隔地の講師によって講義の臨場感がどれくらい伝わるかは遠隔講義において重要なポイントとなるが、アンケートの自由記述項目に記された受講者の感想によると、講師が遠隔地にいることの違和感を感じないとの回答が多数あり、逆に違和感を感じると訴える受講者はいなかった。

2.3.3.3 教材提示ツール

講義中の講師の動画像は臨場感を伝えるために受講者側へ流す必要はあるが、教育効果を落さない講義のためには教材提示ツールがキーポイントとなる。講師、受講者双方からの書き込み機能やポインター機能は必要な条件である。今回の実験で用いた wb では PostScript 形式ファイルの読み込み、表示が可能なので、かなり品質の高い画面を提示することができた。双方からの書き込みも可能で、アンケートの結果からも評価は高く、かなり有用なツールと言える。しかし PostScript 処理時のマシンへの負荷は高く、今回の実験においても教材画面をリアルタイムに表示することは困難で、事前にラスタメモリへのキャッシュが必要であった。SGI Indy においてはその作業に1時間近くを費やすという状況であった。この他、wb を遠隔講義でより便利に利用するには

- 共有ポインターの利用
- ラスターイメージの張り付け

- 他のウィンドウの動的な張り付け
- 日本語の文字入力

等の機能付加や講師の遠隔講義用教材の準備負荷の削減が課題として挙げられる。

2.3.3.4 講師側環境の評価

実験で講義を実施した講師はいずれもコンピュータやネットワークを日常的に使っており、今回の実験で用いた Mbone ツール類の操作に関して支障が生じることはなかった。また、wb によるオンライン教材の用意も特に大きな障害にはならなかった。しかし、一般的にはこのようなツールの操作や教材準備は、技術や時間を要する。今後、この問題に関する解決方法の検討は重要な課題と言える。実験を通して、講師が受講者の様子をフィードバックできることは重要であることがわかった。提案の遠隔講義環境では、カメラ制御を WWW ブラウザによって行い、操作の簡単化を計ったことで講師への操作そのものに関する負担は小さかった。しかし、カメラ操作と実際に受講者映像が講師側モニタに表示される間の遅延 (通信遅延や画像の圧縮遅延) が障害であることがわかった。この解決に関しては 3 章で詳述する。講師の印象として、今回の遠隔講義環境における講義は通常の対面講義と同程度の質を保つことができたという結果がアンケート等から得られている。講義に使用される教材映像は、テレビ映像などと比べると低いものの、かなり高解像度で提供することができた。アンケートなどから講義への集中度は、通常の講義と同程度か、それ以上に高いものであった。遠隔講義の効果性に関する厳密な評価は、同じテーマで通常の対面講義と遠隔講義との比較によってなされるべきで、これに関しては後述する。

2.4 比較実験

8 回の遠隔講義実験を通して、2.3 における評価以外と視点を変え、回線の種類や受講者のタイプの違いなどの観点から、遠隔講義環境に関して評価を行う。

2.4.1 受講者タイプ、受講形態による差

受講者のコンピュータやネットワークの使用経験の差があるか、また、講義の形態が1人1台のマシンを使用する場合と全員で大型スクリーンを見る場合とで差があるかについて実験を行った [Maeda98-1]. 対象となる受講者や遠隔講義環境は表 2-2 にまとめられる.

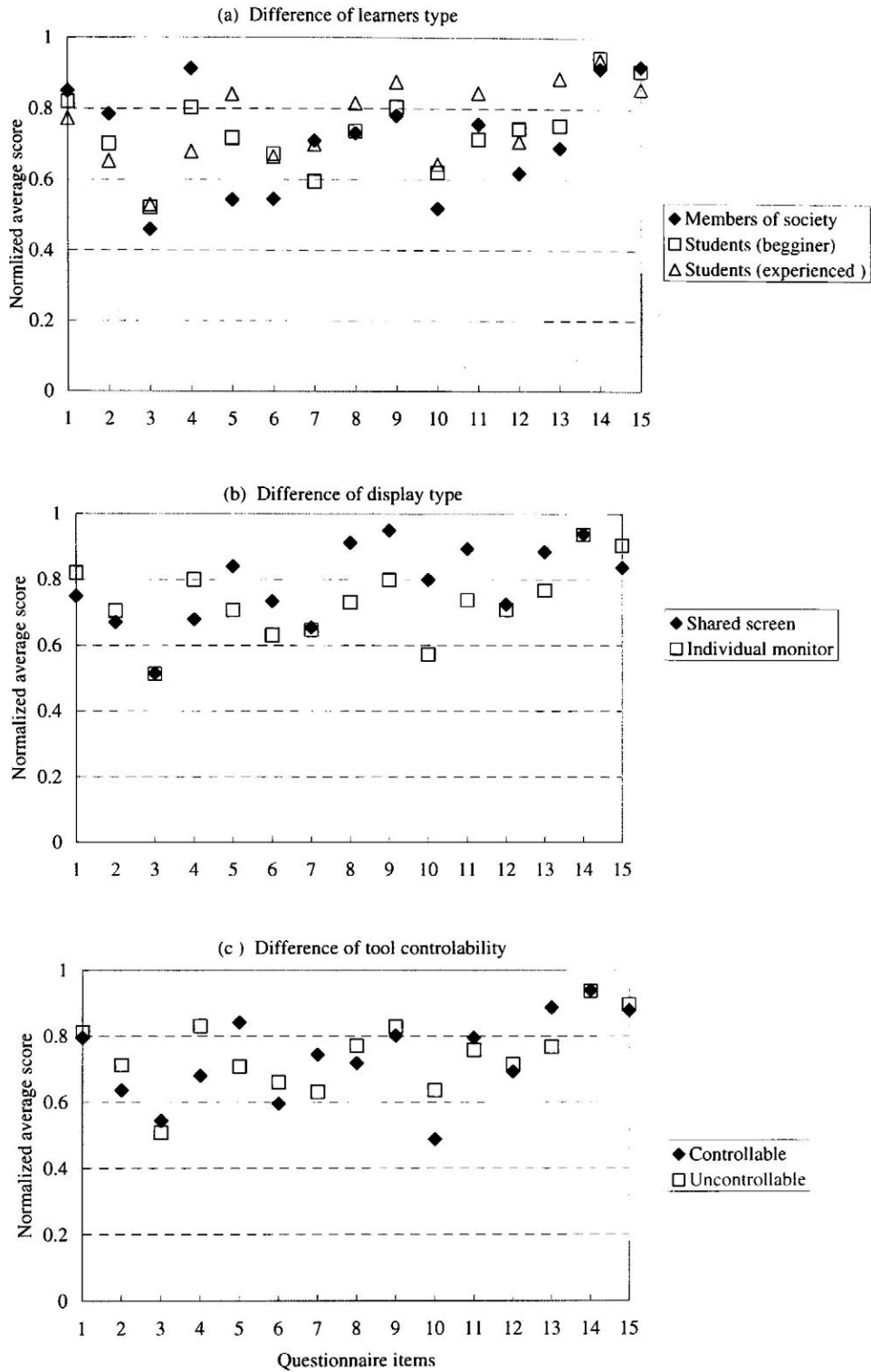
表 2-2: 対象者タイプ別実験構成比較表

Table.2-2 Comparison of three configurations by learner types.

	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
対象者	大学1年生 芸術学部			大学3年生 情報科学部		社会人 (30~60代)
受講者数	45	43	38	40	40	40
講義内容	電子メールのしくみ			インターネットの しくみ		インターネットの しくみ
計算機利用経験	2ヶ月			2.5年		なし(初心者)
受講者による ツールの操作	なし		あり	なし		
表示形態	個々の19インチモニタ			大型スクリーン	個々の19インチモニタ	
動画像用帯域/フレーム数 講師 → 受講者	510Kbps/8fps	128/10fps	400Kbps/10fps	512Kbps/10fps		
受講者 → 講師	128Kbps/8fps					
音声用帯域	71Kbps		78Kbps	71Kbps		

6回の実験を通して被験者総数は246である。各遠隔講義実験の際には、20、または22の質問項目を用意したアンケートを配布し、そのうちの15項目に関して回答を集計したものが、図 2-8 である。縦軸、横軸はいずれも 2.3 のアンケート集計結果と同様である。図 2-8 の (a), (b), (c) はそれぞれ、受講者のタイプ別(年齢層とコンピュータやネットワークの使用経験の違い)、受講者側の画面の表示形態別(個々のモニタか大型スクリーン)、受講者が自身でツールの操作可能かどうかに分けて、集計結果をまとめ、グラフにしたものである。

図 2-8(a) によると、受講者の違いによる顕著な違いはない。多少、ばらつきのみられる質問項目の 4,5 に関しては、通常どの程度、コンピュータやネットワークを使用しているかに影響されるものと推測できる。図 2-8(b) の質問項目、8,9,10 では、顕著な違いが現れている。実験前は目の前にある一人1台のモニタに表示される方が、環境として好ましいと予想していたが、実際には必ずしもそれが効果的とは限らないことが判明した。影響要因となるのは表示形態(個々



主要アンケート項目

- | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| 1. 通常の講義より好ましい | 6. 講義の難しさ | 11. 映像と音声の不一致の影響 |
| 2. 講義の緊張感 | 7. 講義の理解度 | 12. 対話時の音声の遅延の影響 |
| 3. 質問しやすさ | 8. 映像のざこちなさの影響 | 13. 音声の聞きやすさ |
| 4. ネットワーク環境の体感度 | 9. 映像の不鮮明さの影響 | 14. 教材提示ツールの使いやすさ |
| 5. 再度受講希望 | 10. テレビやビデオに比べて見やすい | 15. 教材提示ツールの有効性 |

図 2-8: アンケート結果

Figure 2-8 Results of questionnaires.

のモニタかまたは大型スクリーン)よりも、むしろ、その解像度の高さであることがわかった。また、前面の大型スクリーンに講師映像が表示されている形態は、教室の前方に講師がいて講義を進行する通常の講義の形態に近く、講義として親和性が高いということもわかった。図 2-8(c)より、ツールの操作が受講者自身でできるかどうかという観点からの違いはほとんどない。これは講義が講師から受講者への方向の情報伝達が多く、受講者側からのアクションが必要とされないことの現れと言えよう。しかし、卒業論文の指導などセミナー形式の場合は、双方の議論なども活発となるため、そういう場合には受講者 1 人につき 1 台のマシンを持ち、それから直接ツールを用いて、議論に参加する方が効果的である。

2.4.2 衛星回線の場合との比較

回線の種類が異なる場合の遠隔講義の比較を行うため、比較実験として広島市立大学、東京工科大学間で遠隔セミナーを実施した。遠隔セミナーに用いたシステムの構成は図 2-9 の通りである。IDU は NEC NEXTAR CLVR、両者には H.261 用 CODEC を含む、専用のテレビ会議システム (NEC VisualLinks) が設置されている。回線速度は 1536Kbps(変調/復調方式: QPSK・FEC Rate:3/4) で、画像圧縮方式は H.261、音声圧縮方式には PCM を用いている。講師(東京工科大学側)は教材提示に OHP とビデオを用いた。いずれも、プロジェクタを経由してスクリーンに投影され、それをカメラで撮った映像が、受講者側(広島市立大学側)へ送られてくる。受講者はその映像を 60 インチのスクリーンで見る。受講風景を図 2-10 に示す。音声は別に行った遠隔講義実験の音声圧縮方式と同様である。その他の遠隔講義実験と異なり、教材提示の画面を講師、受講者側で共有することはできない。また、講師による受講者映像のフィードバックのための遠隔カメラ制御の機能はない。

受講者総数は 17 人で、そのうち、8 人が 3 章で提案した遠隔講義システムを利用した遠隔講義の経験者である。評価はアンケートによる主観評価とし、多岐選択法と自由回答法の組合せによる質問項目がある。質問項目の内容は、他

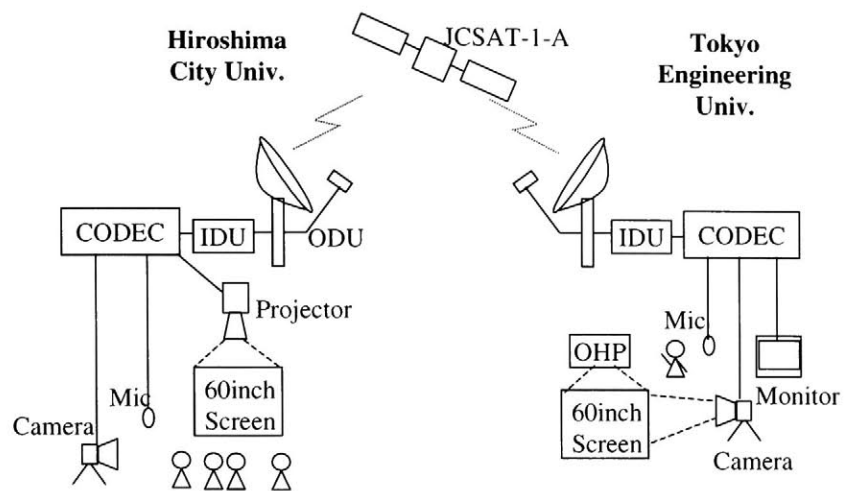


図 2-9: 衛星を使った遠隔セミナーのシステム構成
 Figure 2-9 System configuration in the case of satellite networks.

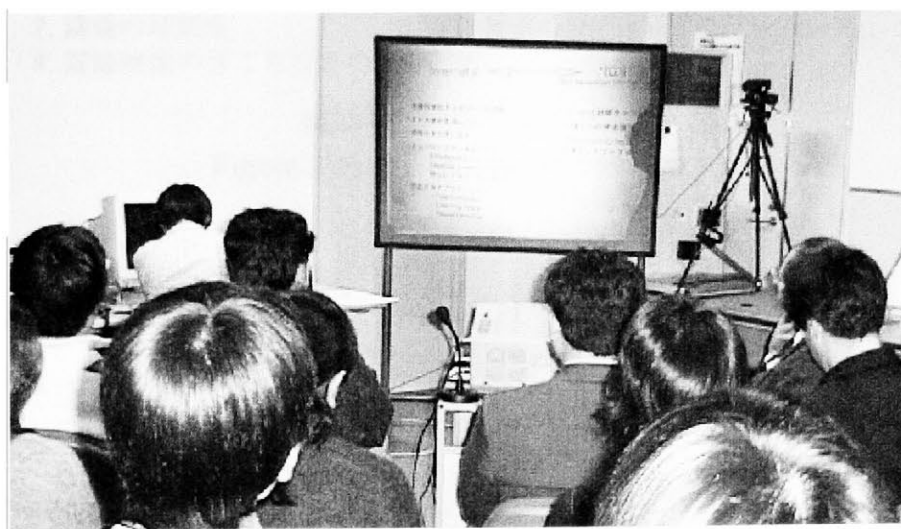
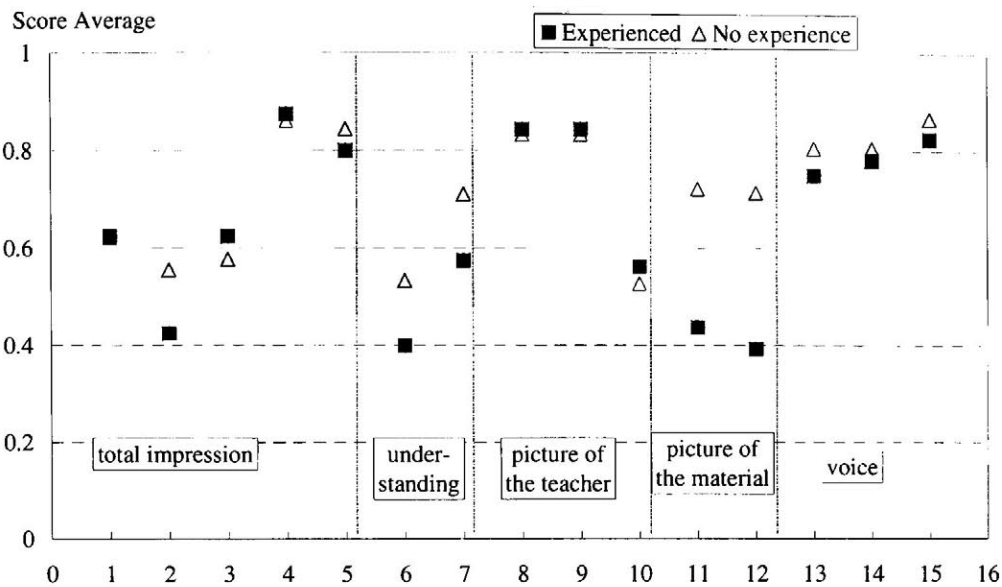


図 2-10: 遠隔セミナーの受講風景
 Figure 2-10 Scene of distance seminar



主要アンケート項目

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. 講義の緊張感 | 9. 講師映像の不鮮明さの影響 |
| 2. 質問しやすさ | 10. テレビやビデオに比べて見やすい |
| 3. 通常の講義より好ましい | 11. OHP 教材の映像の不鮮明さ |
| 4. ネットワーク環境の体感度 | 12. ビデオ教材の映像の不鮮明さ |
| 5. 再度受講希望 | 13. 映像と音声の不一致の影響 |
| 6. 講義の難しさ | 14. 対話時の音声の遅延の影響 |
| 7. 講義の理解度 | 15. 音声の聞き易さ |
| 8. 講師映像のぎこちなさの影響 | |

図 2-11: アンケート結果
Figure 2-11 Results of questionnaires.

の遠隔講義実験と同じもので、そのうちの 15 項目に関して、遠隔講義の経験者のグループと未経験者のグループに分けて、集計をまとめたものが図 2-11 である。

この結果から、明らかな違いが見られるのが、教材映像に関する質問項目の部分である。衛星回線を用いたシステムは、他の遠隔講義実験の場合よりも映像に使用する帯域は 3 倍近くだったにもかかわらず、教材提示の映像の評価が 2 グループ間で差が出たのは、遠隔講義実験経験者は他の遠隔講義で使用した教材提示ツールの映像の解像度の高さと比較したことにある。ビデオ教材は動画

教材のため、回線の帯域不足が画面の不鮮明さの原因であり、静止画教材である OHP 画面は、講師側でスクリーンに投影されたものをカメラで映したアナログ映像として受講者側に表示されるために解像度が落ちている。さらに、講師以外の補助者がカメラで映した場合、講師の説明内容と食い違った部分が表示されていたり、説明とは独立に受講者が見たい部分を表示したくても表示できない、講師と受講者側で同じ教材画面の共有ができないなど、機能的な問題も多い。遠隔の場合、鮮明な教材提示は講義の集中度にも関係することは既に述べたが、使用した衛星回線システムの場合の教材提示方法では、通常の講義の質を保つことは困難である。その他の差として顕著な部分は理解度であるが、これは未経験者グループがセミナーのテーマであるネットワークを専門とする講座に配属された学生の集合であり、他方経験者グループは専門外のテーマだったことに起因する。衛星回線の場合、通信遅延が問題となるが、本実験の場合は、音声を優先させる設定にしていたこともあり、2グループとも遅延がセミナーの障害になると回答したものはいなかった。また、特に意識していない場合、映像と音声の不一致についても障害になるようなずれを感じることはない。音声に関する評価は高い。

本実験では、追加実験として、同じ提示内容に関して、映像の回線帯域を 1536Kbps, 768Kbps, 384Kbps, 128Kbps の場合で伝送した場合の、映像と音声の品質について評価するための実験を行った。アンケートによる主観評価の結果、384Kbps を下回ると、映像の不鮮明さや音声の遅延が対話に支障が出るということが明らかとなり、特に動画像を伝送するためには、768Kbps 程度は要求されることがわかった。

2.4.3 対面講義と遠隔講義との比較

本実験の主目的は、同じ講義内容について遠隔講義と対面講義の2形態で実施し、その比較を行なうことである。その際に実習授業を実施し、筆記、実習によるテストで定量的評価を行った。受講者を半分(20名ずつに)分け、一方は遠隔講義の形式で、他方は通常の対面講義の形式で講義を進めた。この実験の遠隔

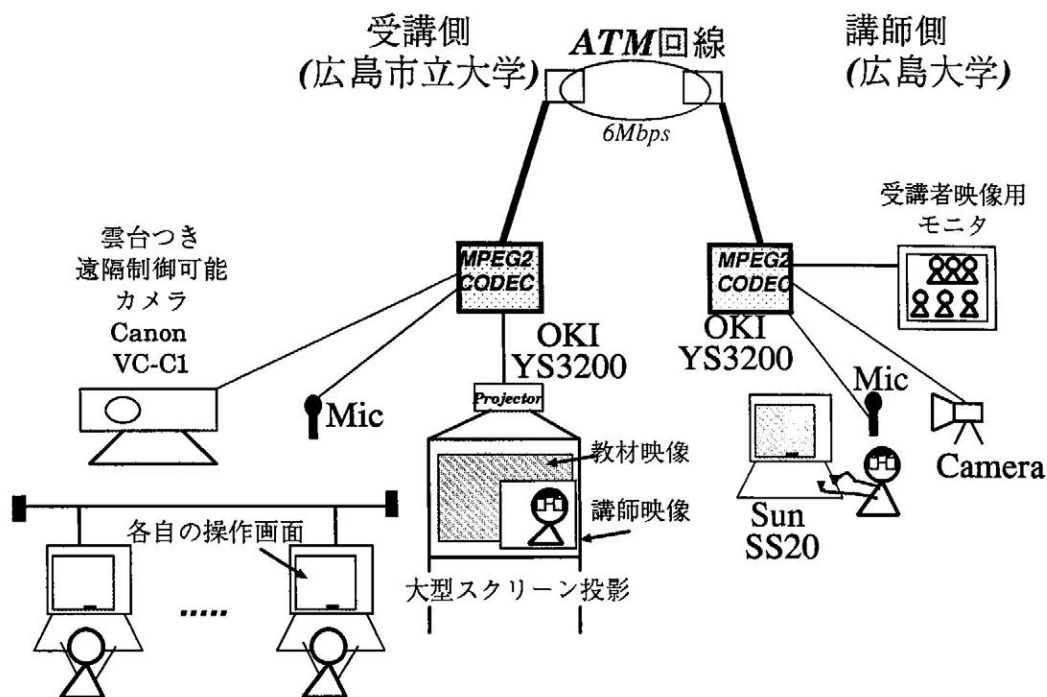


図 2-11: システム概要図

Figure 2-11 System configuration of the first experiment.

講義のシステム概要は図 2-11 の通りである。地上網を利用した他の実験と異なり、Mbone ツールを使用していない。映像、音声の伝送には MPEG2 コーデック (映像 6Mbps, 音声 256Kbps) を用いた。使用したコーデックは OKI YS3200 で、映像は MPEG2 ビデオ規格 (映像信号最大入出力レート 15Mbps), 音声は MPEG1 オーディオ規格 (音声信号入出力レート 128/192/256/384Kbps, 可変) である。ネットワークの使用帯域を転送された ATM のセル数で示したのが図 2-12 である。映像と音声と制御信号としてほぼ、6.4Mbps を使用していることがわかる。教材提示は PC のプレゼンテーションツール (Microsoft PowerPoint) を用い、その画面はプロジェクタを通して大型スクリーンに映される。教材提示方法は遠隔講義が教材提示画面がネットワークを通じて送られてくることを除いて、対面講義の環境と異なるところはない。

本実験における遠隔講義の様子は、図 2-13 の通りで、(a) が受講者側の様子で、(b) が講師側である。講義内容は「WWW のしくみとブラウザの使い方」をテーマとし、前半は講義、後半で実習を行った。実習時も PC のプレゼンター

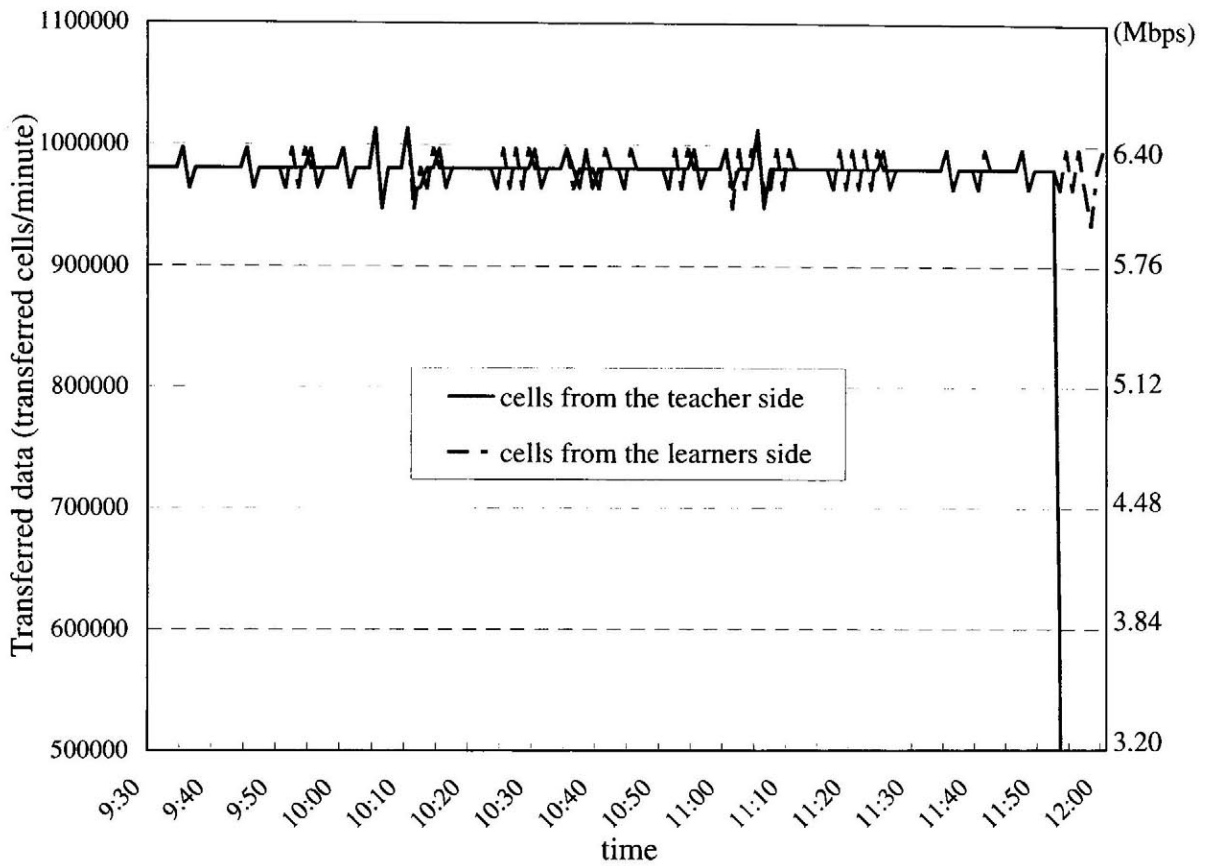


図 2-12: MPEG2 コーデックを使用した時の転送セル数
 Figure 2-12 The number of transferred cells in using the MPEG2 codec.

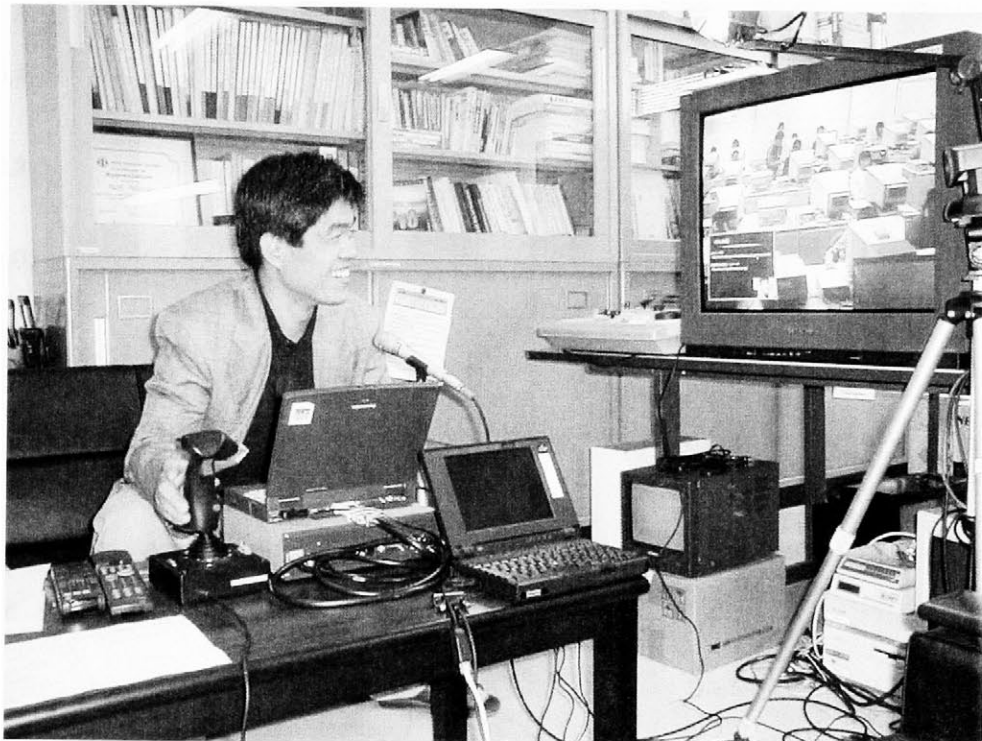
ションツールによる教材提示と同様、講師のブラウザ画面が大型スクリーンに表示される。受講者は講師の指示とスクリーン上の講師の操作するブラウザ画面に従って各自のマシンを操作方法を習得する方法をとった。この時、教材は同じものを使用し、習得内容に関するチェック項目を事前に打ち合せ、入念なシナリオを作成することにより、2グループの講師の違いによる差を最小にするよう注意した。また、実習中はどちらの講義にも実習補助者を2名つけている。遠隔講義の方は、他の実験と同様、遠隔カメラ制御によって自由に受講者映像を見ることができる。カメラ操作はジョイスティックによる [Nishimura98].

表 2-3 は、講義終了後に実施したテストの結果である。試験問題は 15 問あり、WWW に関する記述について正誤を問うもので、受験者は各グループ 20 人ずつである。この結果によると、ほとんど遠隔講義による影響はないと言える。また、実習中に指定した URL のページに移るのにどれくらいの時間がかかるかを調べたところ、どちらのグループも平均時間、最大時間ともほぼ同じ位であり、それによっても両グループ間の習得程度に関して大きな差は認められないことがわかった。さらに、図 2-14 のようなアンケート結果が出ており、理解に関する質問項目に関してはほぼ差がないことがわかる。差が見られる質問のしやすさに関する質問項目は、マイクやカメラを意識する必要のある遠隔グループの結果が悪くなっている。「コミュニケーションの困難さ」、「操作確認をしてもらえない困難さ」については、対面グループには遠隔講義を想定した場合の回答である。その結果、対面グループの結果より、遠隔グループの方が高い結果が出ており、遠隔講義を受ける前に予想していたほど実際の遠隔講義は講義として支障がなかったと言える。これは、実習助手と講師との連携がうまくいけば、遠隔講義による実習授業の実施可能性を表しているとも言える。

さらに図 2-15 は遠隔講義受講者による遠隔講義環境に関するアンケート結果を示している。最終質問項目の資料映像の不鮮明さが、Mbone ツールを使用した場合と比べ、かなり低い結果となっている。ネットワーク環境としては、映像に 6Mbps を使用しているのに、他の実験に比べ高品質であるにもかかわらず、このような結果となったのは投影するプロジェクタの性能による。遠隔講義を



(a) Learners' side



(b) Teacher side

図 2-13 遠隔講義風景
Figure 2-13 Scen of distance learning

表 2-3: 試験結果
Table.2-3 Test result.

	平均点 (15 点満点)
遠隔講義グループ	9.5
対面講義グループ	10.0

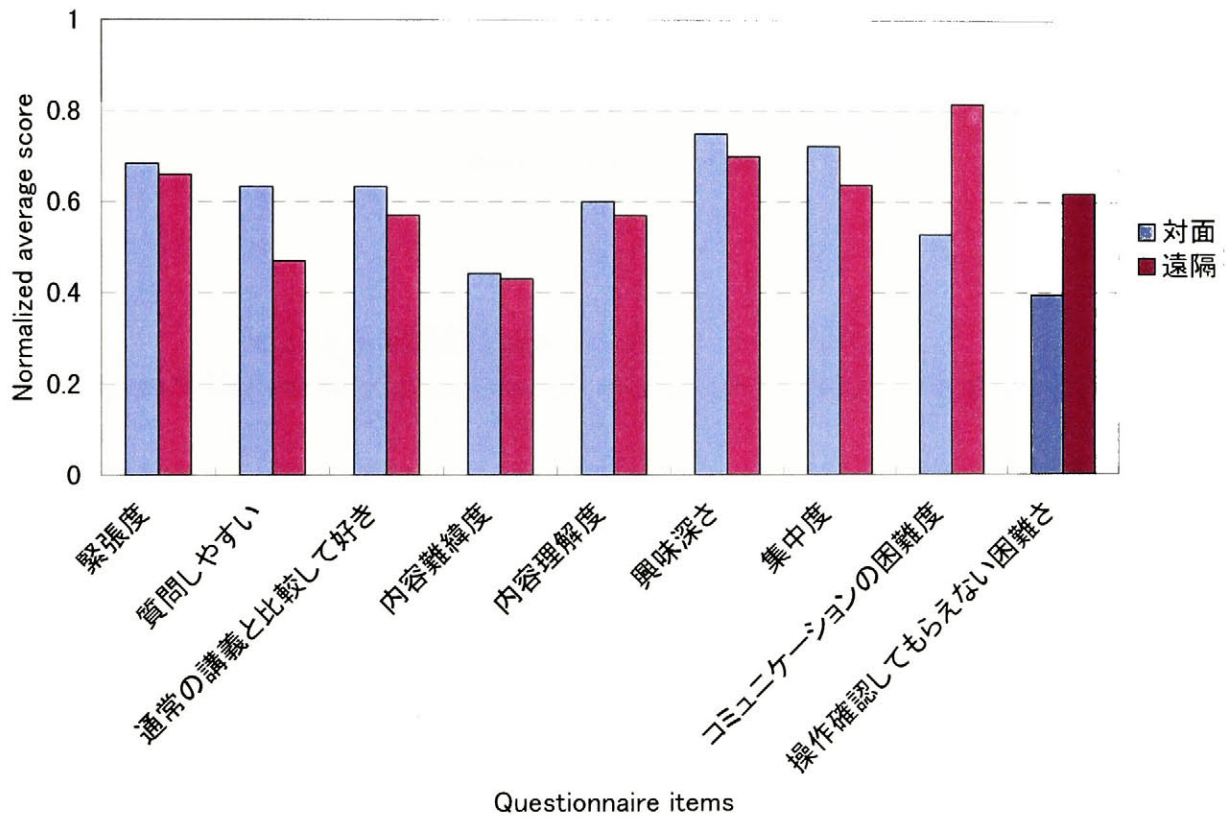


図 2-14 遠隔講義形態と対面講義形態の比較

Figure 2-14 Comparison between distance learning style and face-to-face style.

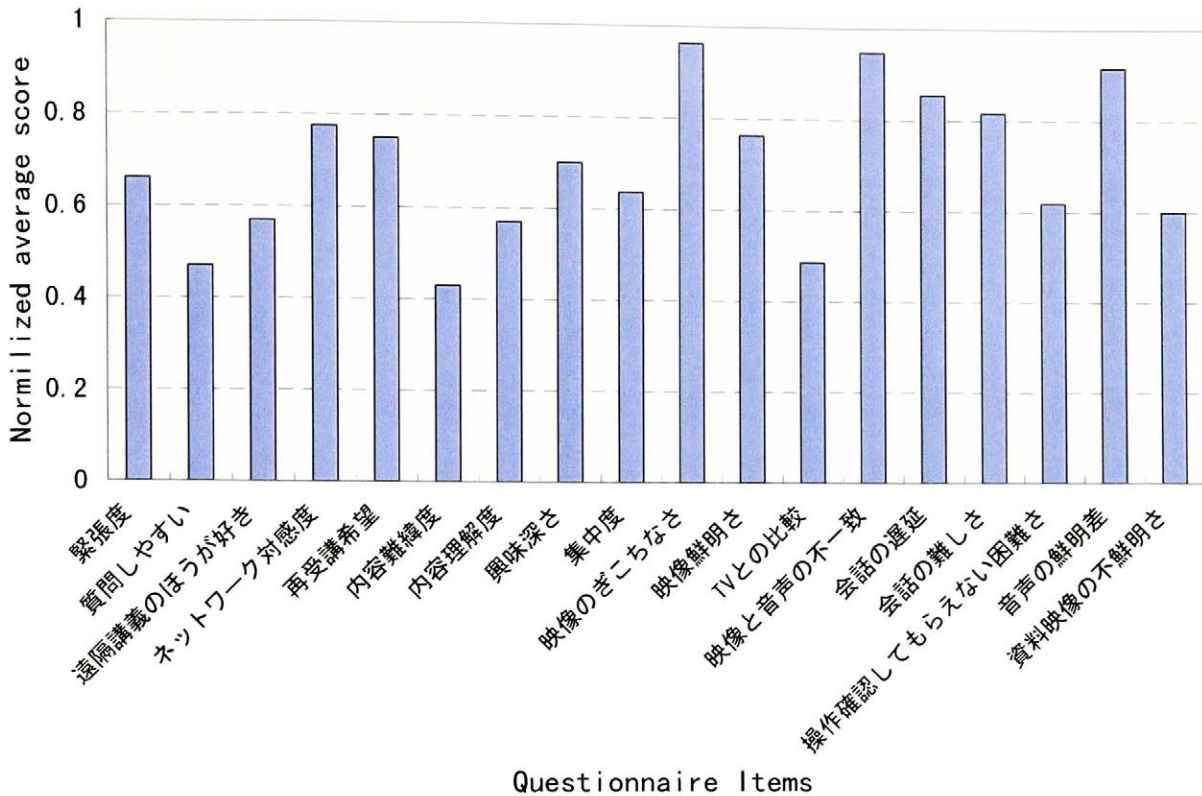


図 2-15 遠隔講義受講者によるアンケート結果

Figure 2-15 Results of questionnaires by learners in distance learning.

実施するにあたっては、単にネットワーク回線やマシン性能だけでなく、その他の投影環境、照明、音響施設なども重要な環境と言える。

2.5 まとめ

本章では遠隔教育に必要なシステム構成やネットワーク環境等の条件について定量的に調べるために、実施した遠隔講義実験8回についてまとめた。その評価としては、講義中に測定した使用するネットワーク帯域や音声、画像の圧縮方法による定量的評価や講師、受講者対象のアンケート集計による主観評価を用いた。本章で提案した遠隔講義システムは高速回線と Mbone ツールを用いる構成において、得られた成果を項目ごとにまとめる。

(1) 必要なネットワーク帯域

講義に支障が生じない最低限のネットワーク帯域や比較的快適に通信できるネットワーク帯域を定量的に調査した。その結果、600Kbps程度のネットワーク帯域が確保できれば、遠隔講義の実施は可能であることがわかった。

(2) マシン負荷

単にネットワーク帯域が映像や音声の使用できる帯域の限界を決める要素となるのではなく、ソフトウェアで音声や画像の圧縮/伸長と表示を行う場合、マシンの高負荷による制限もあることがわかった。

(3) Mbone ツールを用いたシステム構成

Mbone ツールそのものはマルチプラットフォームで使用でき、WS や PC を用意できる環境があれば遠隔講義の実施が可能である。その際にマルチキャスト機能が使用できる環境であれば、複数地点での遠隔講義の実施が可能となり、音声と映像の入出力機能がついたマシンがあれば、1人1台で音声や映像の制御をしながら遠隔講義に参加する環境も構築できる。既に双方向遠隔講義システムに関しては開発も進んでいる。しかし、多くの場合、高コストの専用の装置やソフトウェアが必要で、マルチプラットフォームで実用的に使用できるわけではない。マルチメディア通信が世界規模のネットワーク上で日常的な通信方法となる時代に備えて、既にマルチメディア通信のための教育環境は必須であるが、それを実現するには現状で実用可能なシステムが必要と言える。本章で提案したシステムではその実現が可能である。単にマルチプラットフォームでのマルチメディア通信を可能とするという目的だけでなく、講義として支障がおきないシステムの限界を調べ、また、より効果的に講義ができるためのツールを設計・開発することで統合的なシステムの効果を向上させた。

(4) 映像、教材画面の品質

実験を通して、講師や受講生の映像、また教材画面の品質を高くするこ

とに、留意した。特に教材画面の品質、教材提示の方法は受講生の講義の評価に大きく影響することがわかった。受講生各人がディスプレイを見る際には、解像度の高いモニタを用意し、全員が大型スクリーンを見る場合も高解像度プロジェクタを用意した。これにより表示そのものによる映像の品質劣化はなかった。さらに、教材提示に *wb* を用いるため、教材は PostScript 形式のデジタルデータを用いたため、高品質な教材データ転送が可能であった。しかし、衛星を使用した場合の実験と MPEG2 コーデックを使用した場合の実験の場合の映像に関する評価は低い。どちらも、Mbone ツールを使用した場合に比べると、映像に使用した帯域は約 3 倍や 10 倍と格段に広い。しかし、衛星の場合の教材提示は、OHP を映して画面を転送するためアナログ映像となり、質の劣化が激しいことや OHP の内容によっては OHP 全体を表示できないこともあり、受講生が見たい部分を見ることができないなどの支障を生じるため、評価が低い。また、MPEG2 コーデックの場合は、講師の教材画面はデジタルデータとして転送されてきたにも関わらず、表示に使用したプロジェクタの解像度が不十分であったために、受講者の評価を落す結果となってしまった。映像は単にネットワークやハードウェアコーデックを使用するというコストのかかる設備を用意しても、その提示方法や最後に表示する設備の性能の悪さによって、講義の質を落すことになる。

(5) 遠隔カメラ制御

実験で採用した遠隔カメラ制御機能は遠隔講義システムとして重要な役割を持つこともわかった。通常の対面講義での講師の受講生を見る動作に近い形を遠隔地の受講生に対して実現するために、遠隔カメラを自由に操作できることは講義の質を保つ上で効果的であったと言える。この機能を実装する方法に WWW ブラウザを用いることは、汎用性が高く移植も簡単であるが、画面操作の煩雑さと遅延による画面転送とカメラ制御のタイミングのずれが問題であることがわかった。これについては 3 章で詳述する。

(6) 教材提示システム

教材提示に関しては、講師の準備コストが問題の1つとなった。実験で使用した *wb* は高品質表示が可能、簡単な操作、講師と受講生の共有ボード機能など遠隔講義の教材提示ツールとして評価が高かった。しかし、PostScript 形式のみを使用するため、講師が PC のプレゼンテーションツールで作成した教材の場合は形式変換などに時間や技術レベルが要される。また、PostScript 形式のファイルの展開はマシン性能によっては高負荷となり、リアルタイムな教材提示には不向きであることもわかった。そのため、今回の実験では、講義の前にキャッシュしておくことが必要とされた。しかし、実際には講師は教材の書換えを講義の最中にする場合もあり、できれば、PC のプレゼンテーションツールをそのまま使用できることが望ましい。このような問題点を解決する教材提示ツールについては 4 章で詳述する。

得られた成果や遠隔講義の経験を通して、遠隔講義環境構築の際に留意すべき点、また、選択の目安となる点を、いくつかの観点から以下に列挙する。

● 音声

vat で PCM 形式や PCM2 形式を用いて 80Kbps 程度の帯域を占有できる環境の場合、講師が一方向的に講義する場合は支障をきたさない。しかし、*vat* の設計仕様から、遅延が蓄積するため、質疑になると間をおきながら対話することになり、自然な対話のペースでは進行できない。*vat* はインターネットという通信品質の保証が乏しい環境で使用されることを前提に設計されているため、ある時間、データを蓄積し、無音状態がきた所で蓄積がリセットされ、再生するという手法をとっていることによる。蓄積時間は回線の状態により、アダプティブに調整されるが、混雑してくると蓄積時間が長くなるため、対話に生じる遅延時間が長くなる。一方、MPEG2 のコーデックを使用する場合 (MPEG1 オーディオ規格) は議論が多い場合でも自然に会話することができる。特に、MPEG2 コーデック

には映像よりも音声を優先する低遅延モードでの使用が可能な場合が多いが、議論の場合、映像と音声のずれが会話に支障をきたすことはないので、音声を優先するモードで使用すれば、さらに自然な対話ができる。

今回の実験を通して、大きな問題にはならなかったが、一般に自然な対話の障害として遅延の他に、音声のまわりこみという問題がある。エコーキャンセラーを用いることも一策であるが、多人数の場合、正常動作しないことが多いため、むしろ、スピーカ位置や指向性マイクの設置場所を工夫し、できるだけ多数設置することで問題回避できる。

遠隔地側の音声状態、すなわち、自サイトから出している音声がどのような大きさ、および、質で遠隔地に出ているかを自サイトで監視できることが望ましい。vatには音声レベルメータや通信の統計情報をリアルタイムに表示する機能があり、これらがある程度の目安として機能する。しかし、MPEG2 コーデックには通常、このような機能が備わっていないので、ミキサーのレベルメータを使用するなど、遠隔側で音声のレベルや品質になっているかを把握する機能を備えるべきである。

講師はマシンや音声、映像機器を操作しながらの講義となることが多いため、両手を自由に使えるために小型のワイヤレスマイクを使用する方が格段に楽である。マイクを通して会話するというのは、初めて受講者にとって心理的にはプレッシャーを感じるものである。さらに、質問時に固定のマイク位置に行かなければならないとなると、敷居がますます高くなる。できれば、受講者1人ずつが小型マイクを用意することによって精神的な負担を軽くすることができる。

- 映像

講師や受講者映像伝送に MPEG2 コーデックを使用した場合は、講義に支障をきたすようなことはまずない。座学の授業で、講師も受講者もほとんど動きがない場合であれば、vicでも問題ない。今回の実験を通してマシン性能の限界から、400～500Kbps の回線帯域を映像に使用したが、こ

の程度で、双方の様子を把握するには十分である。その際、講師が自由に受講者の様子を見る機能を備えることは、通常の講義に近付けるために不可欠と言える。

教材提示画面を *vic* や MPEG2 コーデックを用いて表示するのは困難である。*vic* や MPEG2 では、教材提示画面を NTSC 信号として入出力するため、講師が PC のプレゼンテーションツールなどを使用して作成した教材の品質のよい画面も、スキャンコンバータ等で形式変換して送られるので、表示する際にはどうしても品質劣化してしまう。また、*vic* の場合は表示画面のサイズが小さいことから、教材提示画面としては不適當である。ただし、教材としてビデオ映像をながす場合は、MPEG2 コーデックを使用するのは問題ない。ここで想定しているのは、一般的な大学などの座学の講義で、高解像度が要求される医療関係の教材などについては専用の表示装置が別途必要であろう。

特に教材の提示に関しては、表示装置の性能も重要な要素となる。たとえ通信等による映像自体の劣化がなくとも、プロジェクタやモニタの輝度、解像度等が悪いと、結果的に映像に関する評価が低くなる。

- 教材提示

講師が PC のプレゼンテーションツール等を使った教材を用意する場合、マシンのディスプレイに表示される品質相当を維持して遠隔地で表示するためには、アナログ映像に変換されることなく、デジタル表示可能な教材提示ツール等を使用することが重要である。使用する教材提示ツールにリアルタイムな書き込みができれば、通常の講義で使用する黒板としても使用できるので、かなりスムーズに講義進行できる。ただし、現状では入力デバイスとしてマウスを使用するものが多いが、講師の親和性の面からはペンタイプのデバイスの方が望ましい。

ユーザインターフェースを考慮しても、講師に PC などのプレゼンテーションツールを黒板代わりに使用することに抵抗感がある場合、MPEG2

程度の伝送が可能ならば、書画装置を併用することも効果的であろう。

- 受講者の環境

講師映像、教材映像の画面表示は、必ずしも受講者の面前にある各自のモニターが有効とは限らない。アンケートの結果、教材画面に関しては鮮明な画面を手元で見ることに有効性を感じる受講者も多かったが、講師映像は教室の前面においた大型スクリーン等で見の方が親和性が高いという感想が多かった。理由としては通常の講義の形態(講師が教室の前で講義する)に近いからである。受講者が遠隔講義に慣れていない場合は、講師や教材画面を前面に表示する方が、親和性が高い。

受講者を映すカメラと講師映像の表示画面のモニタやスクリーンが近いことが望ましい。実験の中で、講義映像は教室の前の大型スクリーンで、また教材映像は手元のモニタ、しかもモニタとスクリーンは90度ずれた方向に設置したパターンで講義を行ったが、この際、受講者は教材画面と講師映像をみるたびに90度、体の向きを変えなければならないため、かなり不自然な受講となった。受講者はモニタに向かって座っているため、カメラ位置から講師からは全員が横向きになった状態で講義を受けていることになり、講師にとっても不自然な形態であった。教材映像、講師映像の位置、講師映像と受講者を映すカメラの位置を考慮することは両者の視線を合わせ、より自然な対話に近付けるために重要な点である。

- 操作

遠隔講義の場合、音声・映像制御機器や通信機器、場合によってはコンピュータを操作しながら講義することは不可欠である。できるだけ操作性のよい機器類やシステムを選ぶ必要はあるが、受講者、講師ともこのような操作からは避けて通れないという自覚が必要である。また、教材提示に関しては品質を維持しようとする、講師は資料作成や教材提示ツールにPCなどのマシンを使用する頻度が増えてくる。そのためには、これらの操作やより教材提示の効果的な作成方法に知識が要求される。

- 講義テーマ

今回は情報処理教育で必要とされるテーマ(電子メールのしくみ, WWWの使い方, インターネットの構造など)で遠隔講義を実施した. これらのテーマはコンピュータやネットワークを用いる遠隔講義と比較的親和性が高いと言える. そのため, 遠隔講義そのものが学習に効果的であった. 遠隔講義は必要に迫られて実施される需要が高い(例えば, 集中講義を実施するが講師が移動できないなど)ため, 講義テーマを選ぶことは難しいが, 遠隔講義だからより効果的な講義テーマを検討することも有用である. アンケート結果による要望としては, 海外の著名人や普段, 接する機会がないような講師からの講義を希望するものが多かった.

- 講師側の環境

遠隔講義で従来の対面講義の教育効果を維持するためには, ある程度の講師への制約は避けられない. 従来の講義のパターン, すなわち, 講師は黒板一杯に説明を書きながら, 目の前にいる受講者に向かって, または, 教室の中を歩きながら講義するパターンをそのまま踏襲しようとする, 逆に円滑な講義進行を妨げることになる. SCSの場合, 講師側と遠隔地両方に受講生がいて, 通常通りの講義をしている様子を遠隔地に伝送することを想定したシステムとして使えるようになっている. その場合, 講師の動きをカメラで追い, 黒板に書かれたことをそのままカメラで映して内容を伝送するということになり, 品質の良い教材提示は期待できない. また, あらゆる分野に利用できるように作られているため, 機器構成が複雑になって, 講師の抵抗感を産む結果ともなっている. 遠隔講義を実施する際は, 講師は遠隔地のみを受講者を想定し, ネットワークの向うにいる受講者と視線をあわせるためにはカメラと対話することが必要とされる. しかし, 単にカメラに向かって一方的に講義することは講師にとっては苦痛となるので, 受講者映像のフィードバックが重要になる. このフィードバックによって, 講師も受講者という一体感を感じ, 通常講義のペースに近い感覚で講義を進めることができる. 通常の講義スタイルを

遠隔講義で同じように再現するのではなく、映像、音声に関する機器類、ネットワークを想定して講義することが、結果的に遠隔地の受講生にとっては通常の講義に近く、より、自然な対話ができる環境となる。

受講者環境でも指摘したように、より自然な対話に近付けるためには、受講者環境と同様、講師を映すカメラと受講者映像の表示されたモニタが近いことが必要である。

3 章

遠隔映像のフィードバックに関する 考察

遠隔講義において自然なコミュニケーションを行うためには、講師、受講者双方が互いの映像を見ることが要求される。講師側の映像はカメラの自動追尾機能などを使うことによりカメラ操作を自動化することが可能であるが [Tanaka96]、受講者側の映像は遠隔カメラ制御により、講師自身が講義しながら対話的に操作する必要がある。受講者側の映像のフィードバックは遠隔講義にとって重要な要素である。遠隔講義システムとして多くの大学に設置されている SCS [Kondo98a] ではこのための機能がなく、一方向的な講義となりやすい。また、SCS では高機能な操作ができるがために、機器構成が複雑で、初心者が利用するには敷居が高く、補助者を要するなど機器の操作が困難なことは講師にとっては、遠隔講義実施の大きな障害となる。本章ではここで述べた、受講者映像のフィードバックという要求を満たし、かつ、操作性を意識して開発した遠隔講義支援ツールについて述べ、その評価を行う。最初は WWW ブラウザを用いて遠隔カメラ制御のためのツールを作成し、次にこのツールの問題点を解決するため、ジョイスティックを用いた支援ツールを開発、プロトタイプを作成を行ったので、各々について述べる。

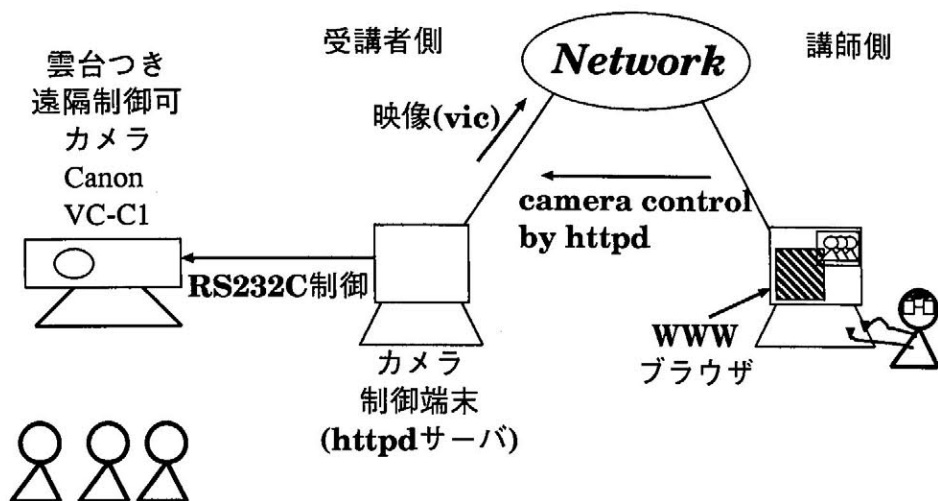


図 3-1: WWW ブラウザによるカメラ制御ツールシステム概要図
 Figure 3-1 System configuration of camera control by a WWW browser.

3.1 WWW ブラウザによる遠隔カメラ制御

3.1.1 ツールの概要

このツールのシステム概要を図 3-1 に示す。カメラは雲台付き (Cannon VC-C1) で、カメラ制御用端末とシリアルケーブルで接続されており、RS232C インターフェースを持つ。講師ブラウザのボタン操作に対応したカメラ制御コマンドが httpd プロトコルにより、カメラ制御端末 (httpd サーバ) に送られてくる。そこで、開発した UNIX シェルスクリプトで記述された CGI (Common Gateway Interface) により解釈され、雲台付きカメラの制御用の専用コマンドに変換され、RS232C 信号としてカメラに送られる。

講師は図 3-2 のような WWW ブラウザ (Netscape 社 Netscape) のボタン操作によって遠隔地のカメラの視線方向変更やズーム変更を行う。講義に集中できるように講師の操作は平易な方が望ましいと考え、操作の簡単化のため、カメラの動作幅のレベルをパン、チルト、ズームそれぞれ、2 段階に限定してあり、ボタン数は 12 個しかない。講師はカメラの視線方向を右に移動させたいときは、「少し右に向ける」、「かなり右に向ける」という操作を組み合わせる使用することになる。これ以外のボタンとして、受講者が一人一人マイクを持ってな

表 3-1 カメラ制御コマンド
Table 3-1. Camera control commands

rpan	視線方向を引数分 (パン角) ほど左右に移動させる.
rtilt	視線方向を引数分 (チルト角) ほど上下に移動させる.
zoom	引数分 (焦点距離) ほどズームさせる.
question	質問者の位置にカメラの視線方向を合わせる.

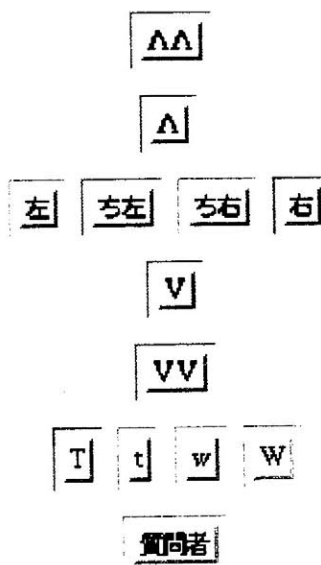


図 3-2: 遠隔カメラ制御ブラウザ画面

Figure 3-2 Snapshot of a WWW browser window of remote camera control.

い環境の場合に固定マイク位置にカメラを向けるため (質問者位置用) のボタンがついており, そのボタンのクリックで, 質問者位置にカメラの方向を向けることが可能である.

CGI に渡されるのは, カメラ制御用コマンドと引数である. カメラ制御コマンドは表 3-1 のとおりである. 講師によるカメラ操作により, 操作要求が制御コマンドに変換されて実行されると, 雲台が移動しその状態が変化するが, カメラ制御端末では雲台の最新の状態 (パン角, チルト角, 焦点距離) を保持しておく.

3.1.2 評価

実験を通して、受講者映像を講師側のカメラ制御で自由に制御することの有効性が得られた。ツールの実現方法として、受講者全員に1つのボタンを対応させ、それを押すことによって、希望の受講者映像を映すことも可能である。また、それをタッチパネルなどで実現することも実装可能であろう。しかし、講義では、必ずしも所定の学生のみを映すだけでなく、全体を見回しながら、場合によっては特定の受講者に視線を向けるという動作の方が多い。そのためにはある固定位置を指定する方法はあまり適当とは言えない。また、各受講者の座る位置を事前にカメラの視線位置と合わせておく必要があり準備も必要となる。ここで、使用したツールは、特定の位置にターゲットを合わせるだけでなく、全体を見渡すという講師の行為に対応している。カメラ制御の種類を制限したことで通常使用している WWW のブラウザのボタン操作に限定したことで、操作そのものは非常に平易である。

しかし、今回のツールは以下のような問題点をもっていることがわかった。

- (1) 講師の画面上には、音声、動画像、教材提示、遠隔カメラなどの制御ツール用のウィンドウが多く (図 2-3)、操作が煩雑である。
- (2) 動画像の遅延により、視線変更やズームなどのカメラ操作と送られてくる受講者映像がずれ、制御のタイミングが合わない。そのため、カメラ制御用ボタンを何度も押してしまい、希望の場所にカメラの視線を合わせることに困難である。

3.2 遠隔操作における遅延

WWW ブラウザによる遠隔カメラ操作の問題点として出てきた遅延に関して考察を行う。インターネットや衛星回線などを利用した場合、通信路の通信遅延および動画像や音声の圧縮にかかる遅延は、数百ミリ秒から数秒となり、以下のような問題が起こる。

- (1) 音声の遅延により自然な対話が困難。

(2) 動画像の遅延により遠隔カメラ等の機器制御が困難.

遅延を小さくするための対策として、圧縮方式の変更や回線帯域、種別の変更などが考えられる。音声は動画像と比べ使用帯域も小さいため、質疑応答など対話を行う時点で圧縮方式を変更したり別回線（例えば、通常の電話回線）を用意することも可能である。しかし、使用帯域の大きい動画像では圧縮方式の変更や利用回線の変更は容易ではない。

このようにカメラ制御などの遠隔操作においては、制御要求の転送遅延、画像取り込み、圧縮の処理遅延、画像データの転送遅延について考慮しなければならない。

3.3 ジョイスティックによる遠隔カメラ制御

通信回線や動画像の圧縮方式を変更することなく、容易に遠隔カメラ操作する方式について検討する。本ツールでは、講師の行なった操作に対応する制御情報から遠隔カメラの状態(パン, チルト, ズーム)をシミュレートし、遠隔カメラの中央を照準として、講師用ディスプレイに表示する。これにより、講師は画像データの転送遅延を意識することなく、希望する位置にカメラを向けることができる。

3.3.1 ツールの概要

3.1節で指摘した問題点のうち、(1)の画面の多さによる煩雑さを解決するため、WWWブラウザによる制御からジョイスティックの操作に変更したツールの開発を行った [Nishimura98a,b]。信号を送るメカニズムはブラウザの場合とほぼ同じであるが、WWWブラウザの場合は講師の操作に対応するコマンドがhttpdプロトコルで転送されているのに対し、ジョイスティックツールでは、後に述べる独自のプロトコルで送られる。ツールのシステム概要は図3-3の通りである。

ジョイスティックを右に倒せば、カメラの視線方向が右側に向くようになっていく。この時、ジョイスティックの操作速度がカメラの視線変更の速度に対

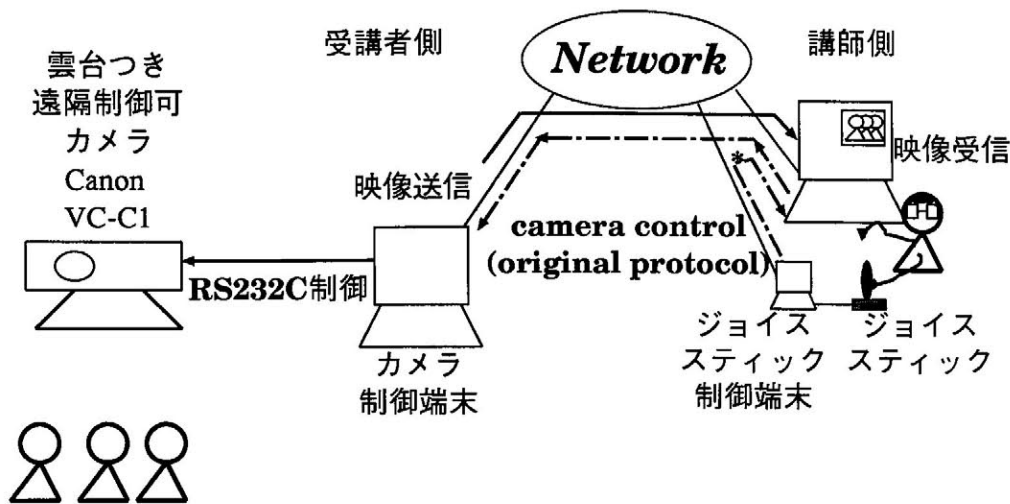


図 3-3: ジョイスティックによるカメラ制御ツールのシステム概要図
 Figure 3-3 System configuration of camera control by a joystick.

応するようになっているので、ジョイスティックを速く動かせばカメラが速く動く。ジョイスティック操作は、その座標データとボタンの状態として、制御端末である PC のジョイスティックポートから取り込まれる。プロトタイプシステムでは、制御端末として携帯型 PC(OS: Linux) を使用し、PCMCIA カードを使用してジョイスティックと接続されている。

ジョイスティックの状態をカメラ制御に対応させるが、その際カメラ制御プロトコルにはには CCCP(CamCoder Control Protocol)[Ohta97] を参考として、ジョイスティックやカメラの制御コマンドとは独立なテキストベースの簡単なプロトコルによって設計されている。さらに、カメラ制御端末では、このプロトコルで送信された制御をカメラ制御用のコマンドに変換し、RS232C シリアルインターフェースを通して、制御信号が送られる。ネットワークでのカメラ制御のプロトコルは、カメラの機種に依存しないため、別のカメラでも利用可能である。現在のところ、Cannon VC-C1 と SONY EVI-D30 が使用可能である。ジョイスティックを使用した遠隔講義実験の様子が図 2-12 である。

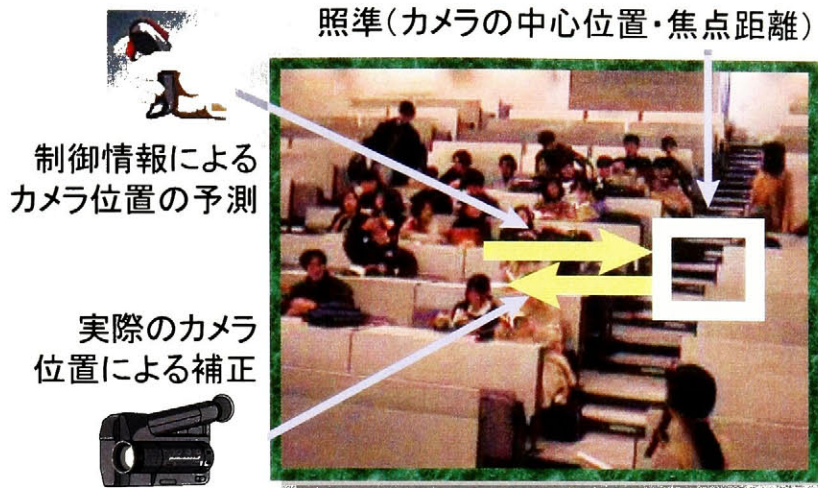


図 3-4: 照準の表示
Figure 3-4 Target indicator.

3.3.1.1 照準の表示

ジョイスティック制御用端末からカメラ制御端末に送られるリクエストを取得するため、カメラ制御用情報は直接送信されず、講師用映像受信端末(ディスプレイ)にリクエスト中継部を設けて、横取りされる(図 3-3 中の*の部分)。

過去の遠隔講義実験から、雲台の位置決めは絶対位置ではなく移動方向と移動速度を指定するが滑らかに操作できることがわかった。そこでツール起動時に雲台をホームポジション(中央点)に初期化した後、ジョイスティックから得られる座標データの中心座標からの偏位ベクトルを移動方向に、そのスカラー値を移動速度に対応させる。ただし、雲台の制御コマンドの制約から、移動方向は VC-C1 は 4 方向 (EVI-D30 は 8 方向) に制限されている。ジョイスティック制御用端末から以下の

1. 移動方向 (STOP / UP / DOWN / LEFT / RIGHT)
2. パンモータ速度 (pps)
3. チルトモータ速度 (pps)
4. ズーム位置 (WIDE ↔ TELE)

を制御情報として選択的に送信する。

一方画像表示部では、リクエスト中継で取得した制御情報から、現在の遠隔

カメラのパン角，チルト角，焦点距離を計算により予測し，遠隔カメラの中心を表す照準を，受信した画像データに重ねて表示する(図 3.4)。その結果，講師は画面の中心に移動させたい対象に照準を合わせることで，画像データの転送遅延を意識することなく操作することができる。

3.3.1.2 カメラ位置の調整

制御情報を元にしたシミュレートによるカメラ位置の予測には誤差が生じるため，画像データとともに送られてくる実際の遠隔カメラの状態により予測値の補正を行なう。ブラウザによる遠隔カメラ制御の場合と同様に，雲台の状態が変化するので，雲台制御リクエスト処理部はリクエストの処理とは別に，常に雲台の状態取得コマンドを発行し，雲台の最新の状態(パン角，チルト角，焦点距離)を取得，保持しておく。

一方画像取り込み，データ送信はカメラ制御端末で行われ，カメラで撮影された動画の取り込み，圧縮，画像データの送信を行なう。選択可能な画像フォーマットは CellB, UYVY, JPEG で，画像の取り込み，圧縮は SPARCstationLX に搭載した SunVideo ビデオキャプチャカードにより，リアルタイムに行なうことができる。画像データの送信においては，圧縮された画像データとその時点における雲台の状態を合わせて送信する。

講師用端末(ディスプレイ)で受けとられる雲台の状態は画像データと同期しているため，雲台制御リクエスト中継によって取得した制御情報から計算されるパン角，チルト角については修正し，焦点距離については上書きする。

以上の処理により，ジョイスティックを操作していない状態では照準が常に画面の中央に位置することになる。しかし制御情報が絶対位置指定ではないことから，長時間使用すると誤差が蓄積する可能性があるため，移動停止のリクエストに対応する雲台の状態情報が到着した時点で，強制的に予測した雲台の状態を実際の状態に一致させる処理を行なっている。

3.4 まとめ

本章では遠隔講義をより円滑に進めるために、受講者映像のフィードバックを講師側で自由に制御することが重要と考え、そのためのツールを設計、プロトタイプの作成をした。受講者映像の制御は、受講者1人に一つのボタンを対応させたようなシステム、全体映像から指定の部分をタッチパネル形式で選択するシステムなどもあるが、本章で提案したWWWブラウザによる方法、ジョイスティックによる方法は、講義の際に講師が受講生を見渡すという動作に近い形を実現することを目的として設計されている。このようなツールを遠隔講義に用いて、受講者の映像をフィードバックすることは、遠隔講義システムとしては新しい試みであったと言える。どちらのツールも、特定のマシンに依存しないで使用でき、操作性についても講師の技能レベルを問わないことを設計目的としているので、操作補助者も不要である。ジョイスティックによるカメラ制御では、通信遅延、圧縮遅延そのものを小さくするのではなく、遅延のあることを講師に知らせる（照準を表示する）ことによって、遅延における操作性の問題を解決しようとする方法である。遅延この方法では大きな遅延がある場合、遠隔地からの画像が転送されるまでの時間分は待つ必要があり必ずしも遅延を克服しているわけではないが、コストの制約などで容易に変更のきかない、通信回線や圧縮/伸長のための装置やソフトウェアを使用する場合には、これらの環境の変更なしに利用可能な方法として有効である。また、遠隔講義を実施した結果、WWWブラウザを使う場合に生じた画面の操作の煩雑さに比べ、操作性は向上したと言える。ジョイスティックによるカメラ制御の新規性は、カメラ位置の予測と補正を導入して照準を表示する点と通信プロトコルとして特定のカメラやネットワークに依存しない、IP上のプロトコルとして設計されている点であるといえる。

音声、画像の圧縮/伸長、表示などの処理は、コンピュータによっては負荷の高い処理である。通信回線を経由した場合の遅延についてのみ検討したが、コンピュータ性能による遅延についても検討していく必要がある。

4 章

マルチメディア教材提示システム

4.1 デジタル教材の需要

あらゆる情報がデジタルデータとして蓄積可能な時代になっている。講義に使う教材などを電子化されたデジタル教材として作成し、保存していくことにより、再利用や共有、遠隔地からの利用などを可能とし、その利用方法や範囲の可能性が広がる。遠隔講義や遠隔セミナーでは、鮮明な教材画面は円滑な講義実施にとって重要な要素となるため、デジタルデータによる教材の使用が必須とも言える。また、PCのプレゼンテーションツールの操作性の向上により、あらゆる分野、幅広い利用者層において資料の作成にこのようなツールの利用が急速に増えている。同時にマルチメディア対応のコンピュータの普及、低価格化により、ビデオやデジタルカメラなどAV機器との連結によって教材作成する環境も普及しつつある。しかし、現時点ではデジタルデータの新規作成や従来の教材のデジタル化は、ある程度コンピュータや関連機器類の操作技能を要求され、誰でもが気楽に使用できる状況とは言えない。しかし、電子図書館、電子美術館などあらゆる分野でのデジタル化が進む中、このようなデジタル教材が一般的になるのにそう時間はかからないと言えよう。

4.2 システム設計の背景

対面講義に比べ、双方向の遠隔講義や遠隔セミナーでは、映像や音声の伝送と共に教材の提示機能が極めて重要な要素となる。対面講義で使われる黒板等

を撮影し映像伝送機能をそのまま利用する教材提示では、高解像度の映像伝送が必要となるばかりでなく、撮影技術を持つ講義補助者が必須となり、遠隔講義普及の大きな障害となる。そのため、一般的な共有ボードソフトウェアを遠隔講義に利用する試みも行われている [Mccanne92][Floyd97][Quemada96].

前章で述べたように遠隔講義実験で使用した教材提示ツールは画像の鮮明さや講師と受講者間の教材の共有機能の面において有効性が示された。しかし、講師が *wb* をリアルタイムに教材提示ツールとして利用するためには、あらかじめ、かなりの準備をしなければならない。ここで、講師は普及している PC のプレゼンテーションツール (例えば、Microsoft 社 PowerPoint) を用いて、マルチメディア教材を作成することを想定しているが、その形式をそのまま *wb* に使用することはできない。*wb* の仕様により、利用可能な入力形式は PostScript のみなので、形式変換等の前処理が必要である。さらに、PostScript 形式のファイルの画面上への展開がマシンの性能によっては高負荷となるため、表示のための処理時間が大きくなり、リアルタイム性が損なわれる。そのため、形式変換作業とは別に、事前にすべての教材データを受講者側のマシンのメモリに、ビットマップイメージとしてキャッシュしておく作業が必要となる。実験において SGI Indy (CPU: R5000, 100MHz, メモリ: 64MB) を使用した際、全教材スライド 20 枚のキャッシュに約 1 時間を費やすという状況であった。

この他、*wb* には教材スライドの説明箇所を指し示すポインタ機能がないため、ポインタに相当する矢印図形を教材スライド上に描き、その矢印図形を移動することにより対応したが、この方法は操作が複雑であり改良が強く望まれた。このような背景から、本研究では、今後多様な分野の講師による遠隔講義が実施されることを想定し、講師の教材準備や提示ツールの操作の負担軽減を目標とした教材提示システム “*World Wide Whiteboard (WWWb)*” [Maeda98b,99] を提案する。

4.3 システムの目的と基本概念

遠隔講義実験を通して、共有ボードの機能として教材画面の鮮明さを確保すること、教材画面上で講師と受講者が双方からポインタが操作できること、教材上にリアルタイムに書き込みできることなどが重要な条件であることが明らかになった。これらの条件に加え、ここで提案する WWWb では、様々な分野の講師による遠隔講義の実施を想定し、可能な限り講師の教材作成準備や教材提示システム操作にかかる負担を軽減することを開発目的とする。

試作したプロトタイプシステムの設計方針を以下に示す。

- PC のプレゼンテーションツールにて作成したマルチメディア教材をそのまま教材提示システムで利用可能とする。
- 教材画面の鮮明さを確保する。
- PC のプレゼンテーションツールのページめくりなどの制御が教材提示システムから可能である。
- 通常の共有ボード機能 (双方向からのポインタ、書き込み等) をもつ。
- マルチプラットフォームで利用可能とする。
- マルチキャスト機能に対応する。

4.4 プロトタイプシステム World Wide Whiteboard(WWWb)

4.4.1 システム概要

WWWb は図 4-1 に示すようにキャプチャ部と表示部の 2 つの機能から構成される。キャプチャ部は講師が準備した教材を画像として取り出し、表示部へ伝える機能を果たす。この機能は PC で使用されるプレゼンテーションツール (ここでは PowerPoint を想定) が動作する「教材 PC」(Material PC) 及び「講師マシン」(Teacher's machine) 上で実装されている。これにより、講師は教材 PC のプレゼンテーションツールを直接操作することなく、講師マシン上で教

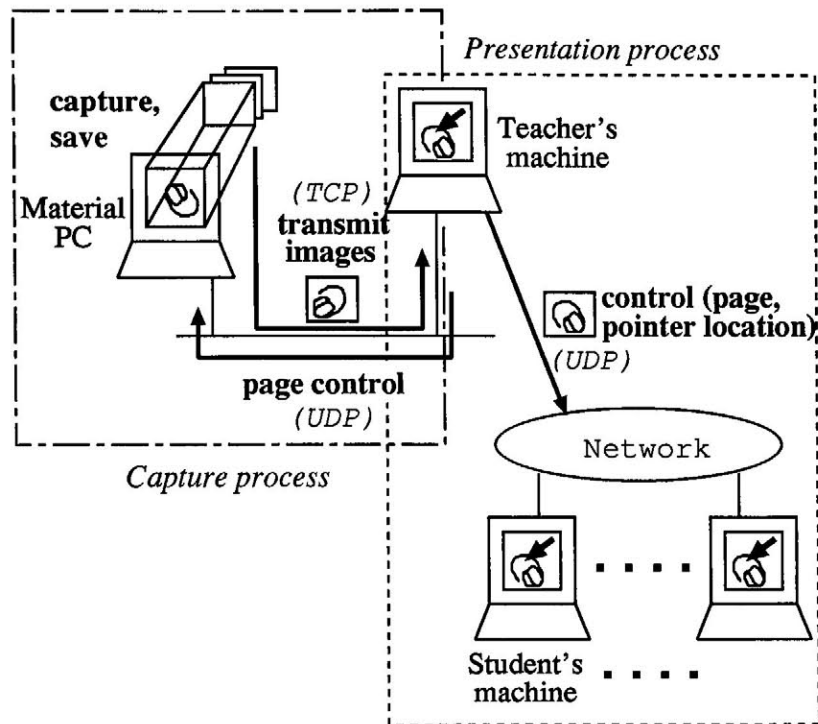


図 4-1 WWWb の構成概要図
Figure 4-1 System configuration of WWWb

材スライドのページめくり等の遠隔制御を行う。一方、表示部はキャプチャ部より送られてきた教材映像を「受講者マシン」(Student's machine)と講師マシン上へ表示する機能と共有ボードの機能を果たす。これらの機能は講師マシンと受講者マシン上で実装され、さらに、各マシンでは Mbone ツールによって、音声、映像の制御も行う。

4.4.2 キャプチャ部

講師が教材スライドのページめくりに関する指示を講師マシン上で行う(図 4-2 の左下の“>”, “<” ボタンクリックで指示する)と、その制御情報は教材 PC に送られ、教材 PC では指定されたページの教材スライド画面をキャプチャし、その画像データを講師マシンへ送る。教材 PC の負荷を小さくするため、キャプチャされた画面の画像データは圧縮せずビットマップ形式で転送される。転送後講師マシンで JPEG 形式に変換され、表示部に渡され WWWb 画面上に表

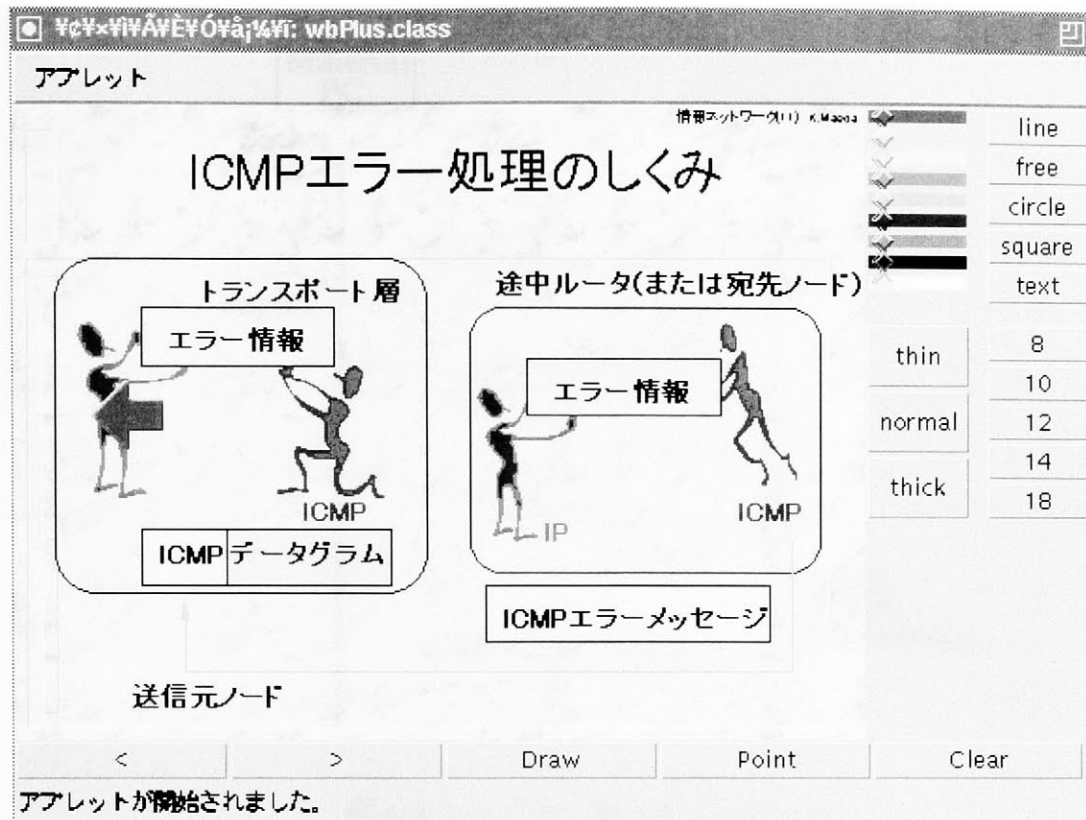


図 4-2 WWWb 教材画面例
Figure 4-2 Snapshot of a WWWb window

示される。これらの処理は、TCP、UDP を用いたサーバ/クライアントモデルによるネットワークプログラムで実装されている。処理の流れを図 4-3 に示す。

講師用マシンから教材 PC に送られる制御データとその逆に送られる画像データのフォーマットは図 4-4 の通りである。制御データ (図 4-4(a)) は講師の要求する制御に対応した文字列で、UDP で送られる (ポート番号 20001)。ここで送られる制御は PC のプレゼンテーションツールのページ送りや戻しに相当する。実装されている制御データの一覧は表 4-1 である。

制御データの packetsize は小さいため、効率を考慮し UDP で送る。制御データが送られると、それに対応して PC のプレゼンテーションツールのページ送りなどが実行され、その直後に画面のキャプチャを行う。画面はフルスクリーン、BMP 形式でキャプチャされ、図 4-4(b) の画像データフォーマットで、講師マシンに転送される。この際、PC と講師マシンの性能差や UNIX OS のソ

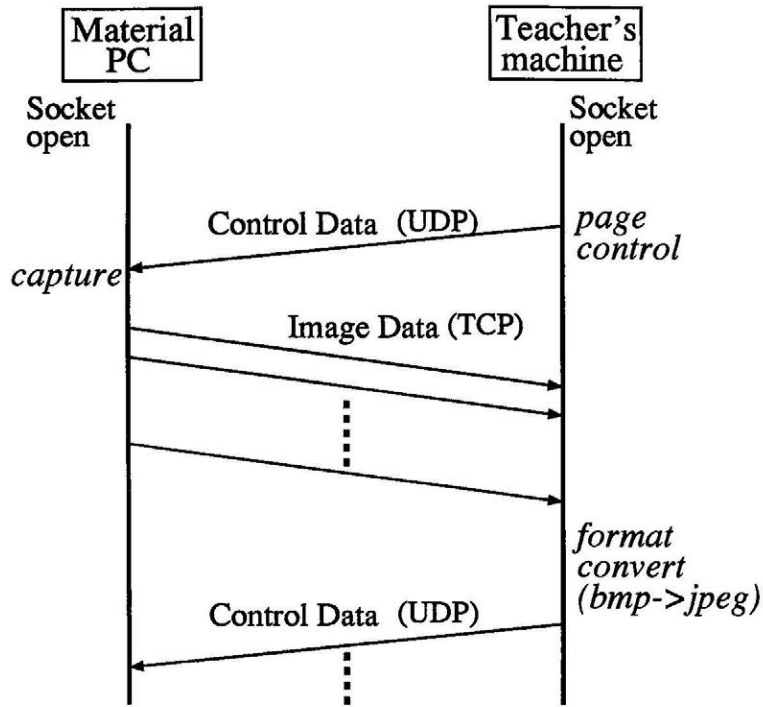
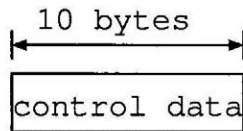
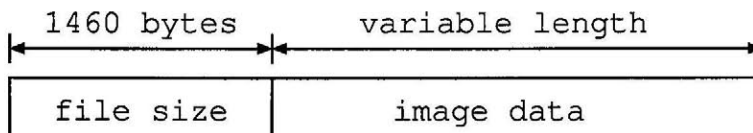


図 4-3 キャプチャ部のデータフロー
 Figure 4-3 Data flow in the capture process



(a) Control data format



(b) Image data format

図 4-4 転送データのフォーマット
 Figure 4-4 Transferred data format

表 4-1 制御データ一覧
Table 4-1. Control data

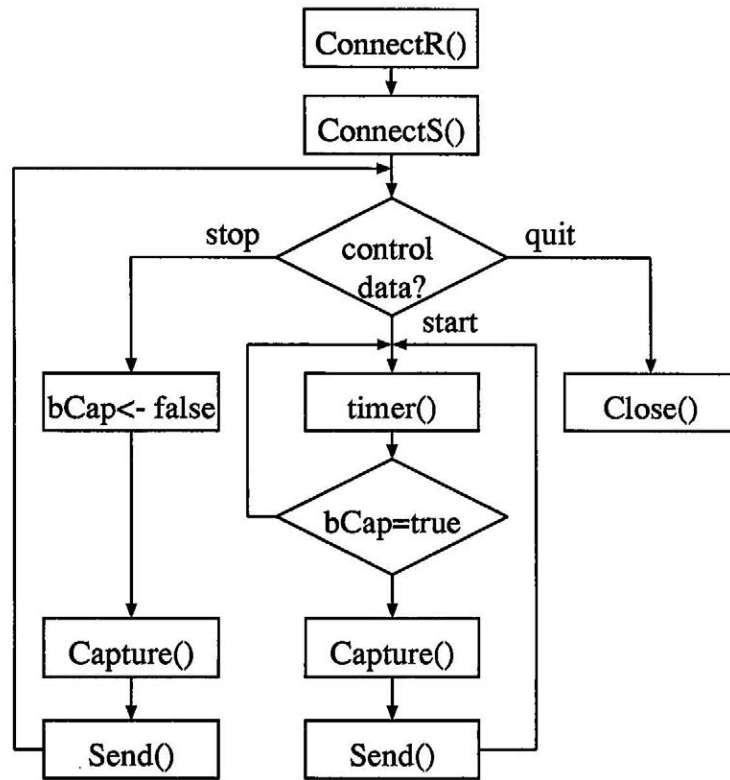
制御データ	対応する制御
start	一定時間ごとにキャプチャと画像データ送信を行う。
stop	タイマを停止し，1回キャプチャと画像データ送信を行う。
quit	制御データの転送を終了する

ケットと PC の Windows OS のソケット (Winsock) との違いによる転送の誤動作を防ぐため，TCP で転送する (ポート番号 20002)。教材 PC と講師マシン間の通信部分はそれぞれ，PC や UNIX WS の TCP/IP のソケットシステムコールによって実装されている。さらにキャプチャ部で，転送されてきた画像データは JPEG 形式に変換される (フリーソフトウェアの cpeg を使用)。教材 PC におけるサーバの処理の流れを図 4-5 に，講師マシンでのクライアントの処理の流れを図 4-6 に示す。

キャプチャ部のうち，教材 PC 側は Windows95 (Microsoft 社) PC 上で，講師マシン側は UNIX ワークステーション (Sun SparcStation10) 上で動作し，開発には PC 側には Bolrand 社の C++(Version 5.0.1)，UNIX WS 側では gcc (Version.2.7.0) を用いている。

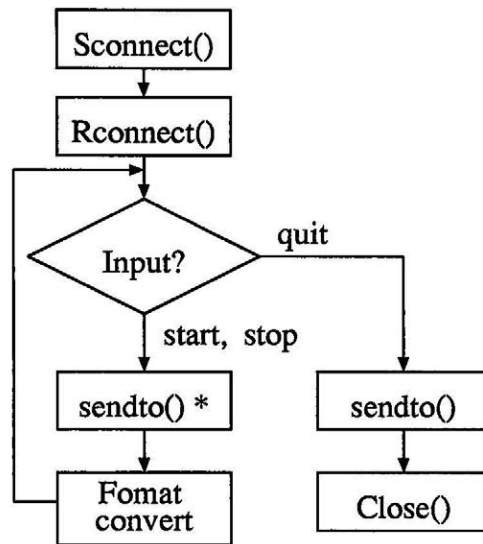
4.4.3 表示部

表示部では，一般の共有ボードの機能を提供するとともに，教材 PC に対してページめくりなど画面切替え変更の指示を与える。WWWb の画面例を図 4-2 に示す。キャプチャ部から送られてきた教材画像データは WWWb 主画面に表示される。講師が説明のためポインタを移動したりページめくりを行うと，全受講者にポインタ位置とページ情報が送られ，受講者は講師と同じページのスライドと同じ位置のポインタを見ることになる。ポインタの移動は受講者にも可能であるが，講師のみに限定することもできる。実際には，ページめくりは WWWb の左下にある “<” や “>” のボタン操作によって行うが，このボタン操作がキャプチャ部の制御データとして教材 PC に送られる。主画面に出ている



ConnectR()	制御データ受信用コネクションレス型ソケット生成関数 (Winsock).
ConnectS()	画像データ送信用コネクション型ソケット生成関数 (Winsock).
Close()	コネクションを閉じる関数. エラー発生, quit 要求時に使用.
Error()	エラー内容を表示し, Close() を呼び出す.
Capture()	教材画面をキャプチャし, BMP 形式画像ファイルとして保存.
Send()	画像ファイルサイズを調べ, 画像データを送信する.

図 4-5 教材 PC 上のサーバの処理の流れ
 Figure 4-5 Flowchart of a server on the material PC



Sconnect()	制御データ送信用コネクションレス型ソケット生成関数 (Berkley socket).
Rconnect()	画像データ受信用コネクション型ソケット生成関数 (Berkley socket).
Close()	ソケットを閉じる.
Format conversion	BMP->JPEG の形式変換 (cjpeg).

* sendto() は Berkley socket システムコール

図 4-6 講師マシン上のクライアントの処理の流れ
Figure 4-6 Flowchart of a client on the material PC

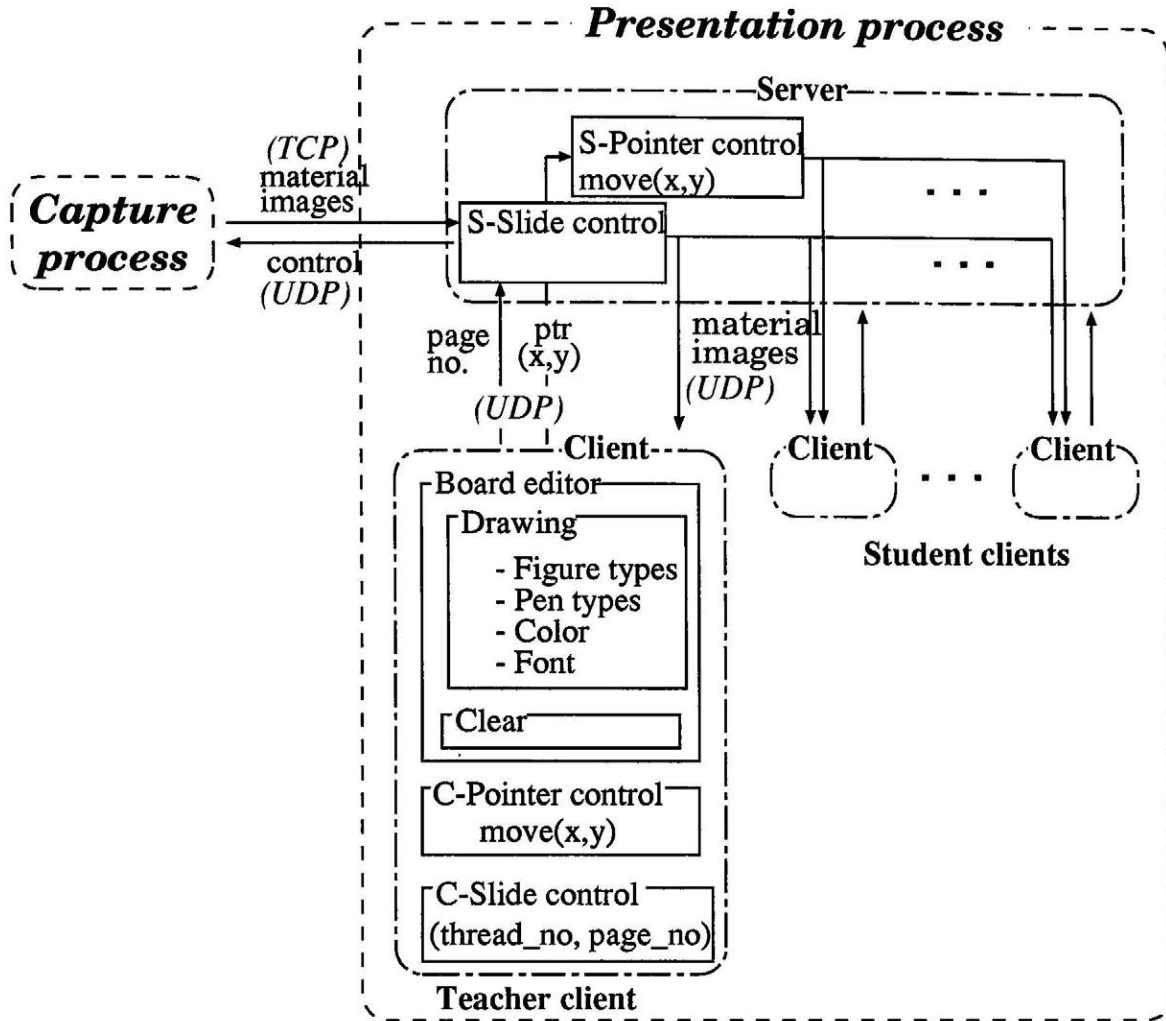


図 4-7 表示部の処理概要
 Figure 4-7 Outline of a presentation process

スライドには、講師、受講者双方から書き込みが可能である。そのための描画や文字入力に関するオプションは右のパレット上にある色、描画線の太さ、描画図形などのボタンで選択することができる。

表示部処理もキャプチャ部と同様にサーバ/クライアントモデルとなっている。表示部処理概要を図 4-7 に示す。表示部クライアントの処理は、講師、受講生間で共有するボードの描画やテキスト入力、そのためのオプション選択、全消去などボード用編集処理 (Board editor)、ポインタ位置管理処理 (C-Pointer control)、キャプチャ部から送られてくる教材ページの管理処理 (C-Slide control) の主に

3つの処理からなる。サーバはキャプチャ部から送られてくる画像データの受信とクライアントへの配布，講師用クライアントから送られてくるページ制御データの受信とキャプチャ部への制御データ送信を担う処理 (S-Slide control) と，講師クライアントから送られてくるポインタ位置情報の管理し他クライアントへのデータ配布をする処理 (S-Pointer control) の2つからなる。講師用クライアントと受講者用クライアントの違いはポインタの強制移動が可能かどうかの違いだけで，起動時にどちらでも選択可能である。表示部は JAVA 言語で開発・実装されており，マルチプラットフォームで動作可能となっている。表示部のサーバとクライアントの通信はクライアントが接続している間，クライアントごとに生成されたスレッドによって実行される。

4.5 プロトタイプシステムの評価

プロトタイプシステムの性能を，キャプチャ部の処理 (キャプチャ処理，データ転送，画像データ形式変換)，表示部におけるデータ転送 (講師マシン・受講者マシン間)，表示部における受講者マシン上での表示処理，それぞれについて *wb* と比較し，評価する。

4.5.1 キャプチャ部の処理

画面のキャプチャ処理，教材 PC・講師マシン間データ転送，画像データ形式変換にかかる処理時間を測定した結果を図 4-8 に示す。処理時間は教材 PC (CPU: PentiumPro 200MHz, メモリ: 96MB) に表示される画面 800x600 ピクセルの画像 (写真を含む画像データ) をビットマップ形式でキャプチャし，指定の画像サイズに変換，講師マシン Sun Ultra 1 (CPU: Ultra SPARC 200MHz, メモリ: 128MB) に転送後，同サイズの JPEG 形式に変換するまでに要する時間である。教材 PC と講師マシンは 10Mbps の Ethernet で接続されている。キャプチャ時間は画面サイズに依らず一定であるが，転送時間と形式変換時間はサイズに依存する。ここで測定したのは講師が教材を送って受講者マシン上で画像が展開されるまでに必要な時間である。*wb* に関しては，教材となる PostScript

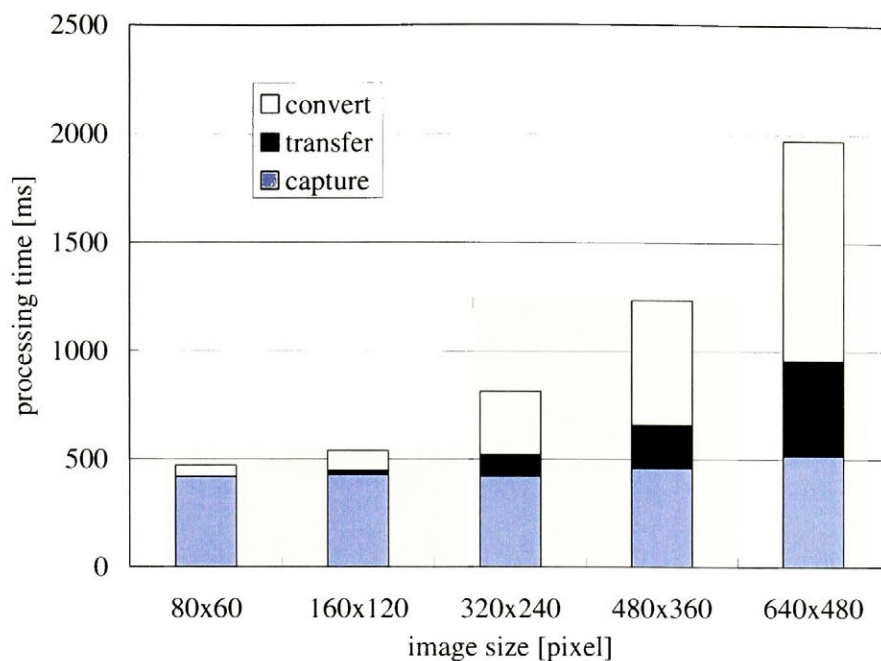


図 4-8 キャプチャ部 (キャプチャ, 転送, 形式変換) 処理時間
Figure 4-8 Processing time in a capture process

ファイルの講師から受講者マシンへのデータ転送と展開に必要な時間に相当する。講師が PC で教材作成を行った場合、WWWb ではそのままその教材ファイルが使用可能であるが、wb では事前に PostScript 形式のファイルに変換しておく必要がある。

4.5.2 データ転送

表示部における講師マシン・受講者マシン間データ転送時間は転送データサイズと回線帯域により決定される。ここで、回線帯域は遠隔講義実施条件により大きく異なるため、ここでは転送データサイズにより比較する。遠隔講義実験で実際に使用した教材 24 枚について、1 枚あたりの平均と最大を、WWWb と wb で比較した結果を表 4-2 に示す。なお、使用した教材の表示サイズは WWWb では 640x480 ピクセル、wb では 570x450 ピクセルである。

表 4-2 転送データサイズ
Table 4-2. Transferred data size

サイズ	WWWb	wb
平均 (バイト)	50069	69224
最大 (バイト)	100107	163899

表 4-3 表示処理時間
Table 4-3 Display time

処理時間	WWWb	wb
平均 (秒)	3.39	5.35
最大 (秒)	4	19

4.5.3 表示処理

表示処理に関する評価も、前節と同様、実際の実験で使用した教材 24 枚について比較した。結果を表 4-3 に示す。表示処理時間は、あらかじめキャッシュされていない教材を WWWb 及び wb に表示する指示を出してから画面への表示が終了するまでとした。結果は 1 枚あたりの平均と最大をそれぞれ示している。

実験では受講者マシンとして、SGI Indy (CPU: R4000 100MHz, メモリ: 48MB) を用い、さらに WWWb では教材 PC として PC (CPU: PentiumPro 200MHz, メモリ: 128MB) を使用した。

4.6 まとめ

本章では、今後幅広い分野の講師による遠隔講義の普及を想定して、遠隔講義での教材提示方法をできる限り簡単にすることを目的としたシステムの設計について述べ、試作したプロトタイプにより評価を行った。

- 実用性

講義に支障のない教材提示をするためには、WWWb を使用した際に講師が教材 PC に制御の指示を与えてから受講者マシン上で画像が展開されるまでの時間が可能な限り短いことが要求される。講師、受講者間の使用

回線帯域を 1Mbps と仮定し、WWWb を使用して講師が教材のページめくりを指示してから、受講者マシンにそのページが表示されるまでに最大 6.8 秒要する。内訳は、教材スライドサイズが 640x480 の場合のキャプチャ処理に約 2 秒、データ転送に最大約 0.8 秒、表示処理に最大約 4 秒である。教材提示に必要な時間として、6.8 秒は実用的な範囲と言えるかどうかは状況によって異なるが、wb の場合、最大約 20.3 秒を要し、それに比べると大幅な改善が図れたと言える。

- 操作性

作成された教材データのフォーマットから、wb の入力フォーマットである PostScript 形式への変換に要する時間は含まれていない。wb ではそのための時間と作業負荷を要するが、WWWb では、作成した教材データはそのまま使用することができ、講師の負荷の点については改善されている。WWWb での描画、ページめくりに必要な機能と使い方は遠隔講義実験に用いた wb とほぼ同等であるが、WWWb は講義に必要な機能に絞っている。また、wb にないポインタ共有機能が追加され、wb のような煩雑な操作なしに、ポインタの移動が可能となった。wb は初心者でも操作法が簡単であるという結果が実験より得られている [Maeda97a][Maeda97b] ので、さらに機能改善された WWWb は初心者でも十分に使用可能であると言えよう。

今回提案した教材提示システムは、PC のプレゼンテーションツールをそのまま利用できることを目的としたが、この機能は、既に Microsoft PowerPoint の共有機能を用いることによって実用化されている。リアルタイムな教材の変更という点においては、このようなツールに特化した機能の方が便利で利用しやすいが、この機能は利用者間で同じツールを使っている必要があるし、マルチキャストに対応していない。また、ポインタの共有も可能でない。本章で提案したツールでは、マルチプラットフォームでの実現を目的とし、広範囲での使用を可能とした点が技術的に新しく、また、講師が PC のプレゼンテーション

ツールを使用して教材作成するという前提の下，その教材をそのまま遠隔講義に利用するための講師の負荷軽減という観点からツール作成を試みたことも新しい一面であると言える。

マルチメディア通信環境が整備されるにつれ，従来の対面講義から遠隔講義など新しい講義スタイルへの需要が高まる。また，従来の教材提示方法にも変化が生じる。このような変化に対して，学生に先立ち，講師が慣れ，対応していく必要があるが，講師は従来の講義の意識のまま，遠隔講義に臨みがちである。本論文では新しい通信環境に要求されるマルチメディア教材作成の必要性を述べるとともに，講師が簡単に遠隔講義が実施できる教材提示システムを提案することによって，講師にマルチメディア通信環境の利用を促進することに寄与できたと言える。今回提案したシステムでは，静止画教材，アニメーションを対象としているが，幅広い分野の講師に対応するためには，動画教材の教材提示方法も考慮していかなければならない。

5 章

仮想現実の教育利用

5.1 仮想教室

マルチメディア通信を利用した遠隔教育は空間的な制約を克服し、新しい講義スタイルとして先進的な方法といえる。しかし、現在の遠隔講義の形態の多くは、画面上に平面的に現れる講師で臨場感に欠ける。また、講師からの一方的な語りかけが中心となり、学習者は受身的になりやすい。このような問題を解決するためには、臨場感を高め、アクティブに講義に参加できる3次元空間を実現することが効果的であるが、解決の1つの工学的手法として、仮想現実(Virtual Reality)の利用がある。マルチメディア通信によってコンピュータネットワーク上に仮想教育空間を形成した学習環境のことを、本論文では「仮想教室」(Virtual classroom)と呼ぶこととする。

仮想現実の遠隔教育への利用効果は、学習の同期性の有無により多少異なる。1章で行った遠隔教育の分類(図1-1)において、学習の同期性の有無のみで分けると以下のようなようになる。

(1) 一斉学習

学習者同一地点一斉講義(p点), 学習者分散一斉講義(q点), 講師分散受講者分散一斉学習(グループディスカッションを含む)(s点)

(2) 単独学習

受講者分散自習(r点), 講師分散受講者分散自習(t点)

5 章

仮想現実の教育利用

5.1 仮想教室

マルチメディア通信を利用した遠隔教育は空間的な制約を克服し、新しい講義スタイルとして先進的な方法といえる。しかし、現在の遠隔講義の形態の多くは、画面上に平面的に現れる講師で臨場感に欠ける。また、講師からの一方的な語りかけが中心となり、学習者は受身的になりやすい。このような問題を解決するためには、臨場感を高め、アクティブに講義に参加できる3次元空間を実現することが効果的であるが、解決の1つの工学的手法として、仮想現実(Virtual Reality)の利用がある。マルチメディア通信によってコンピュータネットワーク上に仮想教育空間を形成した学習環境のことを、本論文では「仮想教室」(Virtual classroom)と呼ぶこととする。

仮想現実の遠隔教育への利用効果は、学習の同期性の有無により多少異なる。1章で行った遠隔教育の分類(図1-1)において、学習の同期性の有無のみで分けると以下のようなになる。

(1) 一斉学習

学習者同一地点一斉講義(p点), 学習者分散一斉講義(q点), 講師分散受講者分散一斉学習(グループディスカッションを含む)(s点)

(2) 単独学習

受講者分散自習(r点), 講師分散受講者分散自習(t点)

一斉学習において、あたかも教師が目前に立っているような臨場感は学習者の緊張感を高め、学習の持続力を生む。また、教師の提示する教材や資料が3次元物体であったり、動きのあるものであれば、学習者の興味を引くとともに理解を助ける効果大きい。一方、単独学習においては、3次元世界の中へ学習者を引き込むなどして学習者の興味を引くとともに、学習ガイドを単なる文字でなくアニメーションキャラクタや音声ガイドを併用することで学習者の興味を持続させる。また、自由に回転できる物体映像などを駆使して、理解を早めることもできるであろう。

いずれにしても、仮想教室は仮想現実の技術を使用し、3次元CG(Computer Graphics)空間上に構築される。教育における仮想現実の利用の研究は近年盛んに行われている。例えば、複雑なシステムを模倣することにより、その模型の中での体験は従来の講義の形式や教材使用に捕らわれない、仮想空間を利用した新しい学習形態として効果が期待できる。「バーチャルライオンの口の中に入ってみる」「バーチャルな木星に行ってみる」など現実には体験できないことが理解の支援となったり、フライトシュミレータのようにある状況でのモデルを最小コストで作る、現実の世界に限りなく近い世界で職業、または教育上の訓練を積み重ねることができる。そこでは、3次元CG空間に映像、音声が含まれ、あらゆるマルチメディア技術を必要とするが、それだけにその効果は大きい。このようなVR技術を用いた自習システムの研究、開発は既に進みつつある [Su97][Kato96]。

しかし、これまで行われている研究のほとんどは、上記分類における単独学習での利用を想定している。一斉学習での利用のためには、実時間通信とメディア間同期など解決しなければいけない課題が多い。これらを解決することにより、学習者と教師等との自然なコミュニケーションを実現でき、講義の緊張間を持続できる。そこで本研究では、一斉講義での利用に焦点を絞り、教育効果を高めるために必要な条件、必要となるマルチメディア通信の要素技術、さらに仮想教室の実現例として仮想美術館について述べる。

5.2 教育効果を高めるための条件

教育効果を高めるため、仮想教室は以下のような要求を満たすシステムであることが必要である。

(1) 実時間通信

これにより、複数地点での講師と学習者、または学習者間の自然なコミュニケーションが実現できる。リアルタイムに相手の表情をみながらコミュニケーションすることによって、意見交換等も深めることもできる。

(2) 仮想現実を利用した臨場感ある空間利用

コンピュータ画面上の平面的な操作だけでなく、あたかも空間内を歩いているかのような、物体に触れているかのような体験は現実感を高め、理解の大きな手助けとなる。

(3) 複数参加者での共有ボードの利用

教育の場では黒板に相当するものを利用することは多い。補助的な説明にどこからでもリアルタイムに自由に書き込みができることは必須である。

(4) 教材の自由な利用

文字ベースの教材だけでなく、描画やオンラインの静止画、動画教材のなどデジタルデータが自由に利用できることが要求される。このような教材の仮想的体験は理解を助ける。また、リアルタイムな使用だけでなく、VODとしての使用が可能ないように教材や学習経過の記録を蓄積し、利用できる機能も必要である。

(5) 現実世界との融合

仮想的な体験が教育的効果を上げると同時に、仮想教室の中に現実の実映像、実音声が使用できることによって、さらに現実感を増し、それが教育的効果を上げることも多い。

5.3 仮想教室実現のための要素技術

仮想教室ではネットワークを介したマルチメディア通信が前提となっている。ここではマルチメディア通信の要素技術のうち、仮想美術館を構築する際に必要なものについて概観する。

5.3.1 連続メディア処理

マルチメディア情報は、連続メディアと呼ばれる、文字や数値データと異なる、デジタル化された音声やビデオのように時系列で連続的に変化するメディアも持っている。連続メディアの処理は圧縮/伸長の他、動画像であれば表示、音声であれば再生をするため、複数のアプリケーションが同時に走らなければならない。そのため、マルチメディア通信では十分なコンピュータ資源 (CPU 処理能力やメモリアクセス速度など) を確保する必要がある。遠隔講義実験においても、音声や映像の使用可能通信帯域を広くし高速に通信すると、送受信するデータ量が大きくなるため、マシンの処理が追い付かず、音声途切れたり、映像がフレーム落ちして乱れるという状況になることもあった。連続メディア処理には高度なマシンの処理能力が要求される。

連続メディアではそこに現れる音声、映像、テキストの空間的配置、時間情報と各メディアの関連が非常に重要になる。マルチメディアコンテンツを取り出してきたとき、それぞれが独立に再生されては無意味である。連続メディアの個々のメディア間の同期 (メディア間同期) がとれていなければならない。メディア間同期は再生するマシンの性能やネットワークの速度などの様々な要因から検討されなければならない。メディア間同期を実現するために、時間モデルも提案され、またコンテンツの記述言語として提案されているものもある。

一方、デジタルデータ処理のためのソフトウェアも必要である。例えば、マシン単体で使用されるマルチメディアキット的なもの (CD-ROM, マイク, スピーカ, またはビデオキャプチャボード) と音声、動画像の入出力、編集、検索などの機能を基本とし、高速ネットワークを介した連続メディアの伝送機能も

必要である。既にビデオ会議システム、VOD システムとして実用化されているものもある。さらに、連続メディアデータそのものを処理、すなわち、デジタルビデオデータの編集や検索機能も必要とされる。

5.3.2 QoS(Quality of Service)

マルチメディア通信において、最もキーポイントとなる点は連続メディアの高品質伝送の保証である。これをサービス品質 (QoS) と呼ぶ。QoS は時間的な解像度と空間的な解像度によって表現することができる。例えば、ビデオの時間的な解像度はフレーム数/秒 (fps) やサンプリングに依存し、空間的な解像度はデータサイズやデータ圧縮率に依存する。高い空間解像度をもつデータの方がより精密にデータを表現でき、高い時間解像度をもてば、より連続的な動きを表現できる。その他、マルチメディアシステム全体をいくつかのレベル(アナログレベル、符号化レベル、通信レベル)に分け、それぞれにおける QoS のパラメータを分類することもある [Moriai97]。このうち、通信レベルでは、帯域幅、遅延などがパラメータとして考えられる。QoS 保証の機構を各レベルで独立に実現するのでは、相互に矛盾を生じることもある。ここで挙げているレベルだけでなく、ユーザ/アプリケーション/エンドシステム/ネットワークを統合した QoS 保証の実現が重要である [Murata98]。

5.4 仮想教室の実現例 –3 次元仮想美術館–

仮想教室では、分散地点から集まった教師や生徒が相互にコミュニケーションを交わして、講義を進めることになる。また、この空間の中で、実際には体験できない教材を仮想的に体験して学習したり、分散地点での現実の世界を教材として採り入れたりすることも可能である。ここでは、VR 技術を仮想教室における一斉学習に導入した例として、自然なコミュニケーションができ、仮想空間と現実空間の融合を教材の一部として利用できる仮想美術館について述べる [Arikawa96a,b,c,d][Arikawa97][Arikawa99]。

5.4.1 設計方針

仮想美術館での講義は複数地点から講師や受講者が仮想空間である美術館に集まり、そこで実施される。美術作品を見ながら、講師からの説明を受け、場合によってはその作品の作者による解説も受けられる。日本国内では、小、中学校で美術館に出向いてそこで作品を見ながらの解説を授業として実施するケースはほとんど見られないが、海外ではそういう講義形態も実施されている。そのオンライン版の実現が仮想美術館においては、場所の移動をすることなく可能である。ここでは5.2節で仮想教室を使い教育効果を高めるための条件のうち、仮想美術館を対象を絞り、仮想美術館で講義を実施するシステムの設計方針を以下にまとめる。

(1) 世界中の美術作品の新しい観賞方法の実現

－ 観賞の3次元化

従来2次元空間における美術作品の観賞はWWWなどにより可能であったが、3次元空間にすることにより、彫刻などを360度、自由な角度から観賞を可能とする。

－ ビデオの組み合わせ

ビデオを組み合わせることにより、作品のできる過程を見る、関連事項の捕捉説明を受けることを可能とする。

－ 自由な観賞スタイル

ウォークスルー (Walk through) により、通常美術館を歩き回って自由に観賞するのと同じような観賞スタイルを可能とし、また、WWWと同様に世界の仮想美術館へのリンクも可能とする。

(2) 世界中の観賞者との自然なコミュニケーション

ある美術作品を観賞しながら、講師から受講者へ作品説明、また、受講者間で感想を述べ合う、さらにはそこに集まっている他の観賞者と意見交換

するなど、自然なコミュニケーションを可能とする。

(3) 遠隔の専門家による指導

作品の作者、他の芸術家や研究者によって作品を見ながら、解説をしてもらうことを可能とする。その際、VODによる説明という方法も提供する。

(4) 指導や意見交換を補助する共有ボードの使用

指導や意見交換の際に、通常講義の黒板に相当する機能や補助教材を提示できる機能をもった共有ボードを使用可能とする。

(5) 現実世界との融合による観賞の広がり

仮想美術館において現実世界との融合する機能を与える。それにより、さらに新しい知見を得られることがある。例えば、ある作品のそばにその作品が描かれた場所や近くの場所の実際の風景を眺めることができる窓があると、新しい観点からその作品を観ることができるなど作品観賞に幅が広がる。

5.4.2 仮想美術館の機能

5.4.1 節で挙げた要求事項のうち、要求 (1) はビデオの組み合わせを除いて、VRML (Virtual Reality Modelated Language) などを用いた 3次元空間記述により、既に実現されているものである。ここでは、それ以外の要求事項を実現するために、仮想美術館で用いた機能について述べる。

(1) 仮想空間におけるコミュニケーション

仮想空間に入っているユーザは、アバタ (avatar: 化身) と呼ばれる仮想ユーザに姿を変え、仮想空間の中を自由自在に動き回り、他のユーザとコミュニケーションできる。このようなアバタが存在する仮想空間をアバタ空間と呼ぶ。アバタは仮想空間上のネットワークの向う側に実際の間があることをユーザに意識させることができ、自然なコミュニケーションとして優れたアイデアと言える。仮想美術館でも鑑賞者同志は互いにこのアバタによってコミュニケーションをもつ。従来のアバタはインターネッ

ト上での利用を想定しているので、実時間映像を扱うことが困難となり、アバタの容姿は用意されたものの中から選択するだけであった。しかし、開発した仮想美術館では高速なネットワーク環境下で利用することを想定し、アバタの顔の部分に実際のユーザの顔のビデオを張り込んであり(図 5-1 の中央にいる 3 人のアバタ)、より臨場感あるコミュニケーションを可能としている。また、同じ仮想空間を見ているユーザをその空間の中に表現することができるので、誰がこの仮想美術館に訪れているかが分かり、「どの作品に人気があるのか」、「どのような作品鑑賞の仕方をしているのか」、「新しい出会い」、「一緒に歩いて鑑賞する」など実世界で起きる行為を仮想的に行うことができる。図 5-1 において、3 人のアバタの後方にあるのは、アバタが互いに書き込みが可能な共有ボードである。これにより、議論などの資料提示や補助説明も可能であり、見方を変えると、分散仮想現実におけるビデオ会議システムと見なすこともできる。

(2) 仮想空間から現実世界へつながる「窓」

仮想現実空間の中に実時間の映像を重ね合わせる枠組み、あるいは逆の枠組みを「拡張現実 (Augmented Reality)」と呼ぶ。例えば、テレビのニュース番組などで見られるバーチャルスタジオがその一例である。作成した仮想美術館でも現実世界にあるビデオカメラや各種の遠隔操作可能な設備と、仮想空間の中の一部を連動させ、その枠組を実現した。この 1 つの応用として、仮想美術館に現実世界への「窓」を展示した。この窓を通して、仮想空間 (仮想美術館) から現実世界 (広島市立大学のキャンパス) を覗くことができる (図 5-2 の中央部)。この窓は利用者が上からのぞき込むと下の方の風景が見え、右横からのぞき込むと左奥の風景が見え、近づくとより広い範囲が見える、などのように現実世界にある普通の窓と同じように自然な振る舞いをする。

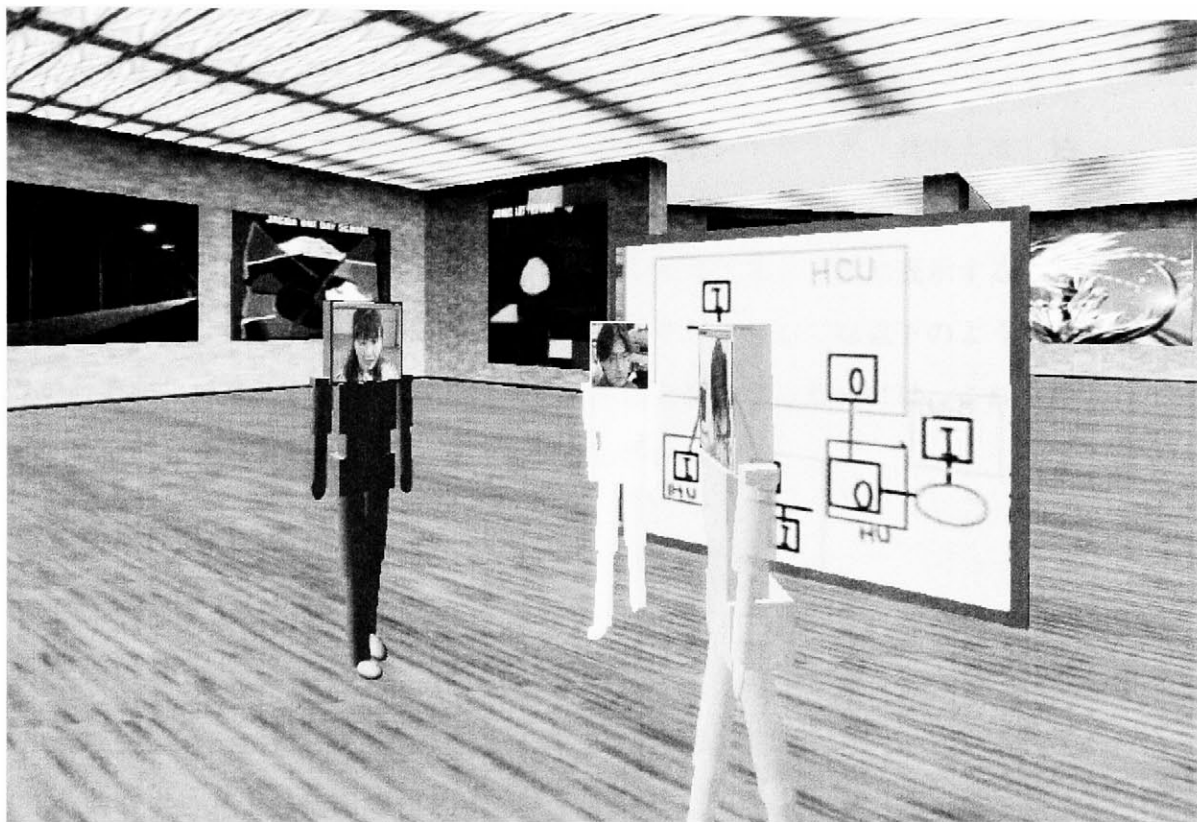


図 5-1 顔実時間ビデオをもつアバタによるコミュニケーション
 Fig.5-1 Communication among multi avatars with facial video

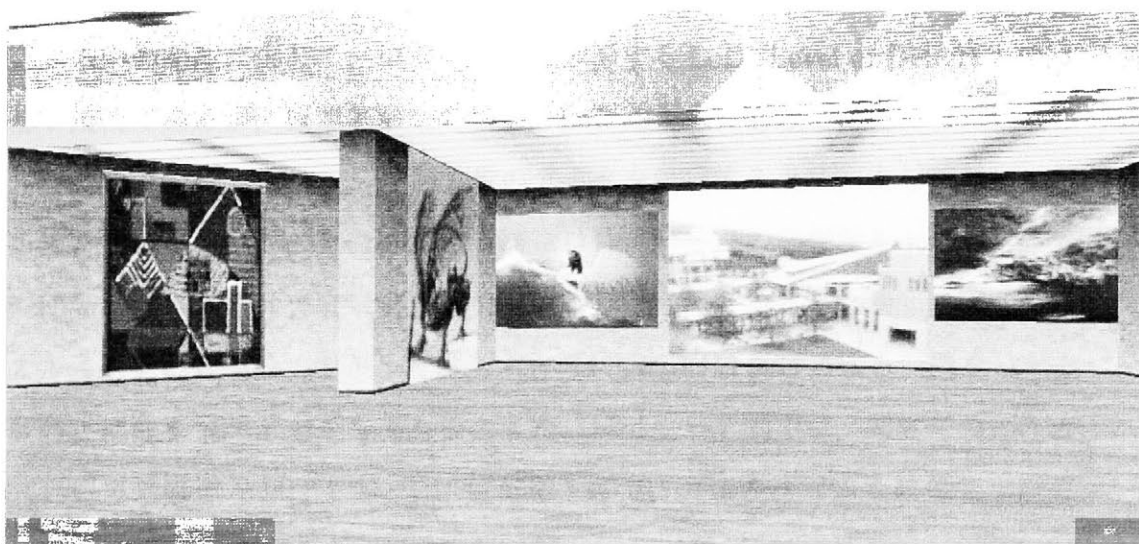


図 5-2 現実世界への「窓」を持つ仮想美術館
 Fig.5-2 Virtual museum with a window to the real world

5.4.3 機能実現の技術的問題と解決方法

仮想美術館において扱う情報量は膨大なものとなる。高性能なグラフィックワークステーションを使ったとしても、高速なレンダリング（画像生成）処理を実現するためには、3次元CG空間モデルのポリゴン数に制限がある。そのため仮想美術館に現れる必要なデータすべてをリアルタイムに表示することは困難である。仮想美術館で必要とする大量なデータとしては以下のようなものがあるが、現実的なシステム上に仮想美術館を構築するためには、これらのデータを何らかの方法で制御しなければならない。

- 美術作品の画像
- アバタのための実時間映像
- 窓から見る風景の実時間映像
- 共有ボード上の描画データ

一般的にネットワーク資源やCPU資源は有限であり、VRにおける処理に優先度をつけると効果的となる。「前方データをとってくる」、「後方データをとってくる」にそれぞれ優先度をつけておくなどがその一例である。これは、仮想空間の中の距離に応じて、情報の品質を制御するLoD (Level of Detail) という基本技術であるが、仮想美術館の場合、LoDの導入は必須とも言える。すなわち、仮想美術館では、上述した大量のデータを処理する上に、さらに美術作品を鑑賞するという目的のために鑑賞時には作品データの詳細度を上げ、元の美術作品にできるだけ忠実に再現ができることが必要となる。しかし、ウォークスルーしている間は、できるだけスムーズに(高速に)動けるよう、種々のデータの詳細度を下げる方が好ましい。また、同じシーン内では、鑑賞者の動きに応じた表示処理などによるCPU負荷を下げて、リアルタイムな映像表示が可能とすべきである。

LoDそのものは既に、VRの技術として利用されているが、本美術館では、さらに、このLoDをネットワーク環境下で、CGだけの仮想空間ではなく、実時間

の映像をも含む仮想空間でも実現するために、新しいフレームワークを提案した。それが、VRML 1.0を拡張した新しいフレームワーク、DVRML (Differential VRML)[Arikawa99]である。DVRMLでは、VRML 1.0では対象とされてなかった、動的に変化する3次元仮想空間を複数利用者が共有ができるようになった。また、動的なLoD用のいくつかのルールを用いて、DVRMLデータの転送にLoDスケジューリングができるようになっている。

現在、LoD機能は見えている物体までの距離をパラメータとし、物体の映像を解像度やモデルの複雑さを変えたいくつかのパターンを用意しておき、その切替えを動的に行うことによって実装されている。前述のアバタにはユーザの実時間映像が張り込んであり、近いアバタの映像はフレームレートを上げ、遠くはフレームレートを下げるといった制御も必要であるが、この部分は現在作成中である。このような制御が、拡張現実空間におけるQoS管理といえる。さらに、今後、このQoS管理が現在のコンピュータの能力でも実行可能となるように、コンピュータの性能を表現するパラメータも追加し、これら種々のパラメータを含んだ空間モデルを動的に構成していかなければならない。

5.4.4 仮想美術館のプロトタイプ

美術作品を3次元CG空間に展示する仮想美術館では、ネットワークを介することにより、地理的な距離を越えて訪れることができる。この試みはインターネットにおけるホームページの3次元化と言える。この仮想美術館には、広島市立大学芸術学部の教員及び学生の美術作品、CGアニメーションなどを展示している。美術作品を3次元CG空間に展示することにより、現実世界と同じように、見たい作品(情報)に「近づく」ことにより、作品鑑賞(情報検索)が可能である。また、仮想美術館では近い作品は詳細な表示を行ない、遠い作品は粗く表示するという、作品と利用者との距離に応じて、作品(情報)のデータ量(品質)を制御するが可能で、限られたコンピュータやネットワークの能力を有効利用できる。さらに、作品を空中を飛びながら鑑賞するなど、現実世界の美術館ではできない体験も可能である。図5-1、5-2は仮想美術館の一部で

ある。仮想美術館は SGI IRIS Performer 2.0 (グラフィックスライブラリ) と C 言語を用いて、SGI ワークステーション上で開発され、ATM 網 (67Mbps) で結ばれた 3 地点 (広島市立大学, 広島大学, 大阪大学) 間でマルチユーザ環境で使用した。

5.5 まとめ

本章ではマルチメディア通信を利用した遠隔教育のより効果的な実施のために、受講者の興味を持続させ、教育に集中させる工学的な手法として仮想現実を利用することを検討した。新しい学習環境として仮想教室を定義し、仮想教室における一斉講義に焦点をあてて、仮想現実の技術の利用によって教育効果の高まる条件について提示した。臨場感ある仮想教室の実現には仮想空間における自然なコミュニケーションが必須であるが、本章で述べた仮想美術館におけるマルチユーザ間での、ユーザの実時間映像をはりつけたアバタによるコミュニケーションは有効である。この実現は仮想現実の技術的としても新しい。また、拡張現実の採用として遠隔カメラ操作を実現した。仮想空間と現実世界の融合を図り、仮想空間での振舞と現実の動作が自然に連動できる。この技術は既に利用されているが、実時間映像のアバタによるコミュニケーションとともに、美術館に応用、すなわち、仮想教室に応用することにより、従来なかった教育環境が構築でき、教育的効果が期待できる教育における新しい応用といえる。

さらに、新しい技術提案として、高速処理可能なマシンでのみ仮想美術館の利用が限定されないように、LoD を仮想美術館の設計に採用した。特に、動的に変化する、ネットワーク環境下で実時間映像も扱う 3 次元仮想空間の記述のために新しいフレームワーク DVRML を提案し、その一部を実現したプロトタイプを作成した。今後はより使用しやすい教材提示方法や 3 次元空間であることを効果的に利用した 3 次元教材について検討が必要である。

6 章

マルチメディア・ネットワークリテラシー

インターネットの利用者層の拡大とともに、インターネットを利用するために必要な技術的・倫理的知識について検討する必要性が生じてきた。利用者が一定レベルの技術的知識をもっている範囲に限られている間は、インターネット利用に関して特別な教育は必要とされない。しかし、インターネットは当初の研究者のためのものではなく、今や日常生活に浸透し、あらゆる分野の利用者が存在する。既に、米国では2000年にすべての教室でインターネットが利用でき、日本では、2001年に中、高校、2003年に小学校を学校単位ですべてインターネット接続していく方針をうち立てている。また、1998年6月の教育課程審議会により、教育課程の基準の改善方針が出され、情報及びコンピュータや情報通信ネットワーク等の情報手段を適切に選択し活用するための知識、技能を身に付けたり、人間や社会に及ぼす影響などを理解するために、高校においては、普通教育科目として「情報」が新規に設置された。いずれにしても、既に小学生から全員を対象としてインターネットを利用できる環境がとりまくことになる。これが特別な状況でなく、各家庭においても同様の環境となるのは時間の問題である。

このような流れとともに、WWWを利用した教育や遠隔教育などネットワーク利用した教育は当たり前になってくる。この状況下でありながら全世界で強調して運用されているインターネットのしくみや便利さの裏に潜んでいる危険

や脆弱さについて知らずに使うことは全世界的な影響を及ぼすことにもつながる。2～5章で述べた教育環境，教育支援ツールなどを日常的に使用する時代の利用者の常識として必要とされることを検討し，教育することは非常に重要である。しかし，現状では既に国の方針として，教育科目設置予定計画が打ち立てられているにも関わらず，その教育内容，実施方法に対する検討は十分とは言えず，十分な教育体制がとれているとは言えない。そこで，本章ではインターネットやマルチメディア通信を活用，あるいは，日常生活の通信道具として使用するためのリテラシー教育として何が必要かを検討する。文部省を始めとして，多くの研究機関，教育機関で情報に関するリテラシーについては，提案・検討が進んでいるが [Monbu86][Monbu96]，インターネットの技術的背景に即した検討が行われている例が少ない。本章ではマルチメディアと通信の2軸に対して，利用できるコンピュータ環境がどのように変化しているかを考え，それによってどのようなリテラシー教育が必要かを検討する。最初に，既に提案されている情報に関するリテラシーを整理し，次にインターネットを中心とするネットワークを想定した情報通信の導入によって，必要とされるネットワークリテラシーについてまとめる。最後に，マルチメディア通信への普及によって，さらに必要とされる事項について言及する。

6.1 コンピュータリテラシーの分類

情報化に対応した教育に関する検討は1960年代に始められ，文部省を中心としてその後も検討が進められている。その中で，現在も使用されているリテラシーの概念として，「情報活用能力(情報リテラシー)」は「情報活用能力とは、情報及び情報手段を主体的に選択し活用していくための個人の基礎的な資質をいう。」(1981年 臨時教育審議会第二次答申)と定義されている。また，「コンピュータリテラシー」は情報理解力と情報技能と定義されている(坂元昂 昭和63年度科学教育研究費補助金研究報告書「初等中等教育のコンピュータに関する教育のカリキュラム開発等に関する基礎的研究」)。ここで，情報理解力は情報教養と情報知識を，情報技能は情報利用力と情報処理力をそれぞれあわせた

表 6-1 コンピュータリテラシーの分類
Table 6-1 Taxonomy of computer literacy

		通信	
		なし	あり
マルチメディア	なし	<u>スタンドアロン</u> (文書整形, 表計算, プログラミングなど)	<u>ネットワーク</u> (電子メール, WWW など)
	あり	<u>マルチメディア</u> (動画像, 音声, 描画, 画像編集など)	<u>マルチメディア・</u> <u>ネットワーク</u> (双方向通信, リアルタイム, QoSなど)

ものとされる。この2つのリテラシーの概念の定義はその後の情報化社会のためのリテラシーの基本となっていると言える。どちらもコンピュータの役割や機能、基本的な操作を習得するだけでなく、情報の判断、選択、整理、処理などの情報に関わる理解力や社会への影響、情報に関する権利(所有権、使用权など)に対する知識の習得も必要であることを指摘している。その後、通信とマルチメディアの技術革新により、コンピュータやネットワークの普及範囲や速度は著しく変化している。すべての情報をデジタル化することが可能なデジタル化社会になっていることを基本として、そのために必要なリテラシーとして、デジタルリテラシーが「コンピュータを通して提供されるさまざまな形の膨大な量の情報を理解し、使いこなす能力」と定義されている [Gilster97]。このような時代の要求に対応して、情報化社会のリテラシーに対する概念も見直す必要がある。そこで本論文では、過去に定義された情報に関するリテラシーと現在必要とされているリテラシーをマルチメディアと通信の2つの観点から分類し、それぞれをコンピュータリテラシーのサブクラスと定義する。分類をまとめたものが表 6-1 である。表中の括弧内はそのリテラシーに関するキーワードを列挙したものである。

時代の要求や技術進歩とともに、コンピュータの利用環境はより大量のマルチメディア情報を扱い、より高速(広帯域)な通信を用いるアプリケーションが利用可能となった。当初のコンピュータ利用はスタンドアロン形式で、コンピュータ単体の基本構造、操作、活用方法などを習得するための設備投資や指導は比較的進んできたと言える。しかし、コンピュータ環境に通信、しかも広域における情報通信が導入されることにより、新たにネットワークに関する知識や理解、新しいソフトなどを利用する技能が必要となる。さらに、別の次元からコンピュータの利用環境を考えると、その大きな要素にマルチメディアが挙げられる。デジタルデータが扱えるマルチメディア対応のコンピュータ利用環境、CD-ROMやハイビジョンなど音声や映像を扱える環境は、通信のもたらす概念とは異なるリテラシーが要求される。この部分のリテラシー教育は十分に検討されていないのが現状である。さらに、通信とマルチメディアの2つが組み合わされた利用環境を想定したリテラシー教育は、それぞれのリテラシーの和だけでなく、新しいリテラシーの概念が要求されると考える。リテラシーの内容は対象の年齢、専門性を考慮して、それぞれに適したものにしなければならない。本論文では特定の対象者を検討にするのではなく、様々な分野で必要とされるリテラシーを検討するため、リテラシーをかなり広範囲の意味でとらえている。従って、次節以降で挙げる内容には「リテラシー」本来の「読み書きのための基礎的能力」を越えた、「専門的知識・能力」と見なされるものも含まれている。図6-1は各サブクラスの包含関係を、必要とされる理解・技能とともにを表したものである。ここで「理解」は「機器のしくみやはたらき、用語、特徴、扱い方を知ること」や「社会における情報関連技術のはたらきやそれとともになう弊害、情報という無形のもの所有権、使用权、個人情報保護、犯罪防止法などを知ること」であり、「技能」には「機器類の操作」、「既存のソフトウェアを使いこなす能力」や「プログラミング能力」などが含まれる。

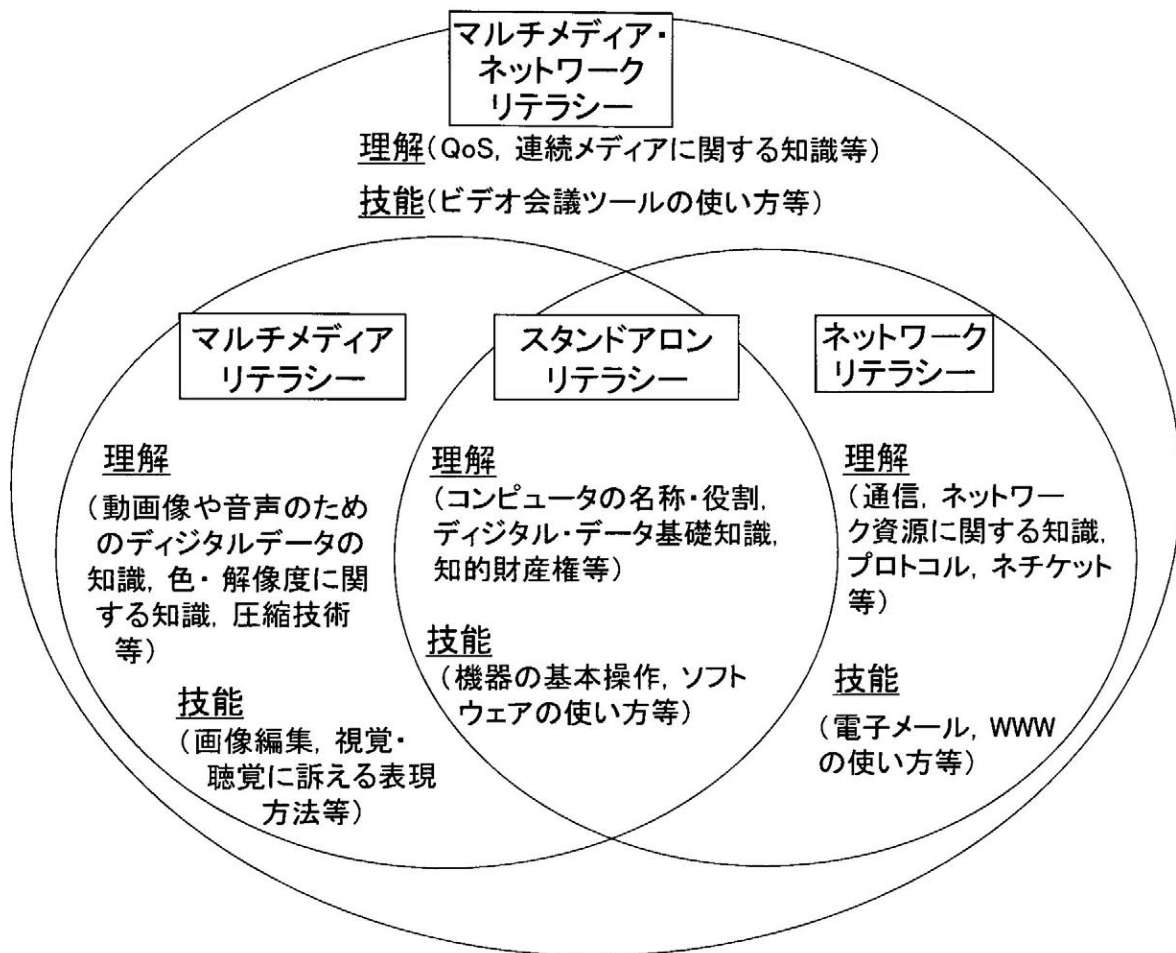


図 6-1 コンピュータリテラシーにおけるサブクラスの包含関係
 Figure 6-1 Relation among sub-classes in computer literacy

6.2 スタンドアロンリテラシー

情報リテラシーの概念が定義された頃、コンピュータ利用環境はスタンドアロンでの利用が主である。世界的規模のネットワークを想定したコンピュータの利用や情報の影響に関する概念は希薄であった。そこで本章では、通信やマルチメディアの要素がほとんど含まれないことを強調するために、この部分に相当するリテラシーをスタンドアロンリテラシーと呼ぶ。以下に、スタンドアロンリテラシーにおいて必要とされる理解と技能を記す。

(1) 理解

ハードウェアの名称、役割に関する知識の他、OSの知識などの理解が必要である。同時にコンピュータにおける処理の中心となるデジタルデータに関する概念も理解しておくべきである。最終的にはコンピュータは道具として使用するものの、CPU、ディスク、周辺装置等の個々の役割とデジタルデータとして処理されているという基本概念などを知っておくことが、その後のアプリケーション等の応用的な利用を助けることになる。また、ワープロを使えるようにするためにはブラインドタッチなどキー操作に慣れることも必要であるが、かな漢字変換に関して、どのようなアルゴリズムで変換されているのか、どのようなルールで文節を区切っているのかなどについては指導されていないケースが多い。これらは一例であるが、現状ではコンピュータの操作という実地的な作業の指導を重視する傾向にあるが、そのバックグラウンドにある知識に関する理解が、実践の手助けになり、応用力への下地として重要になる。さらに、専門的に利用するためにはプログラミングのための知識も必要であろう。その他、デジタルデータやソフトウェアなどの知的財産権に関する理解も必要とされる。

(2) 技能

コンピュータそのものの操作やアプリケーションの使用を身につける必要がある。例えば、電源を切る、周辺装置を接続する、OSを立ち上げるな

どの基本的な操作がその一例である。また、ワープロ、表計算といった実践的な利用に結び付くソフトウェアの使用法の習得と熟練が必要であろう。プログラミングの実践やさらにこれらを利用して、社会における様々な情報の処理能力も養っていくべきであろう。

6.3 ネットワークリテラシー

インターネットの普及とともに、それまでには考えられなかった様々な問題が浮上してきた。ここでは、ネットワークリテラシーを、スタンドアロンリテラシーを含み、インターネットで利用されているネットワークサービスを利用するために必要なリテラシーと定義する。スタンドアロンリテラシーにはない、全世界を対象とした「通信」、「分散」、「共有」のための知識、理解、技能が必要となる。理解には知的財産権の問題などを含む倫理的な内容も含まれる。過去に様々なネットワーク利用ガイドラインが出ているが、利用上のモラルを主に記述されており、ネットワーク知識として習得すべき事項についての記述は非常に少ない。そこで不足しているネットワークの知識や技能の観点からネットワークリテラシーを検討し、スタンドアロンリテラシーでは含まれなかった、新たに必要とされる能力についてまとめる。

(1) 理解

インターネットの背景や技術的課題を知らずに利用している利用者が多いが、インターネットは現在も実験しながら使われているのが実情である。それはインターネットの技術進歩が急速に進んでいることの象徴でもある。必ずしも安定したネットワーク基盤でなく、電話回線と同様にコストに見合ったサービスが保証される対象でないことを知らずに利用している利用者が多い。この事実を知らずに遭遇する諸問題は、インターネットの技術的背景に関する基本知識を知ることによって、解決可能なことも多い。ここでは、過渡期にあるインターネット利用のために必要な基本的事項として以下を挙げ、これらを理解する能力をネットワークリテラシーの

理解とする。

- インターネットプロトコルの基礎

電子メールや WWW を利用するのにドメイン名や IP アドレスに関する理解は重要である。

- ネットワークの経路

ネットワークの到達性が満たされないため、ネットワークサービスが利用できない頻度は低くはない。それにはネットワークの一部や全部が停止、または不安定（経路制御が不安定）な状態にある場合、単に指定先を間違えた場合、ネットワークの混雑度などいくつかの要因があり、ネットワーク管理者でも原因究明は困難なことも多いが、一般利用者が判断できることも多くある。ある程度の判断により、同じ間違いを繰り返したり、不要なネットワーク負荷を引き起こす原因を作らないことも大事である。

- ネットワークの構成

ネットワークの一部が慢性的にボトルネックになっていたり、一時的に混雑していることで、ネットワーク全体の情報の流れが乱されることは多々ある。電話網のように利用時には相手と専用回線として利用する形態ではないことを認識しておかなければならない。同時に、インターネット利用時に自分がどの程度の帯域を使用するネットワークサービスを利用するのかを知っておくことが望ましい。

- 情報の配布範囲

利用するネットワークサービスによっては、全世界にデータを配布するものもある。その情報が影響を及ぼす範囲を知らずに配布することは社会的にも危険であるが、同時にネットワークに対する負荷としても深刻である。既に、放送（ブロードキャスト）やマルチキャスト対応のネットワークサービスも利用可能なので、データの配布範囲について理解しておく必要がある。

- 情報の伝達速度

インターネットでは瞬時に地理的な制限を越えて情報伝達されることが1つの大きなメリットと言える。しかし、その速度が従来の情報媒体の速度とは比較できない位高速であることを理解しておく必要がある。誤った情報の伝達が瞬時に世界へ広がっていくことを、途中で止めることができないのである。

- ネチケット

ネチケット [Hambridg95] ではネットワークエチケットを意味し、新しくインターネットを利用する利用者に対して、インターネット上で守るべき事項についてまとめられている。一般社会では当然守るべきエチケットがネットワーク社会ではおざなりにされている部分を明らかにしているだけでなく、ネットワーク上で新たに考慮すべき問題、例えば、ネットワークサービスが使用する帯域幅に関する通信上の問題などを挙げ、利用に必要な指針を提示されており、世界的資源としてインターネットを利用するために、意義深い指針であると言える。さらに、利用者の多さとネットワークへの影響度の大きさから、Web エチケットについて考慮すべきかもしれない。単に視覚的インパクトに訴えたホームページ作成は推奨されていない。より多数のアクセスに対して、正確でスムーズな情報提供のために、画像、音声などのデータサイズ、ネットワーク負荷、WWW サーバの負荷などを考慮に入れた情報提供すべきである。また、情報の安全性(法的、技術的)、情報に対する責任などにも注意すべきである。

(2) 技能

スタンドアロンリテラシーに加え、ネットワーク接続されたコンピュータで利用できるソフトウェアを利用する能力が必要とされる。すなわち、電子メール、WWW、ファイル転送、遠隔操作をはじめとするネットワークサービスのためのツールの操作が必要とされる。また、世界規模のネット

ワーク上での情報検索・提供方法を習得し、それを利用を学習・仕事などに利用できる能力も身につけておくべきである。既に、多くの大学で実施されている情報処理教育などがそれに相当する。また、ネットワーク接続に必要な通信機器の設置や操作も含まれる。

6.4 マルチメディアリテラシー

マルチメディア対応となったコンピュータ利用環境では、処理する画像や音声情報の割合が飛躍的に高くなった。CD などから得られるマルチメディア情報が教材等として利用可能になり、また、マルチメディア情報を視覚、聴覚に訴えるインパクトのある表現として、様々な場面で活用できるようになった。しかし、現在の教育では、このようなマルチメディアを駆使する表現力の養成に関するリテラシー教育は十分ではない。マルチメディアリテラシーでは、音声、映像データを扱うための機器の操作、デジタル情報の作成、加工などのマルチメディア技能とともに、マルチメディア情報の知識(音声や映像のデータ表現や種類など)に加え、マルチメディアを用いた豊かな表現力を身につけることが重要である。マルチメディアリテラシーにおける理解、技能を以下のようにまとめる。

(1) 理解

マルチメディア情報を扱うためにはマイク、カメラ、スピーカ、各種メディア再生機器などの入出力ハードウェアが必要となるが、これらの役割、相互の関係などを理解しなければならない。特に、動画、音声を扱う場合は、ビデオ、オーディオ機器類の操作が必須となるため、それらに関する知識が必要になる。静止画の処理に関しては画像の色や解像度の表現に関する知識も必要である。すなわち、アナログデータをどのようにデジタルデータで表現するか、その時に色はどのモデルで表現し、解像度をどの程度にするのかを決めるためには、それらの基礎的な知識がなければアプリケーションも利用できない。音声に関しても同様で、いずれもアナロ

グとデジタルのデータ表現や相互の関係に関する理解は必須と言える。さらに、動画、音声データに関してはデータサイズが大きくなるため、圧縮して保存、転送するのが一般的であるため、圧縮に関する知識も必要となる。

(2) 技能

必要とされるオーディオ、ビデオなどの各種機器類の操作が必要とされる。テキストデータの読み書きと同様に、静止画、動画、音声の入力、再生に関する操作が習得できてなければならない。例えば、描画ツールや画像編集ツールを用いてデジタルデータとしての絵を描いたり、写真などの紙媒体からデジタルデータに変換、加工する作業を習得する必要がある。さらに、マルチメディア情報を使った幅広い表現方法を身につけることにより、従来よりも豊かな自己表現ができる能力を身につけることができる。

6.5 マルチメディア・ネットワークリテラシー

マルチメディアリテラシー及びネットワークリテラシーの定義に加え、本章で定義するマルチメディア・ネットワークリテラシー (Multimedia Communication Literacy)[Maeda97a,b] では、通信の要素としてサービス品質 (QoS: Quality of Service) と連続メディアの概念を加え、「サービス品質が満たされるリアルタイム性の必要な情報通信が可能なネットワークを認識、理解、処理する能力」が必要とされるものとする。

(1) 理解

マルチメディア通信では音声や動画データなど広帯域を必要とする転送が多い。ネットワークリテラシーでも、ネットワーク資源について触れているように、マルチメディア情報を扱う場合のネットワーク利用は、ネットワークに対する影響力を考慮する必要がある。すなわち、マルチメディア通信をするための使用帯域を予め考慮する必要がある。また、リアルタイム、双方向通信を想定していることが多く、円滑なコミュニケーション

ンが成立するためのサービス品質の確保をするための工夫なども必要である。

インターネットの中で情報を検索し、その情報を評価することができなければならない。これはデジタル化社会での「読む力」とも言える。インターネット上の情報は静的ではない。日々変化している上に、デジタル化された情報故に本来の情報と違う形に変更することも簡単にできる。動的に変化する情報にも対応する力とともにその情報を判断、評価する力が必要とされ、さらにその情報を自分で変更し、新しい情報(世界)を創り出すことができる能力が必要とされる。マルチメディア情報の表現力の豊かさは、従来のコミュニケーションに比べ、視覚的・聴覚的なインパクトが強く、それはメリットであると同時に、その影響力の大きさを考慮しなければならない。有害情報が突然飛び込んでくるような環境であることを認識する必要がある。また、デジタルデータの改変は、本来の情報を容易に改ざんすることができる危険性も含んでいる。情報倫理の観点からマルチメディア情報のもつ利便性と危険性を十分理解しておく必要がある。

(2) 技能

マルチメディア情報を駆使するためには、コンピュータリテラシーに加え、デジタルデータの作成、加工のソフトウェアの使い方やAV機器の操作法といったマルチメディアリテラシーが基本として必要とされる。さらに、マルチメディア通信の場合、リアルタイムな双方向通信が対象とされることが多いため、音声、映像、文字情報、遠隔機器を同時に協調的に操作する方法が必要とされる。さらに、リアルタイムなインタラクションが必要となるが、より効果的に意図を表現するために、個々がディレクター的素養を必要とする場合もあるかもしれない。

6.6 リテラシー教育環境

本章で述べた4つのリテラシーの教育環境について考える。基本となるスタンドアロンリテラシーに関しては、既に初等、中等教育においても多くのコンピュータ導入が進んでいることから、多くの場で教育できる可能性が高くなっている。スタンドアロンの利用と言う意味では、マルチメディアリテラシーも比較的学習環境が提供しやすいと言える。ネットワーク利用環境は高等教育機関ではかなり整備が進んでいる。整備不十分な初等・中等機関においても、比較的低速ネットワークであれば多くの所が学習環境を用意することが可能であろう。しかし、マルチメディア通信環境は、現在、必ずしも自由に利用できるわけではない。高速、高品質なネットワークの整備が必要と同時に、映像、音声の通信が可能なAV機器の整備も必要となる。しかし、今後のマルチメディア通信を想定するとき、そのリテラシー養成環境を用意するのは重要なことである。その一例として、筆者らは2章で述べた遠隔講義実験環境はシステムの構成しやすさ、コストの面から、現時点で用意できる候補として有用である。この環境では音声、映像の送受が可能なコンピュータと比較的高速なネットワーク上でMboneツールを使用した。2章で示したネットワークの体感度や遠隔講義の親和性などに関するアンケートなどから、受講者が遠隔講義そのものを無理なく受講できただけでなく、ネットワークを意識することができるという結果が得られている。ネットワークやデータ圧縮などの遅延による映像、音声などの乱れなどを体験することにより、どの程度のネットワーク資源が使用されているかなどを体験することができる。マルチメディア通信環境がどのようなものであるかを理解できる一端となり得る。

6.7 まとめ

本章では、情報に関するリテラシーに関して考察と提案を行った。従来のスタンドアロンのコンピュータ利用環境で定義されたリテラシー教育は現在のネットワーク環境とずれている部分も多く、特に、インターネットの構造など技術

的な背景から必要とされるリテラシーに関する考察はほとんどないことに注目し、その部分を盛り込んだネットワークリテラシーを定義した。また、リテラシーを通信とマルチメディアの2観点から分類し、それぞれに必要なリテラシーとその統合となる、マルチメディア通信に必要なリテラシーを定義した。技術進歩の速い分野におけるリテラシーを検討する上で重要なことは、技術革新を見越したリテラシーと現実に必要なリテラシーのバランスである。特に、ネットワーク知識やデジタルデータ処理技術などは現在の技術で解決されていないがために、リテラシーとして利用者が習得しておくべき内容とされる時期がある。しかし、3年後にその内容は知っておくべき知識と言えなくなっているかもしれない。こういう変遷に柔軟に対応できる指導者の育成が重要な課題と言える。

7章

おわりに

本論文ではマルチメディア通信の教育利用の可能性について、主に、遠隔講義、3次元仮想教育空間、マルチメディア通信を支えるリテラシー教育という側面から検討した。

遠隔講義に関しては、2, 3, 4章で論じた。2章では、遠隔講義環境の背景となるネットワーク技術について整理し、次に双方向遠隔講義システムについて述べた。実験を繰り返すことにより、様々な遠隔講義形態を比較し、より質の高い遠隔講義環境を提供するための要素について検討した。3章では遠隔講義を支援する機能として遠隔カメラ制御について述べた。本研究ではWWWブラウザによるツールとジョイスティックによるツールを設計、開発した。これらのツールを実際に講義に用いることにより、操作性に関する評価を行うとともに、ツールの有効性を確認した。4章では遠隔講義において重要な鍵となる教材提示ツールについて述べた。PCなどで作成されたデジタル教材をそのまま遠隔講義の教材として利用できることを目的に、教材提示システムの設計、プロトタイプ開発、評価を行った。

5章では仮想現実の教育利用について述べた。遠隔講義の拡張として仮想教室を定義し、仮想現実による臨場感が教育に与える効果を利用した新しい学習形態の可能性について示し、3次元仮想空間における自然なコミュニケーションを維持するため構成要素技術(連続メディア処理, QoSなど)を整理するとともに、その一部を解決した仮想美術館の設計、開発について述べた。

6章ではマルチメディア通信が日常的通信手段として利用するために必要なリテラシー教育について考察を行った。コンピュータリテラシーをマルチメディアと通信の観点から4つに分類し、それぞれにおいて必要とされる理解や技能について検討した。

7.1 本研究の成果と適用限界

本研究で得られた成果とその適用限界について各項目ごとにまとめる。

(1) 双方向遠隔講義システムの構築

通常の講義として支障が生じない双方向遠隔講義システムの構築を行った。マルチキャスト機能拡張したネットワークでも使用可能であり、広範囲、複数地点での利用が可能である。一般的に利用可能性の高いMboneツールを使用することによって、システム構築の実用性が高い。このようなシステムはコストをかけて専用の教室を用意したり、専用システムを導入することなく、遠隔講義を実施することができたが、そのためには遠隔講義環境として留意すべき点を考慮したことに因る。例えば、遠隔カメラ制御ツールの利用は講義の質を高める工夫として採用した。

システムを構成する各ツールの多くはIPマルチキャストが使用されているが、講義に支障が生じない環境を提供することができた。しかし、今後はより信頼性を向上させるための通信プロトコルを用い、ツールを改善していくことが望ましい。また、個々のツールは独立に動作するため、音声データ伝送の優先順位を映像データ伝送よりも高くするなど統合的な調整ができる機能を追加していく必要がある。

(2) 遠隔講義の実践による講義成立性の条件に関する検討

構築した遠隔講義システムを用いて何度かの遠隔講義実験を行い、被験者に対して行ったアンケート調査により、講義として支障がないこと実証した。また、被験者のコンピュータ操作などの熟練度、画面の表示方法、ネットワークの違いによる比較実験を実施することにより、質の高い遠隔

講義を実施するために考慮すべき点についてまとめた。具体的には2.6で示したが、これらは実験の環境として留意した点と実験によって得られた知見から改善点として整理することができた。本実験では、遠隔講義実験における講義が通常の講義の一貫として実施されたため、実験の条件を完全に同一にして実施することが困難であった。しかし、被験者の類似性に留意して実験し、被験者数を十分に確保しているため、多くの質問項目に対する結果は信頼性がある。ただし、他の実験に比べて被験者数の少なかつた社会人の場合の結果については個々の経験等のばらつきの影響も出ており、曖昧さが残る。また、2.4.3の比較実験においては環境は同一条件であったが、別の講師によって各グループが受講したため、講義の印象は講師の個性に影響される部分が出ている可能性がある。

(3) 遠隔カメラ制御ツールの開発と有効性の実証

受講者の様子を知るために講師が自由に受講者映像を見ることができるとして遠隔カメラ制御ツールを開発した。ツールはWWWブラウザによるものと、ジョイスティックによるものと2つ開発したが、前者は種々のシステムで利用可能なCGIを用いて作成されているので移植が簡単であるが、講師の遠隔講義用モニタ上の画面数の問題で操作が煩雑になるという欠点をもっている。また、カメラ操作と実際に送られてくる映像が通信遅延や圧縮遅延によってずれることによる、操作の困難さの改善が必要とされた。ジョイスティックを用いるツールはこの問題を解決するため、遅延を意識させるための照準の表示などの工夫を凝らして開発した。通常、遅延を小さくするために、動画の圧縮方法や回線種類の特性を用いてツールの設計をするため、特定の環境条件に依存したツールの設計になる。しかし、本ツールでは遅延そのものを小さくするわけではないため、ネットワークの帯域やとりまく環境を変更することなくツールを利用することができる。また、カメラの制御に使用したプロトコルはカメラの機種依存ではないので、移植性がよい。ここで使用したプロトコルをインターネット上の通信プロトコルとして汎用的に利用できるように体系化してい

く必要がある。

(4) 教材提示システムの開発と評価

実験時に用いた教材提示システム (wb) は講師と受講者間の共有ボードとして利用できる他、鮮明な教材画面を提示できるシステムとして、評価が高かったが、システムの入力フォーマットが PostScript に制限されているために、講師が PC で作成した教材を利用可能な形式に変換する負荷や PostScript を展開するためのマシン負荷が高いことが問題であった。本研究では、それを解決する教材提示システムを設計し、プロトタイプの作成を行った。これにより、講師は PC のプレゼンテーションツールをそのまま遠隔講義用の教材として使用できる。システムは Java 言語によって作成されているので、多くのシステムで利用可能である。このシステムでは PC の画面を定期的、または、指示に応じてキャプチャし、それを転送するしくみになっているおり、教材スライド 1 枚ずつに対する処理時間を要す。今後は動画教材にも対応できるように、キャプチャ、転送、形式変換の処理時間の改善をしていく必要がある。

(5) 仮想現実の教育利用に関する検討

マルチメディア通信によってコンピュータネットワーク上に仮想教育空間を形成した学習環境として仮想教室を定義し、仮想教室における仮想現実の効果的利用について検討した。特に仮想教室における一斉講義に焦点を絞り、教育効果を高めるために必要な条件を提示し、必要となるマルチメディア通信の要素技術について整理した。さらに、仮想教室の実現例として仮想美術館を構築した。その中で、仮想現実の効果的利用のために、自然なコミュニケーションや仮想現実と拡張現実との融合を実現した。仮想美術館では教材提示、教材共有に関する検討項目がないため、今後はその部分の設計を含めて仮想教室に応用していかなければならない。

(6) マルチメディア・ネットワークリテラシーの提案

全世界規模のネットワークに対するマルチメディア情報の与える影響につ

いて教育することの重要性について述べた。従来のリテラシー教育との比較をし、新しく提案したマルチメディア・ネットワークリテラシーとの関係を示した。また、この教育のための実用的な環境構築が必要であるが、その1候補として2章で双方向遠隔講義システムが実用可能であることを示した。

7.2 今後の課題と展望

双方向、リアルタイムな遠隔講義は講義実施の時間的、空間的制約を解決する手段として有効であると言われているが、すべての内容の講義が同じ遠隔講義システムを用いて有効であるとは言えない。本論文の最初に分類したように、遠隔講義の形態によって実施環境を決める複雑さが変化する。本研究では大学生以上の受講者を対象に実験を実施し、その対象に関しては用いた遠隔講義システムは実際の講義を実施するのに支障がない品質を提供することができた。しかし、仮に動画教材を使わないとしても、使用したシステムをそのまま初等・中等教育にも利用できるとは言えない。どのような受講者を対象に、どのような内容の講義を行うかを考慮してシステム構築をしていかなければならない。高速回線を用意し、高性能なカメラ、書画装置、表示機器などのハードウェアを用意するだけでなく、遠隔講義にあった講義スタイルについても検討する必要がある。環境を整えたとしても、心理的要因によって対面講義のスタイルをそのまま遠隔講義で実施して、全く同じ効果を期待できるかどうかは疑問である。教材の準備に関しては従来の講義以上に留意しなければならない。文部省が平成9年12月に出した大学審議会の答申によると、条件を満たした遠隔講義は大学の単位として正式認定されるようになる。これによって、日本の大学における遠隔講義の実施はより現実的なものになろうとしているが、設備を整えるだけでなく、実施する講師が教材の準備にどのようなことを考慮すべきか、講義システムの使用に関してサポートの人員をつけるのか、または、簡単な指導で講義システムが使用できるようなシステム構成になっているのかなど検討課題は多い。本研究で実施した実験の中で、実習を伴うものがあり、実習の指導補

助のために TA を起用することにより、実習授業の実施可能性を述べたが、遠隔講義システムによっては、システム操作のための TA を要する場合もある。TA の起用や運用についても検討すべきであろう。

本研究では受講者が同じ場所に集まって一斉に講義を実施する場合について実験を繰り返したが、遠隔講義システムは個別学習としても有効な手段である。講師とのリアルタイムなやりとりによって VOD では得られない教育効果を上げることができるであろう。また、健康等の問題によって、自宅や病院から出ることができない人たちへの教育提供の手段として利用可能である。今後、機器の操作がより簡単なインターフェースの改善などを進め、幅広い利用者に利用できる遠隔講義システムの開発が必要である。

遠隔講義システムとして実用化されているものがある一方、遠隔講義は研究対象としてもまだ、途上にあると言える。例えば、教育形態、教育目的などに依存するモデル作りもなされていない状況である。今後の実用化のためにも、このような遠隔講義のためのモデルについて考察することも必要である。

仮想空間、拡張現実空間を利用した教育環境は教育の可能性を広げることができることは既に述べたが、教材提示方法を検討しなければならない。3次元仮想空間における教育は、従来の教育スタイルをそのまま持ち込むのではなく、3次元仮想空間という特徴を生かした形式によって利用することが効果的であろう。あくまでも教育の支援環境であり、従来の教育環境そのものをそこに実現することが効果的な教育を産むとは予想できない。本論文中にも述べたように、仮想空間の利用できる範囲は、固有の目的のための模倣環境として利用する場合に効果的であろう。また、現実には簡単に見ることができない場所や触れることができない物体などを疑似的に体験することによって、理解を支援する場合など、かなり目的ごとに内容を絞った空間を構築することが効果的と言える。

現在、マルチメディア通信を知らないうちに多くの利用者が使用し始めている。すなわち、連続メディアを含む多くのマルチメディアアプリケーションが開発されており、利用者は音声データや映像データを瞬時にネットワークを介して世界中に送信することが非常に容易になっている。また、このようなマル

マルチメディアアプリケーションの多くは機能の視覚化や操作の簡単化を実現することを重視するために、重要なデータを隠蔽してしまう傾向にある。例えば、最近の電子メールツールはメールに含まれているヘッダ情報のほとんどを隠し、送信元、送信先、同報通信先などのみを表示するようになっている。また、簡単に映像や音声データの添付が可能となっている。幅広い利用者にとって操作が簡単になることは重要なことであるが、そこに含まれる重要な情報やネットワークへの影響に関する情報を全く知らないままに利用することになる。インターネットは多くの利用者が利用している現在でも、依然、実験しながら運用されている特異なネットワークであり、過去に例のない技術と言える。このような状況で、面倒、複雑な部分をオブラードに包んだアプリケーションを利用することの危険性を重要視すべきである。

何の教育もなく、このようなマルチメディアアプリケーションをネットワーク上で使用すると、電子メールが送信エラーを起こしても、隠された電子メールの表示情報ではどこでどのようなエラーが起こったのかを判断することもできず、添付された映像データがどの位のデータ量でその転送がネットワークにどのような影響を及ぼすのかを知ることもできない。単にマルチメディア通信が可能なアプリケーションが利用できることが今後のマルチメディア通信に必要な素養とは言えない。ネットワーク資源に関する考慮なく、インターネットの利用限界を知らずに、一方的にマルチメディア通信の利便性を強調していくことは健全なマルチメディア通信ネットワークの構築をはばむことになる。全世界的にマルチメディア通信を利用するために、早急なりテラシー教育が必要であるし、教育できる人材の養成が必要である。

一方、技術革新の進歩は目を見張るものがあり、常にネットワークの現状を認識しておく必要がある。現在、習得すべきリテラシー教育の内容は、技術革新によって不要となることもある。経済的、社会的な問題によって制約されていた回線の帯域確保なども状況に応じて変化していこう。習得すべきリテラシー教育は常にこのような変化に対応できなければならない。幅広い利用者がマルチメディア通信を日常的通信手段として利用していくためには、状況の

変化に柔軟に対応できる教育環境が必要であるし、一方で、できるだけ習得すべき内容が簡単となるような、通信技術、マルチメディア情報処理技術の研究・開発が必要と言える。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、様々な観点から貴重なご助言とご教示を賜りました九州工業大学情報工学部 竹内章教授，岡田直之教授，橋本正明教授，ならびに尾家祐二教授に心から感謝申し上げます。また，本論文をまとめる機会を与えていただくとともに，終始温かい励ましでご指導いただいた広島市立大学情報科学部 大槻説乎教授に感謝いたします。

研究の第一歩をご指導頂くとともに，研究をまとめるにあたってご助言を賜りました広島大学工学部 阿江忠教授に感謝申し上げます。また，本研究の遂行にあたりご支援をいただきました広島市立大学吉田典可教授に感謝いたします。

本研究の全過程を通して，熱心にご指導いただくとともに，日頃から研究活動の全般において多大なるご協力をいただいている広島大学総合情報処理センター 相原玲二助教授に深く感謝いたします。また，研究に必要な実験の実施やシステムの実装に積極的に寄与いただいた広島大学総合情報処理センター 西村浩二助手，および広島市立大学情報処理センター 河野英太郎助手に感謝いたします。研究を進める上で活発にご討論頂いた広島市立大学情報科学部 有川正俊助教授，天野晃助教授，岩根典之助教授，寺内陸博助手，川本佳代助手に感謝します。この他にも筆者の研究活動において，日頃から多くの方々にご協力，ご助言をいただいています。そのすべての方に心から感謝申し上げます。

参考文献

- [A-Shimizu96] Shimizu,A., “Trials for Multimedia Communications”, *IEICE Trans.Commun.*, Vol. E79-B, No. 8, pp.1008-1014, Aug. 1996.
- [Arikawa96a] Arikawa, M., Amano, A., Maeda, K., Aibara, R., Shimojo S., Nakamura, Y., Hiraki, K., Nishimura, K., and Terauchi, M., “Dynamic LoD for QoS Management in the Next Generation VRML”, *IEEE, Proc. of the International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp.24-27, June 1996.
- [Arikawa96b] Arikawa, M., Amano, A., Maeda, K., Aibara, R., Shimojo S., Nakamura, Y., Hiraki, K., Nishimura, K., and Terauchi, M. “QoS Management for Live Videos in Networked Virtual Spaces”, *Proc. of the International Conference on Virtual Systems and Multimedia 1996*, pp. 467 - 472, Sep. 1996.
- [Arikawa96c] 有川正俊, 天野晃, 前田香織, 相原玲二, 下條真司, 中村泰明, 開和生, 西村浩二, 寺内睦博, 天野橘太郎 VRML 空間への実時間映像の導入アドバンスト・データベース・シンポジウム '96 論文集, pp.187-192, Dec. 1996.
- [Arikawa96d] Arikawa, M., Amano, A., Maeda, K., Aibara, R., Shimojo, S., Nakamura, Y., Hiraki, K., Nishimura, K., and Terauchi, M. “Management of QoS for Real-Time Shared Three Dimensional Virtual Spaces”, *Proc. of the International Symposium on Cooperative Database Systems for Advanced Applications*, pp.535-538, Dec. 1996

- [Arikawa97] 有川正俊, “ H_2O プロジェクト「仮想空間におけるコミュニケーション」の研究活動概要”, 画像ラボ, Vol.8, No.8, pp.14–19, Aug. 1997.
- [Arikawa99] Arikawa, M., Amano A., Shimojo, S., Maeda, K., Aibara, R., Nishimura, K., Fujikawa, K. and Hiraki, K., “Real-Time Spatial Data Management for Scalable Networked Augmented Virtual Spaces”, *IEICE Trans. Commun.*, Jan. 1999.(受理済)
- [Arlitt97] Arlitt, M.F., and Williamson, C.L., “Internet Web Servers: Workload Characterization and Performance Implications”, *IEEE Trans. on Networking*, Vol.5, No.5, pp.631–645, Oct. 1997.
- [Armstrong92] Armstrong, S., Freier, A., Marzullo, K., “Multicast Transport Protocol”, RFC1301, Feb. 1992.
- [Bormann94] Bormann, C., Ott, J., Gehrcke, H.-C., Kersch, T., and Seifert, N., “MTP-2: Towards achieving the S.E.R.O. properties for multicast transport”, *Proc. of the International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN) 94*, Sep. 1994.
- [Claffy94] Claffy, K., Braun, H. and Polyzos, G., “Tracking Long-Term Growth of the NSFNET”, *Communications of the ACM*, Aug. 1994.
- [Comers83] Comers, D., “The computer science research network, CSNET”, *Communications of the ACM*, Vol.26, No.10, pp.747–753, Oct. 1983.
- [Craig98] Parttridge, C., Carvey, P.P., Burgess, E., Castineyra, I., Clarke, T., Graham, L., Hathaway, M., Herman, P., King, A., Kohalmi, S., Ma, T., Mcalle, J., Mendez, T., Milliken, W.C., Pettyjohn, R., Rokosz, J., Seeger, J., Sollins, M., Storch, S., Tober, B., Troxel, G.D., Waitzman, D., and Winterble, S., “A 50-Gb/s IP Router”, *IEEE Trans. on Networking*, Vol.6, No.3, pp.237–248, June 1998.

- [CuSeeMe] Online document available at <http://cu-seeme.cornell.edu/>.
- [Deering89] Deering, S., "Host Extensions for IP Multicasting", RFC1121, Aug. 1989.
- [DeMonner97] DeMonner, S., "TATE: ISDN-based Videoconferencing in Pre-service Teacher Preparation", *Proc. of ED-MEDIA/ED-TELECOM97*, pp.253–258, June 1997.
- [Dorcey95] Dorcey, T., "CU-SeeMe Desktop VideoConferencing Software" *Connections*, Vol. 9, No.3, Mar. 1995.
- [Emerson83] Emerson, S.L., "USENET, a bulletin board for UNIX users", *BYTE*, Vol.8, No.10, pp.219–236, Oct. 1983.
- [Floyd97] Floyd, S., Jacobson, V., Liu, C., McCanne, S., and Zhang, L., "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 5, No. 6, pp. 784–803. Dec. 1997.
- [Gilster97] Gilster, P., *Digital Literacy*, John Wiley & Sons, Inc., 1997
- [Hambridg95] Hambridg, S., "Netiquette Guideline", RFC1885, Oct. 1995.
- [Harris96] Harris, D.A. and DiPaolo, A., "Advancing Asynchronous Distance Education Using High-Speed Networks", *IEEE Trans. on EDUCATION*, Vol.39, No.3, pp.444–449, Aug. 1996.
- [Hinden83] Hinden, R., Haverty, J., and Sheltzer, A., "The DARPA internet: Interconnecting heterogeneous computer networks with gateways", *IEEE Computer Magine*, Vol.16, No.9, pp.39–48, Sept. 1983.
- [Ibrahim94] Ibrahim, D. and Franklin, S.D., "Advanced Educational Uses of the World-Wide Web", *Proc. of The Third International World Wide Web*

- Conference'95 in Computer Networks and ISDN Systems*, Vol. 27, No. 6, pp.871-877, Apr. 1995.
- [Jacobson93] Jacobson, V. and McCanne, S.: Online document available at URL <http://www-nrg.ee.lbl.gov/wb/> , 1993.
- [Johnson97] Johnson, N. *Web Developer's Guide to Multicasting*, Coriolis Group Books, 1997.
- [Jung97] Jung, I. "Design of a Virtual University in a Korean Context", *Proc. of ED-MEDIA/ED-TELECOM97*, pp.1263-1264, June 1997.
- [Kato96] Kato, Y., Kawanobe, A., Kakuta, S., Hosoya, K., and Fukuhara, Y. "Advanced collaborative educational environment using virtual shared space", *Proc. of ED-MEDIA & ED-TELECOM96*, pp.348-353, July 1996.
- [Keio] Online document available at URL http://www.nkgw.elec.keio.ac.jp/nakagawa_lab./YWH/
- [Kimura97] 木村英俊, 進士昌明, 山本公一, 川副護, 水野秀樹, 大幡浩平, 中島裕, 山本英男, 昆太一 "衛星マルチメディア通信を利用した教育応用システムの構成と品質に関する検討", *信学論*, Vol. J80-B-I, No. 6, pp.355-365, 1997.
- [Kondo96a] 近藤喜美夫, "VSAT の教育交流ネットワークへの応用", *信学誌*, Vol.79, No.8, pp.777-782, Aug. 1996.
- [Kondo96b] 近藤喜美夫, 鈴木龍太郎, 宇都由美子, 井形昭弘, "教育利用のための圧縮画像広帯域画像比較実験", *信学論*, Vol.J79-D-II, No.10, pp.1734-1740, Oct. 1996.
- [KTV] "Knowledge TV (formerly Mind Extension University)": Online document available at URL <http://www.jec.edu/ktv/> .

- [Macedonia94] Macedonia, M. and Brutzm, D., “Mbone Provides Audio and Video Across the Internet”, *IEEE Computer*, Vol.27, No. 4, pp.30–36, Apr. 1994.
- [Maeda96a] 前田香織, 相原玲二, 吉田典可, “インターネットの環境におけるマルチメディア通信の教育利用”, *工学教育*, Vol.44, No.3, pp.32–36, May 1996.
- [Maeda96b] 前田香織, 河野英太郎, 天野橘太郎 “広島市立大学キャンパスネットワークシステム HUNET とマルチメディア情報通信実験”, *信学技報* Vol.96, No.7, IN96-26, pp.49–56, June 1996.
- [Maeda96c] 前田香織, 相原玲二, 川本佳代, 寺内睦博, 河野英太郎, 西村浩二 “高速回線と Mbone ツールを用いた遠隔講義実験”, *情報処理学会 研究報告 マルチメディア通信と分散処理*, Vol.96, No.108, 79-21, pp.113-118, Nov. 1996
- [Maeda96d] 前田香織 “マルチメディア環境における情報処理教育” 平成 8 年度情報処理教育研究集会 講演論文集, pp.475-479, Dec. 1996
- [Maeda97a] 前田香織, 相原玲二, 川本佳代, 寺内睦博, 河野英太郎, 西村浩二, “遠隔講義のためのマルチメディア通信環境”, *信学論*, Vol.J80-B-I, No.6, pp.348–354, June 1997.
- [Maeda97b] Maeda, K., Aibara, R., Terauchi, Kawamoto, K., and Otsuki, S., “An Environment for Multimedia Communication Literacy”, *Proc. of AACE ED-MEDIA & ED-TELECOM97*, pp.653- 658, June 1997
- [Maeda97c] 前田香織, 相原玲二, 寺内睦博, 川本佳代, 西村浩二, 河野英太郎, “マルチメディア通信環境における大学間遠隔講義”, *教育工学関連学協会 連合第 5 回全国大会講演論文集*, 第 1 分冊, pp.117–120, Sep. 1997.

- [Maeda98a] Maeda, K., Aibara, R., Terauchi, Kawamoto, K., and Otsuki, S., “Educational Effectiveness of an Interactive Multimedia Communications Environment”, *IFIP WG3.4 Educating Professions for Network-Centric Organizations*, Kluwer Academic Publishers, Mar. 1999. (in printing)
- [Maeda98b] Maeda, K., Aibara, R., and Otsuki, S., “World Wide Whiteboard and its Applications on Interactive Distance Learning”, *Proc. of ICCE'98*, pp.73–78, Oct. 1998
- [Maeda99] 前田香織, 相原玲二, 大槻説乎, “遠隔講義のためのマルチメディア教材提示システム”, *情報処理学会論文誌*, Jan. 1999. (受理済)
- [Mbone-session] Online document available at URL <http://www.cilea.it/collabora/Mbone/agenda.html> .
- [McCanne92] McCanne, S., “A Distributed Whiteboard for Network Conferencing”, *CS268 Term Project, U.C. Berkeley*, May 1992. (unpublished report)
Online document available at URL <http://www.cs.berkeley.edu/mccanne/papers/mccanne-wb92.ps.gz>
- [McCanne95] McCanne, S. and Jacobson, V., “vic: A Flexible Framework for Packet Video”, *Proc. ACM Multimedia'95*, pp.511–522, Nov. 1995.
- [Minoli96] Minoli, D., *Distance Learning Technology and Applications*, Artech House Publishers, 1996.
- [Monbu86] “情報化社会に対応する初等中等教育の教育内容の在り方” 文部省臨時教育審議会 第二次答申 , Sep. 1986.
- [Monbu96] “21世紀を展望した我が国の教育の在り方について” 文部省第15期中央教育審議会 第一次答申 , July 1996.

- [Moriai97] 盛会敏, 木原誠司, 徳田英幸, “マルチメディア・コンピューティング (III) - マルチメディア通信とネットワーク”, 信学誌, Vol.80, No.7, pp.740-745, July 1997.
- [Murai85] Murai, J. and Asami, T., “A Network for Research and Development Communities in Japan”, *Proc. of Pacific Computer Comm. Sympo.*, pp.579-588, Oct. 1985.
- [Murata98] 村田正幸, “マルチメディアコンピュータネットワークの通信品質保証”, 信学誌, Vol.81, No.4, pp.362-370, Apr. 1998.
- [Nakabayashi95] Nakabayashi, K., Koike, Y., Maruyama, M., TOuhei, H., Ishiuchi, S., and Fukuhara, Y., “An Intelligent Tutoring System on World-Wide Web: Towards an Integrated Learning Environment on a Distributed Hypermedia”, *Proc. of ED-MEDIA95*, June 1995.
- [Newman98] Newman, P., Minshall, G., and Lyon, T.L., “IP Switching - ATM Under IP”, *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol.6, No.2, Apr. 1998.
- [Nishimura98a] 西村浩二, 前田香織, 相原玲二, “遠隔教育用システムのためのカメラ制御ツールの試作”, インタラクシオン '98 論文集, pp.21-22, Mar. 1998.
- [Nishimura98b] Nishimura, K., Maeda, K., and Aibara, R. “Real-time Camera Control for Videoconferencing over the Internet”, *Proc. of Fifth International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications*, pp.121-124, Oct. 1998.
- [NTU] Online document available at URL <http://www.ntu.edu/> .
- [Obraczka98] Obraczka, K., “Multicast Transport Mechanisms: A Survey and Taxonomy”, *IEEE Communications Magazine*, 1998. (to be appeared)

- [Oda98] 小田稔周, “国際通信ネットワーク”, 信学誌, Vol.81, No.4, pp.389–395, Apr. 1998
- [Ohta97] M. Ohta, K. Nishimura, *et al.*, “CamCorder Control Protocol”, Internet Draft, IETF, draft-ohta-ccc-video-00.txt, 1997. (work in progress)
- [Otsuki96] Otsuki, S., Takeuchi, O., Nakamura, J., and Iwane, N., “ON-LINE UNIVERSITY – Introduction and Empirical Studies – *Proc. Intl. Sympo. on Educational Revolution with Internet*, pp.9–16, 1996.
- [Quemada96] Quemada, J., Miguel, T., Azcorra A., Pavon S., Salvachua J., Petit M., Larrabeiti, D., Robles, T. and Huecas G., “ISABEL: A CSCW Application for the Distribution of Events”, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1185, pp.137–152, 1996.
- [Rinaldi95] Rinaldi, H.A., “The Net: User Guidelines and Netiquette”, Online document available at URL <http://www.fau.edu/rinaldi/net/index.htm> .
- [Schulzrinne96] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., Jacobson, V. “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, RFC1889, Jan. 1996
- [SDR] “sdr - UCL Session Directory”: Online document available at URL <ftp://ftp.parc.zerox.com/> .
- [Shea94] Shea, V., *Netiquette*, Albion Books, May 1994.
- [Shimizu96] 清水康敬, “衛星通信を利用した遠隔教育”, 信学技報, IN96–23, Jun. 1996.
- [Su97] Su, S.A., Hu, S, and Furuta, R., “VRML-Based 3D Topographic Maps: Enhancing Educational Applications”, *Proc. of ED-MEDIA/ED-TELECOM97*, pp.1014–1019, June 1997.

- [Tanaka97] 田中英治, 倉立尚明, 福井和広: “アクティブカメラを使った遠隔教育システムの試作”, 第 53 回情報処理学会全国大会論文集, 第 2 分冊, pp.379–382, 1997.
- [Turletti93] Turletti, T., “H.261 software codec for video conferencing over the internet”, *INRIA Research Report*, 1834, Jan. 1993.
- [Ui97] 宇井修, 中山実, 清水康敬, “衛星通信講座における講義形態と学習者評価の関係”, 信学論, Vol. J80-D-II, No. 4, pp.892–899, 1997
- [vat95] Online document available at URL <http://www-nrg.ee.lbl.gov/vat>, 1995.
- [Wakahara98] 若原俊彦 “ATM-PVC 網を利用した遠隔講義システム構成と特性”, 信学論, Vol. J81-B-I, No. 8, pp.494–506, 1998
- [Wakeman92] Wakeman, U., Lewis, D. and Crowcroft, J., “Traffic Analysis of Trans-Atlantic Traffic”, *Proc. of iNET'92*, June 1992.
- [wb93] Online document available at URL <http://www-nrg.ee.lbl.gov/wb>, 1993.
- [Whetten] Whetten, B., Montgomery, T., Kaplan, S., “A high performance totally ordered multicast protocol”, *Theory and Practice in Deistributed Systems*, Springer Verlag, LCNS938.
- [XTP4.0] “Xpress Transport Protocol Specification XTP Revision 4.0”, XTP Forum, Mar. 1995. (Online document available at URL <http://www.ca.sandia.gov/xtp/biblio.html>)