卒業論文 2000 年度 (平成 12 年度)

インターネットを利用した講義配信の品質指標に関する研究

慶應義塾大学 総合政策学部
三川 荘子
funya@sfc.wide.ad.jp

指導教員
村井 純
徳田 英幸
楠本 博之
中村 修

平成 13 年 2 月 19 日

概要

本研究では，インターネットを利用した講義配信におけるコンテンツの作成や，システムの構築を行なう際の品質指標を作成した．

様々な大学がインターネットを利用した講義配信を試みているが，コンテンツの作成やシステムの構築を行なう際に参照すべき品質指標は存在しない．大学と学生の間のネットワーク帯域のみを考慮して講義配信をしている大学が多く，講義を受ける学生の満足度に基づいた評価を行なっている大学は少ない．このため，現在のインターネットを利用した講義配信では，学生が満足できる学習環境を提供できているのか分からないという問題がある．

この問題を解決するため，学生が満足と感じられるコンテンツの作成やシステムの構築を行なうための品質指標を作成した．

まず，インターネットを利用した講義の定義を行なうため，講義の配信方式を分類し，それぞれの利点と問題点について論じた．このうち，最もインターネットの利点を生かしている講義モデルに焦点を当て，インターネットを利用した講義における品質指標作成方法を提案した．

講義は一般的に教材・動画・音声から成り立つが，先生から学生に送信される情報に注目すると，動画と音声が講義を構成する要素の主体であり，教材は補完的な役割を果たしているものが多い．ネットワークを占有する帯域に注目しても，動画・音声がその多くを占める．このため，品質指標は動画・音声を主体として作成した．

動画・音声を要素に分解し，要素ごとに評価することで，インターネットを利用した講義配信が満たすべき品質指標を調査した．また，動画と音声の依存関係に着目し，これらの依存関係が学生の満足度にどのように影響するかを調査した．調査の結果から，学生が我慢すれば講義を受けられる動画・音声の品質と，快適に講義を受けられる品質の指標を作成した．

本研究で作成した指標を参照することで，将来インターネットを利用した講義を提供しようとしている大学は，学生が満足できるシステムの構築やコンテンツの作成を行なえる．また，現在インターネットを利用した講義配信を行なっている教育機関は，本指標を用いることにより，そのシステムやコンテンツの評価を行なうことができる．

慶應義塾大学 総合政策学部
三川 荘子

Abstract

This research proposes a quality guidepost of distance learning through the Internet.

Nowadays, various universities try to distribute their lectures through the network. However, there are no guidepost to refer to when encoding the lecture, or develop a network for it. Most universities make their encoded lectures based on the network bandwidth between the university and a student but not on the satisfying quality. This situation suggests that students might not be content with the quality of the distributed lecture.

To solve this problem, this research proposes a quality guidepost of distributed lecture.

This research disscusses the advantages and disadvantages of lecture distribution systems, to define distributed lecture through network. One of the lecture models is subjected to this research, since it uses the most of the Internet technology.

A common lecture consists of teaching materials, video and audio. Video and audio have advantage over materials considering that information flow is from teacher to the student. Video and audio also has advantage regarding the network bandwidth they consume. Therefore, the guidepost was made along the quality of video and audio.

To set the quidepost, this thesis examines the video and audio quality by breaking down into elements, and evaluated them separately. Also the video and audio dependencies and how it reacts to students' satisfaction are examined. As a result, a quality guidepost of video and audio quality of distance learng throught the Internet is established.

By referring the quality guidepost, universities, which are considering to distribute lecture through the Internet, can satisfy the students' demand to take a lecture with favorable quality. Also, the universities which has been distributing lectures can refer to this guidepost to see if their distributions met students' satisfaction.

Keio University, Faculty of Policy Management
Shoko Mikawa

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1 はじめに 1
1.2 研究背景 1
1.3 本論文の構成 3

第 2 章　インターネットを利用した遠隔講義の現状と問題点 **4**
2.1 既存の講義スタイルとインターネットを利用した講義 4
2.2 インターネットを利用した講義配信方式の分類 5
2.3 分類のまとめ 11
2.4 品質指標作成の必要性 11

第 3 章　オンライン大学で提供されている講義の比較 **12**
3.1 Stanford Online 12
3.2 Florida State University 12
3.3 Cardean University 13
3.4 Hong Kong Open University 13
3.5 School of Internet 13
3.6 東京都立科学技術大学 14
3.7 香川医科大学インターネット TV 局 14
3.8 CAM・DE 14
3.9 オンライン大学における要素のまとめ 15

第 4 章　指標作成のアプローチ **17**
4.1 インターネットを利用した講義の要素 17
4.2 要素のまとめ 18
4.3 指標作成方法 20

第 5 章　各要素に関する実験 **22**
5.1 実験目的 22
5.2 実験内容 22
5.3 実験マテリアルのソースに関して 22
5.4 被験者に関して 22
5.5 実験マテリアルを作成したアプリケーション 23
5.6 実験した環境 23
5.7 動画に関する実験 23

5.7.1 フレームの大きさに関する実験 23
5.7.2 毎秒フレーム数に関する実験 26
5.7.3 色深度に関する実験 28
5.8 音声に関する実験 30
5.8.1 量子化ビット数およびチャンネル数に関する実験 30
5.8.2 標本化周波数に関する実験 31
5.9 各要素に関する実験のまとめ 32

第 6 章 動画と音声の相互依存関係に関する実験 34
6.1 実験の目的 34
6.2 実験の手法 34
6.3 実験結果 36
6.4 考察 37

第 7 章 実験のまとめと指標の定義 39
7.1 実験のまとめ 39
7.2 指標の定義 39
7.3 指標の利用に関して 40

第 8 章 結論 41
8.1 まとめ 41
8.2 今後の課題 42

参考文献 43

謝辞 45

付 録 A 被験者に関する情報 46

付 録 B 解像度に関する実験アンケート 47

付 録 C 毎秒フレーム数に関する実験アンケート 48

付 録 D 色数に関する実験アンケート 49

付 録 E 音声実験に関する実験 50

付 録 F アンケート結果のまとめ 52

図 目 次

1.1 大学志願者数推移 2
1.2 大学・短期大学 学生数の推移 2

2.1 従来の講義モデル 4
2.2 モデル 1 7
2.3 モデル 2 8
2.4 モデル 3 8
2.5 モデル 4 9
2.6 モデル 5 10
2.7 モデル 6 10

4.1 インターネットを利用した講義の要素 17
4.2 ネットワークを通した講義要素 19
4.3 音声・動画の要素 20

5.1 我慢できると感じた範囲 25
5.2 快適な大きさだと感じた値 25
5.3 我慢できるフレームの大きさ/毎秒フレーム数実験結果 27
5.4 快適なフレームの大きさ/実験結果 27
5.5 我慢できるフレームの大きさ/色深度実験結果 29
5.6 快適な大きさのフレームの大きさ/色深度実験結果 29
5.7 量子化ビット・チャンネル数実験結果 31
5.8 標本化周波数に関する実験結果 32

6.1 我慢できると感じた音声品質を固定した場合 36
6.2 快適だと感じた音声品質を固定した場合 36
6.3 我慢できると感じた動画品質を固定した場合 37
6.4 快適だと感じた動画品質を固定した場合 37

表 目 次

2.1 インターネットを利用した講義配信の分類 5
2.2 インターネットを利用した講義配信のモデル 6

3.1 インターネットを利用した講義配信のまとめ 15
3.2 各組織で利用しているアプリケーション 16

5.1 コンピュータの仕様 23
5.2 ビデオクリップのフレームの大きさ 24
5.3 ビデオクリップのフレームレート/我慢できるフレームの大きさ 26
5.4 ビデオクリップのフレームレート/快適なフレームの大きさ 26
5.5 ビデオクリップの色深度/我慢できるフレームの大きさ 28
5.6 ビデオクリップの色深度/快適なフレームの大きさ 28
5.7 量子化ビット数に関する実験マテリアル 30
5.8 周波数に関する実験マテリアル 31
5.9 我慢できる値/快適な値 33

6.1 我慢できる品質の音声 34
6.2 快適な品質の音声 35
6.3 我慢できる品質の動画 35
6.4 快適な品質の動画 35

7.1 我慢できる値/快適な値 39

F.1 性別の集計結果 52
F.2 年齢の集計結果 52
F.3 年齢の集計結果 52
F.4 ビデオオンデマンドの授業について 53
F.5 ビデオオンデマンドの授業に関して 53
F.6 家庭インターネット 53
F.7 家庭インターネットへの接続性について 54

第1章　序論

1.1　はじめに

ネットワーク技術の急速な発展に伴い，家庭・会社・学校など社会の様々な場面で，インターネットへの接続性が提供されるようになってきている．大学[1]においても，インターネットを利用した講義配信や教材の配布が行なわれるようになった．

現在は，インターネットを利用した講義配信のコンテンツやシステムを構築するに当たり，基準となるような指標が存在しない．インターネットを利用した教材の配布や講義配信を行なう教育機関は，コンテンツの作成やシステムを構築するにあたって，独自の調査を行なっている．インターネットを利用した講義配信を行なっている教育機関は，講義がネットワークを介して配信されることを考慮して，学生の持つネットワークの帯域に合わせた品質のコンテンツを作成している．コンテンツの内容はネットワークの帯域によって決定されるだけで，学生が快適に受講できるかは判断の基準に加わっていない．このため学生が快適に受講しているかが分からないという問題がある．

本研究では，インターネットを利用した講義配信を行なう際，学生が快適だと感じる品質を調査し，講義配信のコンテンツやシステムを適切に構築するための指標を作成する．この指標を参照することにより，将来様々な教育機関が，インターネットを利用した講義配信において，学生にとって快適な品質を実現できる．また，現在インターネットを利用した講義配信を行なっている教育機関は，学生が快適に授業を受けているかどうかが分かる．

1.2　研究背景

教育産業白書 [1] によると，日本における 18 歳の人口は，1991 年にはピークの 206 万人に達したが，1998 年には約 162 万人と，ピーク時に比べて約 20%減少しており，この 18 歳人口の減少傾向は今後も続くとみられている．この 18 歳人口の減少傾向と連動し，大学入学を志望している人数も減少している (図 1.1)．

一方で，大学の数は 1991 年度の 592 校から 1999 年には 622 校へと増加しており，また，実際に大学に入学する学生は増加傾向にある (図 1.2)．

大学の志願者が減少しているにも拘らず，大学数が増加していることから，大学への入学が容易になっていることが分かる．特に，1999 年度には大学の合格率 (大学・短大への入学者/同志望者数) も 80%を超えるなど，大学進学を希望する学生が全て大学に入学できるようになる時代が近付いていることが分かる [1]．

このような状況において，学生は入り易い大学ではなく，自分の学びたいことが学べる大学を選択できるようになった．一方，大学は学生を確保するために，大学の質を向上さ

[1] 本研究における大学とは，4 年制大学を指すこととする．

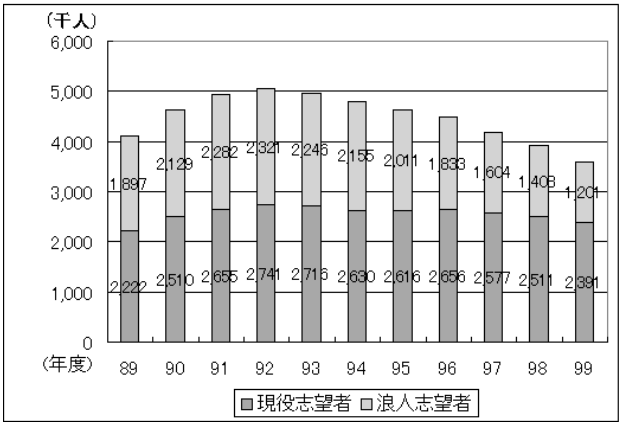

図 1.1: 大学志願者数推移

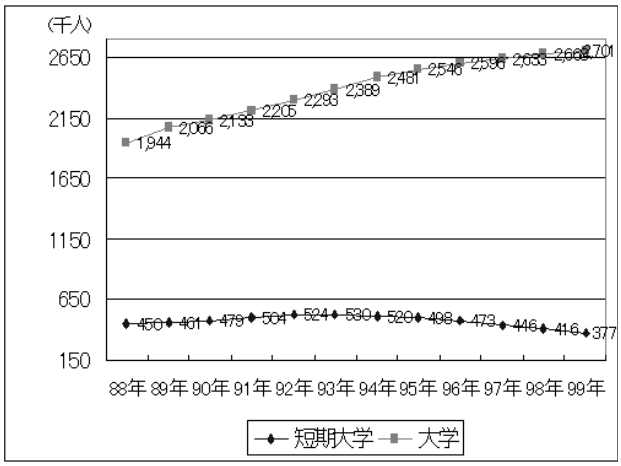

図 1.2: 大学・短期大学 学生数の推移

せ，それを維持し，学生にとって魅力ある存在であり続ける必要がある．

現在，大学 (学部・大学院) で学ぶ社会人は増加傾向にある．1987 年度に 2,106 人だった社会人学生数は，1997 年には 10,935 人に増加し，10 年間で 5 倍以上の伸びを示している．また，公開講座の受講者数は約 64 万人であり，1997 年度の大学・短大を合わせた学生数がおよそ 310 万人であることから，大学で学ぶ社会人の数は多いことがわかる．

大学は，その入学者を高校卒業者に限らず，社会人を対象にした生涯教育を提供するなどして，幅広い年齢層の学生を確保しようとしている．特に，仕事を持つ社会人に対して授業を提供するため,「いつでも・どこでも・誰でも」授業を受けられるインターネットを利用した講義が注目されている．インターネットを利用した講義の提供は新しい試みであるにも拘わらず，実施を試みている大学は全体の 10% にのぼる．[2].

1.3 本論文の構成

第 2 章では，インターネットを利用した遠隔講義の分類を行ない，その現状と問題点を述べる．第 3 章では，本研究で取り扱うリアルタイムではない遠隔講義を行なっている既存の大学に関する調査を行ない，そこで利用されているアプリケーションやシステムの利点・問題点をまとめる．第 4 章では，インターネットを利用した講義配信における指標作成に関するアプローチを提案する．第 5 章では，第 4 章で述べたアプローチをもとに，動画と音声において，それぞれ学生が我慢すれば講義を受けられる品質と，快適に講義を受けられる品質の調査を行う．第 6 章では，それらの依存関係に関して調査する．第 7 章では，調査のまとめを行い，指標を作成する．第 8 章では，本研究のまとめを行ない，今後の課題とインターネットを利用した講義配信への提言を行なう．

第2章　インターネットを利用した遠隔講義の現状と問題点

インターネットを利用した講義には，いくつかのスタイルがある．本章では，これらの講義をモデル化する．また，これらの講義スタイルモデルの比較を行ない，既存の講義配信スタイルの現状と問題点を述べる．

2.1　既存の講義スタイルとインターネットを利用した講義

従来，大学の講義は，教室の中で教材などを使って，先生と学生が対面で授業を行うのが一般的である．このモデルを図 2.1 に示す．

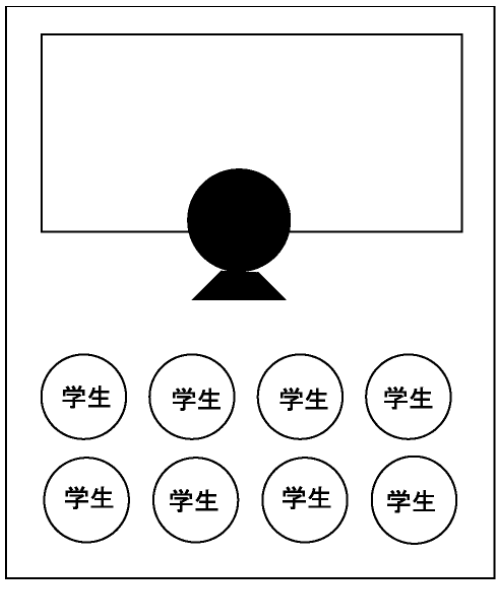

図 2.1: 従来の講義モデル

これに対して遠隔講義では，先生は学生と対面しての講義は行なわない．今までの遠隔講義では，テレビやラジオなどの定められた時間帯に配信するメディアを利用するか，もしくはビデオやオーディオテープ，CD などのメディアを利用することで成り立ってきた．

このような従来の遠隔講義方式には，以下のような問題点がある．

- 先生と学生との間でコミュニケーションが取りにくく，リアルタイムで学生から先

生へのフィードバックができない.

- テレビやラジオを利用した遠隔教育の場合は，学生が決まった時間帯に特定の場所にいる必要がある.
- 学生同士は対面していないので，学生間のコミュニケーションを成立させることが困難である.

これらの問題を解決したのが，インターネットを利用した遠隔講義配信である.

インターネットを利用して講義を行なうことで，先生と学生が離れた場所にいても，相互にリアルタイムなコミュニケーションを取れるようになった．また，リアルタイムで行なわれた講義をネットワーク上のサーバに蓄積することにより，学生はいつでもどこでも講義を受けることが可能となった.

学生間のコミュニケーションは，電子メール，オンラインチャット，オンライン掲示版などのネットワークを介したコミュニケーションツールを利用することで可能になった.

2.2 インターネットを利用した講義配信方式の分類

前述のように，インターネットによる講義配信は，従来の遠隔講義方式に対して優れている．本節では，インターネットを利用した講義配信方式を分類し，各々の問題点と利点，本研究が対象とする講義配信方式に関して述べる.

これまでの School of Internet Project[3] での経験から，遠隔講義を成立させる重要な要素として，学生間コミュニケーション，実時間性，表示画面の専有の 3 点に着目した．この結果，インターネットを利用した講義配信方式は 12 種類に分類される (表 2.1).

表 2.1: インターネットを利用した講義配信の分類

	学生間コミュニケーション	実時間性	表示画面の専有
1	○	○	○
2	△	○	○
3	×	○	○
4	○	○	×
5	△	○	×
6	×	○	×
7	○	×	○
8	△	×	○
9	×	×	○
10	○	×	×
11	△	×	×
12	×	×	×

- 学生間コミュニケーション

  学生同士が対面でコミュニケーションを取れるかどうかを示す.

  - ○ … 講義を受ける学生全員が 1 つの教室に集まっている場合
  - △ … 講義を受ける学生が複数の教室に分かれている場合
  - × … 講義を受ける学生が 1 人 1 人家庭やオフィスなど，異なった場所にいる場合

- 実時間性

  学生がリアルタイムで講義を受けるかどうかを示す.

  - ○ … リアルタイムでの講義の場合
  - × … リアルタイムでの講義ではない場合

  リアルタイムではない場合，先生が講義を行なっている様子をビデオに収録し，それをネットワーク上のサーバに蓄積するという手法を利用して講義を配信するのが一般的である.

- 表示画面の専有

  学生が講義を表示する画面を占有できるかどうかを示す.

  - ○ … 学生 1 人 1 人が専用のディスプレイに向かって講義を受ける場合
  - × … 学生同士でスクリーンを共有して講義を受ける場合

学生間コミュニケーションが成り立たない場合，学生は必ず表示画面を専有するため，6 番目の方式は成り立たない.

ネットワーク上のサーバに蓄積される講義は，いつでも・どこでも・誰でも受講できる. 教材として利用されることはあるが，講義の形で学生が集まって視聴することはないと考えられるため，7 番目，8 番目，10〜12 番目の方式も成り立たない.

以上の結果，講義は 6 つのモデルに分類される. これらのモデルを表 2.2 に示す.

表 2.2: インターネットを利用した講義配信のモデル

	学生間コミュニケーション	実時間性	表示画面の専有
モデル 1	○	○	○
モデル 2	△	○	○
モデル 3	×	○	○
モデル 4	○	○	×
モデル 5	△	○	×
モデル 6	×	×	○

以下，それぞれのモデルの詳細に関して述べる.

- モデル 1

  各学生は専用のディスプレイを持ち，先生は 1 つの教室に向かってリアルタイムで講義を行なう．このモデルを図 2.2 に示す．学生同士は対面でコミュニケーションを取る．

  - 利点

    学生が 1 つの教室に存在することで，学習するという同じ目的を持った集合が形成され，互いに影響し合うことで学習意欲を持続できる．また，講義がリアルタイムに進むため，必要に応じて先生に質問できる．特に，1 つの教室に全員が集まっているため，容易に相互にフィードバックを行なえる．

  - 問題点

    学生は同じ時間に同じ場所へ集まる必要があるため，インターネットを利用した遠隔講義の利点を生かせていない．

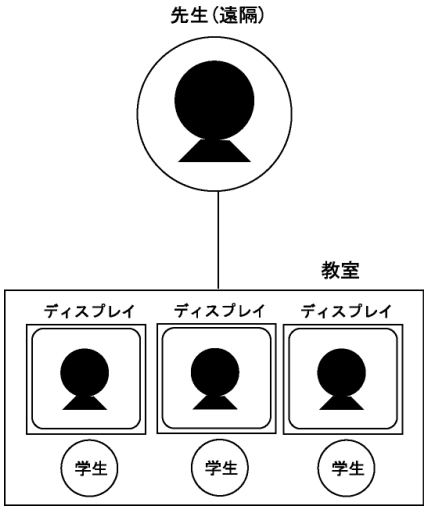

図 2.2: モデル 1

- モデル 2

  学生 1 人 1 人が専用のディスプレイを持ち，先生は複数の教室に向かってリアルタイムで講義を行なう．このモデルを図 2.3 に示す．モデル 1 とは，複数の教室に学生が分散する点で異なる．

  - 利点

    モデル 1 と同じ利点がある．

  - 問題点

    モデル 1 の問題点に加え，学生が複数の場所に分散するため，異なる場所にいる学生同士のコミュニケーションが取りにくいという問題がある．

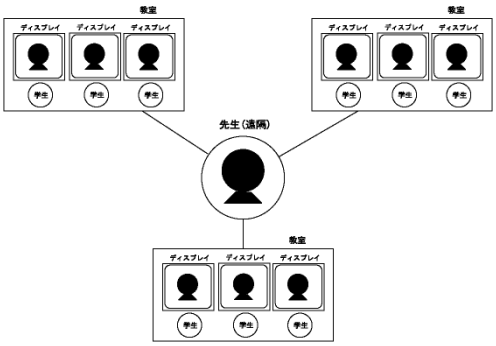

図 2.3: モデル 2

- モデル 3

  学生 1 人 1 人が専用のディスプレイを持ち，家庭やオフィスなど他の学生とは離れた場所で，リアルタイムで講義を受ける．このモデルを図 2.4 に示す

  - 利点

    どこからでも講義を受けられる．
  - 問題点

    他の学生と場所を共有していないため，他の学生の影響で学習意欲を向上させられない．

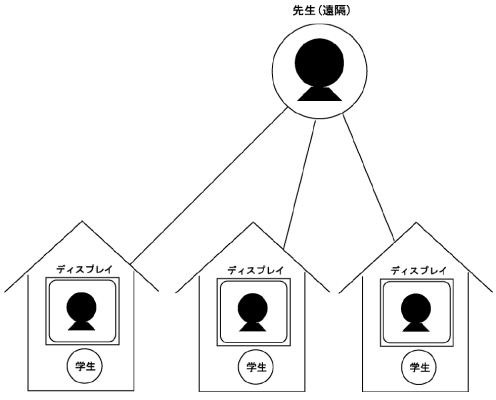

図 2.4: モデル 3

- モデル 4

  学生が 1 つの教室に集まり，先生は 1 つの教室に向かってスクリーンを通して講義を行う．このモデルを図 2.5 に示す．先生が遠隔から講義を行う点以外は，従来の大学で行われている講義と同じである．先生が教室以外の場所から講義を行なう場合などはこれに相当する．

- 利点

  モデル 1 と同じ利点を持つ．それに加え，スクリーンを学生が共有することにより，専用のディスプレイを利用する場合と比較して，他の学生が身近に感じられるという利点がある．

- 問題点

  モデル 1 と同じ問題点を持つ．

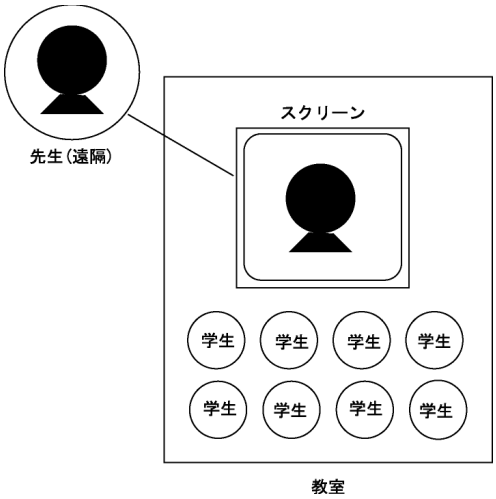

図 2.5: モデル 4

- モデル 5

  学生が複数の教室に分散し，先生は複数の教室に向かってスクリーンを通して講義を行なう．このモデルを図 2.6 に示す．予備校で用いられている衛星放送を利用して講義を行なう大学受験のためのシステムが代表的な例である．

  - 利点

    モデル 1 と同じ利点を持つ．

  - 問題点

    モデル 2 と同じ問題点を持つ．

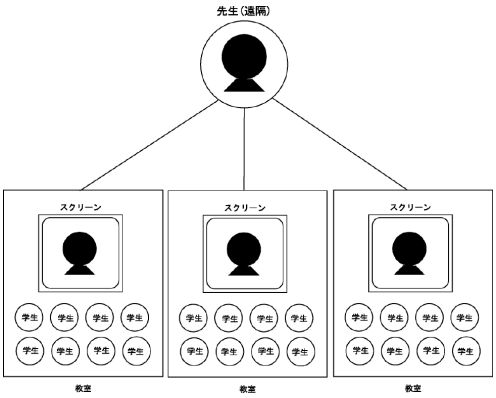

図 2.6: モデル 5

- モデル 6

  リアルタイムではなく，先生の講義を収録したものを，ネットワーク上のサーバに蓄積し，これを学生が閲覧するモデルである．このモデルを図 2.7 に示す．このモデルは画面を専有することが必然となり，また学生同士も同じ時間，同じ場所に集まることはないため，対面での学生間コミュニケーションは成り立たない．このモデルでは，家庭やオフィスにおいていつでも講義を受けられる．

  – 利点

    いつでも，どこでも講義を受けられる．

  – 問題点

    他の学生とは時間も場所も共有していないため，他の学生の影響で学習意欲を向上させられない．

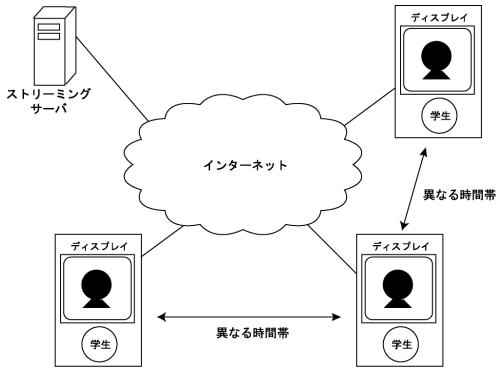

図 2.7: モデル 6

2.3 分類のまとめ

それぞれのモデルには利点と欠点がある．インターネットを利用した遠隔講義の最大の利点は，いつでも，どこでも講義を受けられる点にあるが，これはモデル 6 でしか実現されていない．

よって，本研究ではモデル 6 を対象として品質指標の作成を行なう．

2.4 品質指標作成の必要性

現在インターネットを利用して講義配信を行なっている教育機関は，それぞれ独自の手法を用いてコンテンツやシステムを作成している．

一般的に，インターネットを利用した講義配信を行なう機関は，エンドユーザである学生のネットワーク帯域を考慮し，それぞれのネットワーク帯域に合った講義を提供している．例えば，School of Internet Project では，28.8kbps でネットワークに接続している学生に講義を提供するため，28.8kbps 用のコンテンツを作成している．しかし，講義を受ける視点に立った時，28.8kbps 用のコンテンツが，学生が満足できる品質であるかどうかは考慮されていない．これは，学生の視点ではなく，データがネットワークを伝送されることに焦点を当てているためである．

独自の手法を使って講義配信を行なうため，学生が本当に満足できる環境で講義を受けているかどうか分からないという問題点がある．

上述した現状から，インターネットを利用した講義配信において，システムの構築やコンテンツの作成に際して参照できる品質指標に対する要求は非常に高いといえる．

第3章　オンライン大学で提供されている講義の比較

本章では，実際にインターネットを利用した講義配信を行なっている教育機関を調査し，どのようなシステムを利用しているかを述べる．

3.1　Stanford Online

Stanford Universityが提供するStanford Online[4][5][6]は，SCPD(Stanford Center for Professional Development)が，1969年から企業の技術者や経営者に対して工学部の一部の講義をビデオテープで提供していたものを，1997年にWebを利用して講義配信したことで始まった．

Stanford OnlineのWebを利用したコースは，1997年春学期に5つのコースでスタートし，1998年から1999年の秋学期には23のコースに増加した．また，工学部の科目に限らず，生物情報学，医学情報学，地球科学などもStanford Onlineのコースとして提供されている．

Stanford Onlineでは，動画と音声のリアルタイム配信に加え，講義マテリアルをネットワーク上のサーバに蓄積したものを提供している．Windows Media Playerを利用して視聴できる28.8kbps・128kbps用のコンテンツを用意している．これらのコンテンツは，授業終了後2〜3時間で閲覧可能となる．

Stanford Onlineでは，10fps(Frame Per Second)のストリーミングビデオを用意しており，ビデオサイズは160x120画素の解像度を利用している．教材はhtml形式で用意されており，ビデオストリームに同期して更新される．オンライン受講生は年間5000人を超える．また，シリコンバレーにあるため周囲の情報技術関連企業からの講演者を多く迎えており，アメリカのオンライン遠隔教育のリーダー的存在と言える．

3.2　Florida State University

Florida State University[7]では，1999年7月からDDL(Distributed and Distance Learning)が情報技術を用いて，遠隔教育を行なうことを目的として始まった．

Blackboard[8]やWeb-MC(Web-Mediated Courseware)[9]などのインターネットを利用した講義作成システムを使用してコースが作成され，音声や動画のストリーム配信も行なわれている．

オンラインで学位を取得できる社会科学を始めとして，コンピュータサイエンス，ソフトウェア工学などの学士プログラムや，機械工学，情報学，犯罪学，数学教育，理科教育

などの修士プログラムが用意されている.

3.3 Cardean University

Cardean University[10][11]は，Carnegie Mellon University，Columbia Business School，London School of Economics and Political Science，Stanford University，University of Chicago Graduate School of Business などの大学が UNext.com というベンチャー企業と協力して立ち上げたオンライン大学である.

シカゴの本拠地では 500 人を超えるスタッフが大学をサポートしており，約 25 人を 1 クラスとし，先生とは別に，2 人の TA(Teaching Assistant) が学生の勉強を手助けするシステムになっている．一般的な 6 週間のコースは 25〜30 時間の講義から成り，これを 1 単位とした 45 単位を取得することで，MBA を取得できる.

受講環境は，Windows と Macintosh に対応しており，Macromedia Flash 5.0, Shockwave 8.0, Apple QuickTime 4.1 などを利用して講義配信を行なっている.

3.4 Hong Kong Open University

Hong Kong Open University は，1989 年に香港政府によって生涯教育を目的として設立された．以来，100,000 人以上の学生が登録し，10,000 人以上が卒業している．現在では毎年約 2000 人が卒業している．2000 年 12 月時点での学生数は 25,000 人であり，コースは 80 に渡る．WebCT(Web Course Tools)[12] を利用した OLE(Online Learning Environment) を構築している.

この大学では，17 歳以上を対象に，生涯教育を実施している．学生にはそれぞれチューターがつき，電話，電子メールなどを介して学生のサポートを行う．チューターはチュートリアルセッションを行う場合もある.

3.5 School of Internet

1997 年 10 月に始まった SOI(School of Internet)[3][13] は，インターネットを利用し，場所，時間にとらわれない新しい高等教育のあり方を研究するために WIDE プロジェクト [14] が中心となって実験的に設立されたオンライン大学である．慶應義塾大学をはじめ，東京工科大学，奈良先端科学技術大学院大学，東京大学，早稲田大学など多くの大学が SOI を利用して講義を行なっている.

現在までに約 600 時間分の大学講義などのデジタルアーカイブを蓄積し，公開している．SOI では，個人接続を対象として，ネットワーク上のサーバにマテリアルを蓄積するビデオ・オンデマンドの講義を中心に取り組んできた．2000 年 4 月からは，衛星によるインターネット接続を利用している受講者に向けての講義配信や，Digital Video の 映像をインターネットを介して配信する仕組みを利用した講義配信など，様々な形式を用いて多くの学生に講義を提供する環境を構築している.

主に Real Player[15] による講義配信を行なっており，SureStream[16] を利用して，ユー

ザの利用している帯域に合わせて 28.8kbps から 150kbps のコンテンツが配信される仕組みになっている．Real Player の SMIL 言語 [17] を利用して，ビデオストリームと講義マテリアルが，同期して表示されるようになっている．

3.6 東京都立科学技術大学

東京都立科学技術大学の遠隔教育センター [18] では，1998 年秋の Stanford University との遠隔実験講義をはじめとして，遠隔講義のコンテンツを作成している．

RealPlayer G2 を利用したビデオアーカイブや，Java applet を利用した講義が提供されており，64kbps のストリーミングビデオが配信されている．コースは単位認定プログラム，修了証明書発行プログラム，教養プログラムに分かれており，大学の単位として認定されている．将来は地域住民へのコース提供，アジア地域の人材教育などにも利用される予定である．

3.7 香川医科大学インターネット TV 局

2000 年 4 月から香川医科大学 [19] では，インターネットを利用した公開講座の提供を行っている．

香川医科大学の紹介，研究成果，公開講座など，教育・研究・診療・社会活動を公開している．また，生涯教育の場を提供することも目的としており，より地域と密着した大学作りに励んでいる．

ネットワークへ接続する帯域が 500kbps 以上の人が対象である高速回線用と，128kbps 以上の人が対象である一般用の 2 種類の QuickTimeMovie が用意されており，128kbps 以上の帯域での受講が推奨されている．先生がリアルタイムに講義を行なうリアルタイム型と，先生の講義を撮影したものをネットワーク上のサーバに蓄積しているアーカイブ型が用意されている．いくつかの講義では，字幕が用意されている．

3.8 CAM・DE

CAM・DE[20] とは Complementary and Alternative Medicine Distance Education の略称であり，統合医療を目指す医療者のための相補・代替医療を遠隔教育で学ぶための環境を提供している．これは，現在医療に関わっている人々に，患者のための第三の医学を学んで欲しいという趣旨で構築された．第三の医学とは，ガンやエイズなど，西洋医学では治療が困難な病気に対して，食事療法やヨガなど西洋医学以外の伝統を持つ医療法である．

CAM・DE は動画，音声，写真，図解，文字などを活用した講義を提供している．Real Player を利用した講義配信を行なっており，28.8kbps，56kbps，128kbps 以上の 3 つの帯域で，Sure Stream でのコンテンツ配信を行なっている．また，動画以外に静止画と音声のみの配信を wav 形式のファイル，mp3 形式のファイルで行なっている．

3.9 オンライン大学における要素のまとめ

前節までで海外と日本において，インターネットを利用した講義配信を行なっている組織に関して調査した．表 3.1 に示すように，インターネットを利用した講義配信を行なっている機関は，どこも講義の教材・音声・映像を提供している．

表 3.1: インターネットを利用した講義配信のまとめ

組織名	Stanford Online	Black Board	Cardean	WebCT	SOI	東京都立科学技術大学	香川医科大学	CAM DE
教材	○	○	○	○	○	○	○	○
音声	○	○	○	○	○	○	○	○
映像	○	○	○	○	○	○	○	○
講義録	×	△	△	×	×	×	×	×
他学生の情報	○	○	○	×	○	○	×	○

講義録に関しては，障害を持つ人への講義提供に取り組んでいるイギリスの Open University[21] などは，講義の口述筆記を行なっているが，基本的に講義の教材が講義録となるため，教材とは別に講義録を提供している機関は少ない．

Florida State University 及び Hong Kong Open University で利用されている Blackboard[8], WebCT[12] は，インターネットで講義を行なうために用意された包括的な Web サイトである．それぞれ講義担当者がコースのシラバスや講義の教材，学生情報などを登録することで講義が成り立つ仕組みになっており，授業のビデオや音声ファイルも WebCT を介して登録可能になっているが，その際のフォーマットは特に決まっていない．このため，講義録なども載せられるが，教材を作成する先生に依存する．

また，香川医科大学のように，テレビ放送された大学の講義をそのままインターネットで中継することによって，教材と映像が等しくなっているものもある．

Florida State University や Hong Kong Open University では，Blackboard や WebCT を利用して，インターネットを利用した講義の配信方法の一部として，先生が Web ブラウザ上にある教材のどこを示しているかが分かるツールや，先生から講義中に 3 択問題が出て，学生の回答の集計結果がリアルタイムで見られる機能を用意している．

どの機関も講義の教材・音声・映像を提供しているが，その配信方式は様々である．調査したオンライン大学で利用されているアプリケーションを表 3.2 に示す．

各機関は，独自のアプリケーションを利用しているだけではなく，様々なネットワーク帯域を対象とした講義マテリアルをネットワーク上のサーバに蓄積している．

インターネットを利用した遠隔講義には，それを行なう機関によって様々な形態があるが，そのシステム構築やコンテンツ作成のための品質指標が存在しない．インターネットを利用した講義を提供する機関は，既存のネットワーク帯域に合わせて講義マテリアルを作成する傾向がある．この方法では，学生が本当に満足して講義を受けているのか知ることができない．

表 3.2: 各組織で利用しているアプリケーション

組織名	利用しているアプリケーション
Stanford Online	QuickTime, Show-Me TV, Vector Quantization RealPlayer, Streamworks, VAT
Florida State University	Blackboard
Cardean University	MacroMediaFlash5.0, Shockwave8.0 Apple QuickTime4.1
Honk Kong Open University	WebCT
School of Internet	RealPlayer
東京都立科学技術大学	RealPlayer
香川医科大学	QuickTime
CAM・DE	RealPlayer

第4章　指標作成のアプローチ

本章では，インターネットを利用した講義配信における品質指標を作成するに当たり，評価する要素に関して検討し，指標の作成方法を提案する．

4.1　インターネットを利用した講義の要素

インターネットを利用した講義を快適に受けるための品質を調査する際，講義を受けるのは学生であることを前提としなければならない．そのため，学生の視点に立った品質評価を行なわなければならない．

第 3 章の調査から，インターネットを利用した授業を受ける際に学生のディスプレイに現われる講義画面の一般的なモデルを定める．このモデルを図 4.1 に示す．

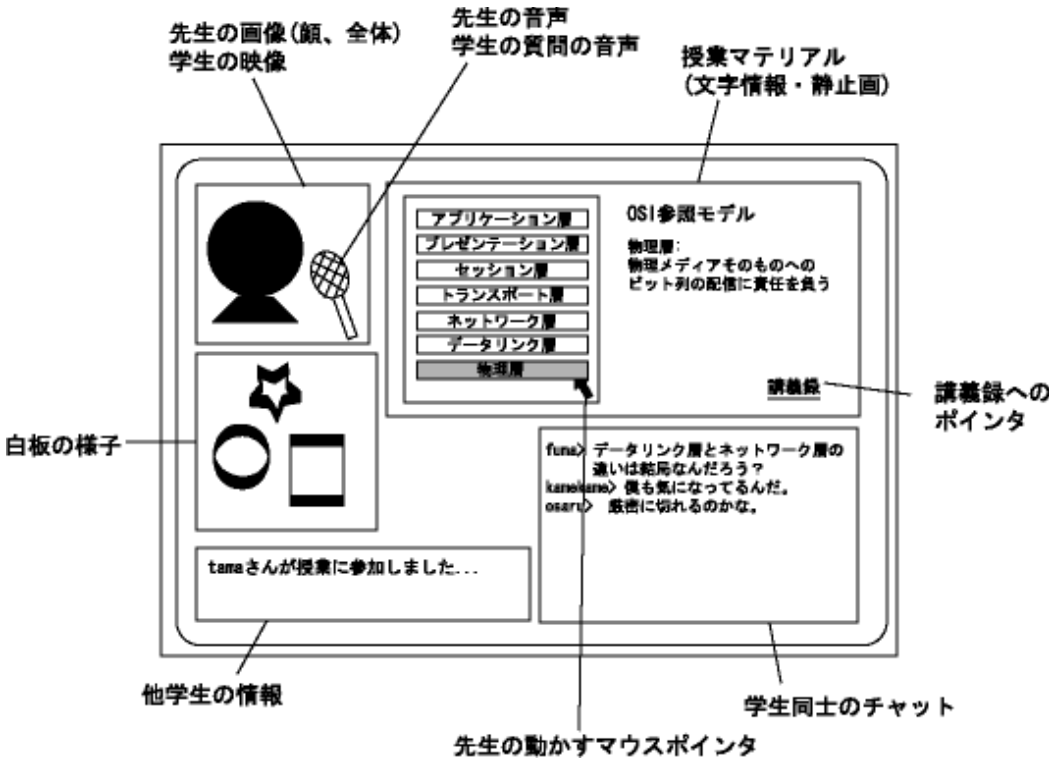

図 4.1: インターネットを利用した講義の要素

学生は，ディスプレイに表示される情報をもとに学習する．これらは，従来の講義形式における先生の音声，先生の映像，黒板や OHP などの講義マテリアルを表示したものに

加え，従来の教室では私語とされる他学生とのチャット，リアルタイムではない場合に可能となる講義の口述筆記の内容などに分類される．詳細は以下の通りである．

- 音声
  - 先生の音声
  - 学生が質問をした際の音声
- 画像
  - 先生の口の動き．音声と動画が同期しており，先生が何を話しているかが分かる．
  - 先生のジェスチャ
- 講義マテリアル
  - 静止画
  - 文字情報
  - 白板
  - 講義マテリアル上の先生のマウスポインタ
- 一緒に講義を受けている学生の情報
  - 誰が一緒に受講しているかなどの情報
  - 他学生とのチャット
- 講義録

さらに，先生へのフィードバックとして，電子メールや掲示版を利用したコミュニケーションツールが利用される．

4.2 要素のまとめ

前節に示した要素をまとめ，本研究で対象とする要素に関して述べる．

第 3 章の調査結果から，一般的な講義配信が，講義マテリアル・音声・動画の 3 つの要素を主体として作成されているため，これら 3 つの要素を取り上げた．要素の役割は，以下の通りである．

- 講義マテリアル

  講義内容を要約したものが表示されている．テキストや静止画像を利用したものが多い．

- 音声

  先生が話す内容であり，講義マテリアルでは表現できない情報が含まれる．講義マテリアルでは抽象的な概念しか説明されていないが，先生は具体的な例を示しながら講義をする場合があり，学生の理解を助ける．

- 動画

  先生の口の動きやジェスチャが含まれており，話した内容を講義マテリアルの中で実際に指し示したり，ジェスチャで示したりする場合に，学生の理解に役立つ情報が含まれている．

動画と音声は，先生の声と振舞いが同期している必要があるため，同時に送信される．

講義において最も重要なのは，先生から学生に配信される情報である．従来の講義では，教材は音声と動画の補完的な役割を果たしている．インターネットを利用した講義でも主体は映像と音声であり，講義マテリアルは補完的な役割を果たしている．

図 4.1 で挙げた要素を，ネットワーク上を流れるデータの分類から見ると，図 4.2 のようになる．

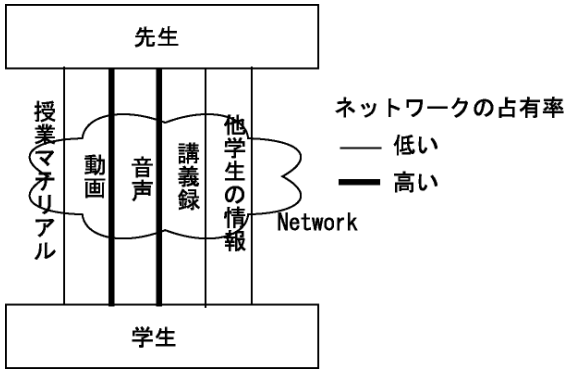

図 4.2: ネットワークを通した講義要素

情報は講義配信を行なう教育機関から学生に届けられるが，それぞれの要素が消費するネットワークの帯域には大きな差がある．一般的な講義マテリアルは，静止画像と文字テキストの組み合わせであり，これと比較すると，音声と映像に消費されるネットワークの帯域は非常に大きい．例を挙げると，School of Internet Project の教材である 2000 年度コミュニケーションネットワーク論第 1 回 [1]では，1 時間半の授業に，講義マテリアルの消費した帯域は 0.5kbps，動画・音声の帯域は 12kbps〜150kbps の帯域が消費されている．

以上から，音声と動画の品質を定めれば，インターネットを利用した講義における品質を定められるといえる．

[1] http://www.soi.wide.ad.jp/class/20000011/

4.3　指標作成方法

インターネットを利用した講義における品質を評価する際には，学生の視点から評価する必要がある．本研究では，動画・音声を学生に評価させることで品質指標を作成する．以下にその方法を述べる．

音声・動画の品質指標を作成するため，音声と動画を要素に分解し，それぞれの要素に関して学生がどう感じるかを評価する．それぞれの要素に関して調査を行ない，それを組み合わせることで，学生が我慢すれば講義を受けることができる品質，もしくは快適に講義を受けることができる品質を調べる．

まず，ある要素のみに変更を加えた実験用マテリアルを複数作成し，それらを学生に評価させる．これにより，ある 1 つの要素において，我慢すれば講義を受けられる品質，快適に講義を受けられる品質の値を得られる．これらの評価結果を組み合わせ，音声・動画において，我慢すれば講義を受けられる品質，快適に講義を受けられる品質を調査する．

その後，音声と動画の相互依存関係を調査する．音声の品質を固定し，動画の品質を段階的に変更した複数のマテリアルを作成して学生に評価させる．また，映像の品質を固定し，音声の品質を段階的に変更したマテリアルを作成して学生に評価させる．

この指標作成の流れを図 4.3 に示す．

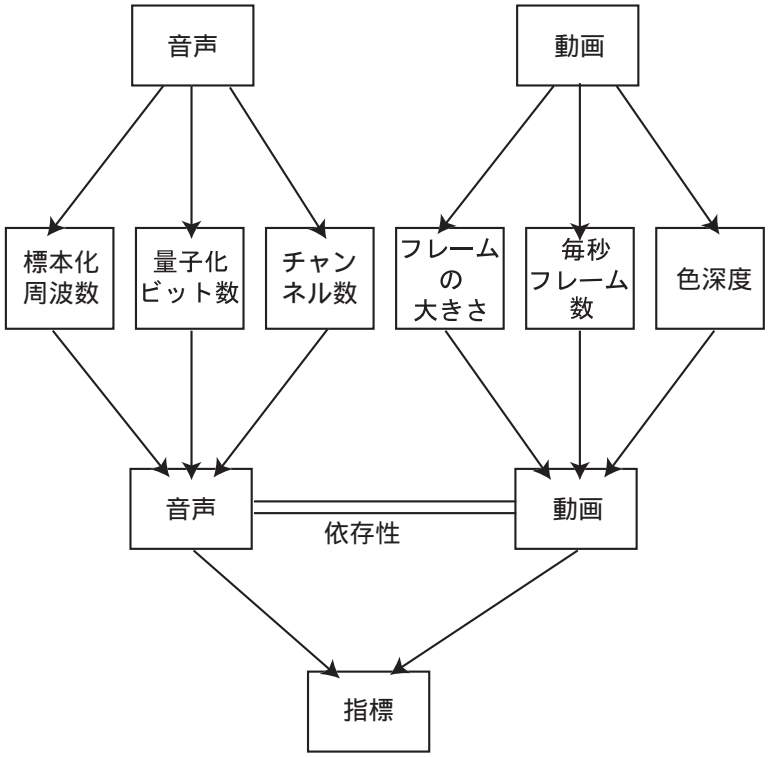

図 4.3: 音声・動画の要素

以下に本研究で行なう指標作成で用いる動画，音声の要素を挙げる．

動画の要素

デジタル動画の構成要素は，フレームの大きさ・毎秒フレーム数・色深度で成り立つものとする．

- フレームの大きさ
  パソコンのディスプレイはRGB(赤・緑・青)の光の点で構成されており，この1セットを画素と呼ぶが，その光の点がいくつ並ぶかによってフレームの大きさが決定される．例えば，XGA(1024 × 768 画素) は，横方向に 1024 個，縦方向に 768 個，全体では 768,432 個の画素から成る．

- 毎秒フレーム数
  毎秒フレーム数 (fps，Frame Per Second) とは，ビデオやフィルムから取得できる一枚の完全な静止画像が 1 秒間に表示される数を示したものである．映画フィルムの編集では 24fps，NTSC 規格は 29.97fps，PAL 規格や SEACAM 規格の映像は 25fps である．

- 色深度
  解像度で説明した画素に，どの程度の強弱を与えるかで色深度が決定される．例えば，256 色階調の画像を得るためには，1 画素に 8 ビット (2 の 8 乗, 256 通り) の強弱を与える．これと同じように，6 万色の場合は 16 ビット (2 の 16 乗，65536 通り)，1677 万色の場合は 24 ビット (2 の 24 乗で 16777216 通り) の強弱を与えることになる．

音声の要素

デジタル音声の品質は，最も一般的な PCM 方式の場合，標本化周波数 (sampling rate) と量子化ビット数 (quantization bit rate) で決定される [22]．また，チャンネル数の違いもある．

- 標本化周波数
  一定時間にいくつの標本を抽出するかを示す．オーディオ CD の場合は 1 秒間に 44,100 個の標本抽出を行なう．この場合の標本化周波数は 44.1kHz である．

- 量子化ビット数
  抽出した標本数をどの程度の分解能で数値化するかを示す．16bit の場合，65536 段階 (2 の 16 乗) に相当する分解能で量子化が行なわれている．

- チャンネル数
  信号の伝達経路が何系統あるかを示す．2 チャンネルステレオの場合，2 系統の信号伝達経路を持つステレオ装置を示す．

第5章　各要素に関する実験

本章では，第 4 章で提案した指標の作成方法に基づいて行なった実験に関して述べる．

5.1　実験目的

音声・動画をそれぞれ要素に分割し，要素ごとに学生が我慢すれば講義を受けられる値，および快適に講義を受けられる値を調査することを目的とする．

5.2　実験内容

以下の実験を行なった．

- 動画に関する実験
  - フレームの大きさに関する実験
  - 毎秒フレーム数に関する実験
  - 色深度に関する実験
- 音声に関する実験
  - 量子化ビット数及びチャンネル数に関する実験
  - 標本化周波数に関する実験

5.3　実験マテリアルのソースに関して

それぞれの実験での講義内容は，全て異なるものを利用した．これは，それぞれの実験の被験者が重複することが考えられるので，同じ講義内容を使用することによる偏見を持たせないためである．

5.4　被験者に関して

実際に実験マテリアルのソースである大学の講義を受ける可能性のある，18 歳以上の慶應義塾大学の学生を被験者とした．フレームの大きさに関する実験では 25 名，その他の実験では 30 名の被験者を用意した．

5.5 実験マテリアルを作成したアプリケーション

実験マテリアルは，Real Producer8.0 と Premiere5.1 を利用して作成した．

5.6 実験した環境

被験者が実験に利用したコンピュータの仕様を表 5.1 に示す．

表 5.1: コンピュータの仕様

機種	PCG-XR7S
CPU	モバイル PentiumIII プロセッサ 600MHz
メモリ	64MB
HDD	約 18GB
ディスプレイ	13.3 型液晶 XGA・TFT

5.7 動画に関する実験

本節では，動画を要素に分割し，要素ごとに学生が我慢すれば講義を受けられる値と，快適に講義を受けられる値を調査する．

5.7.1 フレームの大きさに関する実験

目的

ディスプレイの大きさに対して学生が講義を受ける際，我慢できる大きさのフレームの大きさと，快適だと感じる大きさのフレームの大きさを調査する．

手法

- 実験に用いた動画

  毎秒フレーム数を 30fps，色深度を 24 ビットに固定し，フレームの大きさに 10 段階の変更を加えた 1 分間のビデオクリップを作成した．映像だけの評価を目的としているので，無音のビデオクリップとした．

  実験に利用したマテリアルは，横幅を 50 画素づつに増やした 10 段階の大きさのものを用意した．ただし，School of Internet Project で利用している 320 × 240 画素の大きさが最適だと経験から予測できる．このため，この値の前後の段階におけるフレームの差異は 30 画素とした．

  フレームの大きさの詳細を表 5.2 に示す．

表 5.2: ビデオクリップのフレームの大きさ

ID	フレームの大きさ	データの大きさ (kbyte)
01.rm	120 × 90	2,590
02.rm	168 × 126	3,284
03.rm	220 × 165	3,292
04.rm	268 × 202	3,318
05.rm	300 × 225	3,330
06.rm	320 × 240	3,335
07.rm	340 × 254	3,338
08.rm	368 × 276	3,339
09.rm	420 × 314	3,314
10.rm	468 × 352	3,332

- 実験にあたっての注意事項

  被験者には，評価を行なう前に以下の点を説明した．

  - 今回の実験はインターネットを利用した講義配信の品質指標を作成するためのものであること．
  - 実際にインターネットを利用して講義を受けることを想定して実験に参加すること．
  - 1 分間のマテリアルを，最初から最後まで全て見る必要はなく，判断できると思ったところで止め，評価を行なって良いこと．また，この際考え込まず，感じた通りを評価すること．
  - 1 から 10 まで順番に閲覧し，前に戻って比較しないこと．

- アンケートの内容

  アンケートでは，被験者に関する一般的な情報 (付録 A) を集め，その後 11 段階でフレームの大きさに関して評価を行なった (付録 B)．

  0 を快適の中心とし，左方向に進むと「小さ過ぎて見えにくいと感じる」右方向に進むと「大き過ぎて見えにくいと感じる」をそれぞれ 5 段階，全部で 11 段階で評価し，その後，その評価を元に，我慢すれば講義を受けられる大きさの範囲と，快適に講義を受けられる大きさの値を指定させた．このアンケートの例を以下に示す．

  ```
  5   4   3   2   1   0   1   2   3   4   5
  ```

実験結果

我慢できる大きさのフレームの大きさに関して，アンケートを集計した結果，図 5.1 のようになった．横軸はビデオクリップの大きさ，縦軸は被験者を示している．

同時に，ビデオクリップの中でも最も快適であると感じた値を聞いたところ，図 5.2 のようになった．横軸はビデオクリップの大きさ，縦軸は人数を示している．

学生が我慢できる大きさであると述べた範囲の開始値の平均を取ったところ，3.72 となった．また，快適だと感じた値の平均を取ったところ，6.46 となった．

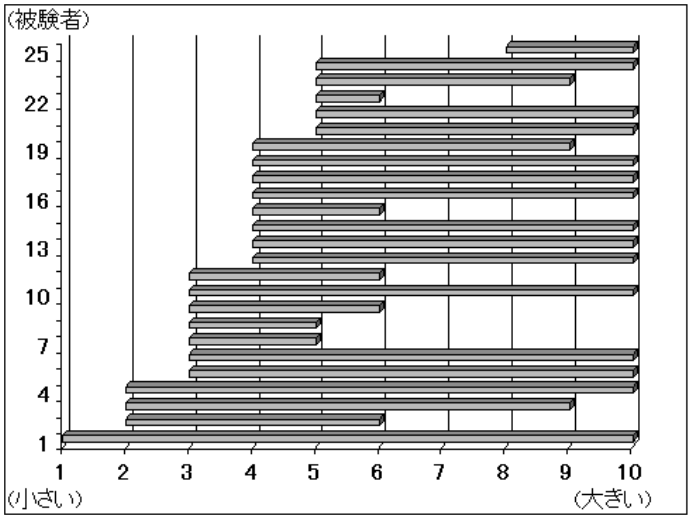

図 5.1: 我慢できると感じた範囲

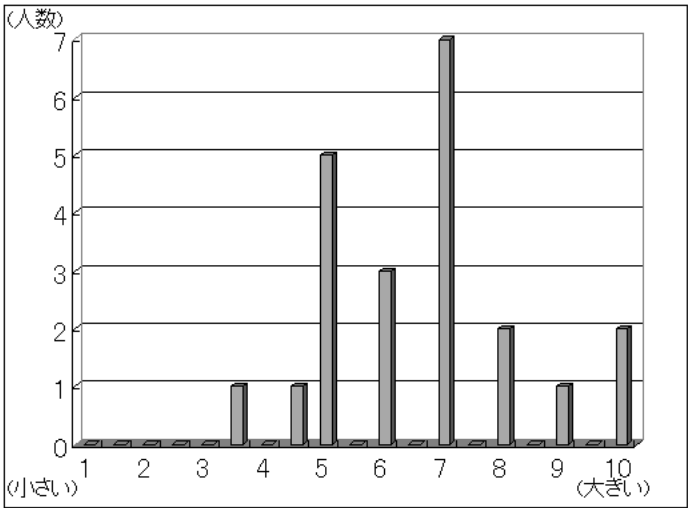

図 5.2: 快適な大きさだと感じた値

5.7.2 毎秒フレーム数に関する実験

目的

毎秒フレーム数に関して，学生が我慢すれば講義を受けられる値と，快適に講義を受けられる値を調査する．

手法

- 実験に用いた動画

  5.7.1 から，我慢できる動画の大きさと，快適な動画の大きさの平均値がそれぞれ 256 × 191 画素, 355 × 251 画素であることが分かった．これに基づいて毎秒フレーム数に関する実験を行なった．

  無圧縮，無音声，32bit の色深度，長さ 1 分のビデオクリップを作成した．1 秒間に表示されるフレーム数を，表 5.3，表 5.4 に示す．

  毎秒 5 フレームずつ増加させ実験を行なったが，Premiere の仕様で 20fps のビデオクリップが出力できないため，20fps に一番近い値の 23.98fps を利用した．

表 5.3: ビデオクリップのフレームレート/我慢できるフレームの大きさ

ID	Frame Per Second	データの大きさ (kbyte)
01.mov	1 fps	11,520
02.mov	5 fps	57,601
03.mov	10 fps	115,393
04.mov	15 fps	172,993
07.mov	23.98 fps	276,865
08.mov	25 fps	288,577
09.mov	30 fps	346,178

表 5.4: ビデオクリップのフレームレート/快適なフレームの大きさ

ID	Frame Per Second	データの大きさ (kbyte)
01.mov	1 fps	19,708
05.mov	5 fps	98,539
05.mov	10 fps	197,076
06.mov	15 fps	295,613
07.mov	23.98 fps	472,652
08.mov	25 fps	492,688
09.mov	30 fps	591,225

- アンケートの内容

  アンケートでは，被験者に関する一般的な情報 (付録 A) を集め，毎秒フレーム数が異なるビデオクリップを閲覧させ，評価を行なった．インターネットを利用した講義を行なうことを想定し，7つのビデオクリップに対して，快適に見られると思ったものには〇印を，我慢すれば見られると思ったものには△印を，講義を受けるには我慢できない品質であると思ったものには×印を記入させた．利用したアンケートを付録 C に示す．

実験結果

我慢できるフレームの大きさの場合の結果を図 5.3 に，快適だと思ったフレームの大きさの場合の結果を図 5.4 に示した．横軸は毎秒フレーム数，縦軸は，何パーセントの割合で学生がそれぞれの印を記入したかを示す．

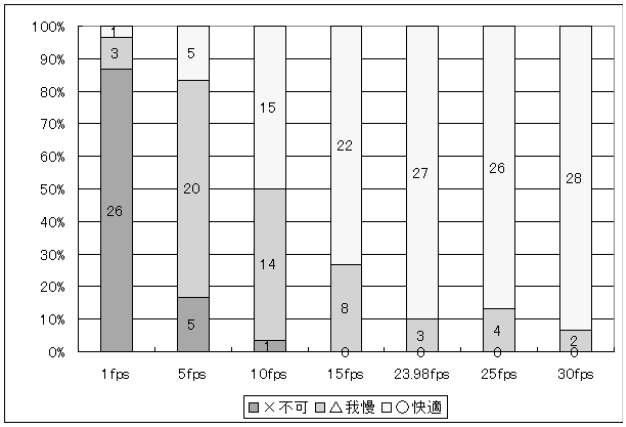

図 5.3: 我慢できるフレームの大きさ/毎秒フレーム数実験結果

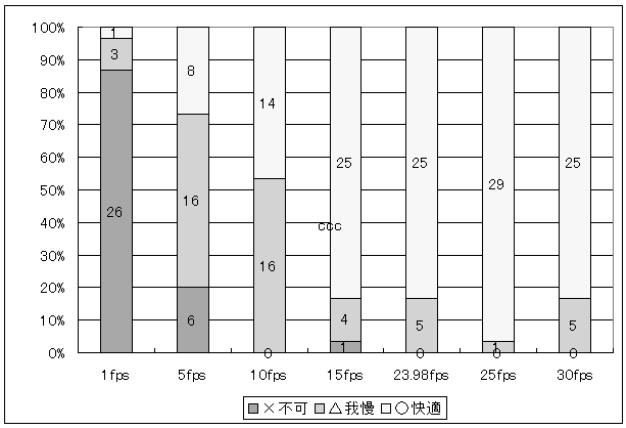

図 5.4: 快適なフレームの大きさ/実験結果

- 我慢できるフレームの大きさの場合

  80%の学生が毎秒 5 フレームのとき，快適・もしくは我慢できるフレーム数だと答えている．

- 快適なフレームの大きさの場合

  80%の学生が毎秒 15 フレームのとき，快適に講義を受けられると感じると答えている．

5.7.3 色深度に関する実験

目的

色深度に変更を加えた場合，学生が講義を満足に受けられる値と，我慢すれば講義を受けられる値を調査する．

手法

- 実験に用いた動画

  5.7.1 の結果に基づき，実験マテリアルを作成した．毎秒フレーム数は，29.97fps である．色深度は，8bit，16bit，24bit，32bit の 4 階調をそれぞれ用意した．マテリアルの色深度とデータの大きさを表 5.5，表 5.6 に示す．

表 5.5: ビデオクリップの色深度/我慢できるフレームの大きさ

ID	色深度	データの大きさ (kbyte)
01.mov	8bit	86,454
02.mov	16bit	172,897
03.mov	24bit	259,345
03.mov	32bit	345,794

表 5.6: ビデオクリップの色深度/快適なフレームの大きさ

ID	色深度	データの大きさ (kbyte)
01.mov	color 8bit	153,029
02.mov	color 16bit	296,331
03.mov	color 24bit	443,173
03.mov	color 32bit	590,897

- アンケートの内容

  アンケートでは，被験者に関する一般的な情報 (付録 A) を集め，色深度に変更が加えてあるマテリアルを閲覧させ，評価を行なった．インターネットを利用した講義

を行なうことを想定し，4つのビデオクリップに対して，快適に見られると思ったものには〇印を，我慢すれば見られると思ったものには△印を，講義を受けるには我慢できない品質であると思ったものには×印を記入させた．アンケートを付録Dに示す．

実験結果

我慢できるフレームの大きさの場合，快適なフレームの大きさの場合の結果をグラフに示した．横軸は利用した色深度の値，縦軸は何パーセントの割合で印を記入したかを示している．実験の結果を図5.5，図5.6に示す．

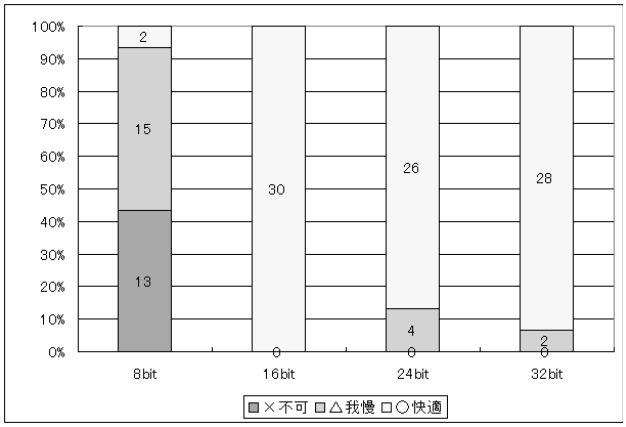

図 5.5: 我慢できるフレームの大きさ/色深度実験結果

80%の学生が我慢できるフレームの大きさの場合も，快適なフレームの大きさの場合も16bit階調の場合から我慢できる，もしくは快適であると感じているといえる．

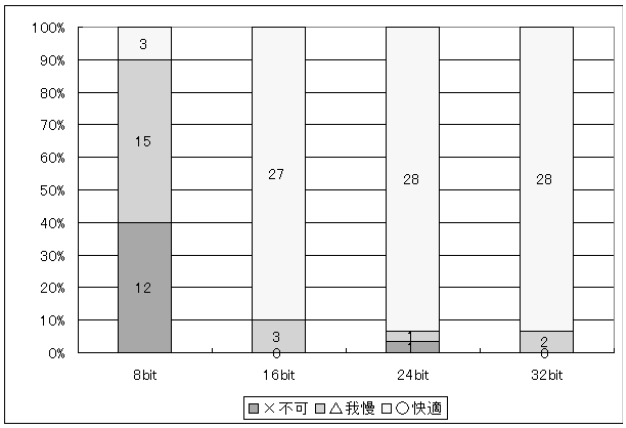

図 5.6: 快適な大きさのフレームの大きさ/色深度実験結果

5.8 音声に関する実験

本節では，音声を要素に分割し，要素ごとに学生が我慢すれば講義を受けられる値と，快適に講義を受けられる値を調査する．

5.8.1 量子化ビット数およびチャンネル数に関する実験

目的

量子化ビット数とチャンネル数に変更を加えた音声マテリアルを作成し，学生が満足して講義を受けられる値と，我慢すれば講義を受けられる値を調査した．

手法

- 実験に用いた音声マテリアル

  実験マテリアルは，音声のみを評価するため，映像のないものとした．また，量子化ビット数とチャンネル数のみ変更を行ない，標本化周波数には変更を加えなかった．量子化ビット数は 8bit，16bit で，チャンネル数はモノラル・ステレオの変更を加えた．実験マテリアルは全て 1 分間とした．チャンネル数に変更を加えた値，データの大きさを表 5.7 に示す．

表 5.7: 量子化ビット数に関する実験マテリアル

ID	量子化ビット・チャンネル数	データの大きさ (kbyte)
01	8bit monoral	2,818
02	8bit stereo	5,634
03	16bit monoral	5,634
04	16bit stereo	11,264

- アンケートの内容

  まず，被験者の一般的な情報 (付録 A) を集め，その後実際に量子化ビット数，チャンネル数に変更を加えた音声クリップを聴取し，快適に聞けると感じたクリップには○印を，我慢すれば聞けると感じたものには△印を，講義を受けるには我慢できない品質であると感じたものには×印を記入させた．アンケートの内容は，付録 E に示す．

実験結果

量子化ビット数・チャンネル数を変更した場合の結果を図 5.7 に示す．横軸は量子化ビット数・チャンネル数の値，縦軸は何パーセントの割合で学生が印を付けたかを示す．

80%の学生が，16bit・ステレオの場合に我慢できる，もしくは満足していると答えている．

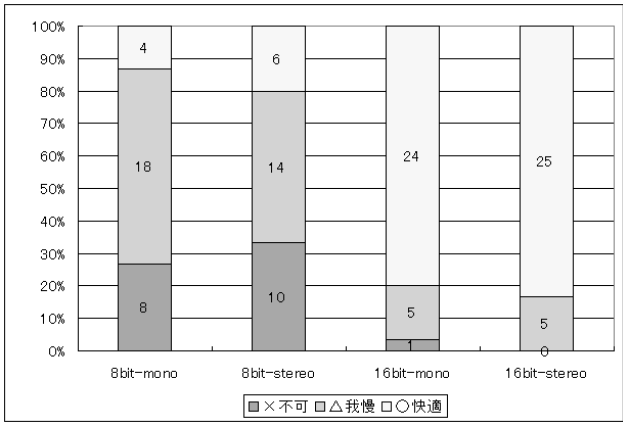

図 5.7: 量子化ビット・チャンネル数実験結果

5.8.2 標本化周波数に関する実験

目的

標本化周波数に変更を加えた音声マテリアルを作成し，学生が満足して講義を受けられる値と，我慢すれば講義を受けられる値を調査した.

手法

- 実験に用いた音声マテリアル

  実験マテリアルは，音声のみを評価するため，映像のないものとした．また，標本化周波数のみ変更を行ない，量子化ビット数とチャンネル数には変更を加えなかった．標本化周波数は，5kHz, 8kHz, 11kHz, 22kHz, 32kHz, 44kHz, 48kHz とした．実験マテリアルは全て 1 分間とした．標本化周波数を変更した値，データの大きさを表 5.8 に示す.

表 5.8: 周波数に関する実験マテリアル

ID	標本化周波数	データの大きさ (kbyte)
01	5kHz	1,187
02	8kHz	1,881
03	11kHz	2,679
04	22kHz	5,554
05	32kHz	7,511
06	44kHz	10,436
07	48kHz	11,453

- アンケートの内容

標本化周波数に変更を加えた音声マテリアルを聞き，インターネットで講義を受けることを想定し，快適に聞けると感じたものには○印を，我慢すれば聞けると感じたものには△印を，講義を受けるには我慢できない品質であると感じたものには×印を記入させた．使用したアンケートは，付録 E に示した．

実験結果

実験結果を図 5.8 に示した．横軸は，標本化周波数の値を，縦軸はそれぞれの値に対して何パーセントの割合で学生が印を記入したかを示している．

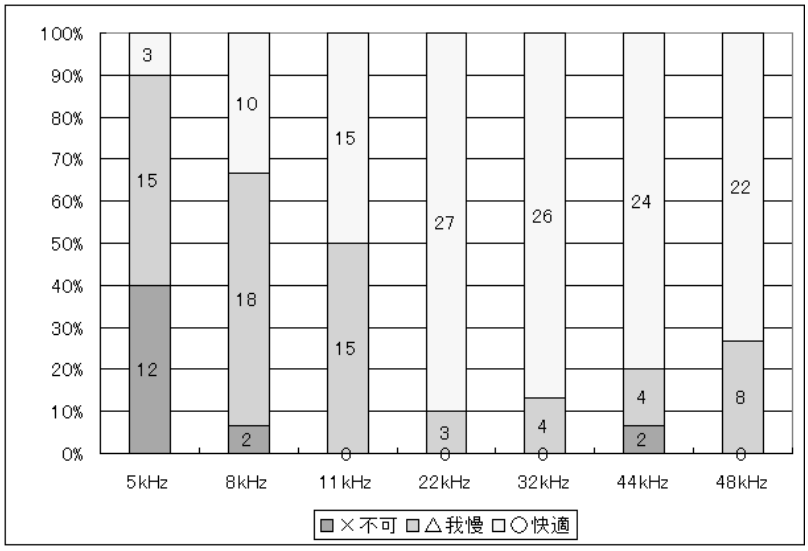

図 5.8: 標本化周波数に関する実験結果

80%以上の学生が 8kHz の標本化周波数の場合，快適もしくは我慢すれば講義を受けられると答えている．同様に，80%以上の学生が 22kHz の標本化周波数の場合，快適に講義を受けられると答えている．

5.9 各要素に関する実験のまとめ

それぞれの要素に関して学生が授業を受ける際に，我慢できる品質と快適だと感じる品質を調査した．フレームの大きさ，毎秒フレーム数，標本化周波数は，我慢できる品質と快適な品質に差がでたが，色深度と量子化ビット数・チャンネル数は，我慢できる品質と快適な品質に差はなかった．実験の結果から，80%の学生が我慢できる品質，快適だと思う品質の組み合わせを表 7.1 に示す．

表 5.9: 我慢できる値/快適な値

要素	我慢できる値	快適な値
フレームの大きさ (画素)	256 × 192	355 × 251
毎秒フレーム数	5fps	15fps
色深度	16bit	16bit
標本化周波数	8kHz	22kHz
量子化ビット数・チャンネル数	16bit-mono	16bit-mono

第6章　動画と音声の相互依存関係に関する実験

これまで，音声と動画を要素に分解し，それぞれの要素に分けて評価を行なった．これらの要素を再び集合させると，依存関係が生じると考えられる．本章では，動画と音声の相互依存関係に関して調査した実験に関して述べる．

6.1　実験の目的

音声と動画を組み合わせたマテリアルを作成し，依存関係があるかどうかを調査する．

6.2　実験の手法

5.9 の結果に基づいて，音声か動画の一方の品質を固定し，他方に変更を加えたマテリアルを複数作成し，被験者に評価させた．

- 音声の品質を固定した場合

  音声の品質を固定し，動画の品質を以下の 3 通りに変更し，実験を行なった．

  - 毎秒フレーム数と色深度を我慢できると感じた値から一段階下げた品質
  - 我慢できる品質
  - 快適と感じた品質

  第 5 章の実験において，学生が我慢すれば講義を受けられると感じた音声品質を固定し，動画の品質を変更したものを作成した．これを表 6.1 に示す．

表 6.1: 我慢できる品質の音声

ID	標本化周波数	量子化ビット数・チャンネル数	毎秒フレーム数	色深度
01	8kHz	16bit-mono	1fps	8bit
02	8kHz	16bit-mono	5fps	16bit
03	8kHz	16bit-mono	15fps	16bit

  また，5.9 において，学生が快適に講義を受けられると感じた音声品質を固定し，動画の品質を変更したものを作成した．これを表 6.2 に示す．

表 6.2: 快適な品質の音声

ID	標本化周波数	量子化ビット数・チャンネル数	毎秒フレーム数	色深度
01	22kHz	16bit-mono	1fps	8bit
02	22kHz	16bit-mono	5fps	16bit
03	22kHz	16bit-mono	15fps	16bit

- 動画を固定した実験

  動画を固定し，動画の品質を以下の 3 通りに変更し，実験を行なった.

  - 量子化ビット数・チャンネル数，標本化周波数において，学生が満足できると感じた値から一段階値を下げた品質
  - 我慢できる品質
  - 快適と感じた品質

  第 5 章の実験において，学生が我慢すれば講義を受けられると感じた動画品質を固定し，音声の品質を変更したものを作成した．これを表 6.3 に示す.

表 6.3: 我慢できる品質の動画

ID	毎秒フレーム数	色深度	標本化周波数	量子化ビット数・チャンネル数
01	5fps	16bit	5kHz	8bit-mono
02	5fps	16bit	8kHz	16bit-mono
03	5fps	16bit	22kHz	16bit-mono

また，5.9 において，学生が快適に講義を受けられると感じた動画品質を固定し，音声の品質を変更したものを作成した．これを表 6.4 に示す.

表 6.4: 快適な品質の動画

ID	毎秒フレーム数	色深度	標本化周波数	量子化ビット数・チャンネル数
01	15fps	16bit	5kHz	8bit-mono
02	15fps	16bit	8kHz	16bit-mono
03	15fps	16bit	22kHz	16bit-mono

- アンケート内容

  インターネットを利用した講義を受けることを前提として，閲覧するマテリアルのうち，快適に授業を受けられると思ったものに○印を，我慢すれば受けられると思ったものに△印を，授業を受けるには適していないと思ったものに×印を記入させた.

6.3　実験結果

図 6.1，図 6.2，図 6.3，図 6.4 に各実験結果のグラフを示す．横軸は音声か動画に変更を加えた際の値を示しており，縦軸は何パーセントの割合で学生がそれぞれの印を記入したかを示している．

- 実験 1

  学生が我慢できると感じた音声品質を固定した場合

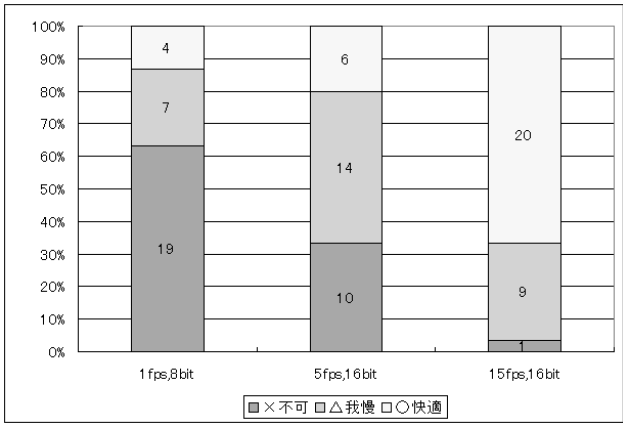

図 6.1: 我慢できると感じた音声品質を固定した場合

- 実験 2

  学生が快適であると感じた音声品質を固定した場合

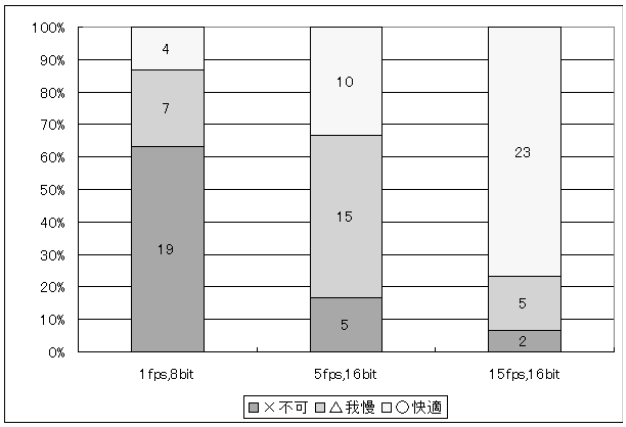

図 6.2: 快適だと感じた音声品質を固定した場合

- 実験 3

  学生が我慢できると感じた動画品質を固定した場合

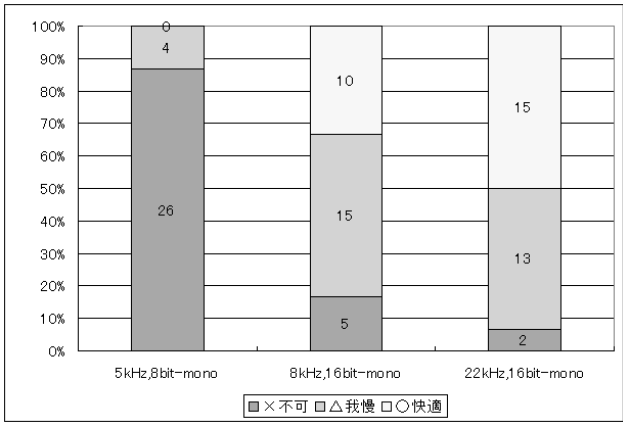

図 6.3: 我慢できると感じた動画品質を固定した場合

- 実験 4

  学生が快適であると感じた動画品質を固定した場合

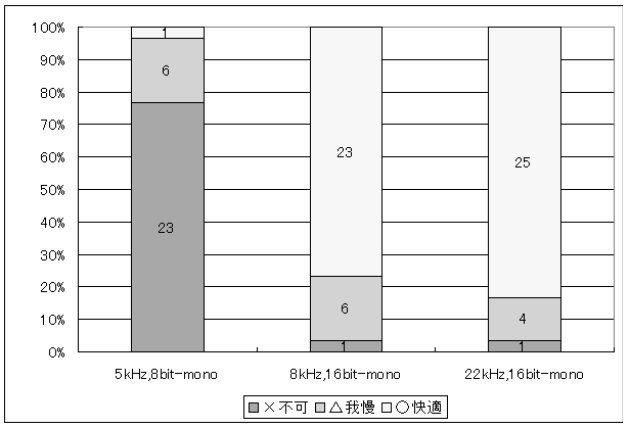

図 6.4: 快適だと感じた動画品質を固定した場合

6.4 考察

実験 1 と実験 2 の結果を比較すると，快適であると感じた人数にはほとんど差が現われていない．このことから，学生の満足度は，音声の品質には依存が極めて少なく，動画の品質に強く依存することがわかる．

また，実験 3 と実験 4 の結果を比較すると，快適であると感じた人数はほぼ倍に増加している．このことから，学生の満足度は，音声の品質には依存が極めて少なく，動画の品質に強く依存することがわかる．

以上のことから，学生が快適だと感じるマテリアルを提供するには，動画の品質を確保することが重要であるといえる．

第7章　実験のまとめと指標の定義

7.1　実験のまとめ

動画・音声をそれぞれの要素に分解し，個々の要素において学生が我慢すれば講義を受けられる値，快適に講義を受けられる値を調査した．

どの要素における実験も，80%の被験者が快適に講義を受けられた品質以上では，満足度に大きな変化は見られなかった．特に動画の構成要素である色深度と，音声の構成要素である量子化ビット数・チャンネル数においては，学生が我慢すれば受講できると感じた品質と，快適に受講できると感じた品質には差が見られなかった．このことから，一定の品質を確保すれば，学生の満足度は変化しなくなると予測される．

第6章の実験から，動画と音声には依存関係が存在し，学生が満足と感じるには，動画の品質が確保されている必要があることが分かった．人間が通常五感から得る情報の70%～80%は視覚を通して得る[23]ため，学生は受けとる情報量の大部分を快適な品質に保つことで満足と感じる人数の割合が多くなったと考えられる．

7.2　指標の定義

5.9の結果から，80%の学生が，我慢すれば講義を受けられる品質と，快適に講義を受けられる品質を得た．これを表7.1に示す．

表 7.1: 我慢できる値/快適な値

要素	我慢できる品質	快適な品質
フレームの大きさ(画素)	256 × 192	355 × 251
毎秒フレーム数	5fps	15fps
色深度	16bit	16bit
標本化周波数	8kHz	22kHz
量子化ビット数・チャンネル数	16bit-mono	16bit-mono

以上の品質を満たす講義配信のコンテンツ作成やシステムの構築を行なうことで80%の学生が満足する講義配信を行なうことが可能となる．特に，第6章の実験結果から，動画の品質に重点をおく必要があることがわかった．これを，学生の80%が満足できる品質指標と定義する．

本指標は，80%の学生が満足できるものだが，本研究で利用した方法を用いて調査することにより，学生のn%(n:任意の値)が満足できる品質指標を作成できる．

7.3 指標の利用に関して

前節で定義した指標を満たすためには，以下の 2 点を考慮する必要がある．

- 先生の講義を収録したものをデータ化する際に，指標の値を満たしたマテリアルを作成する．

  インターネットを利用して講義配信を行なう場合，それぞれ講義を収録したビデオは無圧縮の状態ではデータ量が非常に多いため，既存のネットワークを利用して配信することは実現的ではない．そのため，RealProducer[24] や Adobe 社の Premiere[25] などのアプリケーションを利用して元のデータを圧縮してから配信する．圧縮してデータ量を減らす場合も，本研究で作成した指標を満たすマテリアルを作成し，学生へ到達するまでその品質を保証すれば，学生が満足できるインターネットを利用した講義が成り立つ．

- 大学から学生までの，ネットワークで必要な帯域を確保する．

  大学から学生にデータが到達するまでに，中継ノードのハードウェアの性能，ネットワークの性質を考慮する必要がある．ネットワークを利用する欠点として，輻輳が起きた際などに配送が中断されたり，利用できる帯域が低下したりして講義の品質が低下する場合がある．この欠点は，Diffserv[26] などの帯域保証の技術を利用して解決する必要がある．これが困難な場合には，大学独自の講義用ネットワークを設置し，大学と学生の間に講義以外のトラフィックが流れないように，講義配信用の新たなネットワークを構築するなどの方法を用いる必要がある．

指標を満たす受講環境を実現するには上述したような多くの課題がある．この課題に取り組まない限りインターネットを利用した講義は成り立たない．

第8章　結論

8.1　まとめ

本研究では，インターネットを利用した講義配信を行なう際，そのシステムの構築やコンテンツの作成に参照できる品質指標を作成し，学生が満足して講義を受けているかどうかが分からない問題を解決した．

様々な大学がインターネットを利用した講義配信を試みているが，現在，そのコンテンツ作成やシステムの構築に際して参照できる指標は存在しない．既存の講義配信は，主に大学と学生の間のネットワークを考慮して行なわれており，学生のための講義であるにも拘らず，学生が満足して受講できているかどうか分からない．学生が満足して講義を受けられる講義品質を実現するために，講義配信のコンテンツ作成やシステムの構築に参照できる指標の作成が重要であることを述べた．

指標を作成するため，インターネットを利用した講義配信方式をモデル化し，最もインターネットの利点を生かしている，リアルタイムではない配信方式に着目した．この方式における講義の一般的なモデルを定め，これを要素に分解し，一般的に教材・動画・音声の３つの要素に分けられると述べた．

これら３つの要素のうち，先生から学生に伝達される視覚・聴覚情報が重要であり，教材は補完的な役割を果たしている．視覚・聴覚情報はネットワークの占有率も大きいので，動画と音声の品質指標を作成することで，インターネットを利用した講義配信の品質指標を作成できることを述べた．

指標作成のため，動画と音声をそれぞれ要素に分割し，調査する要素の品質を段階的に変更し，その他の要素は無圧縮であるマテリアルを複数作成し，学生に評価させた．動画は，次の３つの要素に分割した．

- フレームの大きさ
- 色深度
- 毎秒フレーム数

音声は，次の３つの要素に分割した．

- 量子化ビット数
- チャンネル数
- 標本化周波数

授業を受けるのは学生であるため，学生に満足度を評価させた．インターネットを利用した講義を受ける際に，要素ごとに我慢すれば講義を受けられる値と，快適に講義を受けられる値を調査した．

要素を組み合わせた動画・音声において依存関係に関して調査した．この結果，学生の満足度に関して，動画の品質が重要であると分かった．

調査から，80%の学生が，我慢すれば受講できる品質指標と，快適に受講できる品質指標を作成した．インターネットを利用した講義配信を行なう教育機関は，この指標を参照してシステムの構築やコンテンツの作成を行なうことで，80%の学生が満足できる講義を作成できる．

今回作成したのは，80%の学生が満足する品質指標だったが，本研究で利用した手法を用いて調査することにより，学生の n%(n:任意の値) が満足できる品質指標を作成できる．

8.2 今後の課題

本研究で提案した品質指標作成手法を用いれば，n%(n:任意の値) の割合において，学生が満足できる指標を作成できる．この指標を実用に供するために，n の値を様々に取った時の指標を作成し，多くの場合に参照可能な指標の集合を整備する必要がある．これにより，インターネットを利用した講義を行なう場合，各機関の要求に合った品質指標を利用することが可能となる．より正確な指標とするために，同様の調査をより多くの被験者に対して行なう必要がある．

本研究で作成した品質指標は，学生が講義を受けることを想定し，学生が快適と感じる値に着目して作成した．これは，学生の満足度に視点をおいたものであり，学習効果を測った結果ではない．このため，学習効果のある品質とは何かを調査する必要がある．

本研究では，健常な人々を対象とした品質評価を行なったが，インターネットを利用した講義は，視覚障害や聴覚障害など，障害を持つ人々に対しても大きな可能性持つ．聴覚障害があっても，講義録を用意することで，先生の話を全て理解するできるし，視覚障害であっても，先生の話を聞くことで授業内容を理解できる．また，体が不自由で屋外に出ることがままならない人でも，自宅にいながら授業を受けられる．健常者に限るのではなく，障害を持つ人々にとって，インターネットを利用した講義の品質とは何かを調査する必要がある．

参考文献

[1] **教育産業白書**. 矢野経済研究所, 2000 年.

[2] 日本インターネット協会. **インターネット白書** *2000*. インプレス, June 2000.

[3] School on the Internet Project. *http://soi.wide.ad.jp/*. WIDE Project, January 2001.

[4] Stanford University Stanford-Online. *http://stanford-online.stanford.edu/*. January 2001.

[5] Dale Harris Carlos Cordero and Jeff Hsieh. *High Speed Network for Delivery of Education-on demand*. 1996 Multimedia Computing and Networking, 1996.

[6] Andy DiPaolo Dale Harris and Joe Goodman. *The Virtual Classroom and Distance Education*. Stanford University, March4, 1997.

[7] Florida State Universiy. *http://www.fsu.edu/ distance/*. January 2001.

[8] Blackboard. *http://www.blackboard.com/*. Stanford-Online.

[9] Web-MC. *http://webmc.fsu.edu/*. Florida State University, January 2001.

[10] Cardean University. *http://cardean.edu/*. Cardean University, January 2001.

[11] John McCormick. *The New School*. Newsweek, April 24, 2000.

[12] *http://www.webct.com/*. WebCT, December 2000.

[13] Keiko Okawa Keiichi Kawai and Jun Murai. *Practical Experiences of Higher Education on the Internet - Cases from The School of Internet*. Proc. of ICCC'99, September 1999.

[14] WIDE Project. *http://www.wide.ad.jp/*. January 2001.

[15] Real Player. *http://www.real.com/player/*. Real Networks, January 2001.

[16] SureStream. *http://www.realnetworks.com/devzone/library/whitepapers/surestrm.html*. Real Networks, January 2001.

[17] SMIL. *http://service.real.com/help/library/guides/production/realpgd.htm*. Real Networks, January 2001.

[18] 東京都立科学技術大学遠隔教育センター. *http://www.dlc.tmit.ac.jp/*. January 2001.

[19] 香川医科大学インターネット TV 局. *http://www.kms.ac.jp/itv/http/itv.html*. December 2000.

[20] CAM-DE. *http://cam-de.dli.co.jp/index.htm*. January 2001.

[21] Open University. *http://www.open.ac.uk/frames.html*. January 2001.

[22] office s. *http://www2.justnet.ne.jp/ ~office _s/*. January 2001.

[23] 東北大学知能制御システム学研究室. *http://www.control.is.tohoku.ac.jp/intro-j.html*. January 2001.

[24] Real Producer. *http://www.realnetworks.com/products/producer/info.html*. Real Networks, January 2001.

[25] Premiere5.1. *http://www.adobe.co.jp/products/premiere/main.html*. Adobe, January 2001.

[26] IETF diffserv. *http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html*. January 2001.

謝辞

本研究を進めるにあたり，御指導をいただきました，慶應義塾大学環境情報学部教授 村井純博士，徳田英幸博士に感謝いたします．また，絶えず御助言と御指導をいただきました，同学部助教授楠本博之博士と中村修博士に深い感謝の意を表します．

執筆にあたって絶えまない励ましと御指導をしてくださった慶應義塾大学院政策メディア研究科後期博士課程の西田視磨氏に感謝します．

また，日頃より研究活動のご指導を頂きました，大川恵子氏，村上陽子氏，室井比宏氏，鳥谷部康晴氏，小川浩司氏，本波友行氏，福田剛士氏を始めとする School of Internet Project の皆様に感謝します．

執筆にあたりあたたかい笑顔で励ましてくださった，慶應義塾大学院政策・メディア研究科修士課程の湧川隆次氏，増田康人氏に感謝します．

様々なアドバイスをしてくださった慶應義塾大学院政策・メディア研究科修士課程の渡部陽仁氏，同後期博士課程の中村太戯留氏に感謝します．

執筆の苦労を共にし，励ましてくれた慶應義塾大学環境情報学部の服部亜紀子氏，若山史朗氏，梅染充男氏，石原知洋氏，西村祐貴氏，岡崎由美氏，菅沢延彦氏，海崎良氏を始めとする研究会同期の皆様に感謝します．

執筆にあたってアドバイスをしてくださった慶應義塾大学環境情報学部の小畠元氏，片岡広太郎氏，吉村知夏氏に感謝します．

研究室入室より公私共に御指導を頂いた慶應義塾大学院政策・メディア修士課程の小原泰弘氏，川喜田佑介氏，安田歩氏，佐藤雅明氏，同後期博士課程の関谷勇司氏，小川晃通氏に感謝します．

執筆を始める前から相談にのってくださり，絶えまない御指導と御助言を頂いた東京大学情報基盤センター助手の加藤朗氏に感謝します．また，WIDE プロジェクトの皆様，特に School Of Internet プロジェクトの皆様に感謝します．

以上をもって謝辞といたします．

付 録A　被験者に関する情報

「インターネットを利用した授業における通信品質指標の作成」

総合政策学部 4 年　三川荘子　funya@sfc.wide.ad.jp

本研究は、インターネットを利用した講義を行う際に必要となる音声・動画の品質を検証し、学生の満足度を図ることによって品質指標を作成することを目的としています。ご協力よろしくお願い致します。

1. あなたの性別を教えてください。
   □　女性 □　男性

2. あなたの年齢を教えてください。
   ( ) 歳

3. あなたはコンピュータを使って何年になりますか。
   □ 3ヶ月 □　半年 □　1 年 □　2 年
   □ 3 年 □　4 年 □　5 年 □　6 年以上

4. あなたはビデオ・オンデマンドの授業を受けたことがありますか。
   □ はい □　いいえ
   はいの場合、その時の帯域、利用したアプリケーションなどを出来るだけ詳しく教えてください。
   ( )

5. あなたの家庭はインターネットに接続する環境が整っていますか。
   □　はい □　いいえ
   はいの場合：どんなサービスを利用していますか？
   □　28.8k モデム □　56k モデム □　ISDN □　ケーブルテレビ
   □　衛星 □　ADSL □　その他

付 録B　解像度に関する実験アンケート

画面の大小について

1. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
2. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
3. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
4. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
5. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
6. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
7. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
8. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
9. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)
10. 小さい 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 大きい (コメント:)

付 録C　毎秒フレーム数に関する実験アンケート

今から fps(Frame Per Second) に変更を加えてある 1 分間のビデオクリップを 7 つ見てもらいます。Frame Per Second とは、映像クリップの中で、1 秒間に表示される完全な画像の枚数を示しています。例えば、1fps だと、1 秒間に 1 枚画像が示されることになります。

インターネットを利用した授業を見ることを想定して、快適に見られると思ったビデオクリップには○印を、我慢すれば見られると思ったビデオクリップには△印を、我慢できるような品質ではないと思ったビデオクリップには×印をつけてください。また、コメントなどあれば記入してください。

1. (　　)
   コメント:
2. (　　)
   コメント:
3. (　　)
   コメント:
4. (　　)
   コメント:
5. (　　)
   コメント:
6. (　　)
   コメント:
7. (　　)
   コメント:

付 録D　色数に関する実験アンケート

今から色数に変更を加えてある一分間のビデオクリップを 4 つ見てもらいます。インターネットを利用した授業を見ることを想定して、快適に見られると思ったビデオクリップには○印を、我慢すれば見られると思ったビデオクリップには△印を、我慢できるような品質ではないと思ったビデオクリップには×印をつけてください。また、コメントなどあれば記入してください。

1. (　　)
   コメント:
2. (　　)
   コメント:
3. (　　)
   コメント:
4. (　　)
   コメント:

付 録E　音声実験に関する実験

今から量子化ビット，チャンネル数に変更が加えてあるオーディオクリップを 4 つ聞いてもらいます．量子化ビット数とは，どの程度の分解能で数値化するかで決定される値で，オーディオ CD の場合 655346 分の 1 に数値化しています．これは，2 の 16 乗であり，量子化ビットは 16 ビットとなります．インターネットを利用した授業を受けることを想定して，1 時間 30 分快適に聞こえると感じたオーディオクリップには〇印を，我慢すれば聞くことができると感じたオーディオクリップには△印を，我慢できるような品質ではないと感じたオーディオクリップには×印を記入してください．

- 実験 1

  1. (　　)
     コメント:
  2. (　　)
     コメント:
  3. (　　)
     コメント:

- 実験 2

  1. (　　)
     コメント:
  2. (　　)
     コメント:
  3. (　　)
     コメント:

- 実験 3

  1. (　　)
     コメント:
  2. (　　)
     コメント:
  3. (　　)
     コメント:

- **実験** 4

  1. (　　)
     コメント:
  2. (　　)
     コメント:
  3. (　　)
     コメント:

付 録F　アンケート結果のまとめ

- 性別

表 F.1: 性別の集計結果

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
女性	7	6	9	5
男性	18	24	21	25

- 年齢

表 F.2: 年齢の集計結果

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
18-22	14	18	19	20
23-26	11	9	10	9
27-30	0	3	1	1

- コンピュータを利用した経験

表 F.3: 年齢の集計結果

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
3ヶ月	0	0	0	0
半年	0	0	0	0
1 年	0	0	0	0
2 年	0	1	5	4
3 年	2	4	3	2
4 年	6	4	4	5
5 年	6	3	5	6
6 年以上	11	18	13	13

- ビデオオンデマンドの授業を受けた経験

表 F.4: ビデオオンデマンドの授業について

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
ある	18	19	20	15
ない	7	11	10	15

- ビデオオンデマンドを受けた際のアプリケーション

表 F.5: ビデオオンデマンドの授業に関して

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
RealPlayer	17	17	17	14
WMT	3	0	2	1
その他	Netshow udo, vivo ビデオを借りて	衛星ビデオ		

- 家庭におけるインターネットへの接続性

表 F.6: 家庭インターネット

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
ある	24	27	28	28
ない	1	3	2	2

- 家庭におけるインターネットへの接続性について

表 F.7: 家庭インターネットへの接続性について

	解像度	色深度 毎秒フレーム数	音声	依存関係
28.8kbps	6	1	4	4
56kbps	6	6	6	5
ISDN	9	9	11	12
ケーブル	5	5	5	4
衛星	0	1	0	1
ADSL	0	0	1	1
その他	1	2	1	1