

遠隔教育システムにおける 活動記録の可視化による利用者支援機構

藤岡健史 岡田頭 上林爾彦

京都大学大学院情報学研究所

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

TEL 075-753-9140 FAX 075-753-4970

e-mail: [fujioka, aokada, yahiko]@db.soc.i.kyoto-u.ac.jp

概要

計算機を用いた遠隔教育システムの大きな利点の一つとして、利用者である学生と教師のシステム上の全ての活動を記録してそれを再利用できることが挙げられる。我々が設計・実装・改良を進めている遠隔教育システム VIEW Classroom では、講義内に行われた学生と教師の全ての操作をキャプチャし、活動記録をデータベースに格納している。これらの活動記録を実際の教育改善に役立てるためには、活動記録データを学生と教師にどのように活用させるかが重要となる。この活動記録の効果的な再利用には、可視化技術が重要な役割を果たす。データベースに格納されている活動記録は多種多様かつ雑多なデータであり、そのままでは学生や教師が再利用しにくいものである。そこで可視化技術によってデータの提示方法を変更し、学生や教師にとって分かりやすい形でデータを提供できる機構を提案する。本論文で提案する活動記録の可視化を用いた利用者支援機構は、活動記録ビューと講義アーカイブ閲覧推薦エージェントの2つの機能からなる。前者は時間軸上で学生と教師の活動状態をグラフで可視化するビューであり、利用者は講義の雰囲気や重要な部分を時間軸上で視覚的にとらえることができる。また、後者は活動記録を利用して講義アーカイブ内から重要な部分を検索するためのインデキシングポイントを推薦するエージェントシステムであり、講義アーカイブの効率の良いオンデマンド閲覧手段を利用者に提供する。

1. はじめに

近年の計算機技術および通信技術の高度化により、計算機ネットワーク上で種々の社会的な活動が行われるようになってきている。ここでいう社会的な活動とは、具体的には遠隔で行われる会議や講義などを指す。このような社会活動を計算機ネットワーク上で行うことの大きな利点の一つとして、計算機システム上であらゆる活動をキャプチャして記録することができる点が挙げられる。その利点を生かし、人間の諸活動を記録してそれを再利用するための技術は、近年各方面で重視されてきている。特に教育の分野では、学生や教師の諸活動を記録してそれを

各々の要求に応じて効果的に再利用することは非常に有用である。この記録を用いると、例えば学生は講義の復習のために保存された講義アーカイブを閲覧することが可能となるし、また教師も講義中の学生の活動を分析したい場合に活動記録を参照するなどといったことが可能になる。このため、遠隔教育システム上の活動を記録して再利用することは、学生と教師の双方にとって様々な利点があると言える。

現在、講義を記録する一般的な技術はビデオレコーディングが中心である。これに加えて、計算機を用いた遠隔教育システムではビデオ映像以外にも学生と教師の全ての計算機上の操作を記録することが可能となる。例えば、講義中の教師による教材の表示及び書き込み配信、学生のノートへの書き込み、学生から教師への質問、チャットなどは全て記録の対象となる操作である。

しかし、これらの活動記録は非常に多岐に渡った

多種多様のデータの羅列であるため、そのままでは学生や教師にとって利用しやすいものではない。そこで本論文では、これらの活動記録の有効な可視化を行い、学生と教師が講義中の活動内容を容易に理解してこれらを再利用できる機構を提案する。ここでの可視化とは、計算機システムが創り出す多種多様なデータ世界に存在する対象を視覚的に捉えようとする技術のことである。本論文で提案する可視化手法は、遠隔講義において記録された学生と教師の活動記録データを、画像などを用いて視覚的に分かりやすい形で提示し、再利用するものである。

可視化技術を活動記録データに適用する利点は、以下のようなものがある。

- 視覚的にうったえる形でデータを提供するため、ユーザにとって分かりやすい
- ユーザ自身が得たい情報ははっきり認識していない場合にも概観視することで有益な情報が得られる可能性がある
- システムを利用する上でユーザの操作手間が増えない

以上の利点から、遠隔教育システムにおいて記録された活動記録データを学生・教師にとって分かりやすく提示する可視化技術は、非常に有用であると言える。

2. 研究背景

2.1 可視化による活動記録の再利用

計算機の人間の諸活動を記録してそれを再利用するための技術は、教育の分野での重要性が非常に高い。我々が設計・実装・改良を進めている遠隔教育システム VIEW Classroom では、講義内に行われた学生と教師の全ての操作をキャプチャし、その操作履歴を活動記録データベースに格納する。

VIEW Classroom におけるこれらの活動記録は、講義の進行とともに自動的に活動記録データベースに格納されていく。これらのデータは多種多様かつ雑多であり、特別な整理は行われていない。このため、このままでは学生や教師にとって非常に扱いにくいものであり、再利用はほとんどされていないの

が現状である。しかし、これらの活動記録データは学生にとっても教師にとっても有益な情報が多く含まれており、有効な再利用が求められる。この再利用には可視化技術が大きな役割を果たす(図1)。

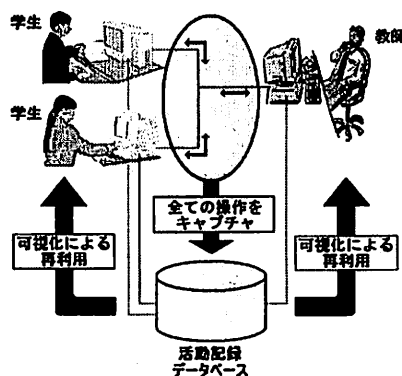


図1 活動記録データベースと可視化

活動記録を可視化によって再利用する方法は、以下の2つに大別できる。

- 活動記録そのものを再び同じ形で利用
- 活動記録を別の形で利用

iの例としては、講義の同期再生が挙げられる。ここでいう講義の同期再生とは、ある遠隔講義における学生と教師の計算機上の全ての操作をそのまま時系列的に順次再生していく機能を指す。この場合、データベースに格納された活動記録は講義アーカイブとして閲覧されることになる。この講義アーカイブの同期再生では、教師のビデオと音声に合わせて学生の質問やチャット発言などが記録されたのと同じタイミングで再生される。学生は講義の復習用として、また教師は講義分析用として(例えば学生の行動を追跡する)講義アーカイブの同期再生を行う。

また、活動記録を別の形で利用するiiの例としては、学生や教師が種々の活動記録データに前処理を施して目的の情報を抽出し、その情報の可視化を行うといったものが挙げられる。例えば、学生のノートを取る際のペンのストローク頻度から、講義中のどの部分に学生の興味が集まっていたかを見るなどといった利用の仕方がこれに相当する。

このように、可視化技術を用いて活動記録を効果

的に再利用することは、学生と教師の双方にとって有益な点が多い。本研究では、この大きな利点に着目して上記の i や ii のような活動記録の可視化を利用した学生・教師支援機構を提案する。

2.2 4WH から WHY の導出

研究の最終目標は、活動記録の可視化技術を一般的な形で確立させることにある。すなわち、活動履歴における 4WH (when, where, who, what, how) の情報 (いつ、どこで、誰が、何を、どのように行ったかという情報) から、“WHY” (なぜそうなったのかを把握する情報) を導き出せるような可視化技術を構築し、これを用いてあらゆる社会活動場面における活動記録の分析を行って社会にフィードバックしていくことが主たる目的となる。

一般的な技術を構築するための準備的なアプローチとして教育の場面に絞って活動記録データベースの可視化アプリケーションを考察することは、教育における活動記録の有用性から見て、大きな意味があると考えられる。

3. VIEW Classroom における活動記録

3.1 遠隔教育システム VIEW Classroom

我々の研究室で設計・実装・改良を進めている VIEW Classroom は計算機ネットワークを利用する desktop-to-desktop 型の遠隔教育システムである (図 2)。

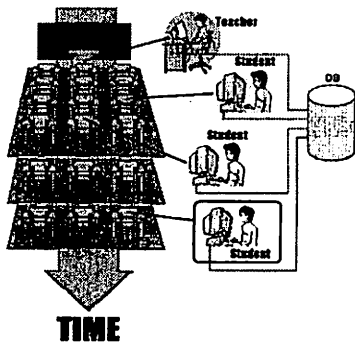


図 2 VIEW Classroom の概念図

VIEW Classroom では、スライドや講義のビデオ映像に加えて、学生と教師の計算機上の操作が全て活動記録データベースに格納されており、図の右下の学生 (枠で囲まれている) のように講義後にデータベースにアクセスして講義アーカイブを参照することが可能である。

3.2 VIEW Classroom における Action History

VIEW Classroom では、学生と教師の全ての計算機上の操作が Action History モデルと呼ばれるデータベーススキーマによって活動記録データベースに格納される。Action History モデルを用いた活動記録では、学生と教師の操作履歴が木構造を構成することが大きな特徴である。VIEW Classroom における木構造の定義例を図 3 に示す。

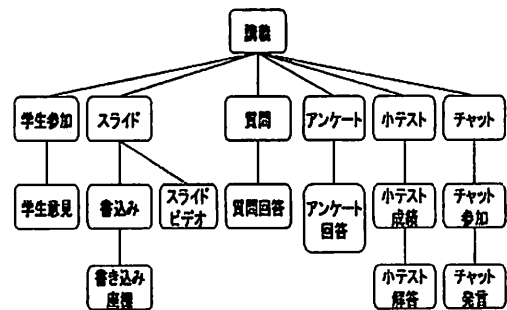


図 3 木構造の定義例

VIEW Classroom の木構造では、子ノードの操作の集合が親ノードの一つの操作を表すように定義されている。この木構造をもとにして、操作の記録時には自動的にログが一つの節点下に挿入されていく。

実際に Action History モデルを用いて記録された活動記録の例を表 1 に示す。Action History モデルを用いた記録では、操作履歴のログが機能構成やその詳細度に応じて適切に構造化された上で、活動記録として関係データベースに格納される。これらの活動記録を効果的に可視化し、学生と教師に分かりやすい形で情報を提供するのが本研究のねらいである。

表 1 活動記録の例

識別子	親の識別子	操作の種類	入力値	開始時刻	終了時刻	利用者名	マルチメディアデータ
0	-	講義	録理回数第1回	13:00:18	14:32:25	teacher	-
1	0	スライド	Slide1	13:35:20	13:39:45	teacher	Slide1.htm
2	1	スライドビデオ	Slide1	13:35:20	13:39:45	teacher	Slide1.avi
3	1	書き込み	赤	13:38:12	13:38:15	teacher	-
4	2	書き込み内容	(240,61)-(278,65)	13:38:14	13:38:15	teacher	-
5	0	学生参加	Okada	13:00:18	13:32:25	okada	-
6	5	学生意見	わかりにくい	13:37:01	13:38:37	yamada	-

4. 活動記録の可視化への要求分析

本章では、学生および教師の視点から見て、Action History 形式の活動記録をどのように可視化することが有益となるかを考察する。

4.1 既存システムの分析から得られる要求

本章では、学生と教師が複雑なコミュニケーションとウェアネス技術の中で教育活動を行っていく際に生じる問題点を、既存のシステムの分析により見出す。

遠隔講義では教師にとっては空間的に分散しているからこそ得られる利益があまり明確ではないという問題点がある。このような理由から教師の遠隔講義への評価は低い。しかし、教師が低い評価をする理由は学生が遠隔地で内職をしているためではなく、むしろ学生の内職は教師にとっても他の学生にとっても目障りにはならず、教師が遠隔講義のデメリットとしての内職を挙げることは少ないという結果も出ている[1]。

この他の遠隔教育システムの先行研究を見ると、教師が遠隔講義に対して低い評価をしている理由が徐々に浮かび上がってくる。

- インタラクション支援機能の実現に対する要求が満たされていない[2]
 - 遠隔講義では講義への集中時間が低下する(講義への集中時間はローカル講義 82%・遠隔講義 56%)

- 講義の分かりやすさなどに対する学生の意見表示機能が効果的に使われていない[1]
 - 単なる分布表示レベルにとどまっており、何らかの有益な統計処理を活用したものはほとんどない
- 学生がシステムを正しく使えているかや資料を実際に見ているかを知る手段に欠ける[3]
- 仮想空間の状態の可視化がそもそもできていない[3]

以上のような先行システムの評価から、学生状態のウェアネスに重点を置いた設計が必要であることが分かる。これより、教師の要求は以下のように考察できる。

成績情報・理解度等の今までにローカルな講義においても得られていた情報は(必要だが)遠隔講義で特別に必要となるものではない。遠隔講義で重要となるのは、学生状態を示すものである。これは例えば以下のようなものがある。

- 講義中の雰囲気はどうであったか
- どの話題に学生が興味を持ったか、逆にどの話題がつまらなかったか

遠隔講義において教師の得たい情報は高レベルなものであり、かつ抽象的な要求を教師は持っていることが伺える。講義の雰囲気をつかみ、かつどこが重要な部分かを把握するための支援が必要となる。

4.2 講義アーカイブ閲覧に対する要求

近年、計算機を用いた遠隔教育システムの普及が

進んでおり、講義を記録した講義アーカイブを遠隔地などからオンデマンドで閲覧する機会が、今後もより増加していくものと予想される。講義アーカイブは学生の復習用として閲覧されることが多いが、教師が講義の分析用として閲覧する場合もあり、学生・教師の双方の要求に応じたオンデマンド閲覧をサポートしなければならない。

講義アーカイブのオンデマンド閲覧において最も重要となる留意点は、講義内の重要な部分を効率よく閲覧するための手段の提供が不可欠である点である。このような閲覧手段がないと、閲覧者である学生や教師は重要な部分をスキップさせてしまったり、あるいはそのようなことを恐れるがために講義アーカイブ全体をはじめから閲覧していかなくてはならなくなってしまうといった問題が生じる。

閲覧者が重要な部分を見落とさないためには、講義を提供する教師側で工夫をする対策法もある。例えば、講義のはじめの部分で要点となる部分を強調しておき、さらにオンデマンド閲覧時にインデックスとなりうるスライドのタイトルには講義全体の流れが分かるように記述し、また各スライドにおいても最初に要点を強調する、などといった工夫をすることが考えられる[4]。しかし、これには多大な労力を必要とするし、たとえ教師が綿密な準備をしたとしても、学生からの質問などにより予定通りに講義が進まないことはよくある。このため、全てを教師に一任するといった解決策だけでは不十分である。従って、講義内における重要な部分を自動的に検出するための手段の提供が求められる。

4.3 可視化技術による要求の実現

4.1 章および 4.2 章で述べた要求には、講義中における学生および教師の活動記録の可視化が非常に有効な解決策となる。このような可視化には以下のような利点がある。

1つ目の利点は、多種多様かつ雑多な活動記録に対してうまく可視化技術を適用することにより、講義の雰囲気や視覚的に伝えることが可能となる点である。講義の雰囲気をつかむための手段としては、講義後にアンケートを実施したりすることも考えら

れる。しかし、これには実際にアンケートを実施して集計を行う際の手間の問題が生じるし、また、実際の講義の雰囲気がアンケートに反映されなければアンケート自体が意味のないものとなる。本研究では、活動記録を自動的に分析して可視化することで、講義の雰囲気や講義中の重要な部分といった高レベルかつ抽象的な情報を直感的に把握することが可能となる。

また2つ目は、講義アーカイブ閲覧における利点である。講義アーカイブ内の必要な部分のみを閲覧したい場合、学生と教師の活動記録の可視化が行われていればそれを利用して閲覧していくことが可能となる。例えば、教師がスライドへ多く書き込みを行っている部分やチャットが盛んに行われている部分を把握できれば、その部分から講義アーカイブを閲覧できる。

3つ目の利点は、活動記録の可視化のためのデータはすでに取れているので、新たな情報収集が必要でない点が挙げられる。疑問点を書いたメールから講義内の重要な部分を分析すると、教師は明確に重要なポイントを定めることができる。しかし、この分析には手間がかかるし、学生にこの作業は難しい。またアンケート結果を学生に提供するにはプライバシーの問題もある。学生が復習用として講義アーカイブを部分的に閲覧することは頻繁に起こるため、講義アーカイブのどの部分から閲覧すればよいかの指針を与えるのに分析の手間やプライバシーの問題がある厳密な情報を利用するより、すでに取れている活動記録の可視化を用いることで余分な手間をかけずに講義アーカイブ内の重要なポイントを把握できる方がよい。

5. 活動記録の可視化による利用者支援機構

本章では、4 章での要求分析に基づき、活動履歴の可視化技術を利用した利用者支援機構を提案する。

本機構は以下の2つの機能で構成される。

- 活動記録ビュー機能
 - 講義アーカイブの閲覧推薦エージェント
- これらについて、以下で詳しく説明する。

5.1 活動記録ビュー機能

本機能は 4.1 章の要求に対応し、学生や教師の活動状態を把握するためにデータベースに蓄積された活動記録を可視化するためのビューを提供する。

5.1.1 設計および画面例

活動記録ビューは横軸に時間軸が取られたビューであり、大きく講義内イベント表示部と頻度グラフ表示部に分かれる。各表示部には以下の活動記録が可視化される。

- 講義内イベント表示部（複数表示可能）
 - 特定の活動の有無を示すビューであり、例えば教師によるスライド提示の有無・スライドへの書き込みの有無・ビデオ再生の有無などを棒グラフで可視化する。
- 頻度グラフ表示部（2種類まで表示可能）
 - 一定時間内の特定の活動の頻度値を示すビューであり、例えば5分単位で学生のチャットの発言数・学生のマウスのクリック数や入力文字数・教師のスライドへの書き込みストローク数などを棒グラフや折れ線グラフで可視化する。

活動記録ビューの画面例を図 4 に示す。横軸は時間軸であり、時間軸付近に2つの講義内イベント表示部がある。ここでは講義内イベント1としてスライドの提示と小テストの有無が、講義内イベント2として教師のスライドへの書き込みの有無が表示されている。さらに、横軸の上側と下側にはそれぞれ学生のチャットの発言数と学生のマウスクリック数（スライドへの書き込みの場合は1ストロークが1クリックに相当する）が表示されている。

この画面により、例えば以下のような情報が分かる。

- slide1 よりも slide2 の方に学生がより着目しているようである
- slide1 のはじめの書き込みよりも後の書き込みの方が重要なようである
- slide2 の直後に学生が何かをしている
- test1 では活発な取り組みが見られ、難易度は適当であったようである

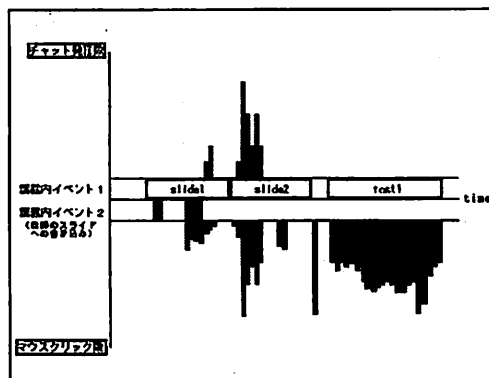


図 4 活動記録ビューの画面例

5.1.2 効果の考察と拡張性の考察

活動記録ビューにより、学生・教師の別に関わらずある時間に講義内の活動状態がどうであったかを視覚的にとらえることができる。これにより講義の雰囲気や学生の興味を示した部分を大まかに把握することができ、4.1 章で述べたような高レベルかつ抽象的な要求に応えることができる。

この活動記録ビューは拡張性を考慮した設計となっている。時間軸付近の講義内イベント表示部には今回は特定の活動の有無を表示するものとしたが、これは二値情報を持つ活動記録であれば理論的には表示可能である。また、色情報や形の情報などを用いれば三値以上の情報についても表示できるが、これは提示方法を工夫する必要がある。一方、頻度グラフ表示部についても、今回は2種類までの活動ができる設計になっているが、上部下部をそれぞれ2分割して4種類までの活動を同時に可視化したり、また棒グラフを半透明色で提示することによりさらに多くの種類の活動の情報を一度に提示することが可能である。このあたりは情報の把握のしやすさを考慮してさらに改良が必要な部分である。

5.2 講義アーカイブの閲覧推薦エージェント

本機能は、4.2 章の要求に対応する機能である。講義アーカイブの必要な部分を効率よく閲覧するためには、インデキシングを利用する手法が従来から用いられている。講義アーカイブの場合、講義内容を反映させたインデキシングが重要となる。通常の

インデキシング手法では、教師がスライドを差し替えた位置を検知してインデックスを振る、もしくは教師が講義中に明示的にインデックスを振る、あるいは後日にあらためて講義アーカイブを参照しながら内容の切れ目にインデックスを振るといった方法が使われていた。講義内容を反映させるには最後の方法が最もよいインデキシングを与えるが、非常にコストが大きいという問題がある。

そこで、このコストを低減させ、かつ講義アーカイブの必要な部分を効率よく閲覧するための手法として、講義アーカイブの閲覧推薦エージェント機能を設計する。この機能は、活動記録データベースの可視化によって講義アーカイブ内から閲覧が必要な部分を推薦し、学生と教師のオンデマンド閲覧を支援するものである。

5.2.1 推薦アルゴリズムの例

エージェントは以下のようなアルゴリズムにより講義アーカイブの中からインデキシングポイントの推薦を行う。このアルゴリズムは、頻度値の分布の大きい活動を自動的に選択して、その最頻値のポイントを推薦する例である。

- (1) チャット発言数や教師のスライドへの書き込み数などの頻度値を持つ特定の活動について、一定時間内の頻度値をパラメータとする分布の分散を求める。
- (2) 分散が十分大きい活動について、エージェントはその頻度値を用いた推薦を行う。
- (3) 上記の分布を正規分布と仮定し、上位 5% の条件を満たすポイントを講義アーカイブのインデキシングポイントとして推薦する。

5.2.2 画面例

エージェントによるインデキシングポイント推薦時の画面例を図 5 に示す。推薦画面では、5.1 章で述べた活動記録ビューが提示され、推薦されたインデキシングポイントが時間軸上に丸印で示される。この際、活動記録ビューにおける頻度グラフ表示部には、選択された活動の頻度値が表示され、なぜその位置にインデキシングが推薦されたかが一目で分かるようになっている。

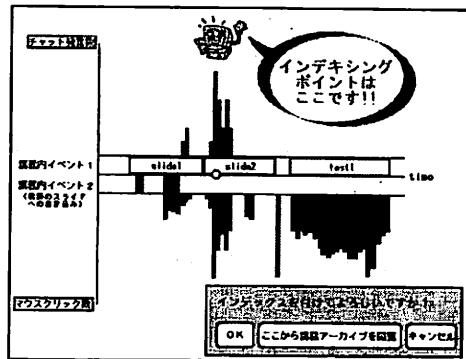


図 5 エージェントによる推薦時の画面例

5.2.3 効果の考察とアルゴリズムの工夫

本機能は講義アーカイブを効率よく閲覧するための指針を与える。このエージェントにより、新たな手間をかけることなく講義内の重要な部分にインデキシングを行うことができる。また、エージェントが推薦するポイントに実際にインデックスを付けるかどうかの選択はユーザに委ねられるが、同時に活動記録ビューにより記録の可視化がされているので、ユーザは適確なインデキシングもとで閲覧していくことができる。

5.2.1 章で述べたアルゴリズムは一例であるので、この他にも様々なアルゴリズムを適用することにより、例えば表示時間が長くて学生の書き込みが一定数よりも多いスライドが提示されたタイミングから閲覧する、といった複雑な推薦をエージェントにさせることもできる。これによりさらに効率のよい講義アーカイブの閲覧が可能になる。

6. 今後の課題

本論文で提案した活動履歴の可視化による利用者支援機構はまだ設計段階であり、本格的な運営には至っていない。今後は実装を進めていくと同時に、要求分析のための実験を計画中である。この実験は以下の2つで構成される。

- (i) 講義のビデオ撮影
- (ii) 講義後の教師・学生へのアンケート

この実験は以下の方式で行う。まず、講義のビデオ録画を行う。この講義は学生からのフィードバ

ックが多く期待される講義を選択する。そして、教師と学生の双方に講義後にアンケートを実施する。

教師に対するアンケートは、講義のどの部分に重要を置いて講義をしたかについてと、講義のどの部分に学生が興味を持ったと感じたかについてである。また、学生に対するアンケートは講義のどの部分を重要と感じたかと、どの部分に興味を持って聞いていたかについてである。

これらのアンケート結果をもとにビデオを分析し、教師・学生が重要と感じている部分でそれぞれがどのような行動をしているかを観察する。これにより、講義内の「重要な部分」が教師・学生の「活動」とどのように関連しているかの考察を行い、どの種の活動記録をどう可視化すればよいかを明確化する。

この実験結果をもとに、活動記録ビューのさらなる改良を目指す。実験結果から、活動記録をどのように可視化すれば学生および教師の要求を満たせられるかを考察する。

さらに、閲覧推薦エージェントのアルゴリズムも改良し、エージェントの更なる高機能化を目指す。講義アーカイブの場合、同じアーカイブを何人もが閲覧するので、その閲覧履歴と各々のユーザのインデキシングポイントから、推薦アルゴリズムに協調フィルタリングを導入することも考えている。

7. 関連研究

Web 上のナビゲーションの履歴を木構造で可視化するシステムとしては、[5]がある。このシステムは木構造を単純にグラフで表すものである。

利用者のデータベースの利用がその利用者の関心や興味によって偏りがあることを利用し、利用履歴から動的なインデックス付けを行うものとして[6]がある。

本研究は、遠隔教育システムにおける活動記録を可視化する技術に関するものであり、もともと記録されているデータを可視化することで利用者の支援を行う点や、動的なインデックス付けをするのではなくエージェントによってインデキシングポイントを推薦している点で[5]や[6]とは異なっている。

8. 終わりに

本論文では、遠隔教育システムにおける活動記録の可視化を用いた利用者支援機構の考察を行った。本機構を用いることで、現在までは再利用できていなかった活動記録を可視化し、分かりやすい形で利用者に提供することができる。こうして、講義の雰囲気などといった高レベルかつ抽象的な情報を利用者は得ることができる。また、これを講義アーカイブのインデキシングに適用することで、新たな手間をかけずに効率的な閲覧ができるようになる。

本研究に関して今後取り組むべき課題はまだ多い。しかし、研究の最終目標である活動記録の可視化技術を一般的な形で確立させることへの第一歩としての役割は果たせたと言えよう。

9. 参考文献

- [1] S. A. White, A. Gupta, J. Grudin, H. Chesley, G. Kimberly and E. Sanocki, "Evolving Use of a System for Education at a Distance", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.
- [2] G. Jancke, J. Grudin and A. Gupta, "Presenting to Local and Remote Audiences: Design and Use of the TELEP System", Proceedings of ACM CHI 2000, pp. 384-391, 2000.
- [3] A. Ginsberg, P. Hodge, T. Lindstrom, B. Sampieri and D. Shiau, "The Little Web Schoolhouse" Using Virtual Rooms to Create a Multimedia Distance Learning Environment", Proceedings of ACM Multimedia'98, pp.89-98, 1998.
- [4] L. He, J. Grudin and A. Gupta, "Designing Presentations for On-Demand Viewing", Proceedings of CSCW 2000, pp.127-134, 2000.
- [5] E. Z. Ayers and J.T. Stasko, "Using Graphic History in Browsing the Wild Wide Web", Proceedings of WWW4, 1996. (<http://www.w3.org/Conferences/WWW4/Papers2/270/>)
- [6] 三石大, 佐々木淳, 船生豊, "ユーザの利用履歴を利用した動的なインデックス半自動生成手法の提案", 情報処理学会研究報告(データベースシステム) Vol.2000 No.44, pp.63-60, 2000.
- [7] 中嶋正之, 藤代一成, "コンピュータビジュアルゼーション", インターネット時代の数学シリーズ4, 共立出版, 2000.