

リモートコントロールカメラを用いた遠隔教育における 参加者行動分析支援システムの提案と開発

山崎 聡† 中村 直人 †
宮寺 庸造 †† 横山 節雄 ††

ビデオ会議システムを利用した遠隔教育での参加者の行動分析を行う代表的な手法に VTR を用いた観察的な手法がある。しかしながら、この手法は行動の検索や計測のために頻繁な VTR の再生や巻き戻しなどを伴うため、多くの時間と労力が必要である。そこで本論文では、リモートカメラを利用した遠隔教育において、カメラを通して得た映像とカメラの状態は、操作者の視野と同一であるという概念を利用し、VTR を利用した行動分析手法に代わる新しい分析手法を提案する。また、その手法を実装した参加者行動分析支援システム“Visual Field Record System”を開発する。開発したシステムは遠隔教育実習指導に適用され評価された。

A Proposal and Development of the Support System for the Participant's Behavior Analysis in Distance Education using Remote Control Camera

SATOSHI YAMAZAKI ,† NAOTO NAKAMURA ,†
YOUZOU MIYADERA †† and SETSUO YOKOYAMA ††

The purpose of this paper is to propose and develop a support system for participant's behavior analysis in distance education. Firstly, participant's behavior analysis process using VTR and this subject are discussed. After that, the author proposes "Visual Field Record" newly behavior analysis method base on a relationship between remote camera's visual field and participant's its. Secondly, "Visual Field Record System" implements above newly method is designed and developed. It is described that this system composed by three sub-systems: Record System, Analyze Support System, and Classroom Design Simulator. Thirdly, these systems are evaluated by adapting to distance pre-service teacher training. Finally, it is concluded about an effectiveness of the system and some subjects.

1. はじめに

人間の行動を観察しその知見をシステムにフィードバックする開発手法は、工学において一般的であり、さまざまな分野で広く応用されている。教育工学の分野においても、教育システムの利用者の行動を観察し、その振る舞いを意味づけることは、システムの工学・教育の両面から重要である。このような、人間の行動を観察することが前提となる研究では、人間の行動をどのような手法を用いて記録・分析するのかを決定する必要があり、現在、プロトコル分析法に代表されるいくつかの分析手法が提案されている。これらの分析

手法では、VTR を用いて分析対象者の行動をメディアに記録し、その中から特徴的な行動を検索・計測・統計するような観察的な行動分析を伴う場合がある。

しかしながら、この VTR を用いた手法では、分析者が映像を何度も再生し映像の中から特徴的な行動を抽出・計測するため、膨大な時間と労力が必要であり、加えて、映像の内容に依存する専門的な知識を要するため、アウトソーシングなどの効率化も期待できない。

そこで本論文では、リモートカメラをつかって遠隔教育に参加している参加者の行動を、そのカメラの制御と参加者の視野の関連を用いることで、効率的に分析できる理論の提案とそれを実装したシステムの開発を目的とする。現在、アーカイブのための映像記録手法¹⁾ やリモートカメラ制御手法²⁾³⁾ に関する研究、リモートカメラの操作状況把握システムの開発⁴⁾ など個別の技術はそれぞれの分野で研究されているものの、カメラの制御を参加者の能動的な行動と見なして行動分析を行う、統合された参加者行動分析支援システム

† 千葉工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering
Chiba Institute of Technology
†† 東京学芸大学教育学部
Faculty of Education
Tokyo Gakugei University

はいまだ実現されていない。

本論文では、はじめに、VTR を用いた行動分析のプロセスと課題についてまとめる。次に、リモートカメラを使った遠隔教育における参加者の視野とカメラの映像との関係について考え、新しい分析手法と支援方法を提案する。その後で、それらを実装した支援システムの開発について述べる。システムを遠隔教育実習指導に適用し、提案された理論と機能を評価する。最後に結論と課題をまとめる。

2. 行動分析支援の理論

2.1 観察的な行動分析のプロセスと課題

授業などのインタラクティブな環境における参加者の行動分析では、VTR などを利用した観察的な参加者行動分析手法が一般的に用いられている。分析者は、分析対象者の行動を記録した VTR を、巻き戻しなどの煩雑な操作を繰り返し、何度も再生することで行動の時間や回数の計測を行う。また、必要に応じて映像の中から、会話プロトコルや参加者が見ている人物や教材などから特徴的な行動を抽出し、分析を進める。本論文では、これらの行動の中から、参加者が「どこを」「どれぐらい」「どのような理由で」見たかというような視覚的な行動分析の支援を考える。

これらの視覚的な行動を分析するためには、行動時間の計測や集計を行い定量的にデータを収集する必要がある。例えば、著者らが行った実験⁵⁾では、被験者に視線方向がマークされたヘルメットを装着しそれを上部から撮影することで被験者の視覚的な行動を計測・集計した。

このような視覚的な行動を VTR を使って分析する際に、大きな負担となっている作業には以下の項目が考えられる。

- 特定の物や人物を見ていた回数と時間の計測
- 特定の物や人物を見た推移の計測
- 視野を変更した理由の推測
- 全体を時分割した中での視野推移の傾向調査
- VTR の頻繁な操作
- 抽出したデータの記録と管理

2.2 Visual Field Record と支援理論

遠隔教育などに利用されるビデオ会議システムでは、一般に、遠隔地に設置されたカメラが捉えた映像を、他の遠隔地のモニタなどに表示することで遠隔地の状況を判断する。そのような環境では、カメラが映し出す映像と参加者が見ている映像は同一である。

さらに、参加者がネットワークを介して自由にリモートコントロールカメラを制御できるインタラクティブなビデオ会議システムを利用している場合、図 1 のように、カメラの方向やズーム率の変動は、遠隔地における参加者の視野の推移であると見なすことができる。

つまり、このような状況におけるリモートカメラの方向やズーム率の変動とその映像の記録は、遠隔地における参加者の視覚的な行動の記録と本質的に同一である。本論文ではこの考えを“Visual Field Record”と呼ぶ。また、これらの数値化されているカメラの状態記録を利用すれば、参加者の視覚的な行動を効率的に検索・計測・集計することができる。さらに、それらの行動に対応した映像を同期して再生したり、前後の映像を簡単に再生したりできれば、それらの行動理由の推測も支援できると考えられる。

3. Visual Field Record System

3.1 システムの機能

“Visual Field Record System” は前述した支援理論を実装する遠隔教育における参加者行動分析支援システムである。本システムは、インタラクティブな TV 会議システムを提供し、その上で行われた参加者の視覚的な行動を、扱いやすい形でコンピュータに記録できる。分析者はシステムの GUI を操作することによって、参加者の特徴的な視野推移を検索・計測・集計し、それらの視野推移に対応したカメラの実映像の記録を素早く検索・再生することができる。具体的な機能の一部を以下に述べる。

- 視野推移全体の統計グラフの表示
- 時間軸で制限した一部の視野推移の統計グラフの表示
- 視野方向を制限した視野推移の検索と留意時間の計測・集計
- 検索された視野推移に対応する映像の検索と再生
- 特徴的な視野推移の自動的な検索・計測・集計

3.2 システムの構成

Visual Field Record System は『記録システム』、『分析支援システム』、『クラスルームデザインシミュレータ』の 3 つのサブシステムから構成され、各サブシステムが連携することによって参加者行動分析を支援する。それぞれのサブシステムとシステムが生成す

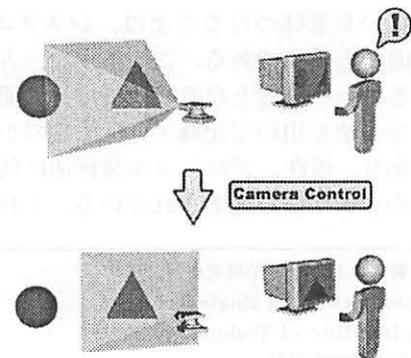


図 1 カメラのコントロールと参加者の視野推移の関係

るデータの関係を図 2 に示す。

記録システムは、カメラの方向及びズーム率の変動とその実映像が記録可能なインタラクティブなビデオ会議システムであり、その上で行われる参加者の視覚的な行動を『カメラ状態ログ』と『カメラの実映像』として記録する。行動分析の対象となる参加者は、このシステムを利用して遠隔教育に参加する。Visual Field Record の考えにより、記録された 2 つのデータの組み合わせは参加者の視野と見させる。分析支援システムは記録システムによって収集されたカメラ状態ログとカメラの実映像の 2 つのデータを、いくつかのアルゴリズムで処理し行動分析者の分析作業を直接的に支援する。具体的な支援のアルゴリズムについては以下で詳しく紹介する。クラスルームデザインシミュレータは、カメラの設置位置に起因する本システムのいくつかの問題を、撮影可能な範囲をビジュアルに確認しながらのカメラ設置シミュレーションと教室要素の配置シミュレーションを行うことで事前に解決する。

4. 記録システム

4.1 概要と機能

記録システムの目的は、ネットワークを介して制御可能なカメラを使ったインタラクティブなビデオ会議システムにおける参加者の視野推移を、カメラの方向及びズーム率の推移と実映像の組み合わせとして記録することである。本システムは、ジョイスティックの入力を UDP を用いてネットワーク上に転送するコントロールクライアント部、その入力を受けてカメラを制御し、カメラの状態を保存するカメラサーバ部、遠隔地の映像をフィードバックする映像通信部から構成される。映像通信部は衛星通信やギガビットネットワークなど多様なネットワークを環境に合わせてシステムを選択できるように、既存のシステムをサブシステムとして平行に運用する。評価実験では、Microsoft

NetMeeting を映像通信部に利用した。開発段階では DVoverATM 技術を使った実験も行っている。

4.2 速度制御と参加者の視野

パン・チルト・ズーム率の推移を参加者の視野推移として捉えるためには、スムーズにカメラをコントロールできる必要がある。本システムのカメラ制御アルゴリズムには、著者らが開発した制御方式²⁾を適用する。この方式ではジョイスティックを採用し、段階的な速度制御を可能にする。また、カメラをズームした時にズームする前と同じ角速度で制御すると画面が高速でスクロールしてしまうので、映像のスクロール速度が一致するようにズーム率を考慮して知的に角速度の制御を行う。さらに、遠隔地の空間の広さによって空間定数を設定し、全体のゲインを調整する。これらによって導かれる最終的なカメラの制御速度は以下の式によって得られる。

$$\text{制御速度} = \frac{\text{ジョイスティックの入力角度}^2}{\sqrt{\text{カメラのズーム率}}} \times \text{空間定数}$$

4.3 記録データとフォーマット

本システムによって記録されるカメラ状態ログは、カメラの方向及びズーム率とそれが取得された時刻と共に、図 3 のような CSV 形式のテキストファイルで保存される。これらのデータのカメラからの取得は、制御に負荷がかからないようにカメラへ停止命令が発行された直後や、一定時間命令が発効されていないタイミングで行われる。

一方、カメラの実映像は、最終的に MPEG 形式や AVI 形式など Microsoft Media Player コンポーネントで読み込める形式で記録する必要がある。また、分析システムでカメラ状態ログと同期するために映像の開始時刻が必要になるため、DV などのタイムコードが記録できる形式で記録し、後で図 4 のように時刻をインポーズした形式に変換する方式とする。

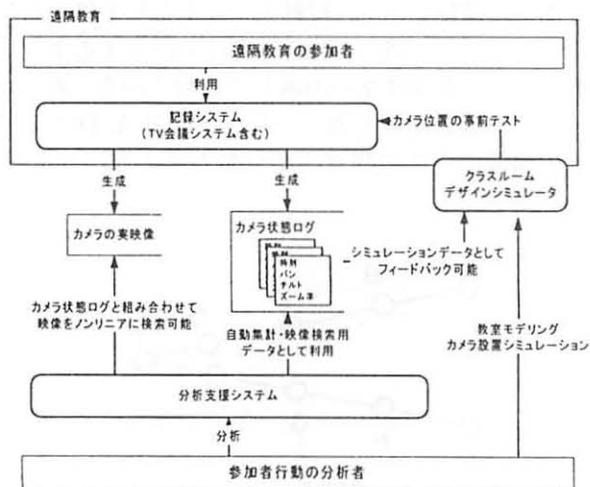


図 2 Visual Field Record System の構成

時刻, パン, チルト, ズーム率,
 Wed Sep 20 10:30:42 GMT+09:00 2000,486 ,249,10,
 Wed Sep 20 10:30:48 GMT+09:00 2000,486 ,375,10,
 Wed Sep 20 10:30:54 GMT+09:00 2000,486 ,317,10,
 Wed Sep 20 10:30:55 GMT+09:00 2000,486 ,317,10,
 Wed Sep 20 10:30:59 GMT+09:00 2000,973 ,317,10,

図 3 カメラ状態ログの一部

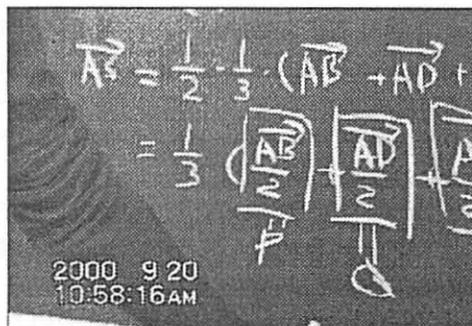


図 4 MPEG に変換されたカメラの実映像

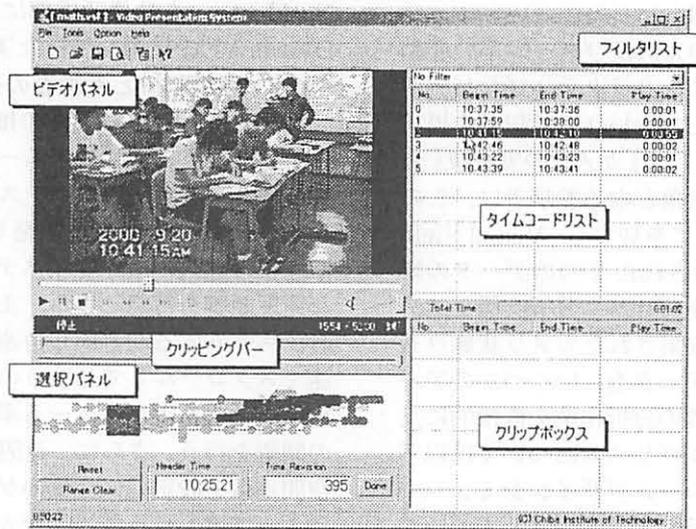


図 5 分析システムの実行画面とインターフェイス

5. 分析支援システム

5.1 概要と機能

分析支援システムは、記録システムによって記録されたカメラ状態ログとその実映像をリンクし、その中から参加者の視覚的な行動を自動または手動で検索・計測・集計・再生することを目的とする。システムが提供する GUI を図 5 に示す。

視覚的な行動の抽出には、時間軸を制限した方法、視野方向を選択してその内部で行われた行動を列挙する方法、視野の推移を自動的に分析して抽出する方法の 3 つが用意される。これら方法は組み合わせて使うことができる。いずれの方法も、カメラ状態ログの記録群から適切な記録をフィルタすることによって機能を実現する。最初の方法では、クリッピングバーを用いて抜き出したい開始時間と終了時間を指定することで制限をかけることができる。次の方法では、選択パネル内に描画される統計グラフをマウスドラッグによって選択することで、視野方向を部分的に選択できる。統計グラフには、カメラ状態ログに含まれる各記録を点として描画しそれぞれの時間的關係を線で結ぶことによって、参加者の視野推移が視覚化されている。グラフの横軸はパン、縦軸はチルト、色はズーム率を示す。最後の方法では、フィルタリストに登録された視野推移自動抽出フィルタを適用することで特徴的な視野の抽出を行う。例えば、一定時間視野方向が移動しなかったシーンや、ズーム率が一定以上であるシーンを円滑に検索・測定することができる。

5.2 映像の検索と再生の理論

カメラ状態ログとその実映像との同期はそれぞれに記録されている時刻を利用して行う。ログに含まれたそれぞれの記録には、カメラのパン、チルト、ズーム率とそれが取得された時刻が記録されているため、

これらの中から任意の 2 つの記録を組み合わせることで、映像再生のためのタイムコードを生成することができる。また、これらのタイムコードの各時刻から、実映像ファイルの先頭の時刻を差し引けば、実映像ファイルに対するオフセット時間が得られ、タイムコードに対応した映像を容易に再生することができる。つまり、カメラ状態ログの 2 つの記録を参加者の視覚的な行動として検索することで、システムは分析者にそれらの行動に対応したカメラの実映像を素早くノンリニアに提供することができる。

5.3 タイムコードの生成アルゴリズム

ここでは、カメラ状態ログが保持する各記録の中から 2 つの記録を決定し、タイムコードを生成するアルゴリズムについて述べる。例として、指定した方向からすべての視野推移をタイムコードとして列挙する場合を取り上げるが、その他のフィルタでも基本的なアルゴリズムと考え方は同様である。

図 6 の A-I は、カメラ状態ログの連続する記録の一部を、横軸をパン、縦軸をチルトとして描画したものである。この時、これらの一部を図示するように選択すると、直線は 2 つの線分に分割される。本システムでは、選択領域をカバーしうる線分 A-D と F-I をその領域の中での視覚的な行動と考える。つまり、

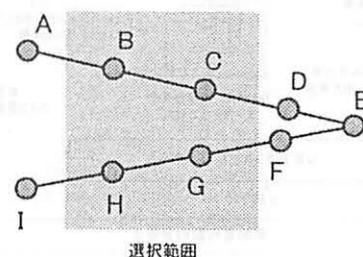


図 6 フィルタによるタイムコードの生成

この例では A, D と F, I を持つ 2 つのタイムコードが生成される。また、本システムにはインターバルを考慮する仕組みも含まれる。D-E-F を遷移する時間が指定されたインターバル許容時間より小さかった場合、これらの 2 つのシーンは A-I から構成される 1 つのタイムコードに自動的にマージされる。

5.4 分析結果のクリップと保存

本システムは分析中の状態を目的にあわせていくつかの形式で保存できる。VTR を用いた観察的な手法では、作業を中断するために計測状態を保存することが難しい。プロジェクトに設定したカメラ状態ログや実映像のファイル名、実映像開始時間、同期補正時間は専用の VFS ファイル形式として保存し管理できる。また、抽出したタイムコードリストは CSV ファイル形式、または TeX 形式のテキストファイルとして簡単に書き出すことができる。さらに、クリップボックスにはタイムコードリストから任意のタイムコードをクリップし、特徴的なタイムコードを集めて集計・保存することができる。

6. クラブルームデザインシミュレータ

記録システムと分析支援システムを用いて分析を行う際に、カメラの設置位置と教室要素の配置に起因するいくつかの問題が起こる場合がある。例えば、遠隔地における参加者が興味を持った要素がカメラの最大稼働幅を超過してしまうと、参加者はその要素を追いかけることができない。そのような場合には、事前にカメラの最大稼働幅を考慮したカメラの設置位置と机や実験器具などの教室要素の配置の決定を事前にシミュレーションすることが効果的であると考へ、図 7 に示すクラブルームデザインシミュレータを開発した⁶⁾。本システムを利用することにより仮想的な教室の中に、最大稼働幅をビジュアルに表示したカメラを設置して、そのカメラが捉えうる構図を事前に把握することができる。

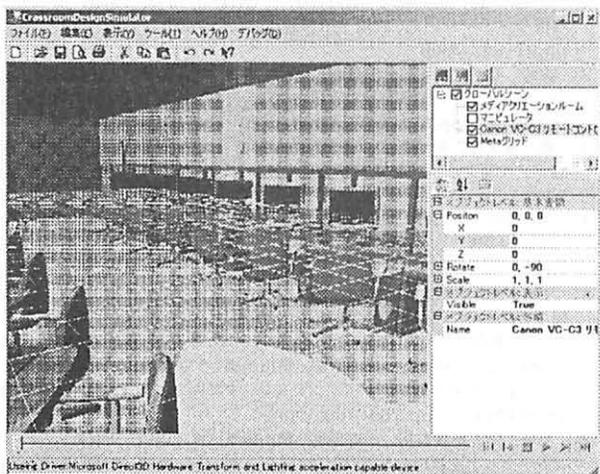


図 7 クラブルームデザインシミュレータ

7. システムの評価

7.1 遠隔教育実習指導の概要

遠隔教育実習指導は、教員養成大学などの専門的な教官が、大学の研究室などから遠隔地で行われている教育実習にビデオ会議システムを用いて参加することで、教育実習の指導を行うものである⁷⁾。このような遠隔教育における教官の視覚的な行動を分析することは、遠隔教育システムを改善するといった工学的な価値に加え、新しい実習生の指導方法の構築など教育的な側面からも価値があると考えられる。

本評価実験では、ビデオ会議システムを通して教育実習を見ている教官をシステムにおける『参加者』、この教官の行動を分析する我々を『分析者』とし、開発した理論とシステムを実践的に評価する。今回の実験は本システムの第 1 次評価と捉え、実験における評価の基準は、基本的な理論とシステムの機能的な確認とし、教官の特徴的な視野の検索とその時間の計測・統計を行う。

7.2 遠隔教育実習指導の構成とシステムの配置

実習の教科は数学で、実習時間は約 45 分であった。さらに大学の研究室から実習が行われている付属高校までの距離は約 10km で、1.5Mbps のインターネットによって接続されている。その間に記録システムを配置し、教官にジョイスティックを使って遠隔地のカメラを操作して頂いた。実際の実習指導の前に、30 分程度の操作練習を行った。リモートカメラは黒板の教材や内容、実習生の振る舞い、生徒の表情、ノートなどが見渡せる位置として教室前方側面に設置した。この様子を図 8 に示す。映像通信部は Microsoft NetMeeting を利用した。映像の記録は、リモートカメラに直接接続した DV で行い、後日、MPEG-1 形式へ変換した。

7.3 分析結果と考察

記録システムを利用したインタラクティブな遠隔

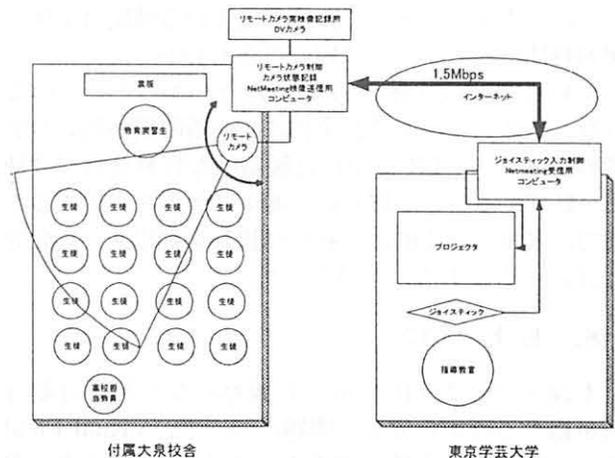


図 8 遠隔教育実習の構成

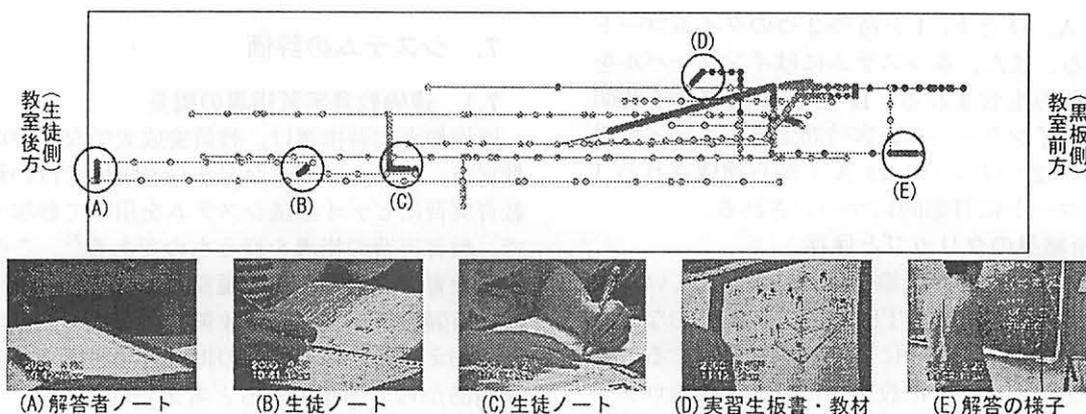


図9 大学指導教官の視野分析結果

教育指導はスムーズに行うことができた。Microsoft NetMeeting の映像にコマ落ちも少なく、音声のときれもほぼなかった。カメラのズーム機能により、黒板の文字やノートの内容まで読みとることができた。カメラ制御ログと実映像は期待したとおりに記録された。

これらのデータを分析支援システムに入力し、統計的な分析と特徴的な視野の抽出を試みた。この時の統計グラフを図9に示す。指導教官が、教材や実習生など黒板方向を見ていた時間は39分25秒であり、学生方向を見ていた時間は6分35秒であった。その間の遷移回数は7回であった。また、統計グラフの中から特徴的な点、A、B、C、D、Eについてさらに分析を行った。それぞれの点を見ていた時間を表1に示す。映像の内容は、黒板で解答している生徒のノートや他の生徒のノート、実習生の板書と教材、生徒の解答の様子と黒板の解答だった。それぞれの時間は全体の授業時間に対して非常に短いことがわかる。全体に視野推移自動抽出フィルタを適用すると、ズーム率が4.0倍以上だった視野は11回あり、その合計時間は10分30秒であった。

この結果から、指導教官は実習生の振る舞いだけでなく生徒の表情やノートを確認していることがわかる。さらに、生徒のノートや表情を見ている時間は全体の実習時間に対して非常に短いこともわかった。ズームしている時間は全体の約1/4だとわかった。このような、特徴的ではあるが全体に対する時間が短い参加者の行動は、VTRを用いた観察的な行動分析では抽出・計測することが難しい。本システムを利用することで、素早く効率的にこれらの視野を抽出し、自動的に計測・集計することができた。

8. おわりに

本論文ではVTRを用いた観察的な参加者行動分析が抱える時間と労力の問題について、Visual Field Record Systemを開発することでアプローチした。本システムは、記録システム、分析支援システム、クラ

表1 各視野における合計留意時間

場所	時間(秒)
(A) 解答者ノート	29
(B) 生徒ノート	18
(C) 生徒ノート	14
(D) 実習生板書・教材	11
(E) 解答の様子	24

スルームデザインシミュレータから構成され、それらのシステムの機能と実装については各節で述べた。

さらに、評価実験から、本システムは従来のビデオ再生の繰り返しによる分析方法に比べ、円滑に特徴的な行動を検索・計測し、その映像を素早くノンリニアに提示することで、分析者を支援できることがわかった。

ただし、これはシステムの第1次的な評価結果である。VTRを用いた手法に比べ手軽に分析を行えることは示唆されたが、分析結果のクオリティーについては言及していない。システムをさらに深く評価していくためにはVTRを用いた分析作業との比較実験を行い、分析結果のクオリティーを含めた各手法の差異を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 石塚健太郎, 亀田能成, 美濃導彦: "講義の自動撮影系における音声・映像インデキシング," 電子情報通信学会信学技報, PRMU99-258, pp.91-98, 2000
- 2) 山崎 聡, 平賀 健, 中村直人, 宮寺庸造, 横山節雄: "遠隔共同作業のためのカメラコントロール手法の検討," 教育工学関連学協会連合第6回全国大会, pp.651-652, 2000.
- 3) 郷 健太郎, 伊藤雅広, 今宮淳美: "ズーム情報を利用した適用型遠隔カメラ制御法" 情報処理学会論文誌, Vol.43 No.2, pp.585-592, 2002.
- 4) 河合智明, 坂内祐一, 田村秀行: "遠隔操作可能なカメラを用いた能動的な状況把握システム" 情報処理学会論文誌, Vol.38 No.4, pp.883-890, 1997.
- 5) 望月 要, 大西 仁, 永岡慶三, 中村直人, 宮寺庸造, 横山節雄: "遠隔学習における協調成立のための諸要因-パソコン組み立てを題材として-", 教育システム情報学会誌, Vol.15 No.4, pp.312-317, 1999.
- 6) 山崎 聡, 中村直人, 宮寺庸造, 横山節雄: "遠隔教育における参加者行動分析のための教室デザインシミュレータの開発," 日本教育工学会第18回全国大会, pp.759-760, 2002.
- 7) 黒岩 崇, 後藤貴裕, 河野真也, 横山節雄, 宮寺庸造, 中村直人: "インターネットを利用した教育実習の遠隔指導実施と評価," 電子情報通信学会信学技報, ET97-102, pp.157-164, 1997.