

Title	ICT活用教育におけるプロセス改善を目的とした学習者の時系列行動分析
Author(s)	吉良, 元
Citation	
Issue Date	2021-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/17561">http://hdl.handle.net/10119/17561</a>
Rights	
Description	Supervisor:長谷川 忍, 情報科学研究科, 博士

ICT活用教育におけるプロセス改善を目的とした  
学習者の時系列行動分析

北陸先端科学技術大学院大学

吉良 元

博士論文

ICT活用教育におけるプロセス改善を目的とした  
学習者の時系列行動分析

吉良 元

主指導教員 長谷川 忍

北陸先端科学技術大学院大学

情報科学研究科

令和三年九月

## Abstract

The purpose of this study is to propose a framework for applying Learning Analytics (LA) to clustering learning process data of different granularity of active learning in ICT-enhanced education. It promotes instructors' "analytical activities" as a basis for Instructional Design (ID), a scientific approach to improving educational methods in which learners independently perform active learning tasks.

The spread of the COVID-19 in 2020 has forced a significant shift in traditional face-to-face education. To avoid the so-called "Three Cs," i.e., Closed spaces with poor ventilation, Crowded places with many people nearby, and Close-contact settings such as close-range conversations, not only primary and secondary education but also higher education have been forced to suspend face-to-face classes temporarily, and the effects are continuing in 2021. To improve this situation, online classes, which replace face-to-face classes with video conferencing systems or MOOCs, and hyflex classes, which allow learners to choose face-to-face or online classes flexibly, are being promoted. However, in these classes, it is more difficult for instructors to monitor and assess the progress of learners in remote settings than in the traditional way. Therefore, it is not easy to improve the educational content by grasping the status of learners through frequent formative evaluations, even though the summative evaluation through mid-term and final examinations can be conducted.

Although the traditional face-to-face class style, based on teaching by the instructor and applying by the learners, is efficient in terms of knowledge transfer, many problems have been pointed out to guide them to a deeper understanding and establish skills such as "learning how to learn." For this reason, the introduction of active learning, which makes the learning process more active, is being recommended in the current educational scene. Since active learning consists of independent learning activities, it is difficult to assess the active learning results only by conventional examinations, and it is necessary to pay attention to the learning process. In addition, it is not easy for instructors to correctly grasp the status of each learner and improve the educational

method because each learner has a different way of proceeding and trial and error with the target task.

ID is attracting attention as a practical approach for designing educational methods adapted to these new situations. Among the various methods of ID, the ADDIE model, which stands for Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation, has been put into practice as a method of continuously constructing educational plans and materials as an educational process. Although many practices have been carried out, there is no definitive method for analyzing the issues faced in specific educational processes, and it is often pointed out that appropriate analysis has not been conducted.

This study proposes a framework for analyzing educational process issues by using the LA approach for time-series data. Various data related to learners' learning processes are accumulated in online classes and active learning using ICT. There are various levels of time-series data that vary depending on the platform used for learning. For example, long-term data concerning the curriculum that students acquire from the entrance to graduation; mid-term data relating to the learning process of individual courses, such as attendance, exercises, and examinations; and short-term data including learning activities in each of the lectures.

In this study, the access logs of the lecture archive system at JAIST were first analyzed to focus on the learning process at the subject level. This system provides a form of the online learning environment. The target logs were 42,470 cases for four years from 2010. The number of lectures recorded during this period was 5,389, and the number of unique learners was 912. The access logs were anonymized, and clustering methods were applied to the time-series access logs and the learner's attributes, such as working students and international students. Based on these data, we visualized the time of day and period of use of the lecture archive system and the usage tendency of users, analyzed the usage style of the lecture archive system by students, and examined the issues for the next system update.

Then, analyses of the learning activities per lecture were conducted, especially the active learning process. Two experiments were carried out: a small-scale preliminary experiment with eight students and a regular class-scale experiment with 32 students. In considering the improvement of the learning process at this level, it is essential that the learning activities of individual learners occur more frequently and require more data.

Therefore, to emphasize the improvement points, the instructors should pay attention to when implementing ID, the proposed method aims to promote the effective analysis process in ID by extracting characteristics through LA's data-driven analysis. Clustering groups of learners and presenting them to instructors might reduce the cost of their analysis phase. To achieve this, the PC screen changes were adopted to collect the learning process since it is independent of the application used for such learning. Since the learning process is a kind of human behavioral data, the dynamic time warping (DTW) method, often used in speech analysis, was applied to conduct flexible analysis. In this study, the usefulness of this method was confirmed to compress the amount of information required for analysis to make ID more effective.

In conclusion, the clustering methods were applied to two time-series data with different granularity to highlight and visualize the characteristics of the system and learners. The framework to apply such the LA approaches to ID was also discussed to improve the educational process. In the analysis of lecture archives for large-span analysis, the results reconfirmed the significance of the system for providing video materials as supplementary materials in a sustainable e-Learning environment. In addition, the system was also used as a part of language support in learning that was not the original purpose of its development. By applying this point to the ADDIE model, it is expected that the lecture archive system will be updated more effectively. In the analysis of learning activities in a single lecture with small granularity, clustering by DTW provided valuable results for understanding the situation in active learning situations. Especially, time-series clustering is expected to help compress the viewpoint of analysis in ID by integrating the learning behavior of multiple learners.

**Keywords:** Learning Process, Instructional Design, Learning Analytics, Time-Series Clustering, Dynamic Time Warping

# 目次

第1章	はじめに .....	1
1.1	高等教育機関における ICT 活用教育 .....	1
1.2	パンデミックの発生と教育方法の転換 .....	2
1.3	研究の目的 .....	4
1.4	本論文の構成 .....	5
第2章	ICT 活用教育における Instructional Design と Learning Analytics .....	7
2.1	ICT 活用教育 .....	7
2.1.1	フューチャースクール推進事業における ICT 活用 .....	8
2.1.2	アクティブラーニング .....	12
2.2	Instructional Design: ID .....	14
2.2.1	ID の構成要素 .....	14
2.3	ID の展開：ADDIE モデル .....	15
2.4	Learning Analytics: LA .....	16
2.4.1	LA とその動向 .....	18
2.4.2	学習研究のフレームワーク .....	18
2.4.3	データの測定と収集 .....	19
第3章	分析の粒度と Research Question .....	21
3.1	アナリティクスのモデルとレイヤ構造 .....	21
3.2	改善する教育プロセスからの観点 .....	22
3.3	改善に用いるデータからの観点 .....	23
3.4	時系列データ .....	25
3.5	Research Question .....	26
第4章	科目レベルの学習プロセス分析 .....	27
4.1	分析の対象 .....	27
4.2	システムの要件 .....	28
4.3	システムの構成 .....	29
4.3.1	アーカイブ収録サブシステム .....	30
4.3.2	アーカイブ編集サブシステム .....	31
4.3.3	アーカイブ配信サブシステム .....	32
4.3.4	アーカイブ管理サブシステム .....	34
4.4	システムへのアクセス状況 .....	35
4.5	学習プロセスの分析 .....	38

4.5.1	過去に収録されたアーカイブの視聴の特徴.....	42
4.5.2	講義の階層によるアクセス状況の特徴.....	43
4.5.3	収録言語の違いによるアクセス傾向.....	44
4.6	学生アンケートの分析と結果.....	47
4.7	考察.....	50
4.8	本章のまとめ.....	52
第5章	講義レベルの学習プロセスの分析.....	54
5.1	提案手法.....	54
5.2	分析の対象と仮説.....	55
5.3	収集するデータの概要.....	55
5.3.1	分析を行うデータの定義.....	55
5.3.2	データの収集.....	56
5.4	予備実験.....	60
5.4.1	予備実験の概要.....	60
5.4.2	予備実験1における特徴的な成分.....	61
5.4.3	画面の変化率と学習者の行動.....	62
5.4.4	学習者のクラスタリングと動的時間伸縮法.....	63
5.5	本実験.....	71
5.5.1	本実験の対象.....	72
5.5.2	本実験のプロセス.....	72
5.5.3	実験結果.....	72
5.6	学習者の分類モデルの仮説.....	73
5.6.1	学習モデルの仮説.....	74
5.6.2	分析で明らかになったこと.....	75
第6章	まとめ.....	76
6.1	本研究で得られた知見.....	76
6.2	今後の課題.....	78

# 第1章

## はじめに

### 1.1 高等教育機関における ICT 活用教育

昨今のデジタル化社会の発展に伴い、情報通信技術(Information and Communication Technology, 以下 ICT)は、我々の社会に不可欠なものとなっている。このことは、大学などの高等教育機関においても例外ではない。第3期教育振興基本計画によれば、我が国における今後の教育政策の方向性として、「大学教育については、学生が主体的に学修するアクティブラーニングへの展開を図るなど、(中略) ICT の利活用を推進することが求められる」と提言されている。また、ATC21sによって提唱されている21世紀型スキルにおいても、Tools for WorkingとしてInformation LiteracyやICT Literacyが21世紀以降のグローバル社会を生き抜くために必要な能力の一つとして挙げられている[1]。今や、ICT 機器を利活用するスキルは、いわゆる「読み書きそろばん」と同列に必要なスキルであると言える。

ICT 活用授業の有効性は、情報リテラシーや ICT リテラシーが向上することだけにとどまらない。ICT 機器を用いた学習では、学習者がデータやオブジェクトを手軽に加工でき、試行錯誤も容易である。このため、(利用するアプリケーションの設計による制約などもあるが)従来の紙ベースの学習と比較して、より主体的かつ活動的な学習過程(以下、学習プロセス)を実現できる。これにより、学習者一人ひとりの個性を活かして、より深い学びが行われることが

期待される[2].

こうした特徴から、ICT 活用授業ではアクティブラーニングを指向した学習課題が課されることが多い。アクティブラーニングとは、学習者自身が能動的に学習を行う学習方法である[3]。繰り返しや試行錯誤が容易に行える ICT 環境はアクティブラーニングとの親和性が高い。また、WYSIWYG な画面表示などにより学習者が成果物をリアルタイムに確認できるという特性もある。さらに、ICT 活用授業におけるアクティブラーニングでは、単に学習課題を学習者が解くだけでなく、学習プロセスの途中経過である解き方に対して振り返り学習が行われることもある[4]。これは、ICT 機器に蓄積される学習プロセスをデータとして取り出すことが容易だからである。

また一方で、教育の ICT 化の推進と並行して、電子教材や学習管理システム (Learning Management System, 以下, LMS), 大規模公開オンライン講座 (Massive Open Online Courses, MOOCs) などのデジタルプラットフォームの活用がすすみ、教育において生成されるデータが増加している。これに伴い、Learning Analytics (LA) に代表される新たなアプローチの研究が増えている。そうした研究の進展や実践の変化の中で、教育・学習を分析する方法やフレームワークに関する議論が活発におこなわれるようになってきている。

## 1.2 パンデミックの発生と教育方法の転換

2020 年の新型コロナウイルス感染拡大により従来の対面型教育は世界的規模で大きな転換を迫られた。密集・密接・密閉のいわゆる 3 密を避けるため、初

等・中等教育のみならず高等教育においても、教室における一斉授業を一時休校にせざるを得なくなるなど、影響は現在でも継続している。このような状況を改善するために対面授業をビデオ会議システムや MOOCs などでは置換するオンライン授業や、対面授業とオンライン授業を学習者が柔軟に選択することができるハイフレックス授業など ICT を活用することで密にならない授業形態の実践が様々な課題がありつつも進められている[5]。しかしながら、これらの授業形態においては遠隔地にいる学習者の進捗状況を教員側で把握することが従来と比較して困難である。そのため、中間試験や期末試験などによる総括的な評価を行うことはできても、学習者の状態を形成的な評価によりこまめに把握して教育内容を改善することは容易ではない。

また、教員による知識の教授と学習者による知識の運用に基づく伝統的な一斉教授の授業形態は、知識の伝達の面では効率的ではあるものの、学習者をより深い理解に導くことや「学び方を学ぶ」といったスキル定着の観点からは多くの課題が指摘されている[6]。このため、学校現場では学習プロセスをより能動的にするアクティブラーニングの導入が推奨されるようになっている。アクティブラーニングは学習者の主体的な学習活動で構成されるため、その成果は従来型の試験のみで測ることは難しく、その学習プロセスに注目する必要がある。しかしながら、学習者毎に課題の進め方や試行錯誤は異なったものであるため、その状態を適切に把握して教育方法を改善していくことは教員にとって容易ではない。

### 1.3 研究の目的

本研究の目的は、学習者が一定の自由度の下で学習課題を主体的に行う ICT 活用教育におけるアクティブラーニングを対象として、教育方法を改善する際の科学的アプローチである Instructional Design(ID)の基礎となる、教員の「分析活動」を促進するために、異なる粒度の学習プロセスデータにそれぞれ対応したクラスタリング手法を Learning Analytics(LA)として適用するフレームワークを提案することである。

現在のような新たな状況に適応した教育方法のデザインを行う上で、ID は効果的なアプローチとして注目されている。なぜなら ID は、教育の内容や順序をプロセスとして捉え、高い学習効果を生み出すための教育方法の具体化および改善を科学的に行う点に特徴があるためである。ID の実現手法は様々あるが、中でも ADDIE モデルは、Analysis (分析)、Design(設計)、Development(開発)、Implementation (実施)、Evaluation (評価)の頭文字をとったもので、継続的に教育計画や教材内容を教育プロセスとして組み立て、実施し、評価を行い、これをさらに分析、設計して改善していくという手法として多くの実践が行われている。しかしながら、直面する具体的な教育プロセスに対して課題を分析するための決定的な手法が存在するわけではなく、しばしば適切な分析がなされていないとの指摘もある[7]。

本研究ではこうした問題に対して、時系列データを対象とした LA のアプローチにより教育プロセスの課題分析を行う枠組みを提案する。ICT を活用するオンライン授業やアクティブラーニングでは、学習者の学習プロセスに関わる様々なデータが蓄積される。ここで得られるデータは学習を行うプラットフォ

ームにより異なるが、時系列データとしては、入学から修了までに取得するカリキュラムに関する大きなものから、個々の科目に対する受講や演習・試験などの学習過程、また、それらの科目を構成する講義一コマ一コマでの小さな学習活動など様々なレベルが考えられる。そこで本研究では、科目レベルと講義レベルの 2 種類の学習プロセスに関する時系列データに対して、それぞれクラスタリング手法を適用することにより、学習者毎の学習プロセスにおける特徴や課題の検討をクラスタ単位に圧縮することで、教員の ID における分析活動の促進を目指す。

#### 1.4 本論文の構成

本研究では、ID の基礎となる分析活動を促進させる手段の一つとして、LA 的アプローチであるデータに基づく分析として、学習プロセスの時系列データ分析を行った。これを時系列データの粒度の面から検討し、複数の粒度で分析を行った。一つは、科目レベルを対象とした粒度の大きな分析として、講義アーカイブシステムのアクセスログの分析を行った。次に、粒度の小さな分析として、講義内のアクティブラーニングによる課題への取り組みを対象とした学習プロセスの分析を行った。本稿ではこれらについて、次の順で述べていく。

第 2 章では、本研究の背景と課題について、関連研究である ID および LA の現状と ICT 活用授業の実証実験のモデルを中心に述べる。第 3 章では、分析の粒度と本研究の仮説としての Research Question について論じる。第 4 章では、科目レベルの分析として、本学の講義アーカイブシステムのクラスタリングによる利用形態の分析を行った。第 5 章では、講義レベルの分析として、大学院

生を対象に実際の講義のオフィスアワーを使って課題を記述させるケーススタ  
ディを実施した。ここでは、音声解析に用いられることが多い動的時間伸縮法  
(Dynamic Time Warping: DTW)を用いて分析を行った。第6章では、時系列デー  
タの分析結果に基づいて、本研究で得られた知見と課題を述べる。

## 第2章

# ICT 活用教育における Instructional Design と Learning Analytics

本章では、本研究のテーマである ICT 活用教育に関する状況と、教育方法の改善および分析を行う上で重要な要素である ID と LA における関連研究について述べる。

### 2.1 ICT 活用教育

近年、ICT を活用した教育の取組が盛んに行われるようになってきている。最も基本的なコンセプトは e-Learning と呼ばれ、Web 上に教育コンテンツを公開しそれを学びに活用した WBT (Web-Based Training) や、単にコンピュータ上で動く教育アプリケーションを利用した CAI(Computer- Assisted Instruction)などが挙げられる。ICT を利用して教育を行うことが共通している他は、学習者が自主的に学ぶ場合や教師がリアルタイムでサポートする場合など、その形式は様々である[8]。

本研究で取り扱う ICT 活用教育は、一般的な授業において、ICT 機器を用いた学習を行うものを対象としている[10]。従来の紙がベースとなる学習環境と違い、教科書は電子教科書として配布され、紙のノートの代わりにノートパソコンで学習内容の記録を取るスタイルを想定している。

ICT 活用授業は、現行の授業に単に ICT 機器をただ導入するのではなく、デジタルの特徴である”何度でもやり直せる”，”時間的制約や空間的制約を超えたシミュレーションが可能である”という点を活かした教材を活用し、学習者自身が教材を操作し、理解を深めることにある[11]。また、データの共有が可能な ICT 機器は協働学習を行いやすい環境でもあり、学習者同士の教え合いが互いの理解を深める効果もあるとされ、これも狙いの一つである。このような授業を、一般的な普通教室において、すべての授業で実施する点が、ICT 活用教育の特徴である。

#### 2.1.1 フューチャースクール推進事業における ICT 活用

ICT 活用教育の実証の場として、「フューチャースクール推進事業」という名称で、Figure 2.1 の 20 の教育機関が全国から選ばれ、ICT 機器を活用した授業を行う際の情報通信技術面を中心とした課題を抽出・分析するための実証研究が 2013 年度まで行われた[9]。この取組は初等中等教育を対象としたものではあったが、現在の GIGA スクール等の取組の端緒にあたるものであり、ICT 活用教育の一例としてここで概説する。

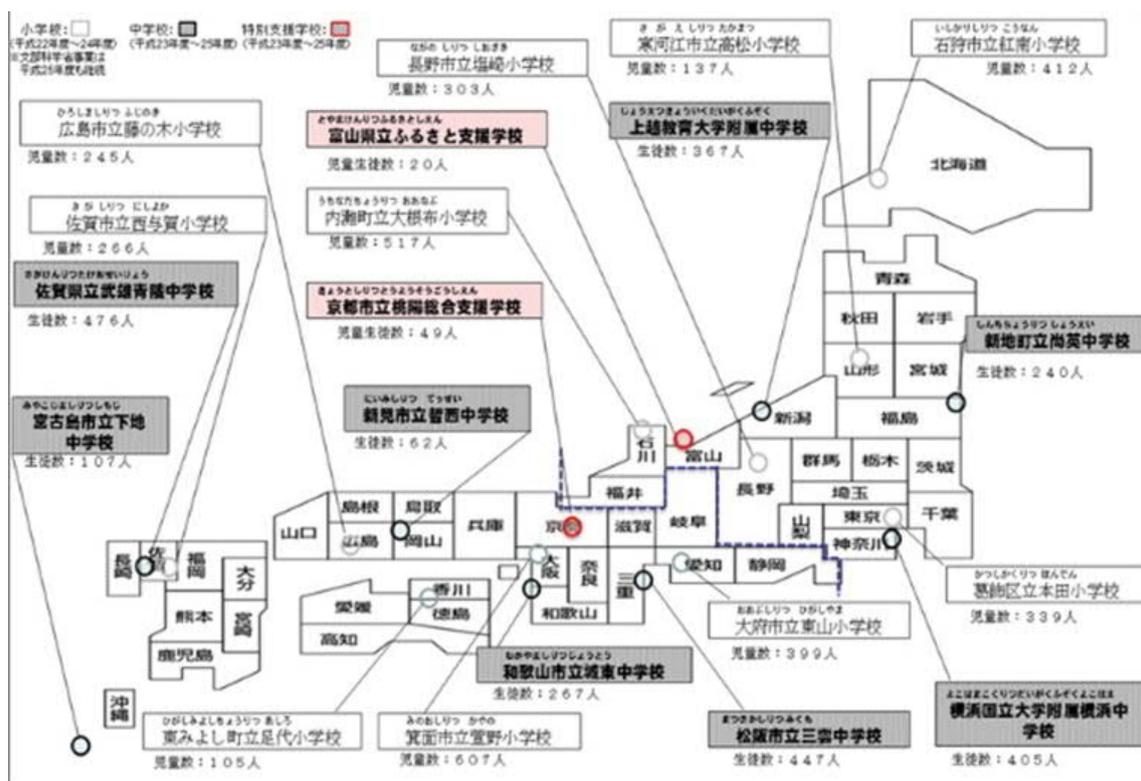


Figure 2.1 フューチャースクールに選定された実証実験校 [9]

Figure 2.2 は、フューチャースクール推進事業における ICT 活用授業の実践例である。ICT 活用授業では、学習者全員に一台ずつタブレット PC などの ICT 機器が配布され、それを利用して学習を行う。授業における ICT 活用の形態には大きく分けて 2 種類あり、学習者がそれぞれの ICT 機器で問題を解き学習する場合と、学習者同士がお互いの ICT 機器を協調動作させ、協力しあって学習する場合がある。いずれの場合も ICT 機器の特性を活かし、必要に応じて他の ICT 機器と臨機応変に連携を取った効果的な利用がなされている。例えば、質問を出す場合に学習アプリケーションの質問機能を利用する、意見の発表を行う際に、教室に設置された電子黒板に自分の ICT 機器の画面を転送し、視覚効

果を活かした発表をする， などである。



Figure 2.2 フューチャースクールにおける ICT 活用授業の様子

ICT 活用授業で用いられるアプリケーションは、「模造紙アプリケーション」や「電子計算ドリル」といった学習に特化した専用アプリケーションから、

Microsoft Office のような一般的なオフィススイートを使う場合まで様々である [12]。一般的なアプリケーションは使用できる機能が豊富であり、できることの可能性は高い。しかし、機能を使いこなすにはそれ相応の知識が必要となるため、すべての機能を教員や学習者が使いこなせるとは限らない。そのためフューチャースクール推進事業では、ICT 支援員というスタッフが配置された。ICT 支援員は、本事業で扱われる機材や技術について講習を受け、専門的な知識を習得している専門スタッフである。ICT 支援員と教員、学習者との関係は、Figure 2.3 の通りである。ICT 支援員の業務は、教師への ICT に関する助言、生徒への ICT 機器の操作支援、機器の保守点検の主に 3 つである [13]。

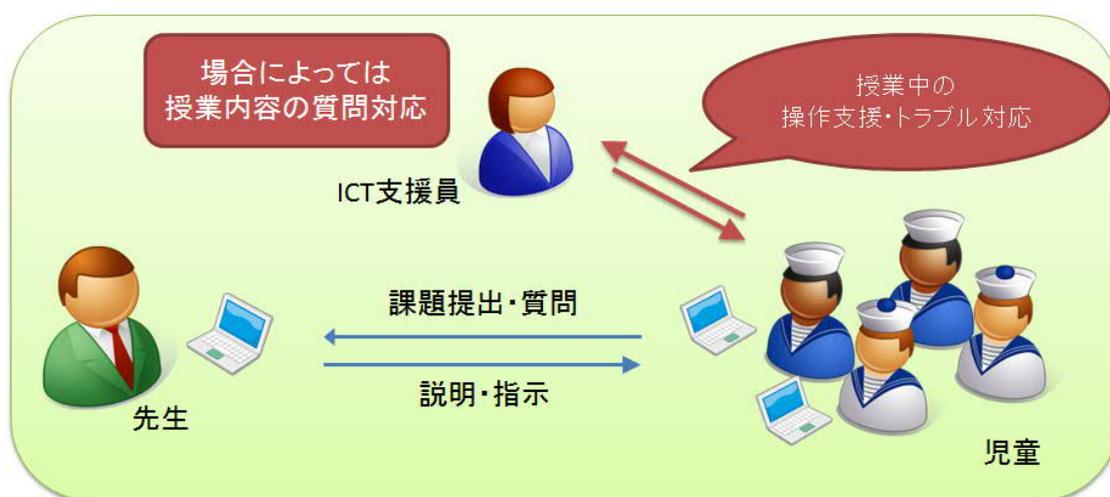


Figure 2.3 ICT 支援員と教師，児童との関係

Figure 2.4 は、フューチャースクール推進事業における ICT 活用授業について、授業の典型的な流れをモデル化したものである。授業が始まると、教師に

よる学習内容の説明があり、その後に、課題に取り組む時間が用意されている。学習に ICT 機器を用いる点と、専門的な事象への対処のために ICT 支援員が配置されていることを除けば、授業の構成は一般的な一斉授業の流れと同じ構成となっている。ただし、課題に取り組む時間では、個別学習を行うこともあれば、協働学習を行うこともある。

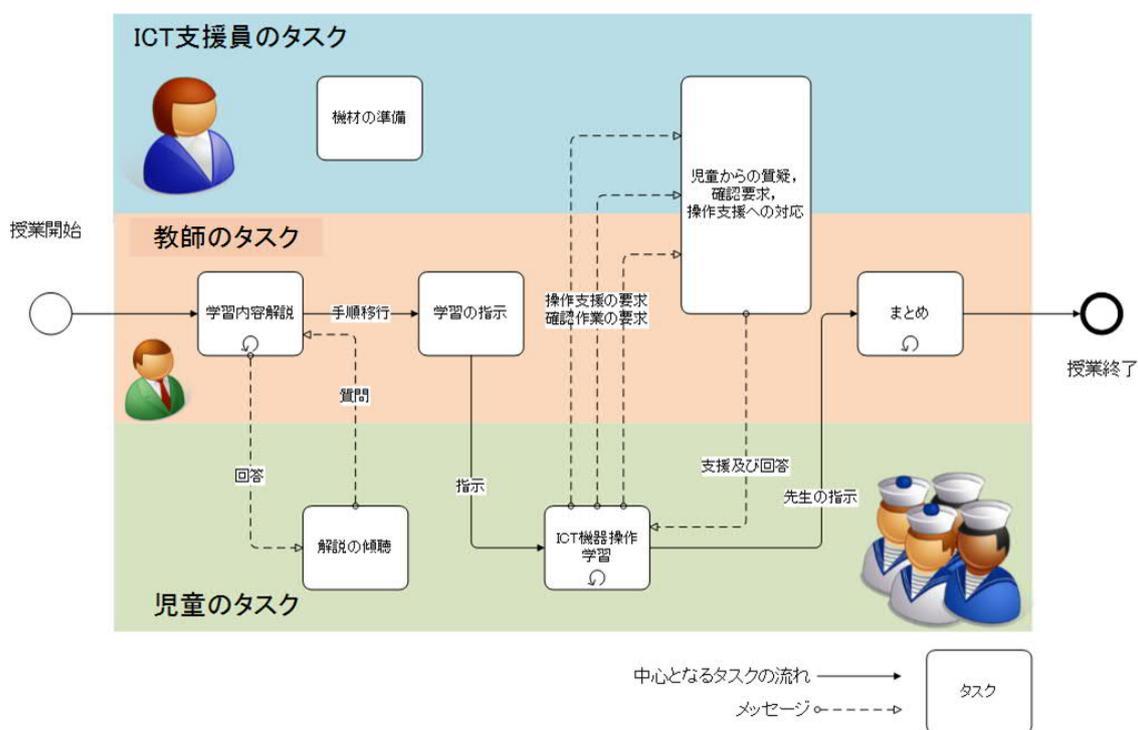


Figure 2.4 フューチャースクールにおける ICT 活用授業の進行モデル

## 2.1.2 アクティブラーニング

アクティブラーニングとは、「学習者の自らの思考を促す能動的な学習」であり、従来の教員から学習者への一方的な教授型の学習とは異なり、学習時間中に学習者自身が課題に取り組む学習形式のことである[14]。これにより、学

習内容を確かに修得しつつ、座学中心の一方的な教授方法では身につけづらいとされた「自らが学ぶ力」を養うことが期待されている。社会環境や科学技術の変化が急速な現代の知識基盤社会においては、教育機関で学んだ内容が陳腐化するスピードも早くなっている。そこでアクティブラーニングは、将来にわたって必要なスキルを身につけさせる学習法として注目され、国内外で様々な形態のアクティブラーニングが実施されている[15][16]。その多くは発見学習、問題解決学習（課題解決型学習・PBL）、体験学習、調査学習、グループディスカッション、ディベート、グループワーク等を有効に取り入れており、このような授業はアクティブラーニング型授業とよばれている [17]。

アクティブラーニングを導入する際の実践的課題としては、学生の学習プロセスが教員の知識や考えの範囲を越える状況が存在し、教員が学生に知識や解をはっきり示せない、あるいは学生からそれらを教えられる可能性があることである。そうした状況を前提に、アクティブラーニングの代表的な学習形態と授業・カリキュラムの実践的課題が文献を基に検討された[15]。その分析の結果、アクティブラーニングは課題探求型、課題解決型ともに、専門分野を問わず広く実施されていることが明らかとなった。また、アクティブラーニングの質を高める工夫として、ピアレビュー等による他者の視点強化、授業外におけるサポートなどが示されている。

東京大学アクティブラーニングスタジオの事例から、アクティブラーニングとしての ICT 支援型ラーニングスペースにおける授業の類型化の報告もある [18]。この報告は、講義を行う教師に対して支援を行うことを念頭に、ICT 支援型ラーニングスペースで実施された授業の類型化をしたものである。レスポ

ンスアナライザやタブレット PC などの ICT を活用したアクティブラーニングの講義について、その形態や什器の配置から類型化が行われた。その結果、アクティブラーニングは、講義+ディスカッション型、タブレット PC 活用型、プレゼンテーション型、実習型の 4 類型に分別することができ、アクティブラーニングが行われる同一のラーニングスペースであっても教員や授業内容により多様な学習空間の利用方法があることが指摘されている。

## 2.2 Instructional Design: ID

ID とは、教育の単位をプロセスとして分解し、それらを具体的に構成する（デザインする）方法論である[19]。このとき、単に構成するだけでなく、学習をより良くすることを目的とし、教育プロセスをブラッシュアップすることが ID の意義とされる。「より良い教育プロセス」を実現するために、ID は「教育効果を高める」、「教育活動の効率を上げる」、「教育活動の魅力を高める」という要素で主に構成される。

### 2.2.1 ID の構成要素

ID では、学習者の学習前の状態と学習後の状態、さらにそれらの差分を明確にし、教育プロセスを施した結果どのような状態になったのか評価する手段まで検討することが求められる。教育効果を測るためには評価手段が必要不可欠である。教師による思い込みや学習者への過度の教えすぎを防ぐことも考慮が必要である。教育プロセスは学習者の学びを支援するものであるとされ、効果的な学習の支援を実現するにはさまざまな理論が用いられている。学習者の定

義と学習課題，学習を行う環境が定義されてはじめて最適な教育プロセスを議論することができる。

教育活動の効率を上げることは，学習にかかるコストを下げることにつながる。同じ教育効果を実現するために掛かるコストを減らすことができれば，より良い教育になることが期待できる。ここでのコストとは，人（教師），もの（教材），時間（学習に費やす時間），それらに関わる予算である。より短時間かつ省力化し，低コストに学習目標を達成する工夫を提案することも，ID の重要な役割である。

教育活動の魅力とは，「学習したい」あるいは「もっと学びたい」と教育活動に関心・興味をもたせることである。これは，学習者の意欲が継続的に保たれることであり，教育プロセスを継続させるモチベーションとして非常に重要な意味を持つ。日本における教育では「できるようになるが，もうやりたくないと思う」といった感想を持つ学習者が多く存在するとの指摘がある。こうした場面では教育活動の魅力が高いとは言えない。このような現象を改善するべく，「さらに学習し，もっとやってみたくなる」という教育プロセスを目標にし，設計する手法が求められる。この分野で顕著なのがケラーの ARCS 動機づけモデルである。これは，関連心理学の諸理論を Attention（注意），Relevance（関連性），Confidence（自信），Satisfaction（満足感）の 4 要因に分類し，学習意欲を高める工夫を提案しているものである。

### 2.3 ID の展開：ADDIE モデル

ID は，上記 2.2.1 の要素に基づき，教育プロセスを改善する手法であるとい

える。これらは、優れた教育実践の手法から応用可能な設計原理を抽出して発展し、多くの ID モデルが開発されてきた。本研究ではその中でも顕著な ADDIE モデルを紹介する[20].

ADDIE モデルとは、Analysis（分析）、Design(設計)、Development(開発)、Implementation（実施）、Evaluation（評価）の頭文字をとったもので、継続的に教育計画や教材内容を教育プロセスとして組み立て、実施し、評価を行い、これをさらに分析、設計して改善していくという手法である。ID の教育プロセス改善を、ADDIE の各フェーズに分解し、必要に応じて繰り返すことで、よりよい教育プロセスを実現する。この流れを図式化したものが Figure 2.5 である。

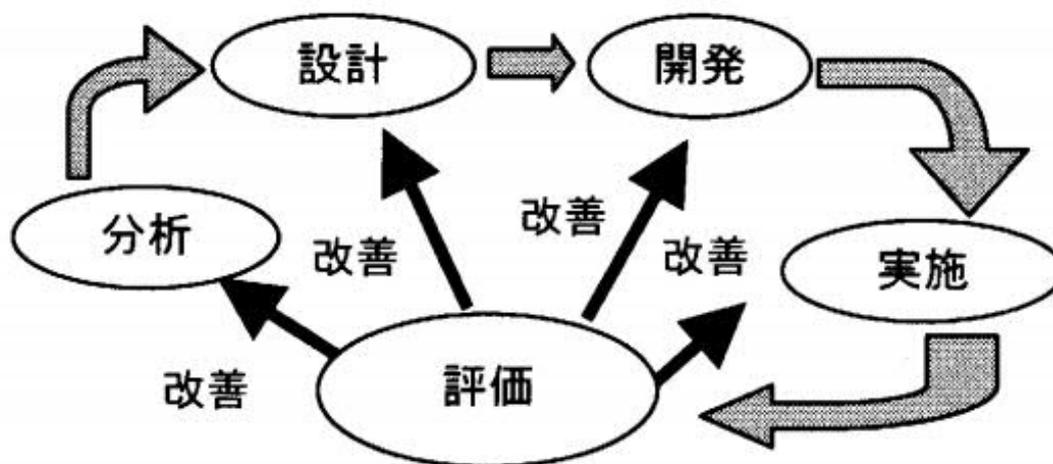


Figure 2.5 Gagne らの ADDIE モデル [21]

## 2.4 Learning Analytics: LA

ICT を活用した教育方法が広がるにつれて、教育に関するデータも増加して

いる。ICT を活用した教育方法の例としては、Web 上に学習コンテンツを配置して学習をすすめる e-Learning や、その進捗を管理する LMS の普及、いつでも誰でもどこでも別け隔てなく学ぶことができるデジタル学習教材の集合体である MOOCs などが挙げられる。

ICT 活用教育では、学習環境が電子化されることにより従来の紙ベースの学習環境と比較してオブジェクトの移動や消去、書き直しといった操作を柔軟に行うことができる。また、音声や映像など学習コンテンツとして提示できるメディアが増加することにより、学習コンテンツがより多様になっている。さらに、データの形式と取得手段を定義することにより、様々なデータが蓄積できる。例えばキーボードやマウスの操作履歴をログとして取得することができる。こうした特性を活かして、ICT を活用した学習コンテンツでは、学習に関連するオブジェクトの表示時間や課題に関連するオブジェクトの操作回数など、評点以外の学習コンテンツへの学習者の取組の様子をデータとして取得し、活用することが可能となっている。

それに伴い、生み出された膨大な教育データを活用しようとする Learning Analytics (以下、LA) という研究分野が誕生した。LA とは、「学習、教育におけるデータ解析の方法とアプローチ」という意味とされている。こう呼ばれ始めたのは、2010 年に開かれた Learning Analytics and Knowledge (LAK) 国際会議がきっかけである。この国際会議の開催により、LMS や e-Learning などでも生み出されるデータを活用する新しいアプローチの研究が増加し始めた[22]。

#### 2.4.1 LA とその動向

LA は、コンピュータサイエンス、認知科学、学習科学、教育工学などの科学と工学が交差する融合領域であり、データの分析に基づいて教育に有用なフィードバックを行うことが目的となっている。

前述の通り ICT を活用した授業では、機器を操作することによる学習者の行動がデータとして収集できる。これを活かして、LA の観点からデータを積極的に活用して分析し、学習者の成績を予測したり、教員に有用なアドバイスを出したりする試みもなされている。例えば、Paulo らはプログラミングの講義において学習者のコード変更プロセスから最終的な成績を予測している[25]。学生 370 人の 154,000 のコードから機械学習によって学習パターンを発見し、最終試験の成績を予測しており、試験の成績とシステムの予測に弱い相関があったことが報告された。また、Nazmul らは PC への文字入力のキーストロークから利用者の感情を推定しており[26]、Jaccard 類似法を用いたベクトル空間モデルで、キーストロークから感情(7 分類)の認識率 80%を達成したと報告している。

しかしながら、収集できるデータは多くの場合で学習に用いるアプリケーションの仕様に依存する。Learning Analytics にふさわしいログの収集についての報告もあるが、これらすべてが標準規格として実現されるかは現時点では不明である[27]。

#### 2.4.2 学習研究のフレームワーク

山川ら[23]は、エビデンスに基づく教育・学習研究を行うために、蓄積され

たデータの可視化から、仮説の構築とその仮説からモデルを構築するアプローチを並列させた Figure 2.6 のようなフレームワークを提案している。これは、既存の LA のアプローチが、「実践」、「可視化」、「仮説構築」のループに対応したものであり、仮説の構築からモデルを構築するという新しいループが機能することにより、学習とは何であるかを実証的かつ理論的に考えることができるという主張である。

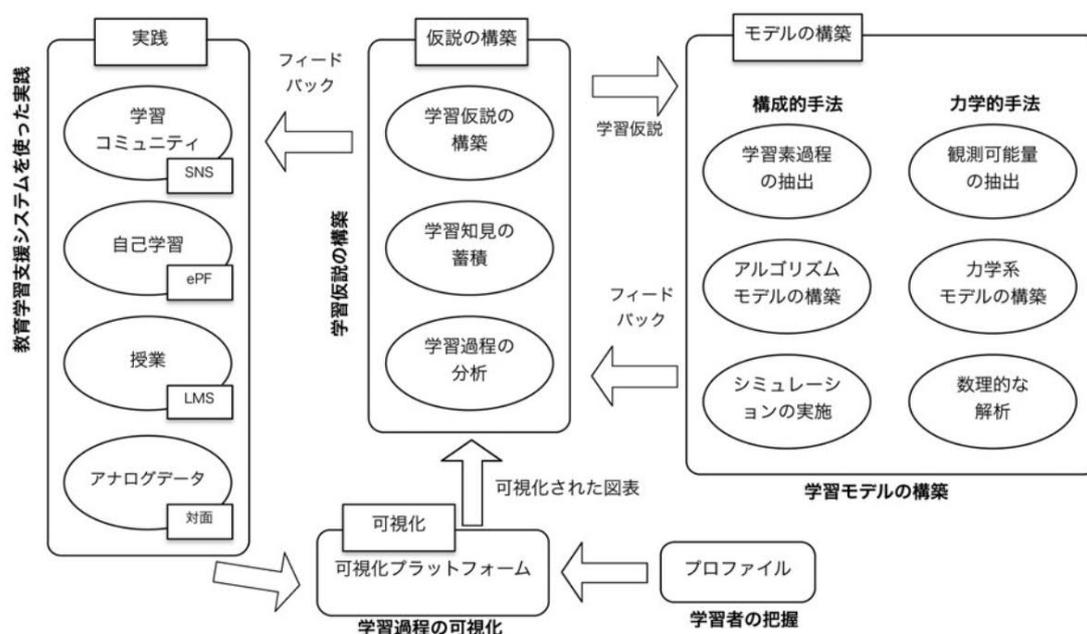


Figure 2.6 実証的な教育・学習研究アプローチ [24]

### 2.4.3 データの測定と収集

LA において最も基本となるプロセスは、学習活動におけるデータの測定および収集と、その整理である。科学的な研究においては、仮説に基づいたデー

タの測定を行うことが一般的である。LA においては、測定だけでなく、様々なシステムが生成した膨大なデータも収集して利用する。収集されたデータは、学習者をキーとして結合され、複合的なデータが形成される。

データのソースは、教育における ICT の普及に沿って増加している。そのソースは学習者をキーとするデータが取得できるものであればどのようなものでも利活用の可能性があり、デジタル教材だけでなく、学習に用いた ICT 機器の操作の履歴、課題の評点など様々である。また、それに用いられる ICT 機器も、デスクトップ PC やノート PC のみならずタブレットやスマートフォン、生理情報が取得できるウェアラブルデバイスなどを複数活用する場合もある。

## 第3章

### 分析の粒度と Research Question

学習プロセスには期間に応じて段階があり、求められる粒度に応じた分析を計画することが必要とされる。例えば、講義を科目の開講期間ごとに分析するのか、講義 1 コマごとに分析するのかによって様々な要求と条件は変化してくる。本章ではその分析の粒度について述べる。

#### 3.1 アナリティクスのモデルとレイヤ構造

学習の活動と学習を支援するサービスはレイヤ構造と考えることができる。Table 3.1 に、武田[24]によって整理されたレイヤを示す。レイヤは上位に学習者本人が行う学習活動が位置づけられ、その下位に教員や他の学習者と学ぶ授業科目というレイヤが存在する。その授業科目は、さらに下位のレイヤである学部のカリキュラムによってデザインされたものであり、大学の関係者が支援することによって実施される。それぞれのレイヤには環境や設備、システムなどが学習活動に用いられるリソースとして存在する。このように、学習活動の各要素をレイヤに位置づけることは、アナリティクスにとって有用であるとされる。それは、(1) データや分析結果が位置づけられるレイヤが明確になることで、データ利用の権限とフローが明確になる、(2) アナリティクスに関係している様々な組織や学生を含む関係者が必要とするポキャブラリとそのスコープを共有できる、(3) データの利用の範囲を明確にし、プライバシーを

始めとする倫理面のリスクに備えることができる、といった点が挙げられる。

Table 3.1 アナリティクスのレイヤとデータの例 [25]

レイヤ	学習者	教員	環境	システム・サービス
個人	デモグラフィックな属性、過去の履修・成績	専門分野，教授歴，デモグラフィックな属性，	授業で利用する施設・設備の属性	
授業科目	各回の出席者数，課題遂行の状況出席・成績などの分布	資料，課題，教授プロセス，授業全体のデザイン，リフレクション	各回で用いた設備	授業中レポート
学部	あるカリキュラムにおける成績，学部の授業におけるパフォーマンス	教員数，開科目数，履修の分布	授業で用いた施設・設備	学部独自のシステム
組織	出願者，受験者，入学者，退学者，休学者，卒業者			履修，LMS，eポートフォリオ

### 3.2 改善する教育プロセスからの観点

ID を用いた教育プロセスの改善には、規模の大きさの制約がない。すなわち、教育機関の入学から修了までの「カリキュラムレベル」の長いスパンから、開講期ごとの「科目レベル」の長さ、短いもので「講義レベル」のスパンの改善まで、手法の適用が可能である。

Figure3.1 は教育プロセスの粒度と構成要素である。日本の大学における教育を参考に、カリキュラムレベル，科目レベル，講義レベルに整理して、さらに

その構成要素を図示した。実際にはそれぞれが相互関係を持っており、最も大きなカリキュラムレベルの要素として科目レベルが内包され、さらに、科目レベルの要素として講義レベルの教育プロセスが内包されている。それぞれの教育プロセスの内容について何をどう改善するのかを定義することが ID にとっては非常に重要であり、分析の粒度の一つの要素となる。

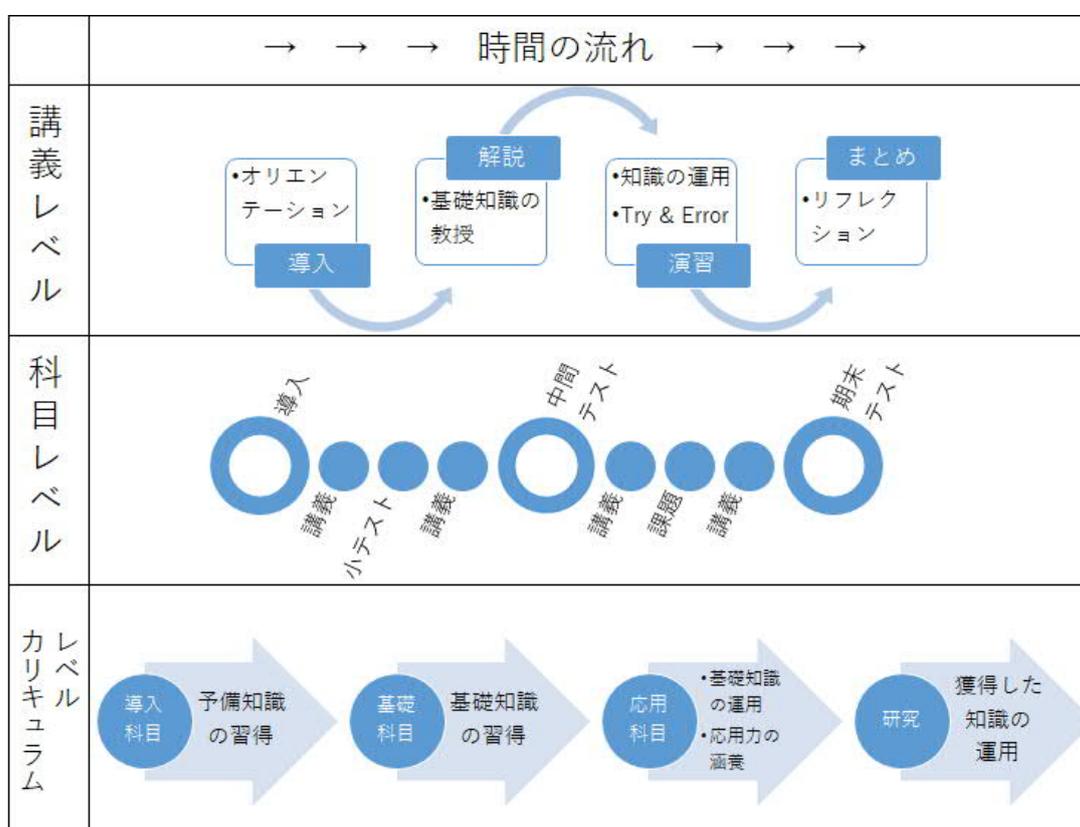


Figure 3.1 学習プロセスの粒度

### 3.3 改善に用いるデータからの観点

ICT における分析手法は様々なものがあるが、その分析を行うにはアプリケーションや分析プログラムのソースコードなどが必要とされ、データもそれら

に入力できるよう構造化されている必要がある。即ち、電子データと ICT 機器があれば何でも分析ができるということではなく、ICT 機器を一種の関数

$$y = f(x)$$

として捉え、入力  $x$  と出力  $y$ 、処理内容  $f$  を厳密に定義する必要がある。

入力には主に ICT 活用授業における ICT 機器のログデータや e ポートフォリオなどの成績に関する電子データ、電子コメントなどが代表例として利用できる。一方で出力は、分析の手法を工夫することで、従来までに提案されてきた手法から、これまでになかった未知のものまで得られる可能性がある。

このとき重要となってくるのがデータのメトリックとしての粒度である。どの長さの教育プロセスを改善するのか、その教育プロセスを改善するためにはどのような量の、どのような指標を持つデータが必要なのかを見極める必要がある。

例えば人間の生体データを分析する場合、音声の対象であるならば、まず音声のデータが必要である。このデータは ICT 機器が処理できるように数値データに変換し、さらに連続したデータとして変換されたものでなければならない。例えば wave ファイルなどがこのデータの構造化の代表である。変換する際には単に数値化、連続化すればいいのではなく、様々な工夫が必要である。実世界の音声波形は無限に連続した波形であるが、ICT 機器は離散分析装置である。そのため、対象となる音声の特徴量を損なわないようデータのメトリックを定義し、それに合致した周波数成分を損なわないよう、データへの変換が求められる。

学習プロセスの分析に用いるデータも同様である。学習プロセスには期間に応じて段階があり、どの期間のどのプロセスに着目し、そのプロセスを改善するにはどのような粒度に着目し、どのような量のデータが必要であるかを検討する必要がある。講義全体の評価を行うには粒度の大きな分析を行う必要があり、リアルタイム性の高い現象を評価するには、講義 1 コマ毎といった粒度の細かい分析を行う必要がある。

### 3.4 時系列データ

我々の身の回りにある様々なデータは、時間とともに変化するものも多い。例えば、気温や気圧などの気象現象、株価や為替レートなどの経済現象、血圧や脈拍といった生体データなどである。このように、時間とともに変化する現象の記録が時系列データである。

時系列データの分析を、時系列分析と呼ぶ。時系列分析は、時系列データを、その変動をもたらす背景の解明やその将来の予測などを目的に、解析的あるいは確率論的手法を用いて分析することである。

本研究では、分析の対象として過去のある 2 点の間に存在する、時間軸を持ったデータを扱う。これにより、学習者の学習に関する行動の時間変化を学習プロセスの一つとして捉え、時系列分析を行う。ID を用いた教育プロセスの改善にむけた LA 的アプローチの提案として、実データを用いて 2 つの粒度の時系列分析を実施した。一つは、科目全体を通した粒度の大きな分析、一つは講義 1 コマを対象とした粒度の小さな分析である。前者については、本学において運用されている講義アーカイブシステムの膨大なログデータを一括して分析

することで、講義アーカイブシステムの e-Learning としての有用性を評価した。後者については、時系列分析の手法の一つである動的時間伸縮法を学習プロセスの分析に適用し、本学において開講された講義中にみられた学習者の行動の分析を行った。

### 3.5 Research Question

本研究の Research Question は、ID を効果的に促進させるために、LA のデータに基づく分析の手法を ID に活用できないか、である。ID により効果的な教育プロセスの改善を行うためには実施する教員にとって分析が必要であり、学習者が多い場合や ID を実施する回数が多い場合に、行わなければならない分析や着目すべきデータの多さがネックになる。そこで本研究では、LA のデータに基づく分析を ID と組み合わせるべく、大規模データを持つシステムの改善および粒度の小さな講義内の学習活動に着目した分析を行い、この Research Question に回答することを目指す。

## 第4章

### 科目レベルの学習プロセス分析

本章では、科目レベルの学習プロセスの分析として、JAISTにおいて運用されている講義アーカイブシステムのアクセスログを対象に行った分析について述べる。講義アーカイブシステムとは対面講義を収録したものであり、オンライン学習の一つの形態といえる。JAISTでは2006年度より、学生が非同期に講義の予復習を行うための講義アーカイブシステムを運用している[28] [29]。これは、学内で実施される講義や講習会などの教育シーンを、映像・音声のデジタルデータとして収録し、体系的に管理・配信するものである。JAISTにおける講義アーカイブは、対面講義を補完する補助教材という位置づけとなっている[30]。

講義アーカイブシステムに求められる機能や性能は、カリキュラムの変化や新たな技術の登場に伴い、時とともに変化する[31]。講義アーカイブシステムが対面講義を補完する学習環境として効果的なものとなるよう、JAISTでは運用状況の分析や学生アンケートなどを実施し、4年に一度の頻度で更新を行っている。

#### 4.1 分析の対象

学習プロセスの分析は、講義アーカイブシステムのアクセスログを中心に行った。対象となるログは、2010年度から4年間の42,470件を対象に行なった。

この間に記録された講義は 5,389 コマあり、学習者のユニーク数は 912 名であった。アクセスログは匿名化した上で、社会人や留学生といった属性や、どの講義をいつ視聴したかの時系列データを対象にクラスタリングを行った。これをもとに、学生の講義アーカイブシステムの利用スタイルの分析と、次のシステム更新に向けた課題の検討を行った。これらを総合的に分析した結果、講義アーカイブシステムの活用される時間帯や時期、ユーザの利用傾向を可視化した。

#### 4.2 システムの要件

本節では、本稿で対象とする 2010 年度版 JAIST 講義アーカイブシステムの設計・開発時に検討したシステム要件について示す。

JAIST における大学院教育の基本方針として、技術者や研究者の育成を行うために、コースワークによる幅広い基礎分野の早期の確実な習得と、専門的な研究分野の習得への効果的な移行を挙げている。この理念を実現するために、JAIST のコースワークは領域及び階層による体系化がなされている。旧情報科学研究科を例に挙げると、理論情報科学、人間情報処理、人工知能、計算機システム・ネットワーク、ソフトウェア科学の 5 領域に対して、主に非情報系出身者のリメディアル学習を対象とする導入講義、各領域の大学院レベルの基礎分野を対象とする基幹講義、より専門性の高い内容の専門講義、主として博士後期課程が対象の先端講義の 4 階層からなるカリキュラムが構成されている。

一方、大学の規模は、学部を持たないことから、一般的な総合大学と比べて小規模で、研究対象とした 2013 年度では 3 研究科の博士前期・後期課程を合わ

せた学生定員の合計が 964 名であった。また、全学生のうち留学生が約 300 名、社会人学生が約 180 名と学生のバックグラウンドの多様化が進んでいる。その結果、中心となる石川キャンパスにおいては、年 2 回開講される基幹講義のうちの 1 回、および先端講義が英語で実施されている。このため、日本人学生にとっては、日本語による基幹講義で単位を取得できないと、同一年度で同じ講義を受講する場合に、英語による講義を受講する必要がある。同様に、留学生の場合にも、英語による講義で単位が取得できないと、日本語による講義を受講する必要がある。これは、履修上の大きなハードルの一つとなっている。また、教員数が限られているために、専門講義と先端講義は隔年での開講となっている。このため、年度によっては受講できない講義もある。なお、社会人学生については、大部分が品川にある東京サテライトにおいて、夜間または土日に講義・研究指導が行われている。

これらの状況から、本講義アーカイブシステムの設計・開発時には、(1) 対面講義の予復習を支援する補完的な学習環境であること、(2) 一般の学生と社会人学生では場所や時間の要件が大きく異なっているため、それらを吸収可能な非同期学習環境であること、(3) 体系化された講義群の中で、自身が受講する講義以外の講義も容易に視聴できる環境であること、といった要件が挙げられた。

#### 4.3 システムの構成

前節で議論したシステム要件に基づいて、2010 年に設計・構築した講義アーカイブシステムの概要を Figure 4.1 に示す。本システムでは、限られたスタッ

フで無理なく運用していくために、収録・配信作業の大部分を自動化する方針を採用した。これについて、「収録」、「編集」、「配信」、「管理」の4つのサブシステムを中心に概説する。

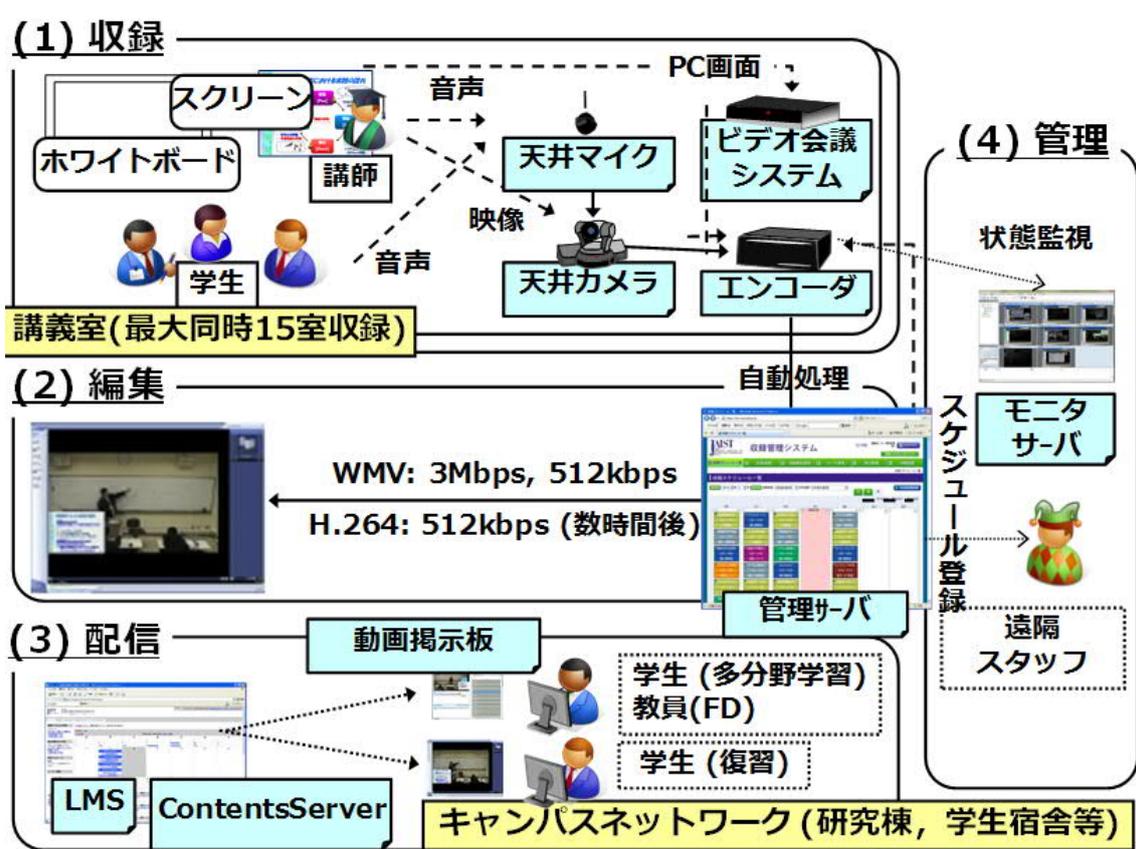


Figure 4.1 講義アーカイブシステムの概要

#### 4.3.1 アーカイブ収録サブシステム

収録の対象となる講義室には、アーカイブ収録サブシステムとして、HD(High Definition: 1080p)対応ビデオ会議システムである Polycom HDX シリーズ[32]と、エンコーダ装置として Photron PowerRec MV [33]を設置した。また、ノイズキャンセラ機能がついた Polycom シーリングマイクを天井に設置するこ

とで、講師による調整が不要な構成とした。Photron PowerRec MV は、二種類の 720p の HD 映像入力および合成が可能である。これにより、天井カメラの映像と教室内のプロジェクタに出力された PC 画面の映像を、Figure 4.2 に示すような 1 つのファイルに合成して収録する。これがシステム要件全体のベースとなるものである。

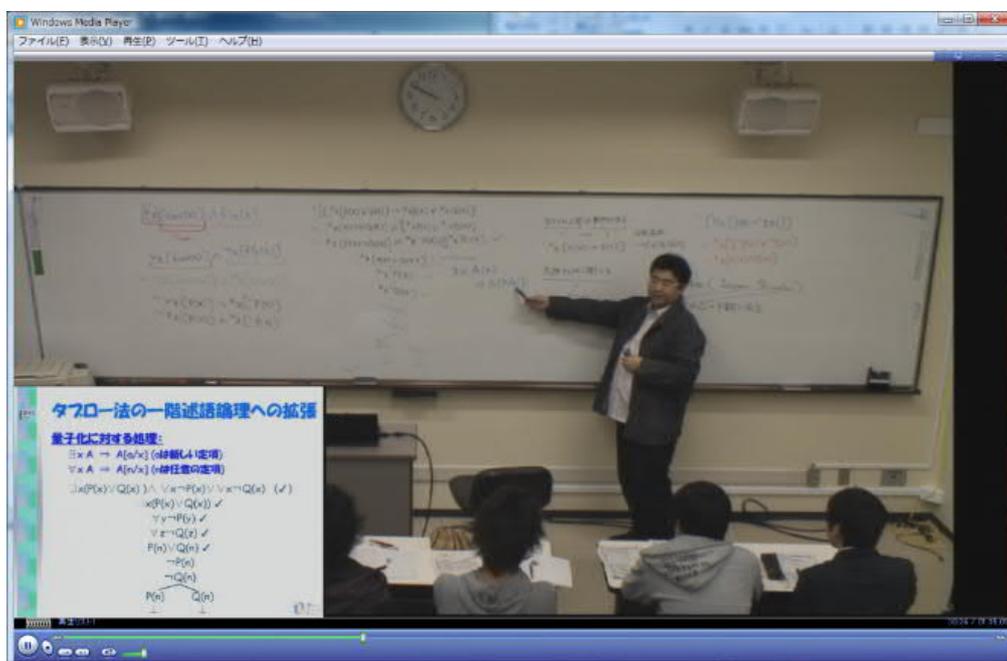


Figure 4.1 アーカイブ映像の再生画面

#### 4.3.2 アーカイブ編集サブシステム

アーカイブ収録サブシステムで収録されたオリジナルの講義アーカイブファイルは、講義終了後に学内ネットワーク経由で管理サーバに自動的にコピーされる。また、コンテンツの隅に表示される PC 画面の変化をスライドの切り替

わりと判定してインデックスの自動生成を行う。生成されたインデックスを活用した機能として、Figure 4.3 に示す動画掲示板を実装した。右に並ぶ長方形のオブジェクトは、システムによって自動生成されたインデックスである。画面左下のフォームには、学生間で共有可能なコメントや、非公開のノートを書き込むことができる。これにより、システム要件(1)及び(2)に対応した。

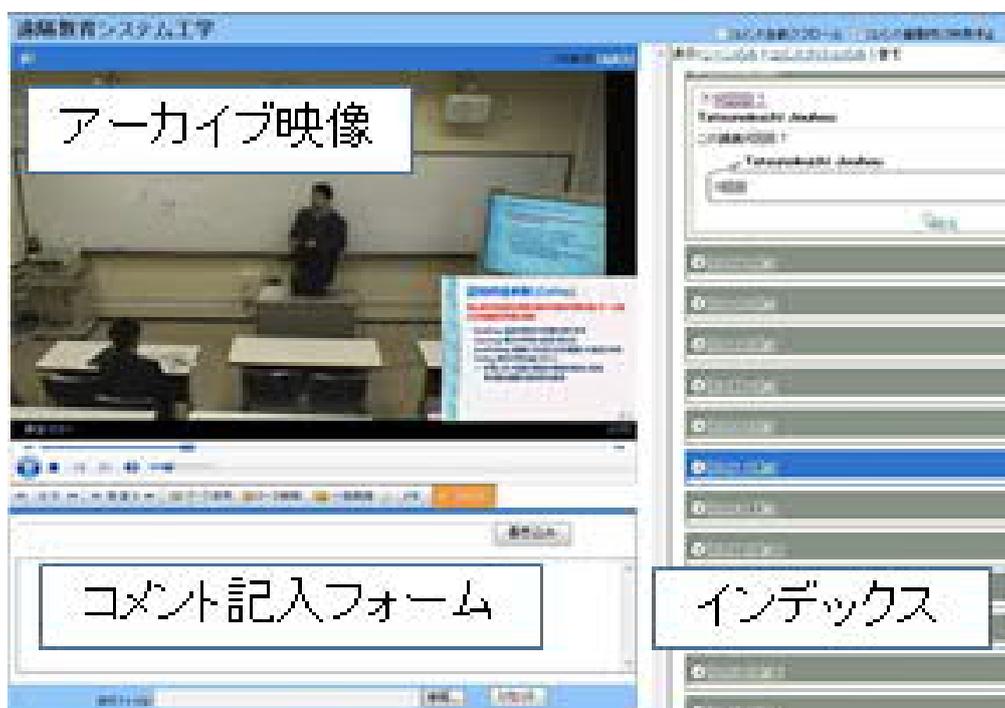


Figure 4.2 動画掲示板の再生画面

#### 4.3.3 アーカイブ配信サブシステム

収録したアーカイブの配信にあたっては、New Media Education System JZ [34] を LMS として利用した。Figure.4.4 は、JZ の講義選択画面の一部である。JZ は、登録した講義の収録スケジュールや最新情報が表示される講義アーカイブへの

ポータルサイトである。

Figure 4.3 JZ (LMS) のインターフェース

個々のアーカイブには、講義名と収録日をアンカーとするリンクが対応する講義に自動で登録される。また、本学既存の LDAP サーバと連携して、大学アカウントによるシングルサインオンを実現した。ただし、学務情報と LMS を連携することは、開発期間および予算、個人情報保護の観点などから実施しなかった。このため、学生が所属する研究科で配信される全ての講義が自動で視

聴登録される運用となっている。

LMS を利用することで、講義アーカイブへのアクセスログとして、ユーザアカウント、アクセス日時、アクセスしたアーカイブの講義名および講義番号、収録時期が記録される。また、LMS 上の学生アカウントは、初回ログイン時に生成される仕様である。

LMS への接続と映像データの配信は、原則的に学内ネットワークおよび学生寄宿舍ネットワークに限定している。ただし、社会人学生は、SSL-VPN 装置を経由して学外から視聴することが可能である。これにより、システム要件(2)に対応した。

#### 4.3.4 アーカイブ管理サブシステム

講義収録の予約から編集・配信を統合的に管理するために、日本 SGI JNICOL blueSKY [35]をカスタマイズしたアーカイブ管理サブシステムを構築した。本サブシステムは、汎用的な XML 形式の収録スケジュールの送信機能を有しており、最大 15 教室の同時収録に対応する。

録画されたアーカイブは全て保存することとし、過去の年度の同じ講義も全て視聴できるようにした。これにより、システム要件(1)及び(3)に対応した。ただし、運用コストを低減するために、収録から 1 年未満のもののみを高速なストレージへ保存し、収録から 1 年以上経ったものは、低速だが安価な NAS(Network Attached Storage)上のバックアップ領域から直接配信する運用とした。

#### 4.4 システムへのアクセス状況

まず、講義アーカイブへのアクセス状況に関する基礎データとして、属性別のアクセス状況を分析した。講義アーカイブにアクセスしたユニークユーザの内訳は Figure4.5 の通りであり、ほぼ本学に在籍する人数の比率と同様の割合であった。本システムは、初回ログイン時にアカウントが生成される仕様であり、アクセスログに含まれる学生は、少なくとも 1 回以上アーカイブを利用したことになる。このことから、アーカイブは特定属性の学生に偏らず、学内全体で活用されていると考えられる。

次に、システム要件(2)に対して、一般の学生と社会人学生のアクセス状況の違いを示す。講義アーカイブへの全てのアクセスのうち、対象となったデータ数は学生のアクセス 35,472 件であった。これらを日本人学生、留学生、社会人学生の 3 つの属性に分けてアクセス数を集計し、属性ごとのアーカイブの利用率とアクセスのタイミングの特徴を分析した。曜日毎のアクセス数の推移を Figure 4.6 に示す。日本人学生と留学生のアクセス傾向にはあまり違いが見られないものの、社会人学生はその性質上、休日である土日のアクセス数が平日より多かった。

Figure 4.7 で示す時間毎のアクセス数の推移については、属性間で大きな差は見られず、全体としては早朝以外の時間帯はある程度コンスタントにアクセスされているようであった。

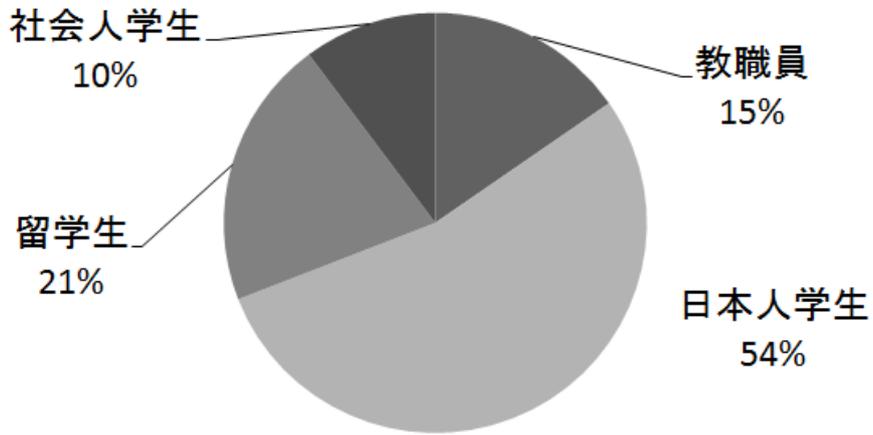


Figure 4.4 システムへアクセスしたユーザーの内訳

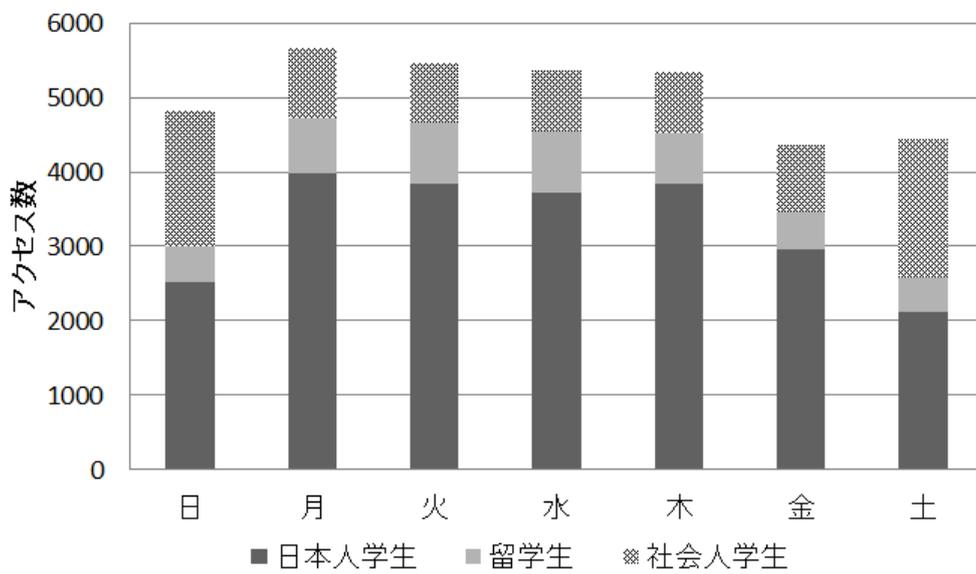


Figure 4.5 曜日毎のアクセス状況

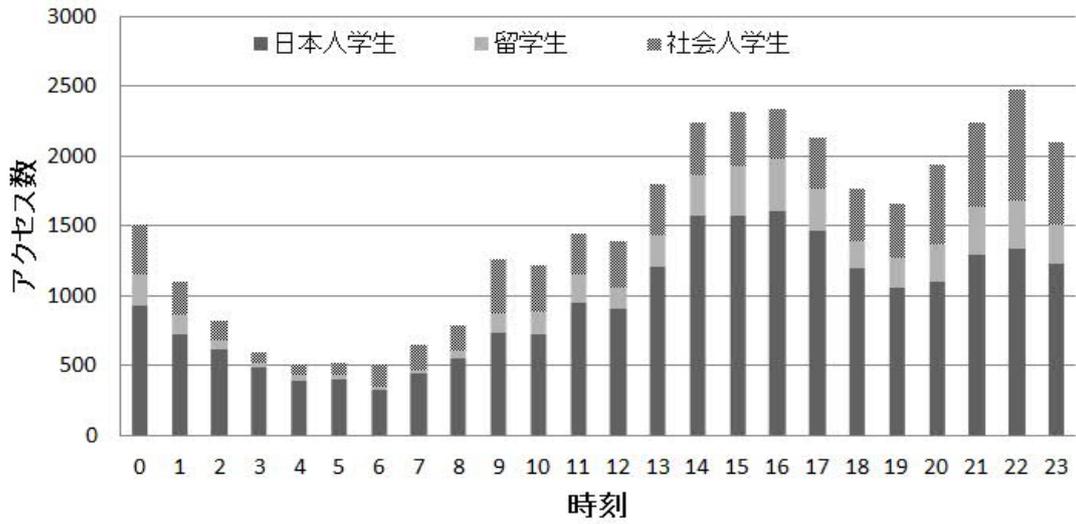


Figure 4.6 時刻毎のアクセス状況

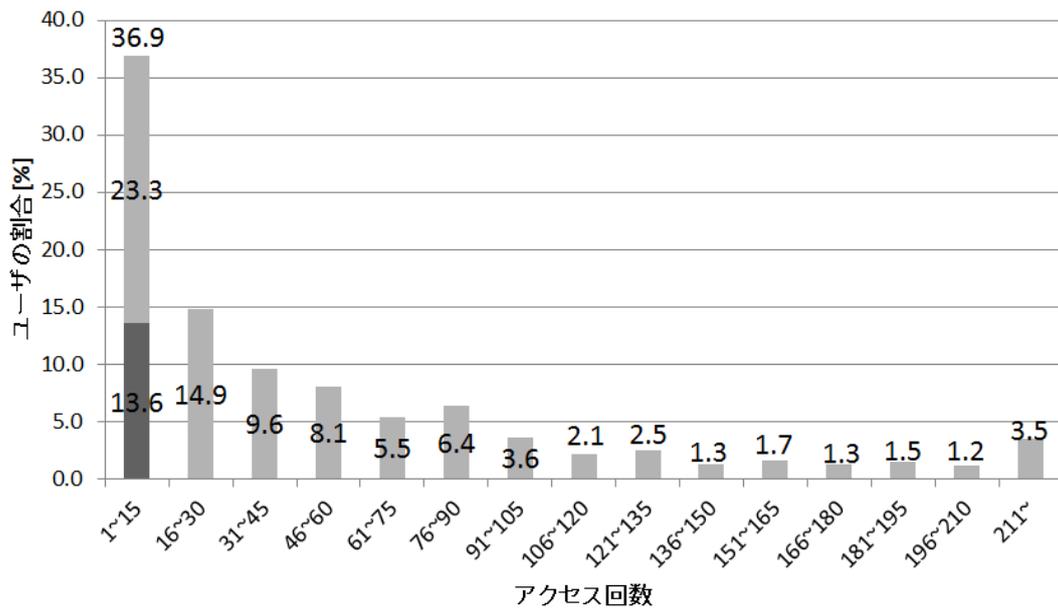


Figure 4.7 アクセス回数毎のユーザ分布

次に、システム要件(1)に関連して、対面講義の予復習として、講義アーカイブが学生にどのように活用されていたかを調査した。Figure 4.8 は、講義アーカイブのアクセス回数を学生毎に集計し、分類したものである。アクセス回数は、1つの講義の回数が15回であることから、これに基づき15回毎に区切っている。また、1～15回の学生のうち濃く表示した部分は、アーカイブへのアクセスが3回以下の学生の割合を示している。

この結果より、全体のうち36.9%の学生はアーカイブへのアクセス回数が15回以下で、このうち、3回以下のアクセスにとどまった学生は13.6%であった。一方で、76回以上アクセスしたヘビーユーザも約25%存在した。このことから、全ての学生ではないものの、講義アーカイブを講義の予復習に積極的に活用する学生が一定数存在することが伺える。

なお、本システムでは、アーカイブ内の視聴時間を記録していないため、学生が1つのアーカイブの内容全体を視聴したのか、視聴したいアーカイブを検索するために内容を部分的に視聴したのかなどの差は判断できない。この点は、今後のシステム更新に向けた課題である。

#### 4.5 学習プロセスの分析

引き続きシステム要件(1)に対応して、講義アーカイブが学生の予復習にどのように活用されているかを調査するために、講義アーカイブのアクセス時期に関する分析を行った。

まず、アーカイブへアクセスした日付を、該当する講義の日程と比較し、アクセス時期をTable 4.1の通りに分類した。次に、この分類を石川キャンパスに

所属する日本人学生と留学生のあわせて 536 名、33,260 件のアクセスログに適用し、さらに学生毎に集計した。東京サテライトに所属する社会人学生は、講義日程が土日を中心とした構成であり、石川キャンパスとは大幅に異なることから、同一条件で分析を行うことができないために除外した。このデータに、ウォード法を利用して階層クラスタリングを行った結果を表 Table 4.2 に示す。

学生は、主にアクセス回数の多さの観点から、少ない（15 回程度）、やや多い（50 回程度）、多い（75 回以上 200 回未満）、特に多い（200 回以上）、の 4 つのグループに分類した。そのうち、アクセス回数が多い、あるいは特に多い学生では、さらに細かくクラスタ分類ができ、アーカイブを活用する時期に特徴が見られた。

JAIST では講義の履修登録を開講 2 週間以内に行う必要がある。そのため、開講初期にアクセスする傾向のあるクラスタの学生は、アーカイブを主に受講の検討に利用していると考えられる。他のクラスタの学生は、試験対策や日常の復習に活用していると思われるが、その期間と学生の数には幾らかのばらつきが見られる。アクセス回数の分類に関わらず、中間試験の前後から期末試験までの間に活用する学生の数は、開講中全期間を通して活用する学生の数より少ない。

このことから本システムは、試験対策の時期に集中して利用する学生が多数を占めていたと言える。なお、講義の開講期以外においてアーカイブにアクセスしている学生は少数で、システム要件(3)の、自身が受講する講義以外の講義の視聴についてはやや課題が残った。

Table 4.1 アクセス時期の分類

分類	アクセス時期
講義初期	開講 1～2 週目
中間試験前	開講 3～4 週目
中間試験後	開講 5～6 週目
期末試験前	開講 7～8 週目
開講期外	上記以外

Table 4.2 クラスタリング結果

クラスタ番号	クラスタの特性		学生数	アクセスの平均値	アクセスの標準偏差
	アクセス回数	アクセス時期			
1	少ない	-	276	9.5	8.20
2	やや多い	-	126	41.7	12.1
3	多い	開講初期 2 週間	10	147.8	21.4
4		中間試験前～期末試験前	26	129.3	21.4
5		中間試験後～期末試験前	40	80.0	16.9
6		開講中全期間を通して活用	32	88.1	18.0
7		開講期以外	5	181.0	32.9
8	特に多い	開講初期 2 週間	2	355.5	35.5
9		中間試験前～期末試験前	15	212.6	31.5
10		開講期以外と中間試験前～期末試験前	4	426.8	36.6

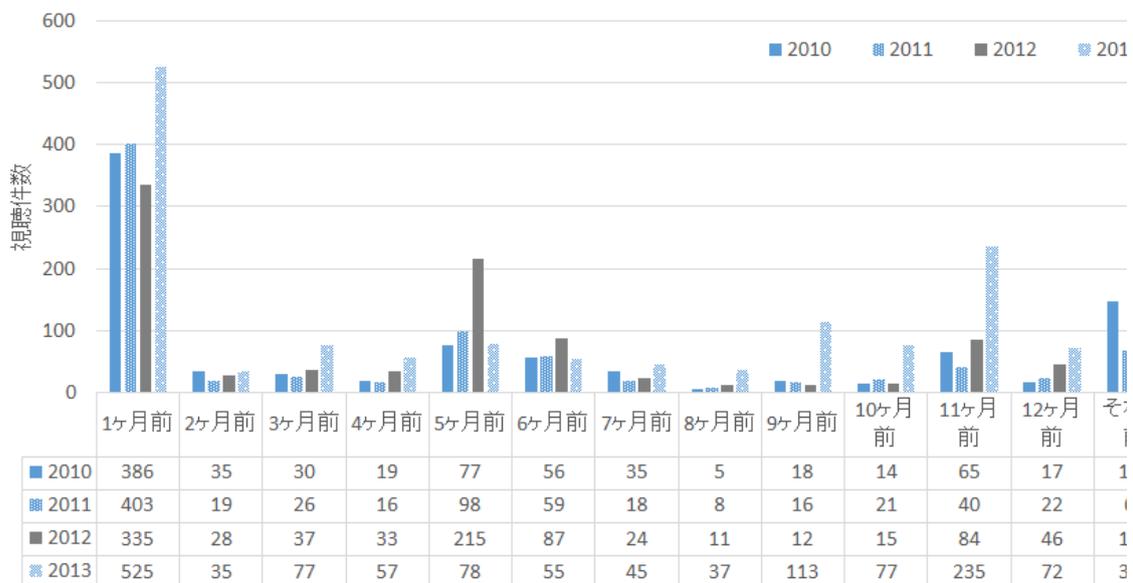


Figure 4.8 過去に収録されたアーカイブの視聴件数とその収録時期

#### 4.5.1 過去に収録されたアーカイブの視聴の特徴

前節の分析に関連して、過去に収録されたアーカイブについて、いつごろ収録されたものが多く視聴されているかを分析した。これは、システム要件 (3) に関連するものである。ここでの過去に収録されたアーカイブとは、視聴日より前に開講されていた講義アーカイブを指す。分析は、前節と同様に石川キャンパスに所属する学生のデータに対して行った。

Figure 4.9 は、過去に視聴されたアーカイブを、収録時期ごとにまとめたものである。収録時期は、アーカイブの視聴日からどの程度前に収録されたかで分類した。まず、1ヶ月前に収録されたアーカイブの視聴件数の割合が最も多かった。これは、直前まで受講していた講義の復習を目的とした視聴だと思われる。次に、5ヶ月前、6ヶ月前、11ヶ月前のアーカイブの視聴が多かった。JAIST では、基幹講義の多くが半年ごとに言語を変えて開講されている。このことから、この期間のアーカイブのうち、6ヶ月前に収録されたものは、受講を検討するための参考のため、もしくは受講に備えた予習のために視聴されていると思われる。また、5ヶ月前と11ヶ月前に収録されたものは、試験対策の復習に用いられている可能性がある。ただし、このデータのみでは、これが復習のために視聴されているのか、予習のために視聴されているのかは不明である。

また、少ないながらも、13ヶ月前より以前に収録されたアーカイブも視聴がなされている。学生には、過去に収録されたアーカイブを積極的に活用するようなプロモーションは行っていないことから、学生自身が判断して、過去のアーカイブを視聴していると思われる。このことから、過去のアーカイブを保存す

る意義はあると言えるだろう。また、13 ヶ月以上前に収録されたアーカイブの再生件数は、石川キャンパスに所属する学生のアクセス全体のおよそ 2.3%である。頻繁にアクセスが行われているわけではないので、前述した通り、アーカイブの保存先は転送速度が低速な NAS 上でも問題ないと思われる。

#### 4.5.2 講義の階層によるアクセス状況の特徴

次に、システム要件(3)に対応して、学生が受講していない講義のアーカイブへのアクセス状況を調査するために、講義の階層の違いによるアーカイブのアクセス時期の特徴を分析した。講義の階層とは、導入講義、基幹講義、専門講義、先端講義の 4 つである。この階層の違いによって、アーカイブがどのように活用されていたのかを調査した。

分析は、前節と同じく、石川キャンパスに所属する日本人学生及び留学生のアクセスを対象とした。アクセス時期の分類も、Table 4.1 と同様である。

Figure 4.10 に、講義の階層ごとにまとめた視聴時期別のアクセスの割合を示す。基幹講義については全期間でほぼ同じ割合であるが、導入講義では、講義の開講初期 2 週間のアクセスが多かった。一方、専門講義および先端講義では、講義の開講期以外の期間にアクセスが多かった。基幹講義は、JAIST の修了要件に大きく関わっているため、全期間で復習が行われることで平均的な割合となったことが考えられる。導入講義は、主に非情報系出身者の新入生を対象としていること、JAIST における講義の履修登録が開講から 2 週間以内であることから、学生が受講の必要性をアーカイブの視聴により検討していることが考えられる。専門講義及び先端講義は、博士前期課程の学生には修了要件でない

こと、JAISTにおいて先端講義および専門講義は毎年開講されていないことから、講義が開講されていない期間に自学自習を行う学生や、受講の検討にアーカイブを利用する学生がいるものと考えられる。

#### 4.5.3 収録言語の違いによるアクセス傾向

前節の分析に関連して、講義の開講期間外のアクセスに着目し、アーカイブの収録言語の違いによるアクセスの傾向を分析した。JAISTでは、基幹講義において、日本語による講義と英語による講義をそれぞれ年1回ずつ開講している。これは、留学生の多いJAISTならではの取り組みである。基本的には、日本人学生が多く入学する4月に合わせて前半の2期で日本語講義を開講し、留学生が多く入学する10月に合わせて後半の2期に英語講義を開講する。しかし、4月に入学する留学生や、前半に履修ができず英語講義を受講せざるを得ない日本人学生も一定数存在する。そこで、システム要件(1)に対応して、過去に収録されたアーカイブのうち、開講中の講義で使用される言語と異なるアーカイブが予復習に活用されているかを調査した。

分析は、石川キャンパスで開講された基幹講義のアーカイブへのアクセスを行った学生449名のアクセスログ16,316件を対象に行った。Table 4.3は、石川キャンパスに所属する学生の基幹講義のアーカイブへのアクセスを、開講中の講義の言語とアクセスしたアーカイブの言語の組み合わせで分類したものである。また、Figure 4.11はこれを講義の言語ごとに割合で示したものである。この結果、英語で開催される講義を受講した日本人学生のうち、同一講義の日本語で収録されたアーカイブへアクセスした学生は、全体の約1/3であった。他

のほとんどの学生は、講義で使われている言語と同一言語のアーカイブへアクセスしていた。学生には、異なる言語で収録された過去のアーカイブが保存されていることを積極的にアピールしていない。このことからこの 1/3 の学生は、自発的に過去に収録された異なる言語のアーカイブによって学習を行っていたと考えられる。このことは、筆者らが想定していたほどの頻度ではなかったが、一定の効果があったものと言える。また、アジア圏出身の留学生については、日本語を修得しようとする学生が積極的に日本語の講義を受講することがあるため、日本語学習を兼ねて復習に利用しているケースも考えられる。

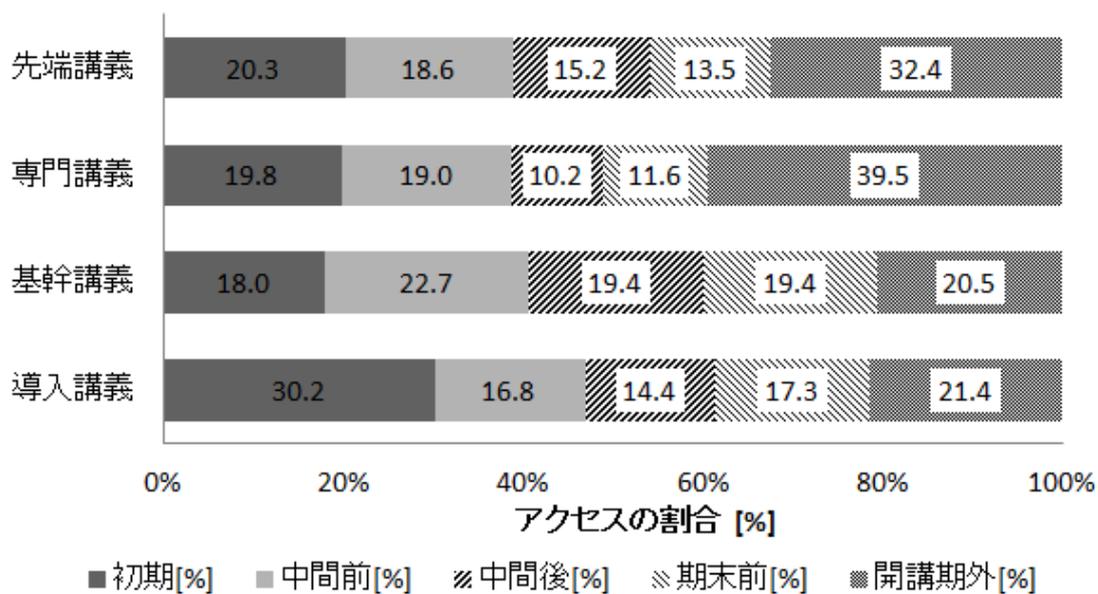


Figure 4.9 講義の階層ごとのアクセス時期の割合

Table 4.3 講義およびアーカイブの言語とアクセス数

講義言語 アーカイブ言語	日本語		英語	
	日本語	英語	英語	日本語
日本人のアクセス数	11761	32	1308	590
留学生のアクセス数	1371	32	1140	82

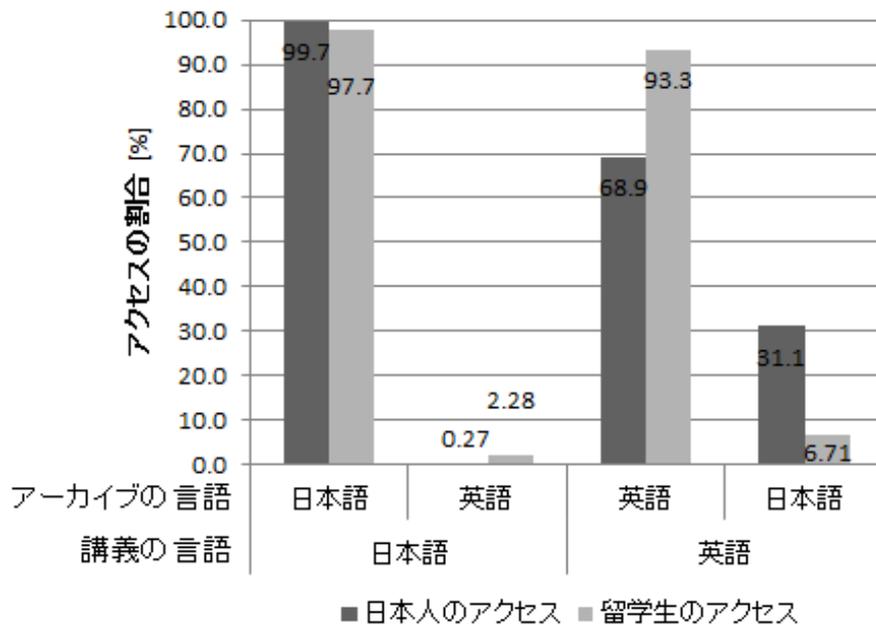


Figure 4.10 言語の違いによるアクセスの割合

#### 4.6 学生アンケートの分析と結果

2010年、2012年、2013年のそれぞれ最初の期の終了時に、情報科学研究科の博士前期課程1年生を対象に、講義アーカイブシステムの利便性に関するアンケート調査を実施した。Figure 4.12に、回答項目とアンケートの結果を示す。回答は0から5までの6段階評価で、0は「利用しなかった」、1は項目に「あてはまらない」、2は「あまりあてはまらない」、3は「どちらともいえない」、4は「ややあてはまる」、5は「あてはまる」、である。各項目の結果は、点数を回答人数で平均したものである。なお、回答人数は、2010年度が18名、2012年度が10名、2013年度が15名である。

アンケートの回答結果から、システム要件の充足度に関する検討を行った。システム要件(1)に対応した「講義内容の理解が深まった」という項目では、平均点が4点を超過しており、講義アーカイブの取り組みは学生から一定の評価を

得ていることが示唆された。また、システム要件(2)に対応した「何度も繰り返して受講できた」、「自分にあった時間・場所で受講できる」もほぼ 4 点であることから、学生は講義アーカイブを用いて、個人の空き時間に繰り返し復習を行ったことが伺えた。

一方で、機能面である「ホワイトボードの内容は読み取りやすかった」、「スライドの内容は読み取りやすかった」の項目は評価が特に低かった。また、「視聴したいビデオ講義を見つけやすかった」という項目も、最大の点数が 2013 年度の 3.8 点であり、改善の余地が見られた。

「動画掲示板は学習に役に立った」という項目は、年々点数が上昇しているものの、3 点を超えることはなかった。これが機能の利便性の低さによるものか、その他の利用しづらい問題があるのかは、アンケートの結果のみでは議論できない。さらなる検討には、追加の調査が必要である。

なお、「講義内容の理解が深まった」の項目が 4 点を超えていることから、学生はアーカイブを対面講義の補完的教材として効果的に利用できていると考えられる。また、「これからも講義アーカイブを利用したい」の項目は 3 年とも 4 点を超える結果を得ており、講義アーカイブシステムは学生におおむね好評であることが分かる。一方で、「講義ビデオには全体的に満足している」は、最高で 3.4 点であった。このことから本システムは、単体の学習環境として改善点が存在することが伺える。例えば、欠席時の代替手段としてアーカイブを活用する場合には、アーカイブに含まれるスライドやホワイトボードの内容も、学習にとって重要な要素となる。アンケートの結果では、ホワイトボードの内容が読み取りづらく、スライドの内容も読み取りやすさは不十分であり、改善

を検討する必要がある。

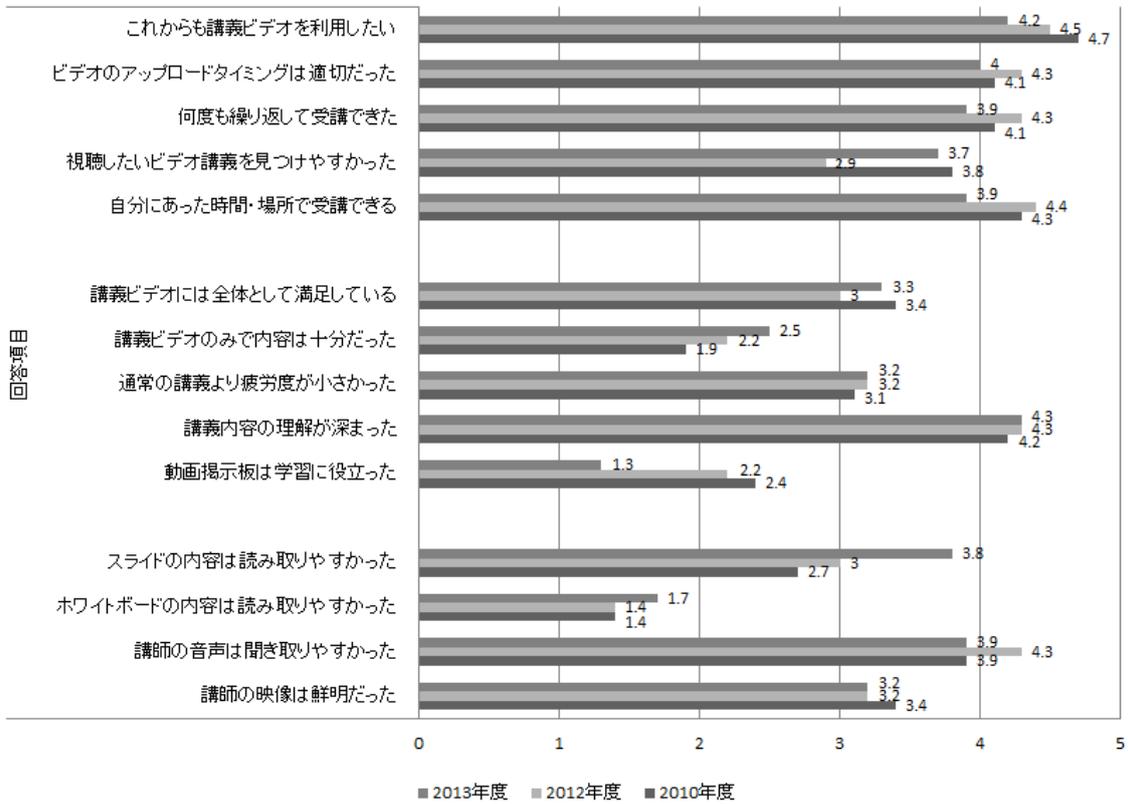


Figure 4.12 学生アンケートの結果

#### 4.7 考察

2010年からの4年間の講義アーカイブの運用実績の分析結果から、日本人学生、留学生、社会人学生によって多少の違いはあるものの、1/4ほどの学生を中心に講義アーカイブが積極的に活用されていることがわかった。特に選択必修の位置付けとなっている基幹講義のアーカイブは、定期試験対策や日常の予復習に利用されている様子が伺えた。これまでも、学生が試験勉強にアーカイブを積極的に活用することが報告されており[36]、講義アーカイブの典型的な利用スタイルの一つといえる。

これに関連して、講義の開講期以外にアーカイブを数多く視聴するクラスターの学生数は少ないという結果となった。ただし、講義の階層ごとにアーカイブの再生時期を分析すると、専門性の高い専門講義や先端講義については、該当する講義の開講期以外に視聴される傾向があったことから、少ないながらも学生の興味に応じた学習機会の提供の一端を担っているとも言えるだろう。

開講期以外の視聴を活性化させるには、アーカイブの探しやすさが重要であると思われる。先に述べたアンケートの結果からも、この点は一つの課題として挙げられる。現在のシステムでは、学生はシステムに収録されている全てのアーカイブを視聴することが出来る。しかし、個々のアーカイブの収録内容については、講義名と収録日しか記述されていない。これは、アーカイブの収録作業と管理作業を自動化しているためである。そのため、講義の内容から希望のアーカイブを検索することが困難である。アーカイブのメタデータとして講義内容などを具体的に提示するよう改善を行うことで、講義を受講していない学生にもアーカイブを利用しやすい環境となり、開講期間外の視聴を促せる可

能性がある。これについての関連研究としては、講義で使用したスライドの情報からメタデータを作成する方法[37]や、講義アーカイブの音声をドキュメント化し LMS で活用する試み[38][39]が存在する。これらの技術を参考に、講義内容を何らかの形でアーカイブのメタデータとして付与し、学生に提示することで、学生のアーカイブ検索に必要な労力を減らし、改善することを検討したい。

最後に、アンケートで評価の低かったアーカイブの品質について述べる。本講義アーカイブシステムでは、HD 解像度(720p)の講義室前方映像を利用しているが、学生アンケートからは、特にホワイトボードの内容が読み取りづらいというフィードバックが得られた。本学の講義アーカイブでは、省力化を目的に、ホワイトボードの映像を 1 台のカメラの固定された画角で記録している。そのため、ホワイトボードに書かれる文字の大きさや、窓から講義室内に差し込む光量によってはホワイトボードの描画内容が読みづらくなるケースが見られた。また、画面の構成上ホワイトボードの映像が主体となっていることから、スライドの映像は小さくなってしまっている。スライドの画面を大きくすると、ホワイトボードの映像が小さくなってしまうことから、この点についても画面の構成や配信映像の解像度など、幅広い検討が必要である。また、他の改善方法として、カメラワークを自動化する方法[40]や複数台のカメラを用いて板書を保存する方法[41]、講師がカメラワークを行える簡易な操作パネルを提供する方法(17)が提案されている。これらの技術も合わせて検討することにより、より高品質なアーカイブを収録することが出来ると考えられる。

#### 4.8 本章のまとめ

本章では、対面講義の補完教材としての講義アーカイブシステムに関して、本学におけるシステム要件を整理し、2010年度より運用を行ってきたシステムの概要及び学生の利用スタイルの調査結果を報告した。

システム要件(1)に対しては、アーカイブへのアクセスが試験期間中に増加していたことから、補完的学習環境として機能しているといえる。システム要件(2)に対しては、学生の属性ごとに利用時間に特徴があるものの、対面講義以外の時間帯に非同期に学習するための環境の提供ができたといえる。システム要件(3)に対しては、講義の階層ごとのアクセス状況から、専門性の高い講義を中心に開講期以外のアクセスがあった。このため、学生の興味に応じたアーカイブの提供に活用できると考えられる。

一方で、システムの課題も見つかっている。利便性に関するアンケートからは、映像に含まれるホワイトボードの内容が読みづらいこと、視聴したいアーカイブへのアクセス方法に問題があることなどが挙げられた。さらに、利用スタイルの調査からは、過去のアーカイブの活用や、開講期以外におけるアーカイブの活用が十分にされているとは言えなかった。

以上より、いくつかの課題は残るものの、講義アーカイブシステムは、対面講義の補完的学習環境として活用されていることを確認できた。現時点では学務システムと連動していないため、履修状況や学習効果との関連性についての議論は十分にはできていない。しかし、アンケートの結果からも、今後も利用したい旨の期待感が示されている。そのためにも、次回のシステム更新で、本稿で述べた課題を改善・解決し、持続可能な補完的学習環境として発展できる

可能性が示唆された。

## 第5章

### 講義レベルの学習プロセスの分析

続いて本章では、学習プロセスの粒度として講義 1 コマあたりの学習活動、特にアクティブラーニングの過程を対象とした分析を行った。この分析では、粒度が講義 1 コマあたりとなることから、収集する学習プロセスデータを画面の変化とし、これを収集するシステムの開発と、それを用いたデータ分析を行った。この際、画面の変化は学習者の行動の結果変化するものであり、人間の行動データ的一种であることから、厳密な時間の固定による分析ではなく、人間の行動のあいまいさを吸収するために、データの位相などに配慮した分析を行った。小規模な予備実験と 1 クラス規模の実験の 2 種類を行った。

#### 5.1 提案手法

このレベルの学習プロセスの改善を検討するにあたって注目すべきポイントは、学習プロセスを構成する個々の学習者の学習活動の発生の頻度が高く、データ数が多くなることである。そこで提案手法として、ID を実施する際に教員が注目すべき改善点をより強調するために、LA によるデータ主導の分析を行い学習者群のクラスタリングを実施することで特徴を抽出し、それを教員に提示することで効果的な ID の実施の促進を目指す。本研究ではこれを実現するために、学習に利用するアプリケーションに依存しない形で学習プロセスを収集できる PC 画面の変化を用いた。

## 5.2 分析の対象と仮説

本分析の対象は、大学院における講義 1 コマ中に実施される、PC を用いたアクティブラーニングをベースとする課題への取り組みである。課題そのものに明確な正解は設定されておらず、課題を取り組んだ結果としての評点ではなく、学習者群の行動を学習プロセスとして分析しクラスタリングすることで、課題に対する学習活動の進捗状況として教員が注目すべき点を強調できるということを仮定している。

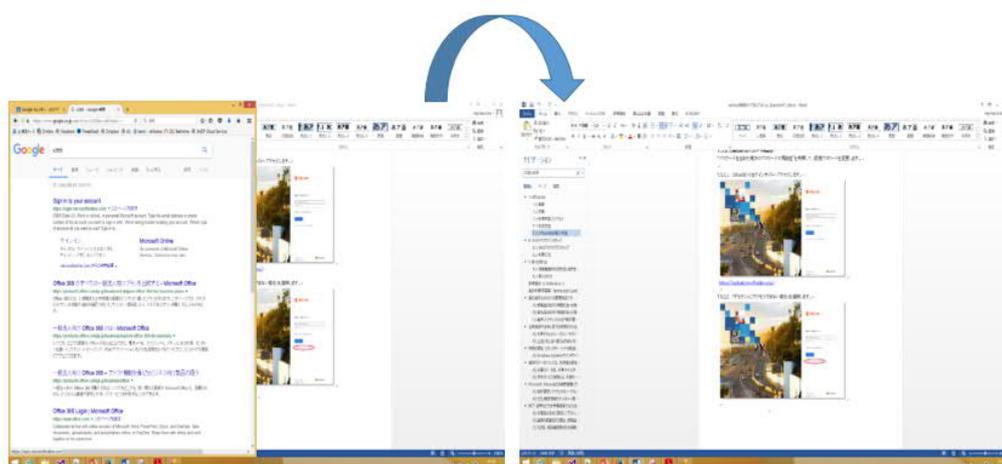
## 5.3 収集するデータの概要

実験を実施した JAIST においては、学生の PC は基本的に大学からマイクロソフト社製の Surface が学習用端末として貸与されている。そのため、故障などの例外的な理由を除いて、学生が講義に用いる PC のスペックはほぼすべての学生で同一である。本分析ではその特徴を活かし、まず、学習者の学習プロセスを画面の変化として捉えることを試みた。PC を用いたアクティブラーニングでは、学習者は PC 上の画面に表示されるオブジェクトを操作しながら学習プロセスが進む。即ち、学習プロセスは PC 画面の変化として現れると仮定し、これを収集することとした。

### 5.3.1 分析を行うデータの定義

本分析では、画面の変化を反映するデータとして「画面の変化率」を収集した。これにタイムスタンプをつけることにより時系列データとした。Figure 5.1

に示す通り画面の変化率とは、画面上にあるピクセルの変化の割合である。画面変化をピクセル変化の割合で示すことで、画面上のオブジェクトの操作についてアプリケーション毎のデータの定義と構造化が必要ないこと、個人の好みで変更されているタスクバーや画面の表示色の差が吸収できること、それに伴いデータの次元が1つで済むことがメリットといえる。このようにして取得できる学習者の学習行動を学習プロセスと解釈し、その時系列データを利用したクラスタリングを行う。



画面上のピクセルのうち、48% (99,532,800pixel) が変化した。  
※ ブラウザの部分でも、背景が白色の部分は一部変化していない

Figure5.1 画面の変化率のイメージ

### 5.3.2 データの収集

研究対象となるデータの収集は、Windows のネイティブアプリケーションとして構築した。学習プロセスをデータとして収集する際、そのプロセスが学習

者の学習活動を妨げる事があるとはならない。そのため、軽量な動作で多くの学習者から同時にデータが収集可能なシステムである必要がある。そこで、ネイティブアプリケーションと Web サーバを活用したサーバ・クライアント型のデータ収集システムを開発した。

Figure 5.2 は開発したシステムの構成図である。多くのクライアントからデータを受信するサーバ側は、安定動作に実績のある LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) 環境で開発し、クライアント側のアプリケーションは Windows ネイティブアプリとして C#で開発した。Figure 5.3 は、システムの処理内容とデータの流れを表したものである。画面の変化率は、学習者の PC 画面をすべてキャプチャし、負荷軽減のためにグレースケール処理を行って算出する。画面の変化率とグレースケール処理前の画像データは共に暗号化された HTTPS プロトコルでサーバへ送信され、受信した Web サーバによってデータが分離された後、SQL サーバとファイルサーバにそれぞれ保存される。本システムでは、学習者側アプリケーションの動作確認として、JAIST において当時貸与されていた PC をモデルに、Core i5 2.4GHz 相当の CPU と 4GB のメモリを搭載した Windows 8 環境において検証を行った。その結果、約 50 ミリ秒で画面の変化率が算出でき、データの送信が完了することを確認した。また、サーバは 20 台の PC と通信を実施し、データロストなく受信および保存ができたことを確認した。

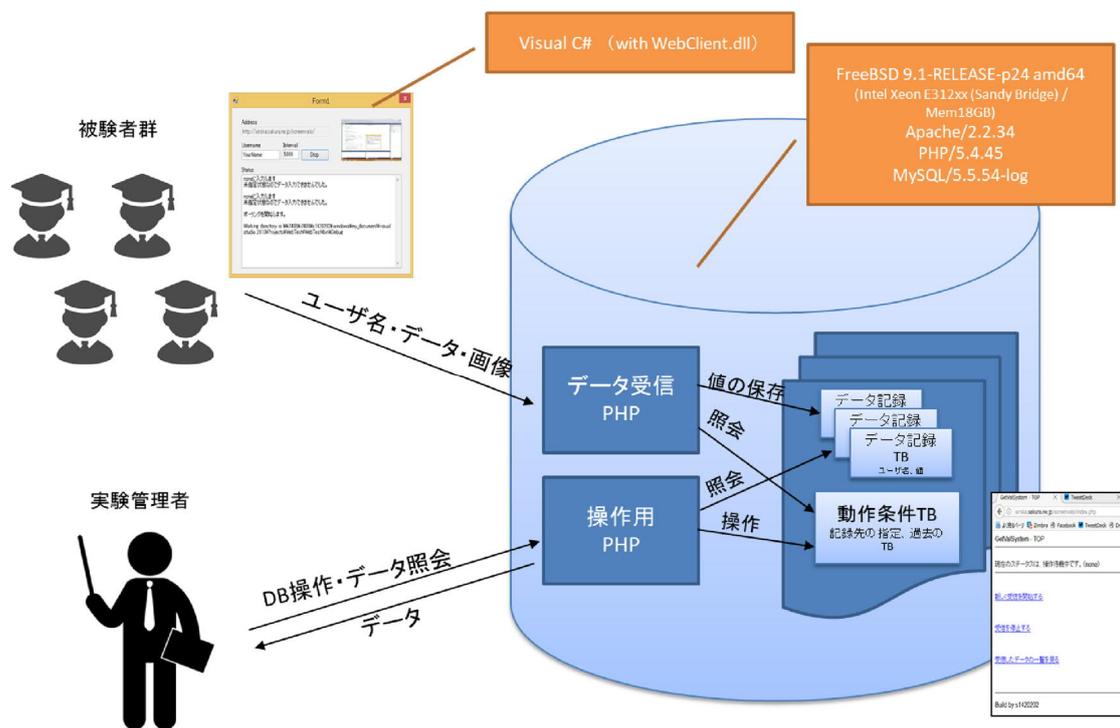


Figure 5.2 実験システムの構成

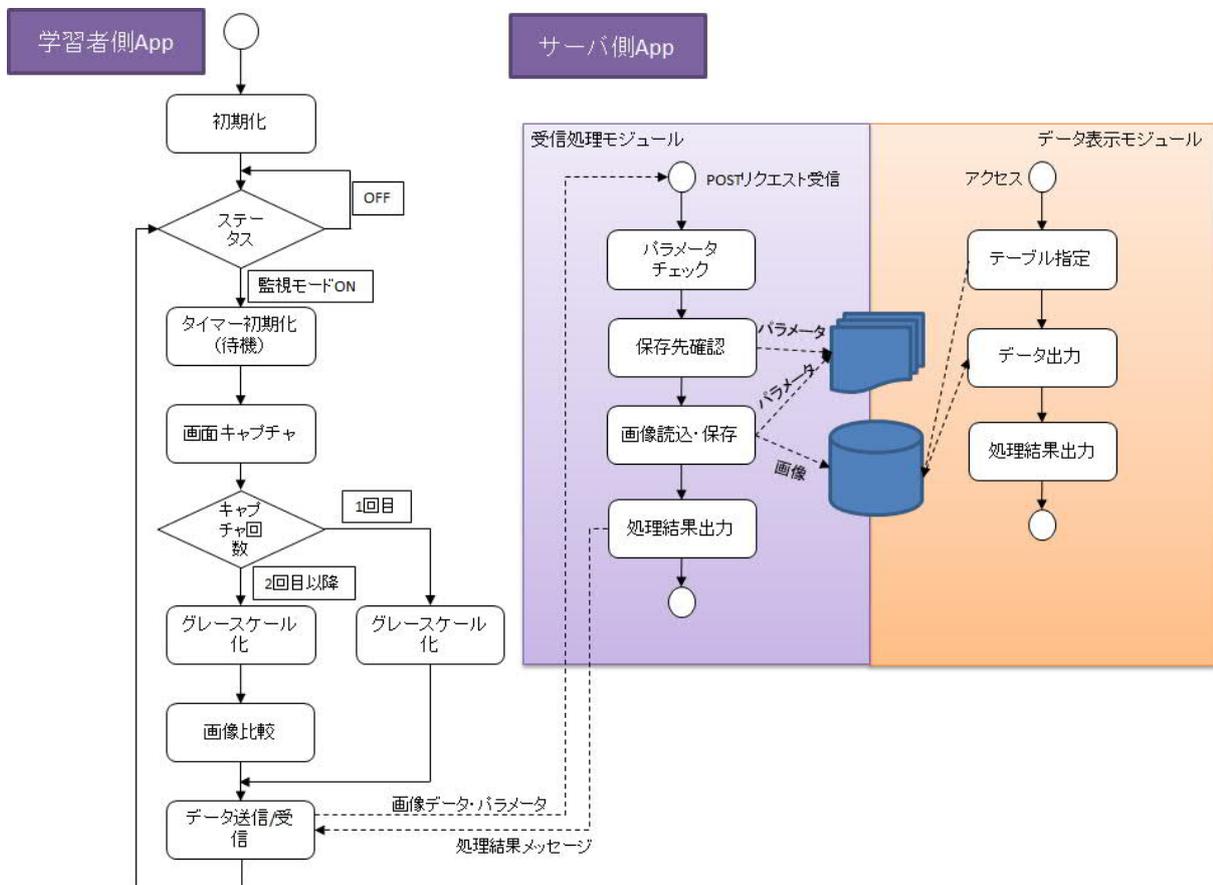


Figure 5.3 システムの処理内容とデータの流れ

## 5.4 予備実験

本実験を計画するにあたって、提案手法が学習プロセス分析に適用可能かどうかを2つの予備実験で検証した。

### 5.4.1 予備実験の概要

予備実験は、本学の講義「I448 遠隔教育システム工学」のオフィスアワーを活用して実施した。具体的には、「自身の思い描く遠隔授業の内容」をテーマに Mindmap を記述する課題である。Mindmap は箇条書きしたアイデアを図的に整理する手法であり、文章よりも表現が容易で画面の変化が活発になると想定される。

まず、1つ目の予備実験として、講義の受講者を対象に50分間でゼロから Mindmap を書きあげる課題を行った。ただし、学習者を50分間そのまま放置するのではなく、通常の講義にも見られるように時間を区切って描画する内容を指定することで、学習者の自由度を一定程度制限した。このときの Mindmap の具体的な描画課題は、「自分が授業で教えたいテーマを題材にマインドマップ1枚を作成する」である。全体の流れを図に示す。

次に、同じ被験者に対し、1つ目の予備実験において書き上げた Mindmap を15分間でブラッシュアップさせる2つ目の予備実験を実施した。前者は比較的長時間観察することにより、画面の変化率が Mindmap 作成時の特徴的な活動を抽出することができるかどうかを調査することを目的とし、後者は短時間の活動の中で時系列に基づくクラスタリングがどのように機能するかを評価するためのものであった。

どちらの予備実験においても、画面の変化率は 20 秒毎に観測を行い、算出することとした。観測の間隔は、Mindmap に記入される 1 つの項目が 10~20 文字程度の箇条書きである点から、1 項目がおおよそ 20 秒程度で入力されるとの仮定の下で決定した。

#### 5.4.2 予備実験 1 における特徴的な成分

予備実験 1 では、システムの不備により、同意を得た学習者のうち、正しく画面の変化率が得られたデータが学習者 2 名分であった。この 2 名の学習者のデータを Figure5.4 に示す。

グラフから見える特徴は次の通りである。破線で描画した User200 は、全区間にわたってある程度作業しており、画面の変化がない時間帯が短かった学習者である。実線で描画した User18 は、一定時間画面の変化がみられず、最長で 4 分ほど変化率が 0% の区間が見られる。

User200 について細かく着目すると、全区間で 5~10% の変化率があまり間を開けずに続いているが、時折 80% に達するほどの大きな画面の変化がある。User18 では、画面の変化率がおおよそ 30% 程度の変化が数カ所で見られた。

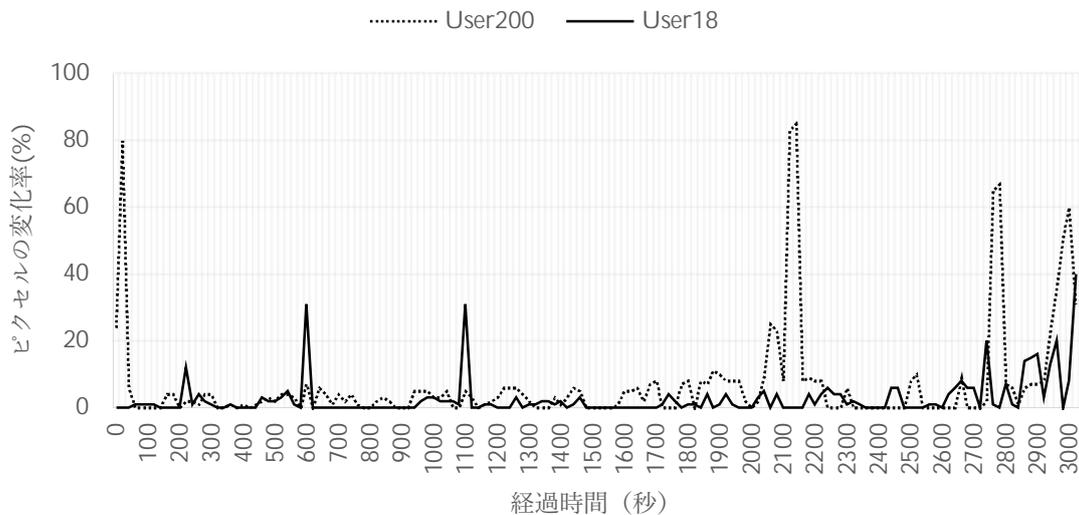


Figure 5.4 学習者 2 名の画面の変化率

#### 5.4.3 画面の変化率と学習者の行動

画面の変化率と実際の学習者の挙動を照らし合わせると、次の行動が観測された。

- 画面の変化率が 5～10% の場合は、文字を入力しているか、消去している場合であった。画面の観測間隔が 20 秒の場合、文字入力だけで 12% の変化を超えることはなかった。参考までに、12pt のフォントで 15 文字の項目を作成した場合、変化率はおよそ 6% であった。
- 画面の変化率が 20%～40% の場合は、画面全体がスクロールされている。本予備実験では、すべての例で画面がスクロールが観測された。
- 画面の変化率が 80% 程度の場合は、ウィンドウを切り替えている動作であった。この時の学習者には、参考資料を確認している動作が見られた。ウィンドウを切り替え、参考資料を確認し、その後作業中のウィンドウに戻

るという動作をした場合、80%程度の変化率が連続して2回観測された。

参考資料の確認中に画面をスクロールした場合は、それに応じて40%程度の変化率も見られた。

#### 5.4.4 学習者のクラスタリングと動的時間伸縮法

予備実験2では、同意を得た8名の学習者のデータを用いて分析を行った。8名の画面の変化率をグラフにしたものを図4に示す。淡々と入力しMindmapを書き上げるケース、参考資料を確認しつつMindmapを書き上げるケースなどが確認できた。

本分析では、時系列のクラスタリング手法についていくつかの手法を調査した結果、動的時間伸縮法 (Dynamic Time Warping : DTW)[42]を適用することとした。DTWは時系列の各点の距離を総当りで比較した上で、系列同士の距離が最短となるパスを見つける手法である。これがDTW距離と呼ばれる。DTWでは各系列の位相差を吸収するので、位相差のある類似した動きをクラスタリングすることに適性がある。その性質から、人間の行動に関するデータ、例えば音声の分析や歩行データの分析に用いられてきた[43]。

本研究で対象としている学習プロセスも人間の行動データの1種であると言える。特にアクティブラーニングを対象とする場合は、学習者間の同時刻の学習活動を厳密に分析するよりも、多少時刻がずれていたとしても近い動作の傾向を見出すことが重要である。これらのことから、本研究ではDTWをクラスタリングのための学習者間の距離を定義する指標として着目した。

DTWでは、波形同士のアライメントを次のように表現する。波形 $x$ の時刻

$t = w^x$ と波形 $y$ の時刻 $t = w^y$ の対応を $w = (w^x, w^y)$ とし、アライメント全体を $k$ するとき、この対応関係の集合 $W$ は次のように表す。

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$$

この時、 $w_k = (w_k^x, w_k^y)$ とおくと、 $W$ は次の条件を満たす。

$$w_{k-1}^x - w_k^x \leq 1 \text{ かつ } w_{k-1}^y - w_k^y \leq 1$$

$$w_{k-1}^x - w_k^x \geq 0 \text{ かつ } w_{k-1}^y - w_k^y \geq 0$$

$$w_1 = (1, 1) \text{ かつ } w_k = (T, T)$$

これは、アライメントが時間的に連続で、過去に遡らないことを意味する。

このとき、波形同士の距離は以下の関数で表現される。

$$DTW(x, y) = \min_K \sum_K^k |x_{w_k^x} - y_{w_k^y}|$$

以上から、DTWでは波形の類似性を評価する際に位相差を吸収できることがわかる。

また、DTWを適用する際には位相差に関する制限も必要である。DTWは位相差が異なっても同様の傾向を持つ時系列データのクラスタリングを行う。そのため、極めて離れた位相のデータをクラスタリングしないよう、bandという概念で制限を設ける必要がある。この概念図をFigure5.5に示す。

代表的なbandとしては、Sacoe-chiba bandとitakura bandが存在する[44]。そ

それぞれの適用イメージを Figure 5.6, 5.7 に示す。Sacoe-chiba band は単純な band で、DTW の距離波形について全区間における振幅を一定に制限し、相対的に遠い点を取らないよう制限する band である。一方 itakura band は、DTW の距離波形について中央成分が最も大きな成分となる band である。これは、音声などの連続データを周波数分析する際に、スペクトル成分に配慮した設計となっている。

本実験における学習プロセスのデータは周波数成分を持つものではないため、スペクトル分析を行う必要がないことから、離れた位相の制限を行うことができる、Sacoe-chiba band を採用する。

DTW の距離行列に基づいて画面の変化率の時系列データをクラスタリングしデンドログラムに描画した結果、Figure 5.8 および 5.9 となった。ここでは、Sacoe-chiba band の有用性についても議論する。

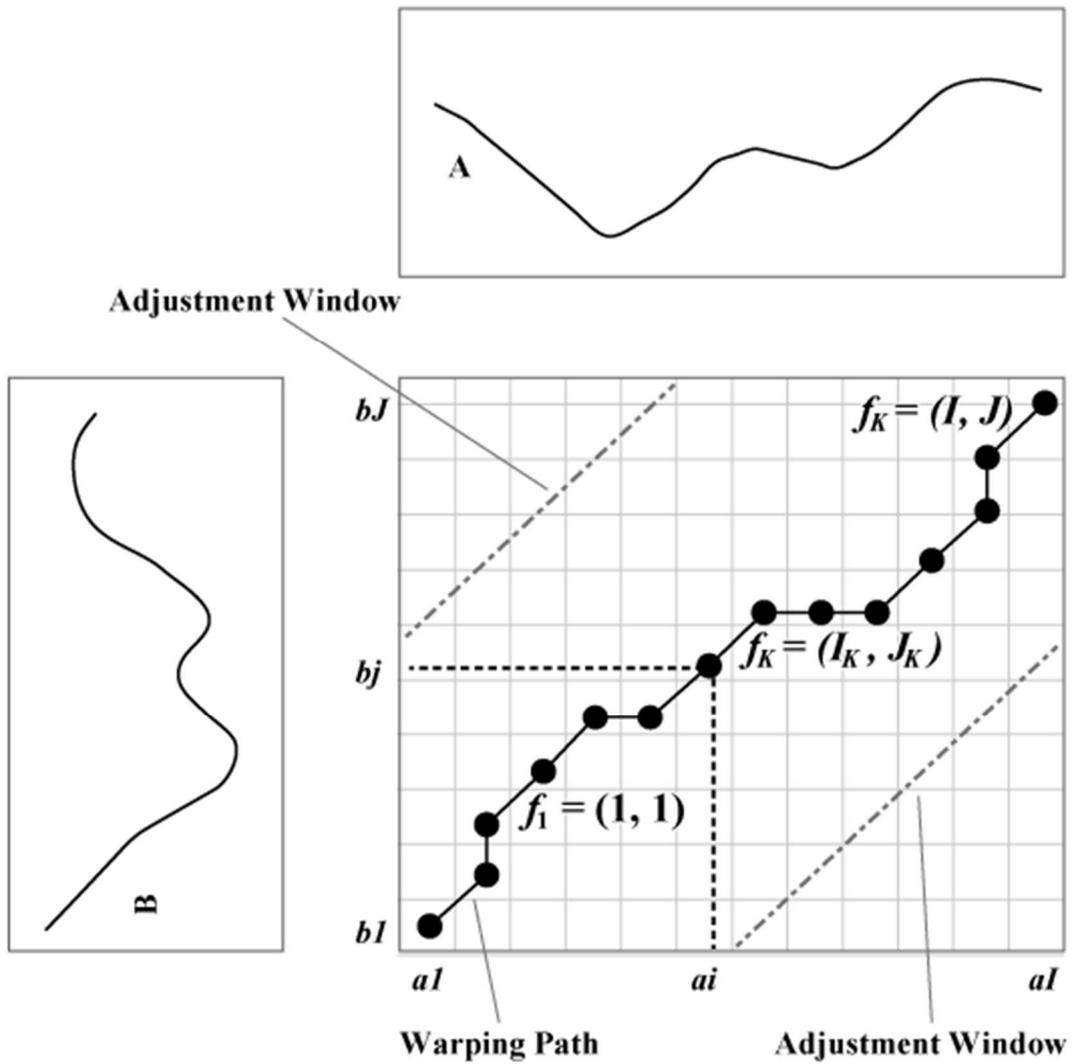


Figure 5.5 動的時間伸縮法における Warning Path

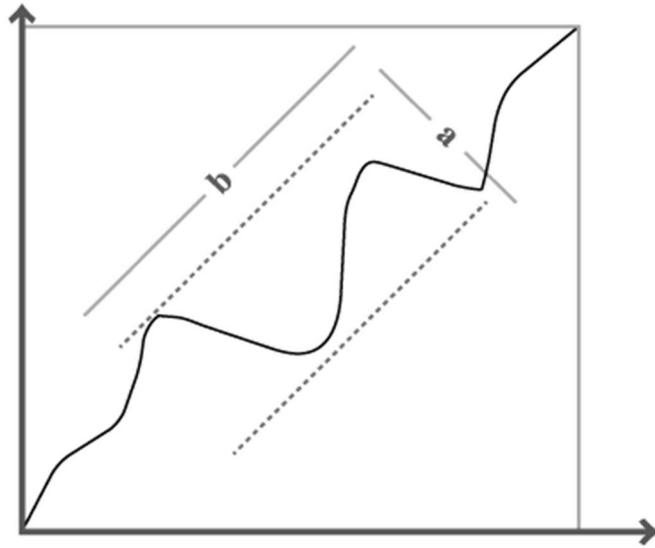


Figure 5.6 Saco-chiba band のイメージ

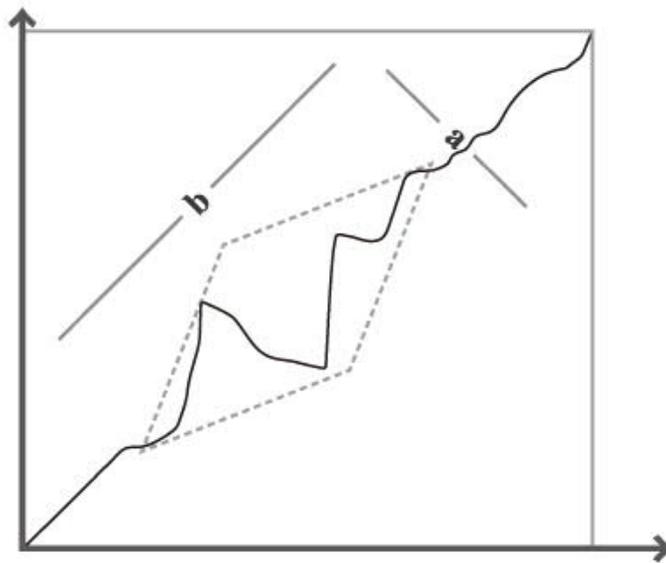


Figure 5.7 itakura band のイメージ

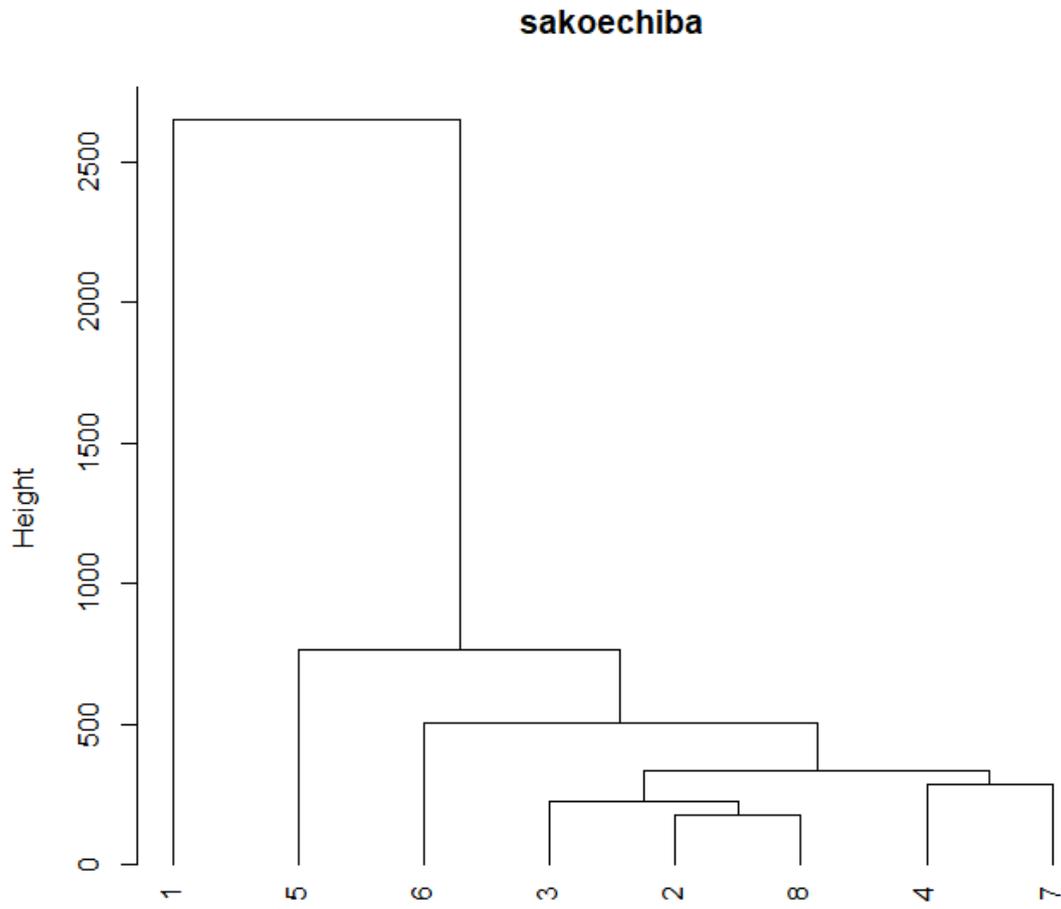


Figure 5.8 Sakoe-chiba band を用いた DTW 距離行列のクラスタリング結果

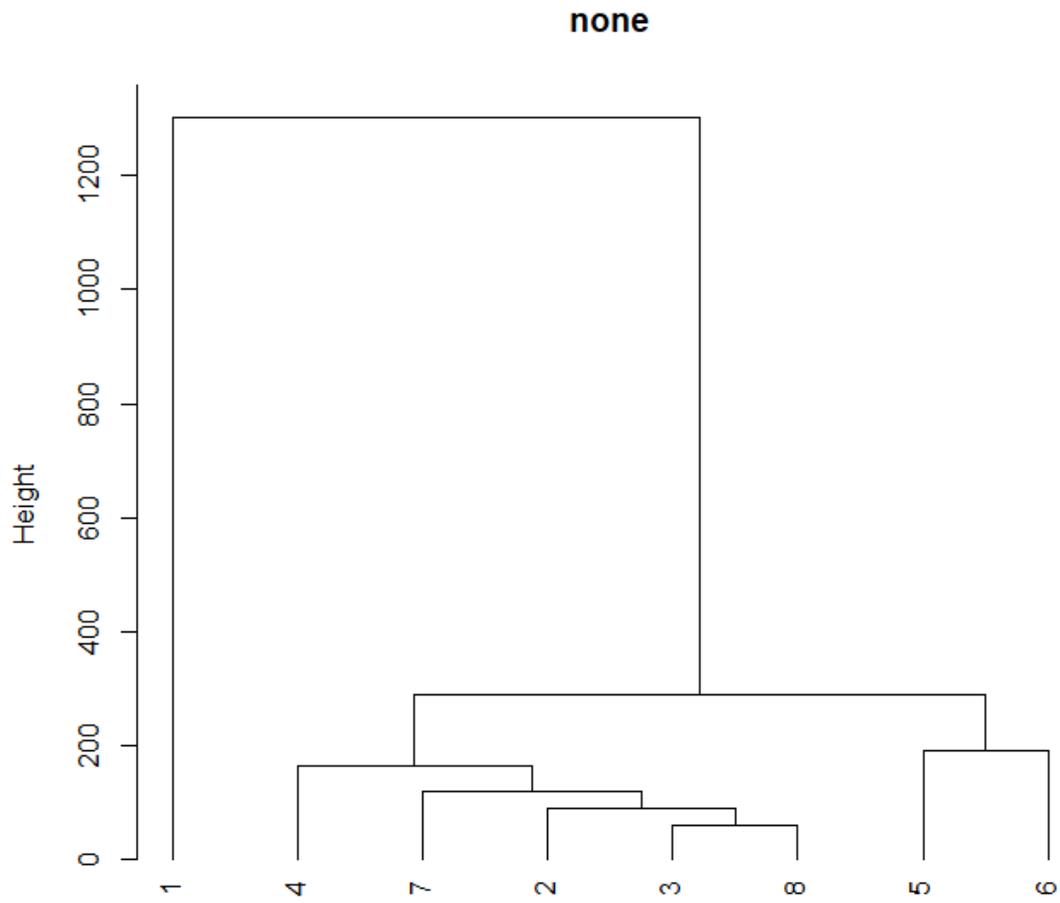


Figure 5.9 bandを適用せずに求めた DTW 距離行列のクラスタリング結果

被験者 1 は、Figure 5.10 から読み取れるとおり、しばしばウィンドウの切り替えが見られた被験者である。80%程度の変化率が連続で観測されているが、これはウィンドウの切り替えが他の学習者よりも多く行われたためである。この点が他の学習者と大きく異なったため、被験者 1 のクラスタは被験者 1 単独となった。

次に、被験者 2, 3, 4, 7, 8 のクラスタである。このクラスタの特徴としては、作業時間中に 16%を超えるような大きな変化が観測されなかった点が挙げられる。途中で 0%の変化率が何秒間観測されたかでクラスタ内でさらに分類されており、Figure 5.9 の左側の被験者 4 は常に 5~10%の変化率が観測されており、右側の被験者 7 は途中、最長で 3 分ほどの長い変化率 0%の区間が観測された。

次にユーザ 5, 6 の扱いである。この 2 名の被験者の特徴は、100 秒以上手が止まっていることと、80%程度の大きな変化率が複数回観測されたことである。ただし、被験者 5 は作業開始から 6 分経過した後は一度も変化率が 0%から変化しなかったため、この時点で Mindmap が完成し、作業をする必要がなかった可能性が考えられる。

この 2 つの被験者の扱いが、band なし（図の none のクラスタリング）と Sacoe-chiba band で異なっている。この 2 名の被験者は、先に述べた共通する特徴を持っているが、その発生時期が 5 分以上ずれている。Sacoe-chiba band では発生時期が 5 分未満の被験者群はそれぞれまとめられ、5 分以上離れた被験者がクラスタの中で別のものとして認識されている。

これらのことから、今回のクラスタリングの結果では、値の変化の大きさが

最もクラスタリングに影響し、それに次いでその区間の回数や長さが影響していることが分かる。グラフの変化と学習者の行動からは、ウィンドウの切り替え回数が特に影響していると考えられる。また、Saco-chiba bandを適用することで、位相の離れすぎた被験者を別のものとして分類することができ、これは本研究の目的を達成する上で効果的な制約であることがわかった。

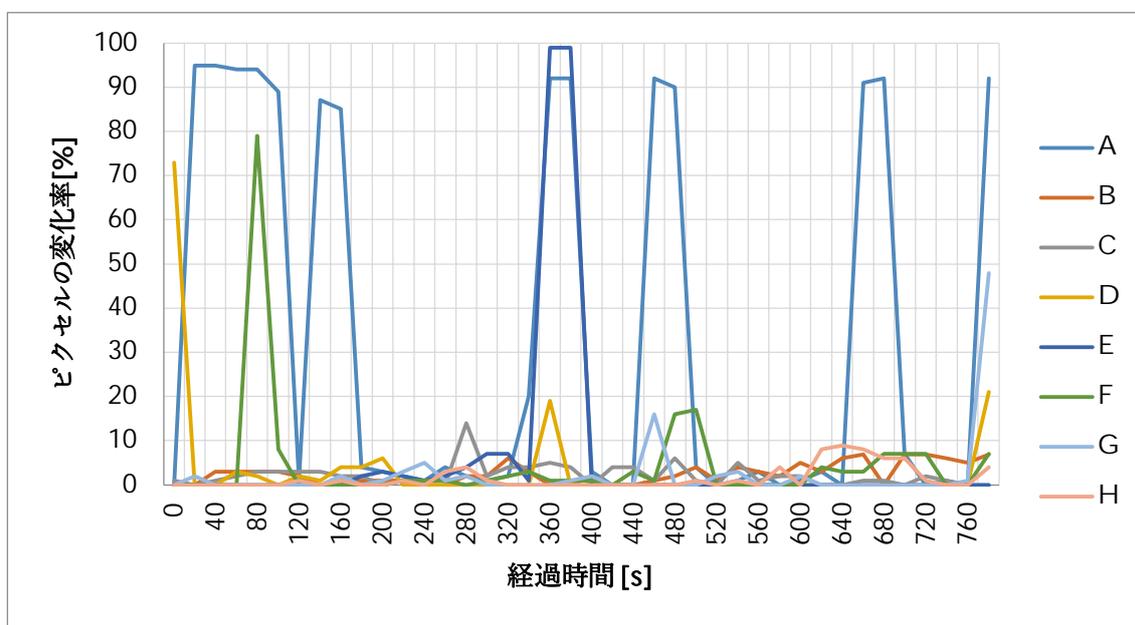


Figure 5.10 学習者 8 名の画面の変化率

## 5.5 本実験

以上の結果から、画面の変化率のデータを学習プロセスの分析に用いること、DTW をクラスタリングの要素として利用することは有用であることがわかった。そこで本実験として、32 人の被験者を対象としてデータ収集と分析を行っ

た.

#### 5.5.1 本実験の対象

本実験では，提案手法に沿って，講義 1 コマ中のアクティブラーニングの取組を分析対象とする．対象は，本学の講義「機械学習」のオフィスアワー参加者で，そのうち同意の取れた 32 名である．

#### 5.5.2 本実験のプロセス

本実験では，講義「機械学習」のオフィスアワーを利用して，20 分間の Mindmap 描画課題を行い，その画面変化率のデータを収集した．これにより，画面の切り替えと文字入力の変化に着目した分析を行った．

#### 5.5.3 実験結果

DTW を用いたクラスタリングを Figure5.11 に示す．予備実験と同様に，Sacoe-chiba band を適用し，クラスタリングにはユークリッド距離を用いた．Figure5.12 は，データから読み取った傾向を大まかに 4 つに分類し，クラスタリングに反映したものである．本分析では，課題取組の最初と最後が活性したクラスタ，それに加えて中間部分で活性が見られたクラスタ，常に活性が見られたクラスタ，その他，特徴がつかめなかったクラスタに分類ができた．これらのクラスタの内部では，活性度の高さでさらにクラスタリングがされており，変化のなかった時間の長さで Height が異なっている．

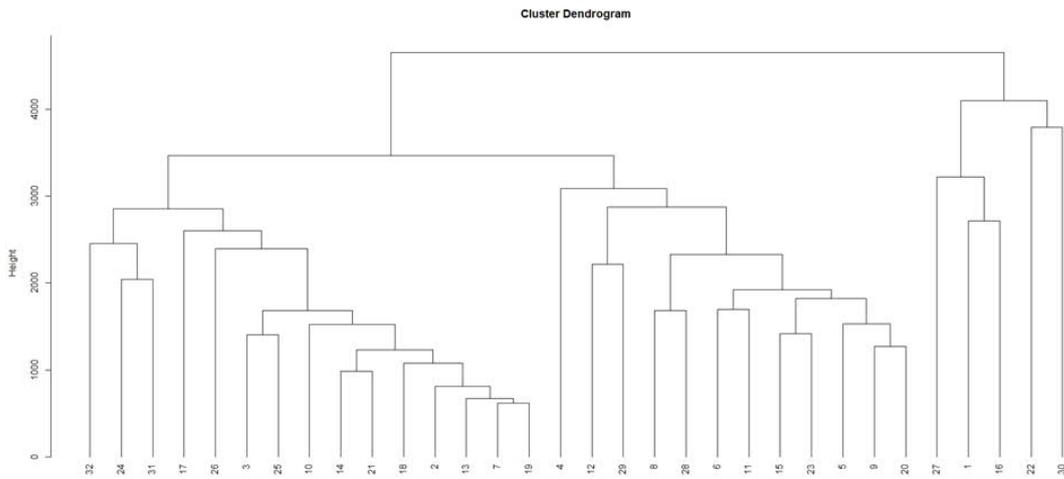


Figure 5.11 実験結果のクラスタリングデンドログラム

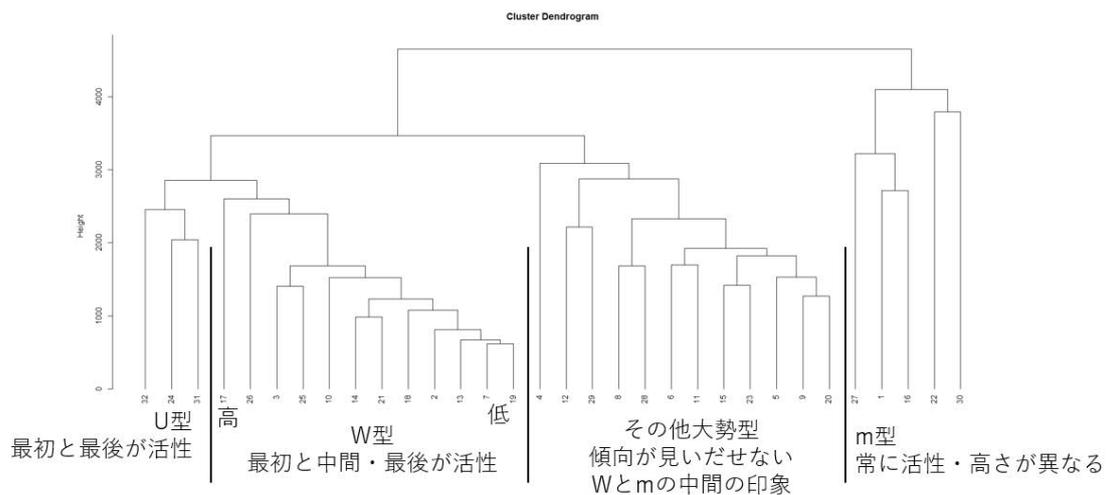


Figure 5.12 クラスタへの意味付け

## 5.6 学習者の分類モデルの仮説

本節では、実験の分析結果に基づいて、学習者の学習プロセスのクラスタリングの可能性の検討を行う。この手法では、画面の変化率から学習者の課題に対する理解度の推定はできない。また、同様に、評点の自動採点も行うことが

できない。ただし、学習プロセス中の活性度やおおまかな行動の推定は行うことを通じて、ある程度の学習者が個別に学習活動を行っている環境でも、手が止まっている学習者や進捗に苦労している学習者を検出できる可能性があると考えられる。モデルケースの検討と今後の課題を以下に示す。

#### 5.6.1 学習モデルの仮説

予備実験では、画面の変化率を PC から得られる学習者の行動プロセスとして扱えるか分析を行った。その結果、Mindmap を描画する課題においては、文字の増減やオブジェクトの増減に伴って画面の変化率に変化があった。そこでここでは、その結果を利用して Mindmap の解答戦略を画面の変化率から推測し、学習モデルを次のように設定した。

(ア) 淡々と文字を入力していき、課題を完成させるケース。全区間に渡って 5~10% の変化率が観測される。変化率だけでは文字が入力されているのか消去されているのかは分からないが、活動が続いていることで課題への取組の姿勢は確認できる。

(イ) 時折作業が長時間止まるが、一定時間が経過すると作業が行われるケース。このケースでは、学習者が思考に集中している場合や課題の回答戦略が立てられず手が止まっている場合が考えられる。分析結果の W 型に相当する。

(ウ) しばしばウィンドウを切り替え、参考資料などを眺めつつ課題を完成させていくケース。分析結果の m 型に相当する。このケースでは、80% 程度の画面変化の観測が多くなる。作業中のウィンドウから別のウィンドウへ切り替えた場合、元のウィンドウに戻る必要があり、その際に再び画面変化を観測で

きるので、この間隔を測定することで、閲覧時間などの推定が可能である。

#### 5.6.2 分析で明らかになったこと

この結果より、DTWによる学習者のクラスタリングそのものは可能であることがわかった。ただし、使用した学習プロセスは画面の変化の大きさであり評点ではない。また、画面の変化と成果物の品質の対応関係については調査していない。ただし、学習プロセスのうち学習者の行動の活性度をクラスタリングすることで、同様の傾向を持つ学習者をまとめることができる事がわかった。このことから、LAの手法でデータを収集し、それについて学習プロセスのクラスタリングを行うことで、ID、特に分析フェーズに必要な観察点を圧縮し、分析すべき点を強調することが可能となり、教員による分析作業の促進や効率化が期待できる。また、特徴点をデータに基づく分析により抽出することで、経験の少ない授業形態などにおいて教員が意識していなかった新たな気づきの提供ができる可能性がある。

## 第6章

### まとめ

本稿では、学習者が一定の自由度の下で学習課題を主体的に行う ICT 活用教育におけるアクティブラーニングを対象として、ID の基礎となる教員の「分析活動」を促進するために、LA のデータを基にした分析としてクラスタリングの手法を適用するフレームワークを提案することを目的に、異なる粒度の学習プロセスデータに分析・検討を行った。本章ではそのまとめを行う。

#### 6.1 本研究で得られた知見

本研究では、粒度の異なる 2 つの時系列データにクラスタリング手法を適用し、システムの利用形態とユーザの特徴を強調・可視化した。またそれを、教育プロセスの改善手法である ID に活かすための枠組みの検討を行った。

再掲となるが、ADDIE モデルは、教材開発において分析、設計、開発、実施、評価のそれぞれのフェーズが存在し、この 5 段階を必要に応じて繰り返すことで、コンテンツの質を高めるシステム的アプローチである。

粒度の大きな期間の分析対象となった講義アーカイブの分析では、持続的な e-Learning 環境である補助教材としての映像教材を提供するシステムの意義が再確認できる結果であったとともに、講義の内容によらない語学学習の手段としても使われるなど、開発当初の目的でない利用方法も発見された。この点を ADDIE モデルに適用することで、講義アーカイブシステムのより効果的な更新

を図ることも可能である。ログデータが科目ごとに分離されていないために講義科目ごとの分析など、詳細な分析まで手が届かなかったが、この点を改良し科目ごとのログが取れるようになれば、講義の視聴割合の時系列データを収集することで講義に対する視聴箇所のヒートマップを作成することができ、講義1回ごとに難易度や理解度が推定できる可能性がある。

粒度の小さな講義1回あたりの分析では、DTWによるクラスタリングにより、講義室内の状況把握に役立つ可能性のある結果を得られた。実際の講義室の環境はより大規模なケースもあるため追加の検証が必要ではあるが、時系列クラスタリングは複数の学習者の学習行動を統合することで、IDにおける分析の視点を圧縮することに有用であると思われる。

将来的な活用場面の提案もここで紹介する。ICT活用授業ではアクティブラーニングを取り入れることが多いことは背景の章で述べた。アクティブラーニングでは課題を解く過程が重要な学習情報のひとつであり、学習活動を振り返る際に非常に有用な情報となりうる。学習内容は、学習者によってノートやレポートという形で生成される。従来の紙媒体の場合、その内容は学習者が重要だと認識した部分が最終的に記録されてきた。この場合、理解の不足等により学習者が試行錯誤した途中経過などは記録として残ることがない。ICT活用授業では、ICTを操作して学習を進めるが、このとき、積極的に機器を操作する過程を記録しておけば、学習者の振り返りに有用なフィードバックを生成することが期待できる。ただしこのとき、すべての操作を闇雲に記録することは適切ではない。学習にとって効果的な場面を記録することが、適切なリフレクションには必要である。このリフレクションに有用なデータの保存のトリガーと

して、本研究の分析手法を適用することも可能であると思われる。

## 6.2 今後の課題

ICT 活用授業は発展途上な分野であるために、ICT の活用方法からシステムの運用上の問題まで様々な改善点が存在する。ID を適用することで教育プロセスの改善が可能であるが、本研究では特に ID の分析過程を促進することを目的として LA によるデータに基づく分析手法を提案した。具体的には、学習者の学習タイプを可視化することでシステムの改善を行うこと、学習者の学習プロセスデータを時系列によって分析し、ID に求められる教員の気づきを支援することなどである。しかし本研究では残念ながら教員向けにわかりやすい可視化を行うシステムの開発までは至ることができなかった。本研究の時系列分析をさらに効果的に活用していくためには、以下のような課題をクリアすることが必要であると思われる。

- 学習者の行動を適切に取得するフレームワークの検討
- 時系列分析により最適な分析モデルの模索
- 学習行動以外のプロセスの分析手法の検討

## 謝辞

本研究は、2017年度から2019年度に主な分析が行われました。それから本稿の発表まで2年の歳月がブランクとして存在します。これは私の療養のためでしたが、そのような中でも常にサポートを提供し続けていただいた北陸先端科学技術大学院大学のすべての方々に心から感謝申し上げます。

本研究を行うにあたり、特筆すべき多大なるサポートを頂戴しました方々に心から感謝申し上げるとともに、ここで御芳名を挙げさせていただきます。

どのようなときも常に暖かく見守ってくださり、また、私のコンディションにたいして寛大に対応していただき、その上でお優しい、かつ的確なご助言と多大なる御指導を賜りました、本学遠隔教育研究イノベーションセンター 長谷川忍教授に深く感謝致します。

次に、本論文の審査にご協力くださいました、福井県立大学 山川修教授、山口大学 鷹岡亮教授、本学情報科学研究科 小谷一孔教授、白井清昭准教授、そして、様々な機会でご貴重なご意見を下さいました、高知工科大学 敷田幹文教授にも重ねて感謝致します。

実験環境の準備においては、本学情報社会基盤研究センターの職員の皆様に大変お世話になりました。また、被験者のみなさまのご協力がなければこの研究はなし得ませんでした。重ねて感謝致します。

最後に、家族を始め、辛抱強く私にお付き合いいただき、日頃よりお世話になりました方々に深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] ATC21S: “Assessment and Teaching of 21st Century Skills - ATC21S,” ATC21S, [Online オンライン]. Available: <http://www.atc21s.org/>.
- [2] 清水康敬, 山本朋弘, 堀田龍也, 小泉力一, 横山隆光, ICT 活用授業による学力向上に関する総合的分析評価, 日本教育工学会論文誌 Vol.32 No.3, pp. pp.293-303, 2008.
- [3] 山内祐平, 教育工学とアクティブラーニング, 日本教育工学会論文誌 Vol.42 No.3, pp. 191-200, 2019.
- [4] 総務省, “フューチャースクール推進事業の概要,” [Online]. Available: [http://www.soumu.go.jp/main\\_](http://www.soumu.go.jp/main_). [Accessed 16 10 2013].
- [5] 国立情報学研究所: 大学等におけるオンライン教育とデジタル変革に関するサイバーシンポジウム「教育機関 DX シンポ」 [Online] Available: <https://www.nii.ac.jp/event/other/decs/>.
- [6] 市川尚, ペタ語義: 教え方と学び方を学ぶ, 情報処理 Vol.61 No.3, pp.277, 2020.
- [7] 鈴木克明, e-Learning 実践のためのインストラクショナル・デザイン, 日本教育工学会論文誌, Vol.29, No.3, pp.197-205, 2005.
- [8] 伊藤健二, “e-Learning の最前線: 1.e-Learning とは何か,” 情報処理, Vol.43, No.4, pp. 394-400, 2002.
- [9] 総務省, “フューチャースクール推進事業の概要,” [Online]. Available: [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000161791.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000161791.pdf).
- [10] 総務省, 教育分野における ICT 利活用推進のための情報通信技術面に関するガイド, 2013.
- [11] 文部科学省, 学びのイノベーション事業実証研究報告書, 2014.
- [12] 株式会社富士通総研, 西日本地域における ICT を利活用した協働教育等の推進に関する調査研究 ICT 運用マニュアル【教員向け】, 2013.
- [13] 株式会社富士通総研, 西日本地域における ICT を利活用した協働教育等の推進に関する調査研究最終報告書, 2013.
- [14] M. Silberman, Active Learning: 101 Strategies To Teach Any Subject, Allyn & Bacon, 1996.
- [15] 溝上. 慎一, “アクティブ・ラーニング導入の実践的課題,” 名古屋高等教育研究, vol. 7, pp. 269-287, 2007.

- [16] D. W. Johnson, R. T. Johnson , K. A. Smith, Active Learning: Cooperation in the College Classroom, Interaction Book Company, 1998.
- [17] 文部科学省, "新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて - 生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ ( 答申 ) ," [Online] Available:  
[https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_\\_\\_icsFiles/afieldfile/2012/10/04/1325048\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/___icsFiles/afieldfile/2012/10/04/1325048_1.pdf).
- [18] 林一雅, "ICT 支援型ラーニングスペースにおける授業の類型化 : 東京大学アクティブラーニングスタジオの事例から," 日本教育工学会論文誌, vol. 34, pp. 113-116, 2010.
- [19] 溝上慎一, "アクティブ・ラーニング導入の実践的課題," 名古屋高等教育研究, vol. 7, pp. 269-287, 2007.
- [20] 鈴木克明, 米国における授業設計モデル研究の動向, 日本教育工学雑誌, Vol.13 No.1, pp. pp.1-14, 1989.
- [21] Robert M. Gagne, Walter W. Wager, Katharine C. Golas, John M. Keller, Principles of instructional design, 5th edition, Wadsworth Pub Co., 2007.
- [22] 武田俊之, "ラーニングアナリティクスとは何か," コンピュータ & エデュケーション, vol. 38, pp. 12-17, 2015.
- [23] 山川修, 安武公一, 多川孝央, 隅谷孝洋, 井上仁, "CLE を利用した学習の可視化と分析に関する提案," 情報処理学会研究報告, Vols. 2012-CLE-8, no. 11, pp. 1-4, 2012.
- [24] 武田俊之, "高等教育アナリティクスのための階層モデル," 情報処理学会研究報告, 第 1 卷 (全 2 卷)2012-CLE-8, pp. 1-6, 2012.
- [25] Paulo Blikstein, Marcel Worsley, Chris Piech, Mehran Sahami, Steven Cooper ' Daphne Koller, "Programming Pluralism: Using Learning Analytics to Detect Patterns in the Learning of Computer Programming," Journal of the Learning Sciences, Vol.23, No.4, pp. 561-599, 2014.
- [26] A.F.M. Nazmul Haque Nahin, Jawad Mohammad Alam, Hasan Mahmud & Kamrul Hasan, "Identifying emotion by keystroke dynamics and text pattern analysis," Behaviour & Information Technology, vol. 33, pp. 987-996, 2014.
- [27] 田村恭久, "タブレット PC 上の電子教科書における Learning Analytics 向けデータ項目," 情報処理学会研究報告教育学習支援情報システム (CLE) , vol. 2014, no. 11, pp. 1-6, 2014.
- [28] 長谷川忍, ニツ寺政友, 但馬陽一, 安藤敏也, "講義アーカイブを活用した学習支援環

- 境の実践," 教育システム情報学会第 31 回全国大会, pp. 481-482, 2006.
- [29] 長谷川忍, 間藤真人, 但馬陽一, 安藤敏也, "講義アーカイブを活用した学習支援環境," 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(ALST-50), pp. 13-18, 2007.
- [30] S. Hasegawa, Y. Tajima, M. Matou, M. Futatsudera, T. Ando "Case Studies for Self-directed Learning Environment Using Lecture Archives," Proc. of The Sixth IASTED International Conference on Web-based Education (WBE 2007), pp. 299-304, 2007.
- [31] 長谷川忍, 辻誠樹, 但馬陽一, 宮下和子, 安藤敏也, "講義アーカイブを活用したコミュニティ動画掲示板システムの構築," 電子情報通信学会教育工学研究会技術研究報告(信学技報), pp. 25-30, 2010.
- [32] Polycom, "Polycom HDX シリーズ," 7 2 2014. [Online]. Available: <http://www.polycom.co.jp/products-services/hd-telepresence-video-conferencing/realpresence-room/realpresence-room-hdx-series.html>.
- [33] Photron, "PowerRec MV," 7 2 2014. [Online]. Available: <http://www.photron.co.jp/products/e-solution/recmv/index.html>.
- [34] N. M. E. System, "JZ," 7 2 2014. [Online]. Available: <http://www.jenzabar-j.com/Products/JZ/JZ.html>.
- [35] 日本 SGI, "JNICOL blueSKY," [Online]. Available: <http://www.sgi.co.jp/products/jnicol-bluesky/index.html>. [Accessed 7 2 2014].
- [36] 永井孝幸, "日常運用可能な省力型ビデオアーカイブシステムの構築," 電子情報通信学会信学技報, Vols. ET2006-128, pp. 127-132, 2007.
- [37] 柳沼良知, "スライドとの同期による講義映像のデータベース化," メディア教育研究, vol. 5, no. 1, pp. 109-114, 2008.
- [38] 中川聖一, 富樫慎吾, 山口優, 藤井康寿, 北岡教英, "講義音声ドキュメントのコンテンツ化と視聴システム," 電子情報通信学会論文誌, Vol.91-D, pp. 238-249, 2008.
- [39] 富樫慎吾, 山口優, 北岡教英, 中川聖一, "講義音声の認識・要約・インデックス化の検討," 情報処理学会研究報告, 2006-SIP-62, No.11, pp. 57-62, 2006.
- [40] 市村哲, 福井登志也, 井上亮文, 松下温, "Web 学習用コンテンツを自動作成する板書講義収録システム," 情報処理学会誌, Vol.47, No.10, pp. 2938-2946, 2006.
- [41] 井上亮文, 品田良太, 市村哲, 星徹, "板書の意識的な強調を利用した復習用コンテンツ自動生成システム," 情報処理学会誌, Vol.53, No.1, pp. 49-60, 2012.
- [42] H. Sakoe, S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word

recognition," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 26, no. 1, pp. 43-49, 1978.

[43] D. Pandey and K. K. Singh, "Implementation of DTW algorithm for voice recognition using VHDL," 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), pp. 1-4, 2017.

[44] Zoltan Geler, Vladimir Kurbalija, Mirjana Ivanovic, Milos Radovanovic; Weihui Dai, Dynamic Time Warping: Itakura vs Sakoe-Chiba, 2019 IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2019, pp. pp.1-6.

## 発表論文

- 論文発表

大学院生の補完的学習環境としての講義アーカイブシステムの運用と分析

○吉良元, 長谷川忍, 教育システム情報学会誌 32(1), 98-110, 2015 (査読あり)

- 国際会議

○Hajime KIRA and Shinobu HASEGAWA , A process analysis of using time-series screen data with Mindmap creation, ASEAN Joint Workshop on Information Science and Technology (AWIST 2018)

- 対外発表

○吉良元, 長谷川忍: ICT 活用授業における試行錯誤過程を利用したコンテンツの自動生成に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告 115(127), pp.13-18, (2015).

○吉良元, 長谷川忍: レスポンスマーカを用いた ICT 活用授業におけるリクエスト対応支援システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告 114(305), pp.31-36, (2014).

○吉良元, 長谷川忍: 児童の HID 利用状況とレスポンスマーカを用いた ICT 活用授業におけるリクエスト対応支援システム, 人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, Vol.70, pp.45-48, (2014).

○吉良元，長谷川忍：コンピュータ操作不安に基づく ICT 活用授業のための操作知識提供システム，教育システム情報学会研究報告，Vol.28 No.4，pp.3-6，(2013).

○吉良元，長谷川忍，Mindmap 作成時の時系列画面情報を用いた行動プロセスの分析，教育システム情報学会（JSiSE）2017 年度特集論文研究会

○吉良元，長谷川忍，Mindmap 作成時の時系列画面情報を用いた行動プロセスの分析，教育システム情報学会（JSiSE）北信越支部 ワークショップ「成果発表を磨く」（2017）

● 受賞

2013 年度 教育システム若手の会 奨励賞最優秀賞（グループ発表部門）

2014 年度 電子情報通信学会 教育工学会 研究奨励賞

2015 年度 教育システム若手の会奨励賞 最優秀賞（個人部門）