

令和 3 年度  
博士論文

適応型学習支援システムを活用した反転学習モデル  
の研究

公立千歳科学技術大学大学院理工学研究科  
上野 春毅

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b>	<b>3</b>
1.1	本研究の背景 . . . . .	3
1.2	本研究の目的 . . . . .	5
1.3	本論文の構成 . . . . .	5
<b>第 2 章</b>	<b>高等教育機関における反転学習</b>	<b>8</b>
2.1	e ラーニングを活用した学習形態 . . . . .	8
2.2	本研究の位置付け . . . . .	9
<b>第 3 章</b>	<b>段階的な学習目標を持つ反転学習モデルのための適応型学習支援システムの提案</b>	<b>14</b>
3.1	本章の目的 . . . . .	14
3.2	提案する反転学習モデル . . . . .	16
3.3	段階的な予習教材 . . . . .	18
3.3.1	教科書 . . . . .	18
3.3.2	演習問題 . . . . .	19
3.4	提案システム . . . . .	28
3.4.1	システム構成 . . . . .	28
3.4.2	トレーニング機能 . . . . .	30
3.4.3	テスト機能 . . . . .	35
3.4.4	管理者向け機能群 . . . . .	37
3.5	検証と考察 . . . . .	43
3.5.1	システムのログに基づくテスト機能の妥当性の評価と特性 . . . .	43
3.5.2	質問紙に基づくテスト機能の妥当性の評価 . . . . .	50
3.5.3	トレーニング機能の利用の特性 . . . . .	52

	3.5.4 システムを活用した反転学習モデルの評価 . . . . .	54
3.6	本章のまとめ . . . . .	57
<b>第 4 章</b>	<b>適応型学習支援システムを活用した反転型授業の提案と評価</b>	<b>59</b>
4.1	本章の目的 . . . . .	59
4.2	提案する授業設計 . . . . .	60
	4.2.1 方針 1 に沿った授業設計 . . . . .	61
	4.2.2 方針 2 に沿った授業設計 . . . . .	62
4.3	評価と結果 . . . . .	66
	4.3.1 導入授業 . . . . .	66
	4.3.2 授業設計全体の評価 . . . . .	66
	4.3.3 授業設計の方針 1 の評価 . . . . .	74
	4.3.4 授業設計の方針 2 の評価 . . . . .	75
4.4	考察 . . . . .	80
<b>第 5 章</b>	<b>今後の課題</b>	<b>82</b>
<b>第 6 章</b>	<b>結論</b>	<b>84</b>

# 第 1 章

## 序論

### 1.1 本研究の背景

近年の高等教育では、主体的・対話的で深い学びを促す教育改革が求められている [1]. 数学や情報といった知識体系が明確な科目群では、構成要素となる知識単位を単元として、これを意識した授業の設計や展開が基本となる. 学習者側の学びの視点では、単元毎に知識の獲得を着実に図り、知識体系に沿って自律的かつ継続的に学習を進めることが求められる. 教授者側の授業設計の観点では、一つの単元の中で、基本的な知識の定着から活用や応用に至る段階的な到達目標を設定し、これを達成させていくことが重要となる. 一方で、限られた授業時間内に基本的な知識の定着から応用までを扱うことは時間制約上難しい. そのため、授業時間外も有効に活用する方策が求められる. これまでの伝統的な教育では、授業後に発展的な応用課題などを宿題として課すことで授業時間外を活用している. こうした授業時間外の学びをするために、情報通信技術の発展により e ラーニングシステムなどの ICT (Information and Communications Technology) システムを活用して展開させる事例が増えている. 一方で、自宅などの教室外での取り組みが前提であるために、教員の介在や指示がなくとも取り組める範囲での発展的な内容に留まることや他者がいないために対話的な学びの実施方法にも課題が残る. そこでこの問題に対して、教員

の解説を予習として授業時間外に取り組ませることで、授業時間内にこれまで宿題として課した学習活動の時間を確保できる反転型の授業設計 [2] が期待されている。これにより、例えば予習段階で知識の定着を促し、対面授業で既習知識の活用や課題解決を図る連続的な学習過程を展開できる。しかし、中野 [3] が指摘するように「宿題にしている予習をしてこない学生がクラスの3分の1にも達すると反転授業は成り立たなくなってしまう」という課題が反転型の授業設計に存在する。阿濱ら [4] は、大学生を対象とした知的財産の初年次教育で Moodle を活用してビデオ・スライド教材と事前課題を予習として課し、授業前に提出された事前課題を採点して解答傾向を把握したのちに対面授業を実施した。そして、事前の解答傾向から誤った知識を修正するための解説を前半に行い、後半では発展的な課題を個人やグループで考える機会を設けた。このように解答傾向の把握やその傾向に合わせた解説を行うことでこの課題に対応している。これまでの反転型の事例では阿濱ら [4] のように1回の授業で着実に理解を図るように設計されている。一方で、数学や情報といった特定の知識領域に沿って展開される科目では、複数週の期間を用いて、一単元の理解を図ることが多い。そこでは、複数週にわたる予習・授業・復習を反復的に繰り返して、段階的な到達目標を達成する学習過程が展開される。こうした一連の学習過程では、学習者一人ひとりの理解度に差が生まれやすく、これに対処する学習支援方策の検討が必要となる。具体的には、毎回の学習目標に沿って適切な予習環境が整えられた上で、学習者が自らの予習の理解度を確認できることで、授業や次段階の予習に取り組める仕組みが肝要である。このように、体系的な知識領域での学びを充実させるためには、知識の定着・活用・応用を段階的に達成させる授業設計と、連続的・反復的な学習過程での自律的な学習を誘引する支援方策を一体的に取り組むことが重要となる。

## 1.2 本研究の目的

本研究では、複数週の授業で段階的に到達できる学習目標を設定し、学習者の理解度に応じた予習を促し、理解度を意識した授業活動を図れる反転学習モデルを提案する。第一に、段階的な各目標に呼応した教材を構造的に整備し、その教材を活用して予習を行うと同時に予習の理解度を授業開始時に確認する反転学習モデルを想定し、これを支援する適応型学習支援システムの確立を図る。複数週で一単元を扱う授業の予習を想定した学習支援方策（反転学習モデル）を提案し、システム活用を通じた予習段階における理解度向上を目指す。第二に、予習と授業を組み合わせた一体的な学習過程を通じた議論が必要となる。適応型学習支援システムを活用して、学習者の理解度に応じた予習を促し、理解度を意識した授業活動を図れる反転型の授業設計を提案する。プログラミング系科目での授業実践を通じて、予習と連動した授業設計の有効性を検証する。

## 1.3 本論文の構成

第1章では、本研究における背景及び目的について述べる。第2章では、関連研究について述べる。反転学習の問題やシステム活用の現場について述べる。第3章では、複数週で知識定着から応用までの学習目標を段階的に達成する反転学習を想定した学習支援を図る適応型学習支援システムの提案について述べる。提案するシステムには予習段階で様々な理解度の学習者に応じた学習支援を図る適応型の機能を実装した。段階的な学習目標に沿った連続的・反復的な学習過程をシステム活用を通じて展開させ、適応型の機能を用いて予習段階における理解度向上を図る。適応型学習支援システムを活用した反転学習のモデルとその評価について述べる。第4章では、第3章で提案・評価したシステムを

活用して予習と連動するアクティブ・ラーニングを行う授業設計を考案し、その授業設計の有効性の検証について述べる。考案した授業設計には、1つの単元を複数週にわたり予習と授業が連動する流れの中で、学生の自律的な学習を引き出すために2つの設計方針を設定した。経年的な期末試験の結果を使った授業設計全体の評価を通じて、本授業設計は知識を定着し活用する能力の向上に寄与することについて述べる。予習の理解度と期末試験の関係を調べ、予習段階でのシステム活用を通じた理解度が授業終了段階の知識の定着や活用に与える影響について述べる。第5章では、今後の課題について述べる。第6章では、本研究をまとめて結論を述べる。

## 参考文献

- [1] 資料 1 高大接続システム改革会議「最終報告」(案). [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shougai/033/shiryo/\\_icsFiles/afieldfile/2016/03/25/1368954\\_01\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shougai/033/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2016/03/25/1368954_01_1.pdf). (Accessed on 12/19/2020).
- [2] 重田勝介. “反転授業 ICT による教育改革の進展”. In: **情報管理** 56.10 (2013), pp. 677–684.
- [3] 中野彰. **反転授業の動向と課題**. 情報教育研究センター紀要 (23). 2015.
- [4] 阿濱志保里 et al. “知的財産教育における反転授業の導入と学習効果 —Moodle を活用した教育実践に基づいて—”. In: **教育システム情報学会誌** 34.2 (2017), pp. 202–207.



## 第2章

# 高等教育機関における反転学習

### 2.1 eラーニングを活用した学習形態

近年はコンピュータの処理能力やコンピュータ間を繋ぐネットワークの通信速度の向上から情報通信技術 (Information and Communication Technologies, ICT) の発展がめざましい。ICT の発展に伴い、eラーニングと呼ばれるインターネットとパソコンやスマートフォンなどの端末を利用した教育が盛んに取り組まれている。林 [5] はeラーニングを「教育・学習に ICT (Information Communication Technology) を用いて、その効率や効果を高めるもの」としてとらえている。eラーニングを利用する学習形態には、学習者が都合の良い時間や場所で学ぶ形態や教師がテレビ会議システムで遠隔で授業を配信する形態があるとされる。eラーニングは、自身の都合に合わせて非同期型で学ぶことができる一方で、対面の授業と組み合わせて使うことによって教育効果が得られることがわかってきている。このeラーニングと対面授業の組み合わせはブレンド型学習 (blended learning) と呼ばれる。従来の講義で知識の解説を予習教材として課すことで授業時間外にeラーニングを通じて学ばせて、授業では空いた時間にアクティブ・ラーニング型の学習活動を実施する設計を反転型の授業と呼ぶ。反転型の授業はブレンド型学習の一形態とされる [6],

## 2.2 本研究の位置付け

反転型の授業は大きく2つの類型があるとされる [7]. 1つは教育目標に応じて完全習得学習型 [8], もう一方は高次能力学習型 [9] である. 完全習得学習型 (Mastery Learning) [8] とは, 1960 年代後半に B. S. Bloom らによって提唱された教育方法であり, 受講者全員が一定の到達基準以上の知識習得に至ることを目指すタイプを指す. この教育方法では, 個々人の学習ペースを考慮し, 形成的テストを用いて目標達成度合いを測ることで個々人に応じた学習を進める特徴がある. 近年の完全習得学習型では, オンライン学習で知識習得を図り, その習得状態を適宜評価して, 授業内で知識の定着や一定程度の活用を目途とするグループワークを実施するように学習を進めていくことが一般的である.

どちらの類型においても反転型の授業では学習者が十分に予習できていることが前提であり, 予習が十分でないとアクティブ・ラーニング [10] を伴う対面授業の効果が発揮できない可能性がある [11]. そこで事前の予習を着実に実施して, 学習の定着を図ることが重要となる. 安達 [12] は対面授業中に利用するスライド教材を予習としてeラーニングシステムで参照可能にし, 対面授業後に学習した内容の理解と定着を意図した小テストをeラーニングシステムで提供している. 高木 [13] は, 数学リメディアル教育で, eラーニングを活用して教科書・演習問題を予習として課し, 授業では紙ベースの事前テストやグループ学習及び事後テストを実施した. そしてLMSから取得できる教材の取り組み割合・取り組み時間を把握・活用して必要に応じて授業内外に学生の個別指導に役立てた. プログラミング系科目では, 水谷 [14] が初学者向け科目で動画教材とLMS上のセルフテスト・小テストを予習として課し, 授業で課題プログラムの作成を実施した. これらに対し本研究では, 知識の定着から活用・応用に至る学習内容に関わるレベル別の演習教材で予習し, さらに適応型のCBT(Computer-based Test)を活用して授業開始前に予習の理解度を把握できる

仕組みを導入している。

高次能力学習型とは、習得した知識を活用して他者との議論や問題解決を通して高次の思考課題に取り組ませるタイプである。高次能力学習型では、アクティブ・ラーニング[10]型の授業展開を中心に、予習で習得した知識や既習知識を活用して他者との議論やより高度な発展課題に取り組むことで論理的思考や問題解決の能力を高めていく。向後ら[15]は、教員の授業の解説をビデオにした予習教材をeラーニングシステムで授業時間外に学習者に配信して、対面授業では解説をせずにグループワークなどの活動を中心とする設計の授業を3年間にわたって実践・検証し、受講生に好意的に受け取られている。

本研究では、複数週で段階的に到達する学習目標として、基本的な知識の用語・概念の理解からはじめて、既習知識との関係性を意識しながら活用させ、発展的な応用課題を解ける、という内容を設定する。2つの類型にあてはめて考えると、最初の目標は完全修得学習型であり、最後の目標は高次能力学習型といえる。そして中間の目標は完全修得学習型でありながら、高次能力学習型への橋渡しをかねると考えられる。このように本研究では完全修得学習型と高次能力学習型の学習方法を段階的に組み合わせて、複数週で知識の定着から応用まで扱える授業設計の確立を目指す。具体的には、3週程度で一単元の学習を実現することを想定し、最初の1・2週で知識の定着から活用に関わる完全習得型の学習を意識させ、後半の2・3週で高次能力学習型の学習を意識させる授業設計を図る。

学習者の自律的な学習を支援するICTシステムの側面からみると、森田ら[16]が講師不在期間の学習を支援するeラーニングの教材を設計している。松田ら[17]は、自己調整学習が求められるeラーニングにおいて学習計画を立てる習慣の確立を支援するセルフ・レギュレータを開発している。これらは学習者が自ら主体的に学習を進めるための効果的な支援を教材や学習計画の点から示している。しかし、教員が対面授業をしない状況を前提として学習者が自律

的に学習を進めるという点で議論されている。この点で、教員が介在しない予習と介在する対面授業を組み合わせたシステム活用の学びを扱っていないことがわかる。これに対し本研究では、1つの単元の単位で予習教材を構造化し、これを適応型システムで活用して複数週期間で学習を促すことで、学習者の進度に応じた自律的な学習支援を図っていく。

## 参考文献

- [5] 林 雄介. “「実用的 e ラーニング環境の構築と運用」”. In: **教育システム情報学会誌** 29.1 (2012), pp. 5–6. DOI: 10.14926/jsise.29.5.
- [6] J. L. Bishop and M. A. Verleger. “The flipped classroom : A survey of the research”. In: *120th American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition* (2013).
- [7] ジョナサン・バーグマン et al. **反転授業**. オデッセイコミュニケーションズ, 2015.
- [8] B. S. Bloom. *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. McGraw-Hill, 1971.
- [9] G. Charles, M.D. Prober, and Ph. D. Chlp Heath. *Lecture halls without lectures — a proposal for medical education*. The New England Journal of Medicine, 366;18 1657-1659, 2012.
- [10] C.C. Bonwell and J. A. Eison. *Active Learning: Creating excitement in the classroom*. ASHE-ERIC Higher Education Reports, 1991.
- [11] C. Herreid and N. A. Schiller. “Case Studies and the Flipped Classroom”. In: *Journal of College Science Teaching* 42.5 (2013), pp. 62–66.
- [12] 安達 一寿. “ブレンディッドラーニングでの学習活動の類型化に関する分析”. In: **日本教育工学会論文誌** 31.1 (2007), pp. 29–40.
- [13] 高木正則. “数学リメディアル教育における反転授業の実践と評価”. In: **研究報告コンピュータと教育 (CE)** 2015-CE-131.14 (2015), pp. 1–6.
- [14] 水谷晃三. “プログラミング初学者を対象にした動画教材による反転授業の実践と評価”. In: **研究報告教育学習支援情報システム (CLE)** 2015-CLE-17.34 (2015), pp. 1–8.
- [15] 向後 千春, 富永 敦子, and 石川 奈保子. “大学における e ラーニングとグループワークを組み合わせたブレンド型授業の設計と実践 (<特集> 大学教育の改善・FD)”. In: **日本教育工学会論文誌** 36.3 (2012), pp. 281–290. DOI: 10.15077/jjet. KJ00008514505.
- [16] 森田淳子 et al. “自己調整学習理論に基づく日本語 e ラーニング教材の設計と試行 — 北方四島日本語講師派遣事業を例として —”. In: **日本教育工学会論文誌** 38.Suppl (2014), pp. 77–80.

- [17] 松田岳士 et al. “自己調整学習を支援するセルフ・レギュレータの開発と形成的評価”. In: 日本教育工学会論文誌 40.Suppl (2017), pp. 137–140.

## 第3章

# 段階的な学習目標を持つ反転学習モデルのための適応型学習支援システムの提案

### 3.1 本章の目的

数学や情報のような科目群は明確な知識体系を有し，その体系性を意識しながら知識を着実に積み上げて活用や応用を図る．これらの科目群では構成要素となる知識単位を単元として，1回の授業で1つの単元を修得するのではなく，単元の内容を基礎と応用のように段階的な学習目標に分けて複数回の授業で実施することが多い．こうした授業構成の反転学習 [7] では，当然のことながら段階的な学習目標に沿って毎回の予習を行うことが求められる．しかし，中野 [3] が「宿題にしている予習をしてこない学生がクラスの3分の1にも達すると反転授業は成り立たなくなってしまう」と指摘するように，予習で十分な理解を培えない学習者が生じる可能性がある．こうした学習者には反転学習の効果が発揮されず，単元の段階に追従し続けられない問題がある．こうした問題を防ぐには，反転学習の完全習得学習型 [8] の観点にたつと全員が一定の理解を目指していく状況で個々の理解を形成的テストで測ってその度合に応じて適切な

教材や指導を学習者に与えていくことが重要とされる。知識の定着から応用を段階的に積み上げていく科目においては、毎回の学習目標に沿って適切な予習環境が整えられた上で、学習者が自らの予習の理解度を確認できることで、授業や次段階の予習に取り組める仕組みが肝要である。これまでの事例から予習環境となるシステム活用の観点では、eラーニングや動画配信サービスが主に利用されている。高木 [13] はeラーニングで演習教材や教科書を提供している。水谷 [14] はeラーニングで動画やテストを提供している。一方でこれらは1回分の授業で1単元を学ぶことを想定しており、複数回の授業で1単元を段階的に学ぶことに着目して学習支援を図るシステムとはなっていない。本章ではこの予習段階における理解度の課題を解決するためのeラーニングシステムの提案を目的とする。具体的には、段階的な各目標に呼応した教材を構造的に整備し、その教材を活用して予習を行うと同時に予習の理解度を授業開始時に確認する反転学習モデルを想定し、これを支援する適応型学習支援システムを提案する。なお適応型学習支援システムの教材は、eラーニングを活用している教育機関での運用を念頭に、既に予習・復習・課題等で活用しているeラーニングの演習問題をベースに拡充することを想定し、対応する教育現場で難易度の設定が可能であるという前提で議論を進める。また、設定した難易度の問題を解く学習者の能力は、予習として提示された問題に対する確認テストを解けたか否かで判定することで、予習の理解度という形で定義する。以上の前提に基づく適応型の問題変更ロジックを活用したシステムの提案・開発を行い、4年生大学情報系学科のプログラミング演習授業に適用して、システムの有効性を評価する。以上により、多くのeラーニングを活用している現場でも運用可能な、反転学習における完全習得学習型の学習プロセスを扱える情報システムの実現を目指していく。



## 3.2 提案する反転学習モデル

まず，本研究で想定する学習プロセスについて説明する．本研究では，複数回の授業で1つの単元を扱い，段階的な学習目標に沿って授業展開を図る授業構成を想定している．そこで同一単元内で各授業回の学習目標に沿った予習を毎週行わせ，授業開始時に予習の理解度を確認するテスト（以下，確認テスト）を行うことで，単元全体の学習目標に沿った学びの展開を図るモデルとした（図3.1）．

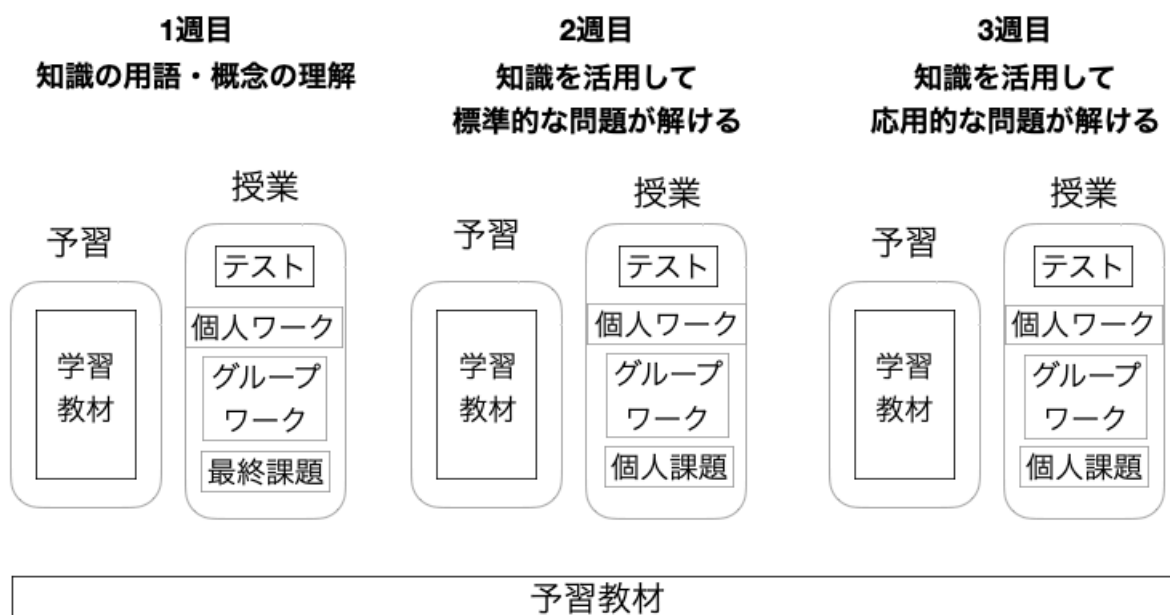


図 3.1 反転学習モデル

大学での適用を想定して、各学習目標はルーブリックで大きく3段階で設定した。各週の授業はルーブリックに対応した実習内容を行い、1つの単元の学びが通常3週程度を想定する。この際、単元の予習教材を段階的な学習目標に沿って構造化した。3段階のルーブリックは「基礎的知識の用語・概念の理解」・「知識の活用」・「知識の応用」とした。表3.1に授業週・ルーブリック・予習教材の対応を示す。ルーブリック1から3に上がるにつれて教材の難易度が上がる。教材の難易度（レベル）を7段階で設定した。設定した詳細は3.3節で述べる。

表 3.1 授業週・ルーブリック・予習教材の対応表

単元の授業週	ルーブリック	予習教材の難易度（レベル）
1 週目	ルーブリック 1： 基礎的知識の用語・概念の理解	レベル 1, 2
2 週目	ルーブリック 2：知識の活用	レベル 3, 4, 5
3 週目	ルーブリック 3：知識の応用	レベル 6, 7

表3.1に沿った反転型の学びをシステム活用を通じて展開する。そのために、本研究で開発するシステムには学習者が利用することを想定した機能を2つ実装した。1つめは、予習段階において学習者が教材に取り組むための機能である。この機能の名称をトレーニング機能とした。2つめは、授業で単元の該当する段階に追従できる予習が行えていることを確認するための機能である。この機能の名称をテスト機能とした。各週の授業に向けて学習者がそれぞれの理解度に応じて予習と復習ができるように、どの週においても単元の段階全てを取り組めるようにした。

### 3.3 段階的な予習教材

予習教材は，単元全体の授業構成を解説する教科書とルーズブリックで規定する段階的な学習目標に呼応する学習内容の定着を図るための解説付き演習問題で構成される．ルーズブリック1とルーズブリック3は各々に基礎レベルと標準レベルの2段階構成，またルーズブリック2は基礎レベル，標準レベル，応用レベルの3段階構成とし，全体を表3.1に示したようにレベル1からレベル7の7段階構成とした．各レベルの問題数を10問目安に整備し，後述する検証の授業で扱う全単元をカバーするために執筆時点では計481問を用意した．検証の授業はC言語の実習授業である．一般的なC言語の内容を踏まえて用意した教材の内容は以下とした．

- 変数
- 条件式
- 繰り返し文
- 配列
- 関数
- ポインタ
- 構造体

#### 3.3.1 教科書

教科書は単元全体扱う内容を解説した教材である．一斉講義形式での教員が解説する内容をeラーニングのデジタルの教材化したものである．単元で扱う知識の用語や概念の説明を載せている．また，既習知識との関係を意識しながら活用する方法を例題として載せている．関数の内容を例にして，教材の具体例を図3.2に示す．

大学情報 > プログラミング(mobile対応) > C言語 > 関数(1)

関数の定義 (引数・戻り値) □ 自動的に拡大縮小する

■ 関数の定義 (引数・戻り値)

(数学)  $y = f(x);$

入力 x

→

関数

→

出力 f(x)

戻り値を y に代入

引数

→

戻り値

area = r \* r \* 3.14; → area = calc(r);

r を引数として、関数に「値を」渡す。  
※変数名は変えて良い。

関数の書式

```

戻り値の型 関数名 ( 引数の型 引数 ){
    .....
    return 戻り値;
}


```

関数 calc

```

float calc(float radius){
    return radius*radius*3.14;
}

```



▶

関連する演習を表示

図 3.2 関数の教科書

### 3.3.2 演習問題

演習教材は教科書で学んだ知識を定着させることを狙った問題とした。さらに知識を活用や応用して解く問題を用意した。これらは授業で扱う課題の準備に相当する内容とする。授業で扱う課題は実際にプログラムを書かせる内容(記述式)を想定しており、その準備として穴あきや選択肢の問題で練習することを意識して整備した。演習問題には、その問題の解説をヒントという名称で載せている。わからない場合にはヒントを見れば答えがわかるようにして学習が進められるようしている。関数の内容を例にして、7レベルの教材を順に具体例を示す。レベル1はループリック1の「基本的知識の用語・概念の理解」の基礎レベルに当たる。単元で扱う「基本的な用語・概念」の知識定着を狙って

いる。関数のレベル1の問題を図3.3に示す。

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル1 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7	8
x	?	?	?	?	x	?	?

次の文の空欄に入る用語を下の項目から選んで答えなさい。

全ての関数が共通に取り扱うことが可能な変数を定義できる。  
この変数を 【1】 という。

ある変数が個別に取り扱うことが可能な変数を定義できる。  
この変数を 【2】 という。

【1】

【2】

次のヒント1/3

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.3 関数レベル1の問題画面

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル1 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7	8
x	?	?	?	?	x	?	?

全ての関数が共通に取り扱うことが可能な変数を定義できる。

また、ある関数が個別に取り扱うことが可能な変数も定義することができる。

全ての関数から参照可能な変数をグローバル変数という。

ある関数の中でのみ参照可能な変数をローカル変数という。

問題

[関連する教科書を表示](#)
[«前の問題へ](#)
[次の問題へ»](#)

図 3.4 関数レベル 1 の解説画面

レベル2はルーブリック1の「基本的知識の用語・概念の理解」の標準レベルに当たる。レベル1と同様に単元で扱う「基本的な用語・概念」の知識定着を狙っている。レベル1での問い方を変化させるなどして難易度を上げる内容とした。また、次のレベル3での知識活用の準備を踏まえた問題を配置した。関数のレベル2の問題を図3.5に示す。

関数レベル2 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7	8	9
?	?	?	?	?	?	?	?	?

main関数のローカル変数の扱いとして正しいものを選びなさい。

- a. すべての関数で利用できる変数である
- b. main関数の外で宣言する
- c. 各関数の中で宣言する必要がある
- d. 引数で他の関数に値を渡す必要は無い

a 

次のヒント1/1

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.5 関数レベル 2 の問題画面

レベル3はループリック2の「知識の活用」の基礎レベルに当たる．これまでのループリック1が解けるようになり，ループリック2の標準レベルを取り組めるようになるための問題を配置した．関数のレベル3の問題を図3.6に示す．

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル3 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7	8	9
?	?	?	?	?	?	?	?	?

引数には何も取らず、戻り値に整数を取る関数 func のプロトタイプ宣言は

【1】 func ( 【2】 );

【1】

【2】

次のヒント1/1

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.6 関数レベル 3 の問題画面



レベル4はループリック2の「知識の活用」の標準レベルに当たる．レベル3と同様にループリック1で学んだ内容や既習知識との関係性を意識して知識の活用を図れるようにすることを狙っている．関数のレベル4の問題を図3.7に示す．

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル4 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

main 関数から実数値を二つ引数として受け取り、  
この二つの値を両辺とする長方形の面積を計算して、  
その結果を main 関数に戻す関数 calc を設計する。  
calc プログラムを完成しなさい。

```
【1】 calc( 【2】 a, 【3】 b ){  
    【4】 s;  
    s = a * b;  
    return 【5】  
}
```

次のヒント1/2

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.7 関数レベル4の問題画面

レベル5はループリック2の「知識の活用」の応用レベルに当たる。レベル3と同様にループリック1で学んだ内容や既習知識との関係性を意識して知識の活用を図れるようにすることを狙っている。レベル4での問い方を変化させるなどして難易度を上げる内容とした。また、次のループリック3の知識応用の準備を踏まえた問題を配置した。関数のレベル5の問題を図3.8に示す。

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル5 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7
?	?	?	?	?	?	?

長方形の周囲を求めるプログラムを関数を用いて設計しなさい。

```

//プロトタイプ
【1】 calc( 【2】 , 【3】 );

//main関数の中//
int main(){
    float tate, yoko, length;
    tate = 5;
    yoko = 4;
    【4】 = calc( 【5】 , 【6】 );
    printf(" 周囲 = 0.4\n", length);
        
```

次のヒント1/2

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.8 関数レベル5の問題画面

レベル6はループリック3の「知識の応用」の基礎レベルに当たる．これまでのループリック1と2が解けるようになり，ループリック3の標準レベルを取り組むための問題を配置した．関数のレベル6の問題を図3.9に示す．

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル6 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7
?	?	?	?	?	?	?

自分の好きな個数分（変数n）、好きな値を配列(a[ ])に格納する関数inputを考える。プログラムを完成させなさい。

```
#include<stdio.h>

【1】 input( 【2】 );
float a[1000];

int main(){
    int n;
    printf(" Inut Number=");
    scanf(" %d ", &n);
    【3】 / 【4】 \.
```

次のヒント1/3

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.9 関数レベル6の問題画面

レベル7はループリック3の「知識の応用」の標準レベルに当たる．発展的な内容を扱う課題に対応できるようになるための演習問題を配置した．関数のレベル7の問題を図3.10に示す．

情報 > プログラミング > C(応用) > 関数

関数レベル7 (進捗率: 0% )

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

自分の好きな個数分、好きな値を配列(a[])に格納し（input関数）、その最大値を計算（関数calc\_max）するプログラムを考える。プログラムを完成させなさい。

```
#include<stdio.h>

float calc_max( int );

【1】 input( 【2】 );

float a[1000];

int main(){
    float max;
    int n;
```

次のヒント1/2

解答する

関連する教科書を表示

«前の問題へ

次の問題へ»

図 3.10 関数レベル7の問題画面

### 3.4 提案システム

本研究では、段階的な各目標に呼応した教材を構造的に整備し、その教材を活用して予習を行うと同時に予習の理解度を授業開始時に確認する反転学習モデルを想定し、これを支援する適応型学習支援システムを提案する。教材は3.3節で述べた。本節では、その教材を活用して適応型の学習支援を図るシステムについて説明する。本システムでは、構造的に配置された教材を活用して予習を行うようにする機能と予習の理解度を確認できる機能が必要となる。これらは学習者が取り組むための機能であり、教員が教材や予習の理解度を管理する機能が求められる。本研究チームではこれまでに学習支援システムである CIST-Solomon[18] を開発して実証検証を行ってきた。本研究では先行研究の CIST-Solomon を適応型学習支援システムに拡張してこれらの機能を実装する。

#### 3.4.1 システム構成

本研究で提案する適応型学習支援システムの構成を説明する。システムの構成のイメージ図を 3.11 に示す。CIST-Solomon には学習者が学習活動に取り組むための機能群（以下、学習者向け機能群）と学習活動を管理するための機能群（以下、管理者向け機能群）がある。本研究では、学習者向け機能群には授業時間外に予習教材に取り組むためのトレーニング機能と授業時間内に予習状況を確認するためのテスト機能を実装した。管理者向け機能群には、コース管理機能、成績管理機能、教材管理機能を実装した。使用した技術は Java 言語 [19] を中核に据え、インターネットからアクセスすることを前提とした Web アプリケーションの形態をとる。フロントの Web サーバは Apache httpd[20]、Web アプリケーションサーバは Apache Tomcat[21]、データベースサーバは PostgreSQL[22] である。インターフェースは HTML, CSS, Javascript による描画とし、これらの描画処理を組み立てるフレームワークには Apache Wicket[23] を用いた。業務

処理に相当するロジック群は Dependency Injection の Java フレームワークである Google Guice[24] を基盤に実装した。Java のプログラムとデータベースのやりとりは Java Database Connectivity (JDBC) を介して行わせた。

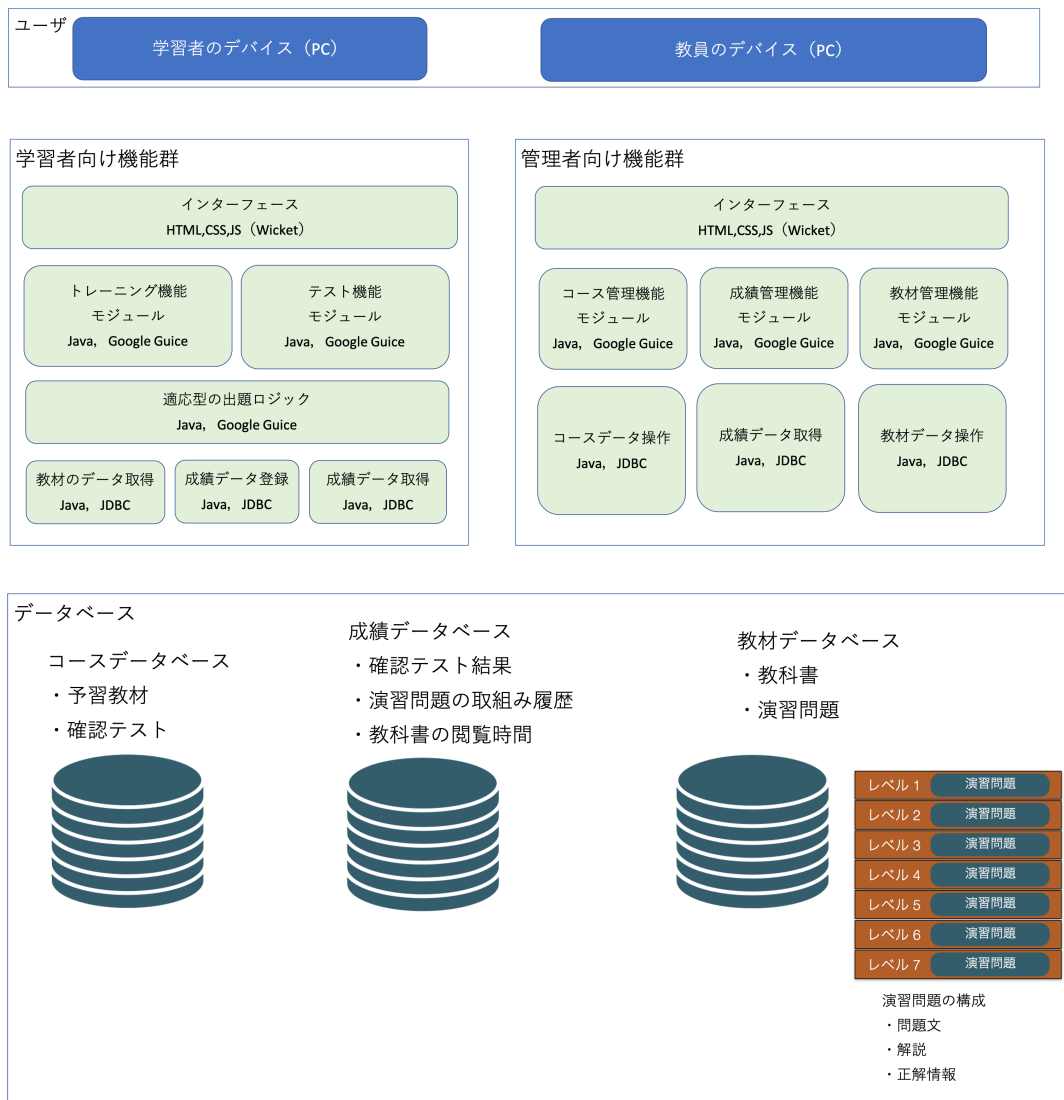


図 3.11 システム構成

### 3.4.2 トレーニング機能

トレーニング機能は学習者が単元の内容を定着・活用するためにレベル別の演習教材を取り組めるようにする機能である。学習者が構造化された教材を取り組む上で知識の体系性を意識してアクセスできるように先行研究の知識マップ[18]を活用した。知識マップとは「当該学問領域における知識の階層構造や学ぶ順序などの体系性を図示したもの」である。この知識マップを活用して、視覚的に体系性を意識させながら構造的に配置された単元で扱う知識を選択させるようにした。知識マップを3.4.2.1項で説明する。そして、選択した知識から教材を選択する。この際、教材を自身で選ぶ方法や多数ある教材から教材を推薦する方法などが考えられる。本研究では、これらの方法を踏まえてトレーニング機能に3つのサブ機能（モード）を設けた。学習者は単元（知識）を選び、各モードを選択して利用する流れとした。

#### 3.4.2.1 知識マップ

画面を図3.12と図3.13に示す。

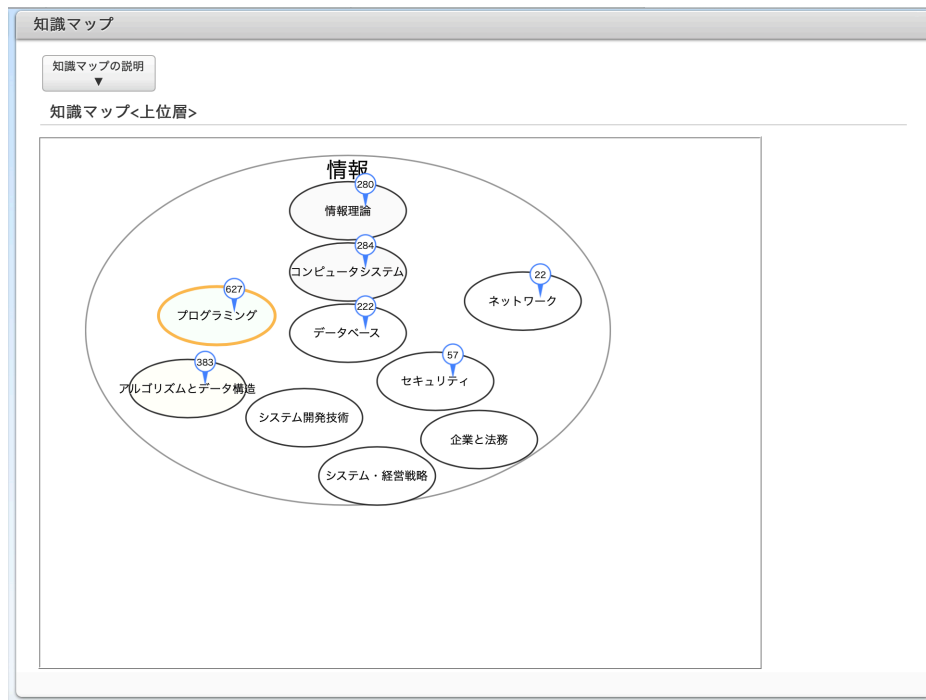


図 3.12 知識マップの画面

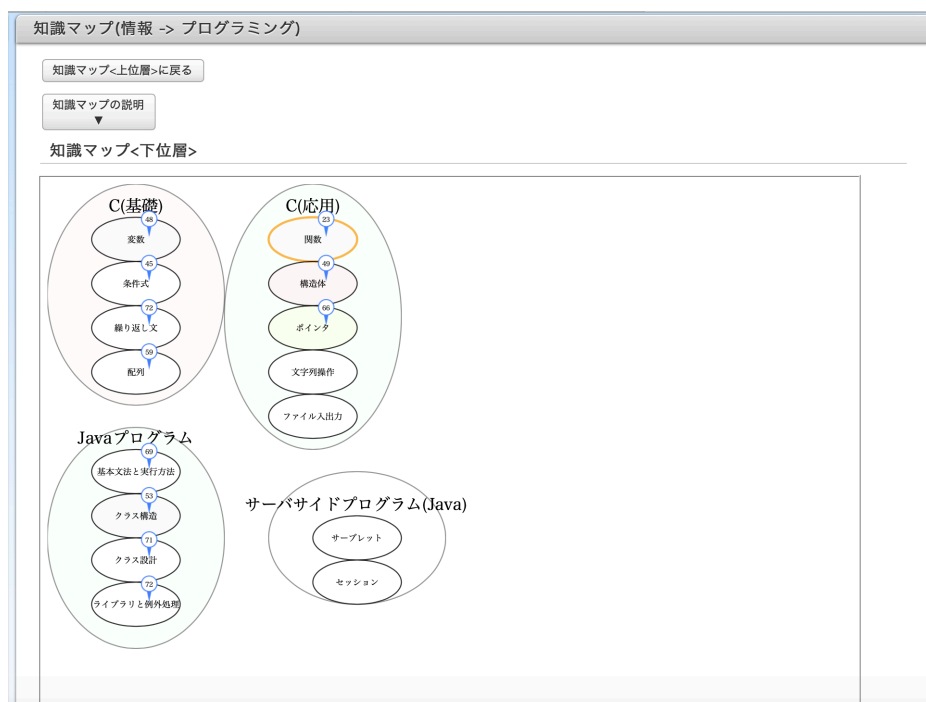


図 3.13 知識マップの画面



### 3.4.2.2 学習者選択モード

1つ目は、学習者が7段階の予習教材をその予習状況を踏まえて自身で選択して取り組めるようにした。そのために、単元毎に7段階の教材を段階別（レベル別）に整理された形でアクセスできることとした。また、予習における未回答・正答・誤答といった学習履歴を見ながら勉強できるようにした。さらに予習教材がテスト教材も兼ねているため、確認テストで誤答した問題に目印をつけ、確認テストの復習に役立てられるようにした。画面を図 3.14 に示す。本モードを学習者選択モードと呼称する。

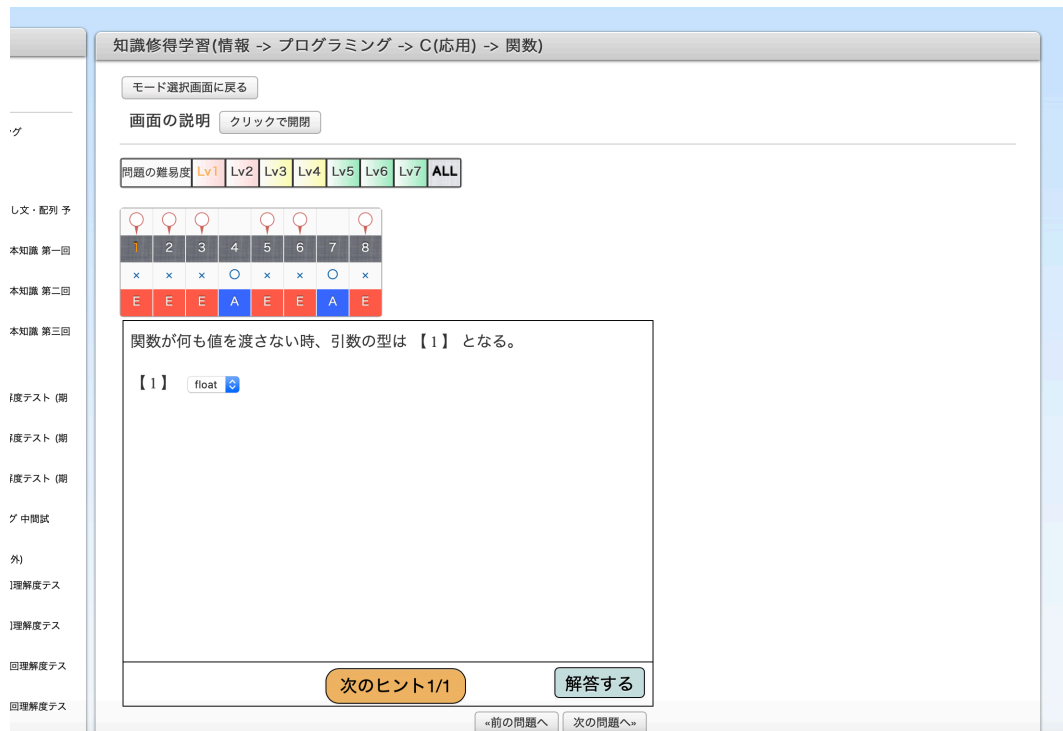


図 3.14 学習者選択モードの画面

### 3.4.2.3 システム自動選択モード

2つ目は、教材が多数用意された環境で効率的に自学自習を進めるという点で、システムによって自動的にレベルと問題が選出される形で適応的に提示さ

れた教材を通して学習を行えるようにした。レベルの選択に関しては、後述のテスト機能のロジックを活用して、提示した問題の正誤状況に応じて出題するレベルを学習者に適宜合わせていく。画面を図 3.15 に示す。本モードをシステム自動選択モードと呼称する。

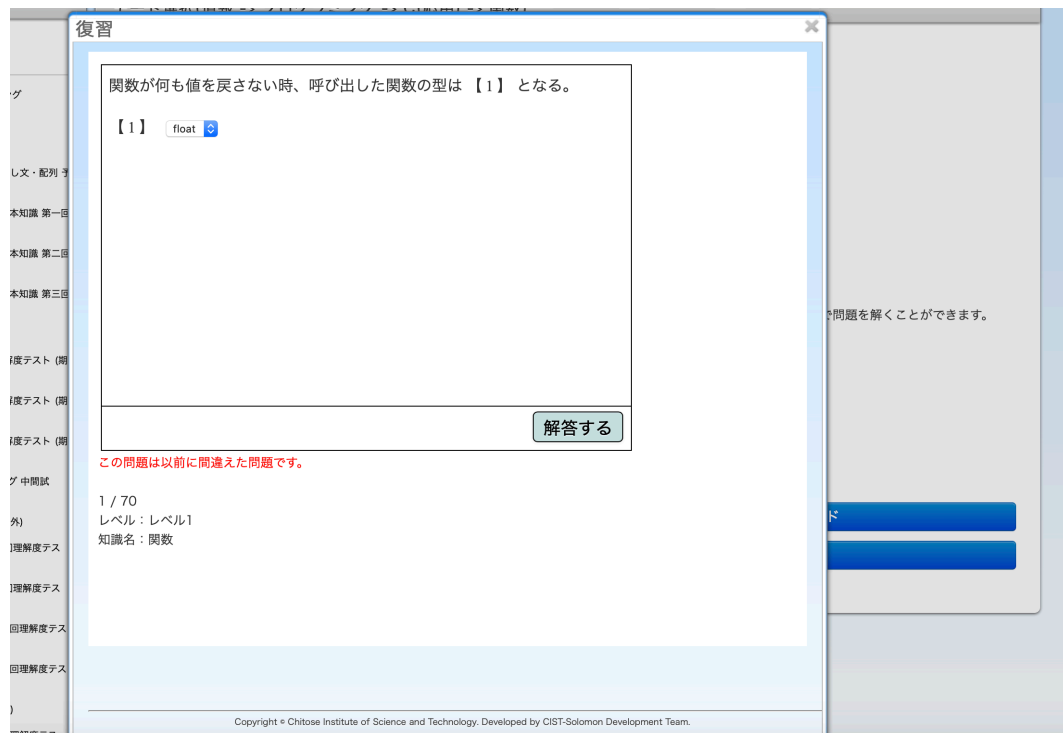


図 3.15 システム自動選択モードの画面

#### 3.4.2.4 模擬テストモード

3つ目は、授業前に予習の成果をテスト形式で確認できるようにすることである。本モードを模擬テストモードと呼称する。模擬テストモードでは、テスト機能と同様に解説なしの問題が出題される。テスト機能が授業での利用を想定しているのに対して、模擬テストは授業時間外に利用することを想定している。このため、テスト機能と異なる点として本モードは予習時に何度でも任意のタイミングで利用できるようにした。画面を図 3.16 と図 3.17 に示す。本モー

ドの出題数は10問とした。ユーザはあらかじめ知識マップ上で単元を選択しているため、出題内容は当該単元のみにした。

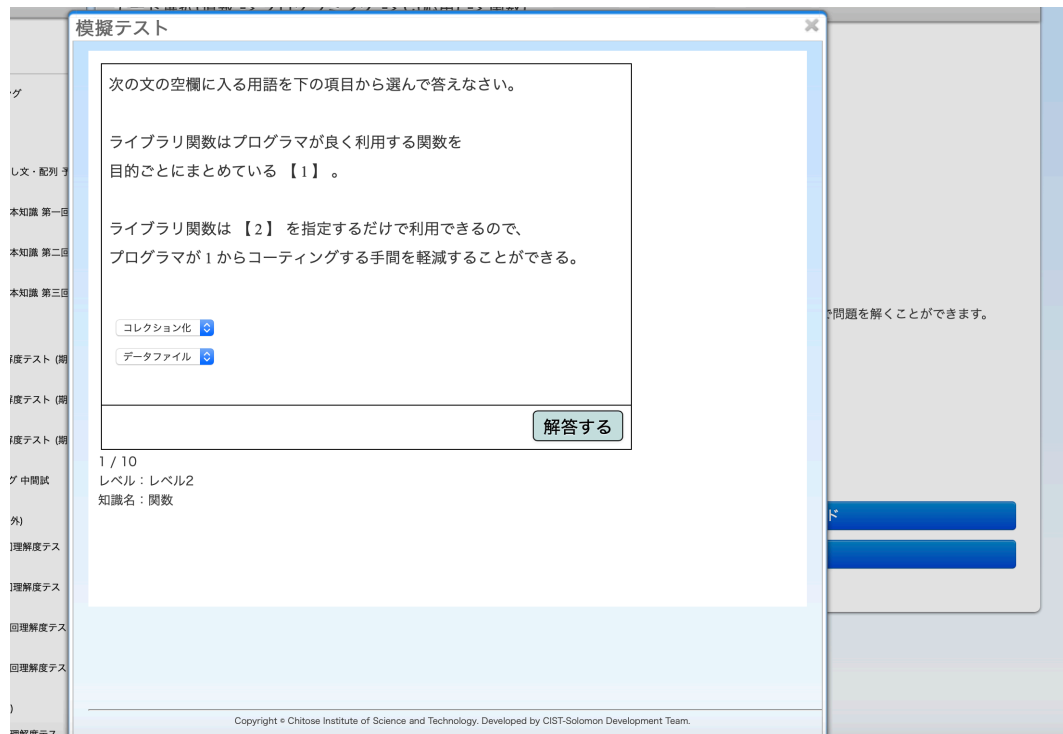


図 3.16 模擬テストモードの画面

完了画面の図 3.17 では、出題されたテストの結果が載る。結果は、システムが判定したレベルと各設問の正誤判定の結果である。設問の内容を確認してテスト直後の復習に役立てられるように、「プレビュー」リンクを用意した。このリンクから内容を見ることができる。



図 3.17 模擬テストモードの終了画面

### 3.4.3 テスト機能

テスト機能は予習の理解度を授業開始時に確認するための機能である。予習教材の取組状況を確認するため、あえてテスト専用の問題とせず、3.3節で定義した構造化された演習問題を再利用することとした。その際、演習の解説情報をシステムが自動的に除去してテスト問題を生成した。これにより、解説を見ながらも予習で問題を解いていれば、確認テストでも問題を十分に解くことができる。この点で予習における学習状況を確認するテストの意味合いが強い。これにより、既存の教材群を含め演習問題の構造化を図れば、予習の確認を含む学習プロセスに沿って適応型学習を図れるシステムの実現を狙っている。各週のテストにおいて問題抽出は、最初の数問は中程度のレベル4近辺を中心にランダムに選出することとした。これは手続き簡明化と検証容易化のため

めであり、各週で期待される予習教材レベル近辺から出題を開始するなどの工夫の必要性も検討課題である。

次に、回答の正誤状況に応じてリアルタイムにレベル選定を行い、同一レベルでの同一問題の出題を排除した上でランダムに選出することとした。これにより、予習等で一度解いた問題であっても、毎回受検するテストの正誤状況に応じて問題が変化し、学習者の予習状況に対応した確認テストを実現している。レベル選定のロジックはいくつか考えられる。津森ら [25] は正誤判定に基づき次問の難易度を±1変化させる方法をとっている。この場合、偶然正答した影響が強く反映されてしまうことが懸念される。本研究では、テスト開始時点からの正誤情報を考慮してレベル選定を行うこととした。具体的には、項目反応理論 (IRT) [26] で用いられる出題問題群の難易度選定のロジックの一部を採用し、解答が正答となる確率をロジスティック関数 (1 パラメタ・ロジスティックモデルのモデル式) で表す方法を用いて決定した。ロジスティック関数を式 3.1 に示す。

$$p_i(\theta) = \frac{1}{1 + e^{-(\theta - b_i)}} \quad (3.1)$$

$\theta$  は被験者の能力を表し、 $b_i$  は問題の難易度を表す。IRT は項目 (問題) の難易度を被験者のデータに基づいて定量化するプロセスと、その難易度を用いて学習者の理解度レベルを推定して適応的に出題するプロセスから成る。前者は、多数の被験者のデータから全問題の項目パラメタを算出して設定する必要がある、多大なコスト [27] が要求される。一般的な e ラーニングを活用している教育現場において授業で扱う問題全ての項目パラメタを算出するとなると運用が難しくなることが想定される。本研究で扱う適応型テストでは、前述の通り、予習の演習問題を再利用して、動的な変化を与えることで、予習の学習状況の確認を行うことを目途としている。そのため、本研究では IRT で仮定される連続量としての能力値を仮定せず、客観テストに基づく能力値判定までの精度を担保することを求めないこととする。そこで、後者の難易度選定以外のロジッ

クは，本研究で扱える範囲内で簡便な形に置き換えた．これは将来客観テストに適用できる拡張性を考えてのことである．置き換えた内容は具体的には，前者のプロセスで設定する問題群の項目困難度を，過去の学習者の正誤情報に基づいて推定するのではなく，ルーブリックに基づき教師が経験に基づいて設定した7レベルで規定した．この7レベルに対応した整数値をIRTにおける項目困難度の値とみなし，項目ごとに付記した．付記した値を表3.2に示す．

表 3.2 ルーブリックに基づき設定した値

教材のレベル	設定した値
1	-3
2	-2
3	-1
4	0
5	+1
6	+2
7	+3

この項目困難度の値を用いて，これまでの正誤履歴に応じた能力値を項目出題の都度算出し，能力値を次に出題する項目の選定の根拠材料に用いた．推定した能力値は1から7までの整数値に置き換えられ，この値を予習の学習状況の理解度レベルとして，テスト終了段階で学習者に提示した．

#### 3.4.4 管理者向け機能群

学習者が前述の学びを行うために，教員は授業で扱う単元のテストや予習教材の設定を行う必要がある．このように授業（コース）の管理をするための機能として，コース管理機能を実装した．その機能では，確認テストの設定を行えるようにした．そして，教員が確認テストの結果を閲覧するための機能とし

て，成績管理機能を実装した．

#### 3.4.4.1 コース管理機能

本稿の確認テストの仕様は，予習教材の取組状況を確認するためにテスト専用の問題ではなく演習問題を再利用することである．この演習問題は単元単位でまとめた教材として管理される．確認テストの設定ではこれを意識して設定を行う．1つは出題対象とする単元を選ぶことである．もう1つはその単元から出題する問題数である．図 3.18 に画面の例を示す．出題対象とする単元と問題数を選ぶ画面の例を図 3.19 に示す．

図 3.18 確認テストの設定画面



図 3.19 確認テストの設定画面

最後に確認を行い，設定を完了する（図 3.20）．設定を完了後に，適応型学習支援システムは演習の解説情報を自動で除去し，テスト問題を生成する．



図 3.20 確認テストの設定画面



### 3.4.4.2 確認テスト結果閲覧機能

確認テスト結果閲覧機能は、テスト終了段階で学習者全員分の理解度レベルを教員が一覧形式で閲覧できる機能である。画面の例を図 3.21 に示す。

コース学習状況

2018年度 Cプログラミング クリックで開/閉

詳しくみる

進捗率

取り組み時間

適応型演習結果

復習モード結果

模擬テストモード結果

テスト結果

理解度テスト結果

適応型テスト結果

授業毎取り組み状況

節毎取り組み状況

個人コース取り組み時間

レベルの意味は下記の通りです。

レベル	概要
レベル7	十分に知識の理解をしています。間違えた・解いていない問題を重点的に解いて、引き続き頑張りましょう。
レベル6	まだ十分に知識の理解をしていません。該当するレベルを解いて、次のレベルを解けるように頑張りましょう。
レベル5	
レベル4	
レベル3	まだ十分に知識の理解をしていません。該当するレベルを解いたり、教科書を見て基本的な箇所から復習しましょう。
レベル2	
レベル1	

理解度テスト結果 CSVダウンロード

アカウント情報		第一回	第二回	第三回	第四回	第五回	第六回	第七回	第八回	第九回	第十回	第十一回理解度テスト	第十二回理解度テスト
アカウント	クラス	第一回理解度テスト	第二回理解度テスト	第三回理解度テスト	第四回理解度テスト	第五回理解度テスト	第六回理解度テスト	第七回理解度テスト	第八回理解度テスト	第九回理解度テスト	第十回理解度テスト	第十一回理解度テスト	第十二回理解度テスト
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2	-	1	4	4	1	-	1	3	1	6	3
		2	4	6	5	1	4	5	3	1	5	5	2
		5	-	5	6	4	6	6	-	1	4	6	2
		6	6	3	6	4	3	7	4	6	6	5	5
		6	5	6	5	6	7	6	4	5	5	7	6
		1	1	3	4	2	5	3	1	2	2	1	2

図 3.21 確認テストの結果一覧画面

教員は図 3.21 の一覧から受講者の理解度レベルの分布を知ることができる。授業時には分布状況を Excel でグラフ化し、教室のプロジェクターに写すことで受講者全員と状況を共有できる。この共有は全体の理解度レベルの状況やその中での個々人の立ち位置を把握するきっかけとなる。1 週目から 3 週目の例を図 3.22、図 3.23、図 3.24 に示す。

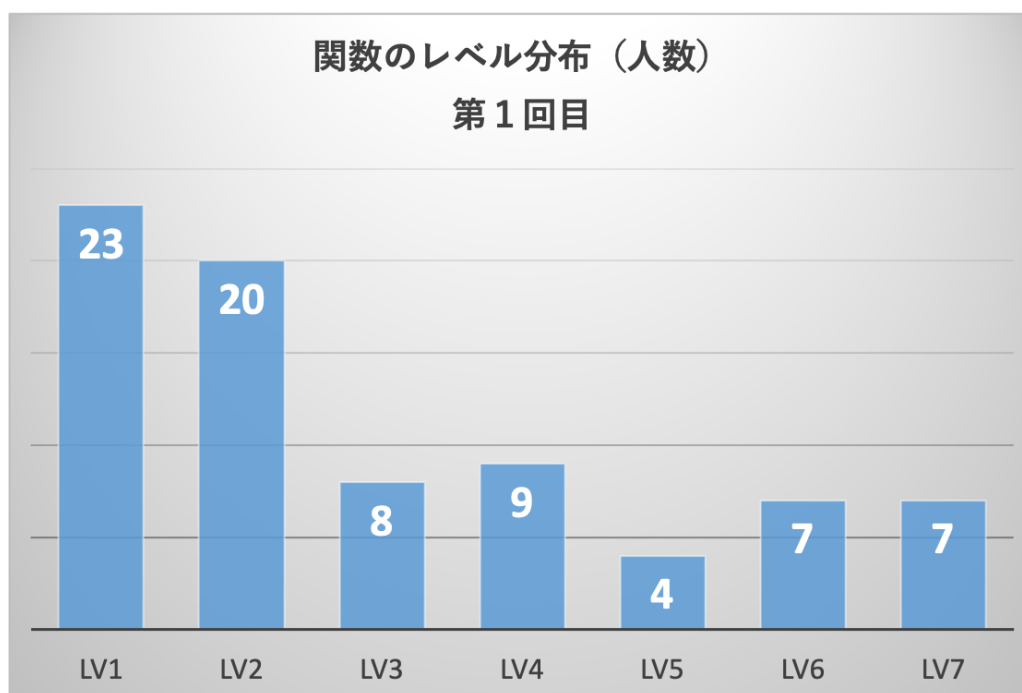


図 3.22 確認テストの分布状況の例（1 週目）

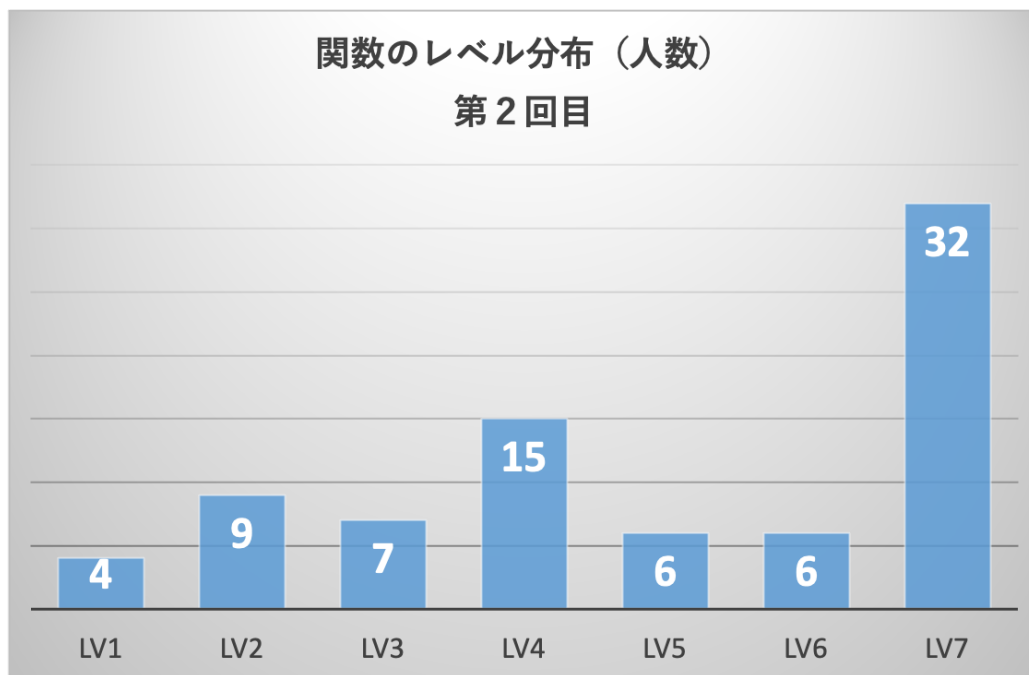


図 3.23 確認テストの分布状況の例（2 週目）



図 3.24 確認テストの分布状況の例（3 週目）

## 3.5 検証と考察

前項までに説明した反転学習モデルを実際の科目に適用して、3.4節で提案した適応型学習支援システムの有効性を検証した。適用した科目は、A大学のC言語の基礎内容（変数、関数、ポインタなど）を全15週の実習形式で構成する情報系学科2年次必修科目「Cプログラミング」である。受講者数は99名である。

反転学習モデルに沿って、授業時間内外でシステムを活用できるようにした。具体的には、授業までに3.4.2項で述べたトレーニング機能を通じて予習教材を取り組めるようにし、授業開始時にテスト機能(3.4.3)を用いて学習者の予習状況を確認した。C言語の「ポインタ」の単元を扱う授業で得られたデータをもとに提案したシステム(3.4)の妥当性と有効性およびモデル(3.2)の有効性の評価を行った。ポインタの単元は4週で構成されている。各学習目標は、1週目はループリック1「ポインタの用語・概念を理解して簡単なプログラムを作る」、2週目はループリック2「ポインタ＋関数による平均などの計算を行うプログラムを作る」、3・4週目はループリック3「2重ポインタを使ったデータ管理のプログラムを作る」である。予習教材との対応は、設定したループリック1から3に呼応して、表3.1で示したように1週目はレベル1・2、2週目はレベル3・4・5、3・4週目はレベル6・7とした。なお、単元毎にテスト結果における最上の到達レベルを成績の一部として扱う旨が受講者に通知された。4週目は、前週に高レベルに到達する学習者が多い状況からテストは必須ではなく任意の受検とした。

### 3.5.1 システムのログに基づくテスト機能の妥当性の評価と特性

授業の構成上、確認テストを15分程度確保することとした。テスト問題は事前に演習問題として提示することをふまえると1問あたり1分程度で解くこと

を前提とした場合に，15 分程度で学習者が解答を終える問題数は 10 から 15 程度であると考えられた．今回の評価では確認テストの問題数を 10 から 15 の間の 12 問に設定した．

本研究で開発した確認テストは学習者毎に毎回適応的に出題する仕様である．よって，出題された問題のレベルは学習者毎に異なる組み合わせとなる．そのため，今回は出題した 12 問の中で，正答したレベルの平均を学習者の予習したレベルと考える．なお，この評価基準は暫定的なもので，その妥当性については今後検討が必要である．先ず，テストで学習者  $i$  が正答したレベルの平均値  $av_i$  を計算する．テスト機能が提示した理解度レベル  $m_i$  と  $av_i$  とのずれを見ることで  $m_i$  の定義の妥当性を評価する．4 週間に確認テストを受検した件数は 285 件になった． $m_i$  の値から  $av_i$  を引いた差の値毎の件数とその割合を表 3.3 に示す．

表 3.3 理解度レベルと平均値の差毎の件数

ずれ	件数（割合）
- 3	1 件（0.4%）
- 2	4 件（1.4%）
- 1	40 件（14.0%）
0	126 件（44.2%）
+ 1	112 件（39.3%）
+ 2	2 件（0.7%）

0 は  $m_i = av_i$ , +1, +2 は  $m_i > av_i$ , -1 ~ -3 は  $m_i < av_i$  を表す. 結果から, 約半数が平均値と一致し,  $\pm 1$  の範囲にほとんどが収まっていることが確認できる. このことから, 3.4.3 節で定義した理解度レベルの値は平均値と 50 % 近く同じで, かつ  $\pm 1$  まで含めると 97 % となり, 概ね同じ値を示すことがわかった. よって, テスト機能が提示した理解度レベル  $m_i$  は平均的に正解したレベルといえる. 次に, 本研究で提案する適応ロジックの特性を調べるために, ずれ毎の正答数を調べた (表 3.4).

表 3.4 理解度レベルと平均値の差毎の正答数

ずれ	正答数		
	最小	平均	最大
-3	2 問	2.0 問	2 問
-2	3 問	3.0 問	3 問
-1	3 問	4.3 問	6 問
0	2 問	6.2 問	12 問
+1	5 問	7.4 問	9 問
+2	8 問	8.5 問	9 問

#### 3.5.1.1 $m_i > av_i$ のケース

$m_i > av_i$  のケースを調べた. 正答数の分布を図 3.25 と図 3.26 に示す.



図 3.25 ずれが +2 の正答数の分布

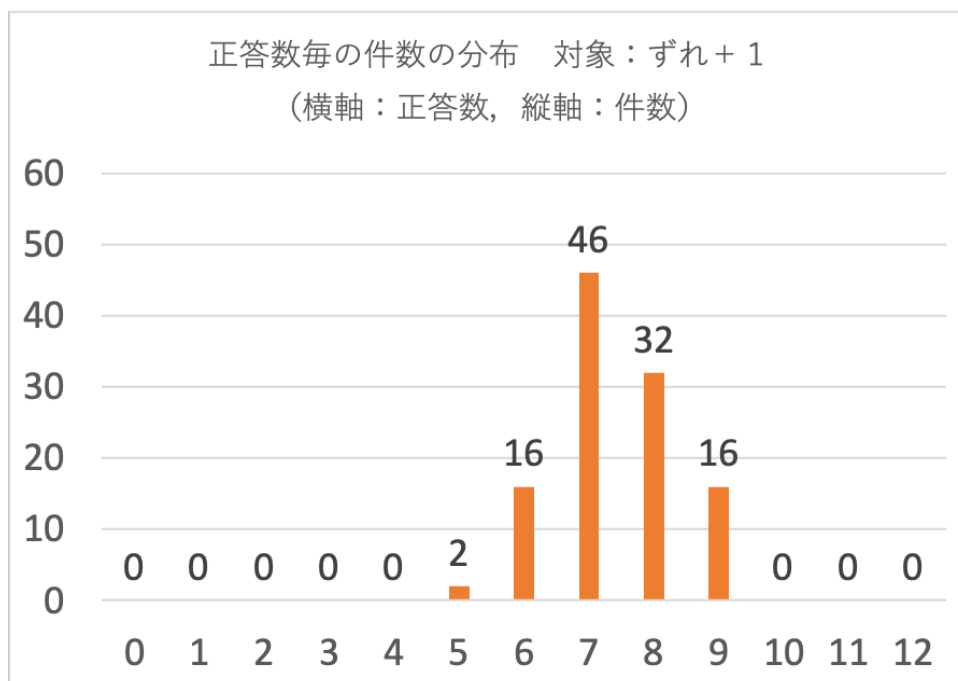


図 3.26 ずれが +1 の正答数の分布

表 3.4 及び図 3.25 並びに図 3.26 から、このケースは正答数が平均的に高いことがわかる。このことは、主にレベル 6 などの高い理解度レベルが提示され、提示される問題のレベルが全体的に高く、正答傾向にある学習者で観測された。このときの出題と正答パターンを調べると、提示された理解度レベルと同一レベルの問題群について、学習者が概ね正答しているが、提示されたすべての問題は必ずしも正答していない傾向を確認した。とくにずれが 2 の差がでている図 3.25 の 2 件では、最初の数問を誤答したことからその次から低いレベルが出題され、その時点から連続で正答して、最後には出題された高いレベルも正答していることがわかった。これらのことから、学習者がレベルの高い問題に一定程度正答すると、その値を反映した評価を採用しやすいことが分かる。一方で、低いレベルからも出題されたため、テストで提示されたレベルについて設定した 12 問で十分に測れたとはいえない課題がある。

#### 3.5.1.2 $m_i < av_i$ のケース

$m_i > av_i$  のケースを調べた。正答数の分布を図 3.27, 図 3.28, 図 3.29 に示す。





図 3.27 ずれが-3 の正答数の分布



図 3.28 ずれが-2 の正答数の分布

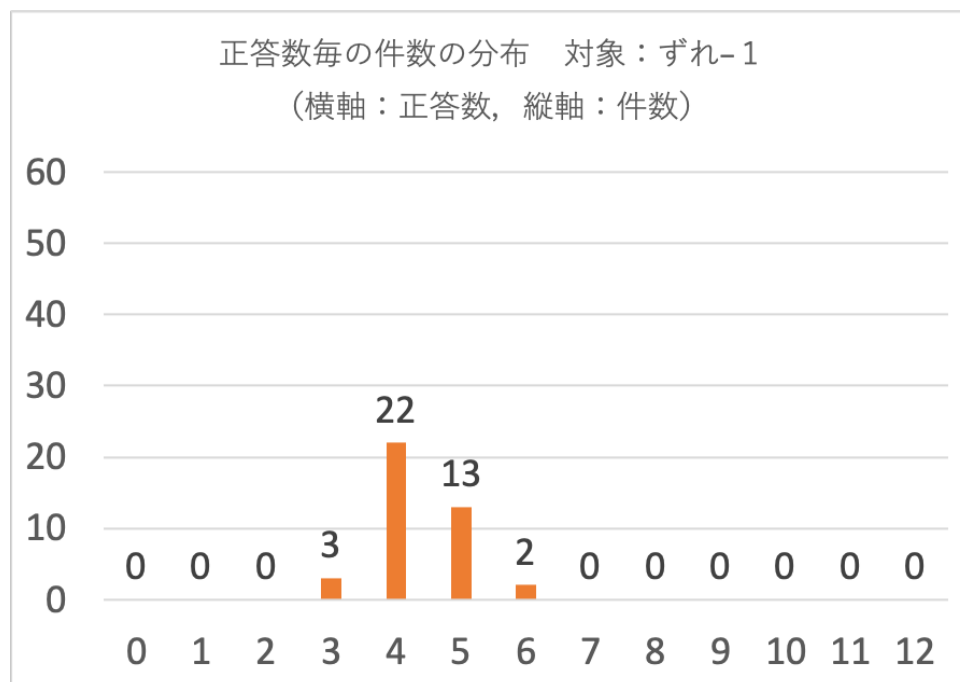


図 3.29 ずれが-1 の正答数の分布

表 3.4, 図 3.27, 図 3.28, 図 3.29 から,  $m_i < av_i$  のケースは正答数が平均的に低いことが分かる. このようなケースは, 主にレベル 3 の低い理解度レベルの学習者に多く, 提示される問題のレベルが全体的に低く, 誤答傾向にある学習者で観測された. このときの出題と正答パターンを調べると, 提示された理解度レベルよりも高いレベルの問題を一度は正答しているが全体的には解けていない問題が多いことを確認した. とくに, ずれに 3 の差がでている図 3.27 の 1 件では, 最初に中レベルの問題に正答したのみで, その後は中レベルから低レベルを連続で最後まで誤答したため, レベル 1 が提示されていた. ずれに 2 の差がでている図 3.28 の 4 件では, 最初～中盤に中レベルを 3 問正答したが, 他の 9 問の中・低レベルの問題に誤答したため, 低いレベルが提示されていた. これらのことから,  $m_i > av_i$  のケースと異なり, 学習者が平均値と比較して高いレベルの問題に解答しても, 誤答傾向を反映して, 低めの評価を採用しやすいことが分かる. よって, 平均的に正答したレベルよりも適切なレベルが提示され

ているといえる。

### 3.5.1.3 妥当性と特性の考察

本研究で提案する適応型ロジックは、評価の基準（3.5.1 節）と概ね一致する点とずれ毎でみたロジックの特性の点から確認テストとして妥当であると考えられる。また、適応型のロジックを用いると、一定の問題群の正答・誤答状況に応じて、適応的に問題の難易度を変更しながら、正答数が多ければ高め・誤答数が多ければ低めといった形で理解度レベルを提示する傾向を示すことが分かった。

### 3.5.2 質問紙に基づくテスト機能の妥当性の評価

学習者の予習内容と理解度レベルのずれを調べることで、学習者の実感という観点から理解度レベルの妥当性を評価するために、学習者に質問紙の形式で調査を行なった（ $n=79$ ）。質問は「予習した範囲のレベルを振り返ると、実際に取れたレベルは妥当だと思いましたか？」とし、設問は「はい」「いいえ」「どちらともいえない」とした。結果を図 3.30 に示す。「はい」と回答した人数は 55 名、「いいえ」と回答した人数は 14 名、「どちらともいえない」と回答した人数は 10 名となった。各回答には低い理解度レベルの学習者から高い理解度レベルの学習者が見られた。「いいえ」と回答した否定意見の理由をヒアリングしたところ、「提示されたレベルの問題が少ししか正解していない」などの意見が主に高い理解度レベルの学習者から得られた。これは前述した学習者がレベルの高い問題に一定程度正答すると、その値を反映した評価を採用しやすい適応ロジックの特性と一致する。該当者に対して、予習段階で少しでも当該レベルの問題群が解ければ理解度と設定するポリシーに違和感を感じるかとの問いかけについてはポリシーに概ね理解を示す結果となった。これらの結果を踏まえて約 7 割の肯定意見が得られたことから、実際に受検した学習者からも理解度レベルの妥当性が示唆された。

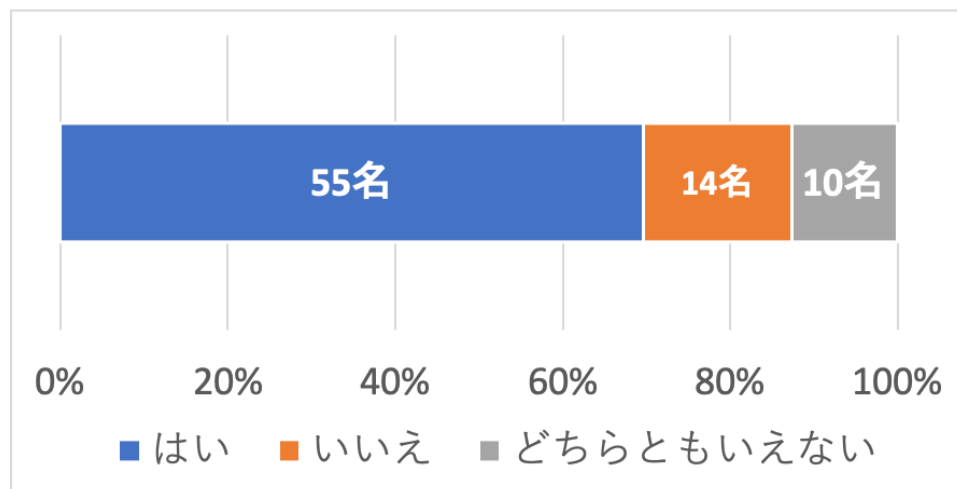


図 3.30 予習した範囲のレベルを振り返ると、実際に取れたレベルは妥当だと思いましたか

### 3.5.3 トレーニング機能の利用の特性

システムのログから予習におけるシステムの利用状況を調べ、トレーニング機能の利用の特性を調べた。まず、トレーニング機能を利用した人数は74人（全体の75%）であった。このことから、トレーニング機能を活用して予習を行っていることを確認した。モードの利用状況を調べた。表3.31に示す。

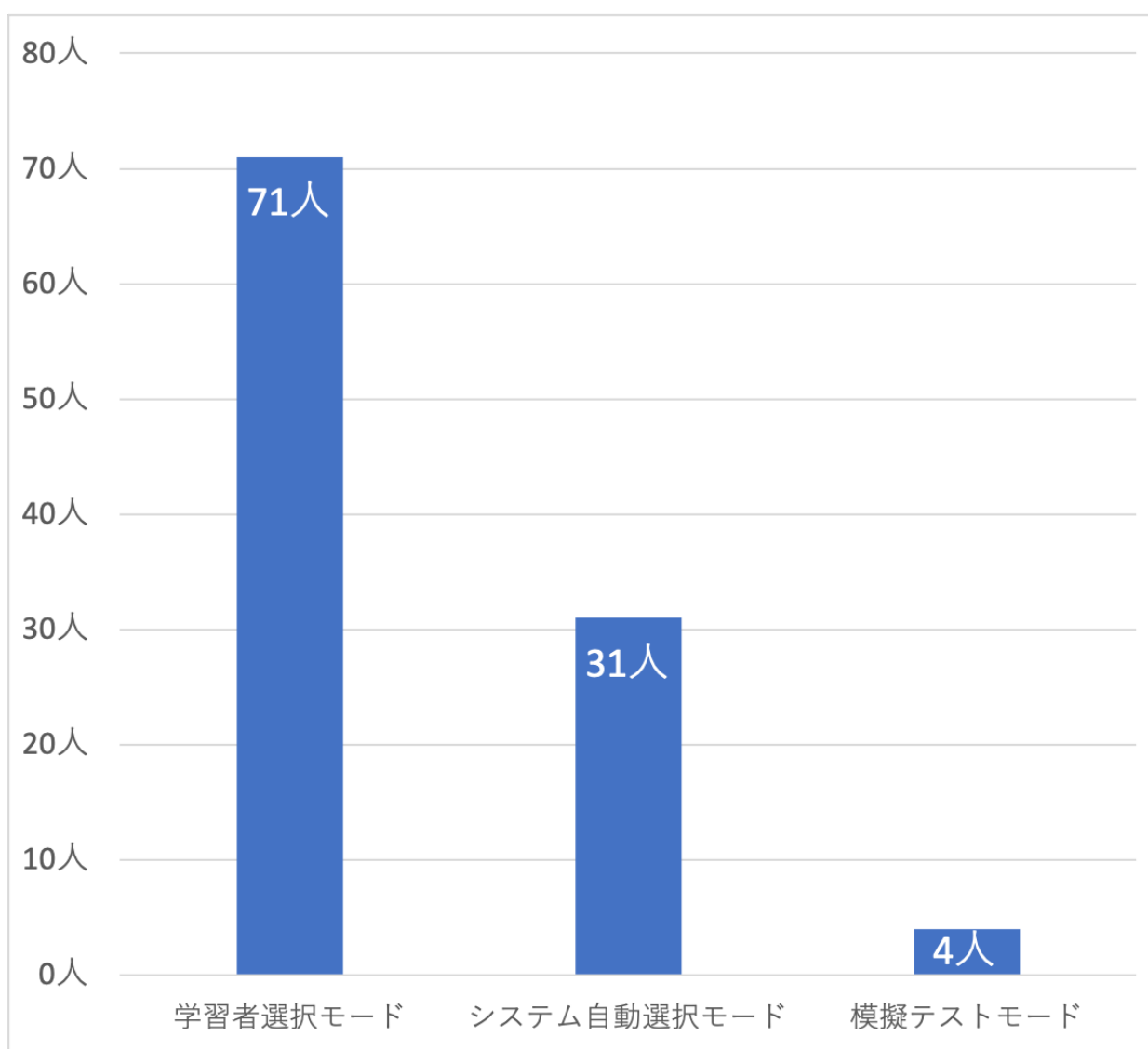


図 3.31 トレーニング機能の各モードの利用者数

この結果から、システムにより自動的にレベルと問題が選ばれて学習するよりも自身でレベルと問題を選択して取り組めることが支持されることがわかった。表??からレベル別演習問題の取組み状況をみると、1週目は低レベルが中心に解かれ、週が進むにつれて中レベルから高レベルが中心に解かれた。また、1週目に目標以上の中・高レベルが解かれたことと、逆に2・3週目において目標以下の低レベルが解かれたことがわかった。この結果から、学習者選択モードを使って、学習者が毎回の授業で定められた目標（理解度レベル）に向かって、自ら問題を選んで予習ができ、結果的に多くの学習者が単元の中で段階ごとに求められる理解度に主体的な予習によって追随していることが示唆された。一方で、システムにより自動的にレベルと問題が選ばれて学習することが支持されない結果になった。多数の教材をもとに自学自習で学習を進める際には、効率的に学習を進めるという観点で、システム自動選択モードのような適応型のトレーニング機能が有効に活用されることが期待される。しかし、今回のような反転型の予習では、学習者が学習段階で知識を積み上げて体系化する中で、確認テストの結果と構造化された教材に沿って、自らの意思で教材を選択しながら学習を進める選択肢を選ぶことがわかった。一方で、個々人に適した学習を考えて指導する仕組みをシステム活用を通じて展開することが今後重要になっていくと考えられる。今後は、適応型の機能による問題の選出・提示の方法が不十分なのか、あるいは理工系学生の特長やプログラミング系科目の特長なのかといった点を踏まえて継続的な検証が求められる。

### 3.5.4 システムを活用した反転学習モデルの評価

4週分の確認テストの結果を調べ、全体的な理解度レベルの達成状況から本研究で想定する反転学習モデルを評価する。本研究では授業中の学習活動は理解度の向上に対して影響を与えることが想定されるが、その学習活動の内容は本章の範囲を超えるため、主にシステムのトレーニング機能による影響という一面から評価する。4週分の理解度レベル毎の人数の分布を図3.5に示す。週の途中から出席して確認テストを受検した学習者がおり、人数が週により異なる。1週目は低レベル(1~3)が多く、全体的に理解度に差がみられるものの、2週目には低レベルからレベル3以上にシフトしていき、3回目には各自のペースで当該單元における最終的に到達すべきレベル6、レベル7の理解度を達成する学習者が多くを占めていることを確認した。また、各週にトレーニング機能を利用して演習問題が解かれた回数を調べ、トレーニング機能を利用した予習が行われたことを確認した(表4)。これらのことから、最初に理解度レベルが低い学習者であっても週を重ねるごとに高いレベルへと上がっていき、全体的に高い理解度レベルに到達できる反転学習モデルであることが示唆された。しかしながら、低いレベルの学習者が数名程度残っていることも確認された。これは、本システムの限界を示す結果といえる。一方で、理解度レベルの分布を見ることで、こうした学習者を特定できることから、理解度レベルの可視化を通じた個別の学習支援を図れるシステム拡張が今後の検討課題と考える。

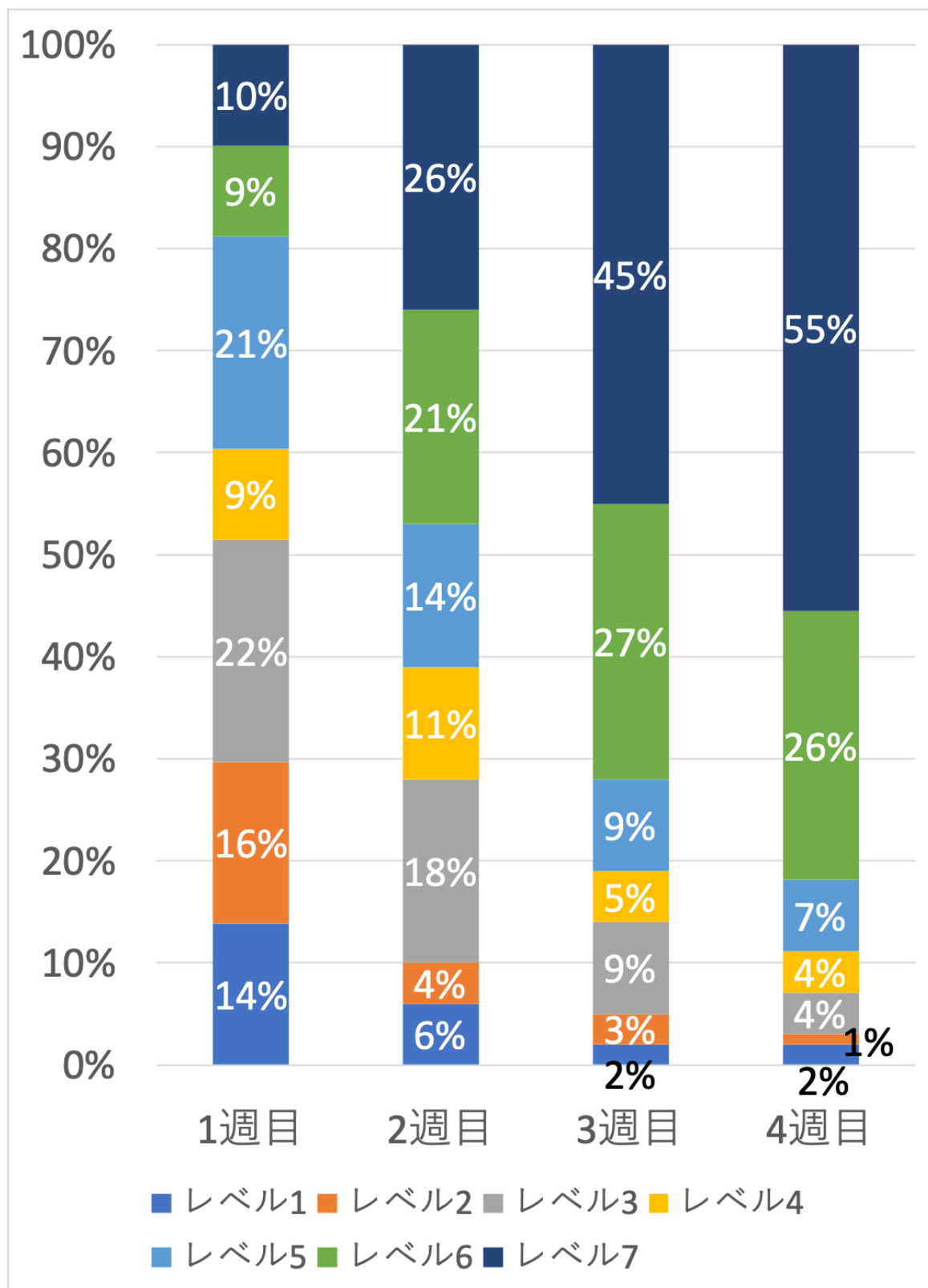


図 3.32 4 週分の理解度レベルの人数の分布



表 3.5 レベルごとの解かれた回数

	1 週目	2 週目	3 週目	4 週目
レベル 1	563	222	114	51
レベル 2	495	285	108	45
レベル 3	436	274	137	43
レベル 4	459	416	223	101
レベル 5	72	113	74	34
レベル 6	80	144	103	61
レベル 7	63	205	193	114

### 3.6 本章のまとめ

本研究で提案・開発した適応型学習支援システムをプログラミング実習科目に適用して、その有効性を検証した。システムのログ及び学習者に対する質問紙による調査結果からテスト機能の妥当性及び特性を確認した。トレーニング機能を活用した学びを通じて、週を重ねるごとに全体的に高い理解度レベルに推移していることが確認できた。これらの検証結果から、反転学習において、構造的な学習教材をベースに予習を行うと同時にその理解度を確認できる適応型学習支援システムの有効性が示唆された。

## 参考文献

- [3] 中野彰. 反転授業の動向と課題. 情報教育研究センター紀要 (23). 2015.
- [7] ジョナサン・バーグマン et al. 反転授業. オデッセイコミュニケーションズ, 2015.
- [8] B. S. Bloom. *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. McGraw-Hill, 1971.
- [13] 高木正則. “数学リメディアル教育における反転授業の実践と評価”. In: 研究報告コンピュータと教育 (CE) 2015-CE-131.14 (2015), pp. 1–6.
- [14] 水谷晃三. “プログラミング初学者を対象にした動画教材による反転授業の実践と評価”. In: 研究報告教育学習支援情報システム (CLE) 2015-CLE-17.34 (2015), pp. 1–8.
- [18] 辻 慶子 et al. “知識マップを介して知識修得・活用を図る学習支援システムの開発”. In: 教育システム情報学会誌 34.3 (2017), pp. 251–260. DOI: 10.14926/jsise.34.251.
- [19] Java ソフトウェア — Oracle 日本. <https://www.oracle.com/jp/java/>. (Accessed on 12/30/2020).
- [20] Welcome! - The Apache HTTP Server Project. <https://httpd.apache.org/>. (Accessed on 12/30/2020).
- [21] Apache Tomcat® - Welcome! <http://tomcat.apache.org/>. (Accessed on 12/30/2020).
- [22] PostgreSQL: The world's most advanced open source database. <https://www.postgresql.org/>. (Accessed on 12/30/2020).
- [23] Apache Wicket. <https://wicket.apache.org/>. (Accessed on 12/30/2020).
- [24] GitHub - google/guice: Guice (pronounced 'juice') is a lightweight dependency injection framework for Java 6 and above, brought to you by Google. <https://github.com/google/guice>. (Accessed on 12/30/2020).
- [25] 津森伸一 and 海尻 賢二. “理解状況に適応した選択問題生成方法の検討”. In: 教育システム情報学会誌 26.3 (2009), pp. 240–251.
- [26] F Baker and S.H. Kim. *Item Response Theory*. Marcel Dekker Ltd, New York, 2004.
- [27] 池田信一 et al. “多肢選択式項目の出題パターンと選択肢の類似性に着目した難易度推定方法の提案と評価”. In: 情報処理学会論文誌 54.1 (2013), pp. 33–44.

## 第4章

# 適応型学習支援システムを活用した 反転型授業の提案と評価

### 4.1 本章の目的

3章では、学習者の理解度に応じて学習を進め、その理解度の確認を図れる適応型学習支援システムについて、複数週で一単元を扱う授業の予習を想定した反転学習モデルを提案し、開発したシステムを実際の授業に適用して予習段階における理解度向上を示した。しかし、このシステムを有効に活用するには、予習と授業を組み合わせた一体的な学習過程を通じた考察が必要である。

本章では、主に授業設計の観点に立ち、前章で述べた反転学習モデルと適応型学習支援システムとの一体化について議論を展開する。具体的には、特定の知識領域に沿って展開される科目での単元を想定し、複数週の授業で知識の定着・活用・応用を段階的に扱う授業を適用の対象とする。そして、適応型学習支援システムを活用して、学習者の理解度に応じた予習を促し、理解度を意識した授業活動を図れる反転型の授業設計を提案する。その上で、プログラミング系科目での授業実践を通じて、予習と連動した授業設計の有効性を単元毎に吟味する。

## 4.2 提案する授業設計

本研究で提案する授業形態は反転学習とアクティブ・ラーニングを組み合わせた形式である。教員は授業中に予習で学ぶ基本的な内容の解説（講義）を一切行わず、課題解決型の授業形態を前提とする。授業形態は3.2節で示した反転学習モデルであり、予習の理解度を活用した観点を取り入れた授業の流れを図4.1に示す。授業開始時に予習状況をCBTを活用した確認テストで確認し、確認後に課題のワークシートを配付する。ワークシートを通じて、まずは個人で課題に取り組む（個人ワーク）、その後にグループで課題に取り組む（グループワーク）。授業の最後には、最終課題を個人で取り組み、予習を含む授業内外での学びの振り返りを行う。

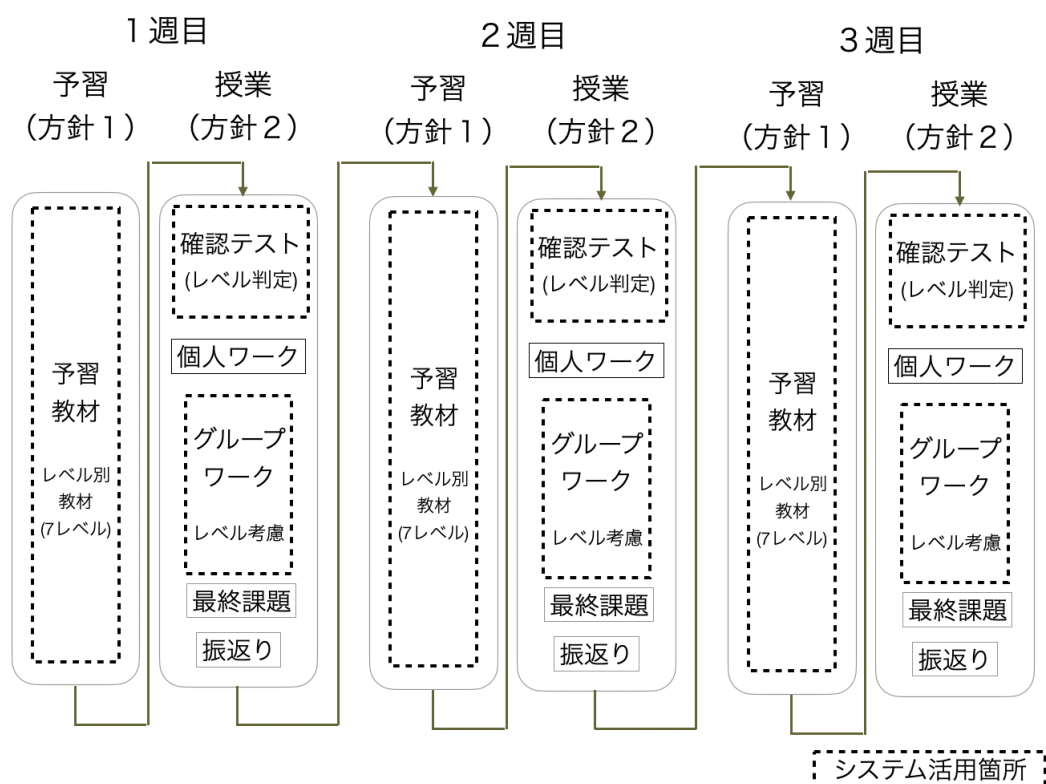


図 4.1 授業設計の概要

一単元を想定した複数週にわたり予習と授業が連動する流れの中で、学生の自律的な学習を引き出すために、次の2つの設計方針を設定した。1つめの方針（方針1）として、予習段階で、次の授業での学習目標を提示するが、実際にどの目標（レベル）まで予習するかは学習者に任せることとした。このため、単元全体の複数週分の予習教材をすべて学習者に提示して、これを演習問題を自ら選んで取り組める機能を活用しながら、学習者のペースで学習させる。2つめの方針（方針2）として、授業では、予習の取組状況を学習者に意識させて課題に取り組ませることとした。このため、授業開始時にCBTを実施して予習の理解度レベルを測り、学習者に確認させる。あわせて教員は、理解度に応じた学びの姿勢を助言する。授業中に課す毎回のグループワークでは、理解度にもとづいてグループ構成を生成できる機能を活用して理解度レベルの高い学習者と低い学習者が混在するグループ構成を生成し、相互の学び合いを促す。そして授業の最後に、その授業回の内容の振り返りや次回に向けた取組姿勢を学習者に考えさせる。次項から各方針に沿った授業設計を述べる。

#### 4.2.1 方針1に沿った授業設計

方針1に沿った授業設計は、予習に関する取組を規定するものであり、主に3章で記載した適応型学習支援システムの演習問題を自ら選んで取り組める機能を活用する。授業設計としては、システムを通じて7レベルのすべての演習問題を授業期間中にすべて公開し、その選択を学習者に任せることとした。この際、複数週の学習過程での自律的な学習の誘引に向けて、週毎に学習の意識付けを図る設計を行った。具体的には、学習者はCBTを活用して自らの予習段階での理解度レベルを授業開始時に確認し、授業終了時には全体の活動の振り返り活動を行う。予習と授業の振り返りを行うことで、次週以降の予習や授業に対する意識付けを図れると考えた。例えば授業のグループワークでリーダーシップを発揮できた学習者は、事前の予習をきちんと行っていることを振り返り、翌

週以降も先取り学習を行い、より高レベルの教材の予習を行うことが想定される。一方、グループワークで教わる側の役割となった学習者は、何らかの理由で内容理解に躓いていることを振り返り、レベルの低い教材に戻り反復的な学習を行いながら、自らのペースで徐々にレベルを上げていくことが想定される。このように、方針1は、複数週での授業形態を前提とする方針2と連動して、連続的・反復的な学習過程での自律的な学習を促すための方針といえる。

#### 4.2.2 方針2に沿った授業設計

方針2に沿った授業設計は、対面で行うアクティブ・ラーニングに予習の理解度を活用するもので、3章で記載した適応型学習支援システムの適応型のCBTと理解度にもとづいてグループ構成を生成できる機能を利用する。最初に、学習者は授業開始時に適応型のCBTを活用してテストを受検し、授業開始時に自らの理解度レベルを確認する。続いて学習者は、教員から理解度レベルに応じた助言を与えられる。理解度レベルの高い学習者は、グループワークで他者に教えることを通じて自らの理解を深めるように助言される。理解度レベルの低い学習者は、個人ワークの時間に予習用の教材を見直しながら知識を補完したり、不明な部分を積極的にティーチングアシスタントに質問して、グループワークに臨むことを勧められる。これにより、学習者は自身の理解度に応じて学ぶ姿勢を授業開始時に明確にできる。ここで、CBTの管理者機能では、授業に参加する学習者全体の理解度の分布を把握できる仕組みを実装している。この機能を活用することで、教員は授業開始時に学習者の事前の理解度を把握した上で授業の展開を図ることができる。例えば、全体的に理解度が低い学習者集団が多い授業回のグループワークでは、数少ない理解度レベルの高い学習者にリーダーシップを取って教えるように助言を与える。一方、理解度レベルが高い学習者集団が多い授業回では、グループワークで相互に知識の創発を意識するように促す。上記の授業開始時の教員からの助言の後、個人にワークシート

を配付して、授業の到達目標に応じた課題を提示する。予習段階では、理解度のばらつきが予想されるため、この個人ワークでも理解度の差が生じる。そこで、個人ワークを一定時間取った後に、学習進捗の差異を考慮して、グループワークを行う。この取組を通じて、グループで課題の進捗状況を共有して、相互に教え合いながら課題に取り組ませる。この際、授業開始時のテスト結果の理解度レベルにもとづいてグループ構成を生成できる機能を活用して、レベルの高い学習者と低い学習者を必ず混ぜる形で自動的にグループを構成した。当該機能で自動的に構成する際には、高いレベルから順に1名ずつ選定を行い、各レベルの学習者を各グループに配置することとした。本機能を利用したグループ編成のイメージを図4.2と図4.3に示す。理解度の進んでいる学習者と出遅れている学習者が同一グループに必ず存在するため、グループでの教え合いを促して、相互の学びの誘発が期待される。また、学習者が当該授業の前に行う予習の活動が授業中のグループワークに紐付くことで、学習者に学びの連続性を意識させることが期待される。特に、次回の授業に向けた予習の誘引を期待している。授業の最後では、最終課題を個人ワークとして提示する。グループワークでは、最終課題に対する方針や道筋を協議し、全員がその説明を教員もしくはティーチングアシスタントにできることが課されている。そこで、学習者は何らかの形で最終課題に着手した状況で振返りを行うことになる。学習者は、授業開始時のCBTを通じた予習の理解度の状況、グループワークでの自らの活動や他者から得られた知見、最終課題の取組成果等、授業全体の振返りを行う。



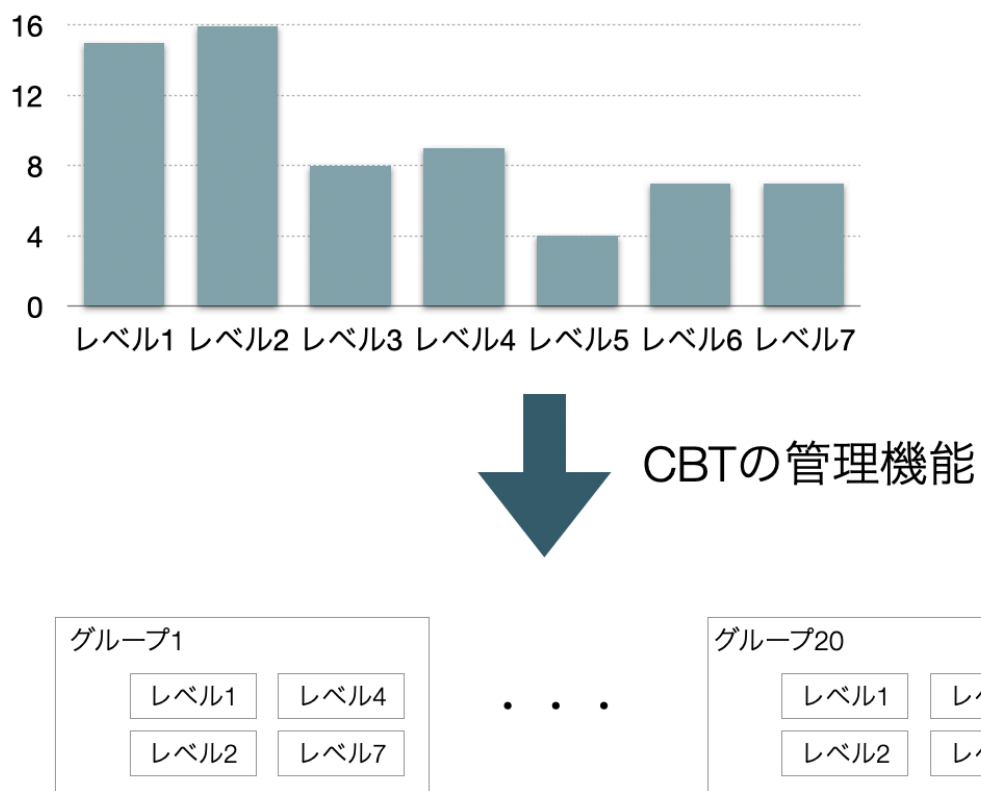


図 4.2 理解度レベルが低い場合のグループワーク編成のイメージ

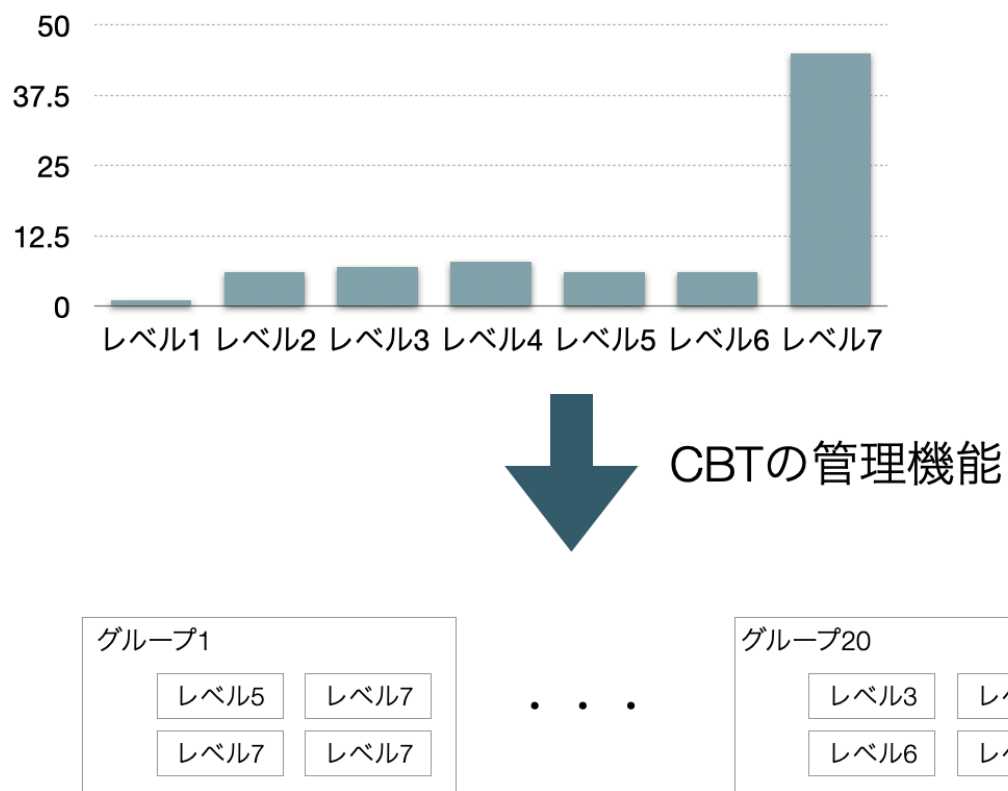


図 4.3 理解度レベルが高い場合のグループ編成のイメージ

## 4.3 評価と結果

### 4.3.1 導入授業

4.2 節の授業設計に基づき，授業実践を行った．授業は，A 大学の C 言語を実習形式で学ぶ科目（2 年次の情報系学科必修科目）である．この科目で扱う単元は，変数・条件式・繰り返し文，配列，関数，ポインタ，構造体とした．1 つの単元を基本 3 週で設計した．2017 年度～2019 年度の 3 年間にわたり，対象学生全員に対して同じ授業設計を適用した．

### 4.3.2 授業設計全体の評価

本研究で提案する授業設計全体の有用性を調べた．試験を通じた理解度とアンケートを通じた満足度の二つの観点から調査した．

#### 4.3.2.1 期末試験を通じた理解度の調査

理解度の調査については，提案する授業設計の導入前（2016 年度）と導入後（2017 年度）の期末試験の結果を用いた．期末試験は，プログラミングの文法を活用したコーディングの記述式が中心で，主に知識の定着・活用を測るように作られている．導入前の 2016 年度は，講義と実習を授業時間中に実施して，その後復習として e ラーニングで演習課題を課す形態であった．一方，導入後の 2017 年度は，2016 年度の講義で使われた授業教材を予習用の Web 版教材として事前公開した．同様に，2016 年度の復習用の演習教材を拡充して，適応型学習支援システムで活用できるレベル別の演習教材を整備した．年度別の試験結果を図 4.4，図 4.5，図 4.6，図 4.7，表 4.1 に示す．なお表には，継続的に実証を行った 2018・2019 年度の期末試験の結果も示す．比較するために，2016 年度に出題された問題の 62 点分を 2017，2018，2019 年度に全く同様に出题した．この共通した問題の得点を抽出し，導入前の授業で扱う学習範囲の設問の正答数を掲載

している.

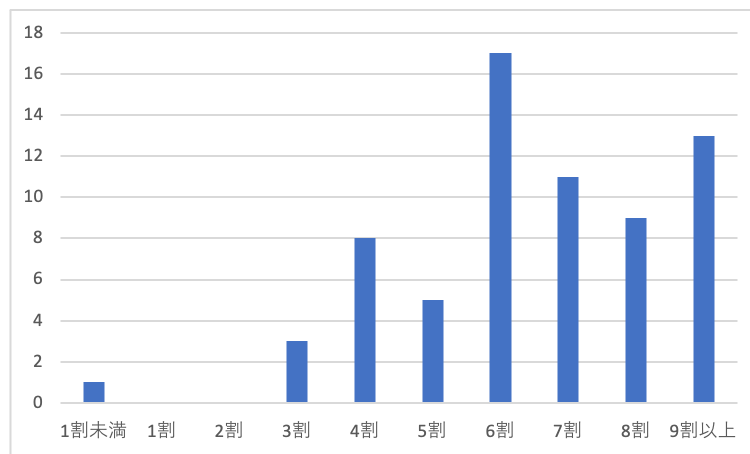


図 4.4 2016 年度の得点分布 (2016 年度に出題された 62 点分)

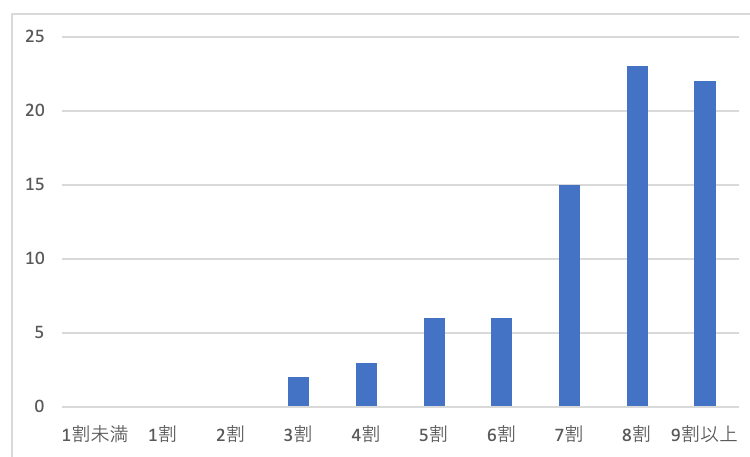


図 4.5 2017 年度の得点分布 (2016 年度に出題された 62 点分)

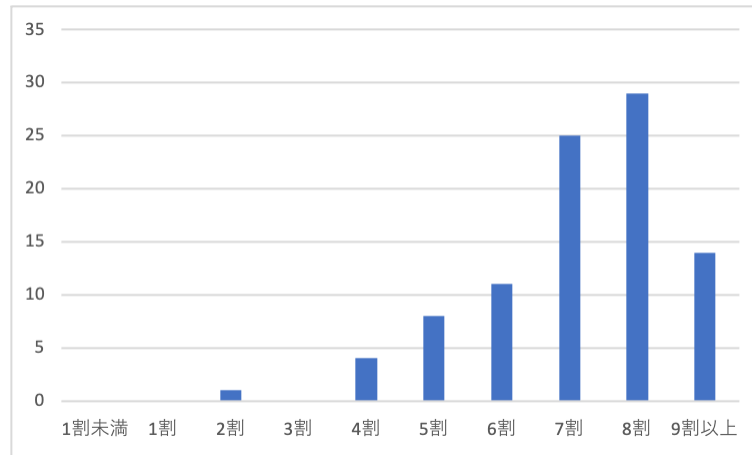


図 4.6 2018 年度の得点分布（2016 年度に出題された 62 点分）

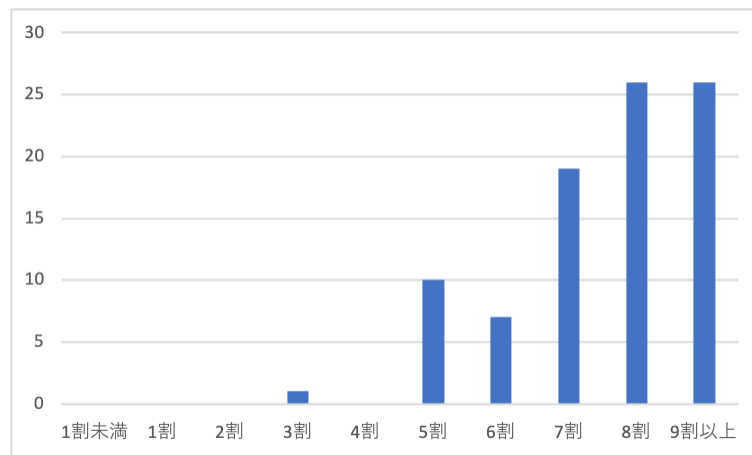


図 4.7 2019 年度の得点分布（2016 年度に出題された 62 点分）

表 4.1 期末試験の結果

年度	人数	平均点（2016 年度に出題された 62 点分）	標準偏差
2016	67	43.1	12.2
2017	77	49.1	9.7
2018	89	47.8	8.7
2019	89	49.5	8.2

平均点の有意差の確認には R の統計ライブラリを使用して t 検定を用いた． t 検定の結果を表 4.2 に示す．これらの結果から，導入後のいずれの年度の平均点も導入前より高く，有意な差が認められた．

表 4.2 t 検定の結果

年度	t	df	p
2017	-2.7420	132	<.005
2018	-2.8398	157	<.01
2019	-3.8917	154	<.0005

導入前後の得点分布を図 4.8 に示す．図より，正答率 70 % 以上の成績上位層が増加していることを確認した．また表 4.2 から，平均値の増加に伴い，標準偏差が導入後に減少していることから，正答率の低い成績下位層も全体的に減少していることが分かる．以上の点で，本提案の授業設計は，従来型の授業方法と比べて，プログラミングの知識定着と基本的な活用能力の向上に寄与しているといえる．

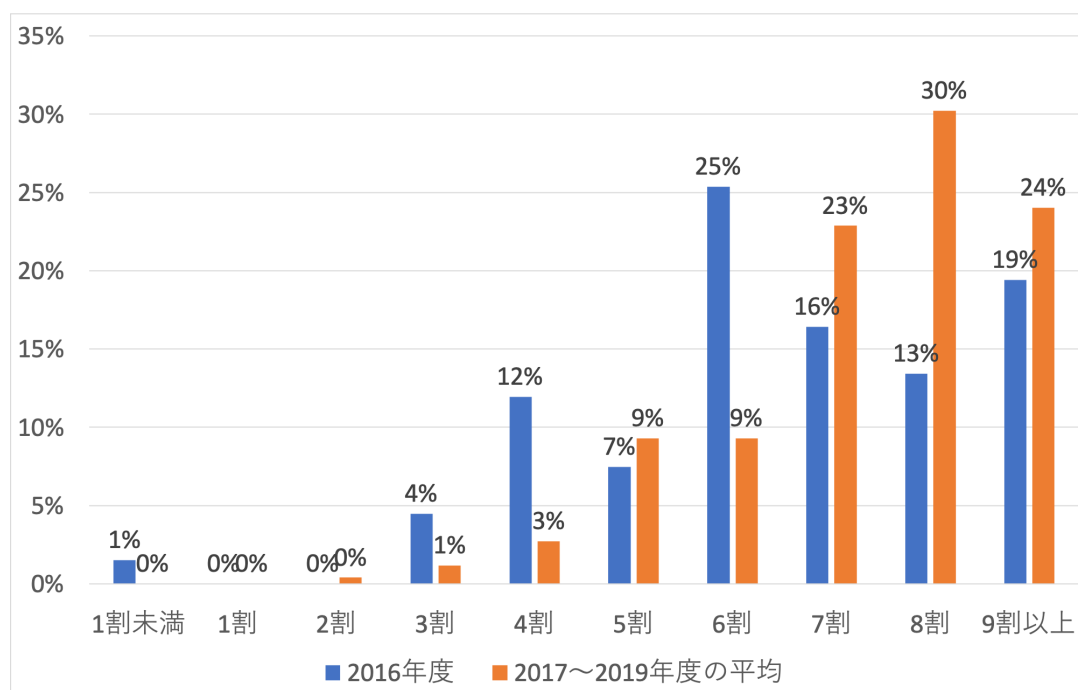


図 4.8 導入前後の得点分布

#### 4.3.2.2 期末試験の結果と予習の理解度の関係

次に予習の理解度と試験結果の関係を調べた。単元毎の予習の理解度は、授業開始時に行う CBT のレベル値で定義し、一単元を 3 週ないし 4 週で実施したためにその中での最大値とした。学習者毎の期末試験の点数と CBT で提示されたレベル値の相関係数を計算した（表 4.3）。その結果、各単元を通じて高い CBT のレベル値を記録できた学習者は、期末試験の得点も高い傾向が示された。

表 4.3 t 検定の結果

年度	CBT と期末試験の相関	r
2017	強い相関	.715
2018	中程度の相関	.541
2019	強い相関	.655

#### 4.3.2.3 アンケートを通じた満足度

次に学習者アンケートを通じた、本授業設計の満足度について調査を行った。他の一般的な授業形態（講義を受けて実習を行う形式）と比較し、提案する授業設計の支持・不支持について導入初年度（2017 年度）に質問紙で学習者に尋ねた（n=62）。調査結果を肯定的・否定的・どちらともいえないの 3 つの回答に第一著者が分類した。結果を図 4.9 に示す。肯定的な意見が最も多い結果となり、提案する授業設計が一定の支持を得ていることが分かる。一方で、どちらが良いともいえないや従来の形態を支持する回答（＝否定的な回答）も一定数は存在している。この原因を分析するため、意見（満足度）とレベルの関係を調べた。結果を図 4.10 に示す。図より、レベル 6 や 7 の理解度レベルの高い学習者は今回の授業設計を支持する傾向がみられた。一方、それ以外のレベ



ルでは今回の授業設計を支持する層が減っている。レベル6と7は、授業の最終の到達目標であることから、複数週での学びを通じて最終の到達目標まで予習段階で実現できている学習者の満足度が高い傾向が示された。

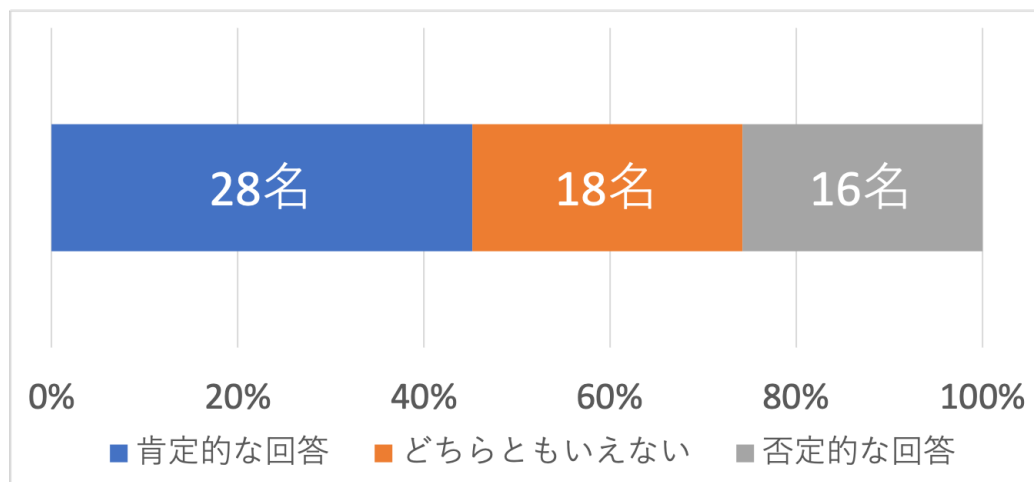


図 4.9 満足度のアンケート結果

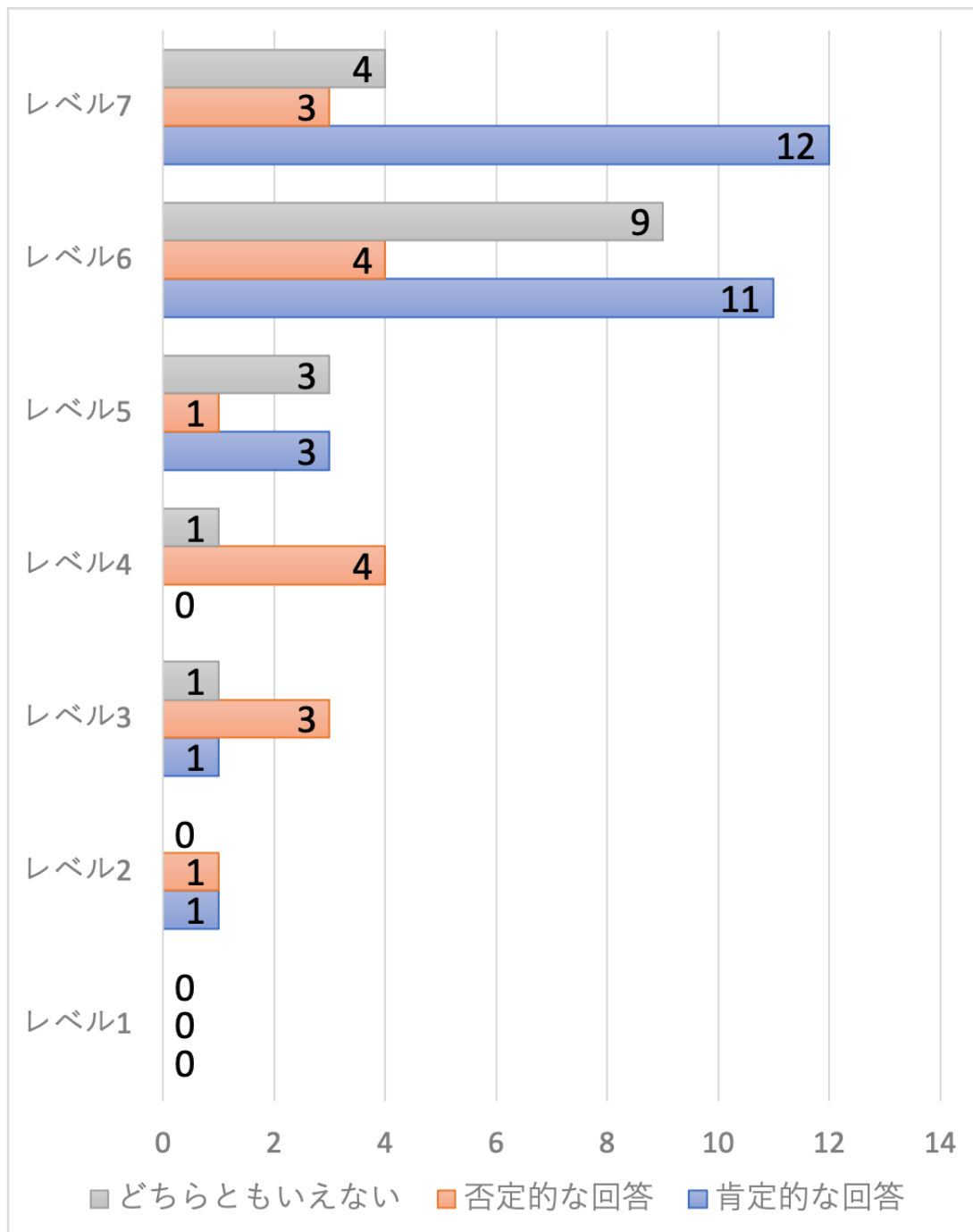


図 4.10 満足度とレベルの関係

### 4.3.3 授業設計の方針1の評価

本項では、授業設計の方針1に対する評価結果を示す。具体的には、予習段階における主体的な学習の様子を導入初年度（2017年度）の確認テストの結果を用いて調べた。科目で扱うすべての単元の1週目～3週目に実際に行われた予習状況（平均）を表す理解度レベルの分布を図4.11に示す。1週目で該当授業内容を超える先取りの学習（レベル3以上）が56%となり、多くの学習者が次の授業の範囲まで予習していることが分かる。これらの学習者は、授業開始段階のガイダンスや前回の単元の学習を通じて意識付けが図られ、主体的に学習を進めた可能性が高い。2週目は、先取り学習（レベル6以上）が31%となっている。1週目の時点でレベル6以上の先取り学習が11%であることから、1週目の予習と授業の学習の経験を踏まえて、主体的な学習を進めた可能性が高い。また、2週目の時点で1週目の内容に躓いている学習者は28%に対して、3週目では9%に減っている。ここも1週目の学習経験を踏まえた学習改善が図られた可能性が高い。本授業設計では、3週を通じて最終の学習目標のレベル6・7まで達成することを狙っている。これについては、1週で11%、2週で31%、3週で57%と着実に数が増えている。レベル6・7は従来でいうところの授業後の発展課題に取り組む準備ができていることを示す。つまり、3週目には半数以上が授業内でそういった発展課題に取り組む準備ができていることがわかった。一方で、3週目の授業開始前時点でも43%がレベル5以下になっている。図??の結果でも示したように、3週目でレベル6以上に達していない学習者は、本授業設計に満足していない傾向にある。こうした学習者に対する学習支援の枠組みが今後の課題といえる。

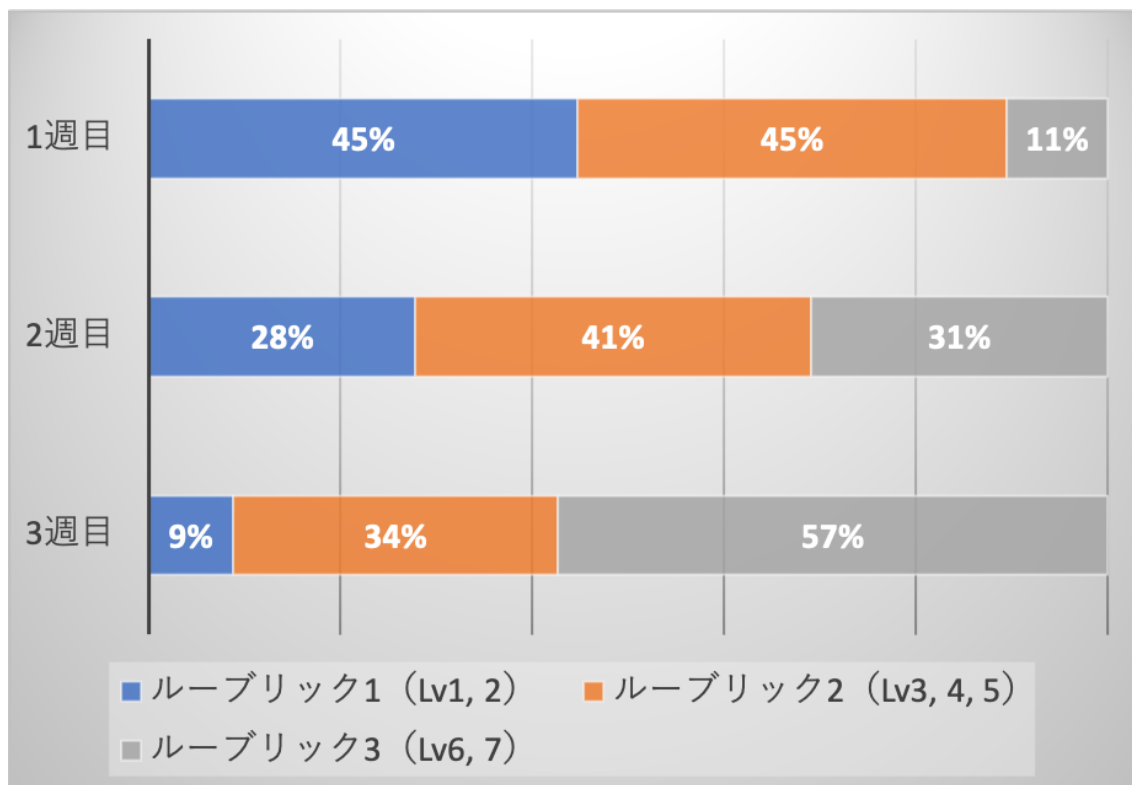


図 4.11 理解度レベルの分布

#### 4.3.4 授業設計の方針 2 の評価

##### 4.3.4.1 授業開始時の確認テスト

本節では，授業設計の方針 2 に対する評価結果を示す．具体的には，予習状況の意識付け及び予習状況を意識した授業（アクティブ・ラーニング）に関するアンケート調査を用いて示す．まず，毎回の授業開始時に適応型の CBT 機能を活用して理解度レベルを確認できることは肯定的か否定的にとられるのかを質問紙でその理由（自由記述）と合わせて導入初年度（2017 年度）に尋ねた（n=62）．

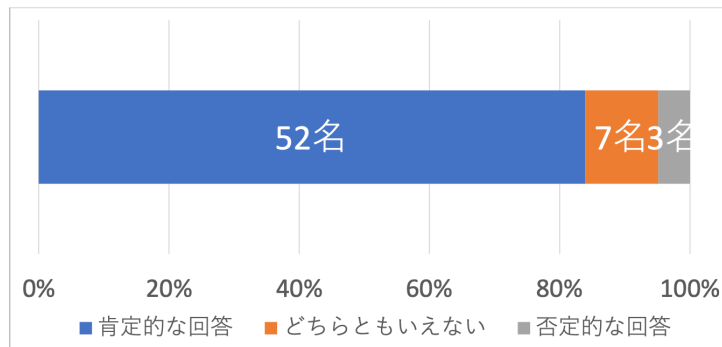


図 4.12 授業開始時に理解度レベルを確認できることは肯定的か否定的か

肯定的な意見の理由では「自分が今どのくらいできているのか把握しやすいから」「予習の成果がレベルで表されるため」「自分の立ち位置がはっきりするから」といった意見があった。約80%の肯定的回答とその理由を踏まえると、授業開始時に理解度レベルを確認できることは肯定的に受け入れられていることがわかった。また、授業開始時にCBT機能を活用して理解度レベルを確認することは、授業における自分の状況を把握できる点で、メタ認知的な振り返りになっていることが分かる。しかし一方で、否定的な意見では「ゲーム性を持たせるには提示する方がよいが、テストとなると毛色が異なるため」があった。どちらともいえないという意見では、「一度もレベル7になってない人にとっては、必要な情報だと感じたが、一度レベル7になった人にとっては必要のない情報に感じたから」があった。

#### 4.3.4.2 予習状況を意識させた授業（アクティブ・ラーニング）の満足度

次に、予習状況を意識させた授業（アクティブ・ラーニング）の満足度を調べることにした。本授業設計では、予習の理解度に応じてグループワークの役割分担を促していることから、学習者にとっては、グループワークの活動が予習状況を意識した学びとなっている。そこで、質問内容としてグループワークで知識を補完することについてどのように感じるかを自由記述の形式の質問紙で

2019 年度に学習者に尋ねた (n=71)．得られた自由記述の回答を大きい観点で第一著者が分類した．具体的には，肯定的・否定的・どちらともいえない，の3つの意見に大別した．大別した結果を図 4.13 に示す．

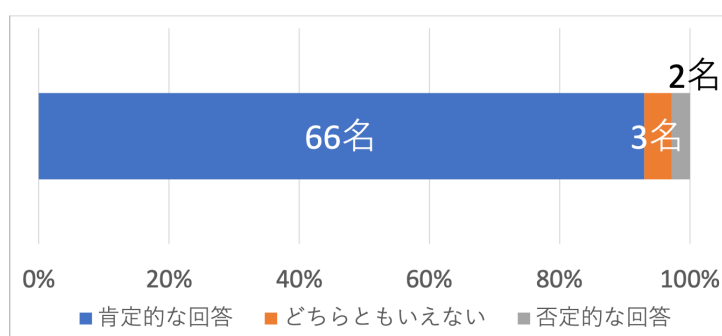


図 4.13 グループワークで知識を補完することは肯定的か否定的か

さらに各意見の内容を詳細に検討し，下位カテゴリを設定した．各カテゴリに分類された回答数を表 4.4 に示す．教える・教わる点を踏まえて肯定する意見が多く見られた．このことから，学習者は予習状況を意識して相互に教え合うグループワークに肯定的に取り組んでいることがわかった．個々の意見をみていくと，「教えたり教えられたりすることで理解が深まる」「説明することで理解が深まる」の意見から，他者を通じて自己の学びを深める状況が見られる．また，「高レベルな学生の影響を受けて自主的に予習する」を若干名ながら回答しており，他者の活動を通じて自らの学びを振り返り，次週の学びに繋げようとする姿勢を確認した．

表 4.4 グループワークで知識を補完することは肯定的か否定的かの回答理由

回答	カテゴリ	回答数
肯定的	良いと感じる	16
	自分とは違う視点から、新しい気付きがある	15
	考えを共有・交換ができることが良い	11
	教えてもらえるところが良い	7
	教えたり教えられたりすることで理解が深まる	5
	説明することで理解が深まる	4
	他者と協力して問題解決する力が身につく	2
	高レベルな学生の影響を受けて自主的に予習する	2
	自分よりわかる人がいると成長を感じる	1
	わからないことに焦点をあてられて効率が良い	1
	読みやすいプログラムを意識するようになった	1
	自分のミスに気づきやすくなった	1
否定的	TA や教員に聞いたほうがより早くて正確	1
	知識を補完したことがないのでわからない	1
	グループワークより予習のような学習が身につく	1
どちらともいえない	とても良いと思うが、他人とほぼ全く同じものしか出来上がらない	1
	良いが、教員による模範解答がほしい	1

#### 4.3.4.3 毎回の授業最後の振り返り

次に、毎回の授業最後の振り返りが次週以降の学びの姿勢に繋がっているかを調べた。授業の振り返りは各自の主体性に任せるかたちとし、授業終了時に自由記述の形式で任意の回答にした。調査は2019年度の「関数」の単元に実施した。得られた自由記述の振り返りから、次週に向けた予習・復習の意気込みを記した内容や自身の理解状況や学習活動の良し悪しを自己評価した内容を次週以降の学びの姿勢を表す内容と見なして第一著者が選定した。週を順番に追ってみていく。1週目(n=76)では、次週に向けた予習・復習の意気込みを記述した内容が9件、自身の理解状況や学習活動の良し悪しを自己評価した内容が39

件となった。回答の具体例をあげると、「予習が不十分なのはやはりきつかった。しっかりするようにしたい」や「理解度テストはレベル2だったがある程度理解でき、次回はレベル4とれるぐらいまで成長したい」というように具体的な目標の数値を設定する内容があった。2週目（n=76）では、予習・復習という観点で次週に向けた意気込みを記述した内容が3件、自身の理解状況や学習活動の良し悪しを自己評価した内容が29件となった。具体例をあげると、「グループワークでは、教えてもらう役が多いので、予習、復習をしっかり行いたい」とグループワークでの自らの活動を省みて予習・復習にふれる内容があった。3週目（n=80）では、予習・復習という観点で次週に向けた意気込みを記述した内容が13件、自身の理解状況や学習活動の良し悪しを自己評価した内容が10件となった。内容の例をあげると、「内容がかなり難しく、復習が必要だと感じた」といったように授業内容の難しさから復習の必要性にふれている内容があった。これらの結果から、授業での確認テストやグループワークを通じて自らの学びを振り返り、次の学習に繋げていこうとする姿勢が一定程度確認できた。



## 4.4 考察

経年的な期末試験の結果を使った授業設計全体の評価を通じて、本授業設計は知識を定着し活用する能力の向上に寄与することを確認した。特に、予習段階での CBT を通じた理解度レベルが、授業終了段階の知識の定着や活用に強く影響を与えることが分かった。このことから、適応型学習支援システムを活用して予習と授業で理解度を連続的に扱う本研究提案の授業設計の有用性を一定程度示せたといえる。なお、知識の応用については、授業設計導入前では授業中に扱えておらず、従って定量的な比較を行うことができなかった。しかし、2016 年度までは、知識の応用を問う課題を授業中に課すこと自体が行えず、発展課題として授業外での学習を促すに留まっていた。一方 2017 年以降は、適応型学習支援システムに当該内容の教材を載せ、反転型の授業設計と組み合わせることにより、各単元の 3 週目の授業課題として実践できた。これは、15 週の授業全体の設計の観点から、本研究の提案モデルの一定の有効性を示唆するものといえる。しかし、今回の研究では、週ごとのグループワークの活動分析は行えていない。1 週目の完全習得学習型から 3 週目の高次能力学習型に移り変わっていくなかで、グループワークでの課題の取組み方や会話内容が週を追って変化していくことが考えられ、今後はグループワークの振り返りのデータを取得して動向を分析することで定性的・定量的な評価を行うこととしたい。知識の定着・活用・応用に関する学習者の能力向上への寄与要因として、本授業設計の二つの方針（予習と授業）に関する分析結果に基づき、自律的な学習の観点で考察してみる。方針 1 の分析から、予習段階で学習者が主体的に活動している状況を確認した。特に、複数週の学びの中で、先取りで学習（予習）を進めたり、前週の学びに戻るといった学習者の動きを確認した。一連の状況から、学習者が自らの学びを振り返り、翌週以降の学びの方向性を検討する、いわゆる自己調整学習が生じている可能性が示唆される。方針 2 の分析では、授業開始

時の CBT を通じて予習の進捗状況を振り返ることを肯定的に捉えている学習者が多いことが分かった。さらに、その後の予習の進捗に応じて役割分担を促すグループワークにおいても、他者を通じた学びの動機付けを肯定的に捉える学習者が多いことも確認した。そして授業最後の振り返りで、次回授業に向けた抱負を記述する学習者も確認できた。以上の方針 2 の分析結果から、学習者の一定数は予習の進捗状況を意識しながら授業中に自らの学びを振り返り、次回以降に自律的に学習を進めようとする態度をもって取り組んでいたと考えられる。複数週での学習過程で捉えると、方針 1 の分析結果で見られた学習者の主体的な学びが継続し、学習者の知識の定着・活用・応用に関わる能力養成にも寄与しているのではと推察される。しかし、今回の研究では、個々の学習者の能力養成と学習態度の関係を紐付けた分析は行えていない。しかし本研究で利用した適応型学習支援システムには一連の学習過程の個々人の取組みデータ（学習ログ）が蓄積されていることから、今後学習者毎の動向分析を行うことが可能であり、自己調整学習との関係について定量的な評価を行うこととしたい。

## 第5章

# 今後の課題

先ず，CBTの理解度レベルの低い学習者が3週の中で挽回できない傾向が観測されている点を挙げる．本授業設計では，学習者が主体的に学ぶことを前提にしている．特に，複数週を通じて自律的に目標設定を実現していくことが重要で，授業最終段階の予習レベルはこれを反映した結果といえる．このことから，授業設計を支持する理解度レベルの高い学習者は，概ね自己調整的な学びを意識できている可能性が高く，逆に従来型の授業を希望する特にレベルの低い学習者は，意識できていない可能性が高い．こうした学習者には適応型の学習システムによるアプローチやグループワークでの教わる側という仕組みだけではなく，補講クラスの設定等といった学習支援上の別の工夫が必要と考えられる．

次に，教材の難易度の設定方法を挙げる．今回はeラーニングを活用している教育機関での運用を念頭においたことから，演習問題の難易度を簡便な形で設定した．本来IRTでは，問題の難易度を被験者のデータに基づいて定量化する．システムを長期間にわたって運用することで，問題の正誤判定のデータが蓄積されていく．このデータを統計処理することで，難易度を被験者のデータに基づいて定量化することを検討していく必要がある．この際，IRTでは統計処理の前提としてテスト形式で問題が解かれていることやまんべんなく解かれ

ていることが求められる。一方で、予習で取り組んだデータや CBT での正誤判定結果はそういった前提を満たすことが難しいことが想定され、これに対処する処理方法を検討することが求められる。

昨今の社会情勢から、オンライン学習に対応していくことが課題として挙げられる。本研究で提案した反転学習モデルは対面で授業を行うことを前提とする。対面授業で集まって行うグループワークのオンライン化の検討が求められる。一方で、オンラインで非同期となれば教員の介在が減少する場合があります、学習者はより一層の自律的な学習を求められると思われる。一般的には中間試験や期末試験といった段階で理解状況が測られるが、本研究で開発した CBT を用いると毎週の理解度が定量化されることから、追従できてる学習者や追従できずに置いていかれている学習者を早い段階で教員が発見できて補講クラスに案内するといったことが可能になると考えられる。また、学習者も自身の理解度を顧みて補講クラスに志願するといったことも考えられる。

## 第6章

# 結論

本研究では，複数週の授業で段階的に到達できる学習目標を設定し，学習者の理解度に応じた予習を促し，理解度を意識した授業活動を図れる反転学習モデルを提案した．

第一に，段階的な各目標に呼応した教材を構造的に整備し，その教材を活用して予習を行うと同時に予習の理解度を授業開始時に確認する反転学習モデルを想定し，これを支援する適応型学習支援システムを開発した．そして，複数週で一単元を扱う授業の予習を想定した学習支援方策（反転学習モデル）を提案し，システム活用を通じた予習段階における理解度向上を確認した．そして，システムのログ及び学習者に対する質問紙による調査結果から適応型の CBT の妥当性及び特性を確認した．トレーニング機能を活用した学びを通じて，週を重ねるごとに全体的に高い理解度レベルに推移していることが確認できた．これらの検証結果から，反転学習において，構造的な学習教材をベースに予習を行うと同時にその理解度を確認できる適応型学習支援システムの有効性が示唆された．

第二に，適応型学習支援システムを活用して，学習者の理解度に応じた予習を促し，理解度を意識した授業活動を図れる反転型の授業設計を提案した．1つの単元を複数週にわたり予習と授業が連動する流れの中で，学生の自律的な

学習を引き出すために、2つの設計方針を設定した。方針1は主にシステム活用の予習段階における規定であり、予習段階に次の授業での学習目標を提示するが、実際にどの目標（レベル）まで予習するかは学習者に任せるという内容にした。このため、単元全体の複数週分の予習教材をすべて学習者に提示して、トレーニング機能を活用しながら学習者のペースで学習させる。方針2は主に授業での規定であり、予習の取組状況を学習者に意識させて課題に取組ませる内容にした。そのために、CBTを活用して授業開始時に予習の理解度を確認するテストを実施し、理解度に基づいて編成されたグループで相互の学び合いをさせる。そして授業の最後に、その授業回の内容の振り返りや次回に向けた取組姿勢を学習者に考えさせる。プログラミング系科目での授業実践を通じて、提案した授業設計の有効性を評価した。その結果、知識の定着・活用の能力の養成に効果があり、また知識の応用に関わる授業展開まで15週の授業設計の中で実施できた。

# 謝辞

本研究を遂行し、学位論文をまとめるに当たり、多くのご支援とご指導を賜りました、小松川浩教授に深く感謝をしております。本研究でご助言・ご協力いただきました名古屋大学 光永悠彦准教授，公立千歳科学技術大学 山川広人講師，深町賢一講師には深く感謝しております。本論文作成に当たり，審査委員として多くのご助言をいただきました千葉工業大学 仲林清教授，公立千歳科学技術大学 吉田淳一名誉教授には，深く感謝いたします。システム開発にあたっては，情報メディア課 立野仁さんに技術的なサポートを行っていただきました。ありがとうございます。卒業生の吉田史也さん，塚田尚幸さん，加藤巽さんにはシステムの開発を含めて一緒に研究に取り組んでいただけたことを深く感謝いたします。私が社会人ドクターとして博士後期課程に進学することに賛同して支えてくれた父の上野毅，母の里美に感謝致します。数多くの方々のご支援なくして本論文が完成しなかったことに深い感謝の意を表し，謝辞とさせていただきます。