

# 卒業論文

効率的な遡り学習も考慮できる  
目標逆算型積み上げ式学習支援システム

Curriculum Standardization and Learning Analytics for  
WebBT in Teaching IR

富山県立大学大学 工学部 情報システム工学科  
2020025 中市 新太  
指導教員 António Oliveira Nzinga René 教授  
提出年月: 令和6年(2023年)2月



# 目 次

図一覧	iii
表一覧	iv
記号一覧	v
<b>第1章 はじめに</b>	<b>1</b>
§ 1.1 本研究の背景 . . . . .	1
§ 1.2 本研究の目的 . . . . .	1
§ 1.3 本論文の概要 . . . . .	1
<b>第2章 教材の提供と科目推薦</b>	<b>2</b>
§ 2.1 e ラーニング教材と自発的能動学修の涵養 . . . . .	2
§ 2.2 自主学習の予定作成におけるフロー . . . . .	3
§ 2.3 内容系統を考慮した学習進度管理 . . . . .	4
<b>第3章 科目推薦・教材の最適化</b>	<b>5</b>
§ 3.1 遷り学習と積み上げ式学習 . . . . .	5
§ 3.2 CPM による履歴データからの学習計画 . . . . .	5
§ 3.3 教材推薦における学習履歴活用 . . . . .	6
<b>第4章 提案手法</b>	<b>6</b>
§ 4.1 予定作成の最適化としての定式化 . . . . .	6
§ 4.2 教材管理と学習進度管理の手法 . . . . .	6
§ 4.3 内容系統を考慮した学習管理システムの提案 . . . . .	7
<b>第5章 数値実験ならびに考察</b>	<b>8</b>
§ 5.1 数値実験の概要 . . . . .	8
§ 5.2 実験結果と考察 . . . . .	8
<b>第6章 おわりに</b>	<b>9</b>
<b>謝辞</b>	<b>10</b>
<b>参考文献</b>	<b>11</b>



# 図一覧

# 表一覽

# 記号一覧

以下に本論文において用いられる用語と記号の対応表を示す。

用語	記号	用語	記号
特定のユーザー	$x$	$g_c$ のユーザー数	$size(g_c)$
特定のアイテム	$y$	$g_c$ の支持度数	$support(g_c)$
利用者数	$n$	$g_c$ における協調度	$collaborate(g_c)$
アイテム数	$m$	$u_{l_i}$ が属する頻出投稿者グループ	$G_{u_{l_i}}$
利用者集合 $\{1, \dots, n\}$	$\mathcal{X}$	投稿時間間隔が短いレビュー集合	$g_b$
アイテム集合 $\{1, \dots, m\}$	$\mathcal{Y}$	レビュー $l_i$ の集中性スコア	$T\_score(l_i)$
アイテム $y$ を評価した利用者集合	$\mathcal{X}_y$	$g_b$ のレビュー数	$size(g_b)$
ユーザー $x$ が評価したアイテム集合	$\mathcal{Y}_x$	レビュー $l_i$ と同じジャンルに属するレビュー数	$o$
対象ユーザー	$a$	レビュー $l_i$ に出現する名詞集合	$K_i$
ユーザー $x$ のアイテム $y$ への評価値	$r_{xy}$	$K_i$ の要素	$term_j$
ユーザー $x$ による評価値の平均	$\bar{r}_x$	$l_i$ と同じジャンルのレビュー集合において $term_j$ を含むレビューの数	$df(term_j)$
アイテム $y$ への評価値の平均	$\bar{r}_y$	レビュー $l_i$ の情報性スコア	$I\_score(l_i)$
推薦されたアイテムの数	$f$	レビュー $l_i$ の類似性スコア	$S\_score(l_i)$
レコメンドで推薦されたアイテム集合	$ S_r $	レビュー $l_i$ のサクラ性スコア	$F\_score(l_i)$
推薦可能なアイテム集合	$ S_a $	教材 $i$ における信頼性スコア	$K\_score(i)$
教材 $i$ につけられたレビュー文章	$l_i$	教材 $i$ におけるスパムスコアの平均	$\bar{F}\_score(i)$
レビュー文章 $l_i$ を bigram によって区切った要素集合	$X_{l_i}$	教材 $i$ のレビューの評価点の平均	$\bar{l}_i$
頻出投稿者グループ	$g_c$	レビュー $l_i$ の協調性スコア	$C\_score(l_i)$
Precision で考慮する上位ランクイングの数	$N$	Precision で考慮する人数	$H$

## はじめに

### § 1.1 本研究の背景

生まれ育った環境によって、子どもが獲得する学力に差がつくことを「学力格差」とよぶ。必要な教育を受け、一定の学力を身に着ける機会は本来平等であるべきだが、現実には生まれや育ちの環境によって状況が異なることは、2000年以降多くの研究者によって指摘されてきた[1]。家庭環境によって教育にかけるお金の多少で進学に必要な学費や生活費、習い事や通塾費などに差が生じる経済的な問題、親の学歴や家庭の蔵書数などの文化資本の差が子供の希望進路に影響する問題が大きな原因とされる[2]。その他にも地域差、言語の違い、男女差、教師の指導力など多様な要因が組み合わさって格差が生まれている。中学三年生に対する調査では、最も低い経済的背景の生徒は、最も高い背景の生徒が全く勉強していない場合の平均値で追い抜くことができないという結果が出た[3]。大都市では学校ごとの学力の違いが大きく、その学校にどのような社会経済的背景の子供が通うかにより強く規定されており、学習習慣の定着にも影響している。これらの結果から、家庭背景の不利を生徒個人の学習時間でのみ克服することは極めて難しいことがわかる。

### § 1.2 本研究の目的

チャレンジタッチなどの通信教育では、苦手を解消できる遡り学習は行われているが、スケジュールや当日行う学習単元は利用者が自ら選定するか、月に1回などある一定の期間で定められたスケジュールを用いているものが多い。変化しやすい学生の予定に配慮し、利用者がいつでもスケジュールを変更できるシステムの構築を目指す。

### § 1.3 本論文の概要

本論文は次のように構成される。

第1章

第2章

第3章

第4章

第5章

第6章



## 教材の提供と科目推薦

### § 2.1 e ラーニング教材と自発的能動学修の涵養

2020年からの新型コロナウイルス感染症の影響により、義務教育においても対面での授業を控え、オンライン講義で対応してきている。その際にe ラーニングという言葉が使われるようになっている。e ラーニングは1950年に登場した Computer Aided Instruction から発展してきたものである。コンピュータを利用して各生徒の理解度に応じた学習の内容を状況に合わせて提示するシステムであり、米国を中心に世界各国で研究、開発が盛んに行われていた。1995年、Windows95が発売され、一般家庭にもパソコンが普及するようになり、CD-ROMを中心とした学習 Computer Based Training が作られた。2000年ごろには政府がe-Japan構想を打ち出したことで紙などの旧メディアを電子化していくことに注目が集まり、e ラーニングという言葉が日本国内で登場した。インターネットのブロードバンド化によって、従来とは比べものにならない高速・大容量通信のインターネット通信ができるようになった。インターネットなどの Web を利用した学習を Web Based Training と呼び、学習履歴はもちろん、教材やプログラムまでもサーバ上で一括管理ができるようになった。CD-ROMでは教材改定やプログラム改定が困難だったが、教材・プログラムが Web 上に保存されているため、提供者は受講管理や教材の更新、プログラムのメンテナンスをスピーディに行えるようになり、受講者は場所と時間を選ばず最新の環境・教材で学習できるようになった。そして、スマートフォンやタブレットといったモバイル端末の登場とともにe ラーニングという言葉がより一層の普及を見せるようになる [1],[2]。

従来の学習法と比べて、e ラーニングには、時間や場所を選ばずに学習できる、学習者の理解度や進度に合わせて学習内容を調節できる、反復学習や課題学習など、自発的、能動的な学習が可能な教材やコンテンツを活用できるといったメリットが存在する。その結果として、学習者が主体的に学習に取り組む意欲は高まると考えられる。

これらの特徴から、e ラーニングは自発的能動学習の涵養に有効な学習方法と考えられる。自発的能動学習とは、学習者が自ら学習の目標や目標を設定しながら主体的に学習に取り組む手法である [11]。現在、社会のグローバル化や、IT産業の躍進など社会環境の変化は激しく、今使われている知識も急激に陳腐化すると考えられる。単純な暗記だけの知識を増やすだけではなく、自ら学び、時代の変化に対応できる能力をつけるために、自発的能動学習は今後より一層重要視される。

そのため、義務教育の場においてもe-ラーニングは活用されており、2019年には児童生徒向けに端末が配布され、通信ネットワークを学校に配備し、個別最適化された教育を全国の学校現場で実現させることを目標としたGIGAスクール構想が発表された。現実空間

と仮想空間が一体となった Society5.0 時代を生きていく子供達にとって、教育における ICT を基盤とした先端技術の活用は必須だといえる。変化の激しい現代においては、多様な子供達を誰一人取り残さず、個別に創造性を育む教育の実現が重要であり、ICT 教育に携わる次世代の人材を育てる必要がある [3]。2021 年には全国の公立小学校の 84.2% によると、小学校では 58.7%，中学校では 44% が「新課程で指導すべき学習内容が多くて授業で教えきれない」と回答しており、学校での学習のみではカバーできない部分はどうしても存在する [7]。

日本では出身階層と通塾と家での学習時間がいずれも正の相関があり、富裕層の親は早期に確実に学習習慣を身に着けられるように通塾させている。通塾が暗黙の了解として教育メカニズムとして組み込まれてしまっているので、学校教育のみを受けている経済的に困難な層の生徒は相対的に学習習慣を身に着けづらい環境になってしまっている [8]。

## § 2.2 自主学習の予定作成におけるフロート

学習者が学習する際、当日の体調の悪化や予期せぬトラブルの発生など、学習の進度が遅れてしまう要因は多数存在する。Critical Pass Methods (CPM) を使用した手法を扱うことで余裕を持った学習をすることを考えた。

CPM とは 1950 年代に開発されたプロジェクトマネジメント手法で、重要なタスクを特定してプロジェクトを順調に進めることを可能にする。現代においては自動化ツールによって簡単に作成されるように進化し、プロジェクトプランニングにおいて不可欠な一部となっている [1]。

CPM ではプロジェクトを完了するうえで最も重要なルートであるクリティカルパスを導出することができる。クリティカルパスは往路時間計算と復路時間計算を使用し求める。往路時間計算分析：事前に指定された開始日から順々に、最早開始日 (ES) と最早終了日 (EF) を計算する方法。ES は先行作業の EF のうち最大値であり、EF は「ES+所要期間」となる。計算時はスケジュールの進行に沿って進んでいく。復路時間計算分析：最遅開始日 (LS) と最遅終了日 (LF) を計算する方法。LS は、「LF-所要期間」で、LF は後続作業の LS のうち最小値である。計算時は最後の作業からスケジュールを逆算していく。

フロートとは、タスクの柔軟性の高さを表し、後続のタスクや終了日に影響が出ない、タスク遅延の許容範囲のことである。クリティカルパス上のタスクはフロートは 0 になり、フロートが正の値であるタスクは、非クリティカルパスに属し、フロート値分までならば遅延してもプロジェクトの完了日に影響は出ない。フロートの求め方は「LF-EF」、「LS-ES」の二通り存在し、どちらも同じ値を示す。

クリティカルパスを導出するメリットは複数存在する。1. タスクの優先順位をつける。クリティカルパスと比べたフロートを求めることができるために、優先度の高いタスクを行うことで今後のスケジュールを円滑に行なうことが可能である。2. プロジェクト内タスクの依存関係をネットワーク図で示す。並行して行えるタスクや優先すべきタスクを視覚的に分別してスケジュールを作成が可能である [2]。3. プロジェクトのボトルネックを導出するボトルネックとは、ワークフロー内で停滞や生産性低下など、良くない影響を与えていた箇所を示す。プロジェクトの作業工程にボトルネックがあると、それ以外の工程が円滑に進められていたとしても、プロジェクト全体を通して多くの時間を要することになってしま

う。 [3]

### § 2.3 内容系統を考慮した学習進度管理

学習支援システムにCPMを適応できると考えた理由は、系統学習のシステムにクリティカルパスを導出するために必要な要素を全て兼ね備えているためである。

系統学習とは、学習内容を段階的に配置し、順序だてて学習させる指導方式である。系統学習のメリットは、知識を短期間に習得させることができることにある。一方でデメリットとして教えられる内容が生徒の興味・関心・必要とは必ずしも合致しないため、主体的な学習が成立しにくいという点がある。系統学習では一般的に一斉教授型授業の中で展開される。生徒の能力差・個人差に対して個別的に対応することが難しいために、理解の早い子は授業の流れの中で流され、理解の遅い子は置いて行かれるということが必然的に生じる。「プログラム学習」は「学習の個別化」をテーマに掲げ、生徒に向き合うのは教師ではなく学習のプログラムである。提示されたプログラムに沿って生徒一人一人がそれぞれの学習速度、学習プロセスで学習を展開することが可能になる。プログラム学習は系統学習の知識を短期間で習得させられるメリットを残しつつ、個別的な対応を可能にすることができる。コンピュータ技術の飛躍的な発展に伴い、プログラム学習はComputer Assisted Instructionへと継承され、現在は幅広く教育に用いられている。[1]

学習の内容をそのつながりを踏まえて図示したものを学習系統図とよび、それを確認することで、全体を俯瞰で捉えることができ、各単元のつながりにも気付けて理解が深まる。また、学年と併せて表記することで、いつ何を学ぶかが把握しやすくなり、受験勉強の際の知識の整理にも有効とされる[5]。この単元のつながりはタスクを単元に置き換えたとき、CPMの依存関係として扱える。教科書会社は年間指導計画例も併せて公開していることもあり、所要日数は指導時数として扱う。学習系統図が確認できなかった科目に関して、今回はすべての単元が一列につながりがあるものとして扱う。

近年、教育の情報化・デジタル化が進展し、学習者の学びの道筋や成果の多くを「スタディ・ログ」と呼ばれるコンピュータ上のデジタルデータとして蓄積・活用している。[7]これまでデータの蓄積がなかったことから過去を遡って生徒が何を苦手としているかを気づくことができなかつたが、蓄積されたスタディ・ログから生徒の理解度を見返すことで苦手範囲が明らかになり、早期に個別指導などの手当てが可能となっている。[6]先行研究では、学習系統図とスタディ・ログを組み合わせ、学習指導において、誤答数を系統図に示し視覚的にとらえることにより、学習のどの手順でつまずいているかを具体的に知ることができ、指導においての有効性が示された。[4]また、学習目標に対しての達成率を可視化し、自らの成長を実感できる効果もある。[2]





## 科目推薦・教材の最適化

### § 3.1 遷り学習と積み上げ式学習

積み上げ式学習教科には大きく分けて前の単元を土台にし、新しい単元の知識を積み上げなければ学習を理解できない「積み上げ型教科」とそれぞれの単元に関係性が薄く、ほかの単元の知識をあまり使わない「独立型教科」に分かれる。独立型教科の中にもそれぞれの単元の中では積み上げ型の特性があることもある。五教科の中では数学、英語には積み上げ型教科の特性が、理科、国語、社会には独立型教科の特徴が強い。積み上げ型教科は抜け落ちてしまった部分を復習しなければそこから先の単元が理解できなくなってしまう[1]、そのため、積み上げ型教科においては、遷り学習が非常に重要になる。

遷り学習単元同士の関係性を表にして表したものを「学習系統図」とよび、現在理解できていない単元の前提となる単元をさかのぼりながら復習することで一つ一つの単元の理解を積み上げていくことで安定感のある本物の学力を身に着けることができる、[3]これを遷り学習とよぶ[2]。これまでのすべての科目を復習することは現実的ではなく、かえって混乱することもあるため効率が悪い。スタディログなどによって一人一人の理解度を分析し、既に身についている単元はショートカットすることにより、必要最低限かつ最適な学習を行うことができる。また、学習系統図を用いることで学習目標に対しての達成率を可視化し、自らの成長を実感できる。塾では有効に用いられている手法ではあるが、自分の理解度を明確にしておくことで、自学自習にも役立つ。

### § 3.2 CPMによる履歴データからの学習計画

プログラム上の CPM の求め方を以下に示す。

#### 往路時間計算

各タスクに対して、そのタスクに前提条件がない場合、そのタスクの ES を 0 とし、EF を開始時刻にタスクの所要時間を加算して設定する。これはそのタスクがプロジェクトの開始時に開始できるタスクであることを意味する。タスクに前提条件がある場合、その前提条件に対応するタスクの EF を取得、タスクの最大の EF を ES として設定する。タスクの前提条件がすべて完了した後でなければ開始できないためである。ES を開始時刻に設定し、タスクの所要時間を加算して EF を設定する。すべてのタスクに対して、これらの計算を繰り返したのち、最も大きな EF を全体の所要時間とし、復路時間計算に使用する。

#### 復路時間計算

各タスクに対して、もし後続するタスクが存在しない場合、LFをプロジェクト内の全体の所要時間とし、それからタスクの所要時間を引いたものをLSとして設定する。これはそのタスクがプロジェクトの終了と同時に終了するタスクであることを意味する。後続するタスクが存在する場合、そのタスクのLSを取得、タスクの最小のLSをLFとして設定する。LFからタスクの所要時間を引いたものをLSとして設定する。

フロートはタスクの開始時刻や終了時刻がどれだけ余裕があるかを示す指標であり、フロートの求め方は2種類存在し、どちらも同じ値をとる。LS-ES LF-EF フロートが0の時、クリティカルなタスクとなり、それらを繋げる経路のことをクリティカルパスとする。  
[youtube]

本研究では、スケジュールを生成する関係上、学習の範囲を動的に変化させる必要がある。ユーザーが指定した学習範囲内でのみ依存関係を成立させる手法を以下に示す。

学習範囲を定義するために、開始タスクと終了タスクを所要時間0のダミータスクとしてリストに追加する。これらは学習範囲の始まりと終わりを示す。

元データの各タスクの前提条件を調べ、ユーザーが指定した学習範囲に含まれていないタスクに関する前提条件を削除する。つまり、学習範囲外のタスクとの依存関係を取り除く。その後、前提条件が存在しない、またはしなくなったタスクに対しては、そのタスクの前提条件として開始タスクを指定する。これにより、学習範囲の始まりから出発するタスクが定義される。

どのタスクの前提条件の中にも存在しないタスク、つまりは、学習範囲の終わりを示すタスクを見つけ、それらのタスクの前提条件として終了タスクを指定する。これにより、学習範囲の最後に到達する新しいタスクが定義される。

この手法を使うことで、学習範囲を柔軟に変化させることが可能になっている。

### § 3.3 教材推薦における学習履歴活用

清水さんの信頼性スコアと教材取得の内容を丸パクリする。現在勉強中。

## 提案手法

### § 4.1 予定作成の最適化としての定式化

プログラムに使用するデータの説明を行う2章で作成した内容系統図と年間指導計画からなるデータ科目名, 指導学年, 単元名, 単元番号とそれに対応する前提単元番号が入れられている.

ユーザーが入力するデータ: 週間の勉強時間データ日曜から土曜までの各日の勉強可能時間が入れられている

イベントデータイベント番号, イベント名, 開始時間, 終了時間が入れられている. 勉強範囲データのすべての単元を終了する制限日を設定しているテスト日や学年の最後などユーザー自らが設定する.

理解度データ各単元に対するユーザーの理解度が含まれている. ユーザーが自己評価を行う形で, 各単元の理解度が数値で入力されている. 4が最も理解度が高く, 0が低い. -1は未履修の単元とされる,

勉強範囲データ勉強の範囲が入れられている. 0と1で表され, 単元が勉強範囲に含まれていれば1, 含まなければ0となる.

教材データ web サイトのタイトルと url, youtube のタイトルと url が含まれる.

ユーザーのレビューデータ 教材に対しての1から5までの評価とレビュー文章が含まれる.

### § 4.2 教材管理と学習進度管理の手法

定式化したデータから作成したデータ:

勉強範囲を使用し, 元データの学習の範囲を動的に変化させたデータ元データの構造や情報は変更されず, 変更が加えられた期間内の学習スケジュールが生成される.

クリティカルパスを求めたデータ前述のデータを元に, クリティカルパスと各タスクの開始終了時間を求めた

単元名, 単元番号, 前提タスク, 後続タスク, 所要時間, ES,EF,LS,LF, フロート, クリティカルパスに存在するかの是非の要素が含まれる.

スケジュールデータ日付とそれに対応する単元名, 単元番号が入れられる作成方法を以下に示す

各カテゴリごとに, 学習範囲内の単元の学習時間を計算する. 各単元の学習時間は, 学習範囲内の総学習時間に対する単元の比率から算出される.

各日における学習スケジュールを生成する。週間の勉強時間データに基づき、各日の学習可能な時間を考慮し、各日における学習スケジュールを生成する。

最遅開始時刻に基づいてソートされ、各日に実施される学習を計画するまでの基準とする。

学習可能時間が週の勉強可能時間データから取得され、各日の学習スケジュールに順番に挿入していく。各単元の学習時間が各日の学習可能時間を超える場合、その単元は複数の日にまたがって学習される。

各教材の信頼性スコアデータ

### § 4.3 内容系統を考慮した学習管理システムの提案

flask で一つのプログラムとしてまとめ、つながりを作った。

ログイン情報を入力することで個人個人に違うデータを提供することができる。

勉強可能な時間帯をクリックすることでユーザーに一日の流れを考えながら直感的に勉強時間を入力してもらうことができる。

JavaScript で構築された対話型のカレンダーライブリの一つである Fullcalendar を用いてドラッグアンドドロップで簡単にユーザーがスケジュールを動かせるようにした。

カレンダーの日付をクリックすることでその日に行う単元を一目で確認できるようにした。

2D グラフを作成し、単元の関係性を直感的に確認できるようにした。

理解度によってノードの色分けを行うことでユーザーに自らの課題を認識させることができる。

学習範囲のノードを大きくすることで現在の学習範囲を確認できる。

クリティカルパスのノードを星形にすることでどの単元を優先しているのかを一目で確認できる。

## 数値実験ならびに考察

§ 5.1 数値実験の概要

§ 5.2 実験結果と考察



## おわりに

今後の課題多目的最適化ができそう。新課程にも同じ手法が使える。教材の選択に考慮できことがあるかもしれない。

csv が多いので統合することで安定するかもしれない。



# 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご指導と終始懇切丁寧なご鞭撻を賜った富山県立大学電子・情報工学科情報基盤工学講座の奥原浩之教授, Antònio Oliveira Nzinga Renè 講師に深甚な謝意を表します。最後になりましたが、多大な協力をして頂いた、奥原・Renè 研究室の同輩諸氏に感謝致します。

2024年2月

中市 新太



## 参考文献