

卒業論文

不確実性を考慮した 対話型ファジィクリティカルパスによる 学習支援システムの開発

Development of a Learning Support System Using
an Interactive Fuzzy-Critical Path Considering Uncertainty

富山県立大学大学 工学部 情報システム工学科

2120020 島崎圭介

指導教員 António Oliveira Nzinga René 講師

提出年月: 令和7年(2025年)2月

目次

図一覧	ii
表一覧	iii
記号一覧	iv
第1章 はじめに	1
§ 1.1 本研究の背景	1
§ 1.2 本研究の目的	2
§ 1.3 本論文の概要	3
第2章 教材の提供と科目推薦	4
§ 2.1 e ラーニング教材と自発的能動学修の涵養	4
§ 2.2 教材管理と学習進度管理の手法	6
§ 2.3 内容系統を考慮した学習管理システムの提案	9
第3章 学習進度のための日程計画	13
§ 3.1 クリティカルパスによる日程計画	13
§ 3.2 クリティカルパスの解法	15
§ 3.3 学習計画のためのクリティカルパスの活用	18
第4章 提案手法	21
§ 4.1 学習管理システムへのファジィの導入	21
§ 4.2 ファジィクリティカルパスによる解法	23
§ 4.3 対話型システム	26
第5章 実験結果並びに考察	30
§ 5.1 実験の概要	30
§ 5.2 実験結果と考察	33
第6章 おわりに	36
謝辞	37
参考文献	38

図一覧

2.1	端末利用状況 [11]	5
2.2	通塾と経済状況の関係 [4]	5
2.3	子供の成績の傾向 [5]	6
2.4	高校新課程 [16]	6
2.5	学習系統図 [14]	8
2.6	年間指導計画 [15]	8
2.7	スタディ・ログ [26]	10
2.8	積み上げ型教科 [28]	10
2.9	廻り学習 [17]	11
2.10	すらら [30]	11
3.1	PERT 図 [34]	14
3.2	CPM [33]	14
3.3	PERT 図 [34]	17
3.4	CPM [33]	17
3.5	スケジュール作成方法	19
4.1	アルファカットの図	22
4.2	スケジュール作成方法	24
4.3	システム全体図	26
4.4	グラフページ	26
4.5	スケジュール画面	27
4.6	アクセス方法	28
4.7	キーワード選択	28
4.8	Web 教材	29
4.9	Youtube 教材	29
5.1	新規登録	32
5.2	勉強時間入力	32
5.3	予定設定	32
5.4	理解度入力, 学習範囲設定	32

表一覧

3.1	CPM 関連データ	19
3.2	スケジュールデータ	20
3.3	圧縮率データ	20
4.1	ファジィ集合の例	22
4.2	CPM 関連データ	24
4.3	スケジュールデータ	25
4.4	圧縮率データ	25
4.5	ノード配色	27
5.1	システムの評価基準	31
5.2	アンケート結果	34

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
教材 i につけられたレビュー文章	l_i
レビュー文章 l_i を <i>bigram</i> によって区切った要素集合	X_{l_i}
レビュー l_i の類似性スコア	$S_score(l_i)$
あるアイテムの m 日目のレビュー集合	B_m
投稿時間間隔が短いレビュー集合	g_b
g_b のレビュー数	$size(g_b)$
レビュー l_i の集中性スコア	$T_score(l_i)$
レビュー l_i と同じジャンルに属するレビュー数	o
レビュー l_i に出現する名詞集合	K_i
K_i の要素	$term_j$
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	$df(term_j)$
レビュー l_i の情報性スコア	$I_score(l_i)$
レビュー l_i のサクラ性スコア	$F_score(l_i)$
単元	$unit_n$
単元の理想勉強時間	$Hours(unit_n)$
学習予定時間	$study$
スケジュール作成日からそれ以降で最も直近なイベントまでの日数	x
学習範囲単元	$study_list$
教材 i の評価値スコアの平均	$R_score(i)$
予定学習合計時間	$Total_Study_Hours$
理想合計学習時間	$Ideal_Study_Hours$
科目	k
圧縮率	$Press_k$
レビュー l_i の評価値スコア	$R_score(l_i)$
レビュー l_i の信頼性スコア	$K_score(l_i)$

はじめに

§ 1.1 本研究の背景

現在, 少子高齢化による労働者人口の減少は1つの社会的課題となっている。人手不足による国内総生産 (Gross Domestic Product : GDP) の減少などの問題が考えられる。この問題の対策として, AI の導入や出生率の増加政策などがあげられる。その対策の1つである「人員・費用などの資源の最適な分配による生産性の向上」について着目した。また, 生まれ育った環境や, 両親の所得などで子どもが獲得する学力に差がつくことを学力差別と呼ぶ。その学力差別はなくさないといけない。そのために, 予算のかからない全ての人が平等に使用できるシステムを提供しなければならない。そのためどの場所においても平等にシステムを使用できるとしてオンライン環境を活用する。

本研究では, 人手不足により様々な業界で作業効率や生産性の向上が着目されているなか, 教育関係に焦点を当てる。教育関係といっても多くのサービスなどが存在する。その中でも小中高生を対象とした全ての人が使いやすい学習支援システムを提供する。

この学習支援システムでは遡り学習を取り入れている。遡り学習とはつまづいた単元に遡って学習を行うことであり, これにより効率的に理解したい単元について学習を行うことができる。また, スケジュール管理がまだ定着していない学生に対して誰でも自分通りのスケジュールを作成することができる通信教育サービスを提供する。また, 対話型にすることによって相手によってどのような頻度で勉強行うかによって余裕を持ったスケジュールやもう時間のない学生に向けてのスケジュールなどの様々なケースに対応することができる形となっている。対話型になっているため自分に合った形で選択することができる。

本システムの導入により、従来の学習支援サービスと比べて以下のようなメリットが期待できる。第一に、低コストで提供可能なため、経済的な理由で塾や家庭教師を利用できない子どもでも、質の高い教育を受けることができる。これにより、学力差の縮小が期待される。第二に、対話型の学習支援を取り入れることで、一人ひとりの学習スタイルに適應できる点が強みである。従来の一方的なオンライン教材とは異なり、学習者の進捗や理解度に応じたカスタマイズが可能となり、より効率的な学習が実現できる。

さらに, ファジィ変数を活用したスケジュール管理機能により, 学習計画の柔軟性が向上し, 計画的な学習が苦手な子どもでも無理なく学習を進められる。また, スクレイピング技術を活用した教材の提供により, 最新の学習資料を継続的に取り入れることが可能となる。このように, 経済的・学習環境の両面から全ての子どもに平等な学習機会を提供し, 教育格差の是正に貢献するシステムを提案する。

§ 1.2 本研究の目的

既存の通信教育サービスでは、廻り学習のシステムや苦手科目の補強教材が提供されているが、スケジュールや学習単元の選択に関しては、利用者が自ら選定するか、企業があらかじめ設定した一定のスケジュールを利用することが一般的である。しかし、この方法では学習者個々の進捗や理解度に即した調整が難しく、学習計画の柔軟性に欠けるという課題がある。また、GDP の低下が見られる中、学習能力の向上によってよりよい人材ができると期待できる。

特に、子どもの計画性は発達途中であり、時間の見通しが立てづらいため、自分が何をどの程度進められるのかを把握していないケースは少なくない。自力でスケジュールを作成すると、過剰な学習範囲を設定してしまうことがあり、このような無理な計画は達成困難であるため、学習意欲の低下や計画倒れの原因となる。

また、目標設定が適切にできない場合、期間内に余裕をもって学習を進めることができず、優先順位を見極めることも困難になる。こうした課題を解決するために、本システムでは利用者がシステムの補助を受けながら、目標期日までに学習すべき単元をカバーできる適切なスケジュールを構築できる環境を提供する。

学習計画は、現実には完全には遂行できないことが多く、計画通りに進まなかった際にモチベーションが低下するケースも見られる。こうした事態を防ぐため、本システムでは、スケジュールの柔軟性を確保し、学習進捗に応じた適応的な調整を可能にする。勉強スケジュールを立てた人が予定を守れなかった場合に即座に次善策を提示し、小さな失敗や遅れにもストレスなく対応できるようにすることで、学習への意欲を維持しやすくなる。この柔軟な学習計画の実現には、不確実性を考慮する必要がある。そのためにファジィ変数を導入し、どの学習者の状況に応じた柔軟でかつ適切な学習スケジュールを提案するシステムを構築する。

本システムでは、廻り学習を組み込むことで、利用者が自分自身のペースで学習を進められるようにする。これにより、既習内容の理解を深めつつ、新しい単元にも積極的に取り組めるようになり、学習の効率をあげることもでき、学習の楽しさを実感しながら知識を積み上げることができる。また、システムが自動で不確実性を考慮したスケジュールを提案することにより、自己管理能力の向上にも寄与し、ゆとりを持ったスケジュールや、時間のない時のスケジュールの組み立て方を学ぶことができ、長期的な学習習慣の定着を促す。

教育の発展には、学力差別の解消が不可欠である。経済的な理由や環境による学習格差をなくすため、本システムは低コストで誰もが利用できる仕組みを提供し、教育の機会を公平にすることを目指す。このように、本システムの導入により、個々の学習を最適化するだけでなく、社会全体の教育の質を向上させることにも貢献できると考えている。

また、柔軟性のあるスケジュールは、親の働き方や家庭の状況に合わせて学習ができるため、親のサポートが得られない状況でも子供たちが学び続ける機会を提供できる。

総じて、システムの導入は、子供たちが公平なスタートラインから学べる環境を整える一助となる。

§ 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 本研究の背景と目的について説明する. 背景では, 社会問題になっている教育格差の現状と悪影響について述べた.

目的は, 学習者がいつでもスケジュールを変更できる柔軟で適応性があり, 全ての利用者に平等な学習機会を提供できるシステムを構築することを述べた.

第2章 効率的な学習支援システムについて述べる.

予定作成における手法と学習支援システムについて説明する.

第3章 クリティカルパスにおける日程計画について説明する.

学習計画のためのクリティカルパスについて説明する.

第4章 本研究の提案手法について述べる.

データの定式化と定式化したデータをもとに作成されたデータとその作成方法, 実際のシステムのUIについて解説する.

第5章 本研究の実験および結果を記載する.

実験はアンケートで行い, その結果をもとにした考察を記述する.

第6章 本研究のまとめと今後の課題を記述する.

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きている。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り、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、現在では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[8], [9]。

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。

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。

GIGA スクール構想

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

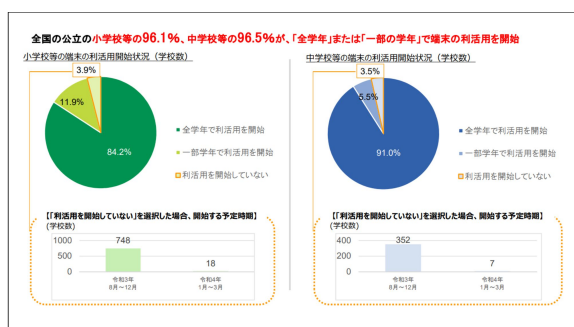


図 2.1: 端末利用状況 [11]

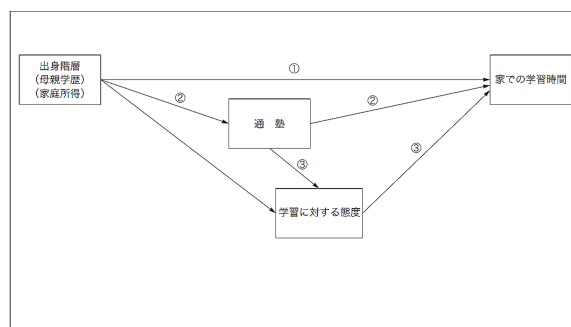


図 2.2: 通塾と経済状況の関係 [4]

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 [10].

上記の調査から、GIGA スクール構想の 1 人 1 台の端末の普及は進んでおり、多くの子供たちが e-ラーニングを受講できる環境にあることが分かる。2021 年には全国の公立小学校の 84.2 %、中学校の 91.0 %、全学年で端末の利活用を開始しており、全国の自治体の中でも 96.1 % が端末を整備していることが分かった [11](図 2.1 参照)。

自発的能動学習

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 [13]。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。このような状況下では、既存の知識が急速に陳腐化し、新たな情報やスキルの取得が求められる。従って、学習者は自らの学びの意欲を高め、自己管理能力を向上させることが必要になる。

自発的能動学習では単に情報や知識を暗記するだけでなく、自分で情報を選別し新しい知識を取り入れながら変化する状況に適応できるスキルや能力が求められる。そのため、協調性や創造性、批判的思考など、将来の職業や社会で必要とされるスキルを養うことができる。今後ますます変化の激しい社会環境に対応するために、自発的能動学習は重要になっていくと考えられる。

また、2021 年のベネッセの教師への調査によると、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、学校で提供されるカリキュラムだけではカバーできない学習内容が増加してきている [12]。教師が授業で指導する範囲が限定されている中で、個別の生徒のニーズや興味に合わせた学習が十分に提供できない状況が続いている。

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存在する [4](図 2.2 参照)。富裕層の親は通塾を子供に教育メリットを提供する手段として活用している、そのため、通塾が暗黙の了解として教育メカニズムに取り込まれ、富裕層の子供たちは学習機会に恵まれ、学力やスキルを発展させやすい環境にある。

一方で、経済的に困難な層の生徒は通塾の負担を取り入れることが難しく、学校教育のみを受けている場合がある。これにより、学習機会や資源に不均衡が生じ、相対的に学習習慣を身につけづらい状況が生まれている [4]。

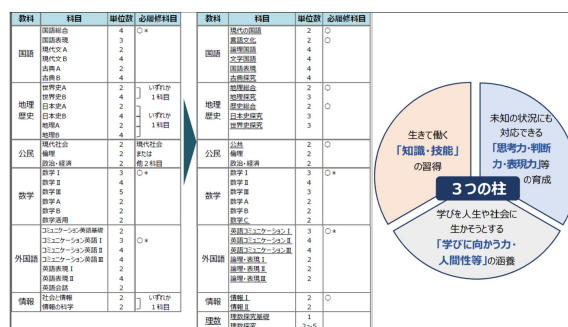
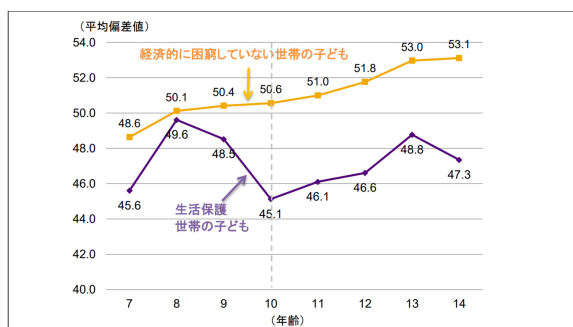


図 2.3: 子供の成績の傾向 [5]

図 2.4: 高校新課程 [16]

2017年に行われた日本財団の箕面市子ども成長見守りシステムを用いた調査により、家庭の経済格差と子どもの認知・非認知能力格差との関係が明らかにされた。調査によれば、貧困状態にあると学力が低くなる傾向があり、特に小学校4年生以降で学力が大きく低下することが示された(図2.3参照)。さらに年齢が上がるにつれて、経済的に困難な世帯の平均的な学力や成績逆転のが低下し、低学力が固定化してしまう傾向があることも指摘された。この状況を踏まえ、格差が拡大する前に早期に支援を行うことが重要であるといえる。

また、生活習慣や自制心、勤勉性、外交性、協調性などの非認知能力については、貧困世帯と非困窮世帯を比べると、小学校初期から大きな差が存在している。たとえ貧困状態にあっても学力の高い子どもは、生活習慣や学習習慣などが高水準にあるため、支援には基礎的信頼や生活習慣など、学習の土台となる非認知能力の育成が重要と考えられる [5].

2022年4月高校1年生から新学習指導要領が始まり、高等教育の課程が大きく変化する。新課程での変化について図2.4に示す。日本の学習指導要領は、時代の変化を見据えて概ね10年ごとに改訂されているが、今の日本社会は、グローバル化の進展や技術革新、生産年齢人口の急減など目まぐるしく変化しており、先を見通すことが難しい時代になっている。

そのため、予測困難な社会で必要となる自ら課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、判断して行動できる力を身につけることを目標としている新学習指導要領では知識・技能だけでなく、思考力、判断力、表現力なども含めた力も必要になるため、自発的能動学習の重要性がより高まると考えられる [16].

學習指導要領

小学校、中学校、高校には学習指導要領というものがある。これは、「子供たちが未来社会を切り拓くための資質・能力を一層確実に育成。その際、子供たちに求められる資質・能力とは何かを社会と共有し、連携する「社会に開かれた教育課程」を重視。」となっている。この基本的考えは変わらないがそれぞれの時代にあった単元や指導が用意されている。[3] 2025年度大学共通テストでは、情報という科目が追加され数学ではIIBCとなり年々変化していることがわかる。

§ 2.2 教材管理と学習進度管理の手法

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を系統学習とよぶ。系統学習は一定の知識を効率よく学習するには非常に効果的な方法で、テストを利用して評価す

る傾向が強く、学習意欲が高い児童・生徒が多いときには競争心が生まれ相乗効果を期待できる。

デメリットとして、知識重視の一方通行型による学習方法のため、知識重視の一方通行型による学習方法のため、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。結果として、学習者が自ら学ぶ意欲や思考力が育ちににくく、学習への意欲も低下してしまう [19] [20]。

一般的に一斉教授型授業の中で展開されるが、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、理解の早い学習者は授業の流れの中で流され、理解の遅い学習者は置いて行かれるということが必然的に生じる。競争から脱落してしまった学習者を救済するようなシステムが構成されずに、学習塾など学校以外の団体に頼りがちになってしまう。

一方で、問題解決学習は学習者が知識だけでなく、問題の解決能力や実践的なスキルも養う自発的な学習を重視する教育手法である。学習者のモチベーションを高く保つことが可能であるが、自発的な学習を強調しすぎると、知識の定着が阻害される可能性があるため、適切なバランスが求められる。

現在の教育課程の基準である学習指導要領は、基本的には系統学習の考え方に基づいて編成されている。そのため、テストは学年で同じ内容で行われ、優秀な結果を出すには学習範囲を網羅しておく必要がある。

自らの興味や得意不得意を考慮して、学習者のモチベーションを高める自発的な学習と最低限のテスト範囲を学習できる学力を確保できる系統学習のバランスをとることが有効になると考えた。

系統学習と自発的な学習を考慮した、学習進捗管理に考慮すべき3つの要素を説明する。

学習系統図

学習系統図とは、単元を系統立ててつないで図示したものであり、全体を俯瞰で捉えることができ、各単元のつながりを視覚的に理解することができる (図 2.5 参照)。苦手単元に関連する前提になる単元や後に続く単元も学習することで、理解を深めることができる。教科書会社が教科書や参考書、Web サイトに出している場合がある。

苦手な単元など課題を洗い出すためにも活用でき、どの単元が基礎になり、どの単元が発展した単元なのかを把握することで、苦手単元に重点的に学習時数を割り当てるなど、効果的な学習計画を立てることができる。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 [21]。

ある単元に対して、苦手単元ならば前提単元を見直し学習することで理解を深められ、好きな単元に対しては関連する発展した単元を学ぶことができる。興味を持った分野を深く掘り下げることで、知識やスキルのつながりを理解し、総合的な学びを促進することが期待される。

学習系統図は系統学習をサポートし、自発的な学習の涵養にも役立つと考えられる。系統図を活用することで、学習者は自分の位置を理解し、どの部分で理解が足りないかを把握し、学習者は系統学習を基にして積極的な参加と問題解決に取り組むことが期待される。

年間指導計画

年間指導計画とは、学年や学級において、学習の時間の学習活動の見通しをもつために、年間の流れの中に単元を位置付けるものである(図 2.6 参照)．各単元が年度全体の流れの中でどの時期に位置づけられるかが示され、学習の進行が順調に行われ、必要な知識やスキルが段階的に習得されるようになる．



図 2.5: 学習系統図 [14]

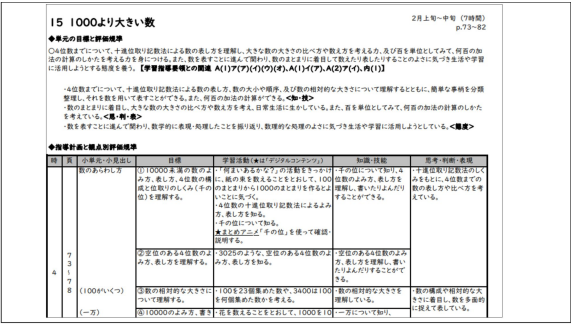


図 2.6: 年間指導計画 [15]

年間指導計画に含まれる基本的な構成要素としては、単元名、各単元における主な学習活動、活動時期、予定される時数などがある．単元のねらい、生徒の意識、各教科等との関連、外部講師や異校種との関連などを記す場合もある．

時数の適切な配分は学校教育法施行規則に基づき、各単元に十分な時間が割り当てられ、学習内容が十分に網羅されるように計画される．時数のバランスは、生徒が各教科の学習に適切な時間を費やせるように配慮されている [22]．

年間指導計画は教育の効果的な実施をサポートし、生徒が豊かな学びを得るための計画策定に不可欠である．学校の授業の進行や、試験も計画に従って行われるため、学習者が優秀な結果を得るためには年間指導計画で示された範囲は履修しておく必要がある．

スクレピング

スクレピングとは、データを収集し、かつ目的に合わせて加工することである．特に、Web上から必要なデータを取得することを、Web スクレピングと呼ばれている．様々なツールやプログラミングでスクレピングを自動化することで、Web データの収集にかかる手間や時間は大幅に削減することが可能である．

スクレピングと似ている意味の言葉にクローリングがある．クローリングとは、Web 上で様々なサイトを巡回し、情報の保存や複製など様々なことを行うことを指す．クローリングとスクレイピングはともに情報を収集する手段であるが、クローリングが巡回に焦点を当てて一方でスクレピングは情報の抽出に焦点を当てている．

また、企業や公共機関は、情報やデータを提供してくれることもあり、その際に使われている仕組みは API と呼ばれている．クローリングやスクレイピングをする前に、必要な情報が API によって提供されているかどうかまず確認することが大切になる．

Web スクレピングに主に用いられるツールとして、Selenium や、Puppeteer などがある．ログインやボタンのクリックなどの、マウス操作が必要な Web サイトや、JavaScript で記述されている Web ページのスクレピングするときは Selenium が用いられている．ページのスクリーンショット、PDF 作成、DOM の取得操作などが簡単に行うことができる Puppeteer といって様々な使い分けがされている．[4]

スタディ・ログ

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 [23].

これまでは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ったが、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 [24]. スタディ・ログを活用することで、従来のクラス全体への一斉指導から、生徒一人ひとりに焦点を当てた個別指導への移行が容易になる。これにより、生徒が最適なペースで学び、個別の課題に集中することができる。

スタディ・ログから得られたデータを学習者自身に可視化することで、自己評価や自己管理のスキルを向上させる効果が期待される。学習者が自分の進捗や弱点を理解し、それに基づいて学習戦略を調整できるような仕組みが重要になる [25].

先行研究では、学習系統図とスタディ・ログを組み合わせ、集計表に入力した誤答数が系統図に表示される仕組みを作成し、視覚的にとらえた (図 2.9 参照).

その結果、クラス全体の誤答数を系統図に表示することで、担任は、それらの誤答数を比較することが可能となり、特に補充指導の必要がある内容を視覚的に捉えることができ、教師がクラス全体のつまずきの傾向を分析する上で有効であった。

また、個人の指導項目ごとのテストの結果を、系統図を通して視覚的に捉えることにより、どの段階からつまずいているかを把握することができる。他の教員や保護者に伝えることで指導を組織的に進め、学習内容の定着を促すことができた。

さらに、小中間での情報の引継において、つまずきや、その指導の内容についての具体的な情報を共有することができ、中学での指導にその情報を有効活用できると考える。指導の結果、児童の誤答数が減少し、つまずきを解消することができた [26].

このように、スタディ・ログと学習系統図の組み合わせの有効性は示されている。

問題解決学習と系統学習は互いに矛盾するものではなく、両者の長所を活かし、適切なバランスを取ることが可能である。学習系統図、年間指導計画、スタディ・ログの三つの要素が相互に補完し合うことで、系統学習と自発的な学習を効果的に組み合わせることができる。これは、学習者の主体性を引き出し、学習効果を最大限に高めるための理想的な学習環境といえる。

§ 2.3 内容系統を考慮した学習管理システムの提案

教科は、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けることができる。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。

例を挙げれば、数学は典型的な積み上げ型教科であり、前の単元で習った公式や定理を理解していないと次の単元を理解できない。英語は語彙や文法知識が積み上げられるため、積み上げ型教科の側面がある。しかし、読解や英作文など、独立型教科の側面もある。国語は、読解や作文など、独立型教科の側面が強い。しかし、漢字や古典など、積み上げ型教科の側面もある。理科や社会は、独立型教科の側面が強く、それぞれ独立した体系を持つ。

ベネッセの調査によると、高校受験を経験した高校1年生の中学生のころに一番苦手だった教科の第1位は数学、第2位は英語であり、どちらも積み上げ型の側面が強い教科であった [27]。独立型教科は単元の結びつきが弱いので、今やっている単元を最初から復習すれば、定期テストでは得点が取れるが、積み上げ型教科で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 [28]。

図 2.5 に積み上げ科目の例を挙げる。正の数・負の数を基礎として理解を積み上げなければ、文字の式を理解することができない。文字の知識を積み上げて、方程式や平面図形の理解につながる。しかし、これらの基礎単元を完全に理解できていないと、たとえ上の概念を学習しても、理解は分散的なものとなってしまう、安定した学力とはいえない。

中高生でも、小学生で習う割り算や分数などから理解できていないケースもあり、学校や塾などの集団学習のみではつまずきまでは解明できず、置いてきぼりになる生徒が出てしまう。このようなつまずきが解消されないことで、学習意欲が低下してしまうことがあるため、早期発見・早期対応が重要になる。

積み上げ式学習

積み上げ式学習とは、全ての基礎となる部分の確認と定着からしっかり行い、それぞれのわからない原因からひとつひとつをじっくり隙間なく単元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つけられる学習方法である。

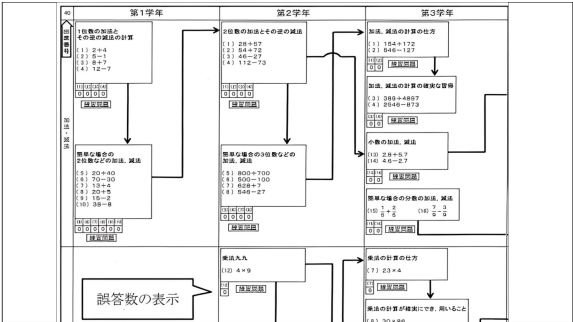


図 2.7: スタディ・ログ [26]



図 2.8: 積み上げ型教科 [28]

最初はなかなか先に進まないが、ある一定のラインを超えると急激に理解力が高まり、身につくまでの時間が加速度的に短縮されるため、結果的に近道になると言われる [25]。

しかし、積み上げ式学習を行ったとしても、理解できていない単元は出てしまう。また、積み上げ学習を行っておらず、どこから勉強したら良いか分からない場合も存在する。その際、遡り学習が非常に重要な役割を果たす。

遡り学習

学習系統図を使用して、現在理解できていない単元の前提となる単元を遡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つけることができる。応用力や思考力が養われ、どんな問題にも対応できるようになる。この学習方法を遡り学習と呼ぶ [29]。

図??に遡り学習の例を示す。連立方程式の理解に詰まっているとき、一次方程式→文字式→正負の数と関連した基礎となる単元を復習していく。この繰り返しによって、理解できていない単元を特定することができる。

これまで学んできた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、既に身につけ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。必要な知識を必要なタイミングで復習することで、無駄な学習時間を減らすことができる。

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という効果もある。自分の理解度を明確にしておくことで、自学自習にも役立ち、学習に対する意欲が高まる。

遡り学習は、塾や個別指導ではよく使われている手法となっている。目標を明確にして、何のために遡り学習を行うのかを明確にすることで、モチベーションを維持することができる。

先取り学習

自分の学年で学ぶことの数ヶ月先の単元を学習したり、1から2年、場合によってはそれ以上、学年を超えた先の内容を学ぶことを先取り学習と呼ぶ。自発的能動学習の涵養に役立ち、自らの意思で学習を進めることで学習意欲を高め、主体的に学ぶ姿勢を育むことができる。

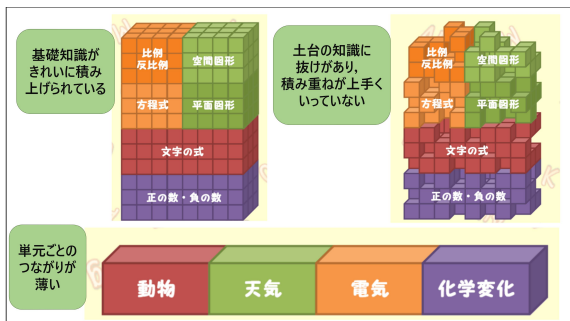


図 2.9: 遡り学習 [17]

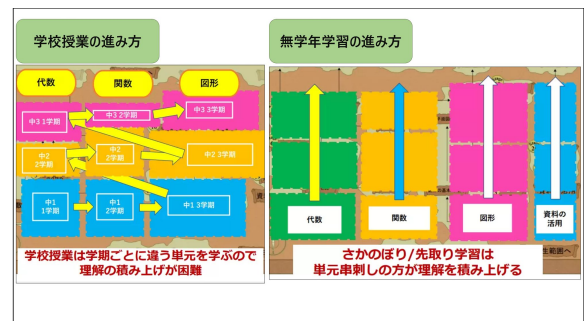


図 2.10: すらら [30]

特に学力の高い学生にとっては、学校で習っていることがすでにしっかり身につけている場合があり、同じ進度で学んでいくのは苦痛に感じることもある。先取り学習は、そのような学生にとってより深い学びを求め、学習意欲を維持するための有効な手段となる。

注意点として、学校で習っていることが不確かなまま先へ進むことは、不安定な学習になりやすく、必ずしも推奨されることではなく、基礎がしっかり身につけていない状態で先取り学習を進めてしまうと理解が不十分になり、後々大きな壁にぶつかる可能性がある。また、先取り学習にばかり時間を費やすと、学校の授業がおろそかになってしまう可能性があります。学校の授業は、先取り学習で学ぶ内容の土台となるものであり、学校の授業を軽視してしまうと、先取り学習で学んだ内容も理解が浅くなってしまう可能性がある。

無学年学習

無学年学習とは、遡り学習と先取り学習を合わせ、子どもの学年に関係なく一人一人の学力や理解度に合わせて学習を進める学習方法である。従来の学年制では、同じ学年の子供たちは同じ内容を同じペースで学習するが、子供の能力や学習速度はそれぞれ異なり、同じペースで学習を進めることには無理が生じる。子供たちの個性や能力を尊重し、それぞれのペースで学習を進めることができるため、より効果的な学習が可能になる。

メリットとしては、能力や個人に合ったペースで学習を進めることができるため、学習への意欲を高めたり、個性を伸ばしたりできることが期待される。一方デメリットも存在し、子供一人一人に合わせたカリキュラムを作成する必要があるため、管理が難しくなる。しかし、これらのデメリットは、適切なカリキュラムや指導方法を導入することで克服することができると考えられる。

無学年学習は、子供たちの可能性を最大限に引き出すための学習方法として今後ますます注目されるだろう [30]。

単元のつながりを利用している実用例を示す。

- すらら: 無学年式の通信教育システムを考慮した結果、つまずきの元となる単元を推薦し、苦手を克服する手助けを行っている。つまずきの元となる単元を克服した後には、今度は串刺し式に類似する難易度の高い単元に進むシステムを採用しており、前単元の記憶が薄れる前に単元の理解を積み上げられる [30]。勉強に遅れをとっている子供でも、苦手を完全克服しながら効率的に学習を進めることができる (図??参照)。
- Axis: 個別指導学習システム図を使用し、今までどのような学習をしてきたか、これからどのような学習をしていくのか、各教科の単元ごとの関連性を明確にしながら苦手単元を特定、塾で個人個人に合わせた学習スケジュールを提供している。学習スケジュールの最適化に使用している [31]。

このように、単元ごとの関連を利用した教育方法は実用化されていることが分かる。

学習進捗のための日程計画

§ 3.1 クリティカルパスによる日程計画

プロジェクトの進捗管理を行う上で、目標達成のためにタスクやプロセスを可視化する必要がある。特定のタスクが終わらなければ作業を開始できないタスクもあるので、タスク間の関連性を把握しておかないと致命的な遅れが発生することがあるからである。そのために、1950年代に開発されたプロジェクトマネジメント手法であるクリティカルパスメソッド (Critical Path Method : CPM) を使用する。[5]

CPMは、プロジェクト完了のために実行しなければならないクリティカルなタスクを特定する手法であり、Critical Path(クリティカルパス)とは、プロジェクトの全工程を最短時間で完了させるために重要な作業経路のことを指す。プロジェクトの一連の工程を結んだ時、最も時間のかかる最長の経路がクリティカルパスの経路となる [32]。

プロジェクト規模が大きくなると単純にタスクの数が増え、タスク間の依存関係も複雑化するため、遅れが生じるとプロジェクト全体の遅延に繋がるようなタスクであっても把握するのが難しくなってしまう。このような遅延が許されないタスクを把握し、遅れないように対策することができる。

CPMは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 [33]。

クリティカルパスを導出するメリットは複数存在する。

スケジュール作成

まず、スケジュール作成に有用な点があげられる。クリティカルパスがそのままプロジェクト全体にかかる最も時間のかかる最長の経路となるため、作業日数や必要工数も明瞭になる。また、プロジェクト全体の流れとクリティカルパスの把握により、クリティカルパス以外のタスクで納期あるいは工数を調整するなど、効率的なスケジュール管理ができる。

また、プロジェクトの締め切りは、思いがけず前倒しになることがある。そのような突如のスケジュール変更に直面したときも、前もってクリティカルパスを把握しておけば短縮できる場所を探し、柔軟に対応することができる。

クリティカルパスがそのままプロジェクト全体にかかる最も時間のかかる最長の経路となるため、作業日数や必要工数も明瞭になる、プロジェクト全体の流れとクリティカルパスの把握により、クリティカルパス以外のタスクで納期あるいは工数を調整するなど、効率的なスケジュール管理ができる。

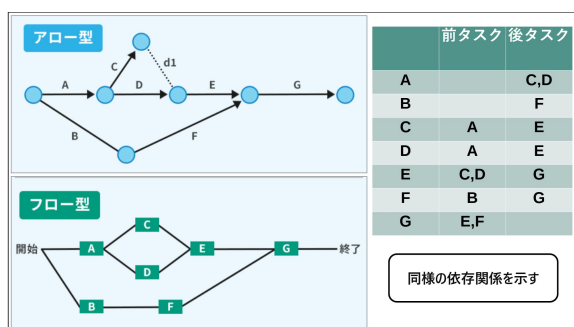


図 3.1: PERT 図 [34]

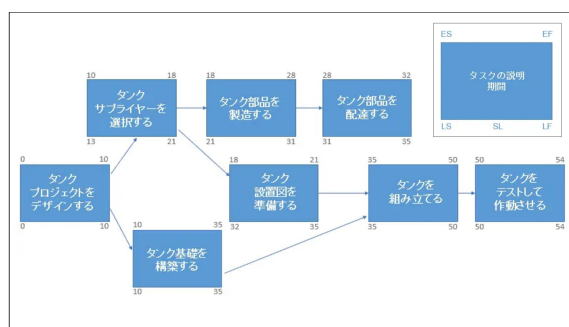


図 3.2: CPM [33]

また、プロジェクト内タスクの依存関係を矢印とノードを用いて図示できるため、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たスケジュールの作成が可能である。

PERT 図

プロジェクトのノードを線や矢印で結び、プロジェクトの達成に必要な業務の流れを図表にしたものを PERT 図と呼ぶ。工程と所要日数のほか、工程間の依存関係が視覚的に確認できるため、スケジュール管理や適切なリソース配分をするのに役立つ。PERT 図を活用すると、プロジェクト内で重点を置くべき工程を簡単に把握できるのが特徴であり、主にプロジェクト全体のなかでクリティカルパスを見極めるために使用される。PERT 図はアロー型とフロー型に分けられる [34]。それぞれを図 3.3 に示す。

● アロー型

円は、タスクの開始または終了を表し、矢印が作業内容を示しており、アローダイアグラムの形をとる。アローダイアグラムでは、ノードが2つに分かれてしまった場合、ダミー作業を点線で作図し、二股に分かれてしまったノードを1つにまとめる。実際の作業は伴わないため、作業時間の加算はゼロとして扱うことになる [35]。

作業の流れを強調して表示するため、プロジェクトの進行において各作業の関係性が明確になるが、作業の詳細やタスクの内部構造を表示するのが難しく、大規模なプロジェクトの場合には見込みにくいことがある。また、プロジェクトが複雑になると、多くのノードや矢印が交差し、見やすさが損なわれる可能性がある。

● フロー型

ノードをタスクや工程として扱い、タスク間の依存関係を示す矢印でつなぎ、ネットワーク図の形をとる。詳細を重視するため、全体像を理解するのにアロー型よりも時間がかかることがあるが、ノードをタスクや工程として扱うため、各タスクの詳細な作業内容をノードに属性づけることができる。また、タスク間の依存関係を明示的に示すことができ、細かな作業順序の理解がしやすいというメリットもある [36]。

本研究の学習系統図はそれほど大規模な依存関係ではない。しかし、提案手法でも説明するが、グラフ化する際にタスクに单元名、单元番号、リンク先を埋め込む必要があるため、タスクに情報を組み込みやすいフロー型を用いる。

フロート

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。フロートとは、後続するタスクやプロジェクトの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。フロートを見極めておくと、プロジェクトの柔軟性を判断するのに役立つ。

プロジェクト内で優先度の高いタスクを把握することで今後のスケジュールを円滑に行うことが可能である。クリティカルパスの作業を早急に終わらせることによって、全体のスケジュールに余裕をもたせることも可能になる [37]。

ボトルネック

プロジェクトにおけるボトルネックを導出できる。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る箇所を示す。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。

その際、プロジェクトの全体像を把握しているとボトルネックになり得るタスクが事前に把握できるため、トラブルが発生した場合のリカバリーやフォローのシミュレーションを高い確度で行えるようになる [38]。

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。そのとき、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ができると考えた。

開始終了時間

クリティカルパスから導き出せるものとして、以下各タスクの開始・終了がある。

- Early Start(ES)：最短でタスクを開始できる期間
- Early Finish(EF)：最短でタスクを完了できる期間
- Late Start(LS)：最遅でタスクを開始する期間
- Late Finish(LF)：最遅でタスクが終了する期間

これらを使用して、スケジュールを作成していくことになる [40]。図 3.4 に開始終了時間の例を示す。

§ 3.2 クリティカルパスの解法

往路時間計算

まず、一つ目の方法として ES, EF, LS, LF を用いる手法である。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．この手法は，最短や最長の経路を出すのに特化しておりプロジェクトを進めるための大切な指標となる．しかし，遅延などを考慮しないものが多く，あまり柔軟性のあるものとは言えず人為的なミスが多くなってしまうというデメリットがある．すべてのタスクに対して計算を繰り返した後，最も大きくなった 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

現在のタスクの前提タスクの位置に配列を作成し，現在のタスクの番号を入れ込む．この作業を繰り返すことで後続タスクのリストを作成する．各タスクに対して，もし後続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

クリティカルなタスクではフロートは 0 になる．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，フロートの期間内であれば，遅延してもプロジェクトの完了日に影響は出ない．

フロートには 2 つのタイプがあり，それぞれで計算方法が異なる．

トータルフロートとフリーフロートについて，図??で表す．また，計算方法を以下に示す．

- トータルフロート

プロジェクト終了日の遅延や，スケジュール制約条件からの逸脱が出ない範囲で，ある作業の開始を最早開始日から遅らせることができる期間のことである． k を現在のタスクの番号とすると，

$$LS_k - ES_k \quad (3.1)$$

または

$$LF_k - EF_k \quad (3.2)$$

で算出する．

- フリーフロート

後続のタスクに遅延が出ない範囲で，あるタスクの開始を遅らせることができる期間のことである．フリーフロートは，2 つ以上のタスクに共通して 1 つの作業が後続する場合のみに使用され，

$$ES_{k+1} - EF_k \quad (3.3)$$

で算出する．全て使ったとしても，後続のタスクには全く影響が出ない．

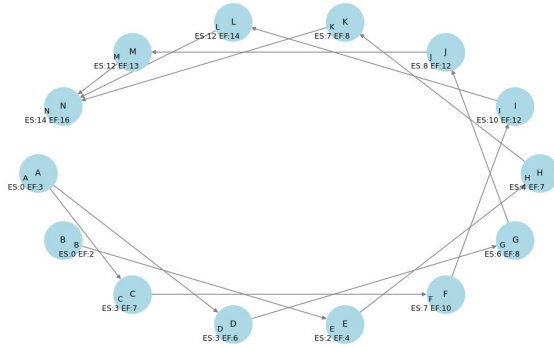


図 3.3: PERT 図 [34]

Task	ES	EF	LP Start Time
A	0	3	0.0
B	0	2	0.0
C	3	7	3.0
D	3	6	3.0
E	2	4	2.0
F	7	10	7.0
G	6	8	6.0
H	4	7	4.0
I	10	12	10.0
J	8	12	8.0
K	7	8	7.0
L	12	14	12.0
M	12	13	12.0
N	14	16	14.0
Project Duration (ES/EF): 16			
Project Duration (LP) : 16.0			

図 3.4: CPM [33]

線形計画法

目的関数および制約条件に関する全て線形であるような最適化問題のことを LP 問題 (Linear programming : LP) と呼ぶ. 生産計画問題やダイエット問題などが LP の代表例として知られている. また, LP の解法としては, 単体法や内点法が良く知られている. CPM を求める方法として最短路問題やその逆の最長路問題として定式化することができる. LP を使いことによって決まった値に対して正確な答えを出すことができ, 制約条件や目的関数が定義できるため柔軟な対応ができるとされているため人為的な計算ミスが少ないとされている. LP の定式化によっては, リソース制約や追加の最適化条件を組み込むため, 単純な ES, EF の結果とは異なる場合がある. ただし, 基本的には LP も ES, EF も同じ結果となる.

制約条件と目的関数

今回使用した CPM の制約条件と目的関数について説明する.

1. 依存関係

$$S_j \geq S_i + D_i(i, j) \quad \forall (i, j) \in E \quad (3.4)$$

となり E はタスクの依存関係を表すエッジの集合である.

2. プロジェクト完了時間

$$P \geq S_i + D_i \quad \forall i \in V \quad (3.5)$$

となり V はすべてのタスクの集合とする.

3. 目的関数 (最小化)

$$\min P \quad (3.6)$$

プロジェクト全体の完了時間を最小化するものである.

この LP の制約条件と目的関数と用いてクリティカルパスを解く. 同様に ES, EF を用いた手法でも同じクリティカルパスを解く. これらはクリティカルパスの期間を示しており, 最小の実行時間を求めるものとなっている. クリティカルパスの経路を下図のように定めた.

クリティカルパスメソッド

今回は上記で説明した二つの手法で同じクリティカルパスを解いた。理論的には両方同じ答えができるが実際に確認してみた。今回は python 3.11 での実行を行った。図 3.3 は今回解いたクリティカルパスを示しており、このような依存関係がある。図 3.4 は LP と ES,EF の両方で解いた場合の結果を表している。図からも分かるようにお互い同じ結果になっていることがわかる。この結果より ES,EF を用いた手法と LP を用いた手法で同じ結果が出ているためこの二つの手法での差は制約条件などで変わるためとくに制約条件が厳しいものでない限り違う解が出る可能性は少ない。この結果よりどちらの CPM を用いても差がなくどちらを使用してもよいということがわかる。

§ 3.3 学習計画のためのクリティカルパスの活用

次に学習計画のためのクリティカルパスについて説明する。実際のデータの例を表 4.2 に示す。このデータは、ユーザーが単元番号 (4,5,6,7,8) を学習範囲として設定したものである。ユーザー毎に科目数である 20 個の csv が必要になる。

CPM 関連データ

学習範囲指定データを対象にして、クリティカルパスと各タスクの開始終了時間を求める。3 章 2 節で求めたように、ES, EF, LS, LF, フロート、後続タスク、クリティカルなタスクかどうかを求め出力している。他の要素としては、単元名、単元番号、前提タスク、所要時間といった要素を抽出する。

実際のデータの例を表??に示す。DESCR は単元名、CODE は単元番号、PREDECESSORS は前提単元、SUCCESSORS は後続単元、DAYS は指導時数、SLACK はトータルフロート、Critical はそのタスクがクリティカルか否かを表している。csv の形式は学習範囲指定データと同様である。

スケジュールデータ

個人個人のスケジュールが入っている。
作成方法を以下に示す。

1. スケジュール作成日から先で最も直近なイベントの開始日までの日付を計算する。例えば、スケジュール作成日が 2024 年 2 月 1 日であり、最も直近なイベントの開始日が 2024 年 2 月 5 日であれば、その期間は 2 月 1 日から 2 月 4 日までとなる。
2. 期間を計算された日付範囲を曜日ごとに分割する。例えば、2 月 1 日が水曜日であれば、2 月 1 日、2 日、3 日、4 日のそれぞれの曜日が水曜日、木曜日、金曜日、土曜日になる。
3. 各曜日における学習予定時間の合計を求める。学習予定時間データを用いて各曜日に対する予定学習時間を合計する。例えば、水曜日の予定学習時間が 2 時間、木曜日が

表 3.1: CPM 関連データ

DESCR	COD E	PREDEC ESSORS	SUCCESSORS	DA YS	ES	EF	LS	LF	SLACK	CRITICAL
Start	0		['5', '4']	0	0	0	0	0	0	YES
いくつといくつ	4	['0']	['8']	7	0	7	14	21	14	NO
ぜんぶでいくつ	5	['0']	['6']	10	0	10	0	10	0	YES
のこりはいくつ	6	['5']	['7']	8	10	18	10	18	0	YES
どれだけおい	7	['6']	['8']	3	18	21	18	21	0	YES
10よりおいいかず	8	['4', '7']	['999']	10	21	31	21	31	0	YES
End	999	['8']		0	31	31	31	31	0	YES

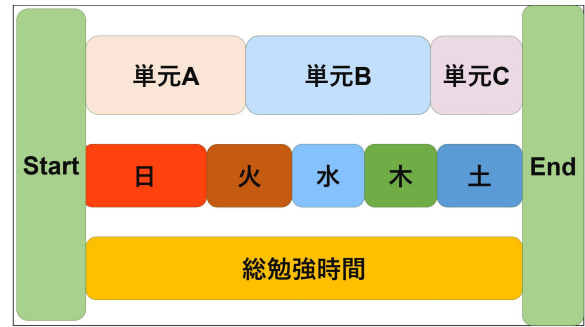


図 3.5: スケジュール作成方法

3時間、金曜日が4時間、土曜日が0時間であれば、その週の水曜日から土曜日までの学習予定時間の合計は9時間となる。この予定学習合計時間を Total_Study_Hours とし、その求め方を式 4.1 に示す。スケジュール作成日の曜日を today とすると、

$$\text{Total_Study_Time} = \sum_{i=0}^{x-1} \text{study}(\text{today} + i \bmod 7) \quad (3.7)$$

- 理想合計学習時間の計算を行う学習範囲データの指導時数の合計を求め、理想合計学習時間 Ideal_Study_Time として扱い、その求め方を式 4.2 に示す。

$$\text{Ideal_Study_Time} = \sum_{i=1}^n \text{Hours}(\text{unit}_i) \quad (3.8)$$

- 各単元の指導時数の比率の計算各単元の指導時数を、理想的な合計学習時間に対する比率として扱う。各単元の指導時数を合計したものを理想的な合計学習時間で割ることで、各単元の学習予定時間における割合とする。
- 単元を LS に基づいて早い順にソートし、計画する上での基準とする。フロートは優先度を示す値ではあるが、開始時刻からどれだけ離れているかを考慮していないため、スケジュールのソートに使用することはできない。代わりに LS が早い作業ほど他の作業の開始に影響を与える可能性が高いため、優先的に実施されるべきであると考えた。優先度の並び順として LS の大小を使用し、作業をスケジュールすることで全体の予定を最適化し、遅延を最小限に抑えることができる。表 4.2 を例とすると、5 → 6 → 4 → 7 → 8 の順番にソートが行われる。
- 各日における学習スケジュールを生成する。学習予定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。学習可能時間が週の学習予定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あてはめていく。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 (図 4.2 参照)。

日付とそれに対応する単元名、単元番号、単元の学習時間が入れられる。実際のデータの例を表 4.3 に示す。Day はスケジュール作成当日を 1 として、1 日に 1 増加する。

表 3.2: スケジュールデータ

Day	Date	DOW	Unit	Study Hours	Description
1	2024-01-25	Thu	0	0	Start
1	2024-01-25	Thu	5	1.84210526315789	ぜんぶでいくつ
1	2024-01-25	Thu	6	1.47368421052632	のこりはいくつ
1	2024-01-25	Thu	4	0.68421052631579	いくつといくつ
2	2024-01-26	Fri	4	0.605263157894737	いくつといくつ
2	2024-01-26	Fri	7	0.552631578947369	どれだけおい
2	2024-01-26	Fri	8	0.842105263157895	10よりおいいかず
3	2024-01-27	Sat	8	1	10よりおいいかず
3	2024-01-27	Sat	999	0	End

表 3.3: 圧縮率データ

科目名	圧縮率
小学校国語	0.264705882352941
小学校算数	0.161764705882353
小学校英語	0
小学校理科	0.338235294117647
小学校社会	2.04411764705882

Date はスケジュールを作成する際にカレンダーと対応する日付, DOW は曜日を表している. Unit は単元番号, Description は単元名を, Study Hours は特定の日付 (Day) に特定の単元 (Unit) をどれだけ時間学習するかを書き込んでいる. 科目毎に csv が存在し, 1 行が Day に行う 1Unit を表す.

圧縮率データ

スケジュールを学習範囲単元の指導時数の合計時間からどれだけ伸縮したかを記録している. 科目 k の圧縮率を $Press_k$ とおき, その求め方を式 4.3 に示す.

$$Press_k = \frac{\text{Ideal_Study_Hours}}{\text{Total_Study_Hours}} \quad (3.9)$$

で求められる.

実際のデータの例の一部を表 4.4 に示す. 圧縮率が大きいほど余裕のないスケジュールになってしまっている. そのため, 小学校社会では他の科目よりも学習の内容が多いことがわかり, 反対に小学校英語は学習を行わないことを示している. csv はユーザー毎に作られ, 1 行が 1 単元を表す.

信頼性データ

各教材の信頼性スコア $K_score(i)$ を求め, 記録する.

信頼性スコアの求め方を式 4.4 示す. まず, 3 章 3 節で述べたように, 各レビューのサクラ性スコア $F_score(l_i)$ を計算し, 平均化して, $F_score(i)$ を求める. その後, 信頼性スコアを式 (??) を用いて求める.

$$K_score(i) = \frac{F_score(i)}{R_score(i)} \quad (3.10)$$

教材データと同じ csv ファイルに書き込まれる.

提案手法

§ 4.1 学習管理システムへのファジィの導入

学習支援システムにおける CPM の計算の中で単元にかかる時間が決められているが、これには柔軟性が求められる。この単元にかかる時間について不確実性を考慮することによってある程度の想定外の時間のズレに対応できる。考慮するにあたって通常の CPM では不確実性の考慮されていない場合がほとんどだが、ファジィ数を導入したファジィクリティカルパスメソッドを適応することによって不確実性を考慮したスケジュール作成ができる。このスケジュールは工事現場などの天候などに工事日程が左右される現場の場合悪天候などで工事が止まったりするケースが多々見られる。この工数がずれる場合があるのにも対応できるのがファジィ数を考慮した CPM である。

ファジィ変数

ファジィ変数とは、ファジィ論理やファジィ集合に関連する概念で、二値論理とは異なり、部分的に真であるという状態を考慮に入れるものである。ある値が真または偽だけではなく、0 から 1 の間で真理度を持つ場合に使われる。この変数は従来の変数が取りうる特定の値を持つものに対し、その範囲内で曖昧さを含むような値を取る変数となる。特に人間の直観や自然言語を扱う際に有用で、システムがあいまいな情報を処理するときの手段として用いられています。

ファジィクリティカルパスメソッド

ファジィクリティカルパスメソッドとは、プロジェクトのスケジュール管理において、タスクの所要時間や関係性が明確でない場合に用いる、CPM の拡張版となっている。

通常の CPM では、タスクの所要時間を固定値として扱い、最も時間がかかるクリティカルパスを特定するものとなっている。しかし、現実のプロジェクトではタスクの所要時間が不確実であることが多いため、ファジィクリティカルパスではファジィ理論という曖昧さを扱う数学的手法を用いて、タスクの所要時間を範囲的に表現するものとなっている。

通常の CPM では決まったパスのみがクリティカルパスになるが、ファジィ CPM ではある程度クリティカルな経路も見えてくるといったものとなっている。特に建築現場の CPM では、天候などの影響で作業時間が変動する場合があるためその場面での使用が有効的である [6]。

この手法も様々な計算方法があるが基本的には CPM の計算方法にファジィ数を追加するものが多く見られる。ファジィ数を追加したものを α -cut する。

表 4.1: ファジィ集合の例

DESCR	COD E	PREDEC ESSORS	SUCCESSORS	DA ES	EF	LS	LF	SLAC K	CRITIC AL
Start	0		['5', '4']	0	0	0	0	0	YES
いくつといくつ	4	['0']	['8']	7	0	7	14	21	NO
ぜんぶでいくつ	5	['0']	['6']	10	0	10	0	10	YES
のこりはいくつ	6	['5']	['7']	8	10	18	10	18	YES
どれだけおい	7	['6']	['8']	3	18	21	18	21	YES
10よりおい	8	['4', '7']	['999']	10	21	31	21	31	YES
End	999	['8']		0	31	31	31	31	YES

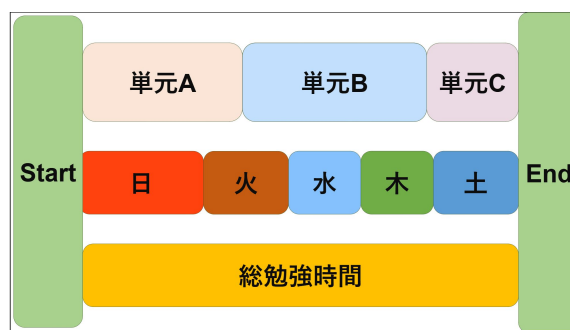


図 4.1: アルファカットの図

ファジィ集合

ファジィ集合は、数学の集合の概念を拡張したものである。図??のように身長ごとにわけるとき、175cm以上の人の集合という普通の集合があるが、ファジィ集合では、背の高い人の集合というのがファジィ集合である。

ファジィ集合を数学的に厳密に取り扱うために、各要素毎にグレードという数値を導入する。この数値は論理値のようなもので0と1の間の実数値である。1に近いほどその要素は子の集合に属している度合いが強く、0に近ければあまり属していない。ファジィ集合と明確に区分する必要があるときには、ふつうの集合をクリस्प集合と呼ぶ。

このように、ファジィ集合は従来の厳密な数学的枠組みでは捉えきれない不確実性や曖昧さを含むデータを適切に処理し、より柔軟な意思決定やシステム制御を可能にする重要な概念である。

メンバーシップ関数

メンバーシップ関数とは、ファジィ集合において各要素がその集合にどの程度属しているかを数値で表す関数である。通常の集合では、要素は「属する (1)」か「属さない (0)」のどちらかに分類されるが、ファジィ集合では、要素が部分的に属することを考慮し、0から1の範囲でその程度を示す。

例えば、タスクの所要時間が「おおよそ7日」と表現される場合、5日や10日もある程度含まれるが、7日に最も強く属すると考えられる。メンバーシップ関数には、三角形型やガウス型などさまざまな形式があり、ファジィ論理やファジィ制御、AIなどの分野で、不確実性を扱うために広く活用されている。

α -cut

α -cut とは、ファジィ集合において、ある閾値 α ($0 \leq \alpha \leq 1$) を設定し、その値以上のメンバーシップ値を持つ要素の集合を取り出す手法である。

ファジィ集合では、各要素が「どの程度その集合に属するか」を示すメンバーシップ関数によって定義される。しかし、実際の意思決定や計算を行う際には、ファジィな情報がある程度明確にする必要がある。そのため、 α -cut を用いることで、特定の信頼度以上で属している範囲のみを取り出し、より明確なクリस्प集合として扱うことができる。

例えば, あるタスクの所要時間が「最短 5 日, 最も可能性の高い値 7 日, 最長 10 日」として三角ファジィ数 $A = (5, 7, 10)$ で表される場合, $\alpha = 0.5$ の α -cut を求めると, その時点でのメンバーシップ値 0.5 以上を持つ範囲が $A(0.5) = [6, 8.5]$ となる。つまり、「50% 以上の確率で所要時間が 6~8.5 日の間にある」と解釈できる。

このように, α -cut は, ファジィ集合を部分的にクリस्प集合へ変換する手法として, プロジェクト管理, 意思決定, リスク評価などさまざまな分野で活用されている。特に, ファジィクリティカルパス法やファジィ最適化において, タスクの不確実性を考慮したスケジューリングや計画策定に役立つ。

学習履歴におけるファジィ数

学習履歴におけるファジィ数として, 各单元ごとに時間が決められている。その時間にファジィ数を適用して不確実性を含ませた学習時間とすることで柔軟に対応できる形とした。

図??が α -cut することによって ES, EF に upper と lower にわけることによって複数の解が出てくるようにした。複数の解を出すことによってユーザーに様々なスケジュールを作ることによってどのようにスケジュールを立てるかを複数提示することによってユーザーのスケジューリング能力向上も見込める。またユーザーにわかりやすいように CPM の答えをそのまま出すのではなく, 圧縮率といった数値で見てわかりやすい形で提示することでユーザーのストレスにならないようにした。

§ 4.2 ファジィクリティカルパスによる解法

学習範囲指定データ

3 章 2 節で求めたように, 学習範囲データを基にして单元データから单元名, 指導時数, 单元番号を抜き出している。

実際のデータの例を表 4.2 に示す。このデータは, ユーザーが单元番号 (4,5,6,7,8) を学習範囲として設定したものである。ユーザー毎に科目数である 20 個の csv が必要になる。

CPM 関連データ

学習範囲指定データを対象にして, クリティカルパスと各タスクの開始終了時間を求める。3 章 2 節で求めたように, ES, EF, LS, LF, フロート, 後続タスク, クリティカルなタスクかどうかを求め出力している。他の要素としては, 单元名, 单元番号, 前提タスク, 所要時間といった要素を抽出する。

実際のデータの例を表??に示す。DESCR は单元名, CODE は单元番号, PREDECESORS は前提单元, SUCCESSORS は後続单元, DAYS は指導時数, SLACK はトータルフロート, Critical はそのタスクがクリティカルか否かを表している。csv の形式は学習範囲指定データと同様である。

スケジュールデータ

個人個人のスケジュールが入っている。
作成方法を以下に示す。

1. スケジュール作成日から先で最も直近なイベントの開始日までの日付を計算する．例えば，スケジュール作成日が2024年2月1日であり，最も直近なイベントの開始日が2024年2月5日であれば，その期間は2月1日から2月4日までとなる．

表 4.2: CPM 関連データ

DESCR	COD E	PREDEC ESSORS	SUCCESSORS	DAYS	ES	EF	LS	LF	SLACK	CRITICAL
Start	0		['5', '4']	0	0	0	0	0	0	YES
いくつといくつ	4	['0']	['8']	7	0	7	14	21	14	NO
ぜんぶでいくつ	5	['0']	['6']	10	0	10	0	10	0	YES
のこりはいくつ	6	['5']	['7']	8	10	18	10	18	0	YES
どれだけおい	7	['6']	['8']	3	18	21	18	21	0	YES
10よりおおい	8	['4', '7']	['999']	10	21	31	21	31	0	YES
End	999	['8']		0	31	31	31	31	0	YES

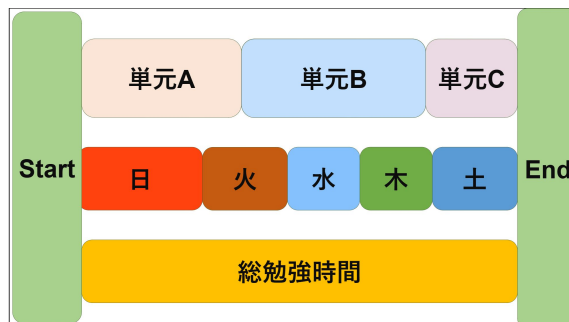


図 4.2: スケジュール作成方法

2. 期間を計算された日付範囲を曜日ごとに分割する．例えば，2月1日が水曜日であれば，2月1日，2日，3日，4日のそれぞれの曜日が水曜日，木曜日，金曜日，土曜日になる．
3. 各曜日における学習予定時間の合計を求める．学習予定時間データを用いて各曜日に対する予定学習時間を合計する．例えば，水曜日の予定学習時間が2時間，木曜日が3時間，金曜日が4時間，土曜日が0時間であれば，その週の水曜日から土曜日までの学習予定時間の合計は9時間となる．この予定学習合計時間を `Total_Study_Hours` とし，その求め方を式 4.1 に示す．スケジュール作成日の曜日を `today` とすると，

$$\text{Total_Study_Time} = \sum_{i=0}^{x-1} \text{study}(\text{today} + i \bmod 7) \quad (4.1)$$

4. 理想合計学習時間の計算を行う学習範囲データの指導時数の合計を求め，理想合計学習時間 `Ideal_Study_Time` として扱い，その求め方を式 4.2 に示す．

$$\text{Ideal_Study_Time} = \sum_{i=1}^n \text{Hours}(\text{unit}_n) \quad (4.2)$$

5. 各単元の指導時数の比率の計算各単元の指導時数を，理想的な合計学習時間に対する比率として扱う．各単元の指導時数を合計したものを理想的な合計学習時間で割ることで，各単元の学習予定時間における割合とする．
6. 単元を LS に基づいて早い順にソートし，計画する上での基準とする．フロートは優先度を示す値ではあるが，開始時刻からどれだけ離れているかを考慮していないため，スケジュールのソートに使用することはできない．代わりに LS が早い作業ほど他の作業の開始に影響を与える可能性が高いため，優先的に実施されるべきであると考えた．優先度の並び順として LS の大小を使用し，作業をスケジュールすることで全体

の予定を最適化し、遅延を最小限に抑えることができる．表 4.2 を例とすると， $5 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8$ の順番にソートが行われる．

7. 各日における学習スケジュールを生成する．学習予定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．学習可能時間が週の学習予定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あてはめていく．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 (図 4.2 参照)．

表 4.3: スケジュールデータ

Day	Date	DOW	Unit	Study Hours	Description
1	2024-01-25	Thu	0	0	Start
1	2024-01-25	Thu	5	1.84210526315789	ぜんぶでいくつ
1	2024-01-25	Thu	6	1.47368421052632	のこりはいくつ
1	2024-01-25	Thu	4	0.68421052631579	いくつといくつ
2	2024-01-26	Fri	4	0.605263157894737	いくつといくつ
2	2024-01-26	Fri	7	0.552631578947369	どれだけおおい
2	2024-01-26	Fri	8	0.842105263157895	10よりおおいかず
3	2024-01-27	Sat	8	1	10よりおおいかず
3	2024-01-27	Sat	999	0	End

表 4.4: 圧縮率データ

科目名	圧縮率
小学校国語	0.264705882352941
小学校算数	0.161764705882353
小学校英語	0
小学校理科	0.338235294117647
小学校社会	2.04411764705882

日付とそれに対応する単元名，単元番号，単元の学習時間が入れられる．実際のデータの例を表 4.3 に示す．Day はスケジュール作成当日を 1 として，1 日に 1 増加する．

Date はスケジュールを作成する際にカレンダーと対応する日付，DOW は曜日を表している．Unit は単元番号，Description は単元名を，Study Hours は特定の日付 (Day) に特定の単元 (Unit) をどれだけの日付学習するかを書き込んでいる．科目毎に csv が存在し，1 行が Day に行う 1Unit を表す．

圧縮率データ

スケジュールを学習範囲単元の指導時数の合計時間からどれだけ伸縮したかを記録している．科目 k の圧縮率を $Press_k$ とおき，その求め方を式 4.3 に示す．

$$Press_k = \frac{Ideal_Study_Hours}{Total_Study_Hours} \quad (4.3)$$

で求められる．

実際のデータの例の一部を表 4.4 に示す．圧縮率が大きいほど余裕のないスケジュールになってしまっている．そのため，小学校社会では他の科目よりも学習の内容が多いことがわかり，反対に小学校英語は学習を行わないことを示している．csv はユーザー毎に作られ，1 行が 1 単元を表す．

信頼性データ

各教材の信頼性スコア $K_score(i)$ を求め，記録する．

信頼性スコアの求め方を式 4.4 示す．まず，3 章 3 節で述べたように，各レビューのサクラ性スコア $F_score(l_i)$ を計算し，平均化して， $F_score(i)$ を求める．その後，信頼性スコアを式 (??) を用いて求める．

$$K_score(i) = \frac{F_score(i)}{R_score(i)} \quad (4.4)$$

教材データと同じ csv ファイルに書き込まれる．

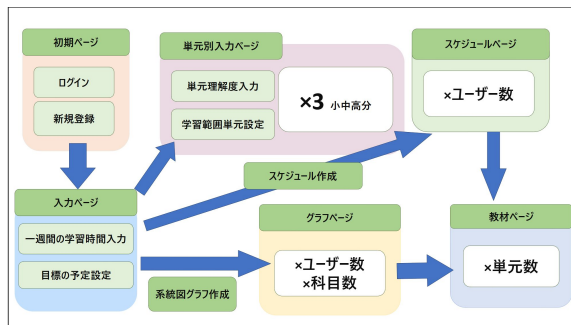


図 4.3: システム全体図

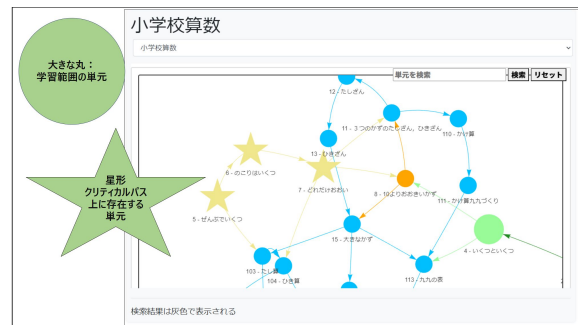


図 4.4: グラフページ

§ 4.3 対話型システム

これらのプログラムを Flask によって一つのプログラムとしてまとめ，つながりを作った．システムの全体図を図 4.3 に示す．以下でユーザーインターフェイスについて説明を行う．

各ユーザーにはユーザー ID が与えられ，それによって個々の情報を区別している．これにより，個別の学習履歴や進捗状況を管理できる．

学習系統グラフ

pyvis で 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．グラフ画面を図 4.4 に示す．pyvis はグラフの可視化用の Python ライブラリであり，ネットワークグラフを作成した後 html ファイルとして出力できる．作成した html ではマウス操作でグラフを拡大・縮小したり，ノードを移動したりすることができるため，学習者は自身の興味に合わせて能動的に学習を進めることができる．

ノード一つに単元を一つ割り当て，教材画面へのリンクを埋め込むことで，学習者は必要な教材をスムーズに参照し，興味のある単元の教材に直接アクセスすることができる．

理解度データを参照し，ノードを理解度によって 5 色に分けた．これにより，学習者は過去にどの単元を学習したかを振り返りやすくなり，復習や進捗の確認がスムーズに行える．長時間見続けた際に目が疲れなくするため原色を避け，目に優しい色を使用した．使用した配色を表 4.3 に示す．

学習者は，理解できていない単元のノードの関連する単元のノードを遡って辿り，自身の課題を認識し，理解が足りていない単元を把握することが可能になるため，前提単元を学習しなおすことで理解不足を解消することができる．

逆に、遡りとは逆向きに学習中の単元のノードを辿ることで、取り組んでいる単元と関連する先の単元を学習し、自身の興味のままに学習できる。これによって、自発的な学習の涵養が期待される。

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一目で確認できる。クリティカルパスのノードを星形にすることで学習者は重要な単元をすばやく見つけ出し、学習の優先順位を判断することができる。

JavaScript を使用して検索ボックスを作成した。これによって、学習者は効率的に目的の単元を見つけることができ、理解や学習範囲とは関係がないが、教科書等を見たことで興味を持った単元を効率的に見つけることができる。

表 4.5: ノード配色

	色	理解度
未履修	deepskyblue	-1
不可	crimson	0
C	orange	1
B	khaki	2
A	palegreen	3
S	forestgreen	4



図 4.5: スケジュール画面

html はユーザー毎に 20 科目分作成することになる。各ノードに異なるデザインを採用することで、学習者は学習プロセスがより個人を考慮されていると感じる可能性がある。視覚的な美しさも加わり、学習へのモチベーションが向上する可能性がある。

実際のページでは一番初めに出てくるのは共通の html だが、プルダウンメニューで科目を選択でき、iframe 要素を使用して個人の html を埋め込んだものが現れるようになっている。

スケジュール画面

スケジュール画面ではカレンダーと圧縮率の表が現れ、カレンダーは、月ごとのスケジュールを表示するために使用される (図 4.5)。

当日学習する単元は最初は非表示とされているが、カレンダーの日付をクリックすることでスケジュールデータに含まれる単元名が表示される。これにより、ユーザーはその日に学習する単元を一目で確認できる。

単元名にハイパーリンクを埋め込んでいるため、クリックすることでスムーズにアクセスでき、教材ページに遷移する。これにより、学習者は学習の一貫性を確保し、途切れることなく効果的な学習を展開できる。

作成時に単元の学習時間が 0 の行を無視しており、これによって Start と End などのタスクを出力せず、実際に行われる単元のみが表示されるようになる。また、スケジュール html はスケジュールの更新の度に作成し、上書き保存が行われる。

圧縮率の表では各科目の学習の圧縮率を示す。科目のどの単元も学習範囲に含まれていない場合、その科目は表示されないようにしてある。これは、例えば小学生にとって中学校科目や高校科目の圧縮率情報は関係ないため、不要な情報を省略するためである。

圧縮率の表示によって、ユーザーが各科目のスケジュールの余裕を確認し、必要に応じて学習の焦点を変更することができる。科目ごとのスケジュールを最適化し、学習科目全体をストレスなく学習することができる。

これらの要素を使用したことで、学習者が自己学習を進める上で使いやすく、効果的な学習支援を提供できると考える。

教材画面

教材画面には説明した2つの画面両方からのアクセスが可能で（図 4.6 参照）、ユーザーはその単位に関連するキーワードを選択できる（図 4.7 参照）。教材画面を図として示す。図 4.8 には Web ページ教材を、図 4.9 には Youtube 教材を示す。

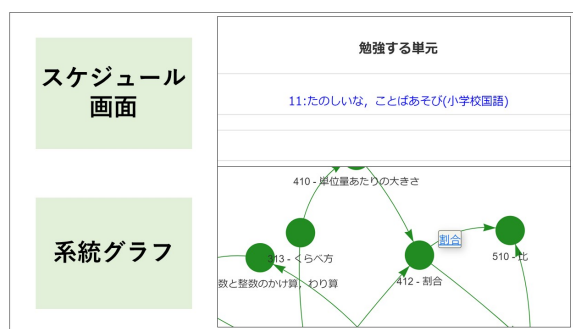


図 4.6: アクセス方法



図 4.7: キーワード選択

教材画面には、ランキング上位3位までが常に表示される。これにより、学習者は他のユーザーが高く評価した教材にアクセスできる。信頼性の高い教材に効果的にアクセスし、学習の効率性や質の高い学習体験が期待できる。

レビューが投稿されていない未評価教材が存在する場合、これを学習者に提示することで新しい情報へのアクセスが可能となる。未評価教材は、学習者が既存の評価に頼ることなく、自分自身の評価や発見を行う機会を提供する。教材の良し悪しは、一般的な評価に依存せず、個々の学習者の好みやニーズにより適合する可能性がある。学習者は自分自身の学習スタイルに合った教材を見つけることで、より効果的な学習を行うことができる。

Web サイトと YouTube の教材が分かれており、学習者は自身の好みや学習スタイルに合わせて教材を選択することができ、学習の柔軟性が向上する。また、Web サイトと YouTube を使い分けることで、学習者は視聴と読書を組み合わせて効果的な学習が可能だと考えられる。動画で視覚的な理解を深め、テキストで補完することで知識の定着が促進される。

また、YouTube が画面内に統合され、教材画面上で直接利用できる。これによって、学習者は異なるサイトにアクセスする手間を省くことができる。統一された画面内でコンテンツを管理することで、学習の一貫性と効率性が向上する。

学習者が教材画面で積極的に正直なレビューを行うことは、学習者全体にとって大きなメリットをもたらす。多くの学習者が良い教材に良いレビューを投稿することで、その教材の信頼度が上がり、ランキングでも上位になっていく。また、質の高い教材がランキング上位に表示されることで、学習者は安心して教材を選ぶことができ、学習意欲も高まる。

図形				
ホームページ教材				
No.	HPname	評価スコア	レビュー本文	評価ボタン 信頼性スコア
1	図形の性質(図形の性質)！高校数学のつまづきやすい単元を...	評価してね ✓	test	評価する 100%
2	よく使う図形の公式集！・サクサクに受験勉強・テスト対策・学習...	評価してね ✓	test	評価する 100%
3	空間図形とは？公式と問題を解く際のポイントを図で解説！...	評価してね ✓	test	評価する 100%
★未評価中★				
No.	HPname	評価スコア	レビュー本文	評価ボタン
1	図形の性質(図形の性質)！高校数学のつまづきやすい単元を...	評価してね ✓	test	評価する
2	よく使う図形の公式集！・サクサクに受験勉強・テスト対策・学習...	評価してね ✓	test	評価する
3	空間図形とは？公式と問題を解く際のポイントを図で解説！...	評価してね ✓	test	評価する

図 4.8: Web 教材

YouTube				
No.	YouTube名	評価スコア	レビュー本文	評価ボタン 信頼性スコア
1	図形の性質(図形の性質)！高校数学のつまづきやすい単元を...	評価してね ✓	test	評価する 100%
2	よく使う図形の公式集！・サクサクに受験勉強・テスト対策・学習...	評価してね ✓	test	評価する 100%
3	空間図形とは？公式と問題を解く際のポイントを図で解説！...	評価してね ✓	test	評価する 100%
★未評価中★				
No.	YouTube名	評価スコア	レビュー本文	評価ボタン
1	図形の性質(図形の性質)！高校数学のつまづきやすい単元を...	評価してね ✓	test	評価する
2	よく使う図形の公式集！・サクサクに受験勉強・テスト対策・学習...	評価してね ✓	test	評価する
3	空間図形とは？公式と問題を解く際のポイントを図で解説！...	評価してね ✓	test	評価する

図 4.9: Youtube 教材

反対に、学習者にとって役に立たない教材はレビューによって評価が低くなり、ランキング圏外に追いやられる。教材選定の際、スクレイピングで混入した学習とは関係ない教材も、この仕組みによって自然と淘汰されていくと考えられる。

また、学習後にレビューを書く行為は自発的な学習習慣の形成に大きく貢献する。例として、

1. レビューを書くためには、学習内容を整理し、自身の理解度を客観的に評価する必要がある。そのため、学習内容の定着を促進し、記憶の長期化に役立つ。
2. レビューは単なるアウトプットではなく、学習内容に対する自身の考えや評価を表現する行為であり、学習者自身が主体的に学習内容に関与するようになり、学習意欲や積極性が向上する。
3. 学習したことをアウトプットする習慣は、学習効果の向上だけでなく、思考力や表現力の向上にもつながり、アウトプットの習慣化に有効である。

などレビュー行為そのものが非認知能力の形成に役立つ可能性がある。

実験結果並びに考察

§ 5.1 実験の概要

本研究の数値実験として、システムの有用性の検証、科目推薦の有効性を行う。システムの有用性の検証では実際にシステムを使用してもらい、アンケートに答えてもらう。アンケートの項目は全部で10個あり、また、アンケートと同時にコメントを記入できる欄を設けておき、自由にコメントをできるようにする。このアンケートを持って本システムの有用性の検証を行う。以上のコメントを5段階のリッカート尺度で評価してもらう。

リッカート尺度とは、あるトピックに対して、多段階の選択肢を用いたアンケートを取り、回答者がどの程度同意するかを測定する手法のことである [48]。両極に位置する選択肢の間に段階的な選択肢を設定することで、単純な2択では測定しにくい質問でも回答を集めやすいという特徴がある。

今回のアンケートでは5段階のうち、1をととてもそう思う、2をそう思う、3をどちらでもない、4をそう思わない、5をととてもそう思わないといったように回答を設定し、アンケートに答えてもらう。

アンケート項目全体を通して、基本的にはシステムの使用感に関する質問を多くしてある。本来なら本システムを使用し、学習効果が向上するのを確認することでシステムの有効性を検証するべきだが、確認するためには開発したシステムを長期間使用してもらわないと学習効果が向上したかを確認することができない。そのため、本研究ではアンケート調査を用いてシステムの有効性を示す。

調査の対象は同研究室の修士1年生が2名、学部4年生が4名、3年生が4名、外部生徒が1名の合計11人に実際に開発したシステムを使用してもらい、アンケートを答えてもらった。行った質問を表5.1に示す。実際に使用してもらうにあたり、システムの使用手順について説明を行い、実際に使用してもらう。

手順は以下に記してある通り、新規登録から個人データの入力、スケジュール作成と系統図グラフ作成、教材のレビューまでの一連の流れを説明した。

実際に使用したシステムの操作ガイド

1. 新規登録画面で、ユーザID、パスワード、ニックネームを入力してください。(図5.1参照)
2. 登録したユーザー情報を使用してログインしてください。

表 5.1: システムの評価基準

Q1	システムの操作性はわかりやすいか	Q2	システムの機能は理解しやすいか
Q3	レイアウトは親切か	Q4	デザインは見やすいか
Q5	利用にストレスを感じたか	Q6	学習の効率アップに使えるか
Q7	教材は学習に適しているものか	Q7	視覚化が学習進捗把握に役立つか
Q9	学習の効率が上がるか	Q10	学習のモチベーションが上がるか

3. 右上の画面で勉強可能な時間帯をクリックして選択してください (図 5.2 参照). 入力完了後, 「合計時間を保存」 ボタンを押して保存してください.
4. 左下の画面で「予定追加」 ボタンを押して, 表示される青いボックスをドラッグして次のテストの日程に配置してください. 配置が完了したら, 「書き込み」 ボタンを押して保存してください (図 5.3 参照).
5. 「理解度チェック」 ボタンから好きなものを選択し, 単元のバーを動かしたりチェックボックスをつけたりしてください (図 5.4 参照).
6. 再ログイン後, 「スケジュール日程作成」 ボタンを押して, 表示されたカレンダーの日付をクリックして確認してください (図 4.5 参照).
7. 「系統図グラフ作成」 ボタンを押して, プルダウンメニューから理解度チェックで登録した科目を確認してください. グラフに理解度とテスト期間, クリティカルパスが反映されていることを確認してください (図 4.4 参照).
8. グラフで好きなノードから出るボックスをクリックし, 教材メニューに移動してください (図 4.6, 4.7 参照). レビューと評価を行い, 教材の信頼度スコアが変化することを確認してください.

実際に操作してもらう UI に関して説明を行う.

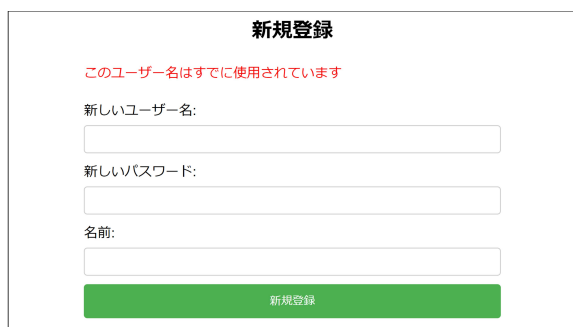
UI の解説

1. 図 5.1

ログイン画面を表しており, 新規登録の際は同じ名前は存在できても, 同じユーザー ID は登録できないようになっており, ユーザー ID の被りが出現すると, 警告メッセージを出力するようになっている. 誤ログインの防止に役立ち, アカウントのセキュリティ向上に貢献する. システム側もユーザーを容易に識別できるというメリットがある. また, ユーザーデータの整合性を保つため, ユーザー ID は int 型である必要がある. 新規登録で半角数字以外が入力された場合, 警告メッセージを出力する.

2. 図 5.2

1 週間分の曜日を列に, 1 日を分割した表形式で表示している. セルをクリックすることで色が変化する. 色が変わったセルは, その時間帯に勉強を予定することを表し



新規登録

このユーザー名はすでに使用されています

新しいユーザー名:

新しいパスワード:

名前:

新規登録

図 5.1: 新規登録



週間勉強予定時間

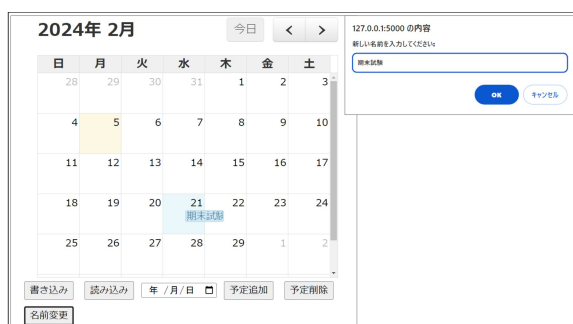
割み時間: 60分

	日曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日
00:00							
01:00							
02:00							
03:00							
04:00							
05:00							
06:00							
07:00							
08:00							
09:00							

各曜日の合計時間:
 日曜日: 3.00 時間
 月曜日: 2.00 時間
 火曜日: 2.00 時間
 水曜日: 2.00 時間
 木曜日: 3.00 時間
 金曜日: 2.00 時間
 土曜日: 4.00 時間

合計時間を保存

図 5.2: 勉強時間入力



2024年 2月 今日 < >

127.0.0.1:5000 の内容
新しい名前を入力してください

期末試験

OK キャンセル

書き込み 読み込み 年 / 月 / 日 予定追加 予定削除

名前変更

図 5.3: 予定設定



小学校社会

わたしたちの大好きなまちの成績

はたらく人とわたしたちのくらしの成績

地いきの安全を守るの成績

わたしたちの市の歩み

健康なくらしとまちづくりの成績

自然災害にそなえるまちづくりの成績

地域で受け継がれてきたものの成績

昔から今へと続くまちの成績

すべてでない 全てできる

更新します

図 5.4: 理解度入力、学習範囲設定

ている。また、列ごとに合計した数値は曜日ごとの合計勉強時間として扱われ、勉強時間データとして保存される。この表では、15分、30分、60分の3つの区切りで時間を分割することができる。ユーザーは直感的に空いている時間帯を考えながら入力することが想定される。

3. 図 5.3

1ヶ月分のカレンダーを視覚的に表示している。試験開始日や学年の最後などを目標日とすることが想定される。FullCalendar という jQuery のオープンソースプラグインを利用しており、ユーザーが自由にイベントを追加・削除できる機能を実装している。目標日は複数設定可能であるが、スケジュール作成に実際に用いられるのはスケジュール作成日以降で最も近いイベントまでの期間である。ドラッグアンドドロップで直感的にイベントの日程変更が可能のため、予定変更もスムーズに行える。

- 図 5.4 各単元の理解度を入力、また、学習範囲を設定するために使われる画面である。小学生用、中学生用、高校生用で分かれており、どれか1つを選択して使用することを想定している。理解度はバーを動かすことで簡単に設定することができ、全て理解している科目や、何も理解していない科目をボタン一つで一括で設定することも可能になっている。学習範囲はチェックボックスのチェックの有無で設定し、チェックした単元のみが学習スケジュールに組み込まれる。

§ 5.2 実験結果と考察

合計すると、肯定的な評価が92件、否定的な評価が8件となった。表5.2にアンケート結果を示す。それぞれの質問項目について以下で考察する。

アンケート項目の考察

1. システムの操作性はわかりやすいか

結果として、肯定的な評価が9件となった。システムの操作性として、ドラッグアンドドロップで予定を変更することができる、勉強時間帯に対応するセルをクリックすることで入力できる等、直感的にわかりやすい機能にするようなUIを作成することを心掛けたことが、評価に影響していると考えている。多くのユーザーにとって扱いやすいシステムであることが示唆された。

2. システムの機能は理解しやすいか

結果として、肯定的な評価は5件あったが、否定的な評価も3件出てしまい、機能理解度に関しての評価は分かれてしまった。この結果の理由としては、ユーザーに対する説明をUIのみで完結させられていないことが、課題として浮き彫りになった。実際にコメントでは、「システムの流れがもう少し分かりやすいほうが良かった」といった意見が2件みられた。

3. レイアウトは親切か

結果として、肯定的な評価が10件となった。この結果は、ユーザー遷移を最小限に抑えたシンプルなレイアウト設計が功を奏したと考えられる。ユーザーにとって親切なレイアウトであると示唆されている。

4. デザインは見やすいか

結果として、肯定的な評価が9件となり、見やすいデザインであることが評価された。cssやjava scriptを用いて、カーソルを合わせている部分の色を変える、画面をスタイリッシュに装飾するような、視覚的に分かりやすい工夫が評価されていると考えている。また、系統図グラフのノードの色も彩度を落として長時間見ても目が疲れにくいになっていることも評価を上昇させている可能性がある。

5. 利用にストレスを感じたか

結果として、肯定的な評価が2件に対し、否定的な評価は5件出てしまった。ユーザーがストレスを感じる要因として、個人情報への入力に時間がかかり、ログアウトが必要な場面が存在することが挙げられる。本実験の回答者は実際の対象者とは無関係であり、実際に扱うわけではないデータを入力することが一因となったかもしれない。さらに、この質問のみ肯定と否定の評価が逆転しており、原因の一つである可能性もある。

6. 学習の効率アップに使えるか

結果として、11件すべてにおいて肯定的な評価が得られた。これはスケジュールの作成、系統図グラフの作成、教材提供を別々に行うのではなく、同時に組み合わせることによって得られた結果だと考える。

表 5.2: アンケート結果

質問内容	とてもそう思う	そう思う	どちらでもない	そう思わない	とてもそう思わない
Q1	3	6	2	0	0
Q2	2	3	3	2	1
Q3	5	5	1	0	0
Q4	7	4	0	0	0
Q5	0	3	3	3	2
Q6	5	6	0	0	0
Q7	8	1	1	1	0
Q8	6	5	0	0	0
Q9	6	5	0	0	0
Q10	8	2	0	1	0

7. 教材は学習に適しているものか

結果として、肯定的な評価が9件あった。そのため、本システムが提示する教材は学習に活用することができるといえる。しかし、否定的な評価も1件出てきている。これは、スクレイピングの結果により教材として適していないものがユーザーに提示されたのが原因だと考えられる。スクレイピング自体を改善、またはユーザーの母数が増加することで解消できると考えられる。

8. 視覚化が学習進捗把握に役立つか

結果として、11件すべてで肯定的な評価を得られた。本来固定されている学習系統図をユーザー好みに動かせたり、自分の学習進捗と照らし合わせることができるため、高評価をもらったのではないだろうか。

9. スケジュールは妥当なものか

結果として、11件すべてで肯定的な評価を得られた。実際に使って確かめたわけでないため評価の妥当性としては怪しいが、少なくとも個々人の学習可能時間を考慮しているため、スケジュールとしては成立していたことで多くの肯定評価を得られたと考える。

10. 学習のモチベーションが上がるか

結果として、肯定的な評価が10件となった。目標を明確にしてスケジュールを設定することや、自分が興味のある単元の類似単元を系統グラフから参照し、スムーズに教材を提供できることが高評価につながったと考える。しかし、否定的な評価も1件存在する。コメントでは実際に問題を解くプロセスが存在せず、学習が身につかないことを指摘された。

11. 自由記入であるコメント欄

「ロードが短く、速度が速い」というポジティブなコメントが見られた。これは参照するデータの個数を分割したため、ロードを挟む場所を最小限にしたことにより得ら

れた結果と考える。

以上のアンケート結果の総括として、本システムはユーザーにとって十分有用であることを示せた。

おわりに

本研究では、小中高生に向けたいつでも作成できる柔軟なスケジュールと必要な情報を視覚化できる系統図グラフの提供を行い、同時に、各科目における教材をユーザーに提示することで学習の支援も行うシステムの開発を行った。具体的には、ユーザーから週の学習時間、学習終了予定日、現在の理解度と学習範囲の情報を受け取り、学習範囲内で単元のLSを算出し、ソート、スケジュール作成日当日から予定日までの合計勉強時間内に比率を考慮して分割する。曜日ごとの学習時間を考慮して日程に各単元を適切に配置していき、スケジュールを作成する。また、学習系統図の単元をノードとする双方向2D系統図グラフとして可視化し、現在の単元の理解状況に合わせてノードの色分けを行い、学習範囲とクリティカルパスを強調し、学生が遡り学習や積み上げ学習を行う時に参照することで、前提単元や後続単元の理解状況の確認が容易になっている。スケジュールと系統図グラフ両方からスムーズに教材を閲覧でき、ただ提示するのではなく教材のレビューを行えるようにした。各レビューに対してスコアを算出しそのスコアをもとにランキング化することで、ユーザーの集合が信頼度を形成し、学生に最適な教材を提示できるようになっている。

実験では、実際に学生用システムを複数人に使用してもらいアンケートに答えてもらった。その結果、アンケート全項目を通して肯定的な意見が多く、このことから開発したシステムの有用性を示した。しかし、システムの流れが説明なしではわかりにくいというコメントが多く、これはUIのみで説明が完結できていないことが原因であると考えられる。

今後の課題として、現在はプログラムを実行しているPCのローカル環境でなければ動かすことができていないため、サーバー上にアップすることで個人のPCやスマホからも実行できるようにしたい。また、UI関連ではページを見るだけで流れが理解できるような、説明がなくとも利用者にわかりやすいデザインが必要になる。教材については、現在の教材収集では検索ワードが洗練されておらず、関連性のないurlが多すぎる上に、単元の特徴を十分に反映できていないことが課題となる。また、コメントで指摘されたように、システム内に問題を解くという動作が存在していない。自発的な能動学習を促進するために、将来的には改善に取り組む必要がある。今回は大学生にアンケートを用いてシステムの有用性を確認したが、実際にシステムを対象の小中高生に使用してもらうことで成績の上昇を確認を持って有用性を示す必要がある。同システムは2022年からの高等教育新課程にも元データの充実とともに活用されることが期待される。

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工学部情報システム工学科 António Oliveira Nzinga René 講師, 奥原浩之教授，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・René 研究室の同輩諸氏に感謝致します。

2025 年 2 月

島崎 圭介

参考文献

- [1] ベネッセ教育情報, “学力格差とは?”, https://benesse.jp/educational_terms/1.html, 閲覧日 2023.2.4.
- [2] 吉田和久, “出身階層の資本構造と高校生の進路選択”, 社会学評論, 69, pp.21-36, 2018.
- [3] 中島ゆり, “学校内の社会経済的背景の分散と学力”, 保護者に対する調査の結果と学力等との関係の専門的な分析に関する調査研究, pp.62-98, 2018.
- [4] 垂見裕子, “小学生の学習習慣の形成メカニズム 日本・香港・上海の都市部の比較”, 比較教育学研究, 第 55 号, pp.89-110, 2017.
- [5] 公益財団法人 日本財団, “家庭の経済格差と子どもの認知・非認知能力格差の関係分析”, pp.1-20, 2017.
- [6] gooddo, “データで見る教育格差。子どもの貧困問題がますます深刻化している実状とは”, https://gooddo.jp/magazine/poverty/children_proverty/59/, 閲覧日 2023.2.4.
- [7] ベネッセ教育情報, “計画性がない子の特徴と原因は? 計画性を鍛えるためにすべきこと”, <https://benesse.jp/kyoiku/202108/20210820-2.html>, 閲覧日 2023.2.4.
- [8] デジタルナレッジ, “E ラーニングとは”, <https://www.digital-knowledge.co.jp/el-knowledge/e-learning/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [9] 駿台グループ, “e ラーニングとは”, <https://satt.jp/e-learning/e-learning.html>, 閲覧日 2023.2.4.
- [10] MASTER EDUCATION, “【徹底解説】今さら聞けない GIGA スクール構想とは? 基本から実施スケジュール、文部科学省の支援まで解説”, https://master-education.jp/column/about_giga_school/, 閲覧日 2023.2.4.
- [11] 文部科学省, “GIGA スクール構想に関する各種調査の結果”, pp.1-34, 2021.
- [12] ベネッセ教育総合研究所 学び・生活研究室, “「小中学校の学習指導に関する調査 2021」小学校版集計表”, pp.1-17, 2021.
- [13] コエテコ, “アクティブラーニングとは? 文部科学省が推進している理由や事例を紹介”, <https://coeteco.jp/articles/10663>, 閲覧日 2023.2.4.
- [14] 教育出版, “資料ダウンロード”, <https://www.kyoiku-shuppan.co.jp/2020shou/sansu/category04/download.html>, 閲覧日 2023.2.6.
- [15] 教育出版, “H32 小学算数系統表.indd”, https://www.kyoiku-shuppan.co.jp/2020shou/sansu/pdf/sansu4_keitou.pdf, 閲覧日 2023.2.6.

- [16] 河合塾, “新課程入試のポイント”, <https://www.keinet.ne.jp/exam/2025/point/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [17] note, “さかのぼり学習用教材”, <https://note.com/miraie2017/n/n9aaffbc368ed>, 閲覧日 2023.2.6.
- [18] 土木ライブラリー, “ネットワーク工程表の解き方！トータルフロートやクリティカルパスの求め方をチェック”, <https://chansato.com/doboku/network-schedule/>, 閲覧日 2023.2.6.
- [19] 早坂淳, “我が国の戦後教育史における学習指導過程の特徴”, 長野大学紀要, 第34巻, 第1号, pp.27-39, 2012.
- [20] 三笠珠生, “アクティブ・ラーニングの導入で学力試験はどう変わるのか”, <https://www.waseda.jp/sem-fox/memb/17s/mikasa/mikasa.index.html>, 閲覧日 2023.2.4.
- [21] HOME 個別指導塾, “数学・英語・理科の電車風学習系統図の使い方説明書”, <https://home-kobetsu.com/?p=258>, 閲覧日 2023.2.4.
- [22] 文部科学省, “年間指導計画の作成”, 今、求められる力を高める総合的な学習の時間の展開（中学校編）, pp.62-68, 2022.
- [23] みんなの教育技術, “「スタディ・ログ」とは？【知っておきたい教育用語】”, <https://kyoiku.sho.jp/122126/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [24] DNP, “蓄積された学習履歴（スタディ・ログ）を見とり、よりきめ細かい指導を実現 大阪市 3 年間のスマートスクール事業の成果から”, https://www.dnp.co.jp/biz/case/detail/10157721_1641.html, 閲覧日 2023.2.4.
- [25] 超個別指導まがつく, “積み上げ式学習”, <https://www.matsugaku.co.jp/stocked/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [26] 櫻井研介, “学びの系統性・連続性を踏まえた学習指導－算数・数学科のレディネステストを活用して－”, ,16, pp.49-54, 2018.
- [27] ベネッセ教育情報, “苦手トップ2は「数学」と「英語」! 苦手科目克服のために最適な勉強法とその理由とは?”, <https://benesse.jp/kyouiku/201907/20190712-2.html>, 閲覧日 2023.2.4.
- [28] 富田塾, “第32回 大きく2つに分かれる教科の特性”, <https://www.s-lab-tomita.com/cont/column/no32tumi.html>, 閲覧日 2023.2.4.
- [29] 家庭教師のマスター, “【第89回】次の学年に「苦手」を持ち越さない! 3月からでも間に合う「さかのぼり学習」のコツ”, <https://www.u-master.net/blog/2022/03/03/>, 閲覧日 2023.2.4.

- [30] 学び場 A to Z, “無学年式オンライン教材「すらら」とは？教材、学習方法、料金、他教材との違いや「こんな子どもにおすすめ！」など徹底解説”, <https://p-cure.net/sulala/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [31] 個別指導 Axis, “一人ひとりの目標から逆算した学習提案”, <https://axis-kobetsu.jp/attractions/planning/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [32] jooto, “クリティカルパスとは？使い方や求め方を解説”, <https://www.jooto.com/contents/critical-path/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [33] smartsheet, “クリティカルパス法への究極のガイド”, <https://jp.smartsheet.com/critical-path-method>, 閲覧日 2023.2.4.
- [34] ビズクロ, “プロジェクト管理の PERT 図とは？構成要素や書き方・注意点をわかりやすく解説”, <https://bizx-elb.chatwork.com/project-management/pert-pm/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [35] 中小企業診断士試験 一発合格道場, “プロジェクト管理素人でも解ける！アローダイアグラム集中講座 by はっしー”, <https://rmc-oden.com/blog/archives/179724>, 閲覧日 2023.2.4.
- [36] ものづくりドットコム, “「PERT／CPM」とは”, https://www.monodukuri.com/gihou/article_list/96/, 閲覧日 2023.2.4.
- [37] Lychee, “【初心者必見】クリティカルパスとは？求め方・見つけ方の詳細を解説！”, <https://lychee-redmine.jp/blogs/project/tips-criticalpath/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [38] asana, “クリティカルパスとは？プロジェクト管理に役立つ手法を解説”, <https://asana.com/ja/resources/critical-path-method>, 閲覧日 2023.2.4.
- [39] “Critical Path Method in Python — Early Time, Late Time, Critical Activities and Project Duration”, Math Hands-On with Python, 2021.02.26, 00:00:00–00:10:14, YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=I6MLKMirZ2E&ab_channel=MathHands-OnwithPython
- [40] ワークマネジメントオンライン, “クリティカルパスの書き方は？具体的な使い方や求め方”, <https://www.work-management.jp/blog/how-to-write-critical-path.html>, 閲覧日 2023.2.4.
- [41] “サクラチェッカー”, <https://sakura-checker.jp/>, 閲覧日 2023.2.4.
- [42] 伊木惇, 亀井清華, 藤田聡, “レビューを対象とした信頼性判断支援システムの提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.11, pp.2461-2475, 2014.
- [43] 岡本一志, 柴田淳司, “過去の商品レビューに関する類似性分析”, ファジィシステムシンポジウム, 第 36 回, pp.355-356, 2020.

- [44] 三船正暁, 金明哲, “ネットショッピングにおけるスパムレビューの特徴分析”, 日本計算機統計学会, 第 30 回大会, pp.9-12, 2016.
- [45] Xie Sihong, Wang Guan, Lin Shuyang, Yu Philip, “Review spam detection via temporal pattern discovery”, *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining(KDD '12)*, pp.823–831, 2012.
- [46] 山澤美由起, 吉村宏樹, 増市博, “Amazon レビュー文の有用性判別実験”, 情報処理学会研究報告, 第 53 号, 2006.
- [47] 清水豪士, “教学 IR における WebBT の改善のためのシラバス標準化とラーニングアナリティクス”, 2023.
- [48] GMO, “RESEARCH リッカート尺度とは？メリットと設問作成時の注意点を解説”, <https://gmo-research.jp/research-column/likert-scale>, 閲覧日 2023.2.4.