

卒業論文

学習履歴を活用した ファジィ・ランダム多目的最適化の 並列分散処理による日程計画

Goal-Oriented Learning Support System
Considering Efficient Retroactive Learning

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	1
§ 1.3 本論文の概要	1
第2章 教材の提供と科目推薦	3
§ 2.1 効率的な学習支援システム	3
§ 2.2 学習支援のための日程計画	5
§ 2.3 クリティカルパスメソッド	7
第3章 科目推薦・教材の最適化	10
§ 3.1 ファジィ数の CPM	10
§ 3.2 LP 法による解法	12
§ 3.3 LF,LS の解法	13
第4章 提案手法	17
§ 4.1 ファジィ・ランダム変数	17
§ 4.2 目的関数と制約条件にファジィ・ランダム変数があるモデルの定式化	20
§ 4.3 等価確定問題への変換	23
第5章 実験結果並びに考察	27
§ 5.1 実験の概要	27
§ 5.2 実験結果と考察	30
第6章 おわりに	33
謝辞	34
参考文献	35

図一覧

2.1	E ラーニングの推移 [26]	4
2.2	違う画像 [26]	4
2.3	違う画像 [28]	4
2.4	違う画像 [26]	6
2.5	違う画像 [28]	6
2.6	PERT 図 [34]	8
2.7	CPM [33]	8
3.1	フロート [18]	12
3.2	範囲選択手法	13
3.3	サクラチェッカー [41]	14
3.4	類似性	14
3.5	集中性	15
3.6	情報性	15
4.1	スケジュール作成方法	21
4.2	システム全体図	23
4.3	グラフページ	23
4.4	スケジュール画面	24
4.5	アクセス方法	25
4.6	キーワード選択	25
4.7	Web 教材	26
4.8	Youtube 教材	26
5.1	新規登録	29
5.2	勉強時間入力	29
5.3	予定設定	29
5.4	理解度入力, 学習範囲設定	29

表一覧

3.1	CPM 処理	12
3.2	範囲選択の前後	13
4.1	単元データ	18
4.2	引用した教科書会社一覧	18
4.3	学習予定時間データ	19
4.4	イベントデータ	19
4.5	理解度データ	19
4.6	学習範囲データ	19
4.7	教材関連データ	20
4.8	学習範囲指定データ	20
4.9	CPM 関連データ	21
4.10	スケジュールデータ	22
4.11	圧縮率データ	22
4.12	ノード配色	24
5.1	システムの評価基準	28
5.2	アンケート結果	31

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.

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.

一方で, 子どものスケジュール管理能力は, 未熟なので不確定性と不確実性を考慮する必要がある. このとき2つの要素を同時に表現するために, ファジィ・ランダム変数の概念を用いる. また, 本システムでは Web 上からスクレイピングした教材を活用するため, 低コストで導入・利用する環境ができる. ファジィ・ランダム変数を導入することによって処理時間が膨大になる可能性が考えられる. したがって並列分散処理による処理時間の高速化かつ不確実性と不確定性を考慮できる学習支援システムを提案する.

§ 1.2 本研究の目的

§ 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. ファジィ・ランダム多目的最適化による日程計画について述べる.

第3章 学習支援システムへの学習履歴の組み込みについて説明する. 並列分散処理による高速化の事例を説明する.

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 効率的な学習支援システム

COVID-19 と E ラーニング

E ラーニングとは、1950 年代の CAI (Computer Assisted Instruction) にあります。CAI とはコンピュータ支援教育とも呼ばれ、1980 年以降の義務教育への PC 導入初期段階で行われた教育手法です。E-ラーニングはそれを引き継ぎ、1990 年代以降大きく発展しました。日本で E ラーニングという言葉が一般的に認知されるようになったのは、2000 年代からで、「e-Japan 構想」によって認知されるようになりました。また、2000 年代後半になると、タブレットやスマホなどのスマートデバイスも普及し、機器選択の幅が広がり始めます。これによって時と場合を選ばない E ラーニングへと学習形態の変化を起しました。[1]

2020 年 1 月から新型コロナウイルス完成章の影響により、義務教育においても対面での授業を控えて、オンライン講義で対応してきている。小学校や中学校などの義務教育での教育の情報化が推進されている。.. 教育用コンピュータ 1 台あたりに対し、平成 17 年では 8.1 人だったのに対し、平成 29 年では 5.9 人となり、情報通信技術 (Information and Communication Technology : ICT) 環境の整備が新型コロナウイルス感染症の流行前にも進んでいる。[2] 新型コロナウイルス感染症の流行によりさらに加速的に E ラーニングが主流となってきた。これからさらに E ラーニングは教育の場面でも見られるようになる。E ラーニングでは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。

廻り学習と積み上げ式学習

学習の方法に廻り学習と積み上げ式学習の 2 つが存在する。廻り学習とは、つまりいた単元までさかのぼり、やり直す学習法のことである。廻り学習を行うことでつまりいた単元に戻って理解するまで行うため、物事を理解することで学資 y 々の楽しさや、勉強に対しての苦手意識をなくすことができる。小学生を例に出すとかけ算の九九をしっかりと覚えていないと次に出てくるわり算が苦手になり、それによって次に学ぶ割合などが苦手になり様々な苦手の連鎖を起こすといった負の連鎖のみがおこることになる。その連鎖を断ち切るために廻り学習がある。割り算が理解できなかつたり苦手だつたりするのならばかけ算の九九に戻ることによって苦手を克服できるといったものとなっている。これによって効率の良い学習を行うことができるようになる。

§ 2.2 学習支援のための日程計画

系統学習

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たてることができる。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、自発的能動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。

1 年	2 年	3 年
● なかよしあつまれ ●身のまわりの数量や図形に対する関心 ●ある数点に応じてものの集合を捉えること ●対応による個数の比較 ●もの個数を半具体物に置きかえて比較すること 1 いくつか ●10までの数の数え方、よみ方、書き方 ●10までの数の順序、大小 ●0の意味、よみ方、書き方	6 100より大きい数 ●1000までの数の数え方、よみ方、書き方 ●3位数の構成と位取りのしくみ(百の位) ●数の順序、大小、相対的な大きさ ●「数直線」の用語 ●1000のよみ方、書き方 15 1000より大きい数 ●10000までの数のよみ方、書き方 ●4位数の構成と位取りのしくみ(千の位) ●数の順序、大小、相対的な大きさ ●10000のよみ方、書き方	8 10000より大きい数 ●千万の位までの数の数え方、書き方 ●千万の位までの数の取りのしくみ ●「数直線」の用語と大小、相対的な大きさ ●10倍、100倍、1000倍、10000倍の大きさ ●1億のよみ方、書き方

図 2.4: 違う画像 [26]

15 1000より大きい数

2月～4月・年(目標)
173～182

◆単元の目標と評価目標

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方を理解し、大きな数の大きさの比べ方や数え方を考える力、及び数を単位としてみて、何百の加法の計算のしかたを考えると考える力を身に付ける。また、数を数えることに通じて「数え方」を身に付け、数え方と数え方のしくみを理解することによって、生活や学習に活用しようとする態度を養う。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

◆単元の目標と評価目標

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方を理解し、大きな数の大きさの比べ方や数え方を考える力、及び数を単位としてみて、何百の加法の計算のしかたを考えると考える力を身に付ける。また、数を数えることに通じて「数え方」を身に付け、数え方と数え方のしくみを理解することによって、生活や学習に活用しようとする態度を養う。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

④位取りのしくみについて、十進位取り記数法による数の表し方、数の大小や順序、及び数の相対的な大きさについて理解するとともに、簡単な事例を分類・整理し、それらを数直線に表すことができるように、何百の加法の計算のしかたを身に付ける。【学習指導要領の目標 A(1)アア(イ)(ウ)(エ)、A(1)イア(イ)、A(2)ア(イ)、ウ(イ)】

図 2.5: 違う画像 [28]

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、系統学習と自発的能動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 クリティカルパスメソッド

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 Critical Path Method (CPM) を使用する。

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。

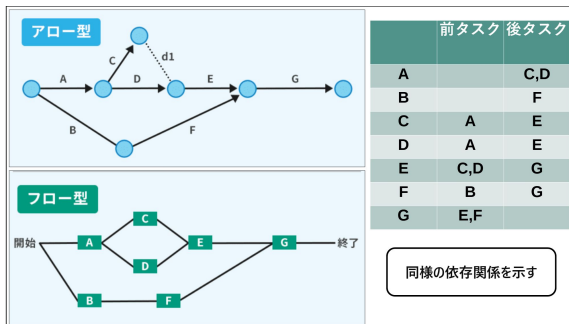


図 2.6: PERT 図 [34]

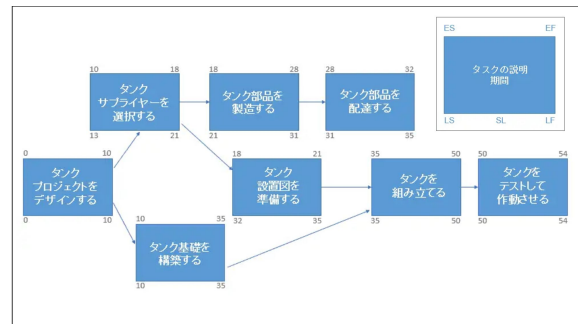


図 2.7: CPM [33]

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 2.6 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単元名、単元番号、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 2.7 に開始終了時間の例を示す。

科目推薦・教材の最適化

§ 3.1 ファジィ数の CPM

CPM

2.3 で説明した CPM には二通りのやり方が存在する. ES, EF, LS, LF を用いてクリティカルパスを解く方法と定式化したクリティカルパスを線形計画 (Linear Programming : LP) 法として解くというものが存在する. どちらが優れているなどはないが, 今回は比較と二つの手段を提案する. どちらもファジィ性を持つ解法である. しかし, どちらもクリティカルパスの計算を行った場合同じ値になっていなければ, 正しい CPM とは言えない. また α -cut を行うことによってファジィ数の定義と Upper と Lower のなどを求めることによって不確実性を含んだ CPM を行うことができる.

LP 法

$$\tilde{D} = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (T_{ij})_{\alpha}^U x_{ij} \quad (3.1)$$

$$s.t \quad \sum_{j=1}^n x_{1j} = 1, \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{kj}, i = 2, \dots, n-1 \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jn} = 1 \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \geq 0, (i, j) \in A. \quad (3.5)$$

$$D_x^L = \min y_n - y_1 \quad (3.6)$$

$$s.t \quad y_j \geq y_i + (T_{ij})_{\alpha}^L, (i, j) \in A, \quad (3.7)$$

$$y_j, y_i \forall (i, j) \in A. \quad (3.8)$$

この式はLP法で解く場合の今回動かしたプログラムの定式化である。これは、最大値、最小値、制約条件と目的関数を含むLP問題となっている。

次にLS,LF,ES,EFを用いた方法について説明する。

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、

$$LS_k - ES_k \quad (3.9)$$

または

$$LF_k - EF_k \quad (3.10)$$

で算出する。

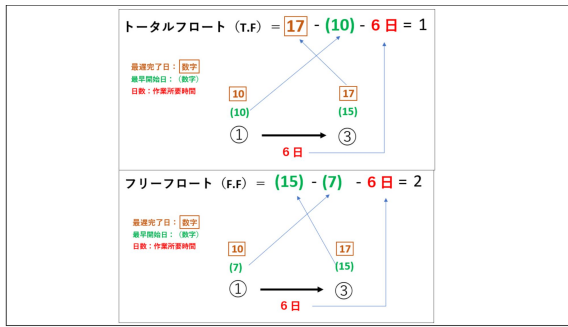


図 3.1: フロート [18]

表 3.1: CPM 処理

タスク 番号	タスク 名	所要 時数	前提 タスク	後続タ スク	ES	EF	LS	LF	フロ ート	Critic al
1	A	17		None	0	17	0	17	0	YES
2	B	11	1	1	17	28	17	28	0	YES
3	C	7	1	1	17	24	35	42	18	NO
4	D	5	2	2	28	33	37	42	9	NO
5	E	10	2	2	28	38	28	38	0	YES
6	F	5	3,4	3,4	33	38	42	47	9	NO
7	G	9	5	5	38	47	38	47	0	YES
8	H	11	7,6	7,8	47	58	47	58	0	YES

● 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、

$$ES_{k+1} - EF_k \quad (3.11)$$

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。

今回実験用に用意したパスを例題として解く。

§ 3.2 LP 法による解法

3.1 で示した定式化を用いて

プロジェクト全体に対しての優先度を考慮するため、本システムではトータルフロートを用いる。トータル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が、LS-ESを使用する。クリティカルパスを求めているわけではないため、複数のクリティカルパスの中のタスクが混合されている [33]。

疑似データを作成し、実際にCPMを用いて分析を行った (表 2.6 参照)。疑似データには、タスク番号、タスク名、指導時数、前提タスクが含まれる。Critical 列には、クリティカルなタスクならば Yes、フロートが存在すれば No を出力する。

本プログラムで扱う PERT 図では、科目全体が一つの依存関係になっている。科目全体を学習範囲と設定する場合、すべての内容を網羅的に学習することが目標となってしまう。入試に向けて勉強する方法としては正しいが、テスト対策における優先度設定には同じ優先度を使用することはできない。

テスト期間など限られた期間での学習ではテスト範囲に絞り込んだ効率的な学習が求められるため、テスト期間の単元のみを扱う CPM 使用が必要になる。

以下にタスクの範囲を指定する手法を提案する。図??に示す。

まず、Start, End というタスクを用意する。

使用範囲にはタスク番号のリストを使用する。

● Start

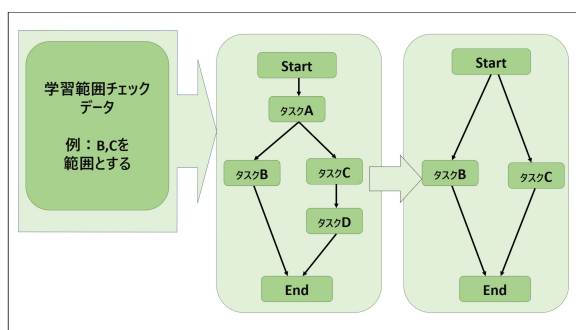


図 3.2: 範囲選択手法

表 3.2: 範囲選択の前後

	処理前前单元	処理後前单元	処理前後单元	処理後後单元
Start	x	x	A	B,C
A	Start	x	B,C	x
B	A	Start	End	End
C	A	Start	D	End
D	C	x	End	x
End	B,D	B,C	x	x

タスク番号を”0”とし、所要時間を0にする。このタスクは実質的に開始を示すダミータスクになる。

- 他タスク

各タスクの前提タスクがリストに含まれていないものだった場合無視する。その後、前提タスクが存在しなくなってしまった場合は、前提タスクを”0”とする。これにより、不足している前提タスクが開始のダミータスクとして設定される。

- End

タスク番号を”999”とし、所要時間を0にする。リストと他タスクの前提タスクに含まれているタスクの差集合を、前单元として存在しない单元番号の集合として抽出する。それらを End の前提タスクとして扱う。実質的に終了を表すダミータスクになる。

実際に範囲選択をした結果を表 2.7 に示す。

この手法により、スケジュール全体において開始と終了を示すダミータスクを使用して、他のタスクに与える影響を排除しつつ、適切な前提タスクのつながりを確保できる。

§ 3.3 LF,LS の解法

教材を提供する際、利用者からレビューを取得して、ランキング形式にすることで適した教材を優先して推薦するようにしたい。

しかし、レビューの価値を不当に利用し、評判を操作するためにサクラレビューが使用されることがある。サクラチェッカーといわれるサクラレビューを検出するためのシステムがある [41]。これは、価格や商品名、レビューについてのそれぞれの項目に応じてサクラかどうか判断するシステムである (図 3.5 参照)。

サクラレビューには、企業の人間が意図的に肯定的、もしくは競合に不公平で悪意のある否定的な評価を書き込むスパムレビューと、物品や金銭などを見返りとして、肯定的なレビューを掲載してもらうキャンペーンで書かれたフェイクレビューがある。これらのサクラレビューを考慮したレビューの信頼性の指標として類似性、協調性、集中性、情報性の4つの指標を定義し、各指標ごとにスコアを算出し、そのスコアを可視化することで、シ

システム利用者にとってより有効な判断支援を行う研究を行っている [42]。その結果、4つの指標を扱うことで信頼性を判断することが容易になり、有効な判断支援を行うことが可能になったという結果を得ている。つまり、この4つの指標を使用して、ユーザーにとって有効な判断支援を行えるといえる。指標はそれぞれ0以上5以下の値をとり、この値が5に近いほどサクラらしさが高く、サクラと疑われるものとしている。

そこで本研究でも、レビューの信頼性に関してこれら4つの指標を用いて、サクラ性を算出したあとに、それらの値からサクラ性を考慮した上での教材に対する評価値を算出する。

類似性

複製またはそれに近いレビューには多くのスパムが含まれていることが示されている [43](図 3.6 参照)。そこで、他のレビューの文章とどの程度類似しているかを測る指標として類似性スコアを定義する。



図 3.3: サクラチェッカー [41]

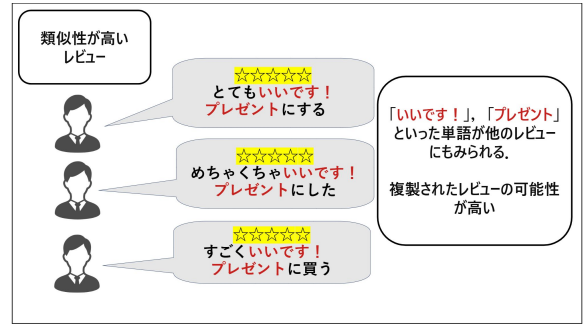


図 3.4: 類似性

まずレビュー l_i の文章を bigram で区切る。これは連結する2単語を1つの単位要素として区切る方法であり、bigram によって区切られた単位要素の集合をレビュー l_i を表す要素集合 X_{l_i} とする。次に Jaccard 係数を用いてレビュー l_i と l_j の類似度を式 (3.12) で求める。

$$\text{sim}(l_i, l_j) = \frac{|X_{l_i} \cap X_{l_j}|}{|X_{l_i} \cup X_{l_j}|} \quad (3.12)$$

このとき、 $|X_{l_i} \cap X_{l_j}|$ は X_{l_i} と X_{l_j} のどちらのレビューにも登場する bigram の単位であり、 $|X_{l_i} \cup X_{l_j}|$ は X_{l_i} または X_{l_j} の片方に登場する bigram の単位である。そして、レビュー l_i の類似性のスコアを式 (3.13) のように求める。

$$S_score(l_i) = \max_{l_j} (\text{sim}(l_i, l_j) | j \neq i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.13)$$

このとき、 n は l_i と同じジャンルに属するレビューの数である。そして、式 (3.13) を下記の式 (3.14) で正規化を行い類似性スコアを算出する。

$$S_score_{norm}(l_i) = 5 \cdot S_score(l_i) \quad (3.14)$$

協調性

同じグループのメンバーが同じ商品に対して投稿を行い、商品の評価を協力して不当に操作するサクラグループは実際に存在する。レビューがこのようなサクラグループによって投稿されたものである可能性を測る指標として協調性スコアを定義できる。

しかし、本システムを利用するユーザーは学生であると想定している。学生がこのシステムにおいて複数人で強調してサクラレビューを投稿するとは考えにくいので、今回は使用しないこととする。

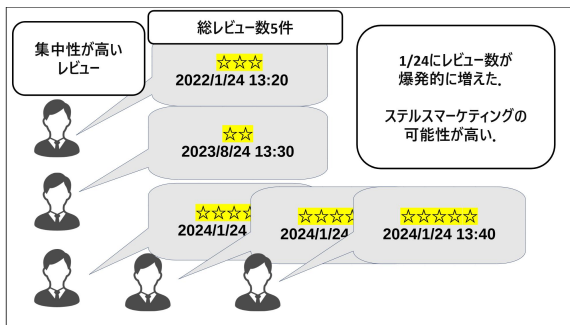


図 3.5: 集中度

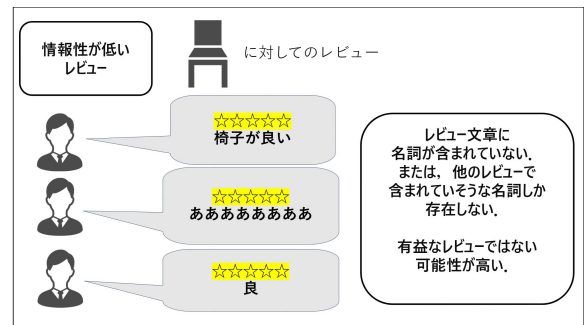


図 3.6: 情報性

集中度

サクラレビューは時間的に集中して投稿されることが示されている [45](図??参照)。そこで各教材のレビューに対して偏った評価値のレビューがどの程度集中して投稿されているかを図る指標として集中度スコアを定義する。

どの程度のレビューが集中して投稿されているかを求める方法として、バースト検知手法がある。バースト検知手法は、時系列データに対してある現象の集中的な発生を検出することができる手法である。この手法では、単語を評価値に置き換えることで、特定の評価値がバーストするタイミングを検知し、そのバーストのタイミングに投稿されているレビューについての集中度スコアと定義する。

バースト検知手法には、単位時間ごとのイベントの数でふだんより割合が増えていることを検知する離散型手法と、イベント間の時間間隔がふだんより短くなっていることを検知する連続型手法がある。この2つの手法を組み合わせることで、ある評価値の投稿数の割合が急激に増加した日を離散型手法で検知した後に、その日の中でのその評価値の投稿数の時間的な変化を連続型手法で計測することが可能になる。以下に、評価値5のレビューの集中度スコアを求める方法を示す。

ある教材に対する m 日目のレビュー集合を B_m とし、時刻の速い順から $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ と離散時間で送られてくることを考える。このような m 日分のレビュー集合に対して、離散型バースト検知手法を用いて、普段よりも評価値5のレビューの割合が増えている日を、 t 日目とし、 t 日目の評価値5のレビュー集合を B_{t_5} とする。

B_{t_5} の要素を投稿された時間順に並べた投稿時間列 $\mathbf{l} = \{l_1, l_2, \dots, l_{u+1}\}$ について考える。そして、 l_j と l_{j+1} の投稿時間間隔を x_j としたとき、 $\mathbf{l}$ の投稿時間間隔列 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_u\}$ を求めることで各レビューが時間を空けているか調べる。投稿時間間隔列 $\mathbf{x}$ に対して連続型バースト検知手法を用いて、投稿時間間隔が連続して短いレビュー集合 $g_b \in B_{t_5}$ を求める。

各レビュー $l_i \in g_b$ の集中性スコアは、 g_b のレビューの数 $size(g_b)$ を用いて以下の式 (3.15) で求める。

$$T_score(l_i) = \ln(size(g_b)) \quad (3.15)$$

ただし、このときどのレビュー集合 g_b にも属さないレビューの集中性スコアは0とし、以下の式 (3.16) で正規化を行う。

$$T_score_{norm}(l_i) = \frac{5 \cdot T_score(l_i)}{\max(T_score(l_i) | j = 1, 2, \dots, N)} \quad (3.16)$$

情報性

レビューの文章が有益な情報を多く含んでいるほど、そのレビューがサクラではない可能性が高いことが示されている [46](図??参照)。また、そのような文章は名詞が多く使用されている傾向がある。

レビュー本文中の名詞が多い、または他のレビュー本文で使用されていない名詞であるほどサクラ性が低くなるということである。そこで、どの程度情報性が高いレビューであるかを測る指標として情報性スコアを以下の式 (3.17) のように定義する。

$$I_score(l_i) = \ln \left(1 + \sum_{j=1}^{|K_i|} \ln \left(\frac{o}{df(term_j)} \right) \right) \quad (3.17)$$

このとき、 o はレビュー l_i と同じジャンルに属するレビューの数である。また、 l_i に出現する名詞集合を K_i とし、 $term_j \in K_i$ とする。 $df(term_j)$ は l_i と同じジャンルのレビュー集合において $term_j$ を含んだレビューの数とする。そのため、同ジャンルのレビューの中でも他のレビューでは使われていない特徴的な名詞を多く含んだレビューであればスコアが高くなる。そして、以下の式 (3.18) で正規化を行う。

$$I_score_{norm}(l_i) = 5 \cdot \left(1 - \frac{I_score(l_i)}{\max(I_score(l_i) | j = 1, 2, \dots, o)} \right) \quad (3.18)$$

サクラ性

それぞれのスコアをを足して3で割ったスコアをサクラ性スコアとする [47]。

$$F_score_{norm}(l_i) = \frac{C_score_{norm}(l_i) + T_score_{norm}(l_i) + I_score_{norm}(l_i)}{3} \quad (3.19)$$

提案手法

§ 4.1 ファジィ・ランダム変数

本プログラムに使用するデータの説明を行う。データ保存には csv ファイルを使用している。

単元データ

複数の教科書会社から引用した学習系統図と年間指導計画からなるデータであり、プログラム全体で使用する。実際の単元データの一部を表 4.1 に示す。

科目名、指導学年、単元名、単元内容、指導時数、単元番号とそれに対応する前提単元番号が入っている。学習系統図からは単元の依存関係を、年間指導計画からは指導時数をはじめとしたその他の情報を抽出している。単元 $unit_n$ の指導時数を理想学習時間 $Hours(unit_n)$ として扱う。

引用した教科書会社の一覧を表 4.2 に示す。科目は小学校で 5 科目、中学校で 5 科目、高校が 10 科目で、合計 20 科目分、20 個の csv ファイルが存在する。

ユーザーデータ

ユーザーの個人情報が含まれるデータであり、ユーザー自身で入力してもらう必要がある。

- ログインデータユーザー ID とパスワード、名前が記録される。1 つの csv に全て含まれ、1 行で 1 ユーザーを表す。

- 学習予定時間データ

1 週間の各曜日における予定学習時間を含んでいる。実際のデータの例を表 4.3 に示す。このデータでは、1111 というユーザーが、日曜に 0 時間、月曜に 3 時間、火曜に 1 時間、水曜に 4 時間、木曜に 4 時間、金曜に 2 時間、土曜に 1 時間学習予定であることを表している。これらを $study(Mon., Tue., \dots)$ とする。1 つの csv に全て含まれ、1 行が 1 ユーザーを表す。

- イベントデータ

学習範囲データのすべての単元を学習するまでの制限日を設定している。実際のデータの例を表 4.4 に示す。1 行目はイベント ID が event1、イベント名が b、2024 年 1 月

表 4.1: 単元データ

科目	学校	学年	単元番号	単元名	内容	指導 時数	前単元
数学	E	1	14	くらべ かた	①ものの大き さを比べるこ とに...	9	
数学	E	1	15	大きな かず	①②100未満の 数の数え方...	11	8,13
数学	E	1	16	なんじ なんぶ ん	①②時計のし くみを理解し...	3	3

表 4.2: 引用した教科書会社一覧

小学校	国語	算数	英語	理科	社会
年間指導計画	光村図書	教育出版	東京書籍	啓林館	教育出版
内容系統図	なし	教育出版	なし	啓林館	教育出版
中学校	国語	算数	英語	理科	社会
年間指導計画	光村図書	啓林館	東京書籍	大日本図書	教育出版
内容系統図	なし	啓林館	なし	大日本図書	教育出版
高校	国語	算数	英語	理科	社会
年間指導計画	教育出版 国総 340 国総 341 国表 306 現B 326 古B 309	啓林館 数 I 324 数 A 324 数 II 324 数 B 322	東京書籍 コ I 328 コ II 326 コ III 325 英 I 322 英 II 317	啓林館 物理 305,303 化学 306,305 生物 304,302 地理 303,301	実教出版 日本史 309,312 現代 314 政治経済 312 倫理 312 帝国書院 地理 A 308 地理 B 304
内容系統図	なし	啓林館	なし	なし	なし

29 日に開始し、終了時間は指定されていない。つまり、一日で終了する予定であることを示している。データ全体としては個人が複数の予定を持てるように、ユーザー毎に CSV が作成され、各イベントはユーザーに関連付けられている。これは各ユーザーが異なる予定を管理できるようにするためである。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を x とする。

● 理解度データ

各単元に対するユーザーの理解度が入れられる (図 4.4)。自己評価を行って各単元の理解度をバーを移動することで入力する。5 段階評価で 4 が最も理解度が高く、0 が最も低くなっており、-1 は未履修の単元としている。科目毎に csv が存在し、1 行が 1 ユーザーを表す。実際のデータの例を表 4.5 に示す。このデータでは、1111 というユーザーが、単元番号 (1,2) の理解度は高いが、(5,6) は理解できておらず、(7,8,9) は未履修であることが分かる。

● 学習範囲データ

スケジュール作成時の学習範囲が入れられる (図 4.4)。学習範囲に含まれる単元のチェックボックスをチェックすることで学習範囲と認定する。単元が学習範囲に含まれている、すなわちチェックがついていれば 1、含まれていなければ 0 が入る。実際のデータの例を表 4.6 に示す。このデータでは、1111 というユーザーが、単元番号 (2,3,4,5,6,7) を学習範囲と設定していることがわかる。学習範囲単元を `study_list[unit1, unit2, unit3, ..., unitn]` とする。csv の形式は理解度データと同様である。

教材関連データ

● 教材データ

学習の際に扱う教材が入っている。単元名をキーワードとして扱い、単元名+”解説”という検索ワードで検索、スクレイピングを行った結果取得したデータである。Web サイトのデータは Google Chrome Driver と selenium で行った。URL とタイトル、教材番号が含まれ、csv は各単元に 1 セットずつ存在し、1 行が 1 教材を表す。

● ビデオ教材データ

子供の見る教材として、動画は学習効果が高いが、YouTube からのスクレイピングは特定の場合を除いて禁止されており、勝手にスクレイピングすることはグレーゾーン

表 4.3: 学習予定時間データ

username	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
1111	0	3	1	4	4	2	1
2222	1	2	1	2	0	3	0
3333	3	2	2	2	2	2	3
4444	0	0	0	0	0	0	0

表 4.4: イベントデータ

ID	Title	Start	End
event1	b	2024-01-29	Invalid date
event2	a	2024-02-03	Invalid date
event3	c	2024-03-07	Invalid date

表 4.5: 理解度データ

username	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2222	4	4	2	1	1	-1	-1	-1	-1
1111	4	4	3	2	1	1	-1	-1	-1
4444	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3333	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4.6: 学習範囲データ

username	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2222	0	0	1	1	1	1	0	0	0
1111	0	1	1	1	1	1	1	0	0
3333	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4444	0	0	0	0	0	0	0	0	0

である可能性がある．そこで YouTube Data API v3 を使用してスクレイピングするとする．この YouTubeData APIv3 は YouTube が提供しており，開発者が YouTube のデータや機能にアクセスできる API である．

しかし，無料で取得することができるデータ総数は 1 日ごとに上限が設定されているため，YouTube データは複数日かけて取得する．YouTube Data API v3 にはさまざまな機能があり，YouTube の動画再生数やグッドボタンの数，メタタグ，チャンネル登録者数，コメントの取得が可能である．本研究では，そのさまざまな機能の中でも動画タイトル，動画 URL，HTML 上に動画を埋め込む際に必要な HTML コードの 3 つの情報をスクレイピングで取得する．

csv 形式は html コードが要素として追加されている以外は Web サイトの教材データと同じである．

実際の教材データとビデオ教材データの一部を表 4.7 に示す．

● レビューデータ

信頼度評価のためのレビューデータが入れられる．ユーザーは教材を使用した後に教材の 5 段階評価と感想コメントを入力する．5 段階評価で 5 が最も満足度が高く，1 が最も低くなっている．

教材 i において，全体の評価値スコアの平均を $R_score(i)$ とする．教材番号，5 段階評価，コメント，レビュー日時，ユーザー ID が含まれる．csv は各単元に 1 セットずつ存在し，1 行が 1 レビューを表す．

表 4.7: 教材関連データ

HPtitle	HPurl	Hpnumber
世界一分かりやすいさんすう 小1「なんばんめ」	https://idrill.com/material/... (略)	0
1年算数何番と何番目 わかる教え方	https://12sansuu.jp/1nen/ 1nanbanme.html	1
かぞえよう なんばんめ すたあと NHK for School	https://www2.nhk.or.jp/ school/watch/bangumi/? das_id=D0005280046_00000	2
Youtubeitel	Youtubeurl	Youtubeid
【コペルのうた】なんばんめ? > < 振り付き	https:// www.youtube.com/ watch?v=CFTbHp9kLkl	0 https://www.youtube.com/ embed/CFTbHp9kLkl
(小1) 算数①なんばんめ	https:// www.youtube.com/ watch?v=s4Yrv0qC14A	1 https://www.youtube.com/ embed/s4Yrv0qC14A
【小学校1年生】なんばんめかな【さんすう②】	https:// www.youtube.com/ watch?v=3l-pgz3g0ul	2 https://www.youtube.com/ embed/3l-pgz3g0ul

表 4.8: 学習範囲指定データ

単元名	単元番号	指導時数	前単元
Start	0	0	
いくつといくつ	4	7	0
ぜんぶでいくつ	5	10	0
のこりはいくつ	6	8	5
どれだけおおい	7	3	6
10よりおおきいかず	8	10	4,7
End	999	0	8

§ 4.2 目的関数と制約条件にファジィ・ランダム変数があるモデルの定式化

定式化したデータをもとに作成されたデータの説明を行う。

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単元データから単元名、指導時数、単元番号を抜き出している。

実際のデータの例を表 4.9 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 4.7 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。

表 4.9: CPM 関連データ

DESCR	COD E	PREDEC ESSORS	SUCCESSORS	DA YS	ES	EF	LS	LF	SLAC K	CRITIC AL
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
どれだけおおい	7	['6']	['8']	3	18	21	18	21	0	YES
10よりおおいかず	8	['4', '7']	['999']	10	21	31	21	31	0	YES
End	999	['8']		0	31	31	31	31	0	YES

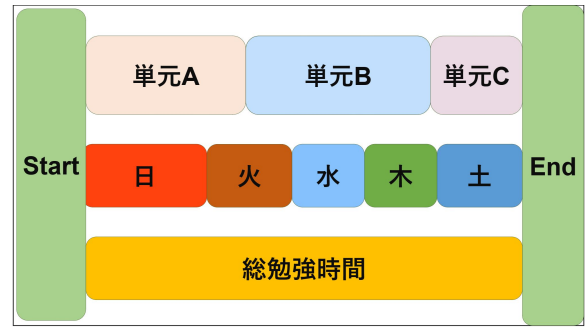


図 4.1: スケジュール作成方法

- 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、

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

- 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。

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

- 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 4.9 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 4.1 参照)。

表 4.10: 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 4.11: 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单元名, 单元番号, 単元の学習時間が入られる. 実際のデータの例を表 4.10 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 は单元番号, Description は单元名を, Study Hours は特定の日付 (Day) に特定の单元 (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 4.11 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 单元を表す.

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.

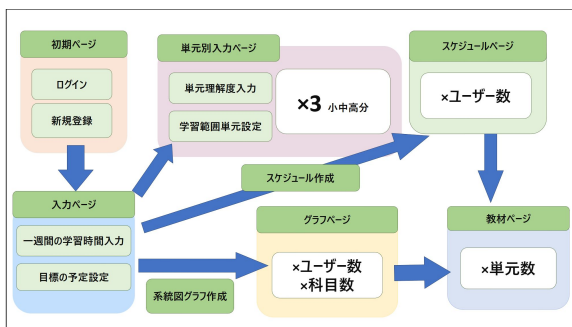


図 4.2: システム全体図

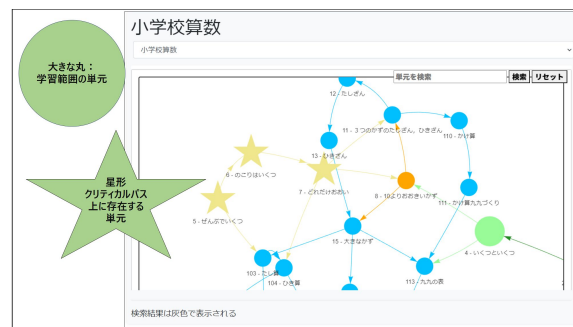


図 4.3: グラフページ

§ 4.3 等価確定問題への変換

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 4.2 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 4.3 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いように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 4.10 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 4.12: 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

科目名	圧縮率
小学校国語	0.044118
小学校算数	0.029412
小学校理科	0.220588
小学校社会	2.338235

図 4.4: 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 4.4)。

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

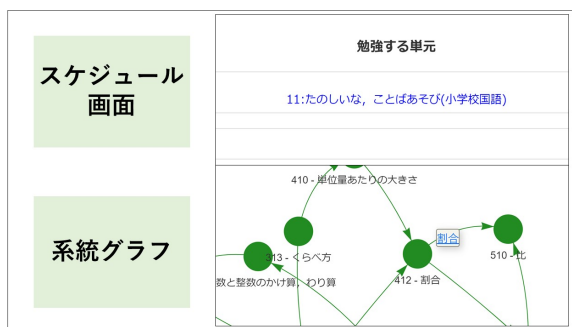


図 4.5: アクセス方法

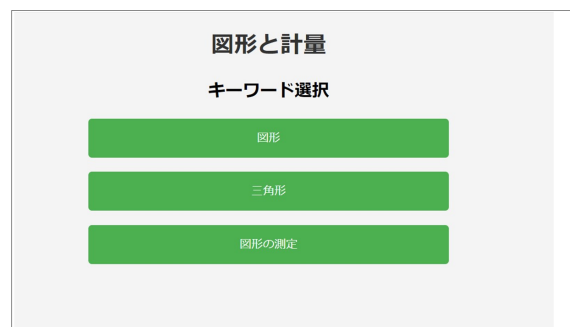


図 4.6: キーワード選択

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 4.5 参照）、ユーザーはその単元に関連するキーワードを選択できる（図 4.6 参照）。教材画面を図として示す。図 4.7 には Web ページ教材を、図 4.8 には Youtube 教材を示す。

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。

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

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	レビュー	評価する	nan
2	よく使う図形の公式集 サクナに受験情報・テスト対策・学習...	評価してね	レビュー	評価する	nan
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し...	評価してね	レビュー	評価する	nan

★非評価中★

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	レビュー	評価する	nan
2	よく使う図形の公式集 サクナに受験情報・テスト対策・学習...	評価してね	レビュー	評価する	nan
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し...	評価してね	レビュー	評価する	nan

図 4.7: Web 教材

YouTube

No.	YouTube	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	レビュー	評価する	nan
2	 よく使う図形の公式集 サクナに受験情報・テスト対策・学習...	評価してね	レビュー	評価する	nan
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し...	評価してね	レビュー	評価する	nan

★非評価中★

No.	YouTube	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	レビュー	評価する	nan
2	 よく使う図形の公式集 サクナに受験情報・テスト対策・学習...	評価してね	レビュー	評価する	nan
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し...	評価してね	レビュー	評価する	nan

図 4.8: Youtube 教材

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。

- 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 4.4 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 4.3 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 4.5, 4.6 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.

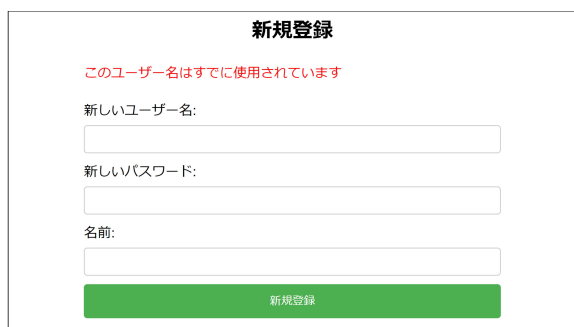
UI の解説

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わる. 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

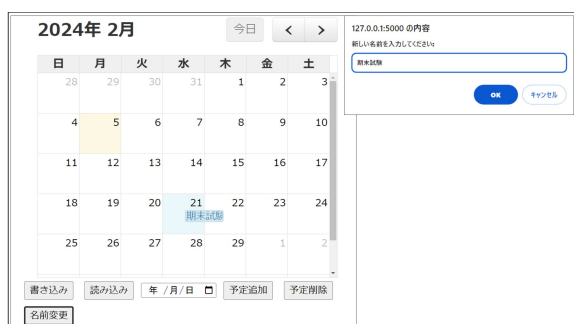
刻み時間: 60分

	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

検索試験

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

すべてでいい! 全てでわる

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的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

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、個人情報を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	とても思う	思う	どちらでもない	そう思わない	とても思わない
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、高評価をもらえ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電子・情報工学科情報基盤工学講座の奥原浩之教授、António Oliveira Nzinga René 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・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/kyouiku/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] 超個別指導まつがく, “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.