

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：50101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12118

研究課題名（和文）「単文カードを用いた学習」を可能にする課題間ネットワークの構築

研究課題名（英文）Building a network of tasks that enables learning using single-sentence cards

研究代表者

倉山 めぐみ（Kurayama, Megumi）

函館工業高等専門学校・生産システム工学科・准教授

研究者番号：20710867

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：証明問題解決支援システムについて、証明の構造を利用して単文カード生成の自動化を行い、システムの利用実験を行った。システムの利用実験では、学習者がシステムを利用できていたことが分かった。一方で、正解率が極端に悪くなる問題もあり、今後、学習者の躓き方について詳細に分析をしていく必要がある。

プログラミング解決支援システムについて、各課題間のネットワークを構築することができなかったため、人の手で解答には用いない単文カードを各課題に入れ込み、システムの利用実験を行った。その結果、日本語によるプログラミングとC言語のプログラミングでは、前者の方が正解率が低い結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、「単文カードを用いた学習」が学習者にとって、学習しやすい方法であり、記述して解答する方法と同程度の思考が必要であることが分かった。しかし、単文カードの用意の仕方によって、思考の範囲が限られることも分かったことから、「単文カードを用いた学習」が普及する上での一つの注意点が本研究によって得られた。

研究成果の概要（英文）：For the proof problem-solving support system, we automated the generation of single-sentence cards by utilizing the structure of the proof, and conducted an experiment on using the system. The experiment showed that learners were able to use the system. However, there were some problems where the correct answer rate was extremely low, and in the future, a more detailed analysis of how learners get stuck will be necessary.

For the programming problem-solving support system, because we were unable to build a network between each problem, we manually inserted single-sentence cards that were not used for the answers into each problem, and conducted an experiment on using the system. The results showed that when programming in Japanese was compared to programming in C language, the correct answer rate was lower for the former.

研究分野：学習支援システム，教育工学

キーワード：課題の構造 課題間ネットワーク 証明問題 プログラミング 思考

1. 研究開始当初の背景

現在、コンピュータの小型化、軽量化、また、安価により学校教育に導入され、様々な学校生活に利用され、学習の機会においても、コンピュータを利用した授業や活動の補助として利用されている。例えば、学習者1名ずつにタブレットを持たせ、ホワイトボードのように使い、教師側で操作ができるシステムなどの学校の授業中に主に利用されるもの、また、ドリル演習がタブレット上で出来、システムから正誤についてのフィードバックが瞬時に帰ってくるもの等、多種多様なシステムが開発され、実際の学習現場で用いられている。

しかしながら、教授の場では用いられているが、学習者個別の学習において利用されていない学習方法として、カードを用いた学習が挙げられる。カードを用いた学習では、授業で取り扱う課題に合わせて、予め教師等がカードを用意し、与えられた問題に対してカードを利用して解いていくものである。

現在、学習の場で利用されている課題は、教師等が用意しているものが多く、教師等の主観により課題系列が用意されていることが多く、システム開発者や他者が課題系列を用意することは難しい。システム開発者も教師等と同じように課題系列を扱うようにするために、物理の力学分野にて課題の整理が行われているマイクロワールドグラフがある。これは、各問題をノードして、状況と解法(問題を解く方法)が記述されており、リンクとして、状況、もしくは解法の一部が異なるものがグラフ上に整理されているものであり、他の分野や科目には定義されていない状況である。物理の力学以外の分野や科目を扱う際には、現在ある課題について整理することが求められる。

以上より、単文カードを用いた学習支援環境を整えるためには、教師等が暗黙的に試行している課題系列を明示的に課題間ネットワークによって整理し、その関係性を利用して単文カードの生成が行え、学習支援環境下で使えるようにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、課題の構造を明確にし、構造間の差を利用した課題間ネットワークの構築を行う。その上で、課題間ネットワークを利用し、単文カードを用いた学習支援システムの改良を行う。本研究では、課題間のネットワークの構築とシステムの改良を“中学数学の図形の証明問題”と“プログラミング言語を用いたプログラミング課題(本研究ではC言語を利用)”を題材として扱う。課題系列が課題間ネットワークとして明確になることで、教師等に頼らずとも単文カードを用意でき、学習者が個々の進度に合わせて学習物の構造の学習が可能になることが期待される。

システムにおいては、単文カードを用いた学習において、解答に不要なカード(以下、ダミーカードと呼ぶ)の生成手法についてもシステムへの利用だけでなく、実際の教授の場面においても利用可能になることが期待される。図1に示す証明問題であれば、単文カードは「仮定から $AD=AE$ 」が生成され、ダミーカードは「仮定から $AB=AC$ 」が該当する。

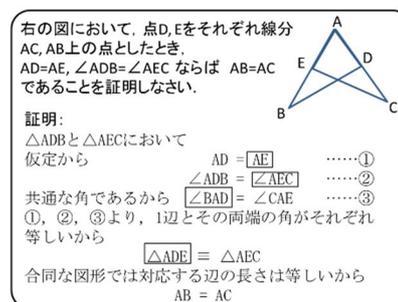


図1 証明問題の例

3. 研究の方法

本研究では、

1. 課題の構造分析
2. 構造間の差異を利用した課題間ネットワークの構築
3. 課題間ネットワークを利用し、単文カードを用いた学習支援システムの改良

に分け、それぞれの分野(中学数学の図形の証明問題とプログラミング課題)について実施した。特に、3のシステムの改良では、研究目的に述べているように、ダミーカードの生成を目的としており、ダミーカードの生成ができているかどうか、学習者にとってどのように影響を与えたのかを利用実験を行い評価を行った。

4. 研究成果

4.1 証明問題解決支援システムの改良と利用実験

4.1.1 ダミーカードの自動生成

本研究では、システム管理者が問題を追加する際にダミーカードを手動で追加する手間を省くために、証明文の特徴に注目して問題を分類し、問題と同グループに属する別の問題の正解カードをダミーカードとして自動生成する方法を提案し、実装する。

合同証明問題の証明文から読み取ることのできる特徴として以下の二つが挙げられる。

- 合同条件の特徴
- 仮定部分の特徴

合同条件の特徴は、「三辺が等しい」、「二辺とその間の角がそれぞれ等しい」、「一辺とその両端の角がそれぞれ等しい」のうち、証明文中で用いられているものが選択される。

仮定部分の特徴は、まず証明文中の仮定部分を「共通な〇〇なので」、「図形の性質」、「その他」の三種類に分けて考えた。仮定部分に正三角形、二等辺三角形、正方形、平行四辺形のうちのいずれかの単語が含まれていた場合は、仮定部分の特徴としてそれぞれの「図形」を、上記の単語が含まれておらずなおかつ「共通な」という単語が含まれていた場合は「共通」を、それ以外の場合は「その他」を仮定部分の特徴として選択する。

合同条件の特徴は、証明文中の合同条件から「二辺とその間の角がそれぞれ等しい」が選択される。仮定部分の特徴は、仮定部分に「正方形」という単語が含まれているため「正方形」が選択される。これら二つの特徴をもとに、この問題の問題番号が待ち行列 Cardpool に格納される。Cardpool の仕様は図 2 に示す。合同条件および仮定部分の特徴より、index1 は 1 が、index2 は 2 が選択され、Cardpool に格納される。同様の操作をシステム起動時に全ての問題に対して実行し分類する。

問題画面に表示する証明文を生成する際に問題の合同条件の特徴と仮定部分の特徴を読み取り、その特徴に応じて Cardpool から問題番号を取り出し、取り出した問題番号に対応する問題の正解カードをダミーカードとして生成する。

Cardpool[index1][index2][index3]

index1→合同条件の特徴

- 0: 三辺が等しい
- 1: 二辺とその間の角がそれぞれ等しい
- 2: 一辺とその両端の角がそれぞれ等しい

index2・・・仮定部分の特徴

- 0: 正三角形
- 1: 二等辺三角形
- 2: 正方形
- 3: 平行四辺形
- 4: 共通
- 5: その他

index3・・・要素番号 (0から100まで)

問題番号が格納される

図 2 Cardpool の仕様

4.1.2 証明構造と証明問題解決支援システム

証明問題に対して、証明文と証明構造をノードと線でモデル化したものを図 3 に示し、比較した。仮定や条件、結論を抽出したノードで証明構造を視覚的に表現することができる。このノード部分を解答欄にした支援システムの実行画面を図 4 に示す。学習者は、ランダム配置されたカード群からマウス操作で移動選択し、空欄を埋め、証明構造と具体的な証明文を関連付けながら学習する。解答ボタンを選択すると、システムは学習者にマークと文章でフィードバックをする。不正解の場合は、正解になるまでリトライでき、正解した場合に、次の問題に進むことができる。

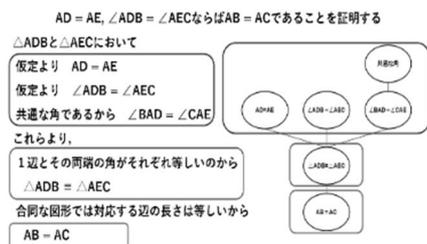


図 3 証明構造

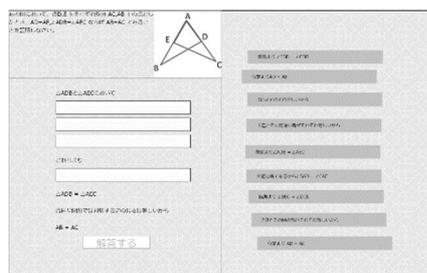


図 4 学習画面

4.1.3 評価実験

評価実験の対象者として、すでに中学数学の証明を理解していると考えられる高専 1 年生 102 名とした。実験の手順は、最初に全 6 問の証明問題に関する情報過不足テストをプレテストとして実施し、証明問題解決支援システムを 20 分間利用してもらった。その後、システム利用前に実施した情報過不足テストをポストテストとして実施した。その後、システムの利用状況や学習者がつまづきやすい問題傾向、情報過不足テストの正解率や解答時間、支援システムと情報過不足テストのデータの関連について分析した。

4.1.3.1 情報過不足テスト

このシステムは、3つの仮定と1つの条件を用い、1つの結論を導く三角形の合同証明について評価が可能な全 6 問を設定し、解答時間と答えを記録する。学習者は証明文に間違いまたは過不足な情報があるかを推論し、○×で解答するため、学習者が証明文を正確であるか否かを判断できるかをテストできる。

4.1.3.2 結果と考察

プレテストの各問題の正解率と解答時間を表 1 に示す。支援システム利用後の正解率が上がっており、全問題の平均解答時間は利用前後で短くなっている。しかし、正解時の平均解答時間は 20 秒を下回る問題はない。平均解答時間の変化を有意水準 5%で t 検定をした時、有意な差が得られた。結果により、システム利用を通して証明文の正誤判定を素早くでき、証明構

造に関する知識を理解できたと考える。また、平均解答時間が 20 秒を下回らない原因は、証明文の正誤判定をする時の確認ポイントが多いため、正誤判定を導くまでに解答時間がある程度かかる事が考える。

プレテストの結果が下位 8 名に対して、各システムの利用状況の比較を表 2 に示す。この 8 名においても、ポストテストの解答時間が短くなっている。また、学習者を 2 つに分けることが可能である。グループ 1 は、支援システムの問題にトライアンドエラーする中で、証明構造に関する知識を理解できたため、平均解答時間の短縮や支援システム利用後の正解率が向上したと考える。2 つ目のグループは、問題に対して時間をかけ思考する学習者であると考えられる。この傾向をより分析するには、支援システムの各問題の解答時間と解答中に選択した単文カードのログを記録し、比較が必要であると推測する。

全体利用回数は 1023 回、平均 10.03 回である。このため、多くの学習者は利用時間 20 分間に、システムを何度も利用して証明問題を解く反復作業が十分に可能であったと考えられる。解答数に対して、正解数が少ない問題 4 と問題 5 について分析した。問題 4 の解答数が 5 回以上である学習者が、不正解時に選択した合同条件や性質のカードの傾向を分析した。カードには 3 つのパターンが見られた。パターンの共通点から、問題を読み理解していないため、図から得られた直感的な情報や得られている情報からは、仮定としては述べられない条件を使用している学習者が多いことがわかった。また、仮定となる情報、合同条件や性質の知識はあるが、問題に適した、3 つの仮定や条件から 1 つの結論を導く構造に、相当する組み合わせが理解できないため、正しい仮定や条件を選べない傾向があるとわかった。

表 1 情報過不足テストの

番号	判定	解答数		比率		平均解答時間	
		before	after	before	after	before	after
q1	正解	87	94	85%	92%	40.86	22.21
	不正解	15	8	15%	8%	38.47	39.13
q2	正解	61	68	60%	67%	59.18	39.44
	不正解	41	34	40%	33%	44.93	32.15
q3	正解	101	97	99%	95%	29.43	31.88
	不正解	1	5	1%	5%	1.00	13.80
q4	正解	95	97	93%	95%	45.34	22.43
	不正解	7	5	7%	5%	37.86	41.80
q5	正解	74	76	73%	75%	38.74	26.54
	不正解	28	26	27%	25%	35.32	23.69
q6	正解	88	76	86%	75%	36.85	29.47
	不正解	14	26	14%	25%	29.07	11.13

表 2 プレテスト下位 8 名のシステム利用状況との比較

学習者	正解率		平均解答時間[秒]		解決支援システムの利用状況		
	before	after	before	after	解答数	正解率	到達率
1	33%	67%	41.50	31.00	25	20%	56%
2	50%	83%	37.00	17.33	8	50%	44%
3	33%	33%	8.83	52.00	11	36%	44%
4	50%	50%	23.50	10.17	15	40%	67%
5	50%	67%	32.50	22.67	6	100%	67%
6	33%	33%	32.83	24.33	9	56%	56%
7	50%	100%	59.33	58.67	5	80%	44%
8	50%	100%	32.50	36.17	7	86%	67%

表 3 解決支援システムの各問題の利用状況

問題	解答回数	正解数	正解率	解答回数/人
1	154	111	109%	1.51
2	172	108	106%	1.69
3	134	103	101%	1.31
4	313	85	83%	3.07
5	154	60	59%	1.51
6	42	33	32%	0.41
7	31	21	21%	0.30
8	17	4	4%	0.17
9	4	1	1%	0.04

4.2 プログラミング解決支援システムの改良と利用実験

4.2.1 システム概要

本システムは、思考言語を日本語、学習するプログラミング言語を C 言語とし、問題解答画面を図 5、6 に示す。問題解答画面 は日本語によるプログラム記述、問題解答画面 は C 言語によるプログラム記述であり、利用者は画面に表示されるプログラムの処理が書かれたカードを記述内の空欄に当てはめ解答する。問題解答画面 では、問題文に対して日本語によってプログラムされた部分の空欄に、正しい処理の流れになるように単文カードを当てはめると正解となる。この問題に正解すると問題解答画面 に遷移するが、問題解答画面 に表示される問題は、問題解答画面 で解答した処理の流れをそのまま C 言語に置き換えたものである。さらに、画面上には前問で解答した日本語によるプログラム記述が示されており、C 言語の問題を日本語



図 5 問題解答画面

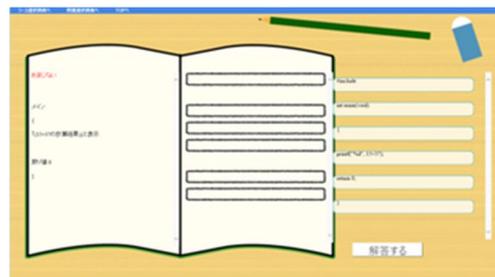


図 6 問題解答画面

の問題と同じように解答することができる。このように、日本語と C 言語で記述されたプログラムの処理が同一のものであることを視覚的に認識させることで、C 言語記述のプログラムへの変換に対する抵抗を軽減させ、プログラミング技術の習得を促す。

4.2.2 ダミーカードの生成

本システムは、操作するカードにダミーカードが含まれておらず、問題によっては学習効果が期待できないことが課題として挙げられている。そこで、ダミーカードを追加し、利用者にカード自体の正誤を確認させることで、習得レベルの向上を図る。ダミーカードは、通常のカードと同様の仕組みで生成する。また、日本語問題には主に数式や条件式の間違い、C 言語問題には書式指定子や演算子、配列の宣言などの間違いが含まれたカードをそれぞれ用意し、各問題に対して 1~3 枚表示する。

4.2.3 利用実験

本研究では、既に C 言語の学習を行っている高専 2 学年 42 人を対象にシステムの利用実験を行う。また本実験は、対象者にシステムを用いて学習してもらい、C 言語の学習を支援するシステムとして有用であるか、またどの程度の学習効果があるのかを調査することを目的とする。

本実験は、「事前アンケート」「システムの利用説明」「50 分間のシステム利用」「事後アンケート」の流れで実施する。なお、対象者は本システム上で出題される問題の範囲についての学習を終えているため、解答する問題は対象者の自己判断とする。その後、事前事後アンケートと解答状況の分析により学習効果の検証を行う。

学習履歴より、対象者ごとの解答状況を分析した結果、日本語問題の解答後 C 言語問題に進んだとき、解答時間と頓挫した問題の数は減少し、正答率は高まっていた。このような結果となった理由として、プログラミング解決過程が関係していると考えられる。この過程において、「思考言語でアルゴリズムを組む段階」と「プログラミング言語に置き換える段階」は分けられているが、学習者が躓く原因のひとつには、この 2 つの段階を同時に行おうとしてしまうことが挙げられる。しかし、本システムを用いることで、自然に 2 つの段階に分けて考えられるようになり、日本語から C 言語へのプログラム変換に対する抵抗を軽減させることができたのだと推測する。また、ダミーカードについては、C 言語問題のカード選択による不正解が多く、処理の一部が間違っ書かれたカードを選択した結果が多く見られた。よって、本システムのようにカードを用いた学習方式を採用する場合は、カード 1 枚の大きさを 1 処理に固定せず、学習目的に合わせて調整していく必要があると考える。次に、アンケートより、対象者が克服したい分野についてシステム利用前後に調査を行ったところ、利用前は C 言語の学習全体に関する内容が多かったのに対し、利用後は「条件分岐」や「繰り返し」というように、範囲がより具体的になっていることが明らかになった。したがって、本システムを用いると、利用者は自身の苦手分野を明確にすることができるといえる。しかしながら、学習履歴を確認した対象者は半分に満たず、「白黒の画面で見づらいため色をつけて欲しい」等の見やすさの向上に関する意見が挙がっていたため、今後は画面のデザインの改善が課題となる可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐々木虎太郎, 倉山めぐみ
2. 発表標題 証明問題支援システムの実験的利用と問題点の改良
3. 学会等名 教育システム情報学会 2022年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉山めぐみ
2. 発表標題 中学数学の図形証明における情報過不足テストの試案
3. 学会等名 電子情報通信学会教育工学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中遥稀, 倉山めぐみ
2. 発表標題 プログラミング学習支援システムの開発と実験利用
3. 学会等名 教育システム情報学会 2021年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長野大智, 倉山めぐみ
2. 発表標題 証明問題解決支援システムにおけるダミーカードの自動生成
3. 学会等名 教育システム情報学会 2020年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田晃希, 倉山めぐみ
2. 発表標題 プログラミング学習支援環境におけるゲームカードセット作成の自動化の思案
3. 学会等名 教育システム情報学会 2020年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中里美夢, 倉山めぐみ
2. 発表標題 思考言語を活用したプログラミング学習支援環境の実験的利用
3. 学会等名 第48回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榎山礼夏, 倉山めぐみ
2. 発表標題 三角形の合同証明の構造に着目した解決支援システムの評価実験
3. 学会等名 電子情報通信学会教育工学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中里美夢, 倉山めぐみ
2. 発表標題 思考言語を取り入れたプログラミング学習支援環境における学習効果の検証
3. 学会等名 教育システム情報学会 2023年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 榎山礼夏, 倉山めぐみ
2. 発表標題 合同証明の構造的アプローチに基づく解決支援システムの評価実験とその分析
3. 学会等名 教育システム情報学会 2023年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	國宗 永佳 (Kunimune Hisayoshi) (90377648)	千葉工業大学・情報科学部・教授 (32503)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------