

チャンク方略を利用したカード操作方式によるプログラミング学習支援 システムの実践とその学習における認知負荷の測定

A Practice of Card Operation-Based Programming Learning Support System Using Chunk Strategy and Measurement of Cognitive Load in its Learning

森永 笑子[†] 松本 慎平[†] 林 雄介^{††} 平嶋 宗^{††}

Shoko Morinaga[†] Shimpei Matsumoto[†] Yusuke Hayashi^{††} Tsukasa Hirashima^{††}

[†] 広島工業大学 ^{††} 広島大学

1 はじめに

プログラミングは様々な能力や活動を必要とするため、コンピュータに不慣れな初学者にとっては学習の負担が特に大きく、認知資源を本質的学習にうまく配分できないと言われている [1]。プログラミングは本来高い内在負荷を持つため、できる限り学習者の外在負荷を減らす必要があるとされている [2]。そこで、意味のある部分間の関係を考えることに焦点を当てたプログラミング学習において、外在的な非本質的認知負荷 [2] の影響をできるだけ少なくするために、カード操作方式によるプログラミング学習支援システム (以降、従来システム) が開発されている [3]。これは、学習課題のフレームと学習活動のパターンを制限し、意図した学習に認知資源を集中させることを目指したひとつのプログラミング学習システムである。従来システムは、ソースコード全体のうち意味のある部分と部分の関係について考えることに集中させ、プログラムの構造や全体の構造を把握する習慣やそのための力の習得を目的としている。

先行研究において大学講義で従来システムを導入した結果、外在的な認知負荷 [4] を相対的に減らしながら、教授者が意図した学習活動に集中できていたこと、とりわけプログラミングを初めて習う初学者にとって有効な学習方法であることが示唆された [3]。また、従来システムは、従来のコーディング演習と同等の学習効果を有しながら、従来よりも学習時間を短縮できる効率的な学習方法であることが示唆された [5]。一方で、先行研究は1カード1命令で構成された出題形式のみ取り扱っていたため、行数が少ないソースコードなど比較的規模が小さい学習課題のみに有効な方式であると考えられる。先行研究よりも規模の大きく学習課題、すなわちより実践的なソースコードを課題として取り扱うためには、カード枚数と認知負荷が正の関係にあることを踏まえると、1カードに2命令以上を与え、認知負荷を抑制することは不可欠となる。これを実現する方法として、本稿ではチャンク方略に着目した。本稿ではチャンク方略の観点に基づきソースコード全体を意味のある部分に分割し、2つ以上の命令を持つカードを含んだ学習課題を構成する方法を提案し、提案法が有用であることを明らかにする。

2 カード操作方式及び学習支援システム

2.1 カード操作方式

カード操作方式は、プログラムコードが書かれたいくつかのカードを学習者に提供し、カードを並び替える操作によってプログラムを組み上げる演習である。これは、プログラミングをいくつかの学習活動に分割した後、一部の学習活動を外在的な認知負荷負荷として、間接的に減らしながら、狙いとする学習活動に認知資源を集中させることを狙いとしている。プログラミング学習活動は、1行1命令で構成されるプログラムを想定したとき、プログラムの各行の意味や処理を考えることを主とした“行内を考える学習活動”と、1行以上の命令で構成される部分同士の間隔を考えることを主とした“行間の間隔を考える学習活動”に大まかに分割できると考えられている [3]。カード操作方式は、コーディング演習を中心とした一般的な教授方式、すなわち、ソースコードの打ち込み・実行を主とする講義において、タイプミス等による文法エラーが多発することで知識の獲得・確認の活動中に“行間の間隔を考える学習活動”が不十分となっている点に注目し、“行間の間隔を考える学習活動”である4種類、アルゴリズム：効率的な処理手順を設計・理解する学習活動、デザインパターン：適切な処理順序を設計・理解する学習活動、トレース：データの変化を正しく追跡する学習活動、論理デバッグ：複数命令の処理の間隔を理解し修正する学習活動、を支援するものである。そして、カード操作方式により、アルゴリズムのコードレベルでの表現法 (処理手順) の確認、命令、あるいは部分間の間隔を意識する力の獲得を目指した学習活動を支援できる。カード操作方式の目標は、時間対学習効果の向上である。

2.2 カード操作方式による学習支援システム

カード操作方式による学習支援システムでは、まず、問題文と1つ以上の命令のプログラムコードが書かれたカードを用意する。次に、学習者は問題文の処理に合うようにカードを選び、並び替えることで回答を行う。回答の正誤は、その場で確認できる。選択肢のカード群は、回答に用いるカードと回答に必要なダミーカードで構成されている。なお、並び替えるプログラムは全体ではなく部分的とする。その外観を図1に示



図 1: 演習画面の説明

す。学習者用の画面では、演習時、上部に問題文、中央に各種ボタン、右側にカードの選択肢欄、左側に回答欄が表示されている。問題文の中には、“//この中の処理を並び替えてください”と書かれた記述を含んだプログラムが掲載されており、この部分に当てはまる命令を考え、カードを適切な順番で回答欄に配置することが目標となる。図1の場合、“入力された自然数aの階乗を出力する処理となるようにカードを並べ替えなさい”といった問題が与えられている。回答欄の行数は、回答に必要なカードの枚数を表している。図1の場合、1カード1命令のみで構成されており、回答欄は4行、3つのダミーカードを含み7種類のカードが与えられている。なお、カード操作方式による学習支援システムでは、1カード2つ以上の命令を含める問題や、指定箇所にカードを固定する問題(変数宣言や画面出力を行う命令を含んだカードを回答欄の上部や下部に固定させること)も可能である。

カードは、マウスのドラッグ&ドロップの操作で動かすことができ、右側から左側にカードを移動し、プログラムを組み立てる。その際、カードの前にインデントを付けて配置することができる。なお、正誤はカードの順序によって判定されるため、インデントの有無が採点結果に影響を与えることはない。組み立てが終了した際、回答ボタンを押すことで正誤判定を自動で受けることができる。回答ボタンを押した際、正解、不正解の判定結果と共に、ヒントや出題の意図など正誤それぞれの場合に応じたフィードバック文を画面に表示する。なお、フィードバック文は、教授者が演習問題作成の際にあらかじめ登録する必要があるが、空白も可能である。全ての問題の回答が終了したとき、各問題で学習者が行った回答の全てと、そのときのカードの並び、正誤を問題ごとに振り返ることができる。なお、振り返り画面は、正しいソースコードの確認というよりも、正解となる適切なカードの配置の確認を目的としている。したがって、カードの並びという最低限の情報の伝達を意図しているため、インデントなどは表示されない。

カード操作方式が有する機能を以下にまとめる。

1. プログラムを直接打つ必要がない。タイプミスに起因する文法エラー等が発生しないため、教授内

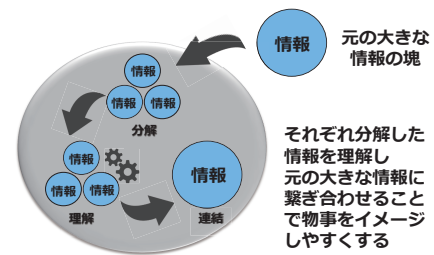


図 2: チャンキングについて

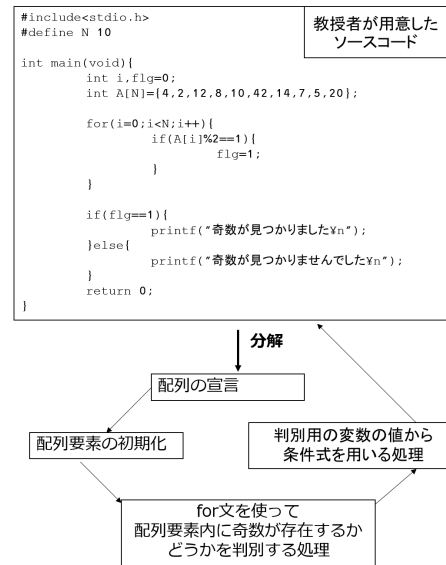


図 3: チャンキングとカード操作方式

容を確認する場合や、理解度を自己評価する際、文法やタイピングに関する認知負荷を減らすことができる。

2. 目標とするプログラムが選択肢によって固定されているため、良いデザインパターンを学ぶことができる。
3. 各問題の採点時に、正誤判定やヒント等、フィードバックを都度返すことができる。
4. 正誤判定のみならず、回答に至るまでのカードの動きをログとして残すことができる。これは、カード操作方式と同様の学習フォーマットで学習支援を試みている先行研究 [2][6] にはなかった新しい機能であり、更なる学習支援に役立つものである。

3 チャンク方略について

本稿では、従来のカード操作方式によるプログラミング学習支援システムにチャンク方略を用いた学習法を提案する。チャンクとは、1つのまとまった意味単位として一時的に処理される項目であり、人間の短期記憶における情報処理容量を調査した結果考えられた

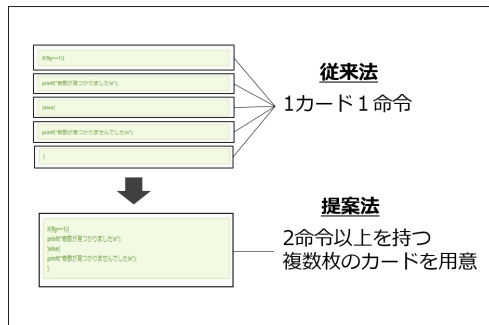


図 4: チャンク方略について

ものである [7]。また、チャンキングとはチャンクの概念を利用した考えである。図2のように大きな情報の塊を意味のある部分に分解し、それぞれ分解した情報を理解した後に、元の大きな情報に結び合わせるという工程によって物事をわかりやすくイメージしていくことである。先行研究などから、チャンキングによるリーディング効果としては、文章の内容を記憶する認知負荷の軽減 [8] や、読解速度の向上が認められている [9]。

カード操作方式によるプログラミング学習では、用意したソースコードの学習者に学ばせたい部分をカードにして学習者に演習を行っている。チャンキングの考えである大きな情報の塊を意味のある部分に分解し、元の大きな情報に結び合わせるという点で、チャンキングとカード操作方式は類似している点が多くあると考えられる (図3 参照)。そこで、従来システムのカード操作方式では1カード1命令としてカードを用意していた点に関して、ソースコードを意味のある部分に分割し、2命令以上を持つ複数枚のカードを用意した学習課題を用意し、これをチャンク方略とする (図4 参照)。このような設定のもとで、本稿の狙いは、チャンク方略を用いた学習によってカード内に記述された命令読解に関する認知機能を支援しそれにより学習者の認知負荷を減らしながら、意味のある部分間の関係を考えることにより集中させることとする。

4 実験及び結果

4.1 比較実験の内容及び結果

カード操作方式による学習支援システムにおけるチャンク方略の効果を明らかにするため、実験群では複数命令を持つカードをチャンク方略により用意した学習課題、統制群は1カード1命令のカードだけで構成される学習課題を与え比較実験を行った。被験者は情報学を学ぶ大学2-4年生22名とした。まず、学習する前に学習者に理解度を測定するような事前試験を行い、学力水準が均等になるよう被験者を2群に分けた。その後、1時間の学習実験を行い、最後に事後試験を行った。学習実験で使用した問題は、2群ともに同じ内容を4問出題し、正解に含まれない同一のダミーカードを両群に与えた。学習目標は、配列の構造を理解し実

表 1: 実験結果

	事前試験	事後試験
実験群	8.92	15.00
統制群	8.92	14.09

表 2: アンケートの質問項目

項目	内容
Q.1	今回の学習内容は非常に複雑でした
Q.2	今回の授業・教材の指示や説明には、非常に複雑なコードが含まれていると感じました
Q.3	今回の授業・教材の指示や説明は、非常に複雑だと感じる概念や知識が含まれていました
Q.4	今回の授業・教材の指示や説明は非常に不明瞭でした
Q.5	今回の授業・教材の指示や説明は、学習の観点から非常に非効率でした
Q.6	今回の授業・教材の指示や説明は、不明瞭な言葉で一杯でした
Q.7	今回の授業・教材の指示や説明は、私の理解に役立ちました
Q.8	今回の授業・教材の指示や説明は、配列の構造というものについて私の知識と理解を深めることに役立ちました
Q.9	今回の授業・教材の指示や説明は、配列の作り方・書き方について私の知識と理解を深めることに役立ちました
Q.10	今回の授業・教材の指示や説明は、配列の概念や知識の理解を深めることに役立ちました

装できることとした。

実験結果を表1に示す。実験群では、学習者が扱うカード枚数が減少するために学習効果の低下が予想されるが、事後試験ではそうではなく実験群は統計群と同程度の学習効果が示された。事後試験後の主観評価の結果では、実験群ではカード枚数の減少を主要因とした認知負荷の低下が確認された。以上から、カード操作方式によるプログラミング学習においてチャンク方略は有用であると考えられる。

4.2 アンケート内容及び結果

本稿では、すべての実験が終わった後に被験者22名に認知負荷に関するアンケートを11段階(0:全く当てはまらない-10:完全に当てはまる)の主観評価で回答を得た。アンケート項目を表2に示す。アンケートの内容は、先行研究 [10][11] を参考にして作成した。先行研究 [10][11] では、1-3を課題内在性負荷、4-6を課題外在性負荷、7-10を学習関連負荷を測定すると想定した質問になっている。

プログラミングは、本来高い課題内在性負荷を持つため、できる限り学習者の課題外在性負荷を減らす必要があるとされており [2]、そのため、プログラミン

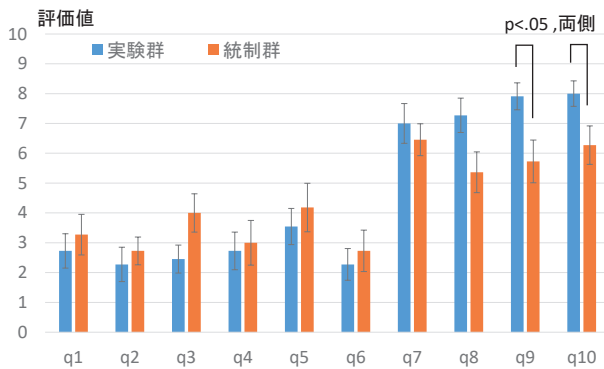


図 5: アンケート結果

グ学習において、課題外在性の認知負荷の影響をできる限り減らす必要があるとされている。また、学習関連負荷は、学習関連資源として使用されることもあり、これは課題内在性負荷を処理するために割り当てられたワーキングメモリ資源とされている [11]。そのため、今回のアンケート結果から課題外在性負荷が低く、学習関連負荷が高いほど、学習者に学ばせたい部分に焦点を当てながら、必要のない部分の認知負荷が減らせていることが考えられる。

アンケート結果を図 5 に示す。アンケート結果から、統計的に有意な差は見られなかったが課題外在性負荷の質問 (4-6) に対して、実験群の方が統制群よりも低い数値が得られた。また、学習関連負荷の質問 (7-10) に対して、全体的に実験群の方が統制群よりも高い数値が得られた。特に、質問 9 と 10 では、統計的に有意な差 ($p < .05$, 両側) が見られた。

以上の結果から、カード操作方式にプログラミング学習において、チャンク方略の観点に基づきソースコードを意味のある部分に分割し、複数枚で 1 命令のカードを用意する方式が有用であることが示唆された。

5 まとめ

本稿では、学習者の余剰負荷を減らしながら教授者が意図した課題に認知資源を集中させるため、カード操作方式によるプログラミング学習支援システムにチャンク方略を用いた学習方式を提案した。その効果を明らかにするために比較実験を行った結果、実験群は認知負荷を減らしながら統制群と同程度の学習効果が得られた。また、アンケートの結果からも提案法は従来法よりも課題外在性負荷を減らしながら、意図した課題に認知資源を集中出来ていることが示唆された。以上から、提案法は有用であることを確認した。

謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業 (基盤研究 (C)17K01164, 19K02987) 及び FOST 公益財団法人科学技術融合振興財団平成 30 年度補助金助成による助成を受けて実施した成果の一部である。

参考文献

- [1] S. Lisack, Helping Students Succeed in a First Programming Course: A Way to Correct Background Deficiencies, International Association for Computer Information Systems Conference, Mexico (1998).
- [2] S. Garner, A Tool to Support the Use of Part-Complete Solutions in the Learning of Programming, Proceeding de conference, pp.222-228 (2001).
- [3] 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, 部分間の関係を考えることに焦点を当てたカード操作によるプログラミング学習システムの開発, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.138, No.8, pp.1-12 (2018).
- [4] J. Sweller, J. Merrienboer, F. Paas, Cognitive architecture and instructional design, Educational psychology review, Vol.10, No.3, pp.251-296 (1998).
- [5] 村上瑠香, 森永笑子, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, カード操作方式によるプログラミング学習システムの学習効果, 2017 年度 JSiSE 学生研究発表会 (中国地区) 講演論文集, p19, pp.203-204 (2018).
- [6] D. Parsons, P. Haden, Parson's programming puzzles: a fun and effective learning tool for first programming courses, Proceedings of the 8th Australasian Conference on Computing Education, Vol.52, pp.157-163 (2006).
- [7] G. Miller, The psychology of communication: seven essays. Penguin Books (1967).
- [8] N. Ellis, Memory for Language, In P. Robinson (Ed.) Cognition and second language instruction, Cambridge: Cambridge University Press, pp.33-68 (2001).
- [9] A. Tan, T. Nicholson, Flashcards revisited: Training poor readers to read words faster improves their comprehension of text, Journal of Educational Psychology, 89, pp.276-288, 1997.
- [10] J. Young, D. Irby, M. Barilla-LaBarca, O. ten Cate, P. O'Sullivan, Measuring cognitive load: mixed results from a handover simulation for medical students. Perspectives on medical education, 5(1), pp.24-32 (2016).
- [11] K. Miwa, H. Terai, Y. Mizuno, Relations between cognitive resources and two types of germane load for learning. Proceedings of 14th international conference on cognition and exploratory learning in digital age, pp. 315-318 (2017).