

初学者に向けたプログラミング多重ループの効果的な学習方法について

Effective learning method of programming multiple nested loop understanding for beginners

時田 真美乃, 不破 泰
Mamino TOKITA, Yasushi FUWA

信州大学
Shinshu University

Email: m_tokita@shinshu-u.ac.jp

あらまし：本研究は、プログラミング学習時における FOR 文の多重ループで、学習が困難な要因に人間の認識の限界があることを取り入れ、認知科学的な工夫をした学習法を実践したものである。シングルボードコンピュータである IchigoJam を使用し、多重ループの動作について音によるチャンク化を行い、記憶の負荷の軽減による理解の促進が見られるかを調査した。また、学習時に多重ループの動作について、音がどのように鳴るかについて予め予測を行うようにした。そのことで FOR 文の多重ループの動作の理解が促進されるかを確認し、音の予測と音による教示を行うことで正答率が上昇するという結果を得た。

キーワード：プログラミング教育、初年次教育、入れ子構造、多重ループ、認知科学、人間の情報処理

1. はじめに

初等教育からプログラミング学習を実施する重要性が高まる中、大学初年次教育においてもプログラミング教育を含めて教育することが推奨されている。本研究は、2017 年度に発表した⁽¹⁾大学初年次教育における情報の基礎的な知識の修得におけるプログラミングの制御構造の理解において、効果的な教育カリキュラムの構築を目的とし、その方法について論じる一連の研究である。

情報の基礎的教育に、認知科学の知見を取り入れることについて、人間の情報処理の視点の重要性について言及しているものがある⁽²⁾。また、第一著者の過去の研究では、学習者は高次の入れ子構造になると、課題の正答率が下がることが論理・数学的課題においても見られていた⁽³⁾。

本研究では、特にプログラミング学習時における最も基本的な制御構造の IF 文 FOR 文の多重ループの学習で“入れ子構造”の学習が困難となる要因に、人の認識の限界が関係することを取り入れ、特に初学者の記憶の負荷が軽減するような工夫を教材に取り入れることを検証するものである。

記憶の負荷があるときはチャンクを作り情報の塊で理解することが有用であるとされている。プログラミングの課題は視覚的に提示されているが、従来の学習法としてはインデントを付ける等、視覚領域での工夫が多かった。一方で、ワーキングメモリに関する Baddeley のモデルでは音韻ループ(聴覚系)と視空間スケッチパッド(視覚系)の 2 つの情報の格納庫が提案されている。そのため、課題の負荷が大

きい場合は、異なる系での記憶を用いてチャンクを作る方が負荷軽減になると仮説を立てた。この仮説に基づいた教材は、多くの情報がチャンク化されていない初学者の教材として特に有効であると考えた。

2. 提案する教育カリキュラム

本研究では、プログラミング学習うちの多重ループ学習の FOR 文の 2,3 重構造について音を用いて情報の固まりを聴覚的に際立たせて提示することで、記憶の負荷が減少し理解が促進されるようになることを目標とした。

また、正解の提示の前に一度結果を予測させる思考を取り入れることで、記憶がさらに強化され理解が深まることも狙いとした。この予測については、音が鳴る順序を予測させるために、音の違いが明瞭になるように、音域と長さについて差ができるようにすることとした。

実験環境については、2017 年度と同様に大学初年次の情報学入門の授業を使用した。この授業で著者らは、IchigoJam の機材を 1 人 1 台使用し、情報学全般の知識の体験的学習の実践にも 2014 年度から取り組んできている⁽⁴⁾。ハンズオン教材をプログラミング教育に取り組む実践は他にも事例がある⁽⁵⁾。

その一貫の中で、IchigoJam で圧電サウンドを使用し、音を出力するコマンドである PLAY コマンド、BEEP コマンドを用いて体験学習を開発した。

提案する教育プログラムは、図 1 のような手順で、授業カリキュラムを実施した。

1. 繰り返し構造 FOR 文 1-3 重の通常の解説を行い、IchigoJam でプログラムを組む練習をする。
2. [テスト(1)]
FOR 文 1 重・3 重の理解度を確認するテストを行う。
3. <音の出力パターンの予測> 2018 年度のみ
<音によるタイミング教示>
IchigoJam の PLAY コマンドを使用し FOR 文の 1-3 重の構造を理解する体験学習を行う。
4. [テスト(2)]
FOR 文 1 重・3 重の理解度を確認するテストを行う。
5. 「3」で行ったのは別の題材にて、
<音の出力パターンの予測> 2018 年度のみ
<音によるタイミング教示>を行い、
IchigoJam の PLAY コマンドを使用し FOR 文の 1-3 重の構造を構築して理解する。
体験学習の繰り返しと応用学習を行う。
(テストは実施しない。感想アンケートは実施)
6. [テスト(4)]
最終回で再度理解度を確認するテストを行う。

図1 IchigoJam を使用した音による
タイミング教示の実践手順(2018)

また、実際に使用したプログラムのうち、2重構造の例は図2のようになる。外側のループが実行される時に「ド」の音になり、内側のループが実行される時に「短いソ」の音になるように PLAY コマンドを組み込む教材を開発した。2018年度のこの教材については、異なるループに発する音について、音域以外に長さも異なるようにし、違いを明瞭にした。

```

10 for j=1 to 9 : PLAY"C" : wait 30
20   for i=1 to 9
30     print i*j, " "; PLAY"G16":wait 30
40     wait30
50   next
60   print
70 next
80 wait 30
90 end

```

図2 IchigoJam による Basic プログラム
(FOR 文 2 重構造の教材の場合)

また、音の出力パターンの予測については、どの順序で何の音が何回どの順序で鳴るかを自由記述で記載する方法とした。その各自の回答を確かめるよう、その後に音によるタイミングの提示を実施した。

3. 実践

実践は、初年次の後期の情報学入門のプログラミングを学習する授業で行なった。受講者数は2017年度は85名であり、2018年度は53名でテストは e-Learning の教材を用い WEB 上で実施した。

4. 結果と考察

表1については、まず繰り返し構造の学習において、FOR 文の1重～3重の構造を学習した後でのテスト結果である。FOR 文1重の正答率については90.4%であり、視覚的な情報だけを使用した解説だけで、構造の理解に困難さはないといえる。一方で、FOR 文2重・3重についての初回の正答率は38.1%、33.3%と低い結果であった。このことは、図説やインデントだけの視覚的な説明だけで多くの学生の理解を得ることは難しいということを示している。一方で、音の出力パターンの予測および、音による教示を実施した後におけるFOR 文2重・3重についての正答率は、71%、84%にまでなり30%以上も正答率が上昇する結果が示された。

表1 [テスト(1)・(2)]における教示の実施
前後の FOR 文の正答率(%)

	テスト(1)(定数)	テスト(2)(定数)
For文一重	90.4	100.0
For文二重	38.1	71.0
For文三重	33.3	84.0

次に、表2に、最終回のテストにおけるの正答率の2017年度および2018年度の比較を示す。図1で示したように、最終回のテストの前に、一度復習としてリハーサル学習が入っている。最終回の結果についてはFOR 文2重の結果については、2017年度も2018年度も、それぞれ86.0%、84.9%であった。この結果については、繰り返しの学習を含めて、音による教示を行うことで、理解の定着があったことが考えられる。一方FOR 文3重の結果については、2017年度は55.3%であったのに対し、2018年度は83.0%と30%近く正答率が上昇した。2017年度についてはFor 文3重については音による教示だけでは理解の定着が難しいと結論していたが、2018年度の一度予測させる思考を学習に取り入れたことで、より効果的な学習がなされた可能性が示された。この結果について統計的有意差が示された。(p<0.001)

表2 [テスト(4)]における年度間の正答率
(定数)の比較(%)

	テスト(4)(定数)	
	2017年度	2018年度
For文一重	94.1	100.0
For文二重	86.0	84.9
For文三重	55.3	83.0

また、最終回における変数課題の結果は表3の通りとなった。2017年度は、まずFOR 文二重の課題は55.3%であったのに対し、2018年度は74.0%と正答率が上昇し、統計的有意差が示された。(p<0.01)ま

た,FOR 文三重課題についても,2018 年度は 6 割近くが正答した. この結果についても統計的有意差が確認された. ($p<0.001$) FOR 文の変数が可変となる課題については音による教示を行う授業はしていないため,応用課題に位置付けられる.2018 年度において,この変数の課題についても正答率が上昇したことは,音の鳴る順序を考える思考を挟むことが制御構造の理解を深めたことが考えられる.

表3 [テスト(4)]における年度間正答率(変数)の比較(%)

	テスト(4)(変数)	
	2017年度	2018年度
For文二重	55.3	74.0
For文三重	25.8	59.0

また,これらの課題について,同じ課題で行うことによる慣れの影響があることを 2017 年度の調査では排除できなかった.そのため,2018 年度については,FOR 文 1,2 および 3 重の定数の課題について,最終回で別の課題も回答するような調査も行った.その結果についても表 4 に示す.

表4 [テスト(4)]における別問題の FOR 文の正答率(定数)

	テスト(4)別問題
For文一重	94.0
For文二重	72.0
For文三重	70.0

表 4 について,表 2 に示した初回と同じ問題を実施した場合の結果と同様に,少し正答率が下がったものの,FOR 文 2 重・3 重の結果についても 70%以上の正答率となり,2017 年度の結果と差が確認された. このことは,音の鳴る順序の予測をした後で音による教示がある場合の理解の定着に一定の効果があることが示される.

一方で,表 1 に示したように定数の課題については,音の鳴る順序の予測と音による教示の後で正答率が顕著に上昇したが,変数の課題については,そのタイミングでは顕著な上昇は見られなかった.これは FOR 文 2 重・3 重の課題いずれでもであった. 表 3 に示すように,最終回のテストでは,変数の課題についても理解が得られたことが正答率から示唆されたが,直後の理解は得られていなかった.このことから,FOR 文の繰り返しの構造の理解とは別に,プログラムにおける変数についての理解が関係していることが考察される.

最終回では変数についても点数が上昇した理由に,繰り返し学習がもう一度成されて理解が深まった可

能性,最終回までに他の単元で変数に関するプログラムを学習しているので,プログラミングで使用する変数そのものの理解が定着したことが関係した可能性があると考えられる.

また,音が鳴る予測について記載された例とこの試みを実施した学生の感想についても図 3 に示す.

<音が鳴る予測についての記述(例)>

数が表示されるたびに短いソが鳴る。
十の位が変化するたびに少し短いミが鳴る。
百の位が変化するたびにドが鳴る。

「ド」の音が 1 回鳴った後、最初 1 の倍数から答えが順番に表示されながら短い「ソ」の音が同じタイミングで鳴る。これが 9 の倍数まで同様に行われる。

<音による教示の教材についての感想(例)>

前回までは、音を出さず、数字を送受信していて、頭の中でどのようなことが行われているか考えてやっていたが、音を鳴らして行ったことによってどのタイミングでどのような処理が行われているか頭の中だけでなく耳を使って理解することが出来た。

自分で実際にプログラムした内容なので理解することができたのだと思う。二重の for 文も音が鳴ることで体感することができ、とても良かったと思う。

図3 音が鳴る予測についてと感想の記述例

これらの結果から,提案した教育プログラムは,体験的理解を促すものとして,一定の効果が示唆されたと考えられる. 著者は FOR 文 2 重・3 重の課題は認知的負荷,特に記憶の負荷が高いことが,初学者にとって,理解しにくい要素にあると考えていた.記憶に関してはチャンクという考え方があり,図説で要素を囲ったり,インデントをつけることは,情報の塊として理解することにつながり,記憶の負荷を軽減させる方法として以前から一定の有効さはあったといえる.しかしそれだけでは,多くの学生の理解に至らなかったため,本研究の聴覚も用いた教材の有効性が示されたといえる. テストにおける正答率の上昇の結果から,視覚記憶だけでなく,異なる記憶領域の聴覚を使用することで,認知的な負荷が軽減された可能性と,また音による予測も行うことでチャンクとしての情報の塊が,視覚以上に明瞭に把握できた可能性が考えられる.

今後も,音による教示が実際に聴覚的な記憶の負荷の軽減になっているかを示す研究や,教材としての確立に向けて,どのように予測されることがより効果的な学習につながるのかについて等の研究を実施していく.

参考文献

- (1) 時田真美乃,長谷川理,不破泰：“認知科学を取り入れたプログラミング多重ループ理解の効果的な教育について”,教育システム情報学会全国大会論文集：pp.137-138(2018).
- (2) 神谷良夫：教師のための認知科学-新教科「情報」と「総合的な学習」を支えるもの;コンピュータ&エデュケーション,Vol8,pp.68-73(2000).
- (3) 時田真美乃,平石界,：“心の状態及び数学的課題における再帰的推論の処理時間の関連性,人間行動進化学会プログラム, p.29(2017).
- (4) 時田真美乃,長谷川理,不破泰：“はんだづけから始める大学生への情報の基礎的知識の教育効果~プログラミングの基礎的理解を含めた体験的学習~”,教育システム情報学会研究会論文集,Vol.31(No.7)：pp.25-30(2017).
- (5) 香山瑞恵,箕浦航,山本翔,不破泰,橋本昌巳：“情報通信ネットワークにおけるプロトコルの基本概念理解のためのハンズオン教材”,教育システム情報学会誌,Vol.35(No.2)：pp.163-174(2018).