

# 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 効果的学習法について

時田 真美乃<sup>1)</sup> 長谷川 理<sup>1)</sup> 不破 泰<sup>1)</sup>

1) 信州大学 総合情報センター

## Effective learning method of programming multiple nested loop understanding incorporating cognitive science

Mamino TOKITA<sup>1)</sup> Osamu HASEGAWA<sup>1)</sup> Yasushi FUWA<sup>1)</sup>

1) Integrated Intelligence Center, Shinshu University

信州大学では、大学初年次教育として情報の基礎的知識の定着を目的とした「情報学入門」の授業を開講している。この授業において2016年度よりプログラミングの基礎もカリキュラムに含めて実施しているが、反復処理の多重ループの学習において、1次のループのみの課題と比較して、そのループの次数が高くなるほど躓きが多く見られる傾向があり、学習に工夫が必要であることがわかった。本研究は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、認知科学的な工夫を取り入れた教育法を提案するものである。情報に固まりを作る「チャンク」や、繰り返し学習して記憶を定着させる「リハーサル」を取り入れることによって、効果的な教育を実施する方針と初段階の調査結果の発表を行う。

キーワード： 初学者向け教育、情報基礎教育、プログラミング教育、多重ループ

### 1. はじめに

本研究は、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ものである。

「人間の情報処理」をふまえた体験的学習として認知科学を取り入れるが、情報の基礎的教育に認知科学を参照することについては、高校における「情報」教育において、使う側の人間がどのように情報処理しているか、という視点の重要性について言及しているもの等がある<sup>(1)</sup>。情報教育において認知科学を取り入れることは様々な学習レベルで考えられるが、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、認

知科学的な工夫の効果を検証するものである。

「多重ループ」についての学習方法については、その多重ループのコードの挙動を予測できるような支援を実施する研究などがある<sup>(2)-(3)</sup>。「多重ループ」学習に躓きがあるため教育に工夫が必要であることは示されているが、「入れ子構造」の理解としての人間の思考の限界性を意識し、認知科学的な工夫を取り入れた研究はなかった。

人の再帰的な「入れ子構造」をもつ数学的な課題とその他の課題についての関連性についての先行研究はあり<sup>(4)</sup>、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その理解度を検証する課題において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<sup>(5)</sup>。また、英語学習については、認知科学的な「情報の固まり」を意識して英語の読解力を促進させる研究はあることから<sup>(6)</sup>、プログラミン

グ言語の教育についても考え、高次の場合には、情報の固まりを作る“チャンク”や繰り返し学習して記憶を定着させる“リハーサル”という認知科学における工夫の知見を応用させ、それらを取り入れた学習が多重ループ学習の理解度を向上させるか検証することとした。学生が意欲的に繰り返し学習できる多重ループ学習に合わせたゲーム素材も開発しその教育法を考案する。

## 2. 本研究の目的

本研究では、「情報の基礎的知識としてプログラミングの基礎が定着するための良いカリキュラムで授業を行う」という大きな目的の中で、プログラミングの多重ループ学習において、回数が高くなると多くの学生に躓きが起きやすくなることを確認し、その効果的な学習として「チャンク」「リハーサル」を用いた方法を提案することである。

今回はその最初の段階としてFOR文の多重ループの理解における躓きの確認と、その制御構造の動作の理解について音によるチャンク化を行い、理解が促進されるかを確認することとした。したがって本研究目的は以下の2点とする。

- (1) プログラミングの制御構造における反復処理において、多重ループの回数が高くなると躓きやすくなることを確認する。
- (2) 反復処理の動作の理解にチャンクが有効であるかを確認する。

(1)については、プログラミング言語を学習する前にもその傾向が存在するかを調べるため、プログラミング言語に依存しないテストと、プログラミング言語を使用した後に実施するテストと、両方について確認することとした。(2)については、情報量の多い処理課題についてチャンク可により理解が促進されることは、従来の研究により実証済みのことであり改めて検証する必要はないが、FOR文の繰り返しを含むプログラムのどの部分をチャンクにすることが最も効果的で適切かについては調査する必要がある。今回はまずはFOR文の動作の理解が促進されるかを、2重FOR文の外側ループと内側ループを音によって区別することで確認することとした。

## 3. 手続き

### 3.1 多重の反復処理についての理解度の測定

2章で述べた(1)の目的の内容を調査するための多重ループ読み取りの課題については、プログラミング言語に依存しない課題と、プログラミング言語を学習後、そのプログラミング言語を使用した課題の2課題を用意した。(順に付録.1課題.(1)、付録.2.課題(2))

またそれぞれの実施タイミングについては次に示すように実施した。

#### 〈実験環境〉

対象学年：大学1年生後期

対象学部：全学部・選択授業

対象人数：56名

授業方法：一斉講義方式

授業形態：9月～1月までの15週、週1回90分授業。

実施タイミング：

プログラミングに依存しない課題：初回授業

プログラミングを使用した課題：第10週目授業

### 3.2 多重の反復処理の動作のチャンク化

反復処理の動作の理解について、プログラミング言語を学習した後で、FOR文の構造に音をつけて固まりを意識させることを試みる。プログラミング教育については「3.1」で示した環境においてIchigoJamというBasicの言語を使用できるシングルボードコンピュータを1人1台ずつ使用する授業を実施して実現した。本カリキュラムの全体の報告については、既に別の研究会で報告をしたが<sup>(7)</sup>、ここでは多重の反復処理の学生の理解度に焦点を当てて調査した内容を述べる。

授業環境は「3.1」に示したものと同じで、多重の反復処理の動作の体験学習およびその理解度アンケートの実施タイミングは、第13回目の授業にて、また最終的なテストはその授業を終えたあとの第15回目の最終回で実施した。(付録.3.課題(3))

音の学習については、コンピュータネットワークの通信も学習する単元と合わせた総合学習で実施し、今回の授業で実施した図1で示す2台のIchigoJamを使

用した。

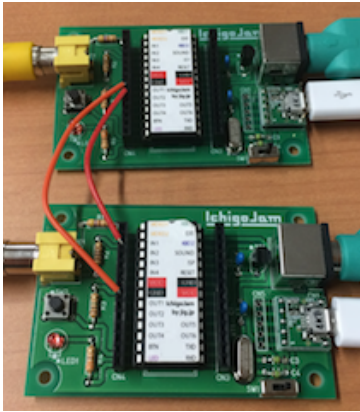


図1 音によるチャンク可を体験する環境として使用した IchigoJam (上が送信側, 下が受信側)

本調査は学生が2ペアとなり, 1人1台の IchigoJam を使用し送信側・受信側をケーブルでつなぎ, 通信で文字を送るという全体の課題の中で実施することとした。

具体的には「A」という文字を送信するためにはその文字コードに相当する「65」のさらにその10進数のコードの数字に対して, ビット同期にて2進数「1000001」に変換される工程が必要となることを利用した(図2)。そのため, 例えば「AI」というメッセージを送信するためにFOR文の2重ループが動作するというプログラムとなっている。この2重ループに対して, ループの内側と外側をチャンクとして区別するよう, 別々の音が鳴るようにPLAYコマンドを使用した。プログラムの内側のループで「ソ」の音, 外側のループで「ド」の音が鳴るようになるようにした。先の例の「AI」というメッセージであれば, まず「A」という文字を送ることに対応する外側のループの「ド」が1度鳴り, それに続いて「65」に対応する7桁の2進数が, つまり内側のループが7回(あるいは「ド」の7倍の長さで)「ソ」の音で鳴ることになる。続いて「I」に対応する同様の流れがあり, 学生には「ドソー(ソはドの7倍の長さ), ドソー」と, 送信される文字数の数に応じて, 音が繰り返し聞こえることとなる。

この環境において学生に音のチャンクによるFOR文の動作を確認し, 体験授業実施後にその理解度を確認するアンケート調査を実施した。アンケートについては, 2重for文に対する音の違いについて, 「とてもよく分かった」から「分からなかった」までを5件法で確認する内容とした。

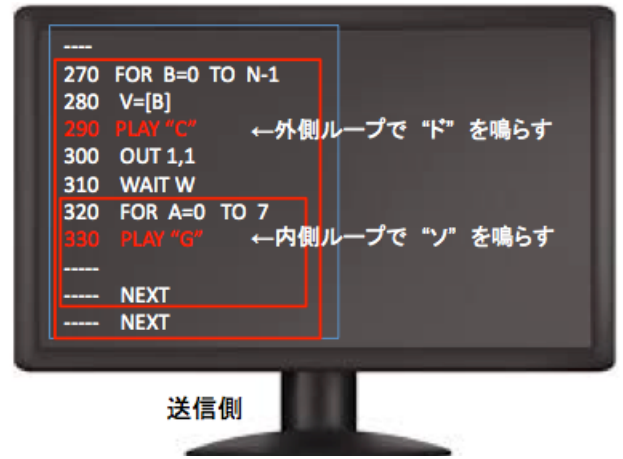


図2 FOR文の2重ループ構造プログラムの一部

また最終回の授業にてFOR文の2重構造の理解を測る読み取りテストも実施した。(付録.2. 課題(3))

## 4. 結果

### 4.1 多重の反復処理についての理解度の測定

多重の反復処理についての理解度の測定結果を次に示す。

表1. 多重ループ読み取り課題の結果

多重ループ読み取り課題	正答率
1)1週目(12347)	100.0%
2)2週目(12357)	60.1%
3)3週目(12567)	47.0%
4)4週目(13567)	44.0%
5)5週目(24567)	30.0%

表2. 多重ループ作成課題の結果

多重ループ作成課題(FOR文)	正答率
1)1週目(3の九九の段)	86.0%
2)2週目(1~5の九九の段)	82.0%
3)3週目(1~15の一部の九九の段)	52.0%

表1の結果は, プログラミング言語に依存しない多重ループの読み取り課題の内容となる。1次~5次のループに対応した課題においてそれぞれの正答率は順に, 100%, 60.1%, 47.0%, 44.0%, 30.3%という結果であった。1次については全員が正答しているが2次になると正答率が60%にまで下がり, それより高次の課題についてはさら正答率が下がるという結果であった。

また、表2の結果は、IchigoJamを用いてBASICのプログラミング言語を学習した後でFOR文の1次～3次のループに対応した課題を実施したものであるが、それぞれの正答率は、86.0%、82.0%、52.0%という結果であった。2次の課題については82.0%と正答率は高いが、九九の段を出力する課題を一度授業でも取り上げていたことは関係する。3次の構造をもつループ課題については、52.0%と1、2次の結果より低い正答率となった。この結果は、プログラミング言語に依存しない多重ループ読み取り課題と同様に、3次以降は正答率が約半分に下がるという結果であった。

## 4.2 多重の反復処理の動作のチャンク化

多重の反復処理の動作のチャンク化についての実施結果を次に示す。

表3 2重FOR文の構造についての回答

設問	2重for文の構造による音のタイミングの違い	回答率
回答群	とてもよく分かった	32.0%
	分かった	29.0%
	どちらともいえない	21.0%
	あまり分からなかった	15.0%
	分からなかった	3.0%

表4 2重FOR文読み取り課題の正答率

多重ループ読み取り課題(FOR文)	正答率
1)2重ループ課題("A,A+B"の出力)	66.7%

表3の結果より、音によるチャンク化による構造の理解を確認したところ、2重FOR文の構造については、「とてもよく分かった」「分かった」が合わせて61%という結果であった。このことから、音によるチャンク化の構造の理解にはある程度効果があることがいえた。ただしこの実践については、コンピュータとネットワークの学習も含めた総合学習のカリキュラムにおいて実施したため、通信の失敗により音を確認することができなかった場合も含まれている。そのため、通信の成功失敗に依存せず、この構造の音の確認が実施できるように、教材や実施方法の工夫を行い再調査する必要がある。

次にこの授業を実施した後のFOR文の多重ループ読み取り課題の結果であるが、表4のように、正答率は66.7%となっていた。またFOR文の構造は理解されているが、A+Bの計算を一部誤っただけであると思われる回答を構造の理解はしているという意味で正答とするならば、正答率

は73.3%であった。

これらの結果は、初回のプログラミング言語を使用しない課題における正答率より上昇はしており、音によるチャンク化の体験後に、多重の反復処理においてある程度の理解度の向上がみられたといえる。

## 5. おわりに

4章に示した評価結果から、本研究の目的(1)(2)に対する次の考察がなされる。

- (1) プログラミングの制御構造における反復処理において、多重ループの回数が高くなると躓きやすくなることを確認する。
- (2) 反復処理の動作の理解にチャンクが有効であるかを確認する。

まず(1)については、4章の実施状況より、プログラミング言語に依存しない多重の反復処理課題、プログラミング言語を使用する多重の反復処理課題いずれにおいても、ループの回数が増えるにつれ正答率が低下する傾向が見られた。このことはプログラミング言語特有の仕組み自体の難しさに関係なく、繰り返し構造そのものに理解にあたっての躓きやすさがあるといえる。

また(2)についてはまず多重反復処理の動作の確認において、今回は音によるチャンク化が学生の理解にある程度効果があることが示された。チャンク化の効果については、読み取りと書き取りに分けて、どのようなチャンク化が有効かについては引き続き調査する必要がある、その理解度についても比較する必要がある。

また知識の定着としてリハーサルを実施することを予定するが、今回の実践ではチャンクによる動作理解を1度体験するだけでありリハーサルによる知識の定着をすることは出来ていない。従って、リハーサルによる繰り返し学習と合わさることで効果にどの程度違いがあるかについても調査が必要となる。さらに、この多重ループの理解について理解が難しいとされる層が、他のプログラミング学習にも同様にその傾向が見られるか等についても引き続き確認が必要となる。



多重ループの理解の効果的な学習方法について、今後も授業カリキュラム改善をしながら取り組んでいく。

参考文献

- (1) 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,pp68-73(2000).
- (2) 長尾貴正,小暮悟,野口靖浩,山下浩一,小西達裕,伊東幸宏:多重ループの理解を支援するコードリーディング支援環境の構築と評価;教育システム情報学会,2017 学生研究発表会 pp13-14,(2017).
- (3) 山下浩一,岡本真,木暮悟,野口靖浩,小西達裕,伊東幸宏:対象世界・プログラム・操作系列の視覚化に基づく多重ループ教育の実践;教育システム情報学会第 38 回全国大会,pp383-384(2013)
- (4) 林創:再帰呼び出しを含む手続きの処理の難しさ;認知科学,6(4),pp389-405(1999)
- (5) 時田真美乃,鳥山理恵,平石界:再帰的事象の認識における「心の理論」と「論理-数学的知能」の関連性;日本人間行動進化学会 第 回 年 次 大 会,pp14,(2016)
- (6) 湯舟英一:チャンク音読とシャドーイングのための Web 教材の開発;東洋大学人間科学総合研究所 紀要;第 14 号,pp83-94(2012)
- (7) 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学習の教育効果～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 研究報告,Vol.31,No.7,pp129-136(2017)

付録.

付録.1 課題. (1)

プログラミング言語に依存しない多重の反復処理課題

1. 1 から 7 までの数字の書かれたカードがある。このカードから異なる 5 枚のカードを選び 5 桁の数字を作る組み合わせを考える。5 つの数を小さい順に並べて考えるとき、次の組み合わせは最初から何番目に出てくるか。

- ① 1 2 3 4 7
- ② 1 2 3 5 7

- ③ 1 2 5 6 7
- ④ 1 3 5 6 7
- ⑤ 2 4 5 6 7

付録.2 課題. (2)

Basic プログラミング言語による多重の反復処理課題

1. 次の内容をBasicプログラムで作成せよ

①3の九九の段を出力するBasicプログラムをFOR文を使用して作成せよ。(注1)

②1～5の九九の段を出力するBASICプログラムをFOR文を使用して作成せよ。(注2)

③1～15の九九の段を次のように出力するBASICプログラムをFOR文を使用して作成せよ。(注3)

注1) 3 6 9 12 15 18 21 24 27

注2) 1 2 3 4 5 6 7 8 9

2 4 6 8 10 12 14 16 18

3 6 9 12 15 18 21 24 27

4 8 12 16 20 24 28 32 36

5 10 15 20 25 30 35 40 45

注3) 1 2 3 4 5 6 7 8 9

2 4 6 8 10 12 14 16 18

3 6 9 12 15 18 21 24 27

4 8 12 16 20 24 28 32 36

5 10 15 20 25 30 35 40 45

2 4 6 8 10 12 14 16 18

4 8 12 16 20 24 28 32 36

6 12 18 24 30 36 42 48 54

8 16 24 32 40 48 56 64 72

10 20 30 40 50 60 70 80 90

3 6 9 12 15 18 21 24 27

6 12 18 24 30 36 42 48 54

9 18 27 36 45 54 63 72 81

12 24 36 48 60 72 84 96 108

15 30 45 60 75 90 105 120 135

### 付録.3 課題. (3)

FOR 文の 2 重ループを使用した書き取りの課題

1. 次のBASICプログラムを実行したとき表示されるもの  
を書け

```
10  FOR A=1 TO 2
20  FOR B=1 TO 3
30  PRINT A, A+B
40  NEXT
50  NEXT
60  END
```