

# プログラムのトレーシング課題の時系列データを用いた 分析方法の提案と評価

山本 樹<sup>\*1,2</sup>, 華山 宣胤<sup>\*3</sup>, 國宗 永佳<sup>\*4</sup>,

<sup>\*1</sup> 創価大学 教育・学習支援センター

<sup>\*2</sup> はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

<sup>\*3</sup> 尚美学園大学 情報表現学科

<sup>\*4</sup> 千葉工業大学 工学部

## A Method for Classification and Evaluation of Data in Chronological Order based on Patterns in Trace Tables of Program

Tatsuki YAMAMOTO<sup>\*1,2</sup>, Nobutane HANAYAMA<sup>\*3</sup>, Hisayoshi KUNIMUNE<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> Center for Excellence in Teaching and Learning, Soka University

<sup>\*2</sup> Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>\*3</sup> Faculty of Informatics for Art, Shobi University

<sup>\*4</sup> Institute of Engineering, Chiba Institute University

プログラミングを学習する過程では、学習者がプログラムの動作を思考し、思考したプロセスを自己の中で形成し、形成したプロセスを、実際のプログラムの動作と一致させることが重要である。この教育を行うため、完成したプログラムとその動作を学習者が記入する表を並べて提示した課題を用いてプログラムの動作理解を表出するためのトレーシング課題を利用した授業を実施した。この課題は、反復を学習する際に実施していることから、時系列データとして取得が可能である。本稿では、この時系列データから、いくつかの誤答パターンを抽出し分析する手順を提案する。また、実データの分析結果から学習者の誤答傾向を把握することで、提案手順の妥当性を検証する。

キーワード: プログラミング教育, 時系列データ, ダミー変数, 誤答傾向

### 1. はじめに

筆者らは、初学者を対象として手続き型構造化プログラミングの教育を行う授業を実施している。このような教育を行う中では、分岐・反復などの制御構造でつまづく学習者が多く存在することがこれまでの研究で明らかになっている<sup>(1)</sup>。その結果として、プログラムの作成が困難な学習者が多数存在する。

本研究で対象とする手続き型構造化プログラミングの場合、プログラムを作成する前に、変数、代入・

演算などの操作、順接・分岐・反復の動作順序などに関する概念について正しく理解する必要がある。これらの基本的な概念を習得した後にプログラムを作成する段階に進むことが学習のプロセスであると考えている<sup>(2)</sup>。

この学習プロセスに習い、筆者らはプログラムの基本的な概念を理解させるために、既存のプログラムの実行順や変数値の変化などの動作を追って書き出す課題（トレーシング課題）を、授業の早い段階

で実施している。その結果から、誤答した学習者には一定の誤答傾向が見られるのではないかと考えた。そこで、誤答傾向を把握し、理解が不十分な学習者を早期発見するとともに、それぞれの学習者の理解状況に合わせた、適切な指導を実施できると考えた。

トレーシング課題のデータは、プログラムの動作を逐次的に書き出した時系列データのため、通常の分析方法では、誤答傾向を把握することが難しい。さらに、トレーシング以外の問題との関連などを確認することが困難である。そこで、本稿では、トレーシング課題から取得した時系列データから、誤答と考えられるパターンにダミー変数を用いて分類することで、時系列ではないデータと同じように分析が可能な方法を提案し、この分析方法の妥当性を検証することを目的とする。そのために、因子分析結果から学習者の誤答傾向を把握する試みをする。

## 2. 関連研究

関谷ら<sup>③</sup>はプログラムの変数の値の変化を追う問題（トレーシング能力）に注目し、初心者が起こしやすい誤った解釈に基づいて、与えられたプログラムから誤った出力を得る仕組みを作成している。この仕組みを用いて、学生に与えたトレーシング課題の解答から、プログラミング初学者の誤答パターンを見いだしている。さらに、トレーシング能力と成績と期末試験の結果を比較・分析している。この研究における「トレーシング課題の解答」は、プログラムの実行終了直前における、ある（主に繰り返しや分岐の中で値が変化する）変数の値を指している。繰り返しと分岐を様々な組み合わせさせたソースコード

を用いた設問を様々な授業の受講生に解答させ、似たような構造をもつソースコードで共通に見られる誤った解釈を誤答パターンとし、この誤答パターンとの学生の成績の関係性を確認したものである。結果として、トレーシング課題の結果と期末試験の傾向に関係があり、特に for 文を解釈しない誤答のパターンに一致する学生の成績が良くない傾向があることを明らかにしている。

本研究と先行研究とは、誤答傾向を把握する点において共通している。一方、先行研究ではプログラム中の一部の変数の値のみを対象とした誤答傾向を研究しているのに対し、本研究では、変数の値の遷移や条件判断の誤答を含めた分析方法を提案するものであることが先行研究とは異なる。

## 3. 課題の形式と利用環境<sup>(4)</sup>

本研究で使用した課題形式は、ビジュアルプログラミング環境 AT<sup>(5)</sup>を用いた。提示方法は、プログラムとその動作を学習者が記入するための表を並べて提示している。表の各行と各列は、プログラムの各行と各変数にそれぞれ対応しており、プログラムの各行の実行結果を、表の同じ行の対応する変数の列に記入する。また、反復のプログラムで課題を提示する場合、同じ行が複数回実行されるため、実行される回数に応じて右方向に同様の表を並べている。ある行が反復して実行された場合には、左隣の表へ移動し結果を記入することで、プログラムの全ての動作を記録することができる。実行結果として表に記入する項目は、(1) 変数の値の変化、(2) 条件判断、(3) 入力、出力された値、(4) 代入された値の



図 1 AT 上で実装したトレース課題

4つである。

変数が宣言されたときや変数の値に変化が生じたときには、変数の値を表の対応する列に記入する。変数の値が不定であるときには、不定である旨を記入する。また、条件判断の結果についてはその真偽を、表の対応する列のセルの色を、真なら青、偽なら赤で表現する。セルの色を変更した同じセルに変数の値の変化も記入することができる。変数の値を出力した場合にはその値を、表の対応する列に記入する。この形式の課題で提示するプログラムについて、以下4つの制約のもとで提示している。(1) 行に複数の文を含めない、(2) 1行で複数の代入を行わない、(3) 計算や条件判断は単独の二項演算のみで行う。この制約によって、1行で複数の変数の値が変化することや複数の条件判断が行われることがない。なお、授業ではこの課題形式を「トレース課題」と提示していることから、今後、この課題形式をトレース課題と記す。

## 4. 分析用データ<sup>(6)</sup>

### 4.1 対象授業と対象者

対象授業は、尚美学園大学芸術情報学部情報表現学科の1年次秋学期配当の必修科目「プログラミング初級演習1」である。この授業は1回90×2コマの演習形式の授業で、対象者はこの授業の2015年度、2016年度の履修者（再履修者を含む）である。初級演習1では、授業の初段階でATを利用し、基本的なプログラムの動作を学習し、中期以降C言語を用いたプログラムを作成させる授業を行っている。

トレース課題は反復を学習する授業で使用した。授業では、反復の動作や概念の説明をし、トレース課題の記入方法の説明を行った後、トレース課題を提示している。課題は授業全体で7問提示した。

### 4.2 対象データ

ATを利用した授業終了後、中間試験を実施した。この試験の中でトレース課題を2問出題した。なお、試験は、同日にAグループ、Bグループの2グループに分けて実施している。Aグループの受験者は119名、Bグループは83名である。また、それぞれのグループは別時間に試験を実施のため、A、Bグ

ループに同じ問題を提示できないことから、別の問題を出題した。但し、プログラムの構成は同じとしている。

(問題1) 入力, 反復 {算術演算 (乗算)}, 出力  
(問題2) 入力, 反復 {分岐, 算術演算 (加算)}, 出力

両グループのプログラム違いは、算術演算式で用いた「即値」の値と、入力値のみである。

(問題1)のプログラムをC言語で下記に示す。Aグループに提示した問題を「A-1」と呼び、Bグループに提示した問題を「B-1」と呼ぶ。

(A-1) 入力値は「5」とする。

```
int k ,n, i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    k = i * 7;
    printf("%d¥n",k);
}
```

(B-1) 入力値は「4」とする。

```
int k ,n, i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    k = i * 5;
    printf("%d¥n",k);
}
```

(問題2)のプログラムをC言語で示す。Aグループに提示した問題を「A-2」と呼び、Bグループに提示した問題を「B-2」と呼ぶ。

(A-2) 入力値は「5」とする。

```
int k ,n, a, i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    a = i % 3;
    if(a != 0){
        k = k + 1
    }
}
printf("%d¥n",k);
```

(B-2) 入力値は「4」とする。

```
int k ,n, a, i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
```

```

for(i = 1; i <= n; i++){
    a = i % 2;
    if(a != 0){
        k = k + 1
    }
}
printf("%d¥n",k);

```

## 5. 分析手順

それぞれの問題毎に、誤答箇所を7項目で抽出している(参照5.1)。なお、誤答箇所の抽出では、「値」と「真偽」の誤答のみを抽出し、どのように誤答したかは抽出していない。その後、この抽出結果から、教授者の経験則を用いて7項目の誤答パターンに分類した。その際、ダミー変数を用いた(参照5.2)。この誤答パターンの項目の妥当性を検証するため、因子分析を用いて確認した(参照6)。

### 5.1 誤答箇所の確認<sup>(6)</sup>

中間試験で提示したトレース課題で、誤答した箇所を、A-1、A-2、B-1、B-2それぞれの問題に対し、下記の7項目で抽出した。

- (1) 解答に超過しているセル：正解では空白だが、解答では値が書かれている
- (2) 解答に不足しているセル：正解では値が書かれ

ているが、解答では空白

- (3) 解答の値が誤っているセル：正解と同じ箇所だが、値が誤っている
- (4) 真の超過セル：正解では真になっていないが、解答では真になっている
- (5) 真の不足セル：正解では真になっているが、解答では真になっていない
- (6) 偽の超過セル：正解では偽になっていないが、解答では偽になっている
- (7) 偽の不足セル：正解では偽になっているが、解答では偽になっていない

1つの項目に該当する誤りが複数箇所ある場合、誤答した箇所すべてが抽出される。

### 5.2 変数の値の誤答と条件判断の誤り箇所のみでの検証

5.1で取得した結果からは、一見すると一般的な分析手順が見当たらない。そこで、まず、このデータから変数の値についての誤答と、真偽判定の誤答について、変数の値や条件判断を誤っている場合「1」、誤りが無い場合「0」のダミー変数で表し、誤答傾向が把握できるか確認するため、因子分析を行った。因子分析を行う際には、問題1、問題2とも、Aグループ、Bグループの提示問題に即値以外の違いがないことから、(A-1)と(B-1)を合わせて

表1 問題1 1年次の因子分析結果

(N=161)

	因子1	因子2	因子3
変数iの真偽判定	0.928	0.087	0.162
変数iの値の間違い	0.792	0.168	0.132
変数nの値の間違い	0.032	0.840	0.193
変数kの値の間違い	0.251	0.807	-0.214
変数i以外の真偽判定	0.130	0.005	0.534

表2 問題1 1年次の因子寄与率

因子No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.57	31.38%	31.38%
2	1.39	27.86%	59.24%
3	0.41	8.23%	67.48%

表3 問題2 1年次の因子分析結果

(N=157)

	因子1	因子2	因子3
変数iの値の間違い	0.960	0.256	0.079
変数iの真偽判定	0.826	0.337	0.001
変数aの真偽判定	0.207	0.761	0.146
変数kの値の間違い	0.229	0.643	0.048
変数nの値の間違い	0.246	0.074	0.677
変数i,a以外の真偽判定	-0.141	0.088	0.676

表4 問題2 1年次の因子寄与率

因子No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.78	29.64%	29.64%
2	1.19	19.76%	49.40%
3	0.94	15.74%	65.14%

分析し、同じく (A-2) と (B-2) を合わせて分析している。

ダミー変数を用いた理由は、誤答箇所の個数ではなく、誤答した位置を把握するためである。また、このデータを用いることで、他の多変量解析にも適用可能となる。

結果を見ると、因子寄与率も高く、妥当な因子分析と判断できるものの、これだけでは、誤答傾向が把握できてない。つまり、授業内での誤答傾向の把握と、それによる指導に活かすことが難しい。そこで、誤答パターン項目を作成し同様の分析を試みた。

### 5.3 誤答パターン項目によるデータの生成<sup>(6)</sup>

5.2 の結果では、多くの教授者が一般的に考える誤答傾向であり、その後の指導に活かすことが難しい。そこで、誤答パターン項目を用意し、項目に該当する場合「1」を、該当しない場合「0」のダミー変数で表した。次に、誤答パターン項目の妥当性を検証するため、因子分析を行った。

まず、教授者の経験則から、誤答と考えられる項目を下記の7つに分類し、誤答パターンを作成した。

- (a) Verify truth : 真偽について誤りがある
  - (b) Understanding rule : 変数 k, n, i のすべてに対し超過がある
  - (c) Understanding command : いずれかの変数について、誤った値が書かれている
  - (d) Understanding constant value : 変数 n について、過不足・誤りがある
  - (e) Understanding loop : 変数 i について、過不足・誤りがある
  - (f) Careless for [i] : 繰り返し 1, 2 回目の変数 i について過不足・誤りがなく、それ以外で変数 i について過不足・誤りがある
  - (g-1) Careless for [k] : 繰り返し 1, 2 回目の変数 k について過不足・誤りがなく、それ以外で変数 k について過不足・誤りがある (問題 1 のみ)
  - (g-2) Careless for [k] and [a] : 繰り返し 1, 2 回目の変数 k, a について過不足・誤りがなく、それ以外で変数 k, a について過不足・誤りがある (問題 2 のみ)
- この項目では、例えば、(f)「Careless for [i]」

では、反復の 2 回目以降に変数 i の値を間違える学習者は関係演算子の理解不足と考えられる。一方、(e)「Understanding loop」では、反復の 1 回目から変数の値を間違えており、for 文の動作自体がわかってないと考えられる。

### 5.4 因子分析による誤答パターン項目の検証

5.3 の項目が妥当であるかを検証するため、因子分析を行った。因子分析を行う際には、問題 1, 問題 2 とも、A グループ、B グループの提示問題に即値以外の違いがないことから、(A-1)と (B-1) を合わせて分析し、同じく (A-2) と (B-2) を合わせて分析している。

また、本研究では、履修者の中の 1 年次と再履修者のそれぞれでの誤答パターンの項目の妥当性と誤答傾向を把握するため、問題 1, 2 それぞれの問題に対し、1 年次と再履修者を分けて因子分析を行った

#### 5.4.1 問題 1 の誤答パターン項目の検証

##### 5.4.1.1 1 年次の検証

1 年次の因子分析の結果と、因子寄与率を表 3, 4 に示す。結果、第 1 因子は寄与率が 22.64%で、「Careless for [i]」と「Verify truth」の項目に高い負荷量が表示されていることから、繰り返しの概念理解についての因子と考える。第 2 因子は寄与率が 19.44% で、「Understanding rule」と「Understanding constant value」の項目に高い負荷量が表示されていることから、変数の変化する位置の理解についての因子と考えられる。第 3 因子の寄与率は 13.80%で「Understanding loop」の項目に高い負荷量が表示されていることから、繰り返しの理解についての因子と考えられる。しかし、3 つの因子の累積寄与率は 53.88%となり、因子解釈の点からは妥当なものとは判断しかねる。「Understanding loop」の項目に高い負荷量が表示されていることから、繰り返しの理解についての因子と考えられる。しかし、3 つの因子の累積寄与率は 53.88%となり、因子解釈の点からは妥当なものとは判断しかねる。

##### 5.4.1.2 再履修者の検証

再履修者 (2 年次~4 年次) の因子分析の結果と、因子寄与率を表 5, 6 に示す。なお、「Understanding

表 5 問題 1 誤答パターン項目を用いた

1 年次の因子分析結果

(N=161)

	因子 1	因子 2	因子 3
Careless for [i]	0.921	0.013	-0.118
Verify truth	0.739	0.195	0.317
Understanding rule	0.198	0.878	0.155
Understanding constant value	-0.004	0.732	-0.001
Understanding loop	0.027	0.128	0.751
Understanding command	0.100	-0.012	0.462
Careless for [k]	-0.009	0.018	0.221

表 6 問題 1 1 年次の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.44	20.64%	20.64%
2	1.36	19.44%	40.08%
3	0.97	13.80%	53.88%

rule」と「Understanding constant value」の項目の変数の値が、すべて同じであったことから、この 2 つの項目を合わせ「Understanding rule& constant value」項目として分析している。結果、第 1 因子は寄与率が 39.70%で、「Understanding loop」, 「Understanding command」, 「Verify truth」の項目に高い負荷量が示されている。これらは、繰り返しの動作に関する項目、繰り返しの中にある算術演算に関する項目、繰り返し文にある条件判断に関する項目であることから、繰り返しの概念と動作の理解についての因子と考える。第 2 因子は寄与率が 19.84%で、「Understanding rule & constant value」項目に高い負荷量が、「Careless for [k]」項目にマイナスの負荷量が示されていることから、変数 k を除いた変数の変化する位置の理解についての因子と考えられる。第 3 因子の寄与率は 12.57%で「Careless for [i]」との項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの理解についての因子と考えられる。3 つの因子の累積寄与率は 72.11%となり、因子解釈の点からは妥当なものとは判断できる。

(N=41)

	因子 1	因子 2	因子 3
Understanding loop	0.942	-0.230	-0.226
Understanding command	0.921	0.205	-0.044
Verify truth	0.797	-0.372	0.360
Understanding rule & constant value	-0.058	0.662	-0.166
Careless for [k]	0.058	-0.662	0.166
Careless for [i]	-0.055	-0.285	0.719

表 8 問題 1 2015 年度再履修者の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	2.38	39.70%	39.70%
2	1.19	19.84%	59.54%
3	0.75	12.57%	72.11%

## 5.4.2 問題 2 の誤答パターン項目の検証

## 5.4.2.1 1 年次の検証

1 年次の問題 2 の因子分析の結果と、因子寄与率を表 7, 8 に示す。

結果、第 1 因子は寄与率が 17.15 で、「Careless for [i]」項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの概念理解についての因子と考える。第 2 因子は寄与率が 16.45%で、「Verify truth」と「Understanding rule」項目に高い負荷量が示されていることから、条件判断の変数の変化の位置の理解についての因子と考える。第 3 因子は寄与率が 12.35%で、「Careless for [k] and [a]」項目に高い負荷量が示されていることから、分岐の中の算術演算、つまり分岐の真偽判定の結果で算術演算が実行されるか否かの理解についての因子と考えられる。しかし、3 つの因子の累積寄与率は 46.37%のため、因子解釈の点からは妥当なものとは判断しかねる。

## 5.4.2.2 再履修者の検証

問題 2 の再履修者の因子分析の結果と、因子寄与率を表 9, 10 に示す。なお、「Understanding constant value」項目の変数の値がすべて「0」であったため、この項目を除いて分析した。

結果、第 1 因子は寄与率が 24.22 で、「Verify truth」, 「Understanding rule」, 「Careless for

「[k] and [a]」項目に高い負荷量が示されている。これらは、繰り返し文の真偽判定と分岐の真偽判定に

問題 2 では、第 1 因子に「Careless for [i]」、第 2

表 9 問題 2 誤答パターン項目を用いた  
1 年次の因子分析結果

(N=157)

	因子 1	因子 2	因子 3
Careless for [i]	0.946	-0.078	0.174
Verify truth	0.444	0.664	0.099
Understanding rule	0.326	0.639	0.387
Careless for [k] and [a]	0.160	-0.081	0.728
Understanding command	0.010	0.353	0.381
Understanding constant value	-0.017	0.179	-0.017
Understanding loop	-0.078	0.364	0.017

表 10 問題 2 1 年次の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.23	17.57%	17.57%
2	1.15	16.45%	34.02%
3	0.86	12.35%	46.37%

関する項目、繰り返しの中にある算術演算の結果を代入する変数と算術演算の結果を用いた分岐の変数に関する項目、さらに、変数の変化する位置に関する項目が含まれていることから、繰り返し・分岐双方の概念と動作理解についての因子と考えられる。第 2 因子は寄与率が 18.10%で、「Understanding command」と「Understanding rule」項目に高い負荷量が示されていることから、算術演算に関係する変数の変化する位置の理解についての因子と考える。第 3 因子は寄与率が 17.55%で、「Understanding loop」項目に比較的高い負荷量が示されていることから、繰り返しの動作理解についての因子と考えられる。3 つの因子の累積寄与率は 59.87%のため、因子解釈の点から因子項目が妥当なものと判断できる。

## 5.5 誤答傾向の把握の試み

### 5.5.1 1 年次の誤答傾向

1 年次は、問題 1 の第 1 因子に「Careless for [i]」と「Verify truth」項目が分類されているのに対し、

表 11 問題 2 誤答パターン項目を用いた  
再履修者の因子分析結果

(N=38)

	因子 1	因子 2	因子 3
Verify truth	0.757	0.123	0.292
Understanding rule	0.637	0.516	-0.055
Careless for [k] and [a]	0.521	0.103	0.001
Understanding command	0.218	0.865	0.146
Understanding loop	0.022	0.105	0.956
Careless for [i]	0.394	0.187	-0.171

表 12 問題 2 再履修者の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.45	24.22%	24.22%
2	1.09	18.10%	42.33%
3	1.05	17.55%	59.87%

因子に「Verify truth」項目が分類されている。これは、分岐の条件判断と繰り返しの条件判断の誤答傾向は別であることを示していると考えられる。

### 5.5.2 再履修者の誤答傾向

再履修者については、問題 1、問題 2 とともに第 1 因子に「Verify truth」と「Understanding rule」項目が含まれている。これは、繰り返しの真偽判定での誤答と、分岐での真偽判定での誤答の相関が強いということが考えられる。つまり、繰り返しと分岐双方の真偽判定に誤答が起こる可能性が高いと言える。また、問題 1 では、第 2 因子で「Careless for [k]」項目がマイナスの負荷量であったのに対し、問題 2 では、「Careless for [k] and [a]」項目が第 1 因子でプラスの負荷量となっている。これは、繰り返しと分岐の動作の理解ができていない傾向が示されていると考える。これらのことから、再履修者の特徴として、条件判断の誤答が、プログラムの動作の理解の妨げとなっていると考えられる。

## 5.6 誤答パターン項目の検討

5.5 の誤答傾向をあわせて、因子分析結果と因子負荷量をもとに、誤答パターン項目の妥当性を検討する。

まず、1年次、再履修者共通して、問題2の第2因子に「Understanding rule」項目が含まれていることから、「Understanding rule」項目は妥当だと考えられる。

1年次の因子分析結果を確認すると、問題1の第1因子に「Careless for [i]」と「Verify truth」項目が、問題2では、第1因子に「Careless for [i]」、第2因子に「Verify truth」項目が分類されていたことから、この2項目は妥当だと考える。一方、「Understanding command」項目が、どの因子にも属さない結果となったことから、この項目は再考する必要がある。

再履修者の因子分析の結果を確認すると、問題1、問題2で共通に、第1因子に「Verify truth」と「Understanding rule」項目が含まれていることから、この2項目は妥当だと考えられる。また、問題1では、第2因子で「Careless for [k]」項目がマイナスの負荷量、問題2では、「Careless for [k] and [a]」項目が第1因子でプラスの負荷量となっていた。この結果から、誤答傾向の把握が可能のため、この項目も妥当だと考える。

## 6. まとめと今後の課題

本稿では、プログラミングを学習する際に、完成したプログラムとその動作を学習者が記入するための表を並べて提示した課題（トレーシング）を、ビジュアルプログラミング環境上で実装し授業で実施した。トレーシング課題を中間試験で実施し、その誤答箇所を抽出し、さらに、教授者が誤答と考えるパターンを7項目用意し、その項目に該当するか否かを、「1」、「0」のダミー変数で表した。この誤答パターンの項目が妥当か否かを判断するために、因子分析を用い、妥当性を検証した。結果、7つの項目中「Verify truth」、「Understanding rule」、「Understanding loop」、「Careless for [i]」、「Careless for [k]」、「Careless for [k]and[i]」に

ついては、全ての問題と学年の因子負荷量から、妥当な項目であると考えられる。しかし、「Understanding command」と「Understanding constant value」については、因子に寄与しない項目、因子負荷量が低いことから、項目の再検討が必要であることがわかった。

誤答傾向の把握については、再履修者の誤答傾向から見て、関係演算子に関する誤答がプログラムの動作の理解の妨げとなっていると考えられることが確認できた。このことから、1年次の授業直後にこの分析を実施し、条件判断に多くの誤答がある学習者に対して関係演算子の理解を促す課題を追加するなどの対応をすることで、分岐だけでなく繰り返しの動作理解を促すことが可能であると考えられる。

今後は、上記2つの誤答パターン項目の再検討を行う。また、授業内の課題で学習者が提出した解答の中で、最初の提出で誤答があった解答が正解になるまでの過程を分析する予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 26350284, 15K01023 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- (1) IT 総合戦略本部, 世界最先端 IT 国家創造宣言, June 2015, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryoku1.pdf> (2017年4月10日アクセス)
- (2) 文部科学省, 中学校学習指導要領, March 2008. [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/icsFiles/a\\_eld\\_le/2015/03/26/13562511.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/icsFiles/a_eld_le/2015/03/26/13562511.pdf) (2017年4月10日アクセス)
- (3) 関谷貴之, 山口和紀, 山本三雄: "初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答に関する分析", 情報教育シンポジウム2012論文集 2012(4), 113-120 (2012)
- (4) 湯沢航太, 國宗永佳, 新村正明: "プログラムの動作理解を表出する課題形式の提案", 信学技法, ET2016-2, pp.49-52 (2016)
- (5) 小林慶, 國宗永佳, 香山瑞恵: "アルゴリズム的思考法教育を支援するビジュアルプログラミング環境の開発", 教育システム情報学会研究報告, vol.27, no.4,

pp.3-8 (2012)

- (6) 山本樹, 華山宣胤, 國宗永佳: "プログラムの動作理解を表出する課題の実践と評価", 教育システム情報学会研究報告, vo31,no7,pp.219-226 (2017)