

## プログラミングのスキル階層に関する研究

山本三雄<sup>†1</sup> 関谷貴之<sup>†2</sup> 山口和紀<sup>†1</sup>

機能を説明した文を示されてコードを書くことができない学習者でも、サンプルプログラムの真似をすればコードを書くことができる人がいる。そこで、サンプルプログラムから修正改造するスキルを Modification として提案する。提案スキルは、繰り返し構造の有無によって "Modification1", "Modification2" とする。そして、文献<sup>1)</sup>にあるプログラミング関連スキル "Basics", "Sequence", "Tracing1", "Tracing2", "Explain", "Writing" を加えた 8 スキルで、Modification は、どの位置にあるのか調査した。調査は、各スキルを測定できる問題を作問して、測定実験を行い、得られたデータを分析した。この結果、Modification は、必ずしも完全ではないが、独立するスキルとして存在し、スキル階層の比較的下位に位置していることが分かった。

### Research on programming skill hierarchy

MITSUO YAMAMOTO,<sup>†1</sup> TAKAYUKI SEKIYA<sup>†2</sup>  
and KAZUNORI YAMAGUCHI<sup>†1</sup>

Even the learner who cannot write the code is shown the sentence that explains the function and if the sample program is imitated, has the person who can write the code. Then, It proposes the skill that does the correction remodeling from the sample program as Modification. The proposal skill is repeatedly assumed to be "Modification1" and "Modification2" by structural presence. And, the skill related to the programming that exists in the paper 1). Modification investigated at which position by eight skills that added "Basics", "Sequence", "Tracing1", "Tracing2", "Explain", and "Writing". The creation of exam questions does the problem that each skill can be measured to the investigation. The measurement experiment was conducted, and acquired data was analyzed. As a result, the Modification has understood it exists as an independent skill though it is not necessarily complete, and the skill hierarchy is comparatively located in the subordinate position.

### 1. はじめに

プログラミング学習者の中には、機能を説明した文を示されてコードを書くことができない人がいる。しかし、コードが書けない学習者の中には、サンプルプログラムの真似をすればコードを書くことができる学習者がいる。このような学習者が見受けられることから、コードを真似て書くスキル (能力) と、コードの機能を説明した文からコードを書くスキル (能力) とは、異質なもので隔たりがあるのではないかと考えた。コードを真似て書くスキルを取り上げた訳は、プログラミング教育方法のひとつの方法として見受けられるが、コードを書くスキルにどの程度効いているか明らかにしたかったからである。

ここでスキルについて少し説明する。文献<sup>1)</sup>では、プログラミングに関係するスキルとして、様々なスキルが示されている。たとえば、コードを書くスキルは、機能の説明が与えられたメソッドを使って、求められる処理を実行できるコードを書くことができるスキルである。プログラムを説明するスキルは、示されたプログラムのソースリストを見て、その機能について簡潔に説明できるスキルである。トレーススキルは、プログラム動作に従って、変数などの値の変化を把握できるスキルである。また、これらのスキルの中には、繰り返し構造 (for や while 命令などでの繰り返し処理) の有無によって、別なスキルとして扱うものもある。なおスキルの詳細については、3.2 節で述べる。

このようなスキル間の関係をスキル階層として表現する。たとえば、「a スキルと b スキルが基礎となって c スキルができる。」という場合が見られることから、スキル間の関係をスキル階層として捉えることにする。

文献<sup>1)</sup>では、プログラミングに関連する様々なスキルを示して、そのスキル間の階層関係を実験データから示した。たとえば、コードを書くスキルに近い関係のスキルは、プログラムを説明するスキルと、繰り返し構造のあるプログラムのトレーススキルであることを示した。なおスキル階層の詳細については、2 章で述べる。

研究目的は、次の点である。

- Modification スキルは、独立して存在するか。もし独立に存在しているとすれば、文献<sup>1)</sup>が示しているプログラム関連スキル階層の中でどの位置にあるか。また独立して

<sup>†1</sup> 東京大学大学院総合文化研究科

Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

<sup>†2</sup> 東京大学情報基盤センター

Information Technology Center, The University of Tokyo

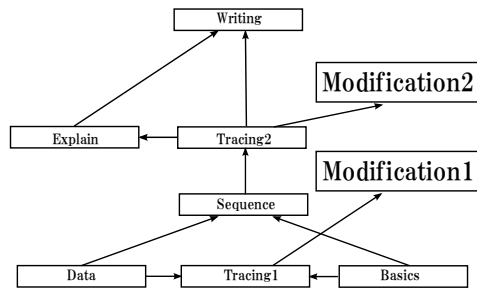


図1 プログラミング関連スキル階層(仮説)  
Fig.1 Hierarchy of skill related to programming(Hypothesis)

存在していなければ、どのスキルとの組み合わせなのかを明らかにする。

なお Modification スキルが独立に存在するとは、Modification スキルが、個別に分けて修得するもので、それ以外とは異なるスキルであることを意味する。

研究目的を達成するために、文献<sup>1)</sup>で示されていなかった Modification スキルを含めたスキル群を考えて、文献<sup>1)</sup>のスキル階層(図2)と本研究で行った実験で得られたスキル階層、及びスキル階層の仮説(図1)との違いを確認する。なお、Modification とは、サンプルプログラムを参考に、サンプルプログラムに類似したプログラムを書くスキルのことである(詳細は、3.1節で述べる)。

測定問題は、文献<sup>1)</sup>のスキル群を測定する問題に Modification スキルを測定する問題を加え、文献<sup>1)</sup>の記述を基に、できるだけ設問の観点や難易度が同程度となるよう新たに作成した。この測定問題を初級プログラミング学習者に回答してもらう実験を行い、その結果から得られたデータを分析することとした。

本論文の構成は、以下のようになっている。2章は、関連研究について説明する。3章は、用語の説明、測定問題について説明する。4章は、実験結果と考察である。なお測定実験は3回行ったので、4.1節から4.3節で実験ごとに説明し、4.4節で3回の実験を横断的に見た考察を述べている。そして、5章は、結論である。なお、巻末に付録として測定問題の例をあげている。

## 2. 関連研究

これまでプログラミング初学者を対象としたスキルの研究については、文献<sup>2)</sup>などがある。この報告は、コードを書けない原因について調査分析手法について、新たな評価基準(General Evaluation Criteria)(DoC Evaluation Criteria)を提案し、これらの尺度を使って実験データを分析して示した。プログラミング関連スキル間の関係を報告しているものは、文献<sup>3)</sup>などがある。この文献は、コードが書けない学習者は、トレーススキルとプログラミングの基礎知識が欠けていることを示した。文献<sup>4)</sup>は、プログラムを読み取るスキルがない学生は、問題を解くスキルが欠けていることを示した。コードトレーススキルとコード説明スキル間の関係を報告しているものとして、文献<sup>5)</sup>がある。コードトレースができない学生達は、コードの説明が通常出来ないこと。Writing スキルを身につけている学生達は、コードトレースとコードの説明スキルの両方を身につけていることを報告している。しかし、これらの文献は、プログラミング関連スキルの階層的な分析は行っていない。

プログラミング関連のスキルを階層的に捉えている点で、本研究に最も関連しているのは、文献<sup>1)</sup>である。この文献では、プログラミングに関連するスキルを測定する問題の回答結果のデータから、スキル階層(図2)を示しているが、プログラムを修正改造するスキルについては取り上げられていない。図2から、Tracing1 - Writing間、Tracing2 - Writing間は、近い関係であること、Explain(読解) - Writing間は近い関係であることなどが読み取れる。また、この文献と異なる組織のデータを使って、コードを読み取るスキルとコードを書くスキル間の関係を調査して、両者の間に強い正の相関であることを示したものに、文献<sup>6)</sup>がある。なお、スキルの詳細は、3.2節で述べる。

## 3. 用語とスキルの説明

### 3.1 用語の説明

本論文では Modification を以下の意味で用いる。

**Modification** 「示されたサンプルプログラムを修正・改造して、サンプルプログラムとは異なる機能を有するプログラムを作成する能力のこと」の意味とする。文献<sup>1)</sup>で Tracing を Tracing1(繰返しのない構造)、Tracing2(繰返し構造)と分類しているので、それに合わせて Modification も次の2つに分ける。Modification1は、繰返しがない構造のプログラムの修正・改造とし、Modification2は、繰返し構造があるプログラムの修正・改造と分ける。

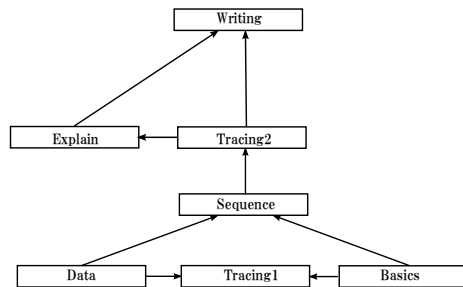


図 2 プログラミング関連スキル階層(文献<sup>1)</sup>より引用)  
Fig.2 Hierarchy of skill related to programming(Quotation from paper<sup>1)</sup>)

### 3.2 スキルと測定問題の説明

#### 3.2.1 既存研究のスキル

スキルの説明, 及び文献<sup>1)</sup>で実施した Java によるスキル測定問題の内容について説明する. なおこの節の問題例は, 文献<sup>1)</sup>より引用した.

##### (1) Basics

Basics は, プログラムの基本的な構造を理解できるスキル, 一般的なプログラム用語の定義が答えられるスキル, シンタックスエラーを発見できるスキルである.

たとえば Basics は, 次のような問題で測定できる.

- 用語(代入, コンパイラ, コンストラクタ, デバッカ, メソッド, オーバレイ, 変数)と, その説明を結びつける問題.
- 用語とコードの組み合わせ問題.
- コードに存在するシンタックスエラーを発見するような問題

##### (2) Sequence

Sequence は, 処理内容の説明を理解して, 空欄となった行に入る命令が分かるスキルである.

たとえば, Sequence は, 次のようにコードを正しく並べ替えるような問題で測定できる(文献<sup>1)</sup>).

```
A. if( sWord.charAt(i) == toCount)
B. for( int i = 0; i < sWord.length(); i++)
C. return count;
D. int count = 0;
E. public int countLetter(String sWord, char toCount)
F. count++;
```

##### (3) Tracing1

与えられた繰り返し構造のないコード実行の様子を頭の中でシミュレートできるスキルである. たとえば, 初期化直後の 3 つの代入文

```
a += 2;
b -= 4;
c = b * a;
```

の実行によって変更された 3 つの変数の値を求めるような問題で測定できる(文献<sup>1)</sup>).

##### (4) Tracing2

繰り返し構造のあるコードをトレースして, 実行終了時の変数を示すようなスキルである. たとえば, メソッドの戻り値の値を答える問題や(繰り返し構造の中に"if"を含む場合で,) 戻り値の値を答えるような問題で測定できる. たとえば, 次のような問題(文献<sup>1)</sup>の Question7D,a while loop)で測定できる.

```
public int q7D(int iLimit)
{
    int iIndex = 0;
    int iResult = 0;
    while (iIndex <= iLimit)
    {
        iResult += iIndex;
        iIndex++;
    }
    return iResult;
}
```

##### (5) Exceptions

例外的概念を理解できるスキルである。たとえば、次のようなコードがあったとき、q7E(null) と呼ばれたときに、起こることを回答するような問題で測定できる(文献<sup>1)</sup>)。

```
public int q7E(int[] aNumbers)
{
    int iResult = 0;
    for (int iIndex = 0; iIndex < aNumbers.length; iIndex++)
    {
        if ( aNumbers[iIndex] > iResult)
        {
            iResult = aNumbers[iIndex];
        }
    }
    return iResult;
}
```

(6) Data

データ型を理解できて正しく変数宣言できるスキル。そして、スコープを理解できて正しく用いることができるスキルである。

たとえば、コード中に小さなエラーがあって、コンパイルしても期待通りに動かない原因を答えるような問題や、5つのデータ型 (ArrayList, Boolean, double, int, String) と「学生名」「結婚 or 未婚」などのデータ表現を結びつけるような問題で測定できる。

(7) Writing

与えられたメソッドを使って指定されたタスクをコード記述できるスキルである。

たとえば、与えられた Java メソッドで、次のようなルールで単語を生成して書くような問題で測定できる。単語生成のルールは「DJ で始まる。続いてペット名、あなたのファーストネームの最初の3文字、あなたの母親の旧姓の最初の2文字」であった。与えられたメソッドの一部を紹介すると、String substring(int beginIndex, int endIndex) があり、このメソッドの説明が記述されている。

(8) Explain

与えられたコードの機能や働きを平易な文章で説明できるスキルである。

たとえば、次のような問題(文献<sup>1)</sup>の Question10B,a reading question) を説明する

ような問題で測定できる。

```
public void method 10B(int iNum)
{
    for(int iX = 0; iX < iNum; iX++)
    {
        for(int iY = 0; iY < iNum; iY++)
        {
            System.out.print("*");
        }
        System.out.println();
    }
}
```

(9) General

与えられたトピックスについて説明できるスキルである。

たとえば、与えられた幾つかの中から1つのトピックスを選んで、説明を明瞭な4~5行の文で記述するような問題で測定できる。トピックスは、たとえば「今学期、書いたコードをどのようにテストしたか論じなさい。」という問題である(文献<sup>1)</sup>)。

### 3.3 提案スキル Modification

Modification は、3.1 節で示したスキルである。実験で使用した測定問題の一例を紹介する。

(1) Modification1

繰り返し構造のないサンプルプログラムからの修正・改造ができるスキルである。修正・改造後も繰り返し構造はない。

たとえば、次のような問題で測定できる。

問題 次の [改造点] となるように、サンプルプログラムを修正してください。  
[サンプルプログラム] 入力した2組の整数の和が、偶数か奇数かを表示します。  
[行番号]

```
1 import java.util.Scanner;
2 class Q1410{
3     public static void main(String[] args){
```

```
4 Scanner stdIn = new Scanner(System.in);
5 System.out.print("整数 A = ");
6 int a = stdIn.nextInt();
7 System.out.print("整数 B = ");
8 int b = stdIn.nextInt();
9 a = a + b;
10 if (a % 2 == 0){
11     System.out.println("偶数");
12 }else {
13     System.out.println("奇数");
14 }
15 }
16 }
```

[改造点] 入力した 2 組の整数が「両方とも奇数」、「片方が奇数」、「両方とも偶数」かを判定し、いずれかを表示する。

[改造後の実行例]

```
>java Q1410
整数 A = 4
整数 B = 6
両方とも偶数
```

```
*          ****
**         ***
***        **
****       *
```

[行番号]

```
1 import java.util.Scanner;
2 class Q1411{
3     public static void main(String[] args){
4         Scanner stdIn = new Scanner(System.in);
5         System.out.print("dan = ");
6         int a = stdIn.nextInt();
7         for (int i = 1; i <= a; i++){
8             for (int j = 1; j <= a - i; j++)
9                 System.out.print(" ");
10            for ( int j = 1; j <= i; j++)
11                System.out.print("*");
12            System.out.println();
13        }
14    }
15 }
```

## (2) Modification2

繰り返し構造のあるサンプルプログラムからの修正・改造ができるスキルである。修正・改造後も繰り返し構造がある。

たとえば、次のような問題で測定できる。

問題 次のサンプルプログラムを [改造後の実行例] となるよう修正してください。

[サンプルプログラム] 直角三角形を表示するプログラムです。

[実行例]                      [改造後の実行例]

```
>java Q1411                      >java Q1411
dan = 4                              dan = 4
```

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 第 1 回 C 専門学校での実験

#### 4.1.1 実験目的

実験目的は、1 章で述べた点である。

#### 4.1.2 実験概要

3.2 節で述べたプログラミング関連スキルに対応した問題を文献<sup>1)</sup>の説明に沿って新たに作問して、初級プログラミング学習者を被験者として測定実験を行った。得られた実験データを統計分析した（詳細は、4.1.3 節で述べる）。被験者は、情報系専門学校において主に

プログラミングを学ぶ学科に所属する学習者、及び大学でプログラミングを専門としていない一般学習者とした。情報系専門学校やプログラミングを専門としない一般の学習者を実験対象としたのは、実験の受け入れを快く許可していただけたのと、多数の学習者がプログラミングの初学者であること、及び、被験者集団は、習得スキルの程度が様々であったからである。このような学習者を被験者としたのは、得点分布が偏ると被験者が少ないので分析結果が得られない可能性を防止できるのではないかと考えたからである。また、全くの初心者でなく2年次の学習者を対象とした訳は、C専門学校に1年次の学生がいなかったことと、学校の都合から夏休み前後の期間にのみ実験を受入れ可能だったからである。

#### 4.1.2.1 実験条件

今回の実験の被験者などは、次のとおりである。

被験者 C専門学校プログラマ養成学科学生

履修状況 1年次前期でプログラミング基礎としてC言語を履修後、1年次後期から2年次前期の期間でJavaを必須科目として履修している。

実施日時 2009年7月13日(月)

測定時間 90分2コマ

測定人数 2年次学生15名

測定問題のプログラム言語 Java

測定スキル 10スキル:Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Explain, Writing, Modification1, Modification2, Exceptions, Data

測定問題数 50問(25問の2セット)

#### 4.1.2.2 測定問題

測定するスキルは、Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Exceptions, Data, Explain, Writing, Modification1, Modification2の10スキルとした。各スキルを測定する問題は、Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Exceptions, Data, Explain, Writingについては、文献<sup>1)</sup>の問題内容の記述や問題例を基に作問した。提案するModification1及びModification2の問題は、3.1節で述べた用語の説明を基に作問した。作問に際しては、プログラミング教育を担当する大学教員や、プログラミング教育を受けたことのある大学院生の意見を参考にして測定用の問題を作成した。なお完成した測定問題は50問である。

なお今回の実験では、実験に協力していただいた学校の時間的な制約(90分2コマ)があったので、50問を25問ずつ2つに分けて試験時間各セット90分で実施した。問題順による測定への影響を極力除くために、問題順がスキル順とならないように、問題順番をラン

ダムに並べ替えた。

#### 4.1.3 分析手法の概要

実験データは、スキルごとにクロンバックの信頼性係数を求めて内部整合性を確認した。内部整合性を確認した訳は、同じスキルを測定する複数の測定問題の一貫性を取れたものを分析に採用したかったからである。次に、基礎的な統計値である平均値、標準分散、標準偏差、相関係数を求めた。また、独立性の検定はカイ二乗検定で行った。そして、文献<sup>1)</sup>と比較するために、本論文でも同じ分析手法の重回帰分析(ステップワイズ変数選択法)を行った。なお、本研究では重回帰分析による分析に加えて、共分散構造分析も行った。共分散構造分析を行った訳は、重回帰分析結果から導き出されたパス図の当てはまりの良さを評価したかったからである。重回帰分析と共分散構造分析を比較すると、重回帰分析が初めに決めた目的変数から説明変数を選んでいくというローカルな分析であるのに対して、共分散構造分析は、全体を見てパス図の適合度の評価ができる点が違う。なお分析に関しては、内部整合性の確認、独立性の検定、重回帰分析、共分散構造分析の全てにRを用いた。Rを用いた訳は、学術研究において使用されていることとフリーソフトウェアだったからである。なお文献<sup>1)</sup>では、点数が能力を表していないことから、Rasch modelでの調整を行っているが、本研究では行わなかった。調整を行わなかった訳は、データ数が少ないので妥当な調整ができないと考えたからである。もう少し事例を集めてから調整を行うこととし、今後の課題とした。分析の概要(分析の流れ)を図3に示す。

#### 4.1.4 実験結果および考察

スキルごとのクロンバックの信頼性係数の結果を表1に示す。クロンバックの信頼性係数が低くなってしまうのは、スキルを測定する問題の学習項目が違うためである。たとえば、Sequenceスキルは、繰り返し構造が有る問題、繰り返し構造がない問題、繰り返し構造に条件分岐を含む問題などの異なる項目で測定問題ができていた。このため、結果として内部整合性が低くなったと考える。クロンバックの信頼性係数が0.8以上となる問題の組み合わせをスキルごとに問題を選択した結果を表2に示す。なお、クロンバックの信頼性係数が0.8未満の場合は、スキルの中で最も平均点が高い問題を分析データとした。

##### 4.1.4.1 Modificationスキルの独立性検定

Modification1とModification2の独立性を検定するために、カイ二乗検定を行った(有意水準0.05)。検定結果のP値を表3に示す。なお、P値が0.05以下のときに独立ではない(関連がある)。表3から、次のことが読み取れる。Modification1は、Tracing2, Explain, Writingとの間で、独立ではなかった。Modification2は、Tracing1, Tracing2との間で、

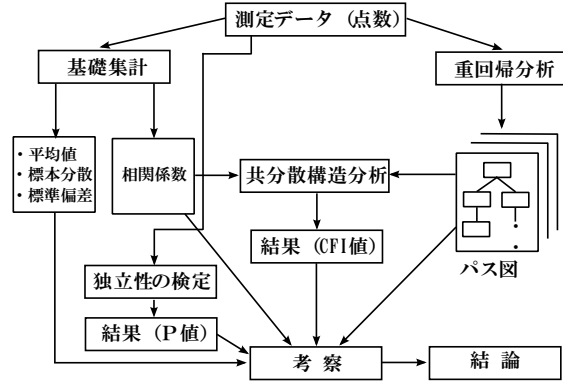


図3 分析概要  
Fig.3 Outline of analysis

表2 内部整合性  
Table 2 Internal consistency

	出題数	分析に使用した問題数	クロンバックの信頼性係数
Basics	8	4	0.8438397
Sequence	7	1	—
Tracing1	7	4	0.8168168
Tracing2	7	3	0.9176470
Exceptions	3	1	—
Data	4	3	0.8413880
Explain	3	1	—
Modification1	6	2	0.8727273
Modification2	2	1	—
Writing	3	2	0.9100000

独立ではなかった。なお、Tracing2 - Explain, Tracing2 - Writing の独立性の検定を行ったところ結果は、独立でなかった。そして、Explain - Writing, Tracing1 - Tracing2 は、独立であった。このような結果となった訳は、内部整合性を満たすように測定結果を選択して分析に使用したことが影響していると考えられる。特に、Modification1 - Tracing2 の P 値が小さい値となったのは、Modification1 と Tracing2 の両方で 0 点だった被験者が 15 名中 12 名であったこと、自由度が 4 と小さかったことが原因と推測する。

表1 全データの内部整合性  
Table 1 Internal consistency of all data

	問題数	クロンバックの信頼性係数
Basics	8	0.294639850
Sequence	7	0.441406059
Tracing1	7	0.679780259
Tracing2	7	0.544438293
Exceptions	3	0.069767442
Data	4	0.796508161
Explain	3	-0.250000000
Modification1	6	0.750000000
Modification2	2	0
Writing	3	0.252115385

表3 Modification スキルの独立性検定: P 値  
Table 3 Test for independent of Modification skill: P Value

	Modification1	Modification2
Basics	0.8622	0.3952
Sequence	0.8505	0.3709
Tracing1	0.2686	0.01087
Tracing2	0.0002076	0.04187
Exceptions	0.4054	0.2834
Data	0.5708	0.05915
Explain	0.03074	0.585
Modification1	—	0.1408
Modification2	0.1408	—
Writing	0.03074	0.585

#### 4.1.4.2 基礎集計

実験結果の平均値，標本分散，標準偏差を表4に示す．被験者の平均値（配点：20点）の傾向から読み取れることは，次のような点である．

表4 基礎集計：第1回C専門学校  
Table 4 Basic total: The 1st, C college

	平均値	標本分散	標準偏差
Basics	7.82667	33.0564	5.7495
Sequence	16.66667	38.0952	6.1721
Tracing1	8.00000	52.8571	7.2703
Tracing2	2.22222	35.9788	5.9982
Exceptions	8.00000	102.8571	10.1419
Data	7.75556	38.5153	6.2061
Explain	1.33333	26.6667	5.1640
Modification1	3.33333	52.3810	7.2375
Modification2	5.33333	83.8095	9.1548
Writing	0.66667	6.6667	2.5820

各スキル：20点満点

高得点だったスキルと低得点だったスキルの2グループある傾向が読み取れる．全体のスキルの中で高得点だったスキルとしては，Basics(7.82667)，Sequence(16.66667)，Tracing1(8.00000)，Exceptions(8.00000)，Data(7.73333)であった．また全体のスキルの中で低得点だったスキルは，Tracing2(2.22667)，Explain(1.33333)，Writing(0.66667)であった．また，これらの中間的な得点であったスキルとしては，Modification1(3.33333)，Modification2(5.33333)がある．上位5項目は，平均値が高い順に，Sequence，Tracing1，Exceptions，Basics，Dataであった．上位5項目から，プログラミングの基礎的な知識で得点が高い傾向であることが読み取れる．下位5項目は，平均点が低い順に，Writing，Explain，Tracing2，Modification1，Modification2であった．下位5項目から，プログラミングの応用的な知識が必要となる得点が高い傾向にあることが読み取れる．

次に標本分散の傾向と平均値の傾向から読み取れることは，次のような事項であった．上位3項目は，標本分散の値が大きい順に，Exceptions，Modification2，Tracing1であった．上位3項目から，次のような傾向があることが読み取れる．ExceptionsとTracing1は，標本分散の値が大きく，平均値も高い方であったので，被験者の得点にバラツキが大きかったのと，得点が高い被験者が多かった傾向が読み取れる．Modification2は，標本分散の値が大きく，平均値も低い方であったので，被験者の得点にバラツキが大きかったのと，得

点が高い被験者が多かった傾向が読み取れる．下位3項目は，標本分散の値が小さい順に，Writing，Explain，Basicsであった．

#### 4.1.4.3 スキル間の相関

表5 相関係数表：第1回C専門学校（10スキル）  
Table 5 a correlation coefficient table: The 1st, C college(10 skills)

	Bas	Seq	Tr1	Tr2	Exc	Dat	Exp	Mo1	Mo2	Wri
Bas	1.00000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Seq	0.51394	1.00000	—	—	—	—	—	—	—	—
Tr1	0.82843	0.39795	1.00000	—	—	—	—	—	—	—
Tr2	0.56429	0.21437	0.65517	1.00000	—	—	—	—	—	—
Exc	0.27047	0.00000	0.42624	0.46967	1.00000	—	—	—	—	—
Dat	0.80186	0.59879	0.82742	0.56996	0.20730	1.00000	—	—	—	—
Exp	0.39327	0.14940	0.45661	0.51245	0.32733	0.39722	1.00000	—	—	—
Mo1	0.70150	0.26650	0.54299	0.58502	0.19462	0.51772	0.63706	1.00000	—	—
Mo2	0.51821	0.33710	0.81562	0.63593	0.43082	0.80406	0.44320	0.35935	1.00000	—
Wri	0.39327	0.14940	0.45661	0.51245	0.32733	0.39722	1.00000	0.63706	0.44320	1.00000

Bas: Basics, Seq: Sequence, Tr1: Tracing1, Tr2: Tracing2

Exc: Exceptions, Dat: Data, Exp: Explain

Mo1: Modification1, Mo2: Modification2, Wri: Writing

相関の程度については，文献<sup>7)</sup>の尺度を使って読み取った．

ほとんど相関がない 0.00 ~ ± 0.20

相関はあるが低い ± 0.20 ~ ± 0.40

かなり相関がある ± 0.40 ~ ± 0.70

高い相関がある ± 0.70 ~ ± 1.00

相関係数表の表5から読み取れることは，次のような点である．相関係数の値が大きい順に，相関係数1ではExplain - Writingであった．一般的に高い相関があるとされる相関係数0.7以上では，Basics - Tracing1(0.82843)，Tracing1 - Data(0.82742)，Basics - Data(0.80186)，Tracing1 - Modification2(0.81562)，Data - Modification2(0.80406)，Basics - Modification1(0.70150)の6つあった．相関係数の値が大きいスキルの組み合わせから，次のような傾向があることが読み取れる．繰返し構造のあるModification2を除くと，Basics，Data，Sequence，Tracing1の4スキル間の相関が強い正の相関を示している．このことから，Basics，Data，Sequence，Tracing1の4スキルは，プログラミングの基礎的な知識の有無や基本的なプログラムの知識について近い関係のスキルであるといえる．



一般的にほとんど相関がないとされる相関係数 0.2 以下では、相関係数の値が小さい順に、Sequence - Exceptions(0.00000), Sequence - Explain(0.14940), Sequence - Writing(0.14940), Exceptions - Modification1(0.19462) の 4 つあった。相関係数の下位から、次のような傾向があることが読み取れる。Sequence は、プログラミングの基本的な知識の理解で得点できる傾向があるスキルであるのに対して、Explain, Writing, Exceptions は、プログラミングの基本的な事項の理解をもとに、プログラミングの応用的な知識が必要なスキルが必要とされるスキルと考えられる。この結果から見ると、基本的スキル - 応用的スキル間の相関係数は小さい値となる傾向があることがわかる。

またプログラムを説明できるスキルと繰り返し構造のあるサンプルプログラムの Modification2 - Explain の間の相関係数は、0.44320 であった。

#### 4.1.4.4 重回帰分析

Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Exceptions, Data, Explain, Modification1, Modification2, Writing の 10 スキルによる重回帰分析を図 4 に示す。なお、重回帰分析の変数選択法は、文献<sup>1)</sup>と同じステップワイズ変数選択法とした。変数編入基準は 0.05, 変数除去基準は 0.05 である。

図 4 から読み取れることは、次の 3 点である。第 1 に、目的変数を Writing とすると、説明変数として Modification1 が選ばれている点を読み取れる。このことは、Writing が繰り返し構造のないコードを書く測定問題であったことと関係が深いと推測する。第 2 に、Modification2 と Tracing2 が近い関係である点を読み取れる。Modification2 と Tracing2 は、共に繰り返し構造のあるコードを取り上げたものである。この両者の関係は、仮説(図 1)に合致する結果であると考えている。第 3 に、Writing に近い関係のスキルには、繰り返し構造がないコードを取り扱うスキルがあり、逆に Writing から遠い関係のスキルには、繰り返し構造があるコードを取り扱うスキルである傾向を読み取れる。

次に、図 2 と図 4 を比較して読み取れることは、次のような点である。第 1 に、応用的なスキルのひとつである Writing と、基本的なスキルのひとつである Basics の関係に違いが見られる点である。図 2 では、Writing - Basics は遠い関係にある。しかし、図 4 では、近い関係にあることである。第 2 に、図 2 と図 4 では、Basics, Sequence, Data, Tracing1 が近い関係である点と同じような関係であることが見られる点である。図 2 では、Basics - Sequence - Data - Tracing1 が近い関係であることが読み取れる。同様に、図 4 においても、ほぼ同様な傾向であることが読み取れる。このような違いが生じた原因は、プログラマ育成の職業教育を行っている C 専門学校と、大学教育の中で行われているプログラミング

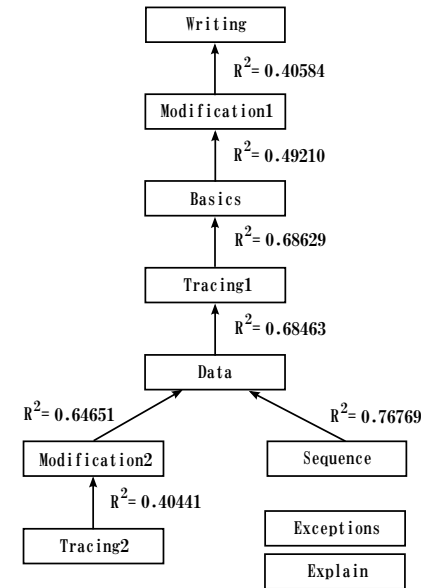


図 4 重回帰分析：第 1 回 C 専門学校（最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果）  
Fig. 4 multiple regression analysis: The 1st, C college (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Writing)

教育の違いが関係しているのではと推測する。

なお、目的変数を Modification2 として分析したスキル階層を図 5 に示す。Explain と Writing は、特定の学習者のみが両者に得点する結果となり、Explain - Writing の相関係数が 1 であった。よって、Explain = Writing として、他との関係を分析した。まず初めに、文献<sup>1)</sup>のスキル階層(図 2)と比較するため、測定データから Modification1, Modification2 を除外して、Writing を目的変数として重回帰分析を行った。分析結果は、Writing を目的変数として条件(変数編入基準 < 0.05)を満たす独立変数が選ばれなかった。このため Writing を目的変数として、Modification1, Modification2 を除く残りのスキル群からのスキル階層は分析できなかった。

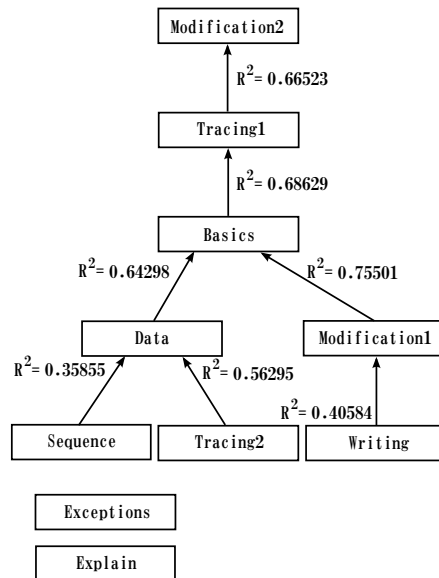


図 5 重回帰分析: 第 1 回 C 専門学校 (最初の目的変数を Modification2 として逐次分析した結果)  
Fig. 5 multiple regression analysis: The 1st, C college (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Modification2)

#### 4.1.4.5 共分散構造分析

第 1 回 C 専門学校の測定データを使って、図 2 と図 4 をパス図として適合度の評価を行うこととした。Explain - Writing の相関係数が 1 だったので、Explain = Writing と見做して分析した。パス図の適合度を示す分析結果の CFI 値は、図 2 が 0.33456, 図 4 が 0.92594 であった。なお、CFI 値は、0.95 以上でパス図の適合度は「非常に良い」と判定され、0.9 以下で「悪い」となる<sup>8)</sup>。パス図の評価については、いくつかの指標の当てはまり良さを示す値が示されている<sup>8),9)</sup>。CFI で評価した訳は、今回の本研究のように標本サイズが小さい場合でも、より正しくパス図の評価する指標を使いたかったからである。CFI(Comparative Fit Index) は、標本サイズが小さいときにパス図が正しく評価できない NFI(Normed Fit Index) の欠点を改良した指標で、現在良く使われている指標だからである<sup>8)</sup>。この結果から、図 2 の適合度は「悪い」、図 4 の適合度は「非常に良好」と「悪い」の間であることが分かった。

#### 4.2 第 2 回 C 専門学校での実験

##### 4.2.1 実験目的

実験目的は、1 章で述べた点である。

##### 4.2.2 実験概要

第 2 回の実験概要は、4.1.2 節で述べた第 1 回と少し異なる点があった。その相違点と理由を述べる。

##### 4.2.2.1 第 1 回実験との相違点と理由

第 1 回の実験との相違点と理由をまとめると次のとおりである。

- (1) 測定問題の内容の見直しを行った。  
誤字などの問題の不備を修正した。また測定後に数人から出た意見として、Writing など問題形式が初見だったため、回答が難しかったことを聞いた。よって、第 2 回の測定問題では、問題形式が初見のものについては、問題内容の理解を助けるための例題や説明を丁寧に詳しく行うなどの改善を行った。
- (2) 測定問題のスキルごとの問題数を揃えた。  
第 1 回測定試験では、スキルごとに問題数が異なっていた。これを、8 つのスキルを各 1 問、計 8 問で 1 セットとした。今回は、時間の関係で 4 セットを実施した。このようにセット化した訳は、今後、多様な組織で実施するときに、時間的な制約に対して自由度を増しておきたかったからである。
- (3) 全体の問題数を減らした。

第1回の実験では、問題数が50問と多かったため、回答時間が長時間になってしまった。実験後半では、集中力が散漫となっている様子が多くの被験者に見られ、回答欄も空欄が目立つなど、有用な実験とならない心配もあった。よって、同一の項目を測定する問題を削るなどして、極力問題数を削減した。

(4) Exceptions を削除，Data を Basics に含めた。

全体のスキル数を減らすことで、問題数の削減をしなかったからである。Exceptions を削除した訳は、文献<sup>1)</sup>のスキル階層(図2)に表れていないスキルなので削除した。Data を Basics に含めた訳は、文献<sup>1)</sup>のスキル階層(図2)において、Basics と Data は共に Tracing1 と Sequence と関係がある点。そして、両者の測定内容が、プログラムの基礎的な文法知識を測る点でも似ていたからである。また、第1回C専門学校の Basics と Data のクローンバックの信頼性係数は、0.9061597 で内部整合性が取れていることが分かったからである。さらに、Basics と Data の相関係数は、0.80186 (表5) と強い正の相関があった。平均値は Basics が 7.82667, Data が 7.75556 と、ほぼ似ていた。さらに、標本分散は Basics が 33.0564, Data が 38.5153 とほぼ同じであった(表4)からである。

(5) 測定時間の短縮と複数日に分散して測定を行った。

ボランティア参加の被験者のスキルを、より正確に測定するために、測定問題の実施は、1セット25問を90分で回答する形式から、1セット8問を40分で回答するよう改めた。また、測定問題のセット間には、10分間の休憩をとった。さらに、2日に分散して実施した。2日に分散して実施した訳は、前回の実験では、回答用紙の後半問題に白紙が目立っていたからである。これは、測定時間が連続して長時間(途中10分の休憩を挟んで180分間)だったため、疲労による集中力の低下、もしくは後半の問題の回答を諦めた被験者がいたと推測されるからである。2日に分散して実施した結果としては、2日目に2名の病欠があったが、被験者にとって無理のない日程だったと感じており、後半の問題の白紙回答も少なくなった。このことから、第1回に比べてより正確に測定できたと推測する。

(6) 次の新たな研究のための試行問題を実施した。

Programming1, Programming2, Debug スキルの3点を測定する問題を、試行問題として1セット実施した。この問題セットは、今後の研究課題の一つとして測定問題を試行する意味で実施した。本論文では、このスキルに関する分析や考察はしないが、本来のスキルとの違いを説明する。Programming1 は、与えられた処理の説明から繰返し

構造のないプログラムを作成できるスキルである。Programming2 は、Programming2 と同じく与えられた処理の説明から繰返し構造があるプログラムを作成できるスキルである。次に、Programming と Writing の違いについて説明する。Programming は、プログラムを作成することができるスキルであるのに対して、Writing は、与えられたメソッドを使って、指定されたタスクをコード記述できるスキルである。Debug は、処理の説明書、正しく動作しないプログラム、正しく動作していない処理結果の3点から、プログラムの誤りを発見し、正しく直すことができるスキルである。

#### 4.2.2.2 実験条件

今回の実験の被験者は第1回目の実験に参加した学生である。実験条件は次のとおりである。

被験者 C 専門学校プログラマ養成学科学生

履修状況 1 年次前期でプログラミング基礎としてC言語を履修後、Java は1 年次後期から2 年次前期の期間で必須科目として履修している。

実施日時 2009 年9 月17 日, 18 日

測定時間 40 分5 コマ(90 分1 コマの間に10 分の休憩を取って40 分で実施した)

測定人数 2 年次学生15 名, 卒業生1 名の計16 名(1 日目の参加16 名, 2 日目の参加14 名)1 日目参加者のうち14 名は2 日目も参加した。

測定問題のプログラム言語 Java

測定スキル 8 スキル: Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Explain, Writing, Modification1, Modification2 (他に試行スキルとして3 スキル: Programming1, Programming2, Debug)

測定問題数 全38 問(8 問で4 セット) + (試行問題: 6 問で1 セット)

備考 試行問題は、時間制限なしで実施した。

#### 4.2.2.3 測定問題

実験で使用する問題は、Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Explain, Writing の6 スキルで、文献<sup>1)</sup>の問題内容の記述や問題例を基に作問した。提案するプログラム修正・改造スキル1 及び Modification2 は、用語の説明を基に作問した。なお作問に際しては、第1 回の測定と同様に、プログラミング教育を担当する大学教員や、教育を受けたことのある大学院生の意見を参考にして問題を作成した。

測定問題は、5 セット作成して実施した。このうち4 セットの試験セットは、それぞれ8

スキル各 1 問からなっており、試験時間 40 分で実施した。問題順による測定への影響を極力除くために、全セットで各スキルを同じ問題順にならないようにした。最後の 5 セット目は、新たな研究のための別のスキルを問う試行問題として実施した。そして、これらの試験セットを、2 日間に渡って実施した。2 日に渡って測定した訳は、第 1 回の測定では 50 問を 2 回に分けたが、連続して実施したため、後半の問題では白紙の答案が目立つなど被験者の意欲が著しく減少すると推測したからである。

#### 4.2.3 分析手法の概要

分析手法は、4.1.3 節で述べた手法と同様である。ただし、今回の場合は内部整合性の検定は行わなかった。内部整合性の検定を行わなかった訳は、問題セット間で別な人が受験したと見做しているの、1 スキル 1 問の測定問題となり、同じスキルを測定する問題であるかどうかを検定する必要が無かったからである。

#### 4.2.4 実験結果および考察

今回の実験に 2 日間とも参加した学習者は 14 名（1 日目 16 名参加、2 日目はそのうちの 2 名欠席）であった。なお、問題セット間で別な人が受験したと見做して 56 件のデータとして分析した。

##### 4.2.4.1 Modification スキルの独立性検定

Modification1 と Modification2 の独立性を検定するために、カイ 2 乗検定を行った。検定結果の P 値を表 6 に示す。なお、P 値が 0.05 以下のときに独立ではない（関連がある）。表 6 から、関連のある組み合わせは、Modification1 - Modification2, Modification1 - Explain, Modification2 - Explain である。また、Modification1, Modification2 のこれ以外の組み合わせは、独立であることが読み取れる。

##### 4.2.4.2 基礎集計

実験結果の平均値、標本分散、標準偏差を表 7 に示す。被験者の平均値（配点：20 点）の傾向から読み取れることは、次のような点である。上位 3 項目は、平均値が高い順に、Sequence, Basics, Modification1 であった。上位 3 項目から、プログラミングの基礎的な知識で得点が高い傾向であることが読み取れる。下位 3 項目は、平均値が低い順に Writing, Modification2, Explain であった。下位 3 項目から、プログラミングの応用的な知識が必要となる問題で得点が高い傾向にあることが読み取れる。これらの平均値の傾向から、被験者は基本的な知識習得の程度を問う問題の得点に比べて、応用的な知識の活用を問う問題の得点が高い傾向にあることが読み取れる。

次に標本分散の傾向と平均値の傾向から読み取れることは、次のような事項であった。上

表 6 Modification スキルの独立性検定：P 値  
Table 6 Test for independent of Modification skill: P Value

	Modification1	Modification2
Basics	0.4287	0.3997
Sequence	0.2883	0.3917
Tracing1	0.1562	0.1746
Tracing2	0.2041	0.4283
Explain	0.01765	0.01669
Modification1	—	0.004966
Modification2	0.004966	—
Writing	0.4012	0.2665

位 3 項目は、標本分散の値が大きい順に、Tracing1, Tracing2, Modification1 であった。上位 3 項目から、次のような傾向があることが読み取れる。Tracing1 及び Tracing2 は、標本分散の値が大きく、平均値が低い方であったので、被験者の得点にバラツキが大きかったのと、得点が高い被験者が多かった傾向にあることが読み取れる。Modification1 は、標本分散の値が大きく、平均値が上位であったので、被験者の得点にバラツキがあったものの、得点が高い被験者が多かった傾向にあることが読み取れる。下位 3 項目は、標本分散の値が小さい順に、Basics, Writing, Modification2 であった。下位 3 項目から、次のような傾向があることが読み取れる。Basics は、標本分散の値が小さく、平均値が上位であったので、基本文法を理解している被験者が多かったという傾向が読み取れる。Writing は、標本分散の値が小さく、平均値が最下位であったので、少数の被験者しか得点できなかったという傾向が読み取れる。

##### 4.2.4.3 スキル間の相関

相関の程度は、4.1.4.3 節の尺度で読み取った。相関係数表の表 8 から読み取れることは、次のような点である。上位 3 項目は、相関係数の値が大きい順に、Explain - Writing(0.62334), Explain - Modification2(0.54267), Basics - Modification1(0.51829) であった。上位 3 項目から、次のような傾向があることが読み取れる。Explain - Writing の相関は、文献<sup>1)</sup>の重回帰分析によるスキル階層（図 2）においても Writing を説明する変数として Explain と Tracing2 が選択されている。本研究の実験においても文献<sup>1)</sup>と Explain - Writing の間の相関は同様の傾向が読み取れることから、Writing スキルに近い関係として Explain スキルがあると考えられる。次の Explain と Modification2 は、どちらのスキルもプログラミングの基本的な事項の理解をもとに、プログラミングの応用的な知識が必要なスキルが必要

表 7 基礎集計：第 2 回 C 専門学校  
Table 7 Basic total: The 2st, C college

	平均値	標本分散	標準偏差
Basics	11.3393	49.828	7.0589
Sequence	13.2143	61.008	7.8107
Tracing1	7.5000	95.455	9.7701
Tracing2	9.8571	90.343	9.5049
Explain	6.8750	58.693	7.6611
Modification1	10.3571	86.234	9.2862
Modification2	5.7143	58.571	7.6532
Writing	4.6429	54.416	7.3767

各スキル：20 点満点

表 8 相関係数表：第 2 回 C 専門学校 (8 スキル)  
Table 8 a correlation coefficient table: The 2st, C college(8 skills)

	Basics	Sequence	Tracing1	Tracing2	Explain	Mod1	Mod2	Writing
Basics	1.00000	—	—	—	—	—	—	—
Sequence	0.27302	1.00000	—	—	—	—	—	—
Tracing1	0.24716	0.40265	1.00000	—	—	—	—	—
Tracing2	0.16279	0.24630	0.41508	1.00000	—	—	—	—
Explain	0.28893	0.48083	0.29453	0.35705	1.00000	—	—	—
Mod1	0.51819	0.42507	0.41082	0.18083	0.32265	1.00000	—	—
Mod2	0.15025	0.35630	0.48632	0.41134	0.54267	0.23939	1.00000	—
Writing	0.33234	0.42736	0.44148	0.36230	0.62334	0.33367	0.45548	1.00000

Mod1: Modification1 Mod2: Modification2

とされる。これに対して、Basics - Modification1 の相関は、どちらのスキルもプログラミングの基本的な知識の理解が問われる項目である。

下位 3 項目は、相関係数の値が小さい順に、Basics - Modification2(0.15025), Basics - Tracing2(0.16279), Tracing2 - Modification1(0.18083) であった。下位 3 項目から、次のような傾向があることが読み取れる。Basics や Modification1 は、プログラミングの基本的な知識の理解で得点できる傾向があるスキルである。一方、Modification2 や Tracing2 は、プログラミングの応用的な知識も必要となる傾向があるスキルといえる。このことから、相関係数の値が小さい下位 3 項目は、いずれもプログラミングの基本的な知識の理解と応用的な知識が必要とされるスキルとの組合せであることが読み取れる。

#### 4.2.4.4 重回帰分析

Modification1, Modification2 を除いた、Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Ex-

plain, Writing の 6 スキルによる重回帰分析を図 6 に示す。なお、重回帰分析の変数選択法は、文献<sup>1)</sup>と同じステップワイズ変数選択法とした。変数編入基準は 0.05, 変数除去基準は 0.05 である。

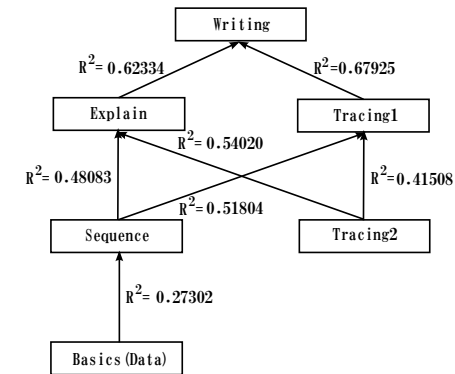


図 6 重回帰分析 [6 スキル]: 第 2 回 C 専門学校 (最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果)  
Fig. 6 multiple regression analysis[6 skills]: The 2st, C college (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Writing)

文献<sup>1)</sup>の図 2 と図 6 を比較して読み取れることは、次のような点である。Writing - Explain - Sequence - Basics の 4 スキルの関係及び Explain - Tracing2 の関係は、位置関係を含めて文献<sup>1)</sup>と同じ階層構造を示していることが読み取れる。Writing - Explain の決定係数 (寄与率) は 0.62334 であった。これに対して、文献と異なるスキル間の関係は、Writing - Tracing1 で決定係数は 0.67825, Tracing1 - Tracing2 で決定係数は 0.41508 であった。

これらのことから、図 2 と図 6 では、Writing - Explain, Sequence - Basics 間の関係が同じであることが読み取れる。また、図 2 では、Tracing1 が Writing と遠い関係だが、図 6 では、逆に近い関係になっていることが読み取れる。

次に、Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Explain, Writing の 6 スキルに Modification1 及び Modification2 を加えた 8 スキルによる重回帰分析 (ステップワイズ変数選択法) を図 7 に示す。なお、重回帰分析の変数選択法は、文献<sup>1)</sup>と同じステップワイズ変数

選択法とした．変数編入基準は 0.05，変数除去基準は 0.05 である．分析方法と結果について説明する．初めに，目的変数を Writing として，ステップワイズ変数選択法による重回帰分析を行ったところ，説明変数として Explain と Tracing1 が選択された．次に，Writing を除いた 7 スキルから，目的変数を Explain として重回帰分析を続けた．このとき，選択された説明変数は，Modification2 ( $P < 0.001$ ) と Sequence ( $P = 0.00595$ ) である．以下同様に，変数を減らしながら分析を続けた．

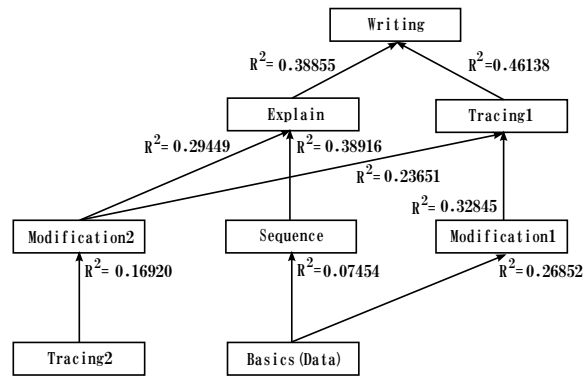


図 7 重回帰分析 [8 スキル]：第 2 回 C 専門学校（最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果）  
Fig. 7 multiple regression analysis[8 skills]: The 2st, C college (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Writing)

図 7 から読み取れることは，次の 4 点である．第 1 に，目的変数を Writing とすると，説明変数として Explain が選ばれている点を読み取れる．このことは，文献<sup>1)</sup>においても，同様にプログラムを読むスキルは，書くスキルと近い関係にあることが実験結果より示された．Explain を目的変数として図 7 を見ると，Explain - Modification2 - Tracing2 の関係が見られる．Modification2 と Tracing2 は，いずれも繰り返し構造のあるプログラムを取り上げている共通点があり，繰り返し構造のあるプログラムを真似するスキルと繰り返し構造のあるトレースをするスキルに関連があることが読み取れる．このことは，プログラミングにおいて，繰り返し構造のあるプログラムを理解するスキルが，スキルの一つとして考えられることを示している．また，Explain - Sequence - Basics の関係が見られる．

Expalin スキルには，プログラムの基本的な文法などの知識スキルの Basics と，やはり空欄穴埋めによる基本的なスキルの Sequence に階層的な関係があることが読み取れる．第 2 に，変数 Writing の右側を上から，Writing - Tracing1 - Modification1 の関係が見られる．Tracing1 や Modification1 は，繰り返し構造のないプログラムのトレース，Modification であるので，繰り返し構造の有無によってスキル階層が分かれることが読み取れる．第 3 には，Modification1 及び Modification2 のスキルが，スキル階層において Writing からやや遠い関係であるということである．第 4 には，想定外であったが Writing - Tracing2 の関係が遠いことである．このことは，コードを書くことと，プログラムをトレースすることでは，どうも求められるスキルに違いがあることが推測される．なお，Tracing1 - Modification2，Modification1 - Basics にも階層関係が見られる．

これらのことから，Modification は，プログラムの文法などの基礎知識の定着に役立つと考えられる．そして，Explain と強い正の相関があることが分かった．

図 8 は，目的変数を Modification2 から重回帰分析した結果である．Basics，Sequence，Tracing1，Tracing2，Explain，Modification1，Modification2，Writing の 8 スキルによる．なお，重回帰分析の変数選択法は，文献<sup>1)</sup>と同じステップワイズ変数選択法とした．変数編入基準は 0.05，変数除去基準は 0.05 である．

#### 4.2.4.5 共分散構造分析

重回帰分析によって導き出された図 7 のパス図で共分散構造分析を行った．パス図の適合度の評価は，Bentler CFI = 0.92653 であった．モデル適合度の評価尺度を 4.1.4.5 節の尺度で行うと「非常に良い」と「悪い」の間の評価であった．

### 4.3 U 大学での実験

#### 4.3.1 実験目的

実験目的は，1 章で述べた 2 点である．

#### 4.3.2 実験概要

実験の内容や分析方法について説明する．

##### 4.3.2.1 実験条件

今回の実験の被験者などは，次のとおりである．

被験者 U 大学学生

実施日時 2009 年 12 月 4,9 日

測定時間 60 分

測定人数 16 名

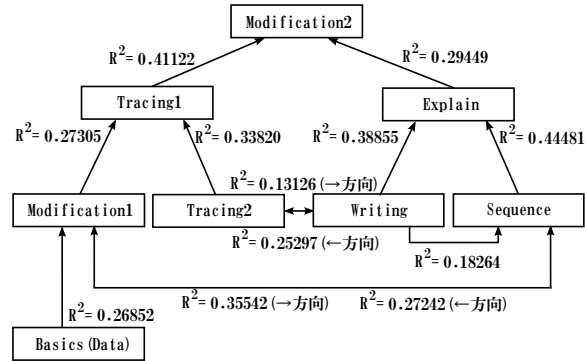


図 8 重回帰分析 [8 スキル]: 第 2 回 C 専門学校 (最初の目的変数を Modification2 として逐次分析した結果)  
Fig. 8 multiple regression analysis[8 skills]: The 2st, C college (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Modification2)

測定問題のプログラム言語 Java

測定スキル 8 スキル: Basics, Sequence, Tracing1, Tracing2, Explain, Writing, Modification1, Modification2

測定問題数 全 8 問 (8 問で 1 セット)

#### 4.3.2.2 測定問題

測定問題は, 4.2.2.3 節で述べた問題を 1 セット使用した.

#### 4.3.3 分析手法の概要

分析手法は, 4.2.3 節で述べた点である.

#### 4.3.4 実験結果および考察

##### 4.3.4.1 Modification スキルの独立性検定

Modification1 と Modification2 の独立性を検定するために, カイ 2 乗検定を行った. 検定結果の P 値を表 9 に示す. なお, P 値が 0.05 以下のときに独立ではない (関連がある). 表 9 から, 関連のある組み合わせは, Modification1 - Sequence, Modification2 - Sequence, Modification2 - Explain である. また, Modification1, Modification2 のこれ以外の組み合わせは, 独立であることが読み取れる.

表 9 Modification スキルの独立性検定: P 値  
Table 9 Test for independent of Modification skill: P Value

	Modification1	Modification2
Basics	0.3286	0.5852
Sequence	0.003615	0.02976
Tracing1	0.2889	0.0743
Tracing2	0.2031	0.06522
Explain	0.3926	0.02096
Modification1	—	0.4012
Modification2	0.4012	—
Writing	0.4215	0.1200

##### 4.3.4.2 基礎集計

実験結果の平均値, 標本分散, 標準偏差を表 10 に示す. 被験者の平均値 (配点: 20 点) の傾向から読み取れることは, 次のような点である. 上位 3 項目は, 平均値が高い順に, Basics, Sequence, Modification1 であった. 上位 3 項目から, プログラミングの基礎的な知識 (コードの空欄穴埋めやコードの整列問題, プログラムの基本文法, 繰り返し構造のない修正・改造) で得点が高い傾向であることが読み取れる. 下位 3 項目は, 平均値が低い順に Writing, Tracing2, Tracing1 であったが, Writing が 3 点台だったのに対して, Tracing2, Tracing1 は 6 点台と差があった. また, 同じ 6 点台には Modification2, Explain もあることが読み取れる. 下位 3 項目から, プログラミングの応用的な知識が必要となる (Writing) が特に得点が低く, 次にトレーススキルで得点が高い傾向にあることが読み取れる. これらの平均値の傾向から, 被験者は基本的な知識習得の程度を問う問題の得点に比べて, トレーススキルの得点が高い傾向にあることが読み取れる.

次に標本分散の傾向と平均値の傾向から読み取れることは, 次のような事項であった. 上位 3 項目は, 標本分散の値が大きい順に, Tracing1, Explain, Modification1 であった. 上位 3 項目から, 次のような傾向があることが読み取れる. Tracing1 及び Explain は, 標本分散の値が大きく, 平均値が低い方であったので, 被験者の得点にバラツキが大きかったのと, 得点が高い被験者が多かった傾向にあることが読み取れる. Modification1 は, 標本分散の値が大きく, 平均値が良かった方であったので, 被験者の得点にバラツキがあったものの, 得点が高い被験者が多かった傾向にあることが読み取れる. 下位 3 項目は, 標本分散の値が小さい順に, Basics, Tracing2, Modification2 であった. 下位 3 項目から, 次のような傾向があることが読み取れる. Basics は, 標本分散の値が小さく, 平均値が上位であっ

たので、基本文法を理解している被験者が多かったという傾向が読み取れる。Tracing2 は、標本分散の値が小さく、平均値が下位であったので、少数の被験者しか得点できなかったという傾向が読み取れる。Modification2 は、標本分散の値が小さく、平均値が下位であったので、Tracing2 と同様に少数の被験者しか得点できなかったという傾向が読み取れる。

表 10 基礎集計：U大学  
Table 10 Basic total: U university

	平均値	標本分散	標準偏差
Basics	13.1250	32.917	5.7373
Sequence	10.6250	59.583	7.7190
Tracing1	6.2500	91.667	9.5743
Tracing2	6.0625	36.462	6.0384
Explain	6.8750	72.917	8.5391
Modification1	10.3125	71.562	8.4595
Modification2	6.5625	52.396	7.2385
Writing	3.4375	55.729	7.4652

平均値：20 点満点

#### 4.3.4.3 スキル間の相関

表 11 相関係数表：U大学（8 スキル）  
Table 11 a correlation coefficient table: U university (8 skills)

	Basics	Sequence	Tracing1	Tracing2	Explain	Mod1	Mod2	Writing
Basics	1.00000	—	—	—	—	—	—	—
Sequence	0.40456	1.00000	—	—	—	—	—	—
Tracing1	0.34893	0.48486	1.00000	—	—	—	—	—
Tracing2	0.28263	0.29947	0.24648	1.00000	—	—	—	—
Explain	0.41674	0.48675	0.49945	0.46949	1.00000	—	—	—
Mod1	0.15024	0.30309	0.55046	0.31282	0.38358	1.00000	—	—
Mod2	0.51670	0.69725	0.42687	0.50094	0.65051	0.29089	1.00000	—
Writing	0.27726	0.59654	0.70539	0.46078	0.59807	0.56247	0.44915	1.00000

Mod1: Modification1 Mod2: Modification2

相関係数表の表 11 から読み取れることは、次のような点である。

相関係数の値が大きい順に、相関係数 0.7 以上では、Tracing1 - Writing(0.70539) であった。相関係数 0.6 以上では、Sequence - Modification2(0.69725), Explain - Modification2(0.65051) であった。また、相関係数 0.5 以上では、Explain - Writing(0.59807),

Modification1 - Writing(0.56247), Tracing1 - Modification1(0.55046), Basics - Modification2(0.51670), Tracing2 - Modification2(0.50094) であった。相関係数の値が大きいスキルの組み合わせから、次のような傾向があることが読み取れる。第 1 に Writing とその他の組み合わせで相関係数の値が大きいスキルが 4 つもある点である。Writing との組み合わせで相関係数の値が大きいスキルは順に、Tracing1, Sequence, Explain, Modification1 であった。これ以外の Tracing2, Modification2 の相関係数も 0.4 台であった。Writing と相関係数の値が小さいスキルは、Basics だけである。第 2 には、Modification2 との組み合わせで相関係数の値が大きいスキルは順に、Sequence, Explain, Basics, Tracing2 であった。

相関係数の値が小さい順に、相関係数 0.2 未満では、Basics - Modification1(0.15024) であった。また相関係数 0.2 以上 0.3 以下では、Tracing1 - Tracing2(0.24648), Basics - Writing(0.27726), Basics - Tracing2(0.28263), Modification1 - Modification2(0.29089), Sequence - Tracing2(0.29947) であった。相関係数の値が小さいスキルの組み合わせから、次のようなことが読み取れる。第 1 には、プログラムの基礎知識と応用的な知識が必要となるスキルの間の相関が弱い点である。たとえば、Basics - Writing(0.27726), Basics - Tracing2(0.28263) などから、この点を読み取れる。第 2 には、繰り返し構造の有無によって、相関係数は小さい値であった。たとえば、Tracing1 - Tracing2(0.24648), Modification1 - Modification2(0.29089) が読み取れる。

また、1 章で述べた仮説の関係、Tracing1 - Modification1(0.55046), Tracing2 - Modification2(0.50094) の相関係数は、正のやや強い相関を表していると考えられる。

#### 4.3.4.4 重回帰分析

重回帰分析の結果を図 9 に示す。この実験では、Modification1 を目的変数として重回帰分析を行った際に、変数編入基準 0.05 を満たす独立変数がなかったために分析が途中で終了してしまっただけである。重回帰分析の図 9 から読み取れることは、Tracing1 - Modification1 が近い関係として選ばれることである。

次に、目的変数を Modification2 から分析結果を図 10 に示す。この図から読み取れることは、次の点である。第 1 に、Modification2 に近い関係と考えていた Tracing2 ではなく、Sequence が来ていることである。次の節で、他の教育機関でのデータから得られた分析結果を比較して考察する。

#### 4.3.4.5 共分散構造分析

今回の実験データで図 7 のモデルの適用度の評価を行ったところ、CFI 値=0.84468 で



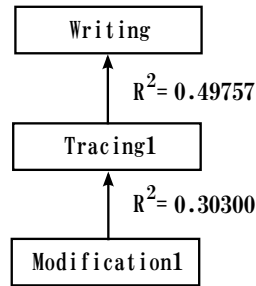


図 9 重回帰分析：U 大学（最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果）  
Fig.9 multiple regression analysis: U university (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Writing)

あった。モデル適合度の評価尺度を 4.1.4.5 節の尺度で行うと、適合度は「悪い」の評価であった。

#### 4.4 各実験を横断的に見た考察

この節では、C 専門学校、U 大学での実験結果を横断的に見た考察を述べる。なお、本論文の実験結果などを引用する場合は、必要に応じて参照先の章・節などを示す。

##### 4.4.1 実験概要の横断的考察

実験ごとの実験概要は、表 12 で示す。まず、測定問題の違いについて説明する。Java 第 2 版は、4.2.2.1 節で述べたような理由から、Java 第 1 版から改変されている。

実験は、すべて本人の同意を得たボランティア参加で授業時間の一部を頂いて実施した。

##### 4.4.2 独立性の横断的考察

第 1 回 C 専門学校の測定データによる Modification の独立性検定結果（表 3）、第 2 回 C 専門学校の測定データによる Modification の独立性検定結果（表 6）、U 大学の同項目の結果（表 9）の 3 つの結果をまとめて一覧（表 13）とした。3 実験の測定データとも、Modification1 - Basics, Modification2 - Basics, Modification1 - Tracing1, Modification2 - Writing は独立するスキルであることが読み取れる。第 1 回 C 専門学校の Modification1 - Writing の独立性の検定結果は、自由度 2, p 値=0.03074（有意水準 0.05 以下）であった。

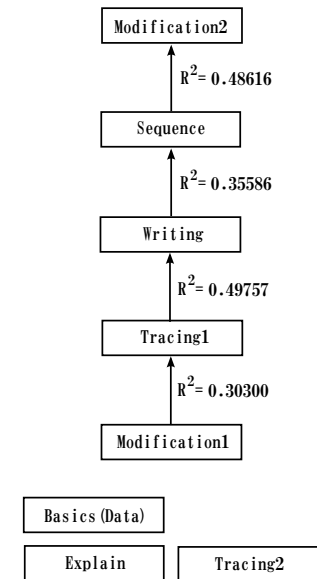


図 10 重回帰分析：U 大学（最初の目的変数を Modification2 として逐次分析した結果）  
Fig.10 multiple regression analysis: U university (Result of one by sequential analyzing the first objective variable with Modification2)

表 12 実験概要一覧  
Table 12 Experiment outline list

	C 専門学校 (1)	C 専門学校 (2)	U 大学
測定実施日	2009.7.13	2009.9.17,18	2009.12.4,9
測定スキル数	10	8(+ 試行 3)	8
1 回の測定時間	90 分	40 分	60 分
1 回の測定問題数	25 問	8 問	8 問
全ての測定回数	2 回	4 回(+ 試行 1 回)	1 回
全測定問題数	50 問	32 問(+ 試行 6 問)	8 問
参加人数	15 名	14 名	16 名
測定使用言語	Java	Java	Java
測定問題版	Java 第 1 版	Java 第 2 版	Java 第 2 版

この p 値は, Modification1 - Writing が独立でないことを示している. しかしこの p 値の結果は, データ量が少なかったため自由度 2 の影響があると考えられる. そこで, 自由度を増やすため, データ 1 件を両スキル 0 点から両スキル 20 点に変えて検定してみた. 結果は, 自由度 4, p 値=0.05558 となり, Modification1 - Writing は独立するスキルとなる. 第 2 回 C 専門学校と U 大学は, Modification1 - Writing は独立であったので, Modification1 - Writing は完全とはいえないが独立であることが分かった. また, Modification2 - Writing は独立であることが分かった.

表 13 Modification と独立でないスキル (3 実験で共通するスキル)

Table 13 Skill not independent of Modification (Skill common by three experiments)

	Modification1	Modification2
Basics	—	—
Sequence	(U)	(U)
Tracing1	—	(1)
Tracing2	(1)	(1)
Explain	(1)(2)	(2)(U)
Modification1	***	(2)
Modification2	(2)	***
Writing	(1)	—

(1): 第 1 回 C 専門学校で独立でない

(2): 第 2 回 C 専門学校で独立でない

(U): U 大学で独立でない

—: 独立である \*\*\*: 自分自身との組み合わせ

#### 4.4.3 基礎集計結果の横断的考察

##### 4.4.3.1 同一測定問題での C 専門学校と U 大学間の考察

実験で使用した測定問題のうち, 第 2 回 C 専門学校の第 1 セット目と U 大学が同一問題であった. 次の表 14 は, C 専門学校で行った 4 セットの測定問題のうち, U 大学で実施した第 1 セットと同じ測定問題の実験結果を示している.

この表 14 と, U 大学の表 10 の平均値に差があるか検定を行った. 分析は, 乱塊法で行った. 分析結果は, 各スキルの平均値に有意差がある (p 値=0.01048) (0.05 以下). そして, 学校群間の平均値に有意差がない (p 値=0.26678) (0.05 以下でない) という結果であった.

平均値の上位 3 項目を比較する. C 専門学校では, 平均値が高い順に, Sequence(11.4286), Basics(9.2857), Modification1(7.8571) であった. U 大学では, 平均値が高い順に, Basics(13.1250), Sequence(10.6250), Modification1(10.3125) であった. 上位 3 項目での比較

表 14 基礎集計: 第 2 回 C 専門学校 (一部)  
Table 14 Basics total: The 2st, C college (part)

	平均値	標本分散	標準偏差
Basics	9.2857	57.143	7.5593
Sequence	11.4286	74.725	8.6444
Tracing1	2.8571	52.747	7.2627
Tracing2	6.5714	46.571	6.8243
Explain	7.1429	33.516	5.7893
Modification1	7.8571	71.978	8.4840
Modification2	6.0714	46.841	6.8440
Writing	5.0000	69.231	8.3205

各スキル: 20 点満点

(U 大学で実施したものと同一セットのみの結果)

は, 多少の順位差があるものの, 同じスキルとなっていることが読み取れる. 両校の学習者とも, プログラミングの基礎的な事項の成績が良いことがわかる. やや主観的な意見であるが, C 専門学校では, プログラミング関連の資格試験対策の授業にも力を入れている. 資格試験では, コードの空欄穴埋め形式やコードの整列形式など Sequence に近い形式で出題されることが多い. このため, C 専門学校では, Sequence の平均値が高かったと考えられる. U 大学では, Basics が最も平均点が高かったことから, まず基礎的な事項をしっかりとマスターしていることが推測される. また, 上位 3 項目の平均点の合計をとると, C 専門学校 28.5714, U 大学 34.0625 であった. 次に, 平均値の下位 3 項目を比較する. C 専門学校では, 平均値が低い順に, Tracing1(2.8571), Writing(5.0000), Modification2(6.0714) であった. U 大学では, 平均値が低い順に, Writing(3.4375), Tracing2(6.0625), Tracing1(6.2500) であった. 下位 3 項目での比較でも, 多少の順位があるものの, 同じスキルとなっていることが読み取れる (なお U 大学の Modification2(6.5625) なので Tracing1 と大差ない.) また, C 専門学校では Tracing1, U 大学では Writing の平均値だけが, 他に比べて一段と下がっていることが読み取れる. C 専門学校では, Writing に比べて Tracing1 が良くない. 逆に U 大学では, Tracing1 に比べて Writing が良くないことを示している.

次に, C 専門学校と U 大学を比べて, 標本分散及び標準偏差の傾向と平均値の傾向から読み取れることは次のような事項であった. 標本分散の上位 3 項目は, C 専門学校は, 標本分散の値の大きい順に, Sequence(74.725), Modification1(71.978), Writing (69.231) であった. U 大学は, 標本分散の値の大きい順に, Tracing1(91.667), Explain(72.917), Modification1(71.562) であった.

4.4.4 スキル間の相関の横断的考察

4.4.4.1 同一測定問題でのC専門学校とU大学間の考察

表 15 は、第 2 回のC専門学校での実験の中で、U大学で実施した測定問題と同じ問題セットのみの結果を示している。

表 15 相関係数表：第 2 回C専門学校（一部）  
Table 15 A correlation coefficient table: The 2st, C college (part)

	Basics	Sequence	Tracing1	Tracing2	Explain	Mod1	Mod2	Writing
Basics	1.00000	—	—	—	—	—	—	—
Sequence	0.36997	1.00000	—	—	—	—	—	—
Tracing1	0.46037	0.42008	1.00000	—	—	—	—	—
Tracing2	0.45586	0.35021	0.61637	1.00000	—	—	—	—
Explain	0.47709	0.85637	0.39203	0.52152	1.00000	—	—	—
Mod1	0.27416	0.56939	0.60637	0.49443	0.64882	1.00000	—	—
Mod2	0.64784	0.49222	0.08843	0.39763	0.47148	0.14194	1.00000	—
Writing	0.79495	0.48127	0.76376	0.67736	0.59884	0.51761	0.337704	1.00000

Mod1: Modification1 Mod2: Modification2  
(U大学で実施したものと同一セットのみの結果)

この表 15 と、U大学の表 11 のスキル間の相関を比較して読み取れたスキル間の相関を一覧にまとめると、表 16 のようになった。なお表 16 の空白部分は、欄外条件以外の値の相関係数のスキル間の関係を表している。また相関の程度は、4.1.4.3 節の尺度で読み取った。

この表 16 から読み取れることは、次の点である。

- (1) 両者とも一般に「高い相関がある」といえる相関係数 0.7 以上のスキル間は、Tracing1 - Writing である。
- (2) 両者とも一般に「かなり相関がある」といえる相関係数 0.4 以上のスキル間は、Basics - Explain, Basics - Modification2, Sequence - Tracing1, Sequence-Explain, Sequence - Modification2, Sequence - Writing, Tracing1 - Modification1, Tracing2 - Explain, Tracing2 - Writing, Explain - Modification2, Explain - Writing, Modification1 - Writing であった。
- (3) 両者とも一般に「ほとんど相関がない」といえる相関係数 0.2 以下のスキル間は、なかった。
- (4) Tracing1 - Modification1 の関係が、スキルの相関係数が両者とも 0.5 以上である。仮説 (図 1) の Tracing1 - Modification1 の関係を示す結果といえる。

表 16 第 2 回C専門学校（一部）とU大学における相関係数の関係

Table 16 Relation of the correlation coefficient between the 2st C college and U university

	Basics	Sequence	Tracing1	Tracing2	Explain	Mod1	Mod2	Writing
Basics	—	—	—	—	—	—	—	—
Sequence		—	—	—	—	—	—	—
Tracing1			—	—	—	—	—	—
Tracing2				—	—	—	—	—
Explain					—	—	—	—
Mod1						—	—	—
Mod2							—	—
Writing								—

: 両者とも相関係数 0.7 以上 : 両者とも相関係数 0.4 ~ 0.7

: 両者とも相関係数 0.2 以下

Mod1: Modification1 Mod2: Modification2  
(U大学で実施したものと同一セットのみの結果)

- (5) Tracing2 - Modification2 の関係の相関係数は、第 2 回C専門学校（一部）が 0.39763, U大学が 0.50094 である。  
スキル間の相関係数が両者とも 0.4 以上の範囲に僅かに収まらなかったが、やはり図 1 の仮説の Tracing2 - Modification2 の関係を示す結果といえる。
- (6) Explain - Writing の関係が、スキルの相関係数が両者とも 0.5 以上である。  
文献<sup>1)</sup>の重回帰分析の結果 (図 2) 及び、仮説 (図 1) の Explain - Writing の関係を示す結果といえる。
- (7) Writing - Modification1 及び Writing - Tracing1 の関係が、スキルの相関係数が両者とも 0.5 以上である。  
文献<sup>1)</sup>の重回帰分析の結果 (図 2) 及び、仮説 (図 1) と異なる結果である。これは、文献<sup>1)</sup>の Writing では、3.2.1 節のように繰り返し構造の知識を必要としないものだったことが、原因として考えられる。
- (8) Sequence - Explain の関係の相関係数が、C 専門学校 (0.85637) とU大学 (0.48675) では、0.36962 の差がある。  
両校ともデータ数が少ないため、一部のデータの変動による相関係数への影響も大きいことも原因であるが、両校の教育目標とカリキュラムの一部が、異なっていることが原因と考えられる。C 専門学校の教育目標は、実践的な技能養成と資格取得である。資格試験では、空欄穴埋めやコード整列などの問題形式が多く出題される。この問題形式は Sequence を測定する問題形式と同じである。また、コードが示されたうえで、コー

ドの内容に関して問うような問題形式もある。この問題形式は、Explain スキルの一部を問うような形式である。C 専門学校では、資格試験受験希望者に対して、特別に授業を実施している。このような試験対策的な授業を受けているので、C 専門学校では、Sequence - Explain が、強い相関を示していると考えられる。

一方、被験者が情報系学科以外だったU大学は、情報系専門学校のC校と比べて、教育方針・教育目標・学生の属性も異なっている。このため、U大学では一般的な相関係数となったと考えられる。

- (9) Tracing1 - Tracing2 の関係の相関係数が、C 専門学校 (0.61637), U大学 (0.24648) では、0.36989 の差がある。

Tracing1 と Tracing2 の違いは、繰り返し構造の有無である。C 専門学校では、繰り返し構造の有無にかかわらず、トレースするスキルで得意・不得意がはっきりした学生が多かったことを示していると考えられる。一方、U大学では、繰り返し構造で得意・不得意が分かれ、結果として Tracing1 - Tracing2 の関係の相関係数が弱い正の相関だったのではないかと推測する。

次に、第2回C専門学校のスキル間の相関表(表8)と、U大学の表11のスキル間の相関を比較して読み取れることは、次の点である。

第1に、両者に共通しているスキル間の相関を示すものは次の点である。スキル間の相関係数が両者とも0.5以上のスキルの組み合わせは、Explain - Modification2, Explain - Writing が読み取れる。C 専門学校は、Explain - Modification2(0.54267), Explain - Writing(0.62334)であった。U大学の Explain - Modification2(0.65051), Explain - Writing(0.59807)であった。Modification2 - Explain - Writing に、かなり相関関係があることが読み取れる。スキル間の相関係数が両者とも0.4以上、かつ、両者とも0.5以上でないスキルの組み合わせは、Sequence - Tracing1, Sequence - Explain, Sequence - Writing, Tracing1 - Writing, Tracing2 - Modification2, Modification2 - Writing であった。また、スキル間の相関が両者とも0.3以下の組み合わせの中では、Basics - Tracing2 が読み取れる。C 専門学校は、Basics - Tracing2(0.16279)であった。また、U大学の Basics - Tracing2(0.28263)であった。両者の相関係数の差が0.3以上であったスキルの組み合わせは、Basics - Modification1, Basics - Modification2 であった。両者の相関係数の差が0.2以上0.3未満であったスキルの組み合わせは、Sequence - Modification2, Tracing1 - Explain, Tracing1 - Writing, Modification1 - Writing であった。これらの結果から、Modification2 - Explain - Writing 間の相関は、やや強い傾向にあることが特徴的である。

第2に、Basics と、それ以外のスキル間の相関に共通する点が少ないということである。実験の対象となった教育機関の違いからくるものと考えられる。教育機関の違いには、カリキュラムや教育方法、履修時間、学習者の属性などの違いが想定されるが、今回の実験では分からなかった。

#### 4.4.4.2 すべての実験の相関係数を横断的に考察

第1回C専門学校の実験データでのスキル間の相関係数表(表5)、第2回C専門学校の実験データでのスキル間の相関係数表(表8)、U大学と同じ測定問題を第2回C専門学校の実験データから抽出したデータのスキル間の相関係数表(表15)、U大学での実験データのスキル間の相関係数表(表11)の4つの相関係数表を横断的に考察する。スキル間の相関係数が4表で0.5以上のスキルの組み合わせはなかった。スキル間の相関係数が4表で0.4以上のスキルの組み合わせは、Sequence - Tracing1, Tracing1 - Modification1, Tracing1 - Writing, Tracing2 - Modification2, Explain - Modification2, Explain - Writing であった。なお、Tracing2 - Modification2 は、第2回C専門学校(U大学で実施したものと同一問題のみの結果)の相関係数0.39763を四捨五入して0.4と見做している。

#### 4.4.5 重回帰分析結果の横断的考察

目的変数を Writing から分析を始めている、文献<sup>1)</sup>の重回帰分析結果(図2)、第1回C専門学校の実験データでの重回帰分析結果(図4)、第2回C専門学校の実験データでの重回帰分析結果(図7)、U大学の実験データでの重回帰分析結果(図9)の4つの図を横断的に考察する。

- (1) 本論文で行った実験データによる3つの図に共通的に見られる傾向として、Writing, Tracing1, Modification1 が近い関係になっている。  
この3つのスキルに共通することは、繰り返し構造でないという点である。繰り返し構造がない共通点で、この3スキルは近い関係を示す傾向があると考えられる。第1回C専門学校の実験データでの重回帰分析結果(図4)では、Writing - Modification1 - Basics - Tracing1 の関係が見られる。同様に、第2回C専門学校の実験データでの重回帰分析結果(図7)では、Writing - Tracing1 - Modification1 - Basics の関係が見られる。さらに、U大学の実験データでの重回帰分析結果(図9)では、重回帰分析ができた部分から、Writing - Tracing1 - Modification1 の関係が見られる。また、Tracing2 - Modification2 が近い関係にある。
- (2) 実験データの図4と図7では、Writing - Tracing2 は遠い関係であることが読み取れるが、文献<sup>1)</sup>では、逆に近い関係である。

文献<sup>1)</sup>を基に作問した今回の測定実験で使った Writing は、繰り返し構造がない。実験データの図 4 では、Writing に近い関係のスキルは、繰り返し構造を必要としないスキルである。繰り返し構造を必要としないスキルは、Writing, Modification1, Tracing1, Data である。これに対して、繰り返し構造を必要とするスキルは、Writing から遠い関係に位置している。なお、繰り返し構造が必要なスキルは、Tracing2, Modification2 である。Basics と Sequence は問題によるが、繰り返し構造を理解することは、さほど求められない問題であった。

実験データの図 7 でも、Writing に近い関係は、繰り返し構造の理解を必要としないスキルである。たとえば、Tracing1, Modification1 が、Writing - Tracing1 - Modification1 の関係を示している。逆に、繰り返し構造の理解が必要な Tracing2 - Modification2 は、Writing と遠い関係を示している。

- (3) 図 7 の Writing - Explain - Sequence - Basics の関係の部分は、文献<sup>1)</sup>の関係と同様の傾向を示した。

#### 4.4.6 共分散構造分析結果の横断的考察

次の 7 つの図をパス図とした。

- (1) 図 2. 文献<sup>1)</sup>の重回帰分析結果：7 スキル
- (2) 図 1. 仮説：9 スキル
- (3) 図 4. 第 1 回 C 専門学校（最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果）：10 スキル
- (4) 図 5. 第 1 回 C 専門学校（最初の目的変数を Modification2 として逐次分析した結果）：10 スキル
- (5) 図 7. 第 2 回 C 専門学校（最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果）：8 スキル
- (6) 図 8. 第 2 回 C 専門学校（最初の目的変数を Modification2 として逐次分析した結果）：8 スキル
- (7) 図 6. 第 2 回 C 専門学校（最初の目的変数を Writing として逐次分析した結果）：6 スキル（(5) から Modification1, Modification2 を除外したもの）

なお、表 17 の Warning は、スキルがパス図にあって測定データが無い場合に示されたものである。たとえば、パス図（図 2）の中に Data が存在するが、第 2 回 C 専門学校や U 大学の測定では、4.2.2.1 節で述べたように、Data を Basics に含めたため Data としての測定データが無いために Warning となった。

表 17 共分散構造分析結果 (Bentler CFI 値)

Table 17 Covariance structure analysis results(Bentler CFI Value)

パス図	C 専門 (1)	C 専門 (2)	U 大学	C 専門 (2): U 大と同問
(1) 図 2	0.33456(W)	0.40668(W)	0.34819(W)	0.19589(W)
(2) 図 1	0.46905(W)	0.56764(W)	0.59244(W)	0.28764(W)
(3) 図 4	0.92594(W)	0.61804(W)	0.32892(W)	0.11000(W)
(4) 図 5	0.83671(W)	0.43806(W)	0.22339(W)	0.06742(W)
(5) 図 7	0.68935(W)	0.92653	0.84468	0.51330
(6) 図 8	0.77099(W)	0.97775(W)	0.82456(W)	0.57011(W)
(7) 図 6	0.32188(W)	0.99325(W)	0.99210	0.79956(W)

(W)Warning: パス図のスキルと測定データ間の不一致の場合

(1) 第 1 回 C 専門学校測定データ

(2) 第 2 回 C 専門学校測定データ

また測定データは、第 1 回 C 専門学校、第 2 回 C 専門学校、U 大学、U 大学と同一問題だけを抜き出した C 専門学校の 4 種類のデータを使用した。なお第 1 回の C 専門学校の測定データは、Explain - Writing の相関係数が 1 のため、Writing = Explain として共分散構造分析を行った。これらの組み合わせによる共分散構造分析の結果を表 17 に示す。

第 1 回 C 専門学校の実験データでの重回帰分析結果（図 4）、第 2 回 C 専門学校の実験データでの重回帰分析結果（図 7）（図 8）（図 6）、U 大学の測定データによる（図 6）の 5 つの場合でパス図の適合度が良好の傾向にあることが読み取れる。

第 1 回 C 専門学校での実験データは、測定問題が大量だったため後半の回答で空欄が目立っていたことを考慮して、Writing から分析したモデル図の中では、第 2 回 C 専門学校と U 大学での実験データによる（図 7）のパス図の適合性が良好であることが分かった。

他のパス図と比べて良好と考えた訳を述べる。CFI が 0.9 未満は、パス図の適合度が「悪い」と評価される<sup>8)</sup>。この基準では、(1),(2),(4) は、明らかにパス図の適合度の評価は悪い。(3) は、第 1 回 C 専門学校の実験データ以外は、かなり適合度が悪い。また、(6) では U 大学の結果が (5) に比べて僅かに悪く Modification から分析した結果である。(7) は、第 1 回 C 専門学校、第 2 回 C 専門学校（U 大学と同じ問題）でパス図の適合度の評価は「悪い」となるが、他の測定データは「良好」を示しているが、Modification を除外したスキルでのパス図である。なお、第 2 回 C 専門学校（U 大学と同じ問題）の測定データは、第 2 回 C 専門学校の一部のデータであることから、参考程度に考えた。

#### 4.4.7 プログラミング教育における配慮や工夫

Modification は、スキル階層の比較的下位にあることが分かった。このことから、実際

のプログラミング教育の場面では、初期のレベルで Modification を育成するような教育方法を行うことが効果的であると考えられる。しかし、コードを書くスキルとの間は、遠い関係にあることが分かったので、Modification に偏った学習だけでは不十分で、Explain などの上位の階層に位置するスキルの育成を行う必要があると考える。

## 5. 結 論

- (1) 新規に明らかになったことは、次の点である。
  - (a) 提案する Modification は、必ずしも完全ではないが独立のスキルとして存在することが分かった。
  - (b) 提案する Modification は、図 7 のパス図に示された位置にあることが分かった。
- (2) 既存研究に関して、次のことが明らかになった。
  - (a) Writing - Explain, Sequence - Basics の関係は、文献<sup>1)</sup>のスキル階層(図 2)と同様な位置であった。
  - (b) 本研究のスキル階層は、Tracing1 の位置が、文献<sup>1)</sup>のスキル階層(図 2)と異なっているが、その他のスキルの関係は、おおよそ同じ関係だった。
  - (c) 必ずしも完全ではないが、本研究のスキル階層は、Basics - Tracing1 - Data - Sequence が近い関係である点で、文献<sup>1)</sup>のスキル階層とおおよそ同じであった。

謝辞 測定実験にご協力いただいた C 専門学校、U 大学の教職員や学生の皆様に心より感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) Lopez, M., Whalley, J., Robbins, P. and Lister, R.: Relationships between reading, tracing and writing skills in introductory programming, *ICER '08: Proceedings of the fourth international workshop on Computing education research*, pp.101–112 (2008).
- 2) McCracken, M., Almstrum, V., Diaz, D., Guzdial, M., Hagan, D., Kolikant, Y. B.-D., Laxer, C., Thomas, L., Utting, I. and Wilusz, T.: A multi-national, multi-institutional study of assessment of programming skills of first-year CS students, *SIGCSE Bull.*, Vol.33, No.4, pp.125–180 (2001).
- 3) Lister, R., Adams, E.S., Fitzgerald, S., Fone, W., Hamer, J., Lindholm, M., McCartney, R., Moström, J.E., Sanders, K., Seppälä, O., Simon, B. and Thomas, L.: A multi-national study of reading and tracing skills in novice programmers, *ITiCSE-WGR '04: Working group reports from ITiCSE on Innovation and technology in*

*computer science education*, pp.119–150 (2004).

- 4) Whalley, J.L., Lister, R., Thompson, E., Clear, T., Robbins, P., Kumar, P. K.A. and Prasad, C.: An Australasian study of reading and comprehension skills in novice programmers, using the bloom and SOLO taxonomies, *ACE '06: Proceedings of the 8th Australasian conference on Computing education*, Australian Computer Society, Inc., pp.243–252 (2006).
- 5) Lister, R., Fidge, C. and Teague, D.: Further evidence of a relationship between explaining, tracing and writing skills in introductory programming, *ITiCSE '09: Proceedings of the 14th annual ACM SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education*, ACM, pp.161–165 (2009).
- 6) Simon, Lopez, M., Sutton, K. and Clear, T.: Surely We Must Learn to Read before We Learn to Write!, *Eleventh Australasian Computing Education Conference (ACE 2009)* (Hamilton, M. and Clear, T., eds.), CRPIT, Vol.95, Australian Computer Society, Inc., pp.165–170 (2009).
- 7) 山上 暁, 倉智佐一: 要説 心理統計法, 北大路書房 (2004).
- 8) 朝野熙彦, 鈴木督久, 小島隆矢 (編): 入門共分散構造分析の実際, 講談社 (2005).
- 9) 豊田秀樹: 共分散構造分析 [入門編], 朝倉書店 (1998).

## 付 録

### A.1 測定問題例

C 専門学校で使用した測定問題の一部を例として掲載したが、U 大学で実施した測定問題セットではない。その訳は、今後、他の組織でも同じ問題を使用して測定実施を予定しており、被験者が初見の状態での測定したいからである。

Basics =====  
問題 次のプログラムには Java の文法誤りがあります。誤っている行番号を解答群より選んでください。なお、誤りが複数ある場合は、解答群から複数選択してください。

[行番号]

```
1 class Q0405{
2   public static void main(String[] args)
3     int c = 0;
4     if ( c = 0 ){
5       System.out.println("0 です");
6     } else {
7       System.out.println(c);
8     }
9   }
10 }
```

[解答群]

- a) 1      b) 2      c) 3      d) 4      e) 5  
f) 6      g) 7      h) 8      i) 9      j) 10

Sequence =====  
問題 次の [実行結果] になるようにコード中の xxxx 1 xxxx に入れる適切なコードを解答群から選んでください。

[行番号]

```
1 class Q0508{
2   public static void main(String[] args){
```

```
3     int a;
4     int b;
5     a = 5;
6     a *= 4;
7     a /= 2;
8     b = a + 10;
9     b += a * 4;
10    xxxx 1 xxxx
11    System.out.println(b);
12  }
13 }
```

[実行結果]

```
>java Q0508
50
```

[解答群]

- a) b -= a;      b) b \*= a;      c) b /= a;  
d) b += a;      e) b -= a \* 2;

Tracing1 =====  
問題 次のコードを実行したとき、画面に表示される値を解答群から選んでください。

[行番号]

```
1 class Q0704{
2   int a = 1;
3   public static void main(String[] args){
4     int a = 2;
5     Q0704 b = new Q0704();
6     a = 3;
7     b.a = 4;
8     b.show(a);
```

```
9   a = 5;
10  }
11  void show(int a){
12    System.out.println(a);
13  }
14 }
```

[解答群]

a) 0    b) 1    c) 2    d) 3    e) 4    f) 5    g) null

Tracing2 =====

問題 次のプログラムが終了したとき、一番最後に表示される変数 a, b, c の値はいくつですか。それぞれ解答群より選択してください (重複回答可)

[行番号]

```
1 class Q0755{
2   public static void main(String[] args){
3     int a = 0;
4     for (int b = 0; b < 3; b++){
5       for (int c = 0; c < 3; c++){
6         a++;
7         if (b == 1)
8           System.out.println("a= " + a + ", b= " + b + ", c= " + c);
9       }
10    }
11  }
12 }
```

[解答群]

a) 0    b) 1    c) 2    d) 3    e) 4    f) 5    g) 6  
h) 7    i) 8    j) 9    k) 10    l) 11    m) 12    n) 13

Explain =====

問題 次のコードの処理内容を簡潔に説明してください。

[行番号]

```
1 import java.util.Scanner;
2 class Q1008{
3   public static void main(String[] args){
4     Scanner stdIn = new Scanner(System.in);
5     System.out.print("a= ");
6     int a = stdIn.nextInt();
7     double[] b = new double[a];
8     double e = 0.0;
9     for (int i = 0; i < a; i++){
10      System.out.print("b[" + i + "] = ");
11      b[i] = stdIn.nextDouble();
12      e += b[i];
13    }
14    System.out.println(e / b.length);
15  }
16 }
```

Writing =====

問題 次の説明を読んで、設問に答えてください。

なお、文字列の 1 文字目は 0, 2 文字目は 1 と、0 から数えます。

[メソッド]

1) char charAt(int index) index 文字目の文字を返す。

[説明] 例えば、次のように変数 a に値が設定されているとします。

```
String a = "Nagoya";
```

このとき、文字列"Nagoya"の 3 文字目の"g"を変数 ans に返すコードは、

```
char ans = a.charAt(2);
```

となります。a.charAt(2) は、文字列"Nagoya"の 1 文字目の"N"は 0, 2 文字目の"a"



は 1 と, 0 から数えますから, 3 文字目の "g" は 2 となります.)

- 2) `int length()` 文字長を返す.
- 3) `int indexOf(String str)` 引数で指定した文字列の文字列中の位置を返す.

含まれない場合は, -1 を返す. 指定した部分文字列に複数回一致する場合,  
最初に現れた位置を返す.

- 4) `String substring(int beginIndex)` `beginIndex` 文字目以降の部分文字列を返す.
- 5) `String substring(int beginIndex, int endIndex)`  
`beginIndex` 文字目以降, `endIndex` 文字目の直前までの部分文字列を返す.

#### [メソッドの使用例]

「使用例: `sample`」の 2 文字目から 5 文字目の直前までの部分文字列を返すのであれば,  
`"使用例".substring(2,5)` となります.

#### [パスワード作成の規則]

パスワードは, 最初の文字 `Pname`, 続いてペットにつけた名前の最初の 3 文字,  
好きな芸能人の名前の最初の 4 文字, 好きな言葉で最初に "t" が現れた位置 (添字の数字を  
文字列に変換したものを) を順番に並べて作ります.

例えば, 次の 1)- 4) の場合は「`Pnametarzepp3`」となります.

- 1) `Pname`
- 2) ペットに付ける名前: `taro`
- 3) 好きな芸能人の名前: `zeppelin`
- 4) 好きな言葉: `fortunate`

[設問] [パスワード作成の規則] によって変数 `ans` にパスワードが求められるメソッドを作成してください.

ただし, 各文字数は十分な長さがあり, メソッドが正常に処理できるデータとします.