

卒 業 論 文

プログラミング演習における模範解答を用いた
テストケース評価基準の自動生成

Automatic generation of evaluation criteria for test cases
using example codes in programming exercises

指 導 教 員 中村 正樹 准教授

富山県立大学工学部 電子・情報工学科

学 籍 番 号 : 1515015

氏 名 尾崎 裕樹

提 出 年 月 2019 年 2 月

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的	4
1.3	論文の構成	5
第 2 章	プログラミング演習におけるテストケース評価システム	6
2.1	テストケース評価システム	6
2.2	入力のデータ構造の定義	7
2.3	関数定義	8
2.4	評価基準の具体例	8
2.5	システムの評価	9
2.6	システムの課題	9
第 3 章	テストケース評価基準の自動生成	10
3.1	手法の概要	10
3.2	入力データの型に基づく評価基準	10
3.3	条件文に基づく評価基準	12
3.4	関数を含むプログラムに対する評価基準	13
第 4 章	プログラミング課題への適用	15
4.1	評価基準を生成できた問題	15
4.2	評価基準を生成できなかった問題	19
第 5 章	おわりに	24
	謝 辞	25
	参 考 文 献	26

第1章 はじめに

本研究では、プログラミング教育において、教員が学生の作成したプログラムに対して適切な評価を行う方法を考え、その際に利用できるシステムを提案する。

1.1 背景

プログラミング演習においては、教科書のソースコードを書き写してプログラムを作成することから学習を始める学生もいる。教科書のコードが正確に書き写せているかの確認をするには、教員が正しいソースコードを用意し学生の書き写したソースコードと比較すればよい。

しかし、ただ教科書のソースコードを書き写すだけではプログラムを作成できるようなのではないので、プログラミング演習では提示された仕様を満たすプログラムを作成することを学ぶ必要がある。仕様を見てプログラムを作成した場合に教員と学生が同じ実装をするとは限らないため、教員のソースコードと学生のソースコードを単純に比較しただけでは正確な評価はできない。

そこで、テストケースを設計してプログラムのテストを行うことによって学生が作成したプログラムを評価する。このテストケースを学生自身が適切に設計できるようになるためには、設計したテストケースを評価できなければならない。しかし、テストケースは境界値以外の値は答えが単一ではない。したがって、学生が設計したテストケースと教員が設計したテストケースが合致しなかったとしても、学生のテストケースが誤りであるとは限らない。

つまり、テストケースを評価する場合も、教員のテストケースと学生のテストケースを単純に比較しただけでは正確な評価ができないため、テストケースの評価方法を考える必要がある。本研究におけるテストケース評価方法の位置づけを図 1.1 に示す。

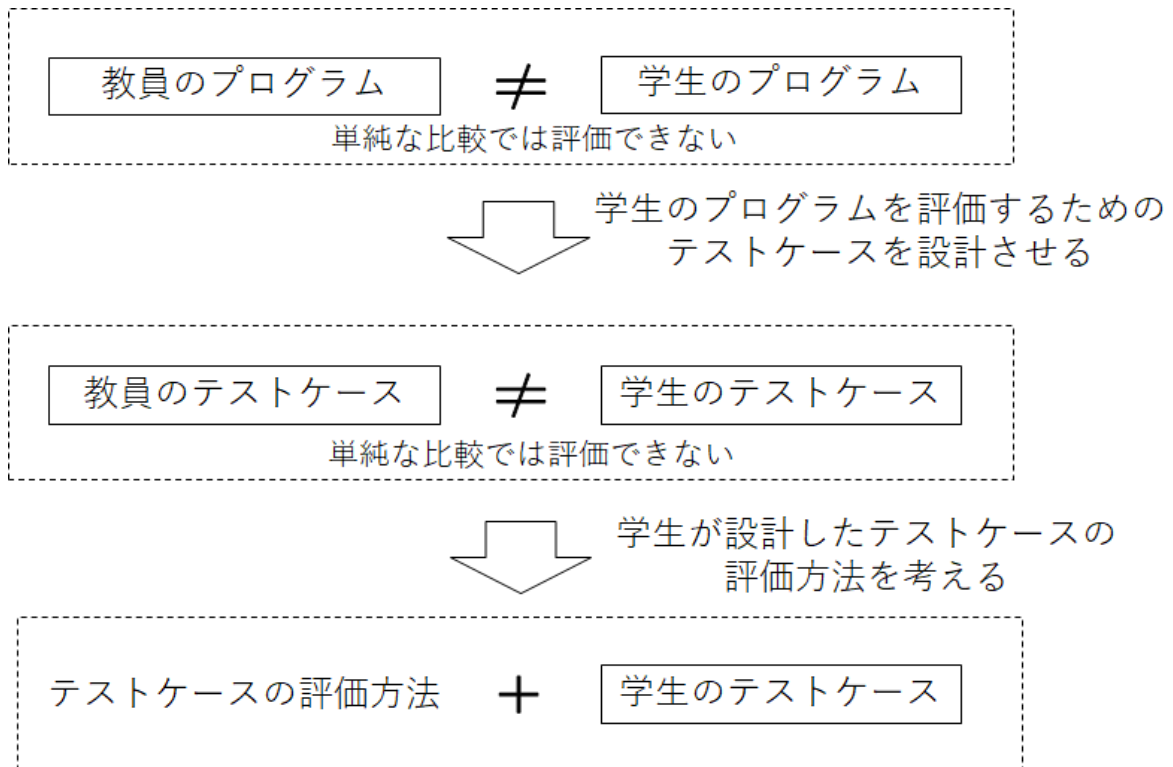


図 1.1 テストケース評価方法の位置づけ

テストケースを評価する方法の例として、文献 [1] では、テスト駆動開発に基づきプログラミング演習を行うことによってコーディングだけでなく、ソフトウェアテストの学習が行われる。評価対象は学生のプログラムとテストケースで、教員の作成したプログラムとテストケースを用いて図 1.2 のようにトリプルチェックテストを行うことによって評価される。

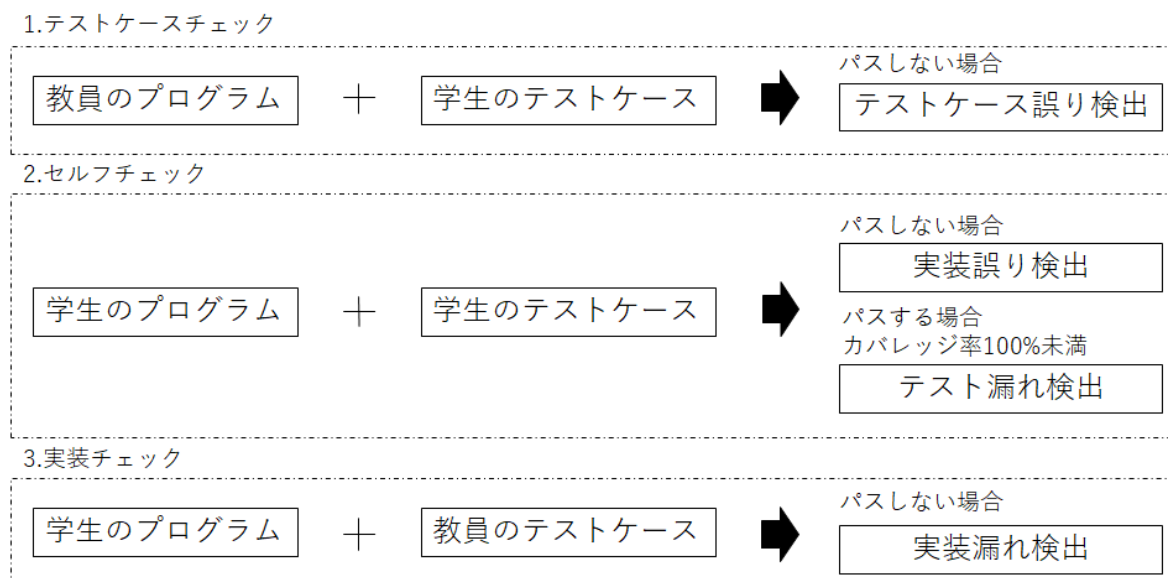


図 1.2 トリプルチェックテストによるコード判定原理

テストケースチェックによって、仕様要求を満たしていないテストケースが検出され、学生のテストケースの間違いが早期に指摘される。なお、仕様要求とは、プログラムにおける関数あるいはサブルーチンの動作が規定されたものであり、戻り値や引数などが定められたものである。教員のプログラムとテストケースはこの仕様要求が満たされるとする。次のセルフチェックでは、テストの実行だけでなくコードカバレッジの測定が行われる。テストにパスしない場合は、学生のプログラムが正しく実装されていないことが分かり、テストにパスしたが、カバレッジが100%でない場合は、テスト漏れが検出され学生に指摘される。最後の実装チェックでは、学生のプログラムが仕様要求の要求をすべて満たしていないことが検知され、次のテスト駆動開発サイクルを始めるよう学生に通知される。実装チェックをパスすることによって、学生が作成したプログラムとテストケースが仕様要求の要求をすべて満たしたことが確認される。

しかし、この手法では学生が仕様通りのプログラムを作成した後に仕様通りのテストケースであるかの確認が行われるため、学生が自身のテストケースを用いてプログラムの確認を行うことができない。

そこで、テストケースが適切であるかを判定する評価基準を用意して、評価基準に対する設計したテストケースの網羅率を求めることで評価を行う文献 [2] の手法の拡張を考える。

1.2 目的

本研究では，評価基準作成時における教員の負担を減らすために，テストケースの評価基準を自動化を行うことを目的とする。プログラムテストとテストケース評価基準，本研究で開発するシステムの関係を図 1.3 に示す。

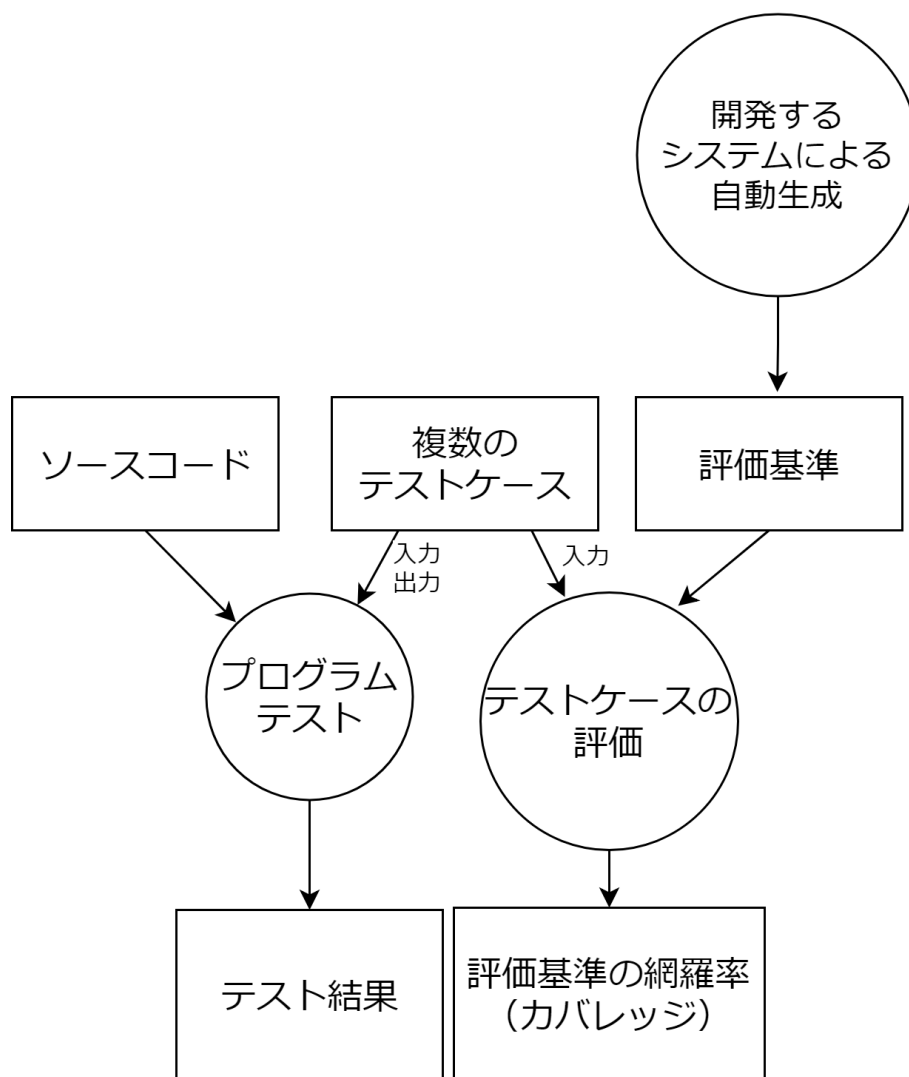


図 1.3 開発するシステムの位置づけ

1.3 論文の構成

以降，第 2 章では，関連研究としてテストケースの評価基準を用意してその網羅率によってテストケースを評価する手法を紹介する。第 3 章では，本研究で提案するテストケース評価基準の自動生成の手法についての説明および，評価基準生成システムを作成した手順について述べる。

第2章 プログラミング演習におけるテストケース評価システム

本章では文献 [2] で提案されているテストケース評価システムについて紹介する。テストケース評価システムでは、学生自身が適切なテストケースを設計できるようになるために、学生が作成したテストケースを評価してアドバイスを行うシステムが提案されている。このシステムでは、教員が演習問題毎にテストケースの評価基準とテストケースが不足していた場合に表示するアドバイスを与える必要がある。演習問題毎にテストしなければならない値や入力データの数が異なるため、評価基準は演習問題を分析した上で、入力データの構造を定義してから記述される。

2.1 テストケース評価システム

テストケース評価システムでは、教員があらかじめテストケース評価基準を作成し、学生が設計したテストケースが評価基準をどの程度パスできるかを判定することによって、テストケースの評価が行われる。評価基準をパスしない場合にアドバイスを表示することで、不足しているテストケースを学生に知らせる。テストケース評価システムにおいて、評価基準は次のようにタブ区切り形式でテキストとして記述される。

評価基準の記述形式

評価基準番号 TAB 判定条件 TAB アドバイス

「判定条件」はテストケースにおける入力データが満たすべき条件で、その条件を満たすテストケースがなかったときに、学習者に「アドバイス」が表示される。同値クラスを評価するための基準が複数ある場合などは、同じ「評価基準番号」を指定することで、評価基準がグループ化できる。例えば、年齢（整数値）を入力して、20 歳以上は成年、20 歳未満は未成年と表示する課題の評価基準は、入力データを変数 `age` として、成年、未成年、エラーの場合について次のように記述される。

評価基準の記述例 1

- 1 TAB age==20 TAB 成年の最低年齢
- 1 TAB age>=20 TAB 成年の場合
- 2 TAB age==19 TAB 未成年の最高年齢
- 2 TAB age==0 TAB 0 歳
- 2 TAB age>=0 && age<20 TAB 未成年の場合
- 3 TAB age<0 TAB 年齢がマイナスの場合

学生が作成したテストケースの網羅率を，次の式で定義される評価基準のテストカバレッジにより提示する。

評価基準のテストカバレッジ (%)

$$\frac{\text{学習者のテストケースがパスした評価基準グループ数}}{\text{教員が記述した評価基準グループ数}} \times 100$$

判定条件の記述において，課題毎に入力データの型や個数が異なるため，テストケースの入力のデータ構造を定義し，そこで定義された変数を用いて判定条件が記述される。

2.2 入力のデータ構造の定義

データ構造は型と変数と出現回数から成る。入力のデータ構造の記述法はバックス・ナウア記法 (BNF) に類した形式で設計された。入力のデータ構造の定義例を以下に示す。なお，* は 0 回以上の繰り返しを表し，pint は正の整数，uint は 0 と正の整数，udouble は 0 と正の実数の型である。

データ構造の定義例

- (A) データ数 (n) を入力し，その個数分身体データを入力する場合
(pint n)
(pint id, string name, uint age, udouble height, udouble weight){n}
- (B) ファイルの終端まで分身体データを入力する場合
(pint id, string name, uint age, udouble height, udouble weight){*}

2.3 関数定義

判定条件の記述に関数を用いることができる。複数の身体データを読み込んで、身長 of 最大値を表示する課題の場合、最大値が複数存在するテストの評価基準は、引数のリスト of 最大値の個数を返す関数 `countmax()` を定義して、次のように記述される。なお、実引数 `height` は全身長データのリストである。関数の評価基準で用いる場合、教員は関数定義も与える必要がある。

関数を用いた評価基準の記述例

1 TAB `countmax(height)>=2` TAB 身長の最大値が複数の場合

`countmax` 関数

```
function countmax($list){  
    $lmax = max($list);  
    return count(array_keys($list, $lmax));  
}
```

2.4 評価基準の具体例

入力が比較的複雑になる課題として、ボウリングの得点計算が例示されている。

ボウリングの点の計算の課題

ボウリングは、1 フレーム目から 10 フレーム目までの倒れたピンの数によって得点が決まる。フレームごとに倒したピンを読み込み、各フレームごとの得点を計算して表示すること。なお、ガーターとミスは 0 と表示するものとし、ダブルがあった場合はメッセージを表示する。

ボウリングのデータ構造

```
(uint thr1, uint thr2){9}  
(uint last1, uint last2, uint last3)
```

ボウリングの評価基準

```
1 TAB thr1 == 10 TAB ストライクのスコア計算
2 TAB thr1 != 10 && thr1+thr2 == 10 TAB スペアのスコア計算
3 TAB last1 == 10 TAB ストライクの通常加算
3 TAB last1 != 10 && last1+last2 == 10 TAB スペアの通常加算
4 TAB double_strike(thr1) || all_strike([last1, last2]) TAB ダブル
4 TAB last_strike(thr1) == 1 && last1 == 10 TAB 最終 F をまたぐダブル
```

ストライクとスペアだった場合のスコア計算が正しいかをテストする必要がある（評価基準番号 1, 2）。最終フレームではストライク、スペアでも通常の加算になるので、それらのテストも必要である（評価基準番号 3）。評価基準番号 4 はダブルについてのテストである。ダブルがあれば true を返す関数 `double_strike()`、リストがすべて 10 ならば true を返す関数 `all_strike()`、リストの最後の要素から 10 が何回連続しているかを返す関数 `last_strike()` が定義されている。

2.5 システムの評価

参考書の例題のテストケースのデータ構造が評価システムに則した形式で記述できるか調査が行われ、実行時に入力データの構造が変化する共用体などの問題以外ではデータ構造を記述できることが確認された。

また、評価システムにより、学生がテストケースを作成できるようになるのか確認をするために、プログラミングを学習済みの学生 7 人が評価システムを使ってボウリングの課題のテストケースを作成した。その結果最終的に 6 人の学生がカバレッジ 100% を達成したことが確認された。

2.6 システムの課題

テストケース評価システムでは、教員が問題文を分析した上で、評価基準を記述しているので、システムを運用する上で教員の負担が大きくなってしまっていると考えられる。そこで、本研究は教員の負担を減らすために、評価基準を自動で生成する方法を提案する。

第3章 テストケース評価基準の自動生成

本章では、テストケース評価基準を自動で生成する手法の概要とシステムを作成する手順を示す。参考書 [3] に記述されている見本のプログラムを参考に評価基準生成システムを作成する。

3.1 手法の概要

設計したテストケースが適切であるかを評価するためのテストケース評価基準を生成する際に、問題文を分析して記述するのではなく、模範解答のプログラムを解析し、テストが必要な値と条件式を抽出することによって、評価基準を生成する。また、入力された変数が正、負、0 である場合のテストケースがあるのかを確認するための評価基準を記述する。さらに、main 関数以外の関数と関数の呼び出し部分を抽出し、評価基準とともに記述する。

3.2 入力データの型に基づく評価基準

まず、変数宣言から変数の型 t と変数名 x を抽出し保持する。標準入力命令

`scanf(f , & x)`

が現れた場合に、変数 x の型を参照し、入力のデータ構造

$(t\ x)$

を生成する。変数 x の型 t が `int`, `double`, `float` のいずれかであった場合は

$x > 0$

$x == 0$

$x < 0$

を評価基準として記述する。

以下に記述する入力された小数を表示するプログラムを用いて定義した通りの実相がされているかを確認する。

```
#include <stdio.h>
```

```

int main(void)
{
    double num;

    printf("小数を入力してください。 \n");

    scanf("%lf", &num);

    printf("%fが入力されました。 \n", num);

    return 0;
}

```

このプログラムでは、変数宣言部分から `double num` を取得し、`scanf` から入力のある変数が `num` であることを判定し、入力データ構造 `double num` が生成される。また、変数 `num` は `double` 型なので、変数 `num` の判別式を評価基準として記述される。上記プログラムを入力としてシステムを実行した結果を以下に示す。

```

入力のデータ構造
(double num)
テストケース評価基準

入力変数の型から生成
num > 0
num == 0
num < 0

```

生成した評価基準をすべて満たすテストケースを入力とした場合の上記プログラムの実行結果を以下に示す。

```

小数を入力してください。
1.2
1.200000が入力されました。
小数を入力してください。
0
0.000000が入力されました。
小数を入力してください。
-0.6
-0.600000が入力されました。

```

3.3 条件文に基づく評価基準

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int res;

    printf("整数を入力してください。\\n");

    scanf("%d", &res);

    if (res == 1){
        printf("1が入力されました。\\n");
    }
    else{
        printf("1以外が入力されました。\\n");
    }

    return 0;
}
```

入力のデータ構造
(int res)
テストケース評価基準

入力変数の型から生成
res > 0
res == 0
res < 0

条件文から生成
res == 1
!(res == 1)

整数を入力してください。
1
1が入力されました。
整数を入力してください。

```
0
1以外が入力されました。
整数を入力してください。
-1
1以外が入力されました。
```

3.4 関数を含むプログラムに対する評価基準

```
#include <stdio.h>

/* sum関数の定義 */
int sum(int x, int y)
{
    int z;

    z = x + y;

    return z;
}

int main(void)
{
    int num1;
    int num2;
    int ans;

    printf("1番目の整数を入力してください。\\n");
    scanf("%d", &num1);

    printf("2番目の整数を入力してください。\\n");
    scanf("%d", &num2);

    ans = sum(num1, num2);

    printf("合計は%dです。\\n", ans);

    return 0;
}
```

```
入力のデータ構造
(int num1 int num2)
```

テストケース評価基準

入力変数の型から生成

```
num1 > 0  
num1 == 0  
num1 < 0  
num2 > 0  
num2 == 0  
num2 < 0
```

1 番目の整数を入力してください。

1

2 番目の整数を入力してください。

2

合計は3です。

1 番目の整数を入力してください。

0

2 番目の整数を入力してください。

0

合計は0です。

1 番目の整数を入力してください。

-2

2 番目の整数を入力してください。

-3

合計は-5です。

第4章 プログラミング課題への適用

この章では、参考書 [3] の練習問題の模範解答から評価基準が生成できるかを検証する。

4.1 評価基準を生成できた問題

問題 1

身長を入力した後に体重を入力して順番に表示する。

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    double height;
    double weight;

    printf("身長を入力してください。 \n");
    scanf("%lf", &height);

    printf("体重を入力してください。 \n");
    scanf("%lf", &weight);

    printf("身長は%fセンチです。 \n", height);
    printf("体重は%fキロです。 \n", weight);

    return 0;
}
```

入力のデータ構造
(double height double weight)

テストケース評価基準

入力変数の型から生成

height > 0

height == 0

```
height < 0
weight > 0
weight == 0
weight < 0
```

```
身長を入力してください。
160
体重を入力してください。
50
身長は160.000000センチです。
体重は50.000000キロです。
身長を入力してください。
0
体重を入力してください。
0
身長は0.000000センチです。
体重は0.000000キロです。
身長を入力してください。
-100
体重を入力してください。
-40
身長は-100.000000センチです。
体重は-40.000000キロです。
```

問題 2

キーボードから整数値を入力させ、値が偶数だった場合と奇数だった場合で違う文章を表示する。

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int res;

    printf("整数を入力してください。\\n");
    scanf("%d", &res);

    if((res % 2) == 0)
        printf("%dは偶数です。\\n", res);
    else
        printf("%dは奇数です。\\n", res);
```

```
    return 0;
}
```

入力のデータ構造
(int res)
テストケース評価基準

入力変数の型から生成
res > 0
res == 0
res < 0

条件文から生成
(res % 2) == 0
!((res % 2) == 0)

整数を入力してください。
1
1は奇数です。
整数を入力してください。
0
0は偶数です。
整数を入力してください。
-2
-2は偶数です。

問題 3

int 型の 2 つの数値の最小値を返す関数 `int min(int x, int y)` を作成し、キーボードから入力した整数の最小値を表示する。

```
#include <stdio.h>

/* min関数の宣言 */
int min(int x, int y);

int main(void)
{
```

```

    int num1;
    int num2;
    int ans;

    printf("1番目の整数を入力してください。\\n");
    scanf("%d", &num1);

    printf("2番目の整数を入力してください。\\n");
    scanf("%d", &num2);

    ans = min(num1, num2);

    printf("最小値は%dです。\\n", ans);

    return 0;
}

/* min関数の定義 */
int min(int x, int y)
{
    if (x < y)
        return x;
    else
        return y;
}

```

入力のデータ構造
(int num1 int num2)

関数

```

int min(int x, int y)
{
    if (x < y)
        return x;
    else
        return y;
}

```

テストケース評価基準

入力変数の型から生成

```

num1 > 0
num1 == 0
num1 < 0

```

```
num2 > 0
num2 == 0
num2 < 0
```

条件文から生成

```
x < y
!(x < y)
```

1 番目の整数を入力してください。

1

2 番目の整数を入力してください。

3

最小値は1です。

1 番目の整数を入力してください。

0

2 番目の整数を入力してください。

-2

最小値は-2です。

1 番目の整数を入力してください。

-1

2 番目の整数を入力してください。

0

最小値は-1です。

4.2 評価基準を生成できなかった問題

問題 5

キーボードからテストの点数を入力させ、その合計値を出力する。最後に答えを出力させる場合は、0を入力する。

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int num = 0;
    int sum = 0;

    do{
        printf("テストの点数を入力してください。(0で終了)\n");
        scanf("%d", &num);
```

```

        sum += num;
    }while(num);

    printf("テストの合計点は%d点です。 \n", sum);

    return 0;
}

```

入力のデータ構造
 (int num)
 テストケース評価基準

入力変数の型から生成
 num > 0
 num == 0
 num < 0

問題 4

キーボードから 5 人分のテストの点数を入力させ、最高点を表示する。

```

#include <stdio.h>
#define NUM 5

int main(void)
{
    int test[NUM];
    int max;
    int i;
    int j;

    max = 0;

    printf("テストの点数を入力してください。 \n");
    for (i = 0; i < NUM; i++)
    {
        scanf("%d", &test[i]);

        if (max < test[i])
            max = test[i];
    }
}

```

```

    for (j = 0; j < NUM; j++)
    {
        printf("%d 番目の人の点数は %d です。 \n", j +
            1, test[j]);
    }

    printf("最高点は%d点です。 \n", max);

    return 0;
}

```

テストケース評価基準

入力変数の型から生成

```

8 > 0
8 == 0
8 < 0

```

条件文から生成

```

max < test[i]
!(max < test[i])

```

```

#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include <stdio.h>
/*BMIの定義*/
double BMI(double height, double weight)
{
    return weight / ((height * height) / 10000);
}
int main(void)
{
    double height;
    double weight;
    double bmi;
    printf("身長を入力してください。 \n");
    scanf("%lf", &height);
    printf("体重を入力してください。 \n");
    scanf("%lf", &weight);

    if (height <= 0 || weight <= 0)
    {
        printf("0より大きい値を入力してください。 \n");
    }
}

```

```

        return -1;
    }
    bmi = BMI(height, weight);

    printf("BMIは%fです。 \n", bmi);

    if (bmi >= 25)
    {
        printf("あなたは肥満です。 \n");
    }
    else if (bmi < 18.5)
    {
        printf("あなたは低体重です。 \n");
    }
    else
    {
        printf("あなたは普通体重です。 \n");
    }
    return 0;
}

```

入力のデータ構造

```
(double height double weight)
```

関数呼び出し

```
bmi = BMI(height, weight);
```

関数

```
double BMI(double height, double weight)
{
    return weight / ((height * height) / 10000);
}

```

テストケース評価基準

入力変数の型から生成

```
height > 0
height == 0
height < 0
weight > 0
weight == 0
weight < 0

```

条件文から生成


```
height <= 0 || weight <= 0  
!(height <= 0 || weight <= 0)  
bmi >= 25  
!(bmi >= 25)  
bmi < 18.5  
!(bmi < 18.5)
```

ソースコード

第5章 おわりに

謝 辞

本研究を進めていく中で，多くの助言とご指摘をいただきました中村正樹准教授，榊原一紀准教授に心より感謝の意を表します。また，合同ゼミにおいて，助言とご協力をいただきました中村研究室，榊原研究室の皆様感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 吉田英輔，角川裕次： テスト駆動開発に基づくプログラミング学習支援システム : 初心者開発者のためのセルフトレーニングアーキテクチャ，信学技報.
SS，ソフトウェアサイエンス，Vol. 105，No.331(2005)，pp.27-32
- [2] 蜂巢吉成，小林悟，吉田敦，阿草清磁： プログラミング演習におけるテストケース
評価システム，コンピュータソフトウェア第 34 巻第 4 号，2017， pp.54-60
- [3] 高橋麻奈： やさしい C，SB クリエイティブ，2012