マークシートを利用した客観テスト ーソースコードからのクラス図導出への適用ー

An Objective Test Using Optical Answer Sheets :
Using a Test to Generate a Class Diagram from Source Code

宮 川 治^{※1}
Osamu MIYAKAWA

高 野 辰 之^{※2}
Tatsuyuki TAKANO

小 濱 隆 司^{※1}
Takashi KOHAMA

Focusing on digitalization of answering and automation of grading of tests, this paper describes migration from descriptive test to an objective test format using optical answer sheets. In a specific example, a test was used to generate a class diagram from source code. In doing so, it proposes an answer format that would not impede freedom of answering. It describes the process of trial and error through the development of its proposal as well as the adoption of optical answer sheets and the questions used. It then reports on practice using these answer sheets. In the practical example it presents, grading was completed in approximately 20 minutes from the time the answer sheets were scanned after the test.

Keywords : Class Diagram, Test, Optical Answer Sheet, Objective Test Format

キーワード : クラス図, テスト, マークシート, 客観テスト形式

1. はじめに

教育の現場では、テストが頻繁に行われる。そのテストでは公平で一貫性のある評価基準が求められている。一貫性のある評価ができる設問形式として客観テストがある。客観テストは採点者（教授者）の恣意性を防ぐために使用される形式である¹⁾。客観テスト形式には(1)真偽形式、(2)多肢選択式（択一式）、(3)組み合わせ式（はめこみ式）、(4)並べ替え式、(5)完成式（穴埋め式）などがある。大学入試センター試験や多くの資格試験で多肢選択式が採用され、マークシートが利用されている。また、客観テストを使用することで、評価の自動化が容易となり、教授者と学生への迅速なフィードバックへとつながる。

マークシートは鉛筆と消しゴムがあれば、特別な設備のない普通教室でのテストの実施が可能になる。過去、マークシートの導入には、専用の読み取り装置の購入や、専用のシートの購入が必要だった。今日、イメージスキャナーと安価なソフトウェアを採用することで、普通紙でのマークシートを作成できる環境が整った。つまり、低コストでマークシートを利用したテストが実施できる。

そこで、本事例では、著者が担当する科目でのマークシート利用の試行錯誤を交えながら、客観テスト形式利用の提案と評価方法、さらには実際の運用結果に関して報告する。

2. 本事例の目標

テストに関わる実施側（教授者）の作業には設問（テスト）作成、テストの実施、解答の評価（採点）と採点結果返却の一連の流れがある。この流れの効率化には、さまざまな研究が提案されている。設問の自動生成²⁾、解答のデジタル化³⁾、採点の自動化⁴⁾、採点結果返却のシステム化などである。本事例は「解答のデジタル化」と「採点の自動化」に着目する。具体例として、ソースコードからのクラス図導出への適応を試みる。その過程で、客観テスト形式の工夫やマークシートを利用する。また、マークシート・レイアウトの再利用を促進する。

3. 使用機材に関して

マークシートの作成や読み取りには、マーくん Ver 4.51⁵⁾を、イメージスキャナー・プリンターとしてHP複合プリンター（HP Officejet Pro X576dw MFP）を使用した。ただし、原本の印刷や確認作業での使用に留めた。実際には科目履修者が100人を超えたため、より高速な共用設備の印刷機や複合機の利用となった。

また、マークシートの作成にはMicrosoft Office Excelが別途必要になる。ExcelのVBA（Visual Basic for Applications）を使用したプログラムで簡単にマークシートを作成することができる。スキャナーで画像化したマークシートはマーくん CSV (Comma-Separated Values) ファイルへとデジタル化できる。

4. 記述式によるクラス図導出

著者の担当する科目の「オブジェクト指向設計」でのマークシートの利用を考えた。この科目は、オブジェ

2020年1月17日受付

※1 東京電機大学システムデザイン工学部

※2 関東学院大学理工学部

図1 ソースコードの例

図2 クラス図の例

図3 クラス間の関係が複数ある例

表1 主なクラス間の関係

クラス間の関係	矢印	集約の有無
1 継承	→	なし
2 実現	→	なし
3 関連	→	なし
4 依存	→	なし
5 関連 + 集約	→	ある

クト指向設計の原理原則や、UML (Unified Modeling Language) に従ったクラス図で表現された静的な構造とソースコード (プログラム) との対応付けを学ぶ。

クラスはオブジェクトの設計図でありソースコードで記述される。クラス図はクラスの概形を図に表したものである。一般的に1つのクラスは複数のクラス間の関係を持っている。また、この科目のソースコードはJavaを対象としている。

クラス図はクラス以外のインタフェースや抽象クラスを表すこともできる。インタフェースはクラス名の前にステレオタイプ<<interface>>を挿入し、抽象クラスはクラス名を斜体で記述する。

実行時の起点となるソースコードではクラスからオブジェクトが生成される。このオブジェクトの移り変わりを正確に理解するにはクラス図による俯瞰の視点が不可欠と考えられる。つまり、クラス間の関係を理解し、構造を把握する必要がある。

そこで、この科目のテストには設問の一部としてソースコードからのクラス図導出があった。以前、記述式における「クラス図導出の設問」は採点時に問題を抱えていた。クラス間の関係は2個のクラスを、方向がわかる矢印で結んで表す。矢印は、シャフトとなる線分の終点にアローヘッドがある。このときに、線分の交点が交差/接続しているかの判断は難しく、複雑な構造を設問として採用すると採点には労力と時間を要する。

そのため、マークシートを解答用紙として利用し、採点時間の軽減を模索した。解答がマークシートであれば、デジタル化は容易となり、採点方法の自動化につなげることができる。

図1がソースコード、図2がクラス図の例である。説明のため、クラス間の関係以外は可能な限り省略をしている。クラス図の上段にクラス名が記述される。Aインタフェースを実現 (クラス間の関係) しているのがBク

Resource.java

```
public interface Resource {
    ...
}
```

File.java

```
public class File implements Resource {
    ...
}
```

Directory.java

```
public class Directory implements Resource {
    private Resource[] resources;
    ...
}
```

問1 Resource インタフェースと File クラスの関係の番号を選びなさい (解答用紙を参照)。

...

図4 設問用紙の例

問1~5に関して解答してください。

	↑	↑	↑	↑	↑
1	1	2	3	4	5
2	1	2	3	4	5
3	1	2	3	4	5

図5 マーク欄 (解答用紙) の例

ラスである。主なクラス間の関係を表1に示す。ただし、関連に関しては誘導可能性を含んだ記述としてある。これは、ソースコードに関連するクラスの記述があることから、自然な解答となる。

図3はクラス間の関係が複数表現されている。線分の交点を黒丸で記述し明確にしてある。この構造は容器 (Directory) と中身 (File) を同一視しているコンポジットパターンである。このようなクラス間の関係が重要となる。テストでは10個前後のクラスを使用する。

図6 メモ用紙の例

図7 選択肢の例

図8 学籍番号のマーク欄

5. マークシート利用への試行錯誤

前提条件として、設問用紙と解答用紙（マークシート）は別とする方法を採用した。理由として、マークシート・レイアウトの大部分の再利用を図るためである。つまり、設問を変更してもマークシートの変更が少なければ手間を減らすことが可能になる。

まずは、いくつかのクラス間の関係を多肢選択式で設問とする方法が考えられる。図3のクラスを設問とする場合、3個のクラス間の関係がある。ただし、設問用紙には設問とは別に全てのクラスのソースコードを記入してある。図4はResourceインタフェースとFileクラスとの関係の設問用紙であり、図5はその設問のマーク欄（解答用紙）の例である。

しかし、設問は特定のクラス間の関係のみ知れば解答でき、全体のクラス図を作成する必要がない。そのため、クラス図を俯瞰の視点から見ることによる「クラス間の構造」の把握につながらない。よって、この方法を却下した。

次に、メモ用紙にクラス図を記述式で書かせてから、その解答をマークシートに転記させる方法を考えた。図6はクラス図を書かせたメモ用紙の例である。10個のクラスの「クラス間の関係」である。メモ用紙には、あらかじめクラス名だけを表記したクラス図を印刷した。学生はクラス間の関係を解答する。このクラス図を書くことで「クラス間の構造」の把握につながることを想定している。図4の設問用紙の例と同様に17個のクラス間の関係を設問する。ここで、マークシートには、図5と同

様に、その関係を多肢選択式で設問する。しかし、この方法ではメモ用紙から転記先の設問を特定するのに学生が苦勞すること、クラス間の関係がないものを設問する問題があることが判明した。

最後に、先ほどのメモ用紙から転記する所までは同じとして、学生が解答を転記する手間を少なくする方法を提案する。具体的には記述式で書かれたメモ用紙のクラス図から、学生が任意の順番でマーク欄に転記できる方法とした。準備として、図7の選択肢の例をマークシートの右端に配置した。集約は関連のみに有無があるが、解答へのヒントとなるためクラス間の関係から分離した。図8は学籍番号のマーク欄である。マークシートの左上に配置した。

クラス図の「矢印の始点と接続するクラス」を始点クラス、「矢印の終点と接続するクラス」を終点クラスと呼ぶ。始点クラス、終点クラスとクラス間の関係を3問の多肢選択式の組み合わせとした。さらに、クラス間の関係には集約を矢印の始点に追加する場合がある。よって、真偽形式を追加し、合計4問の組み合わせとした。

図9は提案するマーク欄である。マークシートの右端には選択肢が「始点と終点クラス」、「クラス間の関係」と「集約」が順に並んでいる。それぞれの選択肢から番号を選ぶことでマーク欄への解答が順不同で可能となる。このマークシートでのクラス個数の上限は15個、「クラス間の関係」の解答数の上限は25個となる。ただし、これらの上限の理由は解答用紙の大きさ（A4）に依存している。

始点クラス															
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

クラス間の関係

1	1	2	3	4
...				
2	1	2	3	4

集約	
	1
	1

		終点クラス															
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	

- (2) Stone
- (3) BlankChar
- (4) Line
- (5) AbstractLine

図9 提案するマーク欄

始点クラス																
1	✓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
2	✓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

クラス間の関係				
1	✓	1	3	4
2	✓	1	3	4

集約	
✓	(1)
.....	
✓	(1)

		終点クラス														
1	✓	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E		
2	✓	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E		

- ② Stone
- ③ BlankChar
- ④ Line
- ⑤ AbstractLine

図10 解答されたマーク欄の例

この方法にも2つの問題がある。(1) 解答が「4問を組み合わせた多肢選択式」であることから、1つの解答に変換する処理が必要となる。(2) クラス間の関係は複数あり、これらの解答は順不同で転記されるため、採点には特別な処理が必要となる。以下、本稿ではこの設問形式を「客観式かつ一問多答型」と呼ぶ。

図10は解答されたマーク欄の例である。横一行の4問が1つのクラス間の関係となる。この図は2つのクラス間の関係を転記した例である。番号は図7の選択肢の例を参考に選んでいる。また、それぞれの解答にはチェック欄があり、転記の確認ができる。

6. 評価方法

採点処理に必要な大まかな処理について集合を用いて述べる。

「客観式かつ一問多答型」の「解答の組み合わせ」の総数は1800 (15 (クラスの個数) $\times$ 4 (クラス間の関係) $\times$ 2 (集約の有無) $\times$ 15 (クラスの個数)) 個である。

この全体集合を $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{1800}\}$ とする. 要素 (元) が 1,800 個の有限集合である.

6.1 基本の処理

正解集合 $C = \{c \mid c \in U, \text{クラス間の関係の正解}\}$ 、
解答集合 $A = \{a \mid a \in U, \text{クラス間の関係の解答}\}$ であるならば、 $CT = C \cap A$ となり、集合 CT の要素が配点対象となる。部分点などが必要ない場合には、この要素の配点を決定することで採点できる。

6.2 部分点の処理

クラス間の関係で集約を忘れて解答することが見受けられる. ケアレスミスという判断で部分点を与えている. 正解集合から解答集合の差集合を CF とする.

$$CF = C - A$$

$$CF' = \{ c \mid c \in CF, \text{集約有} \}$$

f を, CF' から CF'' への写像とする. 要素を「集約有」から「集約無」へ対応 (修正) させる写像となる.

$$CF'' = \{ c \mid f(c) \in CF \}$$

$$\text{加点集合 } P = CT \cup (CF'' \cap (A - C)) \quad \dots\dots\dots (1)$$

加点集合Pの要素が配点対象となる. 式(1)のCTとCF''では配点処理が異なる.

6.3 得点無し の 処理

「客観式かつ一問多答型」では25個の解答をすることが可能である。このため学生は適当な解答を試すことが可能である。この予防策として間違った解答は減点することを周知している。

クラス間の関係の継承などでは、継承先クラス（親クラス）の関係を引き継ぐことができる。クラス間の関係を記述する場合、継承元クラス（子クラス）ではクラス間の関係を省略することが一般的である。もし、学生が省略できる解答を転記しても得点無しの処理とする。

省略集合 $E = \{e \mid e \in U, \text{クラス間の関係の省略可能}\}$ とする.

$$AF = (A - C) - CF''$$

減点集合 $AF' = AF - E$

最終的に AF が間違っただけの解答の集合となり、減点を行うことができる。

6.4 採点結果

図11は集合C, A, E, P等をコンピュータ処理するためのクラス図の見本である。このクラス図で表現されるクラスからオブジェクトを生成し、それぞれの集合の要素とする。クラス図の上段にはクラス名、中段に属性(属性名)が記述される。クラス名は解答としてあるが、正解集合、省略集合と加点集合の要素も同様の属性を持っている。属性とはオブジェクトのデータ定義である。それぞれの属性は4問の解答の組み合わせに対応している。ただし、配点の属性は正解集合や部分点の処理で必要となるため追加している。

マークシートから，これらのオブジェクトを生成することで，配点の合計を計算できる．最後にAF'の間違った解答の集合から減点処理を行い採点結果となる．

7. 具体的な処理

採点処理に必要な細かな処理を述べる。マークシートは複合機のスキャナを

解答

始点クラス
 クラス間の関係
 集約の有無
 終点クラス
 配点

図11 解答のクラス図

図12 マークシートからのCSVファイル

図13 クラス名の対応リスト

図14 解答CSVファイルの例

表2 CSVファイルのフィールド

1列目	処理番号
2列目	学籍番号
3列目から27列目	始点クラス
28列目から52列目	クラス間の関係
53列目から77列目	集約の有無
78列目から102列目	終点クラス

使用し解像度200dpi, 白黒でスキャンし画像データとする。次にマークンでデジタル化する。

以下、第7章の各節ではデジタル化によって作成されたCSVファイル形式の説明から始まり、採点結果に至る経過を第6章の集合を交えながら述べる。また、第7.1節では、得られるデータの形式を直接処理すると頻繁な変更が生じかねない。このため、間接層を利用して実際のデータからの依存を排除している。

7.1 プリプロセッサ (前処理)

図12はマークンでマークシートをデジタル化したCSVファイルである。1行目はヘッダ行である。2行目以降がクラス図の解答となる。1行のデータが表2の形式である。2列目の学籍番号には接頭辞のシングルクォーテーションが付いている。接頭辞はデータ種類の記号である。データを文字列として処理する際には無視できる。学籍番号のマーク欄 (図8) では先頭から3文字目と4文字目を英字表記している。しかし、テキストでは数字に変換されるため、元に戻す処理が必要となる。図13はクラス名の対応リストである。フィールドの値の「1, 2, ..., F」がどのクラスに対応しているかをリストの順番と対応づけている。クラス間の関係は25ずつ離れた4問の解答が1つのクラス間の関係を表している (解答数の上限は25個)。

前処理として、このCSVファイルの2行目からの各行を、学籍番号 (英字に戻したもの) をファイル名とする解答CSVファイルに変換する。図14は解答CSVファイルの例である。1行が1個のクラス間の関係である。1列目に「始点クラス」、2列目に「クラス間の関係」、3列目に「集約の有無」、4列目に「終点クラス」の形式である。このようなファイルを学生の人数分生成する処理を行う。この処理は表2の形式からの依存をさける目的で行われる。

図15 正解CSVファイルの例

図16 省略CSVファイルの例

7.2 解答集合, 正解集合と省略集合

図14の解答CSVファイルから重複を排除したものが第6章の解答集合Aとなる。図15と図16はそれぞれ正解CSVファイルの例と省略CSVファイルの例である。重複を排除すれば、第6章の正解集合Cと省略集合Eとなる。これらの集合の要素には5列目に配点を追加する。

7.3 部分点の配点

部分点の配点は「集約有」から「集約無」にするときに配点を減らす。図15の2行目を例に説明すると、3列目を「有」から「無」に変換し、5列目の配点を $2 - 1 = 1$ と減点することである。対象は第6章の集合CF'である。

7.4 減点の処理と採点結果

採点には第6章の集合AF'の減点の処理が必要となる。今回は、第6章の加点集合Pにおける各要素の配点の合計から集合AF'の個数 $\times (-1)$ の減算処理を行った。これが採点結果となる。

8. 結果

2018年度の中間テストを実施する前に、2017年度のテスト内容でマークシートを利用した演習を行った。これはマークシートのテストに慣れるためである。この演習では大きな混乱はなかった。

2018年度 (前期) の「オブジェクト指向設計」でのク

図17 テストの頻度分布

ラス図の採点結果を図17に示す。このグラフは中間テスト受講者の162名の結果である。マークシートはテストの一部分のため30点満点である。17個の「クラス間の関係」がある設問とした。配点は「集約の有無」がある「クラス間の関係」を2点、それ以外は合計30点となるように1点か2点で調整した。平均は19.1点である。

2018年度の中間テストの実施では、スキャナーでのマークシートの読み込みに10分弱、画像データからのデジタル化に10分程度、採点は数秒で完了した（正解集合等の準備を除く）。PCは標準的な物を使用した。

9. 考察

テストに関わる実施側の一連の流れで、現状で使用できる機材を用いて効率化を試行した。設問（テスト）作成はそのままとして、「採点の自動化」に着目してマークシートを導入し、解答には、記述式で書かれたメモからの転記とした。これにより、テスト受講者の手間が少し増えることがデメリットである。しかし、テスト終了から結果返却のフィードバックが迅速になる点や、メモ用紙の受講者所持による模範解答とのチェックができる点がメリットといえる。

また、共用設備としてLMS（Learning Management System）が導入されている。機能の一部として「テスト結果の受講者への通知」がある。模範解答とメモ用紙とを併用することでテスト結果返却に伴う煩雑な作業が無くなった。さらに、新たな設問（テスト）作成時にはマークシート・レイアウトの修正は必要ではない。「始点と終点クラス」の選択肢を修正することでマークシートの大部分の再利用が可能であり、手間を減らすことが可能である。

また、LMSのテスト機能を使用することで「客観式かつ一問多答型」を複数の設問等で構築することは可能であり、「解答のデジタル化」が実現できる。しかし、「採点の自動化」にはLMSの拡張が必要となり、簡単には実現できない。

10. おわりに

本稿では、テストに関わる「客観式かつ一問多答型」と「採点の自動化」に着目し記述式テストからマークシートを利用した客観テスト形式への落とし込みを示した。具体例として、ソースコードからのクラス図導出への適応を試みた。その過程で、解答の自由度を妨げない「客観式かつ一問多答型」を提案した。提案する設問形式の評価方法を集合の考え方を交えて説明した。これは、汎用的なプログラミング言語を使用し実装可能である。また、実施側がマークシートの利用を考えるうえでの一助と考え、提案に至る試行錯誤を述べた。

2018年度以降、「オブジェクト指向設計」を対象に、このマークシートをテストの一部分として実践している。テスト後のスキャナー読み込みから採点までは20分程度で完了する。

今後の課題としては、異なる設問（テスト）のマークシートへの落とし込みや、テストに関わる実施側の効率化の促進を予定している。

参 考 文 献

- 1) 池田 央：テストの科学，試験にかかわるすべての人に，日本文化科学社，pp.74-75，1997
- 2) 菅沼 明，峯 恒憲，正代隆義：学生の理解度と問題の難易度を動的に評価する練習問題自動生成システム，情報処理学会論文誌，46-7，pp.1810-1818，2005
- 3) 森 薫，田中佳代子，玉村雅敏，金子郁容：マークシート処理システムの拡張による学力調査データ分析方式，日本教育工学会論文誌，37，pp.157-160，2013
- 4) 川場 隆：自動採点可能なウェブ表示用試験問題を記述するマークアップ言語とその処理系の開発，日本教育工学会論文誌，29，pp.69-72，2006
- 5) PCソリューション ヨシダ：普通紙マークシート作成／答案採点プログラム「マーくん」，Webページ，<https://pcsol-yoshida.sakura.ne.jp>，2020，参照日：2020-1-8

著 者 紹 介

宮川 治

現 職 東京電機大学システムデザイン工学部教授

学 位 博士（工学）

専 門 ソフトウェア設計

所属学会 電子情報通信学会，情報処理学会，日本工学教育協会

連絡先 miya@mail.dendai.ac.jp