

# 解析学・線形代数における反転授業の実践と評価

高木 正則

## 1. はじめに

近年、説明型の講義をオンライン教材化して宿題にし、従来宿題であった応用課題を教室で対話的に学ぶ反転授業[1]～[4]が注目を集めている。国内では、プログラミング教育や情報基礎科目などでの実践結果が報告されている[5][6]。著者はこれまで授業中にeラーニング教材で自学自習し、教員や教育アシスタント(TA:Teaching Assistant, SA:Student Assistant)が適宜質問に答える授業や、eラーニング教材による自学自習を予習にし、授業中にグループ学習を行う反転授業を実践してきた。本稿では、解析学と線形代数を対象とした数学リメディアル科目における反転授業の効果検証や課題導出を目的とし、2016年度前期の授業実践の結果を分析する。

## 2. 科目の概要

本学部では、大学入学後の数学系科目に必要な高校数学の単元をソフトウェア情報学の観点から整理し、大学の数学系科目の導入を学ぶ専門基礎科目として3つの必修科目(情報基礎数学A～C)を設置している。専門基礎科目の概要を表1に示す。各科目の履修対象者は大学入学直前に実施するプレースメント・テストの結果で決定する。各科目は全15回の授業で構成され、第15回目の授業時に期末試験を実施する。期末試験の結果、情報基礎数学の単位を取得できなかった学生は夏休みや春休みに実施される集中講義を履修して単位取得を目指す。

## 3. 授業設計

### 3.1. 履修者の属性と授業設計の方針

本学部では、毎年約160名の入学者のうちA0入試や推薦入試で約70名の学生が入学する。これらの入試区分で入学した学生は、高校時代の数学の履修状況が多様であり、数学の前提知識が大きく異なっている。そのため、教員が全学生に対して画一的に講義をする従来型の授業が困難であり、学生の理解状況に応じた個別の学習指導や学習支援が求め

表1 専門基礎科目の概要

科目名	上位科目	学習範囲
情報基礎 数学A	解析学	三角関数, 指数・対数関数, 数列, 極限, 微分, 積分
情報基礎 数学B	統計学	場合の数, 順列, 組合せ, 確率, 基本的な統計量
情報基礎 数学C	線形代数	集合と論理, ベクトル, 行列

られる。しかし、教員の人手は限られるため、個別の学習支援にも限界がある。そこで、基本的な知識はeラーニング教材で学習させ、教員や教育アシスタントが学生の進捗状況を確認して適宜対話しながら個別指導を行える授業をデザインすることとした。

### 3.2. コース設計

図1に情報基礎数学の授業の概要とプレースメント・テストの実施から解析学、統計学、線形代数の履修までの手順を示す。まず、本科目の履修が必要かどうかを判断する前提テストとして、入学時にプレースメント・テストを実施する。プレースメント・テストは情報基礎数学A～Cの3科目分実施し、各科目で合格判定される。プレースメント・テストで合格した学生は、該当する上位科目を履修し、不合格した学生は情報基礎数学を履修する。情報基礎数学の授業では、適宜、事前テストと事後テストを実施する。事前・事後テストの得点が6点未満の学生は、授業後に学習支援コーナー[7]で再テストを受け、学習支援コーナーのチューターから個別指導を受ける。授業中に実施したすべての事前・事後テストまたは学習支援コーナーで受けた再テストに合格した学生は、第15回授業で実施する期末テストを受けることができる。期末テストに合格した学生は情報基

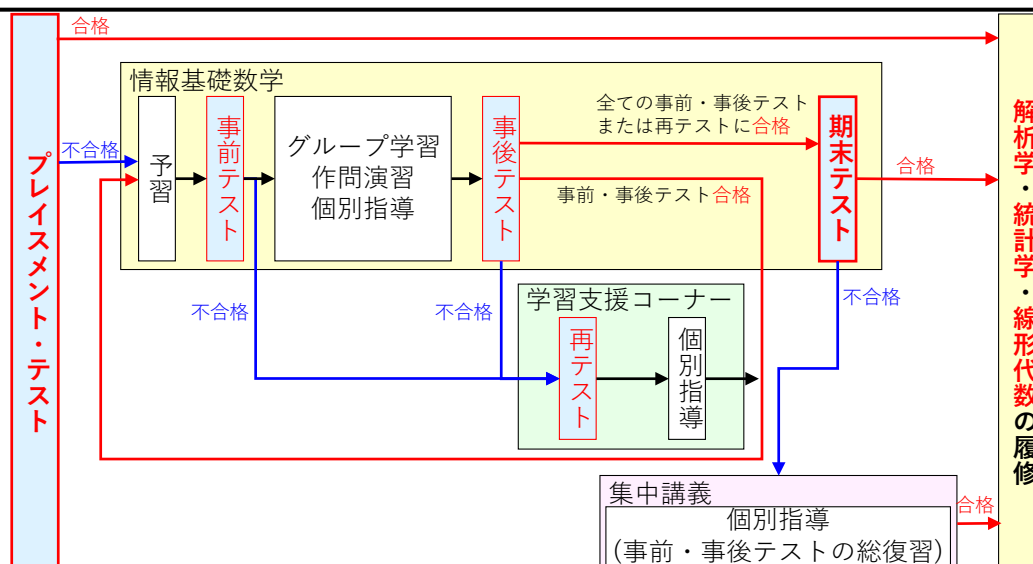


図1 情報基礎数学の授業の概要と解析学・統計学・線形代数の履修の手順

礎数学の単位を取得でき、当該科目の上位科目を履修できるようになる。期末テストに不合格した学生は夏休みや春休みに実施される集中講義を履修する。

### 3.3. 反転授業の概要

情報基礎数学 A と C の授業スケジュールを表 2 と表 3 に示す。情報基礎数学 A の第 1 回～第 6 回、第 8 回から第 13 回、情報基礎数学 C の第 1 回～第 3 回、第 5 回～第 9 回、第 11 回～第 12 回では、反転授業形式で授業を行う。これらの授業では、授業前に e ラーニング教材を活用して予習をし、授業の最初に予習してきた内容の理解を確認する事前テストを行う。その後、5 問程度の発展問題を使ったグループ学習を実施する。最後に、事後テストを紙ベースで実施する。グループ学習では以下のような指示を与えて実施する。

- ・ 出題された発展問題をグループ全員で協力して解答する。
- ・ グループ内で相談しあったり、答えを確認しあったりしてもよい。
- ・ 全問題を解き終えたらグループ全員で各グループ担当の教育アシスタントのところへ行き、1 問ずつ解き方や計算過程を示しながら導きだした答えを説明する。
- ・ 各問題を説明できるのは 1 名のみとし、グループ全員が最低 1 問担当するようにする。

表 2 情報基礎数学 A の授業内容

回	内容	形式
1	三角関数①(弧度法, 基本性質, 三角関数のグラフ)	反転
2	三角関数②(三角方程式・不等式, 加法定理, 加法定理の応用)	反転
3	指数関数①(指数法則, 累乗根, 指数関数のグラフ, 指数の大小比較, 指数方程式・不等式)	反転
4	対数関数①(対数の基本性質, 対数関数のグラフ, 対数の大小比較, 対数方程式・不等式, 常用対数)	反転
5	数列①(等差数列, 等比数列, $\Sigma$ 公式)	反転
6	数列②(いろいろな数列, 漸化式)	反転
7	三角関数, 指数関数, 対数関数, 数列のまとめ	作問 / 面談
8	極限①(無限級数と極限)	反転
9	極限②(極限の計算, 初等関数の極限)	反転
10	微分法①(微分係数, 極限と導関数, 接線の方程式, 関数の増加・減少)	反転
11	微分法②(積と商・合成関数の微分, 初等関数の微分, 微分法の応用)	反転
12	積分法①(不定積分, 定積分, 面積, 体積)	反転
13	積分法②(積分法の応用)	反転
14	極限, 微分法, 積分法のまとめ	作問 / 面談
15	期末試験とまとめ	試験

表 3 情報基礎数学 C の授業内容

回	内容	形式
1	命題論理・集合①(命題, 条件, 否定, 必要条件・十分条件, 逆・裏・対偶, 背理法, 集合の表し方, 和集合, 積集合, 部分集合, 集合が 3 つの場合の和集合と積集合, 補集合, ド・モルガンの法則)	反転
2	命題論理・集合②(集合の応用問題)	反転
3	命題論理・集合③(背理法, 数学的帰納法)	反転
4	命題論理・集合④(まとめ)	作問/ 面談
5	ベクトル①(ベクトルの計算, ベクトルの成分, ベクトルの内積)	反転
6	ベクトル②(位置ベクトル)	反転
7	ベクトル③(ベクトル方程式)	反転
8	ベクトル④(ベクトルの応用, 空間ベクトル①)	反転
9	ベクトル⑤(空間ベクトル②)	反転
10	ベクトル⑥(まとめ)	作問/ 面談
11	行列①(行列の相等と成分, 行列の和・差・実数倍, 零行列と列ベクトル行ベクトル, 行列の積, 対角行列と単位行列, 行列の積の性質, ケーリー・ハミルトン)	反転
12	行列②(逆行列, 連立 1 次方程式の解法, 一次変換)	反転
13	行列③(まとめ)	作問/ 面談
14	総合演習	面談
15	期末試験とまとめ	試験

- ・ 発展問題の解答手順や教育アシスタントへの説明担当者は各グループで決める。
- ・ 制限時間内に教育アシスタントに説明し, 全問正解できたら成績評価に加点する。

### 3.4. 作問演習と個別面談を取り入れた授業の概要

情報基礎数学 A では第 7 回と第 14 回に, 情報基礎数学 C では第 4 回, 第 10 回, 第 13 回に, グループ学習の代わりに作問演習と個別面談を実施する。学生は授業前に教員から指示された学習単元 (カテ

ゴリ) に関する解説付きの四択問題を 2 問作成し, 作問学習支援システム「CollabTest」[8]に問題を登録する。登録した問題はグループ内で共有でき, グループ内の学生同士で相互に問題を解答・評価できる。問題解答後には各問題に対してコメントや評価を投稿できる。授業内では, 教員から提示されたチェックリストに従ってグループ内で相互に問題を解答・評価しあい, クラス全体に公開する問題を各グループ 2 問ずつ選ぶ。選出された問題は授業後に教員が評価し, チェックリストの全項目を満たした問題のみをクラス全体に公開する。学生は公開された問題を授業時間外に解答する。

また, 問題の相互評価と並行して, 教育アシスタントとの個人面談を行う。学生は計算ノートとこれまでの事前・事後テストの用紙を持って, 担当の教育アシスタントのところへ行く。教育アシスタントは各学生の事前・事後テストの結果や e ラーニングの学習ログ (進捗率, 学習時間, ヒント閲覧回数) を確認したうえで, 各学生に対して授業内容の理解状況の確認や学生への励ましを中心に行う。また, 適切な e ラーニングの活用方法についての助言や学習の方法, 計算ノートの作り方の指導などを行う。

### 3.5. e ラーニング教材

情報基礎数学では, e ラーニング教材として, 大学 e ラーニング協議会が提供する e ラーニング教材「共通基盤教育システム」を活用している[9][10]。本教材は, 小学校 4 年生の算数から大学数学の導入までの教材が提供されている。数学以外にも化学, 生物, 物理, TOEIC 対策などの教材も提供されている。教材は Adobe Flash で開発されており, 主に教科書とヒント付きの演習問題で構成されている。

図 2, 図 3 に e ラーニング教材の画面例を示す。数学の教科書は 1,500 以上, 演習問題は 4,000 以上提供されている。教員はこれらの教材から各回の授業で活用する教材を選択し, e ラーニングシステム上でコースを作成する。また, 各回の授業には開始日時と終了日時を登録できる。学生は開始日時と終了日時の間, 登録されている教材にアクセスできる。

その他, Web テスト機能も提供されており, 情報基礎数学のプレイスメント・テストや期末試験はこ

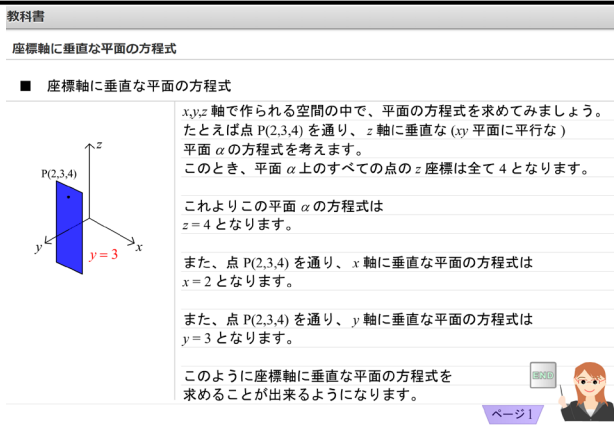


図2 eラーニング教材(教科書)の画面例

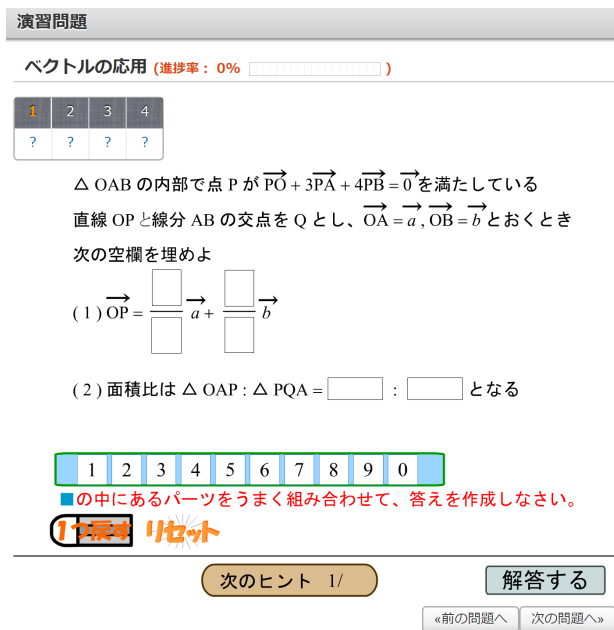


図3 eラーニング教材(演習問題)の画面例

のシステム上で実施している。テストの結果は自動採点されるため、採点には人的負担が一切かからない。教員は各学生の得点や各問題の正答率を把握でき、これらをCSV形式でダウンロードできる。

#### 4. 履修者の実態

##### 4.1. プレイメント・テストの実施結果

2016年4月5日15時20分から17時50分に、情報基礎数学A~Cのプレイメント・テストを実施した。プレイメント・テストはPCが96台設置された教室2部屋に分かれて行い、座席のPCから共通基盤教育システムにアクセスして実施した。情報基礎数学Aは30問、情報基礎数学B, Cは各20問が出題され、試験時間は各40分とした。図4, 図5に情

報基礎数学AとCのプレイメント・テストの得点のヒストグラムを示す。図4, 図5から得点の分散が大きく、満点を取得する学生もいれば、30点以下の学生もいることがわかる。情報基礎数学A, Cともに70点以上を合格とし、65以下の学生が情報基礎数学の履修対象とした。

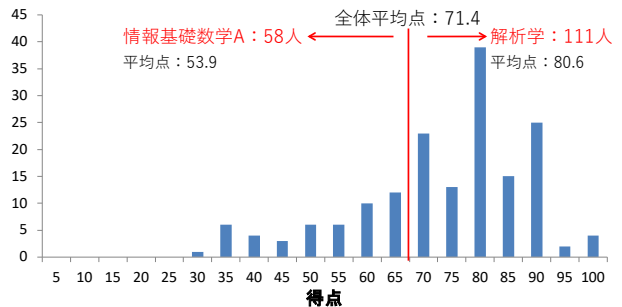


図4 2016年度情報基礎数学Aのプレイメント・テストの結果

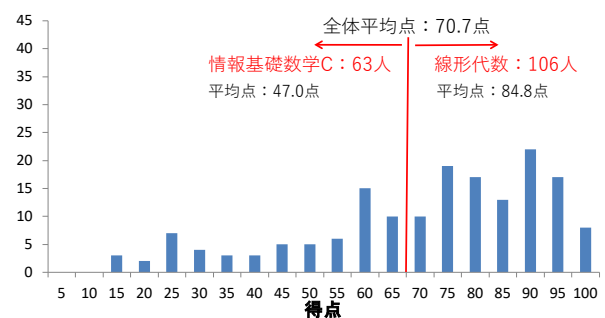


図5 2016年度情報基礎数学Cのプレイメント・テストの結果

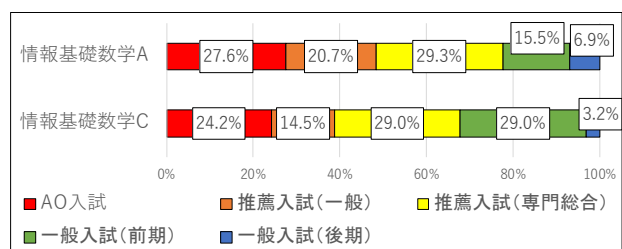


図6 履修者の入試区分の割合

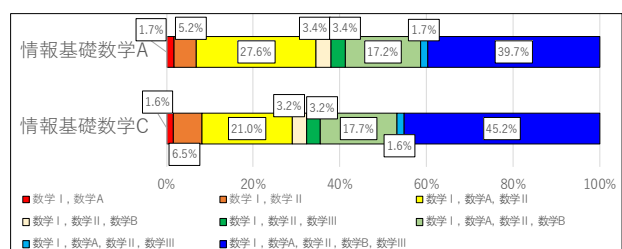


図7 高校時の数学の履修状況

#### 4.2. 入試区分と高校時代の数学の履修状況

情報基礎数学 A, C の履修者に対して, それぞれの第 1 回授業で本学合格時の入試区分と高校時代の数学の履修状況を調査するためのアンケートを実施した. アンケート結果を図 6, 7 に示す. 図 6 の結果から, 情報基礎数学 A, C ともに履修者の 65%以上が A0 入試, 推薦入試で入学した学生であることがわかる. また, 図 7 の結果では, 高校時に数学 I, A, II, B, III を履修した学生の割合が最も高かったことが確認できる. 一方で, 数学 I, A, II しか履修していない学生の割合も高く, 高校時代の数学の履修状況に差があることが確認された.

#### 5. 授業実践の結果

2019 年 4 月から 7 月にかけて, 表 2, 表 3 の内容で授業を実施した. 期末試験は第 15 回授業内で実施し, 情報基礎数学 A が 2016 年 7 月 28 日, 情報基礎数学 C が同年 7 月 29 日に実施した. 期末試験は 20 問が出題され, 試験時間は 60 分とした. 図 8 と図 9 に情報基礎数学 A と C の期末試験の得点のヒストグラムを示す. また, 表 4, 表 5 に情報基礎数学 A と C のプレイスメント・テストと期末試験の結果を示す. 表 4, 5 から, 両科目ともに平均点が 20 点以上向上したことが確認できる.

また, 各科目の単位認定された履修者の割合を表 6 に示す. 表 6 の合格は単位認定された学生数であり, 不合格者数は期末試験を受験しなかった人数も併せて示した. 表 6 に示した通り, 情報基礎数学 A は約 9 割の履修者が合格し, 情報基礎数学 C は 1 名を除く全員が合格していたことから, 本科目の授業設計が有効であったことが示唆できる.

#### 6. おわりに

本稿では, 大学で学ぶ解析学と線形代数の内容に関連付けた数学リメディアル科目における反転授業の効果検証や課題導出を目的とし, 2016 年度前期の授業実践の結果を報告した. この科目では, e ラーニング教材を活用し, 反転授業や作問演習, 個別指導を授業に取り入れ, 多様な学力の履修者に対して, 柔軟に教育できるよう工夫した. 2016 年度前期に実施した授業では, 期末試験の平均点がプレイスメント・テストの平均点に比べ 30 点以上向上した科目も

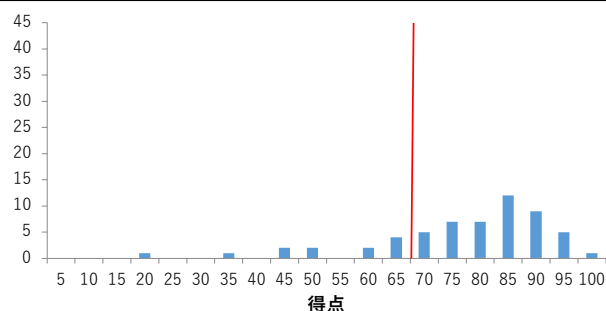


図 8 2016 年度情報基礎数学 A の期末試験の結果

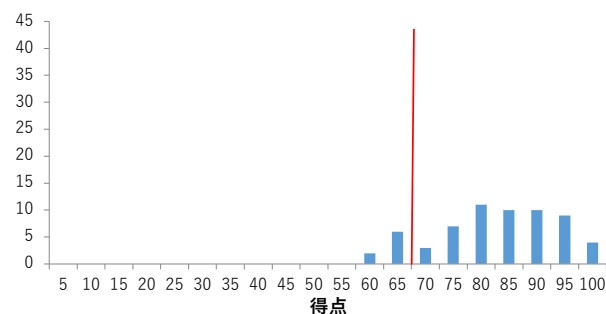


図 9 2016 年度情報基礎数学 C の期末試験の結果

表 4 情報基礎数学 A のプレイスメント・テストと期末テストの結果

	平均点	標準偏差
プレイスメント・テスト	53.9	11.7
期末テスト	77.0	15.9

表 5 情報基礎数学 C のプレイスメント・テストと期末テストの結果

	平均点	標準偏差
プレイスメント・テスト	47.0	16.0
期末テスト	82.7	10.7

表 6 成績評価の結果

科目名	履修者	合格	不合格 (試験未受験者)	合格率
基礎数 A	59 名	52 名	7 名 (1 名)	88.1%
基礎数 C	63 名	62 名	1 名 (0 名)	98.4%

あり、本授業が理解状況の異なる学生たちに対して効率よく教育できていたことが示唆された。

一方で、期末試験で合格点に達しなかった学生も何名かいた。今後は、これらの学生を早期に発見し、授業外に個別の学習指導を行うなどの対策が必要となる。また、e ラーニングの学習ログや事前テスト、事後テストの結果などを含めたデータを解析し、これらの学生の早期発見方法ならびに学習支援方法について検討する。

## 参考文献

- [2] The Flipped Classroom: Turning the Traditional Classroom on its Head, <http://www.knewton.com/flipped-classroom/> (2013. 3)
- [3] ジョナサン・バーグマン, アーロン・サムズ著, 山内祐平, 大浦弘樹監修, 上原裕美子翻訳: 反転授業, オデッセイコミュニケーションズ, 2014
- [4] 重田勝介: 反転授業 ICT による教育改革の進展, 情報管理, Vol. 56, No. 10, pp. 677-684, 2014
- [5] 渡辺博芳, 高井久美子: ブレンド型学習と反転授業の分類に関する検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-CE-130, No. 4, pp. 1-7, 2015
- [6] 林康弘, 深町賢一, 小松川浩: e ラーニング利用による反転授業を取り入れたプログラミング教育の実践, 論文誌 ICT 活用教育方法研究, Vol. 16, NO. 1, pp. 19-23, 2013
- [7] 渡辺博芳, 高井久美子: 「情報基礎」における反転授業の実践, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-CLE-15, No. 5, pp. 1-7, 2015
- [8] 岩手県立大学ソフトウェア情報学部学習支援コーナー, <http://ichi.si.soft.iwate-pu.ac.jp/~lsc/>
- [9] 高木正則, 田中充, 勅使河原可海: 学生による問題作成およびその相互評価を可能とする協調学習型 WBT システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1532-1545, 2007
- [10] 小松川浩: 理工系の知識共有に向けた e-Learning の実証研究, メディア教育研究, Vol. 1, No. 2, pp. 11-22 (2005)
- [11] 共通基盤教育システム (大学 e ラーニング協議会・大学間連携共同教育推進事業), <http://solomon.uelu.org/CIST-Shiva/Index>