

# コロナ禍におけるオンライン授業

## －オンライン数学授業での成績評価の事例－

吉 田 裕 亮

### 1. はじめに

令和2年度は、新型コロナウイルス感染症に翻弄された年であった。本稿を書いている令和3年4月時点でも、依然としてその猛威は衰えず、収束は見えない状況である。令和2年度は、政府からの緊急事態宣言の発出に伴い、日本全国のほとんどの学校で5月末までの約2ヶ月間の休校措置とともに始まった。また、6月からはクラスを偶数組、奇数組と分級し、生徒数を半減させることにより教室内での生徒間の距離を確保し、さらに学校内の密度を下げるために、学年を分散させて登校させるなど厳重な感染拡大防止対策を講じた上で学校は再開された。さらに休校期間が長期化したため、令和2年度の授業日数の確保の問題も含めて、政府内では学校の9月入学への移行が具体的に議論されるなど学校現場は混乱をきわめた。結果的に、令和2年度は多くの学校で夏季休業期間の大幅な短縮および土曜日や休日の授業日への振り替えを行うことで授業日数や時間数を確保した。本校においても例外ではなく、6月から分級・分散登校で再開し、段階的に通常授業に戻すとともに、夏季休業を2週間に短縮し、11月までの祝日を授業日に振り替えることにより授業日数の確保を行った。

長期休校ならびに分級・分散登校期間中の学びの保障という観点からICT機器を活用した、いわゆるオンライン授業が文部科学省からも推奨され、義務教育課程におけるGIGAスクール事業は前倒しでその整備が進められた。もちろん、令和2年度には多くの高等学校においてもオンライン授業が行われた。

さて、本稿は巻頭言ではなく、巻頭論文という形で依頼された。私自身は高等学校において授業を担当していないため、高等学校での授業に関しての論文は書くことはできない。しかし、令和2年度には、お茶の水女子大学の担当授業のひとつとして学部1年生に数学の授業を全面オンラインで行った。この授業は、通常時であれば授業スタイルならびに教室人数は高等学校の数学の授業とほぼ変わらず、多くの共通する問題も含むものと考えられる。私自身もちろん全面オンラインでの授業は初めてのことであったが、それなりに工夫した点もあり、そのオンライン授業の様子を紹介することで、この非常時の記録のひとつとして、後々に残すことにしたい。また本校の多くの教員がお茶の水女子大学の学部授業科目「教科教育法」を担当していることより、同様の授業を担当する本校教員の多少でも参考になれば望外の喜びでもある。

### 2. オンライン授業の形態

ICT機器を用いたオンライン授業と一括りに云っても様々な形態が考えられる。大きくは、同時双方向か否かで、2つに分類されるであろう。

- (1) 学校の授業時程と同期し、クラス全員が同時双方向型のオンライン会議システムにログインし実施する形態
- (2) 生徒が授業動画や教材資料を配信サーバからオンデマンドでダウンロードし、学習後を課題をアップロード等で提出して実施する形態

コロナ禍において、学校でのオンライン授業の様子が報道や各種メディアでも取り上げられている。その多くが、あたかも形態(1)が、唯一のオンライン授業の形態であるかのような扱いがなされているように思われる。しかし、実際に、この形態(1)のオンライン授業を生徒が家庭から参加して行う場合には、生徒一人ひとりが占有できるPC等の端末と授業を行っている時間帯に他用で中断されない個室のような場所も必要となる。また、例えば40人のクラス全員がビデオ・オンの状態で参加した場合には、相当な通信量となり、それなりの通信環境も要求される。加えて、いわゆる顔出しの通信を行う場合、情報セキュリティの問題も発生してくる。形態(1)は、ネットワーク空間に仮想的な教室を設定してのオンライン授業であり、一見すると理想的な形態と思われるが、上で述べたような状況を考えると、現実的な形態でない場合も多い。

本校では令和2年度初めの長期休校期間中に、形態(2)を主体としたオンライン授業を行った。これは、以下のような理由によるものである。すなわち、各生徒の占有PCならびに家庭内での受信場所、通信回線の状況等のICT環境のアンケート調査を行ったところ、約30%の家庭において授業時程と同期した同時双方向型のオンライン授業を実施する場合には何らかの支障が発生する可能性があること、加えて設置者であるお茶の水女子大学からオンライン会議システムの情報セキュリティの脆弱性による生徒個人情報に関する懸念が示されたためである。

本校が用いたLMS(Learning Management System)はMoodleである。各学年の教科毎にコースが設定され、担当教員はそこに授業の教材や課題をアップし、生徒はそれらをオンデマンドでダウンロードし、学習の後に提出物をアップロードあるいは返送する。この方式は、単に教員がメールで教材を配信し、生徒が提出物を返送する方式と違い、各コースを管理する教員は、生徒のアクセス状況の把握が可能であり、各生徒の課題のダウンロードやアップロードの状況が把握できる利点がある。またMoodleのチャット機能等を活用し、生徒からの質問に回答することも可能であり、タイムラグは有るが、幾分かの双方向的な効果を得ることも可能であった。

しかし、今後、再び学校の全面休校の事態が生じた場合には、教科の特性にも依存するが、対応可能な教科や学級活動の一部においては同時双方向的なオンライン会議システムを用いた形態(1)を導入するのが善策とも考えられる。

### 3. オンライン会議システムを用いた数学の授業

令和2年度前期のお茶の水女子大学の学部授業も緊急事態宣言の発出により、開講

が予定より約1月遅れて、全面オンラインで実施することになった。使用するLMSは以前から導入していたMoodleであり、オンライン会議システムとしてはZoomを用いることになった。ここで紹介する私の担当科目は、理学部・情報科学科の1年生前期の「微分積分学」の講義で、その内容は理工系学部初年度の標準的なものであり、数列・級数および関数の極限から始まり、1変数実数値関数の微積分とその応用である。ちょうど高等学校の数学IIIの内容を少し精細にしたものに対応する。当該授業の人数は43名であった。通常時であれば標準的な数学の授業スタイルである黒板による板書主体で実施し、教室内の反応を見ながら、理解度を探りつつ進めて行く。すなわち教室内人数ならびに授業スタイルは、高等学校の数学の授業とほぼ同様である。

当該授業は割り当てられていた金曜7・8時限の90分にリアルタイムで授業を配信することにした。教員側は、ビデオならびに音声はオンの状態であるが、受信側はビデオならびに音声は共にオフの状態とし通信負荷を少しでも軽減するように設定した。授業の進め方は、開講前には、スライドを提示しながら説明をする方法を想定していた。数学関連の発表においてもスライドを用いる場合もあるが、多くは限られた時間内に伝えたいことを全て提示する研究会等での講演において用いられる。そのため、往々にして聴衆の内容理解度を無視した自己満足的な方法となることに注意が必要であることは心得ていた。

しかし、初回の授業では、スライドのみで実施したところ、やはりスライドの枚数は多くなりほとんど紙芝居の状態で、動画を流せば済むような状況となってしまった。これを改善するため2回目以降はペンタブレットを導入し、スライドの提示に加えてペンタブレットによる板書方式で説明をする方法も併用した。この方法は授業アンケートにおいても「理解のできるスピードでの説明になった」との回答も多く得られた。なお、授業アンケートは3回に1度位の頻度で授業の感想や問題点や不明点などを自由に記してLMSにアップして貰うようにし、授業へのフィードバックも行った。

加えてZoomの挙手機能を用いて、学生に問い掛けに反応して貰うことで、多少ではあるが、仮想教室内の理解度の様子を見ながら進められるようにもなった。残りの講義回は、すべてこのような形で進めることにより、単に一方的に動画を流すような状態ではなく、ある程度の同時双方向性のメリットを活かした授業を実施することができたのではないかと考えている。

#### 4. 成績評価の方法

毎回のオンライン授業に関しては上で述べたように、授業の体をなす程度に改善し、実施することができたが、問題となったのは成績評価であった。お茶の水女子大学の学部ではレターグレードであればS, A, B, C, Dの5段階(C以上が単位取得の合格)で成績を評価しなければならない。通常であれば試験を実施して評価を行う講義であるが、オンラインでの試験実施には様々な問題があることは容易に想像でき

る。また対面で試験を実施するにも、コロナ禍のため、入学当初から東京には居住せず、ずっと地方からオンライン授業に出席している学生も居るため、不可能であった。学生の出席状況は Zoom への参加記録で分かるが、その情報からは本当に講義を聴いて内容を理解できたかは全く不明である。そもそも科目の特性上、出席だけで評価するのは全く意味が無いものでもある。また、大学に入学ばかりの 1 年生前期のため、これまでの学業成績等の事前情報も無い状況であった。強いて言えば、入試成績は分かるが、入学後の成績評価に入試成績を加味するのは、明らかに不公平でもある。

思案の後、課題問題を提示し、そのレポートにより評価することにした。計算問題が 1 問ではあるが、1 年生前期の微分積分学で履修した内容をすべて駆使しなければ解けないかなりの難問である。約 3 週間の期間を設定し、じっくり時間を掛けて解いて貰うようにした。もちろん、レポートなので学生らは、何を調べることも可能であることや、友人らで検討し合うことも、想定内である。したがって、インターネットなどを検索して容易に解法が見つかるような積分公式でもなく、オリジナルの公式と言えるものを用意した。その課題が、以下の問題である。

#### レポート課題

a を  $a > 1$  または  $a < 0$  なる定数とする。このとき広義積分で与えられる定積分

$$I = \int_0^1 \frac{\sqrt{1-x^2}}{a-x^2} \log x \, dx$$

を計算せよ。

一見すると、どこかの公式集にでも挙げられているような定積分に思われるが、どこにも見当たらないものである。この問題の出所や由来ならびに解法に関しては、最後に述べることにする。

既習の微積分の様々な知識を用いる必要があるので、レポートでは、おそらく講義内容の理解度や計算力に応じて、段階的に途中まで計算出来るであろうと予想していた。結果として、予想通り各学生の理解度や習熟度に対応した評価となった。

このような評価であったと判断したのは、以下の理由によるものである。実はこの「微分積分学」の授業には、演習科目が設定されていて、別の教員（非常勤講師）が担当していた。演習授業は、教員側から演習問題を提示して、それらを解いて提出するオンデマンド形態でのオンライン授業が行われていた。毎回の演習問題は講義内容の理解を深め、計算力を養う基本かつ標準的な問題が用意されていた。当該の演習授業の成績評価は提出物により行われた。演習授業の成績評価とこのレポート問題による成績評価の相関は非常に高いものであった。

数名が演習授業と講義のレポートでの成績評価に大きな差異がみられたが、その学生に後に確認したところ、レポート問題を見て、演習問題程度で解けるであろうと思

い込み締め切り直前まで手を付けずに放って置いたら、存外に難しく、出来ないまま時間切れとなってしまったとのことであった。

今回は偶然にも、適切なレポート問題が提示することができたのは幸いであったが、試験も含めて全面的にオンライン授業にならざるを得ない場合には、数学のような教科において、成績評価をいかに公平に行うかと云うのは、かなりの難しい問題ではないかと思われる。

## 5. レポート問題の出所・由来と解法

本レポート問題は、私自身の研究の中で、正の領域にコンパクトな台をもつある確率測度の対数ポテンシャルの計算の際に必要なものであり、当該分野の文献 [1], Chapter5 で紹介されている。元々の証明には複素積分が用いられ、非常に技巧的な方法で示されている。私自身、実積分なのでもっとナイーブに求められないものかと、実際に計算をしたところ、計算は大変面倒ではあったが、大学の学部1年生前期で習う微積分の知識で、何とか求めることも可能であることを以前に見ていた。また逆正接関数の微積分と広義積分のためその極限の計算が必要となるが、それ以外は、置換積分と部分積分を繰り返すことなので、本質的には高等学校の数学 III の範疇であるともいえる。これらのことから、この計算問題を課題として提示した。

最終的な計算結果は

$$I = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{a-1}{a}} \log \left( 1 + \sqrt{\frac{a-1}{a}} \right) - \frac{\pi}{2} \log 2$$

である。なお、この表記は  $a > 1$  か  $a < 0$  に依らず同じで、オリジナルの表記より簡単化されている。

提出レポートを確認した結果、かなり最終段階まで求められていたケースもあったが、最後まで計算が完了した者はいなかった。

計算の方法は、まず  $x = \cos \theta$  として置換積分を行うことにより、計算の後

$$I = (1-a) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\log(\cos \theta)}{a - \cos^2 \theta} d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \log(\cos \theta) d\theta$$

となる。ここまでは、大方の学生ができていた。右辺の第2項は  $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \log(\cos \theta) d\theta = -\frac{\pi}{2} \log 2$

であることは、容易に示せるので計算をしなければならないのは第1項内の  $J = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\log(\cos \theta)}{a - \cos^2 \theta} d\theta$

である。これには、微分公式

$$(i) \quad \frac{d}{d\theta} \{ \log(\cos \theta) \} = -\tan \theta,$$

$$(ii) \quad \frac{d}{d\theta} \left\{ \frac{1}{\sqrt{a(a-1)}} \operatorname{Arctan} \left( \sqrt{\frac{a}{a-1}} \tan \theta \right) \right\} = \begin{cases} \frac{1}{a - \cos^2 \theta}, & a > 1, \\ -\frac{1}{a - \cos^2 \theta}, & a < 0. \end{cases}$$

を用いて部分積分を施すことになる。ここで、定積分  $J$  は広義積分であるため、積分区間は  $[0, \frac{\pi}{2} - \varepsilon]$  として、 $\varepsilon \rightarrow +0$  の極限を取るようしなければならない。この1回目の部分積分の計算まで出来ていたのは約4割程度の学生であった。

次に、この部分積分を施した結果に、再び部分積分を施さなければならない。これには、少々面倒な計算が必要となり、そこで多くの学生が行き詰まっていた。以降の計算は、紙面の都合で割愛するが、ここからがこのレポート問題の主計算である。その計算の過程においては、次の定積分の公式を導くことが本質的となる。

補題

$$\int_0^{\pi} \log(b + \cos \theta) d\theta = -\pi \log 2(b - \sqrt{b^2 - 1}), \quad b > 1.$$

なお、この積分公式も見た目に比して導出は意外と難しい。後に分かったことであるが、この計算は [2], Section 3 や [3], Chaper 6 にあるフーリエ級数展開

$$\log(1 - \cos \theta) = -2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(n\theta)}{n} - \log 2$$

を用いても示すことも可能である。さらにこの展開公式は非ユークリッド幾何学の双曲幾何における理想四面体の体積公式に現れるロバチェフスキー関数とも関連している。

かなりの骨のある課題問題ではあったが、レポートの感想には、「難しい問題で、計算は最後までは出来なかったが、様々に考えることが勉強になり、意外と楽しかった。」「これほど長く1つの問題と向き合ったのは初めてで、何時間も時間を忘れて計算した。」「今までのようにいろいろな微分、積分のやり方が通用せず、とても頭を使いました。でもこれも数学の面白いところだなと感じました。」などのポジティブな回答も多く、じっくりと考える時間を与えると云うレポート課題としての目的は十分に果たしたと考えている。

- [1] F. Hiai and D. Petz, *The Semicircle Law, Free Random Variables, and Entropy*, Mathematical Surveys and Monographs Vol. **77**, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2000.
- [2] M. Ledoux and I. Popescu, Mass transportation proofs of free functional inequalities, and free Poincare inequalities, *J. Funct. Anal.* **257** (2009), 1175-1221.
- [3] J. Mingo and R. Speicher, *Free Probability and Random Matrices*, Fields Institute Monographs Vol. **35**, Springer, New York, NY, 2017.