2020年度 東京都立大学 理学研究科

教育改革推進事業（理学ＧＰ）

数理科学を基盤とした理工横断型人材育成システム

報告書

東京都立大学　理学研究科

数理科学専攻

2021年5月

実施代表者：高津飛鳥

目次

1. はじめに

この報告書は、「東京都立大学理学研究科教育改革推進事業」として、2020年度に実施した「数理科学を基盤とした理工横断型人材育成システム」の成果をまとめたものです。本事業は、首都大学東京理工学研究科の数理情報科学専攻、電気電子工学専攻、機械工学専攻の3専攻が連携・協力し平成21～23年度に実施した文部科学省の組織的大学院教育改革推進事業「理工横断型人材育成システムの再構築」、および平成24～27年度に実施した首都大学東京教育改革推進事業「数理科学を基盤とした理工横断型人材育成システム」の後継事業として、東京都立大学理学研究科の数理科学専攻が実施したもので、学生たちの実践的な交流を通じ、「理学的発想・アプローチ」と「工学的発想・アプローチ」の双方を理解できる人材の育成を目標としています。

過去10年間の文部科学省・首都大学東京および東京都立大学の事業の成果をふまえ、理学研究科の事業として実施した2020年度は、ＧＰアシスタント活動（理工数学相談室・マスクリニック）を継続しました。これらの活動が、数理科学専攻の枠にとどまらず、今後の理工交流活動の土台となることを願ってやみません。

2020年3月31日
実施代表者：高津飛鳥（数理科学専攻）

2. 事業の概要

ＧＰアシスタント活動

「理工数学相談室」（前期：毎週月・火・水・金曜の５限、後期：毎週火曜の４・５限と水曜の５限）「マスクリニック」（前後期：毎週木曜の４・５限）に、それぞれ2〜4名のＧＰアシスタントを配置し、主に学部学生を対象に、オンラインで数学の質問に答えました。ＧＰアシスタントの交流、専門知識の復習、コミュニケーション能力・企画力の向上を図るとともに、全学の理系共通基礎科目教育にも貢献するプログラムです。

前年度までは以下の活動も行っていました。

- 数電機シンポジウム「Mathematics in the Real World」数理科学と工学の連携をテーマとして、さまざまな分野で活躍している講演者を招待し、毎年１回開催しているシンポジウムです。数理情報科学専攻、電気電子工学専攻、機械工学専攻のみにとどまらず、学生を交えた理工横断的な研究交流の場となっています。
- 理工横断セミナー
  理学と工学という異なる基盤をもった学生たちが、他分野の学生・教員に対して発表を行い、自由に討論する「理工連携セミナー」（各期５回）と、産業界での数理科学の活用例に触れる「理工キャリアパスセミナー」（各期３回）を実施しています。他専攻の大学院生との交流、他分野の発想・アプローチの理解、コミュニケーション・プレゼンテーション能力の向上、就業力の養成を図るプログラムであり、数理情報科学専攻・物理学専攻・生命科学専攻・電気電子工学専攻・機械工学専攻の専攻科目となっています。
- 数電機連携・横断プロジェクト活動主に数理情報科学専攻・電気電子工学専攻・機械工学専攻の大学院生が、自主的な共同研究を企画して活動する「横断プロジェクト」と高度な教員（間）の研究プロジェクトに参画して研究推進を行う「連携プロジェクト」の２つからなる、数理情報科学専攻・電気電子工学専攻・機械工学専攻の専攻科目です。他専攻の教員・大学院生との交流、コミュニケーション能力・企画力の向上、他分野の発想・アプローチの習得を図るプログラムです。

3. 2020年度実施報告

2020年度の本GP事業のメンバーは、以下の通りです。

- 高津飛鳥（数理科学専攻、実施代表者）
- 石谷謙介 (数理科学専攻)
- 枋久保文嘉（電子情報システム工学域）
- 小口俊樹 （機械システム工学域）

各学期のプログラム開始時 （5月21日（木）· 10月2日（金）） に 、「数電機ＧＰ履修ガイダンス」を開催しアシタトの募集や担当者にプログラムの趣旨説明を行いました。

(1) ＧＰアシスタント活動

数理科学専攻の以下16名をＧＰアシスタントとして採用しました。

氏名	学年	専攻	指導教員
加藤一樹	M1	数理科学専攻	黒田茂
十時初	M1	数理科学専攻	高桑昇一郎
平井瑛大	M1	数理科学専攻	石谷謙介
堀田恵介	M1	数理科学専攻	吉冨和志
松岡大至	M1	数理科学専攻	内田幸寛
笹原優大	M2	数理科学専攻	酒井高司
竹原颪太	M2	数理科学専攻	津村博文
東樹真輝	M2	数理科学専攻	高津飛鳥
栃谷悠紀	M2	数理科学専攻	上原北斗
簗島瞬	M2	数理科学専攻	石谷謙介
秋山梨佳	D1	数理科学専攻	酒井高司
長田祐輝	D1	数理科学専攻	倉田和浩
佐藤光夫	D1	数理科学専攻	吉冨和志
渡辺智信	D1	数理科学専攻	上原北斗
佐藤雄一郎	D3	数理科学専攻	酒井高司
石井裕太	D3	数理科学専攻	倉田和浩

そして

- 理工数学相談室（前期：毎週月・火・水・金曜の5限、後期：毎週火曜の4・5限と水曜の5限）
- マスクリニック（前後期：毎週木曜の4・5限）

をオンラインで運営しました。これらの活動は、微分積分・線形代数の授業や、kibacoで学生に対する周知を行いました。

相談者は学部1・2年生、相談内容は理系共通基礎科目が中心でした。また、理工数学相談室（理工なんでも相談室との合同集計）とマスクリニックの利用者の延べ人数は、以下の通りでした。

	理工数学相談室	マスクリニック	合計
前期	201	73	274
後期	94	91	185

例年、年を追うごとに利用者が着実に増加する傾向が見て取れます。今年度は前期の開始時期が遅かったため、前年度と比較すると利用者は減少していますが、前年度同時期では利用者は増加しています。また後期は実施時間を減らしたために、総利用者数は減っていますが、単位時間あたりの利用者は同等もしくは増加傾向にあります。そして例年同様、利用者にはリピーターも多く、学習の定着に一役買っていることが伺えました。

また、オンライン実施であったことを鑑みて、今年度は例年行っている期末試験対策を行わず、新しい取り組みとして、勉強に悩む学生への指針になることを目的とした「SUURI! 知恵袋TMU～先輩からの声～」を作成しました。

オンライン実施で戸惑う点も多かったのですが、Google formを用いた事前予約制度など良かった点もあるため、対面実施になった場合も継続して事前予約制度を使うことが検討されました。

(2) 数電機シンポジウム

今年度は開講しませんでした。

(3) 理工横断セミナー

今年度は開講しませんでした。

(4) 数電機連携・横断プロジェクト

今年度は開講しませんでした。

4. 2020年度会計報告

(1) 予算

理学研究科教育改革推進費：	1,000,000円
数理科学専攻学生経費：	500,000円
合計:	1,500,000円

(2) 決算

人件費（ＴＡ雇用）:	1,040,600円
数理情報科学専攻への戻し金：	459,400円
合計:	1,500,000円

5. 資料編

(1) 2020 年度ＧＰアシスタント募集要項

(2) 理工数学相談室・マスクリニック実施案内

(3) SUURI! 知恵袋 TMU～先輩からの声～

２０２０年度数電機ＧＰアシスタント募集要項

１．制度の趣旨

数理科学専攻による、2020 年度理工学研究科教育改革推進プログラム：

「数理科学を基盤とした理工横断型人材育成システム」

（代表：数理情報科学専攻・高津飛鳥）では、本プログラムの推進に係る人材として、以下の要領で**ティーチングアシスタント**を募集します。本プログラムに関する情報は、数電機ＧＰのＷｅｂページ http://www.se.tmu.ac.jp/mis/mem.html を参照してください。

２．採用予定人数

ティーチングアシスタントを**１０名**程度採用する予定です。

３．対象者

理学研究科、理工学研究科及びシステムデザイン研究科の、**主に博士前期課程に在籍する大学院生**を対象とします。

※本プログラムへ積極的に参加する人材を優先して採用します。

※日本学生支援機構奨学金等、貸与の奨学金を受けている場合も応募可能です。

４．期間

２０２０年５月１日から２０２０年９月３０日までの**６ヶ月間**とします。

５．待遇

東京都立大学の**ＧＰアシスタント**として採用します。

６．業務時間数および業務内容

・時給は**１３００円（博士前期課程）・１４００円（博士後期課程）**とします。

・週２時間～週６時間の勤務で、主な業務内容は以下の通りです。

(1)　担当教員の指導のもと、理系共通基礎科目に関する質問などに対応する**「理工数学相談室」**（１号館２０３、２０６室）および**「マスクリニック」活動**（８号館６階ＥＶ前）をチームで担当し、週１～３回（１回２時間）のペースで勤務する。

(2)　特定のテーマを、学部生にわかりやすく解説する**自主企画**を１～２回開催する。

・　契約期間終了時には、**ＴＡ活動報告書**の提出を求めます。

７．申し込み方法など

２０２０年３月 19 日（木）～４月 15 日（水）正午の期間に、**指導教員**を通じて

２０２０年度数電機ＧＰ代表：高津飛鳥（asuka@tmu.ac.jp）

まで申し込んでください。氏名、学修番号、電子メールアドレスを明記願います。応募多数の場合は、本プログラムへの取り組み意欲等をもとに数電機連携ＧＰ推進室で審査を行い、その採否を決定します。**審査結果は２０２０年４月 15 日または１６日**に、本人に直接通知します。採択者には４月 17 日までに返信を要するメールを送りますので、この時期は必ずメールをご確認ください。また、**5 月 12 日（火）の昼休み**に初回のミーティングを行う予定です。

２０２０年度数電機ＧＰアシスタント募集要項

１．制度の趣旨

数理科学専攻による、２０２０年度理工学研究科教育改革推進プログラム：

「数理科学を基盤とした理工横断型人材育成システム」

（代表：数理情報科学専攻・高津飛鳥）では、本プログラムの推進に係る人材として、以下の要領で**ティーチングアシスタント**を募集します。本プログラムに関する情報は、数電機ＧＰのＷｅｂページ http://www.se.tmu.ac.jp/mis/mem.html を参照してください。

２．採用予定人数

ティーチングアシスタントを**１０名**程度採用する予定です。

３．対象者

理学研究科、理工学研究科及びシステムデザイン研究科の、**主に博士前期課程に在籍する大学院生**を対象とします。

※本プログラムへ積極的に参加する人材を優先して採用します。

※日本学生支援機構奨学金等、貸与の奨学金を受けている場合も応募可能です。

４．期間

２０２０年１０月１日から２０２０年３月３１日までの**６ヶ月間**とします。

５．待遇

東京都立大学の**ＧＰアシスタント**として採用します。

６．業務時間数および業務内容

・時給は**１３００円（博士前期課程）・１４００円（博士後期課程）**とします。

・週２時間～週６時間の勤務で、主な業務内容は以下の通りです。

⑴　担当教員の指導のもと、理系共通基礎科目に関する質問などに対応する**「理工数学相談室」**（１号館２０５室）および**「マスクリニック」活動**（８号館６階ＥＶ前）をチームで担当し、週１～３回（１回２時間）のペースで勤務する。
ただし状況によっては、対面ではなくオンラインで活動する。

⑵　特定のテーマを、学部生にわかりやすく解説する**自主企画**を１～２回開催する。

・　契約期間終了時には、**ＴＡ活動報告書**の提出を求めます。

７．申し込み方法など

２０２０年８月２０日（木）正午までに、**指導教員**を通じて

２０２０年度数電機ＧＰ代表：高津飛鳥（asuka@tmu.ac.jp）

に申し込んでください。氏名、学修番号、電子メールアドレスを明記願います。応募多数の場合は、本プログラムへの取り組み意欲等をもとに数電機連携ＧＰ推進室で審査を行い、その採否を決定します。審査結果は**２０２０年８月２１日まで**に、本人に直接通知します。採択者には８月２４日までに返信を要するメールを送りますので、この時期は必ずメールをご確認ください。また、**１０月１日（木）の昼休み**に初回のミーティングを行う予定です。

2020年度　東京都立大学　教育改革推進事業

MathClinic　理工数学相談室　理工なんでも相談室　Online

数学の様々な悩み・質問に大学院生がオンラインでお答えします！

月：16:20〜17:50 (理工数学相談室)

Googleフォーム→ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSddayHzo9Pdu5Du6IN0nnBW53rDUj2xHG4iK7PMUv7KXSYfMA/viewform

火：16:20〜17:50 (理工数学相談室)

Googleフォーム→ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf1Dz72150PfnNhff0zP0ly7Ty5MKJIHIAHEzcy_VZOhYjScg/viewform

水：16:20〜17:50 (理工数学相談室・理工なんでも相談室 合同開催)

Googleフォーム→ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfpP-UOx5mR1PVIS1ON2HBWnU9FH3DZ5qp3zbaIGEjPPKMMSQ/viewform

木：14:40〜17:50 (MathClinic)

Googleフォーム→ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeTawWtgClauGj9mKxMnb5lH7p3hNAfTQevY3EpgK9iGGBglw/viewform

金：16:20〜17:50 (理工数学相談室)

Googleフォーム→ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSerOfQpOGD74_9fTOitL6QBrYVxOZERLlyj2kMIz4nhiS_xew/viewform

実施期間：6月11日から対面式での実施が可能になるまで, または7月下旬頃まで.

各曜日のGoogleフォームのQRコードはこちら

月　火　水　木　金

利用法：

・まずはkibacoで以下のコースを検索して、自己登録して下さい。

　コース名:理工 GP および理学教育 GP

　コース ID:ad2020rikyougp

・利用日の1 週間前の18:30から利用日の16:00 までに、上記の各曜日の Google フォームで必要な事項を記入後 kibacoで公開されている URL から Zoom の部屋にご入室ください。

・事前予約なしのご利用は、Zoom の入室後に相談に応じます。

※twitter(非公式)でも混雑状況などの周知をしています。DMやリプライは原則非対応です。
https://twitter.com/MathClinic2

※Zoomの画面共有の使い方などについては、利用の手引きがkibacoの資料にありますので
ご利用の前にご一読をお願いいたします。

2020年度　東京都立大学　教育改革推進事業

MathClinic　理工数学相談室　理工なんでも相談室　Online

数学の様々な悩み・質問に大学院生がオンラインで対応します。

実施期間：10月8日から試験期間まで(予定)

火：14:40〜17:50 (理工数学相談室・理工なんでも相談室 合同開催)

Googleフォーム→ https://forms.gle/mmcZh2whCM5w7hnJ8

木：14:40〜17:50 (MathClinic)

Googleフォーム→ https://forms.gle/JEh9cDUnBtJHkvzZ9

利用法：

・まずはkibacoで以下のコースを検索して、自己登録して下さい。
　コース名:理工GPおよび理学教育GP（後期）
　コース ID:ad2020rikougp2
・利用日の1 週間前の18:30から利用日の14:20までに、上記の各曜日の Google フォームで必要な事項を記入後、kibacoで公開されている URL から Zoom の部屋にご入室ください。
・事前予約なしのご利用は、Zoom の入室後に相談に応じます。

※twitter(非公式)でも混雑状況などの周知をしています。DMやリプライは原則非対応です。
https://twitter.com/MathClinic2
※Zoomの画面共有の使い方などについては、利用の手引きがkibacoの資料にありますのでご利用の前にご一読をお願いいたします。

理工数学相談室

MATH CLINIC

2020 年度後期は

火曜日 4,5 限　理工数学相談室

水曜日 5 限　理工数学相談室

木曜日 4,5 限　Math Clinic

それぞれオンラインで

開講しています。

数学の質問、数学に関する悩み

一緒に解決しましょう！

- ✓ 数学の講義でわからなかった内容を受け付けています.
- ✓ 数学の勉強方法や将来の進路選択まで気軽にご相談ください.

ご利用の際のポイント

- 比較的 5 限がすいている傾向があります. 個別で相談をご希望の場合は, 16 時以降の時間帯への予約がお勧めです.
- ある程度同じ質問があれば, 複数人でまとめて対応しています. もちろん一対一での質問対応も可能です. お気軽にお声がけください.
- 画面共有をすることで質問内容を把握することが多いです. ご利用の際はあらかじめ資料などを用意しておいていただけると助かります.

利用法

- ✓ まずは kibaco で以下のコースを検索して自己登録してください.
  コース名：理工 GP および理学教育 GP(後期)
  コース ID：ad2020rikougp2
- ✓ 理工数学相談室(**水曜日**)は利用日の 1 週間前の 18:30 から利用日の 16:00 までに,
  理工数学相談室・理工何でも相談室(**火曜日**)と Math Clinic(**木曜日**)は利用日の 1 週間前の 18:30 から利用日の 14:20 までに,
  各曜日の Google フォームで必要事項を記入後, kibaco で公開されている URL から Zoom の部屋にご入室ください.
- ✓ 事前予約なしのご利用は, Zoom の入室後に相談に応じます.

TA シフト表 (12 月 11 日現在)

	火曜日 (理工なんでも相談室・理工数学相談室)	
4 限	石井 (D3 / 解析)	堀田 (M1 / 解析) 舛谷 (M2 / 代数)
5 限	加藤 (M1 / 代数) 平井 (M1 / 解析) 市川 (M2 / 代数)	

	水曜日 (理工数学相談室)	
5 限	加藤 (M1 / 代数) 笹原 (M2 / 幾何)	簗島 (M2 / 解析) 秋山 (D1 / 幾何)

	木曜日 (Math Clinic)	
4 限	加藤 (M1 / 代数) 秋山 (D1 / 幾何)	平井 (M1 / 解析) 松岡 (M1 / 代数) 長田 (D1 / 解析)
5 限	笹原 (M2 / 幾何)	

TA 紹介

- 加藤 : 代数学専攻で, 現在は多項式環論について研究しています.
- 平井 : 数理ファイナンスの研究を行っていて, 学部時代は測度論や基本的な確率論に力を入れて勉強していました.
- 堀田 : 偏微分方程式の解析道具である擬微分作用素の研究を行っています.
- 松岡 : 専攻は代数学で, 現在は楕円曲線論について勉強中です.
- 市川 : 専攻は代数学で暗号理論の中でも特に楕円曲線暗号について研究しています.
- 笹原 : 微分幾何の中でもある超曲面を研究しています. TeX の操作方法や, 少々プログラミング (Python 等)についても対応できます.
- 舛谷 : 代数幾何を専攻しています. 中でも曲面の幾何について研究しています.
- 簗島 : 確率解析を専攻しています. 解析学全般に加え, 統計, プログラミング等に興味があります.
- 秋山 : 学部時は他大学に在籍していたので大学院入試関係の相談にも乗れると思います. 専攻は微分幾何です.
- 長田 : 非線形シュレディンガー方程式に付随する変分問題について研究しております.
- 石井 : 化学現象や生命現象を記述した数理モデルの数学解析を行っております.

SUURI! 知恵袋 TMU
～先輩からの声～

2020 年度　理工数学相談室，理工なんでも相談室，Mathclinic

はじめに

いつも理工数学相談室，理工なんでも相談室，Mathclinic（以降，この 3 つを相談室を総称します）をご利用いただきありがとうございます．相談室では東京都立大学の学部生を対象に数学に関わるご相談を受け付けています．東京都立大学大学院の数理科学専攻の博士前期・後期課程の院生が TA として，学生が勉強や講義でわからなかった内容，勉強方法・授業相談の悩みの解決に取り組んでいます．例年，期末試験前には「期末対策講座」も開催し，多くの方にご利用いただいています．

本年度は新型コロナウイルスの影響で新しい生活様式が始まり，例年になく普段の勉学にも苦労をされたと思います．それを踏まえ相談室では新しい取り組みとして「SUURI! 知恵袋 TMU 〜先輩からの声〜」の作成を行いました．これは講義のように証明・計算など数学的な説明をするものではなく，勉強に悩む学生への指針になることを目的としたものです．相談室の TA（11 名）にアンケートを取ってそれをまとめたもので，普段 TA が質問を受けて感じた学生のつまづきやすいポイントと TA が行ったその克服方法などを載せています．また，勉強の助けになる参考書や TA 自身の勉強方法も丁寧に紹介しています．

本稿は 4 節から成り立っていて，第 1 節では「線形代数・微分積分」，第 2 節では 2 年生で習う内容のつまづきやすいポイントとその克服法について，第 3 節では TA の行っている勉強方法・おすすめの参考書の紹介をまとめています．最後に第 4 節では，学生に向けて数多くのコメントを掲載しています．

相談室をご利用いただいたことのある方はもちろん，ご利用いただいたことない方にも勉強の指針になる回答を TA から提供いただきました．TA のメンバーにはこの場を借りて感謝申し上げます．

監修　2020 年度　理工数学相談室，理工なんでも相談室，Mathclinic

回答番号と構成について

各節では 1 つの質問を取り扱い，それに対する回答を掲載しています．質問が複数の内容を含んでいる場合，その数だけ小節を設けています．

例えば，第 1 節では質問 1「線形代数・微分積分で自身が苦手だった箇所を 1 つ以上挙げて，どのように克服したかお答えください．」の回答を 1.1 節に線形代数，1.2 節に微分積分にまとめています．

回答番号について，回答 1.2.3 は質問 1 のうち微分積分（第 2 小節）に関する 3 番目の回答であることを表しています．

各小節がどの質問の何をトピックとしているかは目次をご参照ください．

目次

1　質問 1（線形・微積に関するアドバイス）

質問 1

線形代数・微分積分で自身が苦手だった箇所を 1 つ以上挙げて，どのように克服したかお答えください．

1.1　線形代数

回答 1.1.1 行列の対角化，特に固有値と固有空間については，最初はあまり良く理解していないまま計算していたため，手法を間違えることもありました．そのため，教科書を読み直し，固有値とは何か，固有空間とは何かをしっかりと意味まで理解しました．その後，具体的な計算練習をすることで，今までのモヤモヤが晴れ，スムーズに解けるようになりました．□

回答 1.1.2 自分が今何を計算するべきか計算して得られるものが何なのかを把握するのに苦労した覚えがあります．
例えば，基底の判明している $\mathbb{R}^n$ の部分空間 V_1, V_2 に対して $V_1 + V_2, V_1 \cap V_2$ の基底を求めたり，線形写像 $f : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^m$ の核の基底を求めるといった問題をどう手を付けるかといったことです．
行列は線形写像や数ベクトルを縦（又は横）に並べたものともみなせ，多くの情報を持っています．そのため，行列をどうみなすべきか考える必要があります．
その会得のためには線形空間と線形写像を理解することに尽きます．
「基底が線形写像でどう写るか」，「基底の変換が列基本変形に対応するのはなぜか」というのを自身で記号を設定し手を動かして確認することで克服しました．□

1.2　微分積分

回答 1.2.1 多変数の積分が苦手でした．積分の順序交換やヤコビアンなど，変数が増えたことによる新しい概念を捉えるのに苦労し，習ったばかりの時は苦戦しました．私はトライアンドエラーで演習を繰り返して徐々に覚えていきました．繰り返しの演習により問題のパターンを把握できたり基本的な式を覚えられたりしたので，やはり継続が重要です．教材はなるべく問題数をこなせるものを選ぶと良いです．都立大の講義で使用されている本も問題数が多いので演習問題を積極的に解いてみてください．
$x = \cos\theta$,$y = \sin\theta$ と置いたときの

$$J(r, \theta) = r$$

や，$x = r\sin\theta\cos\varphi$,$y = r\sin\theta\sin\varphi$,$z = r\cos\theta$ と置いたときの

$$J(r, \theta, \varphi) = r^2 \sin\theta$$

など，基本的なものは完璧に暗記したほうが良いです．□

回答 1.2.2 多変数関数における合成関数の微分法が苦手でした．習った当時は，1 変数の合成関数の微分と比較して変数の数が増えたことによって混乱していました．最初は抽象的な形で書かれた主張

$$\frac{\partial f}{\partial u} = \frac{\partial f}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial u} + \frac{\partial f}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial u},$$

$$\frac{\partial f}{\partial v} = \frac{\partial f}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial v} + \frac{\partial f}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial v}$$

などがあまり覚えられなかったので，教科書に載っていた具体例を追いました．その後，自分で多変数の合成関数を適当につくってひたすら微分しました．具体例に多く触れたことで，教科書に書かれている抽象的な形でも意味が分かるようになりました． □

回答 1.2.3 微分積分の広義積分の分野において学部生の時には苦労していました. 院試の時にその分野を改めて復習してようやく理解したことを覚えています. 特に今までの知識で解けないと思えるような積分について微積分関数がガンマ関数やベータ関数, ウォリスの公式に帰着できるような問題が多いと思いますので, 教科書の例題や演習問題などで量をこなすと，ある程度式変形の仕方が理解できると思います. □

回答 1.2.4 微分積分の ε-δ 論法は自身も含めてよくつまずく箇所だと思います. 高校までは計算中心の学習とは異なり, 抽象度が増すことと証明に慣れていないことが原因だと考えられます. ε-δ 論法のポイントは，証明の流れとデルタの取り方に慣れることだと思います. 証明の流れについては収束や連続の定義をしっかり覚えることとリンクしています. 教科書や問題集の問題とその解答にたくさん触れることで克服しました. □

回答 1.2.5 ε-δ 論法に関してですが，田島一郎著：『イプシロン - デルタ』（3.2 節参照）を読んで，当たり前だと思えるものを与えられた公理や条件から証明する練習を積み，感覚的に理解していなかったものを本質的に理解できました．定義と比べて少し複雑な議論があるときでも，その練習が理解の助けになりました. □

回答 1.2.6 微積の合成関数の偏微分は, 最初は混乱しました. 例えば, 2 変数関数 $f(x, y)$ に対して, $f(x^2 + x^3, x^4 + x^5)$ を x で微分するとき, 元々の $f(x, y)$ の変数 x と同じ変数の関数を合成しているので, 合成関数の偏微分の公式を当てはめようとすると混乱します. そこで $f(u^2 + u^3, u^4 + u^5)$ として u で微分し, 最後に u に x を代入するという風に考えれば, 混乱は少なくなると思います. また, 2 変数関数 $g(x, y)$ に対して, $x = r\cos\theta$, $y = r\sin\theta$ という合成関数を考えたとき,

$$g_r = g_x \cos\theta + g_y \sin\theta$$

という風に板書では書くかもしれませんが, これも少し混乱します. 左辺の g_r は g を r で偏微分するという意味ですが, 元々 g は x と y を変数とする関数なので混乱します. 最初のうちは, $G(r, \theta) := g(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 等とおいて

$$G_r = g_x \cos\theta + g_y \sin\theta$$

と書いた方が混乱は少なくなると思います. □

回答 1.2.7 疲れているとき $1/(1 + x^2)$ の不定積分が思いつかない．解決方法はいくつかある．

第 1．$x = \tan y$ という関係から，

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{\cos^2 y} = \frac{\cos^2 y + \sin^2 y}{\cos^2 y} = 1 + \tan^2 y = 1 + x^2$$

と計算することができる．逆関数の微分法から，答えを得る．

第 2．$\mathbb{R}$ 上で定義される $\arctan x$ という関数の接線の傾きを考察して，その事実を覚えておく．$\arctan x$ の $-\infty$ から ∞ まで接線の傾きを見ていくと，0 から段々と傾いていき，原点で 1 を取り，そこからは減少に転じ，再び 0 に近づいていく．これは $1/(1 + x^2)$ のグラフのおおまかな様子を表している．一度でもこの考えをしておくと，$1/(1 + x^2)$ を見たときに，この不定積分が $\arctan x$ であると思い出しやすい.

第 3. 置換積分で乗り切る.

$$
\begin{aligned}
\int \frac{dx}{1+x^2} &= \int \frac{1}{1+\tan^2\theta} \cdot \frac{d\theta}{\cos^2\theta} \\
&= \theta \\
&= \arctan x
\end{aligned}
$$

中には解決方法が 1 つしかない問題もあるとは思うが，ともかくあらゆる方法(ネタ)を仕入れておくことは，答えのあたりをつけるのに非常に役に立つ. □

回答 1.2.8 一様収束と各点収束の違いを, しっかり理解できるまでに少し時間を要した記憶があります. 今考えると, ε-δ 論法を意味を意識せずに字面だけで理解した気になっていたのかなと思います. たくさんの例に触れて, 定義の言っている意味を自分なりに理解したことで, 克服することができました.
□

2　質問 2（2 年生の内容に関するアドバイス）

質問 2

2 年生までの内容（群・環・体の初歩，位相空間論，曲線・曲面，ベクトル解析，複素解析，フーリエ解析，確率・統計）に関する勉強方法について，アドバイスを 1 つ以上お答えください．

2.1　群・環・体の初歩

回答 2.1.1 代数学に関しては, 最初に $\mathbb{Z}$ や $\mathbb{R}$ で演算や群の定義などを考えたらすぐに成り立つことが分かると思います．ですが, 単元が進むと群や環が成り立つ例, 成り立たない例など豊富に出てきます．その中で自分なりに成り立つ例や成り立たない例などを典型的なものは暗記するのがいいかと思います．

(現に院試の口頭試問において単項イデアル整域になる例とならない例を答えたことがあるので, 覚えておくといいかもしれません．) □

回答 2.1.2 代数学に限らずどの分野でもそうですが，授業ではまず抽象的な定義から入ることが多く，実体をイメージし辛いこともあると思います．特に,「似ているが少し違う」定義がたくさん出てくる（代数ならモノイド，群，部分群，アーベル群，巡回群など）ことも多く，それぞれがごちゃごちゃになってしまわないようにする必要があります．そんな時は，やはり自分で具体例を作るのが良いと思います．例えば，巡回群はアーベル群ですが，じゃあ本当にそうなるのか，また巡回群でないアーベル群は？など，自分で群を作って考えてみると，理解がより深まるのではないかと思います． □

回答 2.1.3 線形代数や位相空間もそうですが，群・環・体のように抽象的な公理を満たすものを初めて取り扱うには苦労するものです．
定義に関しては初めは覚える他ありません．その先は定義から導かれる事実が積み重なっていき体系化されます．その体系を学ぶためのアドバイスとしては，各分野には独自の議論があり，それに慣れるということだと思います．
群で言えば，部分群を考えるとき，その元の位数の中で最小のものに着目したりします．このような議論は代数独特のものだと思います．よく用いられる議論を把握し，ものにするためには命題や補題，定理の勘所を意識しながら宙で証明することがいいでしょう． □

回答 2.1.4 整数論で次の事実を確認しておく．$a, b, n, m \in \mathbb{N}$ に対し，a, b が互いに素で，$an = bm$ を満たすとき，$a \mid m$, $b \mid n$ となる．これはよく使う事実であるので示しておくことにしよう．今は，紙面はいくらでも使えるが，私にはそれを証明する体力がなさすぎる．(読者にまかせる．) □

2.2　位相空間論

回答 2.2.1 私の印象ですが, 集合と論理のパワーアップバージョンが位相空間論だと思っています．共通して大事なのは, 個性とか主観を排除して, ある意味無機質に解答を書き連ねる, ということです．具体的に意識するとよいと思うことは, とにかく定義を正しく理解して覚えること, 問題に取り組んだ際, わからなくて詰まったときにわかるところまで遡れる力を身に着けておくことの 2 点です．どちらも, 講義内での練習問題や参考書の問題にいろいろ取り組むことで養われるはずです．位相空間論は, 代数, 幾何, 解析と数学のどの専門分野に進んでもそれぞれの分野で基盤となる大切な科目です．折に触れ復習の機会を設けておくと, 忘却防止となりよいかもしれません． □

回答 2.2.2 位相空間論についてですが, 自身が学部生だったときは学習する定義や用語, 定理などを一覧としてノートにまとめて覚えるようにしていました. 特に, 定義ついては覚えていないと問題を解くことができませんし, 定義を記述する問題もありますので, 定義の暗記は重視していました. また, 講義を受ける際は話を聞くことに集中して, 講義後に学習したことを思い出しながらノート整理をしていました. □

回答 2.2.3 位相空間論を学ぶとき，$\mathbb{R}^3$ における開集合，閉集合を考える．$\mathbb{R}^3 \setminus \{(0,0,0)\}$，$\{x \in \mathbb{R}^3 : |x| < 1\} \subset \mathbb{R}^3$，$\{x = (x^1, x^2, x^3) : x^i \in (-1,1)\}$ は開集合であり，$\{x \in \mathbb{R}^3 : |x| = 1\} \subset \mathbb{R}^3$ $\{x = (x^1, x^2, x^3) : x^3 = 0\}$，$\{(0,0,0)\}$ は閉集合であり，$\{x = (x^1, x^2, x^3) \in \mathbb{R}^3 : x^1 \in (0,1], x^2 = x^3 = 0\} \subset \mathbb{R}^3$ は開集合でも閉集合でもない. □

回答 2.2.4 位相空間論は授業や教科書によって, 大きく 3 通りのストーリーの流れがあると思います.

(1) $\mathbb{R}^d$ の位相 $\Longrightarrow$ 距離空間の位相 $\Longrightarrow$ 一般の位相
(2) 一般の位相 $\Longrightarrow$ 距離空間の位相 $\Longrightarrow$ $\mathbb{R}^d$ の位相
(3) $\mathbb{R}^d$ の位相 $\Longrightarrow$ 一般の位相 $\Longrightarrow$ 距離空間の位相

ちなみに私は (3) の順で習った記憶があります. いずれにしても位相空間論を勉強する際には, 自分がどの順で勉強をしているのかを意識することが大切だと感じます. また, 「距離空間では成り立つが, 一般の位相空間では成り立たない事実」(例： 可分性の部分集合への遺伝, コンパクト性の必要十分条件など) や, 「$\mathbb{R}^d$ では成り立つが, 一般の距離空間では成り立たない事実」(例： 有界閉集合はコンパクトなど) といった部分に注目して勉強を進めると, 証明や反例も合わせて理解でき, 位相空間論をより味わうことができるかと思います. □

回答 2.2.5 位相空間論は抽象的な概念が多く苦手でしたが，例えば，位相空間が $\mathbb{R}$ の場合はその定理がどういうことを言っているのか，という風に具体的に考えて何とか理解しようとしていました. □

2.3 曲線・曲面

回答 2.3.1 曲線・曲面論の計算について述べる．曲線をパラメータ付ける方法は様々ある．とはいうものの，そもそもパラメータ付けるとは何であろうか．

京王線の朝ラッシュ時の相変わらずの低速度運転と，平日昼間のダイヤ通りの軽快な運転とを比較すると，同じ場所を走るのにも関わらず電車の動かし方が異なる．例えば，$a > 0$ に対し，$c(t) := at$ と定める．c は数直線上を正の方向に動く曲線 (直線) となる．

$$\dot{c}(t) := \frac{dc}{dt} = a > 0$$

であるから，c は定速で動く曲線である．

次に,

$$p(s) := (\cos(\arctan s), \sin(\arctan s)), \quad q(t) := \left(\frac{1-t^2}{1+t^2}, \frac{2t}{1+t^2}\right)$$

と定める．$p(\mathbb{R}) = q(\mathbb{R})$ は視力検査で使うランドルト環のような形になるが，2 つの曲線は定速でもなければ，速度が異なる．同じ曲線の像をどう動くかを指定することを，パラメータ付けるという．

q を弧長パラメータでパラメータ付けする．$q([0,m])$ の弧長を求める．

$$\int_0^m ||q'(t)||dt = \int_0^m \frac{2}{1+t^2}dt = 2\arctan m$$

となる．(積分の計算法は回答1.2.7. にある．) $2\arctan t = u$ と置くと，$\tan(u/2) = t$ が成り立つ．(逆関数の関係．) $u \in (-\pi/2, \pi/2)$ とすると，

$$q(u) := \left(\frac{1-(\tan(u/2))^2}{1+(\tan(u/2))^2}, \frac{2\tan(u/2)}{1+(\tan(u/2))^2} \right) = (\cos u, \sin u)$$

となる．p も同様に弧長パラメータでパラメータ付けすることができる．(読者にまかせる．) □

2.4 ベクトル解析

回答 2.4.1 この分野は物理学での利用を目的に発展してきた側面が強いので, そのイメージなしに理解することがとても難しい分野です. 逆に言うと, 物理的な現象 (流体の流れ, 電磁気など) を念頭において勉強をすると深く理解できるのではないでしょうか. 式だけを追って理解しようとするのではなく, その式がどのような物理現象に対応しているのかに注目することが, 理解への近道だと思います. □

2.5 複素解析

回答 2.5.1 微分積分との共通点・違いを確認しながら勉強を進めるとよいと思います．また，微分積分の 2 変数関数の微積分はよく使うと思うので，複素解析の勉強と並行して多変数の微分積分の復習も行うと，より理解が深まると思います. □

2.6 フーリエ解析

回答 2.6.1 フーリエ解析でフーリエ級数とフーリエ変換を習ったと思いますが, フーリエ変換はフーリエ級数の連続版だと認識するとスッキリ理解できると思います. 実際, フーリエ変換を導入するときにフーリエ級数展開の式を連続変数に拡張して, 無限和を積分に書き換えたと思います. また, 熱方程式にフーリエ級数あるいはフーリエ変換を応用する際, 有限区間に適用するときはフーリエ級数を用いますが, 非有界区間に適用する際は, フーリエ変換を用います. 波動方程式でも同様です. □

2.7 確率・統計

回答 2.7.1 演習問題の質問にいらっしゃる学生さんが多かった印象があります．まず，確率密度関数や累積分布関数を求める問題は，結果がある程度正しいか確認する方法があります．確率密度関数は $-\infty$ から ∞ まで積分すると結果が 1 になり，累積分布関数は広義の単調増加関数 (減少しない関数) になります．合っているか不安なときはこの 2 点を確認してみると，大きなミスを排除できると思います.
また，各分布の平均と分散についてですが，全ての分布の平均と分散を暗記するのは難しいと思いますので，導出のプロセスを覚えると良いと思います. □

回答 2.7.2 この分野で習う確率論で特に高校数学とギャップがあるのが, 連続型確率変数の分布関数や密度関数といった概念が登場し, それらを微積分を使って解析していくところだと思います. 個人的な印象としては, 慣れるまでは用語が覚えにくいので, わからなくなったら定義に立ち戻ることが特に重要な分野だと感じます. 統計については, 他の授業に比べてかなり応用面が重視されているという第一印象を受けるかと思うので, 実際にどのように使われているのかを簡単に自分で勉強しておくと理解の助けになると思います. □

3　質問 3（勉強・参考書）

質問 3

自身の普段の勉強方法やおすすめの参考書についてお答えください.

3.1　勉強方法

回答 3.1.1 一様連続性, 表現行列と well-defined 性が学部の三大鬼門だと思っています. 私自身, 院試の際にいろいろ勉強してやっとわかった感じです. どれも抽象的な説明を聞くことに加え, 具体例を通して理解するのが最善だと思います. 本によって, それぞれ導入や説明が微妙に違ってくるので, 図書館や本屋さんでいろいろ本を見比べてみるのも有効です. □

回答 3.1.2 新しいことを学んだら, とにかく具体例をいろいろ考えることを心がけています. 具体例に取り組む修行を積むことで, 定義に立ち戻るよい機会になりますし, 定理の使い方のアイデアに気づけたり, 良いこと盛りだくさんだと思います. □

回答 3.1.3 私は外部からの受験で入学しましたが，学部生の頃は大学の講義のノートを繰り返し読んだり，他大学の PDF を参照したりして学習を進めました．現在は指導教員の先生から頂いた PDF ファイルや大学の eBook を利用することが多いです. □

回答 3.1.4 抽象的な部分は一通り目を通して, 全体的な理論の流れを掴むようにしています. そこから理解しにくいと思う部分があったときは, なるべく具体的に考え, 理解できるようにしています. □

回答 3.1.5 学習したことを思い出しながらノート整理をしていました. その中で講義で学習した証明の行間を自身で埋めてみたり, 自分なりの解釈をメモしたりもしていました. □

回答 3.1.6 参考書を読んでいて分からない所があっても，そこで止まり過ぎず，少し先まで読んでみることをお勧めします．先の例や問題などにより分かる場合もありますし，何より同じ所でずっと留まっているとモチベーションが上がらないと思うからです．もちろん，あまり長く分からない部分を放っておくと読み進めるのに影響が出る場合があるので，節や章の最後のタイミングなどでもう一度考えてみると良いと思います. □

回答 3.1.7 一般論でイメージが湧かないときは，実際に数値を当てはめるなどして，具体例を考えることで理解することを大事にしています. □

回答 3.1.8 自分の場合，定義をまとめて書いておいて問題を解くときなどにすぐ確認できるようにしています．特に確率統計や群・環・体の初歩などでは新しい定義や用語が多いのでまとめておくと便利です. □

回答 3.1.9 各分野, 自分が核とする本を決めて勉強を進めています. 本を読む際には, ノートにまとめながら読み進めています. 証明に穴があるところは埋める努力をします. たまに他の本を参照して, 同じ用語が別の定義の仕方で導入されていないか, 同じ主張の別証明が載っていないかなどを確認します. また, 著者によって数学書にも様々なストーリー (流れ) があるので, そのあたりを比較してみるのも楽しみ方の 1 つです. □

回答 3.1.10 基本は本をベースに勉強を進めています．
まず本選びについてですが，これは前提としている知識によって入りやすいものが変わったりします．他にも本のレイアウトや文章の書き方で合う本が変わってくるでしょう．私自身，何が自分に合うかわかっていませんが，本選びに時間を掛けすぎても何も進まないのできっぱりこれと本を決めています．困ったら先生方に伺うのもいいでしょう．

勉強方法についてです．ほとんどの場合，「定義」→「定義からわかる事実」の順で始まり読み進めていきますが，たいてい「主張に書かれている言葉の定義ってなんだっけ」と前に戻ります．
確認した後，証明をみると初めの方は分かった気になって読んでしまいます．しかし，ここでその主張と証明を宙で書こうとすると主張で詰まってしまい，次に証明を書いてみても手が止まります．手が止まった個所の大概はその証明の勘所だと思います．少なくとも自身の勘所ではあります．

その証明を完結したら，次の主張と証明を同じように行う．これを繰り返しながら節を進めていくと，局所的な定理の理解はしても大きな節のストーリーを理解する必要があることに気づきます．こうして節の役割を理解し，節同士をつなげることで章を理解し，最後に本全体へと理解を広げていくように勉強しています．どうしても時間がかかりますが精進あるのみです．

また，講義は重宝するべきです．先生の解読する言葉やリアルタイムで進んでいく板書から学んだことの定着は段違いだと思います．独学で理解に苦しんだ箇所や知らない例，本の字面だけでは得られない情報を先生方は提供してくれます． □

回答 3.1.11 学部の頃, 予習はしませんでしたが, 復習には力を入れていました. 分からないところがなくなるまで徹底的にノートを読み込み，それでも分からないところは先生に質問したり, 同級生と議論したりしました. 新しい概念を習ったときは何度もその定義を書いてみたり, 典型的な具体例を考えてみたり (もちろん授業で習った具体例がちゃんとその定義の条件をみたしていることを確認することも良いと思います), 何も見ずに, 定義を書き出してみたりするとより脳に定着すると思います. また, そもそもその概念を定義する意味はなんなのか, どこで必要になってくるのかと考えることも良いかもしれません. 全体の流れを掴むことも大事です. また授業で様々な定理, 命題, 補題等の証明に触れてきたと思いますが, 結果をただ覚えるよりも証明のアイデア, アプローチ, テクニックを覚えることの方が大事なように思います. 証明のアイデアを覚えていると, 他の場面で似たような議論に出会ったときにすぐに理解できますし, 何かを証明しなければいけないときに, 様々なアイデアを知っている方が有利だからです. もちろん演習等で様々な具体例で計算をして定理の使い方を覚えることも大切です. また証明を見ずに自分で証明が書けるか確認してみるのもよいでしょう. その際, 証明全体の流れの中で, 中間ポイントをいくつか設定することで，どこに向かって証明していけば良いかが分かるはずです. あとは間を埋めるにはどうすればよいか考えるだけです. □

回答 3.1.12

教科書や先生のレジュメにはそれぞれ偏りがあるので，同じ概念を説明するときに，言い方の違い (あるいはその分野における “方言”) で理解することが出来ないことがある．例えば，自然数に 0 を含めるのかは人によりけりである．定義の仕方に違いがあるのか，命題の述べ方に違いがあるのか，言語 (日本語) の使い方に違いがあるのか，その原因を見極めることが重要である．

近年，インターネットの発達により，大量の情報に容易にアクセスすることが可能になった．それと同時に，情報の普遍的価値の低下が心配されるようになってきた．誤情報が正しい情報として扱われている場合がある．インターネットを便利に活用するためには，情報のもつ価値を見抜く力が必要である．

さらに，紙と筆記用具を惜しまないことが大切である．数学の実験道具はまさに紙と筆記用具であるから，いわば必要経費が掛かるという考え方をしなければならない．最近高まるエコ意識に流されることなく，大量に紙を使い計算をしていくことが大切である． □

3.2　おすすめ参考書

3.2 節ではおすすめの参考書を紹介します．また，本選びや講義テキストについて，とても参考になる回答があったので，表の前にそれを載せておきます．

次ページの表では，本の情報の下にその紹介文を掲載しています．

回答 3.2.1 この参考書がオススメ！という物は特にはありませんが，やはり自分で本の中身を見てから決めるのが一番だと思います．同じ分野・内容でも，著者によってかなり書き方に違いがあります．同じ用語の定義でも微妙に違う，なんて事もあるので，何冊か手に取って，自分が一番読みやすいと思ったものを選ぶと良いと思います．

あと，薄いから読みやすい，という訳では必ずしもないので注意！薄い本は，その分行間が広い（省略が多い）場合もあります． □

回答 3.2.2 おすすめの参考書は私があまり本を詳しく知らないため, 特にありませんが, 授業で使ったテキストは大事な参考書だと思います. 自分で疑問に思ったことがあったら授業で使っているテキストを読んでみるともしかしたら, 自分の必要な情報が書いてあるかもしれません. □

<table>
<tr><th>分野</th><th>テキスト名</th><th>著者名</th><th>出版社</th><th>発行年</th><th>ISBN</th></tr>
<tr><td rowspan="13">解析</td><td>解析入門 I
解析入門 II</td><td>杉浦光夫</td><td>東京大学出版会</td><td>1980
1985</td><td>978-4-13-062005-5
978-4-13-062006-2</td></tr>
<tr><td colspan="5">微分積分・複素解析などをはじめとして，解析の分野の多くを網羅していて（今でもそうですが,）学部生のときはよく参照していました．少し分厚いので最初から読むのは大変ですが，後半部分では既出の定理の箇所も明示されながら書かれているので辞書替わりにも使えておすすめです.</td></tr>
<tr><td>微積分の基礎</td><td>浦川　肇</td><td>朝倉書店</td><td>2006</td><td>978-4-254-11757-8</td></tr>
<tr><td colspan="5">演習の解答が略解のみしかない部分もありますが, 演習の問題量は豊富にあるのでたくさん解いて理解を深めたい方にはおすすめです.</td></tr>
<tr><td>イプシロン-デルタ</td><td>田島一郎</td><td>共立出版</td><td>1978</td><td>978-4-320-01240-0</td></tr>
<tr><td colspan="5">1・2 年生向けのおすすめの参考書です．イプシロン・デルタ論法について, その必要性や例を丁寧に解説しています.</td></tr>
<tr><td>解析入門　（上）
解析入門　（中）
解析入門　（下）</td><td>松坂和夫</td><td>岩波書店</td><td>2018</td><td>978-4-000-29874-2
978-4-000-29875-9
978-4-000-29876-6</td></tr>
<tr><td>リスクを知るための確率・統計入門</td><td>岩沢 宏和</td><td>東京図書</td><td>2012</td><td>978-4-489-02121-3</td></tr>
<tr><td colspan="5">特にどのテキストを選ぶか迷いやすい確率・統計については, 本書がおすすめです．かなり応用面が重視されたテキストではありますが, 統計は多くの人にとって「応用してなんぼ」の分野だと思うので, 初めからこのようなテキストで勉強を進めておくのも良いかと思います.</td></tr>
<tr><td rowspan="12">代数</td><td>代数学 1 群論入門,
代数学 2 環と体とガロア理論</td><td>雪江明彦</td><td>日本評論社</td><td>2010</td><td>978-4-535-78659-2
978-4-535-78660-8</td></tr>
<tr><td colspan="5">具体例が多く，また丁寧に書かれています.</td></tr>
<tr><td>線形代数学　初歩からジョルダン標準形へ</td><td>三宅敏恒</td><td>培風館</td><td>2008</td><td>978-4-563-00381-4</td></tr>
<tr><td colspan="5">小さい! 軽い! コンパクト! と鞄の中に潜ませておくのに最適な本です．各定義や定理がシンプルかつわかりやすくまとまっていて, 演習問題もちょうどよい量で載っており, 手元に 1 冊あったら便利だと思います.</td></tr>
<tr><td>線型代数入門</td><td>齋藤正彦</td><td>東京大学出版会</td><td>1966</td><td>978-4-13-062001-7</td></tr>
<tr><td colspan="5">コンパクトでよくまとまっている本です．コンパクト故簡素に感じやすいかもしれません．また，ジョルダンを単因子論を用いて説明しているので，こっちでも学んでみたいという方にお勧めです.</td></tr>
<tr><td>可換代数入門</td><td>M.F.Atiyah
I.G.MacDonald</td><td>共立出版</td><td>2006</td><td>978-4-320-01791-7</td></tr>
<tr><td colspan="5">前提知識をあまり必要とせず読めます．感動するほどきれいにまとまっているのでかなり読みやすいです．この本の見どころは演習問題にあります．本文を理解すれば確実に解けるものになっています（一部前提知識を必要とするものがあります)．代数に興味ある方に一読をお勧めします.</td></tr>
<tr><td>線型代数学</td><td>佐武一郎</td><td>裳華房</td><td>2015</td><td>978-4-7853-1316-6</td></tr>
<tr><td colspan="5">幾何に進む人への参考書として，おすすめする．特に，線型代数の和書としては，テンソル等進んだ内容が充実している.</td></tr>
<tr><td>線型代数入門</td><td>松坂和夫</td><td>岩波書店</td><td>2018</td><td>978-4-000-29872-8</td></tr>
<tr><td>代数系入門</td><td>松坂和夫</td><td>岩波書店</td><td>2018</td><td>978-4-000-29873-5</td></tr>
<tr><td rowspan="5">幾何</td><td>じっくり学ぶ曲線と曲面</td><td>中内伸光</td><td>共立出版</td><td>2005</td><td>978-4-320-01788-7</td></tr>
<tr><td colspan="5">本の厚さにちょっとひいてしまう人もいるかもしれません．実際にこちらの本に目を通すと, 語り口調で書かれてあったり, 様々な曲線・曲面の図を多く載せていたり, 読者が親しみを持ちやすいよう工夫された本ということがわかります．平面曲線の話題からスタートし Gauss–Bonnet の定理まで, (ちょっとしたジョークを交えながら) 詳しく丁寧に説明されており, 曲線と曲面の講義内容をゆっくりじっくり復習したい方におすすめです.</td></tr>
<tr><td>リッカチのひ・み・つ</td><td>井ノ口順一</td><td>日本評論社</td><td>2010</td><td>978-4-535-78631-8</td></tr>
<tr><td colspan="5">リッカチ方程式をテーマにして味を出しつつ, 汎用性の高い知識もしっかり取り入れている本です．リッカチ方程式は, いろんなところに顔を出す方程式で, 例えば幾何の文脈だと意匠設計の話題などで出てきます．こちらの本は線形, 微積, 群論の予備知識で読むことができ, ベクトル場や Lie 群など幾何の話題も書いてあり読みごたえがある本です.</td></tr>
<tr><td>集合・位相入門</td><td>松坂和夫</td><td>岩波書店</td><td>2018</td><td>978-4-000-29871-1</td></tr>
</table>

4　質問 4（学生に向けて）

質問 4

学生に向けて自由に記述下さい．

回答 4.0.1 kibaco の資料に，集合論の九九としての位置づけである「集合と写像との関係」をアップロードしているので，よろしければご覧ください． □

回答 4.0.2 数学に取り組むうえで大事なのは, テキトーに進めない ということだと思います. 自分で書いた内容を客観的に見つめられる ということもまた大切です (私自身も日々痛感しています). 学部時の指導教授の受け売りですが, **真摯な気持ちで臨むこと** これに尽きると思います. □

回答 4.0.3 論理が苦手な方が多い印象を抱きました．私は学部 2 年の頃に論理の勉強にかなり力を入れて取り組みました．それによって，証明を追ったり代数を理解したりする時に格段に分かりやすくなりました．都立大の数理では論理の授業があるそうですが，不安だという方はもう一度復習してみると良いと思います． □

回答 4.0.4 質問を受けていて気づいたことなのですが，抽象的な内容で止まってしまう人が多いように感じました．抽象的な内容をすぐに理解することは難しいと思うので，自分で具体例を構成する習慣をつけたほうが良いと思いました． □

回答 4.0.5 普段の授業でのノートや指定教科書, 講義のレジュメなど授業の内容を理解するための教材は多岐にわたると思います. ですが, その教材が理解「できる」,「できない」は人によるので, 理解し難いと思ったらネットの情報や図書館で他の参考書を頼るのも理解する第一歩だと思います. □

回答 4.0.6 個人的な感想ですが, 図書館の本やネット上の資料を上手く活用できていない 1・2 年生が多いと感じています. 学年が上がるにつれて自身の力だけで対処しなければならない場面が増えてくると思いますので, その訓練の 1 つとして図書などの資料を積極的に活用したほうが良いと思います. □

回答 4.0.7 数学は他の学問と違って実験などもなく，ほぼ全てが座学のため，モチベーションを保ち辛いかもしれません．自分は，今の知識では難しい（でも興味のある）本を買って，これを読めるようになるぞ，と意気込んで勉強していました．また，自分の考えを他の人に話すことで，自分がどこまで分かっていて，どこが分かっていないのかが整理されると思います．1 人での勉強に詰まった時は是非試してみてください．

質問お待ちしています． □

回答 4.0.8 主に，数理の学生に向けての話になりますが,「自分の分野に関係あるものしか勉強しない」という意見をよく耳にします．しかし，学部の数学はすべて学んでおいた方がいいと思います．何か新しいことを学ぶ際，他分野のことも既知としているものがあるからです．

さらには何かを学ぶ際，視野は広ければ広いほど理解の助けになります．数学はその分野を大きく区切られていますが，その実，隔たりはありません．可能性をなくさないためにも広く勉強しとくのがいいと思います． □

回答 4.0.9 証明を考えるときアイデアはあるのに失敗を恐れて実行しないということがあるかもしれません. しかし, 最初はその分野のことは誰でも素人なのでエレガントな証明を考えようとせずに, 泥臭く, 思いつくまま証明を考えてみると良いと思います. 様々な考察を経て, 一旦出来上がった証明でも, 後日さらに簡略化した無駄のない洗練された証明が思いつくかもしれません. 証明は考えれば考えるほどより洗練されたものになっていきます.

証明を考えるとき, 例えば, 帰納法を使うとき, $n=1$ を証明して, n のとき成り立っていると仮定して $n+1$ のとき成り立つことを確認します. しかし, いきなり一般の n の場合を考えるのは難しいので $n=2$, $n=3$ と様子を見てから, n のときにどのように証明したらよいか検討をつけます. このように証明を考える際, 具体的なものを想定して考えると証明のアイデアが思いつく可能性があります. 具体的な例を考えることを意識するとよいかと思います. □

回答 4.0.10 質問を受けていて感じたこととして, たくさん質問に来てくれる人ほど, わからない問題にぶつかったときに定義に立ち戻る癖がしっかりついているなと思いました. おそらくそれは, 質問をするために自分のわからなくなってしまったポイントを探して, よく立ち戻っているからだと思います. これは数学の勉強を進めるうえでかなり重要なことだと思うので, ぜひ大切にしてほしいなと思います.

数学は授業という短い時間だけではなかなか理解するのが難しい学問です. また, しばらく触れないと感覚を忘れてしまうこともあります. 期末テストが終わったらその分野の勉強は終わり, としてしまうのではなく, しばらく時間をおいてでも良いので, 自分なりにまとめなおしてみることを強くお勧めします. このようにして作ったノートは, その後も様々なタイミングで役に立つはずです. □