

「海洋生命・分子工学実験Ⅲ」における取り組み

■ 宇田 幸司 （高知大学理工学部）

1. はじめに

高知大学では、「地域社会の諸課題を、幅広い教養と緻密な観察力に基づく学際的な視点で自ら捉える課題探求力、さらには諸課題への対応策と解決策を自ら構築し提案できる能力とともに意欲を持った人材を育成すること」を目標として、平成22年度から共通教育初年次科目及び全学部専門科目において「課題探求・問題解決型」の授業科目の開発と実施を進めてきた。

理学部でも、平成22年度から、年度毎に各教育コースで「課題探求・問題解決型授業科目」を設定し、課題探求・問題解決能力の向上を図っている。年度毎に異なる科目を設定し、多様な「課題探求・問題解決型授業科目」の開発を行っているコースもあるが、筆者の所属する海洋生命・分子工学コースでは、初年度から「海洋生命・分子工学実験Ⅲ」を「課題探求・問題解決型授業科目」として開講し、今年で9年目となった。この授業においては、授業評価アンケートを毎年実施し、期首と期末の2回に分けて行う教育成果の検証アンケートの実施やFD・SDウィークにおける授業公開と評価等を通して、授業計画の改善を進めてきた。

本稿では、「課題探求・問題解決型実験」として実施している「海洋生命・分子工学実験Ⅲ」の取り組みについて紹介を行う。

2. 「課題探求・問題解決型実験」とは

理系の実験科目では、講義時間内に実験の基礎となる理論や原理の理解、実験操作の習得、実験結果の観察、記録、解析を行い、講義時間外には、実験内容の要約と考察を行うレポート作成を行っている。よって、全ての実験科目において十分に課題探求能力、問題解決能力を養うことが可能であり、既に「課題探求・問題解決型授業科目」として成り立っているとも考えられる。そこで、著者は「海洋生命・分子工学実験Ⅲ」を「課題探求・問題解決型授業科目」に設定するにあたり、通常の実験科目よりも更に、課題探求能力、問題解決能力の向上に特化した「課題探求・問題解決型実験」として開講することを試みた。以下に従来の実験科目との主な相違について述べる。

従来の実験科目は予め設定された実験操作手順書（実験プロトコル）に従って実験を進め、予想通りの実験結果に到達することでの実験技術の修得と理解に主題がおかれていた。一方、「課題探求・問題解決型実験」では、具体的な操作手順は示されず、解決すべき「研究課題」のみが学生に示される。学生は与えられた「研究課題」を解決するために必要な研究計画を考案し、その具体的な実験操作についても検討しなければならない。また、考案した研究計画に従って実験操作を進め、得られた実験結果を解析・考察し、「研究課

題」の達成（解決）状況を自ら判断する。解決できていない場合には必要な改善策について検討を行い、最終的な解決まで再実験を繰り返す。このような取り組みによって「課題探求・問題解決型実験」では「課題の理解、探求、解決、再検討」といった能力の育成を図っている。

また、「課題探求・問題解決型実験」は少人数でのグループ実験（グループワーク）形式で行われるため、研究計画の考案、実験の遂行、実験結果の解析・考察等を通じて、科学的思考に基づく議論を行う能力、協調性、自己表現能力の育成を行うことも可能である。

1. 髪の毛2-3本を引き抜き、毛根部分5 mm程度を切り0.5 mLのチューブに注意深く入れる。
2. 100 μ LのTE及び100 μ Lのフェノール/クロロホルムを加え、3分間、激しく攪拌する。
3. 12,000 rpmで3分間遠心し、DNAが含まれる上澄90 μ Lを新しい0.5 mLチューブに移す。透明の上層、白色の中間層、薄赤色の下層に分かれる。
4. 上澄を移したチューブに15 μ Lの2M酢酸ナトリウム及び250 μ Lの100%エタノールを加え、混合する。
5. 12,000 rpmで3分間遠心する。

図1 従来の実験科目で用いる実験プロトコール

3. 具体的な実践内容

3-1 「海洋生命・分子工学実験Ⅲ」の位置付け

理学部海洋生命・分子工学コースでは、3年生向けの実験系の選択必修科目として、「海洋生命・分子工学実験Ⅰ」、「海洋生命・分子工学実験Ⅱ」、「海洋生命・分子工学実験Ⅲ」の3科目が開講されており、コースに所属する学生は、このうち少なくとも1科目を履修することになっている。つまり、「課題探求・問題解決型実験」として、従来の実験科目と異なる講義内容、達成目標を設定し、比較的難易度の高い科目となったとしても、学生には他の科目を履修する選択肢があることになる。このような位置付けにある本授業だからこそ、様々な新しい試みを行うことができたと理解している。もちろん、講義内容や達成目標については、事前にシラバスや在来生オリエンテーション等で、受講希望者に十分な周知ができるよう心がけている。授業内容としては、タンパク質化学、酵素化学及び分子

生物学分野の基礎的な理論を理解するための実験プログラムとなっている。

また、本授業は複数教員が担当し、全体で「課題探求・問題解決型実験」とし、能力向上のための様々な試みを行っているが、本稿では、筆者の担当する前半部（全14回のうち第1回から第8回）における取り組みを中心に紹介する。

3-2 履修に必要な知識と事前学力確認試験

本授業には履修条件として、「1年生以上対象の専門科目「生化学」及び2年生以上対象の専門科目「酵素化学」を履修済みまたは履修中であること」としている。これらの科目で学ぶ生化学の基礎知識や、酵素反応速度論が、本授業を履修する上で必須の予備知識となるからである。幸い、海洋生命・分子工学コースに所属する学生の約8割が3年次までに両科目を履修しており、この履修制限によって履修可能な学生が大幅に減少するということはない。

しかし、実際の所、これらの科目を過去に履修したが、その内容をすっかり忘れてしまったという学生が少なからず存在する。また、その他の学生も、履修から時間が経過しているために、酵素反応速度論などの詳細な計算を行うには、教科書の再読が必要であることが多い。

そのため、本授業を開設当初の数年間、予備知識が無いため、実験を全く進められない学生や、教科書の該当箇所を探しながら進めるために作業が大幅に遅れる学生が一定数存在した。

そこで、導入することにしたのが事前学力確認試験である。この試験は、本授業の実験（筆者だけでなく、他の担当教員の実施内容も含む）を進めるにあたって最低限必要となる知識を問う内容となっている。この試験の実施にあたっては、試験結果は成績には考慮しないこと、試験問題全てに正答できるだけの知識が無いと実験が円滑に進められないことを説明している。そして、正答率の低い学生には、講義開始までに十分な事前学習を推奨している。本授業の開講時期が第1学期後半（第8週～第16週）であるため、履修登録後

のなるべく早い時期に試験を行うことで、事前学習のために十分な期間を設けている。

3-3 学生による研究計画の立案

海洋生命・分子工学コースの従来の実験科目では、図1のような具体的な実験プロトコルが準備され、必要な試薬も全て準備されている。これは、従来の実験科目では、学生が実験プロトコルに従い作業を進めることで、実験器具の取り扱いに慣れ、実験技術や実験を安全に行う方法を学び、生じる結果の観察能力を養うことを目的の1つとしているからである。

一方で、本授業では具体的な実験プロトコルは用意されず、解決すべき研究課題のみが示される。受講生は、まずこの研究課題を解決するための実験計画を立案することから始める。この実験計画に従い、具体的な実験プロトコルを準備し、それに従って実験を進めることになる。

3-4 実験結果の評価と問題解決

従来の実験科目では、与えられた実験プロトコルに従って正しく作業を進めれば、必ず予想通りの結果が得られ、実験が成功するようになっている。これは、教員によって予備実験が行われ、正しい結果が出ることが確認されている実験プロトコルだからである。結果の確認が済めば、実験は終了であり、後は実験結果を基にレポートの作製を行うことになる。しかし、本授業においては、学生自身の計画に従い実験を行うため、どのような結果がでるかはやってみないとわからない。また、考案した研究計画に従って実験操作を進め、得られた実験結果を解析・考察し、与えられた研究課題の達成（解決）状況を自ら判断する。殆どの場合には1回の実験では課題を解決する結果を得ることができないので、実験計画の改善を行い、再実験を行う。この試行錯誤を経て、与えられた実験課題の解決を目指す。

3-5 ステップアップ実験プログラム

学生自身による実験計画の立案、実験結果の自己評

価、実験計画の再検討による実験課題の解決を行うことが「課題探求・問題解決型実験」である。しかし、これまで実験プロトコルに従って実験を進めるだけであった学生が、事前学習を十分にしたとしても、これを遂行することは非常に困難である。そこで、本授業では、難易度が徐々に上がる4つの実験プログラム（ステップアップ実験プログラム）を用意している。

1. 「PCR法を用いた遺伝子の全合成」
簡易なプロトコルから、試薬の調整法や具体的な操作を考案する。
2. 「アルギニンキナーゼの酵素反応速度解析」
酵素反応速度の測定方法と、酵素反応速度パラメータの解析方法を学ぶ。
3. 「野生型クレアチンキナーゼの酵素反応速度解析」
酵素反応速度パラメータの文献値を参考に、最適な測定条件を考案し、実測する。
4. 「変異型クレアチンキナーゼの酵素反応速度解析」
酵素反応速度パラメータが未知の酵素について、試行錯誤を重ねながらパラメータの決定を目指す。

図2 本授業で行われる4つのステップアップ実験プログラム

ステップアップ実験プログラムの概要は図2に示すが、これらを順にやり遂げることにより、学生が課題解決に必要な能力と自信を身につけていき、最後の最難関実験プログラム「課題探求・問題解決型実験」に万全を期して取り組めるようにしている。

第1の実験プログラムでは、従来の実験のような詳細な実験プロトコルではなく、簡易な（不完全な）実験プロトコルを学生に示す（図3）。学生は、実験に必要な試薬の調製方法や（実験プロトコルでは省略された）具体的な作業方法について考案するところから実験を始めることになる。この簡易な実験プロトコルとしては、難易度がちょうど良いため、研究者向けの実験書や研究用試薬の説明書をそのまま利用している。学生はこの実験によって、指示通りに作業を進めるのではなく、自ら考えて実験計画を立案することの必要性を学ぶ。

第2及び第3の実験プログラムは、第4の実験プログラム「課題探求・問題解決型実験」に類似しているが、難易度を低く設定しており、どのように課題に取り組むか、結果をどのように評価すべきかを学ぶ。

最終濃度	
Primers	25 nM each
dNTPs	0.2 mM each
Buffer	1X
MgSO ₄	1.5 mM
DMSO	5%
DNA pol.	1 unit
H ₂ O	総量を25 µlにする

上記のPCR反応溶液を作製し、PCR反応を行う。
dNTPs, Buffer, MgSO₄, DMSO, DNA pol. は高濃度溶液を準備しているの、必要量を計算して加えること。
Primerは100 µM濃度のものが22種類用意されている。それぞれがPCR反応溶液中で25 nMとなるように調整する。

図3 本授業で用いる実験プロトコルの一例

第4の実験プログラムでは、酵素反応速度パラメータが不明な酵素について、どのようにして、反応速度を測定するか、必要な実験条件（反応時間、基質濃度、酵素濃度）を検討しながら、試行錯誤を重ねて、正確なパラメータの決定を進める。この実験においては、グループ毎に異なる酵素を準備しており、グループ間で異なる実験結果が出るように工夫を行っている。

なお、この4つのプログラムのうち最初の3つは時間を区切って行っており、進行に遅滞がみられる学生に対しては積極的に教員またはTAが助言を与え、介入することで時間内の終了を促している。最後の「課題探求・問題解決型実験」には、講義時間の大部分（14時間）を充てており、学生が自由に実験ができる時間を用意している。

3-6 グループワーク

多くの実験科目では、数名の学生が共同して実験を進めるグループワークを行っている。本授業ではそれ

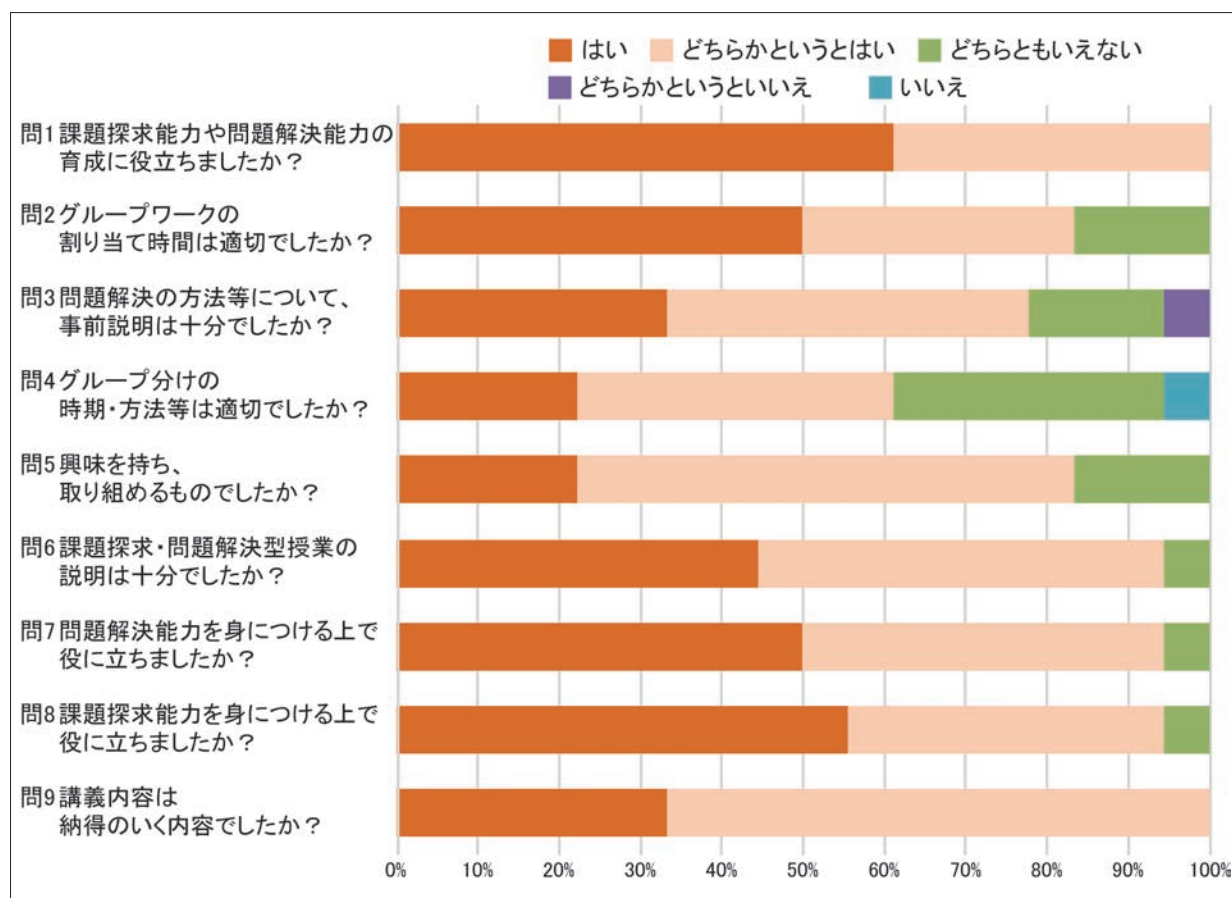


図4 平成29年度課題探求・問題解決型授業評価アンケート

に加えて、グループワークによって、各自が考案した研究計画を比較・検討し、改善を行う。また研究課題の達成状況の評価や、再実験のための改善策の検討なども行う。この取り組みが、能力の向上や実験の遂行

に特に効果的であることが学生アンケート等からも確認されている。

一般的にグループワークを円滑に進めるにあたって、グループサイズは重要な要素となる。本授業にお

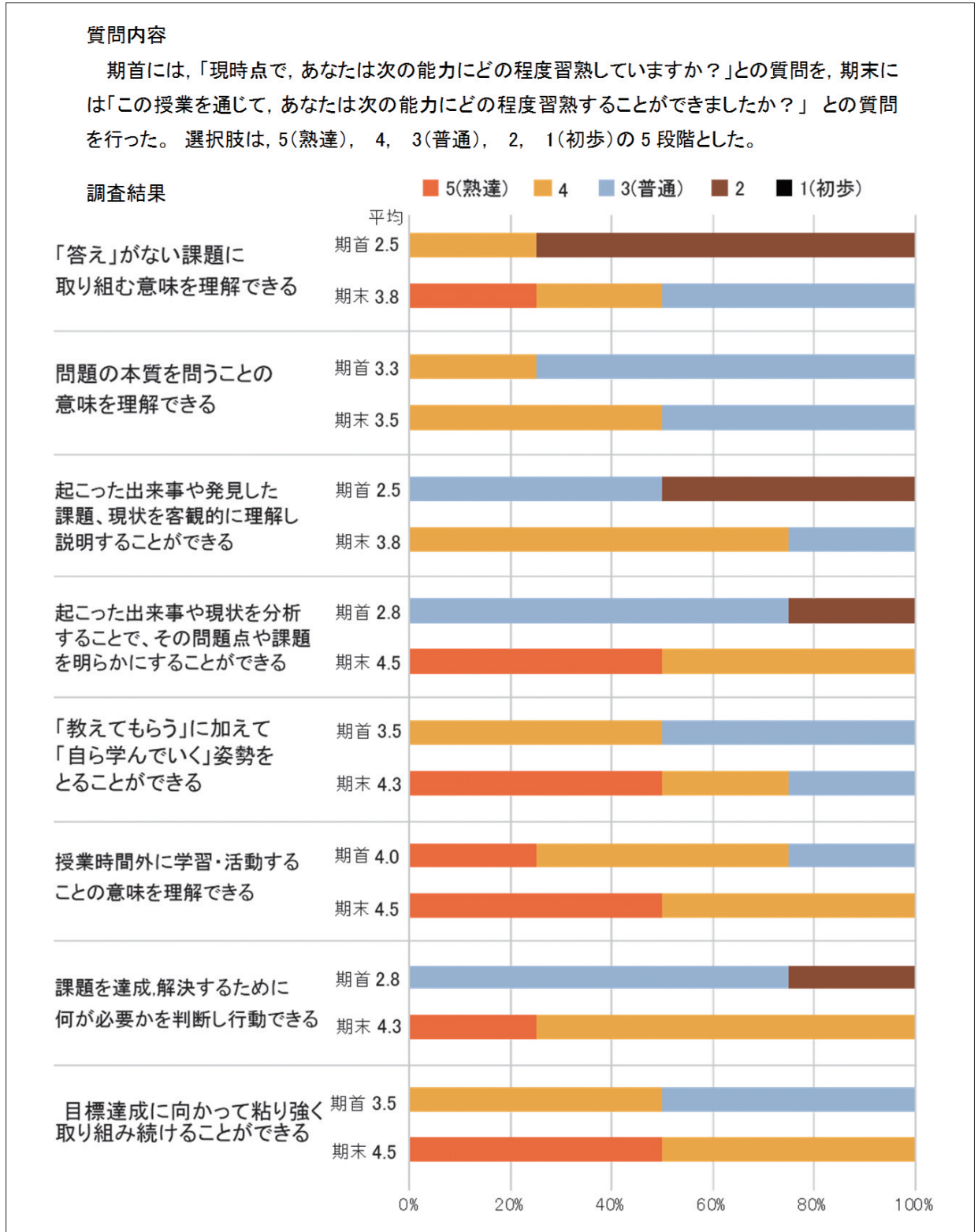


図5 平成27年度教育成果の検証アンケート

いては、これまでの試行によって、1グループ2～3名とすることが最も効率的であると考えている。これは一般的なグループサイズよりも小さいが、これ以上の人数とすると、積極的な学生のみが実験計画や作業を進めてしまい、消極的な学生の理解や能力向上が妨げられてしまうことがよく起こったためである。または、全員で実験作業を分担しようとするあまり、 unnecessary 分業を行い、かえって操作ミスや遅れを生み出してしまふこともあった。2、3人で行うことで、これらの点が解消され、全学生が積極的に議論や操作に取り組むことができている。

グループを作る上で、工夫している点としては、ステップアップ実験プログラムの1及び2は個人実験として行い、その理解度や達成度が同程度の学生どうしをグループとすることである。これは、理解度に差がある学生が混在するグループの場合には、どうしても理解度の高い学生に頼り切ることが多いためである。また、このときに理解度、達成度が低いとされたグループでも、互いに協力することで十分に研究課題の達成が可能であることが経験からわかっている。

4. 学生からの評価

4-1 学生アンケート

本授業では、毎年授業評価アンケートや聞き取りによって、教育成果の確認や改善点の確認を行っている。平成29年度の筆者の担当回終了直後に行った授業評価アンケートの結果を図4に、平成27年度に行った教育成果の検証アンケートの結果を図5に示した。なお、教育成果の検証アンケートは講義開始前（期首）と、他の教員を含む全ての講義が終了した期末に行ったものであり、他の教員による教育成果も含んでいる。また、アンケートの自由記述欄にも多くのコメントが記載されており、授業改善に役立っている。

4-2 課題探求・問題解決能力

学生評価において、「課題探求・問題解決」能力の育成に役だったかどうかを問う質問（図4 問1，7，8）では、「はい」が過半数を超え、「どちらかというとは

い」を加えると9割を超えた。平成22年度から同様のアンケートを行っているが、この設問に対しては常に8割以上の肯定が得られている。さらに教育成果の検証アンケートでは、課題探求・問題解決に関連する8つの能力の全てにおいて、受講前よりも習熟度が上がったことが確認できた（図5）。特に、課題の理解力や問題解決能力において顕著な向上が見られた。これらの結果から、課題探求・問題解決能力向上のための授業手法が十分に確立され、殆どの受講生が能力の向上を実感していることが示された。

4-3 グループワーク

本授業でのグループワークが問題解決能力向上に効果的であることがこれまでの自由記述のコメントや聞き取りからも確認できた。一方で、平成29年度に限っては、「グループ人数が多い」との不満も挙げられていた（図4 問4 及び自由記述コメント）。これは、既に述べたように、本授業における最適なグループサイズは1グループが2～3名だが、平成29年度は4～5名としたためである。グループ人数が多くなったのは、例年の受講生数は10名程度であるが、本年度は18名と倍増したこと、実験で用いる3台の実験機器（分光光度計）の1台が修理中のためグループ数を増やせなかったことが原因である。その結果、「各個人が実験機器の取り扱いや実験操作に十分に慣れることができず、失敗が多くなる」、「各自が考案した実験手法の議論、すりあわせに時間がかかり、実験時間が少なくなる」、「一部の消極的な学生がグループワークに参加しない」といった多人数グループによる弊害が生じてしまった。このことから、教育効果を最大にするためには、少人数のグループの維持が必須であることが改めて認識された。来年度以降は、スケジュールの検討、測定機器の修理及び補充等で少人数グループを維持したい。

4-4 講義内容の難易度と周知について

本科目は課題探求・問題解決型授業科目として、既存科目よりも難易度が高く、積極的に課題探求に取り

組む姿勢が要求される。在来生オリエンテーション等で説明を行っているため、本科目には、特に能力の向上に意欲のある学生が受講する傾向にある。自由記述のコメントからも、多くの学生が難易度の高さを感じているが、同時にそれが能力の向上に繋がったことも理解していることが窺える。しかし、アンケートからみえてきたのが、本科目の趣旨が十分に伝わらなかった学生の存在である（図4 問3, 6 及び自由記述コメント）。おそらく、実験プロトコル通りに作業を進める従来の実験科目を期待していたため、どのように実験を進めれば良いのか解らないことに不満を感じたのだろう。また、そのような学生は前項で述べたようにグループワークにも消極的であった。第1学期後半開講のため、初回講義時に従来の実験科目との違いに気がついて、既に履修取り消しができず、仕方なく履修を続けた学生がいたことが予想される。4月の在来生オリエンテーション等で本講義の趣旨を十分に理解した上での受講を促すことや、グループワークに消極的な学生へのフォローをTAの協力を得ながら行うことを次年度の改善点としたい。

5. おわりに

本稿では、「課題探求・問題解決型実験」の取り組みについて紹介したが、既にお気づきのように、これは理系における卒業研究を限られた時間の中で再現するものである。1年を通じて取り組む卒業研究ほどではないが、未知の研究課題に挑戦するこの授業を通して、研究の難しさ、そして面白さを伝えることができればと考えている。そして、今後も改善を重ねながら、よりいっそう教育効果の高い授業を行っていきたい。

本授業では学生による自由な実験計画のために多くの試薬と消耗品を必要としたが、毎年度、理学部の課題探求・問題解決型授業実施経費の支援によってそれらの準備が可能となった。最後に、この場を借りて御礼申し上げます。