

平成17年度

慶應義塾大学  
特色GP活動報告書

—文系学生への実験を重視した自然科学教育—



# 目次

<b>第1章 事業Ⅰ：文系専門課程学生に対する自然科学教育の検討と副専攻制等を含む自然科学カリキュラムの展開</b>	<b>3</b>
1.1 学内文系学部に関連するカリキュラムの調査	3
1.2 文系専門課程学生の自然科学教育に関する学生アンケートの実施	3
1.3 ワークショップの開催	4
1.4 日吉キャンパス特色 GP 第1回シンポジウムの開催	4
1.5 特色 GP 事業1 ワーキングメンバーによる会議日時	5
<b>第2章 事業Ⅱ：数学</b>	<b>6</b>
2.1 概要	6
2.2 論理学演習ソフト	7
2.3 大学初年級の数学教授例	7
2.3.1 数学の教育方法のポイント	7
2.3.2 カリキュラムにおける工夫	7
2.4 ゲーム理論からの例題	13
2.4.1 概括	13
2.4.2 Dilemma Type	13
2.4.3 Tragedy of the commons	14
2.4.4 Vertical Integration	14
2.4.5 寡占市場型	15
2.4.6 Strategic Trade Policy(Cournot Type)	16
2.4.7 Strategic Trade Policy(Bertrand Type)	18
<b>第3章 事業Ⅲ：心理学</b>	<b>20</b>
3.1 心理学の総合教育科目を担当する教員へのアンケート調査	20
3.2 実習の内容把握	21
3.3 次年度の計画	23
<b>第4章 事業Ⅲ：新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備（生物）</b>	<b>24</b>
4.1 ミクロ系	24
4.1.1 Adh（アルコール脱水素酵素欠損）系統と wg（無翅）系統を用いた古典的掛け合わせ実験	24
4.1.2 上記2系統を用いた PCR 法による遺伝子型の判別	24
4.1.3 集団遺伝学実験	24

4.1.4	進行状況	25
4.2	マクロ系	26
4.2.1	マクロ分野のテーマ	26
4.2.2	水生生物のデータベース化	27
4.2.3	次年度の課題	28
4.2.4	会計関係	29
<b>第5章</b>	<b>事業Ⅲ：新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備（化学）</b>	<b>30</b>
5.1	新規実験のテーマ設定	30
5.2	実験内容	30
5.3	新規実験テーマの実施	30
5.4	参考図書	32
5.5	キラリティ（左と右の区別）	32
<b>第6章</b>	<b>事業Ⅲ：新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備（物理）</b>	<b>36</b>
6.1	新しい自習テーマの開発事業	36
6.2	情報発信事業	36
<b>第7章</b>	<b>事業Ⅳ：取組成果の発信</b>	<b>37</b>
7.1	平成17年度「特色ある大学教育支援プログラム」フォーラム参加	37
7.2	東北大学シンポジウム参加・・・平成17年11月29日	37
7.3	他大学調査および報告書	37
7.3.1	お茶の水大学湾岸生物教育研究センター訪問の報告書	38
7.3.2	大阪市立大学見学報告書	40
7.3.3	山口大学教育学部視察報告書	41
7.3.4	広島大学実験所視察報告書	44
7.3.5	琉球大学熱帯生物圏研究センター視察報告書	50
7.3.6	筑波大学下田臨海実験センター訪問の報告書	53
7.3.7	一ツ橋大学視察報告書	56
7.3.8	東洋大学視察報告書	56
7.3.9	University of Sydney, University of New South Wales の視察報告	58
7.4	他大学からの実験施設視察および意見交換会	63
7.4.1	東北大学・・・平成18年1月11日	63
7.4.2	早稲田大学・・・平成18年1月23日	63
7.5	国内他大学アンケート調査	63
7.6	ホームページでの情報公開	64
7.7	GP便りの発行	64
7.8	特色GP会議日時	64

# 第1章 事業Ⅰ：文系専門課程学生に対する自然科学教育の検討と副専攻制等を含む自然科学カリキュラムの展開

事業Ⅰは、「文系専門課程学生に対する自然科学教育の検討と副専攻制等を含む自然科学カリキュラムの展開」という事業名のもと、文系学部における自然科学を副専攻として認定する制度など、従来の総合教育科目としての枠を超えた自然科学教育の在り方に関する研究とその実施形態の検討および既存カリキュラムの新たな展開を目指す事業である。現在文系4学部（文・経済・法・商）で独自に検討されている文系専門課程の学生を対象とする自然科学教育のあり方に関する理念の明確化を図り、その実施内容の充実化と学生の新しい可能性を切り開くことが期待される。

平成17年度における事業Ⅰの活動を以下に列挙する。

## 1.1 学内文系学部の関連するカリキュラムの調査

2003－2005年度の過去3年にわたる学内文系全学部の自然科学教育を調査した。総合教育科目と専門科目に分け、科目名、設置科目数、形態、担当者数、対象学年、テーマ等のデータを得た。さらに、文系学部別に2006年度開講科目のコマ数分布、カリキュラム上の特徴、今後の課題等を調査し、学部間で共通点、相違点を下記シンポジウムで発表した。その内容はシンポジウムの報告書に記載される。これらの調査は、望ましい自然科学教育を今後議論する際の基礎資料として活用する予定である。

## 1.2 文系専門課程学生の自然科学教育に関する学生アンケートの実施

文系専門課程の自然科学教育に関する第一回アンケートを実施した。本学文系学部在学生（1－4年生）を対象とし、2005年12月～2006年1月にアンケートを授業中に配布・回収した結果、文系全学部1学年数を上回る4222名からの回答を得た。アンケート結果として、1、2学年のみならず4学年を通して自然科学を学ぶことが良いと考える学生が42パーセントを占め、3、4年生で自然科学を学ぶ場合には一般教養のレベルが相応しいという意見が68パーセントに上る等、意外に興味深い実像が見えてきた。さらに詳しい統計分析をして、その結果を報告冊子として来年度まとめる予定である。

### 1.3 ワークショップの開催

本年度は学外から講師を招いて下記2回のワークショップを実施した。アメリカの自然科学教育や福井大学で設置されている副専攻についての説明がなされ、その後有意義な議論が展開した。どちらも詳しい報告書を作成済みであるが、来年度以降に開催のものともまとめて報告する予定である。

- 第1回ワークショップ

演題：「私の見たアメリカ大学のリベラルアーツとしての自然科学教育」

講師：国際教養大学特任教授 安積 徹氏

日時：2006年1月14日（土）午前10時～正午

- 第2回ワークショップ

演題：「平成17年度特色GP「福井大学の教養教育」－特に副専攻について－」

講師：福井大学共通教育センター長、工学部教授 鈴木 敏男氏

日時：2006年2月4日（土）午前10時～正午

### 1.4 日吉キャンパス特色GP第1回シンポジウムの開催

慶應義塾大学日吉キャンパス特色GP「文系学生への実験を重視した自然科学教育」第1回シンポジウムを開催した。「今どんな教育が行われているのか」と題されたシンポジウムの開催趣旨は、慶應義塾大学におけるこれまでの実験を重視した文系自然科学教育を概観し、そして塾内文系専門課程学生に対する自然科学教育の現状を把握することによって、それらに関する様々な議論の礎を築くことであった。シンポジウムは日吉キャンパス来往舎シンポジウムスペースにて2006年3月16日（木）午後3時より円卓方式で開始され、主に学内から約60名の参加があった。下村裕法学部教授の司会で、西村太良理事の挨拶、朝吹亮二日吉主任代表の日吉キャンパス特色GPについての説明、そして表実特色GP事業推進責任者の講演「これまでの文系自然科学教育」が前半に行われた。5分休憩後の後半は、まず「自然科学教育の学部別現状」について、大場茂文学部教授、福山欣司経済学部助教授、下村裕法学部教授、福澤利彦商学部助教授から報告があり、それを受けて横山千晶教養研究センター所長と三田キャンパス・日吉キャンパス学習指導で構成された7人のコメンテーターより様々な意見や感想が述べられた。その後、司会者より「文系専門課程の自然科学教育に関する第一回アンケート」の主要結果が報告され、フロアーから羽田功経済学部日吉主任、橋本順一商学部日吉主任、古野泰二医学部日吉主任から発言があった。そして金田一真澄外国語教育センター長からのコメントを最後に、予定時刻を大幅に過ぎた6時10分に閉会した。シンポジウムの記録は、慶應義塾大学出版会の製作により、冊子として来年度刊行する予定である。

事業1の活動は、そのワーキンググループによって検討・企画され、多くの関係者の協力によって成立したものである。ワーキンググループは、大場 茂（文学部教授）福山欣司（経済学部助教授）、下村 裕（法学部教授）、福澤利彦（商学部助教授）によって構成され、表 実（商学部教授、特色GP事業推進責任者）と朝吹亮二（法学部教授、日吉

主任代表)をオブザーバーとした組織である。また事業1の事務は小高早紀子と松澤美千子が担当した。

## 1.5 特色GP事業1ワーキングメンバーによる会議日時

- 第1回 2005年10月27日(木) 午後4時30分～午後6時
- 第2回 2005年11月17日(木) 午後6時～午後8時
- 第3回 2005年12月1日(木) 午後4時30分～午後6時30分
- 第4回 2005年12月14日(水) 午後4時30分～午後6時30分
- 第5回 2006年 1月31日(火) 午前11時～午後1時
- 第6回 2006年 3月7日(火) 午前11時～午後1時
- 第7回 2006年 3月14日(火) 午後1時～午後3時25分

(2006年3月30日 法学部教授 下村 裕)

## 第2章 事業Ⅱ：数学

商学部 小宮英敏

### 2.1 概要

2005年10月より2006年3月まで6ヶ月に亘り、社会科学系学生及び研究者の教育・研究の要となる数理能力を探りそれを教科書あるいは論説の形で明示することを目的とする本事業の最初の活動を行なった。具体的には本学商学部数学担当論理学専攻白旗優氏、純粋数学の研究を主に行っているがいわゆる文系専攻にポジションをおく千葉大学大学院社会文化科学研究科助手の田村高幸氏、ゲーム理論研究者である東京工業大学大学院社会理工学研究科助手の内海幸久氏と毎週議論を重ね、さらに私が主催者の一人に名前を連ねる慶應義塾大学におけるセミナー「経済の数理解析」の講演者と上記の目的意識で討論を毎週行ってきた。この半年間の活動で得た概括的な知見を箇条書きにしまとめ、来年度以降の活動指針とする。

1. 大学初年級の数学カリキュラムは全国一律に微積分と線形代数が標準的である。これらの有用性は改めて述べる必要は無いが、これと比肩しうる数学分野が、特に文系科目を念頭に置いたときには、別に存在するのではないかとの問題意識で現在文系科目で必要とされる数理科学の知識を探った。2005年度は経済学に絞って見てきたが、離散数学の重要性は現在の状況よりは強調されるべきであるとの印象を持った。微積分に代表される連続量を扱う理論は物理学での成功を礎に経済学にも適用され経済主体が十分多数居りその意思決定が市場の価格に影響を与えない均衡理論では成功を納めた。マクロ経済学の分野では経年変化を離散年で捉えるモデルが自然であり、その数学モデルは差分方程式で記述される。また、連続量で近似、記述するには不適當な不可分財を扱うことを避けて通ることが困難な経済モデルはごく自然に存在する。この面からも解析学を手本に1970年代以降発展を続け経済学にも広く応用されている凸解析の分野も離散凸解析まで領域を広げる必要がある。また、経済学でも問題となっているカオス理論もごく単純な離散的繰り返しから生じることが発見されその理論の重要性が認識された。また、ゲーム理論の思考形態もグラフ理論からのアイデアを援用している。
2. 経済主体の行動原理は効用最大化、費用最小化、収益最大化などの最適化として記述される。この個別の最適化を定式化するために微分の理論が使われているが、その特徴は各経済主体が他の経済主体とは独立に最適化を行うところにある。数学的には、これは目的関数の制約付き最適化として捉えることができる。しかし、1990年代以降飛躍的に経済学に浸透していったゲーム理論では行動主体の意思決定は他の行動主

体の意思決定に影響を受けることを想定しているため、従来の意思決定よりも複雑な構造になっている。このための数理的に定式化された最適化理論をなるべく早い段階で社会科学系学生や研究者の常識とすべきである。

3. 数学は諸科学からの影響と数学自らが内包する潤沢な構造からその長い歴史を通じて豊かな世界を形成してきた。そこには自然数から出発し逐次構成される数に内在する性質と論理的思考のみから構成された世界が存在している。この数学的世界と社会科学に表われる様々な量の意義や量同士の間の関係に対応付け数理的解析を行なうことの意味を確認することが肝要である。

## 2.2 論理学演習ソフト

白旗氏が翻訳を手懸けている論理学の本 Jon Barwise, John Etchemendy, et al., "Language, Proof and Logic," CSLI Publications に附属の CD-ROM を使い論理的思考の授業の準備を進めた。実験的にこの授業を来年度から試みるつもりである。

## 2.3 大学初年級の数学教授例

概括的な議論と平行して社会科学系学生の数学の初年級教育の具体的な数学教授例を考察した。以下は千葉大学社会文化学科田村氏にまとめてもらった文書である。

### 2.3.1 数学の教育方法のポイント

数学は式を通して、多くの現象を記述し、本質的な部分を切り出し、問題解決の方策を見出すために、使用される言語である。言語一般の習得に際してはある程度の覚えなくてはならないことがあります（アルファベットや単語、文法など）。しかし、覚えなくてはならないことも、それがどのような場面で使うことができるがよく分かると、面白さが増し、覚えることの励みにもなります。たとえば、私が学会でポーランドに行ったとき、宿舎での応答の際に、片言でも、ポーランド語で話すと、宿舎の人の何と言えない笑顔を見ることが出来、大変感動しました。そのとき、とても難解な言葉ですが、ポーランド語を勉強してみたい、勉強してみようという気になりました。ですから、英語などの外国語は、海外旅行などで少しでも外国人に通じた経験を持つことにより、喜びを覚え、もう少しやってみようと言う気になるものです。数学についても、このあたりの経験を積むことが、すなわち、少しづつでも、数学を使って、実際に多くの問題が解決できることを経験することが必要です。さらに、「数学は積み重ねが重要であり、一度遅れると、もう取り戻せない」という数学に対する劣等意識を取り除くためにも、数学は self-contained であり、今までの遅れがあっても、取り返し可能であることを、体感してもらい、数学についての劣等意識を取り除くことが重要です。

### 2.3.2 カリキュラムにおける工夫

カリキュラムに工夫について、微積分を通して少し述べてみます。

大体、まず、学生が足をすくわれるところは  $i$  (虚数単位)、対数、三角関数です。これらはいったいどんな道具であるか分からないままに、計算ばかりさせられるので参ってしまいます。ですからどのような道具であるかをしっかり認識 (理解) させた上で、記法および計算の習熟をはかることが肝要です。(くりかえしになりますが、学生に自分もやればできる、やればわかるという風に持っていくことがポイントです。)

まず  $i$  (虚数単位) についてです。 $i$  (虚数単位) については  $i \times i = -1$  を符号の演算  $(-1) \times (-1) = 1$  の延長としてみることによって、 $(-1)$  は符号の変更であり、それは向きを  $180$  度回転する (足し算および引き算を実際にチェックしてみれば分かります。) ことであり、 $\times (-1)$  の演算はさらに  $180$  度回転させることであり、 $2$  度繰り返すと、 $360$  度回転になって、 $1$  と同じであるということが「符号の演算」であったことを思い出してもらい、それとの類推で  $i$  の操作を  $2$  度繰り返すと  $180$  回転  $(-1)$  なので  $i$  は  $90$  度回転と見ることができる。こうしてみると  $i$  を  $90$  度回転という実体の持つものとして理解し、利用することができるようになります。このように、数式は文章のように、さまざま解釈が可能であり、式についてこのように解釈から  $i$  に親近感を持ってもらうことも、数学習得上で大変重要です。(繰り返しになりますが、日常言語の文章には、さまざまな解釈があり、それを利用して世界についての理解を進めているのと同じように、数学理解 (習得) において重要なことは、式はさまざまな意味を持っている”ことを理解してもらい、それを通して、現実の世界の理解を深めていくことなのです。) 次に三角関数です。普通の方角とは逆に、三角関数をピタゴラスの定理を証明するための道具としてみれば、その重要性や利用法が理解できるようになると思います。

具体的には、次のようにしてできます。

$3$  つの角が等しい三角形はその辺の比も等しいという相似と呼ばれる性質を用いて、三角関数 (三角比) は定義されている。すなわち、直角三角形  $ABC$  において、角  $ACB$  が直角、角  $ABC$  を  $\theta$ 、角  $BAC$  を  $90 - \theta$ 、 $AB$  (長さを  $c$ ) が斜辺、 $AC$  (長さを  $b$ ) が高さ、 $BC$  (長さを  $a$ ) が底辺とする。このとき、三角関数  $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$  を  $a = c \cos \theta$ 、 $b = c \sin \theta$  で定義する。特に、 $c = 1$  のときは、 $a = \cos \theta$ 、 $b = \sin \theta$  である。これを利用すると、三平方の定理 (ピタゴラスの定理) を簡単に証明することができる。  $2$  段階からなる。

(1)  $c = 1$  の場合を考える。

そこで、 $C$  から斜辺  $AB$  に垂線を下ろし、その足を  $D$  とする。

すると  $1 = AB = AD + BD$  である。

すると、 $2$  つの直角三角形  $ACD$ 、 $CBD$  を考える。そこで、角  $ACD$  が  $\theta$  になることに注意して、 $AD$ 、 $BD$  を求めてみる。直角三角形  $ACD$  の斜辺は  $AC$  で、底辺は  $CD$ 、高さが  $AD$  となり、 $AC$  は  $\sin \theta$  なので、 $AD$  は  $\sin \theta \times \sin \theta = \sin^2 \theta$  となり、直角三角形  $CBD$  の斜辺は  $BC$  で底辺は  $BD$ 、高さが  $CD$  となり、 $BC$  は  $\cos \theta$  なので、 $BD$  は  $\cos \theta \times \cos \theta = \cos^2 \theta$  となる。よって、 $1 = AB = AD + BD = \cos^2 \theta + \sin^2 \theta$  を得る。

(2)  $c > 0$  の場合

定義から、 $a = c \cos \theta$ 、 $b = c \sin \theta$  なので、 $a^2 + b^2 = c^2 \cos^2 \theta + c^2 \sin^2 \theta = c^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = c^2$  となり、証明は終わる。

以上が証明です。(この証明は図解とともに行い、実際にもとの三角形から新しく作った三角形を切り出していくと、三角関数の定義から、自然に証明出来てしまう素晴らしさを実際に目で見て、体験してもらうところが大切です。)

次は、対数です。これについては、指数計算と一緒に導入するのですが、特に強調しておきたいのは、「対数は、掛け算を足し算に変えて計算できる道具として理解してもらうことが大切であることです。また以下に述べる微分との関係でもとても大切です。

ここまでの三大難題  $i$  (虚数単位)、対数、三角関数です。

次は微分とベクトルについてです。ここで、一変数、二変数 (できれば  $n$  変数) の両方の場合を取り扱います。重要なのは、両方取り扱うことによって、全体の見通しがよくなるということです。

先ほどと同じく、微分及びベクトルの役割から解説します。

微分とは関数の変化を比例 ( $y = a \cdot x$  すなわち  $y = (\frac{y}{x})x$ ) の概念 (もしくは接線) の概念) を用いて捕らえようとするものである。

ベクトルとは多くの対象をひとまとめに考えるための道具である。すなわち、 $x_1, \dots, x_n$  となる  $n$  個の対象を  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  として、一組として考え、その組の名前が  $\mathbf{x}$  なのがある。(この操作を私たちは無意識のうちしている。言い換えれば、無意識にしているこの操作を明確化し、その形式化を図り、この操作の操作性を向上させるのが、ベクトルという考え方 (見方) である。)

どんな利点があるかという点、直前に見たように、本来、 $n$  個の変数として取り扱うものを、一つの変数  $\mathbf{x}$  として取り扱える点である。すなわち、 $n$  変数で道具をそろえなくてはいけなかったものを、すべて、1 変数の道具を利用して分析できる点にある。その代わりに、ベクトル用に、1 変数の道具の焼き直しを図る必要がある。まず、1 変数の場合の積の役目を果たすものの一つが、ベクトル  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  とベクトル  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$  を用いて、数 (スカラー) を作り出す演算の内積  $\mathbf{x} \cdot \mathbf{y} (= \sum_{i=1}^n x_i y_i)$  (成分同士の掛け算の和) である。

準備が出来たところで、微分概念をもう少し詳しく述べます。微分の目標は、関数の変化を直線 (接線) で捉える (曲がっていても、十分近ければ、直線とみなせる) ということです。

このこと力点を置いて、次のように定義して、計算をして見せます。

まず、1 変数について、関数  $f$  の微分の定義を行う。

$$df(x) = Df(x) \cdot dx = \frac{df}{dx}(x) \cdot dx \quad (D = \frac{d}{dx}, \frac{df}{dx}(x) \text{ は点 } x \text{ における接線の傾きである。})$$

である。ここで、点  $x$  における接線の傾きとは、 $\frac{df}{dx}(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{(x+h) - x} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$ 、 $x$  の変化量とそれに対応する  $f$  の変化量の比、すなわち、傾きの極限值 (行き先) である。よって、 $df(x)$  は  $f$  の変化量の比例部分である。(注意: 変化率ではない。)  $x$  において接線の傾きが存在し、 $dx$  が充分小さければ、 $df(x)$  は  $f$  の変化量とみなすことができる。その意味で、 $df(x)$  は  $f$  の変化量の主要部分といわれる。(  $f$  の比例化、線形化ともいう。) よって、大雑把に言って、 $df(x)$  は点  $x$  の近くでの  $f$  の変化量である。次に述べる、2 変数の場合を意識すれば、 $df(x)$  は点  $x$  における、 $x$  による純粋な  $f$  の変化量 (効果) といえる。

$n$  変数といっているが、実は 2 変数の場合が本質的である場合が多い。そこで、まず 2 変数の場合について述べる。2 変数についての関数  $f$  の微分  $df(x_1, x_2)$  を考察すると、点  $(x_1, x_2)$  において、直前に述べたように、一番理想的なのは、純粋な  $x_1$  による  $f$  の変化量 (1 変数の定義から、 $\frac{df}{dx_1} \Big|_{x_2: \text{固定}} dx_1$  である) と純粋な  $x_2$  による  $f$  の変化量 ( $\frac{df}{dx_2} \Big|_{x_1: \text{固定}} dx_2$ ) の和が全体の変化量  $df(x_1, x_2)$  になる場合である。

すなわち、

$$\begin{aligned}
 df(\mathbf{x}) &= Df(\mathbf{x}) \cdot d\mathbf{x} = \langle Df(\mathbf{x}), d\mathbf{x} \rangle = \left\langle \frac{df}{d\mathbf{x}}, d\mathbf{x} \right\rangle = \left\langle \frac{df}{d(x_1, x_2)}, d(x_1, x_2) \right\rangle \\
 &= \frac{df}{dx_1} \Big|_{x_2: \text{固定}} dx_1 + \frac{df}{dx_2} \Big|_{x_1: \text{固定}} dx_2 \quad (x_1 \text{ による純変化量}, x_2 \text{ による純変化量}) \\
 &= \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 = \sum_{i=1}^2 \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 = \left\langle \left( \frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2} \right), (dx_1, dx_2) \right\rangle = \nabla f \cdot d\mathbf{x}
 \end{aligned}$$

となる。

$n$  変数で述べると以下のようになり、本質的に変わらない。

$$\begin{aligned}
 df(\mathbf{x}) &= Df(\mathbf{x}) \cdot d\mathbf{x} \\
 &= \langle Df(\mathbf{x}), d\mathbf{x} \rangle \\
 &= \left\langle \frac{df}{d\mathbf{x}}, d\mathbf{x} \right\rangle \\
 &= \left\langle \frac{df}{d(x_1, \dots, x_n)}, d(x_1, \dots, x_n) \right\rangle \\
 &= \frac{df}{dx_1} \Big|_{x_2, \dots, x_n: \text{固定}} dx_1 + \dots + \frac{df}{dx_n} \Big|_{x_1, \dots, x_{n-1}: \text{固定}} dx_n \\
 &\quad (x_1 \text{ による純変化量}, \dots, x_n \text{ による純変化量}) \\
 &= \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n \\
 &= \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i \\
 &= \left\langle \left( \frac{\partial f}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right), (dx_1, \dots, dx_n) \right\rangle \\
 &= \nabla f \cdot d\mathbf{x}
 \end{aligned}$$

である。

$df$  の性質について述べる。接線の傾きの定義から、 $d(1) = 0$ ,  $d(af) = a df$  ( $a$  は定数) となるので、

$$\begin{aligned}
 d(f+g) &= \frac{\partial(f+g)}{\partial f} df + \frac{\partial(f+g)}{\partial g} dg \\
 &= \frac{d(f+g)}{df} \Big|_{g: \text{固定}} dx_1 + \frac{d(f+g)}{dg} \Big|_{f: \text{固定}} dg \\
 &= df + dg \\
 d(fg) &= \frac{\partial(fg)}{\partial f} df + \frac{\partial(fg)}{\partial g} dg \\
 &= \frac{d(fg)}{df} \Big|_{g: \text{固定}} df + \frac{d(fg)}{dg} \Big|_{f: \text{固定}} dg \\
 &= g \frac{df}{df} \Big|_{g: \text{固定}} df + f \frac{dg}{dg} \Big|_{f: \text{固定}} dg \\
 &= gdf + fdg
 \end{aligned}$$

と得る。これらを利用すると、 $n$  を自然数とすると、

$$\begin{aligned} d(x^2) &= xdx + xdx = 2xdx, \\ d(x^3) &= d(x \cdot x^2) = x^2dx + xd(x^2) = x^2dx + x \cdot 2xdx = 3x^2dx, \\ &\dots \dots \dots \\ d(x^{n-1}) &= d(x \cdot x^{n-1}) = x^{n-1}dx + xd(x^{n-1}) = x^{n-1}dx + x \cdot (n-1)x^{n-2}dx = nx^{n-1}dx \end{aligned}$$

となる。また、

$$0 = d(1) = d\left(x \cdot \frac{1}{x}\right) = \frac{1}{x}dx + xd\left(\frac{1}{x}\right)$$

となるので、

$$d(x^{-1}) = d\left(\frac{1}{x}\right) = \left(-\frac{1}{x}\right) \div x dx = -\frac{1}{x^2}dx = (-1) \cdot x^{-2}dx$$

となり、同様にして、一般の場合は

$$d(x^{-n}) = (-n) \cdot x^{(-n)-1}dx = (-n) \cdot x^{-(n+1)}dx$$

となる。

$$dx = d\left(\left(x^{\frac{1}{n}}\right)^n\right) = d(u^n) = nu^{n-1}du = n \cdot \left(x^{\frac{1}{n}}\right)^{n-1}d\left(x^{\frac{1}{n}}\right) = n \cdot \left(x^{1-\frac{1}{n}}\right)d\left(x^{\frac{1}{n}}\right)dx$$

となるので、

$$d\left(x^{\frac{1}{n}}\right) = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left(x^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}\right)dx$$

となる。

次に、対数の微分  $d(\log_e x)$  を求める。

$$d(\log_e x^{\frac{1}{n}}) = d\left(\frac{1}{n} \log x\right) = \left(\frac{1}{n}\right)d(\log_e x) = \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{d(\log_e x)}{dx}\right)dx = g(x)dx$$

であり、一方、

$$d(\log_e x^{\frac{1}{n}}) = d(\log_e u) = \left(\frac{d(\log_e u)}{du}\right)du = g(u)du = g\left(x^{\frac{1}{n}}\right)d\left(x^{\frac{1}{n}}\right) = g\left(x^{\frac{1}{n}}\right)\left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left(x^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}\right)dx$$

となるので、

$$g(x) = g\left(x^{\frac{1}{n}}\right) \cdot \left(x^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}\right)$$

が任意の  $n$  について成立する。ここで、 $n \rightarrow \infty$  とすると、 $x^0 = 1$  に注意して、

$$g(x) = g(1) \cdot (x^{-1}) = g(1) \cdot \left(\frac{1}{x}\right)$$

となる。また、

$$\begin{aligned} g(1) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\log_e(1+h) - \log_e 1}{(1+h) - 1} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\log_e(1+h)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \left(\frac{1}{h}\right) \log_e(1+h) \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \log_e\left[(1+h)^{\frac{1}{h}}\right] = \lim_{w \rightarrow \infty} \log_e\left[\left(1 + \frac{1}{w}\right)^w\right] = 1 \end{aligned}$$

となるので、

$$d(\log_e x) = g(x)dx = (g(1) \cdot (x^{-1}))dx = \left(\frac{1}{x}\right)dx$$

となる。よって、

$$d(\log_e f) = \left(\frac{1}{f}\right)df$$

ともなり、反対に、

$$df = f \cdot d(\log_e f)$$

ともなる。これを用いて、

$$d(e^x) = e^x d(\log_e(e^x)) = e^x dx$$

となる。同様に、 $d(x^x)$  を求めると、

$$d(x^x) = x^x d(\log_e x^x) = x^x d(x \log_e x) = x^x \cdot \log_e x dx + x^x \cdot x d(\log_e x) = (\log_e x + 1)x^x dx$$

となる。

これで指数・対数の微分までは計算でき、合成関数の微分(偏微分)もすぐ繰りかえしで、求められることも分かります。(このあたりが微分形式の強みです。)

三角関数の微分は、原点中心の円の方程式を用いて、求めます。円の半径と接線は直交することを使います。原点中心の半径1の円の方程式は $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$ とかけます。円周上の点 $P$ は、 $P = (\cos \theta, \sin \theta)$ とかけるので、点 $P$ での接線ベクトルはこれに直交するので、点 $P$ を足とする接線上の長さ $R$ の線分を原点に平行移動してできた点を $Q = (a, b)$ とする。すると、点 $Q$ は半径 $R$ の円周上の点なので、 $a = R \cos(\theta + 90)$ 、 $b = R \sin(\theta + 90)$ となる。よって、 $\cos \theta$ の微分は $a = -R \sin \theta$ 、 $\sin \theta$ の微分は $b = R \cos \theta$ となる。つぎに、この $R$ を求める。微小角度 $d\theta$ だけ動いた時に進む微小距離 $dS$ は円周上を進むので、 $dS = 2\pi \times \frac{d\theta}{360} = \frac{2\pi}{360} d\theta$ であり、一方、おはじきの公式から $dS = \left| \left( \frac{dx}{d\theta}, \frac{dy}{d\theta} \right) \right| d\theta = R d\theta$ なので、 $R = \frac{2\pi}{360}$ となる。よって、 $\cos \theta$ の微分は $a = -\frac{2\pi}{360} \sin \theta$ 、 $\sin \theta$ の微分は $b = \frac{2\pi}{360} \cos \theta$ となる。ここで、数学では計算を簡単にするために、 $R = \frac{2\pi}{360} = 1$ とします。これは何を意味しているかと言うと、 $dS = d\theta$ ということであり、扇形で中心角と対応するこの長さを同じものとみなすことに当たります。ここが大切なところなのです。本来違うものものをある尺度で同じものとみなすことによって、見通しがずいぶんよくなるのです。ここが数学の醍醐味のうちの一つです。

このようにしてみると、弧度法の導入の意図も分かりますし、意識して同じとみなしているんだと言う理解ができるようになります。ここで、GAPを作ると躓きの基になります。これらを元手に、平均値の定理、テイラー展開、積分の公式、ベクトルの微積分にその意味をはっきりさせてから、説明したり(必要ならば証明したり)、していけば数学の仕組みを理解することができ、ひいてはそのほかの科目を理解していく時にも、数学の場合に理解した方法が、一つの指針になっていきます。(どのような仕組みできていて、どのように利用できるのか、この点に注意して、他の科目も見えていけばよいということです。繰り返すならば、数学の習得方法が知識習得の雛形になっていることです。)

## 2.4 ゲーム理論からの例題

まだ途上ではあるが、概要の節に述べたようにゲーム理論は数理教材として注目に値するとの認識の下、現在のゲーム理論で盛んに研究されている分野の教育的な例題を内海氏に作成してもらいその数理的側面の検討を行った。以下にその資料を記す。

### 2.4.1 概括

- NE : behavior rule
    - SFG  $(N, X_i, u_i)$ 
      - Dilemma model** CPR-game, public goods game, social dilemma game  
NE  $\neq$  social optimal allocation
      - P-A model** vertical integration, decentralization
      - Bargaining model**
      - voting game, location game**
      - strategic complementarity and strategic substitution** supermodular game,  
Cournot type vs Bertrand type
      - new I.O.**
    - Bayesian Game  $(N, X_i, u_i, T_i, P)$ 
      - Auction model**
      - Asymmetric information** adverse selection (insurance contract)  
moral hazard (labor contract)
    - Repeated Game — fork theorem
  - NE : process
    - Evolutionary game — RD, BRD
    - Learning — fictitious play
- $\Rightarrow$  equilibrium selection  
Which NE is attained by evolutionary process?  
Try to solve the dilemma problem

### 2.4.2 Dilemma Type

$N = \{1, \dots, n\}$ ,  $X_i = \{H, L\}$ , 例えば,  $H = 1000w$ ,  $L = 500w$

$$Q(k) = 500k + 1000(n - k) = 1000n - 500k$$

$$u_i(x_1, \dots, x_n) = \begin{cases} 0 & \text{if } Q(k) > c \\ 5 & \text{if } c \geq Q(k), x_i = L \\ 10 & \text{if } c \geq Q(k), x_i = H \end{cases}$$

$$500n < c < 1000n$$

1.  $K^*$  人が  $L$ ,  $n - k^*$  人が  $H \Rightarrow$  NE
2.  $K^* - 2$  人以下が  $L$ , それ以外が  $H \Rightarrow$  NE
3.  $K^* - 1$  人が  $L$ ,  $n - k^* + 1$  人が  $H \Rightarrow$  not NE

### 2.4.3 Tragedy of the commons

$$N = \{1, \dots, n\}, X_i = \{C, D\},$$

$A$  : cost (cost of disposal)

$kL$  : purification cost

$$L < A < nL$$

$k_i$  : the number of  $D$  except for  $i$

$$u_i(x_1, \dots, x_n) = -c_i(x_1, \dots, x_n)$$

$(D, \dots, D)$  : unique NE

$$\begin{aligned} u_i(D, \cdot) - u_i(C, \cdot) &= -(k_i + 1)L - (-A - k_i L) \\ &= A - L \\ &> 0 \quad D \text{ is a dominant strategy} \end{aligned}$$

### 2.4.4 Vertical Integration

1. 系列なし (最終財メーカーが独占)

$$\pi(x) = qx - x^2 \quad (\text{部品メーカー})$$

$$q = 2x \text{ 供給}$$

$$\begin{aligned} \pi(y) &= py - y^2 - qy \quad (\text{最終財メーカー}) \\ &= (a - y)y - y^2 - 2y^2 \quad \text{独占の行動 } q = 2x, p = a - y \end{aligned}$$

$$a - 2y - 2y - 4y = 0$$

$$y = a/8$$

$$x^* = a/8, y^* = a/8, q = a/4, p = 7a/8$$

$$\pi(x^*) + \pi(y^*) = 5a^2/64$$

2. 系列あり (垂直統合)

$$\begin{aligned} \pi + \Pi &= py - y^2 - qx + qx - x^2 \\ &= py - y^2 - y^2 \quad (y = x) \\ &= (a - y)y - 2y^2 \end{aligned}$$

$$a - 6y = 0$$

$$y = a/6$$

$$x = a/6, y = a/6, p = 5a/6$$

$$\pi + \Pi = a^2/12$$

$5a^2/64 < a^2/12$  より系列ありの方が利潤が高い。

3. 競争的部品市場 ( $q$  を所与として行動)

$$\begin{aligned} \text{利潤} &= py - y^2 - qx \\ &= (a - y)y - y^2 - qx \quad (p = a - y, \text{独占}) \\ &= (a - x)x - x^2 - qx \quad (y = x) \end{aligned}$$

$$a - 4x = q$$

$$a - 4x = 2x$$

$$x = a/6$$

ケース 2 と同じ。内部取引が競争市場と同じ。

## 2.4.5 寡占市場型

1. 統合なし

$$\pi_1 = q_1 x_1 - x_1^2, \quad q_1 = 2x_1$$

$$\pi_2 = q_2 x_2 - x_2^2, \quad q_2 = 2x_2$$

$$\Pi_1 = py_1 - c_1 y_1 - q_1 x_1$$

$$\Pi_2 = py_2 - c_2 y_2 - q_2 x_2$$

$$\Pi_1(y_1, y_2) = (a - y_1 - y_2)y_1 - c_1 y_1 - 2y_1^2$$

$$\Pi_2(y_1, y_2) = (a - y_1 - y_2)y_2 - c_2 y_2 - 2y_2^2$$

$$\text{f.o.c.} \quad a - 2y_1 - y_2 - c_1 - 4y_1 = 0$$

$$y_1 = (a - c_1 - y_2)/6, \quad y_2 = (a - c_2 - y_1)/6$$

$$\text{NE} \quad y_1 = (5a - 6c_1 + c_2)/35, \quad y_2 = (5a - 6c_2 + c_1)/35$$

$$x_1 = (5a - 6c_1 + c_2)/35, \quad x_2 = (5a - 6c_2 + c_1)/35$$

$$q_1 = 2(5a - 6c_1 + c_2)/35, \quad q_2 = 2(5a - 6c_2 + c_1)/35$$

$$p = (5a + c_1 + c_2)/7$$

$$\pi_1 + \Pi_1 = 4((5a - 6c_1 + c_2)/35)^2$$

## 2. 統合のケース

$$\begin{aligned}\pi_1 + \Pi_1 &= py_1 - c_1y_1 - x_1^2 \\ &= (a - y_1 - y_2)y_1 - c_1y_1 - y_1^2\end{aligned}$$

$$\pi_2 + \Pi_2 = (a - y_1 - y_2)y_2 - c_2y_2 - y_2^2$$

$$\text{BR} \quad a - 2y_1 - y_2 - c_1 - 2y_1 = 0$$

$$y_1 = (a - y_2 - c_1)/4, \quad y_2 = (a - y_1 - c_2)/4$$

$$\text{NE} \quad y_1 = (3a - 4c_1 + c_2)/15, \quad y_2 = (3a - 4c_2 + c_1)/15$$

$$p = (3a + c_1 + c_2)/5$$

$$\pi_1 + \Pi_1 = 2((3a - 4c_1 + c_2)/15)^2$$

cf)  $c_1 = c_2 = c$  のとき, ケース 1 の利潤 > ケース 2 の利潤

### 2.4.6 Strategic Trade Policy(Cournot Type)

#### 1. Export Policy (subsidy)

- No Subsidy Case

$$\pi_1(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2)x_1 - c_1x_1$$

$$\pi_2(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2)x_2 - c_2x_2$$

Best Response

$$\partial\pi_1/\partial x_1 = 0 \text{ より } x_1 = (a - c_1 - x_2)/2$$

$$\partial\pi_2/\partial x_2 = 0 \text{ より } x_2 = (a - c_2 - x_1)/2$$

Nash Equilibrium

$$x_1 = (a - 2c_1 + c_2)/3, \quad x_2 = (a - 2c_2 + c_1)/3$$

- Subsidy Case

$$\pi_1(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2)x_1 - c_1x_1 + sx_1$$

$$\pi_2(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2)x_2 - c_2x_2$$

Best Response

$$x_1 = (a - c_1 + s - x_2)/2$$

$$x_2 = (a - c_2 - x_1)/2$$

Nash Equilibrium

$$x_1 = (a - 2c_1 + 2s + c_2)/3 \equiv x_1^*, \quad x_2 = (a - 2c_2 + c_1 - s)/3 \equiv x_2^*$$

$$\pi_1(s) = (a - 2c_1 + 2s + c_2)^2/9$$

net surplus (subsidy exclusive profit)

$$\pi_1(s) - sx_1^* = (a - 2c_1 + c_2 + 2s)(a - 2c_1 + c_2 - s)/9$$

$$\text{optimal subsidy } s^* = (a - 2c_1 + c_2)/4$$

subsidy effect

$$\pi_1(s^*) - s^*x_1 - \pi_1(0) = s^*(a - 2c_1 + c_2 - 2s^*)/9 > 0$$

Remark

$$x_1^*(s^*) = (a - 2c_1 + c_2)/2$$

$$s^* = (a - 2c_1 + c_2)/4 : \text{optimal subsidy}$$

- Stackelberg Competition

$$\pi_1(x_1, BR_2(x_1)) = (a - x_1 - (a - c_2 - x_1)/2)x_1 - c_1x_1$$

$$d\pi_1/dx_1 = 0 \text{ より, } x_1^S = (a - 2c_1 + c_2)/2$$

$$\text{Remark } x_1^*(s^*) = x_1^S \text{ 即ち,}$$

quantity under the optimal subsidy = Stackelberg

## 2. Import Policy (Tax)

$$\pi_1(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2)x_1 - c_1x_1$$

$$\pi_2(x_1, x_2) = (a - x_1 - x_2)x_2 - c_2x_2 - tx_2$$

Best Response

$$x_1 = (a - c_1 - x_2)/2$$

$$x_2 = (a - c_2 - t - x_1)/2$$

Nash Equilibrium

$$x_1 = (a - 2c_1 + c_2 + t)/3, \quad x_2 = (a - 2c_2 + c_1 - 2t)/3$$

$$\pi_1(t) = (a - 2c_1 + c_2 + t)^2/9$$

Remark

$$t \uparrow \Rightarrow \begin{cases} p(t) = (a + c_1 + c_2 + t)/3 \uparrow \\ x_1(t) + x_2(t) = (2a - c_1 - c_2 - t)/3 \downarrow \\ \text{Consumer Surplus decreases } \pi_1(t) \uparrow \quad tx_2 \uparrow \end{cases}$$

optimal tax

$$w(t^*) - w(0) > 0 \quad \Rightarrow \text{the tax policy is effective}$$

$$w(t) = \text{c.s.} + \pi_1(t) + tx_2 \quad : \text{social welfare}$$

## 2.4.7 Strategic Trade Policy(Bertrand Type)

### 1. Bertrand Competition

$$\pi_1(p_1, p_2) = (p_1 - c_1)(1 - p_1 + bp_2)$$

$$\pi_2(p_1, p_2) = (p_2 - c_2)(1 - p_2 + bp_1)$$

Best Response

$$\partial\pi_1/\partial p_1 = 0 \text{ より } p_1 = (bp_2 + c_1 + 1)/2$$

$$\partial\pi_2/\partial p_2 = 0 \text{ より } p_2 = (bp_1 + c_2 + 1)/2$$

Nash Equilibrium

$$p_1^* = (bc_2 + b + 2c_1 + 2)/(4 - b^2), \quad p_2^* = (bc_1 + b + 2c_2 + 2)/(4 - b^2)$$

### 2. Export Policies(Subsidy)

$$\pi_1(p_1, p_2) = (p_1 - c_1 + s)(1 - p_1 + bp_2)$$

Best Response for company 1

$$p_1 = (bp_2 + c_1 + 1 - s)/2$$

Nash Equilibrium

$$p_1(s) = (bc_2 + b + 2c_1 - 2s + 2)/(4 - b^2), \quad p_2(s) = (bc_1 - bs + b + 2c_2 + 2)/(4 - b^2)$$

Remark

$$p_1(s) < p_1(0) = p_1^*, \quad p_2(s) < p_2(0) = p_2^*$$

### 3. Subsidy Effect

$$\begin{aligned} & \pi_1(s) - sx_1(s) - \pi_1(0) \\ &= (p_1(s) - c_1)(1 - p_1(s) + bp_2(s)) - (p_1(0) - c_1)(1 - p_1(0) + bp_2(0)) \\ &= -(p_1(0) - p_1(s)) + (p_1(0)^2 - p_1(s)^2) + bp_1(s)p_2(s) - bp_1(0)p_2(0) \\ &\quad - c_1(p_1(0) - p_1(s)) - bc_1(p_2(0) - p_2(s)) \\ &< 0 \end{aligned}$$

$$\pi_1(s) - sx_1(s) < \pi_1(0)$$

The subsidy is not an effective policy

negative subsidy effect

#### 4. Export Tax

$$\pi_1(p_1, p_2) = (p_1 - c_1 - t)(1 - p_1 + bp_2)$$

Best Response for company 1

$$p_1 = (bp_2 + c_1 + t + 1)/2$$

Nash Equilibrium

$$p_1(s) = (bc_2 + b + 2c_1 + 2t + 2)/(4 - b^2) > p_1(0), \quad p_2(s) = (bc_1 + bt + b + 2c_2 + 2)/(4 - b^2) > p_2(0)$$

Remark

$$\pi_1(t) \uparrow \ \& \ \pi_2(t) \uparrow \quad 0 < t < \bar{t}$$

#### 5. Export Policy (Tariff)

$$\pi_1(p_1, p_2) = (p_1 - c_1)(1 - p_1 + bp_2)$$

$$\pi_2(p_1, p_2) = (p_2 - c_2 - t)(1 - p_2 + bp_1)$$

Best Response

$$\partial\pi_2/\partial p_2 = 0 \ \& \ \> \ p_2 = (bp_1 + c_2 + 1 + t)/2$$

Nash Equilibrium

$$p_1(t) = (bc_2 + bt + b + 2c_1 + 2)/(4 - b^2), \quad p_2(t) = (bc_1 + b + 2c_2 + 2t + 2)/(4 - b^2)$$

Remark

$$p_1(t) > p_1(0), \quad p_2(t) > p_2(0)$$

## 第3章 事業Ⅲ：心理学

文系学生への実験を重視した自然科学科目の開発、実践を目的とし、2005年度は心理学の総合教育科目における実習の現状の調査を行った。調査内容は、1) 総合教育科目の「心理学」を担当する教員へのアンケート調査、2) 具体的な実習内容の把握の2点であった。

### 3.1 心理学の総合教育科目を担当する教員へのアンケート調査

2005年度に日吉キャンパスにて心理学の総合教育科目を担当した教員15名に対し、2005年11月に電子メールでアンケート調査を行った（有効回答数は14）。アンケートの内容は、今年度および次年度の実習の有無とその実習内容についてであった。ただし、この場合の実習とは実験や検査、体験学習、学生による質問紙調査など、学生が主体的に行うものを指し、教員によるデモンストレーションは含めないことを明記した。

1. 今年度、実習を実施した教員数は春学期で7名、秋学期で3名、次年度に実習を予定している教員数は5名であり、いずれも半数以下であった。ただし、本格的な実習ではないが、ビデオ教材や教員の用意した資料を用いて心理学的現象を実際に体験させるという回答を含めると、今年度春学期で10名であった（秋学期および次年度については回答は得られなかった）。
2. 春学期に実習を行った、秋学期に実習を行う予定があるという回答のうち、内容についての具体的な記述があったものを以下にまとめた。

#### 【春学期】

- 楕円の扁平率を題材にマグニチュード推定法を体験する
- 垂直水平錯視の主観的等価点を極限法によって測定する
- 因果知覚の現象例を示し、言語記述する
- 個性を知るために、交流分析の心理検査「エゴグラム」を実施する
- 障害物知覚を体験してもらうためにアイマスク体験を実施する
- 心理学の研究方法を体験的に理解してもらうために、質問紙調査法とSD法の実習を実施する

#### 【秋学期】

- 記憶の実験として、ひらがな3文字単語を用いた系列位置効果を測定する（節約率の測定）

- 行動、個性の測定方法を理解してもらうために、精神物理学的測定法を紙版と PC 用ソフト版（いずれも自作）で実施する
- 囚人のジレンマ実験を行う

伝統的な精神物理学的測定法や記憶に関する実験などの実験心理学の実習や、エゴグラムなどのパーソナリティ研究に関する実習、また、教員独自で考案した体験実習を行っている教員もおり、内容は多岐に渡っていることがわかった。

## 3.2 実習の内容把握

アンケートで「秋学期に実習の予定がある」と回答した教員の講義に許可を取った上で参加し、具体的な実習内容の調査を行った。

### <例 1：短期記憶課題における初頭効果と親近性効果の体験>

例として、2005年12月16日に一般教育科目「心理学」の授業において行われた、短期記憶の初頭効果・親近性効果に関する実習について概要を述べる。

これらの効果について少し詳しく説明すると、「短期記憶」とは、例えば電話帳で調べた番号を、電話をかけ終えるまでの間だけ記憶にとどめておくときなどのような、その場かぎりの記憶のことであり、電話をかけ終えてしまえば大抵数分後にはもう忘れられているようなものである。これは例えばかけ算の九九などにより長期にわたって記憶にとどめられているような「長期記憶」と対置させられるものである。短期記憶について調べるときの典型的な心理学実験は、「あめ」「いるか」「でんわ」などの単語を1語ずつ被験者に提示してそれらすべてをその場その場で記憶してもらい、あらかじめ用意しておいたそれら20～30個の単語の提示がすべて終わってから、どんな単語が提示されていたか思い出せる限りのものを思い出して報告してもらうというものである。このような実験において、初頭効果・親近性効果と呼ばれる現象がかなり頑健に現われることが知られている。初頭効果とは、その20～30個の単語のうち、最初のほうに提示されていた単語が比較的よく思い出されるという現象であり、さらに親近性効果とは、その単語リストのうち最後のほうに提示されたものが比較的よく思い出されるという現象である。これらの効果の裏返しとして、特に名前はないが、真ん中あたりで提示されていた単語は比較的思い出されにくいという現象も観察される。これらのことは、その単語がリスト中何番目に提示されたかを横軸、その単語がどれだけ思い出されたかを縦軸にとったグラフ（系列位置曲線と呼ばれる）を書くと、その形状がU字型になることから容易にわかる。

こうした現象は、何もこのような特殊な実験事態をまたずとも、ふだん日常的になんとなく私たちが洞察しているような事柄である場合があるが、しかしそうした現象の本質的な部分を単純な実験課題へと抽出し、周到かつ客観的に計量された一般的現象として明証的に示すところに現代実験心理学の醍醐味がある。短期記憶における初頭効果・親近性効果の例は簡単な実験によって時間をかけずに例証することのできるもののひとつであり、またこうした実験心理学の醍醐味をわかりやすく体験してもらうよい例のひとつとされている。

【目的】	短期記憶の初頭効果と親近性効果を実体験において理解してもらう
【実習実施時の受講者数】	70名程度
【被験者】	受講生各自
【用具】	自分の反応を記録し、また系列位置曲線を描くための用紙1枚
【手続き】	20個の有意な日本語の単語を教壇のスクリーン上に順次提示する。全て提示後に、全学生の成績を集計し、系列位置曲線をプロットする。
【所要時間】	30分程度
【解説の内容】	記憶の分類（短期記憶、長期記憶など）と系列位置曲線の解説
【レポートなど】	系列位置曲線を見て、気づいたことを述べる。また、自分の記憶再生成績と比較し、気づいたことを述べる。

このような、比較的簡単な実験によって体験できる基礎的現象の実習のほか、次のような独創的な遊戯感覚の実習も行われた。

#### <例2：変則ジャンケンゲームによる「囚人のジレンマ」の体験>

【目的】	ゲーム理論の研究において発見され、心理学的含蓄の深い課題として注目されている「囚人のジレンマ」課題を理解し、そのジレンマ時における方略を自身の体験から考察する機会とするため。「囚人のジレンマ」における「プレイヤー」の手は、「協調するか裏切るか」のような、利得行列の外部にある倫理的意味を含んでしまった形で表現されてしまったり、あるいは『「C」という手を出すか「D」という手を出すか』という、意味を捨象された名前と呼ばれたりするが、ここではジャンケンの“かみ”と“はさみ”のみを用い、勝てば5点、あいこは3点、負ければ1点、という形で「囚人のジレンマ」を表現した。
【実習実施時の受講者数】	52名
【被験者】	3人で1組のグループを組む
【用具】	ジャンケンの結果を記録する用紙
【手続き】	3名のうち1名は記録係、2名がジャンケンを行う。記録係は、2名がジャンケンで出した手を記録する。

- 課題1：あいこジャンケン

あいこになることを目指してジャンケンを行う。10回中何回あいこになるのか

- 課題2：かみはさみジャンケン

“かみ”と“はさみ”のみを用い、高得点を目指してジャンケンを行う。勝てば5点、あいこは3点、負ければ1点得られる。

- 【所要時間】 30分程度
- 【解説の内容】 ゲーム終了後に、囚人のジレンマに関する解説が行われた。
- 【レポートなど】 当日、実習の結果、どのような方略を用いたか、どのような手を出す傾向にあったか、感想、気づいた点を簡単にまとめて、提出。次回の授業でフィードバックがある。後にレポートの題材になる可能性がある。

### 3.3 次年度の計画

#### 1. アンケート調査および実習内容の調査

本年度のアンケート調査は11月に行ったため、多くの教員が既に実習を終えており、実習内容の調査は十分ではなかった。そこで次年度は4月にアンケート調査を行い、春学期から内容調査を行って全体像を把握する。

#### 2. 他大学の講義内容の調査

総合教育科目として心理学を設置している大学を調べ、その講義内容の実態を調査する。調査方法として、本学で実施したものと同様のアンケート調査を実施するほか、当該大学に出向いて現場の調査を行うことも予定している。

#### 3. 文献調査

心理学実習について書かれた文献を収集し、その中から講義中に実施可能な実習をピックアップして整理する。

## 第4章 事業Ⅲ：新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備（生物）

### 4.1 ミクロ系

現代社会におけるヒトの病気や老化を考えるときに、遺伝や分子生物学に基づく知見を除外することはできない。我々生物学教室ではこのような観点から「PCR法を用いたヒトの遺伝子多型の検出」という新しい実験プログラムを考案する一方で「ソラマメの細胞分裂（染色体）の観察」や「トウモロコシを用いたメンデル遺伝法則の確認」といった古典的な実験も行ってきた。これらの教育プログラムが大変有意義な物であることは疑いの余地はないが、実験ごとに材料が異なるために、文系学生の思考の中で個々の実験のつながりが明確でなくなるおそれがあった。そこで我々は遺伝学の実験で大きな成果が出ているショウジョウバエを用いて統合的な理解ができるような実験プログラムの開発を試みている。

このプログラムの要点は以下の通りである。

#### 4.1.1 Adh（アルコール脱水素酵素欠損）系統と wg（無翅）系統を用いた古典的掛け合わせ実験

wg 系統はホモ接合体が無翅になるのでメンデルの遺伝法則が簡単に確認できる。一方、Adh は酵素活性を呈色（酵素）反応で簡単に調べられるので、酵素活性と遺伝を結びつける好材料となる。

#### 4.1.2 上記2系統を用いた PCR 法による遺伝子型の判別

ヘテロ個体（雑種）においては一方に突然変異遺伝子を持っていても表現型は野生型となる。このような個体にも突然変異遺伝子が受け継がれていることが PCR 法で確認できる。

#### 4.1.3 集団遺伝学実験

上記2系統のハエを異なる比率で混合し、遺伝子頻度が一定に保たれることを確認する。また、培地にアルコールを添加することで Adh 変異個体の割合がどのように変化するか確認できる。

#### 4.1.4 進行状況

平成17年度は、ショウジョウバエの飼育環境を整える事から始め、実習に適した系統の選定および予備実験を重ねた。本来、ショウジョウバエの飼育には、餌の作製のために大掛かりな設備と人員を必要とするが、インスタント培地の採用により、経費や煩雑さを大幅に軽減できた。発色剤による酵素活性測定法の開発、変異個体検出のためのPCRプライマー作製が終了している。現在までに購入した消耗品を、以下のリストに示す。

品名

- ショウジョウバエ麻酔ロート（呼称：DR-1）
- ジエチルエーテル 500ml
- オリエンタルイースト 500g
- 1-Pentyn-3-ol, 98
- $\beta$ -ジホスホピリジンヌクレオチド, 酸化型, 酵母由来
- p-Nitroblue Tetrazolium Chloride
- 2-ブタノール
- メト硫酸フェナジン
- リン酸ナトリウムバッファー溶液, 0.1M, pH6.9, ろ過滅菌
- ホーミュラ 4-24 プレインショウジョウバエ培地 4L
- ディスポバイアル小 1260 本
- セルキャップ小 500 本
- トレー 細型バイアル用 50 組
- ストックボトル 500 個
- 紙フタ 500 個
- プライマー

平成17年度の事業として、実験に使用する系統の選定と入手を行い、これら系統を用いて酵素反応及びPCR反応の条件決定を行った。平行して学生実習マニュアルの作成も行い、平成18年度春学期には実際に実習プログラムとして実践が予定されている。

## 4.2 マクロ系

2005 年度報告（片田真一）

1. 生物学マクロ分野のテーマ
  - 1-1 水生生物を材料とした理由
  - 1-2 本学で行われている水生生物を使った生物学実験
  - 1-3 必要となる水生生物データベース
2. 水生生物のデータベース化
  - 2-1 データベースの利用目的
  - 2-2 データベースの対象
  - 2-3 データベースの構築・イラストのデジタル化・データ入力・分類体系の比較
3. 次年度の課題
  - 3-1 データベースのデザインの改善、掲載種数充実化
  - 3-2 学生参加型のデータベース作成システムの構築
  - 3-3 データベースの利用形態の提案
4. 会計関係

### 4.2.1 マクロ分野のテーマ

生物の多様性を実感できる実習プログラムである「水生生物の観察」を整理し、必ずしも専門ではない教員にも利用可能な水生生物観察テキスト、データベースの作成すること。（多様性：形の多様性、種の多様性、生活様式や生態系の多様性など）（観察テーマ、手順、データベースの利用等の整備）

#### 1-1 水生生物を材料とした理由

地球上には多種多様な生物が生息し、これらは大きく5つのグループ（界）に分類されることがある。すなわち、モネラ界、原生生物（プロチスタ）界、菌界、動物界、植物界である。これらの内、モネラと原生生物は私たちが普段は目にすることがほとんど無い生物である。しかし地球全体の生物の様相を知る上で決して無視できないほどの種数と量（バイオマス）があり、また私たちヒトの生活に関係の深いものも少なくない。教養として生物の多様性を学ぶこと、実際に観察することでその多様性を実感することがこの実習テーマの目的である。

#### 1-2 本学で行われている水生生物を使った生物学実験。経済学部所属の教員が行っている水生生物（微生物）を使った生物学実習内容

- モネラとプロチスタの観察、スケッチ  
外見上は非常に良く似ているユレモとアオミドロを観察する。モネラ界とプロチスタ界の違いについて学ぶ。

- 緑藻と珪藻（いわゆる植物的なプロチスタ）の観察、スケッチ  
植物的なプロチスタの内、緑藻の仲間と珪藻の仲間を観察する。
- 原生動物（いわゆる動物的なプロチスタ）の観察、スケッチ  
「動物」と名は付くものの動物界とはまったく別のグループがあることを知ることが出来る。

### 1-3 必要となる水生生物データベース

上記生物学実験では、長期間野外に貯め置きされた水槽等から水を採取し、顕微鏡で観察する方法をとっている。そしてそれぞれの生物をじっくり観察するために（古い方法のように思われがらだが）、実際に観察した状態を自らスケッチさせる。観察する水生生物は、予め種名の分かっているものが材料として提供される場合もあるし、学生が自由に観察対象を顕微鏡下で探すこともある。後者の場合、何らかのデータベースを使ってその生物の属するグループを検索する必要が生じる。これまでは教官が準備したプリント（代表的なグループのイラストが印刷された B4・2 ページ分ほど）を使用してきた。

## 4.2.2 水生生物のデータベース化

### 2-1 データベースの利用目的

学生が観察した水生生物を学生が自ら同定できるように、頻繁に観察される水生生物をデータベース化して検索できるシステムを作ること。

### 2-2 データベースの対象

特色 GP の取り組みで作成されたデータベースは、その後一般公開することを前提としている。そのため、出版済みの図やイラストは著作権の問題があり、このデータベース作成には自由に使用できない。そこで今回は経済学部研究室の教官によって過去に描かれたイラストを用いることとした。このイラストは 200 点以上あり、描かれた種は多岐にわたっている。多くは鉛筆描きのため、スキャナーで出来るだけ鮮明に取り込んだ後 Photoshop で加工しデジタル化した。3 月末現在 171 個体分を画像処理済である。

### 2-3 データベースの構築

- イラストには、観察された日時、観察された水の状態、体サイズ、行動の様子や色彩などが書き込まれ、中には種名や分類群が記されているものもあった。これらを出るだけ余さず excel ファイルに保存した。データベース化にはデータベース操作ソフト「FileMaker Pro」を用いた。①画像データ、②種名等の記録された excel ファイル、分類体系を入力した excel ファイルの 3 点をリンクさせデータベース化した。以下の図は FileMaker Pro で今回作成したデータベースでゾウリムシの仲間を検索した画面の一例である。

- イラストのデジタル化

図数= 171 個体分について、鉛筆描写イラストをスキャナで取り込み、不要な線の除去などのトリミングが済んでいる。分類群が判明したのは151 個体分で、表1 にその内訳を示した。この内、属名が判明したものは137 個体だった。これらは種名や属名が図中に記載されていたもの、もしくは図から図鑑等を用いて片田が同定したものである。いずれも分類の専門家が同定したものではないため、暫定的に付けられた名前として扱うべきである。

- データベース入力

上記171 個体分について観察日時、分類群、観察された状況など。掲載されている図鑑、インターネット図鑑などの引用文献を入力した。

- 分類体系の比較

水生の生物（原生生物門、動物、植物を含む）の高次分類群は、分類学者や出版物によって大きく異なるし、今後も様々な体系が提案され続けると予測される。そこで代表的な高次分類群体系（ここでは日本淡水プランクトン図鑑、日本淡水生物学図鑑など）を別々のデータベースとして入力保存し、使用時に必要に応じて選択できるようにデータベースをデザインした。

表1、取り込み修正を終えた図

- 鞭毛虫超綱 ミドリムシ、ヒゲマワリなど 7
- 肉質超綱 アメーバ、ツボカムリなど 50
- 繊毛虫綱 ゴウリムシ、ラップムシ、ツリガネムシなど 58
- 輪虫綱 ワムシなど 21
- 甲殻綱 ミジンコ、ケンミジンコなど
- 藍藻綱 ユレモ、ネンジュモなど 1
- 珪藻綱 ケイソウなど
- 緑藻綱 イカダモ、アオミドロなど 14
- 合計 151 所属不明 20

#### 4.2.3 次年度の課題

##### 3-1 データベースのデザインの改善、掲載種数充実化

水生生物を検索するシステムは、実はこれまでも専門の分類学者によって公表されているものが多数存在する（各種の図鑑、インターネット公開されている情報等）。それらは

学校教育等に利用することも可能ではあるが、必ずしも教育に特化したものとはなっていない。ましてや文系学生向けとなると不親切と言わざるを得ない。より使いやすい、より教育効果の高いシステムを構築すべきだと考えられる。図鑑に載っているような種をすべて網羅する必要はないが、身近な池や水槽で普通に観察される代表的な分類群を含むものとすべきであろう。さらに、分類学的な知識がない学生でも、形の特徴、大きさ、運動性、色などを手がかりにして種名までたどり着けるデータベースにするべきだと考えている。この点は次年度の課題となるだろう。

### 3-2 学生参加型のデータベース作成システムの構築

データベースの掲載種充実化のためおよび学生の教育を目的として、学生が参加できるデータベース作成手順を作成したいと考えている。自分が見つけた生物をただ図鑑で名前を調べるだけでは、受動的であるがゆえに教育効果の薄いものとならざるを得ない。その生物が生物の世界の中でどのような分類群に属するのかを知るのには、実際にデータベース作成に参加してもらうのが効果的だと考えている。描いたスケッチ（画像）をアップロードし、必要な情報（属名や種名）を入力してデータベース作成に学生自身が参加する。そういったシステムの構築を考えている。

### 3-3 データベースの利用形態の提案

作成したデータベースが実際の講義や実験の中でどのように使用されるのか。この点についても具体的な実習プログラム等を提案していきたいと考えている。

#### 4.2.4 会計関係

購入した PC 周辺機器、ソフトウェアは以下の通り

- ノートンアンチウイルス
- アドビ フォトショップエレメンツ 4.0
- ファイルメーカー Pro8
- キヤノスキャン LiDE500F
- 外付けハードディスク Logitec LHD-PBC60U2

画像処理の作業要員を雇った。

2006 年 2 月 1 名 × 45 時間

2006 年 3 月 1 名 × 70 時間

以上

## 第5章 事業Ⅲ：新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備（化学）

### 5.1 新規実験のテーマ設定

自然界におけるキラリティ（左と右の区別）は重要なテーマの1つである。天然にはL型アミノ酸やD型の糖しか存在しないが、その理由はまだ解明されていない。これら鏡像異性体は、右旋性か左旋性かで区別できる。しかし、偏光面の回転という現象は非常に理解しにくい。そこで、実験関連の図書を参考にして、旋光度の測定を通して理解を深めることをめざした。また、原子や分子のレベルの左右の構造の違いが外界に現れる例として、水晶の結晶外形や化合物の香りを取上げることにした。

### 5.2 実験内容

- 偏光計を用いてショ糖の旋光度を測定する。また、グルコースを水に溶解した直後の旋光度の変化を測定する。（これは、 $\alpha$ 型から $\beta$ 型への分子構造の変化に起因する）。
- 鏡像異性体が異なる匂いをもつ例として、(S)-(+)-リモネンと(R)-(-)-リモネンの香りを比べ、またそのキラル炭素のまわりの絶対配置を、分子模型を用いて理解する。
- ミクロな世界のキラリティが結晶の外形にも表れる例として、天然水晶（右水晶か左水晶か）を観察する。
- ポケット糖度計を用いて、ショ糖水溶液の糖度を測定する。

### 5.3 新規実験テーマの実施

授業科目「化学（実験を含む）」（大場）の新規実験テーマとして、次の日程で実施した。3クラス（木曜の午前と午後および金曜午後）を合計して、実験への参加学生数は、約70名であった。

—平成17年12月8、9日 「キラリティ（左と右の区別）」—

これを加えた後の「化学実験テキストのテーマ」（平成18年度用）を以下に示す。また、実験テキストの該当ページもその次のページに示す。

化学実験のテーマ（平成18年度用）

1. 金属イオンの系統分析

- 水溶液中の金属イオンを，溶解度の差を利用して分属する（性質の似ているものを何組かに分ける）．さらに，その第1，2，3属イオンを分離・確認する方法を学ぶ．
2. ホウ砂球反応と炎色反応  
金属原子からの発光，あるいは遷移金属化合物の色により，金属元素の種類が特定できることを知る．
  3. 中和滴定  
中和滴定により，食酢の酸濃度を測定する．
  4. メチレンブルーの酸化と還元  
酸化還元を例にとり，反応速度が温度によって変わることを学ぶ．
  5. ボルタ電池と燃料電池  
化学反応により，電気が作れることを学ぶ．
  6. グリシナト銅(II)の合成  
アミノ酸が金属イオンに配位して，錯体を形成することを学ぶ．
  7. ペーパークロマトグラフィー  
ペーパークロマトグラフィーを利用して各色素を分離し，そのRf値を求めるとともに，未知試料の同定を行う．
  8. キラリティ（左と右の区別）  
旋光度の測定や水晶の観察などを通して，分子や結晶のキラリティを学ぶ．
  9. 酢酸エステル類の合成（果物の香り）  
アルコールと無水酢酸との反応により，酢酸エステルが生成すること（エステル化反応）を学ぶ．
  10. アセトアニリドの合成  
アニリンと無水酢酸との反応により，アセトアニリドが生成すること（アセチル化反応）を学ぶ．また，その収率を求める．
  11. パラニトロアニリン赤の合成と染色  
アゾイック染料（繊維上でカップリングさせてアゾ染料を生成させる）を用いて綿布を染色し，その原理を学ぶ．
  12. ナイロン66の合成  
ヘキサメチレンジアミンとアジピン酸クロライドとの反応により，ナイロン66が生成すること（重合反応）を学ぶ．
  13. タンパク質の定性反応  
呈色，沈殿，凝固反応を通してタンパク質の性質や構成アミノ酸の反応性を知る．
  14. 化学発光  
ルミノールおよびルシゲニンの反応に伴う発光を観察し，その原理を学ぶ．
  15. フェノールフタレイン類の合成  
無水フタル酸とフェノール類を濃硫酸存在下で加熱すると，種々の色素が生成することを学ぶ．
  16. 硫酸銅の合成  
無機化合物の合成の典型例として，銅粉末を硫酸銅五水和物の結晶へと変換する．また，その収率を求める．

## 5.4 参考図書

- 「キラリティ (左と右の区別)」に関するもの  
(1)「基礎化学実験 (慶應義塾大学理工学部)」p.64-75.  
テーマ6、D-グルコースの変旋光速度、(学術図書出版 2001 年).

## 5.5 キラリティ (左と右の区別)

[目的] 旋光度の測定や水晶の観察などを通して、分子や結晶のキラリティを学ぶ。

[解説]

### 1. 鏡像異性体

右手と左手のように、鏡に写すと一方の構造が他方と一致する場合、これらを鏡像異性体 (あるいは対掌体) という。有機化合物の場合、不斉炭素 (あるいはキラル炭素) をもつことが、キラリティ発現の重要な要素になっている。不斉炭素とは、そのまわりに4種類の異なる原子あるいは原子団が結合した炭素原子のことである。歴史的に鏡像異性体を区別する過程で、(+)-グリセルアルデヒド  $\text{CHO-CH(OH)-CH}_2\text{OH}$  から誘導される系列を D と呼び、その鏡像体を L とした。天然に存在するアミノ酸は全て L 型、糖は D 型である。

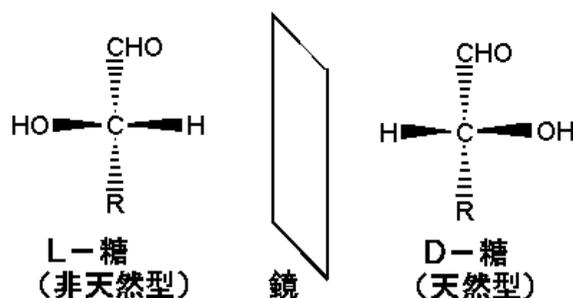


図 5.1: 鏡像異性体

### 2. 旋光度

光は、その進行方向に対し垂直な方向に電場が振動している。自然の光は、電場があらゆる方向に振動している成分を含んでいる。偏光板を通すと、特定な1方向に振動している成分のみを取り出すことができる。これを直線偏光といい、光の波がつくる平面を偏光面とよぶ。偏光の方向が垂直になるように、2枚の偏光板を重ねると光が完全に遮断される。キラルな物質は、光の偏光面を回転する。これを旋光といい、その回転角を旋光度という。2枚の直交する偏光板の間にキラルな物質を入れると、光が多少通過するようになる。1枚目 (偏光子) を固定し、2枚目 (検光子) を右あるいは左に回転させれば、光をまた完全に遮断することができる。偏光面を右に回転させるものを右旋性、左に回転するものを左旋性といい、それぞれ (+) と (-) の記号を物質名の前につける。たとえば、(+)-グルコースは右旋性である。なお、右旋性とは

観測者が光源の方に向かって、偏光面が右に回転した場合をさす。

旋光度の大きさは、溶液の濃度、光の通過距離、および光の波長に依存する。通常はナトリウム D 線の波長 (589 nm) を用いて測定する。また、光の通過距離が 10 cm で溶液の濃度が 1 g/1 ml のときの偏光面の回転角を比旋光度という。比旋光度  $[\alpha]$  と旋光度  $a$  とは式で表すと、次のような関係にある。

$$\text{比旋光度 } [\alpha] = 100a/(lc) \quad (1)$$

l: 観測管の長さ (単位は dm, 1 dm = 10 cm) 本実験では長さ 20 cm なので,  $l=2$

c: 溶液 100 ml 中の溶質の質量 (g)

$$\text{旋光度 } a = lc [\alpha] / 100 \quad (2)$$

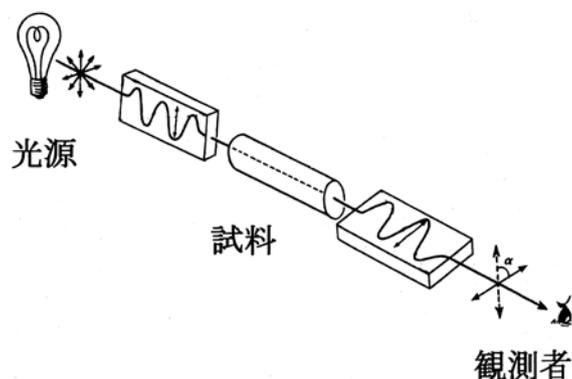


図 5.2: 旋光度の測定

### 3. 糖度

光の屈折率を利用して、溶液の濃度を測定することができる。濃度が高いほど屈折率も大きくなる。溶液の屈折率はそれに含まれる各元素の屈折率の総和として近似できる。糖度計の目盛の単位は Brix であるが、これは溶液中に含まれている成分がすべてショ糖と仮定したときに、屈折率から求めたショ糖の濃度 (%) を表す。つまり、ショ糖液 100g 中に含まれるショ糖の質量 (g) に相当する。

### 4. グルコースの変旋光

グルコースを水から再結晶すると、 $\alpha$ -D-グルコースの結晶がえられる。そのグルコースを水に溶解させると、 $\alpha$ 型から $\beta$ 型へ変化し、またその逆反応も起こり、最終的に平衡に達する。(このとき $\alpha$ 型が約 36.4%,  $\beta$ 型が約 63.6%である。) 比旋光度は溶解直後の + 112.2° から 52.7° へ変わる。旋光度が変化するので、これを変旋光と呼ぶ。

### [実験]

1. 旋光度の測定スクロース (ショ糖) 3 g (ぴったり 3g でなくてもよいが正確な質量をメモ) を小型ビーカーで約 20 ml の水に少しずつ入れて溶かす。50 ml メスフラスコを水でよくゆすぎ、その中に溶液をうつす。ビーカーの側壁に残った液も少量の水で何回かゆすぎ、そのゆすいだ水もメスフラスコに入れる。メスフラスコに栓をし

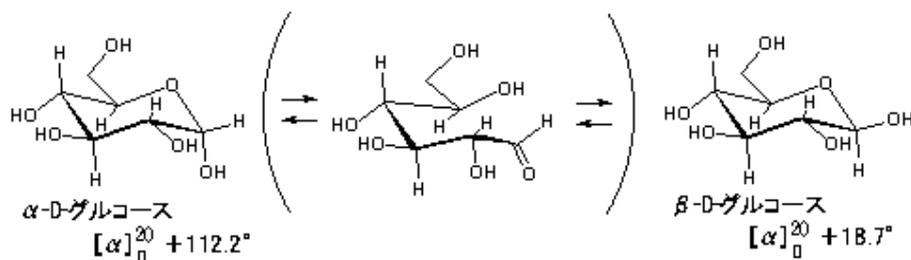
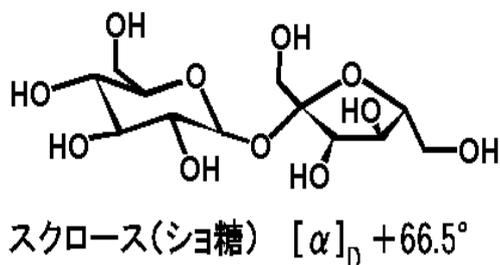


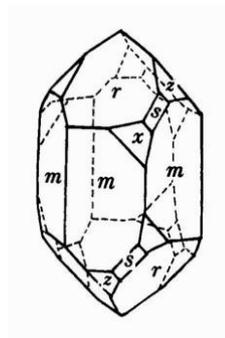
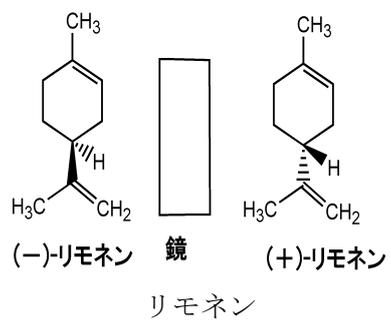
図 5.3: グルコースの旋光度

て、液全体をよく振り混ぜる。水を加えて標線に合わせ、最後にまた液をよく振り混ぜる。この溶液を観測管（長さ 20 cm）に入れる。（もし、観測管の内側が濡れている場合は、共洗いする。）偏光計を用いて旋光度  $a$  を測定し、比旋光度  $[\alpha]$  を計算する。同様にして、グルコース（ブドウ糖） 3 g を水に溶かし、メスフラスコに入れて正確に 50 ml にし、旋光度を測定する。ただし、グルコースは旋光度が変化するので、溶液は測定の前直前に調製し、また旋光度は 5 分おきに 20 分間追跡する。また、1 時間後の旋光度も測定する。これとは別に、平衡に達した溶液も用意してあるので、その旋光度も測定して、比旋光度の時間変化のグラフを作成する。



## 2. 糖度・香り・水晶

- (a) 上で調製したショ糖液の糖度を、ポケット糖度計を用いて測定し、計算値と比較する。
- (b) (+)-および (-)-リモネンの香りを嗅ぎ、違いを記録する。
- (c) 天然水晶のサンプルを 1 つ選び、それが右水晶か左水晶かを、結晶外形から判別する。このとき、決め手となった微小面をスケッチする。また、きりりビューアーを用いて、水晶玉のエアリースパイラルを観察し、右水晶が右巻き、左水晶が左の渦巻きになることを確認する。



右水晶

[課題]

1. グルコースの結晶を水に溶かすと、その溶液の旋光度が時間とともに変化するのはどうしてか。

## 第6章 事業Ⅲ：新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備（物理）

### 6.1 新しい自習テーマの開発事業

「原子のスペクトルと量子力学」の導入の準備を行った。原子のスペクトルは量子力学と古典力学の定性的な違いであるエネルギーの離散性を目で見て実感できる教育効果の高い実験である。文系学生の実験の時間内で実行可能なテーマとして開発した。このためには種々の機材とサンプルを使って実験を行ってデータ収集をした。学生が実験に現れる物理現象の意味を理解する事がもっとも重要である。そのためには、実験に使用する原子の種類、テキストの説明等にも工夫が必要であり、これらについては調整を続けている。2006年度の講義には導入される予定である。

「光速度の直接測定」の実験の改良を行った。学生実験での光速度の直接測定のためには既存の機材では最適とは言えない面が大きいので、開発を行った。様々な機材と、条件の下で実験を試験的に行った。2006年度学生実習プログラムに導入する。

### 6.2 情報発信事業

我々の事業の大きな目的はこれまでの我々が講義で行ってきた実験を含めて、教育用の資料を web 上に公開することである。そのためには、まずどのような方針と形式で公開するかを検討した。さらに様々な技術的、事務的な側面についても検討を重ね、問題を解決した。そして、実際に我々の学生実験での学生のデータは他の機関でも参考になると思われるため、その統計を集め、処理を行った。さらに、我々の実験のテキストを公開すべくデータ形式を変換するなど処理を行った。また web での情報公開に当たって新しい内容も書き加えている。

2005年度に既に一部の実験については、実験テキスト、データについて公開した。これらの作業は現在行われ続けており、順次様々な実習テーマについて教育用情報を公開していく。

## 第7章 事業Ⅳ：取組成果の発信

事業4では、本取組における各事業の推進状況の調整を図ると共に、本取組の成果をホームページ等を通じて適宜他大学に発信するという事業計画のもと、下記の活動を行った。

### 7.1 平成17年度「特色ある大学教育支援プログラム」フォーラム参加

10月17日からの横浜会場を皮切りに、全国7会場（横浜・福岡・新潟・広島・名古屋・札幌・京都）で特色GPフォーラムが開催され、日吉特色GPはこれら全ての会場に参加した。また、京都会場のシンポジウムでは、本大学の下村教授による発表も行われ、活発な議論が展開された。

本大学からの各会場参加者は次の通り

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| ・10月17日(月) 横浜会場（パシフィコ横浜）       | 秋山・朝吹・表・大場<br>小野・長谷川・学事 |
| ・10月24日(月) 福岡会場（アクロス福岡）        | 小野・中島・山本                |
| ・11月2日(火) 新潟会場（朱鷺メッセ）          | 青木・福澤・福山                |
| ・11月11日(金) 広島会場（広島国際会議場）       | 青木・秋山・金子                |
| ・11月15日(火) 名古屋会場（名古屋国際会議場）     | 小宮・下村・福澤                |
| ・11月21日(月) 札幌会場（札幌コンベンションセンター） | 小野・寺山・福山                |
| ・11月23日(水) 京都会場（国立京都国際会館）      | 金子・下村・中島<br>根岸・学事       |

### 7.2 東北大学シンポジウム参加 … 平成17年11月29日

去る11月29日、東北大学川内北キャンパスにおいて、同大学主催による特色GPシンポジウム「大学基盤教育における理科実験の新展開～文系開講に向けて～」が行われ、本大学からは青木教授が発表、大場教授・長谷川助教授・福澤助教授らがシンポジウムに参加した。東北大学では、平成19年度に向けて文系学生を対象とする実験科目の開設を目下準備中であり、本大学の「文系学生への実験を重視した自然科学教育」の取組に大きな関心を寄せている。

### 7.3 他大学調査および報告書

「文系学生への自然科学教育」に関する他大学調査を実施した。この事業の目的は、他大学の優れた取組や事例を積極的に取り入れ、本大学の自然科学教育の改善・発展を図る

うとするものである。

調査大学については次の通り。

・お茶の水大学	(1月14日)	館山：湾岸生物教育研究センター
・大阪市立大学	(1月25日)	文系学生への自然科学教育
・山口・広島大学	(2月1日～3日)	山口大学教育学部・宮島自然植物実験所・ 向島臨海実験所
・琉球大学	(2月3日～8日)	西表実験所・瀬底実験所
・筑波大学	(2月10日)	下田：臨海実験センター
・一橋大学	(2月10日)	文系学生への自然科学教育
・東洋大学	(2月24日)	文系学生への自然科学教育
・海外視察（オーストラリア）	(3月1日～4日)	U. Sydney と University of New South Wales

上記大学の報告書は下記の通り。

### 7.3.1 お茶の水大学湾岸生物教育研究センター訪問の報告書

インタビュー対応；清本正人氏（湾岸生物教育研究センター所長）

場所；〒294-0301 千葉県館山市香11 TEL；0470-29-0838

訪問日；平成18年1月14日

調査担当者；佐藤由紀子、萱嶋泰成、金子洋之

平成17年度のGP事業に慶応義塾大学日吉キャンパスが採択されたことを話させて頂いた後に、準備しておいた以下の質問を中心にインタビューを行った。

#### 1. お茶の水大学湾岸生物教育研究センターの特徴

- 生物種：実験所を中心に東西3kmの砂浜、小岩礁、北東1kmの地点に陸続きの島の島あり、磯採集の適地、具体的な生物種は別紙3参照
- 交通の便：関東地区の大学にとって地理的に至便、東京から片道130km、JR特急さざなみ3820円（乗車券2210円＋特急券1610円）、館山駅～香駅バス代150円
- 生物教育研究センターに関して：歴史（昭和45年7月9日開所）、使用可能な光学顕微鏡ならびに宿泊等の観点から、約30名程度の利用可能

#### 2. 利用状況（別紙1参照）

#### 3. 臨海実習（別紙2参照）

##### 【お茶の水大学】

- 動物系統学臨海実習、植物学野外実習、動物生理学臨海実習、発生生物学臨海実習…生物系の学生が対象
- 一般生物学、臨海実験…生物系以外の学生が対象。理学部（化学・物理）、生活科学部の学生は利用を勧められている。文系の学生も履修することがある。
- 海洋環境学ダイビング実習…いずれも、5日で2単位

##### 【お茶の水大学以外】

早稲田大学教育学部臨海実習 28名、  
東邦大学理学部生物分子学科野外実習 23名  
社会貢献として小中高実習・教員研修が行われる

#### 4. 臨海実習の概要（一部）：

- 一般生物学・臨海実験

生物学以外の学問分野の中でバイオサイエンスの知見を必要とする人達に具体性のある情報を与え、より高度な知識の取得のための基礎作りを目指すもので、本学での実習に加え、湾岸センターでの臨海実習では、磯採集、プランクトン採集、ウニの発生観察等を行う。

- 植物学野外実習

湾岸センターとその周辺において、海産植物と陸上植物の系統分類、形態、解剖、生殖、分布を現地で観察する。

- 海洋環境学ダイビング実習

海洋、特に沿岸の自然環境計測（アセスメント）の基礎となる野外観察技術の習得を目的とし、ダイビング技術、水中観察・記録技術の習得を行う。ライセンスを取得までの講習と潜水時の安全監視を民間に委託（7～8万円程度）の上で、教員による海洋生物の観察を行う。

#### 5. その他

- ・基本方針

当該教育センターは、自然科学教育の振興の観点から、業務に差し支えの無い範囲で、他大学からの利用はできる限り受け入れる方針とのこと。協力は惜しまないが、利用する大学が臨海実験のメニュー作成から実施まで行ってもらえると受入れやすくなる。現行の他大学の实習では、集中講義の非常勤講師として教育センターのスタッフが行っている。

- ・利用可能な時期

夏休み（7月?9月、特に7、8月）のスケジュールは、かなりいっぱいである。特に磯採集に適した大潮周辺の時期は埋まっている。潮があまり良くない時期でもよければ受け入れ可能かもしれない。夏休み以外の時期（冬休み、春休みを含む）は、ほとんど空いている。したがって、実習メニュー（磯採集を外す）や実施時期を工夫する事によって慶應大学の利用は可能である。（毎年使用する大学が既得権的に決定されているか否かは不明）。

- ・お茶の水大学の実習書

リクエストすれば（清本氏の担当分に関しては）貰えるとの事。

お茶大の授業科目のシラバスは以下で公開されている。

<http://info.pr.ocha.ac.jp/syllabus/list.asp>

湾岸センターの年間スケジュールは以下を参照。

<http://marine.bio.ocha.ac.jp/>

### 7.3.2 大阪市立大学見学報告書

インタビュー対応：飯尾 英夫 教授 (物理学・物質分子系)

場所：〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 Tel:06-6605-2011

訪問日：平成 18 年 1 月 25 日

調査担当者：表 實, 大場 茂, 金子 洋之

「文系学生に対する自然科学教育」の取組

まず責任者の飯尾教授（物質分子系）より、大阪市大の取組の総括的な説明を受け、その後地学の講義・実験の参観、地学・化学・生物・物理の実験設備の見学、担当者との意見交換という順で視察を終えた。以下はその報告事項である。

1. 実験設備は理工系学生と共用であり、その装置・実験室の広さ等、充実したものを利用
  2. 各学科に実験担当の技術職員がいて、理工系の実験を含めてその準備に当たっている。
  3. 実験には担当者と TA があたり、技術職員は授業の支援にあたっている（助手はいない）
  4.
    - 文系学生向けの実験を伴う科目「実験で知る自然の世界」は半期 3 単位である。
    - これはオムニバス形式で 11 テーマの実験を 90 分×2 コマで行なうが、内容は半分講義（2 単位分）、半分実験（1 単位分）という扱いである（3 単位の位置づけとして）実質には実験が主
    - 実験内容としては、地学・化学・生物・物理からそれぞれ幾つかのテーマ（物理は、放射線測定・重力加速度測定・電磁波測定の 3 テーマ）を用意
    - 毎回の実験では、報告用紙や感想アンケートなどの記入が求められるが、レポートは 11 テーマのうちのどれか 1 つを選んで提出（A4、2 - 3 枚程度）が義務付けられている
- この実験科目の設置は 1994 年 4 月からであり、それは実験用の古い校舎が建て替えられて基礎教育実験棟がオープンした時とちょうど一致している。それは、大阪市立大学が教養課程を廃止して新教育課程に移行したときでもあった。
5. 各実験室の使用頻度は（理工系の実験も含めて）、週 3 ~ 4 日であること  
この点は日吉の使用頻度が特別であり、多くの大学の実験室の使用状況と同程度と推定される。
  6.
    - 全学向け（理系と文系学生半々）の実験を伴う科目「実験で知る自然環境と人間」は開設してから今年度で 2 年目である。
    - 「自然の世界」も「環境と人間」も 1 クラスずつで、定員 48 名（実際の履修者数は 42 名程度）である。
    - 文系 4 学部（商・経・法・文、ちなみに慶應とは学部を呼ぶときの順番が違う）の 1 学年定員 800 名に対して、その約 1 割が実験を伴う科目を履修している。（ただし、クラス増は教員の負担増になるため困難とのこと。）

大阪市立大学の実験担当者と懇談する中で、「文系学生に対する実験科目の教育目標は何か、またそれが達成されているのか」という議論が印象に残った。

基礎教育棟で行なわれている学生実験の内容に関し、大学内部向けには「情報発信誌」を発行し、外部にはホームページで一部が公開されている。

### 7.3.3 山口大学教育学部視察報告書

インタビュー対応:阿部 弘和 教授 (生物学)  
池田 幸夫 教授 (物理学)  
千々和 一豊 助教授 (地学)  
北沢 千里 講師 (生物学)

場所: 〒 753-8513 山口市吉田 1677 - 1 Tel:083-933-5347

訪問日: 平成 18 年 1 月 31 日 ~ 2 月 1 日

調査担当者: 中島陽子

#### 1. 背景・制度

山口大学には理学部もあるが、文系の自然科学実験にもっとも近い実験授業が行われているのが、小学校教員養成課程における『教科教育法理科』であろうということで、教育学部所属の阿部弘和 (生物学)、池田幸夫 (物理学)、千々和一豊 (地学)、北沢千里 (生物学) の四氏に話をうかがった。なお、教育学部の学生の約半数 (05 年度は約 120 名) が教員免許を取るコースに属する。

小学校教員免許のコースではまず二年生前期に『初等科理科』を履修する。これは講義中心で 3 名が担当する。具体的には前半は『理科教育法』を、後半は約 60 名ずつ二クラスに分かれ、物理化学系、生物地学系のいずれかの各論の講義を受ける。3 年前期には観察実験中心の『教科教育法理科』では、『初等科理科』で学習をしなかった分野の組み合わせを履修する。これが、実質は『文系の自然科学実験』に相当する。学生は 4 班に分かれ (30 名/班)、2 時間 35 分 (9:15 - 11:50 実質は 2 限連続が可能) の実験を行う。原則として教員全員が担当する。学生は物理/化学あるいは生物/地学の実験を体験する。(下表参照) 他に理科専修 (中高理科教諭免許) の学生約 10 名は別枠で、理科の教員のもとで講義、実験、卒業研究等を行う。

2 年前期【初等科理科】(3 名)		3 年前期【教科教育法理科】(全員)	
理科教育法 (120 名)	物理化学系 (60 名)	生物 (30 名)	地学 (30 名)
		地学 (30 名)	生物 (30 名)
	生物地学系 (60 名)	物理 (30 名)	化学 (30 名)
		化学 (30 名)	物理 (30 名)

小学校の教員免許のための実験経験は、[物理・化学] あるいは [生物・地学] のどちらかのみということになる。

#### 2. 実験の実際・取り組み例

(a) 物理 力の釣り合い、力と運動、熱と温度、電気回路

- (b) 化学 ガラス細工、物質の燃焼、酸塩基中和、溶解度、ものの溶け方と拡散、拡散と均一性
- (c) 生物 生物の分類、生物の形態、生理的な機能、環境と生物
- (d) 地学 砂と土、石ころ、気象、天文、野外観察

- 生物では、昆虫を、あるいは海産動物を自分で採集することで多様性を、それが何かを調べることで、系統、分類を、そのもののスケッチをすることで構造を学ぶ。その際、まずはイメージを描き、次に観察に基づいたスケッチをする。これにより、既得知識の不確実性を実感させる。(採集できる自然が周辺に残されている。また中庭には、飼育水槽(写真1奥)や温室も整備されている)
- 地学では、地面を作っている土や石に注目し、篩い分け、天秤などで大きさを調べ、さらに沈降速度、水のしみこみ方、積もり方など簡単なモデル実験で体験する。
- 「暦」から時間の概念を学ぶなど、身近な具体的な例から、「天文」や「地学」を実感させる。(体感していなければ教えられない)

### 3. そのほか、対話から

子どもたちが理科を嫌いにならないためには、先生が理科の面白さを伝えなければならない。小学校の教員となろうとしている教育学部の学生たちは残念ながら、理科に劣等感を持っているものが多い。一方教育学部理科の教員は理学部出身であるので理学部的発想で彼らに接したのでは負の循環を招いてしまう。特に物理では、常識で考えていてはわからない、自然観を変える努力が求められる。その工夫の例として、板倉聖宣氏が考案した「浮力」を説明するプレゼンテーションを見せてくださった(写真2)。ビーカーに小豆(水分子のイメージ)を入れ、ピンポン玉を埋める。ビーカーを振動させると、やがてピンポン玉は浮き上がってくる。これは水分子の粒子性と、その運動で浮力が生ずることを示して、自然事象に対するイメージを持たせる工夫である。このような、「Cook-book style」ではない講義・実験の実現に努めている。さらにそのような授業を通して、『理科』に対する意識やイメージが授業の前後でどう変化したかのアンケートをとり、変化の度合いを座標にインプットし、そのパターンを授業の効果評価の指標にするという試みについても説明された。(3ページ資料参照)

### 4. 全体の印象

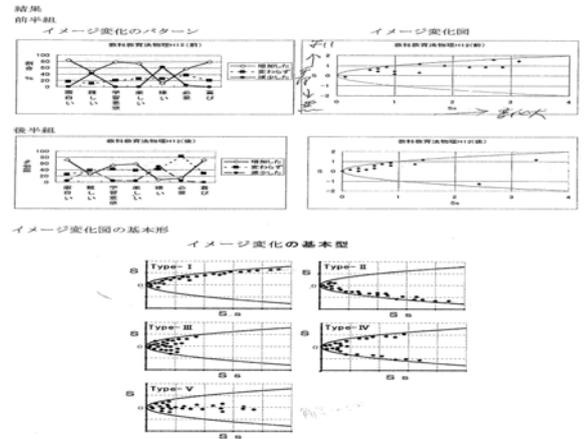
池田先生は、教科教育に全力で取り組めるようにと、自分の専門分野の学会を退会して理科教育に専念している。阿部先生は、カエルの発生で *nature* に論文も載ったことがあるが、今は、生態学、環境問題へと活動範囲を広げ、そしていまや、県内でのドンダリの一人者になっておられるとのことである。教員養成を主目的とする教育学部の教員は、文系学部に所属するわれわれとある側面は共通項を持ちながら、大学の変革の嵐にもまれている実態が非常に印象的であった。

イメージ変化図を用いた教科教育法理科(物理)の授業評価。前半組は典型的な Type I であり、後半組の授業よりもよい授業であったと判断できる。



資料2 イメージ変化による教科教育法理科(物理)の授業評価  
 問 この授業を通して「物理」に対する意識やイメージは、授業の前後でどのように変わりましたか。次の各項目について、あなたのイメージや意識の変化に最もよく合う数字に○を付けて下さい。「変わらない」場合を3として判断して下さい。

項目	たいへん減少した	←	ほとんど変わらない	→	たいへん増加した
(1)「おもしろい」イメージ	1	2	3	4	5
(2)「難しい」イメージ	1	2	3	4	5
(3)「学習」への意欲	1	2	3	4	5
(4)「楽しい」イメージ	1	2	3	4	5
(5)「嫌な」イメージ	1	2	3	4	5
(6)「必要な」意識	1	2	3	4	5
(7)「学習する」喜び	1	2	3	4	5



### 7.3.4 広島大学実験所視察報告書

#### 1. 広島大学大学院理学研究科附属宮島自然植物実験所

インタビュー対応:豊原 源太郎 助教授

向井 誠二 技術専門職員

場所: 〒 739-0543 広島県廿日市市宮島町三ツ丸子山 1156 Tel: 0829-44-2025

訪問日: 平成 18 年 2 月 1~2 日

調査担当者: 中島陽子, 有川智己, 村部直之

#### 1. 施設の特徴

##### (a) 歴史と概要:

宮島自然植物実験所は、日本三景で有名な世界遺産「安芸の宮島（厳島）」にある。本実験所は、1964年に理学部附属自然植物園として発足し、2000年より大学院理学研究科附属となり、生物科学専攻の多様性生物学講座・島嶼環境植物学分野を担当し、教育・研究を行っている。敷地面積は約10.2haに及ぶ。実験所の施設・建物は、宮島と本州を隔てる大野水道がもっとも狭くなったところ（幅500m、大潮の干潮時には幅300m）に面している（写真1）。本実験所は、宮島のすぐれた自然を利用して植物学の教育・研究を行うことを目的としている。また、島嶼という地理的条件を生かして、隔離環境下における植物の種分化・分布・生態などの植物地理学・植物生態学に関する諸問題の解明および生物の保全・自然保護、地球規模での環境保全対策、生命現象の基礎的解明について教育・研究が行われている。宮島は、厳島神社の神域として、歴史の古い西日本では例外的に開発から逃れ、自然度の高い暖温帯性の原生林やアカマツ二次林が残っており、数百メートルしか離れていない本州にはほとんど見られない植物も多数観察できる。

##### (b) 交通アクセス:

宮島には、宮島口から15分おきにフェリーが出ており、その所要時間は10分、料金は170円である。宮島口はJR山陽線の宮島口駅か広電宮島口駅に接続しており、広島駅から宮島口駅まではJRで27分である。宮島は島の北西に市街地、施設、観光地が集中しており、宮島栈橋もそこにあるが、実験所は、宮島栈橋から6km離れた人里離れたところにあり、栈橋から徒歩で1時間から1時間半かかる。しかし、宮島栈橋から約2km離れた市街地のはずれにある大元公園からの道路3.7kmは実験所の敷地で、道沿いの植物に1800枚もの札が付けられており（写真2）、1時間半にわたりじっくりと植物の勉強ができる。現に、学生実習ではこの区間を歩くことが実習の重要な一部になっている。また、瀬戸内海の眺望もよい。

##### (c) 建物・設備:

本館（研究・管理棟、360㎡）、別館（実習棟、91㎡）、標本保管庫（121㎡）がある。建物の規模はかなり小さい方である。本館には教員や所属学生・院生の研究室、実験室、実習教室、標本庫、標本作製室などがあり、別館には学生実習の際に宿舎として使用する休憩室や食堂がある。宿泊は、約20名まで可能である。食事は自炊であり、本土から食材を持ち込む必要があるが、調理器具等は備わっている。標本保管庫には歴史的にも学術的にも貴重な標本類がある（写真3）。広島大学が伝統的に蓄積してきた、宮島や広島県内の維管束植物のさく葉標本をはじめとして、国

内各地のさく葉本や、世界各地のコケ植物の標本などがあわせて 35 万点が管理されている。最近では多くの大学で、標本や資料が「死蔵」あるいは破棄されたり、管理放棄された状況にあることを考えると、本実験所では多数の標本や資料が大切に保存され、活用されていることは意義深い。

実習教室（写真 4）は、海藻のおしば標本が作れるように深い流しが設置されている。その他に設備としては、小型船（写真 5）などがある。

## 2. 利用・運営実態

### (a) 学内の実習：

理学部生物学科の学生による利用が主で、文系学生や生物学以外の分野を専攻する学生が組織的に利用することはない。

i. 教養ゼミ（植物系コース）：理学部生物学科の 1 年生が対象。まず前半部分として、入学後まもなく、4 月下旬に 1 泊 2 日で、演習形式の授業が行われる。植物の観察と採集、標本作製をとおして生物多様性に関する考察の進め方、レポート作成技術などを修得する。新入生が教員や TA の大学院生などと泊まりがけで交流する機会が入学直後に置かれていることになり、新入生にとって仲間意識、帰属意識を身につける機会となっている。後半部分は、7 月末から 8 月上旬の 3 泊 4 日で集中的に行われる。テーマは、植物の陰葉、陽葉について、生態学、生理学、多変量解析など様々なアプローチで解析することが行われる。理学部生物学科の植物系のスタッフが宮島に一堂に集まり、交流する機会にもなっている。

ii. 海藻実習：理学部生物学科 3 年生の実習の 1 メニューとして、4 月に 2 泊 3 日で行われる。海藻の採集、観察、標本作製が行われる。

iii. 上記の他、総合科学部の実習が、総合科学部の教員によって行われている。

iv. 本実験所のスタッフにより、1 2 月下旬に『宮島生態学実習』として、石垣島・西表島で野外実習が行われる。また、広島大学のメインキャンパスである東広島キャンパスの中に、生態実験園があり、本実験所のスタッフはそちらにも関わっている。「キャンパスの自然環境と環境管理」というオムニバス形式の総合科目も担当している。

### (b) 他大学の利用状況：

岡山理科大学の研究者や学生などが研究等で利用することがある。組織だった利用はない。

### (c) 社会貢献・地域開放・一般利用など：

一般来園者の園内での施設の案内、各種公民館学校等への協力活動、新聞社・テレビなどマスコミ関係への取材協力等のほか、宮島に於ける貴重な野生生物の保護活動にも環境省広島県廿日市市・教育委員会などと協力して積極的に保護活動に努めている。その他実験所にかつて所属していた卒業生が教員となって、その受け持ちの小学生・中学生などを引率して授業で利用することがある。大学の事務職員などが職員交流のために本実験所を利用することもある。

### (d) ヒコビア植物観察会：

本実験所と「ヒコビア会」（広島大学の教員・学生・院生や出身者、地域の植物愛好家などにより組織）が共催して、毎月 1 回、広島県内とその近郊で植物観察会を行っている。本観察会は、1960 年代から脈々と続いており、既に 440 回を超える。

登録されている会員（会費無料）は 260 人（その他メーリングリスト会員 90 名）で、毎回 40 人から 80 人の教員、学生、地域の植物愛好家が参加している。広島県における市民レベルでの植物研究の重要な核となっている。

### 3. 慶應義塾大学の学生が本実験所を利用する可能性

慶應義塾大学の文科系学生の自然科学教育の一環として、本実験所を利用する意義はあまりないと思われる。第 1 に、首都圏からはあまりにも遠い。宮島の自然は生物学の専門家には特徴的であるが、その特徴は関東圏の大学の教養教育で扱うには難しすぎる。第 2 に、利用可能な人数に限られる。少人数対象のかなり専門的な実習授業で、他の地域と比較するような形式でなければ特に本実験所で実習を行うことはないだろう。

### 4. 全体の印象

お話を伺い、施設を見学して受けた印象として、本実験所の特に顕著な特徴と思われるのは、以下の 3 点である。第 1 に、過去の蓄積が大事にされていること。本実験所は、教育・研究に関する実験の場としてだけではなく、研究資料を保管し伝える資料館・博物館的な役割も果たしている。第 2 に、社会に広く開放されていること。この 2 点とも、本実験所がもともと植物園として発足し、機能していることとも関係がある。第 3 に、非常にアットホームでホスピタリティにあふれた施設であること。これは第 1、第 2 の点とも関連するが、小さい施設ながら、スタッフがとても親身で献身的に活動されていることに起因する。実験所はどこも、大学本体から離れて少人数で運営されているので、所属するスタッフの個人的な技量や資質、個人的に蓄積したノウハウによってその性質が大きく左右されるが、本実験所は技術専門職員の向井さんをはじめとする関係者の努力により、特色あふれた施設になっている。実験所に対するこの基本精神・風土が、歴代の教職員に引き継がれているといえよう。実験所、研究施設の設置や運営を考える際には、是非モデルの一つとして取り上げるべきユニークな施設であると思う。

なお、今回の訪問については、実験所のホームページ内の、「月別の出来事」のコーナーに掲載されている。アドレスは、以下の通り。

<http://www.digital-museum.hiroshima-u.ac.jp/miyajima/top.htm>



写真1. 実験所の正面から対岸大野町側を望む。距離はおおよそ500mであるが、引き潮の時は海峡の幅は300 mほどになる。



写真2. 植物に付けられた札。大元公園から実験所の建物までの3.7kmにわたり、1800枚ものプレートが付けられている。



写真3. さく葉標本、高柳コレクション。

## 2. 広島大学大学院理学研究科附属臨海実験所

インタビュー対応：安井 金也教授（所長）

田川 訓史助教授

浦田 慎助手

倉林 敦助手（広島大学大学院理学研究科附属両生類研究施設，  
元慶應義塾大学法学部生物学教室助手）

場所：〒722-0073、広島県尾道市向島町2445，TEL 0848-44-1143

E-mail: [mbl-info@sci.hiroshima-u.ac.jp](mailto:mbl-info@sci.hiroshima-u.ac.jp)

訪問日：平成18年2月2～3日

調査担当者：中島陽子，有川智己，村部直之

### 1. 施設の特徴

#### (a) 生物種：

本実験所は、80年以上の歴史を有するが、国内初の「内海」に面した臨海実験所



写真4. 実習室。

であった。「内海」という環境は、外洋からの高塩濃度海水の流入が制限される上に、河川の流入により倍加される塩分量の低下が顕著である。また、潮位差も大きく、水深平均 20-30 m という浅海であるために水温の季節変動が大きいなど、変化に富んだ環境といえる。瀬戸内海の生物相は大陸沿岸と類似度が高く、多くの遺存種が存在する一方、北日本との共通種が存在するなど、大陸沿岸型と北日本型とが複合した分布型を示すので、瀬戸内海区とよぶべき独自の生物相とみなすことができる。(具体的な生物相に関しては、参考資料1を参照)。臨海実験所で研究用に用いられている動物は、ヒガシナメクジウオ、ミサキギボシムシ等の脊椎動物と幾つかの形質を共有する動物であり、われわれヒトを含めた脊椎動物の起源を考察するのに有効な材料である。また、実習用にはヒガシナメクジウオ、カタユウレイボヤ、サンショウウニ・ムラサキウニ、イトマキヒトデ等が利用され、主に発生学的教育が行われる。ナメクジウオ類の発生学実習は、我が国では本実験所だけで実施されていると考えられる。

(b) 交通の便：

広島大学のメインキャンパスのある東広島市から東に約 60km、芸予諸島の東端、尾道市向島町にある。本実験所は島に位置し、人家もまばらな地域にあるため、交通の便が悪いと思われがちであるが、実は国内の臨海実験所では最も交通の便が良いという。すなわち、新幹線の駅(新尾道)、高速道路のインターチェンジ(しまなみ海道向島インター)、空港(広島空港)のいずれからでもアクセス可能である。しまなみ海道向島インターからは 2 km、山陽道福山西インターからも近い。広島空港からは車で 40 分である。

(c) 建物・設備：

研究棟および宿泊棟を備えており、定員 30 名である。研究棟には、所員用の研究室に加え、学生実習室および講義室が完備されている(写真)。とくに宿舎は十分なスペース、設備を備えている。また、顕微鏡など、学生実験のための備品も利用可能である。採集のための船舶が 3 隻ある。

本実験所では、満潮時に流入する海水をタンクにため実験室に供給している。他の臨海実験所は海中から汲みあげる方式が一般的な中、ユニークなシステムである。これは、周辺の海水が汚染されていないことを示している。また、かなり大規模な屋外飼育水槽(全体像、左側付属屋根の部分)がある。

## 2. 利用状況



広島大学理学部生物科学科選択必修科目「海洋生物学実習 A」(30名)、選択科目「海洋生物学実習 B」(十数名) および他大学生に公開されている公開臨海実習(定員16名)で利用されている(参考資料2, 3)。

(所長以下ファカリティーズが入れ替わって間もないため、現在のところは、基本的なプログラムのみが走っている状態にある。)

### 3. 慶応義塾大学学生の利用の可能性

#### (a) 既存プログラム

公開臨海実習を夏季(7月:以後、春期に行われる予定)に開講しているので、学生が自主的に申し込み参加することが可能である(理科系学生2年生以上)。定員16名。ただし、受講後の単位認定を求める場合には、広島大学に授業料を払う必要がある(費用:参加費11,900円程度(五泊六日) プラス 授業料14,800円)。また、本学の所属学部等に単位が認められるかどうかを確認する必要がある。

#### (b) 新規プログラム

定員(30名)内であれば、利用させてもらえる可能性がある。上記の「海洋生物学実習」および公開臨海実習を開講している夏季の利用はスケジュール上難しいが、定員程度の人員を条件に、冬季あるいは春季に実施することができる可能性がある。生物材料は、潮が引いたときには周辺の浜や磯で採集が可能であるし、プランクトンの採集などには3隻ある採集のための船舶を出してもらうことも可能である。新幹線を利用すれば、東京からの交通の便も良い。ただし、食事のサービスは受けられない場合がある。

### 4. 文科系学生および非理学部学生への教育状況

教育学部学生に対する実習が開講されているが、施設側は施設を提供するに留まっている。本学での講義では、医学部・歯学部を除く全学対象の「生物科学概論」が開講されており、生物科学科担当の教員がオムニバス形式で担当している。実際には、文科系学生の受講はほとんどなく、理学部他学科、教育学部、総合科学部の学生が受講

している。

#### 5. その他

広島大学では、平成18年度入学生から教育プログラム制を導入して、授業実施前に教員が授業の達成目標・指針を公表し、全授業終了後に学生が評価するという形式を採ることになっている。これにより、各授業のより統一的評価を行い、教育の活性化・学生の意欲向上に結びつけることを目指している。臨海実験所は現体制に移行して間もないため、立ち上げ中という段階にある。所長は他学部・他大学とのコラボレーションに対して、顕微鏡等の用具の使用、材料の供給、さらには、講義をすることを含め、前向きな考えを示している。具体案を提示することにより、当施設を使用させてもらうことは十分可能であると考えられる。また、合宿研究会等での使用の可能性もある。

島の南東に位置する実験所は、敷地面積も広く、海に面する東側は開放的で明るく、遠近、大小の島々が点在する穏やかな瀬戸内海の景色が展開している。近隣民家や公道からは建物が見えないように森に埋もれるような配慮がされていて、その対岸には工場や日常生活の様子が展開している宮島実験所とは、非常に対照的な印象を受けた。

### 7.3.5 琉球大学熱帯生物圏研究センター視察報告書

#### 西表実験所

インタビュー対応：馬場繁幸教授（専門；マングローブ生態系保全。国際マングローブ生態系協会事務局長として知られる）

場所：〒907-1541 沖縄県八重山郡竹富町字上原870番地 琉球大学西表実験所  
Tel:0980-85-6560

訪問日：平成18年2月4～5日

調査担当者：秋山 豊子

#### 1. 施設の概要と学生の利用状況

##### (a) 施設の概要；

西表実験所は農学部附属熱帯農学研究施設を前身として、平成6年6月に全国共同利用施設として設置された。375haの用地の中に研究棟、宿泊棟、図書標本館、熱帯資源植物園、原生植生園などがある。

##### (b) 現在行っている学生実習；

琉球大学生向け（学部は問わない）「亜熱帯—西表の自然」と「熱帯農学総合実習」（九州四国の大学との単位互換）、それぞれ5泊6日の集中授業（2単位）が開講されている。その内容と日程は別紙（写し）。特に、文系学生に向けての授業はないが、学部を問わない実習や、中学生などへの公開セミナーも行っている。

##### (c) 利用者内訳；

共同利用施設のため、年間利用者3500名の7割は他大学他研究機関所属の学生研究者である。

##### (d) 可能な学生実習内容；

内容亜熱帯圏に特異的な生物相動物相を観察採集する実習。持ち込む機器によって

は、簡単な解析なども可能。外部用の実験室のスペースがある。

(e) 施設の特徴；

西表島は亜熱帯圏にあり、島の大部分がジャングルであるため、希少な動物植物が数多い。海岸もサンゴ礁の磯、山砂の浜、河口周辺に広がるマングローブの林(泥の遠浅)など、非常に多様な地形を示している。これらの地域について比較して観察できる。

- 視察場所；浦内川河口付近、比内川河口付近、大見謝川河口付近、ユツン川河口付近、中間川流域、祖納地区(夜間にホテル観察)、白浜地区、月が浜。
- 設備；平成8年に研究棟改修・宿泊棟新築がなされた。宿泊棟は教員用(2名用2室、1名用5室)、学生4名1室40名まで収容可。食堂もある。宿泊は教員1000円/1日、学生300円/1日、食事は朝400円、夕800円である。昼食は実習時以外はなし。講義棟、セミナー室などもある。
- 交通；東京からは那覇、石垣島まで飛行機、石垣島から西表島までフェリーで約8時間半。島内は車がないと移動手段がほとんどない。旅費はかなりかかる。(交通費往復約5万円)

2. 慶應大生の受け入れについて

- (a) 文系学生でも実験所を利用して実習を行うことは可能だが、受け入れ人数に限度があり、日程によっては希望に添えないこともある。
- (b) 利用に当たっては、所定の利用申請書を提出する。事前に担当教員に連絡して、利用施設設備、実習内容などよく打ち合わせしておくことが望ましい。学生実習の際には、実験所に配属されている教員が担当講師に加わると円滑に進められるのではないか。
- (c) 実習時には、施設の機材の使用など実験所教員の指示に従うこと。
- (d) 生物材料の提供は実験所教員の関与にもよるが、特に行わず、原則として自分で採集する。
- (e) 機材の持込使用も実験所教員と相談する。
- (f) 講義実習などは単位互換を認めている実習があるので、その実習に参加することは可能。
- (g) その他、利用上の規則などは、「宿泊棟の施設使用に関する心得」別紙参照。

**瀬底実験所**

インタビュー対応：竹村明洋助教授 (魚類生理学)

酒井一彦助教授 (サンゴ礁進化生態学)

場所：〒905-0227 沖縄県中東郡本部町字瀬底 3422 番地 Tel:0980-47-2888

視察日：平成18年2月6～7日

調査担当者：秋山 豊子

1. 施設の概要と学生の利用状況

(a) 施設の概要；

瀬底実験所は沖縄本島北西部の本部半島に隣接する瀬底島に所在し、琉球大学工学部付属臨海実験所を前身として設立され、平成6年から熱帯生物圏研究センター

の中のサンゴ礁生物生態学研究領域、サンゴ礁生物機能学研究領域の実験所として全国共同利用施設となっている。用地の中に研究棟、宿泊棟、外部者用の研究スペース、飼育棟、船のドックなどがある。周辺にはサンゴ礁が発達し、豊かな熱帯亜熱帯の生物相が見られる。

(b) 現在行っている学生実習；

琉球大生向け；魚類生殖生理学実習（理工学研究科）、海洋生物生産学実習 VII・VIII（海洋自然科学科）、海産動植物の観察、基礎ゼミ、進化生態学実習 VIII（いずれも海洋自然科学科）と一般向け公開講座「サンゴ礁無脊椎動物の観察」（国立大学生物学科むけ、単位互換可能、1単位）、5泊6日の集中授業が開講されている。公開講座については別紙。特に文系学生向けの実習は行っていないが、一般向けのサンゴ礁無脊椎動物の観察実習やスーパーサイエンスハイスクール関連事業として高校生向け実習を行っている。

(c) 利用者内訳；

共同利用施設のため、年間利用者は1万名強である（全国の臨海実験所の第2位）が、滞在型の琉球大生もその数に含まれている。6-10月はかなり利用者が多く混雑する。

(d) 可能な学生実習内容；

内容亜熱帯圏に特異的な生物相動物相を観察する学生実習、採集・持ち込む機器によっては、簡単な解析なども可能。外部用の実験室のスペースがある。

(e) 施設の特徴；

瀬底島は亜熱帯圏にあり、希少な動物植物が数多い。サンゴ礁は'98年の海水温上昇の影響でハマサンゴ以外はかなり打撃を受けているが、それでもまだ海岸にはサンゴ礁がよく発達している。夏のシーズンには瀬底ビーチが遠浅のサンゴ礁で採集観察に適している。

- 設備；平成8年に研究棟改修・宿泊棟新築がなされた。宿泊棟は教員用（2名用2室、1名用5室）、学生4名1室、25名まで収容可。食堂もあるが実習時以外は利用できない。原則として外食、あるいは自炊となる。宿泊は教員1000円/1日、学生400円/1日、クリーニング代550円、光熱費教員学生いずれも100円/1日である。講義棟、セミナー室などもある。
- 交通；東京からは那覇まで飛行機約2時間、那覇空港から瀬底島まで高速バスで名護ターミナル経由約3時間半。島内は車がないと移動手段がほとんどない。旅費はかなりかかる。（羽田ー那覇往復約36000円＋バス代）

## 2. 慶應大生の受け入れについて

- (a) 文系学生が実験所を利用する場合、現在の国立大生向けの公開実習に参加することは可能。人数制限されている場合を除き、文系であっても慶應大生の参加は可能。単位も慶應大が認めれば、単位互換制度により1単位が与えられる。個別の実習も可能だが、いずれも実習スペースや受け入れ人数に限度があり、場合によっては希望に添えないこともある。
- (b) 利用に当たっては、西表実験所同様所定の利用申請書を提出する。事前連絡を十分しておくことなども同様。
- (c) 実習時には、施設の機材の使用など実験所教員の指示に従うこと。

- (d) 生物材料の提供は、原則として自分で採集するが、相談にも応じる。
- (e) 機材の持込使用も実験所教員と相談する。
- (f) 船からの観察や採集、スキューバダイビングなどのサポートも行っている。
- (g) その他、利用上の規則などは、「宿泊棟の施設使用に関する心得」別紙参照。

視察を終えて；

いずれも、熱帯亜熱帯圏にある臨海実験所の特長を生かした施設で、サンゴ礁の生物相や、マングローブの生態系などについての固有の魅力的な実習を組んでいる。このような実習プログラムはこの場所ならではのもので、沖縄以外では実施することができない。この場所の豊かな自然と特異性が、ここに学生を連れてきて実習させる大きな理由となる。文系学生であっても実験所の利用については問題なく、教育についての連携は好意的に受け入れられた。しかしながら、いずれも授業となる実習か否かで、実施するには準備や手続きが大きく異なる。まずは、両実験所が行っている公開実習などに応募する学生がいれば参加させつつ、双方の教員が学生と対応しつつ教育してゆくような、良好な連携を作ることが第1歩であると思われる。問題点は、遠距離であるため、学生・教員の交通費や宿泊費については、何らかの経済的補助を得ること、天候（台風など）により交通に影響がでる可能性があること、病気や怪我の際に診療施設が十分でないこと、公共交通手段が不便で車が必要であることなどを考慮すべきである。

### 7.3.6 筑波大学下田臨海実験センター訪問の報告書

インタビュー対応：稲葉 一男 教授（センター長）  
 場所：〒415-0025 静岡県下田市五丁目10-1；Tel：0558-22-1317  
 訪問日：平成18年2月9日  
 調査担当者：金子洋之、佐藤由紀子、長谷純崇、有川智己

平成17年度の特徴ある大学教育支援プログラム（特色GP）に採択された慶応義塾大学日吉キャンパスの「文系学生への実験を重視した自然科学教育」について説明させて頂いた後に、準備しておいた質問を中心にインタビューを行った。

#### 1. 筑波大学下田臨海実験センターの特徴

##### (a) 環境と生物種：

海は汚染されておらず、非常にきれい。しばしば熱帯性の生物も観察でき、特に多様性が高い。海藻は特に豊富で、海中林がとても発達している。ただし干潟は周辺にない。ギボシムシ、フサカツギなどが見られる。周辺には、幕末の黒船来航・下田開港ゆかりの史跡・歴史的建造物も多い。

##### (b) 交通の便：

関東地区の大学にとって地理的に至便とはいえないが、利用可能圏内にある。東京から片道約180km、特急列車で2時間40分、自動車で3時間30分ほどである。下田駅からは、徒歩30分、タクシーならば5分、バスで10分程度である。

##### (c) 研究：

現在、教授1名、講師2名に対応して、「分子細胞生物学」「発生遺伝学」「海洋生態学」の3つの分野の研究室が存在する。学生はあわせて15名ほど。マリンバイオ

先端研究構想（分子生物学やポストゲノムなどの先端的な研究を、臨海実験所で行う）が推進されている。

(d) 施設・設備：

使用可能な光学顕微鏡の台数と宿泊棟の収容人数から、利用可能な人数は最大で約50名程度。実習船、潜水具などの利用可能。実験動物の持ち込み、一時飼育も可能。

2. 他大学の利用状況：

最近では年間6回の実習が行われている。私大文系でも問題ない。過去には和光大学から問い合わせがあった。最近の実績は以下の通り。東京都立大学（4月中旬）、山梨大学（教育人間科学部、6月下旬；工学部、9月上旬）、秋田大学（総合文化学部、6月中旬）、学芸大学（4月下旬）、愛知教育大学（9月下旬）。

3. 社会貢献：

地域開放事業として、磯の生き物観察会、ウミホタル観察会（社会人、小中学生対象）、サメの解剖（地元小学生対象）、海藻おしぼ教室（付属小学校や地元下田市の親子、茨城県内のスーパーサイエンスハイスクール事業対象の高校生などが対象）などが行われている。静岡県の理科教職員研修なども行われている。高校生等を対照したものとしては、大学本体がある茨城県下の学校と連携しているもの、地元静岡県の学校と連携しているもの、筑波大学の付属学校と連携しているものなどがあり、多彩である。

4. 学内の利用状況：

概して活発である。筑波大学には東京教育大学以来の伝統があり、教育活動や社会貢献はとても熱心、盛んに行われている。

- 細胞生物学臨海実習（4月上旬）：ホヤ卵を用いてエレクトロポレーションやPCR, *in situ* ハイブリダイゼーション、二次元電気泳動などを行う。
- 動物分類形態学臨海実習（5月下旬?6月）：海産動物の採集、分類、スケッチなど
- 植物分類形態学臨海実習（5月中旬）：海産植物の採集、分類、スケッチなど
- 生態学臨海実習（7月中旬）：磯採集、シュノーケリングによる採集（事前に指導）、ドレッジ、プランクトンネット
- 動物発生学臨海実習（7月下旬）：様々な生物の発生観察（ウニ（ガンガゼ、ラッパ、タコノマクラなど）、ホヤ（イタボヤ、ユウレイボヤ、シロボヤなど）、カキ）、卵片発生実験など
- マリンスポーツ臨海実習（7月下旬）：遠泳（体育専門学群生対象）
- JTP 生物学セミナー（8月上旬?中旬）
- 生物学公開臨海実習（学部；8月上旬?中旬、大学院；3月下旬）
- 公開講座（高校生対象）（8月下旬）
- 生物学臨海実習（3月上旬）：生物学専攻以外の自然学類（物理、化学）の学生が対象
- 動物生理学臨海実習（3月中旬）：活動電位測定（アメフラシ、タツナミガイ）、魚類体色変化

## 5. その他

### 基本方針：

当該教育センターは他大学からの利用を歓迎するとのこと。このとき、利用する大学が臨海実験のメニュー作成から実施まで行ってほしい。船やウエットスーツなどの器具は実費で貸し出し可能。

### 利用可能な時期：

来年度の予定表を見せていただいたが、夏はいっぱいであった。特に7、8月に慶応大学が利用できる余地はなかった。9月は少し余裕があるようである。その他の時期は、受け入れ可能。特に、比較的すいている秋から冬にかけての利用が望ましい。また、プランクトンネットは、10～11月が1年を通じて最も多様性に富んでいるとのアドバイスを受けた。

### 筑波大学教員への特別講義依頼：

可能だが、非常に多忙であるため継続的には不可能との事。



写真1．大実習室。採集品を並べたりできる。作業着、長靴、ヘルメットなどが置かれている。



写真2．研究棟内の実習室。分子生物学実験などにも対応。



写真3．屋外水槽の一部。海水をいったん実験所脇の山の上のタンクにくみ上げ、そこから屋外水槽に流している。

### 7.3.7 一ツ橋大学視察報告書

場所：〒186-8601 東京都国立市中 2-1 Tel:042-580-8000

訪問日：平成18年2月10日

調査担当者：大場 茂, 表 實, 中島 陽子

学生数は商、経済、法、社会の4学部を合わせて、1学年1000名程度である。

1996年に小平分校（教養課程）が廃止され、4年一貫教育が国立キャンパスでなされている。自然科学科目の、卒業に必要な単位は、かつては数学と理科で計4科目（16単位）を課していたが、それが3科目に減り、そしてカリキュラム改定により現在は全く縛りが無い。

全学共通教育科目は、大きく2つに分類されている（共通基礎科目と共通発展科目）。理科教室の5人の講義スタッフ（物理、化学、生物、天文、環境）は、半年の講義2つ（基礎と発展）をそれぞれ担当している。履修者数は50-150名。「サイエンスミニマム」という、自然科学全般を網羅したようなオムニバス形式の集中講義もあり、これは夏休みの終わりに開講され、履修者数は80-90名とのこと。この講義用のテキストが講義スタッフにより作成され、出版されている。（この本の中を見たところ、化学に関しては電子雲や化学結合までいいねいな記述があり、比較的レベルが高いと感じた。）

実験を伴う科目としては「教養ゼミ」がある。これは定員10-20名程度の小人数のゼミ形式授業であり、半期1コマ2単位。成績はPassかFailかの評価しかつかないが、卒業に必要な単位に含めることはできる。天文のゼミ（定員20名）では、パソコンを利用してケプラー運動のシミュレーションをしたり、夜あるいは夏休み合宿で天体観測をしたりする。環境科学のゼミ（定員8名）では、水の硬度やCODの測定、キャンパス中の環境調査（粒状物質）などを行っている。化学のゼミ（定員6名）では、中和滴定やエステル合成などの実験を行っている。時間が1コマしかないので、実験の準備と後片付けは教員がやる。（現在、講義スタッフ5名に対して、助手が3名いる。しかし助手は今後、不補充とのこと。）レポートは当日書かせるが、感想程度のもの。また、このゼミの実習費は徴収しない。教養ゼミの履修希望倍率は、例年は1.5から2倍。

卒業論文に直結する主ゼミは2年間（通年4単位）。その下に副ゼミとして教養ゼミをとることができ、これは所属する学部が違っていても簡単に入れる。（共通教育科目は3、4年生でも取れる。）

なお、教養ゼミを主ゼミとして履修することもできる。ただし、学部が違えば、主ゼミとして教養ゼミを取れない（あるいは取りにくい）場合もある。

学生実験室は科目ごとに1部屋（20名程度入ると満員）で、そこに実験台や器具が置かれていた。共通の実験準備室は、別の部屋になっている。この実験室の入っている建物（東1号館）は、2000年の創立125周年記念の際に、同窓会の寄付により立てられたとのことであった。

### 7.3.8 東洋大学視察報告書

場所：〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20 Tel:03-3945-7224

訪問日：平成 18 年 2 月 24 日

調査担当者：大場 茂, 表 實, 小瀬村 誠治, 長谷川 由利子

「文系学生に対する自然科学教育」の他大学調査の一環として、今回は東洋大学白山キャンパスを訪問した。手塚教授（物理）に学生実験室へ案内していただき、そこで自然科学のカリキュラムや実験内容などについて説明を受けた後、意見交換を行った。出席者の人数は東洋大側 3 名、慶應義塾大側 4 名であった。以下はその報告事項である。

1. 学生実験室は定員 30 名程度の 1 部屋で、そこを物理、化学、生物、地学が共用している。実験台のスペースを確保するために、流しにフタをかぶせてテーブルの一部として使えるように工夫されている。実験準備室はない。
2. 実験担当の技術職員や助手はいない。
3. 実験は授業の担当者だけで行う。
4.
  - 文系学生に対して実験を含む科目「物理学実験講義 A・B」、「化学実験講義 A・B」、「生物学実験講義 A・B」「地球科学実習講義 A・B」はそれぞれ半期 2 単位である。
  - これは 1 コマ 90 分で週によって実験と講義が織り交ぜてあり、1 人の教員が学期を通して担当する。シラバスでのサブタイトルをいくつか紹介すると、「物理学実験講義 A」（やさしい力学実験）、「生物学実験講義 A」（赤い花・青い花の秘密）。
  - 実験の測定データやスケッチなどは、後日提出させている。
  - 実習費は学生からは徴収しない。
  - これらの科目は約 40 年前から設置されていた。平成 17 年度から文系 5 学部（文・経済・経営・法・社会）の一貫教育が白山キャンパスで開始されたが、それまでは、1,2 年が朝霞キャンパス、3,4 年が白山キャンパスであった。
5. 実験室の利用頻度は、1 週間に化学 2 回、生物 1 回、物理 1 回、地学 1 回で計 5 回程度であるが、実験室を共用しているため、その都度実験器具をすべて片付けている。
6. 文学部には、一般教養的科目を系統的に学ぶことで、基礎知識を確立し、学術的見地から考察できる能力を身に付けるためのコースとして、副専攻制が 8 年前から設定されている。全部で 5 コースが開設されているが、登録できるのは 1 人 1 コースで、2 年次に登録が行われる。自然科学分野の「自然の認識コース」もあり、その履修認定要件は、次の通り。共通総合科目の自然科学系科目の中から一般講義科目で同一名称の A と B の組み合わせを 2 組 4 科目 8 単位、他の一般講義科目 A または B を 1 科目 2 単位、実験・実習講義科目で同一名称の A と B の組み合わせを 2 組 4 科目 8 単位、「自然科学演習」を A・B セットで 2 科目 4 単位、合計 11 科目 22 単位以上を取得した場合、副専攻として認定され、卒業時に修了証が発行される。ここで、「自然科学演習」は卒業研究に該当し、先生 1 人に対して学生が 2～7 名程度。
7. 大綱化以降、カリキュラムが各学部で独自に設定されている。実験を含む科目を現在、学生に開講しているのは、文・経済・社会の 3 学部であり、1 学年計 2000 名に対して、実験を含む科目の履修者は 13 % である。（5 学部 1 学年計 3200 名の約 5 %）。社会学部だけは卒業までに自然系の科目を 4 単位以上とらなければならない。なお、一部の他に二部（夜間）の学生が 5 学部 1 学年約 1200 名いる。

- 元々、文学部の下に、教養課程という組織があり、そこに自然科学の教員も属していた。大綱化の際の教養部解体に伴い、各専門の先生はそれぞれの学部へ異動し、自然科学の担当者は現在は文学部と経済学部に分かれて所属している。副専攻制は文学部だけで、経済学部にはない（これは、自分のメジャーだけでも足りないという考えのため）。
- 経済学部にも所属している環境科学や地球科学のスタッフは、「経済数学」や「統計学」といった専門の基礎科目の講義も担当している。

生物学実験講義を担当している山岡先生（文学部中国哲学文学科教授）から、詳しい資料をもとにこの科目の受講者数や成績の年次変化の説明があった。ここ数年は受講者数が定員（32名）の半分にも満たず減少傾向にあったが、2005年度から授業内容を刷新して植物の花に関するテーマにしたところ、状況が大幅に改善された、という話は印象的であった。

### 7.3.9 University of Sydney, University of New South Wales の視察報告

文責: 青木 健一郎

GP 事業のために Sydney の主たる 2 大学の U. Sydney と University of New South Wales (以下 UNSW) を視察した。その日程についてまず I 節で手短かにまとめ、視察によって得られた情報、洞察については II 節に記述する。III 節に考察をまとめる。

#### I : 出張の概要

視察期間: 2006 年 3 月 1 日～ 3 月 4 日

日付	視察場所	慶應からの参加者	視察内容
3 月 1 日	UNSW	青木, 中島	School of Physics の Michael Burton 教授 (Director, First Year Physics), Wilfred Walsh 教授 (Director, First Year Labs) と物理の学生用実験室 (1 年生用, 2 年生用と 3,4 年と大学院生用) を見学し, UNSW の実験講義の行い方, 考え方について議論した。さらにより広い観点から教育とそれを取り巻く環境について議論した。 School of Biological, Earth and Environmental Sciences で Dr. Matthew Hunt に生物の学生実験室を案内してもらい, 生物実験教育の現状について説明を受けた。さらに海洋生物学の実験室を見学した。また, School の Head (Prof. Paul Adam) と会話し教育について議論した。

日付	視察場所	慶應からの参加者	視察内容
3月2日	U. Sydney	青木, 中島, 横山	Richard Hunstead (Head, Astrophysics Dept., School of Physics), Maria Byrne (Dept. Anatomy and Histology, ), Elizabeth May (School of Biological Sciences), Siegbert Schmid (School of Chemistry) 教授らと自然科学教育を中心として U. Sydney, そしてアーストラリアにおける教育全般について説明してもらい議論した.  Hugh Clarke 教授 (Dept. of Japanese and Korean Studies, School of Languages and Cultures), Veronica Wong 氏 (Manager, Study Abroad and Exchange Programs) に U. Sydney における教育全般について外国語教育などに重点をおいて説明してもらい, それについて意見交換した.
3月3日	UNSW	青木, 井上, 中島, 横山,	Pauline Taylor (Associate Director, International Relations), Annie Jackson (Acting Head of Department, English for Overseas Students) 氏に交換プログラム, 語学教育プログラムを中心として UNSW における教育について説明を受けた.  Ralph Hall 教授より peer mentoring system について現状を含めて説明を受け, それについて議論した.

## II:U. Sydney, UNSW における大学教育の現状について

以下で U. Sydney, UNSW で得られた情報についてまとめる. 特記がない限りは内容については両大学にあてはまる.

### II-1 教養教育/総合教育科目について

オーストラリアの大学では通常は専門教育科目以外を履修するという requirement は無い. これはアメリカ式よりイギリス式の大学制度に近いと思われる. そして通常の bachelor (Bachelor of Arts, Bachelor of Science, etc., 日本の学士に相当) の学位を得るのに必要な期間は 3 年である. これは教養科目/総合教育科目, 外国語科目の履修の必要が無いから可能であるとの指摘があった.

UNSW はオーストラリアの大学としては多少特殊であり、GE (General Education) requirement がある。これは 4 つの School より 4 つの科目を履修しなければならないという卒業の条件がある。

## II-2 double degree 等について

大学はいくつかの School に別れており (School of Science, School of Arts, *etc.*, 学士に対応), 組織的にはその細分として Department がある (Dept. of Physics, Dept. of Chemistry, *etc.*). Bachelor 以外にそれを越えるものとして以下のいくつかの学位がある。

- Double Major: 同じ School で 2 つの Bachelor 学位の条件を満たすことによって得られる。密接に関連のある分野の学位とである。たとえば Physics と Chemistry の double major など。
- Double Degrees/Combined Degrees: 異なる School で 2 つの Bachelor の学位を得る。一般に学問体系としてかなり離れている分野である。たとえば Law と Physics など。
- Honours Level: 通常の Bachelor の条件を満たし、さらに一年かけて研究を中心として専門を極める。将来大学院での研究を目的とする学生が選ぶことが多い。
- Major/minor という学位は無い。

Double degree と Honors は 4 年のプログラムである。また、大学入学時にすでに Double degree, honours 等の条件を含めてプログラムに応募が必要である。特に double degree は就職に有利であると学生に受け取られているようである。近年は 3 年で「普通の」bachelor の学位よりも 4 年プログラムのそれを越える学位を取得しようという学生が多くなって来ているようである。大学院では MA, PhD プログラムが存在し、理系学生は PhD プログラムは学術的に研究したい学生が入学し、MA プログラムには就職のために学位を取得したい学生が入学するという傾向があるようである。

## II-3 自然科学教育について

我々は特に 1, 2 年生への実験を含めた科学教育、そして専門としない学生のための総合教育科目としての自然科学科目について調査した。また UNSW では物理、生物、U. Sydney では生物の 1, 2 年生用とより高学年の学生のための学生用実験室を視察した。

文系学生 (専門のために必要でない学生) のための自然科学の講義は用意されているが、それらはほとんど実験を含まない講義である。(理系学生の 1 年生のための) 実験は基礎的な実験が多い。物理学では計測にコンピューターを使うものと古典的な手動の計測の両方が存在している。これは古典的な手法の方が何をしているかはっきりと意識して理解できる一方、工学部に進む学生がコンピューターを用いた計測、制御手法に慣れる必要があるからである。

時間割は各種の講義が一週間の間にもいろいろちりばめられているのではなく、たとえば Biol001 という、生物学全般を扱う入門科目は、週に 3 日講義、それに 3 時間の実験、そのほか毎週 SAMs (self-assessment modules コンピュータ学習) が課せられている (U. Sydney)。13 回でセメスターは完了する。その間、quizzes, discussion, draft report などが課される。

一つの科目として連携を強調しているが、理工系学生にはっきりとした関連する必修科目群が課されているのは日米も同様である。講義は Junior, Intermediate, Senior とグレード分けされていて、各講義を履修する順が規定されている。

たとえば UNSW では理系学生は 1 年生の必修の物理実験は 1,000 人程度履修する。2 年生用の Advanced Labs は 100 人程度履修し、Honours level まで進む学生は 10 人程度である。科目によって多少差があるが、概ね似たような傾向が見られるようである。

生物学については通常の実験室 (wet lab) とコンピューターと資料を見るだけのための実験室 (dry lab) が存在する。コンピューターを使った教育資料や課題がかなり存在する。講義資料、課題等もウェブから入手することが多い。

実験レポートについては 1, 2 年生の実験では実験マニュアルに収録されている課題に答えるという形で実験時間内に書き、その場で tutor が目を通すという形式である。例外は U. Sydney の生物で、1 年生の時から実験時間外の時間も使って綿密なレポートを書くことを義務づけており、採点も綿密に行っている。

全体的にスペース的な面と施設には非常に恵まれていると感じられた。実験施設の本質的な内容、また実験テーマは全体的に万国共通であると感じた。また、実験の行い方もかなり一般的に共通な面が多い。細かい点であるが、UNSW の物理の 1 年生用実験室は新しく、実験用の机は高椅子が備わっており立っていても実験できるような高さになっているのは使いやすそうであると感じた。また、その実験室脇にはディスカッション用のスペースが設けられていて、学生間、学生と tutor, lecturer 間の交流ができるようになっていて、うらやましい配慮であった。

校舎の廊下壁面にはそれぞれの専門関連ポスターが随所に張られていた。UNSW の物理教室壁面には毎年のノーベル物理学賞の受賞者と業績のポスターがあった。またいろいろな自然科学の原理を説明する簡単な装置が設備されている個所もあり、学内見学で通りかかった小中学生の団がそれら进行操作して喜んでいて、教室内でのみ教育が行われるのではないと実感した。

#### II-4 外国語教育について

外国語の講義は用意されているが、卒業するために履修の必要は特殊なプログラム以外では一切無い。母国語が英語でない人は母国語と英語に習熟しているが、それ以外の学生のほとんどが mono-lingual である (英語のみ使える) のが現実である。

#### II-5 大学運営の現状等について

オーストラリアの大学はビジネススクール一校を除いてすべて公立である。しかし、財政的には予算の 1/3 程度しか国からの補助を得ていないようである。よって財政的には私的な補助、そして学費が重要である。特に、そういう意味では外国人学生の学費が重要であり、積極的に募集している。(オーストラリア国民の学生は割引があるので学費はある程度安い。) 理工系学生で 1 年あたりの学費は 200 万円相当程度である。財政的にかなり厳しく、それが様々なゆがみを生んでいるという指摘もあった。教員の教育の負担は一般に慶應程度かそれより重いかも知れない。

#### II-6 Peer mentoring について (U. Sydney)

Peer mentoring は学生 (3, 4 年生) が新入生の様々な相談に乗るというものである。大学に入学していろいろ悩みがあるが、カウンセラーや教員のアドバイザーに相談するほどのものではないと学生が判断したり、あるいは敷居が高いと感じたなどの場合に利用するものである。U. Sydney では何年も続けており、アンケートや統計を使って調査をして確立したシステムを持っている。報酬の無いボランティアでありながら 3, 4 学年生が積極的に参加して機能している。学生は mentor として活動したという経験があることを就職に応募する際に利用する事は奨励されていることも一つの理由である。

### Ⅲ:考察

- 様々な側面について教員同士で意見を交換したが、実験に取り込みたい内容、また実験教育に対する考え方は基本的に我々と同じであると感じた。
- 生物学関係では、環境問題と関連した生態学、マクロ系のアプローチが占める割合が大きいく感じられた。これは自然そのものが身近に豊富に残っていること、さらにそのようなオーストラリアの特徴を生かした研究を行っている研究者も多い事に起因していると考えられる。
- UNSW, Sydney では理工系、医学部学生以外の学生が実験教育を受ける機会は非常に少ないようである。その一方、文系と理系の double degree を取得する事は珍しくはない。
- 前述のように、全く異なった分野で学位を取得する double degrees 等は近年オーストラリアでは非常に人気があり、大学は各種大学は各種組み合わせのコースを用意している。これは、社会でそのような幅広い視野を持った人間の評価が高いことを反映している。そういう意味では総合教育科目を重視する日米の大学教育は評価されるべきであると思われる。
- Double degrees 等の状況を見ても、慶應でも行われているように、大学高学年時に必ずしも専門一分野に特化しない教育は意義深いと思われる。これには、専門以外の分野の必要性がより実感できるということと同時に、専門科目の意義もより大きな視野より理解できるという良さがあると考えられる。
- 近年、日本同様、あるいはそれ以上にコンピューターを用いて講義の資料を配布したり、プレゼンテーションツールを使って講義を行うことが多いようである。しかし、それが学生の教育効果に本当に良いのかどうかはオーストラリアでも教員のなかでかなり議論があるそうである。
- U. Sydney では、International Office へ Official Visit Application Form であらかじめ訪問の趣旨と希望を伝えておいたところ、時刻みのスケジュールが用意されており、学内の適切な人と話し合うことができるようにアレンジされていた。また、学内ツアーもあり、日本とおなじ大学新年度開始の日 (大学の新年度は 3 月 1 日に始まる) の賑わいを体験できた。

UNSW, U. Sydney では教職員の方がていねいに説明して下さり、議論をする時間をとって下さったことに謝辞を述べたい。

## 7.4 他大学からの実験施設視察および意見交換会

### 7.4.1 東北大学 … 平成18年1月11日

去る1月11日、日吉キャンパスにおいて東北大学による本大学の取組「文系学生への自然科学教育」に関する実験視察および意見交換会が行われた。東北大学からは10名、日吉特色GPからは10名の参加者があった。

東北大学は平成19年度より、文系学生を対象とした実験科目を開設すべく準備中である。理系教科習熟度の異なる文科系学生に、何をどのように教えたら良いのかという大きな課題のもと、実験テーマ、レポート、評価等について双方の活発な意見交換が行われた。

特に実験テーマに関しては、「文系学生にどのようなテーマを設定したらいいか」という話題に触れ、「サイエンスの面白さを伝えるため、身近な題材で学生自身が興味関心を持って取組めるものを、文系学生が分かる言葉で噛み砕きながら教える。」「できるだけ文系・理系の別はつけない。」等、様々な議論が繰り広げられた。

また、レポートに関しては、「実験時間内に提出させることを目標とし、考察の書き方に関しては、論理的に書くことに重点をおいて指導している。レポート提出—評価を繰り返し、学生に必ずフィードバックをかけ訓練することで教育効果を上げるのに非常に有効である。」などの意見が出された。

### 7.4.2 早稲田大学 … 平成18年1月23日

1月23日には、早稲田大学による実験施設視察および意見交換会が行われた。参加者数は早稲田大学から8名、日吉特色GPからは10名であった。この時点では、すでに学生の実験は終了していたため実験施設のみ見学となった。

この話し合いでは、自然科学科目の組織、運営およびカリキュラム、副専攻、多くの文系学生が実験を履修していること等について意見交換がなされた。

特に、「多くの文系学生が実験を履修していること」については、高校までの教育体制(受験システム)の中でこれまであまり自然科学の実験をやってきていない学生が、積極的に履修しているという点に関心が集まった。このことは、文系学生にとって実験を含んだ自然科学の授業があまり抵抗無く受け入れられているという現状と、習熟度の異なる文系学生を指導する上での留意点(理数に対する精神的不安感を軽減する上でも、教員との対話の場を多く設けることや、論理的なレポート作成のためにはフィードバックが効果的)等を、改めて認識させる意見交換会となった。

## 7.5 国内他大学アンケート調査

… 平成18年3月20日発送

「文系学生を対象とする自然科学教育に関するアンケート調査」実施

本調査の目的は、一つにはアンケートの結果を慶應義塾大学内における教育の質の向上を目指す取組の資料とすることであるが、それだけでなくその結果を公表することにより、単に慶應義塾という一大学の枠を超えて、「文系学生を対象とする自然科学教育」のあり方に関する各大学の今後の論議に資するデータを提供することにある。

## 7.6 ホームページでの情報公開

情報公開の常時活動として、以上の活動の記録をすべてホームページで公開している。また事業3においては、実験を含む科目（生物・化学・物理学）における新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備を行い、これらの情報公開に向けて現在準備中である。（なお、物理学では一部の実験テキスト・データについてはすでにホームページで公開している。）

## 7.7 GP便りの発行

発信事業のひとつとして、「日吉キャンパス特色GP便り」（隔月）を発行した。この便りでは、本取組の活動状況を塾内外に公開すると共に、我々活動の記録を記すものである。

## 7.8 特色GP会議日時

- 平成17年10月25日（火）17:00～18:00
- 平成17年11月30日（水）17:00～18:30
- 平成17年12月 6日（火）10:00～11:10
- 平成17年12月21日（水）17:00～18:30
- 平成18年 1月13日（金）13:00～15:30
- 平成18年 1月20日（金）10:30～11:30
- 平成18年 2月27日（月）10:30～11:30

今後事業4では、ホームページおよびGP便り発行の常時活動において、本取組の活動状況とその成果、および情報収集した他大学調査報告書をもとに、具体的な教育内容とその実施体制を他の大学に発信していく。