

平成18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

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	5
1.1 第3回ワークショップの開催	5
1.2 京都大学総合人間学部視察	5
1.3 報告書の刊行	6
1.4 日吉キャンパス特色GP第2回シンポジウムの開催	6
1.5 文系専門課程学生のための自然科学教育プログラムの検討	7
1.6 特色GP事業1ワーキングメンバーによる会議日時	7
第2章 事業Ⅱ：既存の講義・実験の枠を超えた新しい科目の立ち上げ（数学）	9
2.1 概括	9
2.2 ジレンマ型のモデル	10
2.3 湖の汚染	10
2.4 産業組織理論への応用（垂直統合）	11
2.4.1 独占的な状況	11
2.5 寡占市場型	12
2.6 フランチャイズ契約，再販売価格維持	13
2.7 製品差別化	16
2.8 戦略的貿易政策	18
2.8.1 戦略的代替関係（Cournot型）	18
2.8.2 戦略的補完関係（Bertrand型）	20
2.9 ADVERSE SELECTION	21
2.10 ADVERSE SELECTION II	25
2.11 Mechanism Design and Implimentation	31
2.12 Imcomplete Information Game and Bayesian Game	34
2.13 Auction	37
2.14 Auction (continued)	38
2.15 Auction (continued)	39
2.16 Risk and Utility (for reference)	41
2.17 実験経済	45
2.18 DOUBLE AUCTION	49
2.19 MORAL HAZARD I	52
2.20 MORAL HAZARD II	54
2.21 契約理論の応用例	57
2.22 SIGNALING GAME	60
第3章 事業Ⅱ：既存の講義・実験の枠を超えた新しい科目の立ち上げ（心理学）	65
3.1 概要	65
3.2 実習の内容把握	65
3.2.1 古典的な心理学実験を基礎とした実習	65

3.2.2	講師による独創的な実習	68
3.2.3	実習内容のまとめ	68
3.3	他大学の実態調査	69
3.4	まとめ	72
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）	73
4.1	マクロ系：生物多様性理解のための実験プログラム開発	73
4.1.1	生物学マクロ分野のテーマ	73
4.1.2	新しい生物学実験の作成（マクロ系）	73
4.1.3	会計関係	78
4.2	ミクロ系：生物共通性理解のための実験プログラム開発	78
4.2.1	ショウジョウバエを用いた一連の生物学実習	78
4.2.2	学生アンケート	78
4.2.3	次年度の課題	79
4.2.4	その他	79
4.2.5	会計関係	79
4.3	文系学部・自然科学教育に関するアンケート報告書	79
4.4	生物発信日吉キャンパスGP推進事業（生物学）における報告書	89
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）	91
5.1	マイナスイオン等の環境分析	91
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）	93
6.1	学生実験テーマの開発事業	93
6.2	情報発信事業	93
第7章	事業Ⅳ：取組成果の発信	95
7.1	他大学等シンポジウムでの講演	95
7.1.1	近畿地区大学教育研究会第75回研究協議会シンポジウム講演	95
7.1.2	東北大学シンポジウム講演	97
7.1.3	大学教育学会課題研究集会シンポジウム講演	97
7.1.4	東京大学駒場キャンパス公開シンポジウム講演	97
7.2	他大学調査およびその報告書	98
7.2.1	慶應義塾大学鶴岡タウンキャンパス「サマーバイオカレッジ2006」視察報告	99
7.2.2	文系学生への自然科学教育に関する欧州の大学調査視察報告	100
7.2.3	文系学生への自然科学教育に関するアメリカの大学調査視察報告	103
7.3	国内他大学アンケート調査「文系学生を対象とする自然科学教育」に関する全国大学の状況 調査報告書完成	110
7.4	ホームページでの情報公開	110
7.5	GP便りの発行	110
7.6	特色GP会議日時	110
付録A	既存の講義・実験の枠を超えた新しい科目の立ち上げ：心理学	113
付録B	新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備：生物学(1)	123
付録C	新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備：生物学(2)	137

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1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18年度における事業1の活動を以下に列挙する。

1.1 第3回ワークショップの開催

事業1主催の日吉キャンパス特色GP第3回ワークショップを下記の要領で開催した。

テーマ：『「文系専門課程の自然科学教育に関するアンケート」調査の分析』

〔司会〕 下村 裕（法学部教授）

〔報告者〕 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）

安井元規（慶應義塾大学出版会）

日 時： 7月20日（木） 10時～13時

場 所： 日吉キャンパス 第2校舎224号室

本ワークショップの目的は、特色GP事業1活動の一環として、2005年12月～2006年1月、本学文系学部在学学生（1～4年生）を対象として実施した「文系専門課程の自然科学教育に関するアンケート」調査（総計4222名からの回答）の分析を報告し、その妥当性や解釈を議論することによって、学生の意見を正しく把握することであった。基本的な統計結果の一部は2006年3月に開催された第1回シンポジウムにおいて報告されたが、今回はより詳しい分析結果が主題であった。ワークショップ参加者は総計17名である。

本ワークショップは、まず下村裕（法学部教授）によってその開催趣旨が述べられ、引き続き、各項目のアンケート結果の分析が事業1のワーキングメンバーによって以下の順に報告された。A,B: 下村裕、C-1: 大場茂（文学部教授）、休憩5分、C-2-1: 福山欣司（経済学部助教授）、C-2-2,C-2-3: 福澤利彦（商学部助教授）、C-3: 下村裕、D: 安井元規（慶應義塾大学出版会）。報告ごとに質問や意見が述べられ、活発な議論が展開された。そして最後に、アンケート調査分析における多大な協力に対して、安井元規氏に謝意が表された。

1.2 京都大学総合人間学部視察

2006年7月10日、京都大学総合人間学部を下村裕法学部教授が視察した。視察では、学部、カリキュラムの変遷、副専攻、実験授業等についての説明を受け、また見学や意見交換を行った。そして実験室や

実験授業風景等の写真や多くの資料・実験テキストを得た。

人間総合学部には、人間科学系、認知情報学系、国際文明学系、文化環境学系、自然科学系という5学系があり、1学年定員は120名である。学生は、入学試験の形態にかかわらず入学後1年間ほどの学系にも属さず、2年進級時に主専攻を決めて学系に所属する。平成5年度の学部開設時より設けられている副専攻制度は、各自が所属する学系の専門分野以外の特定の分野を系統的に履修する制度であり、副専攻を修得することは卒業の必須要件である。なお、副専攻分野はいつでも変更可能であるが、学生は指導教員と相談の上、各自選択する。副専攻を修得した証として、学士の学位記とは別に、副専攻名を記した認定書が学部長名で発行される。

1.3 報告書の刊行

以下の報告書を刊行した

- 慶應義塾大学日吉キャンパス特色 GP 第1回シンポジウム報告書
(慶應義塾大学出版会、2006年10月10日)
- 文系専門課程の自然科学教育に関するアンケート結果報告書
(慶應義塾大学出版会、2006年11月7日)

1.4 日吉キャンパス特色 GP 第2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2回シンポジウムを、日吉キャンパス来往舎シンポジウムスペースにて2006年11月22日(水)午後1時より開会し5時15分に閉会した。「様々なカリキュラムの可能性」と題されたシンポジウムの開催趣旨は、塾内外の大学で実施されているカリキュラムの形態と内容について理解を深め、関連する事項の質疑応答を通して副専攻制等も含めた新たなカリキュラムの可能性を模索することであった。シンポジウムは、下村裕法学部教授の司会によって、西村太良理事の挨拶で始まり、前半に京都大学・新潟大学・国際基督教大学の講演3件、後半に本塾の講演1件とパネルディスカッションがなされ、最後に安西祐一郎塾長の挨拶をもって閉会した。塾内外から63名(塾外18名・塾内教職員40名・塾生5名)の参加を得、興味深い講演と活発な議論によりシンポジウムの目的は十分達成された。また、その後開催された懇親会には31名(塾外12名・塾教職員19名)の参加があり、塾内外参加者間での情報交換と交流の機会となった。シンポジウムの詳細は報告書として後日刊行される予定であるが、講演タイトルと講演者、およびパネリストを以下に付記する。(敬称略)

講演タイトルと講演者：

- 「京都大学総合人間学部『副専攻』制度の変遷」
西井正弘(京都大学大学院人間・環境学研究科教授、総合人間学部教務委員長)
- 「新潟大学の新学士課程教育システム—分野水準表示法と副専攻制度—」
濱口 哲(新潟大学教授、副学長(学務担当)、全学教育機構副機構長)
- 「実験から得られる智慧」
北原和夫(国際基督教大学教養学部教授、理学科長)
- 「文系専門課程学生に対する自然科学教育カリキュラムの可能性—慶應義塾大学 学生へのアンケート結果報告—」
表 實(慶應義塾大学商学部教授、特色 GP 事業推進責任者)

パネリスト：

西井正弘、河野正司（新潟大学教授、理事（教育担当）、全学教育機構長）、
濱口 哲、北原和夫、西村太良（慶應義塾教育担当常任理事）、
朝吹亮二（慶應義塾大学法学部教授、日吉主任代表）、表實

1.5 文系専門課程学生のための自然科学教育プログラムの検討

文系専門課程学生を対象として、2008年度に三田で新たな自然科学科目を開設すべく、検討を開始した。その第一歩として、文系専門課程学生を対象に三田で開講された2006年度の自然科学科目、および2007年度開講予定の自然科学科目の現状を調査し、問題点を洗い出す作業を行った。その結果、少人数を対象としたゼミ形式の授業、あるいは、比較的多くの人数を対象とした講義形式の授業が、学部ごとに開設されていることが判明した。ただし、異なる学部が乗り入れるかたちの、いわゆる共通授業科目は開講されていない。今後、新たな自然科学科目開設に関する検討を、平成19年度特色GP事業1の中心課題に据えて集中的に行い、2007年9月までに新設科目の具体的な立案を行うことを予定している。

1.6 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 2006年5月10日 (水) 18:00~19:05
- ・ 第2回 2006年6月13日 (火) 16:30~18:25
- ・ 第3回 2006年7月4日 (火) 16:30~18:05
- ・ 第4回 2006年7月31日 (月) 14:00~16:50
- ・ 第5回 2006年10月3日 (火) 16:30~18:25
- ・ 第6回 2006年10月25日 (水) 16:30~18:10
- ・ 第7回 2006年11月7日 (火) 16:30~18:25
- ・ 第8回 2006年11月21日 (火) 16:30~17:30
- ・ 第9回 2006年12月12日 (火) 16:30~18:05
- ・ 第10回 2007年2月6日 (火) 13:30~14:55
- ・ 第11回 2007年3月6日 (火) 13:00~15:15

第2章 事業II：既存の講義・実験の枠を超えた新しい科目の立ち上げ（数学）

商学部 小宮英敏

2006年度は本事業の2年目となったが、昨年度の事業報告に記した活動方針に従い研究を行なった。本年度は特にゲーム理論に表われる意思決定の数理に注目した。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議論を重ねゲーム理論に表われる様々な問題とその解を整理検討した。さらに報告者が主催者の一人となっている慶應義塾大学におけるセミナー「経済の数理解析」の講演者及び聴衆と共に検討を重ねた。これらの研究の過程における研究課題の収集検討を通じて、社会科学専攻者に対する数理能力の涵養及び意思決定理論理解のための教材としてゲーム理論の研究成果を活用することが適切であるとの意を強くした。その成果を以下に掲載する。2007年度はこの成果を精緻化、拡張しこれを発表できる形とすることを目標とする。

ゲーム理論における数理

2.1 概括

- 行動様式としての Nash 均衡
 - (N, X_i, u_i) : 戦略形ゲーム
ジレンマ型のモデル 共有地の悲劇, 公共財供給ゲーム, 湖の汚染など
Nash 均衡と社会的に最適な水準が異なる。
プリンシパルとエージェントモデル 企業の水平統合, 権利の分権化など
立地モデル 立地, 投票, 製品差別化ゲーム
戦略的代替, 戦略的補完モデル 優モジュラーゲーム, Cournot 競争, Bertrand 競争
新産業組織論
 - (N, X_i, u_i, T_i, P) : Bayesian ゲーム
オークション
非対称情報のモデル 逆選択 (adverse selection) のゲーム, 保険契約など
道徳的危険 (moral hazard) のゲーム, 労働契約
 - 繰り返しゲーム — フォーク定理
 - 調整過程としての Nash 均衡
 - 進化ゲーム, 社会ゲーム — 再生動学, 最適反応動学, 完全予見動学
 - 学習理論 — 仮想行動, バイズ学習, 適応的学習
- ⇒ 均衡選択
進化や学習の過程に従って, どの Nash 均衡が実現されるのか。

ゲーム理論で標準的なモデルである戦略形ゲームを利用した応用例を考察する。

2.2 ジレンマ型のモデル

とあるアパートに住んでいる n 人が、それぞれ部屋の暖房の設定温度を決めるという問題を考察する。暖房の設定温度は高め (H) と低め (L) しかなく、高め (H) に設定すると 1000w の、低め (L) に設定すると 500w の電力を消費するとする。設定温度が高 n めの時の住人の効用を 10 、低めの時を 5 とおく。住人の総電力利用量 (Q) が c を超えるとブレーカーが落ち、電力が使えない状況になる。ここで、話を面白くするために、 $500n < c < 1000n$ を仮定する。つまり、住人全員が同時に H の温度設定にすることはできないとする。

アパートに住んでいる i さんの戦略集合 X_i は設定温度のなので、 $X_i = \{H, L\}$ と表記される。 k を設定温度 L を選んだ住人の人数とすると、総電力利用料は $Q(k) = 500k + 1000(n - k) = 1000n - 500k$ となる。これらの設定から i さんの利得関数は（式が入るとここからコピーが出来ない状態）

(式)

となる。

この様なアパートの住人の意思決定問題を Nash 均衡を利用して考察してみる。

グラフの挿入

1. K^* 人が L , $n - k^*$ 人が H となる戦略の組は Nash 均衡になる。
2. $K^* - 2$ 人以下が L , それ以外が H となる戦略の組は Nash 均衡になる。
3. $K^* - 1$ 人が L , $n - k^* + 1$ 人が H となる戦略の組は Nash 均衡ではない。

特に、全員が H という戦略の組が Nash 均衡になり、利己心の追求の結果、全体としては、好ましくない状況が起こりうることをこのモデルは示唆している。このタイプのモデルは、若干の修正を施すことで、環境問題などにも応用されている。

2.3 湖の汚染

湖の周辺に n の工場が生産活動をしているとする。それぞれの工場は湖水を利用して生産を行い、その後、廃水を湖に流すものとする。各工場の経営者は、工場廃水の浄化装置をつける (C) か、つけない (D) かのいずれかを選択をしなければならない。つまり、 $X_i = \{C, D\}$ とする。装置の設置には、 A の費用がかかり、実際に廃水を浄化するには、浄化装置をつけていない工場の数 (これを k とく) だけの費用がかかるとする。各工場の費用は経営者の戦略に依存し、工場 i の費用を、

$$c_i(x_1, \dots, x_n) := \begin{cases} A + k_i L & \text{if } x_i = C \\ (k_i + 1)L & \text{if } x_i = D \end{cases}$$

と特定化する。ここで、 k_i は i を除いて浄化装置をつけていない工場の数、 kL を湖の浄化装置を実際に稼働させる費用とする。費用に関して、 $L < A < nL$ を仮定する。通常の最大化問題と同じように考えるため、利得関数を $u_i(x_1, \dots, x_n) = -c_i(x_1, \dots, x_n)$ と考える。

- (D, \dots, D) が唯一の Nash 均衡になる。

$$\begin{aligned} u_i(D, \cdot) - u_i(C, \cdot) &= -(k_i + 1)L - (-A - k_i L) \\ &= A - L \\ &> 0 \quad \text{D が支配戦略になる。} \end{aligned}$$

2.4 産業組織理論への応用（垂直統合）

企業間の垂直的な取引について考える。部品メーカーが最終財メーカーへ財を供給し、最終財メーカーが財を市場に供給するという状況を考察する。最初に1部品メーカー、1最終財メーカーのモデルを考察する。続いて、部品メーカー、最終財メーカーが寡占の状況を考察する。

2.4.1 独占的な状況

図の挿入

部品メーカーの費用関数を $c(x) = x^2$ とする。最終財メーカーの費用関数を $C(y) = y^2$ 、部品メーカーから財を価格 q で購入する。一単位の部品から財を一単位生産すると仮定する。つまり、 $y = x$ という生産関数を持つとする。最終財メーカーは、価格 p で最終財 y を供給する。市場の逆需要関数を $p = a - y$ とする。

1. 系列なし（最終財メーカーが独占）のケース

部品メーカーの利潤は、 $\pi(x) = qx - x^2$ にて与えられる。これより、利潤を最大にする供給量 x を求めると、 $q = 2x$ となる。部品メーカーの供給関数である。次に最終財メーカーの利潤は、 $\Pi(y) = py - y^2 - qy$ と定式化される。最終財メーカーは独占企業として行動するので、 $q = 2x$ 、 $p = a - y$ を代入して、利潤は、 $\Pi(y) = (a - y)y - y^2 - 2y^2$ となる。利潤を最大にする最終財 y の供給量は、 $a - 2y - 2y - 4y = 0$ より、 $y = a/8$ と求まる。

これらより、

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

を得る。ゆえに、部品メーカーと最終財メーカーの利潤の和は、

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

となる。

2. 系列あり（垂直統合）のケース

両企業が系列関係、垂直統合されている事に注意する。両企業の利潤の和は、

$$\pi + \Pi = py - y^2 - qx + qx - x^2$$

となる。部品メーカーは最終財メーカーへ、内部取引を行う。需要関数 $p = a - x$ 、生産関数 $y = x$ などを代入することで、利潤は、

$$\pi + \Pi = (a - y)y - 2y^2$$

と求まる。利潤を最大にする最終財の供給量は、 $a - 6y = 0$ より、 $y = a/6$ となる。

これらより、

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

ゆえに、部品メーカーと最終財メーカーが垂直統合した場合の利潤は、

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

となる。

ケース1、ケース2の利潤を比較すると $5a^2/64 < a^2/12$ より、系列関係を維持する場合は、系列関係を解消するよりも両企業の利潤の合計が高くなることがわかる。

- 系列関係維持のケースが系列関係解消よりも両企業合計利潤が高い。

3. 競争的部品市場 (q を所与として行動) のケース

部品メーカーが複数存在し、競争的な部品市場の場合を考察する。最終財メーカーは、独占企業ではあるが、部品価格 q をコントロールすることができないことに注意。この事によって、部品市場が競争的であることを表す。

最終財メーカーの利潤は、 $\Pi(y) = py - y^2 - qx$ 。生産関数 $y = x$ や市場需要関数 $p = a - y$ を代入すると、 $\Pi(x) = (a - x)x - x^2 - qx$ となる。利潤を最大にする部品 x の投入量 (要素需要量) は、 $a - 4x = q$ になる。これは、部品市場の需要関数になっている。

需給の一致のグラフ

部品市場は競争市場であるので需給の一致より、

$$x = a/6$$

と求まる、ケース2と同じ取引量になっている点に注意。これは、内部取引が競争市場と同じ事をあらわしている。

- 内部取引と競争市場における取引が等しい。

2.5 寡占市場型

部品メーカー、最終財メーカーがともに複占市場のモデルを考察する。図からも明らかのように、取引関係にさまざまな種類がありえる。この小節では、垂直統合はしないが取引企業に制限が課される場合、両企業とも統合し系列を維持するモデルを紹介する。

図の挿入

基本的には独占型のモデルと同じ状況で考察する。部品メーカー1は最終財メーカー1に財を供給し、部品メーカー2は最終財メーカー2に財を供給する。最終財メーカーは共に、市場にて Cournot 競争 (数量競争) を行うとする。部品メーカー i の費用関数を x_i^2 、最終財メーカーの費用関数を $c_i y_i$ とする。最終財メーカー i は部品メーカー i から財を価格 q_i で購入する。一単位の部品から財を一単位生産すると仮定する。つまり、 $y_i = x_i$ という生産関数を持つとする。最終財メーカー i は、逆需要関数が $p = a - y_1 - y_2$ の市場に最終財 y_i を市場に供給する。

1. 部品メーカーと最終財メーカーの統合がないケース。

部品メーカー1の利潤は、

$$\pi_1 = q_1 x_1 - x_1^2.$$

よって、供給関数 $q_1 = 2x_1$ を得る。同様にして、部品メーカー2の利潤は、

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

となるので、供給関数は $q_2 = 2x_2$ となる。

最終財メーカー1の利潤は、 $\Pi_1 = p y_1 - c_1 y_1 - q_1 x_1$ 、また、最終財メーカー2の利潤は、 $\Pi_2 = p y_2 - c_2 y_2 - q_2 x_2$ である。逆需要関数、部品メーカーの供給関数を代入すると、それぞれ、

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

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

となる。一回の条件より、

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

を得る. 同様にして, 最終財メーカー 2 も導出してまとめると,

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

になる. これらより, Nash 均衡を求める.

$$\begin{aligned} y_1 &= (5a - 6c_1 + c_2)/35, & y_2 &= (5a - 6c_2 + c_1)/35 \\ x_1 &= (5a - 6c_1 + c_2)/35, & x_2 &= (5a - 6c_2 + c_1)/35 \\ q_1 &= 2(5a - 6c_1 + c_2)/35, & q_2 &= 2(5a - 6c_2 + c_1)/35 \\ p &= (5a + c_1 + c_2)/7 \end{aligned}$$

また, 部品メーカー, 最終財メーカーの統合利潤は

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

となる.

2. 部品メーカーと最終財メーカーが統合したケース

部品メーカー i と最終財メーカー i が統合するので, 状況は 2 企業の Cournot 競争として捉えられる. 部品メーカー i と最終財メーカー i の統合をグループ企業 i と呼ぶことにする. グループ企業 1 の利潤は,

$$\begin{aligned} \pi_1 + \Pi_1 &= py_1 - c_1 y_1 - x_1^2 \\ &= (a - y_1 - y_2)y_1 - c_1 y_1 - y_1^2 \end{aligned}$$

また, グループ企業 2 の利潤は

$$\pi_2 + \Pi_2 = (a - y_1 - y_2)y_2 - c_2 y_2 - y_2^2$$

一回の条件より, 最適反応関数を導出すると,

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

となる. これらより, Nash 均衡を求める.

$$\begin{aligned} y_1 &= (3a - 4c_1 + c_2)/15, & y_2 &= (3a - 4c_2 + c_1)/15 \\ p &= (3a + c_1 + c_2)/5 \end{aligned}$$

グループ企業 1 の利潤は,

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

となる.

- $c_1 = c_2 = c$ の時, ケース 1 の利潤 > ケース 2 の利潤となる. つまり, 統合しない場合が利潤が高いことになる.

2.6 フランチャイズ契約, 再販売価格維持

卸売り業と小売業のフランチャイズ契約, 再販売価格維持などの契約について考察を加える.

図の挿入

垂直統合を行わない場合のケース

1 卸売り企業1 小売業の市場を考察する。卸売り企業は小売業へ財 x を価格 q にて販売し、小売業はその財を $y = x$ という生産関数にて加工し、価格 p にて販売するものとする。市場需要を $y = a - p$ とする。卸売り企業の限界費用を c と特定化する。

小売企業の利潤は

$$\pi_r = (p - q)(a - p)$$

であるので、一回の条件 $a - 2p + q = 0$ より、

$$p = \frac{a + q}{2}, y = \frac{a - q}{2}, \pi_r = \left(\frac{a - q}{2}\right)^2$$

を得る。

$x = y$ と $y = (a - q)/2$ に注意しつつ、卸売り企業の利潤を書き下すと、

$$\begin{aligned} \pi_m &= (q - c)x \\ &= (q - c)\left(\frac{a - c}{2}\right) \end{aligned}$$

となる。一回の条件 $a/2 - q + c/2 = 0$ より、

$$q = \frac{a + c}{2}, p = \frac{3a + c}{4} =: p^{NI} \quad \pi_m = \frac{1}{2} \left(\frac{a - c}{2}\right)^2$$

を得る。

これらより、卸売り、小売企業の合計利潤は、

$$\Pi^{NI} = \pi_m + \pi_r = \frac{3}{16}(a - c)^2$$

となる。

垂直統合された場合

二企業が統合している状況を考察する。利潤は、

$$(p - c)(a - p)$$

となるので、一回の条件から

$$p = \frac{a + c}{2} =: p^I, \Pi^I := \left(\frac{a - c}{2}\right)^2$$

を得る。

- $p^I < p^{NI}$, $\Pi^I > \Pi^{NI}$
- 市場での価格は、非統合（市場取引を経由した状況）の価格の方が統合時の価格よりも低い。また、統合時の利潤は非統合の合計利潤を上回る。

フランチャイズ契約

卸売り企業は小売企業への販売の際、フランチャイズ料金 A も課す場合を考察する。即ち、小売企業は、卸売り企業から x 単位財を購入するには、 $qx + A$ という支払いをする。このようなフランチャイズ契約における卸売り企業にとっての最適なフランチャイズ料金を求める。

図の挿入

小売企業の利潤は, フランチャイズ料金 A を課されるので,

$$\pi_r = (p - q)(a - p) - A$$

となる. 一回の条件 $a - 2p + q = 0$ から,

$$p = \frac{a + q}{2}, y = \frac{a - q}{2}, \pi_r = \left(\frac{a - c}{4}\right)^2 - A$$

を得る.

卸売り企業の利潤は,

$$\pi_m = (q - c) \left(\frac{a - c}{2}\right) + A$$

と書き下されるので, 一回の条件から,

$$q = \frac{a + c}{2}, \pi_m = \frac{1}{4}(a - c)^2 + A$$

を得る. これらから, フランチャイズ料金を

$$A = \left(\frac{a - c}{4}\right)^2$$

と設定することで, 卸売り企業は小売企業の利潤をそのまま奪うことが可能となる. 即ち, $\pi_r = 0$, $\pi_m = \frac{3}{16}(a - c)^2$ とできる.

- フランチャイズ料金の設定によって, 卸売り企業は, 小売企業と卸売り企業の合計利潤を得ることが可能となる.

再販売価格維持

卸売り企業が小売企業の販売価格 p を制限できる状況を考察する. 卸売り企業は, 小売企業に対し, 販売価格を \bar{p} と制限したとする. このような再販売価格維持制度における卸売り企業にとっての最適な再販売価格を求める.

図の挿入

卸売り企業は, 再販売価格維持によって小売企業の行動を制御できる. そのため, 卸売り企業が限界費用 c で需要関数が $y = a - p$ の市場に直接販売している状況とみなすことができる. そこで卸売り企業の利潤があたかも

$$\pi_m = (p - c)(a - p)$$

であるとする. 一回の条件 $a - 2p + c = 0$ から, $p = (a + c)/2$, $y = (a - c)/2$ を得る. この価格を再販売価格とする. 即ち,

$$\bar{p} = \frac{a + c}{2}$$

と設定する. 小売企業の利潤は,

$$\begin{aligned} \pi_r &= (\bar{p} - q)(a - \bar{p}) \\ &= \left(\frac{a + c}{2} - q\right) \left(a - \frac{a + c}{2}\right) \end{aligned}$$

となる. そこで, 卸売り企業は, 財 x の販売価格を

$$q = \frac{a + c}{2}$$

と設定することで小売企業の利潤を奪うことが可能となる。このことから、卸売り企業の利潤は、

$$\begin{aligned}\pi_m &= (q-c)x \\ &= \left(\frac{a+c}{2}-c\right)\left(\frac{a-c}{2}\right) \\ &= \frac{1}{4}(a-c)^2\end{aligned}$$

となる。

- 卸売り企業は垂直統合の利潤を再販売価格維持制度を利用して実現することが可能になる。
- 卸売り企業にとって、再販売価格維持制度の方がフランチャイズ契約よりも高い利潤を実現することが可能になる。

2.7 製品差別化

立地モデルの区間を製品差別の度合いと解釈し、更に、各企業が価格競争を行うというモデルを考察する。製品差別と価格競争を同時にモデル化する1つの方法を紹介する。

第一ステージ。このステージでは、両企業が企業の立地位置を決める。

1. $N_1 = \{\text{企業1, 企業2}\}$
2. $X_j^1 = [0, 1] \ni x_j$ (立地, 製品差別の度合い)

第二ステージ。このステージでは、企業が価格競争に直面する。価格を決定するステージ。

1. $N_2 = \{\text{企業1, 企業2}\}$
2. $X_j^2 = [0, \infty) \ni p_j$ (企業 j の価格)

第三ステージ。このステージでは、消費者がどの企業から財を購入するのかを決定し、ゲームが終了する。

1. $N_3 = [0, 1] \ni i$ (消費者の集合)
2. $X_i^3 = \{\text{企業1より購入, 企業2より購入}\}$ (消費者 i の行動集合)
3. $u_i(\text{企業 } j \text{ より購入}) = u - p_j - c(i - x_j)^2$ (消費者 i の効用)

部分ゲーム完全均衡の導出

以下の分析では、 $x_1 \leq x_2$ を仮定して計算を進める。反対のケースも同様に計算できる。

第三ステージの行動。

消費者 i の行動を決める。

$$\begin{aligned}u_i(\text{企業1より購入}) &= u - p_1 - c(i - x_1)^2 \\ u_i(\text{企業2より購入}) &= u - p_2 - c(i - x_2)^2.\end{aligned}$$

これより、企業1, 2の分岐点 \bar{x} は、 $u - p_1 - c(\bar{x} - x_1)^2 = u - p_2 - c(\bar{x} - x_2)^2$ をみだす。よって、

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2} + \frac{p_2 - p_1}{2c(x_2 - x_1)}.$$

- p_1 が上昇するにつれ、第1企業からの購入者が減少する。

第二ステージ以降の行動

第三ステージの消費者の行動を下に、両企業は価格競争をする。製品差別の度合い、 $x_1, x_2 \in [0, 1]$ を所与の下で、各企業の利潤は、

$$\begin{aligned}\pi_1^2(p_1, p_2) &= p_1 \left(\frac{x_1 + x_2}{2} + \frac{p_2 - p_1}{2c(x_2 - x_1)} \right) \\ \pi_2^2(p_1, p_2) &= p_2 \left(1 - \frac{x_1 + x_2}{2} - \frac{p_2 - p_1}{2c(x_2 - x_1)} \right).\end{aligned}$$

反応関数はそれぞれ、

$$\begin{aligned}p_1 &= \frac{p_2}{2} + \frac{x_2^2 - x_1^2}{2}c \\ p_2 &= \frac{p_1}{2} + c(x_2 - x_1)\left(1 - \frac{x_2 + x_1}{2}\right).\end{aligned}$$

以上より、第二ステージ以降の Nash 均衡は、

$$\begin{aligned}p_1^* &= \frac{2}{3}c(x_2 - x_1)\left(1 + \frac{x_1 + x_2}{2}\right) \\ p_2^* &= \frac{2}{3}c(x_2 - x_1)\left(2 - \frac{x_1 + x_2}{2}\right).\end{aligned}$$

価格が決まったので、分岐点 \bar{x} は、

$$\bar{x} = \frac{1}{3} + \frac{x_1 + x_2}{6}$$

となる。

- x_1 と x_2 の差が大きくなると、 p_1 と p_2 が上昇する。つまり、製品差別化が価格競争を和らげる。

図の挿入：反応曲線のグラフ

第一ステージ以降の行動

第三ステージの消費者の行動や、第二ステージでの価格競争に関する予想がたったので、これらを利用して、第一ステージの行動を分析する。最初のステージでは、両企業が製品差別の度合い（製品の品質）を決める。両企業の利潤関数は、

$$\begin{aligned}\pi_1^1(x_1, x_2) &= p_1^* \bar{x} \\ &= \frac{2}{3}c(x_2 - x_1)\left(1 + \frac{x_1 + x_2}{2}\right)\left(\frac{1}{3} + \frac{x_1 + x_2}{6}\right) \\ &= \frac{2}{9}c(x_2 - x_1)\left(1 + \frac{x_1 + x_2}{2}\right)^2 \\ \pi_2^1(x_1, x_2) &= p_2^*(1 - \bar{x}) \\ &= \frac{2}{3}c(x_2 - x_1)\left(2 - \frac{x_1 + x_2}{2}\right)\left(\frac{1}{3} + \frac{x_1 + x_2}{6}\right).\end{aligned}$$

反応関数は、 $x_1 = \frac{1}{3}x_2 - \frac{2}{3}$ になる。よって、 $x_2 \in [0, 1]$ を考えて、 $x_1 = 0$ となる。この時、 $x_2 = 1$ が第 2 企業の利潤を最大にしていることもわかる。

図の挿入: 反応曲線のグラフ

以上より、部分ゲーム完全均衡は、 $x_1 = 0, x_2 = 1, p_1^* = p_2^* = c, \bar{x} = 1/2$ になる。

- 企業 1 は 0 を、企業 2 は 1 を選択。つまり、完全に製品差別化を行う。消費者を半分に分けあうのが部分ゲーム完全均衡になる。

2.8 戦略的貿易政策

貿易理論への応用を紹介する。自国と外国の貿易をゲームにより表現し、自国企業に有利な状況を作り出す政策手段は何かを考察する。このような政策は戦略的貿易政策と呼ばれている。

2.8.1 戦略的代替関係 (Cournot 型)

1. 輸出補助金政策

図の挿入

(1) 補助金なしの場合

Cournot 競争と等しい状況になる。両企業の利潤はそれぞれ、

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

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

となる。一回の条件より反応関数は、

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

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

となる。これらより、Nash 均衡は、

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

(2) 輸出補助金政策の場合

第一企業（第一国の企業）にのみ補助金が課された場合を考察する。両企業の利潤はそれぞれ、

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

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

となる。一回の条件より反応関数は、

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

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

になるので、Nash 均衡は、

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

と求まる。第一企業の均衡における利潤は、

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

となることから、補助金額を割り引いた純余剰 (net surplus) は、

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

となる。純余剰を最大にする最適な補助金額（戦略的補助金額と呼ばれる）は、

$$s^* = (a - 2c_1 + c_2)/4$$

と求まる。続いて補助金の効果を計算する。

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

であることから最適な補助金額を課すことで第一企業の純余剰が増加していることがわかる。

- 第一企業の最適生産量は, $x_1^*(s^*) = (a - 2c_1 + c_2)/2$.
- 第一企業への最適補助金額は, $s^* = (a - 2c_1 + c_2)/4$.

Stackelberg 競争との比較

最適補助金額の下での第一企業の生産量は, Stackelberg 競争での第一企業の生産量と一致する. 政府の補助金によって, ゲームが Cournot 競争から Stackelberg 競争へ移行したと解釈できる.

第一企業が先に行動し, その後に第二企業が行動する Stackelberg 競争では, 第一企業の利潤は, 第二企業の最適反応を考慮に入れるので,

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

となる. 利潤最大化の生産数量は,

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

と求まる.

- $x_1^*(s^*) = x_1^S$ 即ち,
最適補助金下での生産量 = Stackelberg 競争での生産量

2. 輸入関税政策

第一国の政府が第二企業 (第二国の企業) へ輸入関税を課す場合を考察する. 両企業の利潤はそれぞれ,

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

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

となる. 一回の条件より反応関数は,

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

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

になる. これより, Nash 均衡は

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

と求まる. 第一企業の均衡における利潤は,

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

となる.

- $t \uparrow \Rightarrow \begin{cases} p(t) = (a + c_1 + c_2 + t)/3 \uparrow \\ x_1(t) + x_2(t) = (2a - c_1 - c_2 - t)/3 \downarrow \\ \text{Consumer Surplus decreases} \quad \pi_1(t) \uparrow \quad tx_2 \uparrow \end{cases}$
- 社会的余剰は $w(t) = \text{c.s.} + \pi_1(t) + tx_2$
- 最適関税の効果は, $w(t^*) - w(0) > 0$ なので有効となる.

2.8.2 戦略的補完関係 (Bertrand 型)

図の挿入

1. Bertrand 競争

ベンチマークとして通常の Bertrand 競争を考察する。両企業の利潤はそれぞれ、

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

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

となる。一回の条件より最適反応は、

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

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

と求まる。これらより、Nash 均衡は、

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

と計算される。

2. 輸出補助金政策

第一企業（第一国の企業）にのみ補助金が課された場合を考察する。両企業の利潤はそれぞれ、

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

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

となる。第一企業の最適反応は、一回の条件より

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

と求まる。これより、Nash 均衡は、

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

になる。

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

補助金政策の効果について考察する。

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

よって、

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

を得る。このことから補助金政策は第一企業の利潤を減少させることがわかる。

$$\bullet \quad \text{Bertrand 競争において補助金政策は負の効果を持つ。}$$

3. 輸出関税政策

第一企業が輸出する際に、第一国の政府が第一企業に税金を課す輸出関税政策を考察する。第二企業は固定されているので第一企業に注目する。利潤は、

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

となるので、最適反応関数は、

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

と求まる。このことから Nash 均衡は、

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

になる。

- 輸出関税政策によって両国の企業の利潤が上昇する。正確には、ある \bar{t} に対して、 $0 < t < \bar{t}$ を満たす t について、 $\pi_1(t) \uparrow$ & $\pi_2(t) \uparrow$ 0。

4. 輸入関税政策

第一国の政府が第二国の企業に関税を課す場合を考察する。それぞれの利潤は

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

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

となる。一回の条件より最適反応関数は

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

と求まるので、Nash 均衡は、

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

になる。

- $p_1(t) > p_1(0)$, $p_2(t) > p_2(0)$. 輸入関税政策により両企業の価格が上昇する。
- 消費者者余剰が減少する。
- 第一企業の利潤 $\pi_1(t)$ が上昇する。
- 第一企業の生産数量が上昇し、第二企業の生産数量は減少する。

2.9 ADVERSE SELECTION

○ Adverse Selection

保険企業と保険加入者とを考える。

記号:

Θ : a non-empty finite set.

(購入者のタイプの集合)

S : a non-empty finite set.

(事象の集合)

$\{w_s^0\}_{s \in S}$: 任意の $s \in S$ に対して、 $w_s^0 > 0$.

(各事象における資産)

$\{\hat{p}_i\}_{i \in \Theta}$: 任意の $i \in \Theta$ に対して、 $\sum_{s \in S} \hat{p}_i(s) = 1$ が成立するような S から $[0, 1]$ への函数。

(信念)

$$\begin{aligned}
 u: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \text{ such that } u' > 0 > u'' & \quad \text{(効用関数)} \\
 c \geq 0 & \quad \text{(支払額 (購入者の受取額))} \\
 p \geq 0 & \quad \text{(保険料)}
 \end{aligned}$$

ASSUMPTION:

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \{H, L\}. \\
 S &= \{G, B\}. \\
 0 &< \hat{\rho}_L(B) < \hat{\rho}_H(B) < 1.
 \end{aligned}$$

NOTATION: $\rho_L = \hat{\rho}_L(B)$ and $\rho_H = \hat{\rho}_H(B)$.

解釈: H はハイリスクの購入者を, L はローリスクの購入者をそれぞれ表している. G は事故なし, B は事故ありの事象をそれぞれ表している.

● ゲームの手順.

1. 保険会社が契約プラン $\mathbf{L} = (w_G, w_B)$ を提示.
2. 契約を結ぶ.
3. 事象が分かる.

但し, $w_G = w_G^0 - p$, $w_B = w_B^0 - p + c$.

契約プランは事象毎にどのような投資額になるのかを示す.

1. 準備

・ 購入者の期待効用

$$E_u^i(\mathbf{L}) = \rho_i u(w_B) + (1 - \rho_i) u(w_G) \quad i = H, L.$$

・ 無差別曲線の図示

$w_B(w_G)$ とおいて, w_G で微分する.

$$\begin{aligned}
 \rho_i u(w_B(w_G)) + (1 - \rho_i) u(w_G) &= \bar{u}. \\
 \rho_i u'(w_B(w_G)) w_B'(w_G) + (1 - \rho_i) u'(w_G) &= 0.
 \end{aligned}$$

よって,

$$\begin{aligned}
 w_B'(w_G) &= -\frac{1 - \rho_i}{\rho_i} \frac{u'(w_G)}{u'(w_B(w_G))} < 0. \\
 w_B''(w_G) &= -\frac{1 - \rho_i}{\rho_i} \frac{u''(w_G) u'(w_B(w_G)) - u'(w_G) u''(w_B(w_G)) w_B'(w_G)}{(u'(w_B(w_G)))^2} > 0.
 \end{aligned}$$

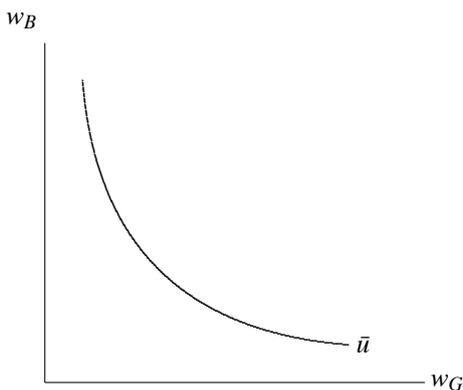


図 1. $E u(\mathbf{L})$ の無差別曲線

2. タイプが区別可能

・ 保険会社の期待利潤

$$\begin{aligned}
 E\pi(\mathbf{L}) &= \rho_i(p - c) + (1 - \rho_i)p \\
 &= \rho_i(w_B^0 - w_B) + (1 - \rho_i)(w_G^0 - w_G).
 \end{aligned}$$

等利潤曲線は傾き $-\frac{1 - \rho_i}{\rho_i}$ の右下がりの直線となる.

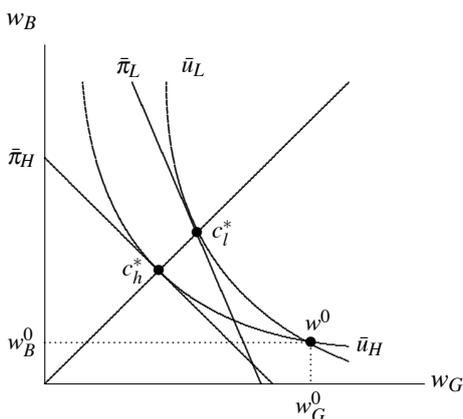


図 2. 最適契約

図の書き順

- (1) 点 w^0 を描く.
- (2) 無差別曲線 \bar{u}_H および \bar{u}_L を描く.
- (3) 45 度線を記入する.
- (4) 等利潤線を描く.

各購入者は効用を最大化するような保険を購入する. その中で, 利潤を最大にする保険を各購入者に提示する.

REMARK: 最適契約は, c_h^* をタイプ H へ, c_l^* をタイプ L へそれぞれ提示する.

3. タイプが区別できない (逆選択)

保険会社は、購入者のタイプは区別できないが、 c_h^*, c_l^* を提示するとする。

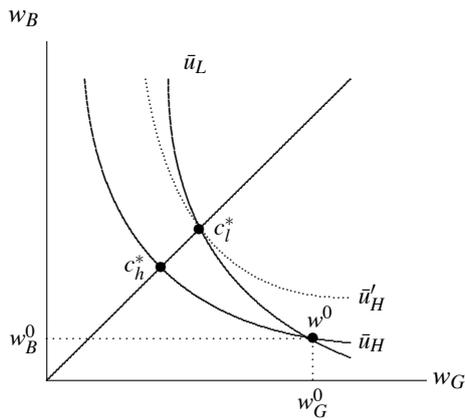


図3. 逆選択

REMARK:

- タイプ H の購入者は c_l^* を購入.
- 期待利潤が減少.
- タイプ H の購入者にとって

$$\rho_H u(w_D^l) + (1 - \rho_H) u(w_G^l) > \rho_H u(w_B^h) + (1 - \rho_h) u(w_B^h)$$

となり、タイプを L と偽って表明した方が得になる。

4. 解決の手段 1

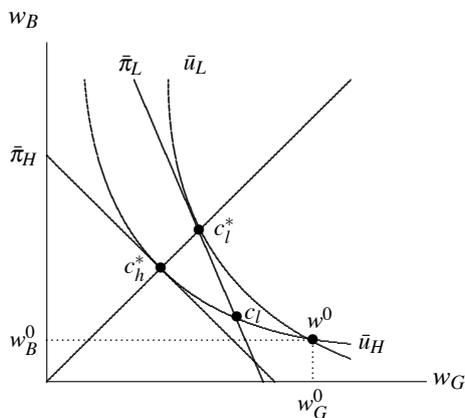


図4. 解決の手段 1

REMARK:

- c_h^* と c_l を提案.
- タイプ H の購入者は c_h^* と c_l とが無差別.
- タイプ L の購入者は $Eu(c_l) < Eu(c_l^*)$ となる。→ 個人合理性 (参加制約) を満たさない.
- 購入者はタイプ H のみ.

5. 解決の手段 2 (自己選択)

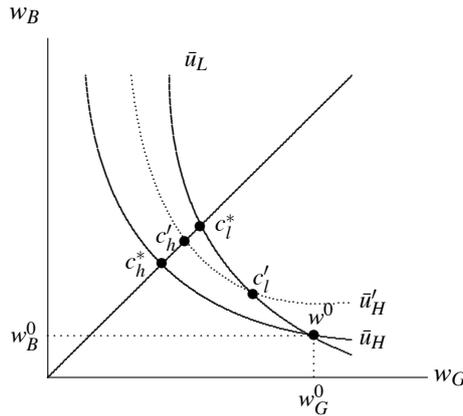


図 5. 自己選択

REMARK:

- c'_h と c'_l を提案.
- タイプ H の購入者は c'_h を購入 (タイプ H の購入者はタイプが区別できないことから得をしている).
- タイプ L の購入者は c'_l を購入.
- タイプ H の契約は完全保証 ($w_B = w_G$ の状況).

6. Principal-Agent モデル

q を購入者がタイプ H である確率, $1 - q$ を購入者がタイプ L である確率とする.
 このとき Principal-Agent モデルによる次善的契約は次の問題の解である.

$$\begin{aligned} & \max_{\{w_B^i, w_G^i\}_{i=H,L}} qE\pi(w_B^H, w_G^H) + (1 - q)E\pi(w_B^L, w_G^L) \\ & \text{such that } \rho_i u(w_B^i) + (1 - \rho_i)u(w_G^i) \geq \rho_i u(w_B^0) + (1 - \rho_i)u(w_G^0) \quad \forall i \in \{H, L\} \quad (IR) \\ & \rho_i u(w_B^i) + (1 - \rho_i)u(w_G^i) \geq \rho_i u(w_B^j) + (1 - \rho_i)u(w_G^j) \quad \forall i, j \in \{H, L\} \quad (IC) \end{aligned}$$

(IR) は Individual Rationality の略で, 個人合理性 (参加) 条件と呼ばれる.
 (IC) は Incentive Compatibility の略で, 誘引両立条件と呼ばれる.

2.10 ADVERSE SELECTION II

o Adverse Selection

自己選択な労働契約を考える.

記号:

- Θ : a non-empty finite set. (労働者のタイプの集合)
- $\hat{q}: \sum_{i \in \Theta} \hat{q}(i) = 1$ が成立するような Θ から $[0, 1]$ への函数. (信念)
- $U: \Theta \times \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$. (効用函数)
- \underline{u} : a real number. (留保効用)
- $\Pi: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$. (企業の利潤函数)

ASSUMPTION:

(i) $\Theta = \{G, B\}$.

(ii) There are $u, d : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ and $k > 1$ such that

$$u' > 0 > u'',$$

$$d' > 0, d'' > 0 \text{ and } d(0) = 0,$$

$$U^G(w, e) = u(w) - d(e) \text{ and } U^B(w, e) = u(w) - kd(e).$$

(iii) There are $\pi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ such that

$$\pi' > 0 > \pi'',$$

$$\Pi(w, e) = \pi(e) - w.$$

NOTATION: $\hat{q}(G) = q$.

解釈: G は効率的な労働者, B は効率的ではない労働者を表している. $u(w)$ と $d(w)$ は, 賃金, w , からの効用と努力水準からの不効用とをそれぞれ表している. $k > 1$ はタイプ B の労働者の方が努力水準からの不効用が高いことを表している. $\pi(e)$ は労働者の努力水準, e , からの売上を表す. したがって労働者の努力水準に応じて売上が変わる. 労働市場におけるタイプ G の労働者の比率を q , タイプ B の比率を $1 - q$ とする.

注: 労働者の努力水準, e , は立証可能 (契約に書ける) 事を仮定する.

● ゲームの手順.

1. 企業が契約プラン $\{(w, e)\}$ を提示.
2. 契約を結ぶ.
3. 事象が分かる.

1. 準備

・労働者の無差別曲線の図示

$e(w)$ において, w で微分する. 以下, G タイプで計算する.

$$u(w) - d(e(w)) = \bar{u}.$$

$$u'(w) - d'(e(w))e'(w) = 0.$$

よって,

$$e'(w) = \frac{u'(w)}{d'(e(w))} > 0,$$

$$e''(w) = \frac{u''(w)d'(e(w)) - u'(w)d''(e(w))e'(w)}{\{d'(e)\}^2} < 0.$$

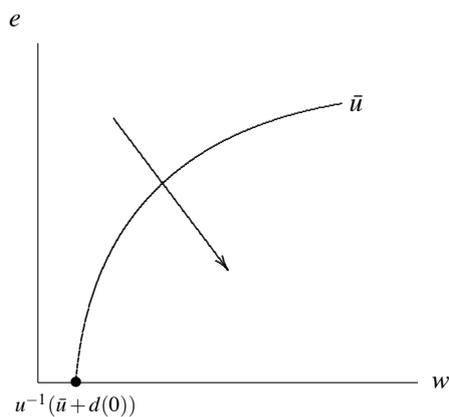


図 1. タイプ G の無差別曲線

但し, $u(w_0) - d(0) = \bar{u}$ なので, $u(w_0) = \bar{u} + d(0)$. したがって, $w_0 = u^{-1}(\bar{u} + d(0)) = u^{-1}(\bar{u})$.

・ 企業の無差別曲線の図示

$$\begin{aligned} \pi(e(w)) - w &= \bar{\pi}. \\ \pi'(e(w))e'(w) - 1 &= 0. \end{aligned}$$

よって,

$$\begin{aligned} e'(w) &= \frac{1}{\pi'(e(w))} > 0, \\ e''(w) &= -\frac{\pi''(e(w))e'(w)}{\{\pi'(e)\}^2} > 0 \end{aligned}$$

となる.¹

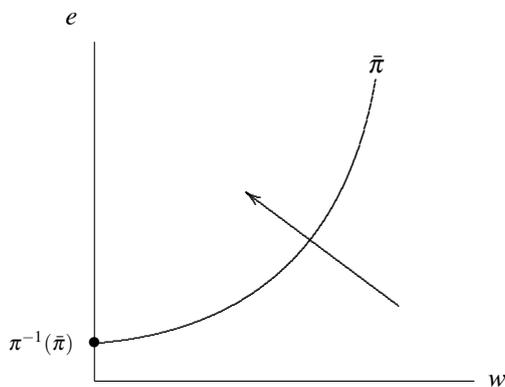


図 2. 企業の無差別曲線

但し, $w = 0$ のとき $\pi(e_0) = \bar{\pi}$ なので, $e_0 = \pi^{-1}(\bar{\pi})$.

2. タイプが区別可能

労働者の留保水準を \underline{u} とする. このとき労働者の個人合理性条件 (IR) は,

$$\begin{aligned} u(w^G) - d(e^G) &\geq \underline{u}, \\ u(w^B) - d(e^B) &\geq \underline{u}. \end{aligned}$$

¹2 式目と 4 式目に誤植がありましたので修正しました.

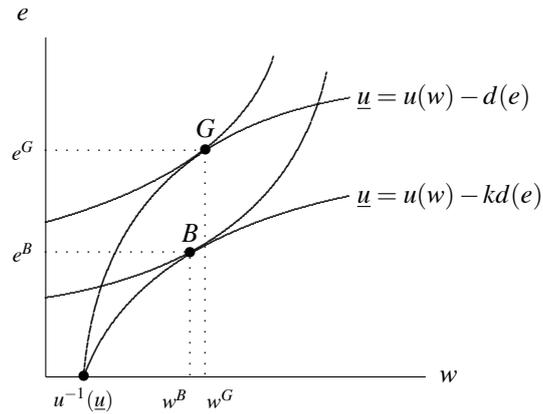


図3. 最適契約

REMARK: 最適契約は、タイプGとタイプBとに、 (w^G, e^G) と (w^B, e^B) とをそれぞれ提示する。ここで、

$$\pi'(e^G) = \frac{d'(e^G)}{u'(w^G)},$$

$$\pi'(e^B) = \frac{kd'(e^B)}{u'(w^B)}.$$

3. タイプが区別できない

企業は、労働者のタイプを区別できないが、上の (w^G, e^G) と (w^B, e^B) とを提示するとする。

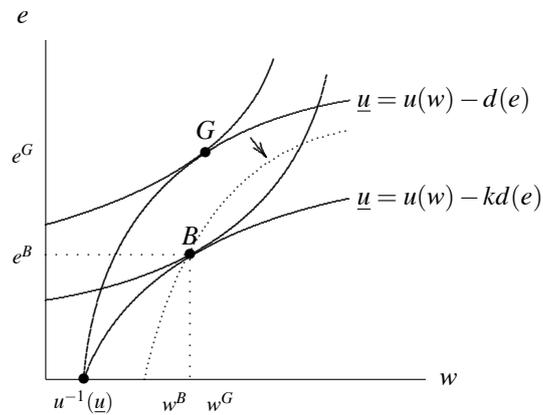


図4. 逆選択

REMARK:

- タイプGの労働者は (w^B, e^B) の契約を結ぶ。
- 期待利潤が減少。
- タイプGの購入者にとって

$$u(w^B) - d(e^B) > u(w^G) - d(e^G)$$

となり、タイプをBと偽って表明した方が得になる。

4. 自己選択の契約

$$\begin{aligned} \max_{\{e^i, w^i\}_{i=G,B}} & q\{\pi(e^G) - w^G\} + (1-q)\{\pi(e^B) - w^B\} \\ \text{such that } & u(e^G) - d(w^G) \geq \underline{u} & (\text{IR-G}) \\ & u(e^B) - kd(w^B) \geq \underline{u} & (\text{IR-B}) \\ & u(e^G) - d(w^G) \geq u(e^B) - d(w^B) & (\text{IC-G}) \\ & u(e^B) - kd(w^B) \geq u(e^G) - kd(w^G). & (\text{IC-B}) \end{aligned}$$

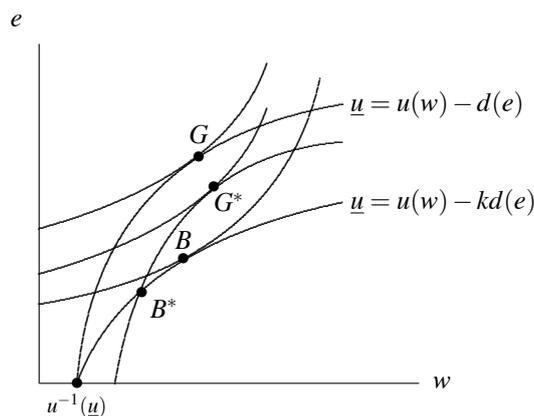


図 5. 自己選択

REMARK:

- G^* と B^* とでタイプを分離.
- $w^{G^*} > w^G$,
 $e^{G^*} < e^G$.
- $w^{B^*} < w^B$,
 $e^{B^*} < e^B$.
- G タイプは高賃金. 努力水準はどちらのタイプも低下. $e^{G^*} > e^{B^*}$.

IC より

$$k(d(e^G) - d(e^B)) \geq u(w^G) - u(w^B) \geq d(e^G) - d(e^B),$$

即ち, $(k-1)d(e^G) \geq (k-1)d(e^B)$ が成立する. $k > 1$ より $d(e^G) \geq d(e^B)$ が成立するので, $e^G \geq e^B$.

特徴付け:

- (i) $u(w^{G^*}) - d(e^{G^*}) = \underline{u} + (k-1)d(e^{B^*})$.
- (ii) $u(w^{B^*}) - kd(e^{B^*}) = \underline{u}$.
- (iii) $\pi'(e^{G^*}) = \frac{d'(e^{G^*})}{u'(w^{G^*})}$.
- (iv) $\pi'(e^{B^*}) = \frac{kd'(e^{B^*})}{u'(w^{B^*})} + \frac{q(k-1)}{(1-q)} \times \frac{d'(e^{B^*})}{u'(w^{G^*})}$.

注) IR-G の条件が他から導出: adverse selection 型制約の特徴.

$$\begin{aligned} u(w^G) - d(e^G) &\geq u(w^B) - d(e^B) \quad (\text{IC-G}) \\ &\geq u(w^B) - kd(e^B) \quad (k > 1) \\ &\geq \underline{u} \quad (\text{IR-B}) \end{aligned}$$

Lagrange を次のように定義する.

$$\begin{aligned} L = & q\{\pi(e^G) - w^G\} + (1-q)\{\pi(e^B) - w^B\} \\ & + \lambda_1(u(e^B) - kd(w^B) - \underline{u}) \\ & + \lambda_2(u(e^G) - d(w^G) - u(e^B) + d(w^B)) \\ & + \lambda_3(u(e^B) - kd(w^B) - u(e^G) + kd(w^G)) \end{aligned}$$

f.o.c:

$$e^G: \quad q\pi'(e^G) - \lambda_2 d'(e^G) + \lambda_3 k d'(e^G) = 0. \quad (1)$$

$$e^B: \quad (1-q)\pi'(e^B) - \lambda_1 k d'(e^B) + \lambda_2 d'(e^B) - \lambda_3 k d'(e^B) = 0. \quad (2)$$

$$w^G: \quad -q + \lambda_2 u'(w^G) - \lambda_3 u'(w^G) = 0. \quad (3)$$

$$w^B: \quad -(1-q) + \lambda_1 u'(w^B) - \lambda_2 u'(w^B) + \lambda_3 u'(w^B) = 0. \quad (4)$$

STEP 1: (ii). (3) 式と (4) 式より,

$$\lambda_1 = \frac{q}{u'(w^G)} + \frac{1-q}{u'(w^B)} > 0$$

IR-B は bind \rightarrow 特徴付けの (ii) が成立する.

(1) 式と (2) 式より,

$$\lambda_1 k = \frac{q\pi'(e^G)}{d'(e^G)} + \frac{(1-q)\pi'(e^B)}{d'(w^B)} > 0.$$

STEP 2: (i). $\lambda_2 \geq 0$. $\lambda_2 > 0$ と仮定すると, (3) 式より

$$\lambda_3 = -\frac{q}{u'(w^G)} < 0$$

となり矛盾. したがって $\lambda_2 > 0$. よって IC-G も bind. すると,

$$\begin{aligned} u(w^G) - d(e^G) &= u(w^B) - d(e^B) \\ &= u(w^B) - kd(e^B) + (k-1)d(e^B) \\ &= \underline{u} + (k-1)d(e^B). \end{aligned}$$

以上より, (i) が成立する.

参) $e^G = e^B$ ならば, $u(w^G) - u(w^B) = 0$ となり $w^G = w^B$. このとき

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{q}{u'(w)} + \lambda_3 = q\lambda_1 + \lambda_3, \\ \lambda_2 &= \frac{q\pi'(e)}{d'(e)} + k\lambda_3 = q\lambda_1 k + k\lambda_3 = k(q\lambda_1 + \lambda_3) \end{aligned}$$

となり矛盾. したがって, $e^G > e^B$.

STEP 3: (iii). $e^G > e^B$ より, IC-G と IC-B が両方同時に等号で成立することはない. よって $\lambda_3 = 0$ (IC-G が等号ではないので). (1) 式と (3) 式より,

$$\lambda_2 = \frac{q}{u'(w^G)} = \frac{q\pi'(e^G)}{d'(e^G)}$$

となり

$$\pi'(e^G) = \frac{d'(e^G)}{u'(w^G)}.$$

したがって (iii) が成立する.

STEP 3: (iv). (2) 式より,

$$-\lambda_2 = \frac{(1-q)\pi'(e^B)}{d'(e^B)} - \lambda_1 k.$$

(4) 式より,

$$-\lambda_2 = \frac{(1-q)}{u'(w^B)} - \lambda_1.$$

よって

$$\frac{(1-q)\pi'(e^B)}{d'(e^B)} - \lambda_1 k = \frac{(1-q)}{u'(w^B)} - \lambda_1.$$

$$\begin{aligned} \frac{(1-q)\pi'(e^B)}{d'(e^B)} - \frac{(1-q)}{u'(w^B)} &= \lambda_1(k-1) \\ &= \frac{q(k-1)}{u'(w^G)} + \frac{(1-q)(k-1)}{u'(w^B)} \\ \therefore \frac{(1-q)\pi'(e^B)}{d'(e^B)} - \frac{(1-q)k}{u'(w^B)} &= \frac{q(k-1)}{u'(w^G)} \end{aligned}$$

よって

$$\pi'(e^B) = \frac{q(k-1)}{1-q} \frac{d'(e^B)}{u'(w^G)} + \frac{kd'(e^B)}{u'(w^B)}$$

となり (iv) が成立する.

2.11 Mechanism Design and Implimentation

- ・ Mechanism Design (制度設計)
 - ・ Implimentation (実行理論)
- } Principal-Agent (P-A) モデルの発展版

○ EXAMPLE: WALKER² MECHANISM (W.M., from now on).

$$u_1(x_1, y) = x_1 + \log y, \quad \omega_1,$$

$$u_2(x_2, y) = x_2 + 2 \log y, \quad \omega_2,$$

$$u_3(x_3, y) = x_3 + 2 \log y, \quad \omega_3.$$

但し, $x_i (i = 1, 2, 3)$ は私的財, y は公共財, $\omega_i (i = 1, 2, 3)$ は initial endowment.

²人名.

LE(Lindahl Equilibrium):

$$\begin{aligned} \max \quad & x_1 + \log y \\ \text{subject to} \quad & x_1 + q_1 y \leq \omega_1 \end{aligned}$$

FONK is $x_1 = \omega_1 - 1$. $y = 1/q_1$. $\therefore q_1 = 1/y$.

$$\begin{aligned} \max \quad & x_2 + 2 \log y \\ \text{subject to} \quad & x_2 + q_2 y \leq \omega_2 \end{aligned}$$

FONK is $x_2 = \omega_2 - 2$. $y = 2/q_2$. $\therefore q_2 = 2/y$.

Similarly, $x_3 = \omega_3 - 2$. $y = 2/q_3$. $\therefore q_3 = 2/y$.

• $x_1 + x_2 + x_3 + y = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3$.

$$\begin{aligned} y &= \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - (x_1 + x_2 + x_3) \\ &= \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_1 + 1 - \omega_2 + 2 - \omega_3 + 2 \\ &= 5. \end{aligned}$$

Hence the LE is $(\underbrace{\omega_1 - 1, \omega_2 - 2, \omega_3 - 2}_{\text{private good}}, \underbrace{5}_{\text{public good}}, \underbrace{1/5, 2/5, 2/5}_{\text{Lindahl tax}})$.

The SFG induced from W.M. is

$$\begin{aligned} u_1(m_1, m_2, m_3) &= x_1(m_1, m_2, m_3) + \log y(m_1, m_2, m_3) \\ &= \omega_1 - q_1(m)y(m) + \log y(m), \\ u_2(m_1, m_2, m_3) &= \omega_2 - q_2(m)y(m) + 2 \log y(m), \\ u_3(m_1, m_2, m_3) &= \omega_3 - q_3(m)y(m) + 2 \log y(m). \end{aligned}$$

但し, message $m = (m_1, m_2, m_3)$ は欲しい公共財の量.

$$\begin{aligned} y(m) &= m_1 + m_2 + m_3, \\ q_1(m) &= \frac{1}{3} + m_3 - m_2, \\ q_2(m) &= \frac{1}{3} + m_1 - m_3, \\ q_3(m) &= \frac{1}{3} + m_2 - m_1. \end{aligned}$$

NE(Nash Equilibrium):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial m_1} = 0 &\implies -q_1(m) + \frac{1}{m_1 + m_2 + m_3} = 0, \\ \frac{\partial u_2}{\partial m_2} = 0 &\implies -q_2(m) + \frac{2}{m_1 + m_2 + m_3} = 0, \\ \frac{\partial u_3}{\partial m_3} = 0 &\implies -q_3(m) + \frac{2}{m_1 + m_2 + m_3} = 0. \end{aligned}$$

$\therefore m_1 + m_2 + m_3 = 5$. $m_1 = 5/3$, $m_2 = 26/15$, $m_3 = 8/5$.

Using this NE strategy, we conclude

$$\begin{aligned} x_1(m) &= \omega_1 - 1, x_2(m) = \omega_2 - 2, x_3(m) = \omega_3 - 3, \\ y(m) &= 5, \\ q_1(m) &= \frac{1}{5}, q_2(m) = \frac{2}{5}, q_3(m) = \frac{2}{5}. \end{aligned}$$

This is the LE of this public econ.

◦ MECHANISM DESIGN (NASH IMPLIMENTATION).

Definition 1 $(N, X, Y, \{u_i, \omega_i\}_{i \in N})$ is a *public good economy* if

1. $N = \{1, \dots, n\}$,
2. $X = \mathbb{R}_+$, (private good)
3. $Y = \mathbb{R}_+$, (public good)
4. $u_i : X \times Y \rightarrow \mathbb{R}$,
5. $\omega_i \in X$. (initial endowment)

Definition 2 $(q^*, x^*, y^*) \in \mathbb{R} \times X^n \times Y$ is a *Lindahl equilibrium* if

1. $\forall i \in N$,

$$u_i(x_i^*, y^*) = \max_{x_i, y_i} u_i(x_i, y_i)$$

subject to $1 \cdot x_i + q_i^* y_i \leq \omega_i$.

2. $\forall i \in N, y^* = y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^* + y^* \leq \sum_{i=1}^n \omega_i$.

Definition 3 $(N, \{M_i\}_{i \in N}, Z, g)$ is a *game form, mechanism* if

1. $N = \{1, \dots, n\}$,
2. M_i is a set, (message set)
3. Z is a set, (outcome set)
4. $g : \prod_{i=1}^n M_i \rightarrow Z$. (outcome function)

Definition 4 Let $(N, X, Y, \{u_i, \omega_i\}_{i \in N})$ be a public good economy. $(N, \{M_i\}_{i \in N}, Z, g)$ is called a *Walker mechanism* if

1. $N = \{1, \dots, n\}$,
2. $M_i = \mathbb{R}$,
3. $Z = X^n \times Y$,
4. $g : \prod_{i=1}^n M_i \rightarrow X^n \times Y$ such that

$$q_i(m_1, \dots, m_n) = \frac{1}{n} + m_{i+2} - m_{i+1},$$

$$x_i(m_1, \dots, m_n) = \omega_i - q_i(m_1, \dots, m_n)y(m_1, \dots, m_n),$$

$$y(m_1, \dots, m_n) = \sum_{i=1}^n m_i,$$

$$g(m_1, \dots, m_n) = (x_1(m), \dots, x_n(m), y(m))$$

Definition 5 The *SFG* which is induced from Walker mechanism is giben by $(N, \{M_i, u_i \circ g\}_{i \in N})$, where

$$u_i(g(m_1, \dots, m_n)) = u_i(x_i(m_1, \dots, m_n), y(m_1, \dots, m_n)).$$

Theorem 1 If (m_1^*, \dots, m_n^*) is a NE, $g(m_1^*, \dots, m_n^*)$ is the Lindahl equilibrium.

Proof. Let m^* be a NE. By the definition of Walker mechanism,

$$\begin{aligned} q_i(m^*) &= \frac{1}{n} + m_{i+2}^* - m_{i+1}^*, \\ x_i(m^*) &= \omega_i - q_i(m^*)y(m^*). \end{aligned}$$

Then

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i(m^*) &= \sum_{i=1}^n (\omega_i - q_i(m^*)y(m^*)) \\ &= \sum_{i=1}^n \omega_i - y(m^*) \sum_{i=1}^n q_i(m^*) \\ &= \sum_{i=1}^n \omega_i - y(m^*) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n} + m_{i+2}^* - m_{i+1}^* \right) \\ &= \sum_{i=1}^n \omega_i - y(m^*). \end{aligned}$$

Therefore $(x_1(m^*), \dots, x_n(m^*), y(m^*))$ satisfies the condition 2 (of LE).

Moreover m^* is a NE in $(N, \{M_i, u_i \circ g\}_{i \in N})$. Then,

$$\begin{aligned} \forall i \in N, \quad u_i(g(m^*)) &\geq u_i(g(m_i, m_{-i}^*)) \quad \text{for all } m_i, \\ \forall i \in N, \quad u_i(x_i(m^*), y(m^*)) &\geq u_i(x_i(m_i, m_{-i}^*), y(m_i, m_{-i}^*)) \quad \text{for all } m_i. \end{aligned}$$

Since $x_i(\cdot, m_{-i}^*)$ and $y(\cdot, m_{-i}^*)$ are bijection, $(q(m^*), x(m^*), y(m^*))$ satisfies the condition 1 (of LE).

Therefore $(q(m^*), x(m^*), y(m^*))$ is the Lindahl equilibrium. ■

2.12 Incomplete Information Game and Bayesian Game

- Incomplete Information Game: ゲームができるほどルール情報が揃っていない。
- Bayesian Game: common prior を仮定。

1. The players may not know the physical outcome function.
2. The players may not know their own or some other player's utility function.
3. The players may not know their own or some other player's strategy spaces.

1, 3: player が正しく戦略集合を認識できない。i.e., X_i の構成。

2: 利得関数の構成。

• 戦略集合。

1. 各 player は真の戦略集合を含めて予想できる。
2. player j の X_i に対する情報の欠落は、 i の利得関数に関する情報の欠落ととらえる (X_i が共有知識)。
3. player j は、 X_i を知っているが、利得関数は正しく知らない。

• 利得関数。

1. player i は j が $T_j = \{t_j^1, \dots, t_j^{m_j}\}$ という有限個の属性で記述できると考えている。
2. 各 player は T_j 上に主観的確率をわり振ると考える。
3. 各 t_i ごとに player i が戦略を決めると考えれば、player j は各 t_i ごとに player i に対する戦略を予想することで利得関数を定められる。

4. 各 player は T_i を知っている と 仮定. T_i に対する情報の欠落は主観確率によって考える.
 5. player i は自分の主観確率 p_i を知っていても相手の p_j については未知.

Definition 6 $(N, \{X_i, T_i, u_i, p_i\}_{i \in N})$ is an *incomplete information game* if

1. $N = \{1, \dots, n\}$, (the set of players)

For all $i \in N$,

2. X_i is a set, (the set of strategies of player i ; 1,3 の解決)
 3. $T_i = \{t_i^1, \dots, t_i^{m_i}\}$, (the set of types of player i)
 4. $u_i : \prod_{j=1}^n X_j \times T_i \rightarrow \mathbb{R}$, (utility function of player i ; 2 の解決)
 5. $p_i \in \Delta(\prod_{i=1}^n T_i)$. (主観確率)

◎ 各 player 毎に異なるゲームを予想 \implies common prior の導入.

- 各 player は事前に共通の確率を持つと考える
- 仮に同一の情報にアクセス可能なら, 主体は等しい主観確率を形成するだろう.

各 player は, 情報構造の違いから, 共通の確率を持っていたとしても事後的には異なる確率分布を持つと考える.

$$p_j(\{t\}|\bar{t}_j) = p(\{t\}|\bar{t}_j) = \frac{p(\{\bar{t}_j, t_{-j}\})}{\sum_{t_{-j}} p(\{\bar{t}_j, t_{-j}\})}.$$

ただし, $t_j \neq \bar{t}_j$ の時は $p(\{t\}|\bar{t}_j) = 0$.

○ タイプ集合から,

$$\mathcal{P}_i := \{\{t_i\} \times T_{-i} | t_i \in T_i\}$$

$(\prod_{j=1}^n T_j, \mathcal{P}_i)$: information structure.

Definition 7 $(N, \{X_i, T_i, u_i\}_{i \in N}, P)$ is a *Bayesian game* if

1. $N = \{1, \dots, n\}$, (the set of players)

For all $i \in N$,

2. X_i is a set, (the set of strategies of player i)
 3. $T_i = \{t_i^1, \dots, t_i^{m_i}\}$, (the set of types of player i)
 4. $u_i : \prod_{j=1}^n X_j \times T_i \rightarrow \mathbb{R}$, (utility function of player i)
 5. $P \in \Delta(\prod_{i=1}^n T_i)$. (common prior)

○ $\Sigma_j := X_j^{T_j}$.

○ ex ante utility function

$$Eu_j(\sigma_1, \dots, \sigma_n) = \sum_{t \in T} P(t) u_j(\sigma_1(t_1), \dots, \sigma_n(t_n), t_j)$$

○ interim utility function

$$Eu_j(\sigma_j(\bar{t}_j), \sigma_{-j}|\bar{t}_j) = \sum_{t \in T} P(t|\bar{t}_j) u_j(\sigma_1(t_1), \dots, \sigma_n(t_n), \bar{t}_j)$$

ex ante には Bayesian game は

$(N, \{\Sigma_i, Eu_i\}_{i \in N})$ という SFG に帰着.

Definition 8 ex ante Bayesian game $(N, \{\Sigma_i, Eu_i\}_{i \in N})$ に対して, $(\sigma_1^*, \dots, \sigma_n^*) \in \Sigma_1 \times \dots \times \Sigma_n$ が NE であるとは,

$$\forall i \quad \forall \sigma_i \in \Sigma_i \quad Eu_i(\sigma_i^*, \sigma_{-i}^*) \geq Eu_i(\sigma_i, \sigma_{-i}^*)$$

が成立することを云う。

Definition 9 Bayesian game の interim の NE σ^* を Bayesian 均衡とよび,

$$\forall i \quad \forall x_i \in X_i \quad \bar{t}_i \in T_i \quad Eu_i(\sigma_i^*(\bar{t}_i), \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i) \geq Eu_i(x_i, \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i).$$

Proposition 1 $\sigma^* \in \Sigma_1 \times \dots \times \Sigma_n$ について, 次の (1) と (2) は同値.

$$(1) \quad \forall i \quad \forall \sigma_i \in \Sigma_i \quad Eu_i(\sigma_i^*, \sigma_{-i}^*) \geq Eu_i(\sigma_i, \sigma_{-i}^*).$$

$$(2) \quad \forall i \quad \forall x_i \in X_i \quad \bar{t}_i \in T_i \quad Eu_i(\sigma_i^*(\bar{t}_i), \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i) \geq Eu_i(x_i, \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i).$$

Proof.

$$(1)' \quad \exists i \quad \exists \sigma_i \in \Sigma_i \quad Eu_i(\sigma_i^*, \sigma_{-i}^*) < Eu_i(\sigma_i, \sigma_{-i}^*).$$

$$(2)' \quad \exists i \quad \exists x_i \in X_i \quad \bar{t}_i \in T_i \quad Eu_i(\sigma_i^*(\bar{t}_i), \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i) < Eu_i(x_i, \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i).$$

(1)' \implies (2)'.

仮に $\forall \bar{t}_i, Eu_i(\sigma_i^*(\bar{t}_i), \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i) \geq Eu_i(x_i, \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i)$ とすると,

$$\sum_{t_i} P(\{t_i\} \times T_{-i}) Eu_i(\sigma_i^*(t_i), \sigma_{-i}^*|t_i) \geq \sum_{t_i} P(\{t_i\} \times T_{-i}) Eu_i(x_i, \sigma_{-i}^*|t_i).$$

よって $Eu_i(\sigma_i^*, \sigma_{-i}^*) \geq Eu_i(\sigma_i, \sigma_{-i}^*)$ となり矛盾。

(2)' \implies (1)'.

i について

$$\sigma_i(t_i) = \begin{cases} x_i & \text{if } t_i = \bar{t}_i, \\ \sigma_i^*(t_i) & \text{if } t_i \neq \bar{t}_i \end{cases}$$

とおくと,

$$\begin{aligned} Eu_i(\sigma_i^*, \sigma_{-i}^*) &= \sum_{t_i} P(\{t_i\} \times T_{-i}) Eu_i(\sigma_i^*(t_i), \sigma_{-i}^*|t_i) \\ &= \sum_{t_i \neq \bar{t}_i} P(\{t_i\} \times T_{-i}) Eu_i(\sigma_i^*(t_i), \sigma_{-i}^*|t_i) + P(\{\bar{t}_i\} \times T_{-i}) Eu_i(\sigma_i^*(\bar{t}_i), \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i) \\ &< \sum_{t_i \neq \bar{t}_i} P(\{t_i\} \times T_{-i}) Eu_i(\sigma_i^*(t_i), \sigma_{-i}^*|t_i) + P(\{\bar{t}_i\} \times T_{-i}) Eu_i(x_i, \sigma_{-i}^*|\bar{t}_i) \\ &= Eu_i(\sigma_i, \sigma_{-i}^*) \end{aligned}$$

■

Theorem 2 If a Bayesian game $(N, \{X_i, T_i, u_i\}_{i \in N}, P)$ satisfies that

1. $X_i \subset \mathbb{R}^{m_i}$; non-empty, convex, compact,
2. T_i is a finite set,
3. $u_i : \prod_{j=1}^n X_j \times T_i \rightarrow \mathbb{R}$; continuous, concave on X_i for all t_i ,

for all $i \in N$, then there exists a Bayesian equilibrium $(\sigma_1^*, \dots, \sigma_n^*)$.

2.13 Auction

・ Bayesian Game の例としては auction と signaling が 2 つの主要なものである。

Auction. Bayesian games の例. See, Vijay Krishna, *Auction Theory*, Elsevier.

◎ First price sealed bid auction.

$N = \{1, \dots, n\}$, (the set of players)
 $X_i = [0, \infty[$, (the set of strategies of player i)
 $T_i = [0, 1]$, (player i の評価額)
 $u_i : \prod_{j=1}^n X_j \times T_i \rightarrow \mathbb{R}$ is defined by

$$u_i(b_1, \dots, b_n, v_i) = \begin{cases} v_i - b_i & \text{if } b_i = \max b_j, \\ 0 & \text{if } b_i < b_j \text{ for some } j, \\ \frac{1}{k}(v_i - b_i) & \text{if } b_i = \max b_j, k \text{ 人が同じ入札額.} \end{cases}$$

$P(\cdot | v_i)$: 一様分布, 各タイプで独立. (common prior)

○ interim expected utility

$$Eu_i(b_i(v_i), b_{-i} | v_i) = (v_i - b_i(v_i)) \overbrace{P(\{v_{-i} | b_i(v_i) > b_j(v_j) \quad \forall j \neq i\} | v_i)}^{i \text{ が落札する確率}}$$

$$\Sigma_i = X_i^{T_i}.$$

Case 1. $\Sigma_i^j := \{b_i = k_i v_i | v_i \in T_i, k_i > 0\} \subset \Sigma_i$

$$\begin{aligned} & P(\{v_{-i} | b_i(v_i) > b_j(v_j) \quad j \neq i\} | v_i) \\ &= P(\{v_{-i} | b_i(v_i) > k_j v_j \quad j \neq i\} | v_i) \\ &= P(\{v_{-i} | b_i(v_i)/k_j > v_j \quad j \neq i\} | v_i) \\ &= \prod_{j \neq i} P(\{v_j | b_i(v_i)/k_j > v_j \quad j \neq i\} | v_i) \quad (\text{独立な分布}) \\ &= \prod_{j \neq i} \frac{b_i(v_i)}{k_j} \quad (\text{一様な分布}). \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに } Eu_i(b_i(v_i), b_{-i} | v_i) = (v_i - b_i(v_i)) \cdot \prod_{j \neq i} \frac{b_i(v_i)}{k_j}.$$

BAYESIAN NASH EQUILIBRIUM.

$$\max_{x_i} (v_i - x_i) \cdot \prod_{j \neq i} \frac{x_i}{k_j}$$

つまり,

$$\max_{x_i} (v_i - x_i) x_i^{n-1} \cdot \prod_{j \neq i} \frac{1}{k_j}.$$

First order condition.

$$\prod_{j \neq i} \frac{1}{k_j} x_i^{n-2} \{(n-1)v_i - n x_i\} = 0.$$

$$\text{ゆえに } x_i = \frac{n-1}{n} v_i.$$

よって $\left(\frac{n-1}{n} v_1, \dots, \frac{n-1}{n} v_n\right)$ が BNE. 自分の評価額の $\left(1 - \frac{1}{n}\right)$ 倍.

2.14 Auction (continued)

Case 2. strictly increasing differentiable ← 線形

$$\Sigma_i^s := \{b \in \Sigma_i \mid b'(v) > 0, \quad b(0) = 0\}.$$

対称な均衡をさがす. $b_i(v_i) = b(v_i)$ として,

$$\begin{aligned} & P(\{v_{-i} \mid b(v_i) > b(v_j) \quad j \neq i\} \mid v_i) \\ &= P(\{v_{-i} \mid b^{-1}(b(v_i)) > v_j \quad j \neq i\} \mid v_i) \\ &= \prod_{j \neq i} P(\{v_{-i} \mid b^{-1}(b(v_i)) > v_j\} \mid v_i) \\ &= \prod_{j \neq i} b^{-1}(b(v_i)). \end{aligned}$$

$$\text{interim expected utility: } Eu_i(b(v_i), b_{-i} \mid v_i) = (v_i - b(v_i)) \cdot [b^{-1}(b(v_i))]^{n-1}.$$

BAYESIAN NASH EQUILIBRIUM.

$$\max_{x_i} (v_i - x_i) \cdot [b^{-1}(x_i)]^{n-1}$$

First order condition.

$$[-b^{-1}(x_i)]^{n-1} + (v_i - x_i)(n-1) \cdot \frac{1}{b'(v_i)} [b^{-1}(x_i)]^{n-2} = 0.$$

$b(v_i) = x_i, b^{-1}(x_i) = v_i$ なので,

$$v_i^{n-1} = (v_i - b(v_i))(n-1) \cdot \frac{1}{b'(v_i)} v_i^{n-2}.$$

よって

$$v_i^{n-1} b'(v_i) = (v_i - b(v_i))(n-1) v_i^{n-2}.$$

これを解くと,

$$b(v_i) = \frac{n-1}{n} v_i.$$

$$\text{ゆえに BNE は } \left(\frac{n-1}{n} v_1, \dots, \frac{n-1}{n} v_n \right).$$

注

$$\begin{aligned} v^{n-1} b'(v) &= (v - b(v))(n-1) v^{n-2}. \\ (v^{n-1} b(v))' &= (n-1) v^{n-2} b(v) + v^{n-1} b'(v) \\ &= (n-1) v^{n-2} b(v) + (v - b(v))(n-1) v^{n-2} \\ &= v(n-1) v^{n-2}. \\ v^{n-1} b(v) &= \int v(n-1) v^{n-2} dv \\ &= \int (n-1) v^{n-1} dv \\ &= \frac{n-1}{n} v^n + K \end{aligned}$$

$b(0) = 0$ より $K = 0$.

$$b(v) = \frac{n-1}{n} v.$$

◎ Second price sealed bid auction.

$u_i : \prod_{j=1}^n X_j \times T_i \rightarrow \mathbb{R}$ is defined by

$$u_i(b_1, \dots, b_n, v_i) = \begin{cases} v_i - \max_{j \neq i} b_j & \text{if } b_i = \max_{j=1, \dots, n} b_j, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

一番高い入札額の人が、二番目に高い入札額で落札する。

Remark 1 $b_i(v_i) = v_i$ が弱支配戦略になる。

Proof. $\forall x_{-i} \in \prod_{j \neq i} X_j$ に対して、 $\alpha_i := \max_{j \neq i} x_j$ とおく。

1. $v_i > \alpha_i$ のケース.

i が落札するので、

$$u_i(v_i, x_{-i}, v_i) \geq u_i(x_i, x_{-i}, v_i) \quad \forall x_i \in X_i.$$

2. $v_i = \alpha_i$ のケース.

$$0 \geq u_i(v_i, x_{-i}, v_i) \geq u_i(x_i, x_{-i}, v_i) \quad \forall x_i \in X_i.$$

3. $v_i < \alpha_i$ のケース.

$$0 = u_i(v_i, x_{-i}, v_i) = u_i(x_i, x_{-i}, v_i) \quad \forall x_i \in X_i.$$

よって $b_i(v_i) = v_i$ は弱支配戦略となる。 ■

◎ 真のタイプを表明することが戦略となる (truth telling, **incentive compatibility**).

2.15 Auction (continued)

○ First price, Second price, English, Dutch auction.

1. First price auction:

期待利得

$$Eu_i(b(v_i), b_{-i} | v_i) = (v_i - b(v_i)) \cdot [b^{-1}(b(v_i))]^{n-1}.$$

Dutch auction:

最初にボタンを押した人が落札するので、

戦略 $b_i : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}_+$.

期待利得 $Eu_i(b(v_i), b_{-i} | v_i) = (v_i - b(v_i))P(\{v_{-i} | b_i(v_i) > b_j(v_j) \quad \forall j\} | v_i)$.

以上2つの auction は「期待利得が等しい」。これを戦略的同等 (strategically equivalent) と云う。

2. Second price auction:

弱支配戦略 $b(v) = v$.

English auction (Japanese auction):

ボタンを最後まで押した人が落札。

$b(v_i) = v_i$ が i の弱支配戦略となる。

∴ $b_i > v_i, b_i < v_i$ でも利得が下がるか同じ。

以上2つの auction は均衡が等しい (ミルグロム=ウエーバー)。

Remark 2

1. Dutch auction と first price auction とは「strategically equivalent」.
2. English auction (Japanese auction) と second price auction とは「均衡が等しい」.

○ Revenue Equivalence. 財の売り手の収入.

・ first price での期待収入.

落札額 $\frac{n-1}{n}v$.

売り手からみた, $\frac{n-1}{n}v$ が起こる確率密度は nv^{n-1} .

期待収入 R_1

$$\begin{aligned} R_1 &= \int_0^1 \frac{n-1}{n}v \times nv^{n-1} dv \\ &= \int_0^1 (n-1)v^n dv \\ &= \left[\frac{n-1}{n+1}v^{n+1} \right]_0^1 \\ &= \frac{n-1}{n+1}. \end{aligned}$$

・ second price での期待収入.

順序統計

X_1, \dots, X_n : random variable(以下, r.v.), 独立??分布.³ 分布関数 F .

Y_i : i 番目に大きい r.v.

$$Y_1 = \max\{X_1, \dots, X_n\}. \quad \text{cf) } Y_1(\omega) = \max\{X_1(\omega), \dots, X_n(\omega)\}.$$

$\{\omega | Y_2(\omega) \leq y\}$ の確率を求めたい.

(2 番目に大きな r.v. が y 以下の事象の確率)

$$\{\omega | Y_2(\omega) \leq y\} = \underbrace{\{\omega | Y_1(\omega) \leq y\}}_{\text{全部が } y \text{ 以下}} \cup \underbrace{\bigcup_{i=1}^n \{\omega | X_i(\omega) > y \geq X_j(\omega) \quad \forall j \neq i\}}_{\text{1 つ } y \text{ 以上がある}}$$

これらは互いに共通部分がない.

$$\begin{aligned} &P(\{\omega | Y_2(\omega) \leq y\}) \\ &= P(\{\omega | Y_1(\omega) \leq y\}) + \sum_{i=1}^n P(\{\omega | X_i(\omega) > y \geq X_j(\omega) \quad \forall j \neq i\}) \\ &= P(\{\omega | Y_1(\omega) \leq y\}) + \sum_{i=1}^n P(\{\omega | X_i(\omega) > y\}) \prod_{j \neq i} P(\{\omega | y \geq X_j(\omega)\}) \\ &= P(\{\omega | Y_1(\omega) \leq y\}) + \sum_{i=1}^n (1 - F(y)) [F(y)]^{n-1} \\ &= [F(y)]^n + n(1 - F(y)) [F(y)]^{n-1}. \end{aligned}$$

よって,

$$\begin{aligned} F_{Y_2}(x) &= [F(x)]^n + n(1 - F(x)) [F(x)]^{n-1}, \\ f_{Y_2}(x) &= n(n-1)(1 - F(x)) [F(x)]^{n-2} f(x) \end{aligned}$$

³入力者注) ??のところは文字が読めませんでした.

落札額 v .

期待収入 R_2

$$\begin{aligned}
 R_2 &= \int_0^1 vn(n-1)(1-v)v^{n-2} dv \\
 &= \int_0^1 n(n-1)(1-v)v^{n-1} dv \\
 &= n(n-1) \int_0^1 (v^n - v^{n-1}) dv \\
 &= n(n-1) \left[\frac{1}{n}v^n - \frac{1}{n+1}v^{n+1} \right]_0^1 \\
 &= n(n-1) \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1} \right) \\
 &= (n-1) - \frac{n(n-1)}{n+1} \\
 &= \frac{(n-1)(n+1-n)}{n+1} \\
 &= \frac{n-1}{n+1}.
 \end{aligned}$$

Remark 3

1. $R_1 = R_2$.

2. $R_1(n+1) - R_1(n) = \frac{2}{(n+2)(n+1)} > 0$ より, 参加者が増えると期待収入増加.

2.16 Risk and Utility (for reference)

Definition 10 Let $u : X \rightarrow \mathbb{R}$ be any utility function and $Eu : \Delta(X) \rightarrow \mathbb{R}$ be any expected utility function.

1. *risk averse* if, for all $t \in [0, 1]$, $u(tx + (1-t)y) \geq tu(x) + (1-t)u(y)$,
2. *risk neutral* if, for all $t \in [0, 1]$, $u(tx + (1-t)y) = tu(x) + (1-t)u(y)$,
3. *risk lover* if, for all $t \in [0, 1]$, $u(tx + (1-t)y) \leq tu(x) + (1-t)u(y)$.

注

- $Eu(tL_1 + (1-t)L_2) = tEu(L_1) + (1-t)Eu(L_2)$.
- リスク回避的な個人が, リスクの存在する商品を好むこともある.

例) 次のようなくじ L と C を考える.



図 1. くじと賞金

L は確率 0.9 で 12 が, 確率 0.1 で 8 が当たるようなくじである. 一方 C は確実に 10 がもらえるようなくじである.

個人の効用が $u(x) = \sqrt{x}$ で与えられているとする. するとこの個人は risk averse である. 期待効用を計算すると,

$$Eu(L) = 0.9\sqrt{12} + 0.1\sqrt{8} = 3.40 > 3.16 = \sqrt{10} = Eu(C)$$

となり, リスクのある L の方を好む.

○ 効用関数とリスク態度を知る.

● 実験のアイデア

くじを $L = (x, y; p, 1-p)$ で与える.

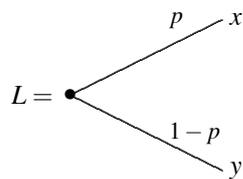


図2. くじと賞金

このとき $u(C) = pu(x) + (1-p)u(y)$ を満たす C を実験でさがす.

例) $x = 1, y = 0, u(x) = 1, u(y) = 0$ とする.

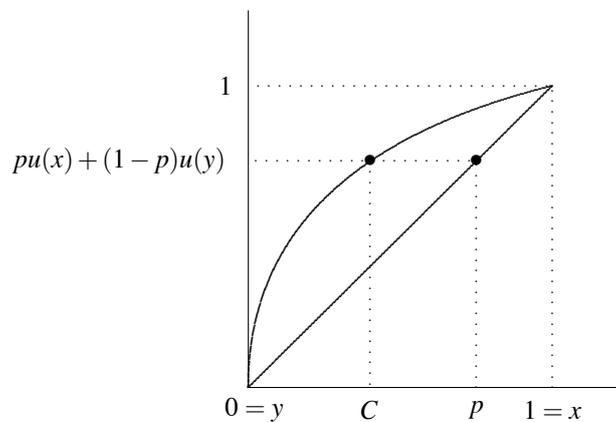


図3. 賞金と期待効用

ここで,

- $C \leq p$ ならば, リスク回避的,
- $C = p$ ならば, リスク中立的,
- $C \geq p$ ならば, リスク愛好的.

実験手順.

1. 被験者に L のくじの販売価格 X を聞く.
2. 被験者がランダムにくじの購入価格 Z を決める.
 - $Z \geq X$ ならば, Z で販売.
 - $Z < X$ ならば, 被験者はくじを引く. その賞金を得る.

3. L を変えてくり返す.

Remark 4 $X = C$ とするのが弱支配戦略 (但し, C は $u(C) = pu(x) + (1-p)u(y)$ を満たすもの).

∴) (期待効用を仮定する.)

	$z < c$	$c < z < x$	$x < z$
$X = C$ と設定	$pu(x) + (1-p)u(y)$	$u(z)$	$u(z)$
$X > C$ と設定	$pu(x) + (1-p)u(y)$	$pu(x) + (1-p)u(y)$	$u(z)$

$C < Z, u$ は増加であることから, $pu(x) + (1-p)u(y) = u(C) < u(Z)$.

	$z < c$	$c < z < x$	$x < z$
$X = C$ と設定	$pu(x) + (1-p)u(y)$	$u(z)$	$u(z)$
$X < C$ と設定	$pu(x) + (1-p)u(y)$	$pu(x) + (1-p)u(y)$	$u(z)$

$X = C$ とするのが弱支配戦略となる. ■

例) $x = 1, y = 0, u(x) = 1, u(y) = 0$ とする.



図 4. くじと賞金

0 くじ L についていくらで売りますか?

1 $X = 1/4 \rightarrow$ この人はリスク回避的

2 くじ L' についていくらで売りますか?

3 $X = 1/2$.

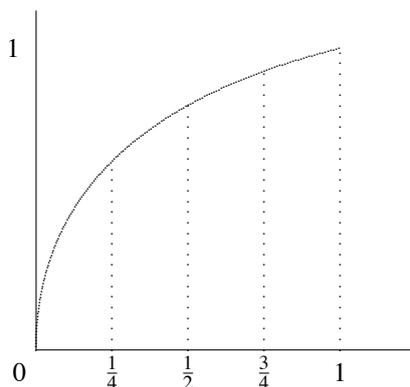


図 5. 賞金と期待効用

確率や金額を変えて, 効用関数を求める.

○ risk averse v.s. risk neutral

利得関数: リスク回避的な利得関数

$$u_i(b_1, \dots, b_n, v_i) = \begin{cases} u(v_i - b_i(v_i)) & \text{if } i \text{ が落札,} \\ u(0) = 0 & \text{if } i \text{ 以外が落札.} \end{cases}$$

$u' > 0 > u''$: risk averse の仮定.

- リスクに対する態度でどのような違いが生じるか?

First Price Auction

$$\begin{aligned} Eu_i(b_1, \dots, b_n, v_i) &= u(v_i - b(v_i))b^{-1}(b(v_i))^{n-1} \\ \max_{x_i} u(v_i - x_i)b^{-1}(x_i)^{n-1} \end{aligned}$$

first order condition は,

$$0 = -u'(v_i - x_i)b^{-1}(x_i)^{n-1} + u(v_i - x_i)(n-1) \times \frac{1}{b'(v_i)} \times b^{-1}(x_i)^{n-2}.$$

ゆえに

$$\begin{aligned} b'(v_i) &= \frac{u(v_i - x_i)(n-1)}{u'(v_i - x_i)b^{-1}(x_i)} \\ &= \frac{u(v_i - x_i)(n-1)}{u'(v_i - x_i)v_i} \quad (\because v_i = b^{-1}(x_i)) \\ &=: b'_A(v_i) \end{aligned}$$

risk neutral のケース

$$b'(v_i) = \frac{(v_i - x_i)(n-1)}{v_i} =: b'_N(v_i).$$

参) u : strictly concave なので $u(z) > u'(z)z$.

$$\begin{aligned} b'_A(v_i) - b'_N(v_i) &= \frac{u(v_i - x_i^A)(n-1)}{u'(v_i - x_i^A)v_i} - \frac{(v_i - x_i^N)(n-1)}{v_i} \\ &> (v_i - x_i^A) \frac{n-1}{v_i} - \frac{(v_i - x_i^N)(n-1)}{v_i} \\ &= \frac{n-1}{v_i} (v_i - x_i^A - v_i + x_i^N) \\ &= \frac{n-1}{v_i} (x_i^N - x_i^A) \\ &= \frac{n-1}{v_i} (b_N(v_i) - b_A(v_i)). \end{aligned}$$

ただし,

$x_i^A = b_A(v_i)$: risk averse のときの bid,

$x_i^N = b_N(v_i)$: risk neutral のときの bid.

参)

$$\begin{aligned} p(v) &:= \exp\left(-\int_v^1 \frac{n-1}{x} dx\right) \\ p'(v) &= \frac{n-1}{v} \exp\left(-\int_v^1 \frac{n-1}{x} dx\right) \\ &= p(v) \frac{n-1}{v}. \end{aligned}$$

すると,

$$\begin{aligned}
 & \frac{d}{dv_i} [p(v_i)(b_A(v_i) - b_N(v_i))] \\
 &= p'(v_i)(b_A(v_i) - b_N(v_i)) + p(v_i)(b_A(v_i) - b_N(v_i))' \\
 &> p'(v_i)(b_A(v_i) - b_N(v_i)) + p(v_i) \frac{n-1}{v_i} (b_N(v_i) - b_A(v_i)) \\
 &= p(v_i) \frac{n-1}{v_i} (b_A(v_i) - b_N(v_i)) - p(v_i) \frac{n-1}{v_i} (b_A(v_i) - b_N(v_i)) \\
 &= 0.
 \end{aligned}$$

したがって, $p(v_i)(b_A(v_i) - b_N(v_i)) > 0$. よって $b_A(v_i) > b_N(v_i)$.

Remark 5

1. First price auction では $b_A(v_i) > b_N(v_i)$ が成立する. 即ち, リスク回避者の方がリスク中立的な個人よりも高い入札額.
2. リスク回避的な効用の下では,

First price auction の期待収入 > Second price auction の期待収入.

∴ 1 は既に示した.

SPA において u : risk averse ならば, $b_i(v_i) = v_i$ が弱支配戦略となる. したがって,

$$\begin{aligned}
 \text{FPA(リスク中立的)の期待収入} &= \text{SPA(リスク中立的)の期待収入} \\
 &= \text{SPA(リスク回避的)の期待収入.}
 \end{aligned}$$

一方

$$\text{FPA(リスク回避的)の期待収入} > \text{FPA(リスク中立的)の期待収入.}$$

よって所望の結果を得る.

2.17 実験経済

○ 歴史

個人的選択 (意思決定) からスタート

↓ Allais, Ellsberg...
ゲーム論の実験

- シミュレーション アクセルロッド他...
- PD の実験, 交渉ゲームなど 不平等回避によるアプローチ (利得関数の修正)

V. Smith: 実験の手法を確立.

目的: 理論との整合性, 新理論構築の為

○ 実験と実証分析

実証:

既存のデータを利用. 容易に入手.

マイクロデータが存在しないこともある。
長期的, 大規模な経済モデル。

実験:

必要なデータを生成する。
実験費が高価。
短期的, 小規模な経済モデル。

○心理学との比較

実験心理:

一般に妥当する人間の諸活動。
経験的な法則性の発見。
実験の為に被験者を騙すこともある。
報酬が一定なことが多い。

$B = f(E, P)$ の f を発見。

但し, B, E および P は, behavior, environment および personality をそれぞれ表す。

実験経済:

特定の制度（モデル）下で妥当する法則。
理論との整合性。
実験の為に被験者を騙すことがない（詳しい説明）
報酬が人により異なることも多い。

○期待効用の実験

以下では $u(0) = 0$ として考える。

● Allais の実験。

以下の図のような4つのくじ A, B, C および D を考え, 次のような2つの質問を行う。

Q1. A と B とどちらを好みますか？

Q2. C と D とどちらを好みますか？

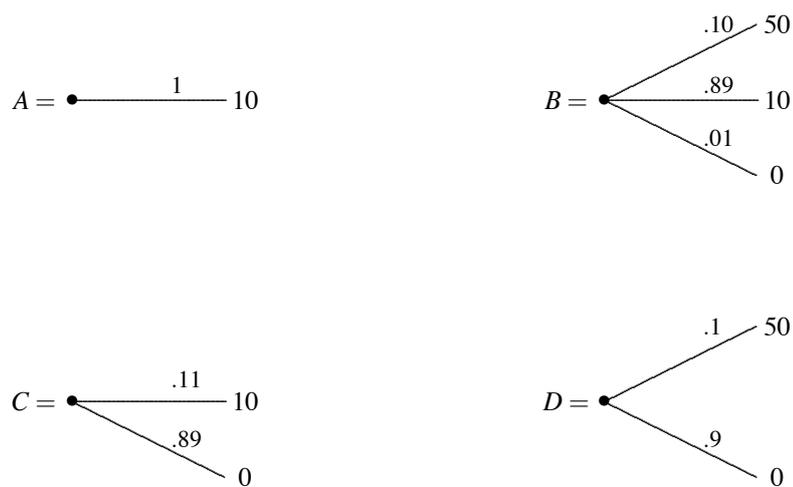


図 1. Allais の実験: くじと賞金

・結果: 多くの人は

$$A \succ B \text{ and } D \succ C$$

を選択する. しかしこれは期待効用の理論とは整合的ではない. なぜならば,

$$\begin{aligned} A \succ B &\iff u(10) > 0.1u(50) + 0.89u(10) \\ &\iff 0.11u(10) > 0.1u(50) \\ &\iff 1.1u(10) > u(50), \\ D \succ C &\iff 0.1u(50) > 0.11u(10) \\ &\iff u(50) > 1.1u(10) \end{aligned}$$

が成立するが,⁴ これは矛盾である.

• Ellsberg の実験.

300 個のボールが入った箱を考える. 300 個のボールの内 100 個は赤色 (R) のボールであることが分かっている. 残りの 200 個は青色 (B) と黄色 (Y) のボールからなるが, その内訳は分からないとする.

Red	100 個	1/3
Blue	?個	p
Yellow	200-?個	$2/3-p$

このとき, 以下の図のような 4 つのくじ A, B, C および D を考え, 次のような 2 つの質問を行う.

Q1. A と B とどちらを好みますか?

Q2. C と D とどちらを好みますか?

⁴最初の同値関係のところ, 原稿では $0.89u(50)$ となっていたのですが, これは誤植と思われたので訂正しました.

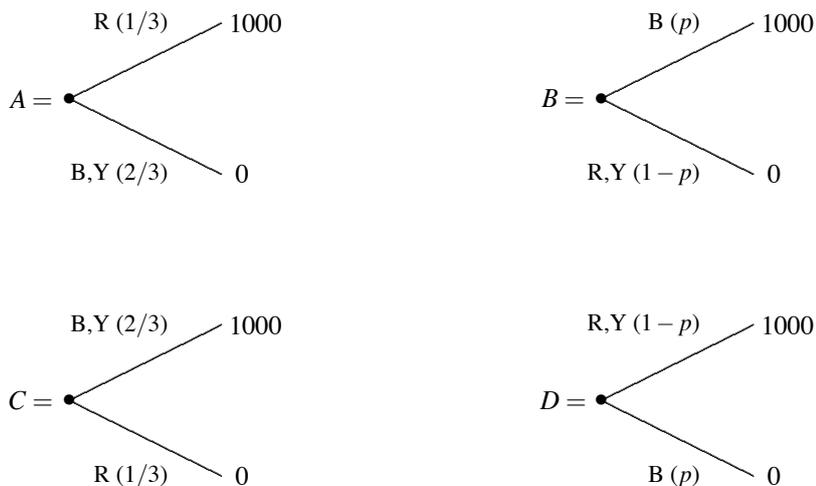


図2. Ellsberg の実験: くじと賞金 (括弧の中身は確率)

・結果: 多くの人は

$$A \succ B \text{ and } C \succ D$$

を選択する. しかしこれは SEU の理論とは整合的ではない. なぜならば,

$$\begin{aligned} A \succ B &\iff \frac{1}{3}u(1000) > pu(1000) \\ &\iff \frac{1}{3} > p, \\ C \succ D &\iff \frac{2}{3}u(1000) > (1-p)u(1000) \\ &\iff p > \frac{1}{3} \end{aligned}$$

が成立するが, これは矛盾である.

○ Ellsberg の実験に対する CEU による整合的な解釈

記号:

$$\Omega = \{R, B, Y\}.$$

$$\mathcal{F} = 2^\Omega.$$

$$\theta : \mathcal{F} \rightarrow [0, 1], \text{ capacity.}^5$$

(状態の集合)
(イベントの集合)
(belief)

但し,

$$\begin{aligned} \theta(\{R\}) &= \frac{1}{3}, & \theta(\{R, Y\}) &= \frac{1}{2}, & \theta(\Omega) &= 1, \\ \theta(\{B\}) &= \frac{1}{4}, & \theta(\{R, B\}) &= \frac{1}{2}, & \theta(\emptyset) &= 0, \\ \theta(\{C\}) &= \frac{1}{4}, & \theta(\{B, C\}) &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

とする.

⁵ $\theta : \mathcal{F} \rightarrow [0, 1]$ が capacity であるとは, $\theta(\emptyset) = 0, \theta(\Omega) = 1$ かつ $A \subset B \implies \theta(A) \leq \theta(B)$ が成立することを云う.

CEU の定理: (Ω, \mathcal{F}) , $\theta: \mathcal{F} \rightarrow [0, 1]$ は capacity, acts x, y は \mathcal{F} -可測, u は効用関数とする. このとき,

$$x \succ y \iff \int (u \circ x)(s) d\theta(s) > \int (u \circ y)(s) d\theta(s).$$

但し, f は Choquet 積分で

$$\int (u \circ x)(s) d\theta(s) = \int_{-\infty}^0 [\theta(\{s|x(s) > k\}) - 1] dk + \int_0^{\infty} \theta(\{s|x(s) > k\}) dk.$$

Ellsberg の実験に戻る. 各くじの CEU を計算すると,

$$\begin{aligned} \int (u \circ A)(s) d\theta(s) &= \int \theta(\{\omega | u(A(s)) > y\}) dy \\ &= \int_0^{u(1000)} \theta(\{R\}) dy \\ &= \frac{1}{3} u(1000), \\ \int (u \circ B)(s) d\theta(s) &= \int \theta(\{\omega | u(B(s)) > y\}) dy \\ &= \int_0^{u(1000)} \theta(\{B\}) dy \\ &= \frac{1}{4} u(1000), \\ \int (u \circ C)(s) d\theta(s) &= \int \theta(\{\omega | u(C(s)) > y\}) dy \\ &= \int_0^{u(1000)} \theta(\{B, Y\}) dy \\ &= \frac{2}{3} u(1000), \\ \int (u \circ D)(s) d\theta(s) &= \int \theta(\{\omega | u(D(s)) > y\}) dy \\ &= \int_0^{u(1000)} \theta(\{R, Y\}) dy \\ &= \frac{1}{2} u(1000), \end{aligned}$$

が成立する. したがって, $A \succ B$ かつ $C \succ D$ が成立する.

2.18 DOUBLE AUCTION

○ Double Auction (市場取引ゲーム)

売り手が売値を, 買い手が買値を提示し, 「売 \leq 買」のときに取引が成立する市場取引ゲーム.

記号:

$$N = \{b, s\}.$$

(プレイヤーの集合)

$$X_i = [0, \infty[.$$

$$T_i = [0, 1].$$

(プレイヤー i の評価額の集合)

$u_i : X_b \times X_s \times T_b \times T_s \rightarrow \mathbb{R}$ is defined by

$$u_b(p_b, p_s, v_b, v_s) = \begin{cases} v_b - \frac{p_b + p_s}{2} & \text{if } p_s \leq p_b, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$u_s(p_b, p_s, v_b, v_s) = \begin{cases} \frac{p_b + p_s}{2} - v_s & \text{if } p_s \leq p_b, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$P(\cdot | v_i)$: 一様分布.

• interim の期待効用

$$Eu_b(p_b, p_s | v_b) = \left\{ v_b - \frac{p_b + E[p_s(v_s) | p_b \geq p_s(v_s)]}{2} \right\} \times P(\{v_s | p_b \geq p_s(v_s)\} | v_b),$$

$$Eu_s(p_b, p_s | v_s) = \left\{ \frac{p_s + E[p_b(v_b) | p_b(v_b) \geq p_s]}{2} - v_s \right\} \times P(\{v_b | p_b(v_b) \geq p_s\} | v_s).$$

ここで, $E[p_s(v_s) | p_b \geq p_s(v_s)]$ は取引が成立するときの p_s の期待値を表している.

• 戦略集合を

$$\Sigma_i^a = \{p_i : T_i \rightarrow X_i | p_i(v_i) = a_i + c_i v_i\}$$

とする.

1. 確率

$$\begin{aligned} P(\{v_s | p_b \geq p_s(v_s)\} | v_b) &= P(\{v_s | p_b \geq a_s + c_s v_s\} | v_b) \\ &= P\left(\left\{v_s \mid \frac{p_b - a_s}{c_s} \geq v_s\right\} \mid v_b\right) \\ &= \frac{p_b - a_s}{c_s}, \\ P(\{v_b | p_b(v_b) \geq p_s\} | v_s) &= P(\{v_b | a_b + c_b v_b \geq p_s\} | v_s) \\ &= P\left(\left\{v_b \mid v_b \geq \frac{p_s - a_b}{c_b}\right\} \mid v_s\right) \\ &= 1 - \frac{p_s - a_b}{c_b}. \end{aligned}$$

2. 条件付期待値

$$\begin{aligned} E[p_s(v_s) | p_b \geq p_s(v_s)] &= E[a_s + c_s v_s | p_b \geq a_s + c_s v_s] \\ &= \frac{c_s}{p_b - a_s} \int_0^{\frac{p_b - a_s}{c_s}} a_s + c_s v_s dv_s \\ &= \frac{c_s}{p_b - a_s} \left[a_s v_s + \frac{1}{2} c_s v_s^2 \right]_0^{\frac{p_b - a_s}{c_s}} \\ &= \frac{c_s}{p_b - a_s} \times \frac{(p_b - a_s)(p_b + a_s)}{2c_s} \\ &= \frac{p_b + a_s}{2}, \\ E[p_b(v_b) | p_b(v_b) \geq p_s] &= E[a_b + c_b v_b | a_b + c_b v_b \geq p_s] \\ &= \frac{c_b}{c_b - p_s + a_b} \int_{\frac{p_s - a_b}{c_b}}^1 a_b + c_b v_b dv_b \\ &= \frac{c_b}{c_b - p_s + a_b} \times \frac{(c_b - p_s + a_b)(c_b + p_s + a_b)}{2c_b} \\ &= \frac{c_b + p_s + a_b}{2}. \end{aligned}$$

3. interim の期待効用

$$Eu_b(p_b, p_s | v_b) = \left\{ v_b - \frac{1}{2} \left(p_b + \frac{p_b + a_s}{2} \right) \right\} \times \frac{p_b - a_s}{c_s},$$

$$Eu_s(p_b, p_s | v_s) = \left\{ \frac{1}{2} \left(p_s + \frac{p_s + a_b + c_b}{2} \right) - v_s \right\} \times \left(1 - \frac{p_s - a_b}{c_b} \right).$$

4. BNE f.o.c. より

$$p_b = \frac{2}{3}v_b + \frac{1}{3}a_s \quad (= c_b v_b + a_b),$$

$$p_s = \frac{2}{3}v_s + \frac{1}{3}(a_b + c_b) \quad (= c_s v_s + a_s).$$

$c_b = 2/3, c_s = 2/3, a_b = 1/12$ かつ $a_s = 1/4$.

BNE は

$$p_b(v_b) = \frac{2}{3}v_b + \frac{1}{12},$$

$$p_s(v_s) = \frac{2}{3}v_s + \frac{1}{4}.$$

5. 取引領域

$$p_b \geq p_s \iff \frac{2}{3}v_b + \frac{1}{12} \geq \frac{2}{3}v_s + \frac{1}{4}$$

$$\iff v_b \geq v_s + \frac{1}{4}.$$

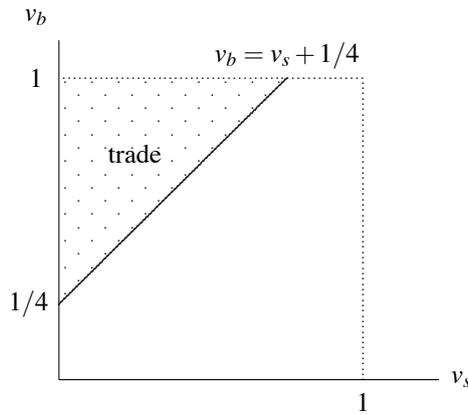


図 1. 取引領域

6. 意義

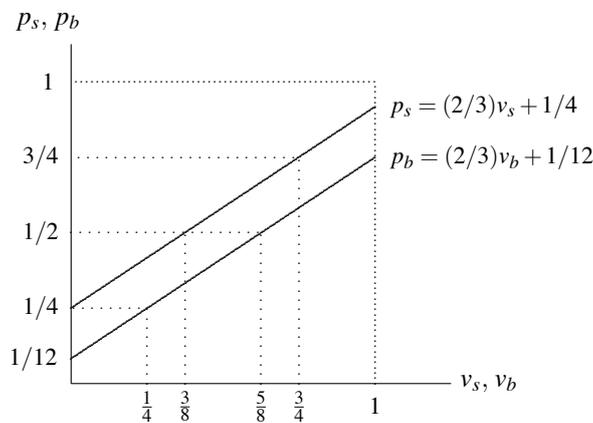


図 2

買い手

$p_s = 1/4$ のとき, $[1/4, 1]$ のタイプの買い手が $p_b \geq 1/4$ で購入可能.

$p_s = 1/2$ のとき, $[5/8, 1]$ のタイプの買い手が $p_b \geq 5/8$ で購入可能.

cf) 財を1単位のみ交換.

売り手

$p_b = 1/4$ のとき, 0 のタイプの売り手が売る.

$p_b = 1/2$ のとき, $[0, 3/8]$ のタイプの売り手が売る.

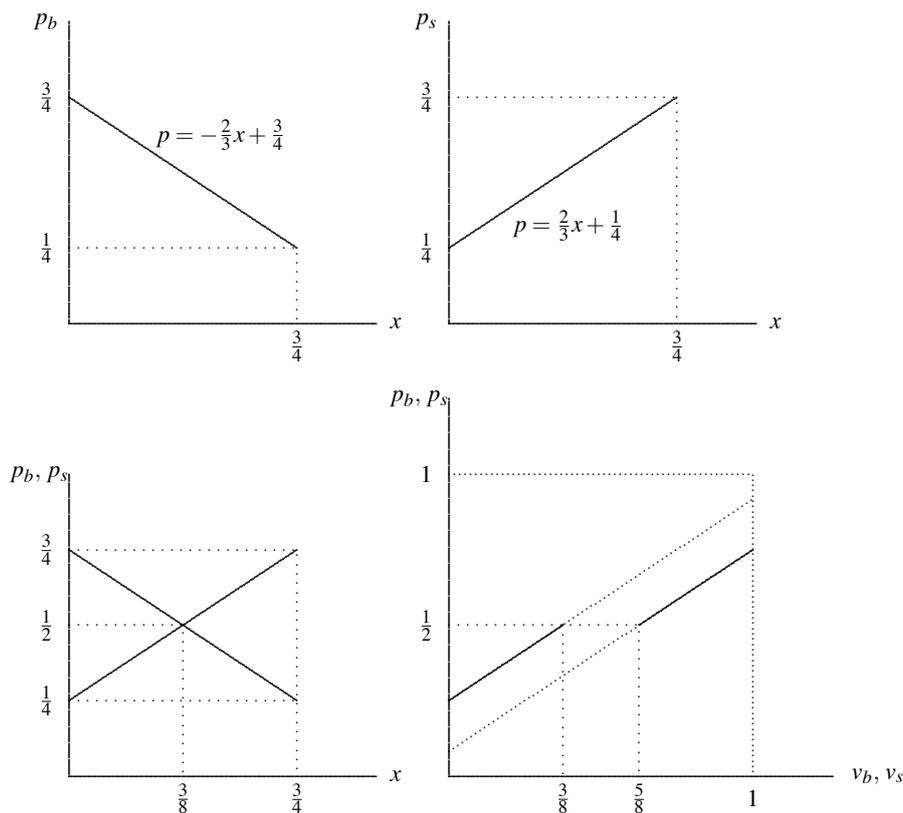


図3 (x は人数, 取引量)

「 $p_b \geq p_s$ 」より, $3/8$ まで取引が可能 (成立).

買い手は $[5/8, 1]$ の人達が, 売り手は $[0, 3/8]$ の人達が取引を行う.

2.19 MORAL HAZARD I

Principal は Agent の行動を観察できない, 又は, 観察可能としても立証できない (契約に書けない). これらによって起こる問題をモラルハザードと呼ぶ. Principal-Agent 型のモデル.

例. 労働契約

● ゲームの進展

1. 企業は賃金契約を提示する.
2. 契約を結ぶ.
3. agent が努力水準 $e = e^H, e^L$ を決める.

4. 企業は成果 x を観察できる.

労働者:

$\{e^H, e^L\}$: 努力水準

$u: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}: u' > 0 > u''$. 効用函数.

$d(e^H) > d(e^L)$: 労働者の努力から得る不効用.

$\{x_1, \dots, x_n\}$: $x_1 < \dots < x_n$. 成果, 売上の集合.

$p_i(e^K)$: e^K のとき x_i が起こる確率 ($p(x_i|e^K)$).

$w(\cdot)$: 賃金契約.

\underline{u} : 留保賃金の効用.

$\sum_{i=1}^n p_i(e^K)u(w(x_i)) - d(e^K)$: 期待効用.

• 参考

「 $\{p_i(e^H)\}_{i=1}^n$ が $\{p_i(e^L)\}_{i=1}^n$ を first order stochastic dominate している」とは, 任意の $k = 1, \dots, n-1$ に対して, $\sum_{i=1}^k p_i(e^H) < \sum_{i=1}^k p_i(e^L)$ が成立することを云う.

企業:

$\sum_{i=1}^n p_i(e^K)[x_i - w(x_i)]$ ($K = H, L$): 期待利潤.

1. Principal が e^L を要求.

agent は, どんな賃金契約 $w(x_i)$ であろうと

$$u(w(x_i)) - d(e^L) > u(w(x_i)) - d(e^H)$$

が成立するので, e^L の努力を行う. \rightarrow No moral hazard.

Principal は

$$w^L := u^{-1}(\underline{u} + d(e^L))$$

という固定給の契約を既述するのが望ましい.

2. Principal が e^H を要求.

w^L の固定給では,

$$u(w^L) - d(e^L) > u(w^L) - d(e^H)$$

となり, agent は e^L の努力水準を実行. Principal は e^H を要求しているが努力水準の観察不可能性より agent は e^L を行うインセンティブがある. \rightarrow Moral hazard.

3. P-A モデル.

$$\begin{aligned} \max_{w(x_i)} \quad & \sum_{i=1}^n p_i(e^H)[x_i - w(x_i)] \\ \text{subject to} \quad & \sum_{i=1}^n p_i(e^H)u(w(x_i)) - d(e^H) \geq \underline{u} \quad (\text{IR}) \\ & \sum_{i=1}^n p_i(e^H)u(w(x_i)) - d(e^H) \geq \sum_{i=1}^n p_i(e^L)u(w(x_i)) - d(e^L) \quad (\text{IC}) \end{aligned}$$

… Backward Induction で解くのと同じ.

Principal は Agent に e^H を実行させる契約を書く。

$$L = \sum_{i=1}^n p_i(e^H)[x_i - w(x_i)] \\ + \lambda_1 \left[\sum_{i=1}^n p_i(e^H)u(w(x_i)) - d(e^H) - \underline{u} \right] \\ + \lambda_2 \left[\sum_{i=1}^n (p_i(e^H) - p_i(e^L))u(w(x_i)) - d(e^H) + d(e^L) \right].$$

First order condition: $w(x_i) \in \mathbb{R}$ で微分すると、任意の $i = 1, \dots, n$ に対して、

$$-p_i(e^H) + \lambda_1 p_i(e^H)u'(w(x_i)) + \lambda_2 (p_i(e^H) - p_i(e^L))u'(w(x_i)) = 0.$$

よって、 $i = 1, \dots, n$ について足すと、

$$\lambda_1 = \sum_{i=1}^n \frac{p_i(e^H)}{u'(w(x_i))} > 0.$$

∴ IR は binding condition. また、

$$\frac{1}{u'(w(x_i))} = \lambda_1 + \lambda_2 \left(1 - \frac{p_i(e^L)}{p_i(e^H)} \right) \quad \forall i = 1, \dots, n.$$

$\lambda_2 = 0$ とすると、 $\lambda_1 = 1/u'(w(x_i))$ となり、 $w(x_i) = (u')^{-1}(1/\lambda_1)$ で $w(x_i)$ は定数。これは IC を満たさず NG. したがって $\lambda_2 > 0$. ゆえに

$$w(x_i) = (u')^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 \left(1 - \frac{p_i(e^L)}{p_i(e^H)} \right)} \right).$$

REMARK: $p_i(e^L)/p_i(e^H)$ が i について減少ならば、 $w(x_i)$ は i について増加。

REMARK:

1. $p_i(e^H) = p_i(e^L)$ のケース.

$$w(x_i) = (u')^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_1} \right) =: \bar{w} \quad (\text{const, } i \text{ にも依存せず})$$

2. $p_i(e^H) > p_i(e^L)$ のケース. $w(x_i) > \bar{w}$.

3. $p_i(e^H) < p_i(e^L)$ のケース. $w(x_i) < \bar{w}$.

• 参考

$p_i(e^L)/p_i(e^H)$ が monotone likelihood quotient (ratio) property

⇔

$p_i(e^L)/p_i(e^H)$ が i について減少 (増加).

2.20 MORAL HAZARD II

労働契約のモデルを、具体的な数値例を通して理解、計算する。ラグランジュの未定乗数を複数利用する例になる。

○ 数値例

agent:

$\{e^H, e^L\}$: 努力水準

$u(w, e) = \sqrt{w} - d(e)$: 効用函数.

$d(e^H) > d(e^L) > 0$: 労働者の努力から得る不効用.

$\{x^H, x^L\}$: $x^L < x^H$. 成果, 売上の集合.

$p_i(e^K)$: 以下のように定義された e^K のとき x^i が起こる確率 ($p(x^i|e^K)$):

	x^H	x^L
e^H	3/4	1/4
e^L	1/4	3/4

$\underline{u} = 0$: 留保賃金の効用.

$\sum_{i=1}^n p_i(e^K)u(w(x_i)) - d(e^K)$: 期待効用.

principal:

$\sum_{i=H,L} p_i(e^K)[x^i - w(x_i)]$ ($K = H, L$): 期待利潤.

1. Symmetric Case.

Principal が e^H を要求.

$$\begin{aligned} & \max_{\{w(x^i)\}} \frac{3}{4}(x^H - w(x^H)) + \frac{1}{4}(x^L - w(x^L)) \\ & \text{subject to } \frac{3}{4}(\sqrt{w(x^H)} - d(e^H)) + \frac{1}{4}(\sqrt{w(x^L)} - d(e^H)) \geq 0 \quad (\text{IR}) \end{aligned}$$

First order condition:

$$\begin{aligned} w(x^H) : -\frac{3}{4} + \lambda_1 \frac{3}{4} \frac{1}{2\sqrt{w(x^H)}} &= 0 \iff \lambda_1 = 2\sqrt{w(x^H)}, \\ w(x^L) : -\frac{1}{4} + \lambda_1 \frac{1}{4} \frac{1}{2\sqrt{w(x^L)}} &= 0 \iff \lambda_1 = 2\sqrt{w(x^L)}. \end{aligned}$$

よって, $\lambda_1 = 2\sqrt{w(x^H)} = 2\sqrt{w(x^L)} \geq 0$. $\lambda_1 = 0$ のときは IR に矛盾するので, $\lambda_1 > 0$. ゆえに

$$w(x^H) = w(x^L) = [d(e^H)]^2.$$

2. Moral Hazard.

Principal が e^H を要求. 契約 $\{w^H\} = \{[d(e^H)]^2\}$ を提示. agent は

$$\begin{aligned} & \frac{3}{4}(\sqrt{w^H} - d(e^H)) + \frac{1}{4}(\sqrt{w^H} - d(e^H)) \\ &= \sqrt{w^H} - d(e^H) \\ &< \sqrt{w^H} - d(e^L) \end{aligned}$$

となるので, e^L を実行する. \rightarrow Moral Hazard の発生.

3. 最適契約

Principal が e^H を要求.

$$\begin{aligned} \max_{w(x_i)} \quad & \frac{3}{4}(x^H - w(x^H)) + \frac{1}{4}(x^L - w(x^L)) \\ \text{subject to} \quad & \frac{3}{4}(\sqrt{w(x^H)} - d(e^H)) + \frac{1}{4}(\sqrt{w(x^L)} - d(e^H)) \geq 0 \quad (\text{IR}) \\ & \frac{3}{4}(\sqrt{w(x^H)} - d(e^H)) + \frac{1}{4}(\sqrt{w(x^L)} - d(e^H)) \\ & \geq \frac{1}{4}(\sqrt{w(x^H)} - d(e^L)) + \frac{3}{4}(\sqrt{w(x^L)} - d(e^L)) \quad (\text{IC}) \end{aligned}$$

一階の条件

$$\begin{aligned} w(x^H) : -\frac{3}{4} + \lambda_1 \frac{3}{4} \frac{1}{2\sqrt{w(x^H)}} + \lambda_2 \frac{1}{2} \frac{1}{2\sqrt{w(x^H)}} &= 0, \\ w(x^L) : -\frac{1}{4} + \lambda_1 \frac{1}{4} \frac{1}{2\sqrt{w(x^L)}} - \lambda_2 \frac{1}{2} \frac{1}{2\sqrt{w(x^L)}} &= 0. \end{aligned}$$

よって,

$$\begin{aligned} 3\lambda_1 + 2\lambda_2 &= 6\sqrt{w(x^H)}, \\ \lambda_1 - 2\lambda_2 &= 2\sqrt{w(x^L)}. \end{aligned}$$

両辺足し合わせると, $4\lambda_1 = 6\sqrt{w(x^H)} + 2\sqrt{w(x^L)}$.

ゆえに

$$\begin{aligned} \lambda_1 = 0 &\implies w(x^H) = w(x^L) = 0 \\ &\implies \text{IR に矛盾. } (-d(e^H) < 0) \\ &\implies \lambda_1 > 0. \end{aligned}$$

一方, $8\lambda_2 = 6\sqrt{w(x^H)} - 6\sqrt{w(x^L)}$ なので,

$$\begin{aligned} \lambda_2 = 0 &\implies w(x^H) = w(x^L) =: w \\ &\implies \sqrt{w} - d(e^H) < \sqrt{w} - d(e^L) \text{ より IC に矛盾.} \\ &\implies \lambda_2 > 0. \end{aligned}$$

以上より IR, IC は binding condition.

$$\begin{aligned} \frac{3}{4}\sqrt{w(x^H)} + \frac{1}{4}\sqrt{w(x^L)} - d(e^H) &= 0, \\ \frac{1}{2}\sqrt{w(x^H)} - \frac{1}{2}\sqrt{w(x^L)} - d(e^H) + d(e^L) &= 0. \end{aligned}$$

よって

$$\begin{aligned} w(x^H) &= \frac{1}{4}(3d(e^H) - d(e^L))^2, \\ w(x^L) &= \frac{1}{4}(3d(e^L) - d(e^H))^2. \end{aligned}$$

● 参考

$$w(x^H) - w(x^L) = \frac{1}{4}(8[d(e^H)]^2 - 8[d(e^L)]^2) > 0$$

が成立する. これは成果主義と考えられる.

2.21 契約理論の応用例

○ 漁業契約

Principal: 漁場の持ち主. 使用量 $T(x)$ の漁場を提供.

Agent: 漁をする人. 使用量 $T(x)$ を支払って利用. 漁獲量 x を外で販売.

記号:

Agent:

$\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$: 努力水準. $e_1 < e_2 < \dots < e_m$.

$\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$: 漁獲量. $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

$P(x_j|e_i)$: 以下を満足するような努力水準が e^i のとき, 漁獲量が x_j となる確率:

$$P(x_j|e_i) > 0 \quad \text{for all } i, j,$$

$$\sum_{j=1}^n P(x_j|e_i) = 1.$$

$u(px - T(x)) - d(e)$: Agent の利得函数. 但し,

$u' > 0 > u''$. リスク回避的効用関数

p : 市場での販売価格.

$T(x)$: Principal への支払い.

$d(e)$: 不効用. $d(e_i) < d(e_{i+1})$.

Principal:

$T(x) - c(x)$: Principal の利得函数. 但し, $c(x)$ は漁獲量が x のときのコスト.

(Agent の努力水準は観察できないが, x は確率的に観察できる)

ゲームの手順:

1. P: 契約 $T(x)$ を提示.

2. A: 契約を結ぶ.

3. A: e を実行.

1. 対称情報.

e^* : Principal が要求する努力水準.

$$\max_{\{T(x_j)\}_{j=1}^n} \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*) \{T(x_j) - c(x_j)\}$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*) u(px_j - T(x_j)) - d(e^*) \quad (\text{IR})$$

First order condition ($T(x_j)$ で微分):

$$P(x_j|e^*) - \lambda P(x_j|e^*) u'(px_j - T(x_j)) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

よって,

$$\frac{1}{\lambda} = u'(px_j - T(x_j)) \quad (\lambda > 0, u' > 0)$$

最適な契約:

$$T(x_j) = \underbrace{px_j}_{\text{出来高払い}} - \underbrace{(u')^{-1}(1/\lambda)}_{\text{固定支払}}.$$

マイナスなので, Agent がもらう.

2. 非対称情報.

Principal が e^* を要求.

$$\begin{aligned} & \max_{\{T(x_j)\}_{j=1}^n} P(x_j|e^*)\{T(x_j) - c(x_j)\} \\ \text{subject to } & \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)u(px_j - T(x_j)) - d(e^*) \geq \underline{u} \quad (\text{IR}) \\ & \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)u(px_j - T(x_j)) - d(e^*) \\ & \geq \sum_{j=1}^n P(x_j|e_i)u(px_j - T(x_j)) - d(e_i) \quad \forall i \neq * \quad (\text{IC}) \end{aligned}$$

Lagrangian:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)\{T(x_j) - c(x_j)\} + \lambda \left\{ \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)u(px_j - T(x_j)) - d(e^*) - \underline{u} \right\} \\ & \sum_{i \neq *} \lambda_i \left\{ \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)u(px_j - T(x_j)) - d(e^*) - \sum_{j=1}^n P(x_j|e_i)u(px_j - T(x_j)) + d(e_i) \right\}. \end{aligned}$$

注.

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)u(px_j - px_j + (u')^{-1}(1/\lambda)) - d(e^*) \\ & = u((u')^{-1}(1/\lambda)) - d(e^*) \\ & < u((u')^{-1}(1/\lambda)) - d(e_i) \quad (\because e_i < e^*) \\ & = \sum_{j=1}^n P(x_j|e^*)u(px_j - px_j + (u')^{-1}(1/\lambda)) - d(e_i). \end{aligned}$$

→ Moral Hazard.

$T(x_j)$ で微分.

$$\begin{aligned} & P(x_j|e^*) - \lambda P(x_j|e^*)u'(px_j - T(x_j)) \\ & - \sum_{i \neq *} \lambda_i \{P(x_i|e^*)u'(px_j - T(x_j)) - P(x_j|e_i)u'(px_j - T(x_j))\} = 0. \end{aligned}$$

よって,

$$\frac{1}{u'(px_j - T(x_j))} = \lambda + \sum_{i \neq *} \lambda_i \frac{P(x_j|e^*) - P(x_j|e_i)}{P(x_j|e^*)}.$$

REMARK:

- $\frac{P(x_j|e^*) - P(x_j|e_i)}{P(x_j|e^*)}$ が各 j について減少ならば,

$$\frac{1}{u'(px_j - T(x_j))} > \frac{1}{u'(px'_j - T(x'_j))} \quad (x_j < x'_j).$$

- $T(x'_j) - T(x_j) > px'_j - px_j$ ($x_j < x'_j$).
IC を満たす契約では、漁獲量が多くなれば収入の増加分よりも大きく支払う契約内容となる。
- $\frac{P(x_j|e^*) - P(x_j|e_i)}{P(x_j|e^*)}$ が各 j について増加ならば、

$$T(x'_j) - T(x_j) < px'_j - px_j.$$

- 情報が対称なときは、

$$T(x'_j) - T(x_j) = px'_j - px_j.$$

数値例:

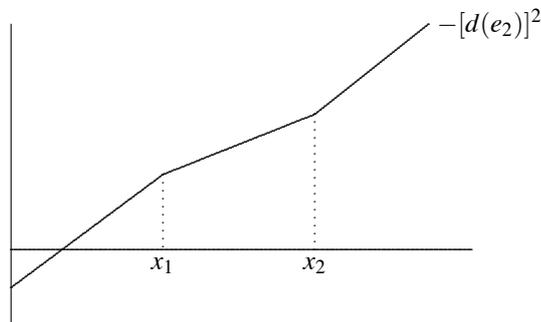
	x_1	x_2
e_1	3/4	1/4
e_2	1/4	3/4

- 対称情報.

$$\begin{aligned} \max \quad & \frac{1}{4}(T(x_1) - c(x_1)) + \frac{3}{4}(T(x_2) - c(x_2)) \\ & \frac{1}{4}\sqrt{px_1 - T(x_1)} + \frac{3}{4}\sqrt{px_2 - T(x_2)} - d(e_2) \geq 0 \end{aligned} \quad (\text{IR})$$

Principal が e_2 を要求のケース.

$$\begin{aligned} T(x_1) &= px_1 - [d(e_2)]^2, \\ T(x_2) &= px_2 - [d(e_2)]^2. \end{aligned}$$



- 非対称情報.

$$\begin{aligned} \max \quad & \frac{1}{4}(T(x_1) - c(x_1)) + \frac{3}{4}(T(x_2) - c(x_2)) \\ & \frac{1}{4}\sqrt{px_1 - T(x_1)} + \frac{3}{4}\sqrt{px_2 - T(x_2)} - d(e_2) \geq 0 \end{aligned} \quad (\text{IR})$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4}\sqrt{px_1 - T(x_1)} + \frac{3}{4}\sqrt{px_2 - T(x_2)} - d(e_2) \\ & \geq \frac{3}{4}\sqrt{px_1 - T(x_1)} + \frac{1}{4}\sqrt{px_2 - T(x_2)} - d(e_1) \end{aligned} \quad (\text{IC})$$

$\lambda > 0, \lambda_1 > 0$ となり、

$$\begin{aligned} T(x_1) &= px_1 - \frac{(17d(e_2) - 3d(e_1))^2}{4}, \\ T(x_2) &= px_2 - \frac{(3d(e_2) - d(e_1))^2}{4} \end{aligned}$$

を得る.

2.22 SIGNALING GAME

○ プレーヤーの行動がシグナルの役割を果たす.

モデル: スペンスのモデルを Bayesian ゲームで考える.

労働者:

$T = \{H, L\}$: タイプ.

$u(w) - d(t, e)$: タイプ t の労働者の利得函数. 但し,

w : 賃金.

e : 教育水準.

$u' > 0 \geq u''$ かつ $d_e, d_{ee} > 0$.

$d(H, e) < d(L, e)$ かつ $d_e(H, e) < d_e(L, e)$.

注: 労働者の戦略は教育水準 $e(\cdot): T \rightarrow \mathbb{R}_+$.

企業: 競争的な企業を考え, 利潤ゼロを仮定.

$\pi(t, e) - w$: 労働者のタイプが t のときの利得函数. 但し,

$\pi_e > 0 \geq \pi_{ee}$.

$\pi(H, e) > \pi(L, e)$ かつ $\pi_e(H, e) > \pi_e(L, e)$.

1. 準備 1

Signaling game の構成

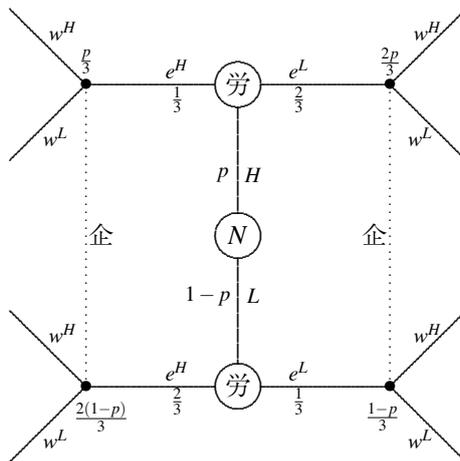


Figure 1.1. Signaling Game

注:

- 労働者の行動をシグナルと解釈.
- 企業は労働者のタイプが未知.

- 下のような期待利得表をもつ 4×4 の戦略形ゲーム (NE=BE (SPE))

企 \ 労	$e^H e^H$	$e^H e^L$	$e^L e^H$	$e^L e^L$
$w^H w^H$				
$w^H w^L$				
$w^L w^H$				
$w^L w^L$				

- 均衡概念として Perfect Bayesian Equilibrium (PBE, 均衡を戦略と belief の組で捉える) がよく使われる.

2. 準備 2

労働者の無差別曲線を w - e 平面上に描く.

$$w'(e) = \frac{d_e(\theta, e)}{u'(w)} > 0,$$

$$w''(e) = \frac{d_{ee}(\theta, e)u'(w) - d_e(\theta, e)u''(w)}{[u'(w)]^2} > 0.$$

よって

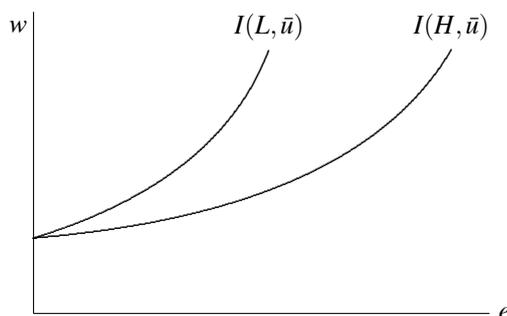


Figure 2.1. Indifferent Curves for Labors

次に企業の無差別曲線 (等利潤曲線) を w - e 平面に描く.

$$w'(e) = \pi_e(t, e) > 0,$$

$$w''(e) = \pi_{ee}(t, e) < 0.$$

よって

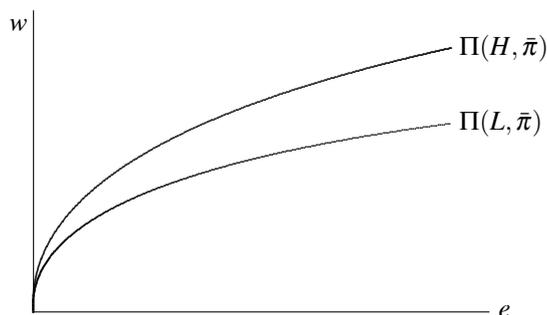


Figure 2.2. 企業の等利潤曲線

3. 対称情報

企業は競争的で利得ゼロを仮定して分析する.

労働者は $w(e)$ を所与の下、次の問題を解く：

$$\max_e u(w(e)) - d(t, e).$$

(i) NO ENVY CASE: $u(w^L) - d(L, e^L) \geq u(w^H) - d(L, e^H)$

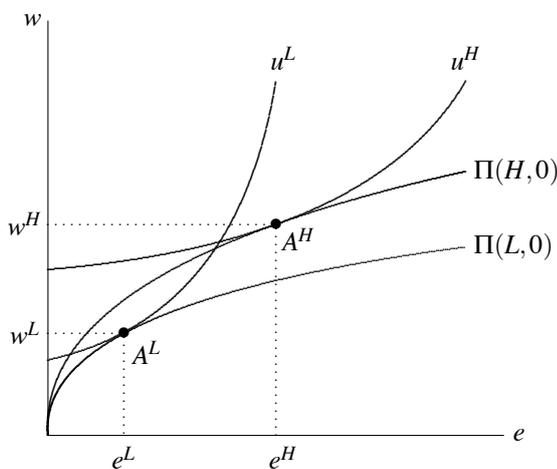


Figure 3.1. 対称情報且つ No envy なケース

(ii) ENVY CASE: $u(w^L) - d(L, e^L) < u(w^H) - d(L, e^H)$

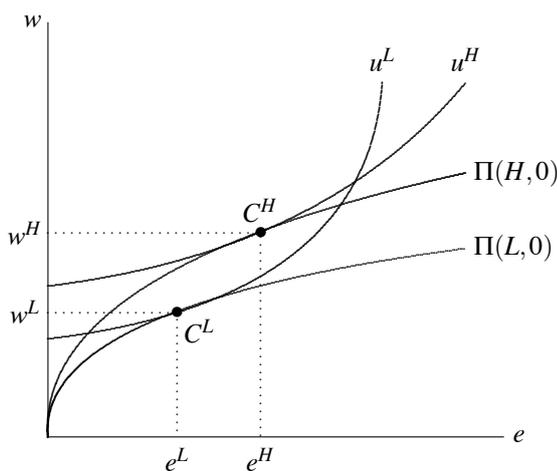


Figure 3.2. 対称情報且つ Envy なケース

注: タイプが分かるので $\{C^L, C^H\}$ を契約できる.

4. 分離均衡

シグナルが有効な均衡を考える.

4.1 NO ENVY CASE:

$$w(e) = \begin{cases} \pi(L, e) & \text{if } e < e^H, \\ \pi(H, e) & \text{if } e \geq e^H, \end{cases} \quad (5)$$

$$e(H) = e^H, \quad e(L) = e^L, \quad (6)$$

$$\mu(H|e) = \begin{cases} 0 & \text{if } e < e^H, \\ 1 & \text{if } e \geq e^H. \end{cases} \quad (7)$$

(1), (2) → BE, (3) → PBE.

4.2 ENVY CASE: 下図にあるようにタイプ L の労働者は C^L ではなく、 C^H を選択するインセンティブがある. → adverse selection.

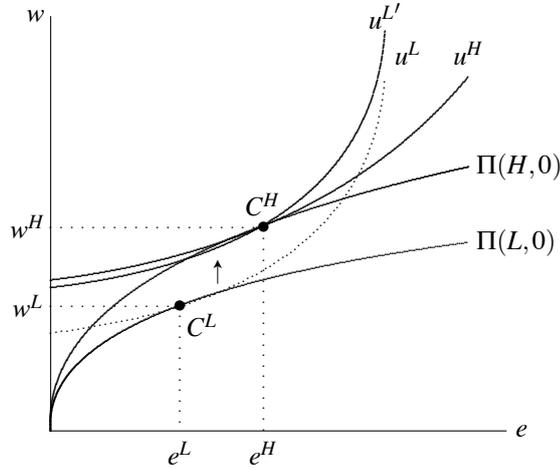


Figure 4.1. 非対称情報且つ Envy なケース

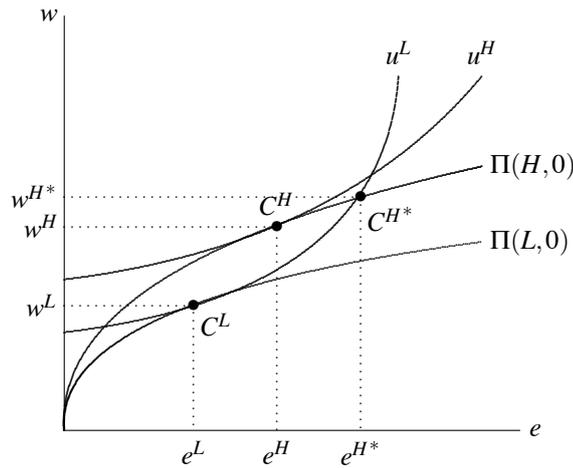


Figure 4.2. 分離均衡

$$w(e) = \begin{cases} \pi(L, e) & \text{if } e < e^{H*}, \\ \pi(H, e) & \text{if } e \geq e^{H*}, \end{cases} \quad (8)$$

$$e(H) = e^{H*}, \quad e(L) = e^L, \quad (9)$$

$$\mu(H|e) = \begin{cases} 0 & \text{if } e < e^{H*}, \\ 1 & \text{if } e \geq e^{H*}. \end{cases} \quad (10)$$

(4), (5) → BE, (6) → PBE.

注 1: H タイプの労働者は $e^{H*} > e^L$ の教育水準を選択.

注 2: 企業が競争的でない場合: IR: $u(w) - d(t, e) \geq \underline{u}$ を制約とする. Principal が企業の Adverse selection 型.

第3章 事業II：既存の講義・実験の枠を超えた新しい科目の立ち上げ（心理学）

3.1 概要

本事業では、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、前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。総合教育科目の「心理学」を担当する講師へのアンケート調査の結果、14名中7名が講義中に実習を行っているとは回答した。このアンケートで、「秋学期に実習の予定がある」と回答した講師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。しかしながら、いずれの講師もほとんどの実習を春学期に行っていたことから、調査対象となった実習は2例に留まった。そこで、本年度は春学期に実施される実習を調査対象とし、総合教育科目「心理学」における実習の全体像の把握を試みた。また、2006年11月に開催された日本心理学会第70回大会において開かれた、心理学教育に関連するワークショップに参加し、全国の大学で実施されている実習について調査した。

3.2 実習の内容把握

4月上旬に、総合教育科目「心理学」を担当する講師に対してアンケート調査を行い、「春学期に実習の予定がある」と回答した講師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。実習内容は、古典的な心理学実験を基礎としたものと、講師独自で考案したものとの大別された。本報告では、前者から2例、後者から1例を取り上げる。

3.2.1 古典的な心理学実験を基礎とした実習

実習内容1「Mueller-Lyer 錯視の定量化」

【目的】	Mueller-Lyer 錯視を題材とし、心理量と物理量との不一致の程度（錯視量）を客観的に測定する手法を学ぶ。測定には精神物理学的測定法のひとつである調整法を用いた。
【実習時の受講者数】	70名程度
【実験参加者】	受講生各自
【用具】	図形の印刷された用紙と、それを切り取るためのハサミ
【所要時間】	1時間程度
【手続き】	受講者に配布された実験実習の手引きを資料1として章末に添付した。2人1組となり、一方が実験者、他方が実験参加者となった。実験参加者は実験者の指示に従い、偏見のない態度で実験に取り組んだ。実験者は観察パターンの提示順を決め、実験参加者に提示し、実験結果を記録した。一方の実験が終わったら、役割を交代してもう1回行った。プリントに印刷された図形をハサミで切り取って、図3.1に示したような簡単な実験用具を作った。

【手続き】

実験参加者は右側の「比較刺激」の紙のほうを左右にスライドさせて、標準刺激と比較刺激とで線分の長さが等しく見える位置に調整した。実験者はそのときの比較刺激の長さを測り、用紙に記録した。実験条件は矢羽根の角度（挟角）であり、 60° 、 90° 、 120° 、 150° と、矢羽根なしの5通りを講師が用意した。また、明らかに比較刺激の方が短く見える地点から始める上昇系列と、比較刺激の方が長く見える地点から始める下降系列で調整を行った。実験条件が5通り、系列が2通り、繰り返しを2回行ったので、各実験参加者につき20回の調整を行った。なお、提示順はランダムとした。

得られた結果を受講者自身が処理した。標準刺激の線分の物理的な長さはいずれも10cmであったことを伝えた上で、受講者には自分のデータについて主観的等価点を算出させ、グラフにプロットさせた。

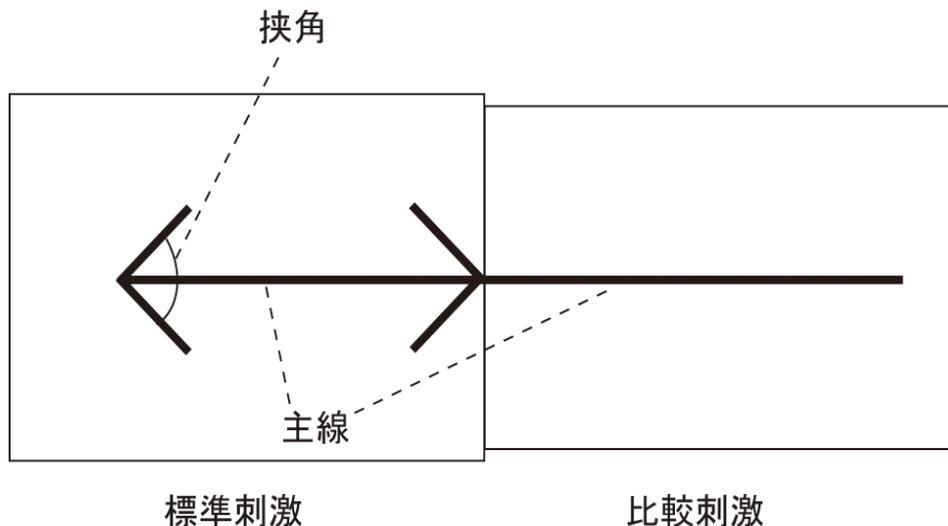


図 3.1: 実験用具の完成図

【レポート】

作成したグラフに、気づいた点など簡単なコメントを書いて授業終了時に提出させた。錯視の定義や測定法の説明については翌週の講義で行った。

実習内容2「人間の記憶の諸側面について」

人間の記憶の特性について理解するために、2つの実験を行った。実験1では、単語記銘自由再生課題を行い、記憶の貯蔵庫モデルを検証した。実験2では、曖昧性のある物語の記銘再生実験を行い、記憶の再構成過程について検証した。

<実験1>

【目的】

単語再生課題における系列位置効果の確認、および学習フェイズと再生フェイズとの間に行われる干渉課題（計算課題）によって新近効果が消失することの検証を行った。

【実習時の受講者数】

100名程度

【実験参加者】

受講生各自

【用具】

筆記用具

【所要時間】

実験1、2を合わせて45分程度。

- 【手続き】** 受講者に配布された実験実習の手引きを資料2として章末に添付した。実験は全体で行い、受講者各人が実験参加者となった。講師が教壇からマイクで単語リストを読み上げ、実験参加者はそれを記銘した。講師の合図とともに、実験参加者は覚えた単語を順序不問で思い出せる限りノートに書き出した。実験条件は計算のあり、なしで、計算あり条件では学習フェイズと再生フェイズの間に1桁の数字どうしの足し算もしくは引き算の課題を行った。講師が式を読み上げ、学生は計算結果をノートに書き下すという形式であった。計算なし条件では、これに相当する期間、何もしなかった。まず練習試行を行い、計算なし条件、計算あり条件の順で実施した。
- 【結果の処理】** 実験参加者全員のデータを分析対象とした。横軸に系列位置を、縦軸に正答率をとった系列位置曲線を書き、系列位置効果（初頭効果と新近効果）および干渉課題による新近効果の消失について考察した。
- 【レポート】** 実験2と合わせて、実験論文形式のレポートを課した。結果については受講者自身に行わせるため、講義中には詳細な説明を行わず、レポート作成の際に有用となるであろう用語、概念、先行研究について簡単に説明した。期限は2週間であった。

<実験2>

- 【目的】** 曖昧性のある物語の記銘再生課題を行い、記憶の再構成過程について検証する。
- 【実習時の受講者数】** 100名程度
- 【実験参加者】** 受講生各自
- 【用具】** 筆記用具
- 【所要時間】** 実験1、2を合わせて45分程度。
- 【手続き】** 実験1に引き続いて実施した。一朗読30秒程度の短い物語を講師が3回読み上げ、学生はそれを記銘した。

(記銘文)

—ジョンとビルが魔法の湖でボートを浮かべていると遠くにコーヒーの缶が浮いているのが見えた。ビルは「あそこに行って拾ってみよう」と言っ。そこにつくと、ジョンがそれを拾い、中を見ながら「あれ、缶の中に石が入っている」と言った。ビルは「ああ、誰かが缶をそこに浮かべておきたかったんじゃないかな」と言った。—

その後、講師の合図とともに、学生はできる限り正確に物語を思い出してノートに書き下した。今回は直後再生だけであったが、数日後の再生データもとると興味深い結果が得られると紹介した。

- 【結果の処理】** 実験参加者自身のデータを分析対象とした。自分の再生文をそのまま記述し、分析カテゴリを決めて表にまとめた。カテゴリは、名前間違い、単語の変化、表記の変化、ストーリーの変化など、学生自身が定義した。さらに、作成した表に基づき、自分の再生文にどのような特徴があるかを具体的に記述した。記銘文と再生文の間にギャップが生じた理由や、物語の内容を理解できていたか否か、物語の理解と再生文の間に関係があるかなど、受講者独自の考察を求めた。
- 【レポート】** 実験1を参照のこと。

3.2.2 講師による独創的な実習

実習内容「『こころ』の観察」

- 【目的】** 人の「こころ」の観察について体験的に理解するために計画された実験である。私たちがどのように環境を認知し、その中で行動しているかを探る観察実験を通して、「こころ」の実験方法について体験的に理解することを目指している。移動する際に必要な情報は何か、視覚情報を制限した際に活動がどのように制約を受け、どのような情報によって補償されるかという実習テーマのもとに、キャンパス内を移動することを例にとり、普段、私たちが意識せずに行っているこれらの行動を振り返る。
- 【実習時の受講者数】** 100名程度
- 【実験参加者】** 受講生各自
- 【用具】** 視覚情報を制限するためのアイマスク、歩行補助のための白杖。記録のための用紙とクリップボード。
- 【所要時間】** インストラクション30分、実習45分。
- 【手続き】** 2人1組のペアになり、一方が体験者として、他方が誘導・介助者となって実施した。本格的な実習に入る前に講師がインストラクションを行い、2つのデモンストレーションを行った。ひとつめは、目をつぶりながらペア同士でじゃんけんをすることであった。どのようにして自分の手を伝えるか、つまり相手に上手く情報を伝えるための手段を探らせることを意図した。ふたつめは、ペアのうちの一方にアイマスクをさせ、他方にスライドでモネの絵画を提示して、その説明をさせるというものであった。説明が終わった後にアイマスクを外させ、再び絵画を提示して、正確に絵画のイメージを描けた者がどの程度いるかを尋ねた。このデモンストレーションでは、見たものを言葉で伝えることの難しさを実感させることを意図した。また、絵画ならば伝わらなくても問題はないが、実生活ではどのような影響が出るかを想像させた。デモンストレーションの後、体験者はアイマスクを装着した状態で、キャンパス内を移動しながら下記のポイントについての内観を行った。時間は15分で、初めの10分は何も持たずに、残りの5分は白杖を持って行動した。
- (1) 見えなくなると移動する際に不便や不安があるか。
 - (2) 何が不便や不安の原因か。
 - (3) どうすれば不便や不安を解消して移動できると思うか。
 - (4) 見ることが可能だと、なぜ不便や不安を感じないでよいのか。
 - (5) 見えないことで利用可能になった情報は何か。
 - (6) 杖の有無で情報摂取に違いはあるか。
 - (7) 視覚以外に手がかりになった情報はないか。
 - (8) その他。
- 誘導・介助者は、体験者の安全の確保と、移動に必要な情報の提供を行いながら、体験者の行動を観察した。15分が経過したら、記録をした上で役割を交代した。翌週までに、各自が実習で観察した結果をまとめた。記録のまとめ方に際して、(1) アイマスク体験者として感じたことと、(2) 誘導・介助者として感じたことを、自分の体験の内観と相手の行動の観察の2つの視点から整理するように注意した。
- 【レポート】**

3.2.3 実習内容のまとめ

本事業では、本学の総合教育科目「心理学」で実施されている実習形式の講義について、前年度の報告と合わせて5例を紹介してきた。具体的な内容は多種多様にわたっていたが、各実習には「心理学の研究パ

ラタイムを伝える」という共通の趣旨があったと考えられる。本項では、各実習の実施意図を抽出し、それらを生かした新科目設置への糸口をつかむ。

本報告の2.1項で紹介した Mueller-Lyer 錯視に関する実習は、伝統的な心理学の方法論である精神物理学的測定法のひとつを体験するものであった。研究者の間では、物理的強度と心理量の関数関係を求める手法として広範に用いられている研究方法であるが、初学者にとっては、物理的世界と我々の感覚・知覚世界とのずれを明確な形で体験できる点で優れている。担当講師の説明にあった、「外界の物理的構造がそっくりそのまま認識されるわけではない」との言説は、人間の「こころ」を知る上での基礎的な知識であり、精神物理学的測定法の実習によって、この理解が促進される可能性は高い。同項の記憶に関する実習、および昨年度報告の短期記憶課題についての実習は、より日常的な「記憶」の概念を再認識させるものであった。研究者にあらずとも、覚える・思い出す・忘れるといった記憶に関わる心理現象に普段から触れているが、講義では、それらを定量化（モデル化）した研究を紹介した上で定量的な実験を体験させ、常識的な理解を精緻化することを目的としたと考えられる。また、特に実験2では、再構成過程をもとに記憶の曖昧性や不確実性を確認させることで、人間は忘れるものであり、間違えるものであるという、ある種の人間工学的な思考法を身につけさせることにもなったであろう。受講者にとっては、日常経験を再認識し、必要に応じて知識を修正する良い機会になると期待される。

2.2項で報告した「こころ」の観察についての実習では、普段は意識することのない視覚情報の役割を改めて認識させ、情報を制限された事態における人間の行動方略について観察させた（昨年度報告の囚人のジレンマ体験も方略に関する実習であった）。担当講師の専門領域が視覚障害だということもあり、例えば絵画を用いたデモンストレーションやアイマスクを使った歩行体験などは、独創的で示唆に富んだ内容であった。このように、各講師の専門に基づき、かつ従来の枠組みを超えた実習も、広く心理学的研究方法を体験させるにあたって有効であるかもしれない。

3.3 他大学の实態調査

日本心理学会第70回大会で心理学教育研究会によって開かれたワークショップ「心理学教育を考える2__3」に参加した。同研究会は東洋大学の杉山憲司教授が中心となって発足した研究会であり、心理学教育とその発展に関心を有する会員相互の研究交流を目的としている。前年度大会に続く2回目のワークショップとして企画された今回のワークショップでは、心理学教育の教材開発をテーマとして、大学における心理学教育の現場に携わっている3名の話題提供者による発表と討論が行われた。

宮元博章教授（兵庫教育大学）

1人目の話題提供者は兵庫教育大学の宮元博章教授であった。宮元教授は(1)「クリティカルシンキング」(批判的思考)という理念と、(2)学生たちに教材作りをさせることによって学びを促すという自身の試みの2点について発表した。どちらも心理学に限らずすべての学問教育に共通するものであると思われるので、宮元教授の発表は「心理学教育を考える」というよりは、もっと広く大学教育一般に関するものであったともとらえられる。

「クリティカルシンキング」とは、宮元教授によれば、(1)多面的な視点から考えようとする事、(2)推論過程に関して論理性を重視し、かつ適用に対して慎重であること、(3)一連の認知的プロセスを統括するメタ認知の働きを重視すること、であるとされる。(3)は少々難解であるが、自分自身の思考の流れを、客観的に、一歩はなれた視点から見直すという程度の意味であると思われる。教授はさらに(1)何かについて問いをもつ、(2)問いを言葉で明瞭に表現し、その筋道(論理)や背後にある暗黙の仮定(前提・常識)を理解しようとする、(3)他の可能性(他のありよう)を常に、積極的に考えてみる、といった表現によってもこの概念の明確化をはかっている。「問い続ける姿勢」とも言えよう。教授は大学での授業を通して学生たちに身につけてもらいたいもののひとつとしてこの「クリティカルシンキング」を掲げている。

宮元教授の発表のもうひとつの内容は、学生に対して教材作りをさせることによって、そのプロセスにおいて学びをうながすという、ご自身が授業で実践しておられる試みについての報告であった。教授によ

れば、他者に「教える」という行為は、誠実に（責任をもって）やろうとするならば、自ずとクリティカルな思考を促進し、それが教える本人に、自覚的な良い学びを生む、という。また、「その教材を使って授業を行うと想定されている子供たちがクリティカルな思考を身につけられるように」と要求することによって学生たちに明示的にクリティカルシンキングを意識させることも行っている。また、これに関連したもう少し具体的な要請として、「知識の羅列だけでは面白くない。書き手のねがい・メッセージが欲しい。しかし、趣旨は心理学という学問領域の一端を伝えることなので、道徳ではない。生き方を説くような説教臭いものにはしたくない。知識を教えるだけでなく、人間を見る観点を広げ、思考を刺激し、触発するようなものでありたい。」という要請や、「子どもたちが持っているであろう俗流心理学の誤った知識やイメージや素朴な信念を修正することも重要。ただ、『それらは間違い』と答えを押しつけるのではなく、「常識」を疑ってみたり、単純にではなく、じっくりと考え直す必要性を彼らに認識させるような要素が欲しい」という要請を行っているということであった。

中澤清教授（関西学院大学）

2人目の話題提供者は関西学院大学の中澤清教授であった。中澤教授は心理学授業事例として自身が担当している「心理学研究法」の内容について報告した。これは実際に簡単な実験実習からデータを得てそれをエクセルおよびSPSSによって処理する実習科目であるが、ここで中澤教授は使用する実験教材をShockwave（Flashに似た）形式でインターネットブラウザ上で操作するものとした。例として「鏡映描写」実験教材や「ミュラーリヤーの錯視」実験教材のデモンストレーションが行われた。受講者全員のデータはテキストデータとしてサーバに蓄積され、受講者はそれをダウンロードして使用する。このシステムの利点は、実験の遂行もデータの取捨・フィードバックも簡便であるということである。受講者それぞれのパソコン上で動作する実験教材は、ネットや市販教材の中にも色々なものが出てきているので、それらを利用して、講師や受講者にあまり負担をかけることなく効率的に実験実習を行うことができると期待される。ただ、講義中にこれを行うためには、それなりの台数のパソコンをその授業時間に確保しなければならないなどの課題もある。

また中澤教授は、学生から寄せられた声として、「統計処理のことをもっと詳しく知りたかった」「実際にデータを扱って[統計的]検定の意味が理解できた」などがあったことを報告している。関西学院大学ではこの実験実習の授業と平行して統計学の授業を受講するようになっているとのことであるが、実習授業での実践が統計学のほうの理解の手助けになった一方、より深い分析のために必要な統計学の知識にはまだ統計学の授業のほうでは追いついていないといった点もあったようである。実験授業と統計学の授業とをどのような形でお互いに進めていくかという問題があらためて示された。

慶應義塾大学の心理学専攻では学部2年次に統計学の授業を受講し、3年次に実験実習の授業を受講するカリキュラムになっているが、統計学の授業は心理学専攻の必修科目の中でも落伍者が多い科目のひとつである。

米谷淳教授（兵庫教育大学）

3人目の話題提供者は兵庫教育大学の米谷淳教授であった。米谷教授は主として経験の浅い新人教師にどのようなアドバイスを与えるべきか、あるいは研修を実施することの重要性について発表した。米国では教師向けに効果的な授業スタイル（おもにプレゼンテーションスキル）を論じた本が積極的に出版されている。米谷教授はこれらの本を参考にしつつ、自身の経験にも照らして、以下のようないくつかのポイントを示した。ベテランの教師ならば言われなくても分かっているものもあろうが、やはり経験のない教師には有益なアドバイスも多いと思われる。

[1] 概念だけではなく事例を示す

私たちは、学生も教師と同じように概念や理論、実験を知れば知的興奮を覚えるだろう、あるいはそうあるべきだと想定しがちである。しかし現実には多くの学生は単に概念を知っても興奮などせず、むしろ概念に生命を吹き込むあめの魅力ある例を聞いたがっている。明確で単刀直入な記憶に残るような例があれば、伝えようとするポイントを強めることができる。米国のベテラン教員たちは、学生の混乱や質問に対処するために気を使うよりも、例、図、実演の準備に特別に注意を払うことを奨めているという。とはいえ、それほど凝ったものを用意する必要はないらしい。Engler (1989) は次のように述べている。「教授法についての一般書には、複雑で洗練されたデモンストレーションがリファレンス付きで紹介されている。しかし、私の経験では、単純なアクティビティーも学生に教材を各自の生活に関連づける上で有効と言える。そうした単純なデモンストレーションはしばしばより洗練されたものよりよい効果を生むのである。」

[2] 学生が受動的に聞くだけにならないようにする

学生が受動的に聞くだけの状態に沈み込まないように、講義の中で、終始、質問をはさんで学生が能動的な姿勢を保つようにする。研究によれば、受動的な聞き取りを 10 分間すると、大部分の人の注意力は失われるという。

[3] 1 回の講義で扱うポイントの数を制限する

学生は 50 分間に吸収できる要点は 3 個から 5 個、75 分間の授業では 4 個から 5 個の要点を吸収できるようにすぎないとする報告があるとのことである。またひとつひとつのテーマの内容を濃縮するよりも、テーマそのものを削るようにしたほうがよいという。そしてそこを出発点とした学生自身の発展的学習のためには、必要に応じて資料を配布する。

[4] 最も重要な内容を記憶できるように講義を構成する

研究によれば、学生の記憶力は授業開始直後の 15 分間が最も大きく、時間の経過につれて低い水準になり、最後に終わりを期待してわずかに上がるという。そこで学生が最も集中できる時間に重要な論点が来るように授業の計画を立てることができるとよい。例えば、(1) 注目を集める導入部、(2) 取り扱う主要な論点の簡単な概要、(3) 背景やつながりの手早い説明、(4) 3 個以下の主要な論点の詳細な説明、最も重要なものの最初の説明、10 分か 15 分ごとの調子の変化、(5) 鍵となる主題を強調するための結論づけるまとめ、といった授業構成を提案している。

[5] 語りかけ方について

コミュニケーションスキルに関わる留意点として、以下の 6 つを挙げている。(1) 授業中は、聴衆である学生のことを考え、よく見る。(2) 学生の集中を保つには、話し方を変化させる。(3) 講義に逸話や物語を組み込む。(4) 声を変化させる。(5) 間をとる。(6) 声を出しながら間を取る癖に気をつける。

[6] 説明の内容について

説明の仕方については、以下のような留意点を挙げている。(1) 一時にあまり多くの新しい概念を紹介することは避ける。(2) 自分が知っていることをすべて学生に話すことは避ける。(3) 学生がノートをとっているとき、新しい概念、複雑なテーマ、抽象的な問題を説明するときには、ゆっくり話をする。(4) 物語を語る時、前回の講義を要約するとき、例を示すときには、早く話すようにする。

[7] 授業の構成について

授業時間いっぱい講義をする計画を立てない。また、前述のように、平均的な学生の集中力の持続時間は10分から20分であるという。そこで、だいたい15分ごとにペースを変え、単調に陥ることなく、学生の興味をつなぐようにすることが望ましい。たとえば、学生に座席で、または2、3人のグループで問題を解かせたり、実演をしたり、視聴覚手段を使ったり、物語を逸話を語ったりする。

最後に、新人研修の意義と方法についての提言があった。新米TAが最も犯しやすいあやまちは、こうしたプレゼンテーションスキルの効果を軽視することであるという。仮に行動力があって、そして親しみやすい新米教師を選び出せたとしても、そのプレゼンテーション・スキルを上達させるためには、なお少なくとも1年間は授業実践状況をビデオ録画し、フィードバックする必要がある、という意見が紹介された。

なお、米谷教授の発表も、「心理学教育」に限らず、ほとんどの分野での授業実践についても言えることである。

3.4 まとめ

本年度は、本学の総合教育科目「心理学」において実施された実習形式の講義の調査・整理と、他大学において実施されている実習の調査を行った。本節では、新しい自然科学科目の開発という視点から調査結果をまとめ、今後の展望を述べる。

実習の主たる目的は、心理学の研究パラダイムに関する受講生の理解を促進させることであった。今や心理学の領域は細分化され、一口に心理学的手法といってもアプローチの仕方は多様である。その中には、大型で高価な測定装置を必要とする神経心理学や、フィールドワークを主体とする分野のように、総合教育科目の水準では場所や時間の面で実施困難な実習がある。そこで、まずは実現可能な実習の範囲を見定め、新科目の枠組みを設定する必要がある。その上で留意したいのが「具体的に何を伝えるか」という点である。2節で明らかになったように、現行の実習で重視されているのは、物理的世界と対比させた心理的世界、日常的な心理現象の再確認および理解の修正、人間のとり得る行動方略であった。いずれも心理学を学ぶ上での基礎的なテーマであるから、各視点に立った実習の計画は必須と言えるだろう。また、いささか立案に苦慮するかもしれないが、2.2項で取り上げたような、講師の専門を生かした独創的な実習が実施できるとよい。一連の流れの中で、心理学の理解のみならず、科学的思考の基本であり他分野でも有用なクリティカルシンキングが身につくように考慮する必要もあるだろう。

次年度は本報告の調査結果を生かし、新科目創設に向けて段階的に準備を進める予定である。

- (1) これまでの調査結果と収集した文献より、具体的な授業内容の準備をする。
- (2) 文学部自然科学特論（増田担当）において、アクション・リサーチを試みる。
- (3) 以上を通じて、効果的な教育プログラム、具体的なレスンプランを提言する。

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）

報告者 商学部 片田 真一

4.1 マクロ系：生物多様性理解のための実験プログラム開発

4.1.1 生物学マクロ分野のテーマ

- 1-1 データベースのデザインの改善、掲載種数充実化
- 1-2 データベースの利用形態の提案
- 1-3 データベース利用マニュアル

4.1.2 新しい生物学実験の作成（マクロ系）

- 2-1 水生微生物を使った新しい生物学実験のデザイン
- 2-2 上記実験の材料を安定的に供給する方法の開発

1. マクロ分野のテーマ

生物学教室では学生実験の中に、生物の多様性を実感できる実験プログラムとして「水生微生物の観察」を取り入れている。「水生微生物の観察」をより有効に行うために、水生微生物データベースを作成するのが本分野の役割である。水生生物が対象となった理由や事業の進め方については前年度報告書を参照されたい。本年度は「日吉の水生生物データベース」の更なる充実化と利用マニュアルの作成、学生参加型のデータベース活用法の提案を行った。

1-1 データベースのデザインの改善、掲載種数充実化

データベース作成にはFileMakerPro8を採用した。本データベースは画像格納データベースファイル、分類群データファイル、データファイルの3つのファイルのリレーションで構成されている（図4.1）。画像格納ファイル（plateDIRECT-SS）には303枚のデジタル化された画像がその画像番号とともに記録されている。分類群データファイル（日本淡ぶ（変換））には、「日本淡水プランクトン図鑑（保育社）」に示された分類体系に、不足していた名称を補足した分類体系が記録されている。分類体系は図鑑や本、論文によって異なることがあるため、今回のデータベースでは別管理できるように別のファイルとした。この「日本淡ぶ（変換）」の他に「日本淡水生物学」の分類体系に沿った分類群データファイルも準備しており、用途によって差し替え可能である。データファイルは、303枚の図それぞれについての和名/学名、上位分類群名、観察された日時や記録者、生物学的特長などが記録されたデータベースの核となるファイルである（BOX参照）。

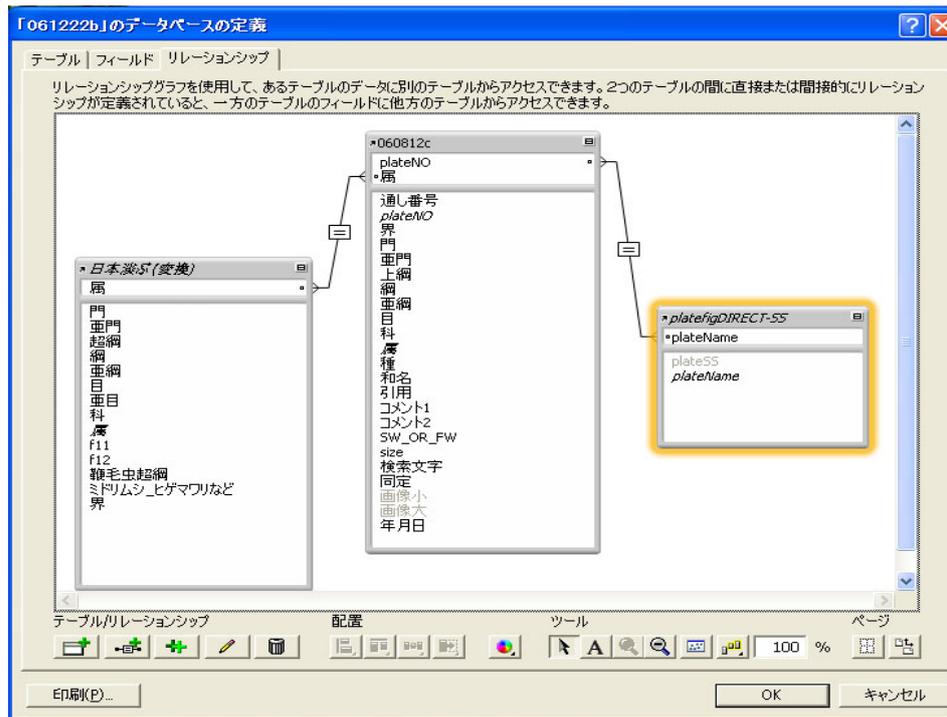


図 4.1:

〈BOX〉データファイル項目

本データベースに含まれるデータは以下の通りです。

1. 図番号と図

掲載した図にはそれぞれ個別の番号を割り当てました。

2. 和名（和名のない場合は仮称で表示）

日本淡水生物学、日本淡水プランクトン図鑑などをもとに和名を記してあります。和名のない場合には属名や科名から「〇〇の仲間」「△△属の一種」という書き方をした場合があります。

3. 属名、種小名

属名は分かるが種小名が定かでない場合には、種小名の欄は「sp.」としました。

4. 観察年月日

観察日（描写した日）を記入してあります。原図に記録のない場合は空欄としました。

5. 観察場所

観察場所は全て、慶應義塾大学日吉キャンパス第二校舎の水槽です。これらは主にベランダに設置されたスイレン鉢です。水槽が特定されていた場合にはその旨掲載しました。主に淡水ですが、一部海水を含む水槽もあったため、これもその旨記載しました。淡水か海水かが不明の場合は、空欄にしてあります。

6. 体サイズ

原図に体サイズが記載されていた場合には、データベース内に記入しました。しかし水生生物サイズは体の伸び縮み等で変化することがありますし、測定はそれほど厳密ではありませんので、目安として考えてください。

7. コメント

形態・行動等の特徴、観察された状態などはコメント欄に記入しました。

8. 引用文献

その生物が掲載されている図鑑のページやWebのアドレスは引用文献欄に記入しました。日淡は「日本淡水生物学」を、淡ぶは「日本淡水プランクトン図鑑」を示しています。例えば「日淡123」と書かれていた場合、日本淡水生物学の123ページにその生物が載っていることを示しています。

9. 同定者名

本データベースに入力するにあたって、誰がその生物の同定を行ったのかを記載してあります。sk. 片田、ni. 磯野先生

10. 図 (jpeg ファイル)

現在のところ、すべて磯野先生によって描かれた図です。PC 閲覧用にファイル容量を圧縮してありますが、より高画質なファイルも用意してあります。必要な場合にはデータベース管理者にお問い合わせ下さい。

11. 上位分類群

上位分類群 (界、門、上綱、綱、亜綱、目、科) の名称は日本淡水プランクトン図鑑に従いました。他の図鑑に準じた名称も用意してあります。

これまで、生物学教室に保管されていた磯野直秀先生 (慶應義塾大学名誉教授) の原図 (一部を図 4.2 に示す) とその付随資料に基づき、データベース化を行ってきた。2007 年 3 月 31 日現在、303 枚の図をデジタル画像として取り込み、必要な画像処理を行った後データベースに組み込んだ。表 1 はその内訳である。総数 303 枚のうちその生物の分類群が判明したものが 290 枚で、原生生物界からは鞭毛虫類、肉質類、繊毛虫類、珪藻類、緑藻類がバランスよく含まれていた。輪虫類や甲殻類の動物界や藍藻類のモネラ界の生物も含まれ、学生実験に用いるには十分なデータベースを作成することができた。なお、出現した属数は 120 である。

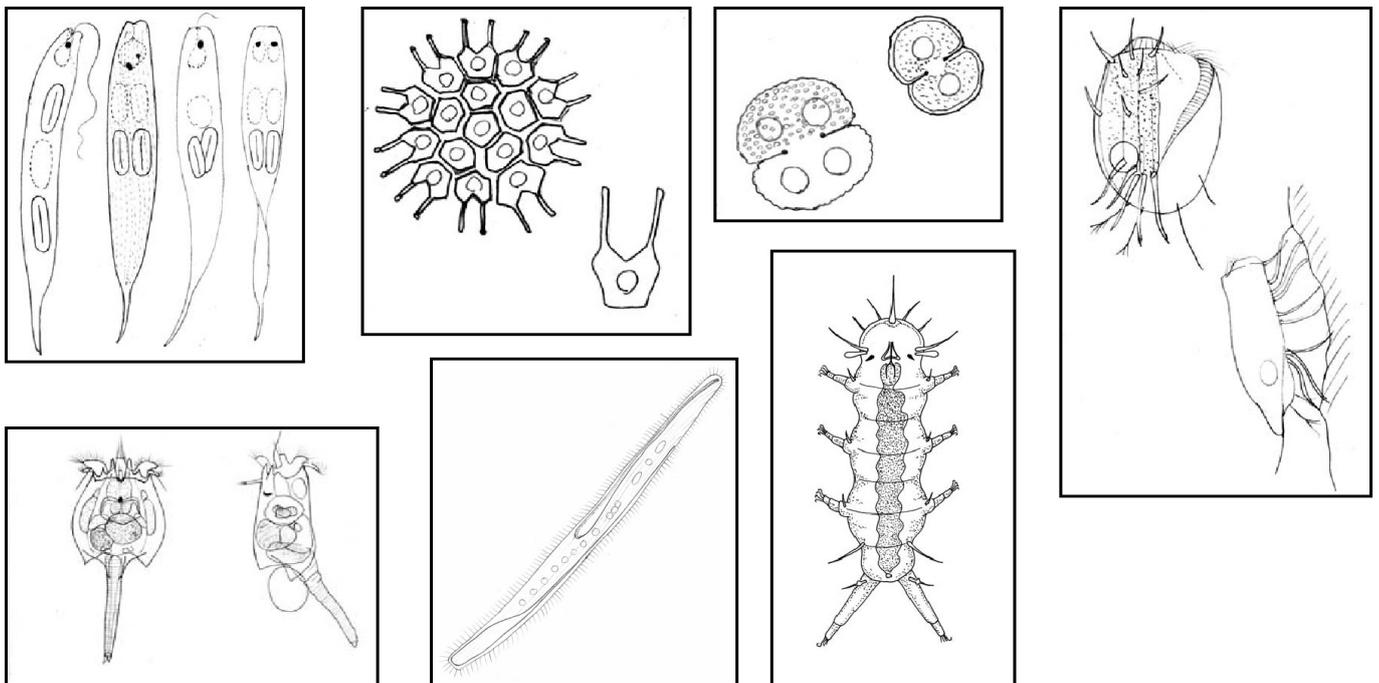


図 4.2: 日吉キャンパス第二校舎屋上水槽で観察される水生微生物。上段左からミドリムシの仲間 (全長 $120 \mu\text{m}$)、クンショウモの仲間 ($80 \mu\text{m}$)、ツヅミモ ($50 \mu\text{m}$)、Euplotes の仲間 ($100 \mu\text{m}$)。下段左からツボウムシ ($400 \mu\text{m}$)、ネジレグチミズケムシ ($500 \mu\text{m}$)、クマムシの仲間 ($150 \mu\text{m}$)。描画はいずれも磯野直秀先生 (慶應義塾大学名誉教授) による。

表1、データベースに取り入れた図版数とその分類群毎の数

鞭毛虫超綱	ミドリムシ、ヒゲマワリなど	19
肉質超綱	アメーバ、ツボカムリなど	56
繊毛虫綱	ゾウリムシ、ラッパムシ、ツリガネムシなど	111
珪藻綱	ケイソウなど	20
緑藻綱	イカダモ、アオミドロなど	30
藍藻綱	ユレモ、ネンジュモなど	4
輪虫綱	ワムシなど	25
甲殻綱	ミジンコ、ケンミジンコなど	10
その他の動物界		15
	合計	290
	所属不明	13
	総図版数	303
	属数	約120

このデータベースは日吉キャンパス第二校舎3階の水槽から出現したものを基にしているため、(生物相データとしては)当然完全なものではないし、今後生物学実験中に新しい生物が見つかることも予想される。新たに発見された生物については学生が描いたイラストをデータとして取り込み、より充実したデータベースに成長させていきたいと考えている。

1-2 データベースの利用形態の提案

本データベースは、以下の二通りの利用形態を想定している。

1-2-1 図鑑としての利用

本データベースは学生実験における「水生微生物図鑑」として利用することができる。発見した生物の色、形、動き、大きさなどから、生物の名前を探すのに役立てられる。この際、その生物の和名や学名の一部、上位分類群の名前の一を知っていると、より容易に検索が進む。そのため本データベースの使用に先立って、学生に対しては「生物の分類」や「生物の5界説」に関する講義をしておくことが望ましい。

1-2-2 学生参加型データベース構築

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、学生が自ら参加してデータベースを構築していくための「入力フォーム」を作成した。入力行程は容易で、特別な技術がなくともストレスなく操作できるレベルである。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えない。自分が顕微鏡で見つけた生物が、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である。描いたスケッチ(画像)をアップロードし、図鑑や本で調べ、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形式とした。

1-3 データベース利用マニュアル

本データベースを利用するためのマニュアルを作成した。紙面の関係で、以下に目次のみを示す。

水生生物データベース 運用マニュアル 目次		最終更新日 2007/01/29
仕様 000	ファイルメーカーによるデータベースの管理	2007/01/24 更新
001	Windows におけるシステム条件	2006/12/08
002	MacOS X におけるシステム条件	2007/01/24
100	データベース仕様	2007/01/25 更新
101	ファイル形式	2007/01/24
102	データ項目	2006/01/24
103	採用した分類体系	2006/12/08
104	掲載件数	2006/12/08
	①プレート数	2006/12/08
	②掲載属数	2006/12/08
	③所属不明の生物	2006/12/08
105	モードについて	2006/12/08
	①ブラウズモード	2007/01/25
	②検索モード	2007/01/25
	③レイアウトモード	2007/01/25
	④プレビューモード	2007/01/25
106	表示形式について	2007/01/25
107	レイアウトについて	2006/12/08
	①original (レイアウト 1)	2007/01/18
	②simple (レイアウト 2)	2007/01/18
利用方法		
200	web ブラウザによる閲覧	2007/01/29 更新
201	システム条件	2006/12/08
202	web ブラウザの version	2007/01/29
203	サーバ用 PC の準備	2007/01/29
204	web ブラウザからデータベースへのアクセス	2007/01/29
205	検索 1：検索ワードの入力による方法	2007/01/29
206	検索 2：名前の一部が判明している場合の検索方法	2007/01/29
207	検索ワードの例	2007/01/29
300	ファイルメーカーによる閲覧	2007/01/18 更新
301	ファイルの展開	2007/01/18
302	データの閲覧	2006/12/08
400	データの更新について	2007/01/29 更新
		2007/01/29

2. 新しい生物学実験の作成 (マクロ系)

2-1 水生微生物を使った新しい生物学実験のデザイン

生物の世界を「マクロ的に理解」するためには、「生物の多様性」とともに「生態系」を知る必要があるだろう。この「生態系」を実験で再現したいと考えている。モデル生物としては小型で世代時間が短いミジンコ類が良いと考えている。ミニ生態系をつくり「生物と生物の相互作用」「生物と環境の相互作用」を実感できる実験を確立したい。

2-2 上記実験の材料を安定的に供給する方法の開発

生物を生きた状態で実験に用いるのはそれ程容易なことではない。材料（ミジンコ類）を安定的に供給するシステムの開発し、他の学生実験にも役立つものとした。

4.1.3 会計関係

今年度は以下のものを購入した。

- デスクトップ PC：Dell Optiplex745DT × 2 台。
- モニタ：サムスン製 20 インチモニタ × 2 台。
- スイレン鉢 × 20 個。

4.2 ミクロ系：生物共通性理解のための実験プログラム開発

報告者 商学部 川崎 陽久

4.2.1 ショウジョウバエを用いた一連の生物学実習

生物学とひとくちに言っても、実に様々な分野が含まれている。従来は、それぞれの分野に適した実験材料を用意するのが普通であるが、生物学教室では、個々の実験に関して思考のつながりを持たせるために、ショウジョウバエという共通の材料を用いて、様々な分野について学ぶ実験プログラム開発を行っている。隔週で約3ヶ月間行われる一連の実験には、メンデル遺伝、集団遺伝、生化学、分子遺伝などの分野が含まれる。これらすべてを対象とした実験を単一の実験動物を用いて検証することは、遺伝学から分子生物学までをより深く理解するために効果的だと考えた。

平成18年度は、前年度に開発したプログラムを実際に学生実習の現場に導入し、試験的な運用を試みた。

また、将来において慶応義塾以外の大学でも運用が可能となるよう、ショウジョウバエの基礎的な取り扱い方のマニュアルも作成している。これは近日中に公開する予定である。

4.2.2 学生アンケート

「ショウジョウバエを用いた統合遺伝学実験」を行うにあたり、文系学生が1. 実験に取り組むこと、2. ショウジョウバエを取り扱うことに対する抵抗がどのように変化するかアンケート調査を行った。

1. 実験をすることについて

実験前に「どちらかといえば抵抗がある」「大変抵抗がある」としていた学生は13%いたが、半期終了後では3.5%に減少した。

2. ショウジョウバエを取り扱うことについて

実験前に「どちらかといえば抵抗がある」「大変抵抗がある」としていた学生は33%いたが、半期終了後では7%に減少した。

この結果から、ショウジョウバエを取り扱う実験は毛嫌いされるものではないことが分かる。

4.2.3 次年度の課題

ひととおり実習を行ってみて、企画段階では見えていなかった事が色々と分かってきた。2コマ（90分 x 2）の間に終わらせなければならないのだが、そのためスタッフに強いる負担の大きさは予想外であった。この実験プログラムを一般に普及させるためにも、このような障害はできるかぎり取り除き、下準備の簡素化を図るよう改良する。

4.2.4 その他

補講の際、ショウジョウバエ以外の材料を用いた実験も、試験的に取り入れてみた。①大根の細胞を用いた浸透圧実験、②鶏の手羽肉を用いた骨格標本作成である。これらの実習を受けた学生に対しアンケート調査を行ったところ、84%の学生が4段階評価で最高の「A」を選んだ。作成した骨格標本は、乾燥させて組み立ててプラスチック樹脂でコーティングしてあるため、今後もスケッチ等で利用することができる。

4.2.5 会計関係

- 外付けハードディスク
- 文房具
- プライマー
- ショウジョウバエ飼育消耗品
- 試薬類
- 骨格標本作製材料
- ショウジョウバエ飼育補助作業員を雇った(合計48時間)

参考資料として、実際の実習で用いた学生用テキストを添付する。

【添付ファイル：12ページ分有】

4.3 文系学部・自然科学教育に関するアンケート報告書

報告者 法学部 小野 裕剛

事業3（新しい学生実験の開発）では学生の履修動向を把握し、彼らが求める実験教育像と現在の実験内容（関連する講義部分も含む）の評価を得ることを新しい実験開発の指針とすべく、アンケート調査を行った。アンケート用紙は本報告末尾を参照されたい。

調査対象は生物学IIの受講者1022名で、1月の最終授業時間に行った。

1. 生物学の履修は何年時に行われているか図1は所属学部と学年のクロス集計である。どの学部においても圧倒的に一年生の履修者が多く、日吉に一年しか在籍しない文学部ではその傾向が顕著である。
2. 実験科目を含む自然科学科目の履修動向調査対象とした生物学I・IIは両方合わせて6単位である。自然科学系列で8単位を卒業に要する学部もあり、学生が生物学以外でどのような履修をしているかを学部ごとに集計した（図4.4）。

どの学部においても心理学を履修した（予定を含む）学生が圧倒的に多く、文学部ではその傾向は特に顕著であると言える。また、経済学部・商学部にも数学・統計分野履修者が多いのも学部専門との連携を想起させる履修動向と言えよう。経済学部・商学部の学生に「なし（無回答）」が多いのは卒業要件の6単位を実験科目で充足したためと思われる。

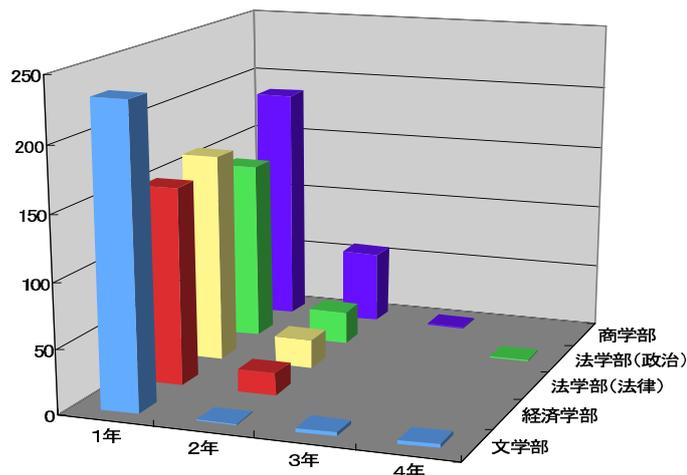


図 4.3: 受講者の学部・学年のクロス集計

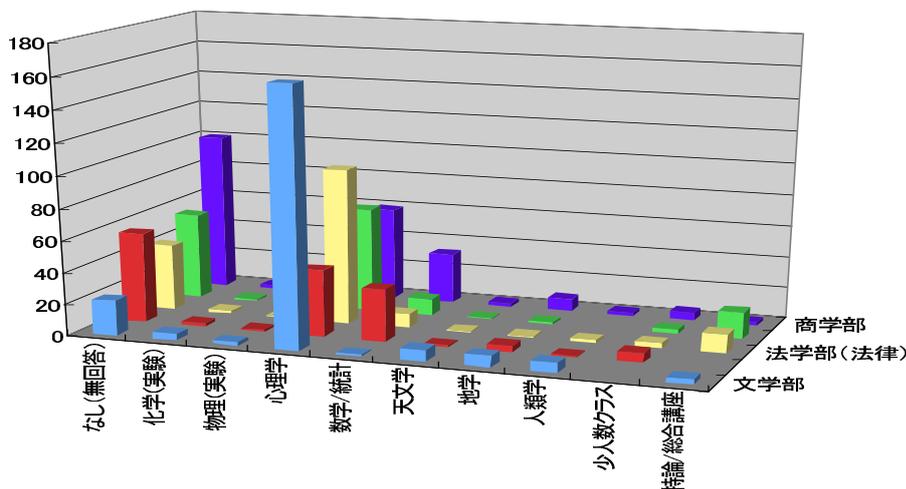


図 4.4: 生物学以外の履修科目（自然科学系）と所属学部のクロス集計

3. 学生が重視する要因と選択のきっかけ

学生が履修する科目を選択するに当たって重視する要因について尋ねた。個別集計では講義内容を重視すると答えた学生が最も多く 42 % を占め、実験内容を重視すると答えた 17 % を合わせると過半数を超える。これに連動するかのよう選択のきっかけとしてはシラバスが 33 % で最も多かった。また、きっかけの第二位には時間割の都合 (27 %) が入り、必修単位とのかねあいで自由に科目を選べない実情も垣間見える。重視する要因に単位取得の易しさを挙げる学生も相当数見られたが (22 %) 対応する選択理由であるリシュルト (アンダーグラウンドの授業評価情報誌) を選んだ学生は 14 %、先輩からの助言 15 % を合わせてもシラバス (33 %) には及ばず、クロス集計 (図 4.5) からも特筆するほどの相関は見られなかった。これらのデータを勘案すると、生物学履修者は内容重視で、その情報をシラバスから得ているという非常に健全な様子が見えてくる。

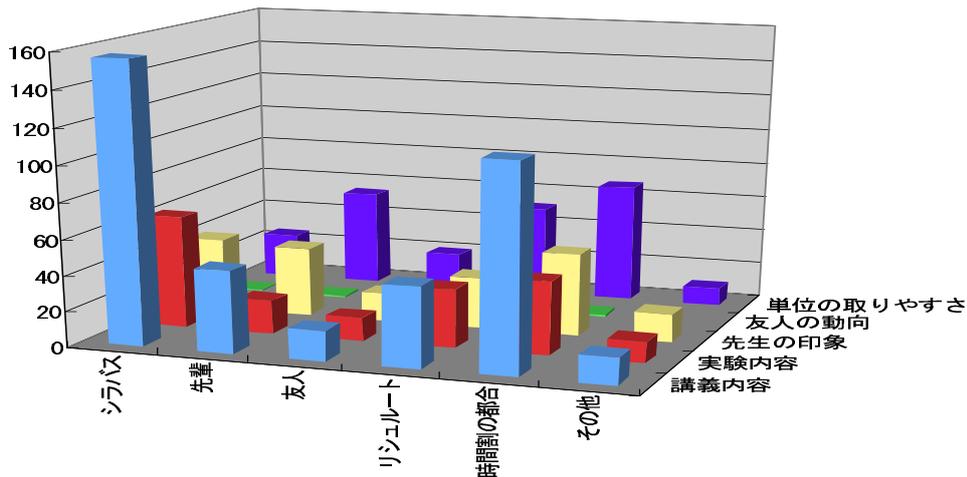


図 4.5: 履修に当たって重視する要因と選択のきっかけ (クロス集計)

4. 履修に当たっての直接的行動～ガイダンスへの出席数と履修カード

実験科目はガイダンスウィークに希望する授業コマに参加し、場合によっては抽選を経て履修の権利である「履修カード」を手にする。履修カードで履修者数を制限するのは実験設備に限りがあるためだが、近年、発行された履修カード枚数に比べて履修者が少ない傾向が見られる。そこで、実際のどのくらいのガイダンスに参加したか、履修カードを何枚集めたかを尋ねた。

図 4.4 は参加した実験科目のガイダンス数である。回答した 850 名はのべにすると 1433 回ガイダンスに出席しており、平均 1.7 回出席していることになる。一方、集めた履修カード数は春・秋学期平均で 1.2 枚となり、およそ 2 割の履修カード（履修機会）が無駄になっていることが分かった。

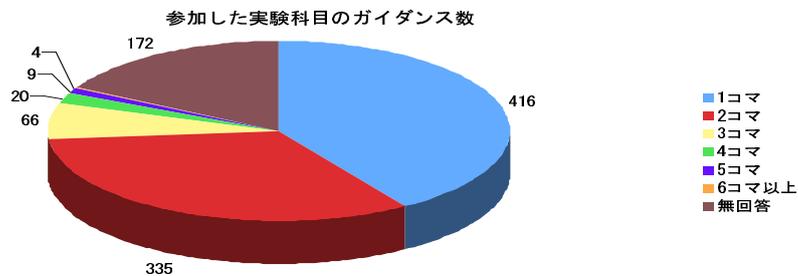


図 4.6: 参加した実験科目のガイダンス数

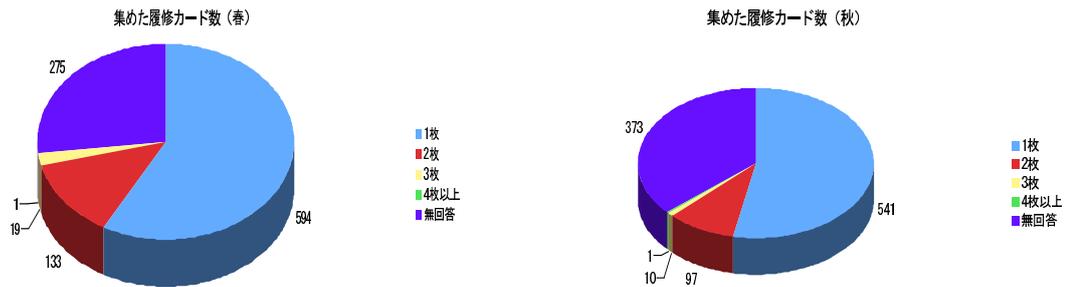


図 4.7: 集めた履修カード枚数

5. 履修の意欲とカリキュラムへの要望

自然科学科目の履修が有効かどうかを尋ねた際にはほとんどの学生が有効であると回答している（図 4.8）。有効とした学生の多く（86 %）が「教養として」有効であるとしていたが、取るべき方向性を尋ねた問では文系科目との連携（30 %）や基礎からの積み上げ（5 %）を求める学生も一定数存在することは注目に値する（図 4.9）。また、カリキュラムで自然科学科目の履修が義務づけられていることに対しても抵抗感は顕著ではない（図 4.10）。

文系学生であるあなたが自然科学を学ぶことは有効だと思いますか

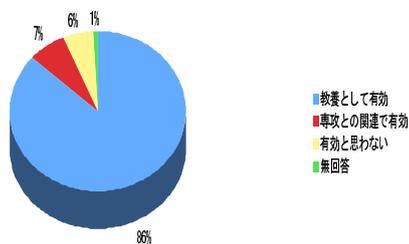


図 4.8: 自然科学科目の有効性について

慶應義塾のカリキュラムで文系学生に自然科学科目の履修が義務づけられていることについてどう思いますか

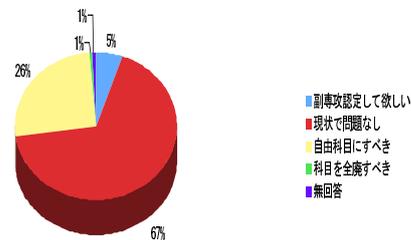


図 4.9: 自然科学科目の方向性について

慶應義塾のカリキュラムで文系学生に自然科学科目の履修が義務づけられていることについてどう思いますか

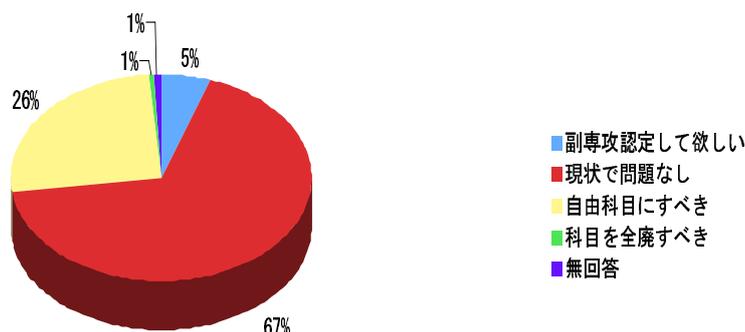


図 4.10: 自然科学科目の履修が義務づけられていることについて

6. 実験科目への抵抗感とその推移

文系学生は実験を行う機会が少ないため、経験を積むことによって抵抗感（食わず嫌い）が減少するかどうかクロス集計を取った。図 4.11 では高校までの実験経験と履修前の抵抗感の集計である。経験豊富な学生にとって抵抗感が少ないのは当然だが、経験の少ない群では一定数の抵抗感が見られた。

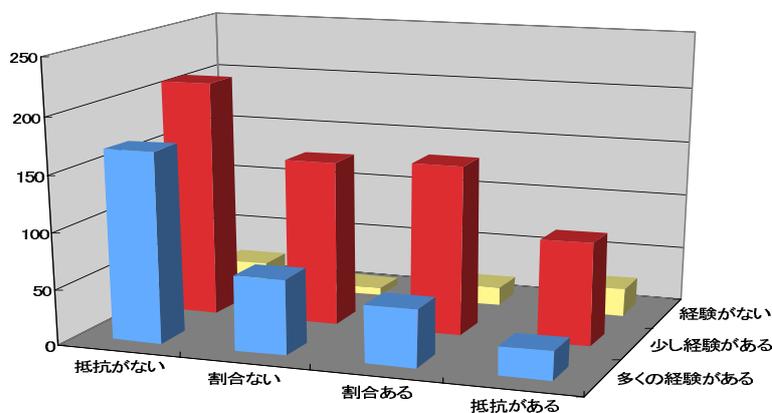


図 4.11: 高校までの実験経験と実験への抵抗感

このような学生が実験科目を履修した結果として、実験への抵抗感がどのように変化したかを図 4.12 に示した。「事前の抵抗がわりとある」とした群において「事後抵抗わりとなし」への変遷が顕著に見られ、「事前抵抗あり」とした群においても抵抗感の現象は明らかに見られる。これらのことは自然科学科目における実験の重要性が学生に認知され、実戦することで抵抗感が薄れたことを示していると言える。

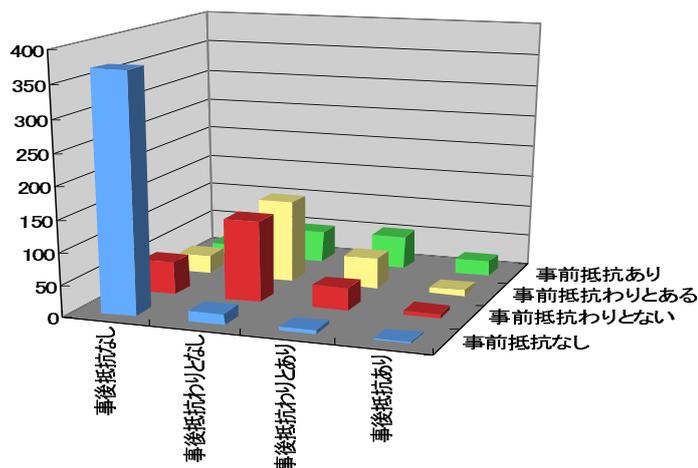


図 4.12: 実験に対する抵抗感の推移

7. 授業評価と学生に与えた影響の評価

図 4.13 から図 4.17 は履修を終えた学生が講義内容や実験の意図に関してどれほど理解が進んだかの集計である。どの設問においても全体の7割以上が良好な印象をもっていることがうかがえる。この結果は 2005 年に行った在学生・卒業生に対するアンケート（通学過程）とほとんど同じ傾向を示している。図 4.18 から図 4.22 は応用面・発展面への影響を問う設問だが、直接的な授業評価に比べるとやや評価が下がっている傾向がある。実験が実験室内のみで完結するものではないことをもう少し積極的にアピールする必要があるかもしれない。

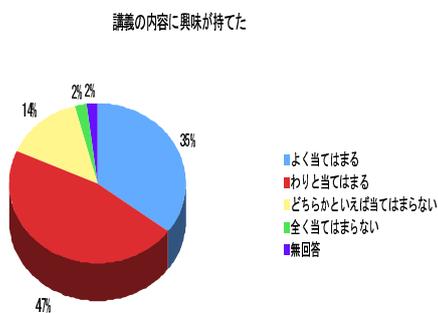


図 4.13: 講義内容に興味が持てたか

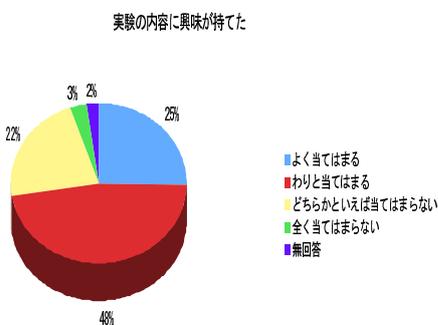


図 4.14: 実験に興味が持てたか

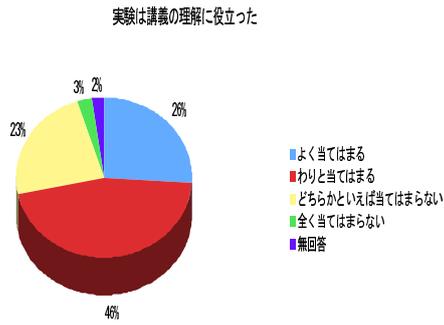


図 4.15: 実験が講義の理解に役立ったか

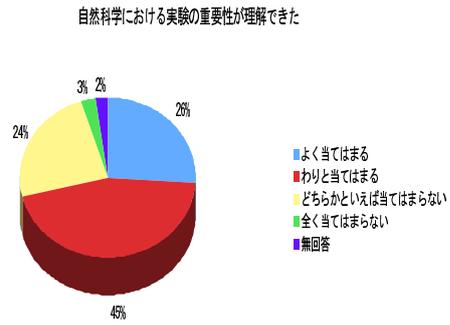


図 4.16: 実験の重要性が理解できたか

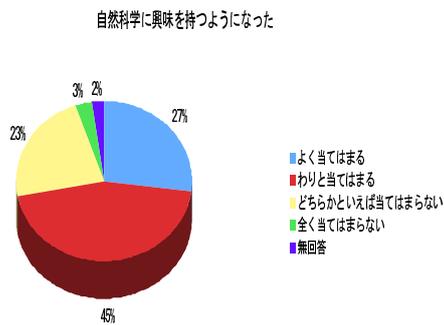


図 4.17: 自然科学に興味を持つようになったか



図 4.18: 科学的な考え方が身についたか

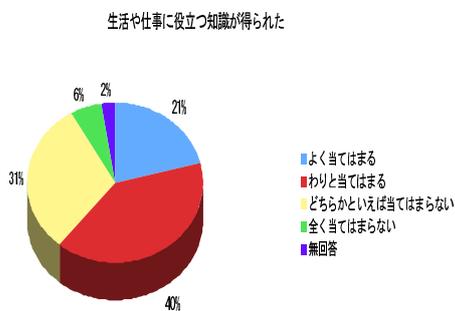


図 4.19: 仕事や生活に役立つ知識が得られたか



図 4.20: 実験姿勢が身についたか

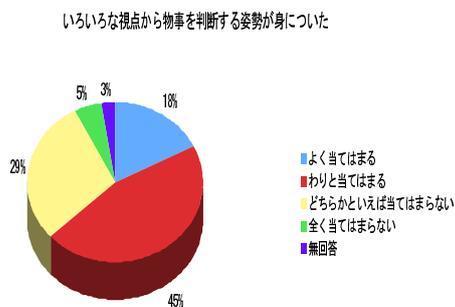


図 4.21: 多角的な視点をもてるようになったか

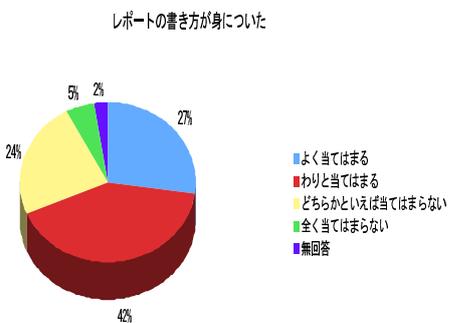
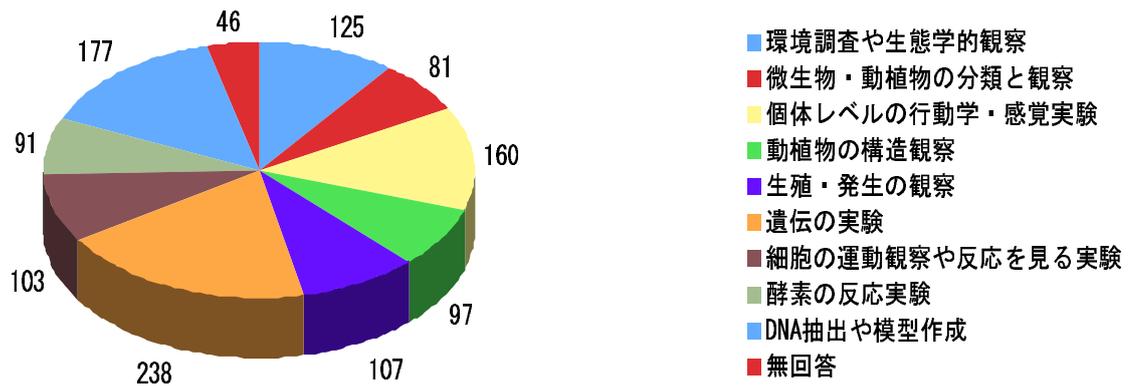


図 4.22: レポートの書き方が身についたか

8. 学生が希望する実験分野

最後に学生が望む生物学実験のテーマを複数回答で尋ねた。この設問は一部の教員のみで行ったので回答者数は458人である。遺伝や遺伝子関連の実験を望む比率はやや多いが、これはアンケートを行った教員の重視した内容と関連していると思われる。全体を見渡せば、どの分野にもそれなりの需要があると言えよう。

取り上げて欲しかった実験はなんですか（実際に行った実験を含む）



文系学部・自然科学教育に関するアンケート

- Q1. 所属学部
 1. 文学部 2. 経済学部 3. 法学部（法律） 4. 法学部（政治） 5. 商学部
- Q2. 学年 _____年
- Q3. 性別 1. 男性 2. 女性
- Q4. 履修したのは 1. 化学 2. 物理 3. 生物
- Q5. 他に履修している自然科学科目すべてに○（来年度以降希望のものには△）をつけてください。
 1. 化学（実験） 2. 物理（実験） 3. 生物（実験） 4. 心理学 5. 数学/統計
 6. 天文学 7. 地学 8. 人類学 9. 研究会/セミナーなど 10. 特論/総合講座など
- Q6. あなたは高校時代に自分で行う実験（科目問わず・課外活動含む）を経験しましたか？
 1. 数多くの経験がある 2. 少し経験がある 3. 経験がない
- Q7. 文系学生であるあなたが自然科学を学ぶことは有効だと思いますか？
 1. 教養として有効 2. 専攻との関連（法律・行政・ビジネスなど）で有効 3. 有効と思わない
- Q8. 慶應義塾のカリキュラムで文系学生に自然科学科目の履修が義務づけられていますが、どう考えますか？
 1. 副専攻認定して欲しい 2. 現状で問題なし 3. 自由科目にすべき 4. 科目を全廃すべき
- Q9. 慶應義塾の文系に対する自然科学科目の取るべき方向性についてどう考えますか？
 1. 先端技術をわかりやすく 2. 文系の専門と連携を重視 3. 一般常識程度 4. 基礎からしっかり
- Q10. この科目を履修したきっかけは何ですか？
 1. シラバス 2. 先輩の助言 3. 友人に誘われて
 4. リシュルート 5. 時間割の都合 6. その他
- Q11. 自然科学科目選択の判断理由で最も重要なものは何ですか？
 1. 講義内容 2. 実験内容 3. 先生の印象 4. 友人の動向 5. 単位の取りやすさ
- Q12. 実験を含む自然科学科目のガイダンスにいくつ参加しましたか、また履修カードは何枚集めましたか？

参加したガイダンス 約_____コマ

集めた履修カード <春>約_____枚 <秋>約_____枚
- Q13. 自然科学科目および実験することに対する抵抗は履修の前後で変化しましたか？

	履修前				履修後							
自然科学科目に対する抵抗	なし	1	2	3	4	あり	なし	1	2	3	4	あり
実験することに対する抵抗	なし	1	2	3	4	あり	なし	1	2	3	4	あり

- この科目を履修して思うことを1から4の段階評価で教えてください。

Q14. 講義の内容に対して興味が持てた	1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	全
Q15. 実験の内容に対して興味が持てた	良 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	く
Q16. 実験は自然科学（講義）の理解に役立った	く 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	当
Q17. 自然科学における実験の重要性が理解できた	当 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	て
Q18. 自然科学に興味を持つようになった	て 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	は
Q19. 科学的な考え方が身についた	は 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	ま
Q20. 生活や仕事に役立つ知識が得られた	ま 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	ら
Q21. 疑問があれば自分で確かめるといふ姿勢が身についた	る 1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	な
Q22. いろいろな視点から物事を判断する姿勢が身についた	1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	い
Q23. レポートの書き方が身についた	1 ___ 2 ___ 3 ___ 4	

- Q24. あなたが取り上げて欲しかった実験は何ですか？（実際に行ったものを含めてすべてに○）

1. 環境調査や生態学的観察	2. 微生物・動植物の分類と観察	3. 個体レベルの行動学、感覚実験
4. 動植物の構造観察	5. 生殖・発生の観察	6. 遺伝の実験
7. 細胞の運動観察や反応を見る実験	8. 酵素の反応実験	9. DNAの抽出や模型作成

4.4 生物発信日吉キャンパスGP推進事業（生物学）における報告書

報告者 文学部 中島 陽子・金子洋之・村部 直之

1. 目的と内容

発信事業の一環として、生物学の講義や実験内容をヴィジュアルに表現したポスターを、塾内の学生に向けて提示する。ポスターに載せられた内容は、以下に示すようにヒト編、植物編、動物編、細胞編の4つを含んでいる。ポスターは各教室の壁を利用し、学生たちが授業や実験の間に見ることが出来るよう留意した。なお、ポスターのサイズは85 X 120 であり、時間経過にも風化しないものを作成するため、慶應出版会に印刷ならびに外枠の作成を発注した。

2. ポスター掲示場所

日吉キャンパス第2校舎

- 講義室（231講義室：9枚、234講義室：6枚）
- 実験室（232実験室：9枚、244実験室：9枚）
- 3階廊下：3枚

3. ポスター内容（各ポスターの原画ファイルとプリントアウトしたファイルを提出する）

(a) 細胞編（4枚）

- 細胞内小器官：核、粗面小胞体、ミトコンドリア、ゴルジ体細胞間連絡（植物細胞）
- 細胞運動のしくみ：チューブリン・ダイニン系（鞭毛）、アクチン・ミオシン系（横紋筋）
- 生体における輸送システム

(b) 植物編（4枚）

- 原形質流動（シャジクモ）
- シャジクモとフラスコモの違い
- 日吉キャンパス地域における在来・外来タンポポの分布
- モチノキ・陽葉／陰葉

(c) 動物編（6枚）

- ウニの発生①：卵成熟・受精・卵割
- ウニの発生②：胚発生
- ヒトデの発生：卵成熟・受精・卵割胚・発生
- カエルの発生
- ヒドラ
- メダカ：ウロコ色素細胞

(d) ヒト編（4枚）

- 私たちの体：階層的理解の薦め、器官系の機能と連関、組織の種類、動的平衡
- 組織標本からみる私たちの体①：脳・神経系（小脳）、心臓（心筋）、肺（肺胞）
- 組織標本からみる私たちの体②：消化器系（小腸断面と絨毛先端）、肝臓（肝細胞）、膵臓（腺房とランゲルハンス島）
- 組織標本からみる私たちの体③：腎臓（糸球体）、精巣（精細管）、皮膚（表皮）

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 マイナスイオン等の環境分析

【目的】

身近な環境（日吉キャンパス）のマイナスイオン等の測定を行い、自然の豊かさとマイナスイオン等の相関関係を理解し、私たちの生活が自然環境にどのように影響しているかを考える。

測定装置	多機能型環境測定器	AHLT-100
	デジタル紫外線強度計	UV-340
	マイナスイオン測定器	AIC-1000
	簡易型 COD メーター	COD60A

日吉キャンパス（日吉地区および矢上地区）は南北 1200m x 東西 800 m に広がり、矢上川や東急東横線および綱島街道に接している。また、キャンパス内には陸上競技場や広大な雑木林が広がり、雑木林には弥生時代住居跡や第2次大戦時に使用された地下壕がある。このように日吉キャンパスおよび周辺には多様な生態系が存在する。そこで、このキャンパス内の環境測定およびそのデータ解析を行なう。さらに、フィールドワークによる環境分析を通して、この(知られざる)日吉キャンパスの豊かな自然や歴史に触れてもらう。

実験方法：日吉キャンパス内（雨天のときは室内）にてマイナスイオン等の測定を行う。日吉キャンパスマップを参考にして、各グループ（3 or 4 名）で話し合い測定ポイント注）を 10ヶ所決めて環境測定をする。測定ポイントおよび測定条件（気温、湿度など）と測定結果について（他のグループの測定結果も参考にして）データの解析を行う。データの解析は個々で行うこと。注）フィールドワークによる環境分析を取り入れた理由の一つに、この(知られざる)日吉キャンパスの豊かな自然や歴史に触れるということも含まれている。

本実験ではマイナスイオンを測定することにより環境分析を行うが、マイナスイオンとはいったい何であるのか、科学者の間でもマイナスイオン論争が起こっている。「マイナスイオンとは、いったいなんなのか」、「どのようにして発生するのか」、「空気負イオンの生体への効果は？」など、未だ科学的に解明されていないことが多い。

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 学生実験テーマの開発事業

Millikan の実験は歴史的に意義が深いと同時に、既に導入している電子の比電荷の測定実験と合わせての電子の存在の根拠となる興味深い実験である。今年度は Millikan の電気素量の測定実験の導入に向けて実験を行い、機材の選定、テーマ設定などを行った。その結果、2007 年度より学生実験に導入することになった。

また、導入されている様々な実験についても実験内容、実験手順、機材の改良を行った。特に「光速の直接測定」、「原子のスペクトルと量子力学」のテーマについては実験内容を増やし、改良を行った。これらの実験は 2006 年度に導入したものであるが、学生実験として順調に行われており、学生にも好評である。さらに、「重力加速度の測定」、「光の干渉と回折」、「光と電子」のテーマについて実験を行い、現在の実験の改良の検討を行った。結果として、いく点かの改良も行った。

また、実験テキスト自体も内容、そしてその管理方式を含めて改良を加えた。そのことにより、web での実験に関する情報を公開をより積極的に行えるようになっている。

6.2 情報発信事業

物理学教室では、我々の行っている学生実験テーマについて、その内容、実験マニュアル、そして学生が行った実験結果の統計などを積極的に web で公開している。今年度もこれを精力的に押し進め、内容を徐々に増やすことができた。情報発信の方式についても様々な側面を検討し、改良を加えつつけている。

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 他大学等シンポジウムでの講演

他大学等主催シンポジウムにおいて下記の通り招待講演を行った。

- 近畿地区大学教育研究会第75回研究協議会（華頂短期大学）
 - 日時：H18年9月9日（土）
 - テーマ：「『大学の学校化』時代における教養教育」
 - 講演：「自然科学教育の意義について—学生にとって、研究者にとって—」表 實
- 東北大学特色 GP シンポジウム（東北大学川内北キャンパス）
 - 日時：H18年11月24日（金）
 - テーマ：「文科系学生向けの理科実験科目の取組み」
 - 講演：「慶應義塾大学における自然科学教育の試み；過去、現在、そして未来へ」金子 洋之
- 大学教育学会課題研究集会シンポジウム（金沢大学）
 - 日時：H18年11月26日（日）
 - テーマ：「学士課程における理系基礎教育—教養教育からキャリア教育まで」
 - 講演：「文系学生への実験を重視した自然科学教育」金子 洋之
- 東京大学駒場キャンパス公開シンポジウム（東京大学駒場キャンパス）
 - 日時：H18年12月23日（土）
 - テーマ：「1・2年次における自然科学実験の特色ある取組み」
 - 講演：「実験を重視した文系学生への自然科学教育—生物編—」秋山 豊子

各シンポジウムにおける講演内容は報告書は以下の報告書にまとめられている。

7.1.1 近畿地区大学教育研究会第75回研究協議会シンポジウム講演

講演報告：表 實

平成18年9月9日（土）京都市華頂短期大学で開催された近畿地区大学教育研究会の第75回研究協議会に出席し、シンポジウム「『大学の学校化』時代における教養教育」で「自然科学教育の意義について—学生にとって、研究者にとって—」というタイトルで報告し、パネル討論の講師として質疑応答に参加してきた。

近畿地区大学教育研究会は、京都地区・大阪地区・兵庫地区・滋賀地区・奈良地区の大学からなる組織であり、当初は一般教養研究会として始まったものが今日の組織に改組されたものであり、近年は年に1回の割合で研究協議会を開催しているとのことである。第75回協議会にあたる今回のシンポジウムには、上記各地区の大学から教員および大学職員合わせて110名前後が参加した。

協議会のプログラムは以下のとおりである：

- . 総会 午前10時～10時30分
 - 会長挨拶 京都大学総長 御池和夫
 - 当番大学学長挨拶 華頂短期大学学長 中野正明
 - 会務報告
- . シンポジウム 「『大学の学校化』時代における教養教育」
 1. 基調講演「学士過程（教養）教育の課題」 午前10時30分～12時
 - 講師 国際基督教大学名誉教授 絹川正吉
 2. 部会 午後1時～4時
 - 第一部会 パネル討論「教養教育の新たな可能性に向けて」
 - 「工学系大学における倫理教育」 名古屋工業大学 藤本 温
 - 「自然科学教育の意義について―学生にとって、研究者にとって―」
慶應義塾大学 表 實
 - 「世界を逆方向から見る；教養科目としてのアラビア語」
京都大学 岡 真理
 - 第二部会 事務部会「大学教員による教育支援の現状とあり方」
 3. まとめ（部会の報告） 午後4時～4時30分

本シンポジウムへは、シンポジウム事務局よりパネル討論での報告と議論への参加依頼を受けて、慶應義塾大学日吉キャンパスで実践されている「文系学生への実験を重視した自然科学教育」の紹介とその意義について報告することを目的に参加したものである。シンポジウムの趣旨は以下のとおりである：『近年の少子化傾向による〔大学全入時代〕の到来に加え、今年2006年は、新学習指導要領のいわゆる〔ゆとり教育〕を受けた世代が初めて大学に入学してきた年に当たる。国・公・私を問わず多くの大学で、学生の意識や関心の変化、あるいは学力や勉学意欲の多様化・分散化に直面し、教養教育・一般教育の〔困難〕や〔危機〕が指摘されている。一方、文教政策においては、社会のグローバル化に対応した高等教育の改革が求められ、財政面からの競争的環境の導入も進行しつつある。こうした状況への対応を迫られるなかで、多くの大学が〔大学の学校化〕、すなわちカリキュラムや教育方法等で中等教育からの継続性をより強化する方向に進まざるを得なくなっている現実がある。以上のような現状を認識した上で、今回は特に〔教養教育〕に焦点を絞り、その新たな可能性、すなわち中等教育の単なる延長にとどまるのではなく、現代の大学生の関心やニーズに対応しつつ、今後の社会にとってより有為な資質・能力を備えた人材を育成しようとする教養教育の可能性を模索したい、というのが今回の趣旨である。』

今回のシンポジウムに参加して感じたことをまとめると

1. 近畿地区では多数の大学が参加したこのような研究会が存続し、毎年定期的な会合がもたれているという事実を初めて知ったこと
2. 基調講演は、国際基督教大学絹川正吉名誉教授（前学長）による国際基督教大学での経験を踏まえたリベラル・アーツ教育の考え方に関するものであったが、最後の締め言葉が「それでも問題は残る…」であったのが、この教育の難しさを示唆するものとして印象に残ったこと
3. 工学系大学における倫理教育は、各大学にその設置を義務づけられている科目であるが、この課題を倫理学の問題としてのみとらえてよいかという疑問が残ること
4. 京都大学では教養科目としてのアラビア語（語学としてではない）が開講されていることは興味深い反面、大学全体で履修希望者の数が30名前後に過ぎないという事実は多くの問題を示唆していると

思われること

5. 大学職員の部会による研究会がもたれていること

となる。

最後に、慶応義塾大学の「文系学生に対する実験を重視した自然科学教育」の取り組みは多くの関心を惹いたことを付け加えて、シンポジウム参加の報告書としたい。

7.1.2 東北大学シンポジウム講演

講演報告：金子 洋之

「文科系学生向けへの理科実験科目の取組み」のテーマのもと、東北大学シンポジウムに参加した。慶応義塾大学以外に、八戸工業大、大阪市大、北大、玉川学園大、横浜国大が招待されていた。各講演の中から、いくつかの重要な情報を列記したい。

1. 横浜国大では、新たな実験テーマの開発（物理学）が意欲的になされており、大人数クラスで模範実験を行っている（視察対象）。
2. いくつかの大学の物理学実験では、実験器具を学生に自作させる。
3. 文理混合型の実験を行っている大阪市大では、文系1年生と理系2年生がグループを作り実験を行うが、理系学生が文系学生を自らリードしていく利点あり。
4. 首都圏西部大学間では、単位交換制度が設けられている（約10名程度の学生が受講している）。

なお、議論の中から浮かび上がってきた問題点として、オムニバス形式の実験授業では、テーマ毎の関連性が持たせ得ないことや、新たな教育のチャレンジに人員削減が大きな障害となることが発言された。また、文系学生への実験レポートの具体的な評価基準に関する質問があった。

7.1.3 大学教育学会課題研究集会シンポジウム講演

講演報告：金子 洋之

「学士課程における理系基礎教育—教養教育からキャリア教育まで」のテーマで、慶應大、広島大、新潟大が講演を行った。慶應大学の取組みにおいては、講義と実験をリンクさせ得る方法に関して質問され、慶應独自の組織性、教室利用法、各クラスの規模やオムニバス制を取らないことの意義などを答えた。広島大からは、工学系基礎学力の評価と保証を目指し、数学の統一試験の作製と実施を行っていることが報告された。具体的には、トイフルなどのように客観的かつ汎用的な成果基準を数学でも設けることにより、企業が良い学生を選択できる環境を作り、WEB上で判定結果を知り得る仕組みやマークシートを使える問題作製を模索しているとのことであった（<http://www.aemat.jp/exam/>）。新潟大は、「企業連携に基づく実践的工学キャリア教育」というテーマのもと、工学力をつけることを目的に、積雪地帯である新潟の特徴である雁木作製を、学生自身が作製材料の手配から職人や発注者との話し合い迄を含めた総合的な現場での建築を行っている報告を行った。なお、議論の中から時代と伴に変化していく学生のモチベーションに合わせたプログラムを組むことの重要性が指摘された。

7.1.4 東京大学駒場キャンパス公開シンポジウム講演

講演報告：秋山 豊子

東京大学は2005年4月に「教育シーズの探索と育成」「教養教育の国際標準の開発」「教育モデルの開発と発信」を目的として、教養学部附属教養教育開発機構を立ち上げ、教育改革・教育開発について、各種の企画・立案を行ってきた。構成は、企画部門・開発部門・実施部門・評価部門・寄付部門からなり、

その開発部門は自然科学導入教育を目的とするサイエンスラボプログラムと書く力の養成を目的とするライティングセンター・プログラムを中心として開発に取り組んでいる。サイエンスラボは、2005年から1・2年生むけのカリキュラム改革の中で特に基礎実験の施行方法とテーマの改革の支援を行ってきた。‘93年の改革で、1・2年次における自然科学実験は、物理学・化学・生物・(地学)などを網羅した自然科学「基礎実験」を開講してきたが、学生の混乱（いずれの分野の理解も不十分、実験課題の結果の記録・レポートの書き方や提出方法の違い、装置の高度化によるブラックボックス化など）となったという判断の下、’05年からの改革では、基礎教育のいっそうの重視を目的に、もとの物理学・化学・生物学などの分野に分離した実験科目にもどし、実施時期や必修化（理科1類に生命科学の必修化）、進学振り分け制度に新しく『全科類枠』が導入され、文系の学生も履修する可能性を含めるなどの対応を行ってきた。シンポジウムでは、これらの改革の経緯と、この間、副教材として作成された実験の手順を説明した自習用のDVDが紹介された。シンポジウムの構成は、第一部として、大阪大学（物理学）、北海道大学（化学）と慶應大学（生物学）から、それぞれの分野の講師を招聘し、それらの大学での12年次における自然科学実験科目における取り組みの紹介と質疑応答があった。第2部として上記の東大の自然科学教育用に開発されたDVD（教科書に付属として販売予定）が物理学・化学・生物の担当者から紹介された。第3部はパネルディスカッションとして、自然科学教育と実験科目の問題点、デジタル映像教材の使用法などについて全報告者とフロアの参加者間で質疑応答がなされた。

大阪大学は、ボランティア的に教員有志が物理学のデジタル映像教材作成を行い、それを実験時の説明用に使用している例を報告、北海道大学は、新たに、単一の実験科目に物理化学・生物地学など自然科学を網羅的に含む『自然科学実験』を開講し、文系学生も履修できるようにした例を化学担当教員が報告した。慶應大学からは報告者（秋山）が、慶應大学における自然科学教育の歴史的背景、自然科学の全学部におけるカリキュラムと実験科目の開講実体（必要単位、コマ数、授業時間、実験と講義の隔週実施、履修者の割合など）、特色GPの取り組み、これまでの履修者の割合とアンケート結果、生物学教室の全テーマと秋山担当の実習の実体などを紹介した。報告者への質疑応答では、①福沢諭吉の哲学から来た自然科学教育の重視、②卒業後の学生にアンケートを行い、大多数に実験科目が好印象を持って受け取られていること、③実際に多くの文系学生が好感を持って履修していること、④実験と講義が隔週で行われており、実験で不足する説明が補える点、⑤レポートに評点を入れて返却し、返却時に概評をして更に理解を深めている点、⑥絶えず、少しずつ実験テーマの入れ替えがなされている点、⑦時事的な興味を考慮したテーマ（環境汚染調査・DNA鑑定）が行われている点などが評価された。

全体的な問題としては、今後GP事業などの経済的なサポートがない場合の新しい実験プログラムの開発やコストの掛かる実験の施行などについて、教育関連の研究費や経済的な支援補助が望まれるということが会場で一致した。シンポジウムの内容は全て記録され、報告者らが利用したパワーポイントのファイルとともに冊子体として刊行される予定とのことである。

7.2 他大学調査およびその報告書

「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・発展を図ろうとするものである。調査大学および報告書については次の通り。

- 慶應義塾大学鶴岡タウンキャンパス（H18.8.21～23）：先端生命科学研究所
- 海外大学視察（欧州）（H19.2.7～24）：Université Paris VI ,Ecole Normale Supérieure,
University of Cambridge,University of Oxford
- 海外大学視察（北米）（H19.3.11～18）：Princeton University, University of California,Berkeley（他に今回の視察ではHarvard大学とMITへの視察も企画したが、準備のための時間不足から先方の大学との交渉が間に合わなかったことがあり、この2大学への調査はホームページからの情報取得となった）

7.2.1 慶應義塾大学鶴岡タウンキャンパス「サマーバイオカレッジ2006」視察報告

インタビュー対応： 塩澤明子（先端生命研究所・渉外担当）
場所（バイオラボ棟）： 〒997-0017 山形県鶴岡市大宝寺字日本国 403-1
Tel: 0235-29-0534 (代表)
(キャンパスセンター)： 〒997-0035 山形県鶴岡市馬場町 14-1
Tel: 0235-29-0800 (代表)
訪問日： 平成18年8月21日～23日（二泊三日）
調査担当者： 小野裕剛、萱嶋泰成、川崎陽久

塾内高校生を対象としたバイオサマーカレッジの全日程を見学した。その一環として慶應発のベンチャー企業であるヒューマンメタボロームテクノロジー株式会社の施設も合わせて訪問した。

施設の概要

鶴岡タウンキャンパスは慶應義塾大学先端生命科学研究所、東北公益大学鶴岡サイト、致道ライブラリー（生命系図書館）を合わせたの総称である（参照 URL: <http://www.ttck.keio.ac.jp/>）。その中で、今回訪問の中心となった先端生命科学研究所の施設は鶴岡市内に二つに分かれて設置されている。一つはセンター棟（鶴岡城址内）で、バイオインフォマティクスのためのコンピューター実習室を備え、図書館や研修棟（宿泊施設）を併設する。他方のバイオラボ棟は新しく開発された鶴岡バイオキャンパス特区に位置するメタボローム解析を中心とした実験棟であり、託児所やマシンジム、ジャグジーまでもが併設されていて、心おきなく研究に没頭できる環境整備が行き届いている。唯一の難点を上げれば、二つの施設が離れており、車でなければ移動が困難なことだろう。バイオキャンパス特区には他に鶴岡メタボロームキャンパス（慶應発バイオベンチャーであるヒューマンメタボロームテクノロジー社）があり、鶴岡バイオサイエンスパークが計画中である。

実習室とその利用

実習室はバイオラボ棟の1階にあり、T字型実験台3台で最大20名の学生に対応する。分子生物学に使用する汎用機器（微量遠心機3台、オートクレーブ2台、インキュベーター、冷蔵庫、フリーザーなど）が完備されているが、サーマルサイクラーやシークエンサーは別室にある研究用の機器を利用する。コンピューター実習室はセンター棟にあり、20名が各自の端末を利用できる。このキャンパスでは環境情報学部では生命科学指向の学生に対し、バイオキャンプと称する半期（4ヶ月）の合宿授業を行っている。主として三年生（定員16名）が分子生物学実験の基礎から始めて20単位を取得できる。このコースを実際に見学することはできなかったが、学生自身が編集したムービーを見る限りでは生活面も含めたバイオ研究の実情が学べるコースになっているようだ。先端生命科学研究所ではバイオキャンプ用の学生実習室が空く夏休みに、バイオサマーキャンプ（鶴岡市と全国の高校生20人が参加） バイオサマーカレッジ（塾内高校生20人が参加） バイオファイナンスギルド（バイオベンチャーに投資を考えている投資家向け）の三つの体験コースを運営している。

バイオサマーカレッジ

バイオサマーカレッジは前述の通り、塾内の高校生を対象とした体験講座である。実験室・宿泊施設の制約から定員は20名だが、毎年多数の応募があるため、採択倍率は2倍以上という人気のコースである。今回の参加者は慶應義塾高校5名、慶應義塾志木高校4名、慶應義塾女子高校2名、慶應義塾湘南藤沢高等部9名（男14・女6、一年生2名、二年生8名、三年生10名）であった。進路選択を控えた三年生が多く参加できるのは一貫校ならではのメリットと言えよう。バイオサマーカレッジは環境情報学部の専任講師2名、非常勤講師2名、政策メディア研究科の助手1名、研究員1名、大学院生2?3名、事務職員1名

で運営されており、常時5?6名が実習室内で指導に当たっていた。スタッフひとりに対して学生4名程度の割合になるので、全く初めての実験でも安全確実にこなせる大変望ましい指導体制である。所長で環境情報学部長の富田勝教授も学生たちとの接触を大変大事にされており学生たちは大変感銘を受けたようである。また、プロトコルや原理を解説したオリジナル実験ファイルをはじめとして白衣・名札（セキュリティーキー入り）が用意されていたのに加え、実験終了後には富田教授からひとりずつに修了証が手渡されるなど、細かい配慮が行き届いていた。スタッフとのバーベキューや鶴岡観光など実習以外の部分でも楽しめ、高校生にとってよい夏休みの思い出になったであろう。

実習の内容は以下の通りである。生物学の実験に特有の「待ち時間」をできるだけ少なくするようにコンピューター実習や講演を組みこんであり、二泊三日を完全に使い切る。当初、多すぎるかに見えた内容も学生たちは大変テンションが高く、スタッフも熱心に対応するので、難なくこなされていた。

- PCR 法による遺伝子の増幅と電気泳動
- 増幅された遺伝子のシーケンス
- 増幅された遺伝子のサブクローニング（大腸菌への組み込み）
- 遺伝情報データベースの検索
- 細胞内の代謝産物変動のシミュレーション
- 富田勝所長（環境情報学部学部長）の講演と研究室案内

見学を終えて

鶴岡タウンキャンパスでの実習の特徴は少数の学生に対して連続して接する合宿型実習の良さが現れている点にある。分子生物学の実習は通いでも、週1回の実習でも不可能ではない。実際、多くの生物学系学部の実習はそのように行われている。しかし、そこからは大学院進学後の研究生生活イメージは湧きにくいだらう。鶴岡タウンキャンパスは離れた立地条件を逆手にとって、合宿型にすることにより「自ら考え、集中して研究すること」が学部3年生で体験できる希有な施設であるといえる。また、スタッフが実際に研究している実験棟内の実習施設であるためメンテナンスの行き届いた先端機器が利用できるのも大きなメリットといえる。今回見学したバイオキャンプは高校生対象であることと短い日程であったため、自分で考えて実験するというわけにはいかないが、高校生にとっては研究に対する熱さを感じられる充実した三日間となったであろう。（文責：小野）

7.2.2 文系学生への自然科学教育に関する欧州の大学調査視察報告

英仏における文系向け自然科学教育事情に関する調査報告

調査担当者: 酒井一博

ヨーロッパの主要大学教育機関として、フランスのパリ大学、高等師範学校、およびイギリスのケンブリッジ大学、オックスフォード大学の教育事情調査を行った。当初の目的は文系学生向けの自然科学教育（特に実験科目）の実態調査にあったが、Web上の情報資源に基づく事前調査からも、現地でのインタビューからも、両国においてはそのようなリベラルアーツ教育は行われていないことが判明した。そこで調査は主に、文科系科目と自然科学にまたがる double-degree 制度（二つの異なる学位を並行して取得）および Joint Honours degree 制度（二つ以上の専門を冠した一つの学位を取得）について行った。以下では両国特有の高等教育制度事情に触れつつ、それぞれの大学における実態について報告する。

訪問先

2007年2月8日-15日

- パリ第六大学 (Université Paris VI (Université Pierre et Marie Curie), Laboratoire de Physique Théorique et Hautes Energies)
Prof. Jean-Bernard Zuber
- 高等師範学校 (Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Physique Théorique)
Prof. Edouard Brézin, Prof. Jean Iliopoulos
(その他、Mr. Tristan Catelin-Jullien, Dr. Dan Israel, Mr. Liguori Jégo, Dr. Boris Pioline, Dr. Guilhem Semerjian, Mme. Nicole Ribet からも協力を得た。)

2007年2月15日-23日

- ケンブリッジ大学 (University of Cambridge, Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics)
Dr. Nick Dorey, Dr. David Tong
- オックスフォード大学 (University of Oxford, Joint Committee for Physics and Philosophy)
Prof. Harvey Brown, Dr. Christopher Palmer, Dr. David Wallace

フランスの教育事情

フランスでは大学入学資格 (baccalauréat) を取得すれば、原則全ての大学に入学可能である。パリ大学もその例外ではなく、古くからの伝統によりその名は世界的に知られているが、位置づけとして特に難関大学ということはない。一方で、優秀な学生は高校卒業後の二年間、準備学級 (classe préparatoire) を経て、エリート養成機関であるグランドエコール (grande école) の入学試験を受ける。今回訪問した高等師範学校 (Ecole Normale Supérieure) は研究者養成を目的としたグランドエコールである。他に有名なものとしては、例えば理工科学校 (Ecole Polytechnique)、国立行政学院 (Ecole Nationale d'Administration) などがある。

パリ大学は、現在第一から第十三までの大学群として構成されている。各々が組織として独立に運営されており、カリキュラムも各大学毎に組まれている。例えば、第一大学 (Panthéon-Sorbonne) は文科系、第六大学 (Pierre et Marie Curie) は理工系といったような専門別、あるいは地区別に分かれている。一般教養にあたる科目は存在するが、あくまでも各々の大学の中におけるカリキュラム編成の範囲内に収まっている。このため第六大学で工学系の学生が自然科学の講義を履修することはあっても、文科系学生の集まる第一大学において自然科学の講義が行われることはない。

近年ヨーロッパの他大学との単位互換制度 (European credit transfer system) との連携を図るねらいもあり、大学以降の高等教育制度はかつての三課程制度から、3+2+3年制 (Licence, Master, Doctorat) へ移行中である。このうち学部教育にあたるのが Licence である。フランスの大学は全て公立であり、学費は安い (年間数百ユーロ ≈ 数万円程度)。学生にとっては一見恵まれた状況にも見えるが、大学進学率の増大にかかわらず国の教育予算全体に占める大学教育の割合は低く、大学教育に必要な資金が十分にあてがわれていない問題があるとの指摘もあった。

Joint Honours degree (licence bi-disciplinaire) はイギリスほどは普及していないが、パリ大学やその他のフランスの大学において散見される。例えば歴史学と外国語、情報科学と生物学などの組み合わせがあるが、文科系科目と自然科学など、関連性の少ない組み合わせは、インタビューと Web 上の情報から調べた限りでは見つからなかった。

Double-degree は、調べた範囲では公式な制度として設けられているところはないようである。しかしながら前述のように学費が安いことから、パリ大学などでは学生が自主的に二つの大学に在籍し、二つの異

なる学位を同時に取得することが事実上可能である。実際、パリ第一大学と第六大学の両方に在籍し、通常年限で哲学と物理の学位を同時に取得した例もあるとのことである。

グランドエコールの最高峰のひとつである高等師範学校は、一学年 200 人程度の小規模な教育機関であるが、文系・理系のほとんど全ての科目を学ぶことができる。学生は専門を決めた上で入学するが、比較的自由に他分野の講義を履修あるいは聴講できる。高等師範学校の学生も、形式的にはパリ大学等の大学に籍を置くことになっており、学位は大学から発行される。(高等師範学校発行の免状 (diplôme) もあるのだが、取得は任意であり、あまり普及していないようである。) フランスの高等教育制度のややこしいところであるが、フランス国内においては取得した学位の種別よりも、高等師範学校等のグランドエコールに在籍した (入学した) ことが学歴として評価されるようである。

今年度高等師範学校において非専門家向けの一般物理の講義を開講した Edouard Brézin 教授に、今回インタビューを行った。彼は 2005–2006 年度フランス科学アカデミー会長を務めるなど、フランスの科学啓蒙活動全般に通じており、アメリカなどの事例に倣って試みに講義を開講したが、このような取り組みは前例を見ないとのことであった。今のところこのような講義はあくまでも教員の個人裁量で開講されており、組織だったリベラルアーツ教育の一環として設けられているものではない。

フランスにおいては、文系学生が自然科学を学ぶことは、あくまでも学生の自由意志に委ねられており、組織だった文系向け自然科学教育は行われていないと言える。フランスは日本やアメリカに比べて進路・職業の変更が難しい社会構造となっている。このため現状においては、多様な知識の背景よりも、なるべく回り道をせずのひとつの専門性を極めることが推奨される傾向があり、このことが文系学生への自然科学教育や、文系・理系にまたがる学位制度が設けられていない背景にあると考えられる。

イギリスの教育事情

イギリス (ウェールズとイングランド) では大学進学に際し、希望する専攻に関連した科目の統一試験 General Certificate of Education, Advanced Level (GCE A-level) の取得が必要となる。例えば大学で化学の専攻を希望する場合、化学、数学の二科目に加え、三科目目として物理や生物などを選択する。この GCE A-level 取得に向けて、義務教育が終了する 16 歳から二年間は専門分野に特化した数科目の学習に集中する。さらに、ケンブリッジ大学以外のイギリスのほとんどの大学では、入学後ただちに専門科目の学習に特化する。したがって、一般に文科系の専攻を目指す学生が自然科学教育に触れるのは 16 歳までとなる。

ケンブリッジ大学には、Tripos system と呼ばれる独自の制度がある。これは、3 年 (Bachelor) ないし 4 年 (Master) の学部教育のうち、最初の 1、2 年は隣接する複数の専門科目を学び、その後ひとつの専門科目に絞りこんでゆくシステムである。例えば Natural Sciences Tripos の場合、一年目は数学に加えて生物、化学、物理などの中から四科目を選択、二年目はより専門的な三科目を選択し、三年目以降は一科目に特化する、という具合である。大学入学の時点で、自分の希望する専門や適性を正確に把握している学生が多くないことを思えば、この制度は猶予期間を与えつつ進路決定を助けるうまくできたシステムである。しかし一方で、早くから専門科目に特化したい場合には Tripos system が足枷になることもあり、例えば入学時に物理学に専攻を決めている場合、敢えて Mathematical Tripos から入って一年目に Mathematics with Physics を選択し、二年目以降に Natural Sciences Tripos に転籍するケースも多いという。また、Tripos system はあらかじめ決められた科目の組み合わせについて用意されているもので、文系理系両科目にまたがって自由に科目を選択できるということではない。いわゆるリベラルアーツ教育とは若干意味合いが異なり、むしろ Joint Honours degree 制度に近いと言える。

オックスフォード大学には、いくつかの Joint Honours degree コースがある。このうち文系・理系にまたがるものとして、物理・哲学 (Physics and Philosophy) コースがある。物理・哲学コースは独立した課程であるが、講義は物理あるいは哲学の学生と共通である。オックスフォード大学全学で物理学専攻は一学年あたり 180 人であり、このうち 120 人が Master of Physics (4 年制)、45 人が Bachelor of Arts in Physics (3 年制)、そして残る 15 人が Bachelor of Arts in Physics and Philosophy (4 年制) の学位取得コースに属する。

物理・哲学の Joint Honours degree 制度は、物理と哲学から約半数ずつ抜き出した履修科目を組み合わせでひとつの学位コースとしたものである。物理と哲学の両方の学位の取得を目指す double-degree 制度とは

異なる。実際的には、実験科目をほとんど取り除いた物理の課程と自然科学に関連する哲学の課程を組み合わせた形となっている。二つの異なる専攻を半々ずつ修めることから、ともすると中途半端に終わるのではないかという疑念が生じるが、前述のイギリスの大学進学システム上も、物理・哲学コースに来る学生は早くから強い目的意識を持って準備してきており、極めて優秀とのことである。一方で小規模コースであることから、コース独自の講義を揃えることができず、物理コース、哲学コース双方の時間割変更の度にスケジュール調整に悩まされる、物理・哲学コース内の学生同士の結束が固りにくい、などの問題点もあるとのことであった。

イギリスの大学全般において、Joint Honours degree 制度はかなり一般的であり、大学によってはほとんどあらゆる組み合わせの Joint Honours degree を選択することもできる。また、イギリスでは大学の学位は専門分野における能力認定資格というはっきりとした意味合いをもつ。例えばオックスフォード大学では成績評価は講義担当教員と別の教員が実施する期末試験によって行われ、その積み重ねとして最終学位取得に至る。これに伴い、学位取得に至るまでのひとつひとつの履修科目の持つ重みが、日本の講義一科目に比べて非常に大きいと言える。入学時に選択した学位コースに従って、必要な履修科目はほとんど決まっており、特に一年目は選択の余地はほとんどない場合が多い。学年が上がるにつれて、専門の分化という見地から科目選択の余地が現れる。

なお、他のヨーロッパ諸国に関しては、ドイツ、イタリアではやはり文系向け自然科学教育は耳にしないうことだったが、ベルギーや北欧諸国においては文理にまたがる double-degree 制度など、より多岐に及ぶ学位制度があるようである。

7.2.3 文系学生への自然科学教育に関するアメリカの大学調査視察報告

調査担当者：福澤利彦

アメリカを代表する大学として有名な、Princeton University、Harvard University、Massachusetts Institute of Technology (MIT)、および University of California, Berkeley において、文系学生に対する自然科学教育カリキュラムを調査した。Web によるカリキュラムの事前調査をもとに、各大学に対して、視察を学長宛に公式に依頼し、質問状を同封した。残念ながら、依頼の手紙が届くのが遅れたため、Harvard University と MIT は、視察日程がマッチしなかったが、Princeton University と University of California, Berkeley は、公式に訪問が許可され、十分な調査を行うことができた。視察期間は、2007年3月11日～3月18日であった。それぞれの大学に関する調査結果を、以下にまとめる。

Princeton University

Princeton University は、学生数が比較的少ない私立大学であるが、学生の教育と最先端研究で高く評価され、U.S. News & World Report による大学ランキングは1位となっている。Princeton では、人文科学・社会科学・自然科学を専攻して卒業すると、Bachelor of Arts の学士号が与えられる。ここでは、Bachelor of Arts を取得する全ての学生に、リベラルアーツ教育として、“General Education Requirements” を義務付けているが(表1)、いわゆる文系の学生にも、“Science and Technology, with laboratory” という科目を2科目必修にしていることは興味深い。この科目では、科学と技術に関する知識が、文系・理系を問わず全ての学生に必要であるという認識の下に、学生に実験を課しているのである。実際に、科学において新しい発見が行われ、それが技術に応用されるプロセスを理解することは、現代社会においては必須の要件である。学生に科学の概念を理解させ、アイデアを探索・検証するために、実験や計測の能力を鍛錬することも、“Science and Technology, with laboratory” の教育目的として明記されている。実験を行うことにより、「科学の概念がいかに検証されるのかということを理解し」、そして、「誤差や再現可能性といった科学の方法の限界を知る」ことができるのである。もちろん、実験を通して、科学の面白さを学生に体験してもらうことも意図されている。

表1

Princeton University の General Education Requirements for A.B. Students

-
- Writing Seminar — one course
 - Foreign Language — This requirement can take one to four terms to complete, depending on the language students study and the level at which they start.
 - Epistemology and Cognition (EC) — one course
 - Ethical Thought and Moral Values (EM) — one course
 - Historical Analysis (HA) — one course
 - Literature and the Arts (LA) — two courses
 - Quantitative Reasoning (QR) — one course
 - Science and Technology, with laboratory (ST) — two courses
 - Social Analysis (SA) — two courses
-

(下線部は自然科学系の科目)

3月12日に Princeton University を訪問し、文系学生に対する自然科学教育の取り組みと、“Science and Technology, with laboratory”に関する詳細を調査した。今回の訪問では、以下の7名の教員・スタッフと面会し、聞き取り調査を行った。

- Peter Quimby, Associate Dean of the College
 - Neta A. Bahcall, Director, Council on Science and Technology, Professor of Astrophysical Sciences
 - Michael G. Littman, Professor of Mechanical and Aerospace Engineering
 - Mark Rose, Professor of Molecular Biology
 - Bonnie L. Bassler, Professor of Molecular Biology
 - Heather A. Thieringer, Lecturer in Molecular Biology
 - Carol Prevost, Associate Director, Council on Science and Technology
-

Princeton では、文系学生に対する自然科学教育を充実させるために、Council on Science and Technology が設置され、大きな役割を果たしている。Council の Director である Bahcall 教授の説明によれば、特に文系学生向けの自然科学科目（実験を含む）の質を高めるために、以下の活動が行われている。

1. Princeton 独自の Postdoctoral Teaching Fellow（研究以外に teaching を課したポスドク）を公募し、採用する。
2. 文系学生向けの新しい科目を募集して審査し、認可された新設科目に基金を分配する。
3. Visiting Lecturer Program により、学外から教員・識者・専門家を招いて、特定の科目の講義を担当してもらおう。

4. 教員・ポストク・院生を対象としたランチタイムセミナーを開催し、学外から講師を呼んで、教育実施方法の向上 (FD) を図る。

上記 Council の活動に関しては、資料と内部文書を提供していただいた。一方、これとは別に、Princeton には学生支援プログラムとして独特の Tutoring Program があり、勉学不振の学生や、学習上のサポートが必要な学生に、上級学年の学生・院生をチューターにつけて、個別に勉学をサポートしている。

“Science and Technology, with laboratory” に関しては、いろいろな学部から、いろいろなレベルの科目が提供されている。講義と実験の時間割は、慶應の実験科目とはかなり異なっている。例えば、分子生物学の MOL 101 では、履修者全員を講義室に集めて週 3 回 (1 回の授業時間は 50 分) 講義を行い、実験は、複数の少人数クラス (20 名) に分けて週 1 回 (実験時間は 2 時間 50 分) 行う。従って、MOL 101 の授業時間の合計は、慶應の実験科目に比べてはるかに多くなっている。講義スライド (パワーポイント) は、Web の Course Software によって閲覧することができるため、学生は講義スライドを印刷して授業に臨む。実験の準備は専任のスタッフがを行い、講師と TA (院生) が学生実験を指導する。実験終了後、学生はレポート (タイプしたもの) を作成して、決められた期日に提出する。成績は、実験レポート (25%)、Semester 期間内に行う 2 回のテスト (45%)、および期末テスト (30%) によって評価される。なお、Bassler 教授からは、参考のために、MOL 101 の実験マニュアルや講義スライドを提供していただいた。

“Science and Technology, with laboratory” では、Technology に関する授業も充実している。文系学生に Technology への関心を持ってもらうため、授業では、歴史的・政治的・経済的な観点から具体的なエピソードを交えて講義が行われ、実験では、レゴブロックや模型を使って学生が楽しめる工夫が施されている。数式や公式の使用は必要最小限にとどめ、公式が使われる場合には、その本質的な意味付けが社会との関係において理解されるように、象徴的なことばで説明される。以上は、実際に授業を担当しておられる Littman 教授からうかがった話であるが、教育に対する情熱がひしひしと伝わってきた。Princeton の教員・スタッフは、文系学生向けの授業に独自の工夫を凝らし、教育実施方法の向上 (FD) にも熱心で、授業を非常に楽しんでいて、この大学における、教員・スタッフの教育に対する情熱と努力は、賞賛に値する。

なお、Princeton では、副専攻に相当するプログラム (Certificate Program) があるが、文系学生が自然科学を副専攻とするケースは余りないとのことであった。

Harvard University

Harvard University は、アメリカ屈指の名門私立大学である。Faculty of Arts and Sciences は、重厚なりベラルアーツ教育が行われていることで特に有名である。“Core Curriculum” (コアカリキュラム) は、Harvard が誇るリベラルアーツで、11 領域の科目から成る (表 2)。学生は、コアカリキュラムの中で、自分の専攻分野から遠い 7 科目を履修することが義務づけられている。自然科学科目には、“Science A” (物理学) と “Science B” (生物学・進化学・環境科学) が設定されており、Bachelor of Arts を目指すいわゆる文系の学生は、自然科学に関して、物理系と生物系の両方の科目を履修することになる。

さて、多くの大学の学士課程カリキュラムに影響を与えてきた Harvard のコアカリキュラムであるが、カリキュラムの改革も検討されている。ただし、自分の専攻とは違った学問分野を学ぶという原則は、大きく変わることはなく、“Science and Technology”、“Study of Societies”、および “Arts and Humanities” の分野から科目を履修することが検討されている。ここで、“Science and Technology” というカテゴリーが、Harvard の新しい科目領域として検討されているが、Princeton University でも同名の必修科目が設置されていることを考えると、「科学と技術」という観点は、アメリカの有力大学で重視されていることが分る。また、Harvard のリベラルアーツにおいては、知識を教えるのではなく、“approach to knowledge”あるいは “way of thinking” に重きが置かれていることも、大きな特徴となっている。

表2 Harvard University の Core Curriculum Requirement *

Foreign Cultures	Moral Reasoning
Historical Study A	Quantitative reasoning
Historical Study B	<u>Science A</u>
Literature and Arts A	<u>Science B</u>
Literature and Arts B	Social Analysis
Literature and Arts C	

* 11 領域のうち自分の専攻分野から遠い7科目を履修する。(下線部は自然科学系の科目)

Massachusetts Institute of Technology (MIT)

MIT は、科学技術系の世界的に有名な私立大学である。工学・理学系以外に、人文科学・社会科学・経営学のような、いわゆる文系の学部もあるが、学士課程を卒業して与えられる学士号は、全ての学部において Bachelor of Science である。

MIT では、科学と技術が発達した現代社会で活躍できる人材の育成を目指し、全ての学生に自然科学の科目履修を義務づけている(表3)。特に、物理学・生物学の基本概念と方法を理解し、また応用することが学生に求められている。なぜなら、MIT においては、どのような分野を専攻するにしても、これらの概念や方法が必要とされるからである。

MIT の “General Institute Requirements” (表3) を見ると、広範な自然科学系科目の履修要件が明記されている。理学・工学を専攻する学生はもちろんのこと、文学・芸術・政治学・経済学などを専攻する学生にとっても、物理学・化学・生物学は必修である。さらに、“science and technology” という科目を履修させていることも興味深い。また、Princeton University と同様に、自然現象を扱う実験 (laboratory subject) を課していることも大きな特徴である。教員の指導の下、学生は、実験の立案から解析方法の決定、データの検討まで関与することになっている。仮説は実験結果と比較して検証され、さらに、現在の知識との関連において議論が深められる。なお、“laboratory subject” には、多様な科目が設置されている。

表3 MIT の General Institute Requirements

- An eight-subject humanities, arts, and social sciences requirement
- A six-subject science requirement
 - Two terms of calculus
 - Two terms of physics
 - One term of chemistry
 - One term of biology
- Two restricted electives in science and technology subjects
- One laboratory subject

(下線部は自然科学系の科目)

University of California, Berkeley (UCB)

UCB は、全米屈指の教育レベルと研究実績を誇る州立大学であるが、Princeton や Harvard などの私立大学と比べると、学生数は非常に多い。College of Letters and Science には、文系・理系の専攻があるが、卒業生には基本的に Bachelor of Arts の学士号が与えられる。

リベラルアーツを重視する College of Letters and Science では、広い学問領域を満遍なく教育することを目的として、“Seven-Course Breadth Requirement” が設定されている（表4）。ここでは、指定された7つの異なる領域から、1科目ずつ履修することが決められている。従って、語学・政治学・経済学のような文系専攻の学生でも、自然科学系科目として、生物学と物理学の両方が必修となっている。生物学系と物理学系の科目を重視していることは、Harvard や MIT と同様である。

表4 UCB の Seven-Course Breadth Requirement

-
- Arts and Literature
 - Biological Science
 - Historical Studies
 - International Studies
 - Philosophy and Values
 - Physical Science
 - Social and Behavioral Sciences
-

（下線部は自然科学系の科目）

3月16日にUCBを訪問し、文系学生に対する自然科学教育の取り組みと、“Biological Science”に関する詳細を調査した。今回の訪問では、以下の8名の教員・スタッフと面会し、聞き取り調査を行った。

-
- Sharon Lyons Butler, Director of International Protocol & Exchange
 - Nancy Finkle, Undergraduate Student Services, Department of Integrative Biology
 - Anne Aaboe, Undergraduate Affairs Office Manager, Molecular & Cell Biology
 - Anatole Soyka, M.A., Program Manager, Public Health Undergraduate Program
 - Jenny Y. Shin, Student Affairs Office, Department of Molecular & Cell Biology
 - Mike Moser, Academic Coordinator for Biology, Integrative Biology
 - Thomas M.(Zack) Powell, Professor, Department of Integrative Biology
 - Joseph Yon, CHMM, CHCM, Health & Safety Officer, Facilities Manager
-

UCBでは、文系学生に対する自然科学教育カリキュラムは充実しているが、それに対する教員の取り組みに関しては、Princeton Universityほど熱心ではなく、文系学生向けの自然科学教育を検討するような組織も存在しない。この大学では、大学院教育の方に重点が置かれているからである。

“Biological Science”の科目群には、講義科目と、実験を伴う科目があり、それぞれシラバスにおいてレベルと内容が明記されている。実験を伴う自然科学科目のいくつかは、文系学生でも履修することができるが、履修者数はそれほど多くはないとのことである。実験を伴う自然科学科目には定員があるため、履修希望者が多数の場合には、理系学生が優先されるという事情もある。

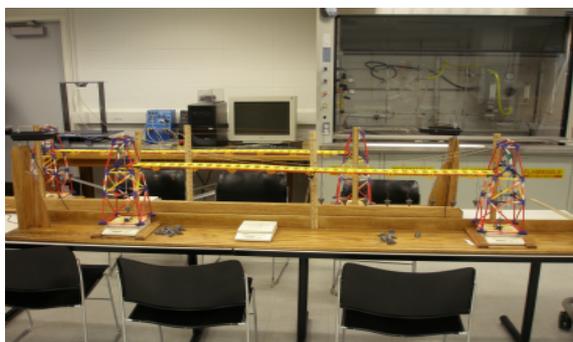
科目のシラバスや実験マニュアルは on-line で閲覧することができ、多くの講義は、Webcasts によって Web 上で視聴することができる。このシステムによって予習・復習ができるので、自然科学を学ぶ文系学生には有用であると思われる。

UCB では、Biology に関する学生実験施設を見学した。16～17 もある学生実験室は、分子生物学、生理学、分類学、進化学等々、実験目的によって個別に設定され、使い分けられていた。講義室は障害者にも配慮された構造になっているなど、施設はかなり充実し、整備されているという印象を持った。

実験を伴う Biology の科目では、履修者全員を講義室に集めて行う講義（週3回）と、履修者を少人数（18名程度）に分けて行う実験がセットになっている。学生実験を直接担当するのは大学院生のTAである。授業が行われる前の週には、多数のTAを一堂に集めて、学生実験に関するミーティングが行われる。私がたまたま立ち会った Biology 1B のミーティングは、Course Coordinator の Moser 教授の監督下で、インストラクター（2名）がTAに実験のポイントを解説し、学生への対応や問題点を議論していた。ちなみに、Biology 1B の成績は、3回の中間テスト（300 points）、期末テスト（150 points）、および学生実験（250 points）の合計点によって評価される。ただし、科目によって、講義と実験のスケジュールや成績評価のしかたは異なっているようである。

さて、UCB では、double major や minor を認定するプログラムがある。文系学生が人文・社会科学系の領域で double major や minor を取得することは珍しいことではない。しかし、文系学生が自然科学の領域で double major や minor を取得することに関しては、要件が非常に多いため、現実的にそのようなケースは余りないそうである。

参考資料



1. [Princeton University での文系学生向け Engineering の学生実験室] 学生実験用の橋の模型。橋におもりをつけて加重をかけ、たわみを計測する



2. [Princeton University での文系学生向け Molecular Biology の学生実験室] 実験テーブルには、分子生物学実験に使用する実験器具が置かれている。



3. [実験目的によって個別に設定されているUCBの生物学学生実験室] 進化学関連の実験室。様々な動物の骨格標本が置かれている。



4. [実験目的によって個別に設定されているUCBの生物学学生実験室]

海産無脊椎動物を扱う実験室。隣に実験準備室がある。



5. [実験目的によって個別に設定されているUCBの生物学学生実験室]

動物分類学・生態学関連の実験室。標本が実験テーブルに並べられている。



6. [実験目的によって個別に設定されているUCBの生物学学生実験室]

生化学関連の実験室。テーブルには、実験装置が置かれている。



7. [実験目的によって個別に設定されているUCBの生物学学生実験室]

植物形態学・分類学関連の実験室。テーブルには、実体顕微鏡が置かれている。

7.3 国内他大学アンケート調査「文系学生を対象とする自然科学教育」に関する全国大学の状況調査報告書完成

2006年3月20日から5月26日にかけて実施した全国大学に対する「文系学生を対象とする自然科学教育」の現状に関するアンケート調査の報告書が完成した。調査対象は全国の全ての国・公・私立4年制大学であり、理工系や医学系等の学部のみからなる大学においても一部文系学生を含む学科が設置されている場合もあることから、判断は各大学の裁量に委ねることにして全ての大学にアンケート用紙を発送した。複数の文系学部を持つ大学のうち6大学からは学部ごとの回答を頂いたことを含めて、312学部（301大学）からこのアンケートに関する回答を頂いた。この回答数は、文系学生が在籍する大学（調査対象となる大学）数の6割に相当することになり、アンケート集計結果の調査内容に関する資料としての意義を高めることになった。なお、文系学生を含まないと判断された大学（調査対象外となる大学）のうち、21大学からアンケートに関する回答を頂き、また72大学からは上記理由によりこのアンケートに対して回答することを取り止める旨の電話およびメールを頂いた。本報告書は、全国の全ての国・公・私立4年制大学の学長宛と関係機関に送付すると同時に、日吉キャンパス特色GPのホームページにも掲載する予定である。これが一つのデータとして今後の大学教育のあり方に関する議論に寄与することを願うものである。

7.4 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。）

7.5 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」を下記の通り発行した。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。

- ・第3号 2006年 7月10日 発行
- ・第4号 2006年 11月16日 発行
- ・第5号 2007年 3月30日 発行

7.6 特色GP会議日時

- ・第1回 2006年 5月9日 (火) 17:00~18:10
- ・第2回 2006年 6月6日 (火) 16:30~17:40
- ・第3回 2006年 7月10日 (月) 16:40~17:45
- ・第4回 2006年 10月6日 (金) 18:00~19:30
- ・第5回 2006年 11月17日 (金) 18:00~18:55
- ・第6回 2006年 12月14日 (木) 18:00~19:40
- ・第7回 2007年 1月11日 (木) 18:00~18:50

矢上・日吉特色GP合同シンポジウムのためのワーキンググループ会議

平成19年度は過去2回のシンポジウムの成果を踏まえて、慶應義塾大学理工学部特色GPと日吉キャンパス特色GPが合同で慶應義塾大学の文系・理工系の学生に対する自然科学教育の改革への取組に関して議論する合同シンポジウムを開催することに両者合意した。これについて、矢上・日吉キャンパス特色GPのそれぞれのメンバーから「矢上・日吉特色GP合同シンポジウムのためのワーキンググループ」を立ち

上げ、シンポジウム開催に向けて日時の調整やテーマ、内容のすり合わせを図るものとする。会議日時は以下の通り。

- ・第1回 2006年 11月2日 (木) 18:15～20:00
- ・第2回 2006年 12月18日 (月) 18:10～20:00
- ・第3回 2007年 2月26日 (月) 18:10～20:00

今後も引き続き常時活動としてホームページおよびGP便り発行を通して、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。

付録A 既存の講義・実験の枠を超えた新しい科目の立ち上げ：心理学

- ・実験実習の手引き,2006心理学レポート1：作成の路標

実験実習の手引き

目的

Müller-Lyer錯視を題材とする

物理量との不一致の程度(錯視量)を客観的に測定する

内向図形を用いる

測定法としては調整法を使う

提示パターンの作成

標準刺激を用紙から切り取る

点線に沿って後ろに折り込む。

比較刺激も同様に折り込む

標準刺激の側に比較刺激を差し込む

比較刺激の長さが調整できるか確認する

測定方法

調整法

被験者自身が、装置の右側の方の紙を左右に動かし、左側の図形の主線と同じ長さに見えるように調整する

上昇系列：短い→長い

下降系列：長い→短い

<役割分担>

原則として2人1組で行う

被験者：実験を受ける。実験者の指示に従い、偏見のない態度で実験に取り組む

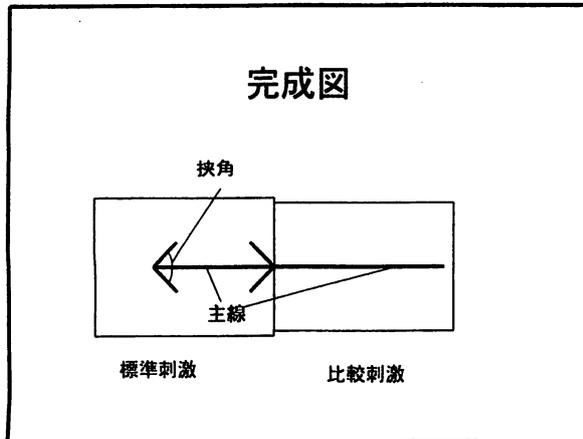
実験者：実験を進行する。提示順の決定、パターンの提示、実験結果の記録

各条件についてランダムな順で、1系列につき2回、合計20試行の測定を1人の被験者に対して行う

<実験の手順>

上昇、下降いずれの系列でも、試行ごとに、比較刺激の最初の長さ(調整の出発点)が同じにならないように設定して、実験者は被験者に手渡す

被験者は予断を持たず図形を観察し、見えるままの長さを比較して調整する



- ### 矢羽根の狭角の角度
- 矢羽根なし
 - 60°
 - 90°
 - 120°
 - 150°

反応記録用紙

		反応記録用紙				
		矢羽根なし	60°	90°	120°	150°
上昇系列	1					
	2					
下降系列	1					
	2					
主観的等価点						
錯視量						

単位mm

被験者にわからないように実験者が比較刺激の主線の長さを記載する

主観的等価点・錯視量は実験終了後に求める

- ### 測定値(1)
- 主観的等価点
 - Point of Subjective equality, PSE
 - 標準刺激の長さは一定
 - 比較刺激の長さを変化させる
 - 両刺激の主線の長さが等しく見えるときの比較刺激の長さ
 - 条件ごとにPSEの算術平均の値を算出

算術平均

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N}$$

- データの総和をデータ数で割る
- すべてのデータを使って求める代表値

- ### 代表値
- 日本代表のようにある集団の中で傑出したものを指すのではない
 - あるデータ集団の典型、標準を指す
 - 中央値
 - 最頻値
 - 平均値

調整が行き過ぎたと思ったら、後戻りを繰り返してもかまわない

あまり考え込まず、直感的に行ってください。調整ができれば、実験者に手渡す。

本試行に先立ち、2〜3回練習を行う

図形面は視線に対して直角、主線が水平方向に一致するようにして、眼から30cmのところ
におく

図形面の明るさが均一になるように注意する

測定結果(比較刺激の主線の長さ)が被験者にわからないように記録する

測定値(2)

- 錯視量
- 物理量との不一致の程度
- PSE-標準刺激の主線の長さ

調整法

- method of adjustment
- 標準刺激と比較して比較刺激を
- 被験者自身が
- 連続的に変化させる
- 全知手続き
- 主観的等価点測定のために開発された

調整法の注意点

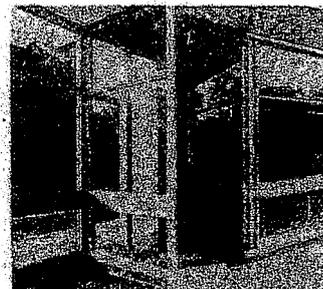
- 調整方向のバランス
- 測定を複数回反復することでとる
- いずれの系列にしても調整の出発点はそのつど変える
- 被験者がすべての手続きを知っている
- 刺激誤差
- 現象によらず、知識によって反応する

Müller-Lyer錯視

- 矢羽根の間にはさまれた直線の長さは () 的に等しい
- 矢羽根の内向図形: ()
- 外向図形: ()
- たいへん強力な錯視現象
- 1989年にFranz Carl Müller-Lyerによって記述

() 説

- 外向図形と内向図形で眼球運動の量(視線の移動)が異なる
- () 図形で多い
- 主線は長く知覚される
- () 図形で少ない
- 主線は短く知覚される



資料 2

2006 心理学レポート1：作成の路標

- (1) 課題A、Bともに締め切りは、7/6（木）：授業時に集めます。
- (2) A4のレポート用紙（ワープロ歓迎）。上端をホチキス留め（図4参照）。
- (3) レポート原稿は自分で保存し、コピーを提出すること。

課題A（6/22の実験に参加した人）：テーマ：人間の記憶の諸側面について

1.はじめに：（実験1では単語記憶自由再生実験、実験2では物語の記憶再生実験を行い、人間の記憶の特性を考察する。）

2.実験1

2.1.目的：（単語記憶自由再生実験を行い、記憶の貯蔵庫モデルを検証する。）

2.2.方法：

2.2.1. 被験者： **名

2.2.2. 装置：秒針つき腕時計

2.2.3. 刺激：記憶リスト（以下の表を参照）

2.2.4. 手続き：（実験の手順を分かりやすく書く。計算有り条件、計算なし条件、など。）

2.3.結果：（系列位置曲線を描き、文章で結果を記述する。）

(1) 単語毎の正答者数と、正答率の表（表1を参照）

(2) グラフ（横軸は系列位置、縦軸は正答率、条件別：図2参照）

2.4.考察：（結果と下記の「記憶の貯蔵庫モデル」、およびランダスの実験結果に照らし合わせて、実験の意味を考える。）

表1 実験1の記憶材料リスト

ライオン	オムレツ	トラ	カレーライス	イス	シチュー	モミジ	キリン	バラ	スプーン
ナイフ	ジドウシャ	クツ	コンピュータ	デンシャ	フォーク	サトウ	スリッパ	トケイ	コーヒー

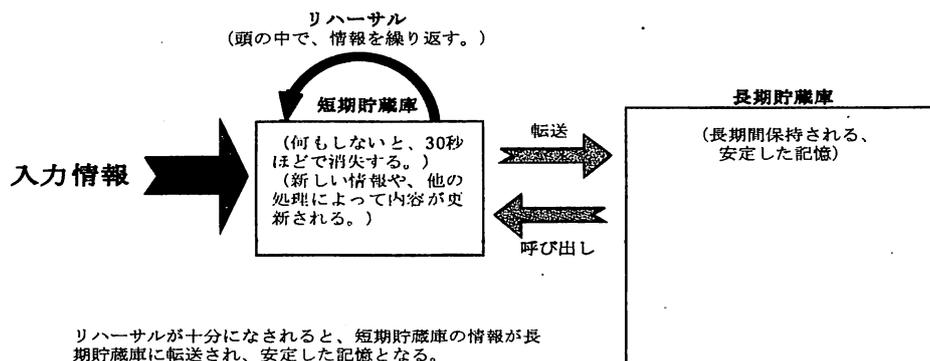


図1 記憶の貯蔵庫モデル

1. 一般的注意

- ・文体は過去形で。実験者の立場で書く。
 - ×：～を提示された。
 - ：被験者には、**を提示し、+++について回答させた。
- ・表、図には番号をつける（例 表1 単語の再生順）（表の番号は上、図の番号は下）。

2. 体裁

大きさ：A4（ワープロ使用歓迎）

構成：

(1) 表紙 「タイトル」（タイトルは、テーマに沿ったものを自由に考えて下さい。）
「氏名」「学籍番号」

(2) 本文（以下参照）

3. 主な評価のポイント

- (1) 体裁が整っていること
- (2) 分かりやすい文章であること
- (3) 図、表、イラストなどに工夫があること
- (4) 記述や考察が合理的であること

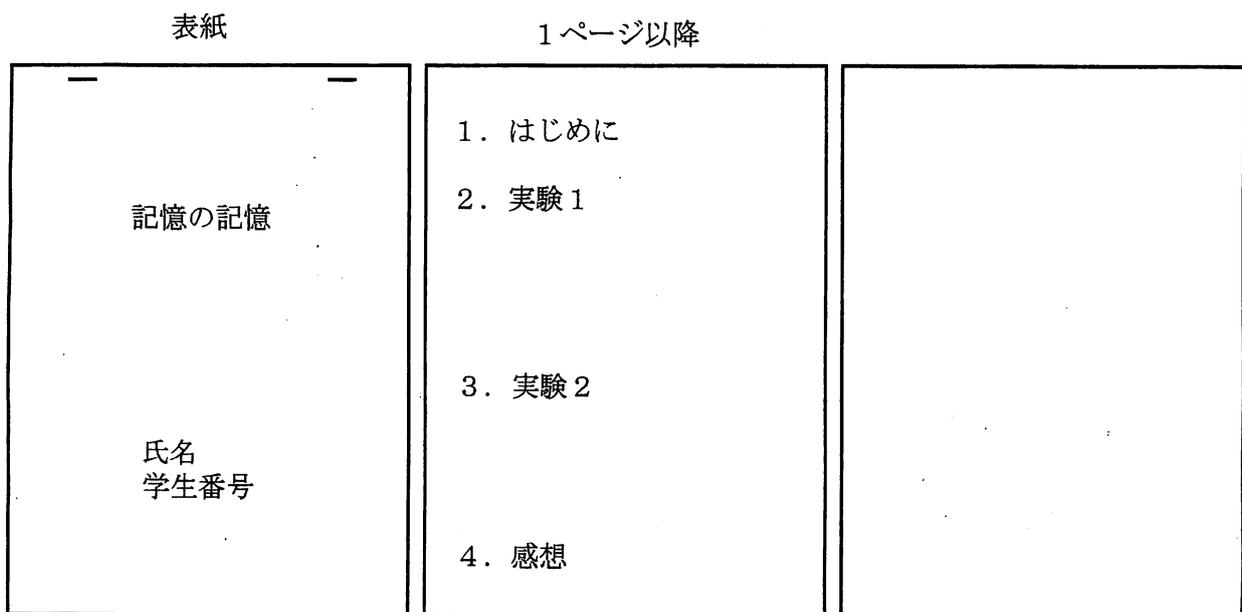


図4 レポート体裁のイメージ

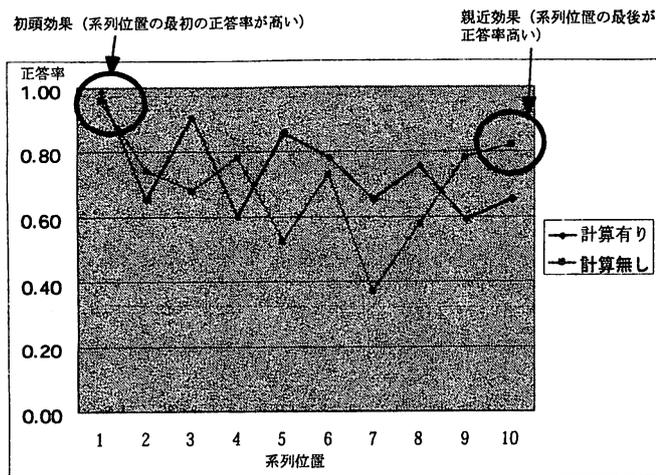


図2 系列位置曲線の例

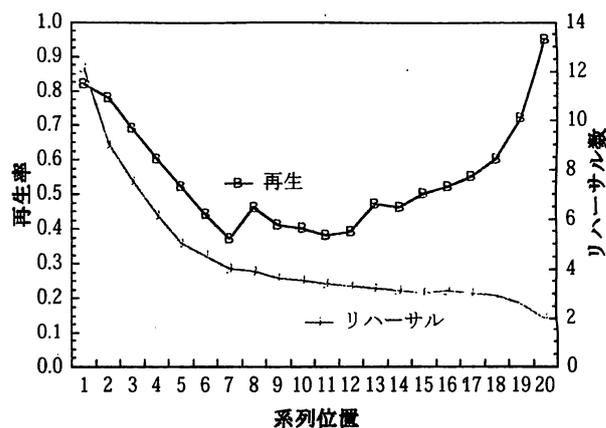


図3 リハーサル回数と再生率の関係

- (1) 初頭効果、親近効果は認められるか？ (条件差はあるか)
- (2) 初頭効果、親近効果は何を反映しているか (図1の貯蔵庫モデルに基づき考察)
- (3) 親近効果が生じない場合、何が影響しているか

...

3. 実験2

3.1. 目的： (曖昧性のある物語の記銘再生実験を行い、記憶の再構成過程について検証する。)

3.2. 方法：

3.2.1. 被験者： 慶應義塾大学商学部 学生 1名

3.2.2. 刺激： (記銘文)

ジョンとビルが魔法の湖でボートを浮かべていると遠くにコーヒーの缶が浮いているのが見えた。ビルは「あそこに行って拾ってみよう」と言った。そこにつくと、ジョンがそれを拾い、中を見ながら「あれ、缶の中に石が入っている」と言った。ビルは「ああ、誰かが缶をそこに浮かべておきたかったんじゃないかな」と言った。

3.2.3. 手続き： (実験の手順を分かりやすく書く。)

3.3. 結果： (自分の再生文をそのまま記述)

分析カテゴリ (名前の間違い、単語の変化、表記の変化、ストーリーの変化など：以下の表参照) を決めて、表2の様にまとめる。

(更に、表に基づき、自分の再生文にどんな特徴があるかを、具体的に記述する。)

3.4. 考察 (記銘文と再生文のギャップが何故生じたか、物語の内容が理解できていたか。物語の理解と再生文の間に関係があるか、など。)

4. 感想： (実験1、実験2に関連して、考えたこと、感じたことを自由に記述。)

表2 実験2の分析表例

記銘文	再生文	変化のカテゴリー
ジョンとビル	ジョンとジム	名前（名詞）の間違い
ボートを浮かべていると	ボートに乗っていると	動詞の変化
・・・	・・・	・・・

課題B：6/22の実験不参加の場合

テーマ：ど忘れ、し忘れ

1.目的：（最近体験した、ど忘れ、し忘れの事例を2つ記述し、分析する。記憶について考察する。）

2.方法：

2.1. 被験者：自分（性別、年齢）

2.2. 手続き：（出来るだけ最近のど忘れエピソードを記述し、分析する。）

3.結果（2エピソードを別々に記述する。）：

3-1) 忘れエピソードの記述。（ど忘れ、し忘れ体験を、できるだけ非分析的に、事実のみを記述する。）5W1H（いつ、どこで、だれが、なにを、なぜ、どうした）に留意して、（やや物語的）に記述。文学的修飾はしない。

3-2) 分析：覚えたときの状況。忘れたときの状況。忘れた原因と思われる他の出来事など、自分なりの理由などをまとめる。

4.考察：（結果が何を示すか、どんな結論が考えられるか、2つのエピソードに共通の特徴があるか否か、同様の事態において忘れないためにどのような覚え方や思い出し方をすればよいか、など。）

5.感想：（人間の記憶について、考えたこと、感じたことを自由に記述。）

付録B 新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備：生物学(1)

ミクロ系・生物共通性理解のための実験プログラム開発テキスト

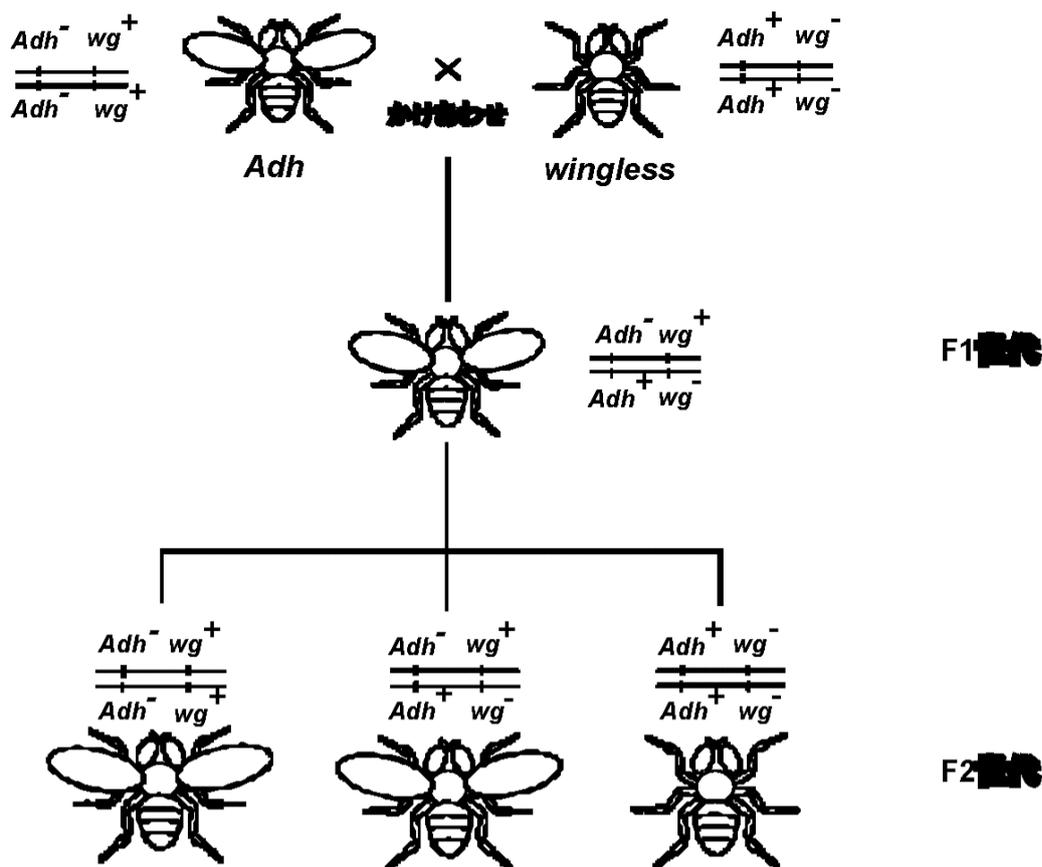
【今後の予定】

来週の講義時間に親を取り除く。生育状況によってはスタッフが行う場合もある。

二週間後の実験の時（DNA抽出がメインだが）雑種第一代に翅があるかどうかの確認と交配のためパイアルの移し替えを行う。

三週間後の講義時間に雑種第一代を取り除く。生育状況によってはスタッフが行う場合もある。

四週間後の実験時は雑種第二代の形態・酵素活性を確認し、遺伝子検査の準備を行う。



【かけあわせの模式図】

遺伝子記号の右肩にマイナスが書いてあるのは、その遺伝子に変異が入っていることを表しています。 Adh 遺伝子と wg 遺伝子は同じ染色体に乗っているため互いに連鎖した遺伝子です（組換えのことはとりあえず考えない）。

最上段左の Adh^- 個体は、 Adh 遺伝子の両方に変異が入っていますが、 wg 遺伝子は両方とも正常です。逆に最上段右の wg^- 個体は、 Adh 遺伝子は正常ですが、 wg 遺伝子には両方とも変異が入っているため、正常な翅が出来ません。

両者を交配させると、その子供（F1）は wg 遺伝子をヘテロの状態を持つため、翅ができます。

F1 世代のハエを兄妹どうしで交配させると、最下段で示す遺伝子型の子が出来ます。理論上、翅を持つ者と持たない者は 3 : 1 の比になります。

長期間実験

ショウジョウバエを使った集団遺伝学実験（予告）

標準的なメンデル遺伝実験では親世代を1:1でかけあわせる。
産卵後に親を取り除いて、世代ごとに比率を集計する。

一般の野生生物（ヒトを含む）はどうだろう

最初の遺伝子頻度が1:1ではない。
世代は混在している。
自由な意志（偶然）で交配する相手が異なる。
表現型によって環境要因の影響*を受けるかもしれない。
個体数が減ったときにビン首効果*があるかもしれない。
*講義で説明します

実験材料： Adh^-/Adh^- 及び Oregon-R（野生型）

Adh^-/Adh^- は通常培地で飼育したときは野生型と変わりがないが、
アルコール含有培地では生育できない（環境抵抗）。

実際の実験には大変時間がかかります。そこで....

4/17 or 4/18：最初の交配をスタート

スタート時の遺伝子頻度を「ずらす」ため、以下の2通りの交配をします。
この交配は教員が行います。

- ① Adh^-/Adh^- の♀ 10匹と Adh^-/Adh^- の♂7匹、野生型の♂3匹... Adh^- の遺伝子頻度85%
- ② Adh^-/Adh^- の♀ 10匹と Adh^-/Adh^- の♂3匹、野生型の♂7匹... Adh^- の遺伝子頻度65%

5/15 or 5/16: 実験グループごとの交配をスタート

交配後一ヶ月経過しているの、ボトルの中には第一世代と第二世代が出てきているはず。二人一組のグループでいずれかの組み合わせを作ります（当日教員から指示します）。

- A: ① (Adh^- の遺伝子頻度85%) のビンから♂♀各10匹をランダムに選定して通常培地で飼育
- B: ① (Adh^- の遺伝子頻度85%) のビンから♂♀各10匹をランダムに選定してアルコール含有培地で飼育
- C: ② (Adh^- の遺伝子頻度65%) のビンから♂♀各10匹をランダムに選定して通常培地で飼育
- D: ② (Adh^- の遺伝子頻度65%) のビンから♂♀各10匹をランダムに選定してアルコール含有培地で飼育

5/29 or 5/30 と 6/12 or 6/13: 培地交換

培地が古くなっているの新しい物と交換（成虫だけを移す）

注目！

6/26 or 6/27: 集計とレポート作成

詳しいガイダンスをここでを行います (今日はよくわからなくてもOK)。

成虫を取り出してアルコール脱水素酵素活性がない物がどれだけいるか検定。
クラス全体で集計して遺伝子頻度がどのようになるかを計算する。

ショウジョウバエを使った「メンデル遺伝の法則」の確認 II

【概要】

本日の実験では初回（4/17、4/18）に交配したハエのF2の表現型を確認してメンデルの法則に則っているかどうかを確認する。

最初に着目する形質は翅の有無である。wgという形態形成遺伝子の変異型を受け継いだ場合、この遺伝子から作られる情報タンパク質の機能が発揮できないので無翅になる（wg/wg: 無翅、+/+と wg/+ : 正常）。

もう一つの形質はアルコール脱水素酵素活性の有無である（Adh/Adh: 酵素活性なし、Adh/+と +/+ : 酵素活性有り）この形質は外見から判断できないので、ハエを潰して酵素活性を発色反応で判定する。

この二つの遺伝子は同じ染色体（DNA分子）上に存在するので無翅の個体にはアルコール脱水素酵素活性があり、Adh/Adh 個体には翅があるはずである。

今回の作業内容は、①実体顕微鏡下で翅の有無を確認する、②一部のハエを酵素活性測定液に浸して活性を確認する、③次回の遺伝子型判定に向けて保存する、の3ステップを行う。実験サンプルは各グループの物を使用するが、最終結果はクラス全体で集計した物を元にレポートとすること。

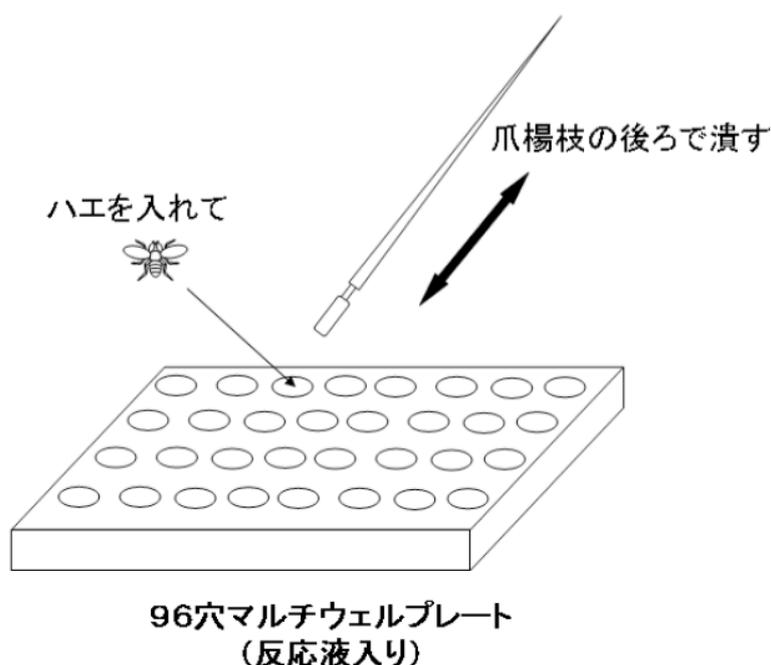
【手順】

①翅の有無を確認

グループのバイアルすべてのハエに麻酔（多めのエーテルで強めに麻酔）をかけたうえで、グループ（最大4人）で分担し、翅の有無を確認せよ。集計表①を利用すると便利。

②アルコール脱水素酵素活性の確認

96穴マルチウェルプレート（一枚で二人分）にはアルコール脱水素酵素の基質・発色剤・緩衝液が分注されている。翅の有無を確認したハエから12個体（有翅9個体、無翅3個体）を別々のウェル（穴）に入れて押しつぶす。押しつぶしに使用する爪楊枝は一個体に一本使用し、繰り返し使わないこと。F1世代のハエ2匹も同様に活性測定をする。発色までには30-60分かかる。プリンター複合機のカラーコピー機能で発色状態を印刷して「結果」に貼付せよ。グループでF2を24個体処理するので結果を集計表②を使ってまとめよ。

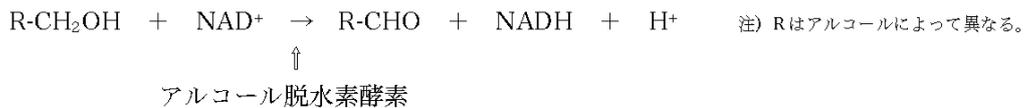


③遺伝子型測定用サンプルの確保

グループ（最大4人）で8個体のハエ（有翅6個体、無翅2個体）をそれぞれ別々のマイクロチューブに入れ、識別記号を付けること。識別記号と内容を集計表③に記入せよ。これらのハエは凍結保存して次回の実習時に遺伝子型識別を行う。

【解説】

アルコール脱水素酵素は、体内でアルコールを酸化してアルデヒドに変える反応を触媒する。人間の場合は、主に肝臓でのアルコール処理に使われる。補酵素NAD（ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド）は、還元されてNADHとなる事で、アルコール脱水素酵素活性の一助を担う。



この反応に発色基質NBT（ニトロブルーテトラゾリウム）を加えておく事で、反応液が黄色から青色に変わる。この性質を利用して、アルコール脱水素酵素の活性が判定できる。

【課題】

メンデルの法則がショウジョウバエで確認できたことを示す（確認できなかったときはその旨を報告する）レポート（後半：結果と考察）を作成せよ。集計値はクラス全体の物を使用すること。*Adh* 遺伝子座と *wg* 遺伝子座は連鎖しているが、それを示す結果があれば合わせて記載すること。

長期間実験 ショウジョウバエを使った集団遺伝学実験

【概要】

実習1回目で、*Adh* 系統と野生型とを適当な個体数で交配させ、*Adh* の遺伝子頻度が85%の集団と65%の集団を作った（詳しくは「予告」を参照）。現時点で、2世代目の成虫が羽化している。今回はこれらを少数の集団に分け、通常培地もしくはアルコールを含む培地に継代する。実習最終日には、これらの集団を形成する個体のアルコール脱水素酵素活性を測定し、集団中の *Adh* 遺伝子頻度を概算する。

【今日の作業】

スタッフが麻酔したショウジョウバエを受け取る。1グループ（最大4名）につき♂♀各10個体使用する。

- <顕微鏡番号 1-16> A: *Adh* の遺伝子頻度85%の集団を通常培地で飼育
- <顕微鏡番号 17-32> B: *Adh* の遺伝子頻度85%の集団をアルコール含有培地で飼育
- <顕微鏡番号 33-48> C: *Adh* の遺伝子頻度65%の集団を通常培地で飼育
- <顕微鏡番号 49-64> D: *Adh* の遺伝子頻度65%の集団をアルコール含有培地で飼育

指示された培地の入ったバイアルに、ハエを移す。麻酔が醒めないよう、迅速に作業すること。バイアルにフタをして、ハエの翅を濡らさないようにバイアルを寝かせておく。ハエの麻酔が醒めたら、バイアルを提出する。グループ名、日付、遺伝子頻度や培地のアルコール有無など必要事項を忘れずにマジックで記すこと。

PCR 法による遺伝子型の確認

【概要】前回の実験で翅の有無や ADH 酵素活性などの表現型を確認したが、優性形質が現れている個体についてはホモ接合体であるかヘテロ接合体であるかは区別できなかった。この実験では DNA の配列情報を利用して直接遺伝子型を調べる実験を行う。

DNA の配列情報に基づいた遺伝子型の判定は病気の診断、細菌やウイルスの検出、混入された遺伝子組み換え作物の検出や農産物の品種確定、犯罪捜査、親子鑑定など様々な技術に応用されている。ゲノム DNA は非常に長い分子なので、「PCR 法」という技術によって目的の配列のみを増やして利用されることがほとんどである。この実習では F2 世代ショウジョウバエからゲノム DNA を抽出し、*Adh* 遺伝子の一部を含む DNA 断片を「PCR 法」によって増幅し、「アガロースゲル電気泳動法」で分析することでその遺伝子型を判定する。実社会への応用を念頭に PCR 法および電気泳動法の原理を理解することを目指します。

この実験の進め方

この実験は 1 回目 (5/29-30 慶早戦による延期の場合あり) に DNA の抽出から反応液の調整までを行い、2 回目 (6/12-13 同上) に電気泳動による結果の判定を行います。

今日配布したマニュアルを次回の実験時に必ず持参すること。

1 回目を休んだ学生でも 2 回目から参加することができます。この場合一回目に行った「自分の」サンプルがありませんので、教員が用意したものを使用して途中から実験します。

1 回目の実験は使い慣れない精密器具を多用しますので、個人的に先行せず、指示通りに実験を進めること。

レポートの作成

レポートは毎回提出しますが、1 回目は結果が出ません。従って、次のように作成して提出すること。

1 回目のレポートは「タイトル」「目的」「材料と方法 (PCR 法の説明) 1 回目の分」までとします。但し、「目的」の中に以下の項目を含めること。

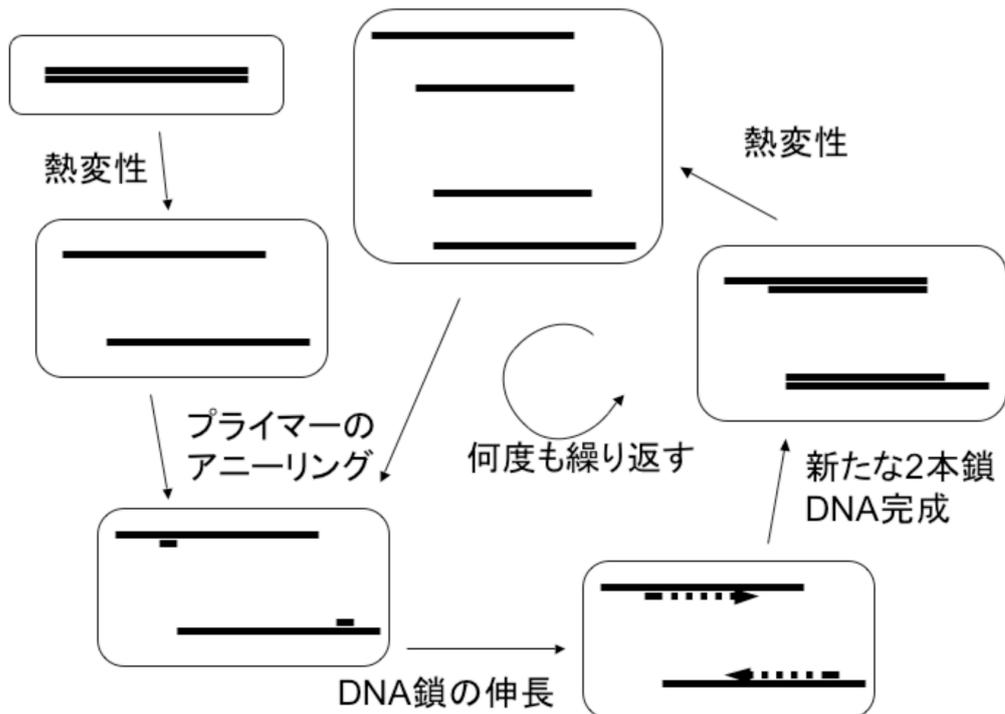
- ① 実験目的の一つとして「PCR 法が遺伝子型の検出に利用できる精度かをテストする」ことを含めよ。
- ② 遺伝子型判定を利用する実践例を挙げ、どのくらいの精度であれば利用可能であるかを作業仮説とせよ。

2 回目のレポートは「材料と方法 (電気泳動法の説明) 二回目の分」、「結果」、「考察」となります。考察には「PCR 法が遺伝子型判定に使用できる精度か」についての判定と「F2 において遺伝子型はどのような比率であったか」に関する議論、及び「PCR 法を実行してわかるこの方法の難点・注意点 (もし、失敗した人がいたならその理由) について」、「この方法を行うことによる社会的問題点について」等をまとめること。

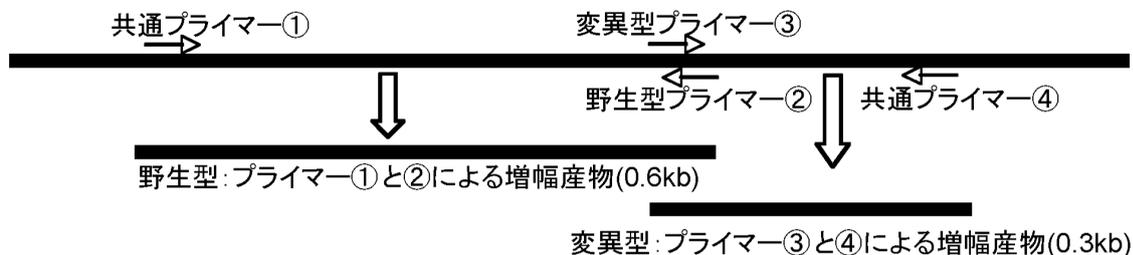
【解説】

PCR(Polymerase Chain Reaction、ポリメラーゼ連鎖反応)とは、ごく微量の DNA から必要な部分を選択的に増幅できる技術である。DNA 断片は、相補的な配列が 2 本鎖を形成するが、これを 95°C 程度に加熱する事で 1 本鎖に分離する「熱変性」という現象が起こる。熱変性した DNA 断片は 50~68°C 程度に冷却されると再び相補的な 2 本鎖を形成しようとするが、この時人工合成した 10~30 塩基のごく短い DNA 断片 (プライマーと呼ばれる) が大量に混入していると、プライマーが優先的に相補的な配列に結合する。この現象を「アニーリング」と呼ぶ。次に 72°C に温度を上げると、DNA ポリメラーゼが働き、プライマーを起点に dNTPs を材料として DNA の合成が始まる。この段階が「伸長」である。ちなみに dNTPs とは、A (アデニン)、T (チミン)、C (シトシン)、G (グアニン) を含むヌクレオチドが、繋がらずバラバラになった状態の物を指す。2 本鎖に伸長した DNA を再び熱変性させ、さらにプライマーのアニーリング、伸長と同様に温度調節を繰り返す事で、DNA のコピーが倍々に増えて行く。増殖効率が 100 パーセントだと仮定すると、30 サイクルで 2 の 30 乗、つまり 10 億倍以上に増幅する計算になる。プライマーの配列を変える事で DNA の任意の領域のみ増幅できるため、この技術は生命科学研究を飛躍的に進歩させた。

PCR法の原理



この実習で使用している *Adh* 変異系統は、DNA 配列レベルでの変異が判っている。この情報を元にして、*Adh* 変異型と正常型の違いを PCR 産物の長さで識別できるようにプライマーを設計してある。DNA 断片の長さは電気泳動法で検出できる。



```
5'CTCAAGCGCGATCTGAAGGTAAGTACTATGCGATGCCCCACAGGCT3'野生型 Adh
3'GAGTTCGCGCTAGACTTCCATTGATACGCTACGGGTGTCCGA5'
<-3'CCATTGATACGCTACGGGTG5' <Primer2>
```

```
<Primer3> 5'GCGATCTGAAGGCGATCTG3'->
```

```
5'CTCAAGCGCGATCTGAAGGCGATCTGCCCCACAGGCT3'変異型 Adh
3'GAGTTCGCGCTAGACTTCCGCTAGACGGGTGTCCGA5'
```

Adh 遺伝子の DNA 配列と特異的プライマー

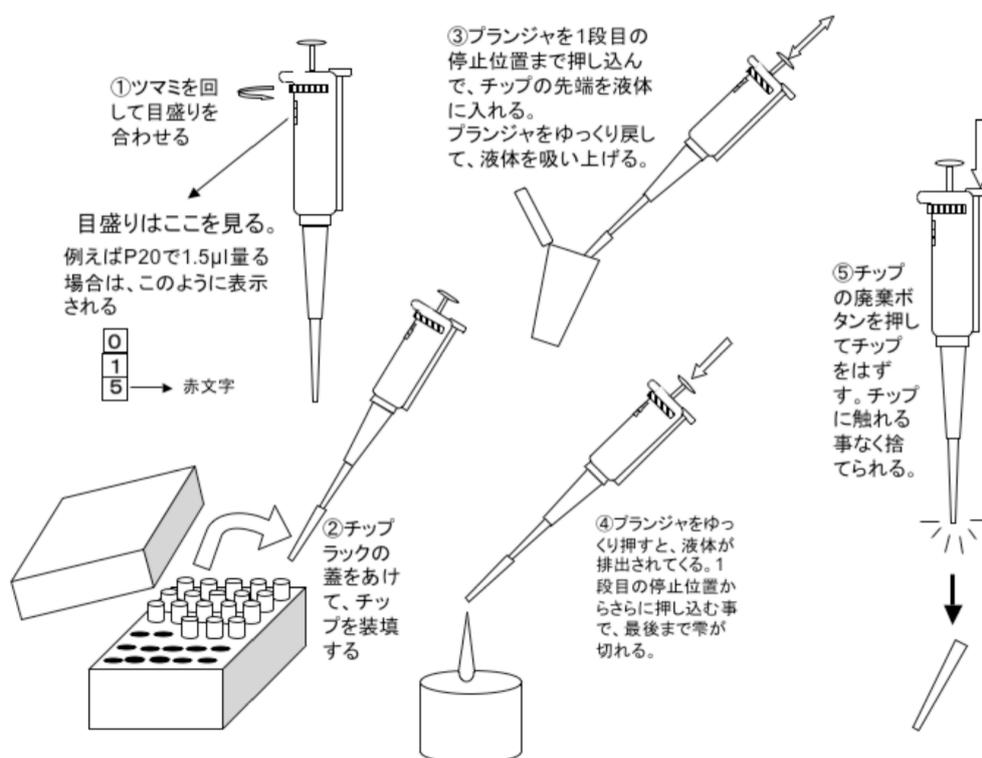
配列が異なる部分が存在するので、プライマー②は野生型にのみ結合し、プライマー③は変異型にのみ結合する。その結果、野生型では 0.6kb の DNA 断片が、変異型では 0.3kb の DNA 断片が増幅される。0.6kb のみなら野生型のホモ個体、両方現れればヘテロ個体、0.3kb のみなら変異型ホモ個体と判定できる。両方とも現れない場合は実験が失敗したことを意味している。少量ながらプライマー①と④による 0.9kb 産物が生じる可能性もある。

マイクロピペッターの使い方 (実験前にマスターすること)

1ml以下の液体を量り採るのは、マイクロピペッターと呼ばれる特別な器具を使います。マイクロピペッターはデリケートな器具なので、無理な使い方をすると正確な計量ができなくなります。落としたり、乱暴に扱うのも控えてください。また、ピペッターの種類によって、計量できる範囲が決まっています。範囲を超えて目盛りを設定しないように注意してください。

- 1) ビーカーに水をくみます。
- 2) 1.5ml エッペンチューブのふたを開け、チューブ立てに置きます。
- 3) マイクロピペッターは、P20、P200、P1000 の3種類あります。いずれか一種類を選びます。
- 4) マイクロピペッターの目盛りを以下の容量にセットします。
P20・・・5 μ l P200・・・50 μ l P1000・・・250 μ l
- 5) チップラックのふたをあけて、マイクロピペッターにチップを装填します。
P20 または P200・・・イエローチップ P1000・・・ブルーチップ
- 6) プランジヤを1段目の停止位置まで押し込んでおいて、そのままチップの先端を水に入れます。
- 7) プランジヤをゆっくり戻して、水をチップの中に吸い込みます。プランジヤが戻りきっても、すぐにはチップを水から離さず、水が完全にチップの中に流れ込むのを待ちましょう。泡を入れたりしないように注意しましょう。
- 8) 5 μ l, 50 μ l, 250 μ l という容量が、それぞれ、目で見てどれくらいの容量になるのか、お互い見せ合って確認しましょう。
- 9) 吸った水を、2) で用意した 1.5 ml エッペンチューブに移します。プランジヤをゆっくり押しすと、チップの先から水が排出されてきます。そのまま押ししていくと1段階目の停止位置に達しますが、さらに2段階目の停止位置に達するまで押し続けて、水をチップから完全に排出します。
- 10) チップの廃棄レバーを押して、チップを廃棄容器に捨てます。

★実際の実験では、1回の使用ごとに、チップを交換することが肝要です。なぜそうすべきか考察において検討するのも良いでしょう。



〔ショウジョウバエのゲノム DNA 抽出〕

【解説】

細胞はアルカリ溶液中で煮沸されることによりタンパク質が変性・分解する。溶液を中和した後、キレックス樹脂ビーズにタンパク質を吸着させ、遠心分離によってキレックスビーズと残渣を除去すると少量ではあるが純粋な DNA 溶液を得ることができる。

【手順】

- 1) キレックス溶液の入った 15ml チューブのふたをしっかりと閉め、よく攪拌してからふたを開け、P1000 のマイクロピペッターで、キレックス溶液を 250 μ l 吸い取って、1.5ml エッペンチューブに入れる。
- 2) キレックス溶液にハエを 1 個体入れて、爪楊枝で押し潰す（できるだけ粉々に）。
- 3) 爪楊枝をゴミ箱に捨て、チューブの蓋をして顕微鏡番号と名前を書く。
- 4) キャップロックをしたチューブをフローティングフォームにはめ込んで、10 分間煮沸する。
- 5) 煮沸後、チューブを取り出して氷上で 3 分程度保冷する。十分に冷やす。
- 6) P1000 のマイクロピペッターを使って、中和液 (Tris-HCl pH 7.5) を 350 μ l とり、7) のエッペンチューブに加える。ふたをしてよく混ぜる。
- 7) 高速遠心分離機にチューブをセットし、12000 回転で 5 分間遠心する。スタッフの指示に従うこと。
- 8) 遠心が終わったら、沈殿を崩さないよう静かにチューブを取り出して氷上に立てる。
- 9) 上清には、ハエのゲノム DNA が含まれている (DNA 抽出液) ので、これを鋳型として PCR 反応を行う。

〔PCR による DNA 増幅〕

【解説】

PCR 反応のためには鋳型 DNA の他に耐熱性 DNA ポリメラーゼ、プライマー、dNTPs (DNA の材料)、条件設定用緩衝液が必要である。今回の実験では鋳型 DNA 以外はすべて混合されている物を用いる。反応開始までに失活しないように氷上に保持する。最終反応液は 50 μ l とし、熱伝導性の良い容量 200 μ l の薄壁チューブで反応させる。サーマルサイクラーは 1 回に 96 サンプルまで同時に増幅することができるので、クラス全員分のサンプルが揃ったところでスタートする。退室前に稼働していることを確認せよ。

【手順】

- 1) 鋳型以外の PCR 反応液はタイミングを見て 1.5ml エッペンチューブで配布される。氷上に保持すること。
- 2) P200 のマイクロピペッターで各自の反応用チューブに PCR 反応液 45 μ l を分注せよ。引き続き氷上保持のこと。
- 3) 反応チューブに、ゲノム DNA 抽出液を P20 マイクロピペッターで 5 μ l 加える。沈殿を吸い込まないように、液面付近から吸い取る。全量は 50 μ l となる。
- 4) チューブの蓋をしめて、側面に名前と番号を書いて氷に刺しておく。指示に従って提出すること。
(以下はスタッフが行うが、サーマルサイクラーの稼働状況を確認してから退室すること)
- 5) サーマルサイクラーでの PCR 反応には数時間を要する。反応の終わったチューブは凍結保存して、次回の実習で電気泳動に用いる。

PCR 法による遺伝子型の確認

その2～電気泳動法による PCR の結果確認

【概要】

PCR 法は、DNA の任意の領域を大量に増幅する技法であるが、増幅された DNA 断片の大きさは肉眼で判定する事ができない。そこで、電気泳動法を行って DNA 断片を大きさごとに分離し、染色によって可視化する。

電気泳動法：水溶液中の分子は多くの場合プラスまたはマイナスの電荷を持っている。このため水溶液に通電すると、液体中の分子はその荷電と反対の極に向かって移動する。今回取り扱う DNA はリン酸基によりマイナスに荷電しているため陽極側に移動する。このとき、アガロースゲルなどの立体的な網目構造を持った分子を通過させると、分子量の大きい DNA 断片ほど移動しにくくなる「分子ふるい効果」が働く。DNA を一カ所に集めて電気泳動をはじめると、一定時間後の泳動距離（移動度）は、DNA の大きさに反比例し、同じ大きさの DNA は同一の距離に集まる。

DNA の染色：泳動が終わったゲルをエチジウムブロマイド溶液に浸漬するとエチジウムブロマイドが DNA 二重螺旋の間に割り込む形で安定する。この状態で DNA に紫外線が当たると、紫外線のエネルギーがエチジウムブロマイドに受け渡されて橙赤色の蛍光が発せられる。大量に増幅された PCR 産物 (DNA) は一定の大きさに揃っているため、帯（バンド）状の蛍光が観察される。エチジウムブロマイドは DNA に結合するので、突然変異を誘発する発癌物質であると言える。素手で取り扱わないことはもちろん、飛沫などに十分注意すること。また、紫外線自体も有害であるため直視しないように専用の照射装置を用いる。モニター及び写真は白黒となるが、実際の蛍光色がどのような色かを覗き窓（紫外線除去フィルター付き）から見て確認すること。

【材料】

PCR 反応液：前回の実習で作成したもの

電気泳動槽：1.0%アガロースゲル、泳動バッファー（TAE）設置済み

電気泳動槽はウェル（窪み）を奥にし、手前に向かって泳動するよう表記するのが慣例である（昔は縦型で、ウェルが上であり、下に向かって泳動したから）。集計表とウェルの位置を照合しておくこと。

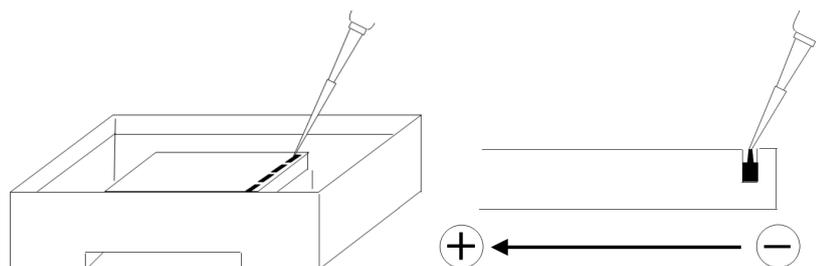
ローディングバッファー：青色素を含むため、泳動状態を知ることが出来る。比重が重いので、混合液はウェルに入れると沈む。そのため、DNA をウェルに入れることが出来る。

サイズマーカー：大きさのわかっている DNA 断片入り、ローディングバッファー添加済み

染色液（エチジウムブロマイド溶液）：素手で触らないこと。

【手順】

1. 自分の PCR チューブに、P20 のマイクロピペッターを用いて、ローディングバッファー $5 \mu\text{l}$ をサンプルチューブに加えて、よく混合する。
2. 電気泳動槽のアガロースゲル（既に準備されている）の左端のウェル（窪み）に、サイズマーカーを $3 \mu\text{l}$ 入れる。ゲル1枚につき1箇所よい。



3. 各自のPCR反応液10 μ lを静かに入れる。誰がどのウェルにサンプルを入れたか記録しておく。

【注意すべき点】

- その1：ローディングバッファーをよく混ぜる。
 その2：液体を吸う前に空中でプランジャーを押して空気を抜く。（チップに気泡が入ると正確な量を吸えないばかりか、せっかく入れたサンプルが舞い上がってしまうことがあるので注意すること。）
 その3：ウェルにチップを深く入れすぎない。上から流し込むくらいのつもりでゆっくりと注入する。（チップの先でゲルを突き破らないようにすること。勢いよく出すとあふれて他のウェルを汚染するかもしれない。）
 その4：チップに青い液が多少残っても気にしない。プランジャー押し出しは一段目までのつもりで。（二段目まで強く押し込むと気泡が出てサンプルがあふれるかもしれない。）必ずチップを水面から離してからプランジャーをゆっくり戻す。（水中でプランジャーを離すとせっかく入れた液を吸い戻してしまう。）
 その5：最初の一人がウェルにサンプルを入れたら通電終了まで泳動槽を移動したり、衝撃を与えたりしないこと。（ゲルが動くと泳動が乱れてしまい、きれいな結果が得られなくなります。）

4. ふたをして、100Vで20～30分ほど電気泳動を行う。ローディングバッファーの青色素が陽極に向かって流れていくのを目視により確認する。流しすぎないように用心すること。

5. 通電を止めて泳動を終了する。

6. ゲルを壊さないよう、枠ごと泳動槽から取り出し、ゲルのみをエチジウムブロマイド染色液用の容器におしだす。エチジウムブロマイド溶液を加えて30分染色する。

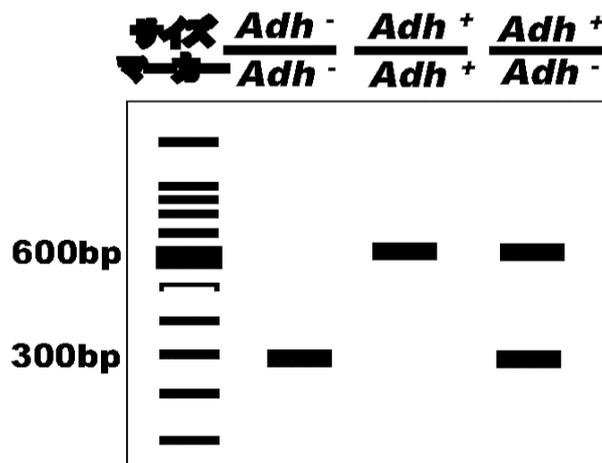
7. ゲルを取り出して写真撮影を行う。観察・撮影装置は一台だけですので、順番を指示します。

8. 各自一枚の写真を受け取り、自分が増幅したハエの遺伝子型の判定を行う。また班ごとに集計する。

9. 最終的に、クラス全体での遺伝子型の分布、及び成功率の集計を行う。

【判定】

野生型 *Adh* 遺伝子があれば0.6kbのDNAが、変異型があれば0.3kbのDNA断片が増幅されてきているはずである。0.6kbのみなら野生型のホモ個体、0.3kbのみなら変異型ホモ個体、両方現れればヘテロ個体と判定できる。なお、両方現れない場合は実験そのものが失敗した（検出不能=N.D.として集計すること）を示している。N.D.が多ければ、この実験が難しかったと言えよう。



【レポート作成】

前回のレポートの続き（方法：電気泳動法～結果・考察まで）を作成せよ。採点済みで返却された前回のレポートをホチキスで留めて同時に提出すること。

なお、遺伝子型と成功率の集計はクラス全体で行うので必ず引用すること。

Adh 変異個体ショウジョウバエを用いた集団遺伝学実験

標準的な「メンデル遺伝の実験」では両親に異なる『純系』個体を選び、1:1で掛け合わせるところから実験が始まるが、このような実験で使用される対立遺伝子の頻度は必ず1:1となり、その結果として雑種第二代で表現型が3:1に分離する。このクラスでも *Adh* と *wingless* を用いた実験を既に行ったが、自由に交配する野生動物では（ヒトの ABO 式血液型や遺伝病のように）遺伝子の頻度は1:1とは限らない。このようなときに集団内で遺伝子はどのように受け継がれていくのだろうか？

論理的に考えれば、個体数が十分多い集団の中で中立な遺伝子（生存に有利でも不利でもない遺伝子）の頻度は何世代経ても変化しない。これを「ハーディー・ワインベルグの法則」と呼ぶ。今回使用する変異型 *Adh* 遺伝子は通常培地で飼育する限り中立な遺伝子と考えてよいだろう。従って、最初に投入された遺伝子頻度が約3ヶ月後でも維持されていると考えられる。しかしながら、遺伝子頻度が増加する場合も考えられる。変異型 *Adh* 遺伝子をホモに持つと5%エチルアルコールが添加された培地では生存できないため（このような要因を環境抵抗＝淘汰圧と呼ぶ）変異型 *Adh* 遺伝子頻度は低下してくる。環境抵抗がない場合でも、集団の構成個体数が少なくなったときに、「偶然」遺伝子頻度に偏りが生じ、最終的な集団の遺伝子頻度が当初と異なる場合もある（瓶首効果）。

【実験の経過】

初回実習で時に下記のような最初の掛け合わせを行ない、2週間後に F1 の♂10個体と♀10個体を取り出し、通常培地とアルコール培地に分けて継代した。その後、以後定期的に培地交換を行い、4種類の集団を維持して来た。

当初遺伝子頻度（比率）の計算例：

$$\begin{aligned} Adh^+ : Adh^- &= \text{「} Adh^+ / Adh^- \text{」の割合} \div 2 : \text{「} Adh^- / Adh^- \text{」の割合} + \text{「} Adh^+ / Adh^+ \text{」の割合} \div 2 \\ &= 0.3 \div 2 : 0.7 + 0.3 \div 2 = 0.15 : 0.85 \end{aligned}$$

最初のかけあわせとハーディ・ワインベルグの法則が成り立つ場合の頻度

		<i>Adh</i> ⁻ / <i>Adh</i> ⁻ ♀10匹 すべて <i>Adh</i> ⁻ の配偶子	0.15 <i>Adh</i> ⁺	0.85 <i>Adh</i> ⁻
<i>Adh</i> ⁻ / <i>Adh</i> ⁻ ♂7匹 <i>Adh</i> ⁻ の配偶子相対頻度0.7	<i>Adh</i> ⁻ / <i>Adh</i> ⁻ のF1 全体の0.7	0.15	0.0225	0.1275
		<i>Adh</i> ⁺	<i>Adh</i> ⁺ / <i>Adh</i> ⁺	<i>Adh</i> ⁺ / <i>Adh</i> ⁻
<i>Adh</i> ⁺ / <i>Adh</i> ⁺ ♂3匹 <i>Adh</i> ⁻ の配偶子相対頻度0.3	<i>Adh</i> ⁺ / <i>Adh</i> ⁻ のF1 全体の0.3	0.85	0.1275	0.7225
		<i>Adh</i> ⁻	<i>Adh</i> ⁺ / <i>Adh</i> ⁻	<i>Adh</i> ⁻ / <i>Adh</i> ⁻

A: *Adh* の遺伝子頻度 85%・通常培地で飼育した集団

B: *Adh* の遺伝子頻度 85%・アルコール含有培地で飼育した集団

C: *Adh* の遺伝子頻度 65%・通常培地で飼育した集団

D: *Adh* の遺伝子頻度 65%・アルコール含有培地で飼育した集団

今日は、それぞれの集団を構成する *Adh* 変異遺伝子の頻度がこの3ヶ月間でどのように変化したのか、これら集団から任意に取り出した個体の ADH 酵素活性を判定する事によって調べる。

【材料・器具】

ショウジョウバエ（集団：A、B、C、D）、8穴×2列マルチウェルストリップ、反応液、爪楊枝、マイクロピペッター、麻醉瓶、ジエチルエーテル、ピンセット等

【本日の手順】

基本的に、5月15・16日に行った〔ショウジョウバエを使った「メンデル遺伝の法則」の確認Ⅱ〕と同じ作業を行う。

1. テーブルごとに条件の異なる集団を担当する（テーブルに配布されている集団を確認せよ）。
2. 二人組に付き一つのマルチウェルストリップ（8穴×2列）を使用する。人数が少ない場合は少なくともテーブルで4ストリップを使用すること（最大6ストリップ／テーブル）。マイクロピペッターを用いて、各ウェル（穴）に反応液を50 μ lずつ入れる。
3. 麻醉瓶とジエチルエーテルで、使用するハエに麻醉をかける。今回は、麻醉をかけすぎて殺しても構わない。
4. ウェルに1個体ずつハエを入れて、爪楊枝で押しつぶす（一匹ごとに交換）。あまり粉々にする必要は無いが、潰したハエが反応液中に残るようにすること。万が一、成虫の数が足りなければ幼虫を用いても良い。
5. ストリップをホルダーに固定して30～60分ほど反応させて、発色を確認する。
6. プリンター複合機のカラーコピー機能で発色状態を印刷して、レポート用紙に貼付する。
7. 各集団内で酵素活性を示した個体を数える。他のテーブルの結果も参照せよ。

最終的な遺伝子頻度の計算は、劣性ホモ（黄色呈色）の個体の割合の平方根が *Adh* 遺伝子頻度となる。*Adh*⁺の遺伝子頻度は1から *Adh*の頻度を引いたものである。

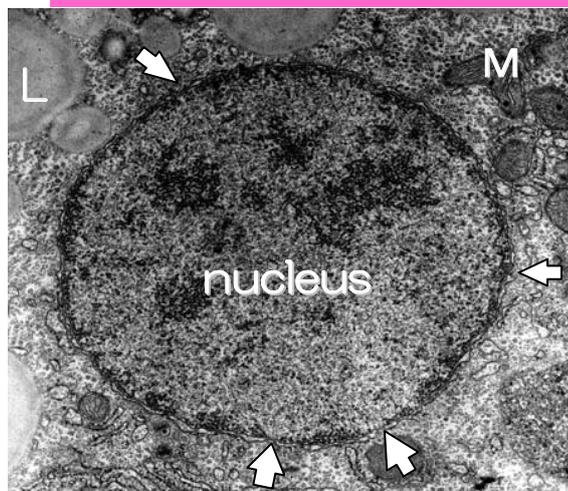
【課題】

すべてのグループの結果を基に「集団遺伝学実験」のレポートを作成せよ。言うまでもなく、本日の作業のみでなく、最初にどのような掛け合わせを行い、環境抵抗がどのようにかけられたのかなど詳しく言及すること。論述のポイントは「ハーディ・ワインベルグの法則（場合によっては瓶首効果）」と「環境抵抗による遺伝子頻度の変遷」である。もし、環境抵抗をかけた群で劣性ホモの個体が一匹も見られなかった場合、この集団から劣性遺伝子が完全に排除されたと言えるかについても考察せよ。

付録C 新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備：生物学(2)

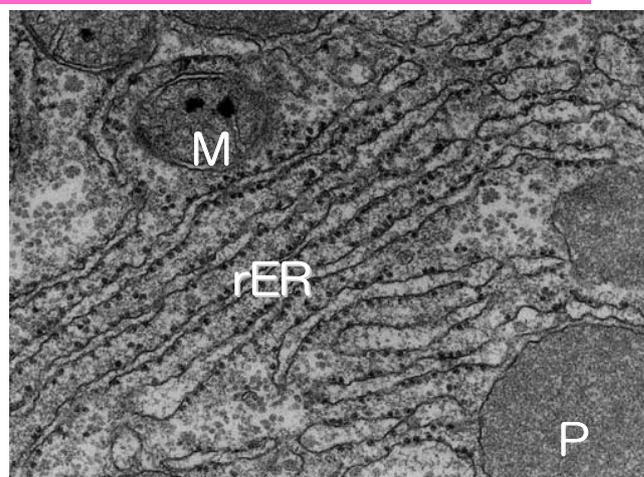
- ・生物発信：生物パネル資料

細胞内小器官



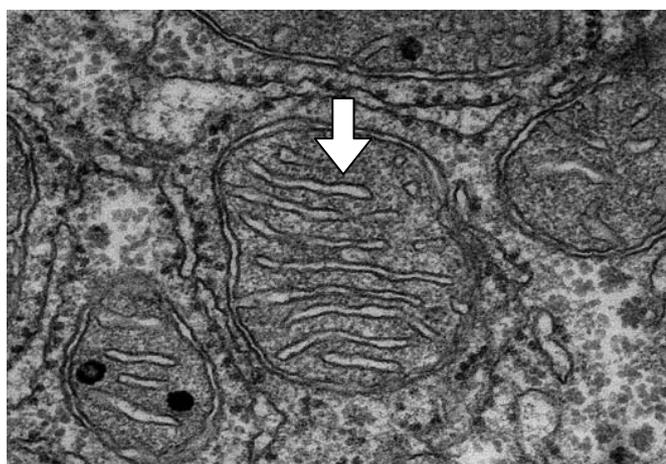
肝細胞の核

核と細胞質とは核膜によって隔てられているが、ところどころにある核膜孔(矢印)によって連絡している。
M：ミトコンドリア、L：脂肪粒



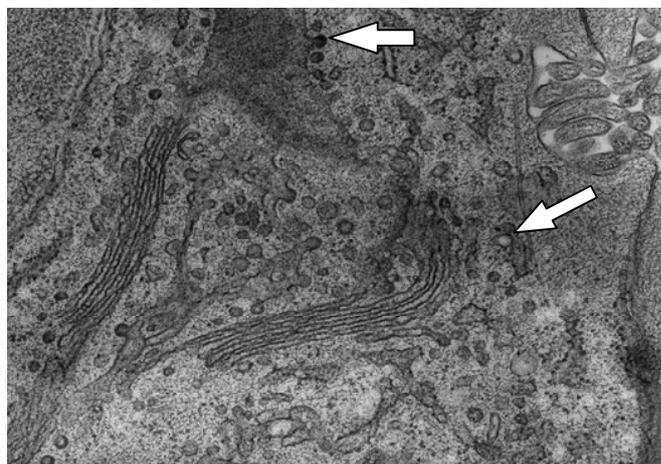
肝細胞の粗面小胞体(rER)

粗面小胞体はリボソームが結合した細胞内の袋状の構造である。核で転写された遺伝情報はリボソームにより膜タンパク質や分泌タンパク質へと翻訳される。 M:ミトコンドリア P:ペルオキシソーム



ミトコンドリア

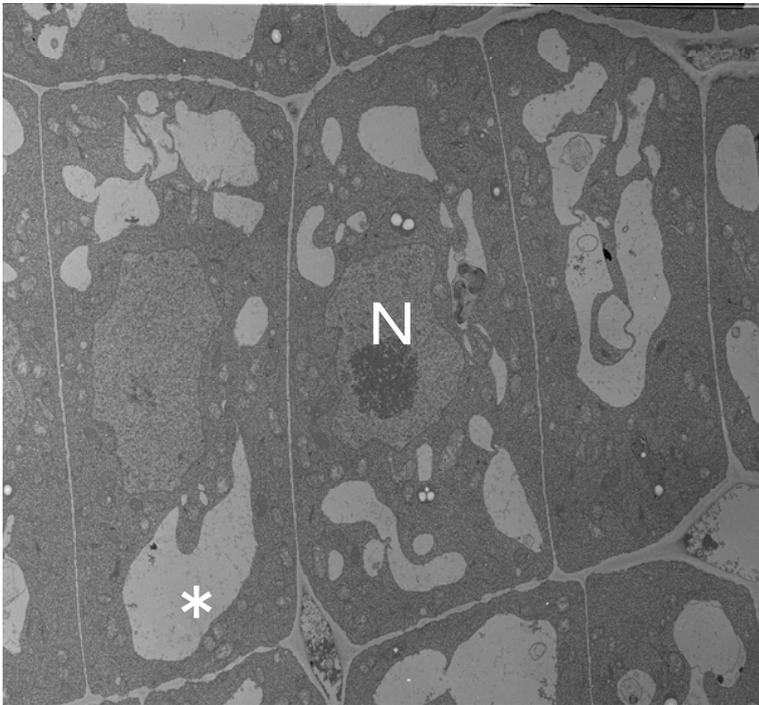
ミトコンドリアは細胞のパワープラントとして、エネルギー(ATP)生産を行なう。その合成に必要な酵素は入り組んだ内膜(クリステ:矢印)に組み込まれている。なお、ミトコンドリアは独自の遺伝情報(DNA)とリボソームを持ち、真核細胞共生説の根拠となっている。



ゴルジ体

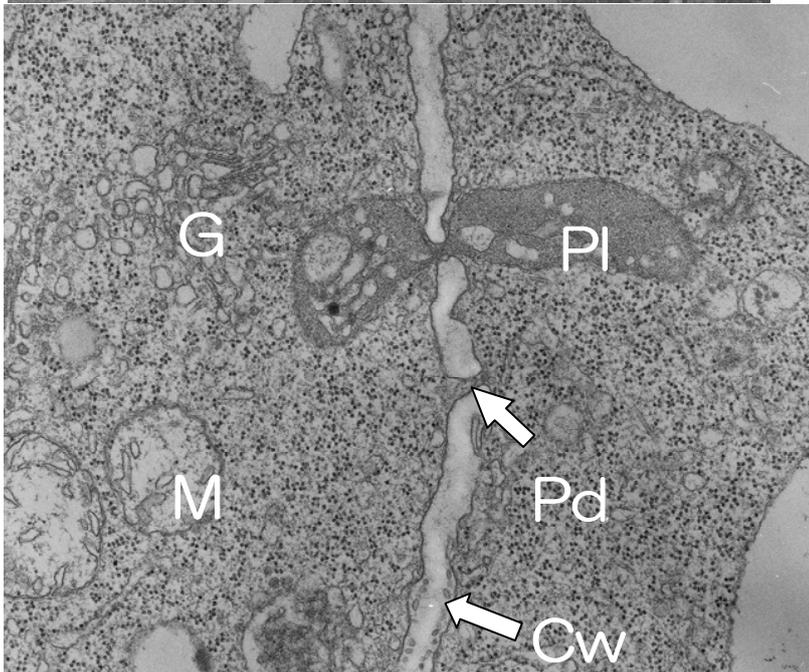
ゴルジ体は扁平な袋が数層重なった構造を持ち、rERで合成されたタンパク質を加工する。そのタンパク質はゴルジ小胞(矢印)につつまれた形で輸送され、細胞外に分泌されたり、ほかの細胞内小器官に送られたりする。

細胞間連絡（植物細胞）



モヤシ根端細胞

若い細胞で、液胞(*)はあまり発達していない。核(N)の中の色の濃い部分は核小体である。



写真提供 小比賀正敬名誉教授

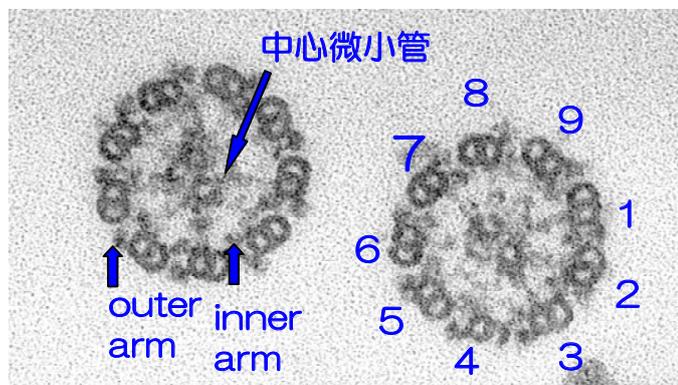
モヤシ根端細胞の細胞間連絡(plasmodesm;Pd)

植物細胞は互いにコミュニケーションできる構造(Pd)を持つ。

図中に色素体(proplastid;Pl)、ミトコンドリア(M)、ゴルジ装置(G)、細胞壁(cell wall;Cw)が観察される。

細胞運動のしくみ

チューブリン・ダイニン系(鞭毛)



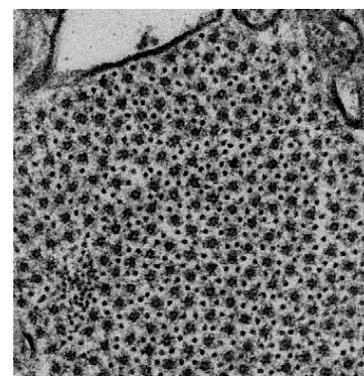
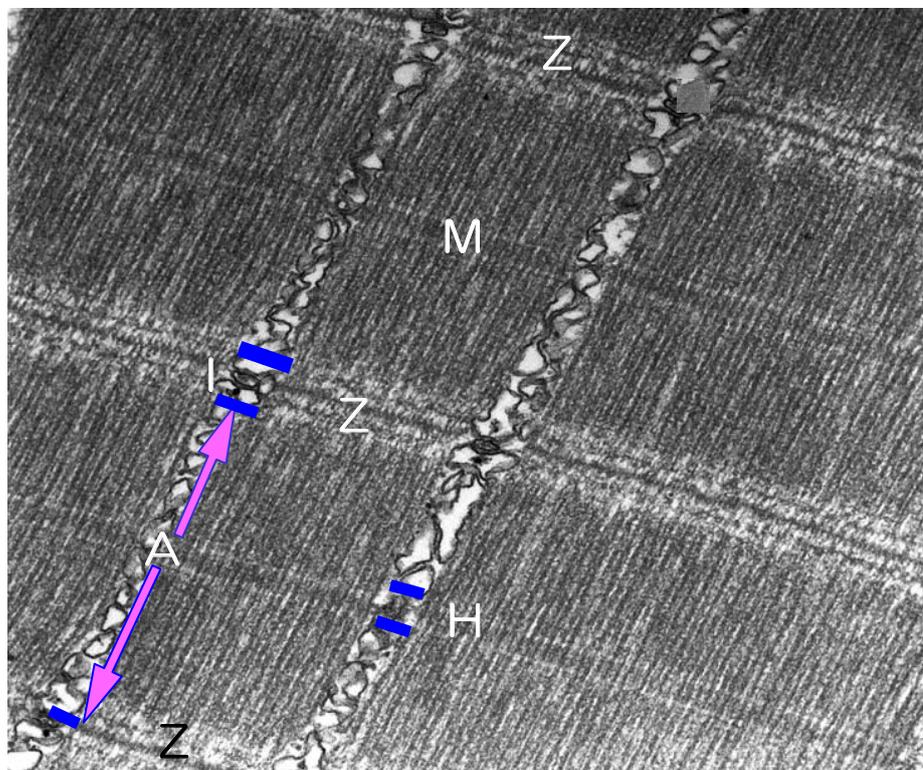
精子の鞭毛の動き

The Cell, a molecular approach. G.M.Cooper, ASM Press. 2000

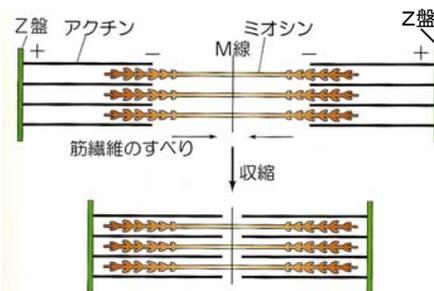
ウニの精子鞭毛の断面(9+2構造)

2本の中心微小管を9本のダブルット微小管がとりまいている。ダブルットの片方からヒゲのように出ている腕 (outer arm、inner arm) はダイニンである。ダイニンの腕と、隣のダブルット微小管との結合が長軸方向にずれることによって、全体の曲がり、鞭毛・繊毛運動がおこる。この精子の細胞膜は界面活性剤処理によって除いてある。

アクチン・ミオシン系(横紋筋)



骨格筋横断面



スライドモデル

The Cell, a molecular approach, G.M.Cooper, ASM Press. 2000

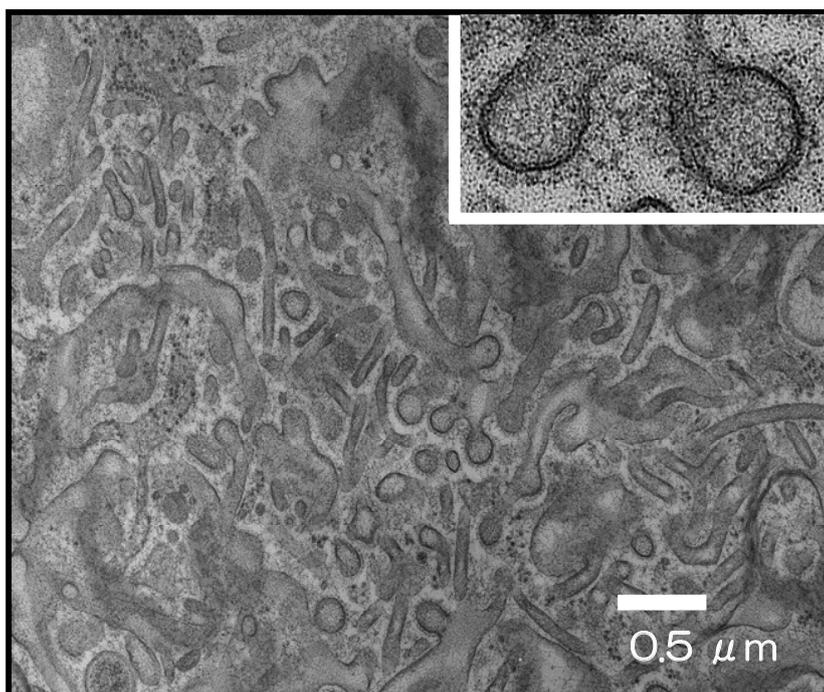
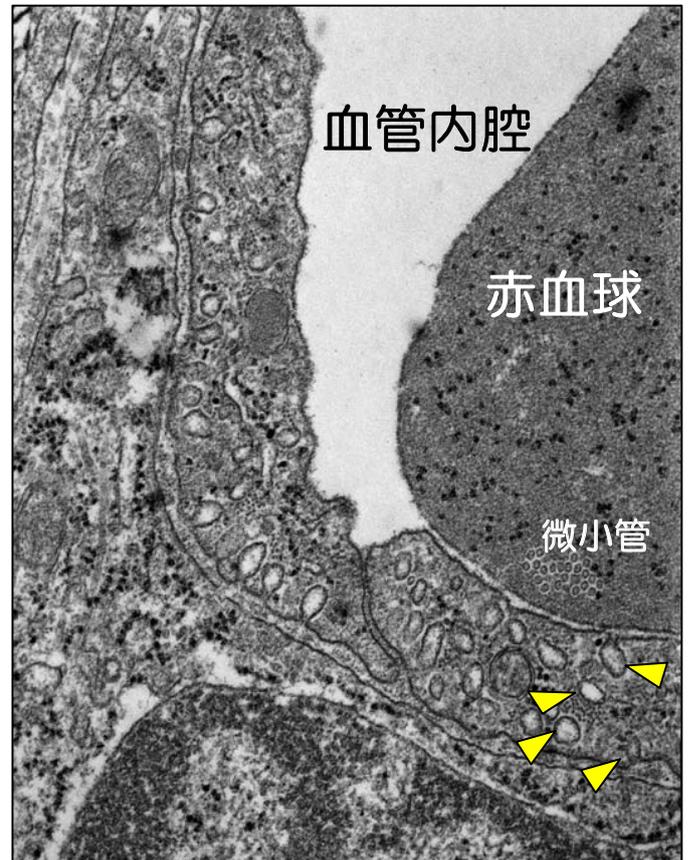
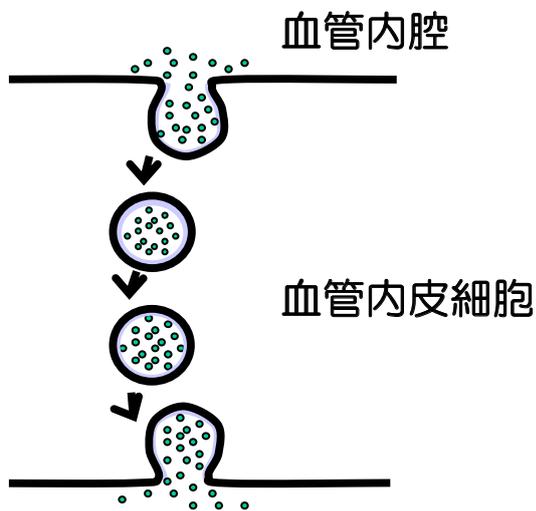
骨格筋の縦断面

Z線とZ線の間が収縮の単位である(サルコメア)。太いミオシン繊維と細いアクチン繊維が、それぞれの長さを変えずに滑り込むことによってZ-Z間の短縮がおこる。

生体における輸送システム

血管壁の内外の物質交換

毛細血管の壁を構成している内皮細胞を介して物質交換がなされる。血管内皮細胞は細胞膜の陥入（ピノサイトーシス）により物質を取り込む



被覆小胞 (coated vesicle)

被覆小胞は細胞内の運び屋である。

挿入図：バスケット状にとりまくタンパク質(クラスリン)のスパイク状の断面網目状構造が鮮明に見える。

急速凍結、凍結置換試料

ウニの発生①



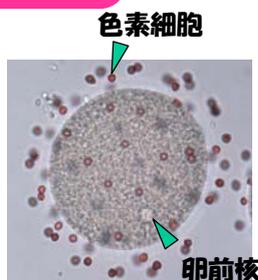
ハスノハカシパン
Scaphechinus mirabilis

卵成熟・受精・卵割



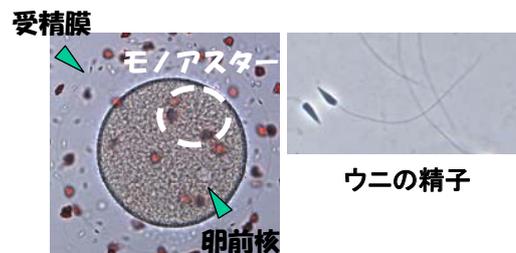
成熟卵の採取

口の周りからウニの体腔にアセチルコリンを注射し、海水で満たしたフラスコの上に逆さまに置くと、5個の生殖孔から放卵が起こり、成熟卵を得ることができる。



産卵直後の卵（未受精卵）

ハスノハカシパンはゼリー層に色素細胞がある。核が偏在している。



精子モノアスターと卵前核

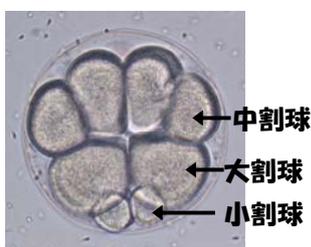
精子が卵に到達すると、受精膜が上がる。受精膜の上には進入できなかった精子が見られる。卵の中心部で精子と卵の両核は融合する。

ウニの精子



初期卵割（2-8細胞期）

卵と精子の核の融合が完了すると、分裂装置ができ、核分裂が起こる。つづいて動植物軸に沿ったアクチン繊維の収縮により2個の割球に分裂する。2個の割球は、再び動植物軸に沿ってそれぞれ分裂をし、4細胞期になる。その後、4個の割球は、赤道面に沿って分裂をし、2層からなる8細胞期になる。



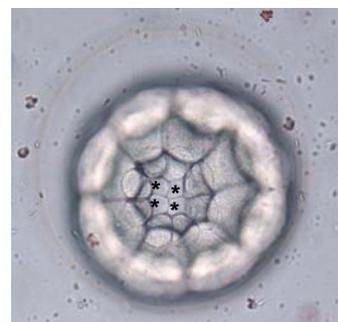
16細胞期

8細胞期までは、同じ大きさの割球へと分裂した割球は、次の分裂で異なる大きさの割球へと分裂する。動物極側に存在する4つの割球は同じ大きさに(中割球)、植物極側の4つの割球は大きな割球と小さい割球と卵割する(大割球、小割球)。



32細胞期

3つの異なる大きさの割球に分裂した各割球のうち、大割球と中割球はそれぞれ同じ大きさの割球に、小割球は再び大小の割球へと分裂する(大小割球、小小割球)。



60細胞期

それぞれの割球は、同じ大きさの割球へと分裂するが、小割球(*)は分裂しない。このように、ウニ卵では、卵割の方向とタイミングが決まっている。

ウニの発生②

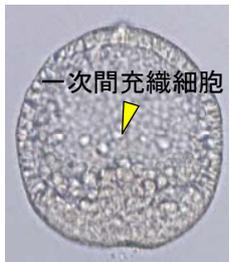


ハスノハカシパン
Scaphechinus mirabilis

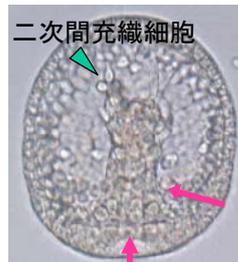
胚発生



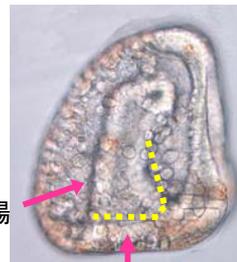
胞胚期
卵割を繰り返して、1層の上皮シートからなるボール状構造をとる。やがて、各細胞から繊毛がはえ、受精膜を破り、泳ぎだす。



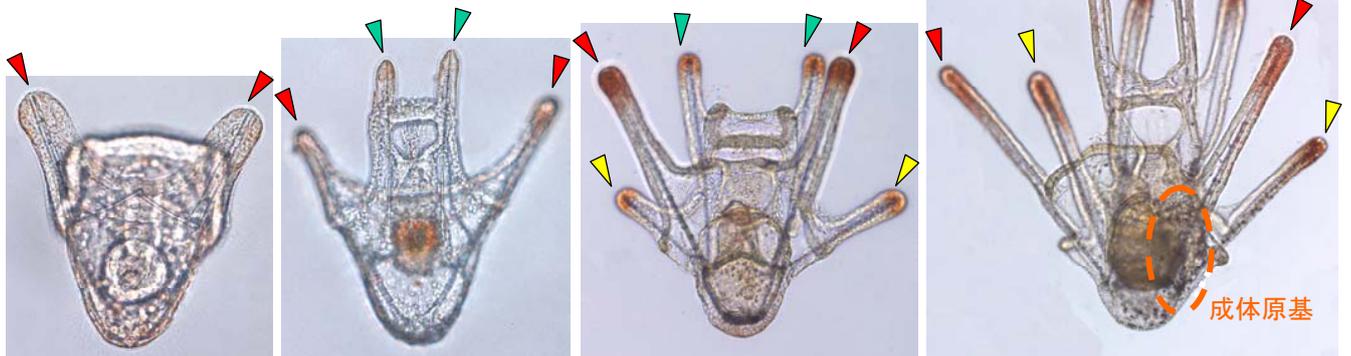
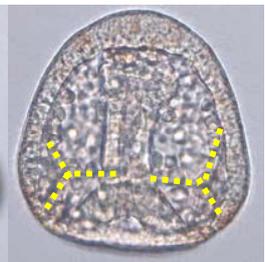
間充織胞胚期
植物極側の上皮シートが厚くなり、そこから、大小割球由来の第一次間充織細胞が胞胚腔中へと移入する。この32個の第一次間充織細胞は、幼生骨片を形成する。



原腸胚期
植物極の中心部が陥入し、原腸が形成される。原腸先端部からは、第二次間充織細胞が出現し、仮足を伸ばし、原腸を引き上げる。

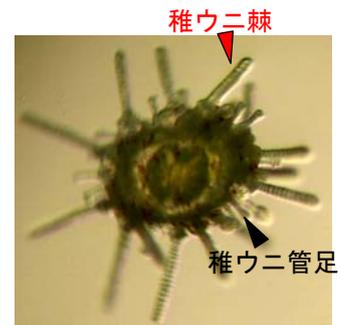


プリズム幼生期 (左:側面図、右:正面図)
原腸先端部が外胚葉上皮と融合し、口を形成し、原口は肛門となる。原腸は、その後、前腸(食道)・中腸(胃)・後腸(腸)へと分化する(図中、黄色の点線は、骨を表す)。



プルテウス幼生期

ウニの幼生は、この時期からプランクトンを摂食し活発に泳ぎまわる。また、骨片にそって腕が伸びる。腕は、2本、4本、6本、8本と増えていく。8腕プルテウスになると、胃の脇にウニ原基ができてくる。原基内に口器、管足、トゲが発達し、やがて岩の上に着底して幼生器官を吸収し、稚ウニとなる(変態)。



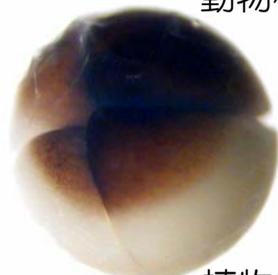
カエルの発生

アフリカツメガエルは脊椎動物の形態形成のモデルとしてよく研究されている。棘皮動物などと同様に、卵割期、桑実胚期、胞胚期、原腸胚期を経て発生は進行する。神経胚期には背側外胚葉が陥入して神経管が形成され、将来、脳・脊髄となる。



Xenopus leavis
アフリカツメガエル

動物極



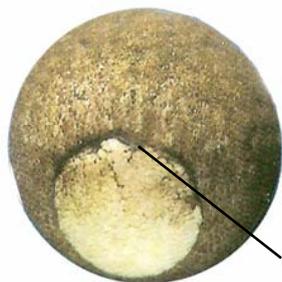
植物極
4細胞期



桑実胚期



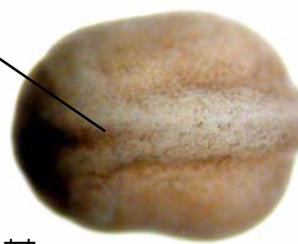
胞胚期



原口
中期原腸胚期



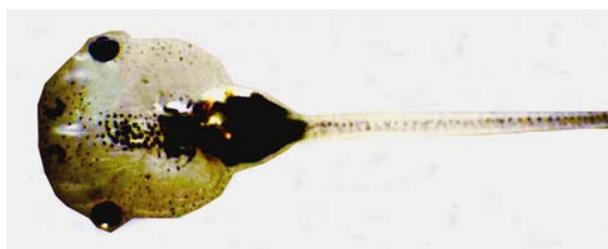
神経管
セメント腺原基
神経胚期
(正面図)



神経管
神経胚期
(背面図)

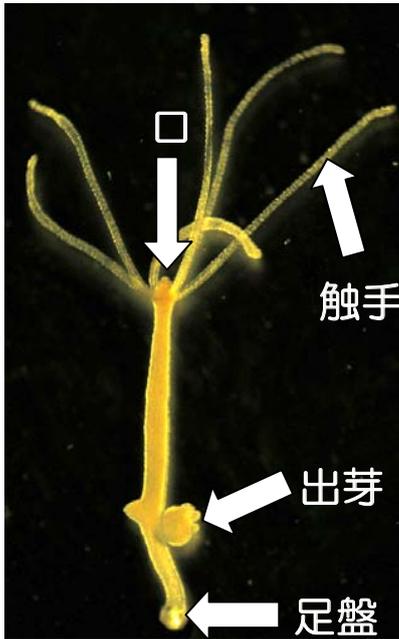


眼胞
鰓弓
1 mm
尾芽胚期



オタマジャクシ

ヒドラ

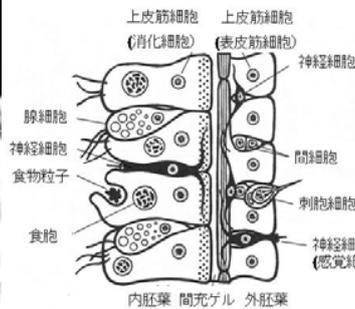


チクビヒドラ(*Hydra magnipapilata*)

ヒドラは池や沼の石や水草に付着して生活している1cm前後の淡褐色の動物であり、クラゲ、サンゴ、イソギンチャクとともに刺胞動物とよばれるグループに属する。

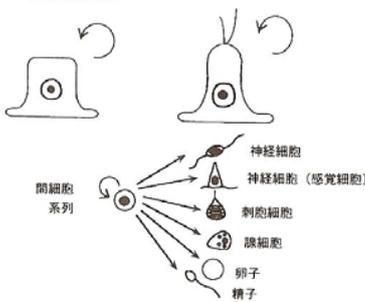
ヒドラの体は、内・外胚葉上皮シートが裏側どうしで接着しあった単純な筒状構造を基本としている。両上皮シートは、口のシートから突出して、6本前後の触手を形成している。ヒドラは触手上に刺胞細胞を有し、触手が獲物に接触すると、刺胞細胞から鋭い繊維が噴出させ獲物の動きを止める。そして触手を縮めながら内側へ巻き込むようにして口に運ぶ。

内外二層の細胞層からなる



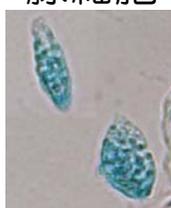
内胚葉 (Yellow triangle)
外胚葉 (Green triangle)

外胚葉上皮細胞系列 内胚葉上皮細胞系列



間細胞

腺細胞



ヒドラを構成する細胞

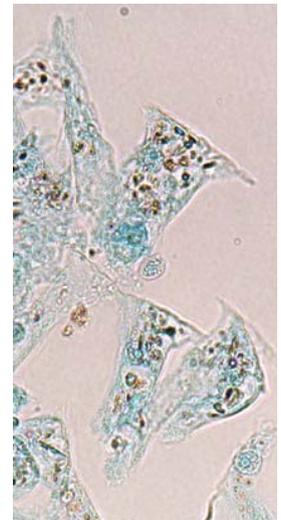
外胚葉上皮細胞



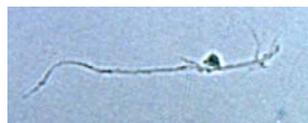
刺胞細胞



内胚葉上皮細胞

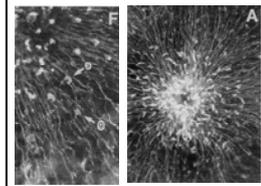


神経細胞

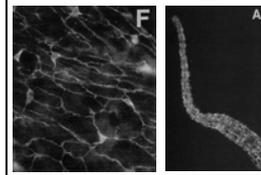


網状神経系

口の神経

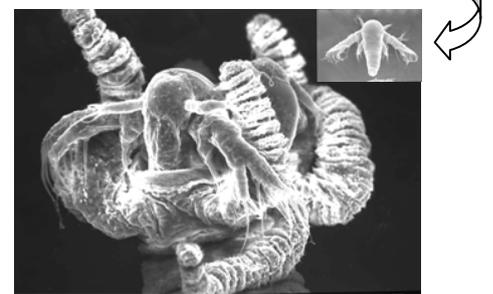


腕の神経



エサを捕らえたヒドラ (SEM像)

エサ：アルテミア



メダカ ウロコ色素細胞

色調	細胞	色素顆粒	色素
黒～褐色	黒色素胞	メラノソーム	メラニン
黄～赤色	黄色素胞	カロチノイド	カロチン
	赤色素胞	プテリノソーム	プテリン
白（可視光線反射）	白色素胞	反射小板	プリン結晶
	虹色素胞	金属光沢	結晶の層構造



野生型メダカ

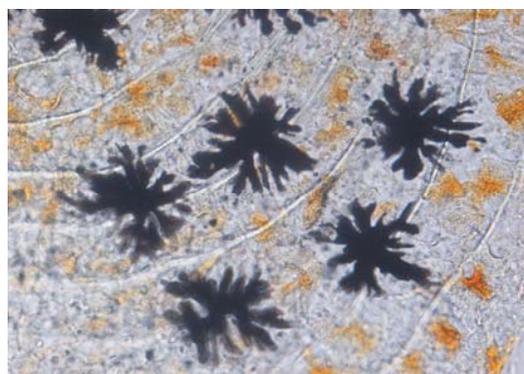
Oryzias latipes



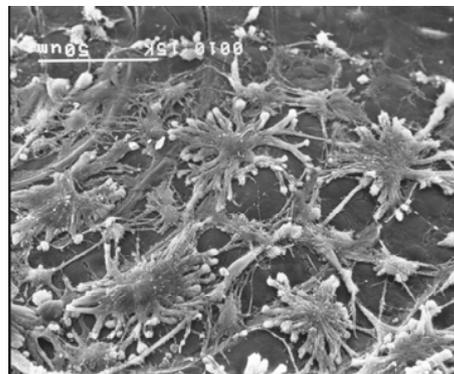
背部拡大図



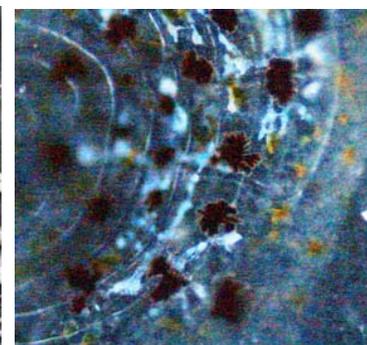
剥離した一枚のウロコ



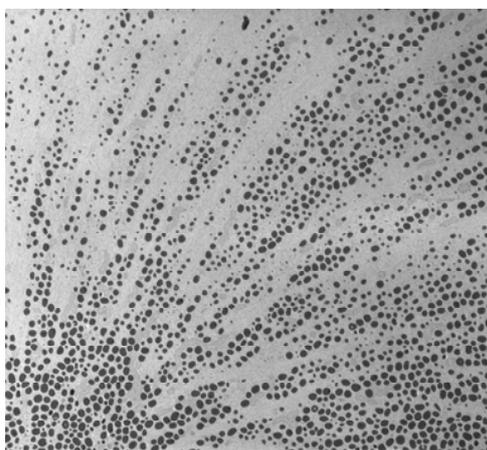
拡散状態の黒色素胞



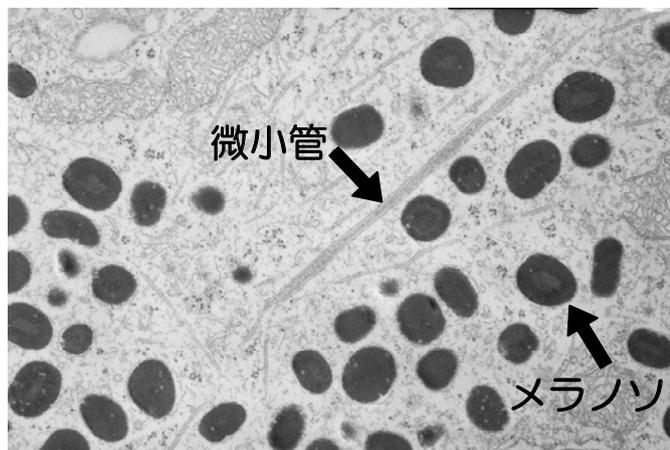
ウロコ SEM像



拡散状態の白色素胞
(暗視野観察) ©Yoko Nakajima



黒色素胞 透過電顕像



メラノソームと微小管

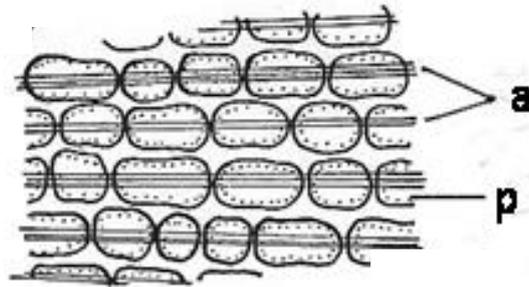
メラノソームが微小管にそって放射状に並んでいる。

©Masataka Obika

原形質流動 (シャジクモ)



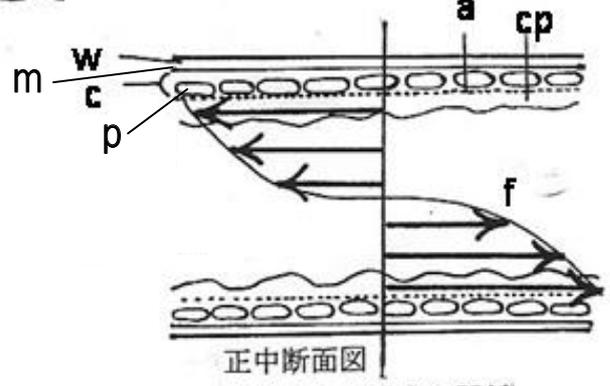
Chara globularis
カタシャジクモ



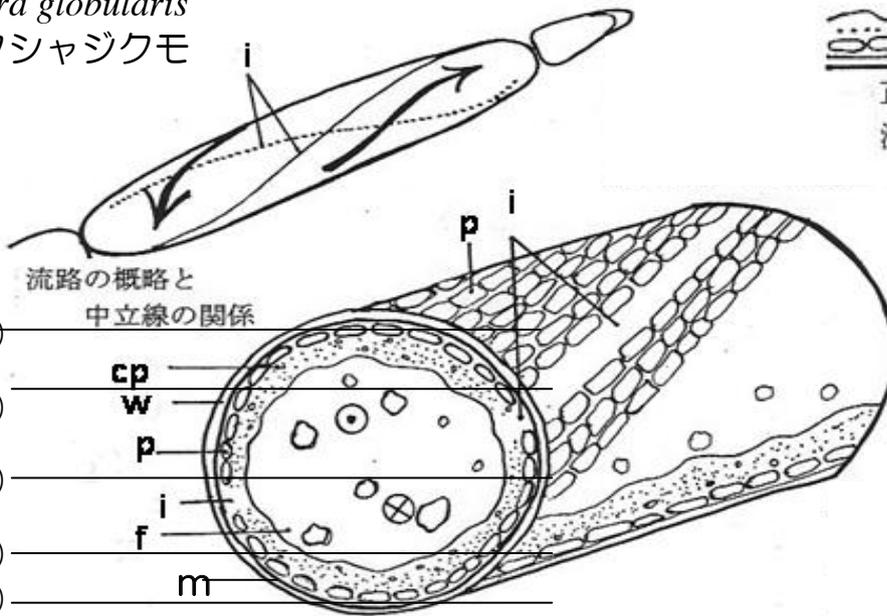
皮層拡大図



葉緑体



正中断面図
流動方向と速度の関係



流路の概略と
中立線の関係

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤

小枝細胞の一部 (模式図)

- a; アクチン繊維束
- c; 細胞皮層部
- cp; 細胞質
- f; 液胞
- i; 中立線
- m; 細胞膜
- p; 葉緑体
- w; 細胞壁
- ←; 流動の方向

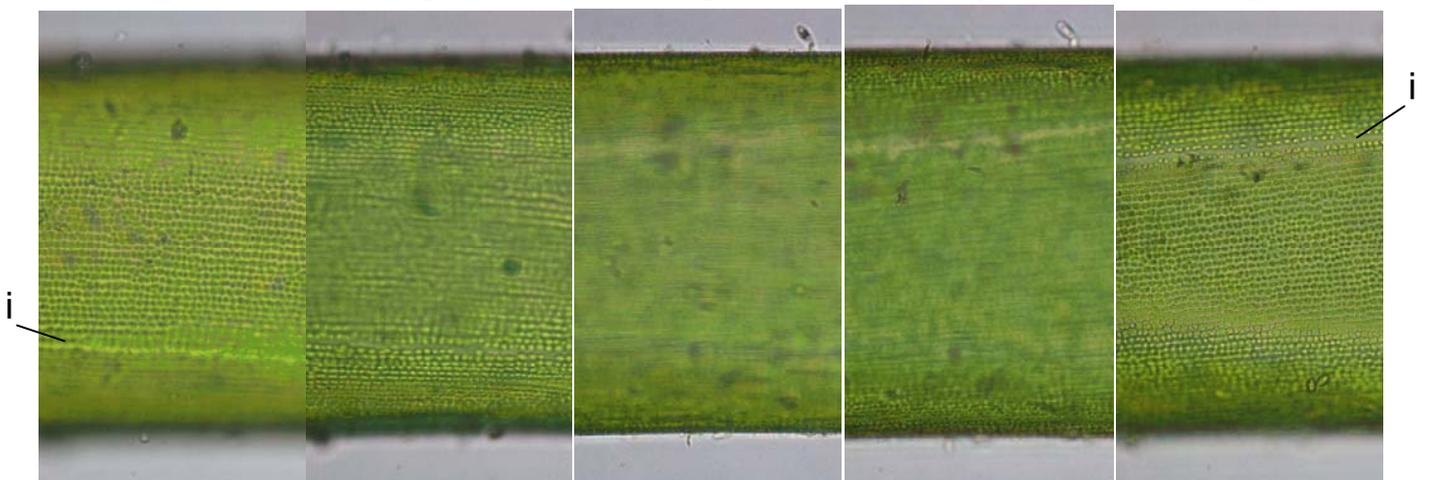
①

②

③

④

⑤



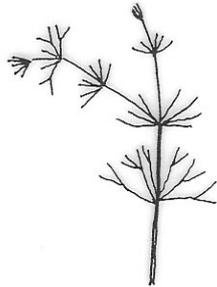
模式図①～⑤における光学切片像

シャジクモとフラスコモの違い

シャジクモ



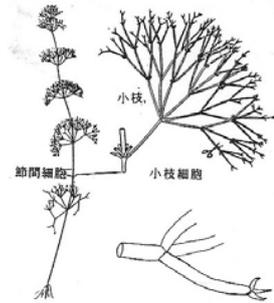
Chara globularis カクタシャジクモ



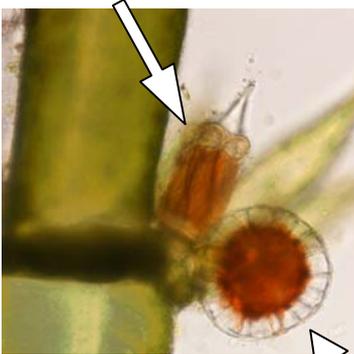
フラスコモ



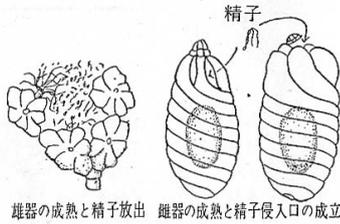
Nitella orientalis ナガフラスコモ



シャジクモの造卵器



造精器

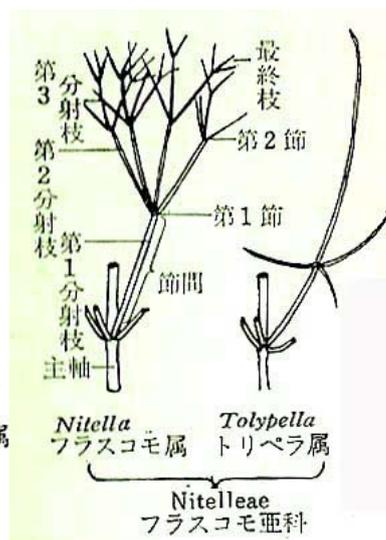
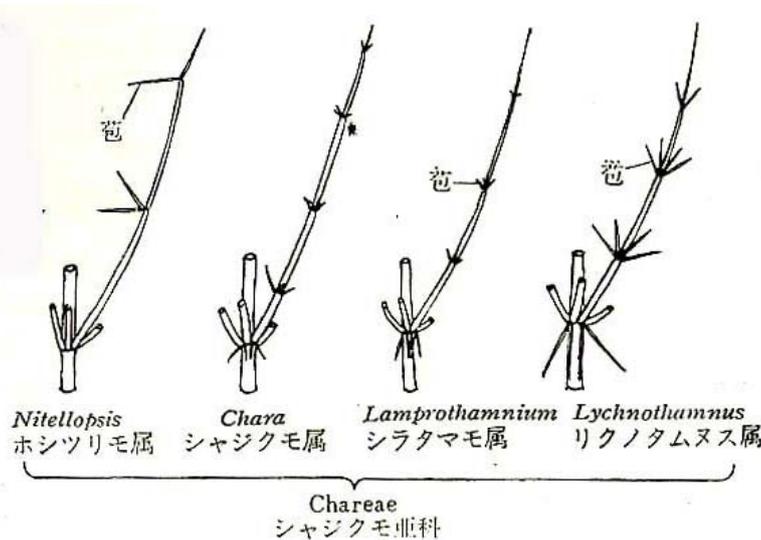
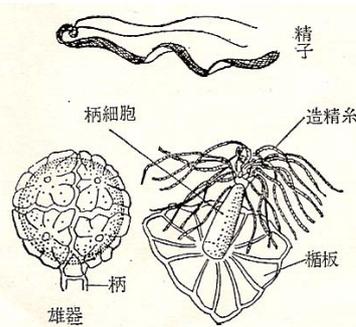


第 40 図 精子放出と受精

フラスコモの 造卵器



葉緑体



小枝と苞

日吉キャンパス地域における 在来・外来タンポポの分布



日本在来のタンポポ（外総苞片がそり返らない）

- ・自家不和合性であり，他の個体の花粉をもらわないと種子ができない種が多い。
- ・キャンパス地域にはカントウタンポポが自生する。



外来のタンポポ（外総苞片がそり返る）

- ・ヨーロッパ原産で数種が帰化している。
- ・花粉が無くても種子を作ることができる。
- ・キャンパス域にはセイヨウタンポポとアカミタンポポが生息する。

外総苞片

日吉および矢上キャンパス地域における分布



●：カントウタンポポ



カントウタンポポ

Taraxacum platycarpum

○：セイヨウタンポポ
+ アカミタンポポ



セイヨウタンポポ

T. officinale



アカミタンポポ

T. laevigatum

日吉キャンパス地域は，開発の影響を受け帰化種が多い地域と，比較的自自然度の高い地域の両方が存在している

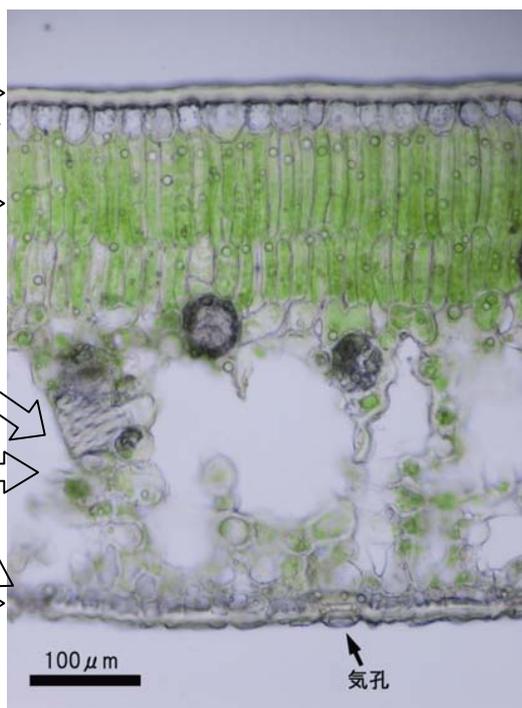
モチノキ・陽葉/陰葉



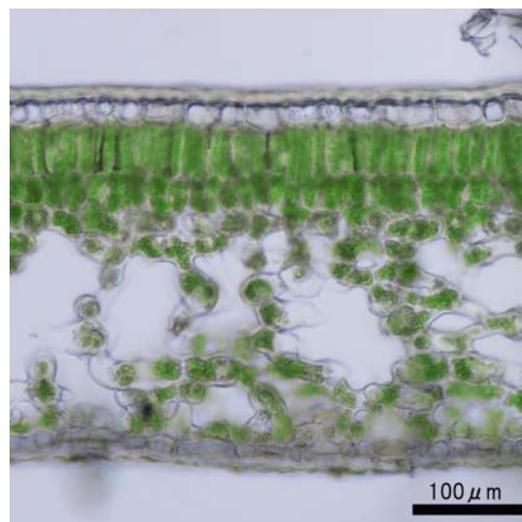
モチノキ *Ilex integra*

本州(東北地方南部以西)、四国、九州、琉球に自生する雌雄異株の常緑小高木。庭木としても植えられている。葉は厚い革質でなめらかで光沢がある。樹皮からトリモチを作ることから名づけられた。

クチクラ
表皮
柵状組織



陽葉の横断像



陰葉の横断像

私たちの体

(1) 階層的理解をするために

私たちの身体は約60兆個の細胞からなる。これらが連携し、円滑に機能することにより、個体としての身体の維持が可能になる。私たちの身体を理解するには、細胞・組織・器官・器官系という階層的構成を念頭におくことが重要である。

細胞：膜で覆われ、自己複製と代謝を行なう、生命の最小単位である。

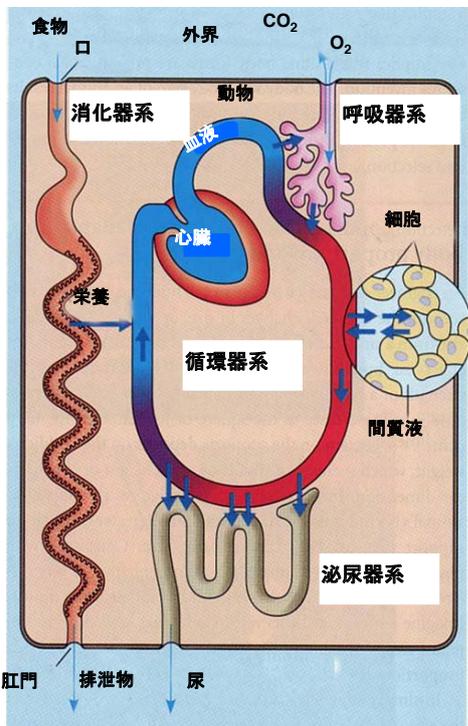
組織：同一の機能、形態をもつ細胞によって構成された集団をさす。

器官：特定の空間的配置をもつ組織からなり、機能的独立性をもつ。

器官系：機能的に共通性を持ち、共同して働く一連の器官からなる。

(2) 器官系の機能と連関

- ① 外部環境の認識と外部への反応
 - ・感覚器、神経系、効果器
 - ・運動、移動、分泌
- ② 情報伝達と内部環境の維持（恒常性）
 - ・神経系
 - ・内分泌系
- ③ 物流制御



- ④ 個体性の認識と異物の排除
 - ・免疫系
- ⑤ 生殖
 - ・生殖器官系

(3) 4種類の組織

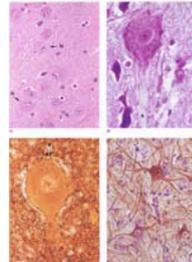
1. 上皮組織

2. 結合組織

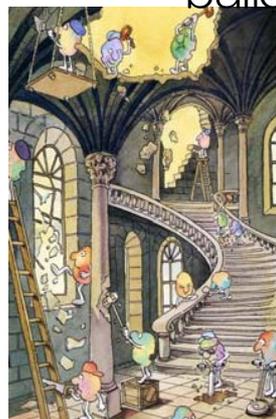


3. 筋組織

4. 神経組織



(4) 動的平衡 (Scrap and build)

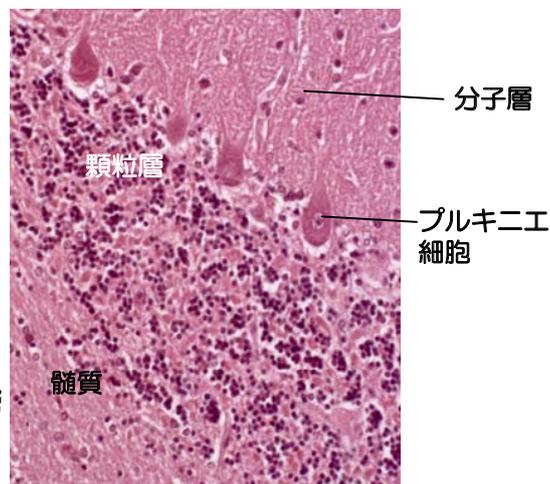
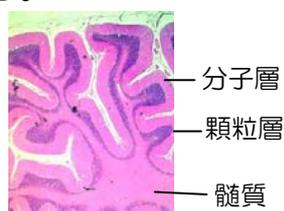


生命の重要な特徴のひとつは、その構成部品である細胞が組織の中で、常に壊されたり、作られたりする動的平衡状態にあることである。

組織標本から見る私たちの体①

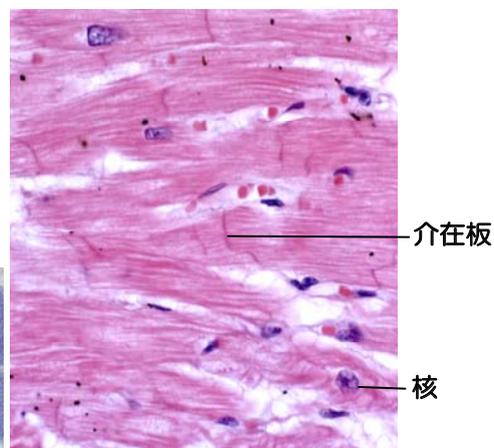
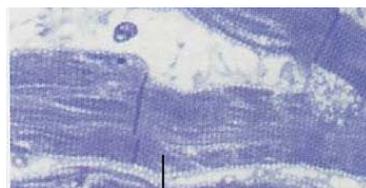
脳・神経系（小脳）

小脳は大腦と同様、神経細胞とその繊維の層構造を有している。小脳皮質は神経繊維によって占められる分子層と神経細胞の細胞体が集中する顆粒層からなり、中心部は髄質とよばれる。分子層と顆粒層の境界には樹状突起を発達させたプルキニエ細胞が並んでいる。



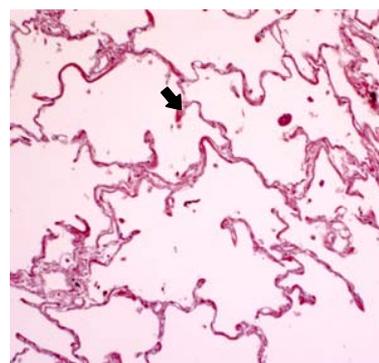
心臓（心筋）

心筋は横紋を持つが骨格筋とはいくつかの点で異なる。単核の心筋細胞は分岐しながら、隣接する心筋細胞と介在板を介して接着する。隣接するギャップ結合により、電氣的に連絡した心筋細胞どうしは、同調した筋収縮・弛緩をおこなう。



肺（肺胞）

網目状に見える肺の組織標本は、10万個あるとされる袋状の肺胞の断面像と毛細血管である。薄く扁平化した肺胞上皮は、表面積を増し、効率よくガス交換がおこなえる。

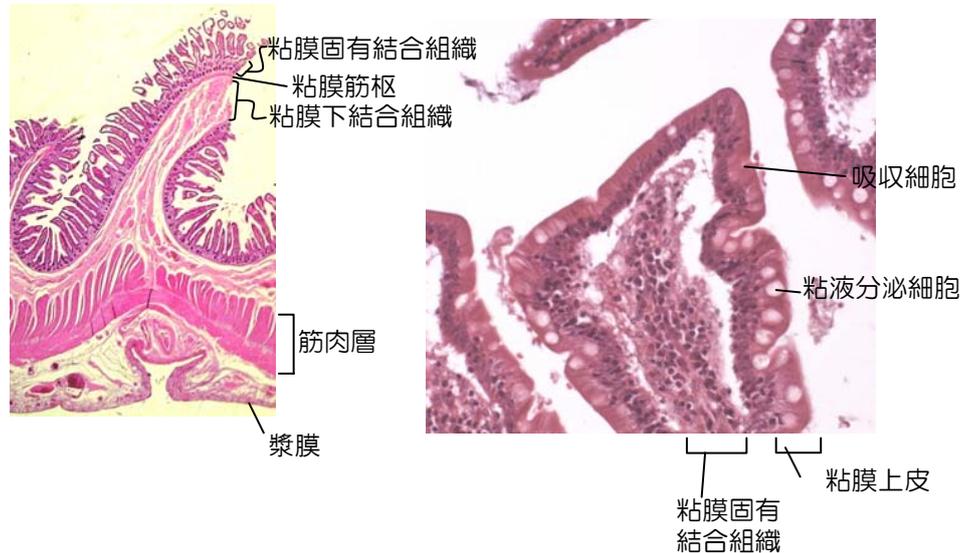


* 赤い領域は毛細血管内の赤血球（矢印）

組織標本から見る私たちの体②

消化器系（小腸断面と絨毛先端）

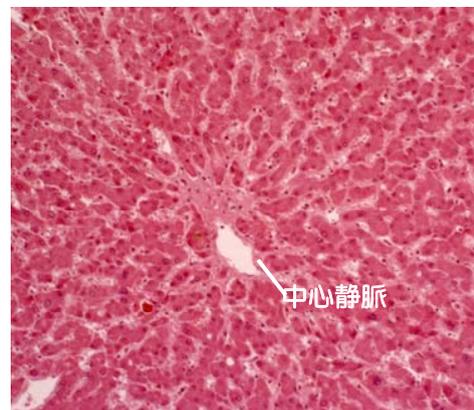
私たちの消化管は食道から大腸まで、粘膜上皮、粘膜固有結合組織、粘膜筋板・粘膜下結合組織、筋肉層からなる共通した基本構造をもつ。小腸では粘膜上皮部に粘液分泌細胞と吸収細胞が分化している。



肝臓（肝細胞）

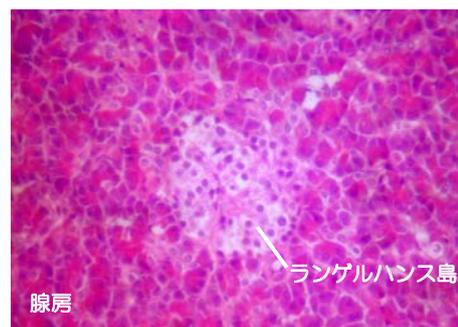
肝臓では、肝細胞が並んだ索状の構造が中心静脈を中心に放射状に配置している。小腸で吸収された栄養分は門脈で肝臓へ送られる。肝細胞は糖質、脂質、タンパク質の中間代謝に重要な役割を果たす。一方、コレステロールの誘導体を主成分とする胆汁も肝細胞でつくられ胆管へ送られている。

肝小葉



膵臓（腺房とランゲルハンス島）

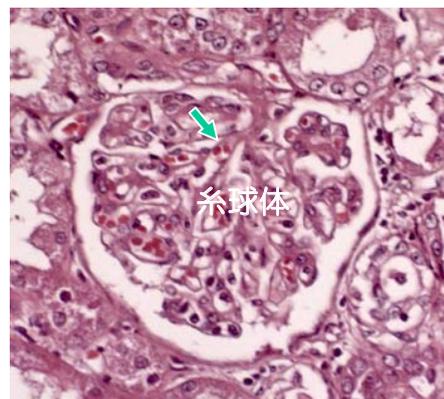
膵臓は、多数の腺房と腺房間に点在するランゲルハンス島とよばれる領域から構成される。腺房は膵液を産生する外分泌部である。ランゲルハンス島は、血糖値を調節するホルモン（インシュリン、グルカゴン等）を産生する内分泌部である。



組織標本から見る私たちの体③

腎臓（糸球体）

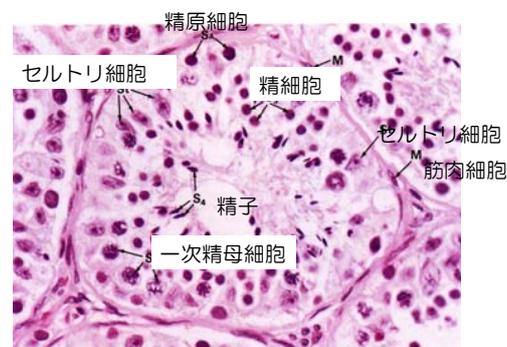
腎臓は、体液をろ過・再吸収することにより、老廃物を排泄し、体液中のイオンや低分子性の代謝産物の濃度を一定に保つ。これらの物質は、糸球体で血液から非特異的にろ過されるが、その大部分は再吸収される。体内のイオン濃度は再吸収量の調節により一定に保たれている。



*赤い領域は毛細血管内の赤血球（矢印）

精巣（精細管）

精細管の基底部では精原細胞（幹細胞）が減数分裂を行っている。中心部へ向かって一次精母細胞、二次精母細胞を経て、精細胞、そして精子になる。精細管には生殖細胞に栄養を供給し、精子形成を制御するセルトリ細胞が存在する。



皮膚（表皮）

体の表面を覆う表皮は細胞の新陳代謝の早い組織である。基底細胞層で増殖した細胞は、ケラチンを細胞内に蓄積しながら(有棘細胞)表層へ移動する。死んで扁平化した角質層は体表を保護している。角質層は表面から徐々に脱落し、つねに下層から上昇してきた細胞に置きかえられる。

