慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	環境変動が生物に与える影響を理解するための新しい生態学的実験の開発 : 水条件の時間的不均質性が植物の生長に与える影響
Sub Title	Development of a new student experiment program to understand the impacts of environmental change on organisms : the effects of temporal heterogeneous water condition on plant grows
Author	坂本, 信介(Sakamoto, Shinsuke H.) 坂本, 尚子(Sakamoto, Naoko) 上村, 佳孝(Kamimura, Yoshitaka) 片田, 真一(Katada, Shinichi)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2011
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of the natural science). No.49 (2011. 3) ,p.83- 95
JaLC DOI	
Abstract	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」の事業III「新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備」(生物学)の継続事業として新たな学生実験テーマの開発を行った。話題としての新規性に着目し, 「降水パターンの変動が植物個体の生長や生存に与える影響」を題材とした。具体的には, 総量は等しいが1回の給水量と給水頻度が異なる2つの条件下(少量・高頻度給水, 多量・低頻度給水)で植物を栽培し, 地上部・地下部の生長量を比較する実験を開発した。開発後, 学生対象の試行実験とアンケートを実施した。仮説検証のプロセスや結果を導いた後の考察に重点を置いた実験の進め方は, 学生にとって好印象であり実験内容についての理解度は高いと考えられた。一方で, より高い教育効果を得るためには実験計画の改良が必要であることが示唆され, 試行実験と追実験の結果に基づき, 具体的な改良案についても議論した。
Notes	研究ノート
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20110331-0083

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

Hiyoshi Review of Natural Science
Keio University No. 49, 83–95（2011）

環境変動が生物に与える影響を理解するための新しい生態学的実験の開発
――水条件の時間的不均質性が植物の生長に与える影響――

坂本信介 *・坂本尚子 **・上村佳孝 ***・片田真一 ***

Development of a new student experiment program to understand the impacts of environmental change on organisms
— The effects of temporal heterogeneous water condition on plant grows —

Shinsuke H. Sakamoto, Naoko Sakamoto, Yoshitaka Kamimura, Shin'ichi Katada

要約

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」の事業Ⅲ「新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備」（生物学）の継続事業として新たな学生実験テーマの開発を行った。話題としての新規性に着目し，「降水パターンの変動が植物個体の生長や生存に与える影響」を題材とした。具体的には，総量は等しいが 1 回の給水量と給水頻度が異なる 2 つの条件下（少量・高頻度給水，多量・低頻度給水）で植物を栽培し，地上部・地下部の生長量を比較する実験を開発した。開発後，学生対象の試行実験とアンケートを実施した。仮説検証のプロセスや結果を導いた後の考察に重点を置いた実験の進め方は，学生にとって好印象であり実験内容についての理解度は高いと考えられた。一方で，より高い教育効果を得るためには実験計画の改良が必要であることが示唆され，試行実験と追実験の結果に基づき，具体的な改良案についても議論した。

* 宮崎大学フロンティア科学実験総合センター実験支援部門生物資源分野（〒889–1692 宮崎県宮崎市清武町木原 5200）：Bio-resources Division, Department of Biotechnology, Research Center for Frontier Bioscience, University of Miyazaki, 5200 Kiwara, Kiyotake, Miyazaki, 889–1692, Japan. E-mail: aposhin1@gmail.com
** 元首都大学東京島嶼環研究グループ（〒889–1601 宮崎県宮崎市清武町木原 6653B303）
*** 慶應義塾大学生物学教室 (〒223–8521 神奈川県横浜市港北区日吉 4–1–1)：Dept. of Biology, Keio University, 4–1–1 Hiyoshi, Kohoku-ku, 223–8521, Japan. E-mail: kamimura@fbc.keio.ac.jp; skatada@hc.cc.keio.ac.jp [Received Oct. 29, 2010]

1．序文

生物学実験において学生の興味・関心を惹きつけ学習効果を高めるためのアプローチは多様であって良い。生命現象そのものの魅力，実験手法の珍しさ，話題の新規性などはその代表的なものである。このようなアプローチとして社会的関心が高いテーマの設定が挙げられる。例えば，地球規模での環境変動は今日大きな世界的関心を集めている自然科学的現象であり，関連する問題をテーマとすることで学生の学習意欲を増加させることが期待される。学習の動機づけに極めて重要な影響を及ぼす要因の一つに情意要因（affective factors）がある。科学技術学習の重要性に情意要因が与える影響を明らかにしようとする国際比較プロジェクト“ROSE（The Relevance of Science Education）”によると，我が国の学生における科学技術への期待度や科学技術職への興味・関心の喪失は世界的に見て危機的状況にある。一方，そのような現状にも関わらず地球環境変動への関心は極めて高いことが示唆されている（Sjøberg & Schreiner 2008）。したがって，これを実験プログラムに取り入れることで学習意欲の向上につながることが期待される。また，非生物的，すなわち，物理・化学的な環境要因の変動が生物種特異的な反応を引き起こす場合，単純な系では因果関係が明確であると考えられる。以上二点において，環境変動が生物に与える影響というテーマは地球規模の現象を身近な問題として捉え直すことにつながると考えられ，文系学生が自然科学的思考力を養う上で良い題材になることが期待される。現在，我が国において，人々が最も意識しやすい環境変動の影響として，気候変動にともなう降水パターンの変化（Easterling et al. 2000）が挙げられる。そこで，「降水パターンの変動が植物個体の生長に与える影響」を具体的な題材とした。植物を材料とした実験は生物学教室の学生実験では比較的少ないため，実験テーマの多様化という点で利点があると考えられる。開発後は実際に生物学実験の受講生を対象に試行実験を行った。実験の改良点や期待される学習効果を抽出するため，実験の事前・事後にアンケート調査を行った。本稿では，開発過程について述べた上で，本実験プログラムにおいて期待される学習効果や改良点について論じたい。

2．方法

2−1．材料の選定

植物生態学を専門とする，鈴木智之博士および萩原陽介氏との議論の結果，比較的短時間で生育し，栽培・維持管理が極めて容易なホソムギ *Lolium perenne*（イネ科）を材料生物に選定した。

2−2．実験デザインの検討

降水パターンの変動が植物に与える影響として，水分条件の時間的不均質性が植物個体の生

長に与える影響が指摘されている（Fay et al. 2003; Hagiwara et al. 2008; Novoplansky & Goldberg 2001）。これを実験的に確かめるため，総量は等しいが１回の給水量と給水頻度が異なる２つの条件下（少量・高頻度給水，多量・低頻度給水）でホソムギを栽培するという実験デザインを考案し，２回の予備実験をおこない検討した。通常，植物の生長量の指標には乾燥重量が用いられる事が多いが，学生実験では時間制限のため乾燥重量の測定は困難である。そこで予備実験では，長さや体積などを指標にできる大きさになるまで生長させるための栽培条件と簡便に計測するための測定手法を検討した。最終的に，栽培容器（４×４×６cm）一鉢に15粒の種を蒔き15日間生育させ，その間に少量・高頻度給水グループは毎日10ml を15日間連続給水し，多量・低頻度給水グループは４日おきに50ml を３回給水することとした。誤差を考慮すると地下部を体積として測定することは困難であり，生長初期段階のホソムギでは地上部の横幅の個体間のばらつきは比較的小さいことから，長さを生長量の指標とすることが適当であると判断した。地上部と地下部の生長は個体のエネルギー分配の結果である。そこで，グループ間での比較は，地上部と地下部を独立に行うのではなく，地上部に対する地下部の相対生長量をプロットして行うこととした。日照などの水分以外の物理的環境条件をコントロールしても，植物種子には蓄積している栄養などに個体差があるため，生長にはある程度のばらつきが出てくる。そこで実験では，生長の悪いもの５個体を間引き，生長の良い10個体を用いることとした。予備実験をもとに，学生配布資料・提出用レポートを作成した（図１・図２）。また，改良点や学生の実験への印象について調査するため，事前・事後アンケートを作成した（図３・図４）。

2−3. 試行実験の実施

事前準備

材料による結果のばらつきを最小限にするため，今回は栽培済みの材料を供した。給水頻度の違いは植物の生長のみならず，測定時点で植物体内に含まれる未代謝の水分量にも影響し，みかけの長さや体積に違いを生じさせる可能性がある。そこで試行実験実施日の朝に，両グループの全ての鉢に十分に給水を施すことで，この可能性を排除した。学生への配布物（図１−図４）のほか，バット（32×22×５cm：１人１枚），定規（１人１本），電卓（１人１台）を準備した。

実施概要

開発した実験は2010年１月８日に，慶應義塾大学日吉キャンパス生物学 II の１クラス（上村担当クラス：文・経済・法・商学部所属１・２年生計34人）において実施した。実験内容の詳細は学生配布資料（図１）を参考にされたい。４人１組で１班とし，少量・高頻度給水，多量・低頻度給水から２鉢ずつ選び，各自１鉢を担当し以下の項目について計測を行った。生長しているホソムギの個体数のカウント（５から11個体）および個体ごとの地上部と地下部の長さの測定を行い，データシート（図２①）に記入した。地上部が枝分かれしていた場合は個別

生物学実験

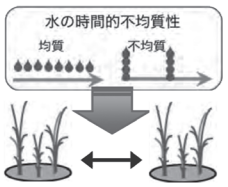
水環境と植物の生長

水条件の時間的不均質性が植物の初期生長に与える影響

地球温暖化や砂漠化など、われわれを取り巻く自然環境の変化は少しずつこの瞬間にも進行している。これら地球規模の環境変動は、天候などの物理的環境の変化を引き起こし、結果的にある地域に生息する生物の生存・行動・分布などに多大な影響を及ぼす。例えば、動物を例に挙げると、地球温暖化の進行によって、ホッキョクグマは生息地を失いつつある。また、熱帯・亜熱帯地域の昆虫が分布を拡大し、それらが媒介する病気の温帯地域への感染拡大が懸念されている。

このような環境変動は、動物と同様に、植物にも大きな影響を及ぼす。植物は一度定着すると動くことができない。そのため、自由に移動できる動物に比べ、与えられた環境に対して自らの生長の仕方を変えるという適応を示しやすい。観葉植物や野菜・果物などの栽培を通じて、条件は同じように見えるのに、その生長の仕方がさまざまであることを不思議に感じたことはないだろうか。それには遺伝的な個体差も関係しうるが、その他に、われわれの目には見えにくい微細な環境の違いが影響を与えていると考えられる。

植物にとって重要な資源の一つに"水"がある。近年、日本各地で観察されているように、気候変動に伴う降水パターンの変化が予測されている（Eastarling *et al.* 2000 *Science* 289: 2068-2074）。降雨パターンの急激な変化は、そこに生息する植物の生長に大きな影響を及ぼす可能性がある。今回の実験では、水環境の変化が植物の生長に与える影響を調べる。資源量が変われば、生物の成長が変わることは直観的に理解し易い。そこで、水を与える資源の総量は同じであるが、一度に与える量と回数（頻度）を変えて育てた植物（２グループ）の間で生長を比較し、資源量は一定でも、その時間的な変動が植物の生長に影響を与えるか検討してみよう。



材料：ホソムギ
器具：バット、定規

方法：
実験は４人一組で行う。班ごとに高頻度給水・低頻度給水の鉢をそれぞれ２鉢用意する。１人１鉢について以下の作業を行う。

① 計測準備
まず鉢から植物を取り出し、根が切れないように注意しながら、できるだけ土を取り除く。バットに水を張り、根についた残りの土を取り除き、植物を個体ごとに分ける。

②以下の項目を計測
1．鉢当たりの個体数
2．地上部の長さ（mm）
　個体ごとに地上部（葉と茎）の長さを定規で測る。分枝も測ること。
3．地下部の長さ（mm）
　個体ごとに地下部（根）の長さを定規で測る。最も長い根の先端から直線的に測る。

③実験室のパソコンにデータを入力　**＊入力の待ち時間があるので、③、④の作業は並行的に行う**

④結果の予想
低頻度―高頻度の給水が与える影響について予想し、予想のグラフやその根拠をレポートに記述する。

⑤全体の結果をもとに考察し、レポートを完成させる
1．結果を読み取る（差があるのか、無いのか。どこに差があるのか）。
2．結果を解釈し（差があるのはどうしてか？無いのはどうしてか？）、自身の予測と比較した上で、新たな仮説をたてる。
3．その仮説を検証できる実験を考えてみる（次の段階の実験を考え提案する）。

図１　学生配布資料

に計測した後に合計した。その後，入力用 PC に各自のデータを入力させ，クラス全体のデータを統合した（表１）。この間，学生は班内で議論しながら結果の予測を行った（図２②・③）。多くの学生が，少量・高頻度給水で生長が良く，多量・低頻度給水では地下部の生長が良いとの予測を示した。その後，統合したデータをもとに作成したグラフ（図５）を配布し，結果の解釈をクラス全体で行った。生長が小さいものでは，低頻度給水で地下部により大きな投資を

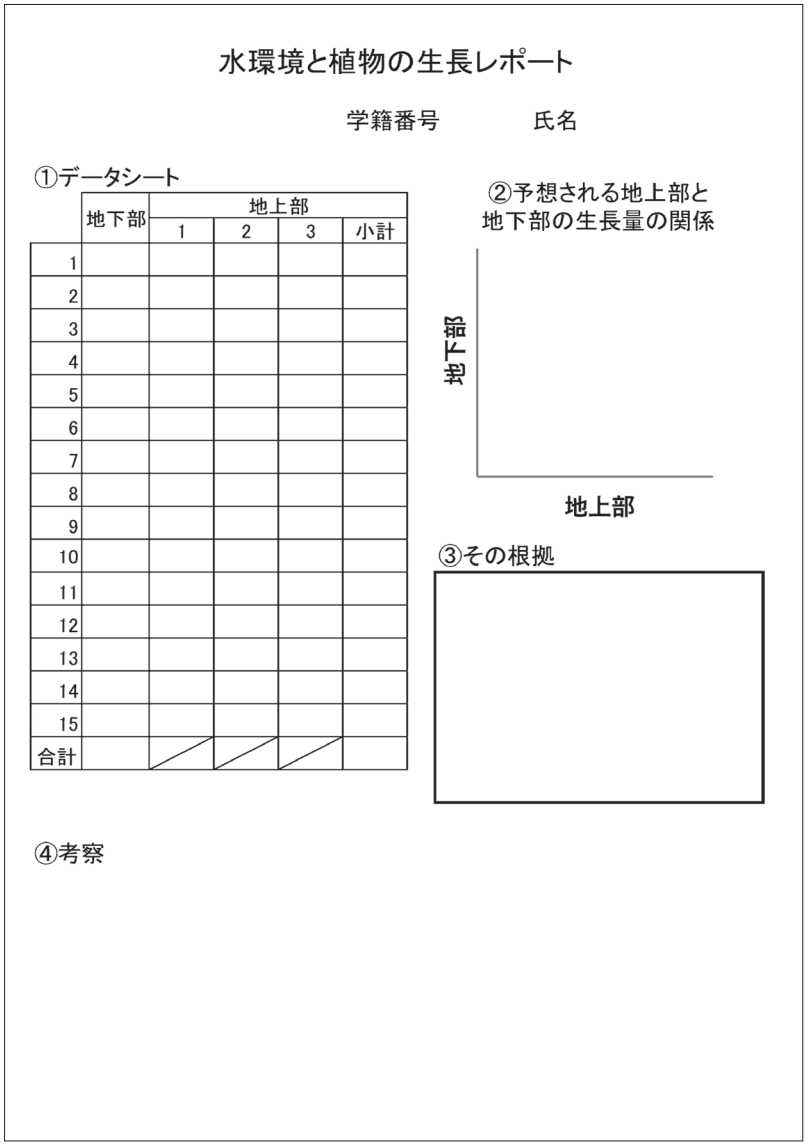


図2　提出用レポート　①に各自のデータを記入する。地上部・地下部ごとに合計を出し，集計用のPCに入力する。班のメンバーのデータを比較し，相談しながら，②・③の項目に記入する。

している傾向がみられたことから，根が小さい初期には多量・低頻度給水グループでは短時間で十分に水を吸収できず，そのため地上部への投資が遅れる一方，少量・高頻度給水グループでは初期から水を最大限に利用しやすいためであると解釈した。それをもとにレポートの考察部分を完成させた。当日の実験の進行は以下の通りであった。

生物学実験アンケート事前アンケート（水環境と植物の生長）

以下について該当する記号を丸で囲み，また（）内の質問事項について答えを記入して下さい。

Pre.1これまでに植物の栽培を行ったことがありますか？
a. 日常的に行っている（>10回）b. たまに行っている（＞5回）c. あまりない（＜5回）
d. 全くない

Pre. 2ある場合，それはどのような植物でしたか？
a. 野菜や果物などの作物　b. 観葉植物　c. 外で採集してきた草花（その種類は？）

Pre 3. ある場合，栽培するきっかけは何でしたか？
a. 実家や親戚などが農業をやっている　b. 家庭菜園　c. 学校の教材や自然体験教室
d. 趣味　e. 購入，あるいは，プレゼントとして貰うなど偶発的に手に入れた

Pre 4. ある場合，生長の仕方に疑問を感じたことがありますか？
a. そう思　b. どちらかといえばそう思う　c. あまりそう思わない
d. 全くそう思わない（その理由は？）

図3　事前アンケート

生物学実験アンケート：事後アンケート（水環境と植物の生長）

以下の質問について該当する記号を丸で囲んで下さい。また，各質問事項について感想や意見などがあったら記入してください。

Post. 1 予測や結果をもとにして発展的な実験の提案を行うなど，通常の実験に比べ，自身で考える要素が多い実験でした。その点についてどのような印象を持ちましたか？
a. 面白い　b. どちらかといえば面白い　c. あまりそう思わない　d. 全くそう思わない
（それは，どのような点で特に感じましたか？）

Post. 2 実験を通じて，環境が植物に与える影響についてイメージが湧きましたか？
a. そう思う　b. どちらかといえばそう思う　c. あまりそう思わない
d. 全くそう思わない（その理由は？）

Post. 3 今回の実験は新規性があると思いますか？
a. そう思う　b. どちらかといえばそう思う　c. あまりそう思わない
d. 全くそう思わない（その理由は？）

図4　事後アンケート

ID	給水頻度	鉢あたりの個体数	地上部長の合計(mm)	地下部長の合計(mm)	地上部平均(mm)	地下部平均(mm)
1	高	10	1811	500	181.1	50.0
2	高	7	934	312	133.4	44.6
3	高	9	1101	335	122.3	37.2
4	高	11	1362	475	123.8	43.2
5	高	11	1595	547	145.0	49.7
6	高	6	728	204	121.3	34.0
7	高	7	1081	364	154.4	52.0
8	高	9	1087	394	120.8	43.8
9	高	7	1001	343	143.0	49.0
10	高	6	846	328	141.0	54.7
11	高	11	1361	533	123.7	48.5
12	高	7	772	266	110.3	38.0
13	高	8	1079	387	134.9	48.4
14	高	10	1146	409	114.6	40.9
15	高	9	1226	454	136.2	50.4
16	高	5	680	218	136.0	43.6
17	高	10	979	337	97.9	33.7
18	高	11	1324	399	120.4	36.3
19	低	10	1091	355	109.1	35.5
20	低	8	919	333	114.9	41.6
21	低	10	1141	462	114.1	46.2
22	低	5	861	300	172.2	60.0
23	低	7	837	289	119.6	41.3
24	低	11	800	415	72.7	37.7
25	低	9	1187	452	131.9	50.2
26	低	9	1103	433	122.6	48.1
27	低	8	982	306	122.8	38.3
28	低	6	763	285	127.2	47.5
29	低	7	876	359	125.1	51.3
30	低	6	924	320	154.0	53.3
31	低	10	1171	469	117.1	46.9
32	低	9	1034	468	114.9	52.0
33	低	9	979	378	108.8	42.0
34	低	7	977	247	139.6	35.3

表1　クラス全体のデータ

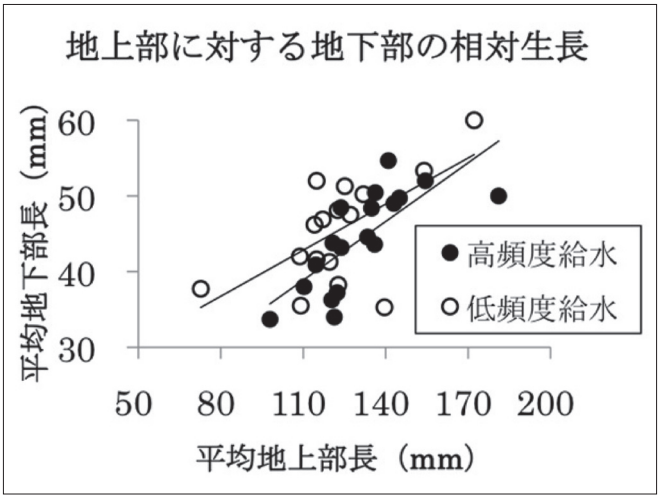


図５　地上部―地下部の生長量の関係
両対照グループ間で生長量そのものに大きな差は見られないが，生長が小さいものについて注目すると，高頻度給水に比べて，低頻度給水の方が地下部により大きな投資をしている傾向が示唆された。

【実験実施時のタイムテーブル】

9:00– 9:15	前回の実験に関する解説と実験開発についての導入
9:15– 9:20	実験の概要の説明と事前アンケート
9:20– 9:50	実験内容の説明
9:50–10:40	各自データ測定
10:40–11:00	班のデータに基づく結果の予測と根の形態の観察，クラス全体でデータの集計
11:00–11:20	全体の結果のまとめと考察への導入
11:20–	レポートの完成（考察）と事後アンケート

3．結果

3−1．試行実験の結果およびアンケートに基づく実験の評価と改良点の抽出

事前アンケート（図３）では，主に植物栽培の経験について調べた（図６）。個人によって栽培経験はさまざまであるが，93.8％の学生は何らかの植物の栽培経験があった（Pre. 1 a・b・c）。しかし，その生長の仕方に疑問を感じたことのある学生は，僅か30.0％に過ぎないことが分かった（Pre. 4 a・b）。

事後アンケートの結果（図７），題材については82.8％（図７，Post. 2 a・b）が好意的な反応を示していた。各項目の理由や感想（図７，Post. 4 ）で，題材の新規性や社会的現象との関連性について好印象が述べられたものが見受けられた（29例中13例；44.8％）。考察に重き

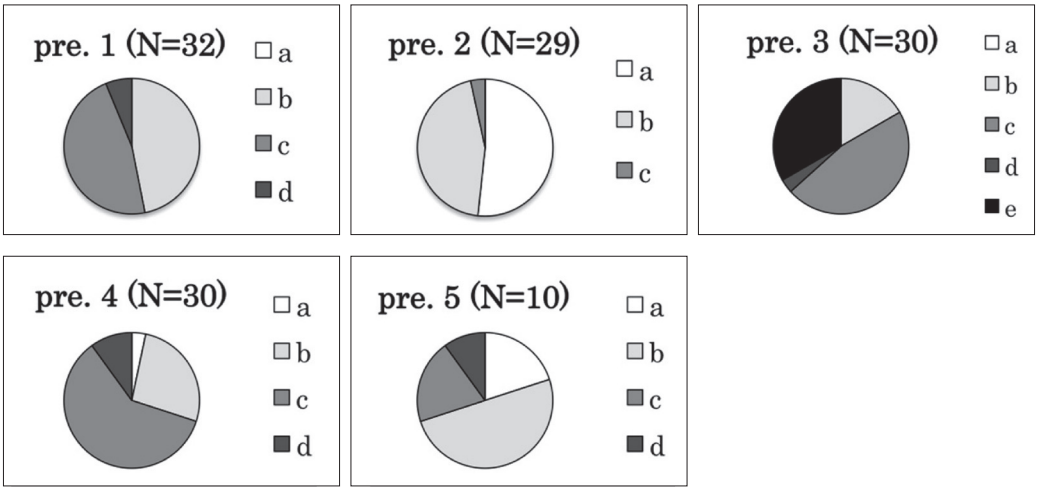


図６　事前アンケート結果
各設問は図３を参照のこと。

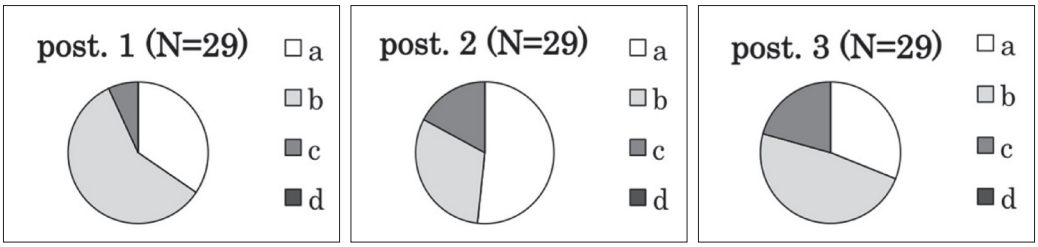


図７　事後アンケート結果
各設問は図４を参照のこと。

を置いた実験の進め方には93.1%（図７，Post. 1 a・b）が好意的な反応を示していた。特に，感想（図７，Post. 4）で，班で議論して考察を導くやり方や実験結果をもとに仮説を考える点に好意的な意見が見られた（29例中14例；48.3%）。一方，事後アンケートにおける学生からの批判的な指摘は以下に大別できた。

①もっと多くの要素について実験がしたかった（２例）
②説明が冗長な部分があったので，より掘り下げた解説をして欲しかった（２例）
③学生によって作業スピードの差が大きく，待ち時間が多かった（１例）
④結果がもっとはっきりとしていると良い（２例）
⑤考察が難しかった（２例）

3−2. 実験の改良

試行実験の結果を受けて，より明確な結果を得るための検討をおこなった。発芽以降のホソ

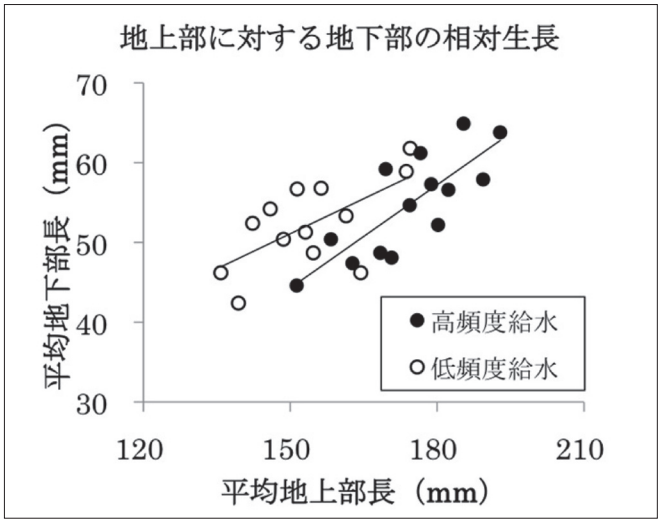


図８　追実験で得られた地上部―地下部の生長量の関係
高頻度給水で生長量そのものがやや大きく，生長が小さいものでは，低頻度給水で地下部により大きな投資をしている傾向がみられた。

ムギの初期生長では，光や温度などに比べ水分条件の相対的影響は小さいと考えられる（萩原陽介氏，私信）。そこで，より生長させた状態（高頻度給水の鉢内平均地上部長の平均約180mm）で比較した結果，地下部に対する地上部生長量に，より明確な差が見られた（図８）。

４．考察

4−1．学生の関心と実験テーマ

事前アンケートの結果より，学生は植物栽培の経験はあるが（図６，Pre. 3 a・b），植物の生長の仕方に疑問を感じたことはあまりないようであった（図６，Pre. 4 a・b）。疑問を感じたことがあると答えた学生の疑問の内容は，全て生長の個体差に関するものであった。逆説的に考えると，疑問を感じたことがないと答えた学生は，おそらく，植物の生長に個体差が生じ易いということを知らなかったか，あるいは過去には知っていたがアンケート時点では思い出せなかったかのいずれかではないかと推測される。実際，よほど厳密にコントロールされた環境でない限り，植物の生長にはある程度のばらつきが生じるのが一般的である。事前アンケートの結果からは，大学一年次の文系学生にとって植物の生長はそれほど馴染みのない現象であることがわかる。したがって，植物の生長を題材に選ぶ場合，その現象を実験で扱う意義を前説明で明確にしておかなければ実験の意義が学生に伝わりにくいと推測される。今回の実験では，環境変動との関連性を導入部で解説し，その影響を植物の生長を指標に学ぶという流れを丁寧に解説した。そのため，事後アンケートでは，題材についてはかなり多くの学生が好意的な反応を示しており（図７，Post. 2 a・b），各項目の理由や感想で，題材の新規性や社会的現

象との関連性について好印象が述べられたものが見受けられた（図７，Post. 4 ；44. 8%）。これらから，試行実験では「学生の興味・関心を惹きつける」という点で，期待した学習効果がある程度達成できていたと考えられる。

4−2. 仮説・検証のプロセスと学生の学習効果

考察に重きを置いた実験の進め方には93. 1%が好意的な反応を示していた（図７，Post. 1 a・b)。特に，感想では，班で議論して考察を導くやり方や実験結果をもとに仮説を考える点に好意的な意見が見られた（図７，Post. 4，29例中14例；48. 3%)。これらから，「現象を導く科学的メカニズムについて仮説・検証のプロセスを経験する」ことを学生は自然な流れの中で違和感なく行っていたことが示唆される。したがって，この点でも期待した学習効果はある程度達成できたと考えられる。以上のことから，導入部からの展開は比較的スムーズに学生側も受け入れており，興味を持って実験に参加したと考えられる。

4−3. 試行実験からみえてきた今後の課題

事後アンケートにおける学生からの批判的な指摘は主に進行に関するものであった。今回の試行では，時間的余裕を十分に見込んで実施したため，タイムスケジュールに関する問題（上記①―③）は改善可能であると考えられる。④については，各処理内の誤差の大きさに対する処理間の違いが十分でなかったことが原因と考えられる。今回は実施が冬期になったため，栽培期間内の植物の生長量が少なく，差が出にくくなった可能性が高い。事実，より明確な結果を得るために検討を重ねた結果，より生長させた状態（高頻度給水の鉢内平均地上部長の平均約180mm）で実験を行うことで，地下部に対する地上部生長量により明確な差が見られることが明らかになった（図８)。水分条件のみならず，温度条件もコントロールして実習材料を準備することが理想であるが，そのような設備を確保することは困難である場合も多い。生長量は時期によって栽培期間を変えることで調整可能である。冬期では１ヶ月程度必要であるが，蛍光灯などを用いて光条件を改善することで生長を早めることは可能である。

近似曲線の傾きからは，生長が大きくなるにつれ，低頻度給水では地下部への相対的投資量が減少していくように見えた。しかし，これは，低頻度条件ではより効率的に限られた時間内で水分を利用できるように，ある程度生長した後は主根の長さではなく，細かい密な側根を生やすことに投資しているためである可能性が形態観察から推測された。したがって，より大きく生長した場合の地下部への投資について考察するためには，根の形態観察の併用や体積を指標にした測定が望ましい。この点を改善することで，本実験をより専門性の高いものに発展させることができると考えられる。⑤は処理区間の差が小さかったためと思われるが，これも材料準備時の条件を改良することで解決される可能性が高いと考えられる。

4−4. まとめ

一般に生物学の実験には時間を要する。そのため，時間的制約が大きい学生実験では授業時

間内に結果を導き，考察は宿題になることもある。もちろん，結果が印象的であればそれ自体は望ましいことではあるが，このような実験だけでは自然科学研究の最も重要な要素の一つである，論理的思考プロセスを訓練することができない。理系分野に就職・進学するわけではない文系学生対象の生物学実験では，自然科学的思考力を養うことがより重要視されて良いだろう。発想を転換すれば，定期的に行われる講義では一つのテーマに複数回の授業時間を割くことができる。したがって，反復測定や栽培実験などが可能であり，学生が実験計画や考察を議論するために時間を割くことが可能である。今回は機会が得られなかったが，本プログラムも学生自身による植物栽培から実験を開始することが望ましいと考えている。一見すると労力がかかるように思われるが，自身で育てた生物を対象に実験を行い，その変化を追跡することで，学生が継続的に興味・関心を抱くことが期待される。維持・管理が比較的簡単な材料を選定すれば，このような学生実験は十分可能であると考えられる。

謝辞

本実験プログラムの開発においては慶應義塾大学日吉キャンパス生物学教室調整費による全面的支援を頂いた。また本実験の草案は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」の事業Ⅲ「新しい実験テーマの開発と実験マニュアルの整備」（生物学）の事業中に作成したものであり，文学部の金子洋之先生，法学部の金谷信宏・小野裕剛両先生，経済学部の福山欣司先生には実験開発上のアドバイスを頂いた。商学部の福澤利彦・長谷川由利子両先生には，上村先生担当の生物学実験で本実験プログラムを試行することを快諾頂いた。また商学部・経済学部の実験器具の使用許可を頂いた。萩原陽介氏（首都大学東京・理工・生命科学）・鈴木智之博士には，ホソムギの栽培や水分コントロール実験について多岐に渡る情報を頂いた。ここに厚く御礼を述べさせて頂きます。

引用文献

Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R. and Mearns, L.O. (2000).

Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science, 289, 2068–2074.

Fay, P. A., Carlisle, J. D., Knapp, A. K., Blair, J. M. and Collins, S. L. (2003). Productivity responses to altered rainfall patterns in a C_4-dominated grassland. Oecologia, 137, 245–251.

Hagiwara, Y., Kachi, N. and Suzuki J. I. (2008) Effects of temporal heterogeneity of watering on size of an annual forb, Perilla frutescens (Lamiaceae), depend on soil nutrient levels. Botany, 86, 1111–1116.

Novoplansky, A. and Goldberg, D. E. (2001). Effects of water pulsing on individual performance and competitive hierarchies in plants. Journal of vegetation science, 12,

199–208

Sjøberg, S. and Schreiner, C. (2008). Concerns for the environment. Data from ROSE (The Relevance of Science Education). URL: http://www.ils.uio.no/english/rose/index.html