

# 卒業論文

題名 榛名山上部の里山地域に生育する希少植物種の  
保全方法に関する生態学的研究

学籍番号 13602026

氏名 篠原 大勇

指導教員名 石川 真一 教官

平成 29 年 1 月 16 日 提出



## 概要

里山地域は、人の手が加わっているという点において、いわゆる原生の自然とは全く異なる。そのような定期的に人の手が加えられ、維持・管理されている地域は多くの絶滅危惧種や希少種が生育している事が確認されている。しかし、近年里山地域の土地開発や高齢化の問題等によって植物種の生育環境が破壊されたり、減少したりと大きな問題となっている。その状況下で、生物多様性保全という観点から、里山地域における生物多様性の現状解明が必須であり、特に里山地域の多様性の高さの学術的解明、および絶滅危惧種・希少種の増殖方法の確立が急がれる。

本研究では、その里山地域の植物種多様性がどうやって形成されるのかを、生育環境の多様性と植物の分布および西榛名地域、県立榛名公園に代表される植物（絶滅危惧種 A、コウリンカ、カセンソウ、キキョウなど）について植物相調査・発芽実験・生長解析を行い、種子生産・発芽・生長特性の多様性の関係を解析することによって解明する。

本研究により、県立榛名公園では、踏査による植物相調査によって、在来植物計 67 種、うち 5 種の絶滅危惧種・希少種の生育が確認された。カセンソウ、エゾカワラナデシコ、キキョウは前年よりも多くの個体数を確認し、スズサイコは前年まで確認されていた生育地に加え、新たな生育地を県立榛名公園内で確認することができた。本年は 4 日間かけての調査に加え、調査人員を増やし大規模調査を行えたため、多くの開花個体を確認することができた。しかし、県立榛名公園の自然環境は今年度の調査においても全面的に明らかになっているとは言えないので、引き続き調査をしていく必要がある。

発芽実験結果ではキキョウの生育環境が山野であり、平野には生育できないとされているが、発芽実験結果では 10/6℃区を除く広い温度帯で高い発芽率を記録した。このことにより、キキョウの生育環境には温度よりも周辺でアンダーユース、オーバーユースが無いことが重要であると推察できた。そして、クルマバナは最も発芽率が良かったのが 17/8℃区の 70.00%であり、そこから温度が高くなるにつれ発芽率が少しずつ減少していく結果になった。このことから、少し涼しいと感じる気温が生育しやすいと考えられ地球温暖化が進んでしまった場合の個体数の減少が起こることが考えられる。一方、冷湿処理の有効性についてはサラシナショウマ、エゾカワラナデシコ、クサレダマの 3 種で確認され冬を越

すことで休眠解除されると考えられる。

絶滅危惧種 A の種子を用いた生存検定では、2012 年度産十二ヶ原墓場は冷凍保存期間が 3 年目を迎えているものの、発芽は確認できたので $-80^{\circ}\text{C}$ の冷凍保存は 3 年間まで発芽能力を失わないことが明らかになった。

絶滅危惧種 A の冷湿処理による休眠解除は、いずれの種子でも 2 回目の冷湿処理を施した方が発芽率は上昇し、2 年目の冬の経験の必要性が見られた。しかし、どの種子も生存検定の発芽率よりも有意に低く、冷湿処理では解除できない生理的な深い休眠にあるものが多いと考えられる。

異なる相対光量子密度下で栽培した植物の生長解析はカセンソウ、サラシナショウマ、クルマバナで 3%区から著しく生長が阻害されるため、激しく被陰された場合に生長ができなくなる可能性がある。エゾカワラナデシコでは 9%区からこの傾向が見られたため、他の 3 種よりも光条件に左右されやすいと考えられる。このため、管理団体によるササ刈りが定期的に行われ、管理されていかなければ光条件の悪さから個体数が減少してしまう可能性がある。

私たちの生活は自然からの恩恵なしでは成り立たない世界になっている。生態系サービスをさまざまな形で享受して生活し、その上で経済が成り立っていることを忘れてはならない。その中でも、絶滅危惧種・希少種の保護は多様な生態系を守り、私たちが生態系サービスを享受し自然とともに生活していくことに繋がっていく。より社会全体を巻き込み、この問題に取り組んでいく必要がある。



## 目次

はじめに.....	3
里山とは.....	3
里山の歴史.....	3
生態系サービス.....	4
里山と生態系サービスの関わり.....	4
里山に多様性が存在する理由.....	5
里山と人間との関わりの変化.....	6
里山の分断化・衰退の問題.....	7
SATOYAMA イニシアティブ.....	8
里山の保全について.....	9
生物多様性の「3つの多様性」.....	9
生物多様性の危機.....	10
レッドデータブック.....	11
フィールド科学とモニタリングの有効性.....	12
絶滅危惧種 A がモデル植物として適している理由.....	14
利根川水系と東遷.....	16
環境アセスメントと河川法改訂.....	17
ダム建設と自然環境.....	18
「緑のダム」について.....	19
八ツ場ダム.....	20
本研究の目的.....	22
調査地概要.....	23
材料及び方法.....	24
植物相・絶滅危惧種個体数調査.....	24
材料植物.....	24
種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性解析.....	25
異なる環境条件下における栽培実験.....	28
光強度を調整した栽培実験.....	28
気温を調節した栽培実験.....	29
生長解析.....	29

絶滅危惧種 B の開花調査、挿し木および種子発芽実験.....	31
群馬大学荒牧キャンパスの気温測定.....	31
結果及び考察.....	32
植物相・絶滅危惧種個体数調査.....	32
発芽の冷湿処理・温度依存性.....	34
異なる相対光量子密度下で栽培した植物の生長解析.....	40
異なる温度条件下で栽培した植物の生長解析.....	44
結論.....	45
謝辞.....	47
引用文献・引用 web ページ.....	48
写真・表・図.....	51

## はじめに

### 里山とは

里山とは、人間の移住と共に二次林、農地、ため池、草地を含む異なる複数の生態系からなるモザイク状のランドスケープを表す日本語である。里山は長期にわたる人間と生態系との相互作用を通じて形成され発展してきたものであり、日本各地に見られ、日本の国土の40%以上を占めると言われている（環境省 2001）。

従来、多くの団体や個人が、それぞれの専門領域や関心に基づいて里山を定義する試みがなされてきた。里山を雑木林や二次林などの生態系として定義する場合がある一方、人間の居住地も含む地方のランドスケープとして定義しているケースもある（大住・深町 2001）。

生態学者の田端英雄氏は『里山の自然』のなかで、トンボ類やカエル類の産卵場所や生活場所を調査した結果、「林やそれに隣接する水田や畑と畦、ため池や用水路などがセットになった自然を里山と呼ぶ」としている。すなわち、本来の農用林野という狭義の里山だけではなく、それと隣接し深い関係をもつ耕地や水路や屋敷地も含めた農村環境を指している。これは里山の生物にかぎらず、人間の生活や農業、民話や童謡の舞台になっているのも、このいわば「里山地域」である（犬井 2002）。

### 里山の歴史

「里山」が単独で用いられたのは、1759（宝暦 9）年木曾材木奉行補佐格の寺町兵右衛門が筆記した『木曾山雑林』の「村里家居近き山をさして里山と申し候」と記されているのが最初と言われている。ここで、山と人間社会との連関が明記された。ただし、ここでの里山の定義には、今日使われているように里山のなかに人間社会は含まれていない（所 1980）。

1970年代に森林生態学者の四手井綱英により、寺町よって記された自然と人間の相互作用を表す里山の概念が復活させられ、村里に近いヤマ（農用林）を指す言葉として提案された（四手井 1974）。

里山に対する関心の高まりのなかで、生物多様性の保全との関係性が強調されている。おもに 1990 年代以降の生態学的研究により、里山のランドスケープにおける構造的特徴や人為的攪乱の存在が、生物多様性と大きな関係性があることが示されている。里山が多様な土地利用のモザイク構造をなしていることは、それぞれに異なる動植物が生息・生育することを可能にし、全体として高い生物多様性を実現する（鷺谷 2001）。

「里山」と「里地」を区別し、里山、農地、集落を含めた農村景観全体を里地と呼び、林としての「里山」と区別する提案もある（武内 2001）。

また、狭義の里山を「里山林」とし、多様な農村景観要素とセットとしての広義の里山を「里やま」と区別している文献もある。(石井 2005)。

里山は現代ではかなりの多義性をもった言葉であるが、それが人間の手によって管理された自然、すなわち「二次的自然」を主な構成要素としている点は大多数の認めるところであろう(武内 2001)。

### 生態系サービス

生態系サービスとは生態系から人々が得る恵みである。生態系サービスには、食料や水といった供給サービス、洪水、干ばつ、土地劣化、病気の調整のような調整サービス、土壌形成や栄養循環のような基盤サービス、そしてレクリエーション、精神的、宗教的、その他非物質的な恵みである文化的サービスが含まれる(Millennium Ecosystem Assessment 2005)。

この用語を広めたコスタンザ(R.Costanza)らは、生態系サービスの内訳として、ガス交換、気候緩和、攪乱緩和、洪水緩和、水資源供給、土砂流出緩和、土壌形成、栄養塩循環、水質形成、花粉媒介、生物防除、避難地の提供、食料生産、各種材料供給、遺伝資源供給、レクリエーション、文化基盤提供などをあげている(佐藤ほか 2012)。

自然環境の保全や再生を目的とした事業において、特定”生態系サービスの享受”を目標に設定することもあり得る。一般向けに”なぜ環境保全や自然再生が必要なのか”について理解してもらう上で”生態系サービスの享受”はわかりやすい。ただし、生態系サービスの享受を考える際には、極力”機能鈍化”を避けることがポイントとなる。機能鈍化とは、本来多数の機能を有するものに対して特定の機能だけ強める働きかけをすることである。各種生態系サービスは数えきれないほど多くの生物種の営みの結果として表れるのであって、それらはわれわれがまだ気づいていないような複雑な関係のうえに成り立っているという認識をまずは念頭に置くべきである(佐藤ほか 2012)。

### 里山と生態系サービスの関わり

生物多様性と里山は、密接に関係する概念である。生物多様性とは、あらゆる種類の源における生命体の多様さのことであり、陸域、海域、その他の水域の生態系タイプや生態系複合を含む。そこには同一種内の多様性、種が多様性、生態系の多様性が含まれる。多様性は生態系の構造的な特性であり、生態系の多様さは生物多様性の一要素である。生物多様性が豊かであることで多様な生態系サービスが期待できる。また、人間の側から見た生態系サービスとしての重要性だけでなく、多様な種が生きているということはそれ自体固有の価値がある(Millennium Ecosystem Assessment 2003)。

里山における人間活動によって維持されてきた豊富な生物多様性は、それらの独特な生

態系構造・機能を形成する重要なものであり、それがさまざまな基盤サービスを生み出す基礎となっている。そして、その基盤サービスは人間の福利をもたらすさまざまな供給、調整、文化的サービスをもたらしている（齋藤ほか 2012）。

里山生態系の資源利用の変化は、生態系サービスの基盤サービスとしての有機物や栄養塩に関する物質循環変化に何らかのインパクトを与えるものと考えられる。近年の利用低下に伴う土壌環境変化に注目した研究では、里山の二次林における管理施業が放棄されることによって生態系の物質循環が変化し、その結果として土壌内の有機物や栄養塩プールが増えることを示唆している。つまり、かつての里山利用により減少した有機物・栄養塩循環が管理放棄によって回復傾向にあることがうかがえる。一方で、管理作業の停止は下層植生の繁茂などを引き起こし、それが樹木の生育や物質循環に影響することが懸念されている。里山の二次林は本来、人の入り込みが多く、管理作業を継続することで維持されてきた生態系である。したがって、下刈りや落ち葉掻きなどの管理作業が十分に行われるのであれば、短伐期で落ち葉採取も行われるなど系外への養分の持ち出しが非常に多い。このことは生態系の物質循環の観点からは、里山利用による有機物・栄養塩の存在量や循環量の減少を意味している。一方で、その結果として里山の森林生態系の植生や微生物の栄養不足状態が維持されることになり、系外から供給される大気沈着などの栄養塩流入に対して、それらを植生や微生物が積極的に養分吸収することが予測される。これらのことから、里山地域特有の過去の施業履歴や現在の管理状態は、さまざまな形で現在の里山の森林生態系の物質循環プロセス変化を通じて、基盤サービスの特性に影響しているものと考えられる（柴田ほか 2009）。

### 里山に多様性が存在する理由

里山には、里山林や鎮守の森、屋敷林といった森林生態系、茅場や畦畔草地のような草地生態系などさまざまなタイプの陸上生態系ばかりでなく、水田やため池、水路からなる稲作体系のような水界生態系もある。個々の生態系は里やまの広がりの中に大小さまざまなパッチとして存在し全体として里やまの景観を構成している。各々の生態系はその内部に異質な環境を含むばかりでなく、隣接する異なる生態系の境界は「移行帯（エコトーン）」とよばれる両者の性質をあわせもつ独特の環境が存在する。たとえば、ため池の水際や里山林の林縁は典型的な移行帯であり、それぞれ抽水植物群落、マント植物群落など独特の植生が発達する（石井 2005）。

里山は、農村社会と自然の森林生態系の境界に位置する二次生態系である。典型的な里山生態系では、人々は薪や炭をとるために人家の裏山で木々の幹を切り、家畜の餌のために下ばえを刈り、落ち葉を集めて持ち帰って堆肥を作った。その結果木々間引かれて萌芽を伸ばし、林床に光が届く明るい雑木林が維持されてきた。（嶋田ほか 2012）

里やまには実に多様な環境を含み、多くの植物に生活場所を提供してきた。また、里山林は、多くの場合、村の入会地になっていて、ローテーションを組んで小区画ごとに伐採し更新を行うため、伐採後の時間の異なるさまざまな林分がつねに存在していた。その結果、ひとつの里山林に状態の異なる環境好む多くの生物を共存させることになった（石井 2005）。

里山における森林、農地、ため池、水路などさまざまな生態系が構成するモザイクは、多種多様な野生生物の生育空間であり、豊かな生物相や生物多様性が維持されてきた（齋藤ほか 2012）。

### 里山と人間との関わりの変化

近世から 1960 年代までの 400 年間、農家は地域の生物資源生産に大きく依存してきた。すなわち樹林地・農地において、大気中から得られる水などを原料として、太陽からの放射エネルギーを化学エネルギーに変換することによって、有機物が生産される。このいわば自然エネルギーを用いた植物工場によって生産される生物資源のうち、穀物・野菜は食糧として、作物残滓や里山の下草や落葉は飼料や肥料、燃料として、里山で成長する木材は建築材として利用されていた。ところが 1960 年代以降、燃料革命、肥料革命が広まり、また円高の定着、貿易自由化という流れのなかで、外国産の木材や家畜飼料の輸入が急増した。結果として、今日、農家はかろうじて米・野菜の生産の場としての農地との関わりを維持しているが、1960 年代以前に存在していた燃料、肥料、飼料建築材の供給源としての里山の意義は薄れている（恒川 2001）。

グローバル経済の拡大により、里山の供給サービスの経済的な価値が相対的に低下し、里山の生態系の構造や生物相が変化してさまざまな生態系機能やサービスが劣化した。この結果、生態系サービスと日常の暮らしとの乖離、言い換えれば里山の生態系サービスに依存しない暮らしが広がり、里山の生態系サービスが低下するなか、地域集落の人口減少と高齢化と相まって地震、洪水、土砂崩れなどの自然災害に対する地域社会・集落の脆弱性が高まっている。（湯本ほか 2012）。

中山間地域の里山では集落戸数の減少と高齢化によって集落としての従来のような伝統や慣習、共助の機能を維持できない地域が増えている（大野 2005）。

地域によっては耕作放棄地や森林がイノシシやニホンジカ、ニホンザルなどの格好の餌場やねぐらとなり、これらの動物の食害がかろうじて維持されている農地の供給サービスを阻害し、それが過疎化や農業離れを促進するという悪循環が生じている。中山間地域では、各地にこのような「森に還る里山」が見られる（JSSA-西日本クラスター 2010）。

都市域の拡大にともない、里山と都市住民の物理的な距離が縮まっている。すなわち、里山の近くに都市住民が近寄ってきている。このような状況のなかで、里山と都市住民と

いう新たな関係の構築も重要な課題となっているのではないだろうか。里山の今日的な意義や価値を改めて見直しつつ、里山と人々との新たな関係を構築していくことが求められている（恒川 2001）。

### 里山の分断化・衰退の問題

ある生物種が生息する広大な森林が道路や市街地で区切られることで、その生物種が孤立した小さな林の集まりに細分化され、それぞれの局所個体群として孤立させられるような状況はしばしば生じる。そのような生物種は、将来絶滅する危険性が高くなる（佐藤ほか 2012）。

昭和 30 年代にはじまる燃料革命によって燃料の生産林としての機能を失った里山林は、放置林、人工林、各種用地のいずれかに大きく変貌した。公園や緑地の用地として造成地内にかろうじて残された里山林も小面積に分断化され、かつての里山林の面影はない。小面積で孤立化した里山林では、本来所有していた里山林の生物相を維持することができず、環境条件の不良化に応じて生物種が少なからず絶滅した（服部 2005）。

1955 年頃までの里山林は数年に 1 回の下刈り（柴刈り）と 8～25 年に 1 回の皆伐が行われていた。これらの作業によって、伐採後の切り株段階から 7～8m 程度の伐採前の低林（高木の低い状態を維持している林までのさまざまな林齢の林分によるパッチワーク状の里山林景観が維持され、高林（高木を本来の高さで維持している林や照葉樹林への遷移が抑制されていた。里山林が放置されて 40 年近く経過した現在、樹冠を形成する高木層は発達し、20m 近くの高さに達している林分も見られる。林齢の差による各林分の相観に差が認められなくなり、パッチワーク状の里山林景観は消失した（服部 2005）。

モウソウチク、マダケ、ハチクより構成される竹林はタケノコや竹材の生産を目的として植栽されたことに由来している。とくにモウソウチクは 18 世紀頃に日本に移入された種であるが、300 年後の現在では里山林であるアカマツ林、コナラ林、コジイ林の林内に侵入して、それらの樹林に置き換わり、林内の種多様性を著しく低下させている（服部 2005）。

セイタカアワダチソウやシナダレスズメガヤにみられるように、外来種は攪乱圧の高い草原的あるいは荒原的な立地に侵入し、安定した里山林にはほとんど侵入していないと考えられていた。しかし近年の調査では、都市林や住宅地周辺の里山孤立林に多くの外来種が侵入していることが明らかになった。これらの樹林に外来種が多い理由は種子供給源となる緑化木、庭園木を植栽している公園や庭園に近いこと（散布距離は 100m 以下の場合が多い）によっている。また、外来種ではないが、庭園植物として利用されている在来種も多数定着している。外来種を放置すると在来種の生育空間を奪い、生態系に大きな変化を与える。また在来庭園植物の場合も自然分布との区別ができなくなったり、交雑による遺伝的な攪乱が起こったりなどの問題が発生する可能性が高い（服部 2005）。

## SATOYAMA イニシアティブ

SATOYAMA イニシアティブとは現在の暮らしや生産を昔に戻すという意味ではなく、自然の資源を循環させるシステムを上手に取り込んだ、21世紀型の里山、あるいは、持続可能な社会のモデルを里山に見いだしていくという英知が求められている。その一つが日本の環境省と国連大学高等研究所などが中心となって進めている「里山（SATOYAMA）イニシアティブ」である。これは、自然資源を持続的に利用することで、生物多様性の保全を両立させ、さらに持続可能な社会のモデルづくりを政策として進めようとするものだ。SATOYAMA イニシアティブは里山をめぐる国際的なパートナーシップづくりの戦略なのである（中村・嘉田 2010）。

このイニシアティブは、生物多様性の悪化傾向を止め、回復の方向に転換し、生物多様性の恵みが将来にわたって人類が受け取ることができるようにするためには、原始的な自然の保全強化に加えて、長年にわたる人の暮らしや営みと関わりのなかで形成されてきた。都市や農山漁村を取り巻く広大な二次的な自然地域を対象として、人と自然の調和的な関係を再構築することが不可欠という考え方に基づいている。そして、「生物多様性の保全」と「持続可能な利用」というふたつの目的を同時に達成するための土地や自然資源の利用・管理のありかたを考え、世界各地域での実践を推進していくことを目指している（渡辺 2010）。

SATOYAMA イニシアティブでは、自然と共生的な社会のモデルとして、日本の里地里山における伝統的な自然-人間関係に注目した。里地里山ではかつて薪炭林、農用林、茅場などとして使われてきた里山を中心に、それらと連続して展開される耕作地、集落、ため池等のモザイク状の土地利用が機能的に結びついた複合的なランドスケープが形成されてきた。こうした里山ランドスケープは、何千年もわたって多様な生態系サービスを提供してきた。土砂崩れなどの災害の防止、水資源の枯渇や土壌劣化の防止、自然資源の持続的な提供、農作物の花粉媒介、野生生物の生息場所の提供、郷土意識・文化の醸成など、様々な役割を果たしてきた（渡辺 2010）。

SATOYAMA イニシアティブは、日本の里山ランドスケープを他の地域に押し付けるものではなく、各地域の特徴を尊重しながら、国内外の自然共生の知恵や事例、課題を調査、収集、共有し、それらをふまえて、持続可能な自然資源の利用・管理を実現するための長期目標、行動指針、視点、そして、各地域の実情に応じて効果的に適用するための手順や方法を、多くの国々や多様なセクターの参加のもとに検討し、世界各地域での実践を推進していくものである（渡辺 2010）。



## 里山の保全について

里やまの消失や景観の変化の対する保全の取り組みとしては、土地を確保して開発などによる消失の危険性をなくす手段を講じることが必要である。また里やま的な景観は人間のかかわりとともに維持されてきたものであるため、現在、里やま景観が残されているところでは里やま管理を継続できるような仕組みづくりが求められる。さらに、しばらく管理が行われずに放置されている里やまの場合は、里やま管理を再開するために新たな管理の担い手を確保し、永続的に管理が続けられるような仕組みを構築することが必要となる（星野 2012）。

しかし、誰がそれを担うかが大きな問題である。かつては里山が生産の場として機能していたからこそ里山は所有者によって維持管理され、望ましい状態で存続することができたのだが、現在の社会では、アカマツ林やクヌギ・コナラの雑木林で、いかに経済的な生産性を上げようと努力しても、おのずと限界がある。したがって、里山の二次林の公共的価値がいかにすぐれていても、経済的な実利なしに保全・管理のみを所有者に期待するのは困難である（石井 1993）。

里山林の管理には、毎年行われるものと、15-20年周期で行われるものがある。前者は下草刈りや落ち葉掻きがあり、さらに里山林と付随する田畑にその落葉などを堆肥としてすきこむ作業がある。後者には、十分樹木が大きくなった時点での樹木の伐採や、伐採後しばらくしてから行われるもやわけなどの作業がある。これらが全体として里山林の動的な保全に役立ってきたわけである。（恒川 2001）。

里やま管理が停止されている場所で管理を再開する際には、長い間放置されたため、管理されていたときには生育した植物がすでに消失している場合も多く見られる。しかし、植物によってはシードバンクとして種子が休眠状態で地中に残っている場合もあり、この場合は落ち葉かきなどの管理を再開することによって、地温の上昇や光環境の変化により、休眠が打破され、これまで地上では見られなくなった植物も、再出現する可能性がある。放置された雑木林の管理再開にあたってはシードバンクからの発芽、定着の可能性を考慮することが必要である。シードバンクには外来種の種子が含まれていることもあるため、管理を行うと同時に生物モニタリングを行う必要がある（星野 2012）。

## 生物多様性の「3つの多様性」

生物多様性は、種の多様性、種内の多様性、生態系の多様性を含むものとして定義されている（鷲谷 2010）。

種の多様性は、生物の種類が多様性である。また、生物種の名称をリストで表すことができ、多くの在来種がいるほど、その地域の生物の多様性は高い。種数やそれぞれの種の存在量の均衡も考慮した多様度などで定量的に表すこともできる。なお、その国やその地

域以外にはどこにも見られない在来種を固有種と呼ぶ。固有種はそこで絶滅すれば地球から絶滅することになるため、種の多様性の保全における重要性が高い（鷲谷 2010）。

種内の多様性は、親やその祖先から生まれつき受け継いできた遺伝的要素だけでなく、親にはなかった形質が突然あらわれて子に遺伝する遺伝的変異の場合と地理的に明らかな構造の変異が認められた地理的変異の場合を含むものである（鷲谷 2010）。

同じ種でも異なる地域環境に生息する個体群は、それぞれの環境に適応して、異なった遺伝的な特徴をもっている。つまり、環境に適さない特定の形質の遺伝子をもつ個体はその環境のなかで生き残ることはなく、地域差を生み出している。また長期的には、他の個体群から異なる遺伝子を持つ個体が稀に流入することによって、その個体群に新たな遺伝子多様性が加わることがある。しかし、そのような個体群が生殖的に隔離され、ほかの個体群と遺伝的な交流が途絶えると、別の種へ分化していく。遺伝的多様性は、種の進化というダイナミックな視点からも非常に重要である（生物多様性政策研究会 2002）。

生態系を構成する種の多様性が増すにつれて、関係の多様性は何倍にも増し、複雑な網目状の構造をとる。そのようなシステムである生態系の種類の多様性が生態系の多様性である（鷲谷 2010）。

生態系の多様性は二つの側面から評価される。一つ目は生態系の構造の複雑さで、生態系の栄養段階の多層性や食物連鎖のリンク数などで定量化できる。二つ目はある地域で草原や森林、湖沼などの異なる生態系がどのくらいモザイク状に組合わさっているかを評価したものである（佐藤ほか 2012）。

生態系の多様性で注意すべきは、生物の種数が少ない生態系であっても、場合によっては全体の生物多様性を高めることに大きく寄与する点である。例えば高山草原は乾燥や温度変化が著しく、森林に比べると生息できる生物の種数は少ない。しかし、高山ではそこに限って見られる種が多く、森林の種との共通性が低いため、高山草原の生態系は山岳全体の生物多様性を高めるために貢献している。生態系の多様性を保全する際は、そこにしか生息しない種を擁する生態系に特に配慮すべきである。このような生態系には代替性がなく、そこが失われることは、全体の多様性の低下につながる（生物多様性政策研究会 2002）。

## 生物多様性の危機

ミレニアム生態系評価では、生態系と人間の福利の将来に対して、地球規模のシナリオを4つ作成した（金子ほか 2007）。

すべてのミレニアム生態系評価シナリオで21世紀の前半は、生態系の急速な変化が継続すると予測されている。第一に農地の拡大、第二に都市と社会基盤の拡大により、2050年までにおよそ10～20%の草原と森林が他に変換されると予測される。また、生態系の変化

の速度は将来の開発シナリオ、特に人口・富・貿易・科学技術に依存している。陸上における生息地の消失は、四つのシナリオすべてにおいて、各地域の在来種の減少を加速させると予測される。生息地の消失は地域個体群の絶滅に直結し、それらが担っていた生態系サービスの喪失をもたらす。シナリオで予測される生息地の消失によって、地球規模で絶滅が進行し、種数は残存する生息地に見合うまでに減少してしまうだろう。存続可能な植物の種数は 1970～2050 年の間に約 10～15%減少するとシナリオでは予測される（金子ほか 2007）。

特に、熱帯雨林は大量に CO<sub>2</sub> を吸収する純一次生産力の高いバイオームであり、生物多様性の宝庫でもあるが、近年、焼き畑農業や大規模伐採などの経済活動によって総面積が減少の一途をたどっている。また、生物多様性条約批准に伴って策定された生物多様性国家戦略では、“三つの危機”の一つとして人の手が入らなくなった里山・里地の荒廃をあげており、自然再生の試みが始まっている（嶋田ほか 2012）。

ある生態系の変化は、必然的にその生態系の中の種に影響を及ぼし、種の変化は生態系プロセスに影響を与える。地球上の種の分布は、より均一になりつつある。均一化とは、地球上のある地域に生息している生物相と、別の地域の生物層との間に、違いがなくなりつつあることを意味する。進化や、移動の障壁とその土地への種の適応の組み合わせによって、異なる地域の生態系で別のタイプに著しい違いが生じた。しかし、現在、地球上の生物相の地域的な違いは減少しつつある（金子ほか 2007）。

### レッドデータブック

絶滅の危険度をいくつかの度合いに区分けし、ある地域に生息する野生生物種に対して、その該当する種・亜種などの学名と絶滅の危険度などの情報をリストアップしたものをレッドリストと呼び、それに加えて、形態、繁殖などの生態、生息環境、絶滅の要因とその保全対策などをまとめたものをレッドデータブックと呼ぶ。環境省は日本国内向けのレッドリストを公開し、各都道府県でもそれぞれのレッドデータブックが作成されている（佐藤ほか 2012）。

レッドリストやレッドデータブックを編集する活動を国際的に進め、そのランク・基準を策定しているのは、国際自然保護連合（IUCN）という国際機関である。IUCN は日本を含む各国政府のほかに、日本自然保護協会、WWF ジャパン、日本野鳥の会などの非政府組織も加盟した国際環境団体である。多くの専属の科学者を擁している点に特色があり、さまざまな環境問題に対して、科学的な裏付けのある提言を発表し、国際的に大きな影響力を維持している（矢原 2003）。

レッドデータブックを作成する目的は、象徴的な生物種（トキ、コウノトリ、ヤンバルクイナ）を代表として生物多様性の危機の度合いを一般人に伝え、生態系の保全を社会的

に動機づけることにある。絶滅の危険度については、個体数の減少速度、生息面積の広さ、全個体数と繁殖個体数の分布、成熟個体数、絶滅確率などの定量的な基準によって、絶滅危惧種を危機的絶滅寸前（CR:絶滅危惧ⅠA類）、絶滅寸前（EN:絶滅危惧ⅠB類）、危急（VU:絶滅危惧Ⅱ類）の3段階に区分けされている。これより軽度な危険度の生物種は、準絶滅危惧種（NT）、軽度懸念（LC）となる（佐藤ほか 2012）。

群馬県では、2001年に発刊したレッドデータブックの植物編について、その後の変化への対応や、より現況に即した内容に見直すため、2008年（平成20年度）に改訂準備に着手し、2012年（平成24年度）に初めての改訂を行った（群馬県 HP）。今回の改訂版では633種を評価対象として掲載し、このうち274種は前回（2001年版群馬県レッドデータブック植物編）は掲載されていないが、今回新たに掲載された種である。

内訳をみると、274種のうち161種は絶滅危惧ⅠA類とⅠB類で58.8%を占めた。これは、前回も掲載されていた359種のうち今回絶滅危惧ⅠA類とⅠB類が占めた割合（52.9%）を上回る結果となった。この中には、環境省のレッドデータブックやレッドリストに掲載されている種が過去10年の間に県内で新たに発見されたものや、全国的に減少傾向が著しく環境省でも2007年版のレッドリストで新たに掲載したものが多数含まれており、絶滅リスクが高いランクに集中する結果となった。

今回の評価対象633種のうち、絶滅危惧ⅠA類が217種と最多となった。この理由として、本県の植物相がもともと地域間の差異が大きく分布地点の限られる希少種が多いことに加え、従来からの開発行為による生育地消失のほか、近年は農地や里山の管理放棄、動物による食害、外来種との競合など様々な要因によって生育環境が悪化し、深刻な状況に追いやられていることが考えられる（群馬県HP 植物レッドリスト）。

## フィールド科学とモニタリングの有効性

生態系の機能的関係を、普遍性と特異性の両面から理解するためには、生態系に関するさまざまな解析の前提となるフィールド研究が欠かせない。現実の生態現象をフィールド調査によって克明に記録し、研究者自らが生態現象を熟知することが、「関係性」を理解するうえでの「科学的勘」を養い、計量化の可能性と限界をわきまえながら、解析に臨むことを可能にするからである。また、近年発達の激しいGPS（全球座標システム）、GIS（地理情報システム）、リモートセンシングなどの遠隔計測技術は、フィールド調査結果の普遍化を図るために有効な技術的手段である（鷲谷ほか 2005）。

絶滅危惧種の保全には、継続的なモニタリングを行い、問題が深刻化した場合に時機を逃さず緊急対策を実施することが必須である。すべての種について、客観的で科学的な現状のモニタリングを実施し、回復計画を策定する必要がある（鷲谷ほか 2005）。

モニタリング（monitoring）とは、対象の振る舞いをより良く理解し、それへの対処や

管理の方法を次第に良いものへと改善するための監視を意味する。それは評価と一体となって初めて意味を持つ行為である。生物多様性モニタリングには、その目的に応じて「説明や説得をするためのモニタリング」「ともに学ぶためのモニタリング」「共感するためのモニタリング」などを区別することができるだろう。いまだ社会的な認識が低い問題に対して人々の関心を喚起するためには、第1番目の目的を重視したモニタリングを行うことが必要だろう。一方、地域生態系再生のための順応的管理の場での協働では、第2、第3のモニタリングの目的がとくに重要となるだろう。また、都市での日常生活における認識の限界を越えて自然環境の現状に対する認識や理解を広げるためにも、第2、第3の目的を重視したモニタリングの役割が大きいものと考えられる（鷲谷・鬼頭 2007）。

持続可能な社会を築く上で意義の大きい「自然再生」を含む生態系管理は、計画・実践・評価すべての段階が市民、行政、研究者などの協働によって進められることが望ましい。多様な主体の参加に加えて、生態系という複雑で困難な対象を扱うため、順応的管理の手法で進めることが適切である。順応的管理とは、「仮説となる計画の立案-事業の実施-モニタリングによる検証-事業の改善」の繰り返しにより事業を成功に導く円環的な、あるいは螺旋階段的なプロジェクトサイクルによる科学的管理手法である。順応的管理を有効に進めるためには、管理に参加する主体間での情報の共有、それにもとづく建設的で具体的な議論を十分にふまえた合意形成、また、研究者にとっても未知の部分の少なくない対象への理解を深めるための「学習」プロセスが重要である。順応的管理とは、多様な主体が「為すことによってともに学ぶ」実践であり、その過程においては、モニタリングとそれにもとづく評価の果たす役割がきわめて大きい。（鷲谷・鬼頭 2007）。

生物多様性の喪失は一般的には不可逆的な変化であり、それを喪失前の状態に戻すことは難しい。自然再生の取り組みによって、生態系の機能の一部または大部分を回復させることができたとしても、いったん絶滅した種や個体群は帰ってこない。また、その喪失は、種間関係を伝わる連鎖によって重大な生態系の機能不全を招く可能性がある。すなわち、帰結としてなにがもたらされるか予測がむずかしく、ときに重大な帰結がもたらされる可能性もある。生物多様性の保全については、取り返しのつかないことを回避するという意味で「予防的アプローチ」を重視しなければならない（鷲谷・鬼頭 2007）。

生物多様性条約では、生物多様性のための方策として、絶滅危惧種の保全、侵略的な種の影響排除、生態系の再生が重視されている。絶滅危惧種と侵略的な種（その多くが外来種）は、保全の実践における対象であるとともに指標でもある。それらの現状および人間活動とのかかわりを把握することは、生物多様性モニタリングの主要なテーマとなる（鷲谷・鬼頭 2007）。

生態系再生と関連したモニタリングにおいては、再生の対象のうちで指標とするのにふさわしいなんらかの生物指標、あるいは再生に寄与する人の側の行為、意識・認識、社会

関係などをその対象にしなければならないだろう。これらの多くは数量的な扱いになじまないものである。また、生物多様性の衰退に伴う社会的に、経済的、文化的な脅威や生態系の不健全化と深くかかわる人々の生活や社会の状況変化なども、数量的な指標だけで把握することはむずかしい目的に応じて、数量的な指標と数字では表せない質的な情報の使い分けが求められるであろう（鷺谷・鬼頭 2007）。



## 利根川水系と東遷

利根川は上越国境にある大水上山（大利根岳）南東斜面にある東小沢と呼ばれる小さな沢の谷頭、標高 1 800m の雪溪から流れ出す。関東平野を北西から南東に縦断して、銚子で太平洋に注ぐ利根川の流路延長は 322.0km で信濃川 367.0km に次ぐ日本第 2 位であるが、流域面積 16840km<sup>2</sup> では日本一である。群馬県内の流路延長は 152.1km、県内流域面積は 6277.37 km<sup>2</sup> で、県内流域面積 6355.61 km<sup>2</sup> の 98.8% を占めている。県北の尾瀬（只見川水系）と野反湖付近（信濃川水系）を除く県域のほとんどが利根川流域である（澤口 2000）。

近世の初めまでの利根川は、幾枝にも分かれながら、また、しばしば流れを変えながら、埼玉平野のほぼ北西から南東に流れ、東京湾に注いでいた。秩父を源に発する荒川も埼玉平野の真ん中で利根川に合流していた。また、現在の利根川は関宿（千葉県最北部）から、千葉・茨城の両県の境を流れ、銚子で太平洋に注いでいるが、関宿から下流は、かつては利根川とは全く関係のない川-常陸川であった。このように三百数十年前の関東平野の主な河川は、今日とは全く様相を異にしていた（山崎 1986）。

利根川をはじめとする関東平野の諸河川の状況に一大変革を加えたのが、近世初めの徳川幕府による利根川の東遷と関連河川の瀬替え（流路の付け替え）であった。東遷・瀬替えの要点は、埼玉平野の真中を流れて東京湾にそそいでいた利根川を、渡良瀬川筋へ、さらに常陸川筋へ付け替えたことである。これによって渡良瀬川は利根川の支川となった。また、かつて利根川の支川であった荒川は熊谷付近から南に付け替えられ、利根川とは分離された。（山崎 1986）。

利根川の東遷や関連河川の瀬替えの目的を、戦前の内務省の河川技術者であった栗原良輔は次の四点挙げている。第一は古利根川沿岸地方（埼玉平野）の開拓。第二は東北の伊達藩に対する防御。第三は江戸への水運。第四は江戸の水害の防除である（栗原 1967）。

利根川の東遷によって利根川はその延長を増した。関宿において江戸川を分ける利根川の、関宿から河口までの延長は、関宿から下流の江戸川の約二倍であり、したがって利根川の河床勾配は江戸川の約二分の一と緩い。江戸川と比べ、利根川では洪水が流れにくくなった事実がある。一方、現在の利根川で洪水のときに堤防などからの漏水が生じ、また



破堤の恐れがあるのは、主に取手から下流部である。このような点からみると利根川の東遷は、国土計画上失敗であったかにみえる。しかし、それは次のような効果も生み出している。利根川は東遷に伴って洪水とともに大量の土砂をはこび、川沿いの沼沢地を埋め、耕作が可能な土地を生んでいった。こうして形成され、開発された土地は、洪水に襲われることはあっても同時に利根川から水を引き、その恵みを受けたことは言うまでもない。また、第二次世界大戦後は、利根川の水が房総半島に農業や上水道、工業の用水として送られるようになった。利根川の東遷が行われたことで、房総半島の各地域も利根川の水の恵みを受けるようになったという効果があったと言える（山崎 1986）。

### 環境アセスメントと河川法改訂

環境アセスメントは、1996年のアメリカの国家環境政策法（NEPA）によって初めて規定された制度である。アメリカでは、連邦政府の関与する計画、政策などあらゆる意思決定が対象となるが、それらのうち、環境への影響の大きいものが詳細なアセスメントの対象となる。このような事業が周辺の環境にどのような影響を及ぼすかを事前に調査、予測、評価して、環境を守っていくための制度である。（原科・横田 2000）。

日本では、国のアセスメントは産業界や開発事業省庁の反対によりなかなか法制化には至らなかった。その結果、旧法案は1983年に廃案になり、翌年、閣議決定により行政指導によって行われるようになった。地方自治体では、1976年の川崎市を皮切りに北海道、神奈川県、東京都などの自治体で条例に基づく独自の制度が制定され、その他府県、政令指定都市においても要綱や条例などによりアセスメントが実施されてきた（原科・横田 2000）。

1990年前後から地球環境の危機に対する認識が高まり、1992年にはブラジル・リオデジャネイロで国連環境開発会議（地球サミット）が開催された。日本でもこれを受けて1993年に環境基本法が制定された。環境基本法はリオで国際的に合意された「持続的な発展」を環境政策の新しい理念とし、その実現のための方法として、環境基本計画、環境影響評価制度、経済的措置を設けている。具体的には、環境基本法に、「環境影響評価の推進」（第20条）を規定したことから、再度、法制化への機運が高まり、1997年6月に環境影響評価法が成立した。この法律が制定されるまで、OECD加盟国で環境アセスメントを法的に有しない最後の国という状態であった（原科・横田 2000）。

環境影響評価法に基づく環境アセスメントの対象となる事業は、道路、ダム、鉄道、空港、発電所など13種類の事業である。このうち、規模の大きく環境に大きな影響を及ぼすおそれのある事業を「第1種事業」として定め、環境アセスメントの手続を必ず行うこととしている。この「第1種事業」に準ずる規模の事業を「第2種事業」として定め、手続を行うかどうかを個別に判断することとしている。つまり、「第1種事業」のすべてと、「第

2 種事業」のうち手続を行うべきであると判断されたものが、環境アセスメントの手続を行うことになる。また、規模の大きい港湾計画も環境アセスメントの対象となっている（環境影響評価情報支援ネットワーク HP）。

環境影響評価が行われる以前に造られたダムでは、環境に対する配慮が十分でなかった例があった。しかし、環境影響評価が行われるようになった後では、自然環境に対する影響の評価と環境保全の取り組みが進められている。こうした流れのなかで、河川についても治水・利水の機能だけでなく、豊かな自然環境を保全し、潤いのある生活環境としての役割が期待されるようになってきた。このため、平成 9（1997）年に成立した改正河川法では、法律の目的に「河川環境の整備と保全」が追加された。河川の生態系を保全することや水と緑の景観の大切さなどは従来の河川法では対象とされにくかったが、この改正によって河川管理における環境目的が明らかにされた（豊田 2006）。

### ダム建設と自然環境

戦後、日本各地でさかんに建設されてきたコンクリートのダムは、われわれを洪水や水不足から守り、電力を供給し、日本の近代化に大きく貢献してきた。コンクリートのダムの上にわれわれの快適な暮らしが成り立ってきたといっても過言ではない。しかし最近では、すでに数千ものダムが造られてしまった日本の川に、これ以上ダムを造る必要があるのか、という疑問が各地で聞かれる。そのひとつの理由として、日本の水資源があまり気味になっていることがある。最近のダム建設の主目的は、水資源の供給ではなく、洪水の軽減にもなっている。また、あまりにも多くのダムがすでにできているため、これからダムを造るような場所は、コストが高くついたり、環境破壊の度合いが大きくなったりという問題がある。出来上がったダムについては、水質や生態系に及ぼすマイナスの影響が数多く指摘されている（蔵治・保屋野 2004）。

ダム建設は、広大な地域を水没させるため、そこに住む住民の生活環境を根本から破壊する。そればかりではなく、さまざまな動植物の生育環境を破壊し、河川やダム湖の水質を悪化させ、上下流の広大な河川生態系を破壊してしまう。ダムは巨大なコンクリートの固まりによって川をせき止め、水と砂と土と生き物の流れを寸断する。いわば、母なる大地を潤す血管を閉塞させるのである。このため川で生活し、産卵のために回遊する魚類が生きられなくなり、ダムから流れる放流水、汚濁水で魚類が死滅する。ダムによって魚が産卵場までのぼれなくなり、流水量、流砂量の極端な増減によって、魚の棲息域が破壊される（久慈 2001）。

ダムは水を貯めるだけでなく、砂をも貯める。とくに日本は急勾配な山岳が多く、そこから流れ落ちる河川には急流が多い。しかも、降水量が多く、森林の乱伐が進み、砂利の乱採取などによって、河川からダムへの流出土砂量がきわめて多い。それに、ダムの容量

は外国の超巨大ダムに比較して数十分の一、数百分の一にすぎない。また、堆砂が増大すれば、河床が上昇し、貯水容量が少なくなり、集中豪雨や連続降雨時には、上流部でも洪水や異常出水などの河川災害が多発するようになる。治水、利水、発電の機能が低下し、上流、下流両地域に洪水などの被害を引き起こす。（久慈 2001）。

堆砂の解決の一つにダムからの直接排砂があるが、1991年の富山県の黒部川で続けられたものの、黒部川河口と沿岸の海の魚を存亡の危機に陥れてきた（天野 2001）。

ダムは、人間の身体のひとつを形成している「水」の源である「川」の、山から海に至る循環をぶち切ってしまっただけでなく、地球という水の惑星の生命体そのものを殺してしまった。そして、日本では、建設省が長年、ダムによって失われる「自然が自然に持っている浄化力という力」や、「安全で美しい水」や「多様な生態系」や「川が流れているから生きている水循環」や「自然環境」を無価値なものと考え、ダムから得られる利益のみを計算して、市民にその効果だけを宣伝し、全国にダムを造り続けてきた（天野 2001）。

### 「緑のダム」について

「緑のダム」とは何か、といわれれば、それは森林そのものである。河川の源流域にある森林はすべて、そう呼ぶことができる。森林にはたくさんの機能が備わっているが、そのなかには洪水を軽減し、渇水を緩和するという、コンクリートのダムの機能と欲に多機能がある。これを「緑のダム」機能と呼ぶ。同じ意味の言葉として「水源涵養機能」という言葉があり、林野庁ではこの言葉を用いている（蔵治・保屋野 2004）。

「水源涵養機能」としては、洪水緩和機能、渇水緩和機能、水質保全機能が挙げられる。洪水緩和機能というのは、森林が雨水を貯め込むことで、洪水流出のピーク流量を減少させ、ピーク流量が発生するまでの時間を遅らせ、さらには緩やかに減水させる機能であり、雨水は森林土壌中に浸透し、地中流となって流出してくる。水資源貯留機能は、雨が降らなくても、河川の流量が比較的多く確保される機能で、森林があることによって安定な河川流量を得られる機能である。森林が流出を遅らせることは、無駄に流れる水を少なくし、利用可能な水量を増加させるので、水資源確保上有利である。森林の洪水緩和機能の定量化は、森林の有無を比べたり、森林伐採等の前後において降雨に対するピーク流量や、降雨からピーク流量発生までの時間差を比較したりという方法でなされており、少なくとも調査対象流域においては、ピーク流量の減少や時間的な遅れが見られるなど、洪水緩和機能の存在が実証されている。また、以上の機能は、伐採前の森林からの流出と、森林を伐採した荒廃流域からの流出と比較した研究により明らかにされている（藤原 2003）。

森林法が定めている保安林のなかに「水源涵養保安林」という区分があるが、これはその森林がとくに「緑のダム」機能を発揮することを期待される場所にあるので、保安林に指定し、開発行為などを制限しているものである。水源涵養保安林は、全保安林の67%を占

めている（蔵治・保屋野 2004）。

「緑のダム」という言葉が使われ始めたのは、1970年代である。当時、首都圏で水不足が問題となり、しきりに空になったダムが報道されたりしていた頃に、森林の保水力も大事だということを伝えるために、林野庁で考えだされた言葉のようである。その後、ダムや可動堰が次々と完成する一方で、一人当たりの水使用量の減少、雨水利用の促進、水利利用の効率化、農業の衰退などが進み、今後の人口減少予測もあり、結果として水需要増加の頭打ち傾向がはっきりみえたので、渇水の問題に関連して「緑のダム」が宣伝されることはほとんどなくなった（蔵治・保屋野 2004）。

最近になって「緑のダム」が言葉として社会に広まり、その機能が広く注目されるようになったのは、森林政策上からというよりはむしろ、ダム建設に伴う環境破壊やコンクリートのダムや可動堰をこれ以上造る必要はあるのかという運動といった社会問題などのダム問題を解決する一代替案として浮上したからである。エポックメイキングとなったのは、田中康夫元長野県知事による「脱ダム宣言」である。「でき得る限り、コンクリートのダムを造るべきではない」と謳った脱ダム方針の一環として、森林整備による治水機能の強化、つまり「緑のダム」づくりを長野県の林業政策に採用した。しかしながら、長野県では森林の治水機能をダムの代替案に明確に組み入れるにはいたっていない。（蔵治・保屋野 2004）。

ダムが河川環境を破壊し、生態系に大きな影響を及ぼすことが指摘されるようになり、人工のダムに頼るよりは、森林を整備して「緑のダム」としての機能を発揮させるべきであるという声が大きくなっている。人工のダムの寿命は数十年、長くても100年と言われている。コンクリートが劣化すれば補修費がかさむ。堆砂が進めばダムとしての機能は失う。堆砂の除去にも多額な費用がかかる。堆砂は海岸線の後退を招いている。機能を失ったダムの存在はかえって洪水の原因となり、崩壊すれば大災害を起こす。いくつかのダムの決壊により、ダムの安全神話も崩壊した。100年後、機能を失ったダムの撤去費用の負担まで考えると、可能な限り、「緑のダム」を活用すべきであり、安易に人工のダムに頼るべきではない。手入れの遅れている森林の整備こそ、まさに急務であると思う（藤原 2003）。

## 八ツ場ダム

八ツ場ダムは、現在、利根川水系の吾妻川中流に建設されている重力コンクリート式のダムである。1947年に襲来したカスリーン台風での洪水被害を踏まえ、1949年利根川改訂改修計画の一環として計画されたものである。1952年に予備調査が開始されたが、吾妻川の酸性水の水質改善の見通しがつかず、一時中断となった。しかし、1957年群馬県による吾妻川総合開発事業の計画に水質改善が位置づけられることとなり、1963年に草津町馬

場・湯川側水所の地点に中和工場が建設され、翌年 1964 年 1 月より湯川、谷沢川に石炭質中和剤の連続投入が開始された。この中和工場および品木ダムの完成により、吾妻川の酸性水質が改善されたため、河川水としての利用が可能となった。そこで 1964 年度より予備調査を再開し、1967 年度にハツ場ダムの調査出張所を開設して実施計画調査を開始し、1970 年度に建設に着手した。一步一步事業を進め、2011 年にはダム完成の予定となっていた（ハツ場ダム工事事務所 HP；ハシフー 2010）。しかしながら、2007 年になって完成が 5 年延期されることになった（読売新聞朝刊 2007 年 12 月 14 日）。さらには 2009 年 9 月に樹立した民主党政権において、鳩山由起夫・総理大臣と前原誠司・国土交通省大臣がハツ場ダムの中止を明言した。しかしその後自民党に再び政権が戻ると、再検証を経て建設が再開された。

ダム本体は、左岸が群馬県吾妻郡長野原町大字川原畑字ハツ場、右岸が群馬県吾妻郡長野原町大字川原湯字金花山に位置する予定で、堤高 131.0m、堤頂長 336.0m、堤堆積 1,600,000m<sup>3</sup>となっている。貯水池は、湛水面積 3.04km<sup>2</sup>、満水位標高 583.0m、総貯水量 107,500,000m<sup>3</sup>、有効貯水量 90,000,000m<sup>3</sup>となっている（国土交通省ハツ場ダムパンフレット；ハシフー 2010）。

## 本研究の目的

本研究では、里山地域の植物種多様性がどうやって形成されるのかを、生育環境の多様性と植物の分布および種子生産・発芽・生長特性の多様性の関係を解析することによって解明する。また、西榛名、榛名山北面（八ツ場ダムを含む）、県立榛名公園といった長期間里山として維持管理されている地域において、植物相調査、環境調査を行って里山の現状を解明する。里山地域は、人の手が加わっているという点において、いわゆる原生の自然とは全く異なる。そのような定期的に人の手が加えられ、維持・管理されている地域は多くの絶滅危惧種や希少種が生育している事が確認されている。しかし、近年里山地域の土地開発や高齢化の問題等によって植物種の生育環境が破壊されたり、減少したりと大きな問題となっている。その状況下で、生物多様性保全という観点から、里山地域における生物多様性の現状解明が必須であり、特に里山地域の多様性の高さの学術的解明、および絶滅危惧種・希少種の増殖方法の確立が急がれる。そこで北榛名地域、県立榛名公園に代表される植物（絶滅危惧種 A、コウリンカ、カセンソウ、キキョウなど）について種子生産・発芽・生長特性の解明を行った。この結果から、減少傾向にある植物種の保護・保全に役立つ。

以上の結果により、里山地域における絶滅危惧種・希少種を含む植物の多様性がどのように形成されるのかを解析し考察する。

なお保護上の理由により、本稿の一部を非公開とし、白紙としている。また盗掘防止の観点から、調査地の詳細な呼称の公表を控え、調査に用いているコードネームを使用し、正確な位置が特定されないように配慮した。

本研究の一部は山里純氏との共同研究である。このため本稿に記載された結果に西榛名地域(仮)に関する物があるが、その詳細については山里氏の卒業論文を参照されたい。

## 調査地概要

### 県立榛名公園（沼ノ原）

県立榛名公園は、昭和天皇皇后両陛下のご成婚を記念し、御料地の払い下げを受けて設置された県立公園である。榛名山頂の榛名湖を含む 395 ヘクタールで、おおむね榛名山外輪山の内側となっている（群馬県 HP）。

榛名山のカルデラ内部の東半分は、沼ノ原と呼ばれ、海拔 1100～1200m の高原に草場が広がり、キスゲ（ユウスゲ）の群生地として知られる（大森 2003）。2002 年の群馬県の調査により、ここに 43 科 154 種 5 変種の維管束植物の生育が確認された（松澤ら 2003）。また 2001 年から 2002 年にかけての冬、沼ノ原の中央を通る道路の左右において、草原に生えるレンゲツツジや、中木から高木となったカシワなどの大規模な伐採が行われた。これは、県立公園の管理事業として、県の環境生活部自然環境課によって実施されたものである。この伐採により遷移が押し戻され、衰退傾向にあった沼ノ原の草原は再び広がることになった。沼ノ原のススキ草原のように二次的に成立した草原は、里山と同様に人為的な圧力がかかると存続が困難である（松澤ら 2003）。

しかし、石川研究室を中心とした近年の研究結果（プレフドルゴル 2013）によると、沼ノ原において、観光客の増加と木道が壊れたことにより、人間が散策道をはずれて植生を踏みつけて、無数の“ケモノ道”ができてしまい、そこでは植生が完全に消失してしまっている、いわゆる「オーバーユース」状態にある部分が各所に見られている。またビッチュウミヤコザサが繁茂して植生を覆ってしまい、高山植物が生育できなくなっている場所が複数ある。これは、当地はササ刈り管理は行われているものの、その効果が十分でなく、自然遷移が進行してしまう、いわゆる「アンダーユース」の状態に全体的にはあるものと考えられる。

2014 年秋既設の沼ノ原遊歩道が高崎市観光協会（未確認）によって大幅に延長され、東西南北約 2 倍の範囲で散策・踏査が可能になった。田村（2016）の調査によると、計 74 種、うち 6 種の絶滅危惧種・希少種の生育が確認された。特に、コウリンカ、オミナエシ、エゾカワラナデシコ、キキョウについては未調査区域において新たな個体が数多く確認された。

### 北榛名地域

## 八ツ場ダム建設地

八ツ場ダム建設地は群馬県吾妻郡長野原町にあり、吾妻渓谷内に位置している。吾妻渓谷は吾妻川により兩岸の溶岩が数万年以上の年月をかけて浸食されてできた名勝地であり、日本でも希有な美しい渓谷である。

## 材料及び方法

### 植物相・絶滅危惧種個体数調査

一般に用いられるコドラート法による植生調査は、限られた面積内の植物相について解明する手段であるので、県立榛名公園のように、植物種多様性の高い地域では見落とす種が多いことが問題としてあげられる。そこで今回は、広範囲にわたる生育植物種をリストアップする植物相調査を行った。調査地を踏査し、開花している植物を中心として、デジタルカメラで撮影し、植物種の一部を採取し、その後植物図鑑を用いて植物種の同定を行った。なお、この調査方法では、踏査により視認可能な種が対象となるため、比較的量の多い植物種をピックアップすることになる。調査日は、県立榛名公園が2016年8月2日、8月15日、9月1日、9月10日で、北榛名地域が2015年5月15日、7月3日であった。

さらに、希少植物種、絶滅危惧種（県立榛名公園：キキョウ、エゾカワラナデシコ、スズサイコ、カセンソウ、コウリンカ、トモエソウ 北榛名地域：絶滅危惧種A）については、調査地内を踏査して、生育あるいは開花している個体数または株数を数えるとともに、ポータブルGPS（GARMIN GPSmapSCx）を用いて生育位置を記録し、マップを作成した。

### 材料植物

群馬県内の里山に多く生育する以下の植物をモデル植物として用いた。

カセンソウ（キク科多年生草本、*Inula salicina* var. *asiatica*）

北海道から本州にかけての日当たりのよい山地の湿地に生育する多年生草本である。



キオン (キク科多年生草本、*Senecio nemorensis*)

北海道から四国にかけての山地の草地や林縁に生育する多年生草本である。

コウリンカ (キク科多年生草本、*Senecio flammeus subsp. glabrifolius*)

本州の山地の低山や草原に生育する多年生草本である。

ハンゴンソウ (キク科多年生草本、*Senecio cannabifolius*)

北海道から本州中部以北の林縁や湿原の周辺に生育する多年生草本である。

オカトラノオ (絶滅危惧種A科多年生草本、*Lysimachia clethroides*)

日本各地の湿地、山道沿いに生育する多年生草本である。

クサレダマ (絶滅危惧種A科多年生草本、*Lysimachia vulgaris var. davurica*)

北海道から九州の湿地の周辺や沼沢地に生育する多年生草本である。

エゾカワラナデシコ (ナデシコ科多年生草本、*Dianthus superbus*)

北海道から本州中部以北の低地から山地の湿地や海岸沿いの草地に生育する多年生草本である。

オオヒナノウスツボ (ゴマノハグサ科多年生草本、*Scrophularia kakudensis*)

北海道から九州の山地に生育する多年生草本である。

ヤマホタルブクロ (キキョウ科多年生草本、*Campanula punctata Lam var. hondensis*)

東北南部から近畿東部にかけての山地の土手に生育する多年生草本である。

サラシナショウマ (キンポウゲ科多年生草本、*Cimicifuga simplex*)

北海道から九州にかけての山地の木陰や草原に生育する多年生草本である。

キキョウ (キキョウ科多年生草本、*Platycodon grandiflorum*)

北海道から九州にかけての山地の草原に生育する多年生草本である。

クルマバナ (シソ科多年生草本、*Clinopodium chinense var. parviflorum*)

北海道から九州の山地の草地や道ばたに生育する多年生草本である。

絶滅危惧種 A

## 種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性解析

### 里山植物種子の発芽条件の解析

県立榛名公園で採取されたカセンソウ (キク科)、キオン (キク科)、コウリンカ (キク科)、ハンゴンソウ (キク科)、オカトラノオ (絶滅危惧種A科)、クサレダマ (絶滅危惧種A科)、エゾカワラナデシコ (ナデシコ科)、オオヒナノウスツボ (ゴマノハグサ科)、ヤマホタルブクロ (キキョウ科)、サラシナショウマ (キンポウゲ科)、キキョウ (キキョウ科)

ウ科)、クルマバナ(シソ科)の種子を用いた。いずれの種子も採取後にシリカゲルを用いて十分に乾燥させた後、 $-80^{\circ}\text{C}$ のディープフリーザー(Panasonic MDF-U384)内で冷凍保存されている。

エゾカワラナデシコ、コウリンカ、カセンソウ、キオン、クサレダマ、ハンゴンソウ、オオヒナノウスボ、ヤマホタルブクロ、サラシナショウマ、キキョウ、クルマバナの種子はいずれも前処理として、 $4^{\circ}\text{C}$ の保冷庫で湿らせたまま2か月間保存する冷湿処理を施すことで種子に冬を経験させる種子と、冷湿処理を施さない種子を用意した。オカトラノオは、先行研究(田村 2016)で冷湿処理の効果が見られなかったため、冷湿処理を施さない種子のみを用意した。

前処理である冷湿処理は、一般に冬を経験させることによって種子の休眠を解除し、発芽を促進させる処理であり、多くの野生植物の種子でその促進効果が確認されている(荒木ほか 2003)。

これらの植物について、石英砂を敷いた直径9cmのプラスチック製シャーレに種子を50個ずつ入れ、蒸留水を約20cc注入した。冷湿処理は、 $4^{\circ}\text{C}$ の薬用保冷庫(サンヨー MEDICOOOL MPR-504(H))で2ヶ月保管することにより施した。前処理の終了後、温度勾配恒温器(TG-100-ADCT NK system)にシャーレを入れて培養した。器内の温度は $30/15^{\circ}\text{C}$ 、 $25/13^{\circ}\text{C}$ 、 $22/10^{\circ}\text{C}$ 、 $17/8^{\circ}\text{C}$ 、 $10/6^{\circ}\text{C}$ (昼14hr、夜10hr、昼間の光量子密度は約 $30\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )の5段階とし、各温度区・各処理区で1植物あたり3シャーレを培養した。冷湿処理を施さない種子は、 $25/13^{\circ}\text{C}$ 温区にて培養した。実験開始後は、約1か月間は毎日、その後は2~3日おきに種子を観察し、肉眼で幼根が確認できたものを発芽種子とみなして数を記録し、取り除いた。また、必要に応じて蒸留水をつぎ足し、常時湿った状態を保ち、約2か月間培養を続けた。発芽実験の主なスケジュールを表2に示す。

### 絶滅危惧種 A の種子の保存方法および前処理が発芽率に及ぼす影響

絶滅危惧種 A の種子(CN 寺沢川右岸、CN 十二が原墓場)は で採取された種子を用いて発芽実験を行った。実験に用いた種子の産年・産地の一覧を表2に示す。

以後絶滅危惧種 A については保全上の理由により、詳細な調査地名を秘匿し、上記のようにコードネーム(CN)で扱うことにする。

絶滅危惧種 A については、2006 年以来、 で分布が確認され、種子採取・発芽実験を行ってきた。しかし発芽率が実験者、採取年・採取場所によってばらばらであ

り、また冷湿処理（人工的に冬を経験させる処理）の必要性も確定されていない。嶋方・田村（2015）の実験によって、ある程度実験方法の「定格化」がなされたが、それでもなお、発芽率が採取年・採取場所によってばらばらになる理由が解明しきれない。そこでこれまで採取してきた種子を用いて、これらの原因を解明する追試実験を行った。

#### アルコールによる種皮の非親水性除去

絶滅危惧種 A の種皮の成分（アルコールに溶けるのでおそらく脂肪である）、および形状（しわ）で水をはじくことによる不透水性がみられる。これを除去するべく実験に用いるすべての絶滅危惧種 A の種子に 0.04%トリトン X-100+次亜塩素酸ナトリウム（0.25%Cl）で洗浄を施してから各実験を行った。

まず、すべての絶滅危惧種 A の種子を各産地・産年ごとに小瓶に入れ、そこに 0.04%トリトン X-100+次亜塩素酸ナトリウム（0.25%Cl）注ぎ蓋をした後、種子が沈むまでよく振った。種子が沈んだことを確認してから 2 分間瓶を立てて置き、2 分経過後メタノールをスポイトである程度取り除き蒸留水を注入し洗浄、その蒸留水をスポイトである程度取り除き、再度同様の洗浄を 2 回、計 3 回の蒸留水による洗浄を施した。3 回目の蒸留水での洗浄が終了した段階で、蒸留水ごと種子を産地・産年の記したろ紙の上にあけ、種子と水を分離した。瓶内に残った種子は蒸留水を用いて同様にろ紙の上にあけた。ある程度水が切れたらトレーに移し、室温 24°Cの実験室内で 2 日間以上乾燥させた。

#### ジベレリン処理による強制休眠解除実験（生存検定）

種皮の非親水性を除去するために、0.04%トリトン X-100 および次亜塩素酸ナトリウム（0.25%Cl）で 5 分間消毒・洗浄し、その後乾燥させた種子を産地・年度別に 50 個ずつ 3 ロット用意し、1mM ジベレリン（GA3）溶液に浸した状態で 1 昼夜 4°Cの薬用保冷庫内に保管した。

ジベレリン処理後、石英砂を敷いたプラスチック製のシャーレに種子を入れ、温度条件を 25/13°Cに設定した温度勾配恒温器内で 1 ヶ月培養した。

#### 冷湿処理による休眠解除実験

0.04%トリトン X-100 および次亜塩素酸ナトリウム（0.25%Cl）で 5 分間消毒・洗浄し、その後乾燥させた種子を産地・年度別に 50 個ずつ 3 ロット用意し、石英砂を敷いたプラスチック製のシャーレに種子を入れ、温度条件を 4°Cに設定した薬用保冷庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を施した。冷湿処理終了後、温度条件を生存検定と同様の 25/13°Cに設定した温度勾配恒温器内で 2 ヶ月培養した。

その後、発芽が確認されなかった種子については、“2 年目の発芽可能性”を明らかにす

るため、1度目の冷湿処理後の培養において発芽しなかった種子に対し、再び4°Cの薬用保冷庫内で2度目の冷湿処理を2ヶ月間実施した後、25/13°Cに設定した温度勾配恒温器内で2ヶ月間培養した。この実験によって得られた最終的な積算発芽率を、最終発芽率として算出した。

実験開始後は、実験開始後1ヶ月間は毎日、その後は1-2日おきに種子を観察し、肉眼で幼根が確認できたものを発芽種子として記録し取り除いた。また、観察日ごとに蒸留水をつぎ足し、常時湿った状態を保った。発芽実験の詳細なスケジュールを表2に示す。

## 異なる環境条件下における栽培実験

### 前栽培

発芽実験で発芽したエゾカワラナデシコ・カセンソウ・サラシナショウマ、クルマバナ実生を寒天培地（1.5%寒天、ハイポネックス1000倍溶液）に移植し、本葉が出始めた段階でゴールデンピートバン（サカタノタネ）に移植し、グロースキャビネット（白熱球を用いて14L/10Dの日長で昼の相対光強度を約380~400  $\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ とし、室温25°Cに調節した）内で約1~2か月栽培した。実生が複数の本葉を有するようになった時点で、一本ずつプラスチック製苗ポット（約95ml容量）に植栽した。用土は黒土を用いた。これらの苗を約2週間群馬大学荒牧キャンパス内の裸地で栽培した。栽培中は毎日水道水を与えて栽培した。

初期サンプリングに際しては、苗のみかけのサイズが大きい順に並べ、これを順番に処理区数+1で等区分して、区分ごとにサイズ分布と個体数がおおむね同等になるようにした。このうち1区分を初期サンプルとして採取し、残りの区分をそれぞれの処理区分に供した。

サンプリングした苗は個体ごとに根・茎・葉に分けて紙袋に入れ、送風低温乾燥機（FC-610 ADVANTEC・DRS620DA ADVANTEC）に入れて1週間80°Cで乾燥させた後、電子式上皿天秤（BJ210S Sartorius）で乾燥重量を測定した。葉面積はカラスキャナー（GT-8700EPSON）を用いて解像度300dpi、16bitグレーでスキャンした後、ImageJ1.41o（NIH）を用いてドット数を計測し、148cm<sup>2</sup>あたり2097980ドットとした。

### 光強度を調整した栽培実験

エゾカワラナデシコ・カセンソウ・サラシナショウマ・クルマバナの実生を用いて、ビッチウミヤコザサなどによる被陰の生長に対する影響を検証するため、寒冷紗を用いて相対光強度を3%、9%、13%、100%（裸地）に調節した4つの光条件区を群馬大学荒牧キャンパス内の裸地に設けた。これらの条件区に苗ポットを配置して栽培し、栽培期間の最終日にすべての個体をサンプリングした。エゾカワラナデシコは34日、カセンソウは31

日、サラシナショウマは36日、クルマバナは49日栽培した。栽培期間中は1日に1回水道水を与えた。肥料は与えていない。

### 気温を調節した栽培実験

群馬大学荒牧キャンパス内にガラス温室（サイズはおよそ 500×200×250cm）を設置し、換気調節を行うことによって、外気温と比べて平均気温が約 2.4℃上昇するように調節した区（+2.4℃区）および+0℃（コントロール）区としては、前述の光強度を調節した栽培実験の際の 100%区内にポット植え苗を入れてそれぞれ光を調節した栽培実験と同じスケジュールで栽培した。栽培中は、ポットの下からポットの下から 5 分の 1 程度の高さまで水を張った受け皿にポットを置き、毎日確認して水量が減った場合は随時水を足した。栽培期間中は 1 日 1 回水道水を与えた。肥料は与えていない。

栽培実験のスケジュールは表 3 に示す。

### 生長解析

生長解析の各パラメータは、以下の式を用いて算出した。

- ・ 相対生長速度（RGR：Relative Growth Rate）：各個体の乾燥重量ベースの生長速度を表す指標である。

$$RGR = (\ln(TW2) - \ln(TW1)) / (T2 - T1)$$

TW1：初期サンプリングにおける個体総乾燥重量（g）

TW2：最終サンプリングにおける個体総乾燥重量（g）

T1：初期サンプリング日

T2：最終サンプリング日

- ・ 純同化率（NAR：Net Assimilation Rate）：各個体の光合成活性を表す指標である。

$$NAR = (TW2 - TW1) (\ln(LA2) - \ln(LA1)) / (LA2 - LA1) / (T2 - T1)$$

TW1：初期サンプリングにおける個体総乾燥重量（g）

TW2：最終サンプリングにおける個体総乾燥重量（g）

LA1：T1における個体の葉面積（m<sup>2</sup>）

LA2：T2における個体の葉面積（m<sup>2</sup>）

T1：初期サンプリング日

T2：最終サンプリング日

- ・ 葉面積比 (LAR: Leaf Area Ratio) : 各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す指標である。

$$\text{LAR} = (\text{LA}/\text{TW1} + \text{LA2}/\text{TW2}) / 2$$

TW1: 初期サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

TW2: 最終サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

LA1: T1 における個体の葉面積 (m<sup>2</sup>)

LA2: T2 における個体の葉面積 (m<sup>2</sup>)

- ・ 比葉面積 (SLA: Specific Leaf Area) : 各個体の葉の厚みを葉面積/重量ベースで表す指標である。

$$\text{SLA} = \text{LA}/\text{TW}$$

LA: 最終サンプリングにおける個体の葉面積 (m<sup>2</sup>)

TW: 最終サンプリングにおける個体の総乾燥重量 (g)

- ・ 器官別重量比: 光合成産物をそれぞれの器官にどのくらい配分したかを示す指標である。

- ・ 葉重比 (LWR: Leaf Weight Ratio)

$$\text{LWR} = \text{LW}/\text{TW}$$

LW: 最終サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)

TW: 最終サンプリングにおける個体の総乾燥重量 (g)

- ・ 茎重比 (SWR: Stem Weight Ratio)

$$\text{SWR} = \text{SW}/\text{TW}$$

SW: 最終サンプリング個体の茎乾燥重量 (g)

TW: 最終サンプリングにおける個体の総乾燥重量 (g)

- ・ 根重比 (RWR: Root Weight Ratio)

$$\text{RWR} = \text{RW}/\text{TW}$$

RW: 最終サンプリングにおける個体の根乾燥重量 (g)

TW: 最終サンプリングにおける個体の総乾燥重量 (g)

それぞれのパラメータ間には、以下のような関係がある。

$$\text{RGR} \cong \text{NAR} \cdot \text{LAR}$$

$$\text{LAR} \cong \text{SLA} \cdot \text{LWR}$$

これらの式によって、処理区間で RGR または LAR の変化があった場合、それがどのパラメータの差異によって引き起こされたかを確認することができる。

## 絶滅危惧種 B の開花調査、挿し木および種子発芽実験

### 群馬大学荒牧キャンパスの気温測定

群馬大学荒牧キャンパスおよびキャンパス内に設置した温暖化実験用ガラス温室内において、対象植物の栽培期間における気温を測定した。温度データロガー (TR52,T&D corporation) をそれぞれ高さ 1.5m 付近に設置し、気温を 30 分おきに連続測定した。なお、センサ先端部分をアルミニウムカバーで覆い、直射日光が当たるのを避けた。

### 統計解析

生長解析結果については、JMP9.0 (SAS Institute Inc.) を用いて分散分析を行った。

## 結果及び考察

### 植物相・絶滅危惧種個体数調査

県立榛名公園

2014 年秋、既設の沼ノ原遊歩道が高崎市観光協会（未確認）によって大幅に延長され、東西方向にも南北方向にも約2倍の範囲で散策・踏査が可能になった。2016年の調査では、前年の調査区域を拡大した調査によって確認された多くの絶滅危惧種・希少種のさらなる詳しい調査を行った。



以上のことから、県立榛名公園では多くの絶滅危惧種・希少種にとって良好な自然環境が維持できていると言える。また、県立榛名公園には多くの植物種が生育しており(表4)、植物種の多様性が非常に高いことが確認された。しかし、県立榛名公園の自然環境は今年度の調査においても全面的に明らかになっているとは言えないので、引き続き調査をしていく必要がある。また、この地域は遊歩道沿いでユウスゲが多く生育しており、観光客も多く訪問する地域である。本年度の調査中でも遊歩道沿いでスケッチや写真を楽しむ方々も多く目撃することができ、生態系サービスの一部である文化的サービスにおいても非常に価値の高い地域であるといえる。このことを踏まえ観光客の動向を見ながら、県立榛名公園の良好な自然環境を維持するために長期的なモニタリングを行っていくことがこれからも必要となってくると考える。

## 北榛名地域

## 八ツ場ダム建設地（群馬県長野原町）

### 発芽の冷湿処理・温度依存性

#### カセンソウ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区で 32.0%、25/13℃区で 21.3%、22/10℃区で 9.3%、17/8℃区で 0.7%、10/6℃区で 3.3%と、30/15℃区で最大となった（表 5、図 9）。小関（2014）が行った同様の発芽実験では、は 10/6℃区で最大の最終発芽率（30%）となり、温度の高い区では最終発芽率が低下するという、本研究と逆の結果となっている。

田村（2016）が行った同様の発芽実験では、最大発芽率は10%程度と低かったが、これは実験準備の際、未熟種子を多く選んでしまったためと考えられた。このため今回の実験では、準備の際に慎重に成熟種子を選んだため、全体に発芽率が高くなったと考えられる。

本種の種子は極めて小さいため、慎重に選別しないと未熟種子を多く選んでしまい、場合によっては整合性のない結果が出てしまうのかもしれない。今後さらに慎重に種子を選別して成熟種子のみを用いた追試を重ねる必要がある。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は50.0%であった（表5、図10）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13℃区で32.0%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果はないと考えられる。小関（2014）、田村（2016）の研究においても、同様の結果が得られている。

#### キオン

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区で0.7%、25/13℃区で0.0%、22/10℃区で0.0%、17/8℃区で0.7%、10/6℃区で1.3%と、極めて低くなった（表5、図11）。また、冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は1.3%と極めて低かった（表5、図12）。

田村（2016）が行った同様の発芽実験では、最大発芽率は20%程度であった。したがって本実験では、実験準備の際、未熟種子を多く選んでしまったため全体に発芽率が極めて低くなったと考えられる。本種の種子は成熟・未成熟が見分けにくく、慎重に選別しないと未熟種子を多く選んでしまい、場合によっては整合性のない結果が出てしまうのかもしれない。今後さらに慎重に種子を選別して成熟種子のみを用いた追試を重ねる必要がある。

#### コウリンカ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区で28.7%、25/13℃区で20.7%、22/10℃区で5.3%、17/8℃区で0.7%、10/6℃区で0.0%と、30/15℃区で最大となった（表5、図13）。福島（2015）が2014年に行った本種の発芽実験では、最終発芽率は30/15℃区および25/13℃区で最大（25.3%）となり、田村（2016）が2015年に行った実験では、25/13℃区で最大（25.3%）と、ほぼ同様の結果が得られている。したがって本種の最適発芽温度は、25/13℃～30/15℃であると思われる。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は42.0%であった（表5、図14）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13℃区で20.6%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果はないばかりか、休眠を促進すると考えられる。小関（2014）、田村（2016）の研究においても、同様の結果が得られている。

以上の結果より本種の本種の最適発芽温度は25/13℃～30/15℃で、低温で二時休眠が誘

導されると考えられる。したがって本種は野外において、土壌シードバンクを形成していると推察される。

#### ハンゴンソウ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°C区で0.0%、25/13°C区で0.7%、22/10°C区で0.7%、17/8°C区で0.0%、10/6°C区で0.0%と極めて低くなった（表5、図15）。また、冷湿処理を施していない種子を25/13°C区で培養したところ、最終発芽率は1.3%と極めて低かった（表5、図12）。

田村（2016）が行った同様の発芽実験では、最大発芽率は60%程度であった。したがって本実験では、実験準備の際、未熟種子を多く選んでしまったため全体に発芽率が極めて低くなったと考えられる。本種の種子は成熟・未成熟が見分けにくく、慎重に選別しないと未熟種子を多く選んでしまい、場合によっては整合性のない結果が出てしまうのかもしれない。今後さらに慎重に種子を選別して成熟種子のみを用いた追試を重ねる必要がある。

#### オカトラノオ

冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は、30/15°C区で44.7%、25/13°C区で47.3%、22/10°C区で36.7%、17/8°C区で17.3%、10/6°C区で0.7%と、25/13°C区で最大となった（表5、図17）。田村（2016）が2015年に行った実験では、25/13°C区で最大と、ほぼ同様の結果が得られている。したがって本種の最適発芽温度は、25/13°Cであると思われる。また本種の種子は冷湿処理によって最終発芽率が1/2程度に低下した（田村2016）。

以上の結果より本種の本種の最適発芽温度は25/13°Cで、30/15°Cの高温または4°Cの低温で二時休眠が誘導されると考えられる。したがって本種は野外において、土壌シードバンクを形成していると推察される。

#### クサレダマ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°C区で67.3%、25/13°C区で45.3%、22/10°C区で38.7%、17/8°C区で14.0%、10/6°C区で0.7%と、30/15°C区で最大となった（表5、図18）。田村（2016）が2015年に行った実験では、30/15°C区で最大（60.0%）と、ほぼ同様の結果が得られている。したがって本種の最適発芽温度は、30/15°Cであると思われる。

冷湿処理を施していない種子を25/13°C区で培養したところ、最終発芽率は10.67%であった（表5、図19）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13°C区で45.3%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果があるといえる。田村（2016）が2015年に行った実験でも、ほぼ同様の結果が得られている。したがって本種は冬を経験することによって種子の休眠が解除され、発芽が促進されるものと考えられる。

本種の種子散布期は秋であり、上記の実験結果のように低温の温度条件下で種子発芽率が低下すること、冬を経験しないと休眠解除されない種子が一定割合含まれることから、野外においては永続的な土壌シードバンクを形成し、種子散布の翌年以降の気温が高い季節に主として発芽すると推察される。

#### エゾカワラナデシコ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区で76.5%、25/13℃区で74.0%、22/10℃区で47.3%、17/8℃区で12.7%、10/6℃区で0.7%と、30/15℃区で最大となった（表5、図20）。田村（2016）が2015年に行った実験では、25/13℃区で最大（72.0%）で、30/15℃区では54.0%となった。福島（2015）が2014年に行った本種の発芽実験でも最終発芽率は25/13℃区で最大となった。したがって本種の最適発芽温度は、25/13℃～30/15℃の範囲にあると思われるが、さらに追試を行って精度を高める必要がある。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は32.00%であった（表5、図21）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13℃区で74.0%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果があるといえる。田村（2016）が2015年に行った実験および福島（2015）が2014年に行った実験でも、ほぼ同様の結果が得られている。したがって本種は冬を経験することによって種子の休眠が解除され、発芽が促進されるものと考えられる。

本種の種子散布期は初秋であり、上記の実験結果のように低温・高温いずれの温度条件下でも種子発芽率が低下すること、冬を経験しないと休眠解除されない種子が一定割合含まれることから、野外においては永続的な土壌シードバンクを形成すると推察される。

#### オオヒナノウスツボ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区で14.7%、25/13℃区で8.0%、22/10℃区で4.7%、17/8℃区で14.0%、10/6℃区で0.7%と、30/15℃区で最大となった（表5、図22）。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は10.67%であった（表5、図23）。

いずれの実験においても、最終発芽率は低くなった。これは、本種の種子は極めて小さいため、慎重に選別しないと未熟種子を多く選んでしまったためかもしれない。今後さらに慎重に種子を選別して成熟種子のみを用いた追試を重ねる必要がある。

#### ヤマホタルブクロ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区で40.7%、25/13℃区で19.3%、22/10℃区で28.7%、17/8℃区で10.0%、10/6℃区で3.3%と、30/15℃区で最大となった（表5、図24）。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は25.33%であった（表5、図25）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13℃区で19.3%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果はないと考えられる。

#### サラシナショウマ

冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃区84.0%、25/13℃区で87.3%、22/10℃区で84.0%、17/8℃区で88.7%、10/6℃区で86.7%と、全ての温度区において高い値となった（表5、図26）。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は44.0%であった（表5、図27）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13℃区で87.3%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果があるといえる。したがって本種は野外において冬を経験することによって種子の休眠が解除され、発芽が促進されるものと考えられる。

本種の種子散布期は秋であり、上記の実験結果のように休眠が解除されると広い温度条件下で高い種子発芽率となること、冬を経験しないと休眠解除されない種子が一定割合含まれることから、野外においては種子散布の翌年の春以降の早い時期から次々と発芽し、永続的な土壌シードバンクは形成しないと推察される。

#### キキョウ

本種の最終発芽率は、30/15℃区67.3%、25/13℃区で62.7%、22/10℃区で62.7%、17/8℃区で64.0%、10/6℃区で21.3%と、10/6℃区以外では比較的高い値となった（表5、図28）。鈴木（1998）はキキョウの園芸品種の種子を用いて発芽実験を行い、15℃以上の温度で高い発芽率となるとした。本実験は野生のキキョウの種子を用いて行ったが、園芸品種と同様の結果となった。

冷湿処理を施していない種子を25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は39.33%であった（表5、図29）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は25/13℃区で62.7%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果があるといえる。したがって本種は野外において冬を経験することによって種子の休眠が解除され、発芽が促進されるものと考えられる。鈴木（1998）がキキョウの園芸品種の種子を用いた発芽実験では、冷湿処理を行わないで高い発芽率を得ているが、これは園芸改良のプロセスの中で休眠性を失ったためと推察される。

本種のような比較的広い温度域で比較的高い最終発芽率となる特性は、福島（2014）が行ったオミナエシの発芽実験結果でも確認されている。いずれも秋の七草である両種であるが、群馬県においては榛名公園など標高の高い草原にのみ生育している。その理由を発芽特性から推察すると、標高が高く温度が低い場所で良く発芽・生長するからではなく、本来は幅広い気候帯で発芽・生育していたものが、低地里山地域ではアンダーユース、オーバーユースの進行に大きな影響を受けて衰退・消滅し、結果的に標高の高い生育地のみ残ったためであると推察される。

#### クルマバナ

本種の最終発芽率は、30/15℃区 56.7%、25/13℃区で 64.0%、22/10℃区で 67.3%、17/8℃区で 70.0%、10/6℃区で 14.7%と、10/6℃区以外では比較的高い値となった（表 5、図 30）。

冷湿処理を施していない種子を 25/13℃区で培養したところ、最終発芽率は 71.3%であった（表 5、図 31）。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は 25/13℃区で 64.0%であったことから、冷湿処理は本種の種子発芽を促進する効果はないと考えられる。

本種は現在、山地の陽当たりの良いところに主として生育するが、種子発芽に対して冷湿処理の効果がなく、また比較的広い温度域で比較的高い最終発芽率となる特性は、上記のオミナエシ、キキョウと同様である。本来は幅広い気候帯で発芽・生育していたものが、何らかの原因で低地の生育地を失い、結果的に標高の高い生育地のみ残ったのかもしれない。

### 絶滅危惧種 A

#### ジベレリン処理による強制休眠解除（生存検定）

2014 年に採取された種子は CN 寺沢川右岸産・CN 十二ヶ原墓場産共に発芽率が低く、田村（2016）における同様の実験でも発芽率が他の年度と比較して低かったことから 2014 年度に採取された種子は天候不順で種子が未熟になってしまったものが多かったと推察できる（表 6、図 32、山里氏卒業論文も参照のこと）。

一方、2012 年 CN 十二ヶ原墓場産、2015 年 CN 十二ヶ原墓場産、2015 年 CN 寺沢川右岸産種子の生存検定による発芽率は全て 90%を越えており、発芽能力があることが確認された（表 6）。2012 年 CN 十二ヶ原墓場産種子は最初の 1 年間冷蔵保存され、その後冷凍保存されたものであるが、田村（2016）によると冷蔵保存 2 年以内の種子であれば発芽能力は失われないとされているのでその結果が再確認された。また-80℃の冷凍保存では 3 年間まで発芽能力を失わないことが明らかになった。

#### 冷湿処理による休眠解除

生存検定と同様の絶滅危惧種 A の種子を用いて実験を行った。1 回目の冷湿処理・培養後の最終発芽率（最終発芽率 A）では 22.0%（2012 年 CN 十二ヶ原墓場産）～0%（2014 年 CN 寺沢川右岸産、2015 年 CN 寺沢川右岸産）となった（表 7、図 33、山里氏卒業論文も参照のこと）。引き続いて行われた 2 回目の冷湿処理・培養後の最終発芽率（最終発芽率 B）では、わずかの差であるものもあるが全ての種子で最終発芽率 A よりも発芽率が上昇した。特に 2012 年 CN 十二ヶ原墓場産では 14.6%最終発芽率が上昇し、2015 年 CN 十二ヶ原墓場産では 10.6%最終発芽率が上昇したため効果が見られたと言える。冷湿処理 1 回目で発芽しなかった 2014 年 CN 寺沢川右岸産、2015 年 CN 寺沢川右岸産でも 2 回目の冷湿処理終了後にはわずかながら発芽が見られた。前年度の同様の実験では 2 回目の冷湿処理が本種の発芽を促進するという結果であったが、本年度も同様の結果が得られた。

本種の生存検定の結果と比較すると、どの産地産年でも生存検定の結果よりも有意に低い値となった（表 6、表 7）。すなわち、本種の発芽には冷湿処理の他にも休眠を解除する何らかの生理的な要因があると考えられる。

以上の結果から、絶滅危惧種 A の種子の多くは冷湿処理のみでは解除できない生理的な休眠状態にあると思われる。しかし、それ以外の種子では野外で冬期に冷湿処理と同様の環境下によって種子生産の翌々年も発芽が促進されると考えられる。田村（2016）の結果から絶滅危惧種 A 種子の冷蔵可能期間が 2 年未満とされているので野外でも永続的な土壌シードバンクを築くのではなく、2 年未満の短期的な土壌シードバンクを築いていると推察される。その短期的な土壌シードバンクで 2 回目の冬を経験したときに比較的発芽しやすくなるが、発芽率は依然低いため未発芽のまま死滅する種子も多いと考えられる。この場合、毎年種子生産をし、発芽を維持していくことが重要になるため、絶滅危惧種 A において種子生産・生育をしやすい環境を維持していくことが必要である。

2014 年産 CN 十二ヶ原墓場産および CN 寺沢川右岸産の種子は、ジベレリン処理による生残検定でも 2 回の冷湿処理でも、発芽率が他の産年・産地のものより非常に低かった。これは 2014 年に当地域においては気候条件などが不適で、稔実の悪い種子が多く生産されたためではないかと推察される。西榛名地域に自生する絶滅危惧種 A についても、同様の結果が得られている（山里氏の卒業論文参照）。

### 異なる相対光量子密度下で栽培した植物の生長解析

発芽実験で得た実生から苗を作出できたカセンソウ、クルマバナ、エゾカワラナデシコ、サラシナショウマの 4 種で生長解析を行った。栽培時の圃場の気温を図 34 に示す。クルマバナの栽培は、苗の作出がうまくいかなかったことから 11 月に開始となったため、10℃以下の気温にさらされることも多くあった。カセンソウ、クルマバナ、エゾカワラナデシコ、サラシナショウマの栽培時の気温は、おおむね 15℃～30℃の範囲内であった。



## カセンソウ

本種の個体あたりの乾燥重量は、初期サンプリング時に約 0.029g であったが、2 週間後の最終サンプリング時には、約 0.032g (3%区) ~ 約 0.178g (100%区) となった (表 8)。

相対生長速度 (RGR、 $\text{g g}^{-1} \text{day}^{-1}$ ) は、100%区で約 0.064、13%区で約 0.030、9%区で約 0.023、3%区で約 -0.004 と、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区では全く生長しなかった (表 9、図 35)。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ) は、100%区で約 4.171、13%区で約 1.031、9%区で約 0.776、3%区で約 -0.051 と相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区ではほぼゼロになった (表 9、図 35)。各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す葉面積比 (LAR、 $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ) は、100%区で約 0.020 と最も低くなり、他の区では約 0.031~0.033 とほぼ同等となった (表 9、図 35)。以上の結果から、本種の RGR が光条件の暗い区ほど低くなった主要因は、光合成活性 (NAR) の低下であると考えられる。

各個体の葉の厚みを葉面積/重量ベースで表す比葉面積 (SLA、 $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ) は、100%区で約 0.040、13%区で約 0.082、9%区で約 0.095、3%区で約 0.119 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 9、図 35)。器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 27%~約 39%、茎の重量比である SWR は約 8%~約 21%、根の重量比である RWR は約 41%~約 63%となった

これらの LAR、SLA の処理による違いは、光が不足して光合成活性が低下した場合に、葉の厚さを薄くして、同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、暗い環境下では LAR の増加が完全に NAR の低下を補えずに、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

本種は榛名公園沼ノ原の草地の至る所に生育することが確認されたが、林床や草丈の高いススキ草原およびビッチュウミヤコザサの群落では生育せず、もっぱら草丈の低い草原や遊歩道沿いに生育していた (図 2)。これは、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなることが原因の一つであると考えられる。

## エゾカワラナデシコ

本種の個体あたりの乾燥重量は、初期サンプリング時に約 0.079g であったが、2 週間後の最終サンプリング時には、約 0.064g (3%区) ~ 約 0.152g (100%区) となった (表 8)。

相対生長速度 (RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$ ) は、100%区で約 0.030、13%区で約 0.017、9%区で約

-0.010、3%区で約-0.010 と、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、9%区および3%区では全く生長しなかった（表 9、図 36）。

すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。田村（2016）が行った同様の栽培実験では、本種は 9%以上の相対光量子密度でよく生長しており、本研究結果はこれと整合性のある結果である。今回は 9%区でも生長しないという結果になった原因の一つとして、サンプル数が少なかったことが考えられる。今後さらに追試を繰り返して、結果の精度を高める必要がある。

光合成活性を表す純同化率（NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ）は、100%区で約 2.099、13%区で約 0.717 と相対光量子密度が高い区ほど高くなり、9%区と 3%区ではほぼゼロとなった（表 9、図 37）。各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す葉面積比（LAR、 $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ）は、100%区で約 0.017 と、13%区で約 0.024 と、9%区で約 0.028 と、3%区で約 0.027 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった（表 9、図 36）。以上の結果から、本種の RGR が光条件の暗い区ほど低くなった主な要因は、光合成活性（NAR）の低下であると考えられる。

各個体の葉の厚みを葉面積／重量ベースで表す比葉面積（SLA、 $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ）は、100%が約 0.024、13%区で約 0.048、9%区で約 0.071、3%区で約 0.051 と、9%区が最も高いがおおむね相対光量子密度の低い区ほど高くなった。器官別重量比（WR）のうち葉の重量比である LWR は約 39%～約 55%、茎の重量比である SWR は約 24%～約 29%、根の重量比である RWR は約 21%～約 31%となった（表 9、図 36）。

これらの LAR、SLA の処理による違いは、光が不足して光合成活性が低下した場合に、葉の厚さを薄くして、同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、暗い環境下では LAR の増加が完全に NAR の低下を補えずに、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

以上から、本種は極端な被陰によって生長が著しく悪くなるが、ある程度他の植物に被陰されても、生長可能であると考えられる。実際、2015 年の野外調査で確認された本種の大きな個体群のひとつは、山裾の林縁に生育しており、ここは山体とミズナラ林により被陰されやや暗い状態であった（田村 2016）。

沼ノ原ではビッチュウミヤコザサが大繁茂し優占している部分が広くあり、今後さらにササが拡大すると、本種の生育に大きく影響を及ぼす可能性がある。当地は定期的にササ刈りが行われているようであり、本種は比較的刈り取りがされている地点で多く発見された。よって、今後もある程度ササ刈りを行って継続して管理をしていくことが必要である。

サラシナショウマ

本種の個体あたりの乾燥重量は、初期サンプリング時に約 0.063g であったが、2 週間後の最終サンプリング時には、約 0.055g (3%区) ~ 約 0.236g (100%区) となった (表 8)。

相対生長速度 (RGR、 $gg^{-1}day^{-1}$ ) は、100%区で約 0.047、13%区で約 0.022、9%区で約 0.014、3%区で約 0.000 と、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区では全く生長しなかった (表 9、図 37)。本種は明るい所では良く生長し、暗い所では生長が悪くなるが、9%までなら生長できると考えられる。これは、本種が主に里山の落葉樹林の林縁といった中程度以上の明るさの環境下で生育していることの一理由の一つであると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR、 $gm^{-2}day^{-1}$ ) は、100%区で約 2.899、13%区で約 1.051、9%区で約 0.500、3%区で約 0.001 と相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区ではほぼゼロとなった (表 9、図 37)。各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す葉面積比 (LAR、 $m^2g^{-1}$ ) は、100%区で約 0.021、13%区で約 0.030、9%区で約 0.037、3%区で約 0.037 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 9、図 37)。以上の結果から、本種の RGR が光条件の暗い区ほど低くなった主な要因は、光合成活性 (NAR) の低下であると考えられる。

各個体の葉の厚みを葉面積/重量ベースで表す比葉面積 (SLA、 $m^2g^{-1}$ ) は、100%が約 0.025、13%区で約 0.059、9%区で約 0.061、3%区で約 0.083 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった。器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 39% ~ 約 50%、茎の重量比である SWR は約 19% ~ 約 28%、根の重量比である RWR は約 23% ~ 約 40% となった (表 9、図 37)。

これらの LAR、SLA の処理による違いは、光が不足して光合成活性が低下した場合に、葉の厚さを薄くして、同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、極端に暗い環境下では LAR の増加が完全に NAR の低下を補えずに、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

以上から、本種は極端な被陰によって生長が著しく悪くなるが、ある程度他の植物に被陰されても、生長可能であると考えられる。このことは本種が主に里山の落葉樹林の林縁といった中程度以上の明るさの環境下で生育していることの一理由の一つであると考えられるが、本種が裸地には生育していないことは説明できない。

#### クルマバナ

本種の個体あたりの乾燥重量は、初期サンプリング時に約 0.282g であったが、2 週間後の最終サンプリング時には、約 0.219g (3%区) ~ 約 0.415g (9%区) となった (表 8)。

相対生長速度 (RGR、 $gg^{-1}day^{-1}$ ) は、100%区で約 0.004、13%区で約 0.005、9%区で約 0.005、3%区で約 -0.004 と、3%区で全く生長しなかった以外はほぼ同じ数値になったが、どの温度区でも低い値となっており、実験期間中の急激な外気温の低下や季節外れの降雪

が少なからず影響を及ぼしたと考えられる（表 9、図 34、図 38）。本種は明るい所では良く生長、極端に暗い所では生長が悪くなるが、9%までなら生長できると考えられる。

栽培時期が遅くなったため、一定の結論がつけられる十分な実験になったとは言い難く、追試を行うことが不可欠である。

### 異なる温度条件下で栽培した植物の生長解析

栽培時のガラス温室内の気温を図 34 に示す。植物の栽培時の気温は、おおむね 25°C～40°C の範囲内にあり、平均で約 2.4°C、外気温よりも高かった。

生長解析結果は、表9および、図39～42に示す。

相対生長速度 (RGR) がコントロール区に比べて 2.4°C 上昇区で有意に高くなった ( $p < 0.01$ ) 種はクルマバナであるが、前述の様に栽培時期が遅く外気温が非常に低くなったため、断定はできない。カセンソウ、サラシナショウマにおいては逆に有意に低下した ( $p < 0.01$ )。エゾカワラナデシコでは RGR に処理区間で有意な差は認められなかった。

カセンソウ、サラシナショウマの純同化率 (NAR) はコントロール区に比べて 2.4°C 上昇区で有意に低くなり ( $p < 0.01$ )、葉面積比 (LAR) はカセンソウにおいて有意に高くなり ( $p < 0.01$ )、サラシナショウマでは有意な差はなかったため、光合成活性の低下が RGR 低下の主要因であると考えられる。

エゾカワラナデシコにおいては NAR および LAR も処理区間で有意な差はなかった。この理由として、エゾカワラナデシコは原種であるカワラナデシコの性質を受け継いでいるからであると考えられる。カワラナデシコは里地の植物であり、暑さに耐性を持っているためエゾカワラナデシコは他の 2 種とは異なる結果になったと推察される。

これらの結果の詳細な考察は、須永 (2017) に委ねる。

## 結論

本研究により、県立榛名公園では、コウリンカ、キキョウ、エゾカワラナデシコ、カセンソウ、スズサイコなどの多くの絶滅危惧種・希少種および里山の植物が確認され、の生育植物を確認することができた。コウリンカは計4日間の大規模調査によって

確認することができ、また、カセンソウ、エゾカワラナデシコ、キキョウも前年よりも多くの個体数を確認した。スズサイコは、前年まで確認されていた生育地に加え、新たな生育地を県立榛名公園内で確認し、引き続き調査を実施して生育地をより詳しく明らかにしていく必要がある。以上の結果から、県立榛名公園が多くの植物種において生育できる良好な環境であることが再確認された。

北榛名地域における

八ツ場ダムでは、

発芽実験結果ではキキョウの生育環境が山野であり、平野には生育できないとされているが、発芽実験結果では10/6℃区を除く広い温度帯で高い発芽率を記録した。このことにより、キキョウの生育環境には温度よりも周辺でアンダーユース、オーバーユースが無いことが重要であると推察できた。そして、クマバナは最も発芽率が良かったのが17/8℃区の70.00%であり、そこから温度が高くなるにつれ発芽率が少しずつ減少していく結果になった。このことから、少し涼しいと感じる気温が生育しやすいと考えられ地球温暖化が進んでしまった場合の個体数の減少が起こることが考えられる。一方、冷湿処理の有効性についてはサラシナショウマ、エゾカワラナデシコ、クサレダマの3種で確認され冬を越すことで休眠解除されると考えられる。

絶滅危惧種 A の種子を用いた生存検定では、2014年に採取された種子は CN 寺沢川右岸・CN 十二ヶ原墓場共に発芽率が低く、天候不順で種子が未熟になってしまったものが多かったと推察できた。また、2012年度産 CN 十二ヶ原墓場は冷凍保存期間が3年目を迎えているものの、発芽は確認できたので-80℃の冷凍保存は3年間まで発芽能力を失わないことが明らかになった。

絶滅危惧種 A の冷湿処理による休眠解除は、いずれの種子でも2回目の冷湿処理を施した方が発芽率は上昇し、2年目の冬の経験の必要性が見られた。しかし、どの種子も生存

検定の発芽率よりも有意に低く、冷湿処理では解除できない生理的な深い休眠にあるものが多いと考えられる。冷湿処理の結果からでは、絶滅危惧種 A は冷蔵可能期間が 2 年未満であることを考慮すると、短期的な土壌シードバンクを築き、その中でも種子が生存できる限界の 2 年目の冬を越えた後で発芽が最もやすくなることが判明した。

異なる相対光量子密度下で栽培した植物の生長解析はカセンソウ、サラシナショウマ、クルマバナで 3%区から著しく生長が阻害されるため、激しく被陰された場合に生長ができなくなる可能性がある。エゾカワラナデシコでは 9%区からこの傾向が見られたため、他の 3 種よりも光条件に左右されやすいと考えられる。このため、管理団体によるササ刈りが定期的に行われ、管理されていかなければ光条件の悪さから個体数が減少してしまう可能性がある。また、クルマバナについては栽培時期に季節外れの気候を受けたため全温度区共に生長が少なく、引き続き実験を行い解明していく必要がある。

私たちの生活は自然からの恩恵なしでは成り立たない世界になっている。生態系サービスをさまざまな形で享受して生活し、その上で経済が成り立っていることを忘れてはならない。しかし、現状では IT や経済活動で生活が成り立つと思われがちな世の中になっている。また、人間活動によって生態系の枠組みは壊されつつあり、環境問題や地球温暖化が引き起こされている。この状況のなかで絶滅危惧種・希少種の保護は多様な生態系を守り、私たちが生態系サービスを享受し自然とともに生活していくことに繋がっていくので、関わりが深いものなのである。多様な生態系を守っていくには私たち環境問題に取り組む人々だけではなし得ない。社会全体を巻き込み、この問題に取り組んでいく必要がある。

## 謝辞

本研究は、群馬大学社会情報学部・情報社会科学科・石川真一教授のご指導の下、環境科学研究室において行われた研究であります。

本研究を進めるにあたり多くの方々にお世話になりました。石川真一教授には最後まで熱心なご指導・ご助言を賜りました。

北榛名地域での調査におきましては、群馬県自然環境調査研究会・大平満氏にご協力いただきました。

県立榛名公園での調査では、早稲田大学人間科学部佐々木綾花氏にご協力いただきました。

八ッ場ダムでの調査では、国土交通省八ッ場ダム工事事務所調査設計課設計係長・高橋則知および沼田麻未氏にご協力いただきました。また絶滅危惧種 B の種子の培養および挿し木に際しては、有限会社はなせきぐち・関口雄二氏に技術指導等のご協力をいただきました。

また、同時期に卒業論文に取り組んだ山里純氏、佐藤颯哉氏、須永勇樹氏、三輪晏史氏をはじめとする研究室の皆様のご協力なしには完成し得なかったものであります。心から感謝し、厚く御礼申し上げます。

## 引用文献・引用 web ページ

- 天野礼子 (2001) ダムと日本 岩波新書 58 65 66.
- 荒川唯 (2012) 里山地域における希少植物種の繁殖に関する生態学的基礎研究 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 石井実 (2005) 生態学から見た里山の自然と保護 講談社 25 26.
- 石井実 (2005) 朝倉書店 14.
- 犬井正 (2002) 里山と人の履歴 新思索社 15.
- 大住克博・深町加津枝 (2001) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 4.
- 大野晃 (2005) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 63.
- 大森威宏 (2003) 1. 地域の概要百名山 良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 (X X I X) . 127.
- 小関よう子 (2014) 里山地域に生育する希少植物種の分布と発芽・生長特性に関する生態学的モニタリング研究 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 木原浩 (2004) ヤマケイポケットガイド山の花 山と溪谷社 140.
- 金子信博・茂岡忠義 (2007) 生態系サービスと人類の未来 オーム社 59-60 120 127.
- 環境省 (2001) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 4.
- 久慈力 (2001) あなたは八ッ場ダムの水を飲めますか?-史上最悪のダムは中止を! マルジュ社 141 142 153 156 159 .
- 蔵治光一郎・保屋野初子 (2004) 緑のダム-森林・河川・水循環・防災 築地書館 はじめに iii v vii 213.
- 栗原良輔 (1967) 明日の利根川-ゆたかな清流への提言 農文協 68.
- 恒川篤史 (2001) 里山の環境学 東京大学出版会 49.
- 所三男 (1980) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 13.
- 佐藤永・嶋田正和・竹門康弘・仲岡雅裕・村岡裕由 (2012) 生態学入門第二版 東京化学同人 229 230 239-242.
- 澤口宏 (2000) 利根川東遷-人によって作られた利根川の謎を探る 上毛新聞社 2 3.
- JSSA-西日本クラスター (2010) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 63-64.
- 四手井綱英 (1974) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 13.
- 嶋田正和 (2012) 生態学入門第二版 東京化学同人 11.
- 柴田英昭・戸田浩人・福島慶太郎・谷尾陽一・吉田俊也 (2009) 日本における森林生態系の物質循環と森林施業との関わり 日本森林学会誌 91:408-420.
- 鈴木貢次郎 (1998) 3種の草花植物の種子発芽特性 日緑工誌 23(3):131~141.
- 生物多様性政策研究会 (2002) 生物多様性キーワード事典 中央法規 42-45.



- 武内和彦 (2001) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 14.
- 武内和彦 (2001) 里山の環境学 東京大学出版会 2.
- 田村一志 (2016) 榛名山北部の里山地域に生育する稀少植物種の保全方法に関する生態学的研究 群馬大学社会情報学部卒業論文。
- 豊田高司 (2006) にっぽんダム物語 山海堂 177.
- 中村浩二・嘉田良平 (2010) 里山復権-能登からの発信 創森社 26 27 28.
- 服部保 (2005) 生態学からみた里山の自然と保護 講談社サイエンティフィック 159 160 161 163 164.
- 林弥栄 (2002) 山溪カラー名鑑日本の野草 山と溪谷社 34 170 324 358 438.
- バヤンサン プレフドルゴル (2013) 群馬県の亜高山帯における自然観光資源としての植物の保全のための環境科学的研究. 群馬大学大学院修士課程社会情報学研究科修士論文.
- 原科幸彦・横田勇 (2000) 環境アセスメント基本用語辞典 オーム社 1 2.
- 福島彩 (2015) 里山地域に生育する希少植物種の保全方法に関する生態学的研究 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 藤原信 (2003) なぜダムはいらないのか 緑風出版 79 113 114.
- ペレンゲル ハシフー (2010) ダム建設による地域の環境変化に関する環境科学的研究. 群馬大学大学院修士課程社会情報学研究科修士論文.
- 星野義延 (2005) 生態学からみた里やまの自然と保護 講談社サイエンティフィック 178 183.
- 牧野富太郎 (2000) 新訂牧野新日本植物図鑑 北隆館 155.
- 松澤篤郎・木暮市郎・青木雅夫・大森威宏・増田和明 (2003) (2) 植生. 2. 草地・草原地域. 榛名山. 良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 (XXIX) . 132.
- Millennium Ecosystem Assessment (2003) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 24. 195
- 矢原徹一 (2003) 絶滅危惧植物図鑑-レッドデータプランツ 山と溪谷社 3.
- 山崎不二夫 (1986) 明日の利根川-ゆたかな清流への提言 農文協 64 65 66 69.
- 湯本貴和 (2012) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし 朝倉書店 73.
- 吉岡良祐 (2008) ダム建設に伴う地域生態系の変化に関する基礎研究 群馬大学社会情報学部卒業論文 .

渡辺綱男（2010） 生物多様性 COP10 へ:特集 1 愛知・名古屋 COP10 に向けて 朝日新聞出版 40 41.

群馬県 HP-榛名公園について <https://www.pref.gunma.jp/01/e2310244.html>

群馬県-植物レッドリスト <http://www.pref.gunma.jp/04/e2300266.html>

NPO 法人八ツ場あしたの会 <http://yamba-net.org/problem/wazawai/hakai/>

環境影響評価情報支援ネットワーク 環境アセスメント制度のあらまし

<http://www.env.go.jp/policy/assess/1-3outline/img/06.pdf>

写真・表・図



写真1 榛名公園沼ノ原の調査地  
上：ゆうすげの道側（2016.8.4撮影）  
下：榛名富士側（2016.8.4撮影）





写真 2 榛名公園沼ノ原にて確認された絶滅危惧種・希少種

上：エゾカワラナデシコ（2016.8.4 撮影）

下：キキョウ（2016.8.4 撮影）





写真3 榛名公園沼ノ原で確認された絶滅危惧種・希少種

上：コウリンカ（2016.8.4撮影）

下：ヤマホタルブクロ（2016.8.4撮影）

写真 4 ハツ場ダム建設地（群馬県長野原町）の絶滅危惧種 B

写真 5 北榛名地域に生育する絶滅危惧種 A

表 1 各調査地の調査日と調査内容一覧

日付	調査地	調査内容
2016/5/15	北榛名	
2016/5/25	ハッ場ダム建設地	
2016/7/3	北榛名	
2016/7/21	ハッ場ダム建設地	
2016/8/2	県立榛名公園	希少植物種、絶滅危惧種生育地の植物相調査
2016/8/15	県立榛名公園	希少植物種、絶滅危惧種生育地の植物相調査
2016/8/23	ハッ場ダム建設地	
2016/9/1	県立榛名公園	希少植物種、絶滅危惧種生育地の植物相調査
2016/9/10	県立榛名公園	植物相調査、種子採取
2016/9/23	県立榛名公園	種子採取
2016/9/26	県立榛名公園	種子採取
2016/10/11	県立榛名公園	種子採取



表2 材料植物の種子の産地・採取年および発芽実験スケジュール一覧

科名	和名	生活型	採取日時	採取場所	冷湿処理	実験開始日	実験終了日	培養期間	実験温度区分					シャーレ数
									10/6℃	17/8℃	22/10℃	25/13℃	30/15℃	
キク科	カセンソウ	多年草	2015/10/15	榛名公園沼ノ原	なし	2016/7/1	2016/8/30	61日	○	○	○	○	○	3
					2ヶ月	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
キク科	キオン	多年草	2014/9/17	榛名公園沼ノ原	なし	2016/7/1	2016/8/31	62日	○	○	○	○	○	3
					2ヶ月	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
キク科	コウリンカ	多年草	2015/10/15	榛名公園沼ノ原	なし	2016/7/1	2016/8/30	61日	○	○	○	○	○	3
					2ヶ月	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
キク科	ハンゴンソウ	多年草	2015/9/28	榛名公園沼ノ原	なし	2016/7/1	2016/8/30	61日	○	○	○	○	○	3
					2ヶ月	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
サクラソウ科	オオトラノオ	多年草	2014/9/17	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/19	2016/7/16	59日	○	○	○	○	○	3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/31	62日	○	○	○	○	○	3
サクラソウ科	クサレダマ	多年草	2014/9/17	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/31	62日	○	○	○	○	○	3
ナデシコ科	エゾカワラナデシコ	多年草	2015/9/28	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/31	62日	○	○	○	○	○	3
ゴマノハグサ科	オオヒナノウスツボ	多年草	2015/9/19	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/30	61日	○	○	○	○	○	3
キキョウ科	ヤマホタルブクロ	多年草	2015/10/15	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/31	62日	○	○	○	○	○	3
キンポウゲ科	サラシナショウマ	多年草	2015/9/28	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/29	60日	○	○	○	○	○	3
キキョウ科	キキョウ	多年草	2015/9/19,28	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/30	61日	○	○	○	○	○	3
シソ科	クルマバナ	多年草	2015/9/19	榛名公園沼ノ原	なし	2016/5/18	2016/7/17	61日				○		3
					2ヶ月	2016/7/1	2016/8/30	61日	○	○	○	○	○	3

注：絶滅危惧種 A については山里氏卒業論文参照のこと

表 3 材料植物の栽培実験スケジュール一覧

和名	生活型	植え替え日	実験開始日	サンプリング日	実験光条件区分				
					100%	13%	9%	3%	温室(+2℃)
カセンソウ	多年草	2016/8/17	2016/8/17	初期 2016/9/5					
				最終 2016/10/6	○	○	○	○	○
エゾカワラナデシコ	多年草	2016/9/7	2016/9/7	初期 2016/9/15					
				最終 2016/10/12	○	○	○	○	○
サラシナショウマ	多年草	2016/9/14	2016/9/14	初期 2016/9/21					
				最終 2016/10/20	○	○	○	○	○
クルマバナ	多年草	2016/10/4	2016/10/4	初期 2016/10/20					
				最終 2016/11/22	○	○	○	○	○

表4 県立榛名公園において生育が確認された植物とその生態学的特徴

2016年8月1日、8月15日、9月10日における調査で確認された植物種である。

科名	種名	学名	生活型	花期	分布	生息地	確認日	備考・特徴
アカネ科	カワラマツバ	<i>Galium verum</i> Linn. var. <i>asiatica</i> Nakai f. <i>nikkeense</i>	多年草	6~8月	北~九、朝鮮	山地の草原、河原	8月4日	
アカバナ科	アカバナ	<i>Epilobium pyrricholophum</i>	多年草	7~9月	北、本、四、九	山麓や野原の水湿地	8月4日	
アブラナ科	ヤマハタゴサ	<i>Arabis hirsuta</i>	越年草	6~7月	北~九州	山野の日当たりの良いところ	8月4日	
アヤメ科	ハナシヨウブ	<i>Iris ensata</i> var. <i>pontanea</i>	多年草	6~7月	北、本、四、九、朝鮮、中国	水辺、湿原、湿った草原	8月4日	
イネ科	ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i>	多年草	7~8月	北~沖縄	日当たりの良い丘陵地、草原	9月10日	
イラクサ科	ウサコアカソ	<i>Boehmeria gracilis</i>	多年草	7~9月	本~九	やや湿った山野	8月4日	
オトギリシヤ科	オトギリシヤ	<i>Hypericum erectum</i>	多年草	7~8月	北~九、朝鮮、中国、サハリン	低山から亜高山の日当たりの良い草地	8月4日、15日	
オトギリシヤ科	トモエンソ	<i>Hypericum ascyron</i>	多年草	7~9月	北、本、四、九	山地の日当たりのよい草地	8月4日	
オミナエソ科	オミナエソ	<i>Patrinia scabiosaeifolia</i>	多年草	8~10月	北、本、四、九、中国、東シベリア	日の当たる草地	8月4日	群馬県：絶滅危惧Ⅰ類
ガガイモ科	スズサイコ	<i>Cynanchum paniculatum</i>	多年草	6~7月	北~九州	山地、平地の草原	8月4日	国：準絶滅危惧、群馬県：絶滅危惧ⅠB類
キキョウ科	キキョウ	<i>Polygonum grandiflorum</i>	多年草	7~8月	北~九、朝鮮、中国、東シベリア	山地の草原	8月4日	国：群馬県：絶滅危惧Ⅰ類
キキョウ科	ツリガネニンジン	<i>Abenophora triphylla</i> var. <i>japonica</i>	多年草	8~10月	北方領土、北~九、サハリン、中国	山野、土手	8月4日	
キキョウ科	ヤマホタルブクロ	<i>Campanula punctata</i> Lam. var. <i>hondensis</i>	多年草	6~8月	東北南部~近畿中部	山地の土手	8月4日	日本固有種
キク科	アキノキリンソウ	<i>Solidago virgaurea</i> var. <i>asiatica</i>	多年草	8~11月	北~九、朝鮮	日の当たる山地、丘陵部	9月10日	
キク科	オオハシゴソウ	<i>Rudbeckia laciniata</i>	多年草	7~10月	日本各地、中国	路傍、荒地、畑地、湿地、河川敷	8月4日	特定外来生物
キク科	カゼソウ	<i>Inula salicina</i> var. <i>asiatica</i>	多年草	7~9月	北~本州	日当たりの良い山地の湿地	8月4日	
キク科	コウブリン	<i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>japonica</i>	越年草	5~10月	北~九、サハリン、中国	低地~山地の草地、道ばた	9月10日	
キク科	コウリンカ	<i>Senecio flammescens</i> subsp. <i>glaberrimus</i>	多年草	7~9月	本州	山地、低山、草原	8月4日	国：群馬県：絶滅危惧Ⅰ類
キク科	シラヤマギク	<i>Aster scaber</i>	多年草	8~10月	北~九、朝鮮、中国	雑木林、道ばた	9月26日	
キク科	ニガナ	<i>Iberis dentata</i>	多年草	5~7月	北~沖縄、朝鮮、中国	道ばた、山地	8月4日	
キク科	コゴケソウ	<i>Achillea alpina</i>	多年草	7~9月	北~本州、朝鮮、中国、ロシア極東、北アメリカ	山地の草原	8月4日	日本固有種
キク科	ノハラアザミ	<i>Cirsium oligophyllum</i>	多年草	8~10月	北~本州中部	山地の草原、日当たりのよい斜面	8月4日、15日	
キク科	ヒヨドリバナ	<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>oppositifolium</i>	多年草	8~10月	日本各地	草原、溪流沿いの日当たりの良い場所	8月15日	
キク科	ミヤマアザミ	<i>Saussurea maximowiczii</i>	多年草	9~10月	本~九、朝鮮、中国、ウズベキスタン	山地の草原、湿地	8月4日	
キク科	ヤマニガナ	<i>Lactuca raddeana</i> var. <i>elata</i>	越年草	8~9月	北~本州	山地の林縁、草原	8月4日	
キク科	ユウガキク	<i>Kalimeris pinnatifida</i>	多年草	6~10月	東北~近畿	草地、道ばた	9月10日	日本固有種
キンポウゲ科	アキカラマツ	<i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>	多年草	7~9月	北、本、九、南西諸島	草原、道ばた	8月4日、15日	
キンポウゲ科	カラマツソウ	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>intermedium</i>	宿根草	6~8月	北~本州	山地、高山対	8月4日	日本固有種
キンポウゲ科	ヤマオダマキ	<i>Aquilegia buergeriana</i>	多年草	6~8月	北、本、四、九	梁山	8月4日	
キンポウゲ科	コボクサンザシ	<i>Oenanthe japonica</i> DC. var. <i>bitermata</i>	落葉する植物	8~9月	関東	山野	8月4日	
ゴマノハグサ科	オオヒナノウスツボ	<i>Scrophularia hakudensis</i>	多年草	8~9月	北、本、四、九	山地	8月4日	
ゴマノハグサ科	ウグイスソウ	<i>Veronicastrum japonicum</i>	多年草	6~8月	本州	日当たりの良い草地、林縁	8月4日	
ゴマノハグサ科	ママコナ	<i>Melampyrum roseum</i> var. <i>japonicum</i>	一年草	8~9月	北~九	山地の林縁	8月4日	
サクラソウ科	オカトラノオ	<i>Lysimachia clethroides</i>	多年草	6~7月	日本各地	湿地、山道沿い	8月4日	
サクラソウ科	ウツレダマ	<i>Lysimachia vulgaris</i> var. <i>davurica</i>	多年草	6~8月	北~九、朝鮮半島、中国、サハリン、シベリア	湿地の周辺、沼沢地	8月4日	
シソ科	ウツタムラソウ	<i>Salvia japonica</i>	多年草	7~11月	北~沖縄	山野の道ばたなど	8月4日	
シソ科	ウツクサ	<i>Penella vulgaris</i> subsp. <i>asiatica</i>	多年草	6~8月	北~沖縄、朝鮮、台湾、中国、サハリン、シベリア	日当たりの良い草地、道ばた	8月4日	
シソ科	キバナアキギリ	<i>Salvia nipponica</i>	多年草	8~10月	本~九州	山地の木陰など	9月10日	
シソ科	クルマハナ	<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i>	多年草	7~9月	北~九、朝鮮半島	山地の草地、道ばた	8月4日、15日	
シソ科	ヒメシロネ	<i>Lycopus macclianus</i>	多年草	7~9月	北~九、朝鮮、中国	平地、山地の湿地	8月4日	

セリ科	イブキボウフウ	<i>Seseli libanotis</i> subsp. <i>japonica</i>	多年草	8~10月	北~近畿、朝鮮	山地の原野	8月4日
タデ科	アキノナギツツガミ	<i>Parsifloria sieboldii</i>	一年草	7~10月	日本全土、北東アジア	湿性土手など	8月4日、15日
タデ科	イタドリ	<i>Raynociria japonica</i>	多年草	7~10月	日本全土	日の当たる丘陵、土手、道ばた	8月15日
ツリフネソウ科	ツリフネソウ	<i>Impatiens textori</i>	一年草	8~10月	北~九	山地の湿った場所、水辺	9月10日
トウモロコシ科	タカトウモロコシ	<i>Euphorbia pekinensis</i>	多年草	6~7月	本~九州	山地の草原	8月4日
ナデシコ科	エゾカワラナデシコ	<i>Dianthus superbus</i>	多年草	6~9月	北~本州中部以北、ユーラシア中部以北	低地~山地の草地、海岸沿いの草地	8月4日
バラ科	キンモズヒキ	<i>Agrimonia japonica</i>	多年草	7~10月	北~九、サハリン、朝鮮、中国	林縁、山道沿い	8月4日、15日
バラ科	シモツケ	<i>Spiraea japonica</i>	落葉低木	5~7月	本~九、朝鮮、中国	里山・山地の草地、林	8月15日
バラ科	チヂメザン	<i>Astilbe microphylla</i>	多年草	6~8月	本~九州	湿原、林縁、湿った草原	8月4日
バラ科	ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i>	落葉低木	5~6月	日本各地、朝鮮	日当たりの良い湿地、藪	8月4日
バラ科	ミツモトソウ	<i>Potentilla cryptotaenae</i>	多年草	7~9月	北、本、四、九	山地、谷沿い、草地	8月4日
バラ科	ワレモコウ	<i>Sanguisorba officinalis</i>	多年草	7~11月	北~九、朝鮮、中国、シベリア、ヨーロッパ	山地の草原	8月4日、9月10日
ペンケイソウ科	キリンソウ	<i>Phedimus aizoon</i> var. <i>floribundus</i>	多年草	5~8月	北、本、四、九	山地の日当たりの良い岩上	8月4日
マツムシソウ科	マツムシソウ	<i>Scabiosa japonica</i>	多年草	8~10月	北~九州	山地の草原	8月4日
マメ科	ナンテンハギ	<i>Vicia unijuga</i>	多年草	6~10月	北~沖縄、朝鮮、中国、サハリン、シベリア東部	山地の草原	8月4日
マメ科	マルバハギ	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	落葉低木	8~10月	本~九州、朝鮮、中国	山地	8月15日
マメ科	ヤマハギ	<i>Lespedeza bicolor</i>	落葉低木	7~9月	北~九州	草地、林縁	8月4日
ヤマノイモ科	ヤマノイモ	<i>Dioscorea japonica</i>	一年草	7~8月	日本各地	山野	8月15日
ユキノシタ科	ウマハチソウ	<i>Parnassia palustris</i>	多年草	8~10月	北~九州	山の麓、高山の日の当たるところ	9月10日
ユリ科	オオハギボウシ	<i>Hosta montana</i>	多年草	6~8月	北、本、四、九	山地の草原、林縁	8月4日
ユリ科	オニユリ	<i>Lilium lancifolium</i>	多年草	7~8月	北~九州、四国	野原・人里近く	8月4日
ユリ科	コオニユリ	<i>Lilium leichtholui</i> var. <i>tigrinum</i>	多年草	7~9月	北~九州	野原・人里近く	8月4日
ユリ科	ホソバシユロソウ	<i>Veratrum maackii</i>	多年草	6~8月	本、四、九、朝鮮、中国、ロシア	山地の林内、林縁、湿った草原	8月15日
ユリ科	ヒメヤブラン	<i>Liriope minor</i>	多年草	7~9月	本~九州	日当たりのよい草地	8月4日
ユリ科	ユウガギク	<i>Kalimeris pinnatifida</i>	多年草	7~10月	本(近畿地方以北)	山野	9月10日
ユリ科	ユウスゲ	<i>Hemerocallis vespertina</i>	多年草	6~7月	本~九州、四国	山地の草原、林縁	8月4日
リョウブ科	リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	落葉小高木	7~8月	北~九、済州島	山地、庭木	8月15日

表 5 発芽実験における各植物の最終発芽率一覧

科名	植物名	最終発芽率・標準偏差	温度区					冷湿無し(25/13℃)
			30/15℃	25/13℃	22/10℃	17/8℃	10/6℃	
キキョウ科	キキョウ	最終発芽率(%)	67.33	62.67	62.67	64.00	21.33	39.33
		標準偏差	12.22	2.31	8.33	8.72	3.06	7.02
キキョウ科	ヤマホタルブクロ	最終発芽率	40.67	19.33	28.67	10.00	3.33	25.33
		標準偏差	25.48	18.58	8.08	12.17	3.06	25.79
キク科	キオン	最終発芽率	0.67	0.00	0.00	0.67	1.33	1.33
		標準偏差	1.15	0.00	0.00	1.15	2.31	1.15
キク科	ハンゴンソウ	最終発芽率	0.00	0.67	0.67	0.00	0.00	1.33
		標準偏差	0.00	1.15	1.15	0.00	0.00	2.31
キク科	コウリンカ	最終発芽率	28.67	20.67	5.33	0.67	0.00	42.00
		標準偏差	7.02	7.02	3.06	1.15	0.00	9.17
キク科	カセンソウ	最終発芽率	32.00	21.33	9.33	0.67	3.33	50.00
		標準偏差	6.00	5.77	3.06	1.15	1.15	4.00
キンボウゲ科	サラシナショウマ	最終発芽率	84.00	87.33	84.00	88.67	86.67	44.00
		標準偏差	6.93	13.61	9.17	3.06	12.22	13.86
ゴマノハグサ科	オオヒナノウスツボ	最終発芽率	14.67	8.00	4.67	0.00	0.00	4.00
		標準偏差	7.02	7.21	5.03	0.00	0.00	3.46
サクラソウ科	オカトラノオ	最終発芽率	44.67	47.33	36.67	17.33	0.67	
		標準偏差	4.16	11.02	5.77	17.24	1.15	
サクラソウ科	クサレダマ	最終発芽率	67.33	45.33	38.67	14.00	0.67	10.67
		標準偏差	6.43	4.16	22.03	8.72	1.15	3.06
シソ科	クルマバナ	最終発芽率	56.67	64.00	67.33	70.00	14.67	71.33
		標準偏差	12.70	3.46	14.47	7.21	18.48	7.57
ナデシコ科	エゾカワラナデシコ	最終発芽率	76.50	74.00	47.33	12.67	0.67	32.00
		標準偏差	5.29	3.46	15.28	4.16	1.15	6.00

注：オカトラノオは冷湿処理を施していない5段階の結果を示している。

表 6 絶滅危惧種 A 発芽実験（生存検定）における最終発芽率一覧

表 7 絶滅危惧種 A (冷湿処理) における最終発芽率一覧

表 8 栽培実験における各植物の乾燥重量平均一覧

植物名	生活型	乾燥重量平均・標準偏差	初期サンプリング時	最終サンプリング時				
				3%	9%	13%	100%	+2°C
エゾカワラナデシコ	多年草	乾燥重量平均(g)	0.079	0.064	0.074	0.119	0.152	0.215
		標準偏差	0.055	0.049	0.059	0.064	0.131	0.052
カセンソウ	多年草	乾燥重量平均(g)	0.029	0.032	0.057	0.075	0.178	0.097
		標準偏差	0.008	0.016	0.024	0.041	0.068	0.041
クルマバナ	多年草	乾燥重量平均(g)	0.282	0.219	0.415	0.393	0.397	0.653
		標準偏差	0.185	0.148	0.306	0.321	0.094	0.385
サラシナショウマ	多年草	乾燥重量平均(g)	0.063	0.055	0.105	0.067	0.236	0.167
		標準偏差	0.053	0.034	0.080	0.056	0.136	0.104



表 9 栽培実験における各植物の生長解析の結果一覧

植物名	生活型	相対光量子密度・温度	平均				標準偏差			
			RGR(g/g/day)	LAR(m <sup>2</sup> /g)	NAR(g/m <sup>2</sup> /day)	SLA(m <sup>2</sup> /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m <sup>2</sup> /g)	NAR(g/m <sup>2</sup> /day)	SLA(m <sup>2</sup> /g)
エゾカワラナデシコ	多年草	3%	-0.010	0.027	-0.369	0.051	0.003	0.006	0.097	0.012
		9%	-0.010	0.028	-0.395	0.071	0.006	0.008	0.288	0.037
		13%	0.017	0.024	0.717	0.048	0.008	0.004	0.298	0.007
		100%	0.030	0.017	2.099	0.024	0.005	0.003	0.077	0.004
		+2°C	0.035	0.020	1.788	0.029	0.014	0.003	0.519	0.002
カセンソウ	多年草	3%	-0.004	0.033	-0.051	0.119	0.023	0.008	0.622	0.030
		9%	0.023	0.032	0.776	0.095	0.009	0.010	0.412	0.012
		13%	0.030	0.031	1.031	0.082	0.017	0.005	0.698	0.012
		100%	0.064	0.020	4.171	0.040	0.006	0.005	1.141	0.006
		+2°C	0.040	0.027	1.502	0.212	0.005	0.007	0.375	0.307
クormaバナ	多年草	3%	-0.004	0.017	-0.280	0.065	0.006	0.003	0.356	0.009
		9%	0.005	0.012	0.430	0.051	0.007	0.001	0.576	0.009
		13%	0.005	0.013	0.488	0.057	0.003	0.002	0.361	0.029
		100%	0.004	0.013	0.320	0.053	0.004	0.003	0.396	0.022
		+2°C	0.016	0.011	1.830	0.033	0.007	0.002	0.926	0.004
サラシナショウマ	多年草	3%	0.000	0.037	0.001	0.083	0.004	0.006	0.089	0.011
		9%	0.014	0.037	0.500	0.061	0.004	0.006	0.138	0.014
		13%	0.022	0.030	1.051	0.059	0.015	0.010	0.927	0.017
		100%	0.047	0.021	2.899	0.025	0.010	0.004	0.474	0.003
		+2°C	0.027	0.021	1.505	0.031	0.005	0.003	0.463	0.002

図 1 県立榛名公園における分布調査で確認されたキキョウ開花株の分布

図 2 県立榛名公園における分布調査で確認されたカセンソウ開花株の分布

図 3 県立榛名公園における分布調査で確認されたエゾカワラナデシコ開花株の分布

図 4 県立榛名公園における分布調査で確認されたコウリンカ開花株の分布

図 5 県立榛名公園における分布調査で確認されたスズサイコ開花株の分布

図 6 県立榛名公園における分布調査で確認されたトモエソウ開花株の分布

図 7 (寺沢川上流部右岸) における分布調査で確認された絶滅危惧種 A 開花株の分布 (調査区域北側)



図 7 (続) (寺沢川上流部右岸) における分布調査で確認された絶滅危惧種 A  
開花株の分布 (調査区域南側)

図 8

における絶滅危惧種 B の分布

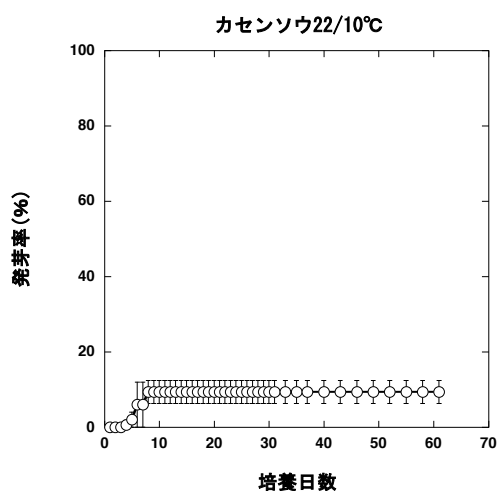
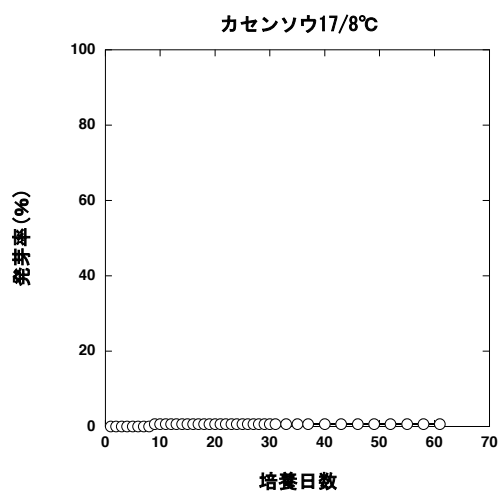
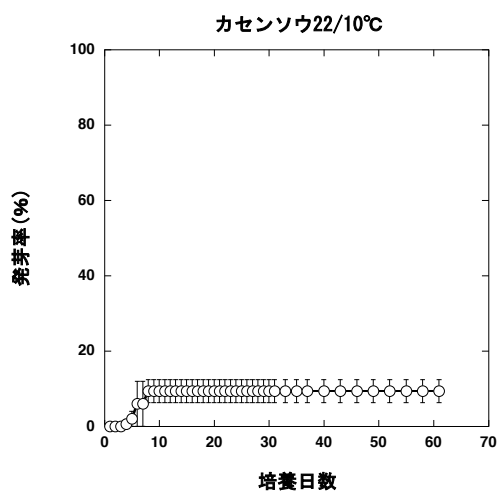
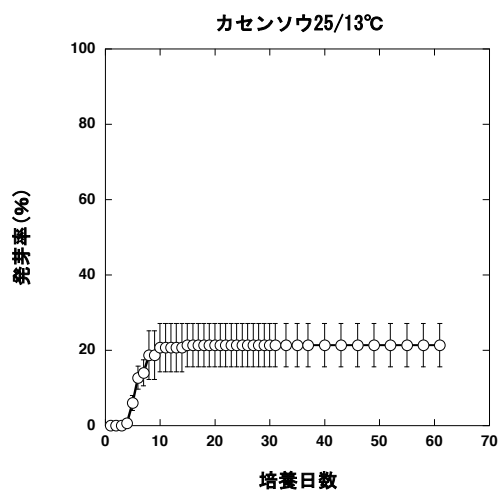
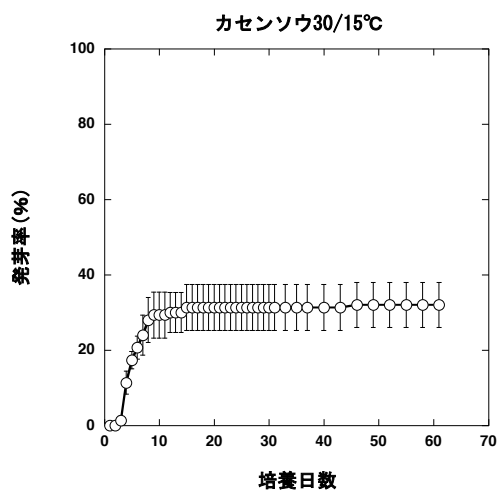


図 9 冷湿処理を施したカセンソウ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

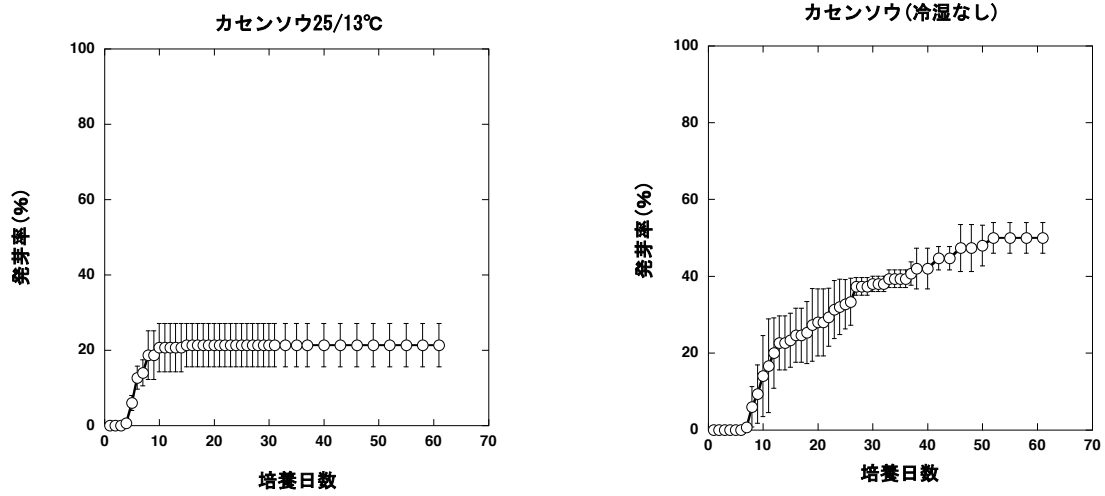


図 10 冷湿処理を施したカセンソウの種子（左）と冷湿処理を施さなかったカセンソウの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

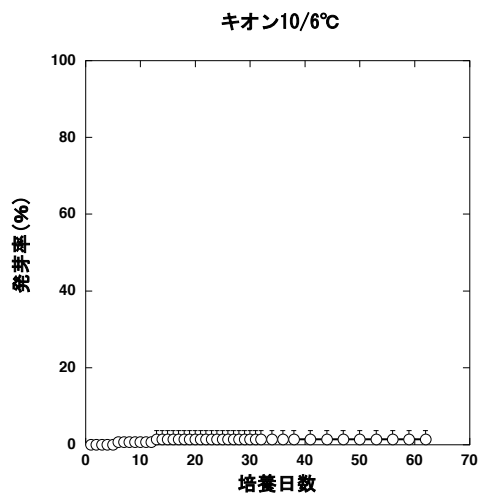
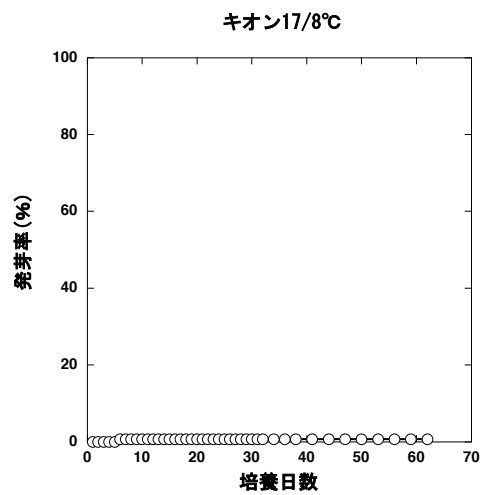
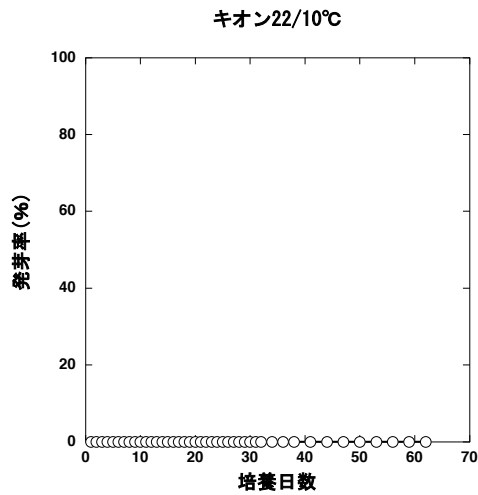
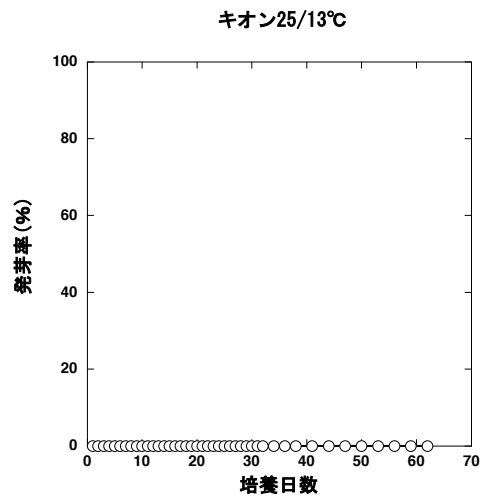
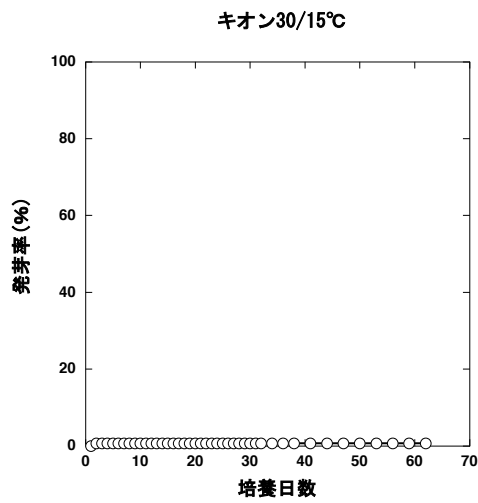


図 11 冷湿処理を施したキオン種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。

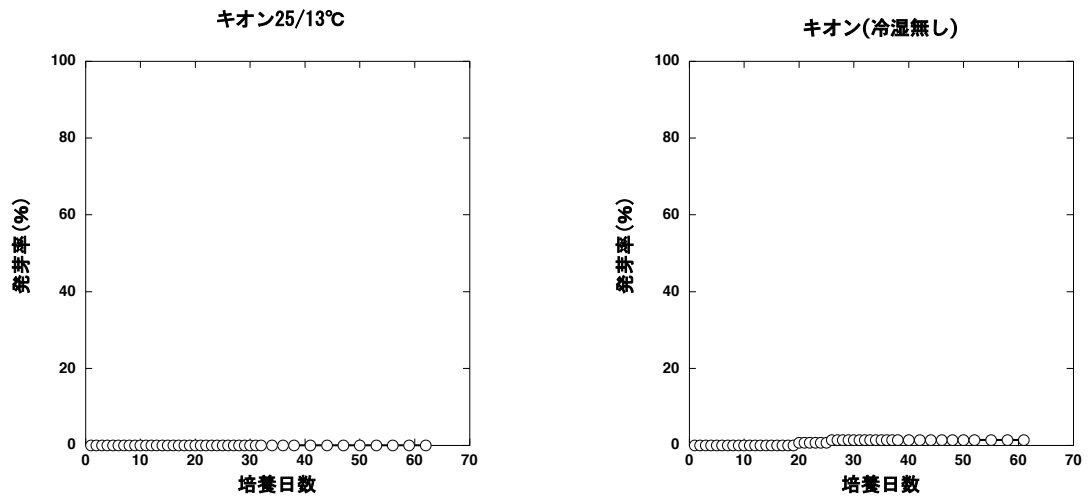


図 12 冷湿処理を施したキオンの種子(左)と冷湿処理を施さなかったキオンの種子(右)の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃ (昼/夜) に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

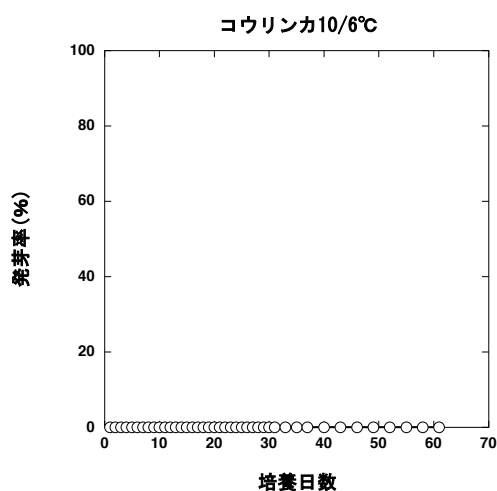
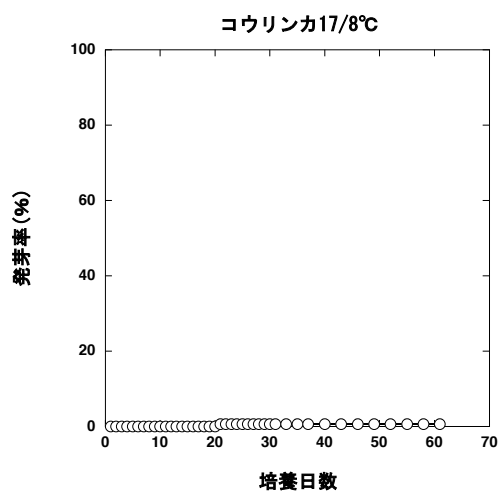
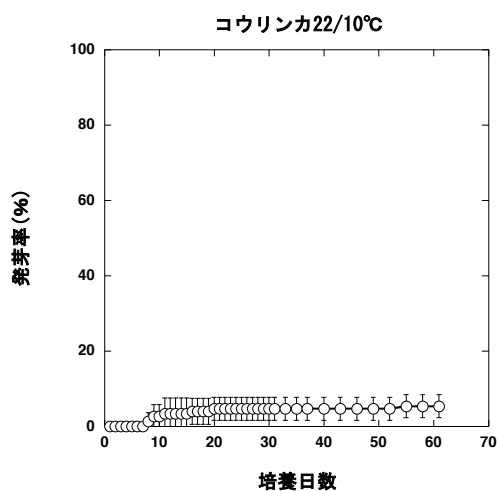
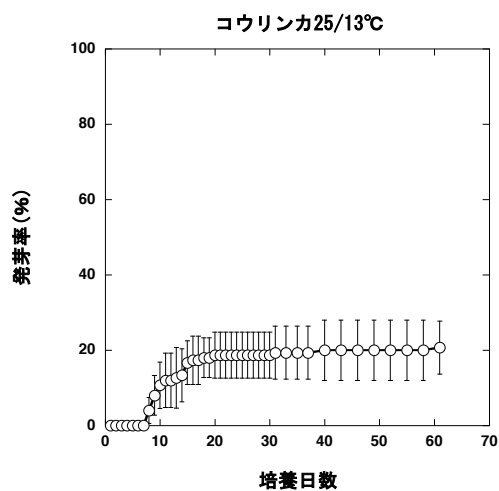
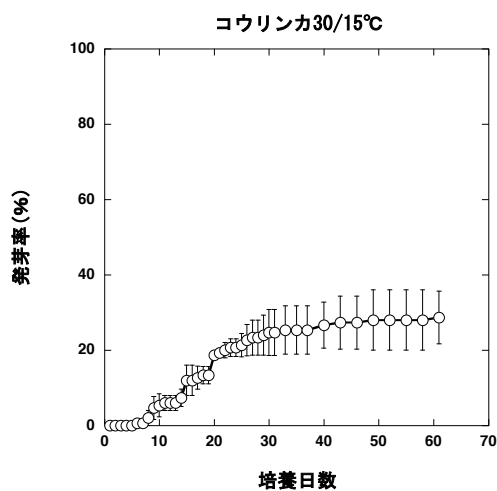


図 13 冷湿処理を施したコウリンカ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

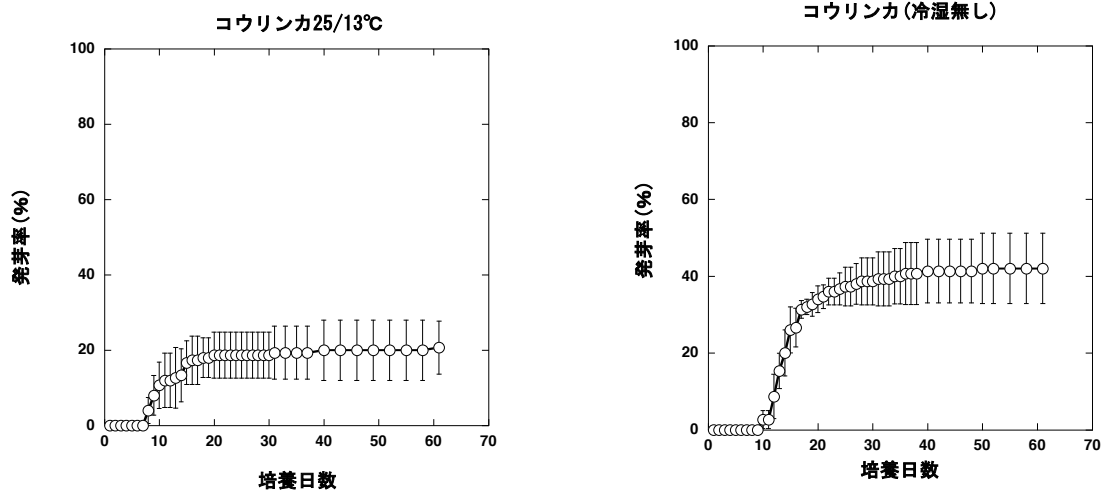


図 14 冷湿処理を施したコウリンカの種子（左）と冷湿処理を施さなかったコウリンカの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。



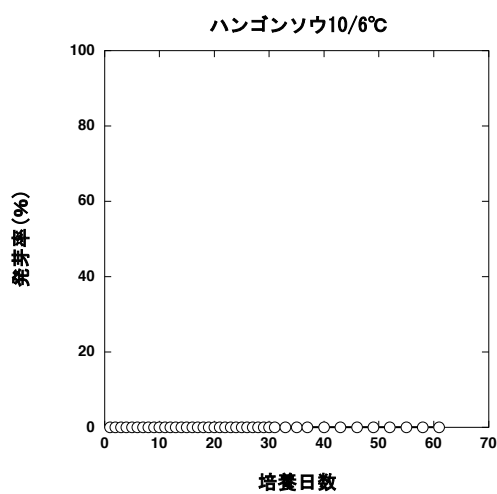
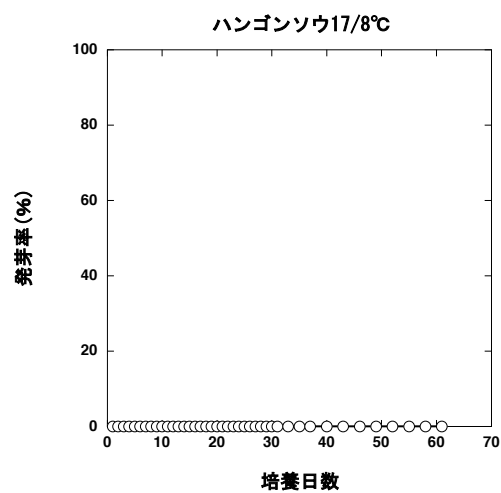
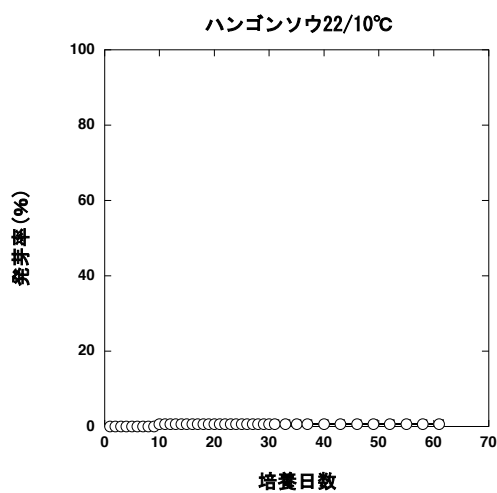
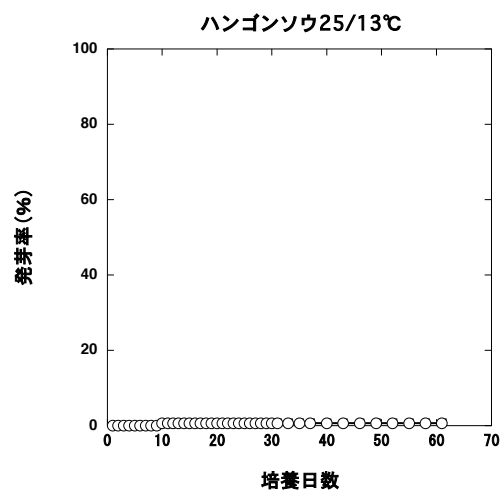
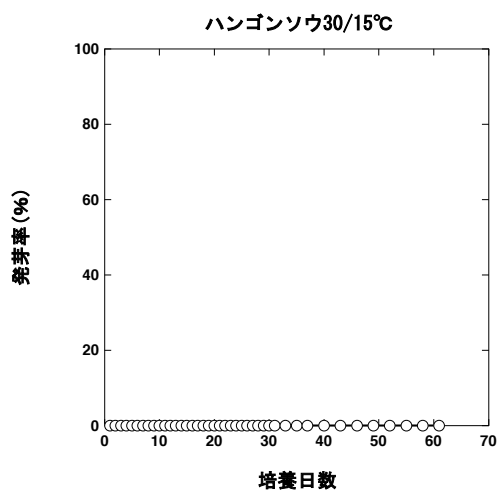


図 15 冷湿処理を施したハンゴンソウ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

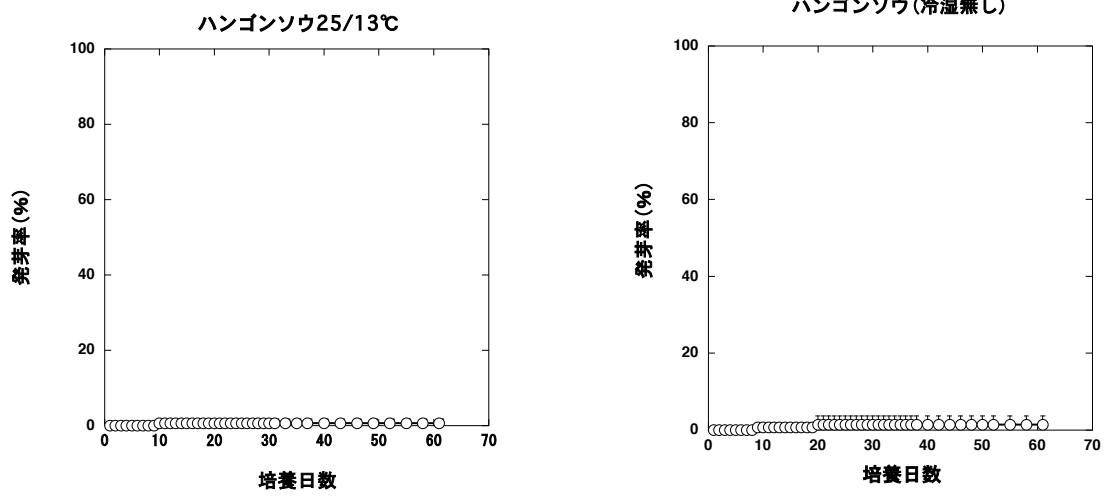


図 16 冷湿処理を施しハンゴンソウの種子（左）と冷湿処理を施さなかったハンゴンソウの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

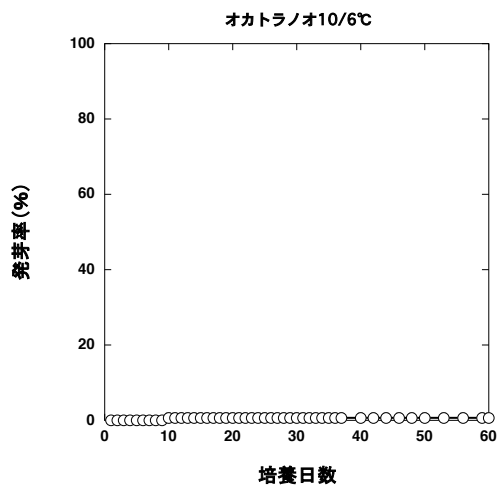
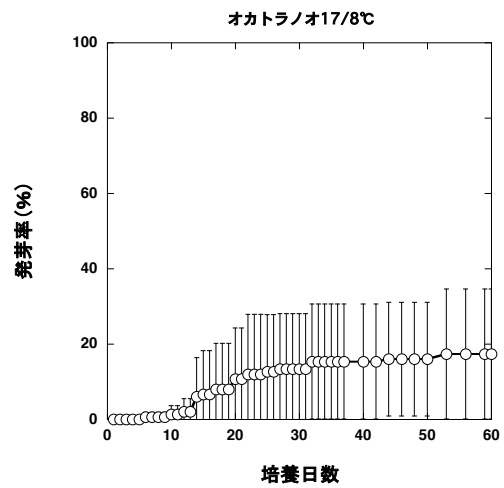
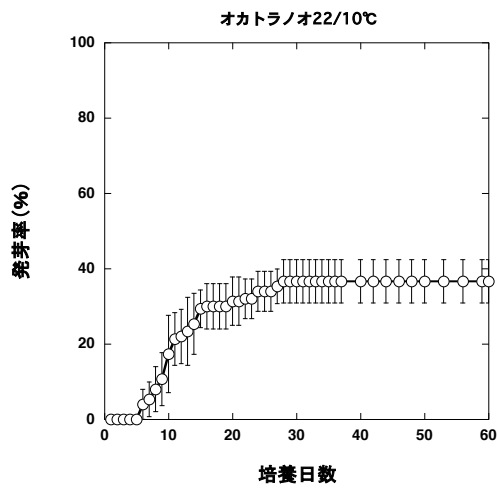
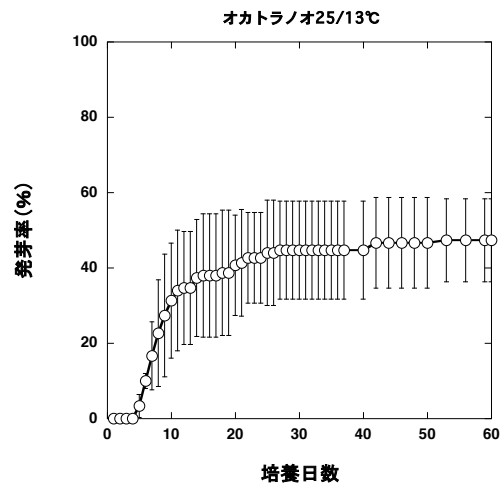
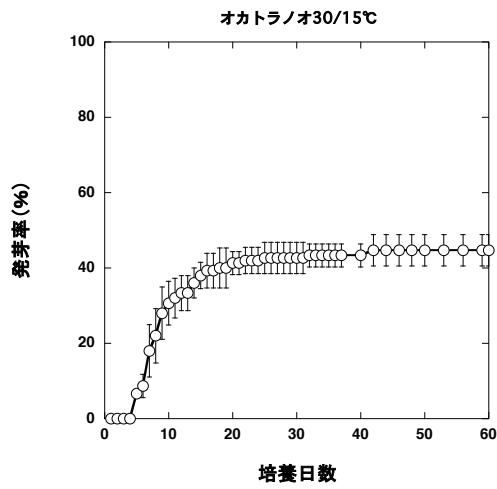


図 17 オカトラノオ種子の発芽率の経時変化（冷湿処理なし）

温度条件をそれぞれ 30/15℃、25/13℃、22/10℃、17/8℃、10/6℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。

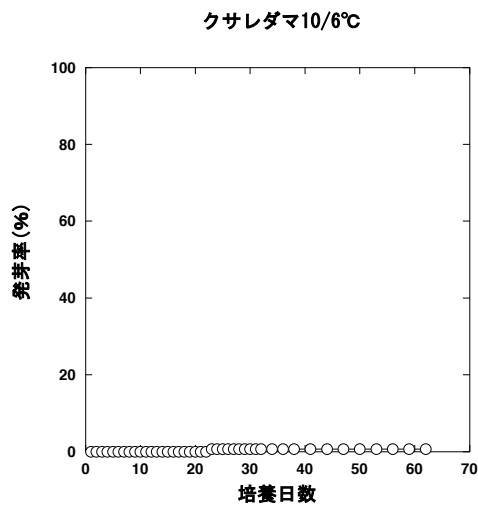
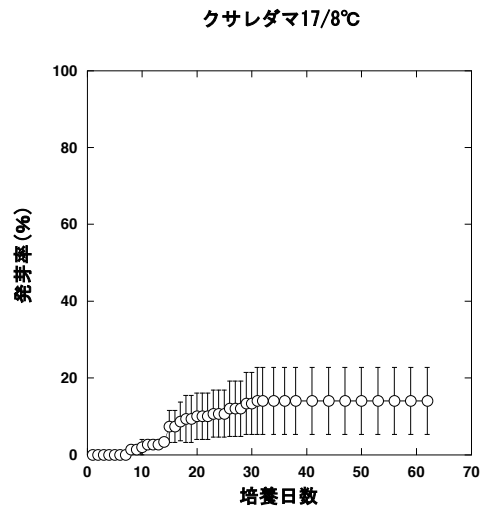
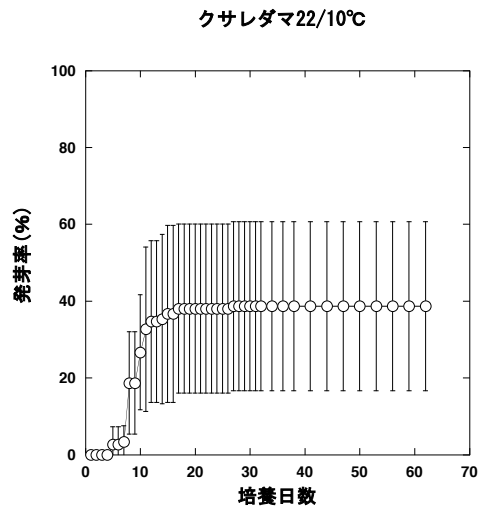
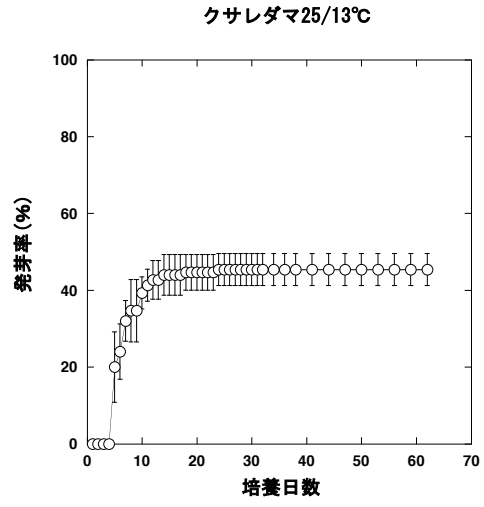
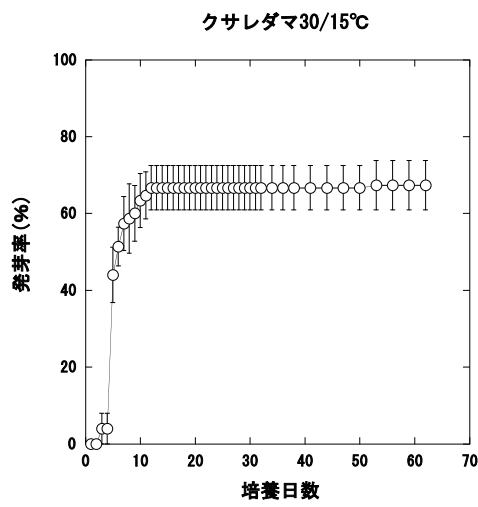


図 18 冷湿処理を施したクサレダマ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

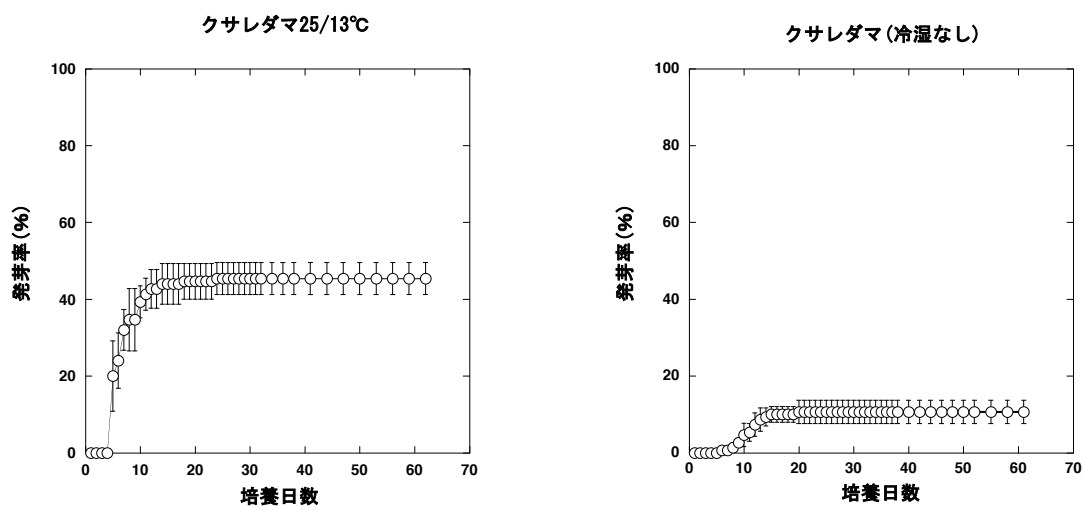


図 19 冷湿処理を施したクサレダマの種子（左）と冷湿処理を施さなかったクサレダマの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

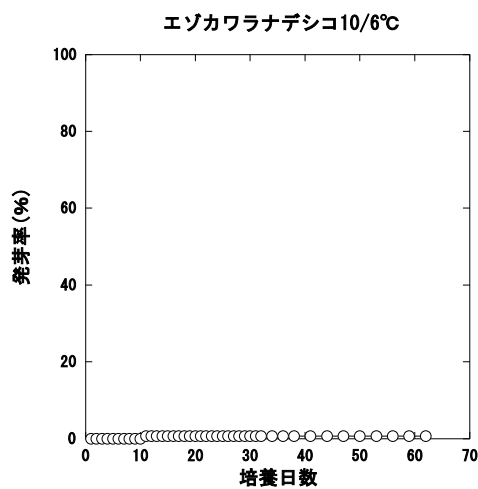
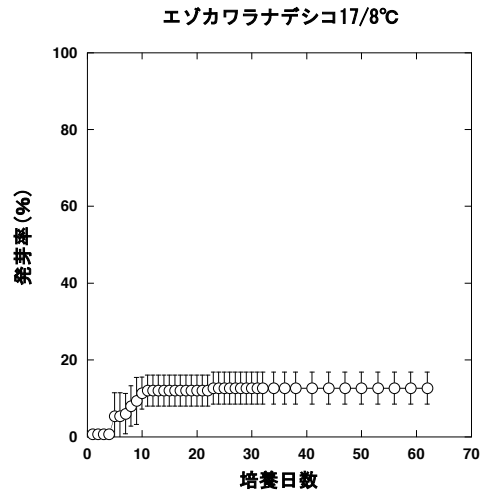
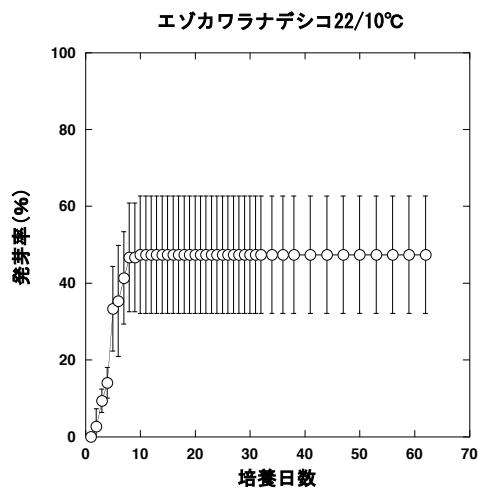
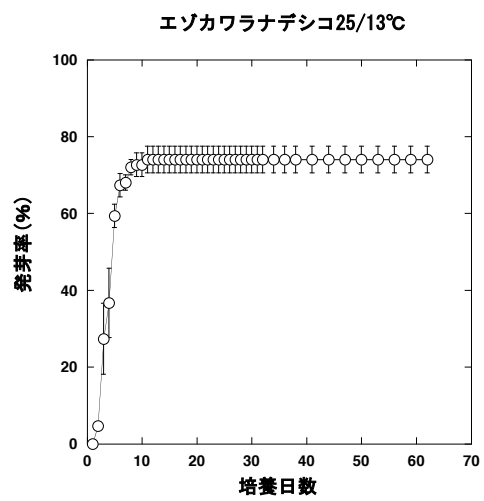
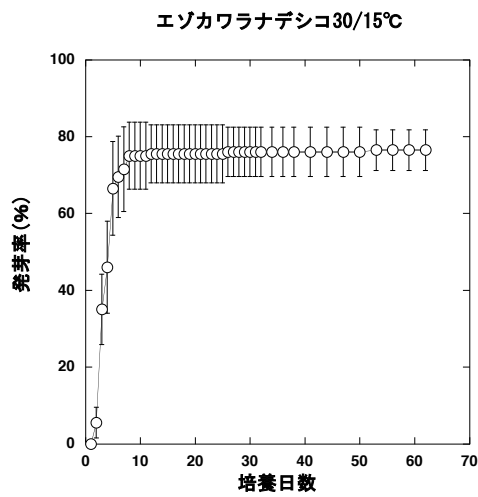


図 20 冷湿処理を施したエゾカワラナデシコ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。

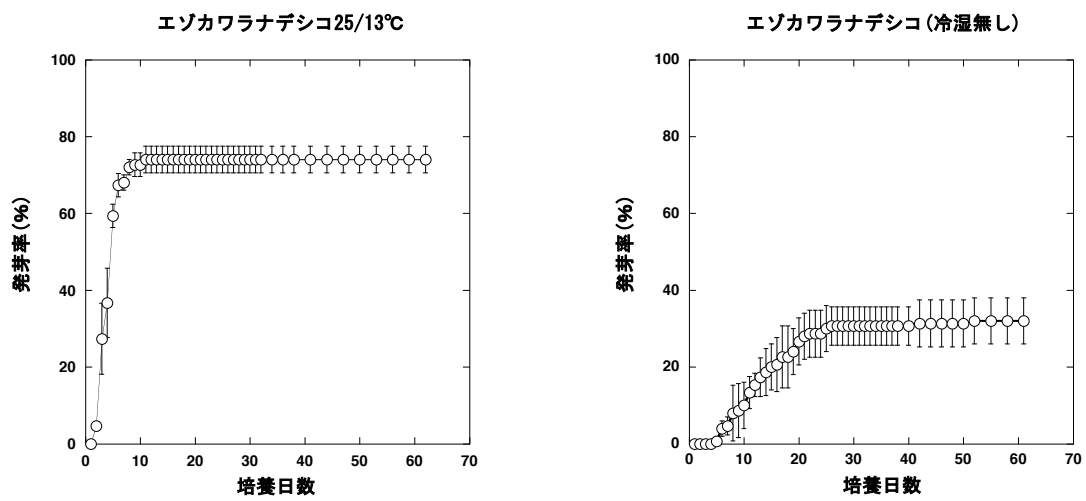


図 21 冷湿処理を施したエゾカワラナデシコの種子（左）と冷湿処理を施さなかったエゾカワラナデシコの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

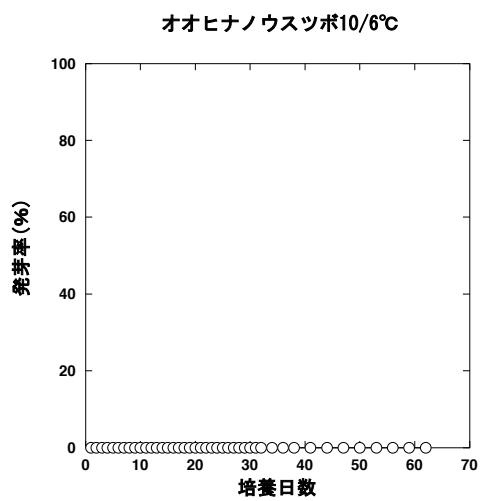
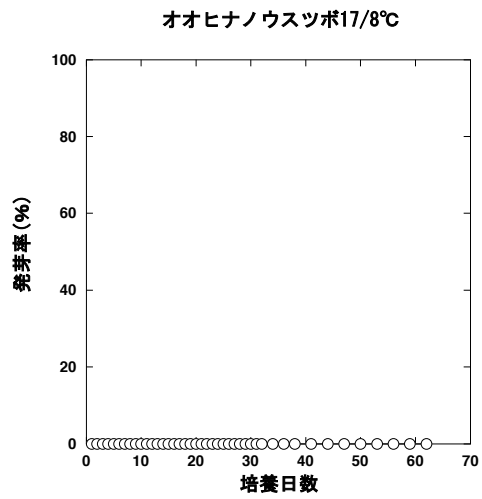
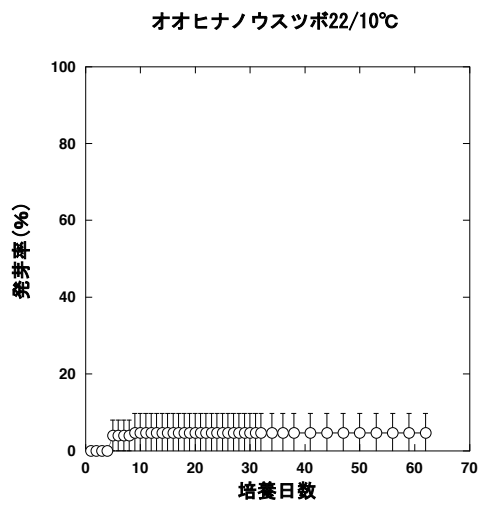
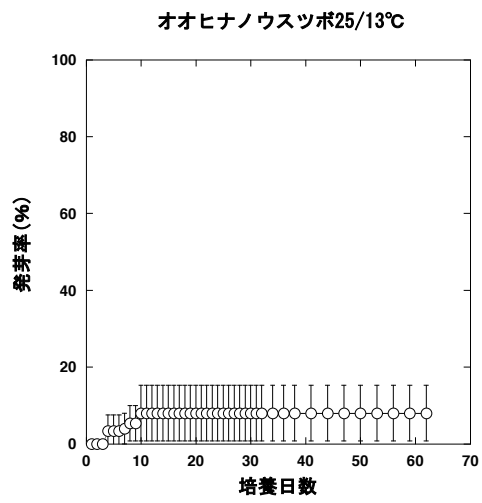
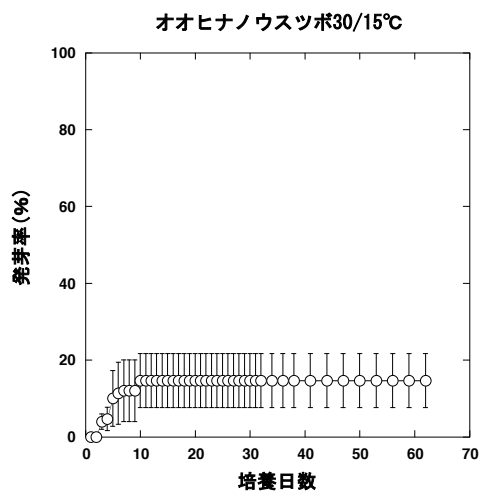


図 22 冷湿処理を施したオオヒナノウスツボ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。



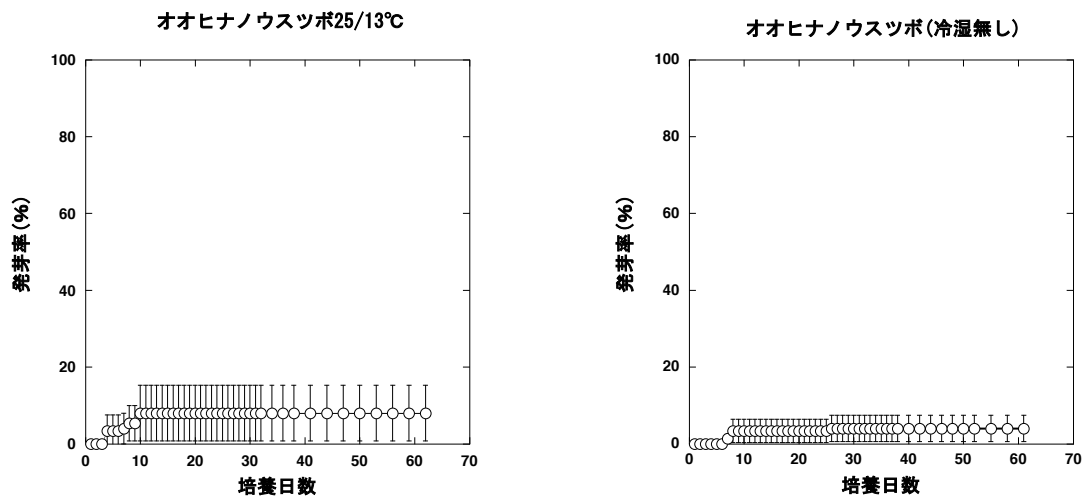


図 23 冷湿処理を施したオオヒナノウスツボの種子（左）と冷湿処理を施さなかったオオヒナノウスツボの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

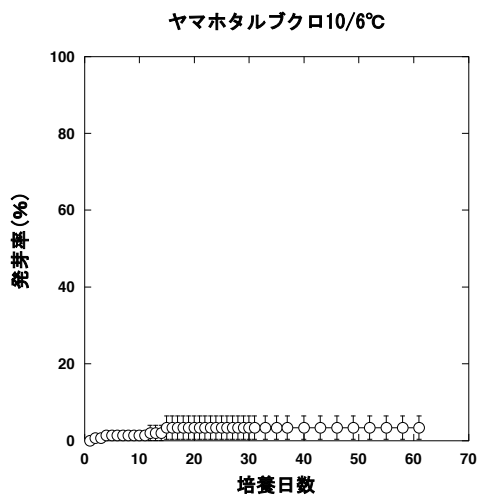
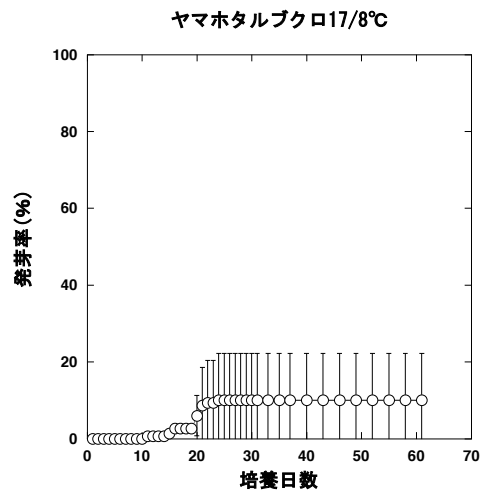
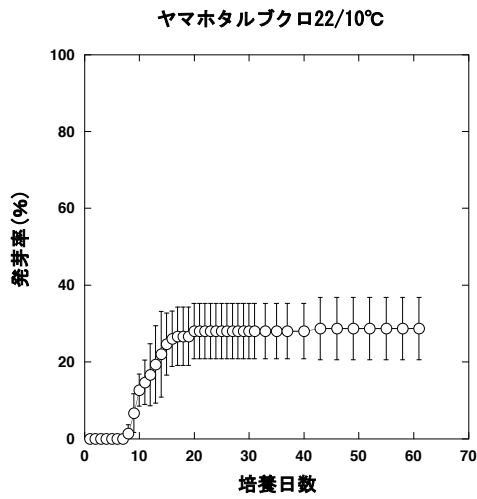
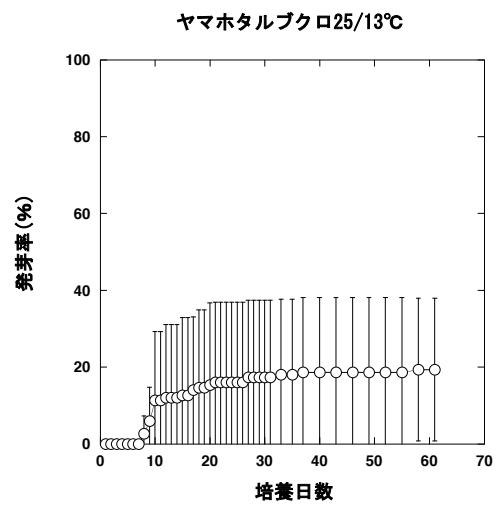
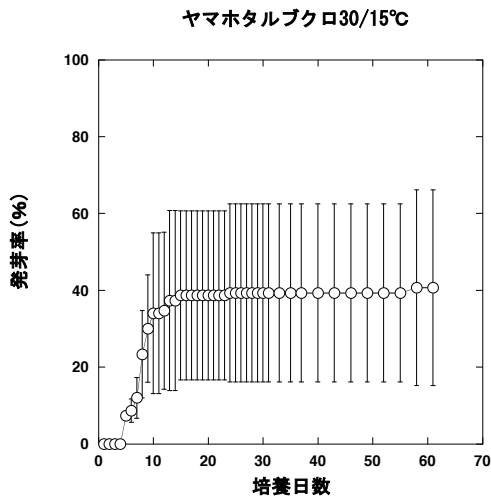


図 24 冷湿処理を施したヤマホタルブクロ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。

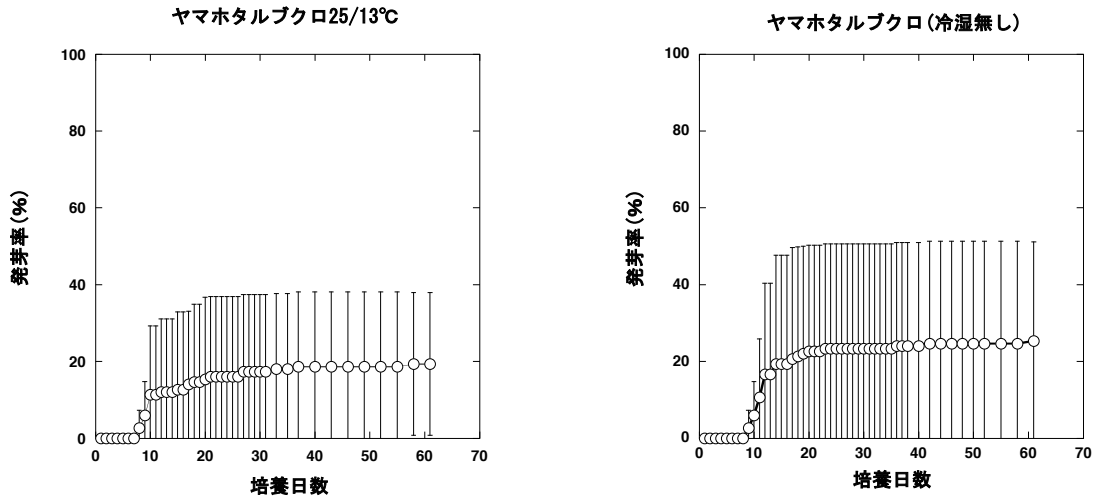


図 25 冷湿処理を施したヤマホタルブクロの種子（左）と冷湿処理を施さなかったヤマホタルブクロの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

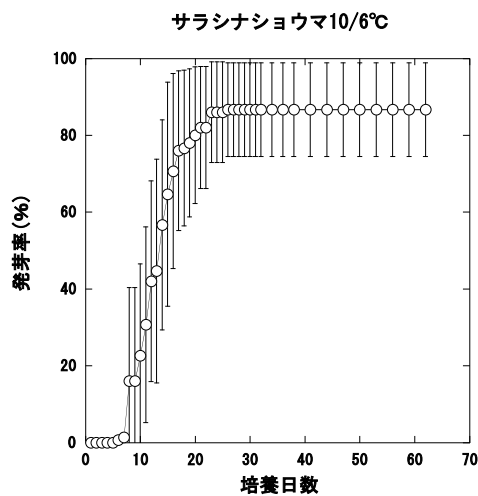
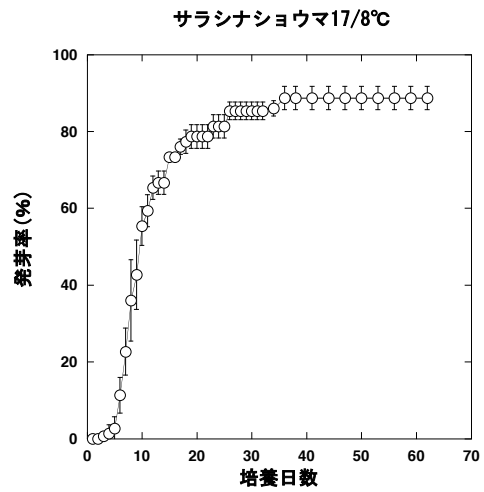
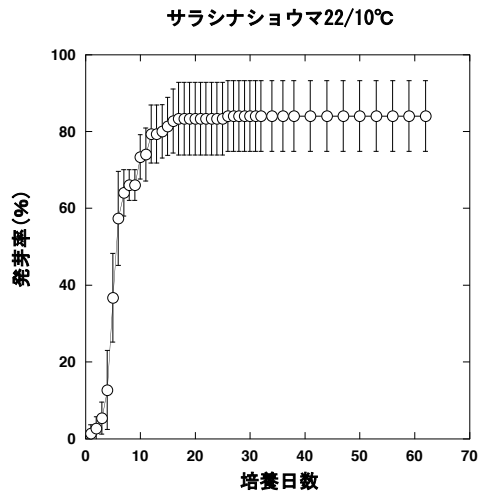
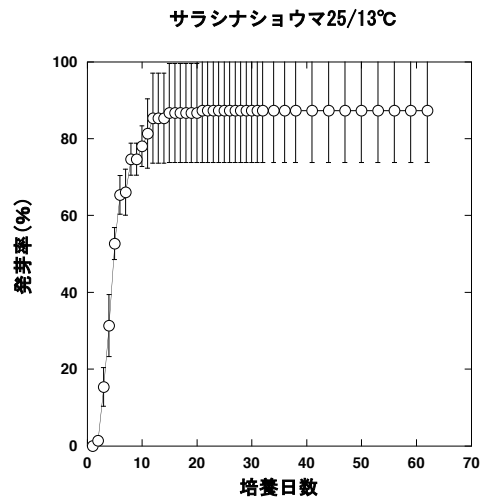
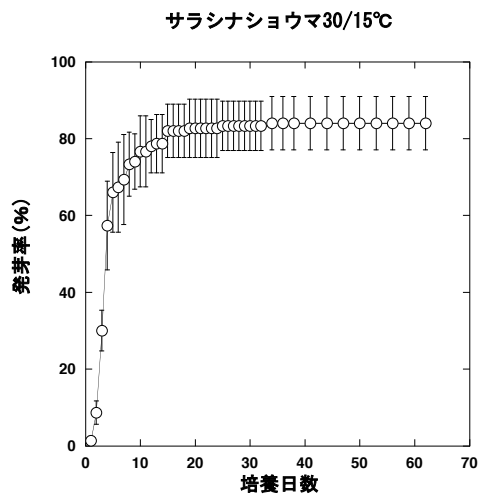


図 26 冷湿処理を施したサラシナショウマ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。

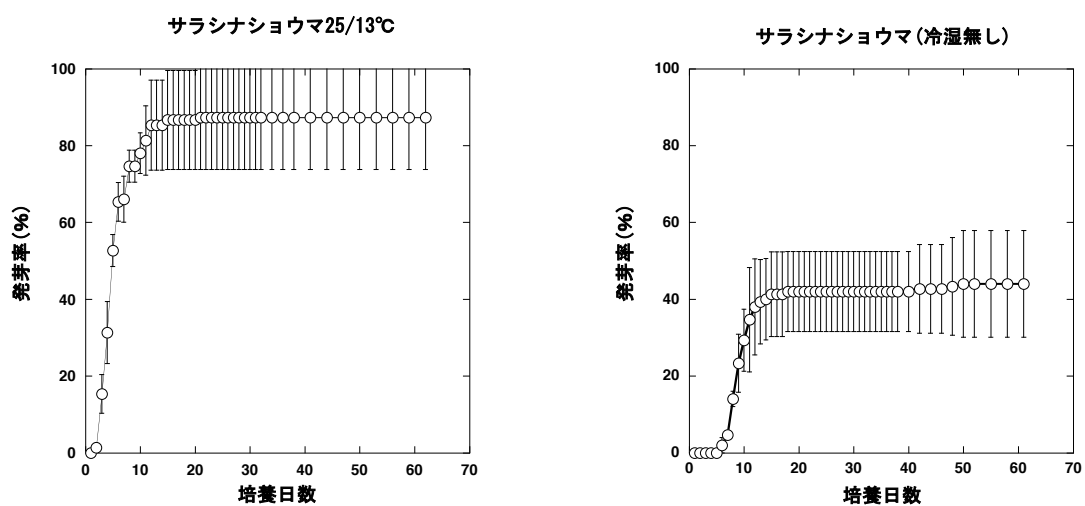


図 27 冷湿処理を施したサラシナショウマの種子（左）と冷湿処理を施さなかったサラシナショウマの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

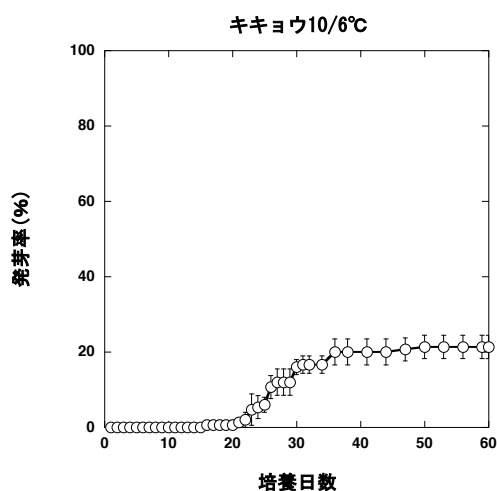
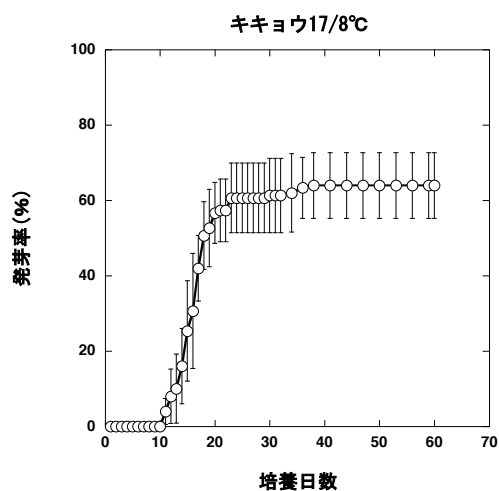
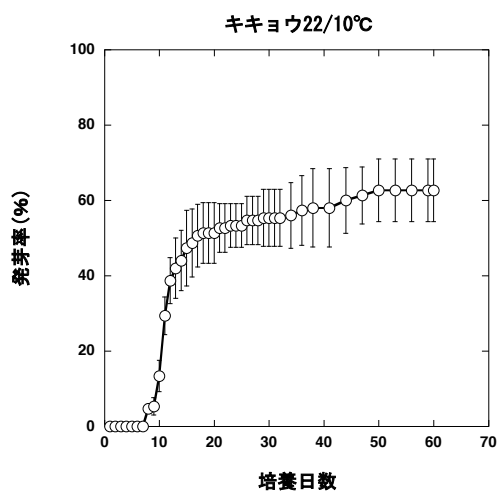
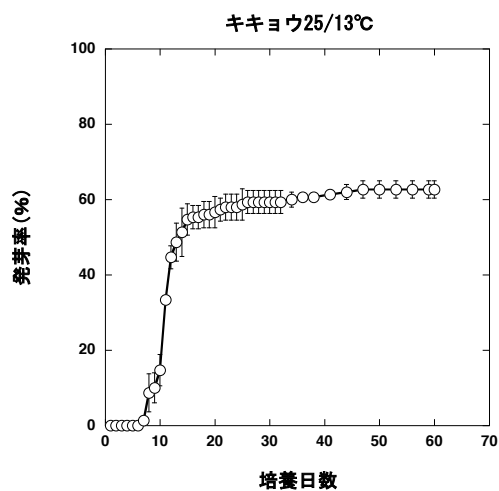
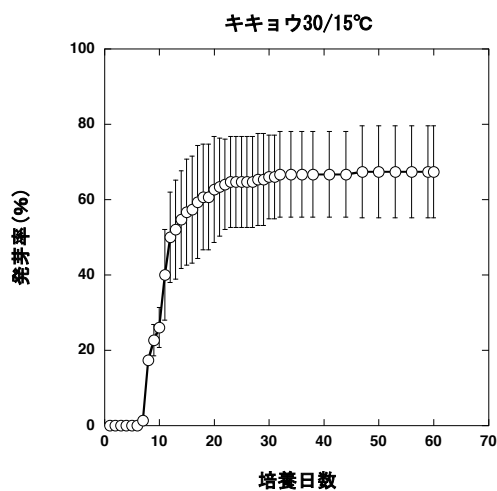


図 28 冷湿処理を施したキキョウ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。

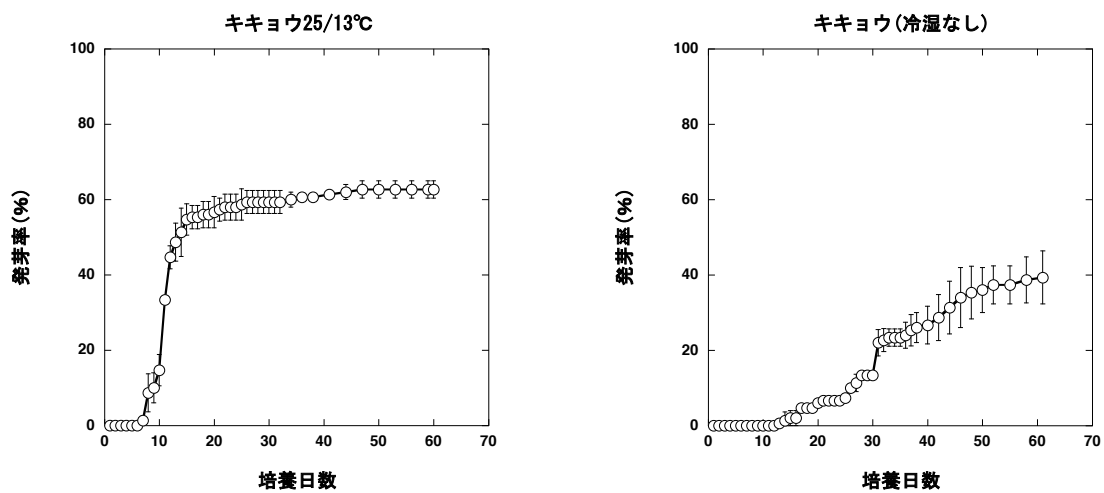


図 29 冷湿処理を施したキキョウの種子（左）と冷湿処理を施さなかったキキョウの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

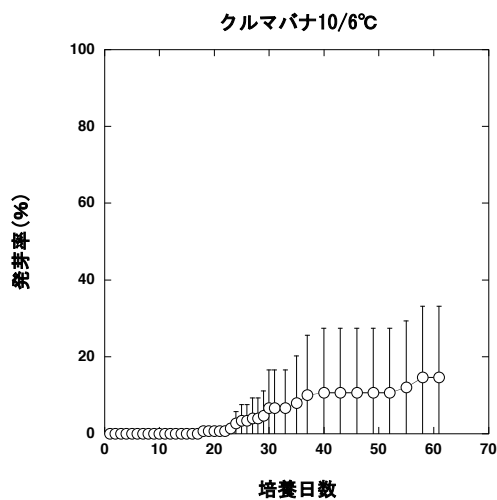
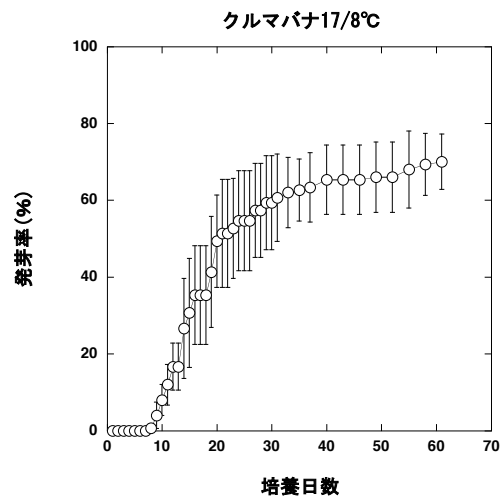
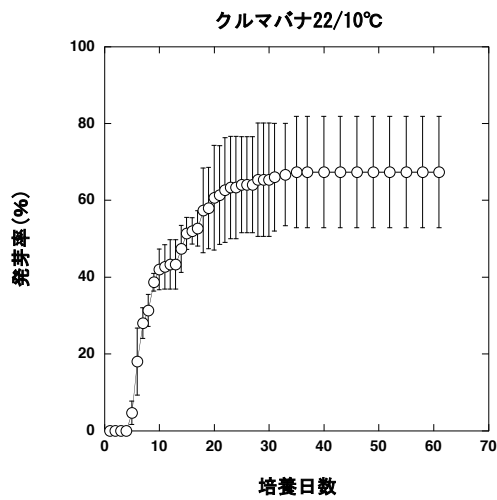
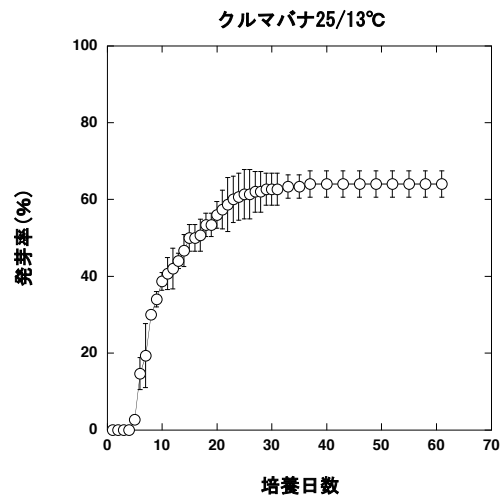
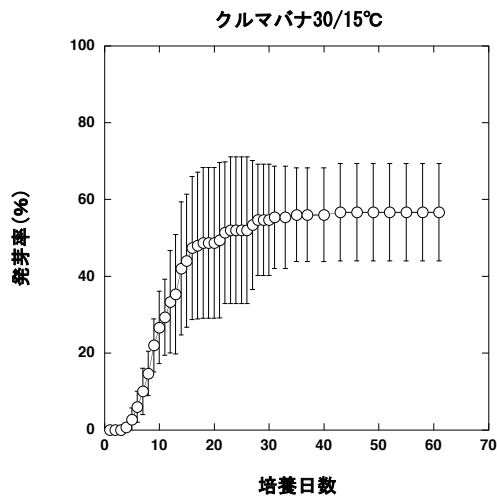


図 30 冷湿処理を施したクルマバナ種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。  
n=3。



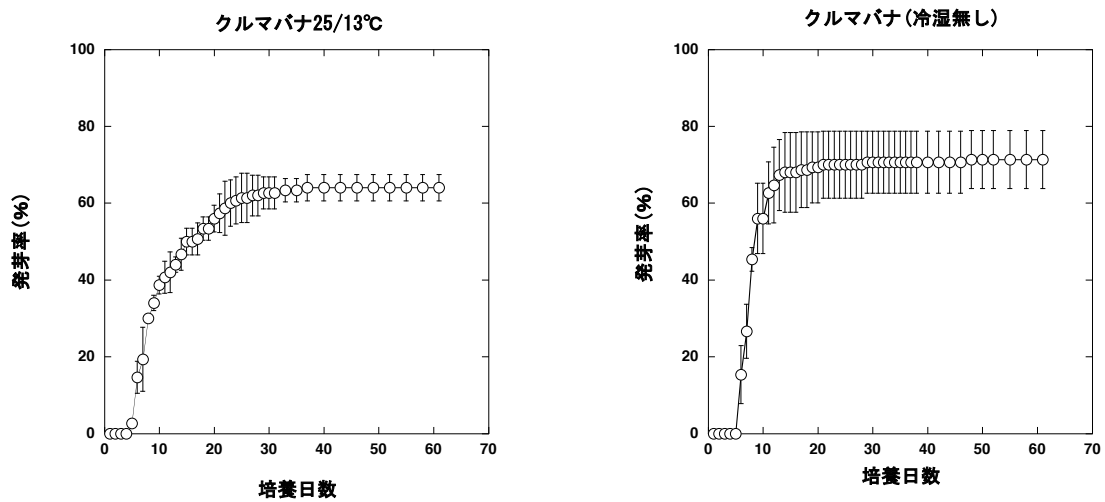


図 31 冷湿処理を施したクルマバナの種子（左）と冷湿処理を施さなかったクルマバナの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13°C（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 2 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

図 32 絶滅危惧種 A の生存検定における発芽率の経時変化

0.04%トリトン X-100+次亜塩素酸ナトリウム (0.25%Cl) での洗浄を 5 分間施した後、2 日間のジベレリン処理を施してから温度条件を 25/13°C (昼/夜) に設定した温度勾配型恒温器内で約 1 ヶ月間培養した。縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。



図 33 冷湿処理を施した 絶滅危惧種 A 種子の発芽率の経時変化

種子を 2 ヶ月間冷湿処理した後、25/13℃に設定した温度勾配型恒温器内で約 2 ヶ月間培養した。その後、未発芽の種子に再度 2 ヶ月間の冷湿処理を施し、同じ条件で 2 ヶ月間培養した。

左側のグラフは冷湿処理 1 回目終了後の発芽実験結果を示し、右側が冷湿処理 2 回目終了後の実験結果を示している。

縦軸には積算発芽率、横軸は培養開始から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。



(続) 冷湿処理を施した

絶滅危惧種 A 種子の発芽率の経時変化

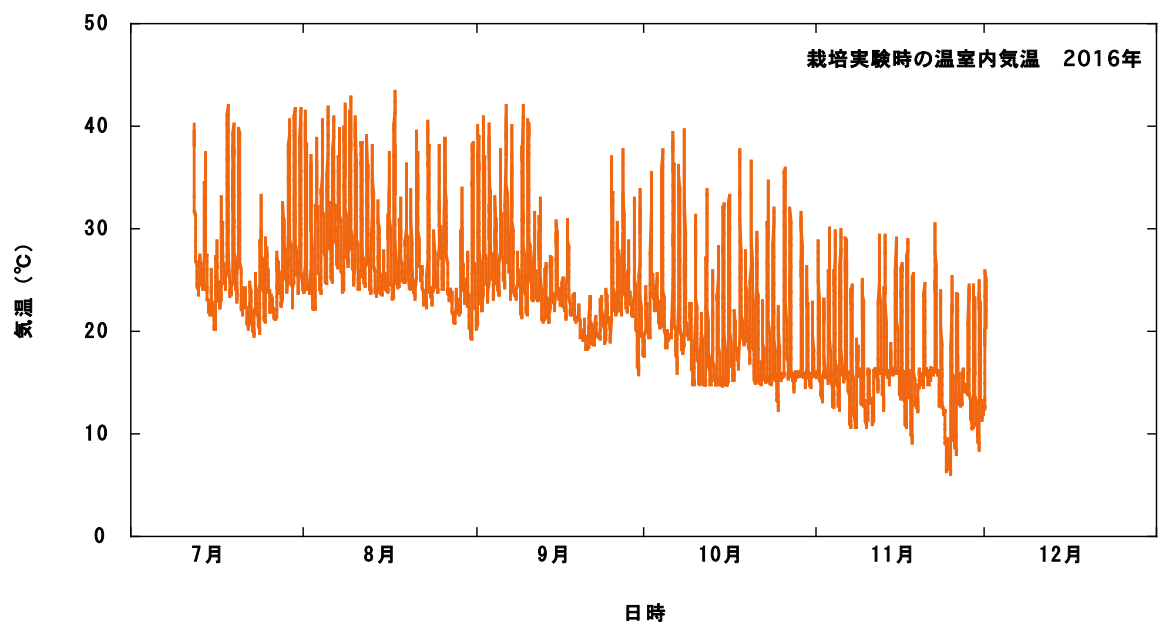
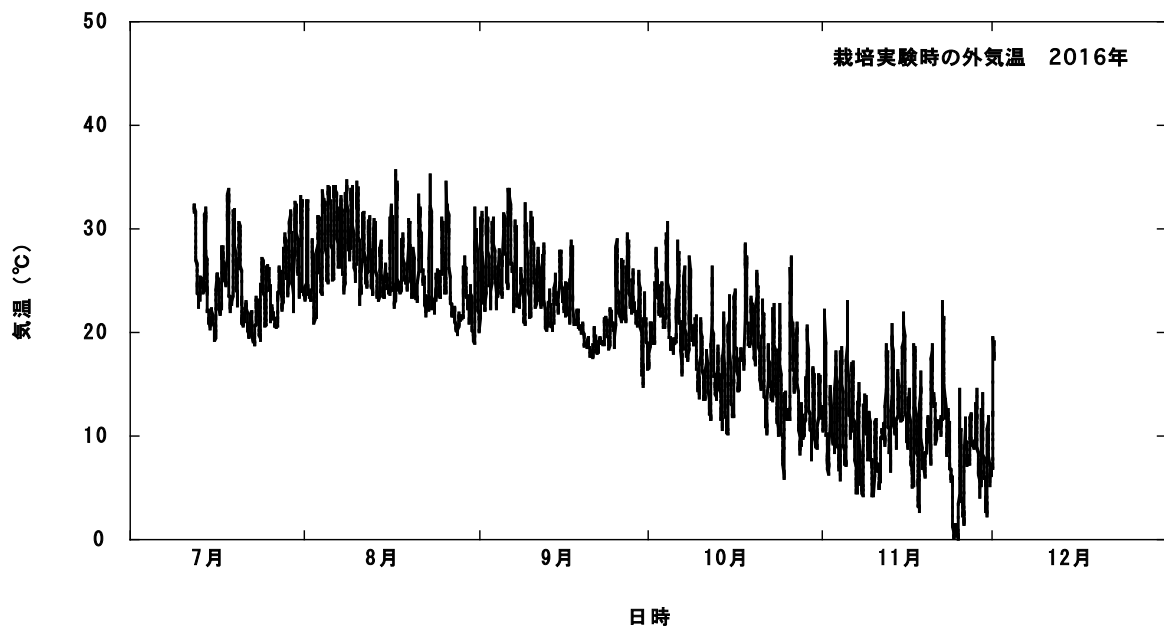


図 34 群馬大学荒牧キャンパス内における栽培実験期間中の圃場および温室内の気温  
 2016年7月2日から2016年12月1日までの間、群馬大学荒牧キャンパス内圃場および  
 温室で気温を温度データロガー（TR52, T&D corporation）をそれぞれ高さ1.5m付近に設置  
 し、30分おきに連続測定した。上が圃場の温度変化を示しており、下が温室内の温度変化  
 を示している。温室と圃場の平均温度差は2.4°Cであった。

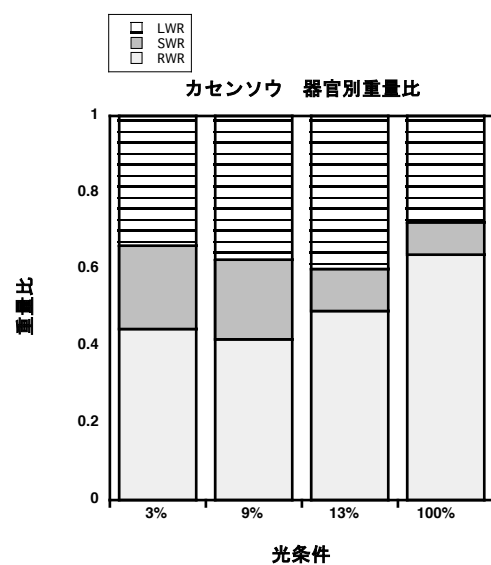
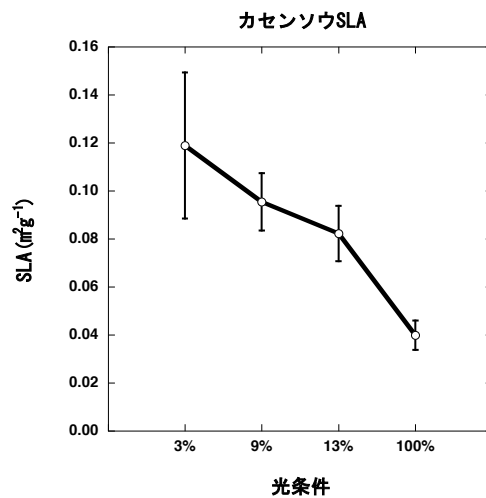
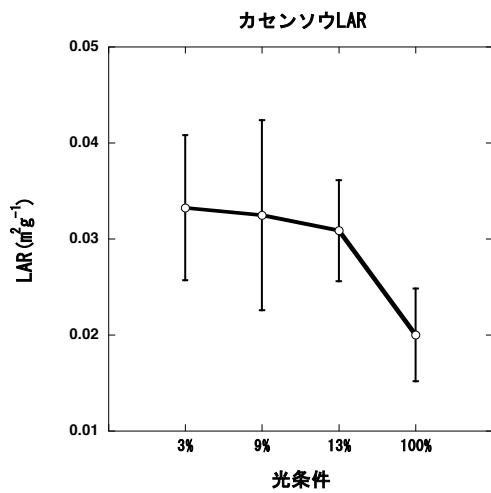
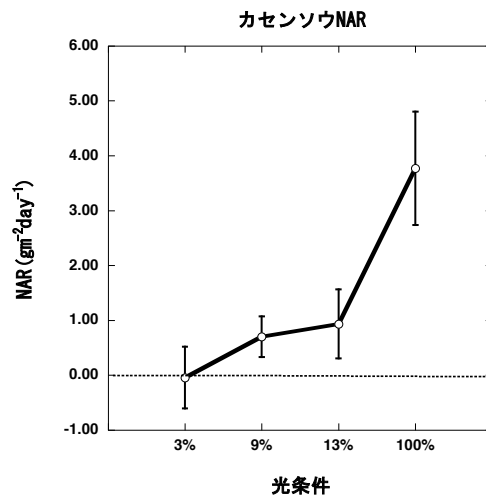
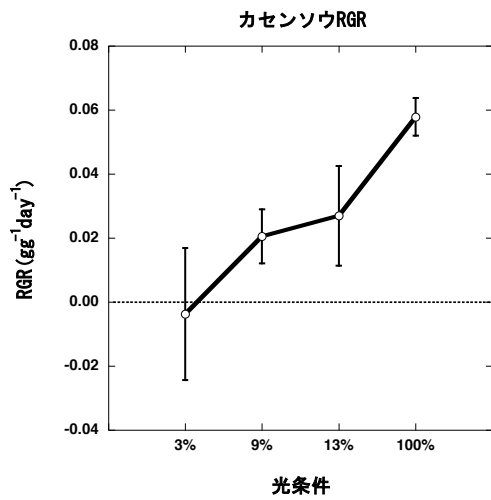


図 35 異なる相対光量子密度下で栽培したカセンソウの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス内の裸地に設置した異なる光条件区(相対光量子密度 3%、9%、13%、100%) 内で、ポット植えにした苗を約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=4~5。

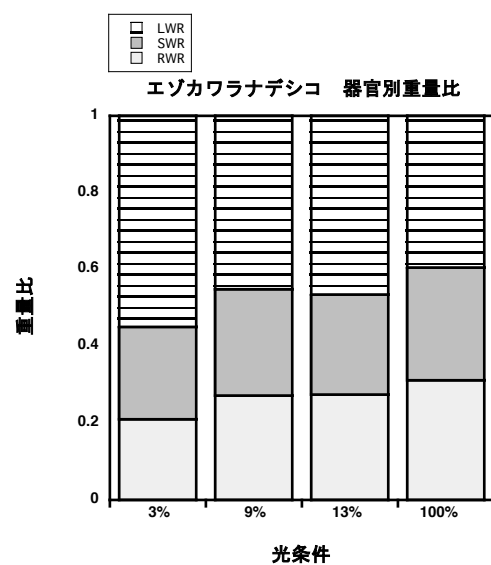
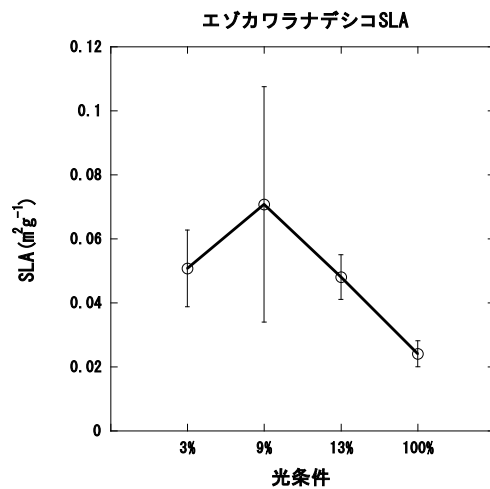
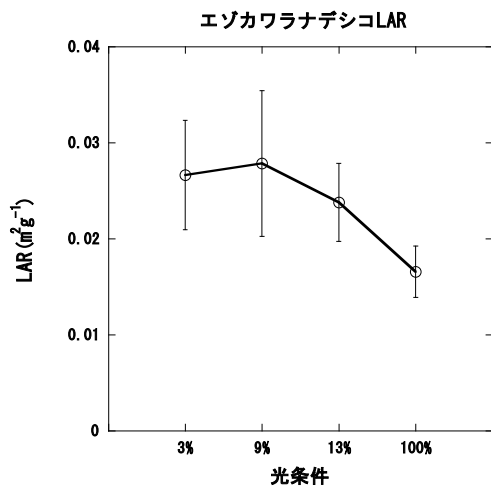
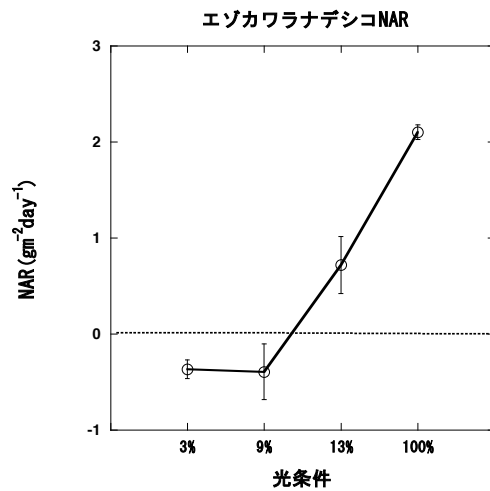
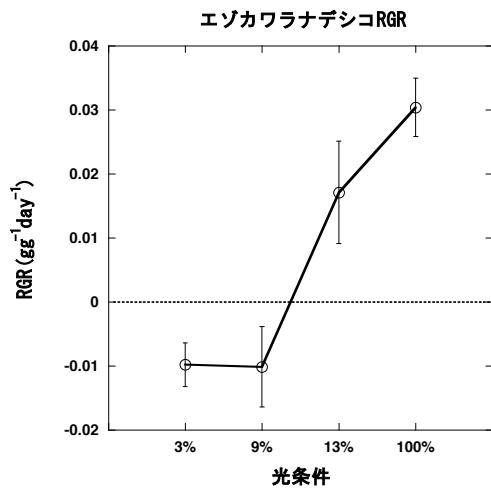


図 36 異なる相対光量子密度下で栽培したエゾカワラナデシコの生長解析結果  
 群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4℃上昇させた実験区（2.4℃区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて約 1ヶ月栽培した。相対成長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=3~4。

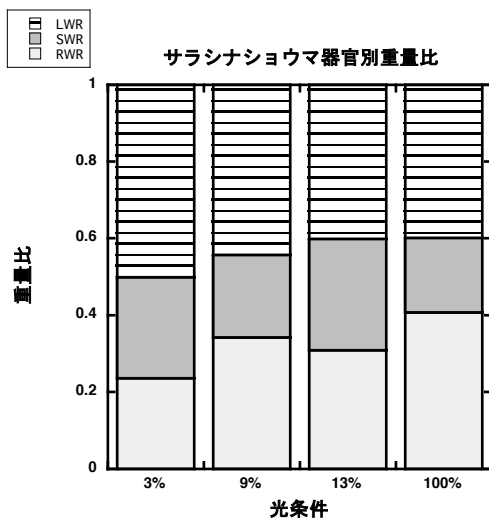
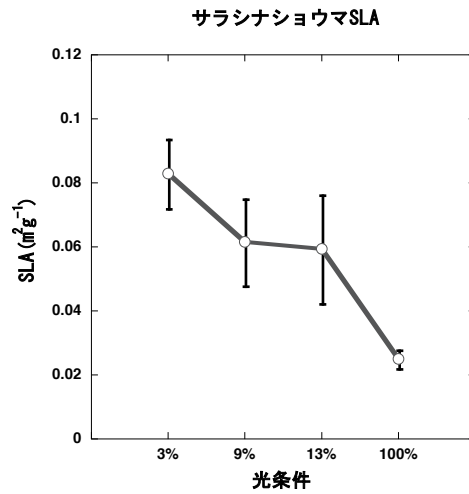
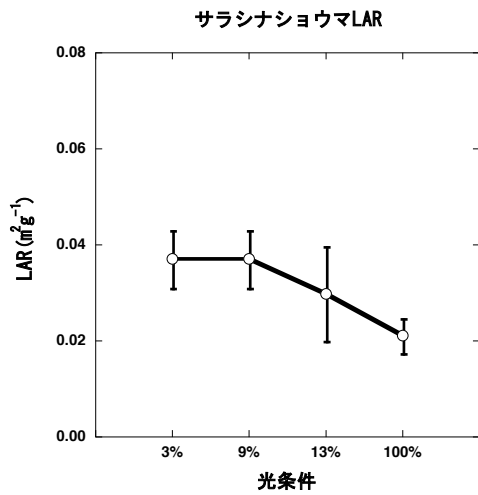
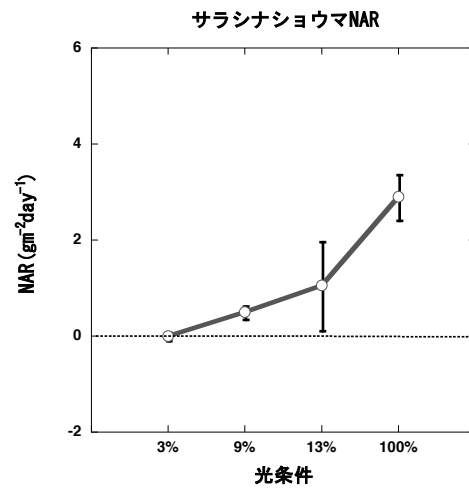
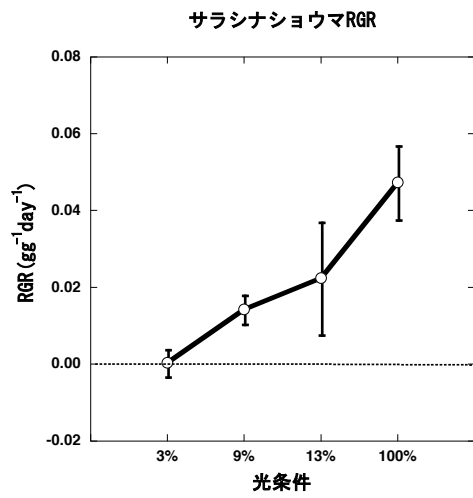


図 37 異なる相対光量子密度下で栽培したサラシナショウマの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス内の裸地に設置した異なる光条件区(相対光量子密度 3%、9%、13%、100%) 内で、ポット植えにした苗を約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=5~9。



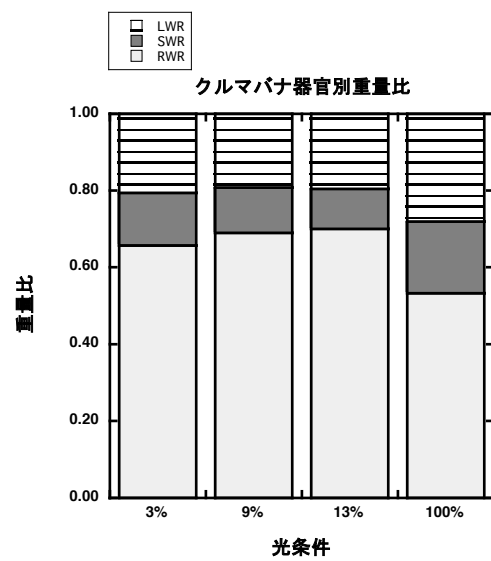
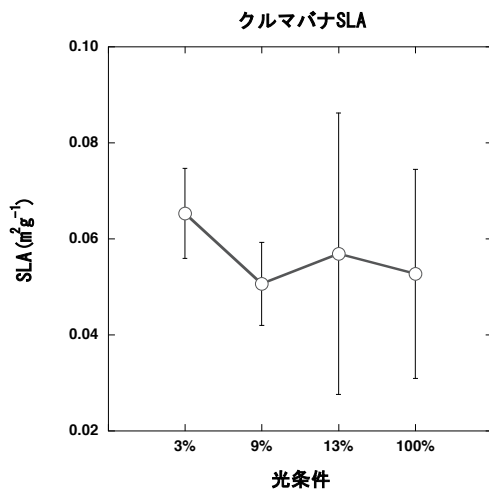
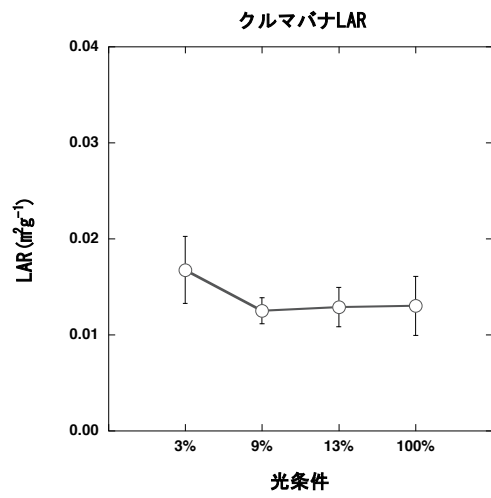
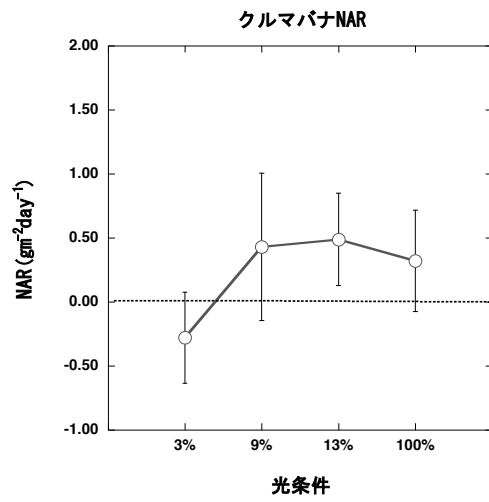
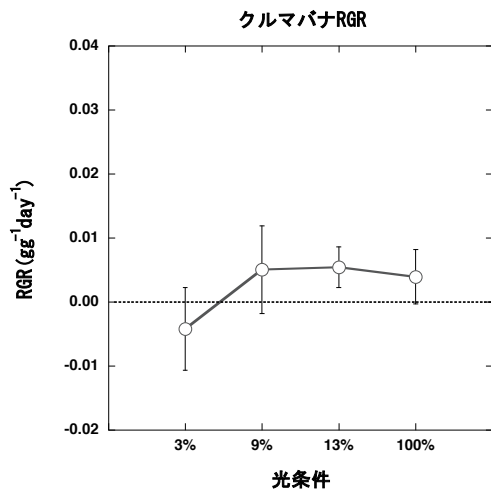


図 38 異なる相対光量子密度下で栽培したクルマバナの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス内の裸地に設置した異なる光条件区(相対光量子密度 3%、9%、13%、100%) 内で、ポット植えにした苗を約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=4。

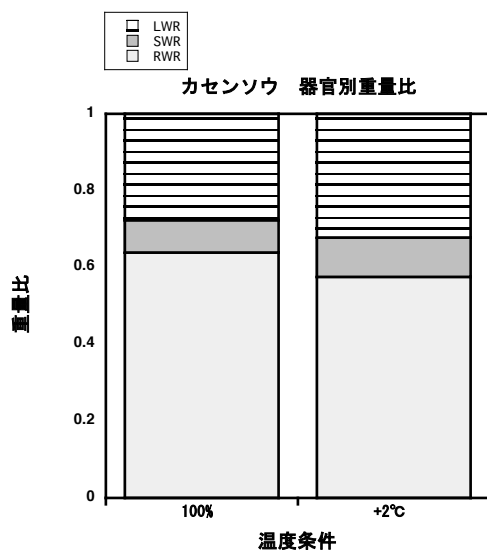
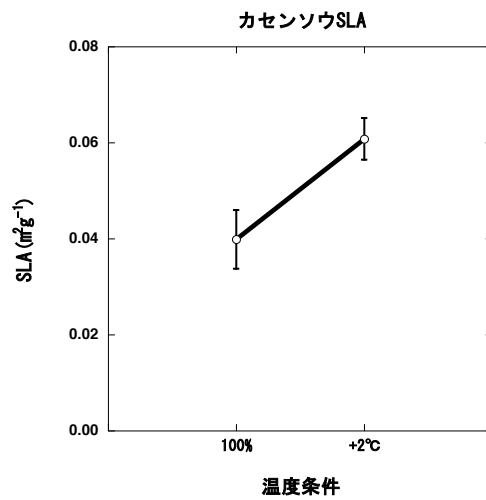
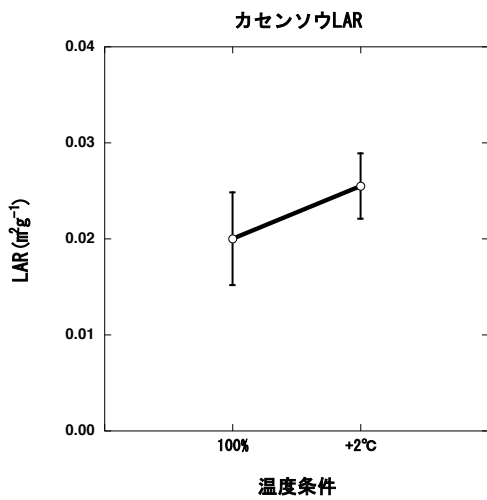
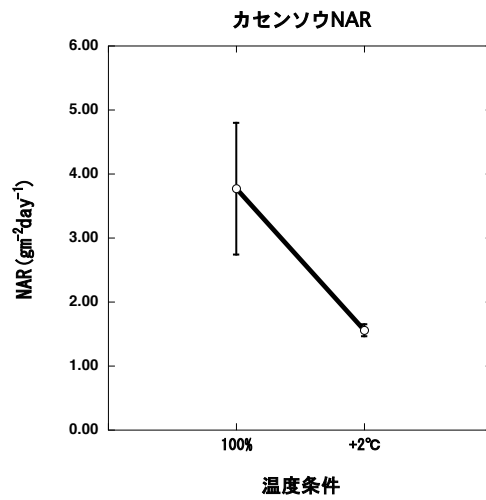
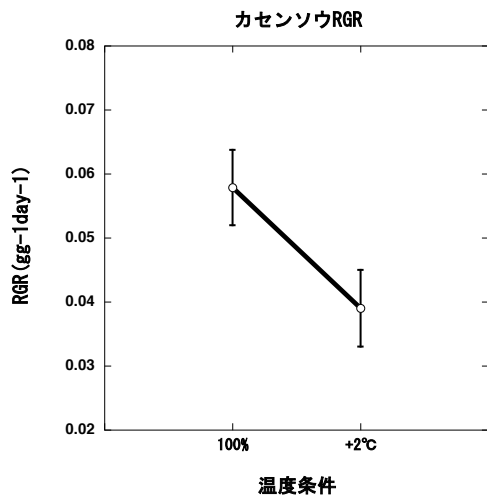


図 39 異なる温度条件下で栽培したカセンソウの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4℃上昇させた実験区（2.4℃区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=4~5。

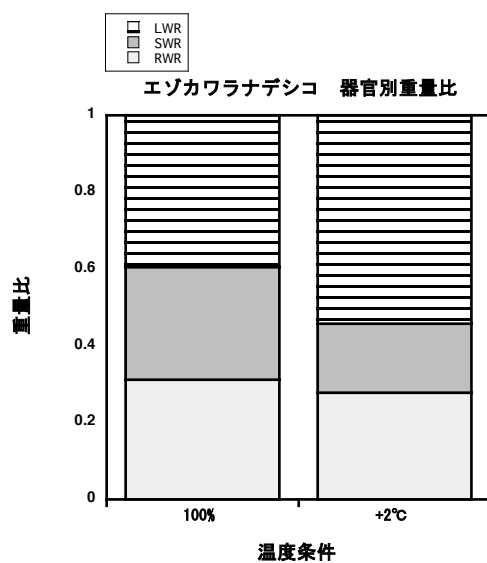
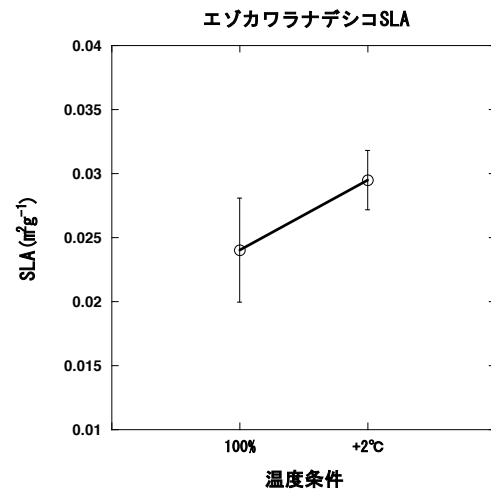
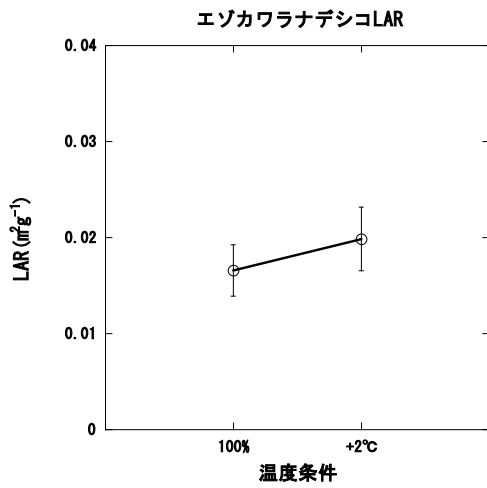
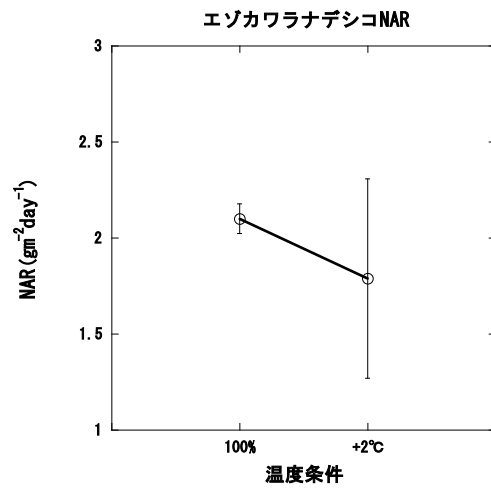
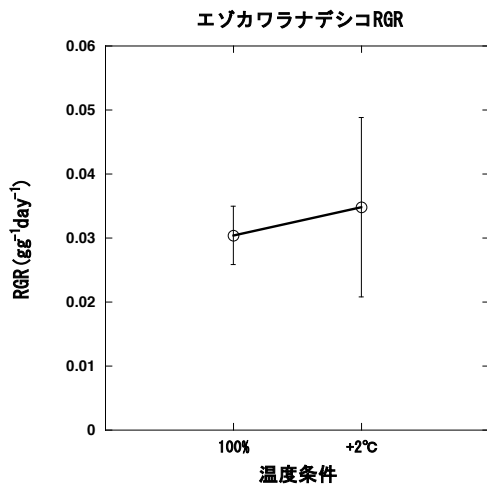


図 40 異なる温度条件下で栽培したエゾカワラナデシコの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区（2.4°C 区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=3~4。

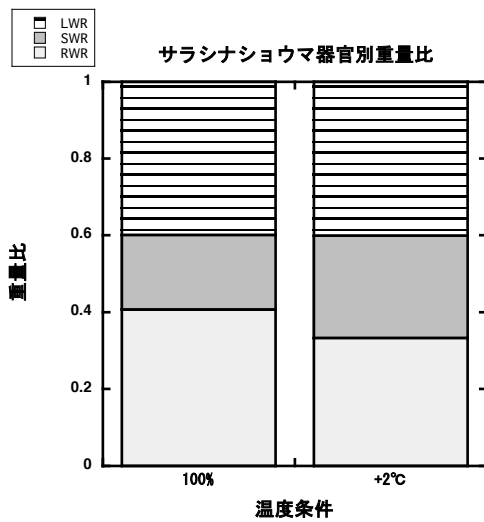
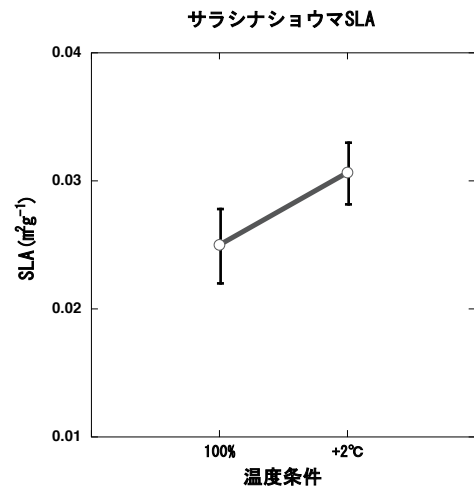
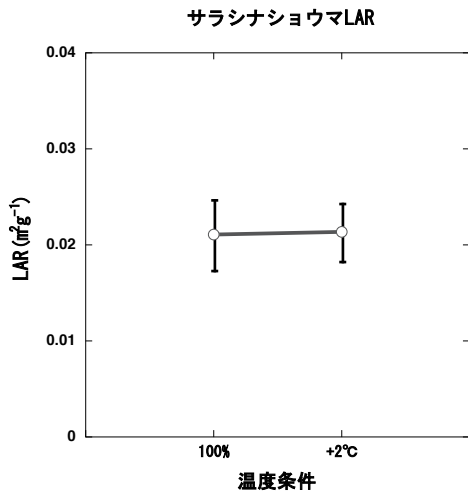
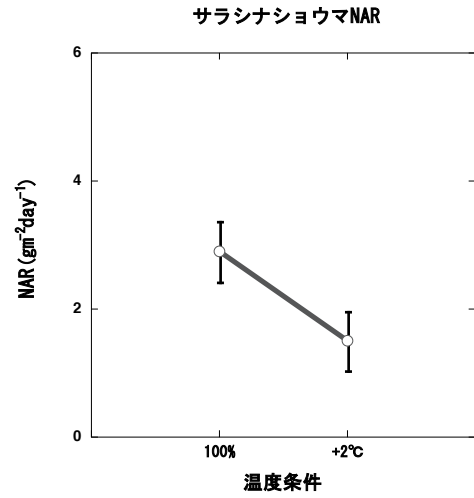
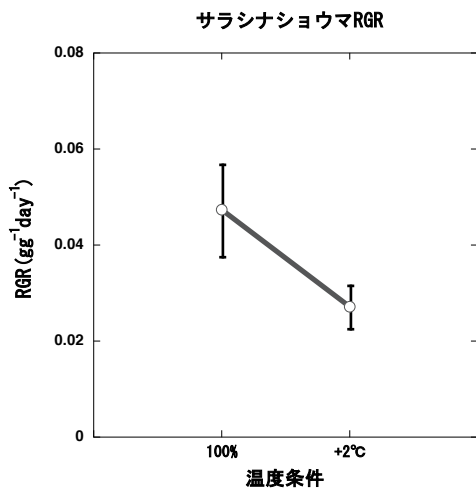


図 41 異なる温度条件下で栽培したサラシナショウマの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区（2.4°C 区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=3~4。

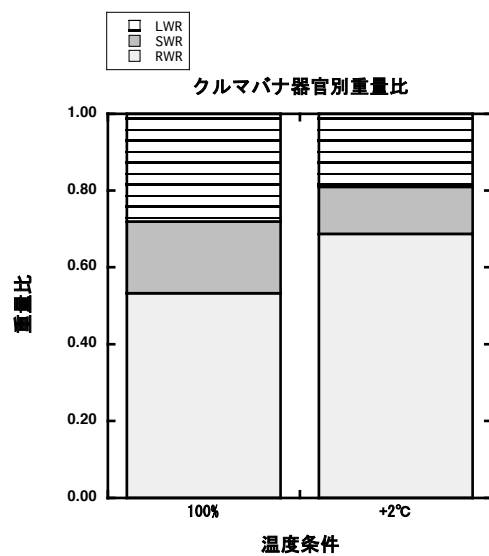
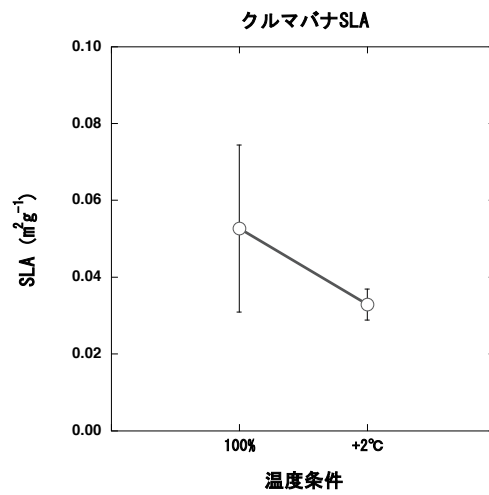
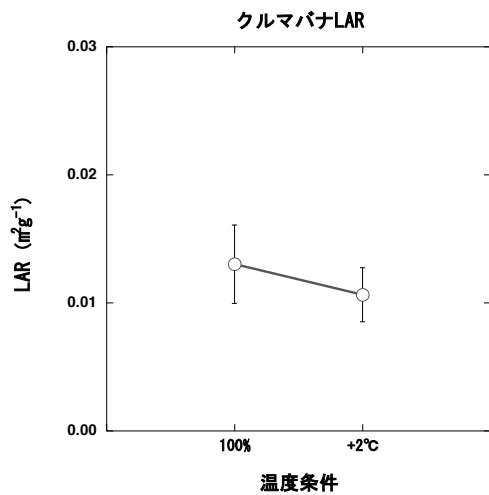
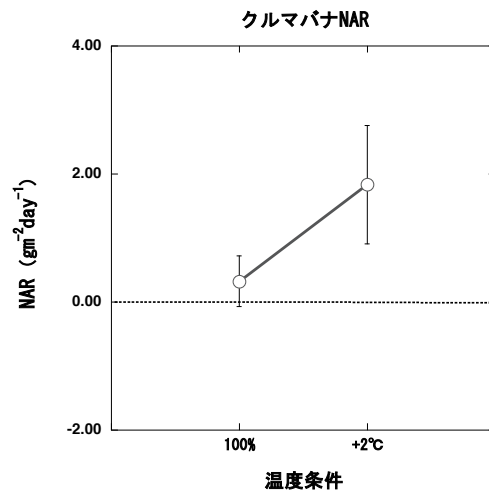
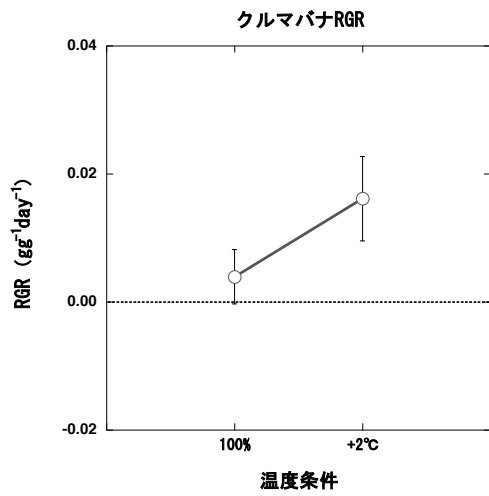


図 42 異なる温度条件下で栽培したクルマバナの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区（2.4°C 区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて約 1 ヶ月栽培した。相対成長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=4。

