

卒業論文

題名 群馬県内の里地・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 13602051

氏名 山里 純

指導教員名 石川 真一 教官

平成 29 年 1 月 17 日 提出

概要

里山とは当初は農用林や薪炭林として利用されていた林野を意味していた。しかし、身近な農村景観の減少に伴って自然保全への意識が高まるようになると、この言葉がもともとの意味を超えて農村社会だけでなく一般市民を含めてより広い意味で使われるようになった。また、学術的にも農用林、草地、農地、集落などの農村景観要素の相互関係の重要性が認識されるようになり、ランドスケープとして理解していくことがより重視されるようになった。

里地・里山地域は伝統的な農業により、長期間にわたって人と自然の共生関係が維持されてきた。おそらくこのことが原因で、里地・里山地域は植物種多様性が非常に高く、また多くの絶滅危惧種・希少種が生育していることが報告されている。しかし、高度経済成長期以降の産業構造の変化、とりわけ農業の衰退と少子高齢化により、里地・里山地域の環境は衰退の一途をたどっている。2010年10月に開催される「生物多様性条約COP10名古屋会議」を契機に、日本は「SATOYAMA イニシアティブ」と呼ばれる生物多様性保全政策を実施していくことになった。この政策実現のためには、里山における生物多様性の現状の解明が必須であり、特に里山の生物多様性が高い理由の学術的解明、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、里地・里山地域には、絶滅危惧種・希少種を含む多様な在来植物が生育することが明らかになりつつあるため、この植物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・成長特性の多様性の関係を解析することによって考察する。そのため群馬県内で、長期間里山として維持管理されている地域（西榛名、および矢場川と谷田川）において、植物相調査、環境調査を行って里地・里山の現状を解明する。また代表的な絶滅危惧植物・希少種（絶滅危惧種A、絶滅危惧種B、ナガミノツルキケマン、ジョウロウスゲ、チョウジソウなど）について種子生産・発芽・生長特性の解明を行った。そして、絶滅危惧種Aについては、最終発芽率が実験者、採取年・採取場所によってばらばらであり、また冷湿処理の必要性も確定されていないため、これらの原因を解明する“追試”実験を行った。

植物相調査の結果、群馬県内には、絶滅危惧種Aや絶滅危惧種Bをはじめとする多数の絶滅危惧種・希少種が生育できる良好な里地・里山環境が現存していることが分かった。また西榛名地域や矢場川など県内の様々な里地・里山地域において、二次林、水田、ため池、用水路、湿地など多様な立地条件が形成されており、それぞれの立地ごとに異なる種からなる構成で、多くの在来植物種が生育していることが明らかになった。

調査を行った西榛名地域では、16種の希少種および絶滅危惧種を含む在来種98種の生育が確認され、植物種多様性の高い地域であることが判明した。先述した環境条件と、地域に生活する人々が行う農耕作業による人為的攪乱が長期間維持されており、様々な在来植物種に適した多様な生育環境が形成されていると考えられる。また、谷田川では、

7種の絶滅危惧種を含む在来種27種が確認され、流域の多くの地点で繁茂する絶滅危惧種の絶滅危惧種Bなども自生していることから植物種多様性の高い地域と言える。しかし、環境省が設定した要注意外来生物種であるオオブタクサやアメリカセンダングサなどの外来種の繁茂も確認されており、これら外来種が在来植物を脅かす可能性が考えられるため、今後も継続的なモニタリングを行うとともに、外来植物の駆除や移入防止対策を早急に検討する必要がある。

絶滅が危惧されているや、絶滅危惧種Cの開花個体調査においては、昨年までの研究に比べ、より多くの個体が確認され、この地域における生育環境に問題が無く、良好な状態で維持し続けていることが確認できた。

また、絶滅危惧種Aの花柱構成比調査および結実率調査では、採取年や採取地点の違いによって変動があった。

結実率については、未熟な種子の割合が高い結果となり、草本の繁茂などによる光環境の劣化の問題が懸念される。今後も継続的調査を行い、当地のモニタリングを行う必要がある。

さらに、冷凍保存によって絶滅危惧種Aの種子の長期保存が可能であることが判明し、絶滅危惧種Aの土壌シードバンク形成期間は非常に短いことが再確認された。絶滅危惧種Aの生育環境、発芽条件の解明と並行し、冷凍保存による人工的なシードバンクを確立することは、絶滅危惧種の保全に非常に重要なことと考えられる。ただし、冷湿処理以外にも種子の休眠を解除する要因が存在すると考えられ、また、種子の生存期間の短さから、多くの種子が野外において発芽することなく死亡していると推察される。したがって、絶滅危惧種Aの孤立や分断を防ぎ、種子の生産が毎年確実に行われるように、今後も自生地環境の保全を行う必要がある。

矢場川自然再生地における絶滅危惧種Bの今年の現地調査では、絶滅危惧種Bが繁茂・開花し生育範囲を広げていることも確認した。一方で、移植した絶滅危惧種Bについては、流失などによって消失し移植が失敗したことが確認されたため、今後は移植地点を変更するなどの対策を行い、引き続きモニタリングを行う必要がある。また、セイタカアワダチソウなど要注意外来種も数多く繁茂しているため、こちらも引き続き調査を継続しながら、適切な時期に草刈りを行うなど早急な対策を取る必要がある。

絶滅危惧種A以外の植物種の発芽実験では、実験の結果、里地・里山地域に生育する在来植物種の多様な発芽特性が確認できた。コバギボウシ・ジョウロウスゲ・チョウジソウ・バアソブは冷湿処理による発芽促進効果が確認されたため、種子が冬を経験することで、発芽が促進されると考えられる。一方、クロバナヒキオコシ・ユウガギク・ゴマナは冷湿処理による発芽促進効果が確認されず、種子が冬を経験する必要がない可能性があると考えられる。また、ミヤコアザミは冷湿処理の実施の有無にかかわらず、ほぼ全ての温度区で発芽したため、種子が熟した直後すぐに発芽していると推察される。ナガミノツルキケマンは最終発芽率が31.3%となり、福島(2015)と嶋方(2016)の研究において述べられた深い休眠状態から脱したと考えられるが、休眠解除の要因が解明できていないため、今後も同様の実験を行って解明する必要がある。ムラサキケマンは最終発芽率が0%であり、吸水が全くされなかったあるいは冷凍保存していたため種子が死んでしまった可能性が考えられるため、別の方法を検討し実験を行う必要がある。ウバユリは本研究の実験では発芽しなかったが、嶋方(2016)の研究で余ったウバユリの種子から10数個の発芽が確認できており、ウバユリの種子が今まで深い休眠状態にあり、何らかの要因によって発芽したと考えられるため、発芽要因と発芽促進の方法を解明すべく、引き続き実験を行う必要がある。

植物に対する光条件を変化させた生長解析では、実験結果から、イヌトウバナ・チョウジソウ・絶滅危惧種B・ミヤコアザミは、日の当たる明るい地域を生育環境として好み、草本が著しく繁茂する地域では生育できないことが明らかになった。一方でコバギボウシとゴマナは、ある程度被陰のある地域を生育環境として好み、裸地や草本の生い茂る林内では生育できないことが明らかになった。また、ジョウロウスゲは、日の当たる裸地を生育環境として好み、被陰のある地域では非常に生育が悪化することが明らかになった。ナガミノツルキケマンは、日の当たる明るい地域でも生長するが、ある程度被陰のある地域でも生育できることが明らかになった。このように、様々な在来植物種が多様な環境で生育しているが、いずれにおいても、草刈りなど草本の管理が行われることで生育に良好な環境が整えられ、逆に里山の管理が放棄された場合、生育が悪化し、最悪の場合は生存できなくなると推察される。

本研究によって、里地・里山地域の保全の重要性と地域に生育する絶滅危惧・希少植物種の生態が明らかになった。里地・里山地域は、長期にわたって人と自然との共生関係が維持されてきた地域であり、結果として多様な植物種の生育する貴重な生態系を育んできた。持続可能な社会を成立させるには生態系の保護が不可欠であり、貴重な生態系を維持するために、社会全体が一丸となって取り組むことが重要である。

目次

はじめに.....	3
里山とは.....	3
生物多様性・生態系サービス.....	5
生物多様性条約（CBD）.....	8
生物多様性の危機.....	10
里山の生物多様性.....	12
水辺の生物多様性.....	13
SATOYAMA イニシアティブ.....	16
レッドリスト・レッドデータブック.....	18
里山と絶滅危惧種Aおよびその生態.....	20
本研究の目的.....	23
調査地概要.....	25
材料及び方法.....	27
植物相・開花個体数調査.....	27
矢場川の自然再生地における絶滅危惧種B移植後のモニタリング調査.....	27
発芽実験・栽培実験.....	27
材料植物.....	27
種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性解析.....	29
里山植物種子の発芽条件の解析.....	29
冷湿処理では発芽しない里山植物の種子に対する温湿処理.....	30
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.....	30
異なる環境下における栽培実験.....	33
生長解析.....	34
絶滅危惧種Aの花柱構成比.....	35
絶滅危惧種Aの結実率.....	36
絶滅危惧種Bの挿し木実験.....	36
群馬大学荒牧キャンパスの気温測定.....	37
統計解析.....	37
結果および考察.....	38
植物相調査.....	38
希少種の開花株数と分布.....	39
矢場川の自然再生地における絶滅危惧種B移植後のモニタリング調査.....	42

発芽の冷湿処理・温度依存性実験	43
絶滅危惧種 A 種子の保存方法及び前処理が発芽率に及ぼす影響	48
ジベレリン処理による強制休眠解除実験（生存検定）	48
冷湿処理による休眠解除実験	49
絶滅危惧種 A の花柱構成比	49
絶滅危惧種 A の結実率	50
絶滅危惧種 A の結実率と等花柱花	51
異なる相対光量子密度下で栽培した植物の生長解析	52
異なる温度条件下で栽培した植物の生長解析	58
絶滅危惧種 B の挿し木実験	59
結論	60
謝辞	64
引用文献・引用 web ページ	65
写真・表・図	69

はじめに

里山とは

「里山」の語の最古の史料は1661年にさかのぼる。1661年佐賀藩『山方二付テ申渡条々』によるもので、田畠、里山方、山方という土地を示す語のなかで、「里山方」という言葉が用いられている。1663年加賀藩『改作所旧記』でも、「山廻役」（巡回役）として「奥山廻」と「里山廻」が記述されている。「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』に「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いわれている。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。その後、1970年代に森林生態学者の四手井綱英により、寺町に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。つまり、里山とは当初は農用林や薪炭林として利用されていた林野を意味していた（齊藤ら2012）。

しかし、過去50年間で身近な農村景観の減少に伴ってそうした自然保全への意識が高まるようになると、この言葉がもともとの意味を超えて農村社会だけでなく一般市民を含めてより広い意味で使われるようになった。また、学術的にも農用林、草地、農地、集落などの農村景観要素の相互関係の重要性が認識されるようになり、農用林だけでなくこれらの景観要素をセットで、つまりランドスケープとして理解していくことがより重視されるようになった（齊藤ら2012）。

このような農村景観をまとめて「里地」と呼び、林としての「里山」と区別するという提案もある。また、狭義の里山を「里山林」とし、多様な農村景観要素の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（齊藤ら2012）。

裸地は放置すれば草原となり、草原はやがて森林になる。このように時間の経過とともに植生などが一定の方向に変化する現象を「遷移」とよぶ。里やまにおける遷移は、溶岩流のあとなどからはじまる「一次乾性遷移」とは異なり、二次的なものである。里やまにおいては、また、池沼や湿地が水生植物の繁茂によりしだいに埋まり、湿性草地から森林に至る「湿性遷移」もみられる。遷移は長い時間を経て「極相（クライマックス）」に到達し停止する。極相がどのような植生になるかは、その場所の気候や土壌などの条件により異なる。火山の噴火をはじめ河川の洪水や山崩れ、暴風による樹木の倒壊、落雷による山火事などの自然のイベントにより遷移は逆行する。遷移を後戻りさせる自然への働きかけは「攪乱」とよばれる。里やまにおける樹木の伐採や草刈り、野焼きや山焼きといった自然に対する人の行為も、人為的な攪乱といえることができる。農民は草の生えた地面を耕して畑地をつくり、茅場はススキなどの草を牛馬のかい葉や屋根ぶきの資材などとして利用するために、定期的に刈りとりながら維持されてきた。里山林は間伐や下刈り、落ち葉かきをすることで薪や炭、肥料を得、結果的に遷移の進行を止め

てきた。ため池や水路、そして水田も、それらの機能を維持するために、草を刈り、泥を上げ、補修を行ってきた。このように、里やまには人が利用するためにさまざまな遷移段階の自然（遷移系列）が存在し、それらは人が恒常的に働きかけを行うことにより維持されてきた。すなわち、里やまの自然は、人為的な攪乱と自然の回復力のバランスという人と自然の相互作用により成立してきた半自然であり、二次的な自然である（石井ら 2006）。

伝統的な農林業は、モザイク状の景観をつくり上げることによって野生生物に多様な生息地（エコトープ）を提供してきた。人間が維持してきた草地や若い落葉広葉樹林は、氷期遺存種を含む多様な動植物の生息地であった。また、水辺を含むコンパクトな植生モザイクは、生息環境の異なる多種類の生物の共存を容易にするだけでなく、生活環をまっとうするために異質な生息地の間を行き来する生物群に好適な生息条件を保障してきた。里やまの景観は、地形や水系の制約のうえに農作業の利便を考えて定められた植生配置であり、もちろん野生生物の保全を意図したものではない。しかし、鎮守の森などの老齢林を核とし、その周辺に若い二次林を配置して外部からの周縁効果を軽減しながら、さらにそこから耕作地に樹林帯を伸ばすなど、野生生物にとっても好都合な植生配置がみられる。鎮守の森の神秘性あるいは水源涵養機能を維持しようとする知恵が、結果として地域の生物多様性を守ってきた（前藤 2005）。

およそ近世から 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二酸化炭素や雨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）。

里山のおもな要素のひとつであるコナラ二次林のような雑木林は、地域差はあるがかつては薪炭林・農用林としてそして現在はおもにシイタケ原木林として人間活動によって維持されてきた二次林である（もちろん、現在でも薪炭林や農用林として使っている地域もある）。このような二次林は、里山に本拠を置く動植物の生息地としてその重要性が認められているにもかかわらず、近年住宅整備やゴルフ場建設などの開発行為によって最も改変が進んだ植生でもある。とくに、東京など大都市近郊の台地や丘陵地では、1960 年代前半からの高度成長に伴い、かつての薪炭林、農用林を伐り開いて宅地やゴルフ場などが開発されてきた。また、過去 20 年間で残存している雑木林についても農村の

過疎化や高齢化が進むにつれて放置され、その結果竹林が拡大し、常緑樹が増加してそれまで普通に観察できた林床の草本植物が減少するなど変化が著しい。つまり、従来は農家によって維持管理されてきた二次林が、農家だけでは維持できなくなっている（齊藤ら 2012）。

かつての「種の保護」という考え方は、絶滅の危機に瀕している種に限定され、とくに日本では「手を触れないこと」が保護であるとして、その種の生活史や生息環境の変動を無視した対策のとられることが多かった。遷移の途中層に生息している種では、「手を触れないこと」は遷移の進行を招いてその種にとっての生息環境を悪化させてしまい、保護をしたことにはならない。とくに里山景観に生息する種の多くは遷移の途中層を生息場所としているので、里山景観を維持するという「管理」が必須となる。このような視点で、生息環境の保護・保全・管理が考えられるようになったのは最近のことである。さらに、近年、絶滅危惧種や環境指標種のみを保護の対象にせず、いわゆる「普通種」の生息も保全すべきであると考えられるようになってきた（渡辺 2010）。

里山のような遷移の途上にある生態系は、ひんぱんに手を加えて維持しなければならない。しかし、だからといって、林床の下草をきれいに刈り、倒木や朽木を除去し、落葉を必要以上に掃き取ってしまうのは問題である。いうは易く行うは難しであるが、一口にいて、生態学的な配慮のもとに「適度に管理する」という姿勢が大切なのではないだろうか。里山の生物の住む環境を維持するためには、生態遷移を引きとめる何らかの管理努力が必要であることはいうまでもない（石井 1993）。

生物多様性・生態系サービス

「生物多様性」は、種の多様性、種内の多様性（同じ種のなかの地域集団の多様性と集団内の個性の多様性）、生態系の多様性（さまざまな種や環境要素がつくるシステムの多様性）を含むものとして定義されている（鷲谷 2010）。もっと一般的な表現を使えば、それぞれの地域に多様な生き物が生息し、それぞれが相互につながっていて、その結果、多様な自然が存在している事とも言える（足立 2010）。生物多様性の概念は、人間生活への利用にスポットを当てている点で、これまでの「厳粛に保護すべき自然」の考え方とは大きく異なる。木材や食料、または浄化された水など、生物を媒介とした自然の価値は、その利用行為を経て私たちが享受しているものだが、無制限に利用すれば、容易にかつ永遠に消失してしまう。これらの様々な生き物やその相互の関係（森林など）から、人間生活を豊かにするための価値を最大限に引き出すことは、今後の人類の生存に欠かすことができない。私たちの時代だけではなく、子孫の時代まで考え、上手に利用していく必要がある。例えば、単一品種の作物を栽培している農地では生物多様性が著しく乏しい。このような生き物の集団は、小さな環境の変化・病気や害虫などの外敵の侵入に弱い。こうした事態へ対応するため、作物の遺伝子銀行の役割を野生生物に求める必要があり、そのためには作物のもととなる種（種群）と、それを支える生息・生育

地が残っていなければならない（生物多様性政策研究会 2002）。

種の多様性とは、地球上のさまざまな環境にあわせて生きものが進化した結果、未知の生物も含め、現在約 3,000 万種ともいわれる多様な生物が暮らしていることを指す（環境省 2010）。なお、その国やその地域以外にはどこにもみられない在来種を、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（鷺谷 2010）。生態系がつくり出すさまざまな物理環境が存在すること、生きものと物理環境との関係や生きもの同士の間関係といったさまざまな相互作用によって種の自然な淘汰が起きること、進化を引き起こすような遺伝的な差異があること、これらによって種の多様性が生まれている（環境省 2010）。

同じ種に属する個体にも、形や色彩や大きさの違い、くせなど行動の違いといった「個性」がある。それらの違い（生物学用語では「変異」）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もある。これらの変異に、地理的に明らかな構造が認められる場合には、地理的変異という。同じ場所でくらす個体の集まり（群れ、個体群という）のなかにみられる変異も含めて「種内の多様性」とよぶ。植樹のときなどには、その地域に特有な遺伝的特性をもつ、地域由来の木を植えるようにすることが、種内の多様性を乱さないために必要である（鷺谷 2010）。

同じ場所で生活する生物の種同士は、さまざまな関係で結ばれている。「食べる-食べられる」の関係や餌や光などの資源をめぐる競い合う関係だけでなく、花とハナバチのように栄養価のある餌を与えて受粉を助けてもらう、あるいは樹木が鳥に実を与えて種子を運んでもらうなど、必要な資源やサービスを交換する共生関係もある。それら生物間関係に、化学物質や光などの非生物的環境要素と生物との関係が加わったシステム、つまり、ある空間におけるあらゆる生物要素、および無生物環境要素とそれらの間関係の集合が、生態系である。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。日本の里地・里山のように、樹林と草原と池沼など、異なる性質の生態系が多く組み合わせられているほど、生態系の多様性は高い（鷺谷 2010）。

ミレニアム生態系評価（MA）は、国連の呼びかけで、2001 年から 2005 年にかけて実施された地球規模の生態系評価である（守分 2009）。その目的は、生態系の変化が人間の福利に及ぼす影響を評価することであり、生態系の保全と持続的な利用を進め、人間の福利への生態系の貢献を高めるために、われわれがとるべき行動は何かを科学的に示すことにある（Millennium Ecosystem Assessment 2007）。この環境アセスメントには、世界資源研究所、国連開発計画、国連環境計画、世界銀行などの国際機関、世界の 95 カ国の国々、および 1360 名の専門家が参加した（鷺谷 2006）。代表的な 24 の生態系サービスについて評価を実施し、そのうちの 15 項目（漁獲、木質燃料、遺伝資源、

淡水、災害制御など)において低下または持続できない形で利用されていること、一方で、向上している指標はわずか4項目(穀物、家畜、水産養殖、気候調節)であることが示された(守分 2009)。

国連ミレニアム生態系評価(MA)によると、生態系サービスとは、大気の浄化、水源の涵養、土壌保持、自然災害の緩和、病虫害・疫病の抑制、CO₂の吸収・固定、気候の安定、農水産物を含めた生態系の保持、さらには農林水産業・食品・工業製品の原材料やエコツーリズムの資源、そして景観的・審美的価値や宗教的・倫理的価値など、人間が自然界から享受しているさまざまな財やサービスのことをいう。「自然の恵み」あるいは「生命の恵み」と言い換えることもでき、供給サービス、調整サービス、文化サービス、そしてそれらの元となる基盤サービスの4つに整理される(日比・千葉 2010)。

供給サービスとは、食料、燃料、木材、繊維、薬品、水など、人間の生活に重要な資源を供給するサービスを指す(環境省 2007)。里山の森林における特徴的な供給サービスとしては薪炭としての燃料供給があげられ、1960年代の燃料革命以前は農村地域における生活や生業を支える重要な資源として木材とともに利用されてきた。また、農用林から採取した落葉や下草などは農地への肥料として用いられ、化学肥料が普及する1960年代以前においては、重要な供給サービスであった。現在では、シイタケ原木としての木材利用、シイタケ類の栽培は里山における食料供給サービスとして位置づけられるほか、里山地域における水田や畑地からの農業生産は、当該地域および都市域に対しても重要な食料供給サービスである(齊藤ら 2012)。

調整サービスとは、森林があることによって気候が緩和されたり、洪水が起こりにくくなったり、水が浄化されたりといった、環境を制御するサービスのことを言う(環境省 2007)。里山におけるおもな調整サービスには「気候調整」、「水質調整」、「災害調整」などがあげられる。里山の森林が有する炭素固定や水源涵養、洪水調整、更に汚染物質の保持や除去などによる水質保全機能といった調整サービスのほか、里山における家屋や樹林帯の配置による防風、温度調整機能も重要な調整サービスとしてあげられよう。また、農業生産のために整備されたため池や水田なども洪水防止や栄養塩保持などの調整サービスを創出している。里山生態系に生息するポリネータによる受粉サービスや農作物や樹木に対する病虫害の天敵の存在も、里山の有する重要な調整サービスである(齊藤ら 2012)。

文化的サービスとは、精神的充足、美的な楽しみ、宗教・社会制度の基盤、レクリエーションの機会などを与えるサービスのことを言う(環境省 2007)。里山や里海は、日本の社会に文化的に組み込まれている。里山・里海の管理に取り入れられてきた伝統的知識や地域に密着した伝統的な慣習・風俗などは、その地域に特色ある伝統的な文化や郷土愛を形成し、観光や自然散策、レクリエーションなどの貴重な文化的サービスをもたらしている。里山・里海は、その土地に密接に関係した場所であるがゆえに地域の文化、風俗、監修に影響を与え、それが連なりあって日本文化の底流をなしてきた。また、

近年では環境教育やエコツーリズム、市民参加型の里山・里海の維持管理活動なども行われている（齊藤ら 2012）。

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。里山や里海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。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。これらの特性は、里山生態系のもたらす多様な供給、調整、文化的サービスの基盤として特に重要である。多様な生態系モザイクによって支えられている生態系の一次生産や栄養塩循環、土壌形成、ハビタット構造などが、さまざまなプロセスやメカニズムを通じて多様な生態系サービスを創出している。里山は農林業と暮らしの場であると同時に、生態系サービスの基盤たる生物多様性を育む場として重要な役割を果たしている（齊藤ら 2012）。

生物多様性条約（CBD）

生物多様性条約は、1992年にリオデジャネイロで開催された「地球サミット」において採択された（鷲谷 2006）。2015年5月現在、194か国、欧州連合（EU）及びパレスチナが締結している（外務省 HP）。日本は条約が採択された直後に加盟しており、この条約が求めている生物多様性保全の取り組みをさまざまなかたちで進めている（鷲谷ら 2005）。

生物多様性条約は、人間活動の影響を生物多様性の維持可能な範囲にとどめ、生態系要素の不可逆的な喪失の防止を目指そうとするものである。ここにおいて生物多様性は、「種内の多様性、種の多様性、生態系の多様性からなる生命のあらゆる変異性」と定義される。「種内の多様性」は種内の遺伝子の多様性である。種の多様性は、分類学的な種の多様性のことである。このような生物多様性を保全し、持続的に利用し、失われた生態系を再生するのが、生物多様性条約の目標である（鷲谷ら 2005）。

CBDの目的は、生物多様性の保全、持続可能な利用、遺伝子資源から得られた利益のフェアな配分とされた。最後の利益の配分というのは、金銭的なメリットだけにとどまらず、技術やノウハウの交流を含み、発展途上国への一定の配慮をうかがわせるものとなっている。目的や理想を掲げた条文を作って終わるのではなく、その目的が着実に各国で実行に移されてこそ、条約は意義深いものとなる。そこで条約を批准した各国が定期的に集まり、その進捗度合、成果、新たな課題について話し合う場として、2年に1度の頻度で締結国会議（COP）が開催される。

CBDにはどのような特色があるのかを見ていく。まず、そのカバーする領域、項目がとにかく広いことが特色の一つとして挙げられる。これには歴史的な背景があり、「ワシントン条約」や水鳥の生息地である湿地を保護する「ラムサール条約」などに加えて、

それを補いながら、より包括的に生物多様性や生物資源を扱う条約として、CBD が誕生した経緯がある。包括的な条約という利点がある一方で、他の条約では扱いつらかった難題を引き受け、正面から取り組む使命も担うこととなった。特に産業が発達した先進国と、多くの国民が経済的に貧しい生活をしている発展途上国とが対立する、いわゆる南北問題は CBD でも色濃く現れている。CBD の条文の「地球上の全ての生命のために」という文言が象徴するように、地域や種に特化していないことがさらなる特色の一つである。既存の条約では、対象を種あるいは場所に特化していることから、「カリスマ性のある」動物や場所としてパンダや湿地など一般の人々が活動を抱きやすいのに対し、CBD は種や場所に特化したものとはなっていない。包括的であるというメリットはあるが、種や生態域をパッとイメージできないという側面があることも否めない。生物多様性が豊富な熱帯雨林、湿地、サンゴ礁などの多くが、発展途上国に偏在していることもあり、CBD は発展途上国が積極的に参加し、発言していく場であった。締約国の数が増え、さまざまな国が参加してきたことは評価されるべきだが、その一方、南北の対立が先鋭化する場ともなってきた。例えば、保全や利用を持続可能にしていくために、技術移転や資金援助を求める発展途上国と、より厳密な科学的な物差しとなるモニタリングの導入を目指す先進国とが対立してきた。他にも、テーマ領域という生態系のタイプ別の課題として、乾燥地、農業、島嶼、山岳があり、横断的な課題としては、保護区、侵略的外来種とその他の経済・法的なトピックが存在する（香坂 2009）。

2002 年に生物多様性条約 COP6 がオランダのハーグで開かれ、条約採択から 10 年が経過したことを受け、「議論から行動へ」という呼びかけのもとに、2010 年目標を含む条約戦略計画が採択された。戦略計画の中で、使命（Mission）として掲げられた箇所、「締結国は、貧困の低減及び地球上のすべての生命の利益への寄与として、生物多様性条約の 3 つの目的の効果的かつ一貫した実施及び世界、地域、国レベルにおいて、現在の生物多様性の損失速度を 2010 年までに顕著に減退させることを約束する」が 2010 年目標である。生物多様性に関する世界目標を受けて様々な活動が進展したが、ミレニアム生態系評価（MA）、地球規模生物多様性概況第 2 版（GBO2）などの調査報告は、地球上の生物多様性の悪化傾向に歯止めがかかっていないことを示した（渡辺 2010）。2010 年 5 月に条約事務局が公表した「地球規模生物多様性概況第 3 版（GBO3）」では、世界の生物多様性の状況を表す 15 の指標のうち 9 の指標で悪化傾向であることが示されるなど、「2010 年目標は達成されず、生物多様性は引き続き減少している」と評価されている（環境省 2010）。2010 年目標を受けて生物多様性の認識は向上し、様々な活動が進展したが、その一方で、目的が抽象的であり、客観的・数値的評価手法を欠き、生物多様性の損失要因に対応した効果的な対策実施につながらなかったという問題点が指摘されている。日本は、COP10 の議長国として、次期目標に関して国際対話会合やアジア地域ワークショップを開催するとともに、それらの成果をふまえて 2010 年 1 月に日本提案を提出するなど、国際的議論の進展に努めている。次期目標の達成のためには、原生的

な自然だけでなく、都市や農村、海域も含め、人々の暮らしや様々な営みが行われている国土空間全体、地球空間全体を対象として、人と自然の調和的関係を取り戻し、自然と共生する社会を創り上げるという視点が重要である。そして地球環境の悪化から再生へと流れを変えていくために、国際機関、政府、地方自治体、企業、NGO、研究者、地域コミュニティなど多くの主体の行動が飛躍的に促進されること、また、環境分野のみならず、農林水産業、都市計画、経済政策、開発援助など、様々な分野の政策に生物多様性の視点が強く組み込まれていくことが欠かせない（渡辺 2010）。

生物多様性条約にもとづいた 2010 年目標の達成は失敗に終わったが、これまでの経験と評価をふまえて、COP10 では、新しい戦略目標が定められた。採択された新戦略計画に掲げられた長期的なビジョン（Vision）は、「自然と共生する世界」である。それは、「2050 年までに、生物多様性が評価され、保全され、回復され、そして賢明に利用され、それによって生態系サービスが保持され、健全な地球が維持され、すべての人々に不可欠な恩恵が与えられる」世界である。そして、2020 年までに達成すべき具体的な目標（愛知目標）として、5 つの戦略目標のもとに 20 の具体的な目標が定められた（鷲谷 2011）。

生物多様性国家戦略は、1993 年に発効した「生物多様性条約」第 6 条に基づき策定されるものである。また、2008 年に「生物多様性基本法」が施行されてからは、同法に基づく国家戦略ともなった。この基本法では、生物多様性の保全と持続可能な利用の基本原則を定め、それらに関する施策の基本となる事項を規定し、生物多様性国家戦略の策定が国の義務として法定化された。わが国では、生物多様性条約に基づく生物多様性の保全と持続可能な利用を目的とした国家戦略として、1995 年に最初の生物多様性国家戦略を策定した。その後、2002 年にはその国家戦略を大きく見直した新・生物多様性国家戦略を策定した。2007 年には新たに第三次生物多様性国家戦略を閣議決定し、2010 年、初めての法定戦略として生物多様性国家戦略 2010 が閣議決定された。そして、COP10 の成果や東日本大震災の経験などを踏まえ、愛知目標の達成に向けたわが国のロードマップであり、自然共生社会の実現に向けた具体的な戦略として、生物多様性国家戦略 2012-2020 が策定された（環境省 HP）。

生物多様性の危機

日本における生物多様性は、いま 4 つの危機にさらされている（中村・宇野 2010）。

第 1 の危機は、開発や乱獲など人が引き起こす負の影響要因による生物多様性への影響である。沿岸域の埋立などの開発や森林の他用途への転用などの土地利用の変化は多くの生物にとって生息・生育環境の破壊と悪化をもたらし、鑑賞用や商業的利用による個体の乱獲、盗掘、過剰な採取など直接的な生物の採取は個体数の減少をもたらした。中でも、干潟や湿地などはその多くが開発によって失われた。また、河川の直線化・固定化やダム・堰などの整備、経済性や効率性を優先した農地や水路の整備は、野生動植物の生息・生育環境を劣化させ、生物多様性に大きな影響を与えた。現在においては、

農地・林地から都市的利用への転換は過去と比較して穏やかになってきているものの、新たな開発は続いており、土地利用の転換によってひとたび失われた生物多様性は、容易に取り戻すことはできない。

第2の危機は、第1の危機とは逆に、自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することによる影響である。里地里山の薪炭林や農用林などの里山林、採草地などの二次草原は、以前は経済活動に必要なものとして維持されてきた。こうした人の手が加えられた地域は、その環境に特有の多様な生物を育んできた。また、氾濫原など自然の攪乱を受けてきた地域が減り、人の手が加えられた地域はその代わりとなる生息・生育地としての位置づけもあったと考えられる。しかし、産業構造や資源利用の変化と、人口減少や高齢化による活力の低下に伴い、里地里山では、自然に対する働きかけが縮小することによる危機が継続・拡大している。わが国の総人口は、今後減少していくものと予測されている。2050年までに現在の居住地の2割が無居住地化し、特に都市から離れた中山間地域、奥山周辺は3割から5割程度が無居住地化すると予測されており、里地里山と人との関わりがこれまで以上に減少していくおそれがある。

第3の危機は、外来種や化学物質など人間により持ち込まれたものによる危機である。まず、外来種については、オオクチバス、オオハンゴンソウなど、野生生物の本来の移動能力を越えて、人為によって意図的・非意図的に国外や国内の他の地域から導入された生物が、地域固有の生物相や生態系を改変し、大きな脅威となっている。また、家畜やペットが野外に定着して生態系に影響を与えている例もある。特に、他の地域と隔てられ、固有種が多く生息・生育する島嶼の生態系などでは、こうした外来種による影響を強く受ける。外来種問題については、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律(外来生物法)」に基づき特定外来生物等の輸入・飼養等が規制されているが、既に国内に定着した外来種の防除には多大な時間と労力が必要となる。また、国外から輸入される資材や他の生物に付着して意図せずに導入される生物や国内の他地域から保全上重要な地域や島嶼へ導入される生物などは、外来生物法による規制が難しく、こうした生物も大きな脅威となっている。化学物質については、20世紀に入って急速に開発・普及が進み、現在、生態系が多くの化学物質に長期間曝露されるという状況が生じている。化学物質の利用は人間生活に大きな利便性をもたらしてきた一方で、中には生物への有害性を有するとともに環境中に広く存在するものがあり、そのような化学物質の生態系への影響が指摘されている。化学物質による生態系への影響については多くのものがいまだ明らかではないが、私たちの気付かないうちに生態系に影響を与えているおそれがある。例えば、農薬や化学肥料については、不適切な農薬・肥料の使用が生物多様性に対して大きな影響を与えてきたと考えられる。

第4の危機は、地球温暖化など地球環境の変化による生物多様性への影響である。地球温暖化のほか、強い台風の頻度が増すことや降水量の変化などの気候変動、海洋の一次生産の減少及び酸性化などの地球環境の変化は、生物多様性に深刻な影響を与える可

能性があり、こうした変化をそれぞれの生物が許容できない場合、「その場所での進化」、「生息できる場所への移動」のいずれかの対応ができなければ、「絶滅」することになる。地球環境の変化が進行した場合は、島嶼、沿岸、亜高山・高山地帯など環境の変化に対して弱い地域を中心に、わが国の生物多様性に深刻な影響が生じることは避けることができないと考えられている。さらに、地球環境の変化は食料の生産適地の変化、害虫等の発生量の増加や発生地域・発生時期の変化、感染症媒介生物の分布域の拡大など、生物多様性の変化を通じて人間生活や社会経済へも大きな影響を及ぼすことが予測されている（環境省 HP）。

これら 4 つの危機が原因となって、種の絶滅や生態系の崩壊が地球上のあちこちで進行している。今、里山で荒廃が進む主な原因は、われわれの生活の変化に伴うものである。暮らしの中で使うエネルギー源は薪炭などの木質バイオマスから化石燃料に変わった。安価な外国産が大量に輸入され、地方のスーパーの店頭でも外国産野菜が並ぶようになり、里山の必要性が薄れた。また、地方から人口が流出して、都市部に集中する現象が続いて、「里山離れ」に拍車がかかっている。同時に多くの田んぼや林が放棄され原野に戻る過程で、里山に生息してきた生きものの中には、絶滅の危機にさらされるものが出てきた（中村・宇野 2010）。地球規模の生物多様性の現状評価が明らかにしたのは、化石燃料と多投入農業（農薬や化学製品を多用する農業）に頼る暮らしは、生態的な視点から見ると決して持続可能とはいえないということである。「人間中心世」の大きな環境変化を抑え、安定した環境を回復させるには、生物生産物の利用のあり方を見直すことが必要である（鷲谷 2011）。

里山の生物多様性

日本列島の豊かな自然と生物の多様性は、

- (1) 南北に長く、亜熱帯から亜寒帯までの気候帯が存在し、標高の高い山には高山ツンドラがみられるといった、気候的にみた広域的な環境の多様性
- (2) 火山活動と活発な浸食堆積作用による地形水質・水文からみた地域環境のモザイク的多様性
- (3) 最終氷河の影響が少なかったことによる古い生物相の温存
- (4) 火山の多い山がちな国土における、火山の噴火による泥流や野火の発生、地震による地滑り、モンスーン気候と急流河川ゆえの夏季の大雨や台風にともなう氾濫

など、多様なタイプの自然の攪乱によってもたらされたものである。とくに、さまざまなタイプの自然の攪乱に適応した生物群が存在していたことは、農耕生活がはじまり、ヒトの干渉が大きく作用するようになると、ヒトの生活圏に豊かな自然を維持するうえで重要な意味を持つようになった。少なくともヒトの足跡が明らかなこの数千年のあいだ、列島に暮らす人々は、野山を焼いて畑を作り、水を治めて田をひろげ、木や草をとって肥料・燃料・建材とし、川や湖で魚をとることによって、その暮らしを営んできた。

伐られても、切り株から新しい幹をのぼして再生する木。焼かれ、刈られても季節とともに蘇る青草。それらの葉を選んで餌にする蝶などの昆虫。林と草原と水辺を行き来して餌をとる鳥や獣。ヒトが利用し管理する草原や雑木林や水辺は、多様な動植物の暮らしの場となった（鷲谷 2001）。

里山では、雑木林やマツ林、鎮守の森（神社を囲む森）に屋敷林（家の敷地を囲む林）、竹藪や植林地といった林、茅場や採草地などの草地、それに、ため池や池沼や谷津田（台地と低地をつなぐ小河川の谷沿いにつくられた水田）、それらを結ぶ用水や水路、そして水田や畑など、多様な環境が、いろとりどりの陶片のモザイクのように組み合わせられている。日本の里山に限らず伝統的な農業生態系は、農地以外に樹林・湿地・草地など、自然性の高い土地利用を含み、きめ細かく複雑な生態系模様をもっている（鷲谷 2011）。

里山を構成する樹林では、木材は建築用などの用材としてあるいは薪炭材として、落葉落枝は肥料として利用されてきた。自然の恵みを効率的に享受するため、里山では、利用価値の低い樹種が伐採されたり、草本が定期的に刈り取られてきた。こうした人間による里山に生育する植物の管理は、植生管理とよばれる。人間による伐採や火入れなどで自然林が破壊された後で、遷移の途上にある森林を二次林とよぶ。二次林には、用材材としての利用を目的としたスギ林、ヒノキ林などの針葉樹林も存在するが、一般には薪や炭の原料、農家の生活に必要な資材として利用されてきた樹種からなる雑木林が大面積を占める。雑木林における木材の伐採はふつう 10~20 年周期で行われ、定期的に伐採されてきた本来の雑木林では、樹高が 10m 程度とそれほど高くない樹林が形成される。二次林では、定期的な植生管理に伴って林床まで直射日光が到達する。このため二次林林床に生育する植物種は、おもに、つる性植物や灌木を多く含む林縁性植物、多年草を中心とする草原性植物などから構成される。管理された雑木林の林床植生におけるもう一つの特徴的な植物は、春植物である。一般的には、キンポウゲ科のイチリンソウ、ニリンソウ、フクジュソウ、ユリ科のカタクリ、アマナなどが挙げられる（山田 2010）。

水辺の生物多様性

地形が変化に富み、初夏から秋にかけて雨量の多い日本列島では、水はけの良い場所には森林が発達する一方で、水はけの悪い場所は池沼や湿地になる。そのため、人間による土地利用がなされる前には、山地、低地を問わず水辺と樹林が組み合わせられた環境がみられた。農業や生活のための植物資源や水資源を確保するために、樹林、草原、ため池、水路などが水田のまわりに配された環境モザイクともいえる複合生態系がつくられると、生物にとって多様な生息場所が提供された（鷲谷 2006）。

わが国の異古名の「秋津島」とは赤トンボの島、という意味であり、同じく「豊葦原瑞穂国」とはアシ原と稲穂が広がる国、という意味である。トンボは幼虫期のヤゴが湿地や水田の水中で暮らす生物であることから、これらの国名は日本が「湿地と水田の国」であることを示している（本多 2010）。

谷から流れ出る水を集めて海へと注ぐ川は、日本のどの地域にもみられ、人の生活とも深くかかわってきた湿地といえる。河川の生態系は度重なる氾濫により大きく影響を受けるため、絶えず変化する環境にも対応できる生活様式を備えた生物が多く生息する（生物多様性政策研究会 2002）。

低山地、丘陵地、台地を刻んで発達する谷の低地（谷津、谷戸と呼ばれる）や、もつと下流に広がる低地帯では、水田農業が営まれてきた。このうち、谷底低地に発達する水田は、谷頭から湧き出す湧水を用いて稲作を営んできたものであり、伝統的に谷津田、谷戸田などと呼ばれてきた（武内 2001）。谷津田では、その狭い谷幅ゆえに十分な圃場整備を行うことができず、耕作条件が不利な水田が分布することが多い。条件不利地はそうでない地域と比較して、水田の耕作放棄率が高いことが知られている。その半面、条件不利地で耕作が続けられていた場合には、集約的農業を行うことが難しいために、伝統的な農業形態が続けられている場合が多く、そこには、結果として伝統的農業形態に依存する植物が残存する。とくに谷津田が発達する地域では、水田と樹林が入り組んでおり、水田と樹林の境界長が長くなる。このため、水面と樹林地を両方使う動物の高密度生息地となっており、多様な生物相を育む水田生態系の代表例としてしばしば谷津田が紹介される（山田 2010）。

水田は農村の中に独立して存在しているわけではない。水田に水を引くために、河川やため池から水田まで、網の目のような水路がつくられている。水田の周りには畦や土手がある。山間部であれば、水田の背後に山林があり、また農家が屋根をススキで葺き、牛馬を飼っていた時代には、水田と山林の境界には採草地もあった。このようなさまざまな環境も、水田とともに、農家が長い間、大切に管理してきたものである。水田の生物は、このような周辺環境をも同時に利用したり、あるいは一生の間の時期により、水田と周辺を行ったりきたりしてすごしているものも多い（下田 2003）。

里やまの谷間や山麓に位置するため池は、水田の灌漑用水を確保する利水施設として人工的に築造された水域である。管理方法によって生物相が貧弱になっているため池も少なくないが、最近の研究は、ため池が多様な生き物の生活を支える貴重な水辺空間であるという事実を明らかにしてきた。かつて河川の周辺の氾濫原には大小多数の池沼があり、多様な生物相を支えていた。人間の居住地の拡大や新田開発によってそのような水域が消滅するなかで、それにとってかわった水辺環境のひとつがため池であった。ため池がなければ生活場所を失ったであろうと思われる生き物たちが、新たに築造されたため池に移り住み、生き延びることができたのである。このようにいまでは稀少になった多くの生き物たちが、人間による利用と維持管理と共存しながらくらし、身近な生物多様性を支えている。ため池は、まさに人と自然が共生する水辺空間なのである（角野 2005）。

ため池は土手の草刈りを続け、定期的に水を抜き、干すことによって維持管理してきた。管理を放棄すれば、土砂の流入により池は浅くなり、やがては湿原へと姿を変えて

しまう。もしくは、土手が崩れて池の水は流れ出てしまうであろう。水路も同様で、定期的に泥をさらい、土手の草を刈り続けることによって、その機能が保たれてきた。水田の場合、田起こしや田植え、稲刈りなどの稲作作業そのものが維持管理作業になっているため、耕作をやめると、短期間のうちに湿地や草地、林に姿を変えてしまう。手を加え続けることによって維持されてきた里の水辺には、稲作開始以前には河川の後背湿地などを生活の場としていた多くの生物がすみつき、2000年以上の間人と共生してきた。しかし、水田やため池、小川などが姿を変えたり消失すると、現在では後背湿地や氾濫原のような場所がほとんど残っていないため、それらは生き残ることができなくなってしまう（市川 2005）。

農業の近代化を目的とした圃場整備事業が行われて乾田化が進行する一方で、未整備地区では耕作放棄地が増加している（東 2001）。

乾田化を行う以前は、水はけのわるい田では、落水後も雨が降れば田の一部に水たまりができていた。春先にはこのような水たまりにアカガエル類や小型サンショウウオ類が産卵していた。秋にはアキアカネが産卵し、冬にはオオコオイムシやタイコウチが冬越ししていた。乾田化により、落水後の田は翌年の田植えまえまで乾燥し、上記の生き物とともにマルタニシやヘイケボタルなども姿を消した。また、除草剤の普及により多くの水田雑草が姿を消し、農業機械の大型化に伴い、作業効率を高めるために水田の大型化が実施されたが、整備時に多くの畦がコンクリートに変わった。畦のコンクリート化は、そこを生息場所とするカエル類や、その土中を生息場所や蛹化場所にしているケラやヘイケボタル、ゲンゴロウ類には大きな打撃を与えたものと思われる。

近年、米価の低迷や減反、人手不足などにより、棚田や谷津田などの条件不利水田が次々に放棄されている。乾燥しやすい関西の棚田の多くは、放棄されると草地から林へと開墾まえの姿に戻ってしまう。住宅地や工業用地へと姿を変えて消えていった水田も少なくない。また水田の放棄に伴い不要となったため池は、埋め立てや管理放棄によって姿を変えた。同時に、それらの水田やため池に生息していた多くのカエルや魚、水生昆虫などがその地域から姿を消した（市川 2005）。

水田そのものを消失させる開発、耕作の放棄による植生遷移の進行、圃場整備による乾田化、用水路のパイプライン化と排水路のコンクリート三面張り化、農薬の多投入など、農業の近代化と関連した環境変化によって、1000年以上も前から里地で人と共存してきた多様な生き物の生息のための条件が、短期間のうちに失われた（鷲谷 2006）。

1999年に食料・農業・農村基本法（新農業基本法）が制定され、自然環境の保全などの農業のもつ多面的機能の発揮がうたわれた。また、2002年4月から施行された新土地改良法では、その第1条で、土地改良事業の施行にあたっては、環境との調和への配慮を基本原則とすることがうたわれている。土地改良法の改正以後、新たな圃場整備事業は「生態系への配慮」が義務づけられ、専門家によるアセスメントや工事後のモニタリングが行われることになった。1990年代の後半から、各地で生態系に配慮した整備が施

行されてきている。栃木県西鬼怒川地区では、基幹排水路から田の横に造成した素堀りのドジョウ水路へドジョウがのぼるための多段式の魚道を設置し、ドジョウやメダカの水田と基幹排水路との行き来を可能にした（市川 2005）。兵庫県豊岡市では、さまざまなタイプの湿地再生をすすめている。そのひとつが、水田をかつてのようにコウノトリの餌場とするための「コウノトリ育む」農法である。「コウノトリ育む」農法では、できるだけ長い期間田んぼに水を張り、また農薬や化学肥料の使用を抑制することで、多くの生き物の生息の場を確保する。この農法により、水田とそのまわりを、コウノトリが餌をとれる「湿地」として機能させようというのである（鷲谷 2011）。

SATOYAMA イニシアティブ

SATOYAMA イニシアティブは、「社会生態学的生産ランドスケープ」の価値を国際的に認識し、それらを維持、再活性化、再構築するための取り組みである。「社会生態学的ランドスケープ」とは、「生物多様性を維持しながら、人間の福利に必要な物品・サービスを継続的に供給するための人間と自然の相互作用によって時間の経過とともに形成されてきた生息・生育地と土地利用の動的モザイク」とされている（高橋ら 2012）。

2010年1月29-30日にフランスのパリにおいて、生物多様性条約第10回締結国会議（COP10）に向けた SATOYAMA イニシアティブの展開方策について活発な議論が行われ、SATOYAMA イニシアティブの利点や概要、活動を推進するにあたっての留意点等を取りまとめた「SATOYAMA イニシアティブに関するパリ宣言」が採択された（環境省 HP）。

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、生物多様性の恵みを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、原生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のかか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・管理のあり方を考え、世界各地での実践を促進していくことを目指している。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、何千年に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。こうした人と自然の共生的関係は、日本だけでなくアジアや世界各地にみられ、それぞれの地域における呼び名をも

っている。

日本では近年、農村の過疎化・高齢化、化石燃料や化学肥料の導入に伴う里山の放置が進行し、調和的だった里山ランドスケープの人と自然のバランスが壊れつつある。その結果、多くの動植物が絶滅の危機にあり、特有の文化も失われようとしている。一方、多くの途上国では人口の増加、食糧やエネルギー需要の増加に伴い、過剰な森林伐採や単一的なプランテーション開発などの土地利用が拡大し、自然と調和した資源利用の知恵やシステムの損失、生物多様性の劣化などの問題が生じている。SATOYAMA イニシアティブは、日本の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（Vision）、行動指針（Approach）、視点（Perspective）、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。

SATOYAMA イニシアティブでは、生物多様性が適切に保たれ、生態系サービスを将来にわたって安定的に享受できるような自然共生社会の実現を長期目標として掲げた。そして、その長期目標の達成に向けた道筋として、以下の3つの行動指針を掲げている。

1) 多様な生態系サービスの安定的な享受のための知恵の結集

近代科学技術による自然への介入は、局所的あるいは一時的な生産性の向上をもたらしたが、広域的、長期的に見ると、必ずしも良い影響のみを与えてきたとは言えない。農林業などの自然資源の利用・管理が生態系の働きを活かして、自然と共生した循環的な方法で行われる必要がある。東南アジアで見られるホームガーデンでは、住居の周りに多種類の農作物や様々な高さの樹木の栽培、家畜の飼育などの複合的な土地利用がみられ、生態系サービスを最大限に持続的に得ている。こうした生態系サービスの安定的な享受のための知恵を結集し活用していくことが重要である。生態系の働きを活かし、地域内で自然資源を循環させるシステムは、気候変動の緩和と適応にも貢献する。

2) 伝統的知識と近代科学の融合

経験的、実践的、伝統的に継承されてきた自然資源の利用・管理に対する知識は、地域の自然的社会的条件に適した持続可能な利用・管理の方法や仕組みに対して重要な示唆を与える。これらの知識は、人と自然が対峙するのではなく、互いにつながりあっているという自然観に根ざしているものが多い。アジアの草原地帯には、土地の劣化状態をそこに生育する植物から読み取る地域住民の知恵があるが、その合理性を現代の科学で検証することにより、植物指標による土地劣化診断法が確立された。伝統的知識と近代科学の融合によって、現在の社会経済的状況や気候変動などの環境変化に適応した生産・管理システムへの発展を図ることが重要である。こうした考え方は、農業をはじめ地域産業の生産性の向上を通じて、食料危機への対応や貧困の削減にも貢献する。

3) 新たなコモンズ（共同管理の仕組み）の構築

日本では、かつて地域コミュニティにより共同で行われてきた自然資源の利用・管理の仕組みが、中山間地域などでのコミュニティの衰退に伴い失われつつある。持続可能な利用・管理のためには、自然 - 人間関係だけでなく、良好な人間関係や社会の仕組みが必要である。生態系サービスの恩恵を受ける都市の住民や企業も含め、生態系サービスの利益と負担をより広域の様々な主体間で共有する新たなコモンズの構築が求められる。

さらに、これらの 3 つの行動指針のもとに、各地域の現場で持続可能な土地や自然資源の利用・管理を実践していく手順や方法を考えるうえで重要な点を様々なタイプの事例の分析を通じて検討してきた。その結果、SATOYAMA イニシアティブは、現場での実践に当たっての視点として、

- ①地域のランドスケープの特徴を理解し、地形、土壌、気候といった面から環境容量や自然復元力を評価して、その範囲内で利用・管理を行う。
- ②自然資源の循環に留意した利用・管理を行う。
- ③地域の伝統・文化を尊重・評価し、今日の自然的・社会経済的状况に適合させる。
- ④生態系サービスの恵みを受ける圏域の多様な主体の参加・連携による土地と自然資源の共同利用と管理の仕組みを構築する。
- ⑤経済的・技術的な支援、人材育成、新たな資源価値の創出などを通じて、社会・経済・文化の面から、地域社会の福利の向上に貢献する。

の 5 つをあげている。

世界各地域での実践を促進するためには、持続可能な土地や自然資源の利用・管理に関心を持つ、政府、地方自治体、市民社会、企業、NGO、教育・研究機関、国際機関などで構成されるパートナーシップの形成が重要である（渡辺 2010）。

2010 年 10 月 19 日に開催した COP10 のサイドイベントにおいて、51 の国や機関が創設メンバーとして参加し、社会生態学的生産ランドスケープの維持・再構築に取り組む団体のための国際的なプラットフォームとして「SATOYAMA イニシアティブ国際パートナーシップ」(IPSI) が発足した（環境省 HP）。

レッドリスト・レッドデータブック

種の大量絶滅を回避するためには、種ごとに絶滅リスク（その種が絶滅する確率）を科学的に評価し、優先的に対策を立てるべき種を特定して、効果的・効率的な対策を立案・実施する必要がある。そのような目的で、国際的な基準にもとづく生物の絶滅リスクの評価とレッドリスト（絶滅危惧動植物のランク付け）の作成が行われている（須田ら 2009）。世界の絶滅のおそれのある動物をリストアップした「レッドリスト（正式名称：絶滅のおそれのある種のレッドリスト）」は、スイスのグランに本部を置く、IUCN（国際自然保護連合）により発表されている（WWF ジャパン HP）。レッドデータブックとは、絶滅のおそれのある野生生物のリスト（レッドリスト）を掲載し、関連するデ

ータをまとめた本のことである。わが国で最初の植物レッドデータブックは、1989年に、日本自然保護協会と世界野生生物基金日本委員会によって発行された（矢原ら 2003）。

レッドリストにおける絶滅危惧ランクは、絶滅リスクの高さに応じて、絶滅危惧 I A 類（CR：ごく近い将来に絶滅する危険性が極めて高い種）、I B 類（EN：CR ほどではないが近い将来に絶滅する危険性が高い種）、II 類（VU：絶滅の危険度が増大している種）とされ、現時点での絶滅危険性は少ないが、生息条件の変化によっては上位ランクに移行する要素を持った種は準絶滅危惧（NT）とされる。現在では、少なくとも国家レベルでのレッドリストに関しては、ガイドラインに準拠することが一般的となりつつある。日本においても、1991年に全国版レッドリストの作成がされ、現在までにすべての都道府県および一部の市町村がレッドリストを作成している（須田ら 2009）。これらの多くは、環境省のレッドリストの評価方法を使っており、それぞれ独自に県内の野生生物の危機を調査して、危機の度合いを調べ、まとめている。国というレベルで見た時には、なかなか見えてこない、地域ごとの野生生物の危機を明らかにする意味で、この各県版のレッドリストの意義は、非常に大きなものがある（WWF ジャパン HP）。環境省レッドリスト 2015 では、日本に生息又は生育する野生生物について、絶滅危惧種の合計種数は 3,596 種となっている（環境省 HP）。2016 年 9 月の時点で公開されている IUCN の「レッドリスト」には、最も絶滅の恐れが高いとされる、3つのカテゴリーに、2万種以上の野生生物が記載された。

レッドリストに掲載された野生生物は、単にその危機が明らかになっただけで、すぐに法的な保護下に置かれるわけではない。これらの野生生物を絶滅の危機から救うためには、生息地のある国や地域が、それぞれルールや手立てを講じて保護しなければならない。なお、世界中の種を対象にした IUCN のレッドリストには当然、日本産の種も多く含まれているが、その IUCN の危機評価が必ずしも環境省のレッドリストの評価と一致しているわけではない。また、分類についても、世界と日本で一致していない例が少なからずある。たとえば、IUCN のレッドリストでは、ツキノワグマを「VU」に指定しているが、日本の環境省のレッドリストでは四国などの一部のツキノワグマ個体群を「絶滅のおそれのある地域個体群」として掲載しているのみである。このような差は、いかなる国や地域の場合においても起こり得るものであり、どのレッドリストの評価が正しい、というわけではない。しかし、掲載基準や危機の評価については、まだ課題が残されていることも確かである（WWF ジャパン HP）。

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、2012年（平成 24 年度）に初めての改訂を行った。改訂版では 633 種を評価対象として掲載した。このうち 274 種は今回新たに掲載された種である。274 種のうち 161 種は絶滅危惧 I A 類と I B 類で 58.8% を占めた。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 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 I A 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。また、前回と今回で評価基準が異なるため単純には比較できないが、前回絶滅危惧 II 類に評価された 26 種のうち 12 種が今回絶滅危惧 I A 類または I B 類、前回準絶滅危惧に評価された 11 種のうち 8 種が絶滅危惧 I B 類または II 類に評価され、前回より絶滅リスクが高い評価になっていること、および前回情報不足種と評価された 29 種のうち、2 種が絶滅、11 種が絶滅危惧 I A 類または I B 類に評価されていることから、同様の傾向がうかがわれる。その一方、前回より絶滅リスクが低い評価となった種は、前回評価が絶滅危惧 I 類または II 類だった 180 種のうち 38 種であったが、これらは新たな産地が発見されたものがほとんどで、必ずしも個体数が減少から増加に転じたとは言えず、引き続き注視する必要がある（群馬県 HP）。

里山と絶滅危惧種 A およびその生態

本研究の目的

里地・里山地域には、絶滅危惧種・希少種を含む多様な在来植物が生育することが明らかになりつつある。この植物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・成長特性の多様性の関係を解析することによって考察する。

里地・里山地域は伝統的な農業により、長期間にわたって人と自然の共生関係が維持されてきた。おそらくこのことが原因で、里地・里山地域は植物種多様性が非常に高く、また多くの絶滅危惧種・希少種が生育していることが報告されている。しかし、高度経済成長期以降の産業構造の変化、とりわけ農業の衰退と少子高齢化により、里地・里山地域の環境は衰退の一途をたどり、植物種多様性が低下し、絶滅危惧種・希少種の衰退が起こっている。特に、個体数の減少と生育地の分断化・縮小が、遺伝的多様性を減少させ、自家不和合性によって種子繁殖を困難にしている可能性が高い。2010年10月に開催される「生物多様性条約 COP10 名古屋会議」を契機に、日本は「SATOYAMA イニシアティブ」と呼ばれる生物多様性保全政策を実施していくことになった。この政策実現のためには、里山における生物多様性の現状の解明が必須であり、特に里山の生物多様性が高い理由の学術的解明、および絶滅危惧種・希少種の増殖方法の確立が急がれる。

長期間里山として維持管理されている地域（西榛名、および矢場川と谷田川の絶滅危惧種B自生地とその周辺）において、植物相調査、環境調査を行って里地・里山の現状を解明する。また代表的な絶滅危惧植物・希少種（絶滅危惧種A、絶滅危惧種B、ナガミノツルキケマン、ジョウロウスゲ、チョウジソウなど）について種子生産・発芽・生長特性の解明を行った。

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（榛名山北面の絶滅危惧種A分布調査）は、篠原大勇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北榛名の絶滅危惧種A調査に関するものがあるが、併せて篠原氏の卒業論文を参照されたい。

調査地概要

西榛名地域

西榛名地域は、群馬県の榛名山西麓に位置し、東吾妻町と高崎市の一部を含む調査地である。海拔は 450-800m、標高は 400-800m で、大部分は農耕地と二次林が集落に隣接して立地している（石川ら 2008）。ここに分布する森林の大部分は、コナラやアカマツなどの二次林やスギやカラマツの植林地である。土地利用様式は、農耕地（みょうが畑など）および、薪炭林や農用地として利用されてきた二次林が主で、これらが集落後背地に隣接して分布し、典型的な里山景観をなしている（嶋方 2016）。

2006-2007 年の群馬県の調査により、シダ植物と種子植物が計 113 科 768 種生育していることが確認された。この中には、国または県指定の絶滅危惧種（環境庁自然保護局野生生物課 2007；群馬県 2012）および、県レッドデータブック 2001 年度版公表後に発見された希少種が 30 種含まれている（大森ら 2008）。これらの貴重植物種の中には、当地の農耕特性に適応して繁殖していると推察されるものもある。

北榛名地域

北榛名地域は、群馬県の榛名山麓北面、群馬県吾妻郡東吾妻町に位置する、寺沢川流域の調査地である。海拔は 700-800m で、農耕地とスギ植林の間に集落が点在している。10 年ほど前から、この地域に絶滅危惧種 A が自生しているとの指摘があり（大森 私信）、2011 年（荒川 2012）から群馬県自然環境課のレッドデータブック改訂用調査の一環として、群馬大学社会情報学部環境科学研究室が調査を行っている。2011 年（荒川 2012）および 2012 年（塚越 2013）には寺沢川左岸とその周辺で複数の絶滅危惧種 A の自生地が確認され、2013 年（小関 2014）には寺沢川右岸のスギ植林若齢林で大規模な自生地の発見・調査し、2014 年（福島 2015）に継続調査が行われた（嶋方 2016）。

2015 年（嶋方 2016）にも継続調査が行われ、新たな開花株が発見されたが、未だに北榛名地域における絶滅危惧種 A 自生地の全容の解明には至っていない。このため本研究では、昨年引き続き寺沢川右岸大規模自生地の拡大調査を中心に行った。

板倉ウエットランド地域（矢場川・谷田川下流域，渡良瀬遊水池）

群馬県南東部に位置し、渡良瀬川、渡良瀬遊水池、利根川、谷田川、矢場川及びその周辺に位置する池沼群があり、河川蛇行域の氾濫原が発達した地域で、自然堤防に挟まれた後背湿地や河跡湖がみられる。本地域は群馬の水郷地帯とも呼ばれ、県内で最も低い標高 10m から 20m の低地帯である。そのため浸水被害対策の排水施設が各地に存在し、沖積低地、あるいは洪積台地の浸食谷に出来たウエットランドが集中する県内唯一の地域である。ウエットランドは生物相の豊かさ、高い生産能力、そして健全な地球環境維持のための重要な生態的役割を有し、森林や海洋と並ぶ重要な環境の一つであると

いえる（大森・青木 2009）。本地域では、数多くの湿地性植物が見られ、その宝庫となっており、絶滅危惧種にランクされる希少種も少なくない（板倉町教育委員会 2005）。当地域は 2009 年に群馬県自然環境課・自然環境調査研究会によって、「板倉ウエットランド地域」と称されて調査が行われ、池沼群からオニバス、ミズアオイ、サンショウモ、オオトリゲモなど多数の絶滅危惧種が発見された地域であり（大森・青木 2009）、継続的なモニタリングが必要である地域の一つである（塚越 2013）。

谷田川及び矢場川は絶滅危惧種 B の自生地であり、渡良瀬遊水池には群馬県の指定絶滅危惧種である絶滅危惧種 C が自生する。いずれの地域においても、ほかにも多くの絶滅危惧植物種の生育がみられる。本研究では、該当地域の絶滅危惧種 B や絶滅危惧種 C の分布・生育状況の調査を中心に行った。また、谷田川・矢場川において自生する絶滅危惧種 B の一部から地上部を採取し、群馬大学構内にて挿し木し増殖を試みる活動を行った。

材料及び方法

植物相・開花個体数調査

一般的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ため、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挙げられる。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、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。

さらに、いくつかの希少植物種および絶滅危惧種（本調査では、絶滅危惧種A、
、
、絶滅危惧種C、絶滅危惧種Bが対象）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（GPSmap62SCJ, GARMIN）を用いて生育位置を記録した。調査日程を表1にまとめた。

矢場川の自然再生地における絶滅危惧種B移植後のモニタリング調査

2013年、矢場川で河川改修が行われた。この改修地には絶滅危惧種の絶滅危惧種B（国：準絶滅危惧指定、群馬県：絶滅危惧IB類指定）が自生しているため、工事の影響を受けないように、国土交通省渡良瀬河川事務所と協議し、工事方法を改善した。この結果、矢場川に生育する絶滅危惧種Bはほぼ無傷で生存し、また河川改修で新たに創出された氾濫原と河川敷において、自然再生および絶滅危惧種Bの移植再生を行った。矢場川の自然再生地において、絶滅危惧種B移植後のモニタリング調査を行った。今回移植した絶滅危惧種Bは、2014年7月1日に矢場川の自生地で採取した苗を、7月5日に挿し木し、群馬大学荒牧キャンパス構内の圃場で栽培していたものを用いている（石田2015）。それらを2016年2月に矢場川の2地点に移植した。なお、移植後の管理・調査は、国土交通省関東地方整備局渡良瀬河川事務所および株式会社いであと共同で行っている。

調査日は2016年6月16日、10月12日、11月17日である（表1）。

発芽実験・栽培実験

材料植物

群馬県内の里地・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。

イヌトウバナ（シソ科多年生草本、*Clinopodium micranthum*）

北海道から九州に分布し山地の林内や道端に自生する多年生草本である。

クロバナヒキオコシ（シソ科多年生草本、*Isodon trichocarpus*）

山陰、北陸、奥羽地方などの本州や北海道の山地に自生する多年草草本である。

コバギボウシ（ユリ科多年生草本、*Hosta sieboldii* f. *lancifolia*）

北海道から九州の湿った草原に自生し、国のレッドデータには指定されていないが、高知県で準絶滅危惧、鹿児島県で絶滅危惧Ⅱ類に指定されている種である。

ゴマナ（キク科多年生草本、*Aster glehni*）

北海道あるいは本州の山地および深山の草原に自生し、国のレッドデータには指定されていないが、千葉県で絶滅危惧Ⅱ類、徳島県で絶滅危惧ⅠA類に指定されている種である。

ジョウロウスゲ（カヤツリグサ科多年生草本、*Carex capricornis*）

北海道や本州の湿地に自生し、国のレッドデータブックで絶滅危惧Ⅱ類（VU）、群馬県のレッドリスト（2012）で絶滅危惧Ⅱ類に指定されている絶滅危惧種である。

チョウジソウ（キョウチクトウ科多年生草本、*Amsonia elliptica*）

北海道や本州、九州に分布し、河原の原野に自生する絶滅危惧種である。1993年に発行された環境庁のレッドデータブックでは、チョウジソウは絶滅危惧Ⅱ類（VU）に指定された。その後、関東地方を中心にチョウジソウの生育する河畔林や草地での調査が進み、また一部の生育地では保全策がとられてきたことなどから、2007年のレッドリスト見直しに際して準絶滅危惧（NT）へとランクが下げられ、2012年版でもNTとされた。しかし依然として自生地は限られており、全国的にみてチョウジソウ保全のための情報が不足しているのが現状である（富士田ら 2016）。群馬県のレッドリスト（2012）で絶滅危惧ⅠB類に指定されており、依然として絶滅の危険性が拭えない植物種である。

バアソブ（キキョウ科多年生つる草、*Codonopsis ussuriensis*）

北海道から九州までの山地や林内に自生し、国のレッドデータブックで絶滅危惧Ⅱ類（VU）、群馬県のレッドリスト（2012）で絶滅危惧ⅠB類に指定されている絶滅危惧種である。

ミヤコアザミ（キク科多年生草本、*Saussurea maximowiczii*）

本州や九州の山地に自生し、国のレッドデータには指定されていないが、兵庫県や鳥取県で準絶滅危惧、茨城県や岩手県で絶滅危惧Ⅱ類、徳島県などで絶滅危惧ⅠA類に指定されている種である。

ユウガギク（キク科多年生草本、*Kalimeris pinnatifida* (*Aster iinumae*))

本州から九州に分布し山地の草原に自生する多年生草本である。

- ・絶滅危惧種 B (多年生草本)

関東地方以西の本州から九州の湿地に自生し、国のレッドデータブックで準絶滅危惧 (NT)、群馬県のレッドリスト (2012) で絶滅危惧 I B 類に指定されている絶滅危惧種である。

- ・ナガミノツルキケマン (ケシ科 1 年生あるいは越年生草本、*Corydalis raddeana*)

北海道や本州、九州の林内に自生し、国のレッドデータブックで準絶滅危惧 (NT)、群馬県のレッドリスト (2012) で準絶滅危惧に指定されている絶滅危惧種である。

- ・ムラサキケマン (ケシ科 1 年生あるいは越年生草本、*Corydalis incisa*)

日本各地の湿った草原や山道沿いに自生する 1 年生あるいは越年生草本である。

- ・ウバユリ (ユリ科多年生草本、*Lilium cordatum*)

宮城県以南、石川県以西の本州から九州の山地に自生し、国のレッドデータには指定されていないが、千葉県や鹿児島県で準絶滅危惧、東京都で絶滅危惧 II 類に指定されている種である。

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

イヌトウバナ、ユウガギク、コバギボウシ、ゴマナ、バアソブ、ミヤコアザミ (いずれも 2015 年に西榛名地域で採取)、ジョウロウスゲ (2013 年に館林市中野沼で採取)、絶滅危惧種 B (2015 年に矢場川および谷田川で採取)、クロバナヒキオコシ (2015 年に矢場川で採取)、チョウジソウ (販売されていた苗を群馬大学荒牧キャンパス内で栽培して、2013 年から 2015 年の間に採取したもの) の計 10 種類の植物の種子について発芽実験を行った。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°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。

イヌトウバナと絶滅危惧種 B 以外の種は、冷湿処理を施した後 5 段階の培養温度 ($30/15^{\circ}\text{C}$ 、 $25/13^{\circ}\text{C}$ 、 $22/10^{\circ}\text{C}$ 、 $17/8^{\circ}\text{C}$ 、 $10/6^{\circ}\text{C}$ の各温度区) において培養するものと、冷湿処理を施さずに $25/13^{\circ}\text{C}$ 区にて培養するものの計 6 セット (1 セットにつき、種子を 50 個入れたプラスチックシャーレを 3 つ用意) を用意し、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た。

イヌトウバナ (関 2016) および絶滅危惧種 B 春原 (2014) の発芽は、冷湿処理の有無による有意差がないため、冷湿処理を行わずに 5 段階の培養温度で発芽実験を行った。

冷湿処理は、シャーレに蒸留水を注いだ後 4°C に設定した冷蔵庫内で 2 ヶ月間培養して施した。

これらのシャーレを温度勾配恒温器 (TG-100-ADCT, NK system) に入れて培養した。器内の温度は 5 段階 ($30/15^{\circ}\text{C}$ 、 $25/13^{\circ}\text{C}$ 、 $22/10^{\circ}\text{C}$ 、 $17/8^{\circ}\text{C}$ 、 $10/6^{\circ}\text{C}$) とし、昼 14hr、夜 10hr、昼間の光量子密度は $30 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ とした。培養は約 2 ヶ月間行った。

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。

冷湿処理では発芽しない里山植物の種子に対する温湿処理

ナガミノツルキケマンおよびウバユリは、嶋方 (2016) の実験において、冷湿処理の有無にかかわらず最終発芽率が著しく低いあるいは全く発芽しないという結果であった。そこで本研究では、ムラサキケマンの休眠解除に効果があるとされる温湿処理 (Kondo et al. 2005) による休眠解除実験を実施した。

ナガミノツルキケマンおよびウバユリについては 2015 年に西榛名地域で採取された種子を、ムラサキケマンについては 2012 年に榛名山で採取された種子を使用した。ムラサキケマンの種子は 2013 年から、ナガミノツルキケマンの種子は 2015 年から -80°C で冷凍保存されており、ウバユリの種子は 2015 年から 4°C で冷蔵保存されていた。

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 分間消毒し洗浄した種子 (ウバユリは消毒の必要がないためナガミノツルキケマンとムラサキケマンのみ消毒) 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 $25/13^{\circ}\text{C}$ に設定した温度勾配恒温器内で 2 ヶ月間温湿処理を施した。温湿処理終了後、温度条件を $17/8^{\circ}\text{C}$ に設定した温度勾配恒温器内で 1 ヶ月間培養した。さらにその後 4°C の保冷薬冷蔵庫内で 1 ヶ月間培養し、この際に 1 回目の発芽観察を行った。

発芽が確認されなかった種子については、 4°C の保冷薬冷蔵庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を実施した後、 $17/8^{\circ}\text{C}$ に設定した温度勾配恒温器内で 1 ヶ月間培養し、この際に 2 回目の発芽観察を行った。

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。

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 は 2006 年以来、西榛名各所で分布が確認され、種子採取・発芽実験を行ってきた。しかし最終発芽率が実験者、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。2015 年 (嶋方 2016、田村 2016) の研究によって、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ていない。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。

今回の実験で使用した種子は、2012 年から 2015 年の各年に西榛名地域 (CN 夢の花

園、CN ワシタニヒルズ、CN 第二ワシタニヒルズ、CN 新桜台) および北榛名地域 (CN 寺沢川右岸、CN 十二ヶ原墓場) において採取され、シリカゲルを用いて約 1 ヶ月以上乾燥させその後 -80°C で冷凍保存されている種子を用いた。なお、2013 年以前に採取された種子については、冷凍保存を開始したのは 2013 年 8 月からであり、それ以前は 4°C の薬用保冷庫において冷蔵保存されていた。また、絶滅危惧種 A の種子の発芽に対しては複数回の冷湿処理促進効果があり、また発芽の最適培養温度は $25/13^{\circ}\text{C}$ であることが報告されている (高橋 2009)。

絶滅危惧植物種の保全のためには、種子の長期的保存と効率的な発芽・栽培が必要になることがある。絶滅危惧種 A についてもこうした観点から、発芽・栽培実験による最適な発芽・栽培条件の解明が試みられている (高橋 2009、赤上 2011、荒川 2012、塚越 2013、大林 2014、福島 2015、嶋方 2016)。しかし、絶滅危惧種 A の最終発芽率は、発芽の最適培養温度とされている $25/13^{\circ}\text{C}$ 帯でも、種子の採取年・採取地・保存期間・実験者によって大きく異なると報告されている (高橋 2009、赤上 2011、荒川 2012、塚越 2013、大林 2014、福島 2015、嶋方 2016)。昨年は、その原因が保存方法の違いと前処理の違いにあるという仮説のもとで、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を統一的に解明するため、採取された後の保存方法の異なる種子を用い、アルコール処理による種皮の非親水性除去、ジベレリン処理による強制休眠解除 (生存検定)、冷湿処理による休眠解除の 3 通りの前処理が行われた (嶋方 2016)。

本研究でも、前処理による絶滅危惧種 A の種子への影響を調査するため、昨年と同様に 3 通りの前処理を行った。

・保存方法の違い

今回の研究で発芽実験に用いる絶滅危惧種 A の種子は、2012 年から 2015 年の各年に採取されたものを利用しているが、2013 年以前に採取された種子については、冷凍保存を開始したのは 2013 年 8 月からであり、それ以前は 4°C の薬用保冷庫において冷蔵保存されていた。すなわち採取年によって、その後の保存方法が異なっている (表 2)。これらの保存方法の異なる種子を用いることによる発芽率への影響についても検証した。

・前処理の違い

1) アルコールによる種皮の非親水性除去

絶滅危惧種 A の生育地は湿潤な場所であるため、種子は登熟後に、雨水や小溪流によって散布されると推察される。親個体から脱落・落下した直後の乾燥状態の種子は水中に沈まず、水面に浮くことによってより広範囲に散布されて、水辺に打ち上がった後に吸水し発芽過程が開始されると推測される。この浮遊性には、種子表面に表面張力を増すことに役立つ、密生した細かい膜状の組織があることが寄与していると考えられる (西

廣・鷺谷 2006)。しかしこのような種子表面の構造は水をはじきやすいため、結果として種皮の非親水性をもたらし、種子の吸水を阻害することがあると考えられる。このことは構造的な問題のために実験者による取り扱いの違いによって、構造が維持された場合は吸水されず、構造に何らかの損傷を与えた場合は吸水されると推察される。同一ロット（冷凍保存後）の絶滅危惧種Aの種子を用いた同一方法による発芽実験の結果では、全体的に大林（2014）の研究よりも福島（2015）の研究で発芽率が低く、その原因は実験者による非意図的な前処理（準備中に種皮を傷つけたかどうか）以外には想定できない。

本研究では、絶滅危惧種Aの種皮の非親水性を除去するために、ジベレリン処理および冷湿処理に使用する全ての種子を消毒・洗浄し、乾燥させた。嶋方（2016）の研究により、種子の発芽率は洗浄時間の影響を受けず、かつ5分以内であれば種子自体にダメージを与えることなく非親水性を除去可能であると判明したため、消毒・洗浄に要する時間は全て5分間とし、それでも吸水しないものについては吸水するまで洗浄を行い、吸水することを確認した。また今回の実験では、種皮の非親水性をより効率的に除去し同時に洗浄を行うために、界面活性剤であるトリトン X-100 と除菌効果の高い次亜塩素酸ナトリウムを使用した。

2) 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℃の薬用保冷库内に保管した。

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℃に設定した温度勾配恒温器内で1ヶ月培養した。

3) 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℃に設定した薬用保冷库内で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℃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℃の薬用保冷库内で2度目の冷湿処理を2ヶ月間実施した後、25/13℃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。

異なる環境下における栽培実験

イヌトウバナ（西榛名産）、コバギボウシ、ゴマナ、ジョウロウスゲ、チョウジソウ、ナガミノツルキケマン、絶滅危惧種B（矢場川産）、ミヤコアザミの計8種類の植物種について行った。栽培スケジュールは表4に示す。

実験用植物の育苗とサンプリング方法

発芽実験で発芽した実生を、改めて用意した石英砂を敷いたプラスチック製のシャーレに移植した後、ゴールドエンピートバン（サカタのタネ）に移植し、グロースキャビネット（MLR-350T, SANYO, LED球を用いて14L/10Dの日長で昼の相対光量密度を約380-400 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ とし、室温25/20°Cに調節した）内で1-2ヶ月栽培した。

実生が複数の本葉を有するようになった時点で、黒土を入れたプラスチック製苗ポット（約95mL容量）に1個体ずつ移植した。用土は黒土を用いて、これらの苗を約2週間、群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地で栽培した。

初期サンプリングに際しては、苗の見かけが大きいサイズに並べ、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に供した。サンプリングした苗は、個体ごとに根・茎・葉にそれぞれ分けて紙袋に入れ、80°Cに設定した送風定温乾燥機に入れて約1週間乾燥させ、その後電子式上皿天秤を使用して重量を測定した。葉面積はカラスキャナーを用いて解像度300dpi、16bitグレーでスキャンした後、ImageJ1.44o（NIH）を利用してドット数を測り、148cm²あたり2097980ドットとして面積を算出した。

光強度を調節した栽培実験

寒冷紗を用いて相対光量密度を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。これらの光条件区内にポット植え苗を入れて栽培した。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°C上昇するように調節した区（+2.4°C区）および+0°C（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栽培した。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。

以上の栽培実験を約3週間〜4週間行った後、すべての個体をサンプリングした（最終サンプリング）。サンプリングした個体は、前述の初期サンプルと同様に処理し、各器官別乾燥重量および葉面積を測定した。

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。

・相対成長速度（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。

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

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示す指標。

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

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 (m²)

LA2 : T2 における個体の葉面積 (m²)

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。

$$LAR = (LA1/TW1 + LA2/TW2) / 2$$

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 (m²)

LA2 : T2 における個体の葉面積 (m²)

・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。

$$SLA = LA/TW$$

LA : 最終サンプリングにおける個体の葉面積 (m²)

TW : 最終サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)

- ・器官別重量比：光合成産物をそれぞれの期間にどれくらい配分したかを示す指標。

- ・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：最終サンプリングにおける個体の茎乾燥重量（g）

TW：最終サンプリングにおける個体総乾燥重量（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。

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

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

これらの式によって、処理区間で RGR または LAR の差異があった場合、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出来る。

絶滅危惧種 A の花柱構成比

絶滅危惧種 A の結実率

2016年7月2日西榛名の4地点（CN 夢の花園、CN ワシタニヒルズ、CN 第二ワシタニヒルズ、CN 新桜台）、および2016年7月3日に北榛名の2地点（CN 寺沢川右岸、CN 十二ヶ原墓場）において、結実が認められた株から1本ずつ花茎を採取した。開花株に通し番号をつけた地点については、開花時につけた目印とGPSの記録を確認し、番号ごとに採取した。なお、CN 夢の花園では無作為に株を選んで花茎を採取し、CN 新桜台およびCN 寺沢川右岸では草本の著しい繁茂のため、発見できた記録株のみから採取した。また、CN 十二ヶ原墓場ではすでに草刈りが行われてしまった後であったために結実した絶滅危惧種Aが少なく、よって発見できたもののみ採取した。

各地点から持ち帰った花茎は、肉眼で内部を確認し、正常に結実したもの（正常結実）、結実していなかったもの（未熟）、クロホ病と呼ばれる感染症により種子が消失したもの（病失）、虫食いにより種子が消失したもの（食失）、すでに種子が散布されて残っていないもの（散布済み）の5種類に分類し、各地点での割合を算出した。正常に結実した種子については、採取地点ごとに種子をまとめ、将来の発芽実験用に冷凍保存した。

開花時期に株番号をつけても、結実期に草本の著しい繁茂などの原因で発見できなかったあるいは開花株のある地点までたどり着けなかった株もあるため、結実率は回収できた個体のみで算出した。

絶滅危惧種 B の挿し木実験

2016年6月16日に矢場川と谷田川の自生地では採取した60cm前後の大きさの絶滅危惧種Bを、翌6月17日にそれらを約20cm長で上、中、下の3つに切り分け、川砂を入れたプランター15個（矢場川側6個、谷田川側9個）にそれぞれ挿し木し、群馬大学荒

牧キャンパス内の裸地で栽培した。栽培期間中は、1日につき1度、十分な量の水道水を与えた。約2ヶ月半後の2016年9月9日に植え替えを行い、その際に活着したものの本数を数え、活着率を算出した。

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。

結果および考察

植物相調査

- ・西榛名地域

- ・板倉ウエットランド地域（谷田川）

谷田川では近年、右岸堤防上の道路整備、八間樋橋の改修工事や国道 354 号バイパスの設置が群馬県館林土木工事事務所によって次々に行われているが、これらに際して環境影響評価は全くといっていいほど行われていない。さらに館林土木工事事務所は 2015 年からは八間樋橋下流一帯の谷田川右岸の堤防増強工事を計画・着手したが、環境影響評価は全く行われていない。当研究室ではこれらの所行を、河川法第一条（利水・治水

および河川環境の整備と保全がされるように管理することを目的とする)を踏みにじる重大な違法行為と認識し、群馬県会議員、群馬県河川課と協議し、館林土木工事事務所に工事を一時中断し、絶滅危惧種など環境を保全するための検討会を設置するよう勧告した。群馬県会議員および群馬県河川課の説得の効果があつてか、館林土木工事事務所は2016年10月に「一級河川谷田川の建設工事に係る絶滅危惧植物種保全対策検討会」を発足させた。

希少種の開花株数と分布

矢場川の自然再生地における絶滅危惧種B移植後のモニタリング調査

群馬県内に残された絶滅危惧種Bの自生地は2016年現在、わずか4カ所となっている（群馬県自然環境課 私信）。2012年に、群馬県レッドデータブック改訂に伴う調査が行われた際には、絶滅危惧種Bは県内5カ所で自生が確認されていた。ところが2015年7月に、利根川本流域の絶滅危惧種B自生地が、群馬県河川課の平成25年度堤防補修工事により消失していたことが明らかになった。原因は工事に際し、当時の河川課の担当者が絶滅危惧種である絶滅危惧種Bの生育確認をするという県の定めたルールを失念したという、業務上の過失である（群馬県自然環境課・河川課 私信）。また2015年に、もう一つの絶滅危惧種B自生地である谷田川の自生地でも、群馬県河川課による堤防補修工事が開始されたことが明らかになった。この自生地は谷田川における絶滅危惧種Bの大規模自生地であり、これら絶滅危惧種Bが、利根川の絶滅危惧種Bのように、消失してしまうおそれが非常に高いため、2015年に工事を中断させ、発覚から2年目となった現在も自然環境課と協議中である。

このように群馬県においては、2015年より野生生物保全条例を施行したにもかかわらず、県自らがこの条例の本意を損なった粗暴な行為を繰り返している。以上のように、群馬県庁は行政レベルで条例の遵守ができないという非常に粗悪な状態のため、今後は県議会議員を通じて県議会など、政治レベルでの対応を推進する。

絶滅危惧種Bの自生地のある矢場川自然再生地は、幸いなことに群馬県ではなく国土交通省渡良瀬工事事務所の所管であり、現在も適正に管理が行われている。地域の生物多様性を保全するためには、一生育地だけを保護するといった点的な方法をとるのではなく、複数の生育地を含めた広域の生態系として保全をしていく必要がある。

矢場川の絶滅危惧種Bの自生地は土手の上であり、2016年6月16日の現地調査では、多数の絶滅危惧種Bが繁茂・開花しているのを確認した。また、今年の調査で、絶滅危惧種Bが現在の生育地である土手の上部から下部へと生育範囲を広げていることも確認した。

この地域では近年まで、管理業者が夏期に草刈を行い、その際絶滅危惧種Bも刈り取ってしまう（塚越 2013）ことが原因で絶滅危惧種Bの開花がほとんど見られなかった。しかし2013年からはこの地域の草刈りを絶滅危惧種Bの開花時期とずらして行うようにしているため、多くの絶滅危惧種Bが開花できた。

2016年2月に移植した絶滅危惧種Bについては、2016年10月12日に移植後のモニタリング調査を行った。結果としては、2地点とも生育できておらず、今年の移植は失敗した。原因としては、上流側の地点は植栽地が多数の植物、特に外来種のおオブタクサによって覆われてしまい、十分に生育できなかつたと考えられる（写真6）。下流側の地点は植栽地が予想以上に水没したことで、流失あるいは根腐れによって消失してしまったと考えられる。これらのことおよび土手に自生する絶滅危惧種Bが土手の下部へと生育範囲を広げていることを踏まえ、次回以降の絶滅危惧種Bの移植は河川から多少離れた土手の下部付近にて行うことが有効であると考えられる。

矢場川地域では、絶滅危惧種Bの自生地が広がり多数の在来種が生育する一方で、先述したおオブタクサやセイタカアワダチソウなど日本の侵略的外来種ワースト100に名を連ねる要注意外来種も数多く繁茂している。おオブタクサとセイタカアワダチソウは絶滅危惧種Bと混在して堤防の上部に生育しており、また2016年は多雨であったことに起因してかコセンダングサも堤防の全面に繁茂し、一部の絶滅危惧種Bを被圧していた。さらに別の絶滅危惧種B個体群はアレチウリに覆われ、直近までヒメモロコシの群生が迫っていた。これらの外来種は他の植物を被圧する高密度の純群落を形成するため、予断を許さない状態であり、引き続き調査を継続するとともにこれら外来種に対して、外来種の引き抜きや外来種が種子を作る時期より前に適切な草刈りを行うなど、早急な対策を取る必要がある。

発芽の冷湿処理・温度依存性実験

・クロバナヒキオコシ（シソ科多年生草本、*Isodon trichocarpus*）

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°Cで18.0%、25/13°Cで24.0%、22/10°Cで21.3%、17/8°Cで23.3%、10/6°Cで11.3%と、10/6°C以外の温度区で約20%

の発芽率となった（表 8、図 11）。よって、温度が著しく高いあるいは低い時期には発芽しにくく、それ以外の時期に発芽しやすいと推察される。

また、冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は 26.0%（25/13℃）であり、冷湿処理を施したもの（25/13℃で 24.0%）とは差がほとんど無い（表 8、図 12）ことから、冷湿処理による発芽促進効果はほぼ認められないものと考えられる。

・コバギボウシ（ユリ科多年生草本、*Hosta sieboldii* f. *lancifolia*）

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃で 92.7%、25/13℃で 92.0%、22/10℃で 97.3%、17/8℃で 93.3%、10/6℃で 91.3%と、全ての温度区で 90%以上という高い発芽率となった（表 8、図 13）。また冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は 80.7%（25/13℃）であり、冷湿処理を施したもの（25/13℃で 92.0%）より低い結果となった（表 8、図 14）が、それでも高い発芽率となった。このように冷湿処理によって発芽率が上昇していることから、本種は野外において冬を経験することで良く発芽すると考えられる。これは野生植物に多く見られる生存方法で、種子が成熟した直後の秋に発芽せずに、冬を越えてから発芽することで、実生の生存率を高めていると考えられる。

よって、コバギボウシは、必ずしも冷湿処理が必要であるわけではないとも考えられるが、冷湿処理を施すことでどの温度区でも高い発芽率となったことから、冬を経験し春になるとほぼ全ての生存種子が発芽すると推察される。

・ゴマナ（キク科多年生草本、*Aster glehni*）

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃で 28.7%、25/13℃で 13.3%、22/10℃で 12.0%、17/8℃で 16.7%、10/6℃で 19.3%であった。（表 8、図 15）。また、冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は 24.7%（25/13℃）であり、冷湿処理を施したもの（25/13℃で 13.3%）より高い結果となった（表 8、図 16）。

今回の結果では、高い温度帯で培養した種が最もよく発芽した。これは、秋に花期を迎えるゴマナの種子が夏の間発芽するためと考えられる。また、冷湿処理による発芽促進効果はないものと考えられる。

・ジョウロウスゲ（カヤツリグサ科多年生草本、*Carex capricornis*）

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15℃で 99.3%、25/13℃で 100.0%、22/10℃で 96.0%、17/8℃で 60.0%、10/6℃で 0.0%と、10/6℃以外の温度区で 60%以上、特に高温区では約 100%という高い発芽率となった（表 8、図 17）。一方で、冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は 36.0%（25/13℃）であり、冷湿処理を施したもの（25/13℃で 100.0%）より非常に低い結果となった（表 8、図 18）。本種は夏場の気温が 30 度を超える館林市で採取されたものであり、よって、ジョウロウスゲ

は冷湿処理による発芽促進効果が認められ、低温である冬の時期は休眠し、翌年の夏の高温に反応して発芽すると推察される。

・チョウジソウ (キョウチクトウ科多年生草本、*Amsonia elliptica*)

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°Cで12.7%、25/13°Cで26.7%、22/10°Cで29.3%、17/8°Cで10.7%、10/6°Cで0.7%であった(表8、図19)。また冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は0.0%(25/13°C)と全く発芽しなかった(表8、図20)。よって、本種は、種子の発芽には冬を経験することが必要不可欠であり、22/10°C～25/13°Cの温度区で一定の発芽率があることから、冬を越えた後、春から初夏の間で発芽し始めると推察される。

1996年の廣田氏の修士研究では、3週間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、20°Cで5%以下、20/5°Cで約40%、30/10°Cで約20%、7週間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、20°Cで約10%、20/5°Cで約80%、30/10°Cで約30%、10週間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、20°Cで約10%、20/5°Cで約70%、30/10°Cで約40%である。そして、冷湿処理をしない種子は10/30°Cの交代温度条件下でのみ11.0±4.0%の種子が発芽した(廣田1996)。

本研究と条件の近い、7週間の冷湿処理を施した種子および冷湿処理を施していない種子の最終発芽率結果と、本研究の結果を比較すると、本研究の結果は、廣田氏の結果よりも発芽率が悪いものの、高温度区では発芽率が悪く、22/10°C～25/13°Cの温度区で最も発芽率が良く、冷湿処理を施していない場合は発芽率が極端に低くなるというほぼ同様の結果となったため、今回の調査は過去の研究結果を再現できたと考えられる。

・バアソブ (キキョウ科多年生つる草、*Codonopsis ussuriensis*)

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°Cで27.3%、25/13°Cで34.0%、22/10°Cで57.3%、17/8°Cで68.7%、10/6°Cで52.0%と、低温度区で50%以上という発芽率となった(表8、図21)。一方で、冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は2.0%(25/13°C)であり、冷湿処理を施したもの(25/13°Cで34.0%)より低い結果となった(表8、図22)。本種は、比較的気温が低い地域である西榛名地域で採取されたものであるため、よって、本種は種子の発芽には冬を経験することが必要であり、冬を越えた後、早春頃に発芽し始めると推察される。

・ミヤコアザミ (キク科多年生草本、*Saussurea maximowiczii*)

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°Cで100.0%、25/13°Cで100.0%、22/10°Cで99.3%、17/8°Cで100.0%、10/6°Cで100.0%と、ほぼ全ての温度帯で約100%という高い発芽率となり、10日も経たないうちにほとんどの種子が発芽していた(表8、図23)。また、冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は100.0%(25/13°C)

であり、冷湿処理を施したもの(25/13°Cで100.0%)とほぼ変わらない結果となった(表8、図24)。今回の結果では、冷湿処理の有無にかかわらず全ての温度帯でほぼ全ての種子が発芽した。よって、野生においてミヤコアザミの種子は、成熟し散布された直後に速やかに発芽していると推察される。

・ユウガギク (キク科多年生草本、*Kalimeris pinnatifida* (*Aster iinumae*))

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、30/15°Cで8.7%、25/13°Cで18.0%、22/10°Cで22.0%、17/8°Cで14.7%、10/6°Cで13.3%であった(表8、図25)。また、冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は22.7%(25/13°C)であり、冷湿処理を施したもの(25/13°Cで18.0%)より高い結果となった(表8、図26)。よって、冷湿処理による発芽促進効果は認められないと考えられる。今回の結果では、22/10°C-25/13°Cの温度帯で一定の発芽率があることから、冬を経験した後の春頃に発芽すると推察される。

・イヌトウバナ (シソ科多年生草本、*Clinopodium micranthum*)

2ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、30/15°Cで14.0%、25/13°Cで81.3%、22/10°Cで64.7%、17/8°Cで24.7%、10/6°Cで4.7%であった(表8、図27)。イヌトウバナに対する発芽実験は、2015年の関(2016)の研究でも行われており、その時の結果は30/15°Cで67.3%、25/13°Cで72.7%、22/10°Cで72.7%、17/8°Cで66.7%、10/6°Cで60.0%であった。今回の実験では西榛名地域で採取した種子を用いており、2015年の実験(2014年にアドバンテストビオトープで採取)とは産地が異なっている。実験結果を比較するとその違いが現れており、アドバンテストビオトープ産に比べ、気温が著しく高いあるいは低い温度帯では発芽率が極めて低くなっている。本種が低温度帯で発芽しにくいのは、冬の寒さが厳しい西榛名地域の環境に適応しているものと推察される。一方、生育期間の短い西榛名のような場所では、気温が高いとはいえ夏に発芽しても、大きく育たないうちに冬を迎えることになり実生の死亡率が高まってしまう。高温度区で発芽しにくいのは、このように死亡率が高まるような時期に発芽することを回避するように、高温による二次休眠が誘導される方向に進化したためと推察される。今後もこの種子による発芽実験を行い、より多くの最終発芽率のデータを集めて比較を行う必要がある。

・絶滅危惧種B (多年生草本)

本研究では矢場川および谷田川で採取された種子を使用した。2ヶ月間培養を行った矢場川産の種子の最終発芽率は、30/15°Cで35.3%、25/13°Cで40.7%、22/10°Cで44.7%、17/8°Cで36.0%、10/6°Cで40.0%であった(表8、図28)。また、2ヶ月間培養を行った谷田川産の種子の最終発芽率は、30/15°Cで34.7%、25/13°Cで54.0%、22/10°Cで46.7%、17/8°Cで46.0%、10/6°Cで27.3%であった(表8、図29)。

結果として、矢場川および谷田川のいずれの地域においても一定数の発芽があった。ただし、谷田川については2013年の春原(2014)の研究結果が全ての温度帯で60%前後の発芽率であり、比較すると多少低い結果となった。この原因としては、種子を選別するときに、誤って熟していない種子を多く選んでしまった可能性が考えられる。矢場川についても同様のことが考えられるため、今後も実験を行って正しい結果を導き出す必要がある。

・ナガミノツルキケマン(ケシ科1年生あるいは越年生草本、*Corydalis raddeana*)

2ヶ月間の温室処理を行った後に、4℃の薬用保冷庫内で1ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、0.0%であった。一方で、2ヶ月間の冷湿処理を行った後に、17/8℃に設定した培養器内で1ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、31.3%であった(表8、図30)。

福島(2015)および嶋方(2016)の先行研究では、最終発芽率は0.0~12.7%であり本種子は深い休眠状態にあると考えられていた。そのため、本研究ではその休眠状態を解除するため新たに温室処理を行ったが、結果として発芽が見られたのは、冷湿処理後、厳密に述べると冷湿処理中からであった。これらからは、本種がどの要因によって発芽を開始したかを断定することはできない。また今回約30%の発芽が確認できたものの、高橋美絵(2009)の先行研究の最終発芽率(20~30%)と大差ない。引き続き本種については、発芽を促す方法およびより多くの種子が発芽する方法を見つけるため、実験を行う必要がある。

・ムラサキケマン(ケシ科1年生あるいは越年生草本、*Corydalis incisa*)

2ヶ月間の温室処理を行った後に、4℃の薬用保冷庫内で1ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、0.0%であった。また、2ヶ月間の冷湿処理を行った後に、17/8℃に設定した培養器内で1ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、0.0%であった(表8、図31)。

この結果から、吸水が全くされなかったあるいは冷凍保存していたため種子が死んでしまった可能性が考えられる。よって、新たに種子を採取するか、絶滅危惧種Aの種子に対して使用したジベレリンをしようするなど、別の方法を検討し実験を行う必要がある。

・ウバユリ(ユリ科多年生草本、*Lilium cordatum*)

2ヶ月間の温室処理を行った後に、4℃の薬用保冷庫内で1ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、0.0%であった。また、2ヶ月間の冷湿処理を行った後に、17/8℃に設定した培養器内で1ヶ月間培養を行った種子の最終発芽率は、0.0%であった(表8、図32)。

ただし、昨年の嶋方(2016)の研究で余ったウバユリの種子を、その後長期間4℃の薬用保冷庫内に入れた後、本研究の2回目の発芽観察時に一緒に培養器内に入れて様子

を見たところ、10 数個の発芽が確認できた。この作業は本研究とは無関係のものであるが、この結果により、ウバユリの種子が今まで深い休眠状態にあり、何らかの要因によって発芽したと考えられる。

よって、本種子については発芽要因と発芽促進の方法を解明すべく、引き続き実験を行う必要がある。

絶滅危惧種 A 種子の保存方法及び前処理が発芽率に及ぼす影響

ジベレリン処理による強制休眠解除実験（生存検定）

2012 年以降に西榛名・北榛名地域の各地点で採取した種子を使用した。採取年ごとにみると、2012 年は 70.0～90.0%、2013 年は 45.3%、2014 年は 12.0～64.0%、2015 年は 92.0～100.0%という結果であり、採取年・採取場所によって差異はあるものの、高い最終発芽率を示した（表 9、図 33）。前述の通り、2012 年に採取された種子については、乾燥させた後に、4℃で冷蔵保存し、2013 年より-80℃で冷凍保存したものである。また 2013 年以降に採取された種子は、乾燥させた後に-80℃で冷凍保存を行った。

2015 年の嶋方（2016）の研究結果によると、絶滅危惧種 A の種子保存において、4℃の冷蔵による保存方法では保存期間は 2 年未満が限度と考えられた。また、-80℃の冷凍保存によって種子の発芽能力を保全できることは確認されたが、冷凍保存年数が経過した場合に保全の有効性が保たれるのかは解明されていなかった。これらのことに対し、今回本研究で使用した 2012 年に採取された種子は、冷蔵保存期間が 1 年で冷凍保存期間が去年よりも 1 年長い 3 年であったにもかかわらず、最低でも 70.0%以上という高い最終発芽率を示した。したがって、冷凍保存であれば、たとえ 1 年間 4℃で冷蔵で保存した場合でも、種子の発芽能力を失うことなく長期間種子を保存することができると考えられる。ただし、さらに冷凍保存年数が経過しても有効性が保たれるのかは未知数であり、今後も継続的に実験を続ける必要がある。

一方で、2013 年および 2014 年の種子の最終発芽率は、今回の実験では比較的低い発芽率となった。しかし昨年の結果と比較すると、2014 年の CN 寺沢側右岸産と CN 十二が原墓場産を除き、各地点でほぼ同じ結果であるため、天候不順によって種子が未熟な状態のまま採取したためと推測した昨年の嶋方（2016）の結果と同様のものと考えられる。

2014 年の CN 寺沢側右岸産の最終発芽率 12.0%および CN 十二が原墓場産の 20.0%は、昨年の結果（CN 寺沢側右岸：46.0%、CN 十二が原墓場：38.7%）と比較しても著しく低下していることから、上記以外の何らかの影響を受けた、具体的には、未熟な種子を多く選定してしまった、あるいは前処理の準備作業中、非意図的に種子を傷つけてしまったためと推測する。

冷湿処理による休眠解除実験

生存検定実験と同様に、2012年以降に西榛名・北榛名地域の各地点で採取した種子を使用した。1回目の冷湿処理および培養後の最終発芽率は、採取年ごとに見ると、2012年は12.7～38.7%、2013年は6.0%、2014年は0.0～12.7%、2015年は0.0～4.0%という結果を示した（表10、図34）。引き続いて行った2回目の冷湿処理および培養後の最終発芽率は、採取年ごとに見ると、2012年は19.3～46.7%、2013年は16.7%、2014年は1.3～16.0%、2015年は2.7～22.7%という結果を示した（表10、図34）。いずれの地点においても、1回目の冷湿処理よりも2回目の冷湿処理後の最終発芽率が高くなった。このことから、産地・採取年による差異はあるものの、2回の冷湿処理によって、本種の種子の発芽が促進されたと断定できる。

全ての産地・採取年の種子において、冷湿処理実験における最終発芽率は、ジベレリンを使用して行った強制休眠解除実験（生存検定）の結果（表9）よりも低い値となった。すなわち本種の種子は、2回の冷湿処理では解除できないほどの深い休眠状態となっているものも多くあり、それら休眠状態にある種子の割合は産地・採取年によって異なっていると考えられる。

以上の結果より、絶滅危惧種Aの種子は、その多くが冷湿処理だけでは解除しきれない何らかの生理的な深い休眠状態にあり、自然環境下では、休眠状態から抜け出した種子が冬季に冷湿処理と同じ環境におかれることで発芽が促進され、種子が生産された翌年および翌々年にも発芽が見られると推察される。先述したように、絶滅危惧種Aの種子は、冷蔵による保存方法では保存期間は2年未満が限度と考えられていることから、野外における種子の寿命は2年未満と想定され、発芽する前に死亡する種子が多く存在すると考えられる。よって、昨年と同様、野外において絶滅危惧種Aが長期間残存する土壌シードバンクを形成する可能性は著しく低いと考えられ、土壌シードバンクを形成したとしても、短期間しかもたないと推察される。この場合、毎年種子生産を行う必要があるため、自生地域において、絶滅危惧種A個体群が孤立したり分断したりしないように生育環境を保全する必要がある。

2014年産CN夢の花園およびCN新桜台産の種子は、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、発芽率が他の西榛名地域の産年・産地のものより非常に低い場合が多かった。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。北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（篠原氏の卒業論文参照）。

絶滅危惧種Aの花柱構成比

絶滅危惧種 A の結実率

西榛名地域および北榛名地域の絶滅危惧種 A 生育地のうち 6 地点（CN 夢の花園、CN ワシタニヒルズ(本研究では CN ワシタニヒルズ入口も含む)、CN 第二ワシタニヒルズ、CN 新桜台、CN 寺沢側右岸、CN 十二が原墓場）において結実した花茎を採取した（図 36）。結実が確認され採取できた花茎数は、CN 夢の花園で 59 個、CN ワシタニヒルズで 46 個、CN 第二ワシタニヒルズで 70 個、CN 新桜台で 4 個、CN 寺沢側右岸で 75 個、CN 十二が原墓場で 12 個であった。なお、CN 十二が原墓場では結実した花茎を回収する前に草刈りが行われてしまったため、今回採取した花茎は草刈りを免れて残存していたものから回収したものである。これらの数字は、相対的に各採取地点の絶滅危惧種 A の開花ジェネット（遺伝的に異なる株や個体）数を表している。

正常に種子が結実した正常結実の割合をみると、50%を超えたのは CN 第二ワシタニヒルズの 58.5%のみであり、CN 夢の花園は 38.8%、CN ワシタニヒルズは 39.3%、CN 新桜台は 35.7%、CN 寺沢側右岸は 43.8%、CN 十二が原墓場は 29.6%と多くの地点で

半数に満たない結果となった。正常結実率が低い地点では、CN 十二が原墓場を除き未熟の割合が高く、CN 夢の花園は 36.3%、CN ワシタニヒルズは 38.3%、CN 新桜台は 50.0%、CN 寺沢側右岸は 34.3%であった。また、CN 十二が原墓場では未熟の割合は 18.3%に対して、食失の割合が 45.1%と高く、この点においては荒川(2012)や福島(2015)と同様の結果となった。2016 年度は、2015 年以上に結実期である 7 月まで天候不順で、多雨や日照不足により種子の成熟が阻害されたり虫害が促進されたと推察される。

CN 寺沢川右岸では CN 第二ワシタニヒルズとほぼ同様の開花ジェネットが確認されたが、それでも未熟が約 35%という結果になった。福島(2015)の研究では正常結実が 62%、未熟が 20%程度であったこと、また、嶋方(2016)の調査以降当地では木本植物が生長しているにもかかわらず、下草刈りが行われていないため、結実期に至るまでの間の光環境の劣化により、種子の登熟が悪化している可能性が考えられる。また、大林(2014)、福島(2015)の研究時点では結実期に株を発見することが極めて困難だったため、サンプル数が非常に少なかった(それぞれ 27、7 個)ことが、誤差の大きい結果を生じさせた可能性も考えられる。

食失は、絶滅危惧種 A の花および果実が食
い荒らされたものと考えられる。

病失については、0-7.5%と福島(2015)、嶋方(2016)の研究と同様に低い結果となった。一方で、塚越(2013)、大林(2014)の研究ではそれぞれ 25%、36%と割合が高い。これは、病失および食失は、年変動が大きく、サンプル数に年度による差があり、そして調査者によって判別基準に違いが出るためであり、今後も継続的調査を行う必要がある。

2016 年 5 月の開花調査で株番号を付けたものに対し、7 月の花茎採取において採取が行えた株の割合を花茎回収率として算出した(図 37)。CN ワシタニヒルズは 53.5%、CN 第二ワシタニヒルズは 73.9%、CN 新桜台は 16.7%、CN 寺沢側右岸は 24.4%であった。結実採取の際は、回収率の高い CN ワシタニヒルズと CN 第二ワシタニヒルズは草本の高さが低く、株が比較的に見つけやすい状態だった。回収率の低い CN 新桜台と CN 寺沢川右岸は草本が著しく繁茂しているため、主として株自体を見つけれなかったことが原因であり、また被圧により種子が成熟せず花茎が腐敗消失した株もあると考えられる。特に CN 寺沢側右岸は、草本の繁茂によって足場の不安定な崖地帯などでの株搜索が妨げられたため、5 月期に確認した株数に対して、7 月期に採取できた花茎数は大幅に減少した。今後の調査では、より効率よくたどりやすい目印を設ける等の工夫が早急に求められる。

異なる相対光量子密度下で栽培した植物の生長解析

群馬大学荒牧キャンパス構内および温室内の気温を図 39 に示す。栽培期間中の群馬大学荒牧キャンパス内圃場の気温の経時変化を示す。7月から10月までの栽培実験期間中の気温は、おおむね 15°C~35°C の範囲であった。

イヌトウバナ

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.031g であったが、最終サンプリング時には約 0.053g (3%区) ~約 0.122g (100%区) であった (表 11)。

相対生長速度 (RGR、 $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 0.053、13%区で約 0.041、9%区で 0.030、3%区で 0.016 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった (表 12、図 40)。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、3%という暗い環境条件下でも生長できると考えられる。これは、本種が主に里山の農地や農道沿いの日陰、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、 $\text{g m}^{-2}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 4.518、13%区で約 3.081、9%区で 1.469、3%区で 0.810 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった (表 12、図 40)。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 0.014、13%区で 0.015、9%区で 0.021、3%区で 0.022 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 40)。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%区で 0.034、13%区で 0.040、9%区で 0.068、3%区で 0.091 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 40)。器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 25%~約 34%、茎の重量比である SWR は約 19%~約 22%、根の重量比である RWR は約 47%~約 55%となった (図 40)。

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。

コバギボウシ

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.070g であったが、最終サンプリング時には約 0.072g (3%区) - 約 0.136g (13%区) であった (表 11)。

相対成長速度 (RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 0.020、13%区で約 0.024、9%区で 0.022、3%区で 0.001 と、9% - 13%区で最も高く、3%区でほとんど生長しなかった。

(表 12、図 41)。本種は相対光量子密度 9% - 13% という中程度の明るさの所では良く生長し、裸地や暗い所では生長が悪くなると考えられる。これは、本種が主に里山の落葉樹林の林床といった中程度の明るさの環境下で生育していることの一理由であると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 1.337、13%区で約 1.445、9%区で 1.145、3%区で 0.071 と、9% - 13%区で最も高く、3%区ではほぼゼロとなった (表 12、図 41)。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 0.016、13%区で 0.017、9%区で 0.020、3%区で 0.021 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 41)。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%区で 0.037、13%区で 0.044、9%区で 0.047、3%区で 0.052 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 41)。器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 31% - 約 42%、茎の重量比である SWR は約 13% - 約 17%、根の重量比である RWR は約 42% - 約 53% となった (図 41)。

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。

ゴマナ

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.053g であったが、最終サンプリング時には約 0.022g (3%区)、約 0.021g (9%区)、約 0.193g (13%区) 約 0.059g (100%区) であった (表 11)。

なお、100%区、9%区、3%区の各光条件区で、4 個体中 2 個体が (それぞれ枯死率 50.0%) 枯死した。これら枯死した個体は無かったものとし、数値算出の際には、値には加えていない。

相対成長速度 (RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 0.018、13%区で約 0.037、9%区で -0.024、3%区で -0.014 と、13%区で最も高く、9%以下の暗い環境条件下では全く生

長しななつた（表 12、図 42）。本種は相対光量子密度 13%という中程度の明るさの所では良く生長し、裸地や暗い所では生長が悪くなると考えられる。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の明るさの環境下で生育していることの一因であると考えられる。また本種は後述するように高温に非常に弱いため、前橋市の暑さで 100%区における生長がさらに阻害されたものと推察される。

光合成活性を表す純同化率（NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ）は、100%区で約 1.016、13%区で約 1.606、9%区で-1.583、3%区で-0.531 と、13%区で最も高くなり、9%以下の暗い環境条件下では光合成生産を行えなかったといえる（表 12、図 42）。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、処理区間で有意な差はなく、0.021～0.026 となった（表 12、図 42）。

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%区で 0.032、13%区で 0.064、9%区で 0.067、3%区で 0.075 と、100%区で著しく低下した（表 12、図 42）。器官別重量比（WR）のうち葉の重量比である LWR は約 13%～約 39%、茎の重量比である SWR は約 26%～約 43%、根の重量比である RWR は約 29%～約 50% となった（図 42）。

この SLA の処理による違いは、裸地で強光や高温により光合成活性が低下した場合に、葉の厚さを厚くして光合成系を保護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。しかしゴマナは高温に弱いため、100%区においては SLA の増加でも光合成系を保護することができず、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

ジョウロウスゲ

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.054g であったが、最終サンプリング時には約 0.056g（3%区）～約 0.422g（100%区）であった（表 11）。

相対成長速度（RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、100%区で約 0.073、13%区で約 0.043、9%区で 0.034、3%区で 0.002 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった（表 12、図 43）。本種は相対光量子密度 9%～100%という比較的広範囲の明るさの所で良く生長し、極端に暗い所では生長が悪くなると考えられる。これは、本種が主に里地の水辺という、裸地的で明るい環境ではあるが、草丈の高い水生植物（ヨシなど）と競合しある程度被陰されることも多い環境下で生育していることの一因であると考えられる。

光合成活性を表す純同化率（NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ）は、100%区で約 3.838、13%区で約 1.276、9%区で 0.991、3%区で 0.040 と、相対光量子密度の高い区ほど高く、100%区では特に高い値となった（表 12、図 43）。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 0.023、13%区で 0.034、9%区で 0.035、3%区で 0.041 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった（表 12、図 43）。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%区で 0.034、13%区で 0.060、9%区で 0.060、3%区で 0.077 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 43)。器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 42%~約 64%、茎の重量比である SWR は約 19%~約 22%、根の重量比である RWR は約 15%~約 39%となった (図 43)。葉の重量比である LWR では、100%区が約 42%、3%区が約 64%となり、2 区間で差が大きくなった。

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。

チョウジソウ

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.117g であったが、最終サンプリング時には約 0.130g (3%区) ~約 0.383g (100%区) であった (表 11)。

相対成長速度 (RGR、 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 0.058、13%区で約 0.050、9%区で 0.032、3%区で 0.005 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった (表 12、図 44)。本種は相対光量子密度 9%~100%という比較的広範囲の明るさの所で良く生長し、極端に暗い所では生長が悪くなると考えられる。これは、本種が主に里地の水辺という、裸地的で明るい環境ではあるが、草丈の高い水生植物 (ヨシなど) と競合しある程度被陰されることも多い環境下で生育していること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、 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 2.863、13%区で約 1.924、9%区で 1.111、3%区で 0.172 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった (表 12、図 44)。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 0.023、13%区で 0.028、9%区で 0.030、3%区で 0.033 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった。(表 12、図 44)。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%区で 0.034、13%区で 0.056、9%区で 0.064、3%区で 0.078 となった (表 12、図 44)。

器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 39%~約 41%、茎の重量比である SWR は約 21%~約 31%、根の重量比である RWR は約 28%~約 38%となった (図 44)。

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。

・ナガミノツルキケマン

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.033g であったが、最終サンプリング時には約 0.032g (3%区)、約 0.116g (9%区)、約 0.106g (13%区) 約 0.115g (100%区) であった (表 11)。

相対成長速度 (RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、13%区～100%区間で有意な差はなく、約 0.045～0.055 であり、3%区では 0.006 とほとんど生長しなかった (表 12、図 45)。本種は比較的広範囲な光環境下で良く生長するが、極端に暗い所では生長できないと考えられる。これは、本種が主に里山の農地や農道沿いの日陰、林縁や落葉樹林の林床といった中程度以上の明るさの環境下で生育し、暗い常緑樹林内には生育していないことの一因であると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$) は、13%区～100%区間で有意な差はなく約 1.573～2.945 であり、3%区で 0.144 と極端に低下した (表 12、図 45)。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 0.023、13%区で 0.031、9%区で 0.028、3%区で 0.040 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった。(表 12、図 45)。以上の結果から、本種の RGR が 3%区で極めて低くなった主な要因は、光合成活性 (NAR) の極端な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%区で 0.039、13%区で 0.070、9%区で 0.079、3%区で 0.107 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 45)。

器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 26%～約 41%、茎の重量比である SWR は約 23%～約 32%、根の重量比である RWR は約 31%～約 49%となった (図 45)。葉の重量比である LWR は、100%区が約 26%、3%区が約 41%と、差が大きくなった。

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。

絶滅危惧種 B (矢場川産)

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には 0.102g であったが、最終サンプリング時には約 0.116g (3%区) ～約 0.325g (100%区) であった (表 11)。

相対成長速度 (RGR、 $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 0.058、13%区で約 0.046、9%区で 0.035、3%区で 0.008 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった (表 12、図 46)。本種は相対光量子密度 9%–100%という比較的広範囲の明るさの所で良く生長し、極端に暗い所では生長が悪くなると考えられる。これは、本種が主に里地の水辺という、裸地的で明るい環境ではあるが、草丈の高い水生植物 (ヨシなど) と競合しある程度被陰されることも多い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。しかし矢場川の自生地においては、オオブタクサ、セイタカアワダチソウ、コセンダングサといった草丈の高い外来種やつる性の特定外来種アレチウリに一部の個体群が被圧されて衰退傾向にある。これは被圧によって相対光量子密度が 3%以下に低下したためと推察される。

光合成活性を表す純同化率 (NAR、 $\text{g m}^{-2}\text{day}^{-1}$) は、100%区で約 3.768、13%区で約 2.111、9%区で 1.577、3%区で 0.253 と、相対光量子密度の高い区ほど高くなり、3%区では大きく値が下がった (表 12、図 46)。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 0.019、13%区で 0.023、9%区で 0.023、3%区で 0.030 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 46)。以上の結果から、本種の RGR が 3%区で極めて低くなった主な要因は、光合成活性 (NAR) の極端な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%区で 0.029、13%区で 0.063、9%区で 0.063、3%区で 0.079 と、相対光量子密度の低い区ほど高くなった (表 12、図 46)。

器官別重量比 (WR) のうち葉の重量比である LWR は約 29%–約 41%、茎の重量比である SWR は約 17%–約 31%、根の重量比である RWR は約 36%–約 55%となった (図 46)。

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、3%という極端に暗い環境下では、LAR の増加が 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。

同時期に行った、谷田川産の種子を使用した生長解析の結果を、須永氏の卒業論文から引用し、図 47 および図 55 として表示した。結果の詳細については須永氏の卒業論文を参照されたい。

ミヤコアザミ

本種の個体当たりの乾燥重量平均値は、初期サンプリング時には0.070gであったが、最終サンプリング時には約0.075g（3%区）～約0.298g（100%区）であった（表11）。

相対成長速度（RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、100%区で約0.070、13%区で約0.050、9%区で0.038、3%区で0.004と、相対光量子密度の高い区ほど高くなった（表12、図48）。本種は相対光量子密度9%～100%という比較的広範囲の明るさの所で良く生長し、極端に暗い所では生長が悪くなると考えられる。これは、本種が主に里山の草地という、裸地的で明るい環境ではあるが、草丈の高い植物（ススキなど）と競合しある程度被陰されることも多い環境下で生育していることの一因であると考えられる。

光合成活性を表す純同化率（NAR、 $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ）は、100%区で約5.656、13%区で約2.714、9%区で1.815、3%区で0.169と、相対光量子密度の高い区ほど高く、100%区では特に高い値となった（表12、図48）。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0.014、13%区で0.019、9%区で0.021、3%区で0.025と相対光量子密度の低い区ほど高くなった（表12、図48）。以上の結果から、本種のRGRが3%区で極めて低くなった主な要因は、光合成活性（NAR）の極端な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%区で0.020、13%区で0.034、9%区で0.042、3%区で0.053となった（表12、図48）。

器官別重量比（WR）のうち葉の重量比であるLWRは約47%～約60%、茎の重量比であるSWRは約11%～約19%、根の重量比であるRWRは約21%～約42%となった（図48）。

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、3%という極端に暗い環境下では、LARの増加が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。

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39に示す。植物の栽培時の気温は、おおむね25℃～40℃の範囲内にあり、平均で約2.4℃、外気温よりも高かった。

生長解析結果は、表11～12および、図49～56に示す。ゴマナについては、温室内で栽培したものが全て枯死し記録できなかった。

相対生長速度（RGR）がコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に高くなった種はコバギボウシ、チョウジソウであり（ $p < 0.01$ ）、ジョウロウスゲ、ミヤコアザミにおいては逆に有意に低下した（ $p < 0.01$ ）。イヌトウバナ、ナガミノツルキケマン、絶滅危惧種BではRGRに処理区間で有意な差は認められなかった。

コバギボウシの純同化率 (NAR) はがコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に高くなり ($p < 0.01$)、葉面積比 (LAR) に処理区間で有意な差はなかったため、光合成活性の増大がRGR増加の主要因であると考えられる。またチョウジソウではNARに処理区間で有意な差はなく、LARがコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意ではないが高くなったことから、葉の増加がRGR増加の主要因であるかもしれないと考えられる。

ジョウロウスゲ、ミヤコアザミにおいてはNARがコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に低くなった ($p < 0.01$) ことから、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。

これらの結果の詳細な考察は、須永 (2017) に委ねる。

絶滅危惧種Bの挿し木実験

2014年の研究 (石田 2015) において7月以降に挿し木を行った場合は活着率が悪くなるという結果から、今年は昨年とは異なり、6月中旬に挿し木実験を行った。絶滅危惧種Bの苗を上、中、下の20cmごとに切り分けて挿し木を行った結果、矢場川産のものは、上：67.4%、中：97.5%、下：100.0%であり、谷田川産のものは、上：58.7%、中：89.2%、下：94.8%となった (図 57)。いずれも高い活着率であり、2011年 (松田 2012) の谷田川産の絶滅危惧種Bによる実験の結果 (上：約63%、中：74%、下：84%) や2012年 (浦野 2013) の矢場川産のものによる実験の結果 (上：87.1%、下：96.8%) と比較しても、ほぼ同じあるいはより高いという結果であった。これらのことから、絶滅危惧種Bの個体数の増加方法として挿し木による方法は非常に有効であることが改めて確認できた。ただし、挿し木による方法は、遺伝的に同一な個体を増やす手段であるため、種子繁殖を担保し、個体群内の遺伝的多様性を維持・向上させるような、継続的な生育地の管理および管理結果のモニタリングが今後も必要である。

結論

本研究により、群馬県内には、絶滅危惧種Aや絶滅危惧種Bをはじめとする多数の絶滅危惧種・希少種が生育できる良好な里地・里山環境が現存していることが分かった。また西榛名地域や矢場川など県内の様々な里地・里山地域において、二次林、水田、ため池、用水路、湿地など多様な立地条件が形成されており、それぞれの立地ごとに異なる種からなる構成で、多くの在来植物種が生育していることが明らかになった。今後は、当地に関わる地域の住民や学識者、そして行政に携わる者も含め、全てが一体となって里地・里山の保全に参加し協力することが自然再生や環境の維持に向けた最も重要な要因であると考えられる。

本研究の現地調査によって、西榛名地域では、16種の希少種および絶滅危惧種を含む在来種98種の生育が確認され、植物種多様性の高い地域であることが判明した。先述した環境条件と、地域に生活する人々が行う農耕作業による人為的攪乱が長期間維持されており、様々な在来植物種に適した多様な生育環境が形成されていると考えられる。一方で、環境省が設定した要注外来生物種であるオオブタクサやアメリカセンダングサなどの外来種の繁茂も確認されており、これら外来種が生育範囲を拡大し、西榛名地域に生育する在来植物の生育地を脅かす可能性が考えられるため、これらの外来植物の駆除や移入防止対策を早急に検討し実行に移す必要がある。

谷田川では、7種の絶滅危惧種を含む在来種27種が確認され、流域の多くの地点で繁茂する絶滅危惧種の絶滅危惧種Bや、ハンゲショウなども自生していることから植物種多様性の高い地域と言える。一方で、大規模な群落を形成しているオオブタクサ、ナヨクサフジ、ヒメモロコシなどの外来種も確認された。これら外来種によって絶滅危惧種の生育環境が失われる可能性があり、絶滅危惧種を外来植物による侵略から守るためにも、今後も継続的なモニタリングを行うとともに、早急な対策をとる必要がある。

絶滅が危惧されているや、絶滅危惧種Cの開花個体調査においては、昨年までの研究に比べ、より多くの個体が確認され、この地域における生育環境に問題が無く、良好な状態で維持し続けていることが確認できた。

本年の現地調査によって、当地域が国内でも有数の絶滅危惧種Aの自生地であることがさらに詳細に解明された。特にCN寺沢川右岸では前年の調査よりも多い、308株の開花株が確認された。ただし、草本の繁茂が著しく調査が行えなかった場所もあり、今後も新たな開花株が確認される可能性がある。

また、絶滅危惧種Aの結実率調査では、採取年や採取地点の違いによって変動があった。

結実率については、正常結実の割合が50%を超えたのはわずか1地点であり、ほとんどの地点で未熟の割合が高い結果となり、草本の繁茂などによる光環境の劣化の問題が懸念される。今後も継続的調査を行い、当地のモニタリングを行う必要がある。

絶滅危惧種Aの発芽実験では、生存検定の結果から、冷凍保存によって種子の発芽率を大きく損ねることなく長期保存が可能であることが判明した。ただし、さらに冷凍保存年数が経過しても有効性が保たれるのかは未知数であり、今後も実験を続け冷凍保存効果の検証を続ける必要がある。また、冷湿処理実験の結果から、絶滅危惧種Aの土壌シードバンク形成期間は非常に短いことが再確認された。絶滅危惧種Aの生育環境、発芽条件の解明と並行し、冷凍保存による人工的なシードバンクを確立することは、絶滅危惧種の保全に非常に重要なことと考えられる。ただし、冷湿処理のみでは全ての種子の発芽が促進できていないため、冷湿処理以外にも種子の休眠を解除する要因が存在すると考えられ、また、種子の生存期間の短さから、多くの種子が野外において発芽することなく死亡していると推察される。したがって、絶滅危惧種Aの孤立や分断を防ぎ、種子の生産が毎年確実に行われるように、今後も自生地環境の保全を行う必要がある。

矢場川自然再生地における絶滅危惧種Bの今年の現地調査では、絶滅危惧種Bが繁茂・開花しているのを確認し生育範囲を広げていることも確認した。一方で、移植した絶滅危惧種Bについては、モニタリング調査を行った結果、上流側の地点は植栽地が多数の植物によって覆われ、下流側の地点は流失などによって消失し移植が失敗したことが確認されたため、今後は移植地点を変更するなどの対策を行い、引き続きモニタリングを行う必要がある。また、セイタカアワダチソウなど要注意外来種も数多く繁茂しているため、こちらも引き続き調査を継続しながら、適切な時期に草刈りを行うなど早急な対策を取る必要がある。

絶滅危惧種A以外の植物種の発芽実験では、実験の結果、里地・里山地域に生育する在来植物種の多様な発芽特性が確認できた。コバギボウシ・ジョウロウスゲ・チョウジソウ・バアソブは冷湿処理による発芽促進効果が確認されたため、種子が冬を経験することで、発芽が促進されると考えられる。一方、クロバナヒキオコシ・ユウガギク・ゴマナは、冷湿処理による発芽促進効果が確認されず、よって冬を経験しても発芽が促進されないため、種子が冬を経験する必要がない可能性があると考えられる。また、ミヤコアザミは冷湿処理の実施の有無にかかわらず、ほぼ全ての温度区で発芽したことから、種子が熟した直後すぐに発芽していると推察される。

ナガミノツルキケマンは、最終発芽率が31.3%となり、福島(2015)と鳴方(2016)の研究において述べられた深い休眠状態から脱したと考えられる。しかし、休眠を解除

した要因が解明できていないため、今後も同様の実験を行い、休眠解除の要因を解明する必要がある。

ムラサキケマンは最終発芽率が0%であり、吸水が全くされなかったあるいは冷凍保存していたため種子が死んでしまった可能性が考えられるため、新たに種子を採取するか、絶滅危惧種Aの種子に対して使用したジベレリンを使用するなど、別の方法を検討し実験を行う必要がある。

ウバユリは、本研究の実験では発芽しなかったが、嶋方（2016）の研究で余ったウバユリの種子から10数個の発芽が確認できており、ウバユリの種子が今まで深い休眠状態にあり、何らかの要因によって発芽したと考えられるため、発芽要因と発芽促進の方法を解明すべく、引き続き実験を行う必要がある。

植物に対する光条件を変化させた生長解析では、実験結果から、イヌトウバナ・チョウジソウ・絶滅危惧種B・ミヤコアザミは、日の当たる明るい地域を生育環境として好み、多少の被陰のある地域でも生育できるが、草本が著しく繁茂する地域では生育できないことが明らかになった。一方でコバギボウシとゴマナは、ある程度被陰のある地域を生育環境として好み、裸地や草本の生い茂る林内では生育できないことが明らかになった。また、ジョウロウスゲは、日の当たる裸地を生育環境として好み、被陰のある地域では非常に生育が悪化することが明らかになった。ナガミノツルキケマンは、日の当たる明るい地域でも生長するが、ある程度被陰のある地域でも生育可能であることが明らかになった。このように、様々な在来植物種が多様な環境で生育しているが、いずれにおいても、里地・里山に人の手が入り、草刈りなど草本の管理が行われることで植物種の生育に良好な環境が整えられ、逆に里山の管理が放棄された場合、本種など日当たりの良いところを好む植物種の生育が悪化し、最悪の場合は生存できなくなると推察される。

里地・里山地域は、これまで伝統的な農業が行われ、長期にわたって人と自然との共生関係が維持されてきた地域であり、人々が草刈りなどを行うことによって、草本の管理が行われ、結果として多様な植物種の生育する貴重な生態系を育んできた。しかし1960年代の高度経済成長期以降、農業の衰退や少子高齢化といった産業構造の変化に巻き込まれたことで、人の手が入らなくなった里地・里山地域の自然環境は、草本類が異常に繁茂して林床などに日の光が届かなくなるなど、山林や草原、田畑、湿地などあらゆる地域が荒れ果て、植物種多様性の低下や貴重な植物種が絶滅するおそれがある。

このような事態を防ぐには、地域住民の地域に対する意識改革、行政機関による法律・条例の制定および保全のための支援、専門家らによる調査やモニタリングそして適切な管理方法の指導などを一体化させ、相互に連携した状態で行動する必要がある。人と自然環境はいつの時代においても密接した関係にある存在であり、この社会は、生態系を含む様々な自然資源によって支えられ、成り立ってきたものである。希少種や絶滅危惧

種の植物も含まれる生態系を守ることは、結果的に持続可能な社会を成立させることに
つながるため、貴重な生態系を維持するために、保全活動を続けていく必要がある。

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もと、環境科学研究室内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。

西榛名地域・北榛名地域・渡良瀬遊水池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。

矢場川自然再生地における絶滅危惧種B移植後のモニタリング調査におきましては、いであ株式会社自然環境保全部・鈴木敏弘氏をはじめ社員の方々、国土交通省関東地方整備局渡良瀬河川事務所調査係長・町井悟氏らにご協力・ご指導頂きました。

谷田川における絶滅危惧種B調査におきましては、群馬県館林土木事務所工務第二係長・小林芳人氏および毛利修二氏にご協力・ご指導頂きました。

また、同時期に卒業論文に取り組んだ佐藤颯哉氏、篠原大勇氏、須永勇樹氏、三輪晏史氏をはじめとする、研究室の学生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

- 青木雅夫 (2009) 地域の概況 板倉ウェットランド,良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 (X X X V) . 群馬県 自然環境課編 1.
- 赤上裕章 (2011) 里山における希少植物種の生育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.
- 東淳樹 (2001) 3.4 里山と谷津田を利用する猛禽類. 里山の生態学 (武内和彦・鷲谷いづみ・恒川篤史編) 東京大学出版会.114.
- 足立直樹 (2010) 「生物多様性」とは何か. 企業が取り組む「生物多様性」入門 (足立直樹監修、企業が取り組む生物多様性研究会著) 日本能率協会マネジメントセンター.17.
- 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 (1993) 里山の自然をまもる (石井実・植田邦彦・重松敏則著) 築地書館.20-22.
- 石井実 (2005) 1.1 里やま自然の成り立ち. 生態学からみた里やまの自然と保護 (石井実監修、(財) 日本自然保護協会編) 講談社.1-3.
- 石田新太 (2015) 大形ビオトープによる植物相の保全に関する生態学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 板倉町教育委員会 (2005) 渡良瀬遊水池と谷田川下流域の自然環境 2005.板倉町教育委員会編 板倉町教育委員会.
- 市川憲平 (2005) 4.3 水辺環境の変貌と保全上の課題, 保全の取り組み. 生態学からみた里やまの自然と保護 (石井実監修、(財) 日本自然保護協会編) 講談社.172-175.
- 浦野茜詩 (2013) 大型ビオトープとその目標となる植物相に関する生態学的研究-東毛の2つのビオトープを中心とした解析-. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 大林理沙 (2014) 里山地域に生育する希少植物種の種子生産と発芽の規定要因に関する研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 角野康郎 (2005) 1.4 水辺の生態学的価値. 生態学からみた里やまの自然と保護 (石井実監修、(財) 日本自然保護協会編) 講談社.20-22.
- 環境省 (2007) 平成 19 年版 環境白書 (環境省編) .9-11.
- 環境省 (2010) 平成 22 年版 環境白書 (環境省編) .66、92.
- 香坂玲 (2009) 国連生物多様性条約と COP10. 生物多様性の日本 (森林環境研究会編) 朝日新聞出版.108、111-112.
- 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.
- 齊藤修・柴田英昭・市川薫・中村俊彦・本田裕子・森本淳子 (2012) 里山・里海と生態系サービス-概念的枠組み. 里山・里海 -自然の恵みと人々の暮らし- (日本の里山・里海評価委員会編) 朝倉書店.13-14、17、21-24.

- 嶋方里佳（2016）榛名山西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. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 下田路子（2003）水田の生物をよみがえらせる. 岩波書店.51.
- 須田真一・角谷拓・鷺谷いづみ（2009）トンボの危機を市民研究者が評価する. 生物多様性の日本（森林環境研究会編）朝日新聞出版.93-94.
- 春原悠樹（2014）大形ビオトープとその周辺にある里地の植物相の保全生態学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 生物多様性政策研究会（2002）生物多様性キーワード事典（生物多様性政策研究会編）中央法規出版.38、58.
- 関拓也（2016）地球環境変化下における持続的な自然再生方法に関する保全生態学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 高橋勝雄（2002）野草の名前. 株式会社山と溪谷社.
- 高橋俊守・磯崎博司・及川敬貴・小山佳枝・國光洋二（2012）里山・里海の変化への対応はいかに効果的であったか？ 里山・里海 -自然の恵みと人々の暮らし-（日本の里山・里海評価委員会編）朝倉書店.79.
- 高橋美絵（2009）里山の植物多様性の形成メカニズムに関する環境科学的基礎研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 武内和彦（2001）1.1 二次的自然としての里地・里山. 里山の生態学（武内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史編）東京大学出版会.4.
- 塚越みのり（2013）里地・里山地域における希少植物種の分布と繁殖の規定要因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.
- 恒川篤史（2001）2.1 日本における里山の変遷. 里山の生態学（武内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史編）東京大学出版会.49.
- 中村浩二・宇野文夫（2010）里山復権へ能登からの発信へ（中村浩二・嘉田良平編著）創森社.24-25.
- 日比保史・千葉知世（2010）生物多様性 COP10 への期待. 生物多様性 COP10 へ（森林環境研究会編）朝日新聞出版.28.
- 廣田湖美（1996）チョウジソウの保全のための繁殖生態学的研究. 筑波大学環境科学研究科修士論文.
- 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.
- 富士田裕子・加川敬祐・東隆行（2016）日本におけるチョウジソウ *Amsonia elliptica*（キョウチクトウ科）の産地とその現況（保全生態学研究編集委員会編）JAPANESE

(2016) .78.

本多清 (2010) 里山復権ー能登からの発信ー (中村浩二・嘉田良平編著) 創森社.87.

前藤薫 (2005) 3.2 農林業における景観管理の知恵. 生態学からみた里やまの自然と保護
(石井実監修、(財) 日本自然保護協会編) 講談社.148-149.

牧野富太郎 (2000) 新訂牧野新日本植物図鑑. 株式会社北隆館.

松田紗依 (2012) 大型ビオトープにおける植物種多様性と絶滅危惧植物種の“育成”方法に関する環境科学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.

Millennium Ecosystem Assessment (2007) 生態系サービスと人類の将来 (Millennium Ecosystem Assessment 編、横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会監訳) オーム社.xiii.

守分紀子 (2009) 第三次生物多様性国家戦略と生物多様性総合評価. 生物多様性の日本
(森林環境研究会編) 朝日新聞出版.143.

矢原徹一 (2003) レッドデータプランツ (矢原徹一監修) 株式会社山と溪谷社.3.

山田晋 (2010) 身近な自然の保全生態学 (根本正之編著) 培風館.50-52、61.

鷺谷いづみ (2001) 生態系を蘇らせる. 日本放送出版協会.211-212.

鷺谷いづみ・武内和彦・西田睦 (2005) 生態系へのまなざし. 東京大学出版会.38-39.

鷺谷いづみ (2006) 地域と環境が蘇る水田再生. 家の光協会.11-13、16-17.

鷺谷いづみ (2010) 〈生物多様性〉入門. 岩波書店.10-13.

鷺谷いづみ (2011) さとやま-生物多様性と生態系模様. 岩波ジュニア新書.18、66-68、
129、144、178-179.

渡辺綱男 (2010) COP10 と SATOYAMA イニシアティブ. 生物多様性 COP10 へ (森林
環境研究会編) 朝日新聞出版.37-41、42-45.

渡辺守 (2010) 身近な自然の保全生態学 (根本正之編著) 培風館.185.

外務省 HP

<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/bio.html>

環境省 HP

https://www.env.go.jp/earth/coop/coop/cai/pdf/satoyama_j.pdf

<http://www.env.go.jp/press/101457.html>

<https://www.env.go.jp/press/files/jp/20763.pdf>

群馬県 HP

<http://www.pref.gunma.jp/04/e2300266.html>

WWF ジャパン

<https://www.wwf.or.jp/activities/wildlife/cat1014/cat1085/>

日本のレッドデータ検索システム 2016

<http://www.jpnrdb.com/index.html>

写真・表・図

写真 1

写真 2

写真 3

写真 3 西榛名に自生する希少種（その 1）

写真 4 西榛名に自生する希少種（その 2）

写真 5

写真 6



写真 7

表 1 野外調査の日程・調査内容・調査場所一覧

調査日(2016年)	調査場所	調査概要
4月15日	西榛名	
5月13日	西榛名	
5月15日	北榛名	
5月21日	渡良瀬遊水池	
6月8日	西榛名	
6月16日	矢場川・谷田川	
7月2日	西榛名	
7月3日	北榛名	
9月22日	西榛名	
10月12日	矢場川・谷田川	
11月3日	西榛名	
11月17日	矢場川・谷田川	

表 2 絶滅危惧種 A 種子の冷蔵・冷凍保存期間一覧

表 3 発芽実験日程表一覧

科名	種名	種子採取日時	採取地	処理条件	実験温度区分					実験開始日	実験終了日	実験日数
					10/6℃	17/6℃	22/10℃	25/13℃	30/15℃			
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年4月30日	2016年8月31日	62日
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
ユリ科	コバネボウシ	2015年11月4日	西穂名	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月31日	62日
ユリ科	コバネボウシ	2015年11月4日	西穂名	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西穂名	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月31日	62日
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西穂名	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月31日	62日
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
キキョウ科	バアンブ	2015年10月19日	西穂名	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月30日	61日
キキョウ科	バアンブ	2015年10月19日	西穂名	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西穂名	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月31日	62日
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西穂名	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西穂名	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月31日	62日
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西穂名	なし						2016年5月17日	2016年7月17日	61日
シソ科	イヌトウバナ	2015年11月4日	西穂名	なし	○	○	○	○	○	2016年5月17日	2016年7月16日	60日
キク科		2015年10月29日		なし	○	○	○	○	○	2016年5月17日	2016年7月18日	62日
キク科	フジバカマ	2015年12月2日	谷田川	なし	○	○	○	○	○	2016年5月17日	2016年7月18日	62日

表 3 (続き) 発芽実験日程表一覧

なお、チョウジソウは、販売されていた種子を群馬大学荒牧キャンパス構内で栽培し、2013年から2015年の3年間に採取できた種子を、採取年の区別をせずに、必要数を無作為に取り出して利用した。

科名	種名	種子採取日時	採取地	処理条件	実施温度区分					実験開始日	実験終了日	実験日数
					10/6℃	17/8℃	22/10℃	25/13℃	30/15℃			
キョウチクトウ科	チョウジソウ	2013年8月9日、 2014年9月18日、 2015年10月	群馬大学荒牧 キャンパス構内	冷蔵処理2ヶ月	○	○	○	○	○	2016年6月30日	2016年8月31日	62日
キョウチクトウ科	チョウジソウ	2013年8月9日、 2014年9月18日、 2015年10月	群馬大学荒牧 キャンパス構内	なし				○		2016年5月17日	2016年7月17日	61日

表 3 (続き) 発芽実験日程表一覧

科名	種名	種子採取日時	採取地	処理条件	実施温度区分		実験開始日	実験終了日	実験日数
					4℃	17/8℃			
ケシ科	ナガミノツルキケマン	2015年11月4日	西榛名	温室処理2ヶ月	○		2016年8月4日	2016年9月3日	30日
ケシ科	ナガミノツルキケマン	2015年11月4日	西榛名	冷湿処理2ヶ月		○	2016年11月10日	2016年12月12日	32日
ケシ科	ムラサキケマン	2012年6月8日	榛名公園	温室処理2ヶ月	○		2016年8月4日	2016年9月3日	30日
ケシ科	ムラサキケマン	2012年6月8日	榛名公園	冷湿処理2ヶ月		○	2016年11月10日	2016年12月12日	32日
ユリ科	ウバユリ	2015年10月19日	西榛名	温室処理2ヶ月	○		2016年8月4日	2016年9月3日	30日
ユリ科	ウバユリ	2015年10月19日	西榛名	冷湿処理2ヶ月		○	2016年11月10日	2016年12月12日	32日

表 3 (続き) 発芽実験日程表一覧

発芽実験日程表(生存検定)					実施温度区分	実験開始日	実験終了日	実験日数
科名	種名	種子採取年	採取地	アルコール消毒	25/13°C			
		2012年	夢の花園	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2012年	新桜台	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2012年	十二が原墓場	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2013年	夢の花園	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2014年	夢の花園	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2014年	新桜台	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2014年	十二が原墓場	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2014年	寺沢側右岸	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2015年	夢の花園	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2015年	ワシタニヒルズ	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2015年	第二ワシタニヒルズ	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2015年	十二が原墓場	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日
		2015年	寺沢側右岸	5分間	○	2016年5月18日	2016年6月22日	35日

表 3 (続き) 発芽実験日程表一覧

発芽実験日程表(冷湿処理)						実施温度区分			
科名	種名	種子採取年	採取地	アルコール消毒	処理条件	25/13℃	実験開始日	実験終了日	実験日数
		2012年	夢の花園	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2012年	新桜台	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2012年	十二が原墓場	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2013年	夢の花園	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2014年	夢の花園	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2014年	新桜台	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2014年	十二が原墓場	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2014年	寺沢側右岸	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2015年	夢の花園	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2015年	ワシタニヒルズ	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2015年	第二ワシタニヒルズ	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2015年	十二が原墓場	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2015年	寺沢側右岸	5分間	冷湿処理2ヶ月	○	2016年6月30日	2016年9月1日	63日
		2012年	夢の花園	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2012年	新桜台	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2012年	十二が原墓場	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2013年	夢の花園	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2014年	夢の花園	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2014年	新桜台	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2014年	十二が原墓場	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2014年	寺沢側右岸	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2015年	夢の花園	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2015年	ワシタニヒルズ	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2015年	第二ワシタニヒルズ	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2015年	十二が原墓場	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日
		2015年	寺沢側右岸	5分間	再冷湿処理2ヶ月	○	2016年11月1日	2017年1月2日	63日

表 4 栽培実験日程表一覧

科名	種名	植え替え日	実験開始日	サンプリング日	実施光条件(および温度条件)区				
					100%	13%	9%	3%	温室(+2℃)
シソ科	イヌトウバナ(西播磨産)	2016年9月14日	2016年9月14日	2016年9月21日 2016年10月20日	○	○	○	○	○
ユリ科	コバギボウシ	2016年8月19日	2016年8月19日	2016年9月9日 2016年10月7日	○	○	○	○	○
キク科	ゴマナ	2016年8月17日	2016年8月17日	2016年8月30日 2016年9月30日	○	○	○	○	○
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2016年8月1日	2016年8月1日	2016年8月10日 2016年9月7日	○	○	○	○	○
キョウチクトウ科	チョウジソウ	2016年8月9日	2016年8月9日	2016年8月23日 2016年9月13日	○	○	○	○	○
ケシ科	ナガミノツルキケマン	2016年9月14日	2016年9月14日	2016年9月21日 2016年10月20日	○	○	○	○	○
キク科		2016年6月28日	2016年6月28日	2016年7月12日 2016年8月2日	○	○	○	○	○
キク科	ミヤコアザミ	2016年7月1日	2016年7月1日	2016年7月15日 2016年8月5日	○	○	○	○	○

表 7

表 8 発芽実験を行った植物種の最終発芽率一覧

科名	種名	種子採取日時	採取地	処理条件	温度区	最終発芽率(%)	標準偏差
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	18.0	3.5
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	24.0	2.0
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	21.3	9.0
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	23.3	6.1
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	11.3	7.6
シソ科	クロバナヒキオコシ	2015年2月20日	矢場川	なし	25/13℃	26.0	6.9
ユリ科	コバギボウシ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	92.7	2.3
ユリ科	コバギボウシ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	92.0	8.0
ユリ科	コバギボウシ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	97.3	3.1
ユリ科	コバギボウシ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	93.3	8.3
ユリ科	コバギボウシ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	91.3	1.2
ユリ科	コバギボウシ	2015年11月4日	西橋名	なし	25/13℃	80.7	4.2
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	28.7	6.4
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	13.3	2.3
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	12.0	5.3
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	16.7	2.3
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	19.3	1.2
キク科	ゴマナ	2015年11月4日	西橋名	なし	25/13℃	24.7	15.0
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	99.3	1.2
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	100.0	0.0
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	96.0	6.0
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	60.0	24.2
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	0.0	0.0
カヤツリグサ科	ジョウロウスゲ	2013年8月26日	中野沼	なし	25/13℃	36.0	44.7
キョウチクトウ科	チョウジソウ	2013年8月9日、 2014年9月18日、 2015年10月	群馬大学荒牧 キャンパス構 内	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	12.7	5.8
キョウチクトウ科	チョウジソウ			冷湿処理2ヶ月	25/13℃	26.7	7.6
キョウチクトウ科	チョウジソウ			冷湿処理2ヶ月	22/10℃	29.3	1.2
キョウチクトウ科	チョウジソウ			冷湿処理2ヶ月	17/8℃	10.7	7.0
キョウチクトウ科	チョウジソウ			冷湿処理2ヶ月	10/6℃	0.7	1.2
キョウチクトウ科	チョウジソウ			なし	25/13℃	0.0	0.0
キキョウ科	バアソブ	2015年10月19日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	27.3	11.5
キキョウ科	バアソブ	2015年10月19日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	34.0	8.0
キキョウ科	バアソブ	2015年10月19日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	57.3	12.1
キキョウ科	バアソブ	2015年10月19日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	68.7	15.1
キキョウ科	バアソブ	2015年10月19日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	52.0	8.0
キキョウ科	バアソブ	2015年10月19日	西橋名	なし	25/13℃	2.0	0.0
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	100.0	0.0
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	100.0	0.0
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	99.3	1.2
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	100.0	0.0
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	100.0	0.0
キク科	ミヤコアザミ	2015年11月4日	西橋名	なし	25/13℃	100.0	0.0

表 8 (続き) 発芽実験を行った植物種の最終発芽率一覧

科名	種名	種子採取日時	採取地	処理条件	温度区	最終発芽率(%)	標準偏差
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	30/15℃	8.7	1.2
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	25/13℃	18.0	5.3
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	22/10℃	22.0	7.2
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	14.7	7.6
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	10/6℃	13.3	1.2
キク科	ユウガギク	2015年11月4日	西橋名	なし	25/13℃	22.7	2.3
シソ科	イストウバナ	2015年11月4日	西橋名	なし	30/15℃	14.0	8.7
シソ科	イストウバナ	2015年11月4日	西橋名	なし	25/13℃	81.3	5.0
シソ科	イストウバナ	2015年11月4日	西橋名	なし	22/10℃	64.7	15.3
シソ科	イストウバナ	2015年11月4日	西橋名	なし	17/8℃	24.7	14.7
シソ科	イストウバナ	2015年11月4日	西橋名	なし	10/6℃	4.7	2.3
キク科		2015年10月29日	矢場川	なし	30/15℃	35.3	4.2
キク科		2015年10月29日	矢場川	なし	25/13℃	40.7	7.0
キク科		2015年10月29日	矢場川	なし	22/10℃	44.7	3.1
キク科		2015年10月29日	矢場川	なし	17/8℃	36.0	5.3
キク科		2015年10月29日	矢場川	なし	10/6℃	40.0	12.2
キク科		2015年12月3日	谷田川	なし	30/15℃	34.7	16.8
キク科		2015年12月3日	谷田川	なし	25/13℃	54.0	3.5
キク科		2015年12月3日	谷田川	なし	22/10℃	46.7	1.2
キク科		2015年12月3日	谷田川	なし	17/8℃	46.0	7.2
キク科		2015年12月3日	谷田川	なし	10/6℃	27.3	16.3
ケシ科	ナガミノツルキケマン	2015年11月4日	西橋名	温室処理2ヶ月	4℃	0.0	0.0
ケシ科	ナガミノツルキケマン	2015年11月4日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	31.3	8.1
ケシ科	ムラサキケマン	2012年6月8日	橋名公園	温室処理2ヶ月	4℃	0.0	0.0
ケシ科	ムラサキケマン	2012年6月8日	橋名公園	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	0.0	0.0
ユリ科	ウバユリ	2015年10月19日	西橋名	温室処理2ヶ月	4℃	0.0	0.0
ユリ科	ウバユリ	2015年10月19日	西橋名	冷湿処理2ヶ月	17/8℃	0.0	0.0

表9 発芽実験における絶滅危惧種A（生存検定：ジベレリン処理）の最終発芽率一覧

(生存検定:ジベレリン処理)最終発芽率一覧

採取年度	地点(CN)	冷蔵保存期間	冷凍保存期間	温度区	アルコール消毒	最終発芽率(%)	標準偏差
2012年	夢の花園	1年	3年	25/13℃	5分間	90.0	3.5
2012年	新桜台	1年	3年	25/13℃	5分間	70.0	10.0
2012年	十二ヶ原墓場	1年	3年	25/13℃	5分間	90.0	7.2
2013年	夢の花園	-	3年	25/13℃	5分間	45.3	7.0
2014年	夢の花園	-	2年	25/13℃	5分間	64.0	9.2
2014年	新桜台	-	2年	25/13℃	5分間	35.3	8.3
2014年	寺沢川右岸	-	2年	25/13℃	5分間	12.0	2.0
2014年	十二ヶ原墓場	-	2年	25/13℃	5分間	20.0	8.7
2015年	夢の花園	-	1年	25/13℃	5分間	98.0	2.0
2015年	ワシタニヒルズ	-	1年	25/13℃	5分間	96.0	2.0
2015年	第二ワシタニヒルズ	-	1年	25/13℃	5分間	100.0	0.0
2015年	寺沢川右岸	-	1年	25/13℃	5分間	92.0	8.7
2015年	十二ヶ原墓場	-	1年	25/13℃	5分間	95.3	3.1

表 10 発芽実験における絶滅危惧種 A (冷湿処理) の最終発芽率一覧

採取年度	地点(CN)	冷蔵保存期間	冷凍保存期間	温度区	第1回冷湿処理後			第2回冷湿処理後		
					アルコール消毒	最終発芽率(%)	標準偏差	最終発芽率(%)	標準偏差	標準偏差
2012年	夢の花園	1年	3年	25/13℃	5分間	38.7	6.1	46.7	7.6	
2012年	新板台	1年	3年	25/13℃	5分間	12.7	2.3	19.3	1.2	
2012年	十二ヶ原基場	1年	3年	25/13℃	5分間	22.0	4.0	34.7	9.0	
2013年	夢の花園	-	3年	25/13℃	5分間	6.0	4.0	16.7	10.3	
2014年	夢の花園	-	2年	25/13℃	5分間	1.3	1.2	2.0	2.0	
2014年	新板台	-	2年	25/13℃	5分間	12.7	3.1	16.0	5.3	
2014年	寺沢川右岸	-	2年	25/13℃	5分間	0.0	0.0	1.3	2.3	
2014年	十二ヶ原基場	-	2年	25/13℃	5分間	2.0	2.0	2.7	2.3	
2015年	夢の花園	-	1年	25/13℃	5分間	4.0	0.0	22.7	4.2	
2015年	フシタニヒルズ	-	1年	25/13℃	5分間	0.7	1.2	8.7	3.1	
2015年	第二フシタニヒルズ	-	1年	25/13℃	5分間	2.0	2.0	4.7	3.1	
2015年	寺沢川右岸	-	1年	25/13℃	5分間	0.0	0.0	2.7	4.6	
2015年	十二ヶ原基場	-	1年	25/13℃	5分間	2.7	3.1	13.3	3.1	

表 11 栽培実験における各植物種の乾燥重量平均値・標準偏差一覧

植物名	生活型	乾燥重量平均値・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℃
イヌトウバナ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.031	0.053	0.068	0.082	0.122	0.111
		標準偏差	0.026	0.049	0.044	0.074	0.039	
コバギボウシ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.070	0.072	0.128	0.136	0.126	0.168
		標準偏差	0.025	0.022	0.037	0.049	0.066	0.062
ゴマナ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.053	0.022	0.021	0.193	0.059	
		標準偏差	0.022	0.028	0.014	0.153	0.066	
ジョウロウスゲ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.054	0.056	0.142	0.179	0.422	0.364
		標準偏差	0.008	0.013	0.043	0.052	0.080	0.071
チョウジソウ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.117	0.130	0.226	0.335	0.383	0.434
		標準偏差	0.046	0.055	0.077	0.146	0.125	0.149
ナガミノツルキケマン	1～越年草	乾燥重量平均値(g)	0.033	0.032	0.116	0.106	0.115	0.125
		標準偏差	0.029	0.020	0.058	0.097	0.076	0.060
	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.102	0.116	0.202	0.250	0.325	0.309
		標準偏差	0.059	0.050	0.082	0.080	0.125	0.130
ミヤコアザミ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.070	0.075	0.162	0.204	0.298	0.270
		標準偏差	0.022	0.020	0.078	0.080	0.078	0.061

表 12 栽培実験における各植物種の生長解析の結果一覧

植物名	生活型	相対光量子密度	平均				標準偏差SD			
			RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
イストウバナ	多年草	3%	0.016	0.022	0.810	0.091	0.012	0.006	0.636	0.021
		9%	0.030	0.021	1.469	0.068	0.010	0.005	0.503	0.005
		13%	0.041	0.015	3.061	0.040	0.016	0.004	1.059	0.003
		100%	0.053	0.014	4.518	0.034	0.013	0.004	1.042	0.002
		+2℃区	0.052	0.015	4.056	0.038	0.020	0.003	1.655	0.003
コバギボウシ	多年草	3%	0.001	0.021	0.071	0.052	0.003	0.002	0.125	0.003
		9%	0.022	0.020	1.145	0.047	0.003	0.002	0.201	0.002
		13%	0.024	0.017	1.445	0.044	0.004	0.002	0.342	0.004
		100%	0.020	0.016	1.337	0.037	0.005	0.001	0.385	0.004
		+2℃区	0.035	0.016	2.518	0.037	0.004	0.002	0.502	0.003
ジョウロウスゲ	多年草	3%	0.002	0.041	0.040	0.077	0.003	0.004	0.074	0.005
		9%	0.034	0.035	0.991	0.060	0.006	0.004	0.216	0.005
		13%	0.043	0.034	1.276	0.060	0.005	0.004	0.246	0.005
		100%	0.073	0.023	3.838	0.034	0.002	0.002	0.306	0.002
		+2℃区	0.069	0.026	2.907	0.043	0.002	0.003	0.282	0.003
チョウジソウ	多年草	3%	0.005	0.033	0.172	0.078	0.008	0.004	0.287	0.006
		9%	0.032	0.030	1.111	0.064	0.006	0.003	0.203	0.007
		13%	0.050	0.028	1.924	0.056	0.006	0.003	0.347	0.006
		100%	0.058	0.023	2.863	0.034	0.005	0.002	0.211	0.003
		+2℃区	0.063	0.025	2.858	0.040	0.004	0.002	0.184	0.004
ナガミノツルキケマン	1～2年草	3%	0.006	0.040	0.144	0.107	0.013	0.007	0.324	0.016
		9%	0.055	0.028	2.201	0.079	0.023	0.007	1.116	0.014
		13%	0.045	0.031	1.573	0.070	0.016	0.008	0.673	0.009
		100%	0.051	0.023	2.945	0.039	0.015	0.006	0.840	0.006
		+2℃区	0.054	0.023	3.175	0.052	0.015	0.006	1.251	0.003
	多年草	3%	0.006	0.030	0.253	0.079	0.007	0.004	0.240	0.005
		9%	0.035	0.023	1.577	0.063	0.007	0.002	0.238	0.004
		13%	0.046	0.023	2.111	0.063	0.010	0.003	0.396	0.005
		100%	0.058	0.019	3.768	0.029	0.009	0.002	0.519	0.003
		+2℃区	0.055	0.020	3.286	0.042	0.008	0.002	0.482	0.004
ミヤコアザミ	多年草	3%	0.004	0.025	0.169	0.053	0.005	0.002	0.176	0.006
		9%	0.038	0.021	1.815	0.042	0.009	0.002	0.576	0.005
		13%	0.050	0.019	2.714	0.034	0.006	0.002	0.565	0.003
		100%	0.070	0.014	5.856	0.020	0.004	0.001	0.661	0.002
		+2℃区	0.065	0.016	4.481	0.023	0.006	0.001	0.537	0.002
ゴマナ	多年草	3%	-0.014	0.026	-0.531	0.075	0.007	0.005	0.183	0.007
		9%	-0.024	0.021	-1.583	0.067	0.001	0.008	0.965	0.014
		13%	0.037	0.026	1.806	0.064	0.011	0.006	0.828	0.010
		100%	0.018	0.021	1.016	0.032	0.005	0.003	0.190	0.006

☒ 1

図 1 (続き)

图 2

图 3

图 4

图 5

图 6

☒ 7

☒ 8

☒ 9

図 9 (続き)

図 9 (続き)

☒ 10

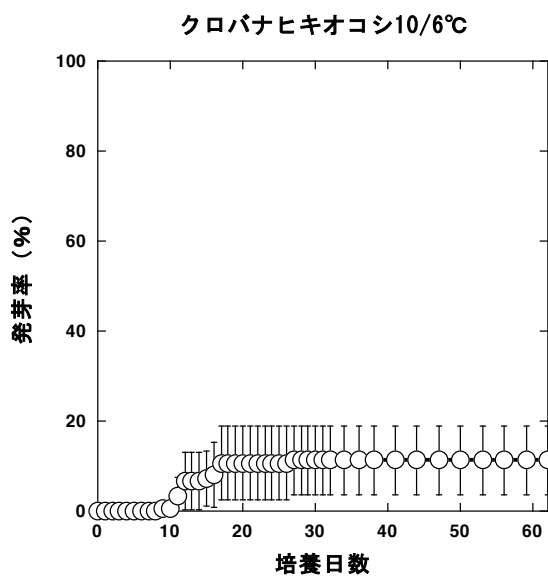
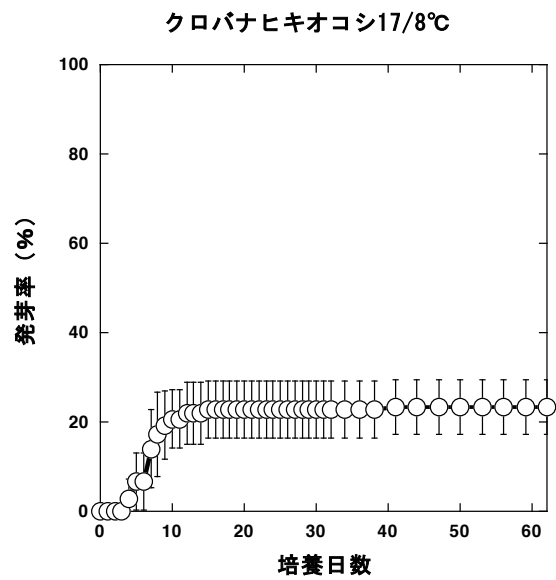
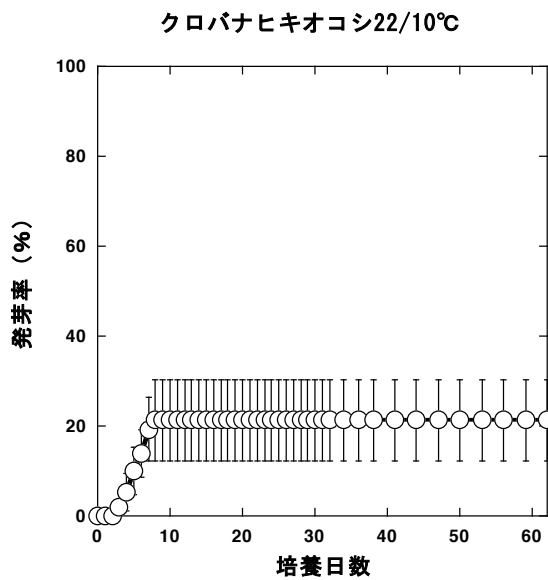
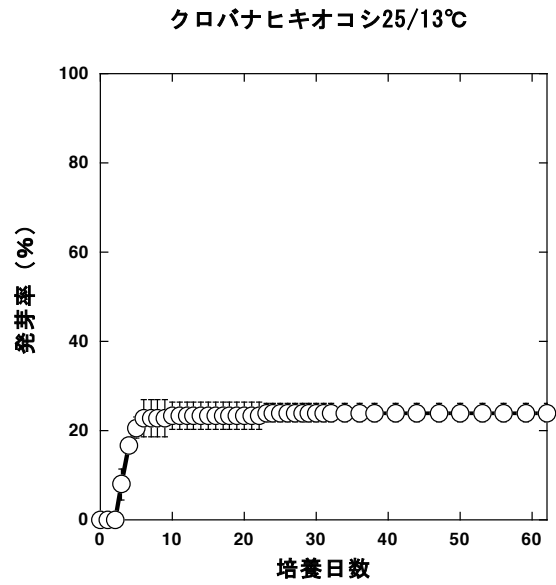
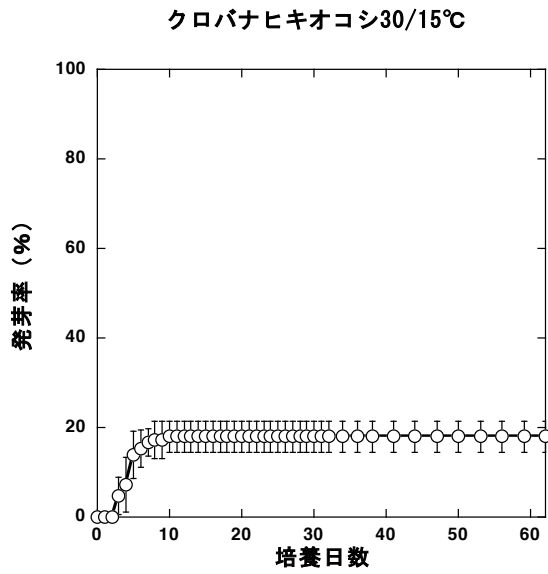


図 11 冷湿処理を施したクロバナヒキオコシの種子の発芽率の経時変化

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。

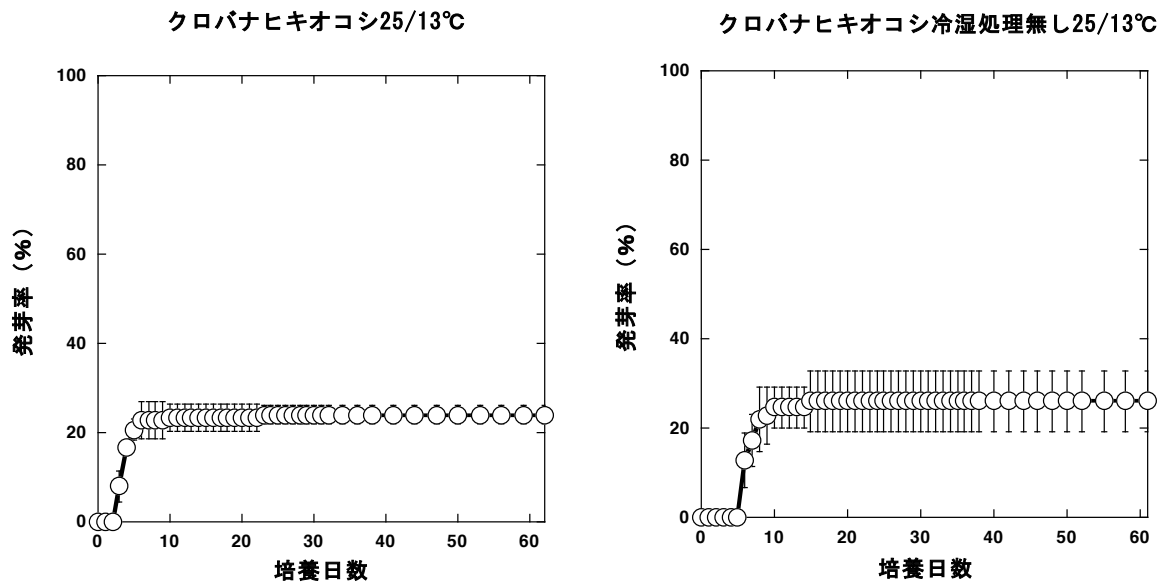


図 12 冷湿処理を施したクロバナヒキオコシの種子（左）と冷湿処理を施さなかったクロバナヒキオコシの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

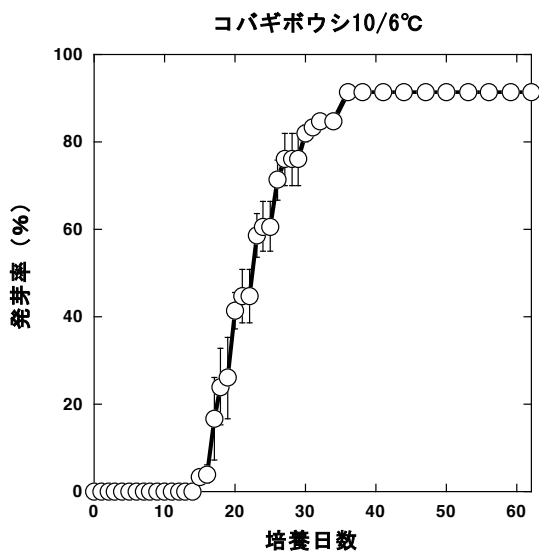
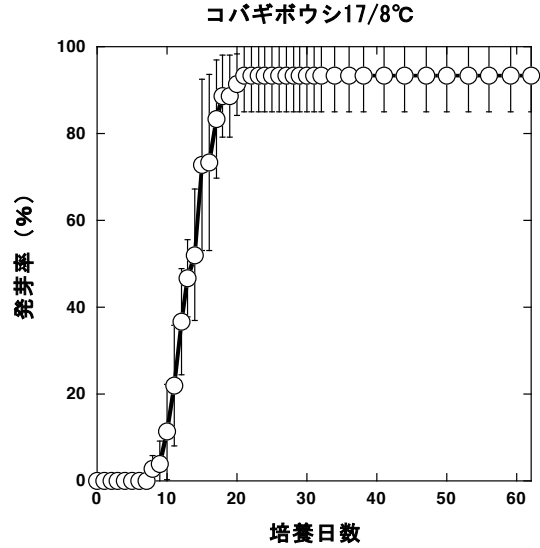
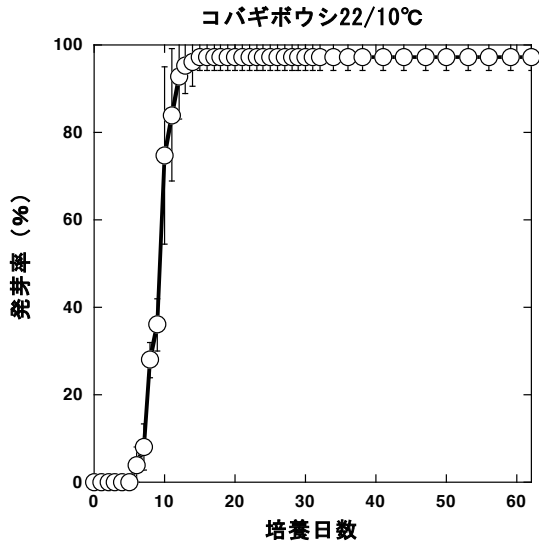
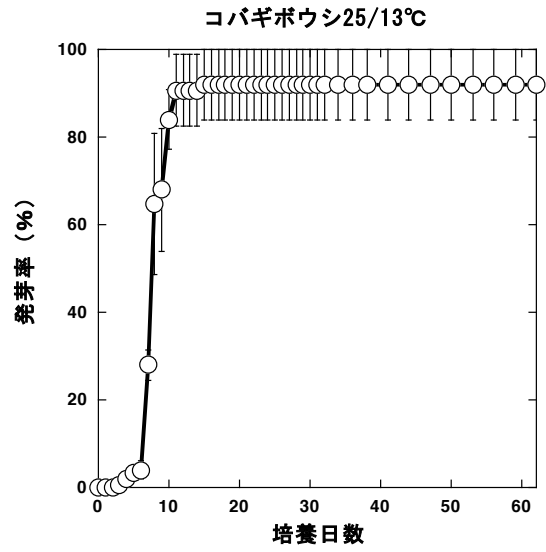
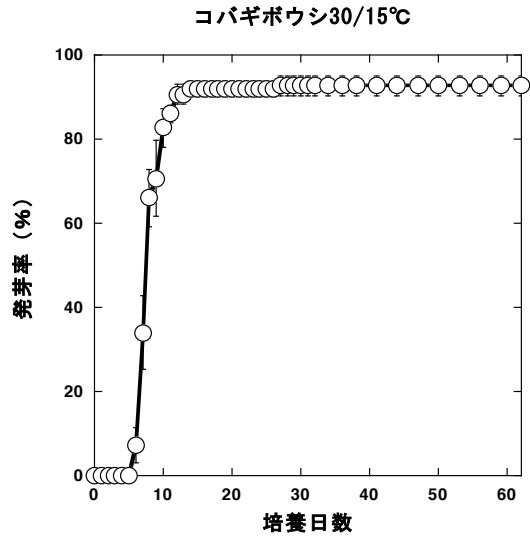


図13 冷湿処理を施したコバギボウシの種子の発芽率の経時変化

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。

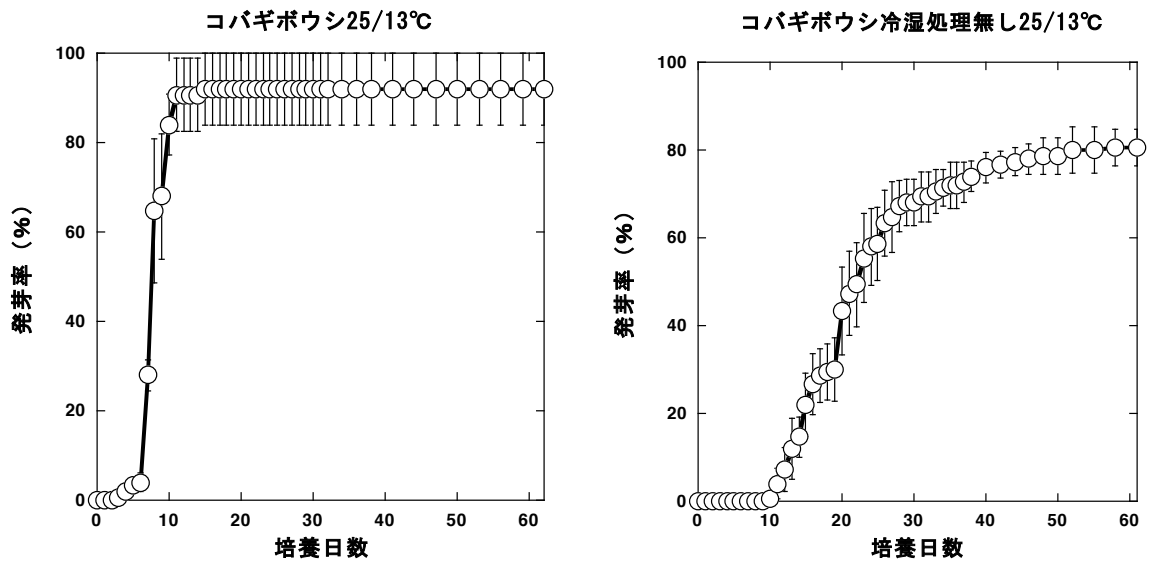


図 14 冷湿処理を施したコバギボウシの種子（左）と冷湿処理を施さなかったコバギボウシの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

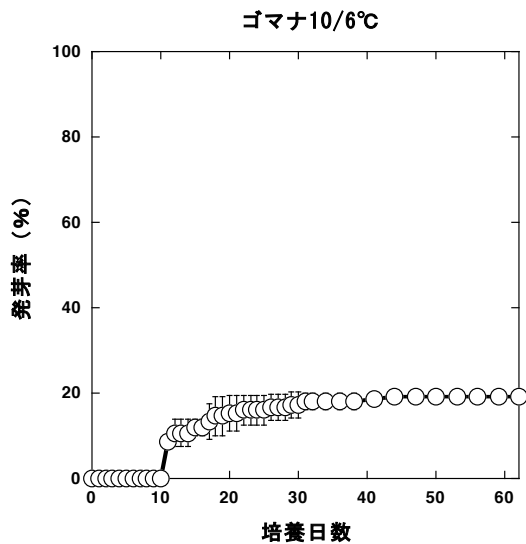
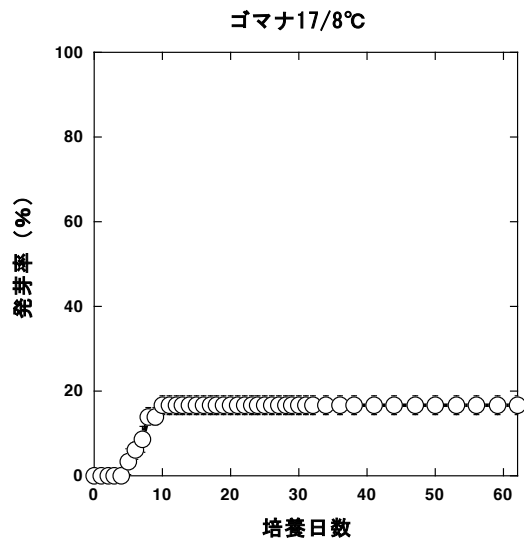
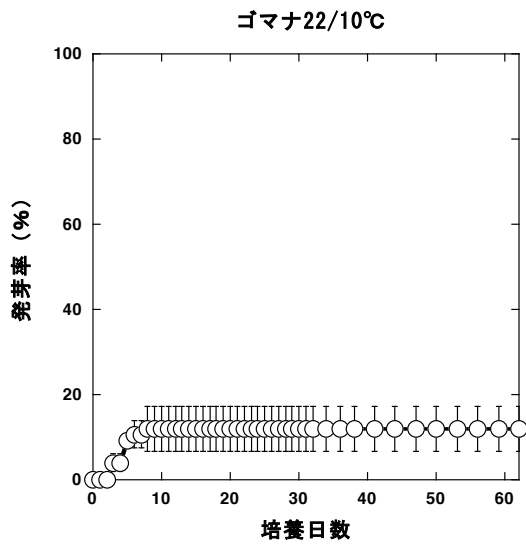
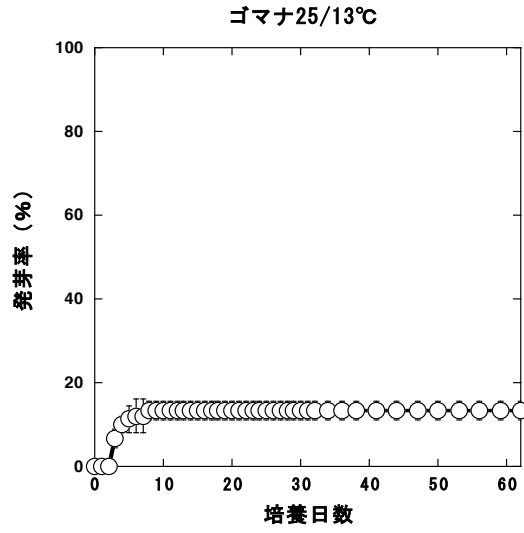
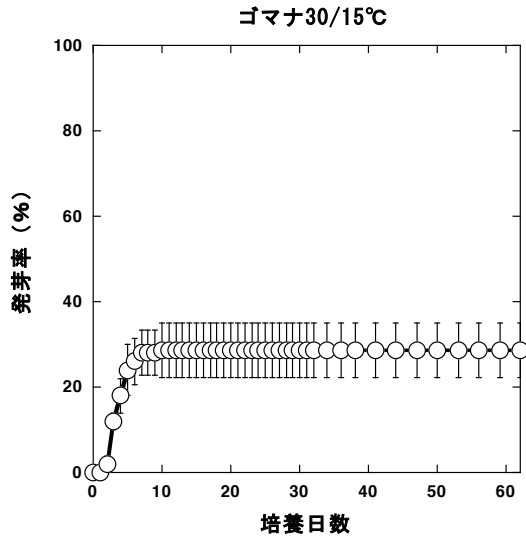


図 15 冷湿処理を施したゴマナの種子の発芽率の経時変化

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。

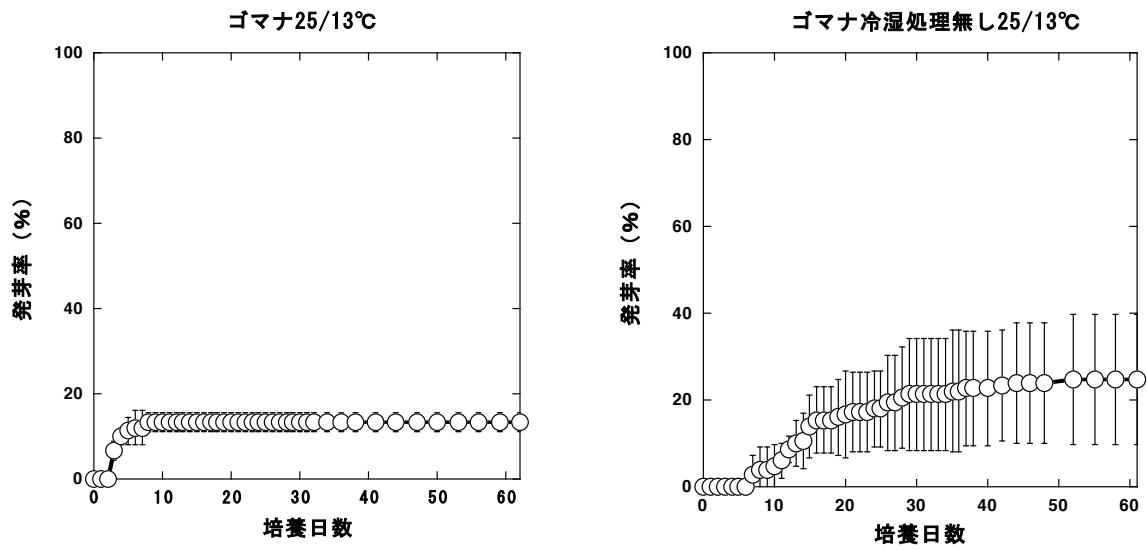


図 16 冷湿処理を施したゴマナの種子(左)と冷湿処理を施さなかったゴマナの種子(右)の発芽率の経時変化

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。

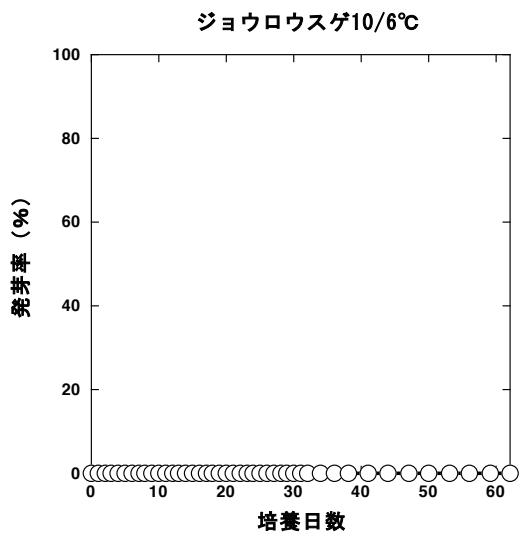
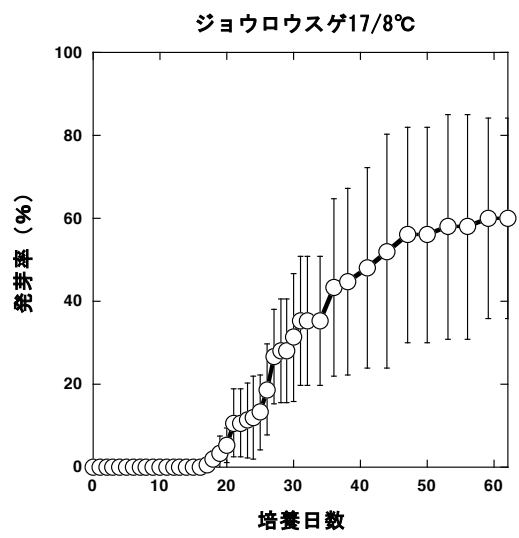
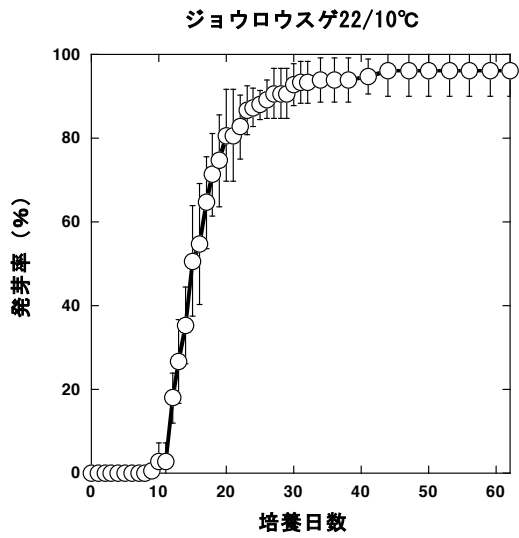
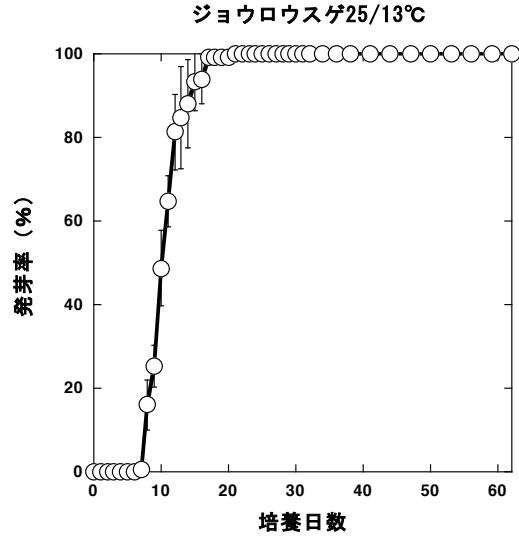
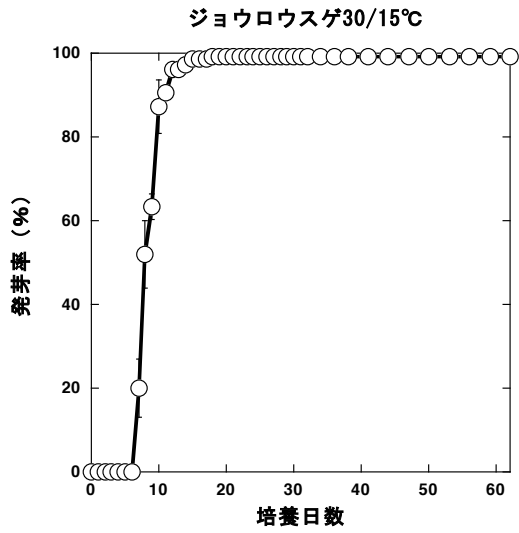


図 17 冷湿処理を施したジョウロウスゲの種子の発芽率の経時変化

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。

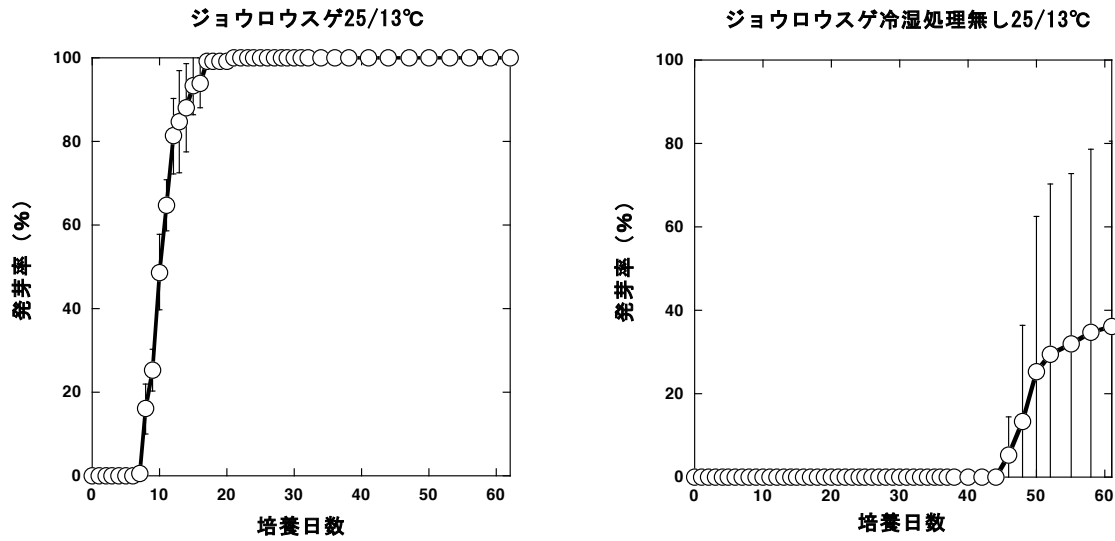


図 18 冷湿処理を施したジョウロウスゲの種子（左）と冷湿処理を施さなかったジョウロウスゲの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

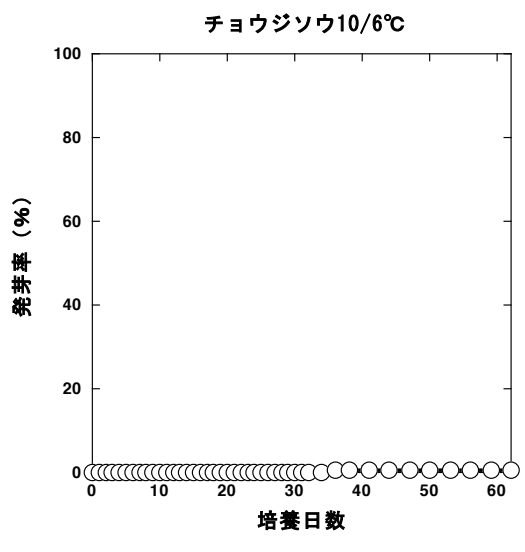
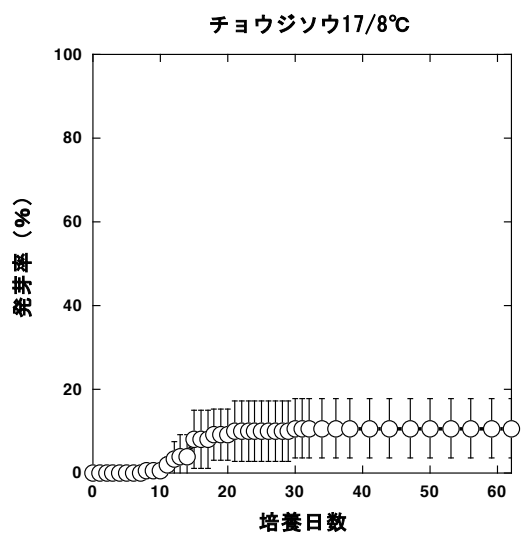
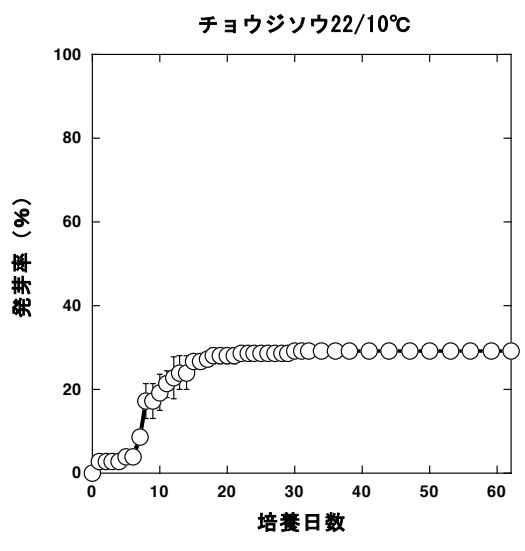
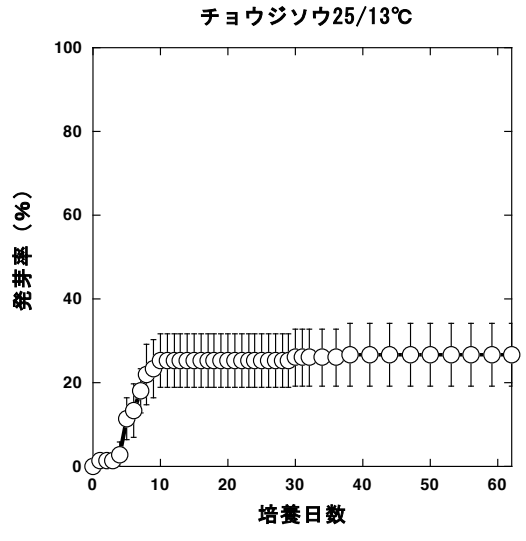
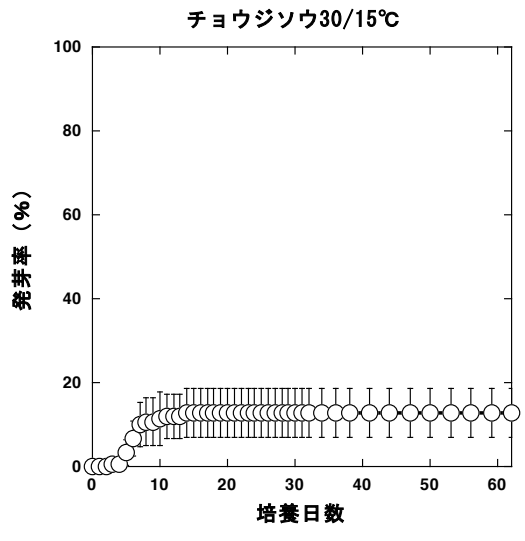


図 19 冷湿処理を施したチョウジソウの種子の発芽率の経時変化

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。

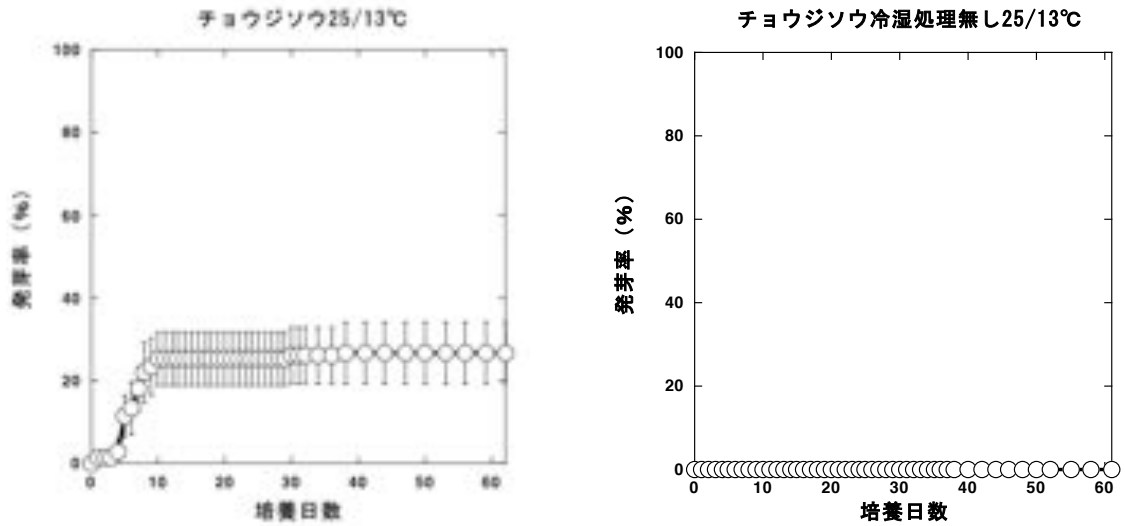


図 20 冷湿処理を施したチョウジソウの種子（左）と冷湿処理を施さなかったチョウジソウの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

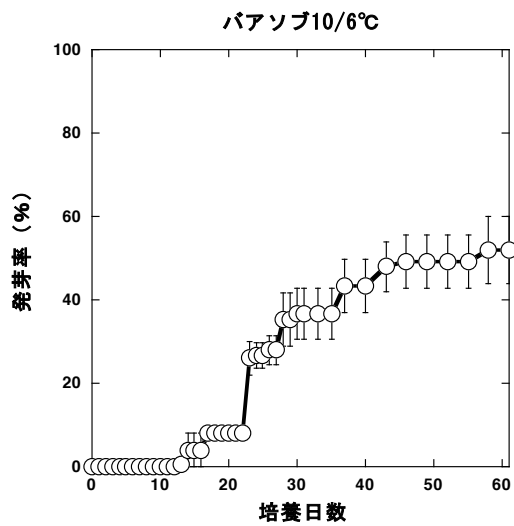
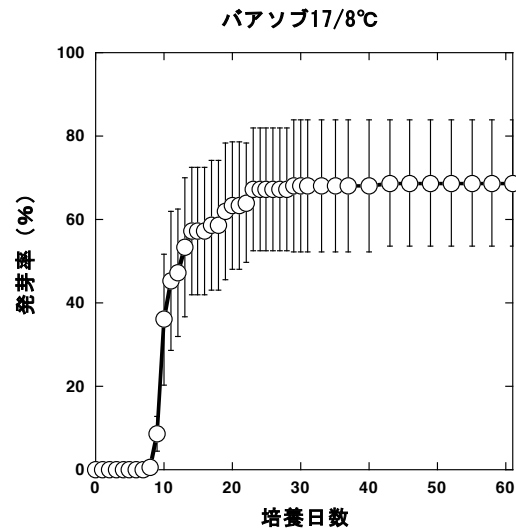
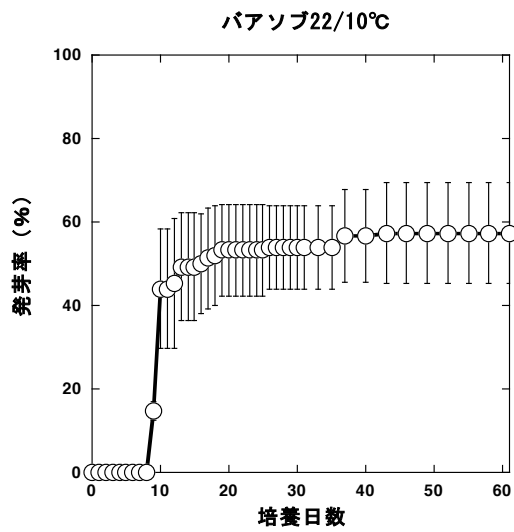
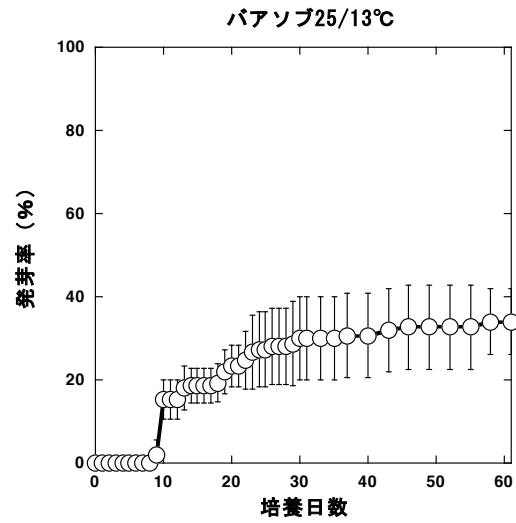
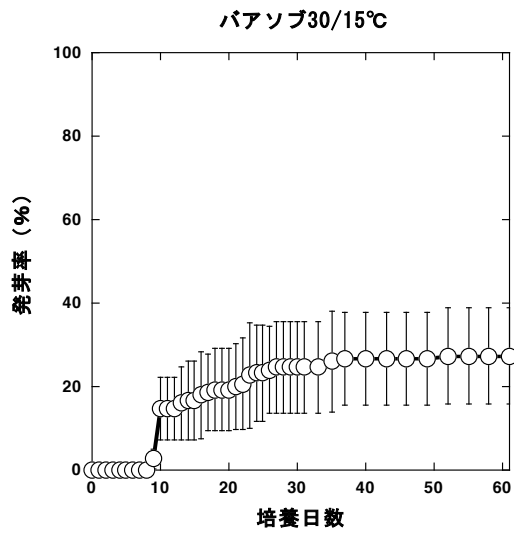


図 21 冷湿処理を施したバアソブの種子の発芽率の経時変化

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。

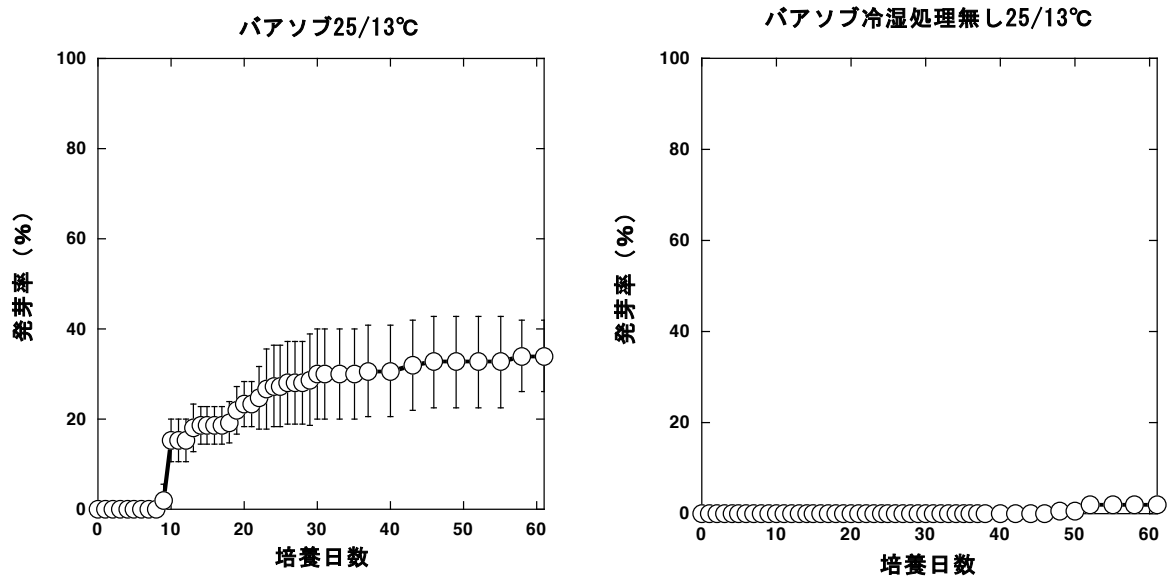


図 22 冷湿処理を施したバアソブの種子（左）と冷湿処理を施さなかったバアソブの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

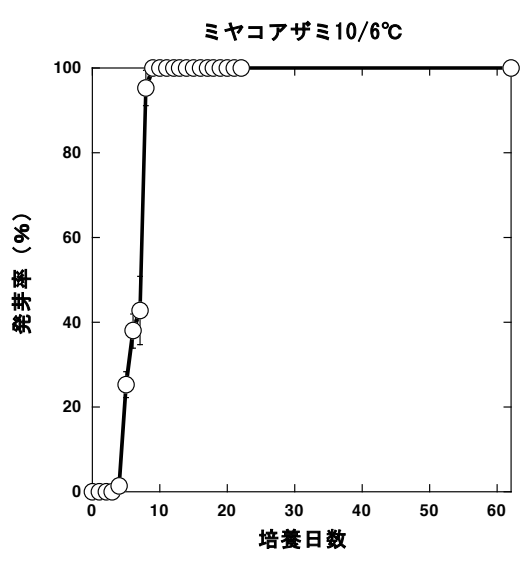
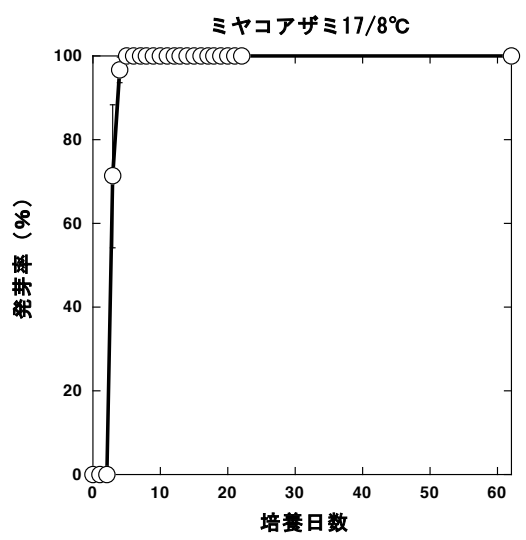
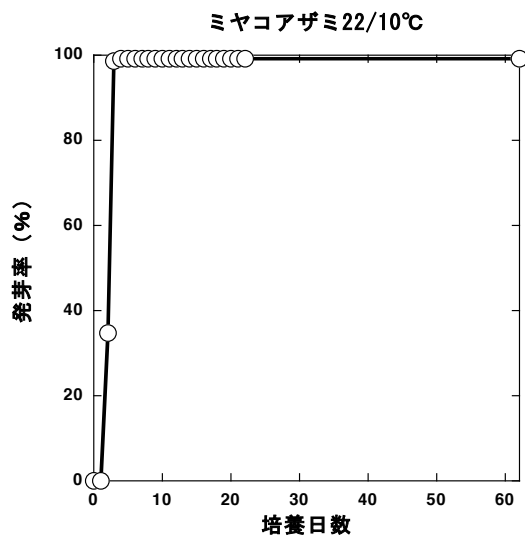
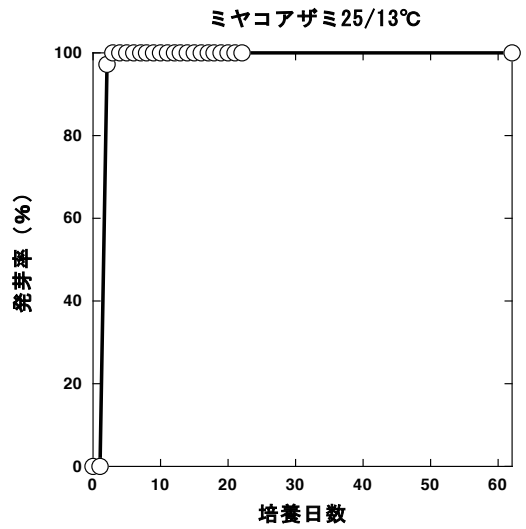
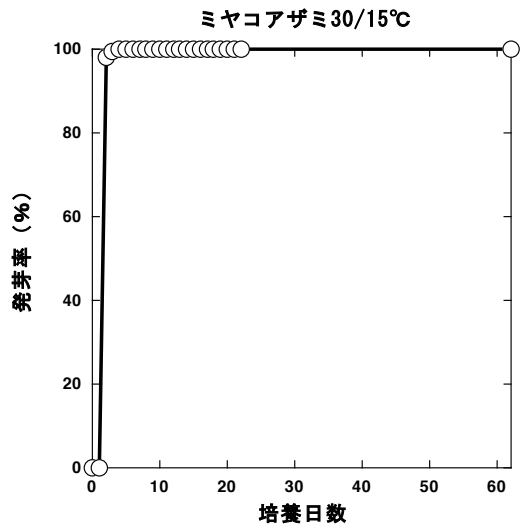


図 23 冷湿処理を施したミヤコアザミの種子の発芽率の経時変化

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。

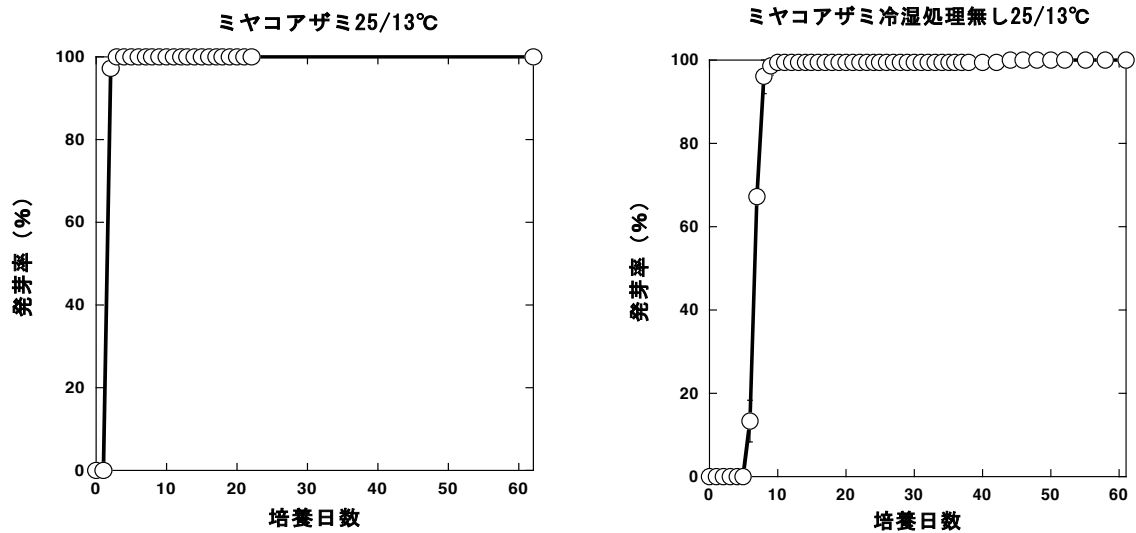


図 24 冷湿処理を施したミヤコアザミの種子（左）と冷湿処理を施さなかったミヤコアザミの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

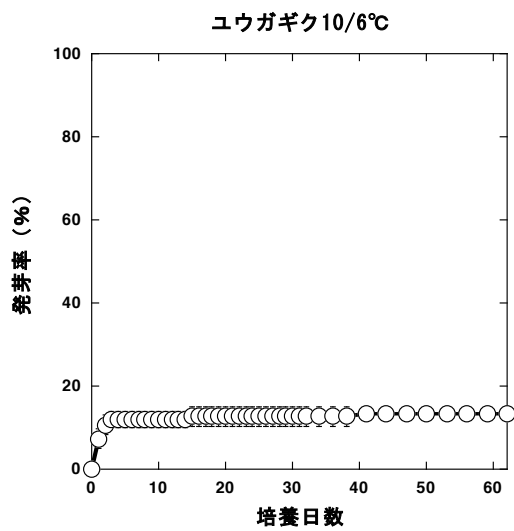
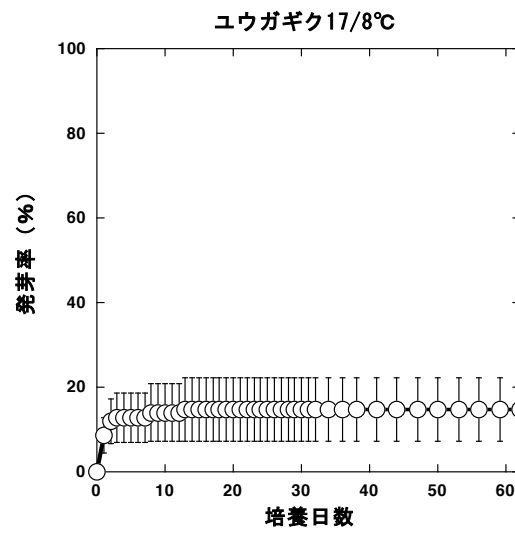
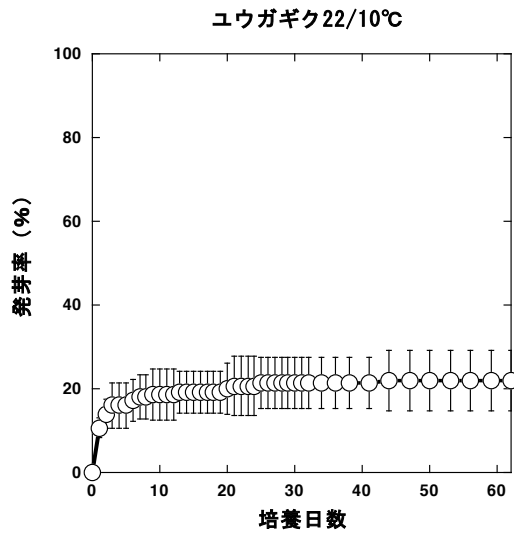
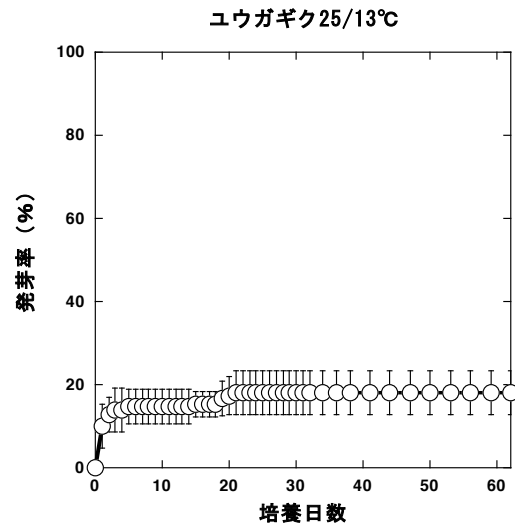
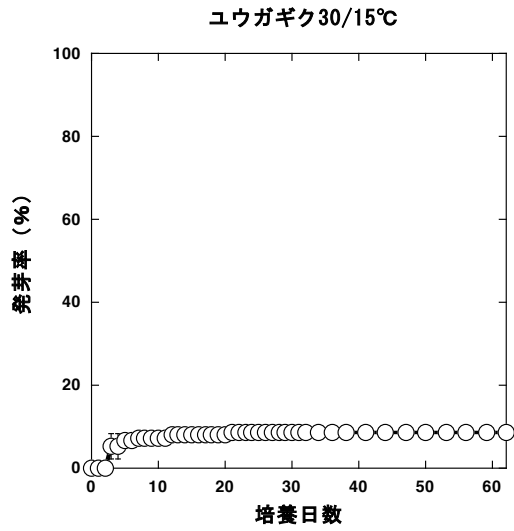


図 25 冷湿処理を施したユウガギクの種子の発芽率の経時変化

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。

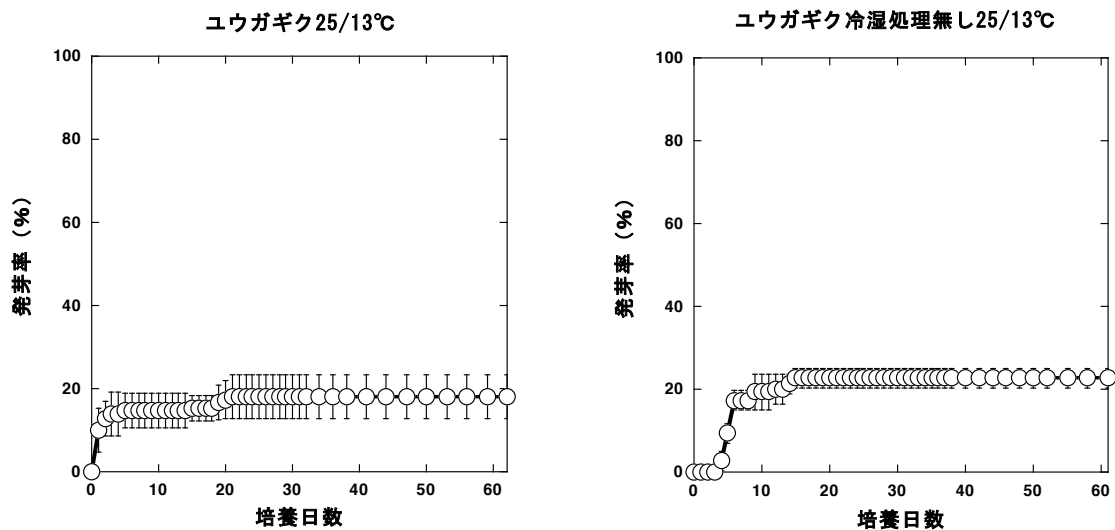


図 26 冷湿処理を施したユウガギクの種子（左）と冷湿処理を施さなかったユウガギクの種子（右）の発芽率の経時変化

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。

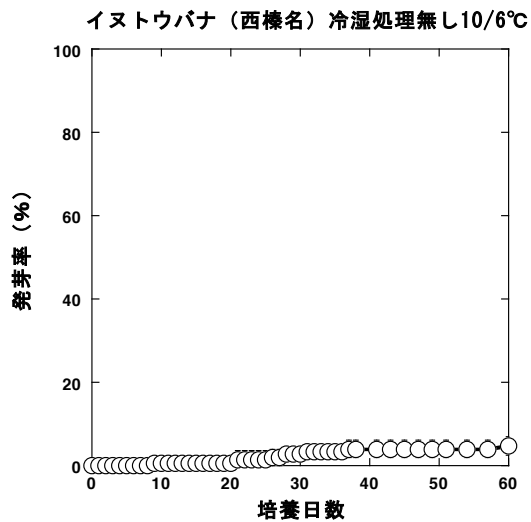
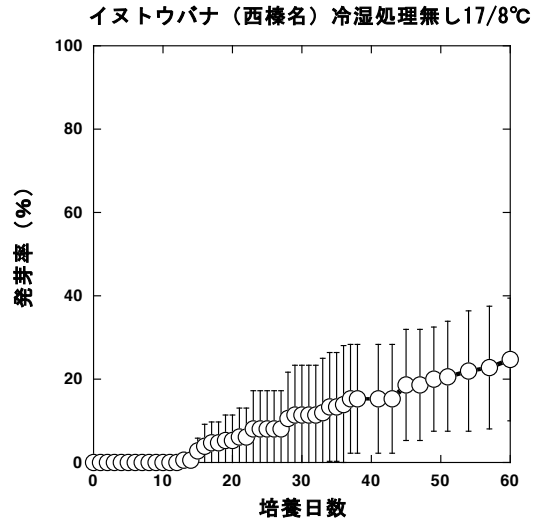
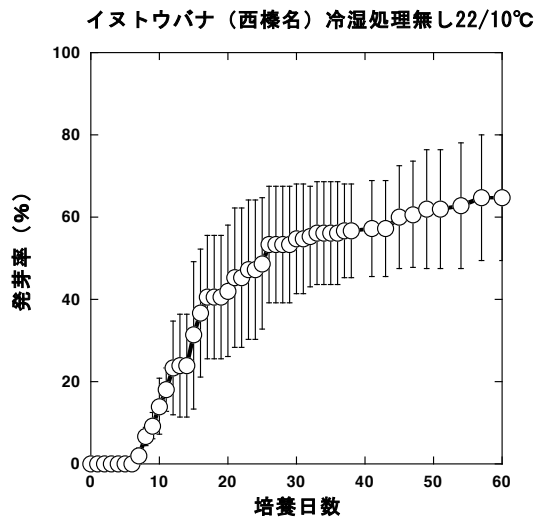
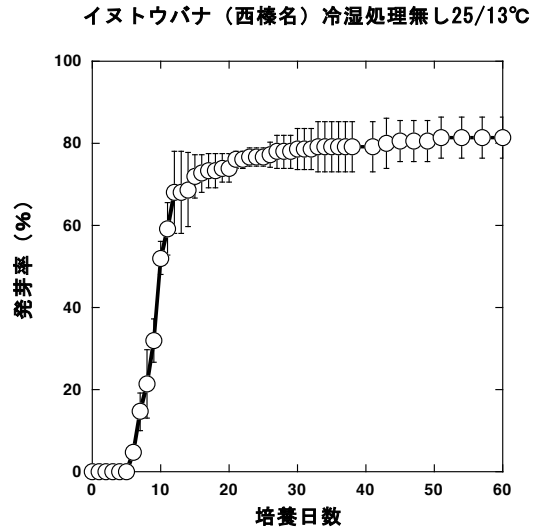
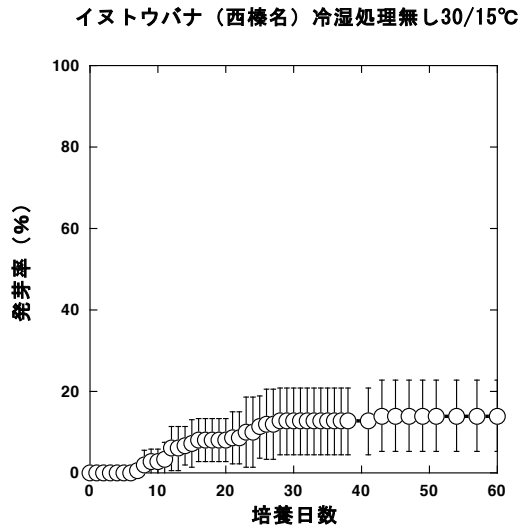


図 27 イヌトウバナ（西榛名産）の種子の発芽率の経時変化

温度条件をそれぞれ 30/15℃、25/13℃、22/17℃、17/8℃、10/6℃（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。

☒ 28

☒ 29

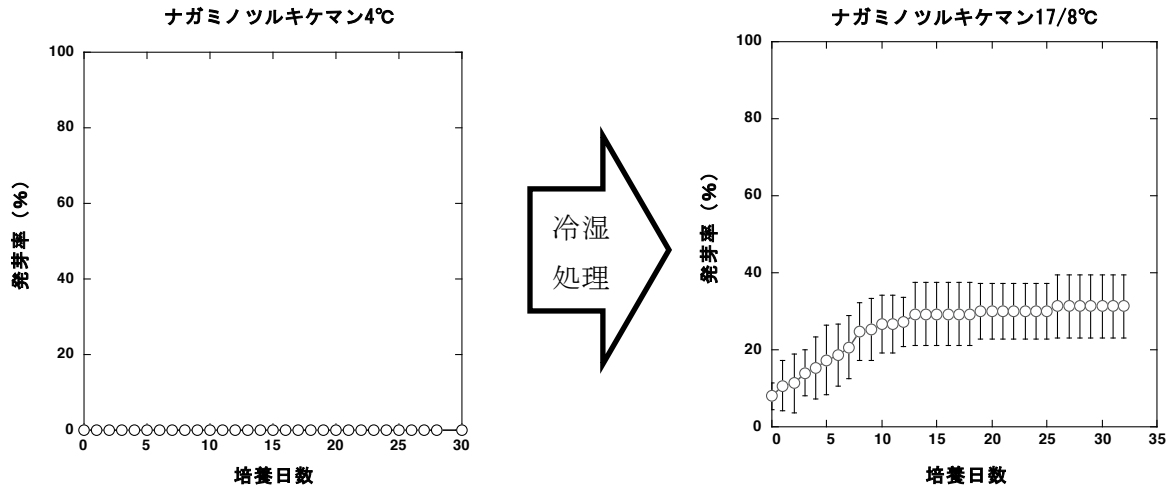


図 30 温湿処理を施したのち、冷湿処理を施したナガミノツルキケマンの種子発芽率の経時変化

種子を 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 分間消毒し洗浄した後、温度条件を 25/13°Cに設定した温度勾配恒温器内で 2 ヶ月間温湿処理を行った。温湿処理終了後、17/8°Cに設定した温度勾配恒温器内で 1 ヶ月間培養した。さらにその後 4°Cの冷蔵庫内で 1 ヶ月間培養し、この際に 1 回目の発芽観察を行った。

発芽が確認されなかった種子については、さらに 4°Cの冷蔵庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を実施した後、17/8°Cに設定した温度勾配恒温器内で約 1 ヶ月間培養し、この際に 2 回目の発芽観察を行った。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。

なお、冷湿処理中に十数個の種子が発芽したため、右図の培養日数 0 日目の発芽率はそれを考慮したものとなっている。

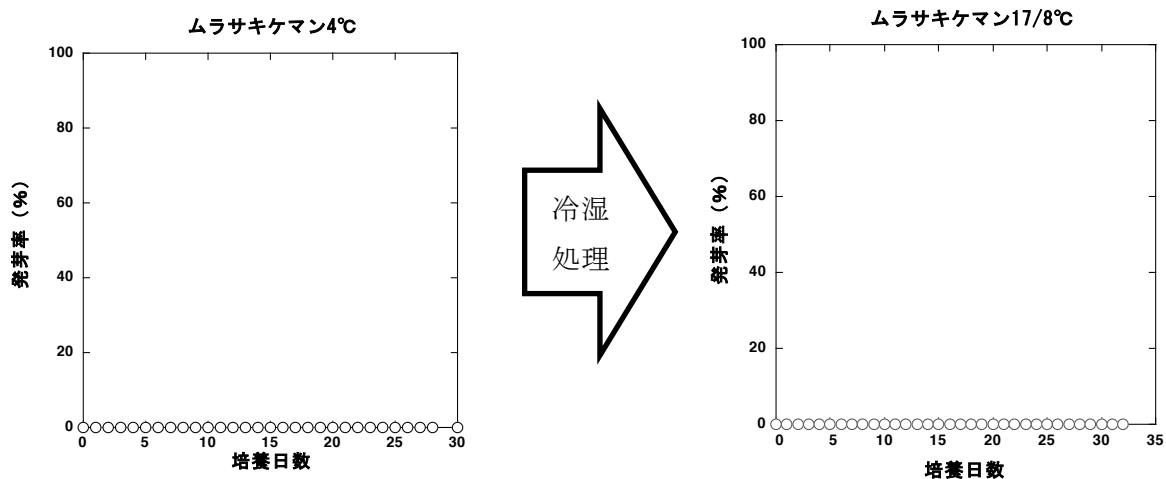


図 31 温湿処理を施したのち、冷湿処理を施したムラサキケマンの種子発芽率の経時変化

種子を 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 分間消毒し洗浄した後、温度条件を 25/13℃に設定した温度勾配恒温器内で 2 ヶ月間温湿処理を行った。温湿処理終了後、17/8℃に設定した温度勾配恒温器内で 1 ヶ月間培養した。さらにその後 4℃の冷蔵庫内で 1 ヶ月間培養し、この際に 1 回目の発芽観察を行った。

発芽が確認されなかった種子については、さらに 4℃の冷蔵庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を実施した後、17/8℃に設定した温度勾配恒温器内で約 1 ヶ月間培養し、この際に 2 回目の発芽観察を行った。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。

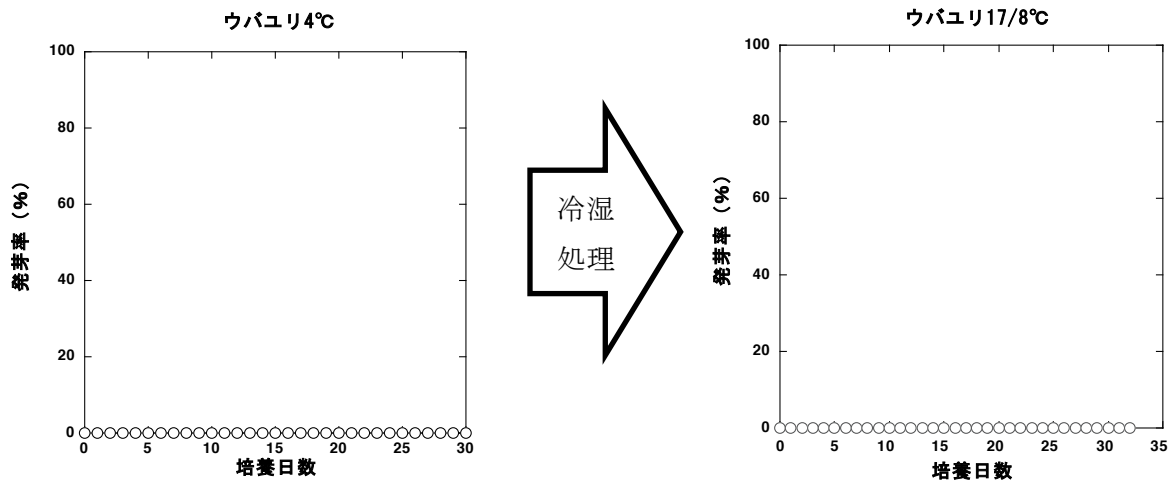


図 32 温湿処理を施したのち、冷湿処理を施したウバユリの種子発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃に設定した温度勾配恒温器内で 2 ヶ月間温湿処理を行った。温湿処理終了後、17/8℃に設定した温度勾配恒温器内で 1 ヶ月間培養した。さらにその後 4℃の冷蔵庫内で 1 ヶ月間培養し、この際に 1 回目の発芽観察を行った。

発芽が確認されなかった種子については、さらに 4℃の冷蔵庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を実施した後、17/8℃に設定した温度勾配恒温器内で約 1 ヶ月間培養し、この際に 2 回目の発芽観察を行った。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。

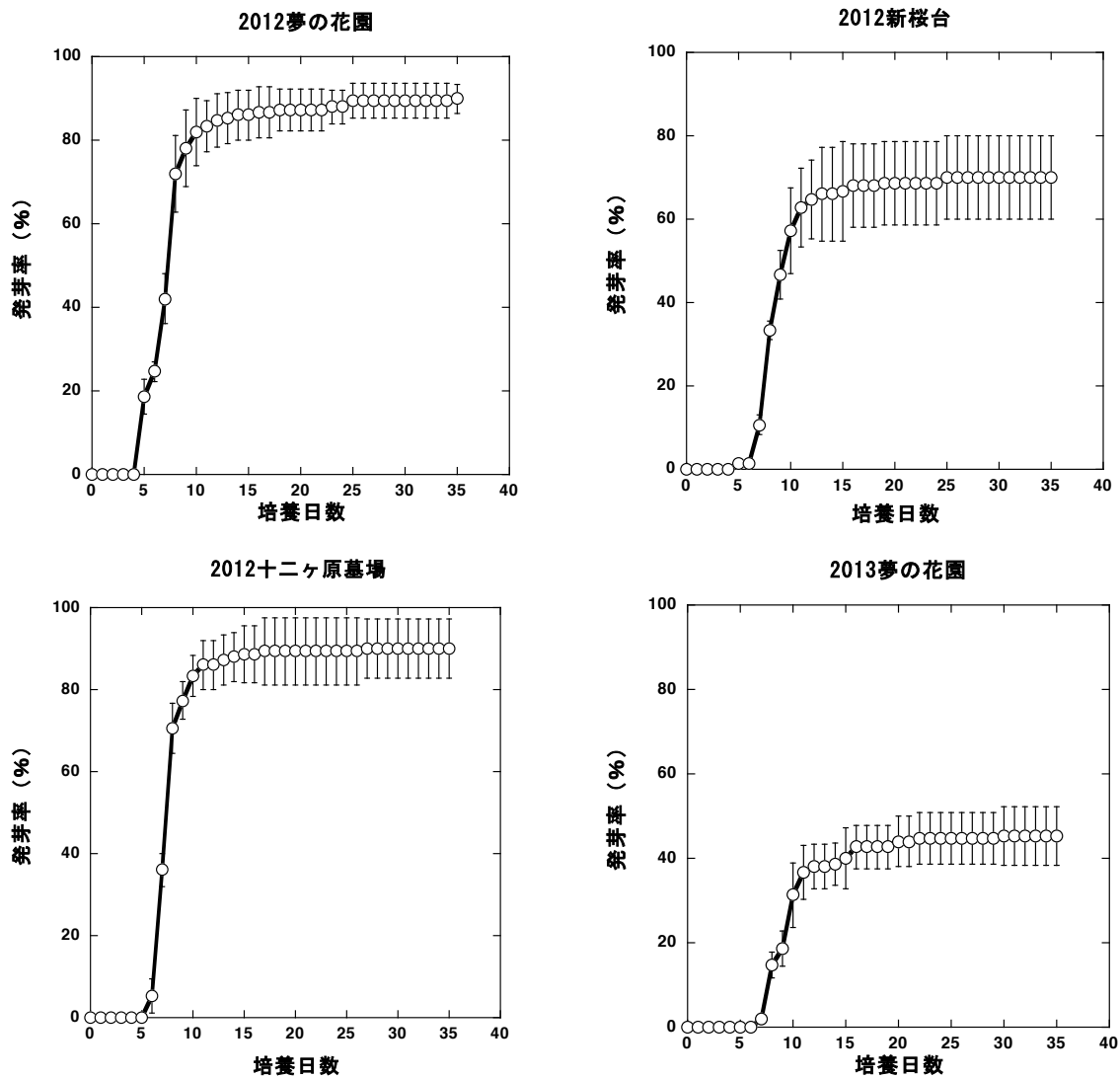


図 33 西榛名・北榛名で採取し、ジベレリン処理を施した絶滅危惧種Aの種子の発芽率の経時変化（生存検定）

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 分間消毒し洗浄した種子を、ジベレリン処理（強制休眠解除処理）終了後、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。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。

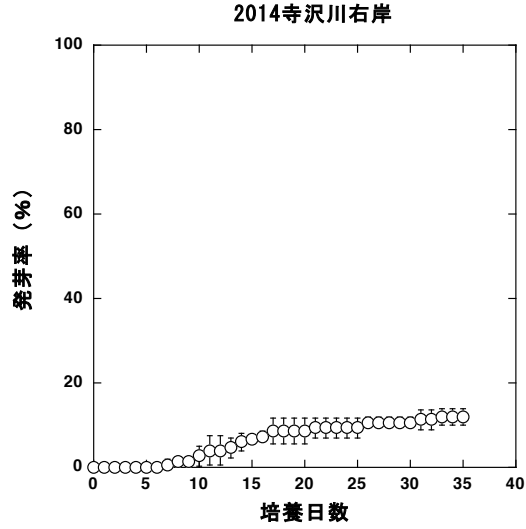
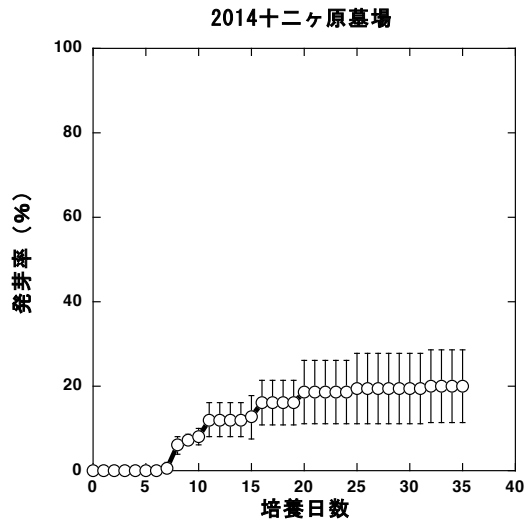
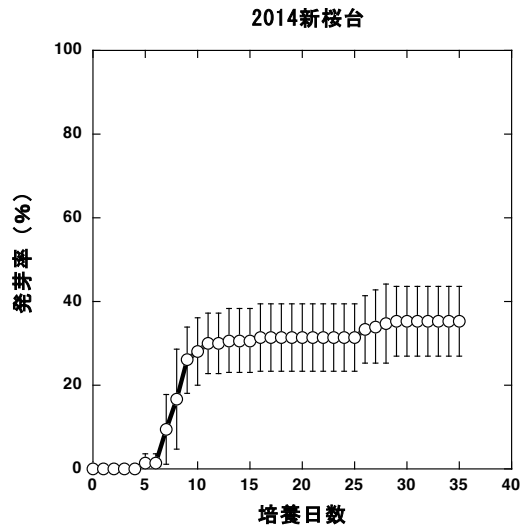
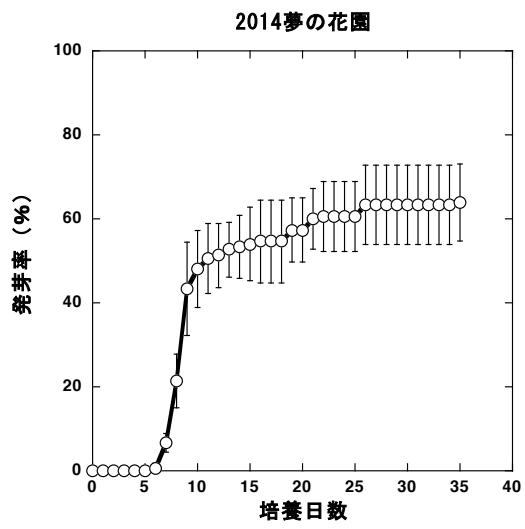


図 33 (続き : 2014 年産)

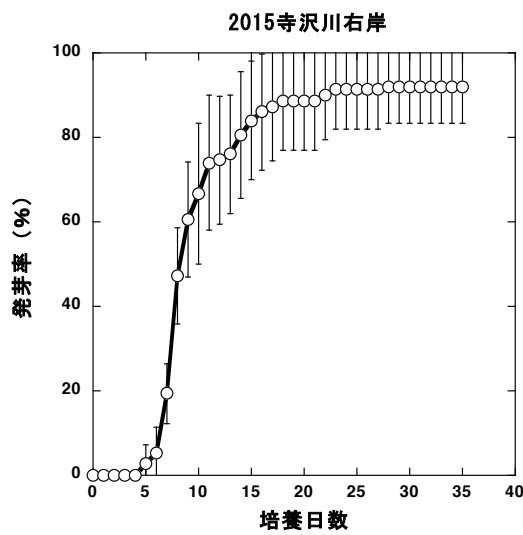
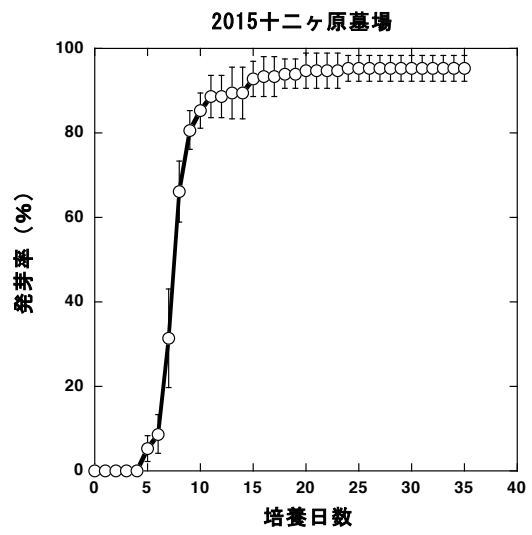
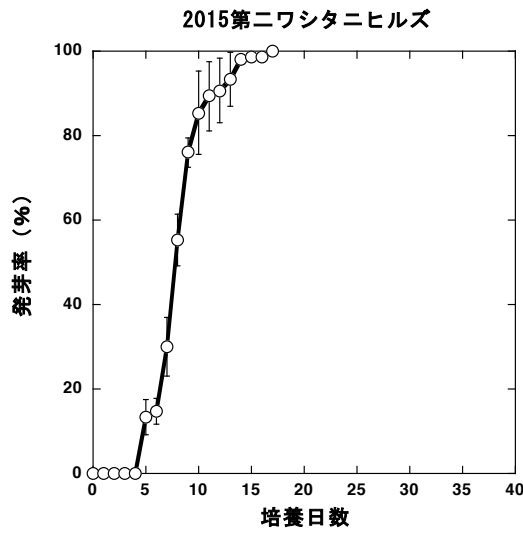
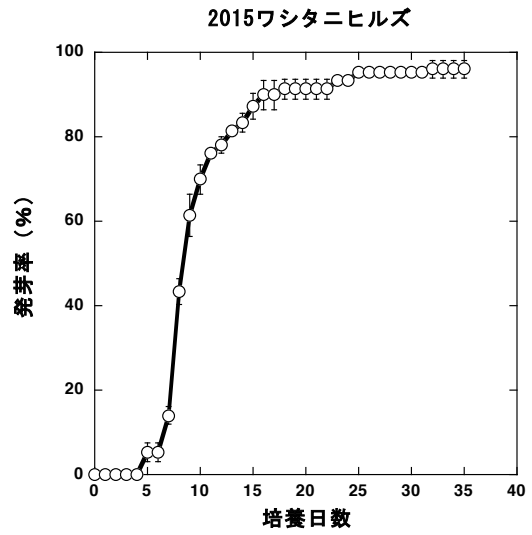
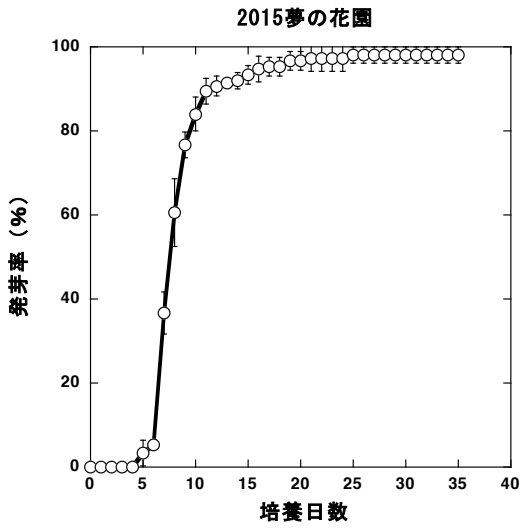


図 33 (続き: 2015 年産)

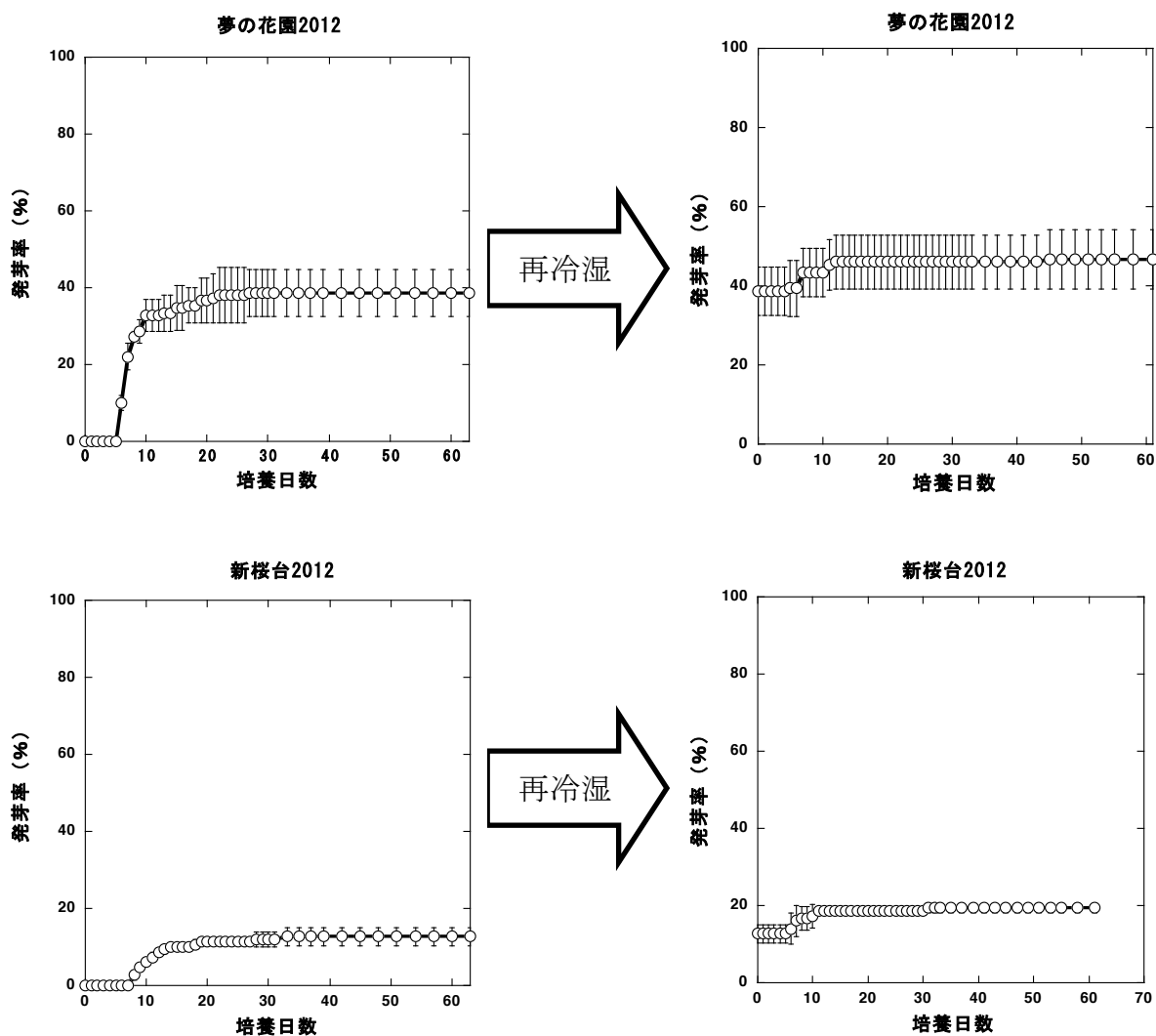


図 34 西榛名・北榛名で採取し、冷湿処理を施した絶滅危惧種Aの種子発芽率の経時変化

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 分間消毒し洗浄した種子を、4℃の冷蔵庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を行った後に、温度条件を 25/13℃に設定した温度勾配恒温器内で 2 ヶ月間培養し、この際に 1 回目の発芽観察を行った。

その後発芽が確認されなかった種子については、さらに 4℃の冷蔵庫内で 2 ヶ月間冷湿処理を実施した後、再び同じ条件下で 2 ヶ月間培養し、この際に 2 回目の発芽観察を行った。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。

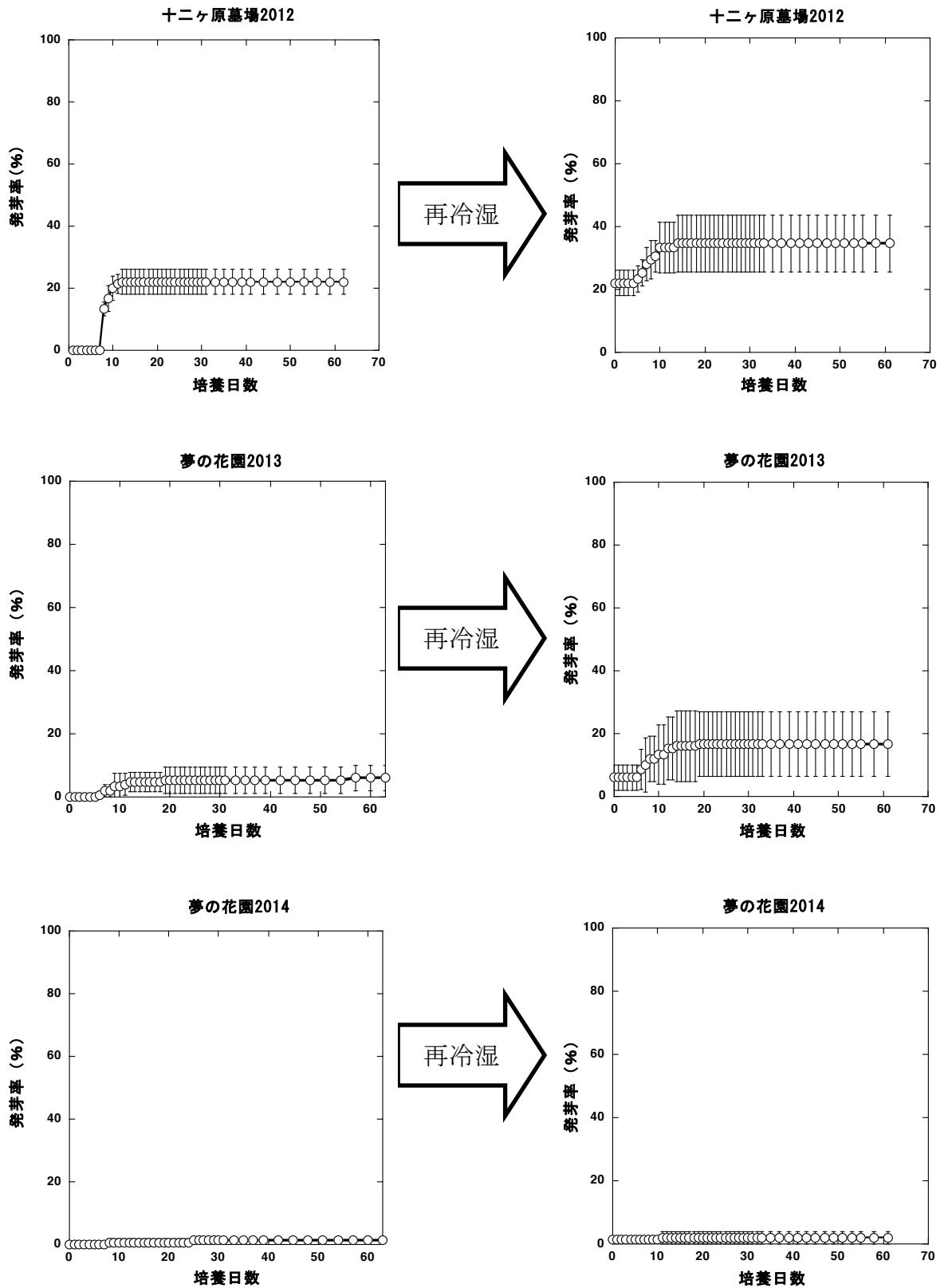


図 34 (続き) 西榛名・北榛名で採取し、冷湿処理を施した絶滅危惧種Aの種子発芽率の経時変化 (2012～2014年産)

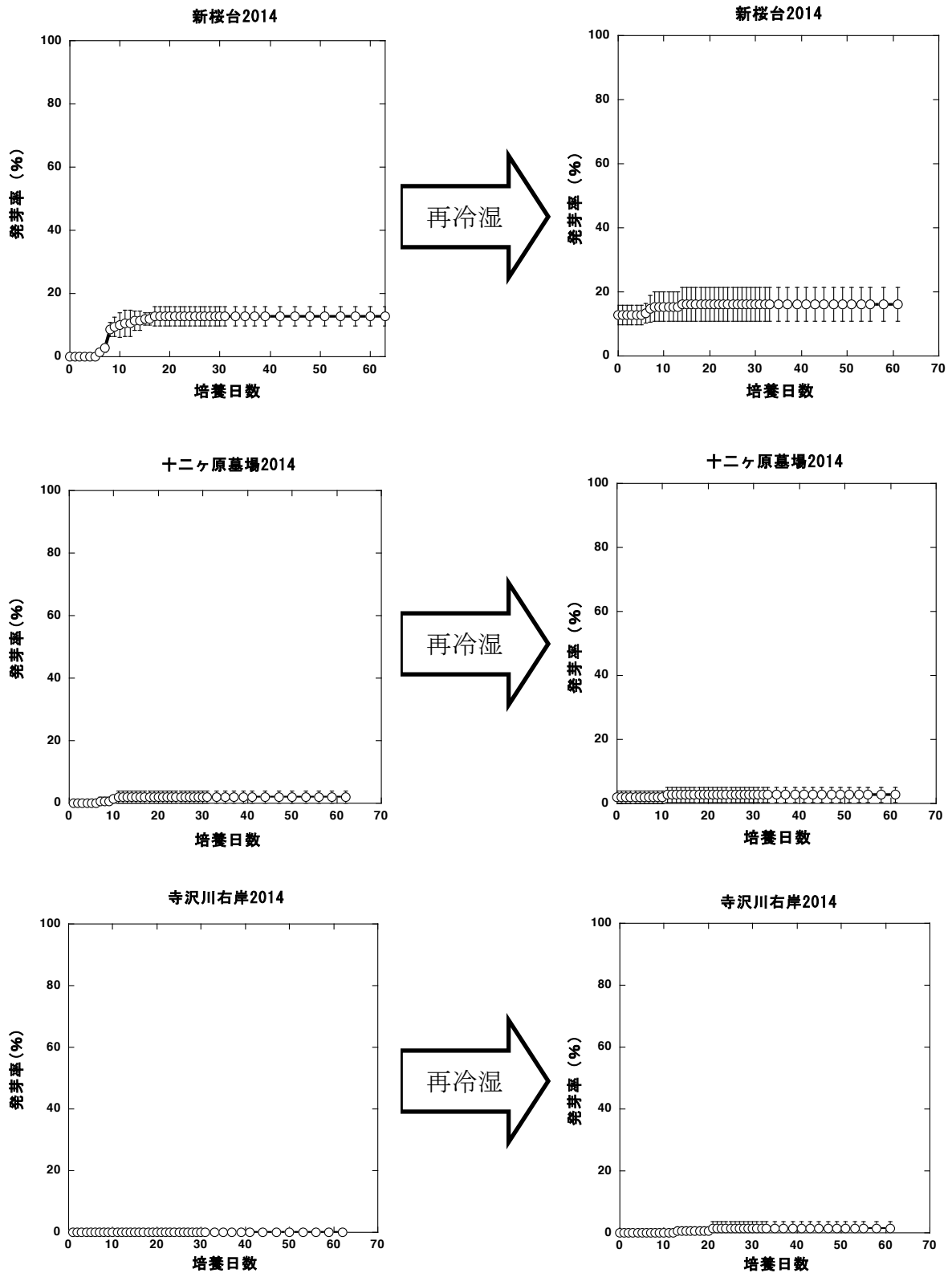


図 34 (続き) 西榛名・北榛名で採取し、冷湿処理を施した絶滅危惧種Aの種子発芽率の経時変化 (2014年産)

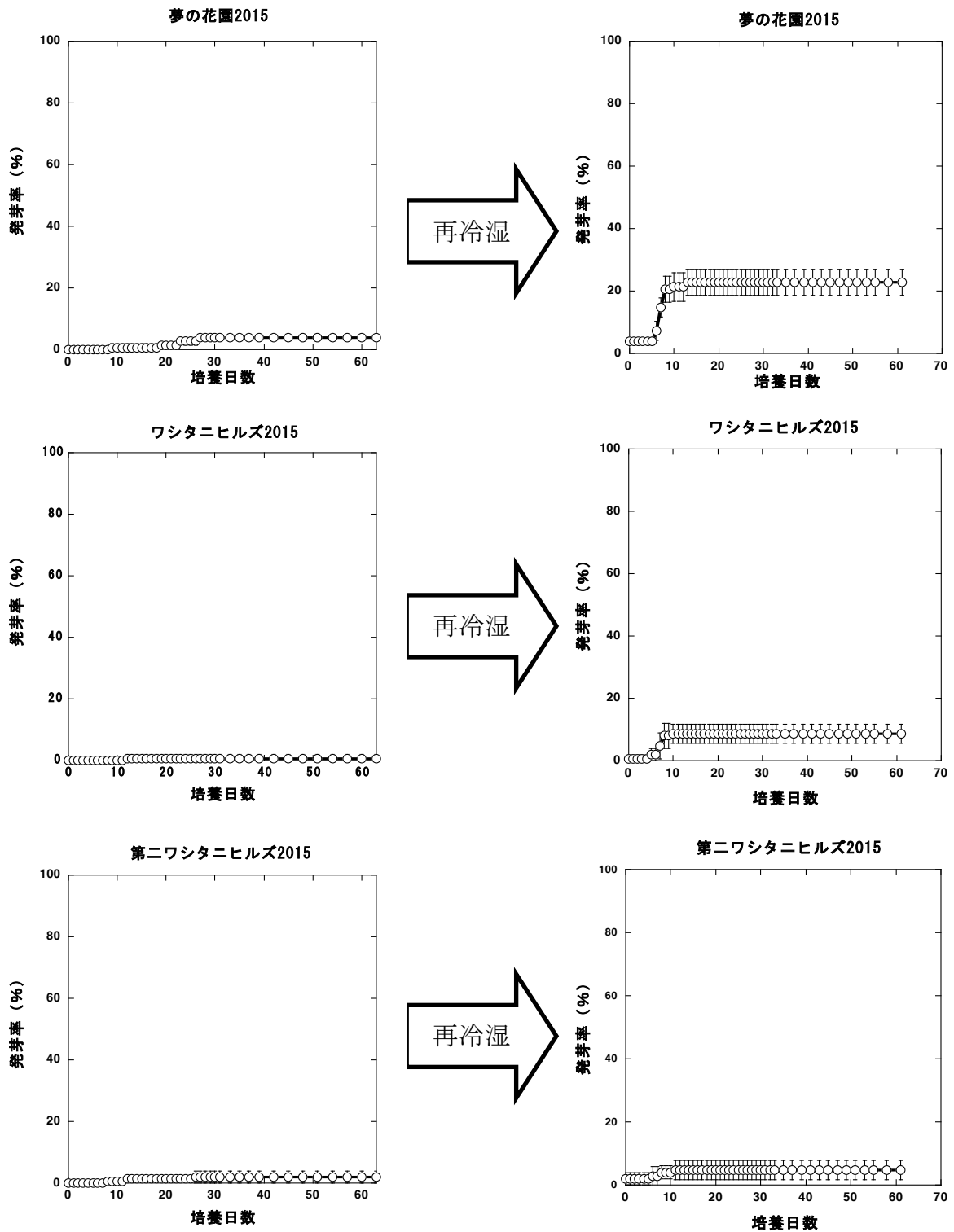


図 34 (続き) 西榛名・北榛名で採取し、冷湿処理を施した絶滅危惧種Aの種子発芽率の経時変化 (2015年産)

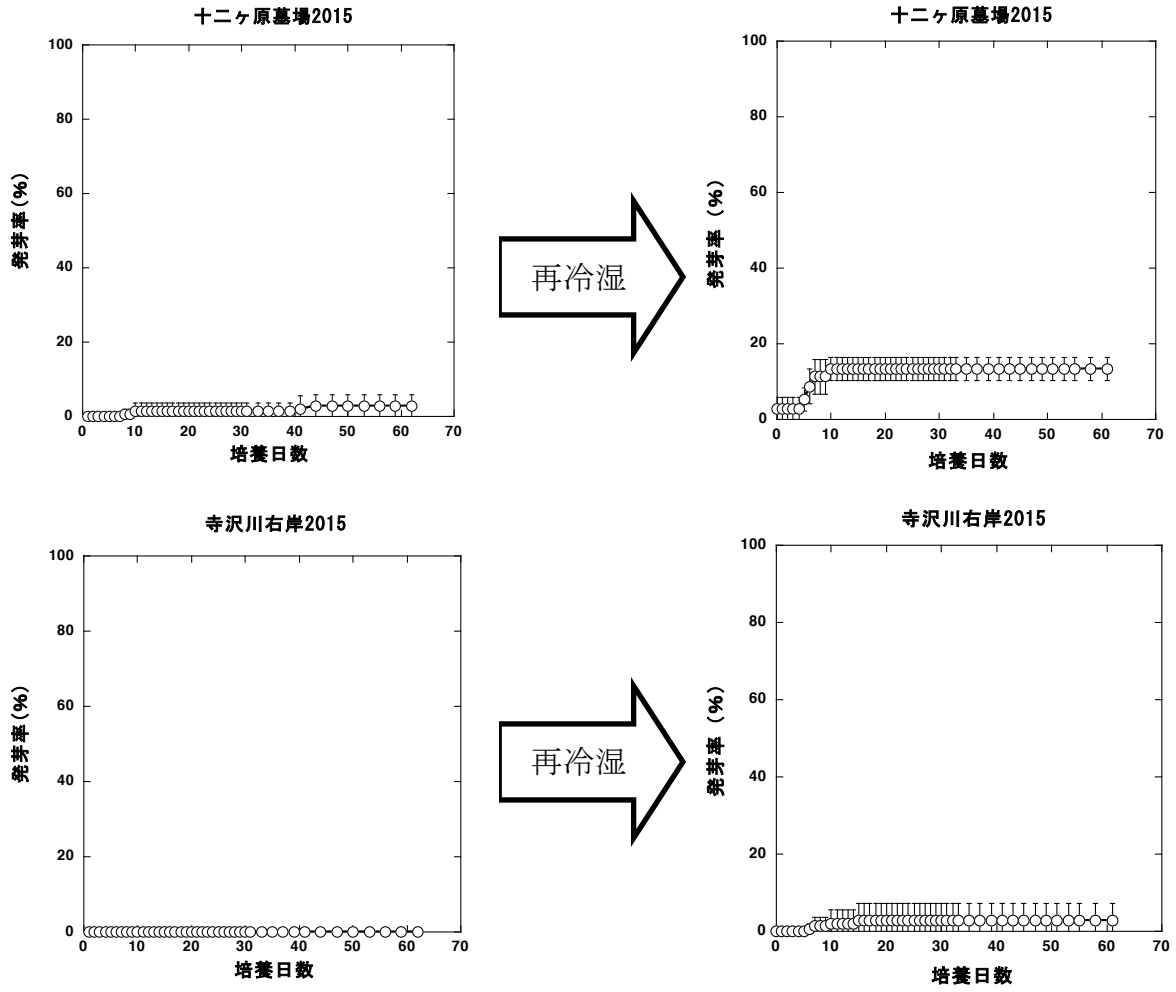


図 34 (続き) 西榛名・北榛名で採取し、冷湿処理を施した絶滅危惧種Aの種子発芽率の経時変化 (2015年産)

图 35



图 36



图 37

图 38

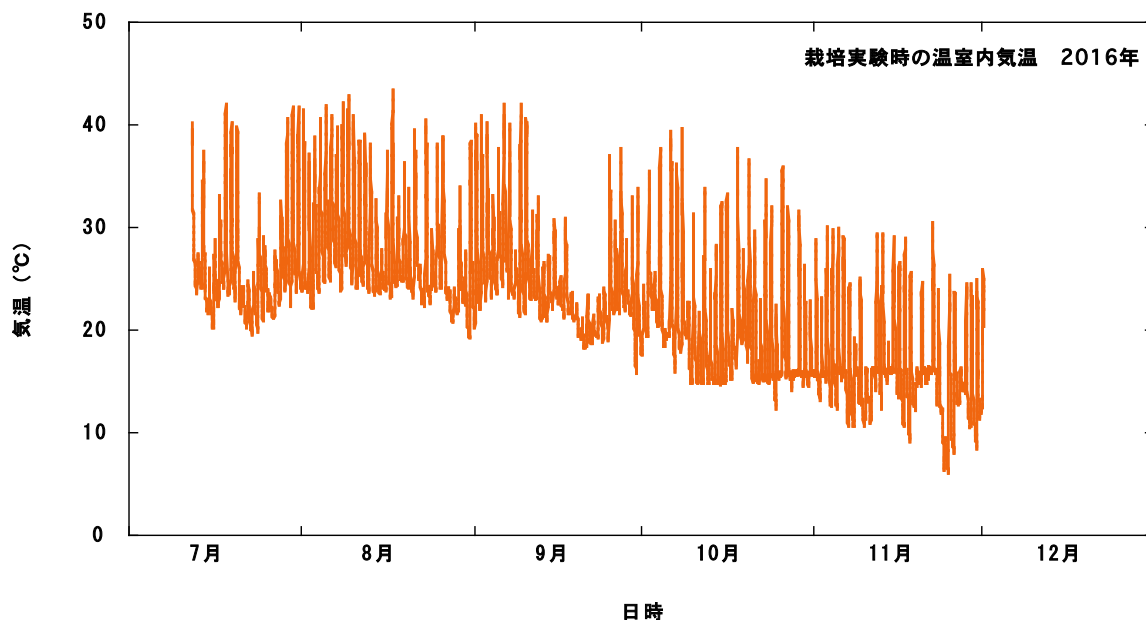
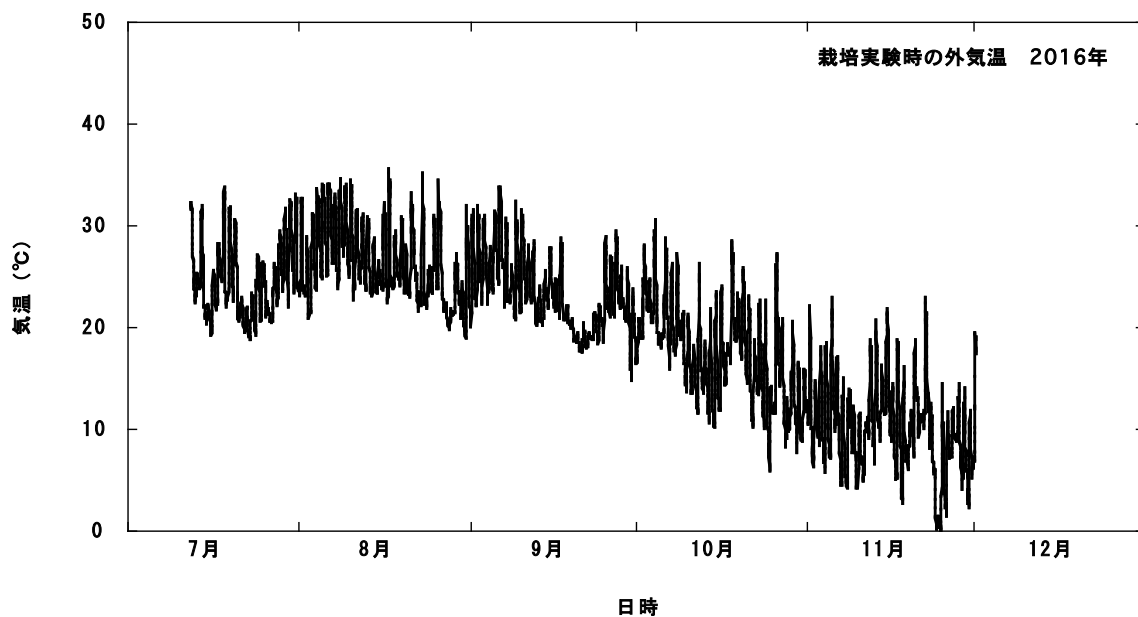


図 39 群馬大学荒牧キャンパス構内の栽培実験期間中の圃場および温室内の気温

2016年7月から11月までの間、群馬大学荒牧キャンパス構内の圃場と温室内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。上図は圃場の気温、下図は温室内気温を示す。温室と圃場の平均温度差は2.4°Cであった。

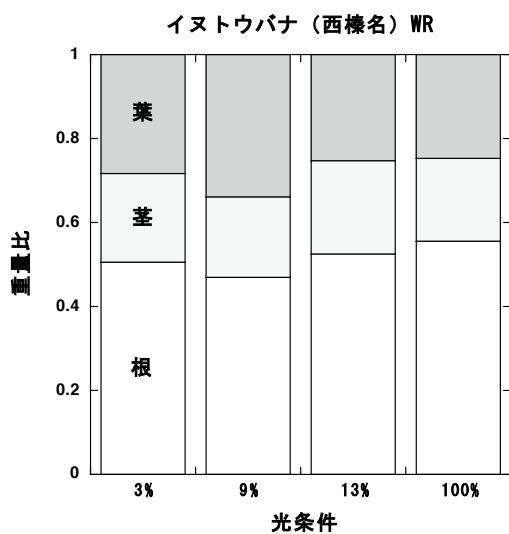
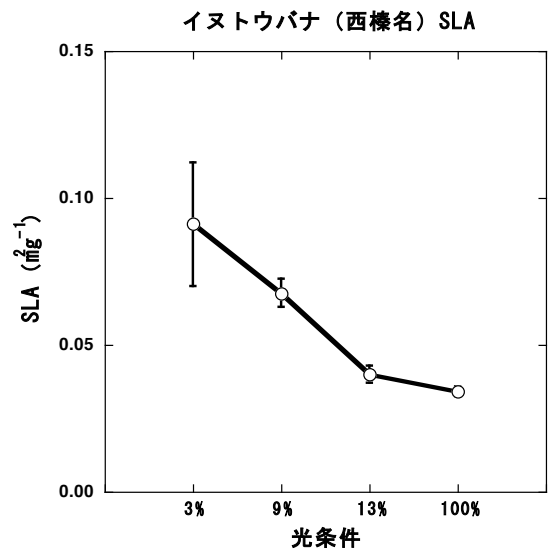
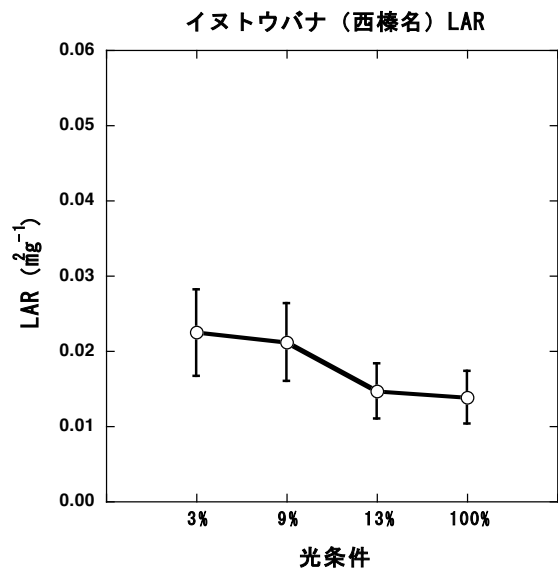
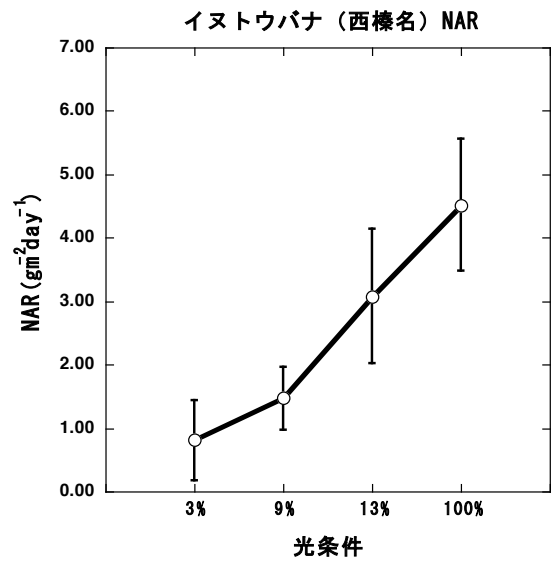
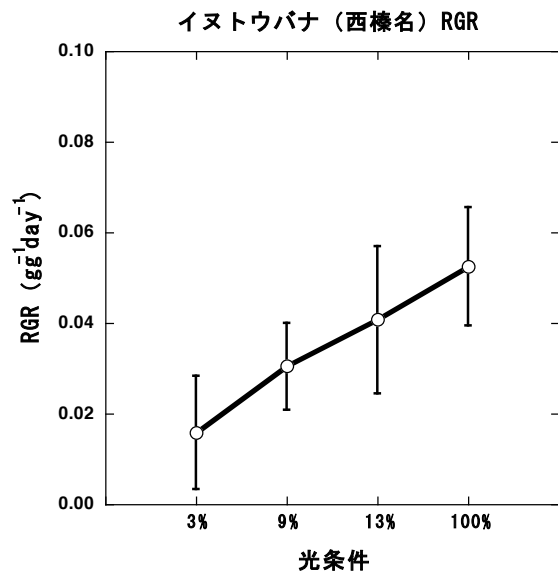


図 40 異なる相対光量子密度下で栽培したイヌトウバナ (西榛名産) の生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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。

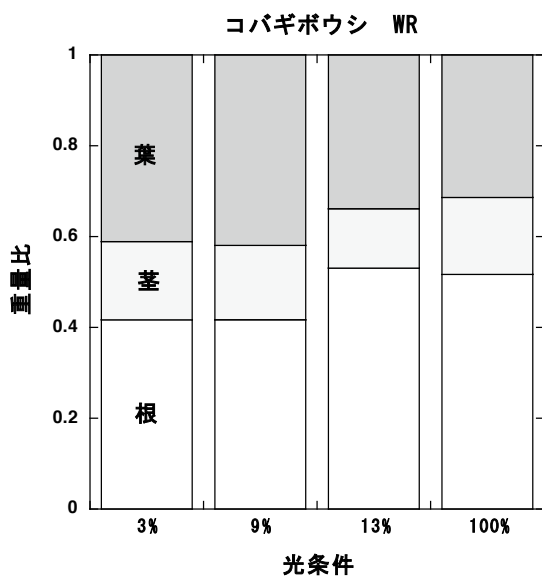
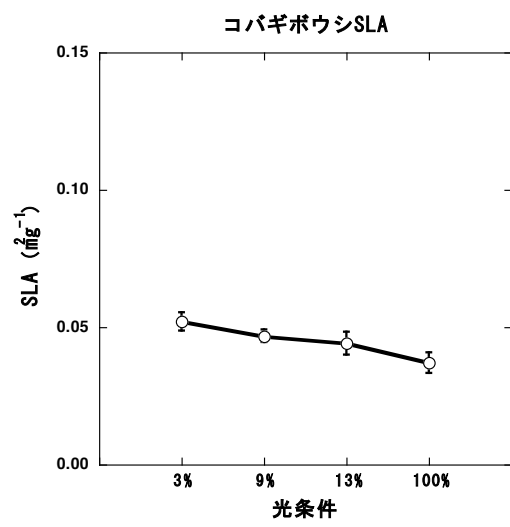
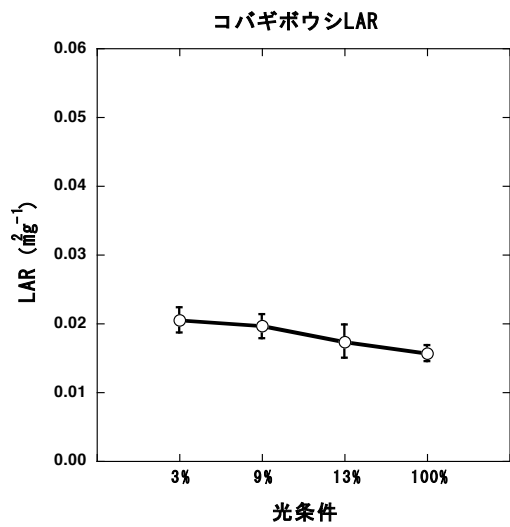
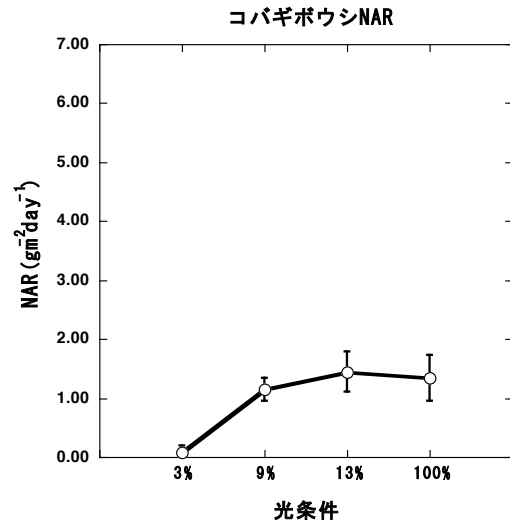
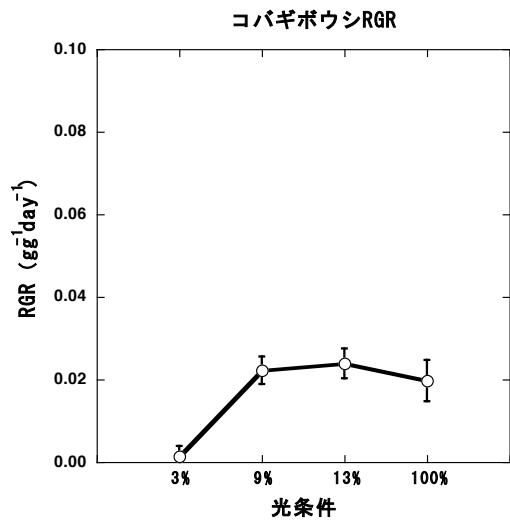


図 41 異なる相対光量子密度下で栽培したコバギボウシの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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=11。

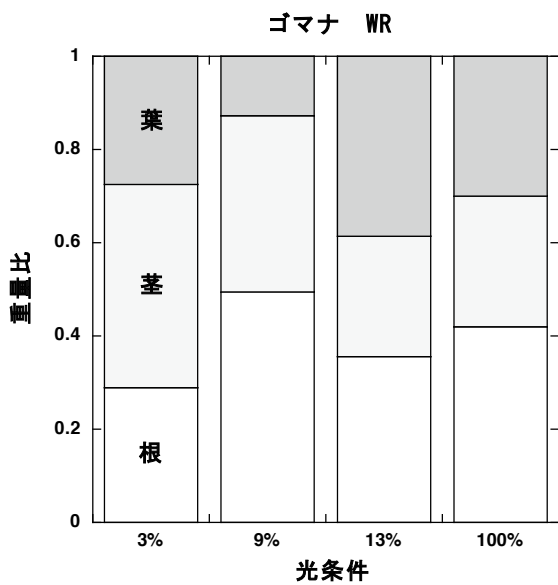
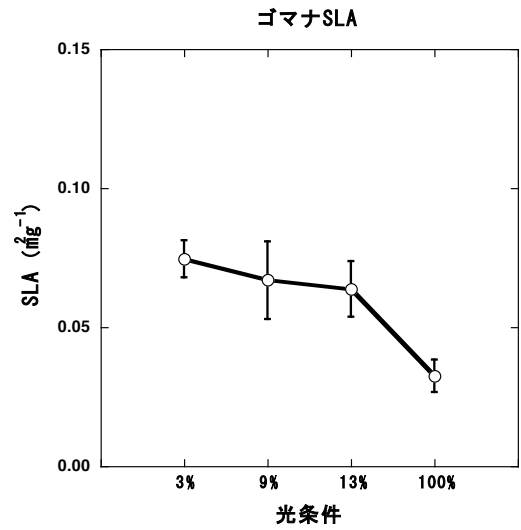
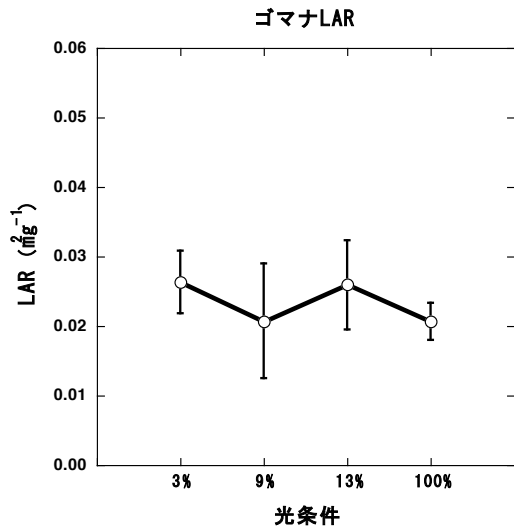
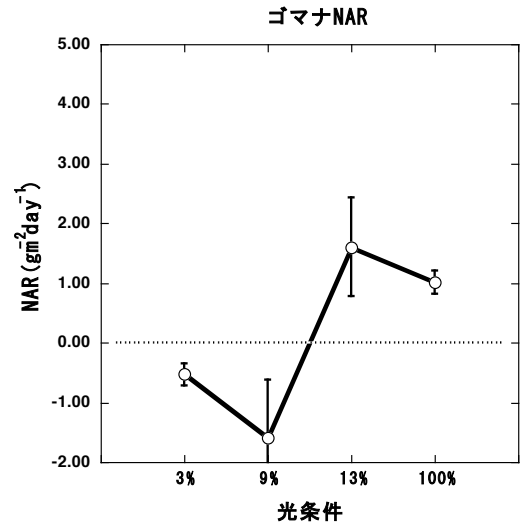
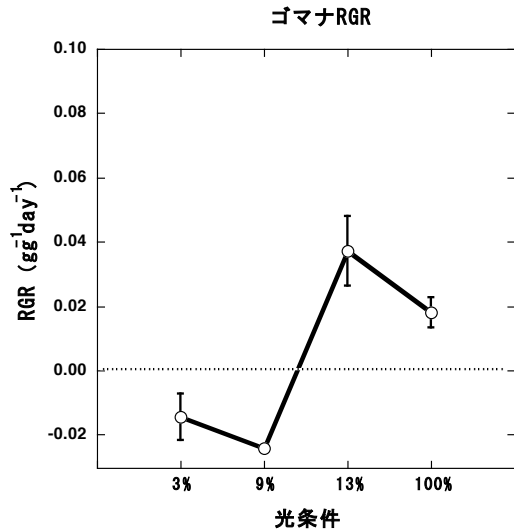


図 42 異なる相対光量子密度下で栽培したゴマナの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。

（なお、キャンパス内の温室（外気温 +2℃）内で栽培したものは全て枯死したため記録できなかった。）

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=2, 4（13%のみ）。

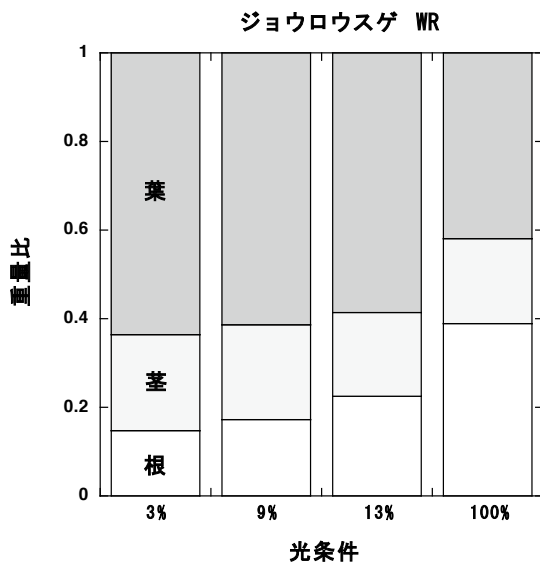
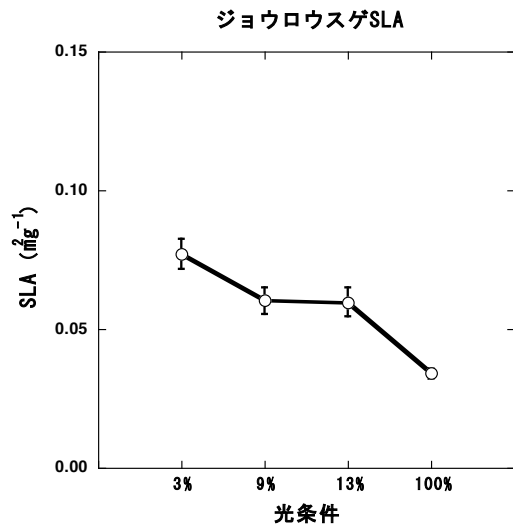
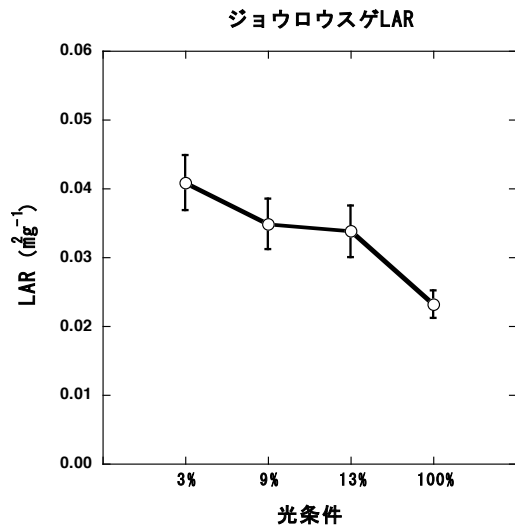
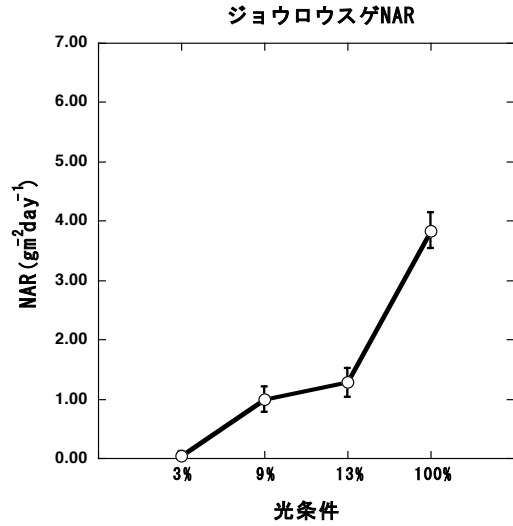
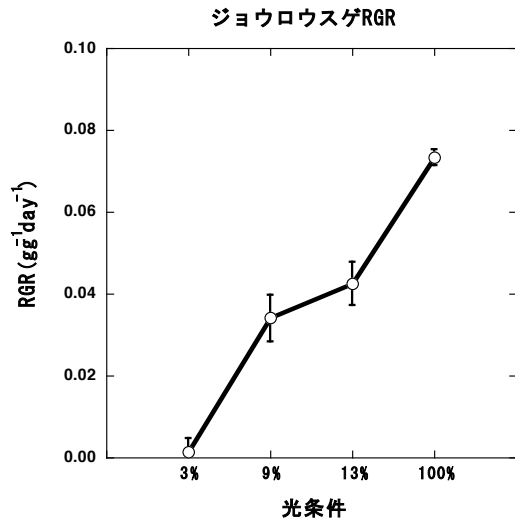


図 43 異なる相対光量子密度下で栽培したジョウロウスゲの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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=16〜17。

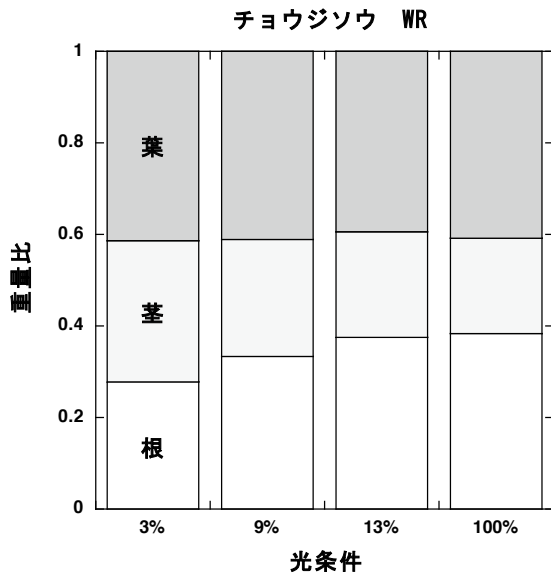
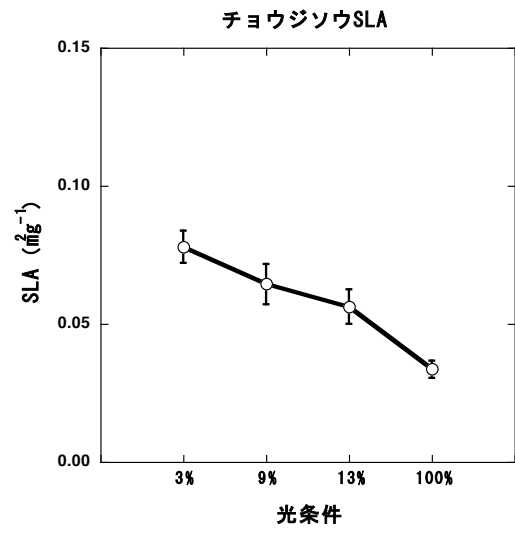
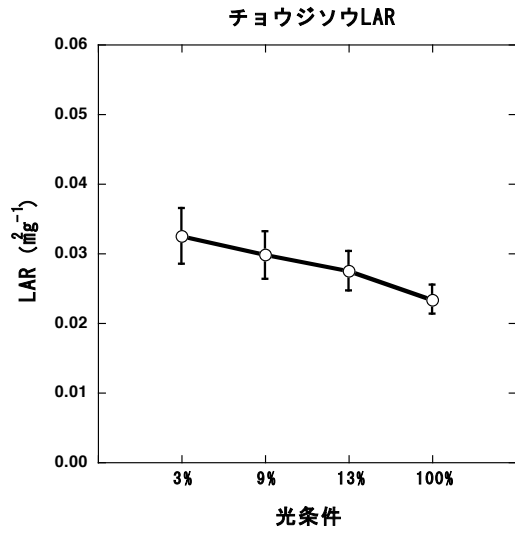
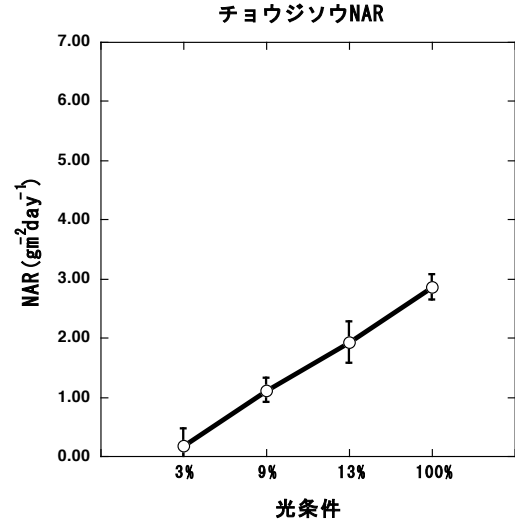
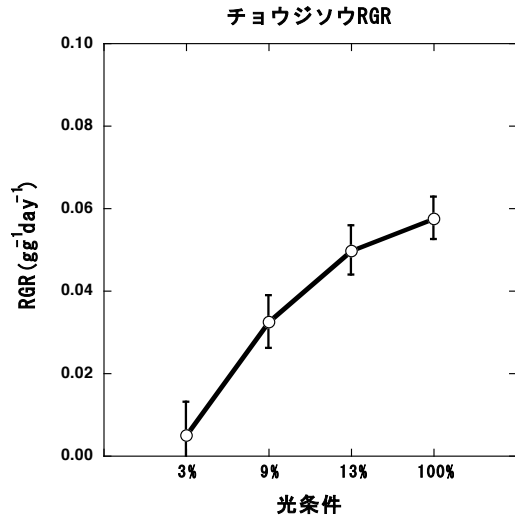


図 44 異なる相対光量子密度下で栽培した
 チョウジソウの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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=11。

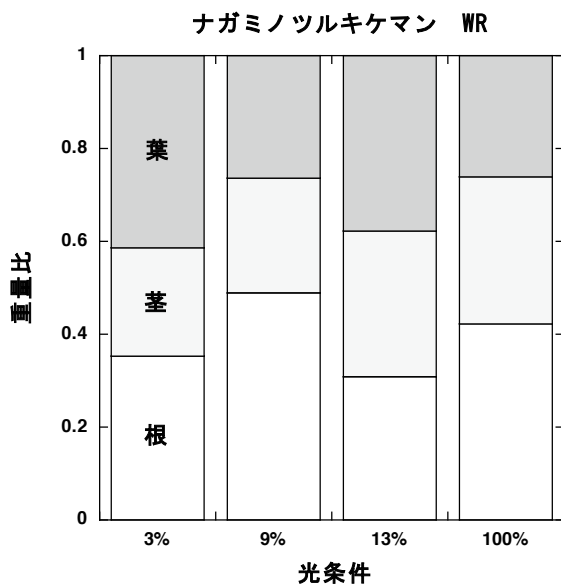
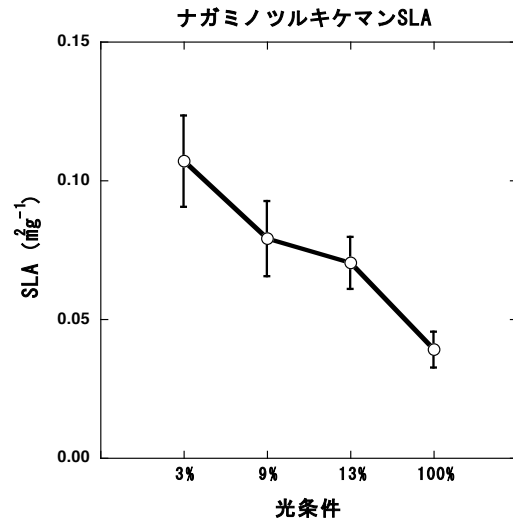
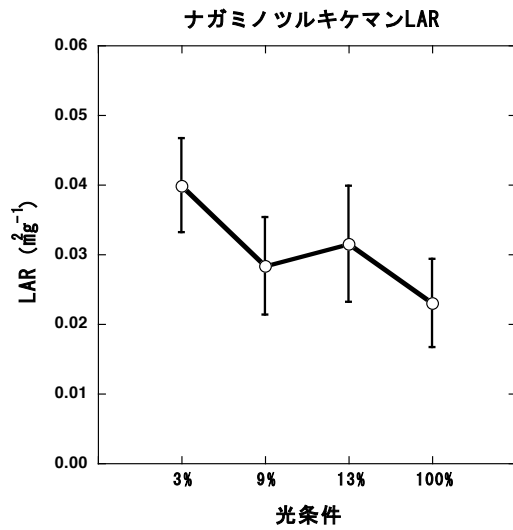
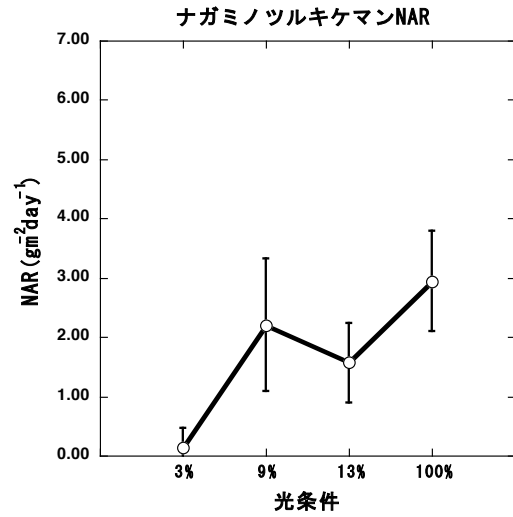
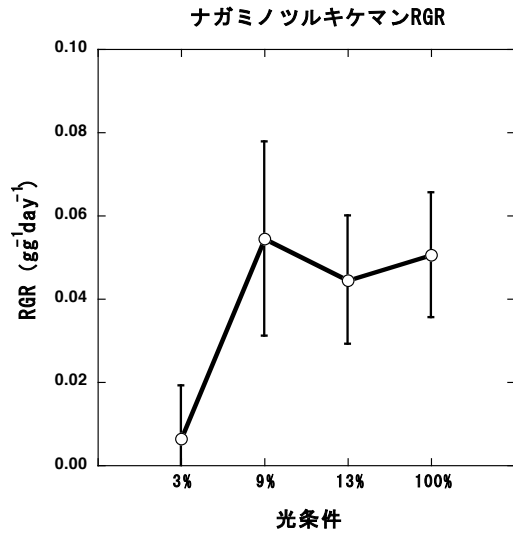


図 45 異なる相対光量子密度下で栽培したナガミノツルキケマンの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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。

☒ 46

图 47

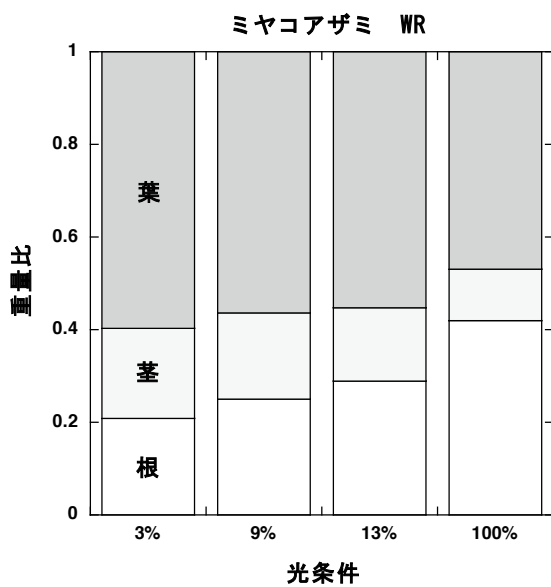
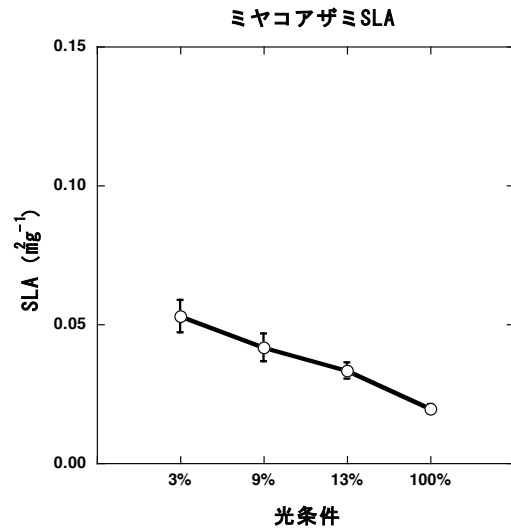
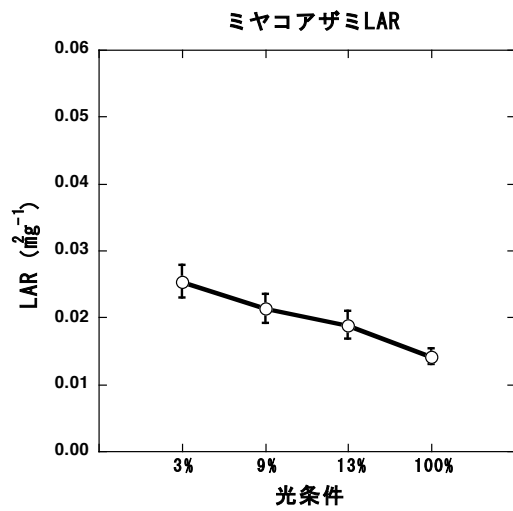
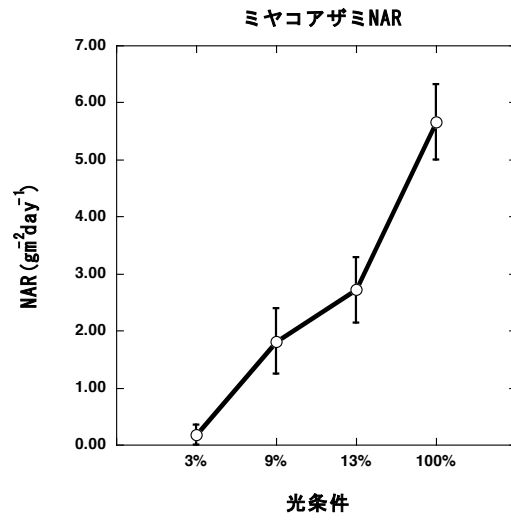
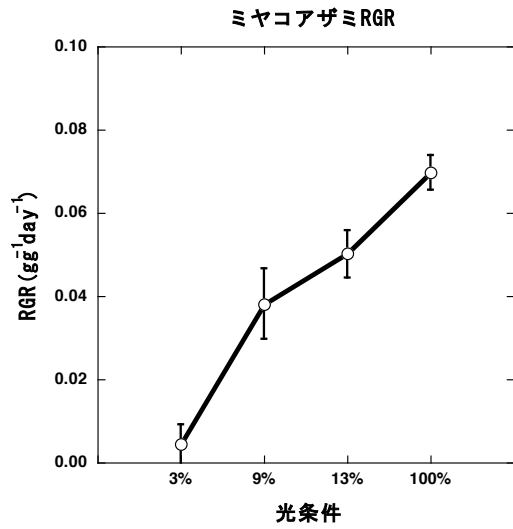


図48 異なる相対光量子密度下で栽培したミヤコアザミの生長解析結果

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ヶ月間栽培した。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=10。

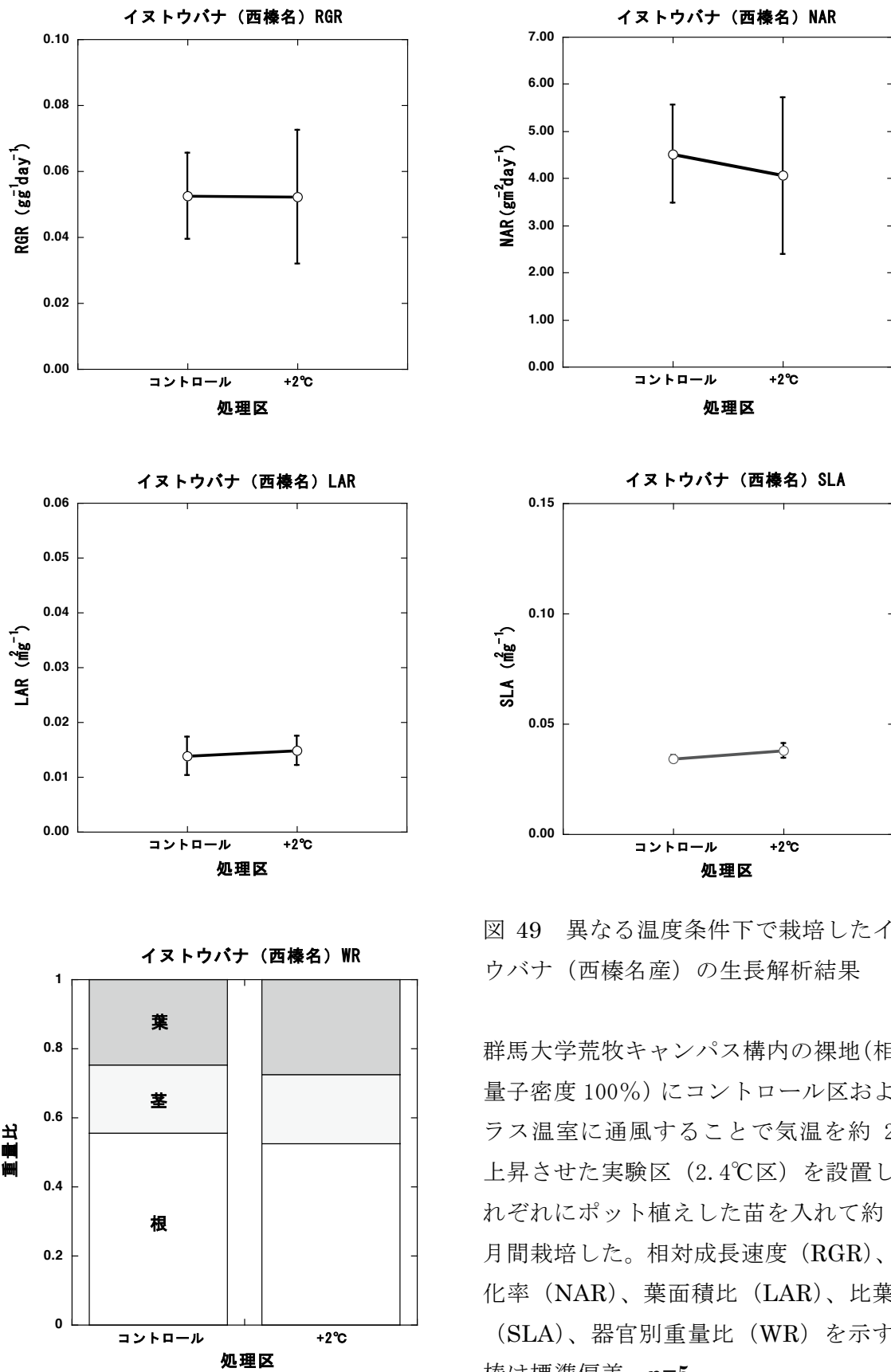


図 49 異なる温度条件下で栽培したイヌトウバナ (西榛名産) の生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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。

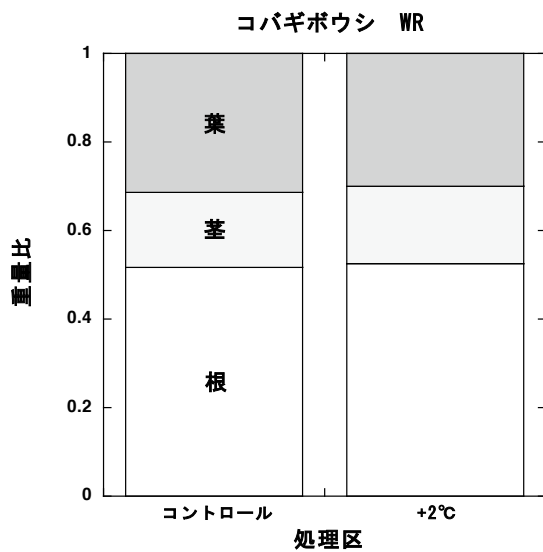
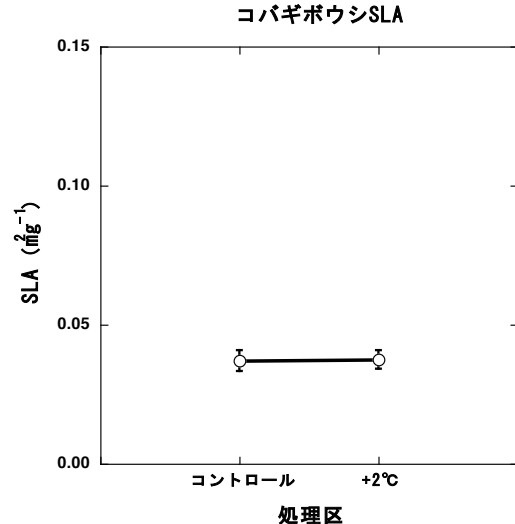
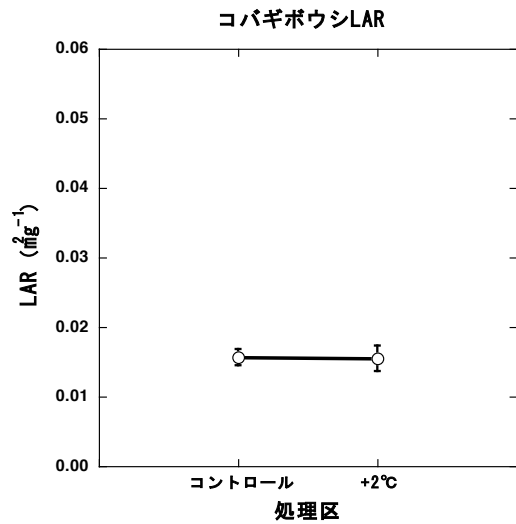
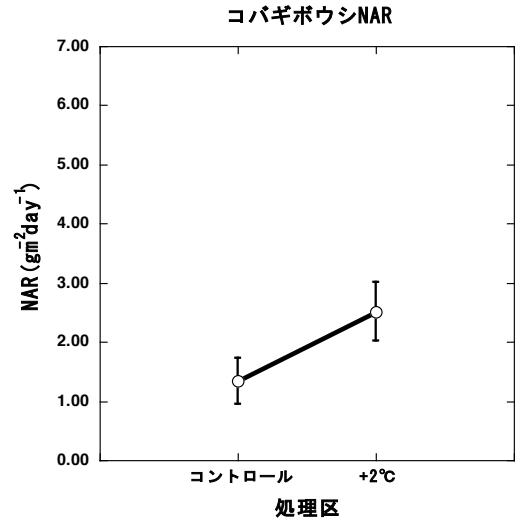
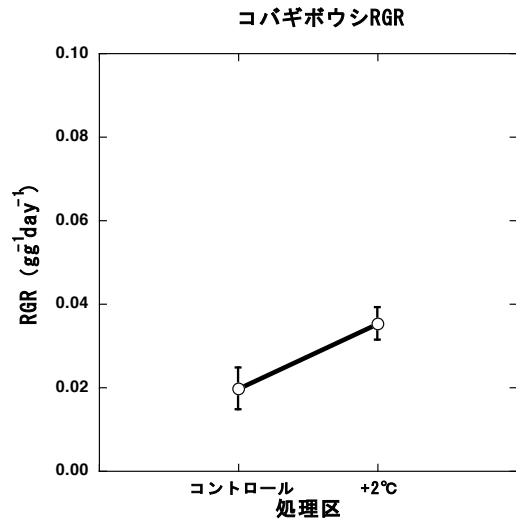


図 50 異なる温度条件下で栽培したコバギボウシの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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=11。

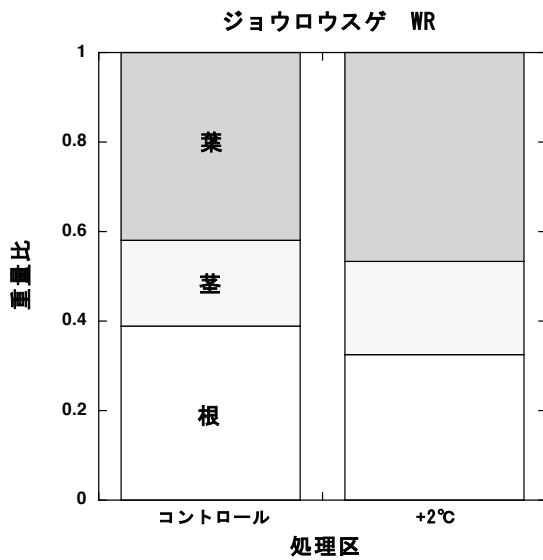
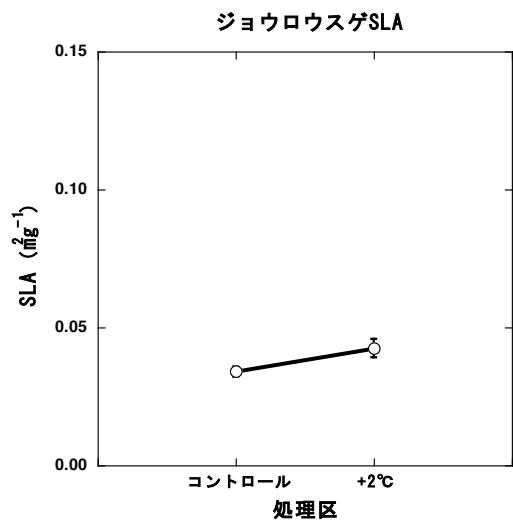
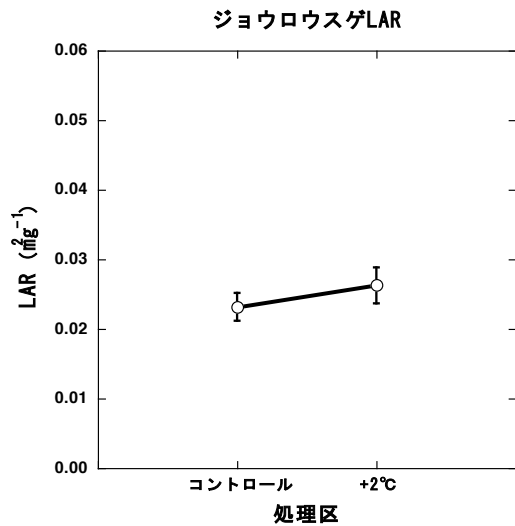
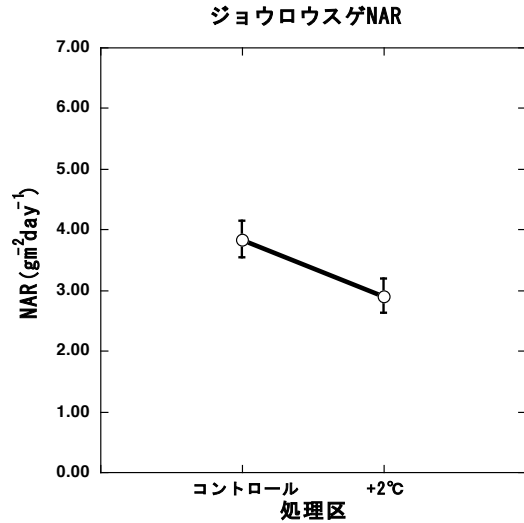
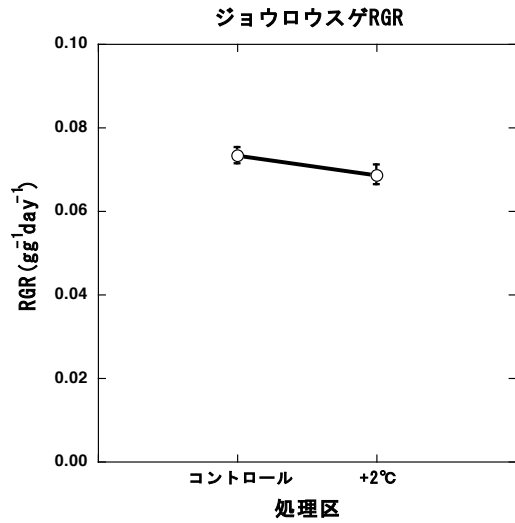


図 51 異なる温度条件下で栽培したジョウロウスゲの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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=16~17。

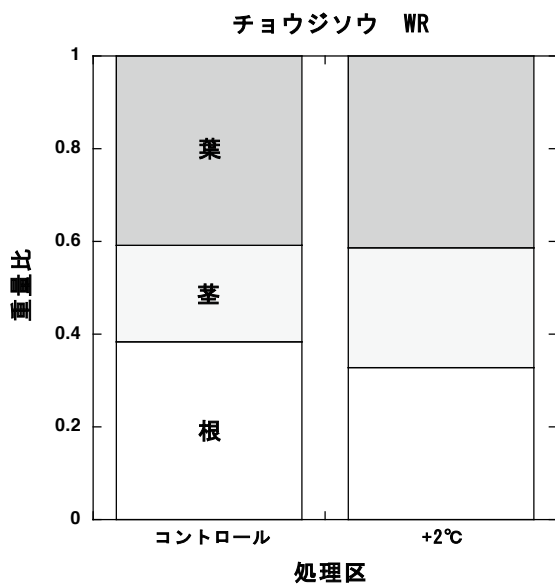
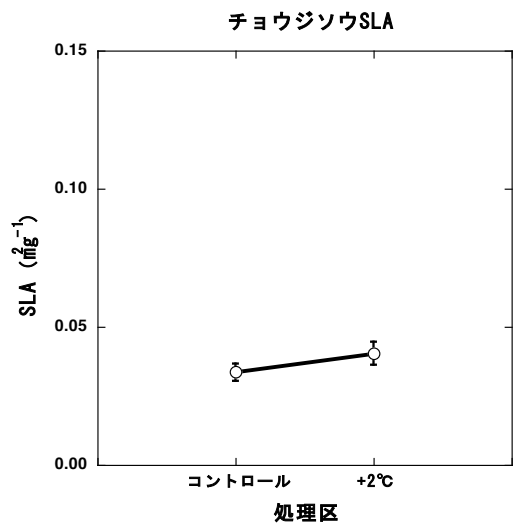
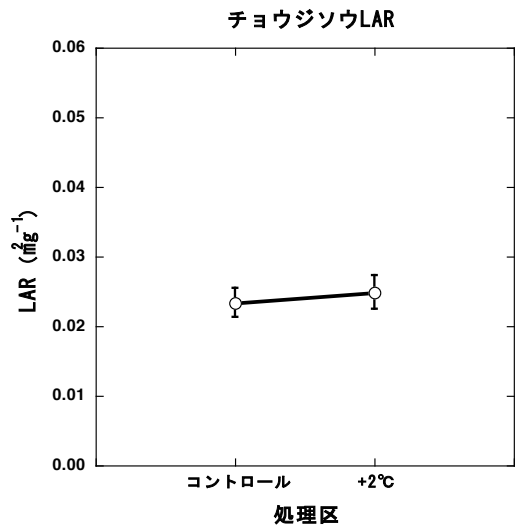
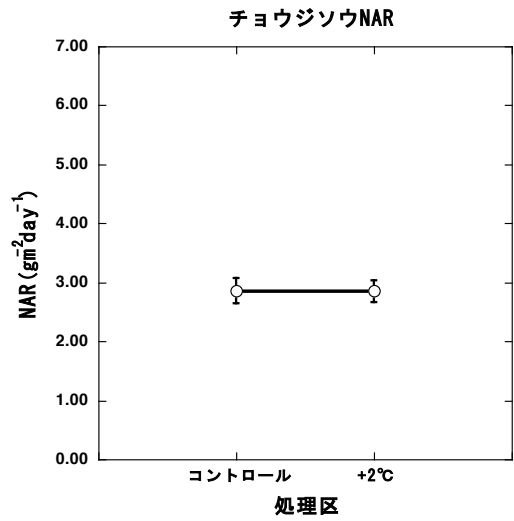
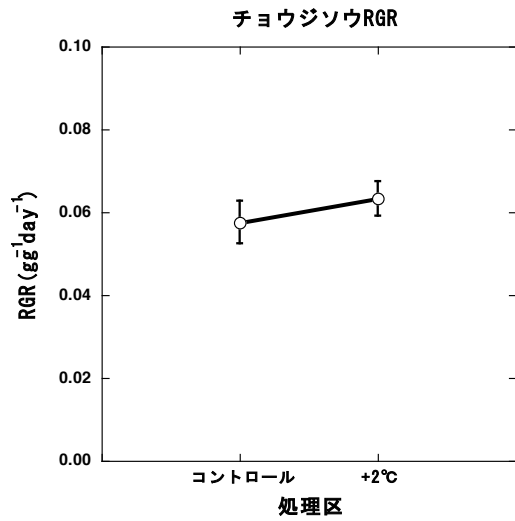


図52 異なる温度条件下で栽培したチョウジソウの生長解析結果

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°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 ヶ月間栽培した。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=11。

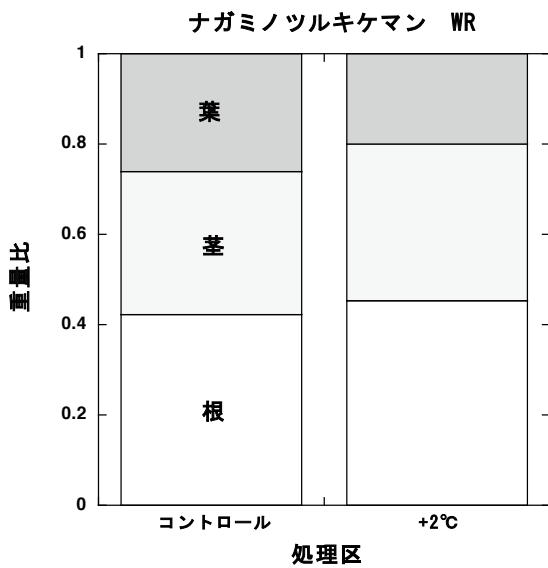
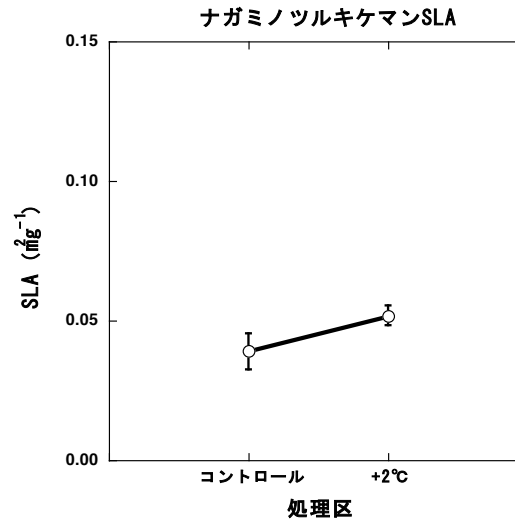
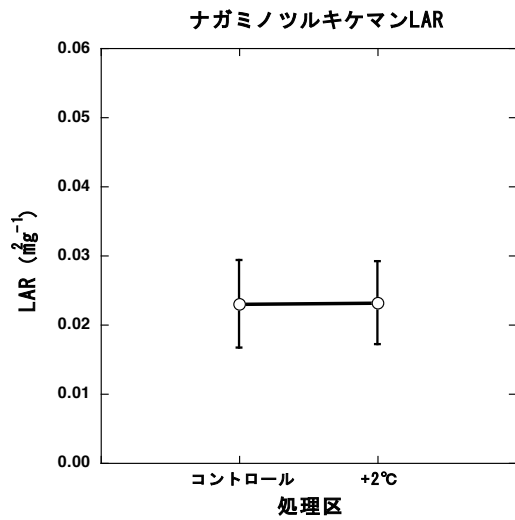
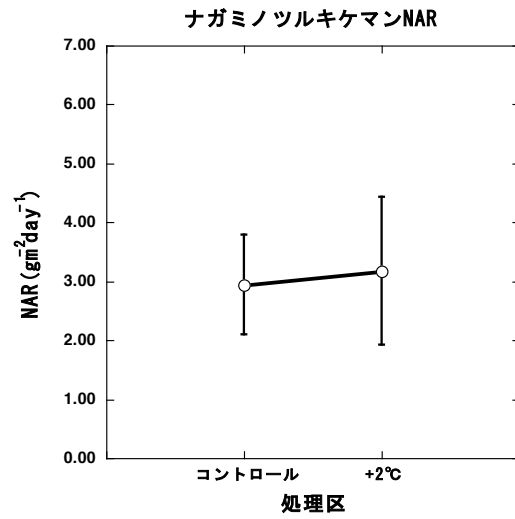
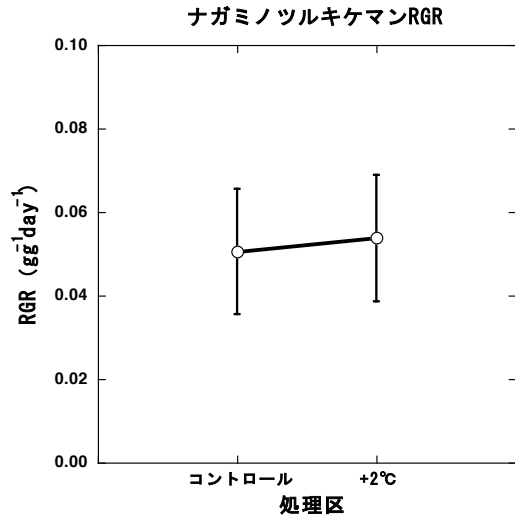


図 53 異なる温度条件下で栽培したナガミノツルキケマンの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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。

☒ 54

图 55

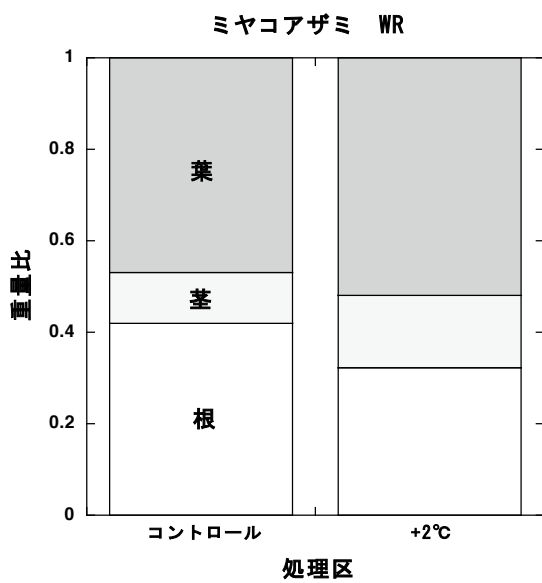
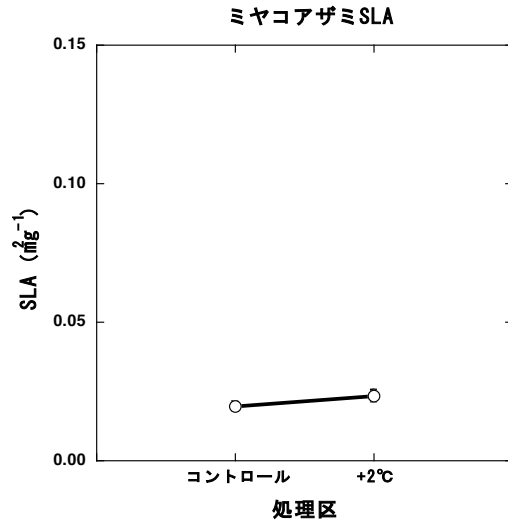
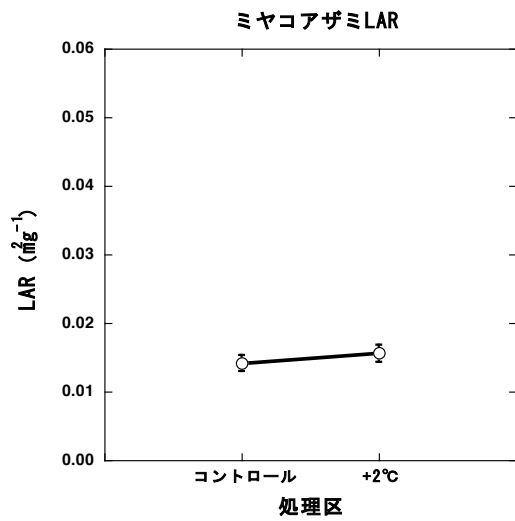
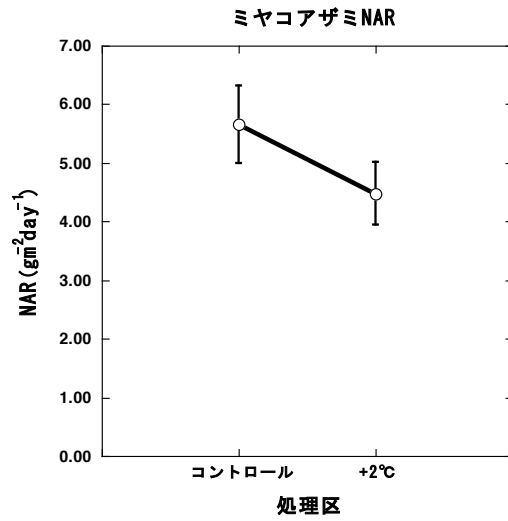
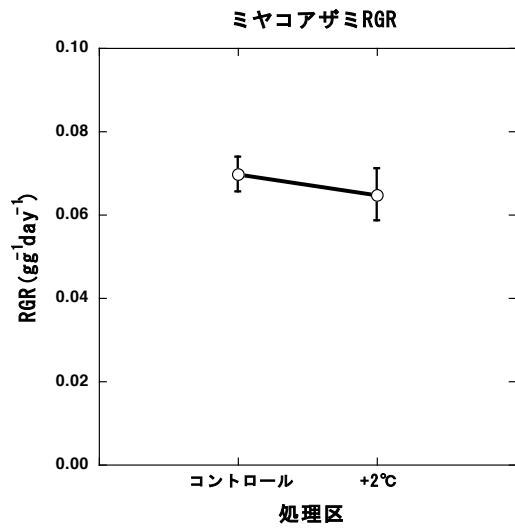


図 56 異なる温度条件下で栽培したミヤコアザミの生長解析結果

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 ヶ月間栽培した。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=10。

☒ 57