

卒業論文

題名

群馬県内の里地における地域の自然再生に
関する環境科学的研究

学籍番号 14602014

氏名 岡村 亮吾

指導教員名 石川 真一 教官

平成 30年 1月 17日 提出

概要

県内には絶滅危惧種 A のように、近年の自生地の減少にともない来年度から絶滅危惧 I A 類に分類されることが決まった種もあり、川岸の開発などにより水辺の植物の生育環境は年々悪化していると言える。また開発などの影響がなくても、台風などの洪水によって水辺の植物の自生地は絶えず危険にさらされている。水辺や林床などさまざまな環境があるビオトープを、絶滅危惧種の緊急的な保護地としていくことは有効であると考えられる。

群馬県内には自然再生を目的として造成され育成管理されている大型ビオトープ（チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープ）が存在している。過去には絶滅危惧種 A をチノー・ビオトープ内に、本年度は絶滅危惧 I A 類トチカガミをチノー・ビオトープ内に移植を行っており、今後はチョウジソウなど自生地が減少している種の移植をビオトープ内に行っていく必要がある。そのためにも希少種の増加を促進する方策を検討するために必要な生態学的知見を蓄積することを目的に、2010 年 10 月に竣工したチノー・ビオトープ（群馬県藤岡市森）、男井戸川調整池（群馬県伊勢崎市豊城町）で出現植物種の記録を主とした現地調査を行った。加えて、移植する種の生育条件を把握するためにも、希少種を中心に発芽実験、生長解析を行った。

チノー・ビオトープでは 2017 年度（4-9 月）の計 4 回の調査により在来種 85 種、外来種 40 種の計 125 種が確認された。出現種数に大きな変化は無いと言えるが、チノー・ビオトープ竣工直後に比べると約 2 倍の種数が継続して確認されていることになる。

生育が確認できた種の中には竣工直後から確認されている準絶滅危惧種のコギシギシ、2011 年度から確認されている準絶滅危惧種のカワヂシャとミゾコウジュの生育が確認できた。また生息地の確保のため、当地に移植されている県の指定する絶滅危惧 I A 類のアサザ、絶滅危惧 I B 類のササバモ、絶滅危惧種 A を本年度も確認することができた。

チノー・ビオトープの帰化率は 2017 年度で約 32%であった。例年 30%ほどで平衡状態が続いている。また、過去に多数みられた園芸種の種数は、今年度は 3 種と減少傾向にあり、引き抜き除去の効果が出ているといえる。

男井戸川遊水池では 2017 年度（4 月、5 月、9 月）の計 3 回の調査により在来種 72 種、外来種 31 種の計 103 種が確認された。本年度の調査ではじめて、国の指定する絶滅危惧 II 類、県の指定する絶滅危惧 I B 類に分類されているキタミソウの生育が確認された。また、2012 年度より継続し準絶滅危惧種のコギシギシとカワヂシャを確認した。加えて、本年度も 2012 年度を最後に確認できず、2015 年度の調査で再び確認された準絶滅危惧種のみゾコウジュを確認することができた。過去の調査と比較すると、年を追うごとに植物種が着実に増加しているのがわかる。帰化率も約 30.1%と減少傾向にあり、継続した外来種の引き抜きや刈り払いなどの成果が出ていると考えられる。

このように、これらのビオトープは周辺に生態系が豊かな休耕田が多数存在するなど

周囲の環境にも恵まれていることもあり、絶滅危惧種が生育しやすい環境にある。調査地で確認された植物には、ビオトープの目標となるべき里地・里山の植物、または類似の植物も確認されているため、生物の保護上重要性の高い地域であると言える。

大型ビオトープでは、育成管理のための経費・労力の規模も大きなものとなる。特に、外来植物の除去においては、相当の労力を費やすこととなるが継続的な育成管理が行われることにより、生物相、物理化学的環境条件の多様性が実現される。

発芽実験では、キツネアザミ、ミゾコウジュ、ナズナ、イヌトウバナが高温帯で高い発芽率を示し、春季から夏季にかけて発芽する特徴があることが分かった。またナガバギシギシ、ハルノノゲシは全ての温度帯で高い発芽率を示し、一年中気温に関係なく発芽することが分かった。は産地ごとの発芽率の違いが見られた。

絶滅危惧種 A を異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することがわかり、また浦野（2013）は同種の生長期のピークが7～8月であることを明らかにしている。よって、草刈りをそれ以前に行い、光環境を整える必要があると考えられる。同様に、ミゾコウジュ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、イヌビエ、コギシギシ、チョウジソウを異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することが明らかになり、他の植物に被陰されないよう継続的な周辺管理が不可欠である。

また2種類の外来種であるアメリカセンダングサ、ナガバギシギシを異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することが明らかになった。陽当たりのよいところに生育する本種を中心に駆除を行う必要がある。オトコエシは同様に異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、13%ほどの光条件下で最も生長した。これは本種が林床のような光条件が少し悪い環境で生育していることが原因と考えられる。

ビオトープの管理の中で最も重要なことは周囲の自然から独立させず、調和できるようにすることである。特定の種を特別扱いしすぎると全体の多様性が失われてしまう。ビオトープの目的は対象地域本来の自然環境を復元し、保全することにある。ビオトープは、人為的な生物種の導入ではなく、在来種が自然に移入・定着するような管理と、外来種の積極的駆除といった二つの育成管理を同時に両立させていくことにより、生物多様性と地域特性を持つ自然を守ることが可能になるのである。

目次

はじめに	3
生物多様性	3
生物多様性条約	4
生態系	5
生態系サービス	6
生物多様性の危機	7
外来種・外来生物	9
外来種がもたらす影響	10
里地里山とは	12
里地里山の生態系	13
レッドリストとレッドデータブック	15
ビオトープとは	17
人工ビオトープ	18
ビオトープ整備の七原則	19
大型ビオトープの実例	19
本研究の目的	20
調査地概要	21
チノー・ビオトープ	21
男井戸川調節池ビオトープ	21
観音山公園	22
いせさき聖苑	22
研究方法	23
植物相調査	23
材料植物	23
種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験	25
異なる環境条件下における栽培実験	26
生長解析	27
統計解析	29
植物データベースの構築	29
結果および考察	30
植物相調査	30
植物データベースの構築	34
種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験	34

異なる光条件下で栽培した植物の生長解析.....	41
異なる温度条件下で栽培した植物の生長解析.....	52
結論.....	53
謝辞.....	56
引用文献.....	57
引用ウェブサイト.....	58

はじめに

生物多様性

生物多様性という言葉は、1992年にブラジルのリオデジャネイロで開かれた地球サミットで、「気候変動枠組条約」とともに採択された「生物多様性条約」を中心に展開している地球環境保全の取り組みと関連させてその意義を理解すべきものである（鷲谷 2007）。

「条約」では、生物多様性（条約では「生物の多様性」と表現）を「すべての生物（陸上生態系、海洋その他の水界生態系、これらが複合した生態系そのほかの生息又は生育の場のいかなを問わない）の間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性および生態系の多様性を含む」と定義している。種内の多様性は、種内の地域個体群間の遺伝的差異や個体群内の個体間の変異など遺伝的な多様性を意味するため、遺伝子の多様性と表現されることがある。すなわち、生物多様性は、遺伝子、種、生態系という異なる生物学階層における多様性を幅広く含む概念である（鷲谷 2007）。

生態系の多様性とは、干潟、サンゴ礁、森林、湿原、河川など、いろいろなタイプの生態系がそれぞれの地域に形成されていることである。地球上には、熱帯から極地、沿岸・海洋域から山岳地域までさまざまな環境があり、生態系はそれぞれの地域の環境に応じて歴史的に形成されてきたものである。一般的に生態系のタイプは、自然環境のまとまりや見た目の違いから区別されることが多いといえるが、必ずしも境界がはっきりしているのではなく、生物や物質循環を通じて相互に関係している場合も多いといえる。また、里地里山のように二次林、人工林、農地、ため池、草原などといったさまざまな生態系から構成されるモザイク状の景観をまとまりとしてとらえ、生態学の視点から地域における人間と環境のかかわりを考えていくことも行われている。

種の多様性とは、いろいろな動物・植物や菌類、細菌などが生息・生育しているということである。世界では既知のものだけで約175万種が知られており、まだ知られていない生物も含めると地球上には3,000万種とも言われる生物が存在すると推定されている。また、日本は南北に長く複雑な地形を持ち、湿潤で豊富な降水量と四季の変化もあることから、既知のものだけで9万種以上、まだ知られていないものまで含めると30万種を超える生物が存在すると推定されている。加えて、わが国の生物相は他の地域には見られない固有種の比率が高いことが特徴だが、わが国の生物相の保全を考えていく際には、種数や個体数だけに着目するのではなく、種の固有性を保全していくことが重要である（生物多様性国家戦略2012-2020）。

例えば、2011年6月に小笠原諸島が、わが国では4番目となる世界自然遺産に登録されたが、これは陸産貝類をはじめ、独特の進化の過程を示すさまざまな種分化が見られる点が評価されたものである。しかし、このような世界的に重要な地域においても、クマネズミ

やグリーンアノール、アカギ等の外来種が入り込み、小笠原諸島にしかいない固有種等の生息・生育地を脅かすなどその影響が問題となっている。

遺伝子の多様性とは、同じ種であっても、個体や個体群の間に遺伝子レベルでは違いがあることである。例えば、アサリの貝殻やナミテントウの模様はさまざまだが、これは遺伝子の違いによるものである。メダカやサクラソウのように地域によって遺伝子集団が異なるものも知られている。なお、メダカは、遺伝的に大きく北日本集団と南日本集団に分かれており、2011年には北日本集団が新種として記載されたが、南日本集団は遺伝的に複数の地域集団に分けられることが知られている（生物多様性国家戦略2012-2020）。

サクラソウの場合、北海道の個体群と中部地方の個体群では遺伝的に異なる。また、中国地方や九州の個体群に、それぞれ遺伝的に区別できる特徴がある。それらすべてを含めたものが、種内の多様性、すなわち遺伝子の多様性とよばれるものである（鷲谷ら 2005）。

このように自然界のいろいろなレベルにおいて、それぞれに違いがあること、そして何より、それが長い進化の歴史において受け継がれた結果として、現在の生物多様性が維持されているのである。生物多様性の保全にあたっては、それぞれの地域で固有の生態系や生物相の違いを保全していくことが重要である（生物多様性国家戦略2012-2020）。

生物多様性条約

人類は、地球生態系の一員として他の生物と共存しており、また、生物を食糧、医療、科学等に幅広く利用している。近年、野生生物の種の絶滅が過去にない速度で進行し、その原因となっている生物の生息環境の悪化及び生態系の破壊に対する懸念が深刻なものとなってきた。このような事情を背景に、希少種の取引規制や特定の地域の生物種の保護を目的とする既存の国際条約（絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約（ワシントン条約）、特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約（ラムサール条約等）を補完し、生物の多様性を包括的に保全し、生物資源の持続可能な利用を行うための国際的な枠組みを設ける必要性が国連等において議論されるようになった。

1987年の国連環境計画（UNEP）管理理事会の決定によって設立された専門家会合における検討、及び1990年11月以来7回にわたり開催された政府間条約交渉会議における交渉を経て、1992年5月22日、ナイロビ（ケニア）で開催された採択会議において本条約は採択された（外務省HP）。

この条約は、生物の多様性の保全、その構成要素の持続可能な利用及び遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分をこの条約の関係規定に従って実現することを目的としている（環境省HP）。

1993年（平成5年）に生物多様性条約が発効して以降、国際社会での取組が進んできた。2002年にオランダのハーグで開催された生物多様性条約COP6では、「生物多様性の損失速度を2010年までに顕著に減少させる」という「2010年目標」を含む「生物多様

性条約戦略計画」が採択された。しかしCOP10で2010年目標の達成状況を評価するため、2010(平成22年)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(GB03)」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(環境白書2010)。

COP10では、2011年以降の生物多様性に関する新たな世界目標を含む今後10年間の戦略計画が採択されるとともに、この世界目標を「愛知目標」と呼ぶことが合意された。

愛知目標は、2050年までの長期目標として「自然との共生」、2020年までの短期目標として「生物多様性の損失を止めるために効果的かつ緊急な行動の実施」が掲げられ、さらに具体的な数値目標を含む20の個別目標によって構成されている(環境白書2011)。

2050年までの長期目標は、「自然と共生する」世界の実現が掲げられているが、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、そのこと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、全ての人々に不可欠な恩恵が与えられる」世界の実現を目指している。

2020年までの短期目標は、生物多様性の損失を止めるために効果的かつ緊急な行動を実施することである。これによって2020年までに回復力のある生態系と、そこから得られる恩恵が継続されることを確保し、そして、地球の生命の多様性を確保し、人類の福利と貧困解消に貢献することを目標にしている。このためには、

- (1)生物多様性への圧力(損失原因)の軽減・生態系の回復・生物資源の持続可能な利用
- (2)遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分
- (3)適切な資金・能力の促進
- (4)生物多様性の課題と価値が広く認知され、行動につながること(主流化)
- (5)効果的な政策の実施、予防的アプローチと科学に基づく意思決定を必要としている。

本目標は、生物多様性条約全体の取組を進めるための柔軟な枠組みとして位置付けられ、今後、各締約国が生物多様性の状況や取組の優先度等に応じて国別目標を設定するとともに、各国の生物多様性国家戦略の中に組み込んでいくことが求められている(環境白書2011)。

生態系

生態系とは、ある環境に内在する物質的な仮定と調和しながら生物群集が存在すること(A. S. Pullin 2002)であり、食物連鎖などの生物間の相互関係と、生物とそれをとりまく無機的環境(水、大気、光など)の間の相互関係を総合的にとらえた生物社会のまとまりのことを示す概念である(国立環境研究所HP)。

生態系はシステムである。単に樹木の集まりとしてみた森林は、生態系とは呼ばない。

森林を生態系としてみるということは、樹木だけでなく、そこで生活する植物、昆虫、脊椎動物、土壌微生物など、あらゆる生物、さらには、土壌、空気、水などの無生物的要素を含む複雑な相互作用のシステムとしてみるということである。生態系は、システムとしては共通する特性を持っており、要素として複数の生物種の個体群などの生物的要素を含み、その間には様々な種間の関係が結ばれ、その全体が非生物学的な環境の影響を強く受ける一方で、生物の活動が非生物学的な環境を作り出すという性格を持っている（鷲谷 1999）。

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って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、必要な資源サービスを交換する共生関係もある。また生態系は、気候、地形、地質など本来の自然環境のみならず、人間活動の影響もうけて多様な姿をとる（鷲谷 2010）。

生態系サービス

豊かな生態系は、私たち人間に、きれいな水や空気を提供するなど、安全で快適な生活を保障し、衣食住に必要な資格を提供する。病気を予防したり直したりする医療品も、古来より生物を原料にしたものが多い。さらに、自然の風景など、精神を高揚させ満足感を与えるさまざまな刺激は、心身ともに豊かな生活を営むに不可欠である（鷲谷 2010）。

ミレニアム生態系評価は、国連の主唱により 2001 年から 2005 年にかけて行われた、地球規模での生物多様性及び生態系の保全と持続可能な利用に関する科学的な総合評価の取組である。生物多様性は生態系が提供する生態系サービスの基盤であり、生態系サービスの豊かさが人間の福利に大きな関係のあることが分かりやすく示された。ミレニアム生態系評価の報告書は、生態系サービスを以下の 4 つの機能に分類し、生物多様性の意義について紹介している。

1) 供給サービス (Provisioning Services)

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。このサービスにおける生物多様性は、有用資源の利用可能性という意味で極めて重要である。現に経済的取引の対象となっている生物由来資源から、現時点では発見されていない有用な資源まで、ある生物を失うことは、現在及び将来のその生物の資源としての利用可能性を失うことになる。

2) 調整サービス (Regulating Services)

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指す。これらを人工的に実施しようとする、膨大なコストがかかる。このサービスの観点からは、生物多様性が高いことは、病気や害虫の発生、気象の変化等の外部からのかく乱要因や不測の事態に対す

る安定性や回復性を高めることにつながると言える。

3) 文化的サービス (Cultural Services)

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指す。多くの地域固有の文化・宗教はその地域に固有の生態系・生物相によって支えられており、生物多様性はこうした文化の基盤と言える。ある生物が失われることは、その地域の文化そのものを失ってしまうことにもつながりかねない。

4) 基盤サービス (Supporting Services)

1)から3)までのサービスの供給を支える基盤的なサービスのことを指す。例えば、光合成による酸素の生成、土壌形成、栄養循環、水循環などがこれに当たる(環境省 2007)。

私たちが将来の世代にもわたってさまざまな生態系サービスを得ていくことを可能としていくためには、その源となる生物多様性を維持・回復していくことが重要である。また、複数の生態系サービス間の関係については、ある生態系サービスの向上を追求した場合、複数の生態系サービスが正の相乗効果によって向上する場合と、ある生態系サービスは向上するものの、他の生態系サービスは低下すると言ったトレードオフ(二律背反)の関係にある場合がある。生態系サービスを通じて生物多様性の保全と持続可能な利用を考えていく際には、このような生態系サービス間の関係性についても考えていくことが必要である。また、生態系は生物の生息・生育の場の提供をはじめ、生物多様性を維持する上で重要なさまざまな機能を有しており、これらの機能を損なうことがないようにしていくことも必要である(生物多様性国家戦略 2012-2020)。

生物多様性の危機

生物多様性の危機とは、人間活動のきわめて大きな影響のもとで、多くの生物種の個体群が衰退するとともに遺伝的な変異を失い、同時に豊かな生態系や景観をも喪失しつつあるという問題である。また生物多様性は、要素の多様性だけでなく、生態的なプロセスの多様性をもふくむ概念であることに留意する必要がある。つまり生物間の関係や、例えば洪水や山火事など、その場での生物の生活を規定する物理的プロセスをふくむ。

「生物多様性の危機」は、今ではもっとも深刻な地球環境問題の一つとして認識されており、その保全は、国際的にも国内的にも重要な社会目標になっている(鷲谷 2001)。

「生物多様性国家戦略 2012-2020」の中で、原因や影響のタイプによって、人間活動の負の影響を4つに整理したものが、生物多様性を脅かす「4つの危機」である。

第1の危機(開発など人間活動による危機)

第1の危機はもっとも直接的に生き物の棲みかを奪う人間活動と言える。市街地化や森林伐採、河川改修、沿岸部の埋め立てや護岸建設、農地の圃場整備などの開発に伴う物理的な環境の劇的な変化により、多くの生物の生育場所の条件が悪化し、また失われてきた。切り開かれた道は、森林の光や水分環境を変化させ、また森林を分断し、広大

な森林を必要とする生き物の棲みかを奪った。河原は、かつては大雨によって水量が増えた際に、もともと地表を覆う植物が流され、そうした場合は、明るい環境を好む種の生育場所となっていたが、堤防やダム建設によって固有の生き物が失われている。

乱獲や、希少種を対象とした鑑賞・商業目的での盗掘など、生き物のもつ繁殖力を超えた過剰な利用も、直接的に生き物を減らす人間活動の1つである。押し寄せる登山客や観光客による踏み荒らしも、回復の遅い高山や湿地などの植生に深刻な影響をもたらしている。

第2の危機（自然に対する働きかけの縮小による危機）

今後、日本では、少子高齢化による急速な人口減少が起こると考えられている。また、生活様式・産業構造の変化により、都市部への人口の集中、農林業の衰退が起こっている。これらに起因する、中山間部での人間活動の低下によっておこる問題が、アンダーユースとも呼ばれる、第2の危機である。

里地里山のような、長い年月、人とのかかわりがあった生態系は、人間活動によって維持された環境に依存する種が多数生息している。平野部の氾濫原は、多くが田に変えられてきたが、田や水路を代わりの棲みかとして生き残った種が多く生息する。また、里山では、薪としての利用などによって木々が適度に間引かれ、明るい林が保たれてきた。また牧や茅場は、放牧や草刈り、火入れなどによって維持されてきた明るい草原環境で、温暖湿潤な日本では、人間活動なくしてはすぐにササや樹木などの丈の高い植物が生い茂ってしまう。これらの生き物や生態系は長い間、人間と共存してきた。そういった生き物や生態系が、人による利用が減ることで、失われつつある。

また、人間活動によりこれまで個体数が抑えられてきた大型の哺乳類、サル、シカ、クマ、イノシシなどが、農林業の衰退や狩猟圧の低下などによって、数を増やし、農作物被害などの人間との確執、食害による植生の急激な衰退などを引き起こしている。

第3の危機（人間により持ち込まれたものによる危機）

人間は、車両、鉄道、航空機、大型船舶など、高速で長距離を移動可能な交通・輸送手段を発達させた。これらの手段により輸入穀物に混ざった野生植物の種子や穀物の害虫、ペットとして取引される哺乳類、魚類、両生類、爬虫類、昆虫など様々な動物、花壇の花々も多くが海外から移動してきた。これらの外来生物は、栽培・飼育下でしか生きられないものも多い一方で、一部の種類は野外へと逃げ出し、在来の生き物を食べ尽くしたり、巣場所などの棲みかを奪ったり、繁茂して他の生き物が生育できないようにするなどの脅威となっている。外来の新たな病原体も、抵抗力をもたない在来の生き物には、思いがけない重大な症状をもたらす。逆に、クズやイタドリ、マメコガネなど、日本から海外に「輸出」された侵略的な外来生物もいる。

殺虫剤や除草剤などを含む、様々な化学物質も、人間が生態系に持ち込んだものであ

る。これらが、野外の生き物にどのような影響をもたらしているのかは十分にわかっていない。近年、ネオニコチノイド系の殺虫剤が、マルハナバチなどの送粉昆虫をはじめとする様々な昆虫の減少の原因となっている恐れがあるとして、影響の評価が進められている。

第4の危機（地球環境の変化による危機）

IPCCの第5次報告書では、地球の温暖化が起きていことは「疑う余地がなく」、人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高いと報告されている。気温の上昇とともに、強い台風など極端な気象現象が増加するなどの気候変動が起きていると考えられ、また、海水へ溶解する二酸化炭素濃度が高まり、海洋の酸性化を引き起こしていると考えられている。これらの、人間活動に起因すると考えられる、地球規模での環境の変化が、第4の危機です。第4の危機は、広域で影響が起これ、誰が直接的な原因となっているのかを特定するのが難しいという点で、第1の危機と異なる。

気候変動により、これまで生育していた地域の気候条件がもはや生育に適さなくなった生き物は、より適した気候の場所に移動することができれば生き延びられる可能性がある。しかし、現在起きている気候の変化はとても速く、多くの生き物にとって、移動が追いつかない速さである可能性がある。海水面の上昇の影響を受けやすい沿岸部の種や、逃げ場のない山頂付近に生育する高山植物などは特に気候変動に脆弱であると考えられている（国立環境研究所HP）。

「4つの危機」は、それぞれが独立しているわけではない。たとえば、十分に高い移動能力を持った生き物は、適した気候の場所に移動することで気候変動（第4の危機）に対応することができる可能性があります。開発（第1の危機）により、適した気候の場所が生育可能な状態で残っていないのであれば、生き延びることはできない。道路開発（第1の危機）によって森林の光環境が変化した結果、外来生物（第3の危機）が侵入することもある（国立環境研究所HP）。

生物多様性の喪失は一般的には不可逆的な変化であり、それを喪失前の状態に戻すことはむずかしい。自然再生の取組によって、生態系の機能の一部またはその大部分を回復させることができたとしても、いったん絶滅した種や個体群は戻ってこない。また、その喪失は、種間関係を伝わる連鎖によって重大な生態系の機能不全を招く可能性がある。すなわち、帰結としてなにがもたらされるか予測が難しく、ときに重大な帰結がもたらされる可能性もある（鷲谷 2007）。

外来種・外来生物

人間によって自然分布域以外の地域に移動させられた生物を「外来生物 / 外来種」「侵

入生物 / 侵入種」「移入生物 / 移入種」などと言う。貿易大国の日本では、これまでに 2000 種を超える外来生物が記録されている。外来生物は、移動先で繁殖集団を形成し(定着または帰化と呼ばれる)、その土地の生態系・農林漁業・人間の健康や日常生活などに対して影響を及ぼすことがある。大きな影響を及ぼすものを、特に「侵略的外来生物」といい、世界的な問題となっている(国立環境研究所 HP)。

外来種の移入経路は、三タイプに分けられる。意図的導入、目的があつて導入されたが逸出(逸出導入)、非意図的導入である。

意図的導入はさまざまな経路があるが、理由としては経済的利益目的や、生物的コントロール目的、緑化などの環境整備目的などにより移入された。

例えば有害な動植物を駆除するために、キツネ、イタチ、マングースなどの食肉類や、寄生蜂やダニを生物的コントロールのために意図的に放したケースもある。しかしその多くは、目的の獲物以外を襲って、さらに在来の生態系に被害を及ぼしたものが多い(川道 2001)。

逸出導入の経路は、おもに飼育下の動物や養魚場の魚、植物園や個人の庭園からの脱出である(川道 2001)。以下に述べるマイマイガのケースは一つの典型例であろう。1869 年に絹糸の研究のために、フランスから北米に持ち込まれたこの蛾は、マサチューセッツ州の昆虫学者の家から逃げ出したといわれる。1889 年に最初の大発生が認められ、樹木を丸裸にするほどだった(ブライト, 1999)。現在でも年に 21 km ずつ分布を拡大し、1991 年には 520 万平方キロに侵入している(OTA 1993)。

非意図的導入の経路はさまざまであるが、国際間の貨物輸送量や人間の移動が増大した結果、思いがけないところで生物が移動する。その経路は、よほど慎重に調査を行わないと見逃してしまうことも多いだろう。もっとも典型的な非意図的導入は、船のバラストに混入した例であろう。船のおもりとして積みこまれた土、砂礫には、多くの植物種子、地表性甲虫、土壌生物が含まれていた。バラストは港に積み上げられ、そこから動植物が逃げ出し広がっていった。1880 年以降船のバラストとして水が使われるようになった(川道 2001)が、現在バラスト水は世界中で 1 億トンが毎年運ばれ続けている。一週間で 1 万 5000 種の生物(原生生物、クラゲ、線虫類、小型の甲殻類や貝類、海藻類)が運ばれる(Carlton, 1999)。例えば日本のバラスト水をニュージーランドで放出したため、ワカメが海岸で繁茂して問題になっている(川道 2001)。

外来種がもたらす影響

外来種の生物多様性への影響は大きい。なかでも顕著な有害性を示す外来侵入種は、移入先の生態系の中でキーストーン種としての役割を果たし、生物群集の構造を変化させてしまう。それまであった生物間のバランスを変化させ、在来の種は、それまでとは異なる生存をめぐる競争にさらされる。直接の捕食圧やニッチを奪われることで、特定の種の個体数を激減させる場合も多い(川道 2001)。

農地、市街地、人為的に改変された沿岸域など、在来の生物がすめない環境に適応している外来生物は、競争相手がなく、侵入・定着に成功しやすい。たとえ在来の競争相手が存在しても、外来の生物は、「生態的に解放」されているため、在来種よりも有利である。つまり、病害生物や天敵などの影響を受けにくく、その分、在来の生物よりも生き残りやすい。そのため同じような環境の要求性（ニッチ）をもつ在来種との競争に強い。

例えば、温室トマトの受粉用に導入されたセイヨウオオマルハナバチは、北海道で野生化して、急速に分布域を広げている。その理由として、セイヨウオオマルハナバチは餌（花と花粉）を園芸植物も含めてより広範囲の花から得られること、営巣場所の取り合いになったときに在来種よりも強いこと、などが考えられている（鷲谷 2010）。

外来種がもたらす影響は、以下のように分類整理される。

→生態系への影響

- ・外来種が在来の生き物を食べてしまうことにより、本来の生態系が破壊される。
- ・外来種が日陰を作ってしまう、在来の植物の生活の場を奪う。在来の生物と同じ餌を食べることにより、餌を巡って競争が起こる。
- ・近縁の在来種と交雑して雑種を作ってしまう、在来種の遺伝的な独自性がなくなる。

→人の生命・身体への影響

- ・毒、あるいはかまれたり、刺されたりするなどによる被害。

→農林水産業への影響

- ・農林水産物を食べたり、畑を踏み荒らしたりすることによる被害（環境省 HP）。

外来生物は、競争、捕食、病害を通じて、あるいは生態系の物理的基盤（環境）の改変を通じて、侵入先での在来種の絶滅の危険を増大させる。それは、次のような理由による。

一方が犠牲を強いられるような生物間相互作用であっても、いずれも在来種で進化の歴史を共有していれば、被害を被る側が防御機構を適応進化させているなど、何らかの生態的な対抗手段や絶滅抑止の機構が存在する。そうでなければ、すでに絶滅が起こったはずだからである。共存の事実、すでに起こった適応進化による「調整」を意味するのである。ところが、外来種と在来種の間には、歴史的に未だそのような調整が働いていない。そのため、防御の術を持たない在来種が食べ尽くされたり、重篤な疫病にかかったりして、絶滅に追いやられる可能性がある。つまり、外来種の侵入は一方的に在来種が犠牲になるような生物間相互作用をもたらしやすい。

一方で、地理的隔離によって独自の進化の道を歩んできた近縁種が人為的に導入されることによって、（本来その地域にいた）在来種との間に雑種をつくり、在来種の純系を失わせることも、在来種の絶滅や遺伝的な多様性の喪失という生物多様性保全上の大きな脅威となる。

外来種がもたらす影響は不可逆的な物で、外来種および交雑の結果生じた子孫を全て

駆除しない限り、元に戻すことはできない。この意味で外来種は、近年では、長期的に見れば生育場所の喪失や分断・孤立化、乱獲・過剰利用などより、生物多様性に最も深刻な影響を与える要因として認識されている（鷲谷・村上 2002）。

里地里山とは

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）。

里山は、現代ではかなり多義性をもった言葉であるが、それが人間の手によって管理された自然、すなわち「二次的自然」を主な構成要素としている点は大多数の認めるところである。しかし、里山にいかなる二次的自然が含まれるかは、人によって解釈が異なる。雑木林やマツ林などの二次林、すなわち、かつての薪炭林や農用林を里山に含めること、茅場としての採草場が里山に含まれることは、誰しも異存はないだろう。問題は、農地、集落といった土地利用をも含めて里山と呼ぶかどうかである。二次林、草地、農地、集落は、セットとなって伝統的農村景観を形成していた（武内 2001）。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）。

里地は二次的自然の重要性を訴えるための言葉として近年使われてきたものである。里地の概念を広めたのは1994年に策定された環境基本計画である。この計画では、「自然と人間との共生の確保」が長期的な目標のひとつとされた。またそれを実現するための施策として「国土空間における自然社会的特性に応じた自然と人間の共生」が提案され、自然地域ごとの施策の展開が求められた。この自然地域には、山地自然地域、里地自然地域、平地自然地域、沿岸海域が含まれている。里地は、山地と平野の中間地域と位置づけられた。

環境基本計画では、里地自然地域を、おおよそ次のようにとらえている。すなわち、ここには二次的自然が多く存在し、野生動物と人間が共存してきた地域である。この地域は、農林業活動などさまざまな人間の関与によって環境が形成された地域である（武内 2001）。

薪炭林と農用林という言葉は、伝統的な農村生活における樹木の役割を表現した言葉である。薪炭林とは、薪や炭を生産するための林であり、十数年に一回の伐採によって維持される。伐採にしてもその切り株からまた芽が出て林が再生される。これが「萌芽更新」と呼ばれる林の再生サイクルである。農用林は、伝統的な農業に不可欠な堆肥をつくるために必要な落枝・落葉や、低木・下草を集めるための林であり、薪炭林と兼ねることもできる。これらの林は、おもにマツ林や雑木林から成り立っており、人為によつ

て二次的に成長した林という意味で「二次林」と呼ばれる。戦後しばらくして、農業や人々の生活が、化学肥料や化石燃料に依存し始めると、薪炭林や農用地としての役割が十分果たせなくなった（武内 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。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変化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）。

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、里山という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）。

農村での人々の暮らしや土地利用、植生管理方法は、古来、社会の情勢に応じて変化し続けてきた。変化する農村の人間活動の中で、過去の管理手法を地域全体に採用することによって多様性を維持し続けることは現実的でない。過去の植生や管理を理想とするだけでなく、新たな管理の枠組の中で多様性の維持に効率的に取り組む意義も大きいと考えられる（山田 2010）。

里地里山の生態系

里山に対する関心の高まりのなかで、生物多様性の保全との関係性が強調されている。おもに1990年以降の生態学的研究により、里山のランドスケープにおける構造的特徴や人為的攪乱の存在が、生物多様性と大きな関係性があることが示されている（齊藤ら 2012）。

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、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（鷲谷 2011）。里山が多様な土地利用のモザイク構造をなしていることは、それぞれに異なる動植物の生息・生育を可能にし、全体とし

て高い生物多様性を実現する。また、複数の異質な生息場所を必要とする動物種については、適切な空間スケールでの生息地のモザイクはこれに答えることができる（齊藤ら 2012）。また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（鷺谷 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、用材林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。このため二次林の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。（山田 2010）。

里山がもたらす生態的サービスは多岐にわたる。里山における人間活動によって維持されてきた豊富な生物多様性は、それらの独特な生態系構造・機能を形成する重要なものであり、それがさまざまな基盤サービスを生み出す基礎となっている。そして、その基盤サービスは人間の福利をもたらすさまざまな供給、調整、文化的サービスをもたらしている（齊藤ら 2012）。

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）。

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）。

レッドリストとレッドデータブック

地球上にはさまざまな種類の野生生物が生息、生育している。その進化の過程では、絶滅して地球上から姿を消してしまった生物も多い。このように、絶滅することも自然のプロセスなのである。しかし、今日の絶滅は、こうした自然のプロセスとはまったく異なるものである。さまざまな人間活動の影響で、かつてない速さと規模で絶滅が進んでいる（環境省 HP）。現在は、六度目の大絶滅の時代のまっただなかにある。いま、一年間におよそ4万種もの生物が、絶滅しつつあると推測されている（鷲谷 2010）。

野生生物の保全のためには、絶滅のおそれのある種を的確に把握し、一般への理解を広める必要がある（環境省 HP）。また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）。

レッドリストとは野生生物について、専門家で構成される検討会が、生物学的観点から個々の種の絶滅の危険度を科学的・客観的に評価し、その結果をリストにまとめたものである。レッドデータブックとはレッドリストに掲載された種について、それらの生息状況や存続を脅かしている原因等を解説した書籍である（環境省 HP）。

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

IUCNでは、それぞれの専門分野の研究者グループが、野生生物を調査した結果に基づき、野生生物1種ごとの絶滅危機の度合いを査定している（WWF ジャパン HP）。

レッドリストにおける危機のランクは、

- ・ Extinct : EX 絶滅
- ・ Extinct in the Wild : EW 野生絶滅
- ・ Critically Endangered : CR 絶滅危惧 I A 類
- ・ Endangered : EN 絶滅危惧 I B 類
- ・ Vulnerable : VU 絶滅危惧 II 類

- ・ Near Threatened : NT 準絶滅危惧種
- ・ Least Concern : LC (環境省の呼称該当なし)
- ・ Data Deficient : DD 情報不足

とわけられており、ランクは再評価のたびに変化し、個体数や生息域の減少が確認された種は、より危機の高いランクに移され、逆に回復が認められた種については、危機ランクが下がるか、リストから外されることになる (WWF ジャパン HP)。

このランクの中で一般的に「絶滅のおそれのある野生生物」とされているのは、絶滅危惧ⅠA類、絶滅危惧ⅠB類、絶滅危惧Ⅱ類の特に絶滅の危機が高いとされる3つのカテゴリーにランクされている野生生物である。また、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種 (NT) とされる (須田ら 2009)。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 (動物は約1万2000種、植物は約1万1000種) の野生生物が記載された。レッドリストに掲載されたこれらの野生生物は、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のである (WWF ジャパン)。

日本は、ほぼ同じ緯度の北半球温帯地域と比べ、植物の種類が豊かなことが世界的に知られている。日本には、シダ植物と種子植物をあわせると、約7000種類の植物が自生している。その4割に相当する約2900種類は、世界でも日本だけに自生する固有植物である。そのなかには、シラネアオイ科に分類されるシラネアオイのように、とくに近縁な植物がない、植物学上貴重な植物もあれば、ユリ属やギボウシ属の植物のように、園芸植物として世界的に有名な植物も数多く含まれている。しかし、日本の野生植物の多くに、絶滅の危機が迫っている。環境省が2000年に発表した植物レッドデータブックには、25種類が「絶滅」、1665種類が「絶滅危惧」としてリストされた。これらをあわせると、日本の野生植物の約24パーセントに達する。(矢原 2003)。

わが国の貴重な生物を保護するための基準として、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。1994年には、日本植物分類学会絶滅危惧物問題専門委員会が、環境庁 (当時) から植物レッドデータブックの改訂のため調査事業の委託を受け、約400名の植物研究者・愛好者の協力を得て調査を開始した。この調査にもとづき、環境庁は1997年に新しい植物レッドリストを作成した。(矢原 2003)。その後レッドデータブックはおおむね10年ごとに刊行しており。現在のレッドデータブックは平成26年～27年に刊行 (第4次レッドリストに対応) したものである (環境省 HP)。

全国版レッドリストは、植物など一部の分類群では IUCN の定量的判定基準に準拠する、客観的ランク付けがなされている。しかし、定量データの収集が困難な分類群（動物種の多くなど）では、現在でも定性的な判断基準に頼っているため、絶滅危惧 I A 類（CR）と I B 類（EN）の区分も行われていない（須田ら 2009）。

一方で、IUCN 判定基準にも、たとえば生息域の広さや個体数など、植物や鳥類、哺乳類を基準として設定されたと考えられる項目が多く、昆虫など、他の分類群にはそのまま適用できないという問題もある。また個体群動態シミュレーションに基づく定量的な絶滅リスクの評価を行うことができるほど、長期間にわたって多くの種の情報が蓄積されている分類群はほとんどない。データが十分ではない状況のもとで、一律に、「客観的な」数値情報のみで種の絶滅リスクを算出した場合には、絶滅リスク評価そのものが不適切なものとなる危険性がある（須田ら 2009）。

上記のような状況のもとで絶滅のリスク評価を行う場合には、対象となる分類群の専門家の意見を柔軟かつどれだけ客観的に取り込むことが有効である。一方で、種の絶滅リスク評価の基準となる広範囲かつ継続的な生物の分布情報の集積には、市民参加によるデータ収集が今後重要な手段となると考えられる（須田ら 2009）。

ビオトープとは

ビオトープとは、ギリシャ語の「生命：bio」と「場所：topos」の合成語で生物の生息空間を意味する。広義には森林や海洋などの自然、これらを含む地球もビオトープである。生物の多様性の維持や生態系の保護・再生のため、新たに造られる生物の生息空間もビオトープと呼んでいる。ビオトープには、原生林などのように「人の手を排除した自然のままの空間」という考えと、人が自然とが関わり合うことによって多様な生きものが生息できる環境をつくり維持するという考えである。

雑木林や溜池、小川、田んぼなどの日本のビオトープの多くは、自然を人の手から遠ざけるのではなく、人が手を加え、かく乱することによって遷移する植生が逆戻りし、動植物の生育密度や複雑な環境構造が維持されてきた（養父 2006）。

さまざまに区分されるビオトープの中で、生態学的に価値の非常に高い原生的なビオトープを優先的に保護し、環境管理によって里山のようなビオトープの健全化を図り、土木的な工事などによって生物に乏しい都市部のビオトープの価値までを上げようというのが、近年の傾向である。このために、埋め立て地に人工的な水辺のビオトープを用意したりする。つまり、どのような場所でも、保護対策を行えるというのが、自然をビオトープとして整理することの利点で、身近な自然を少し良くする個人レベルのことから、大面積の保護や大規模な自然再生事業までと、対策の範囲は広い。いずれも、ビオトープの生態学的な価値を高め、健全化させる目的があり、投資（資金、投入労力）に

対する生態系への見返り（費用対効果）は原生自然に近づくほど大きくなる（中島 2004）。

現代の日本人は人間生活にとって本来あるべき自然環境や体験の機会が奪われており、それに代わって人工的な環境や装置、商業的な娯楽に取り囲まれて生活しているといつてよい。しかし多くの日本人がいますぐ都市から農山村に転住し、かつてのように自然とともにある生活をおくることは不可能である。したがって、まず都市域においても、幼児でもアクセスしやすい日常の身近な場所に、たとえ小規模でも生きものが生息する空間、すなわちビオトープを創成することが必要なのである。ビオトープづくりには種多様性の保全や野生生物を呼び戻すという目的のみならず、好奇心や感動を触発する自然体験や生物体験の場を確保するという役割も大きいのである（重松 2002）。

人工ビオトープ

人工ビオトープとは、ヒトの関与によって、その環境が造られてできたものを指す。広義には、コナラなどの植樹を行った里山も人工だと言えるが、一般には水辺の創出によってできたトンボ池などが、人工ビオトープの典型と言える。

人工ビオトープを作り、管理する過程では、多くのエネルギーを費やしてしまうことが多い。そのため、可能な限り人力で、その場の資源を活用することが望ましい。それには、面積が大きすぎないということが一つの目安となる（根本 2004）。

一方、生物を保護していく上での生息地には、より大面積であることが望ましい。個々の生息地（コア）が、生物が行き来する老化のような空間「エコロジカル・コリドー（生態学的回廊）」で連結され、ネットワーク化されていると、開発によって分断、孤立、点在してしまったコア同士がつながり、面的な広がりを持つようになる。すると、互いにほかのコアの個体との交配が可能になって、遺伝子の多様性が維持される（長谷川 2004）。

ビオトープの創成は長期的な事業となる。そのため、ビオトープの創成に当たってはビオトープがどのような姿を目指すのかの方向性や方針を固め、イメージを整理し、多くの人々の間で共通の目標と理解を得ることが重要である。そうすることで、関係者に意識の統一が確認できるだけでなく、外部に対する説明も容易にする。短期目標も立てやすくなる上、各自の役割や、現在の能力も整理できる。この将来展望は状況によって見直しても良い。自然相手のことであるので、イメージは何度も変わる方が普通であろう。柔軟な対応は、行為と目標のずれをいち早く察知することにつながり、目標の実現を容易にするばかりか、方向性を見直しも可能にする。結果的に、長い活動への個人負担は軽減される（井上 2004）。

加えて、造成後は、自分たちの行動が計画通りに進んでいるのかを確認するため、監視、観察（モニタリング）を継続することも重要である。モニタリングで得られた結果は、効果や成果の評価指標となるだけでなく、危機を察知する際にも使える。また、モニタリングの頻度が高いほど、目標に対しての「ずれ」をいち早く発見でき、手遅れにならない前に適切な対応が取れるようになる（長谷川 2004）。

ビオトープ整備の七原則

ビオトープの概念が一般化しつつあることと平行して、ビオトープづくりも全国各地で展開され始めている。しかし、多様なビオトープがつくられることは好ましいことなのだが、そこに生物の持続できる空間が確保されていなければ、ただ人間の自己満足で終わってしまう。

なおこの分野でも先進国のドイツでは、ビオトープ整備について次のような「整備七原則」が定められ、厳格な姿勢で取り組んでいる。

- ① 整備対象地本来の自然環境を復元し、保全する。そのための自然環境の把握は必要条件（この復元の中には創造も含む。創造の場合は「この地本来」となる）
- ② ①の理由により、設計に際しては、利用素材（生物も非生物も全て含む）はその地本来のものとする。
- ③ 回復・保全する生物の持続的な生存のために、それ相応の水質の用水を確保する。
- ④ 純粋な自然生態系の保全・復元のために人が立ち入らない中核ゾーンを設定する。
- ⑤ 設計図面に基づき整備した当初のビオトープは完成半ばであり、その後自然が仕上げで完成状態となる読みが設計技術には必要である。
- ⑥ ビオトープ整備は行政の思惑のみで進めないで、何らかの形で市民参加を図る。
- ⑦ ビオトープ・ネットワーク・システム構築のために、当該ビオトープの整備後のモニタリングを十分に行う。

この七原則は、ドイツにおけるビオトープづくりの歴史の中から確立されたものであり、本来のビオトープづくりには欠かせない原則である（秋山 2000）。

大型ビオトープの実例

アドバンテスト・ビオトープ

群馬県邑楽群明和町、株式会社アドバンテスト群馬 R&D センター2 号館敷地内に 2001 年 4 月に竣工したもので、面積が 17,000m² と民間企業所有としては国内最大級のビオトープである。本ビオトープの育成管理について、竣工時から群馬大学社会情報学部環境科学研究室の石川真一教授が、生態学的学術調査に基づいたアドバイスをを行っている。ビオトープの趣旨にそぐわない外来植物が確認された場合は、その除去・時期を検討しアドバンテスト社に提案してきた。アドバンテスト社はこれを基にしてビオトープの管理を行っている。

チノー・ビオトープ

群馬県藤岡市森、株式会社チノー藤岡事業所敷地内に造成された大型ビオトープである。本ビオトープは、記録計、調整計、温度センサー、データロガー、放射温度計など各種試験装置の製品とサービスを提供するチノー社が、環境への取り組みの一環として

自然環境との共生を目的に、2009年9月に新プロジェクトとして計画し、2010年10月に竣工したものである。本ビオトープの面積は約10,119m²である。本ビオトープの育成管理について、設計段階から群馬大学社会情報学部環境科学研究室の石川真一教授が、生態学的学術調査に基づいたアドバイスを行っている。

男井戸川調節池ビオトープ（通称やたっぼり）

群馬県伊勢崎市により、たびたび起こる男井戸川の洪水に備えるため、利根川の支流である男井戸川に造成された調整池である。計画段階において、男井戸川は市街地を流れているので川幅を広げることが難しく、早急な対策を行うためには遊水池をつくることが有効であると考えられたため、治水だけでなく水質改善、生物の成育・生息環境の確保などの点において同時に整備することが基本方針に盛り込まれた。2001年から住民と県との懇談会が開かれ、調整池の管理に対する住民参加を促進している。この段階から、本ビオトープの育成管理について群馬大学社会情報学部環境科学研究室の石川真一教授が、生態学的学術調査に基づいたアドバイスを行っている。また、2008年11月から住民参加型の検討委員会が開かれており、利活用計画を検討してきた。2009年に県（河川管理者）としての技術的・行政的な検討を加えた最終的な利活用計画が確定した。これにより、本調整池の一部を水生ビオトープとして整備することとなった。2012年3月に竣工したばかりである（都丸 2013）。

本研究の目的

県内には自然再生を目的として造成され、育成管理されている大型ビオトープ（チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープ）があり、チノー・ビオトープには2013年の調査で在来種99種、うちカワヂシャ、ミゾコウジュ、コギシギシ等の絶滅危惧種の生育が確認されている。また伊勢崎市男井戸川調節池では2000年の評価では「群馬県内絶滅」とされたアサザの生育が確認されている。また2012年の調査では、準絶滅危惧種のカワヂシャと、新たに準絶滅危惧種のミゾコウジュ、絶滅危惧Ⅱ類コギシギシの生育を確認することができた。また2017年の調査の際には、県で絶滅危惧ⅠB類に指定されているキタミソウの生育も確認されている。これらの絶滅危惧種は栽培方法が確立されていないため、継続的に栽培方法の実験や生長解析を行う必要がある。また大型ビオトープは、目標である自然再生を達成する上でも、長期継続的な調査・報告をするモニタリングが必要不可欠である。そのため現地調査を行い、現地の植生の現状を精確に把握し、データベース化する必要がある。

調査地概要

本研究で調査地とした大型ビオトープは2つで、いずれも群馬県内の平野部の、従来の農耕地が都市化または工業団地化された場所に位置している（図1）。またいずれのビオトープも設計または竣工段階から、群馬大学社会情報学部環境科学研究室の石川真一教授が、生態学的学術調査（モニタリング調査）に基づいたアドバイスをを行い、育成管理を続けている。また本年からビオトープ周辺の環境を調査するため、の生育が確認された高崎市観音山公園（旧カップピア）および・の生育が確認されたいせさき聖苑において調査を行った。

・チノー・ビオトープ（群馬県藤岡市森）

群馬県藤岡市森、株式会社チノー藤岡事業所敷地内に造成された大型ビオトープである（図2、写真1,2）。2009年9月に新プロジェクトとして計画し、2010年10月に竣工したものである。本ビオトープの面積は約10119㎡である。当地にはかつての水田が埋まっており、この土地を掘り起こし、ビオトープ内に小規模な水域を造成して、土を撒きだして「水田ビオトープ」が創出されている。本ビオトープの周辺にはJR高崎線、国道17号が走り、敷地内600m北側には烏川が、約1km西側には鑓川が流れている（石田2015）。

2016年度（4-10月）の計5回の調査により在来種92種、外来種44種の計136種が確認された（三輪2017）。今後も出現植物の調査と管理方法の検討を行う必要がある。

・男井戸川調整池ビオトープ（通称・やたっぼり）（群馬県伊勢崎市豊城町）

群馬県伊勢崎市により、たびたび起こる男井戸川の洪水に備えるため、利根川の支流である男井戸川に造成された調整池である（図3、写真3,4）。計画段階において、男井戸川は市街地を流れているので川幅を広げることが難しく、早急な対策を行うためには遊水池をつくることと有効であると考えられたため、治水だけでなく水質改善、生物の成育・生息環境の確保などの点において同時に整備することが基本方針に盛り込まれた。2001年から住民と県との懇談会が開かれ、調整池の管理に対する住民参加を促進している。また、2008年11月から住民参加型の検討委員会が開かれており、利活用計画を検討してきた。2009年に県（河川管理者）としての技術的・行政的な検討を加えた最終的な利活用計画が確定した。これにより、本調整池の一部を水生ビオトープとして整備することとなった。2012年3月に竣工したばかりである（都丸2013）。

造成開始前の2008年度に行われた現地調査により、調整池予定地の一部に水を引いてつくられた湿地において、水田・湿地生在来種23種、畑地雑草14種、外来種18種が確認された。この中には直近の自生地（）から2000年代中頃に移植されたアサザを

はじめ、オモダカ、カワジシャ、シヤクジモの計 4 種の絶滅危惧種が含まれている（高橋 2009）。こうした保護の重要性が高い植物相を水生ビオトープ内に再生するため、群馬県中部県民局・伊勢崎土木事務所によって、当地の表土の一部を別所に温存して調整池整備後に再配置し、土壌シードバンクから植生ビオトープ内に再生する計画が実施されている（関 2016）。当調整池は竣工直後より、群馬県伊勢崎土木事務所および地域団体である「殖蓮地区自然環境を守る会」が共同して草刈りなどの管理を行っている。

男井戸川調整池では、2016 年度（4 月、5 月、9 月）の計 3 回の調査により在来種 69 種、外来種 34 種の計 103 種が確認され、2010 年に初めて行われた当調整池での植物相調査以降、最多の種数となった。うち絶滅危惧種はコギシギシヤカワヂシャなど 6 種が確認されているため、今後も出現植物の調査と管理方法の検討を行う必要がある（須永 2017）。

・観音山公園（高崎市石原町）

群馬県高崎市が、観音山丘陵に位置する 2003 年に閉園したカップピア跡地に整備した面積は 15.3ha ほどの公園である。2007 年 3 月 30 日に高崎市はカップピアを運営していた高崎フェアリーランド（株）から当地を買収し、2007 年 7 月から遊具類や建造物の撤去を行い、2017 年 7 月 17 日に全面開園した。観音山丘陵は高崎市西南部に位置し、その範囲は碓氷川、烏川および市境界線に囲まれた区域である。市街地の西側約 2～3km 前後のところに位置している。現地の自然保護団体が、当地に国・県ともに準絶滅危惧種とした の生育を確認し、本年から本研究室が個体数の調査を開始した。今後は継続的な個体数の調査や、管理方法について検討を行う必要がある。

・いせさき聖苑（伊勢崎市波志江町）

群馬県伊勢崎市が運営する斎場である。現地で群馬県指定の絶滅危惧 類の と、 の生育が確認され、去年度から本研究室が調査を行っている。今後も継続的な個体数の調査や、管理方法について検討を行う必要がある。

研究方法

植物相調査

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法である。そのため、植物種多様性の低い地域以外では見落とす種が多くなる。そこで、本調査では広範囲にわたる生育植物種をリストアップする植物調査を行った。開花・結実している植物を中心として目視による確認の後、ポータブルGPS (GARMIN GPSmap62SCJ) の内蔵カメラで撮影することにより生育位置を記録した。撮影した写真は Garmin Base Camp に取り込むことによってジオタグ情報を読み込み、これらを用いて各植物の分布図を作成し、撮影した各植物の写真と共に各ビオトープの出現植物種データベースに取りまとめた。データベースの一例を (図 6, 7) に、調査の実施日程を (表 1) に示す。

材料植物

主に 2 つの調査対象ビオトープに定着している以下の植物を、モデル植物として用いた。また自生地の環境の変化により、今後ビオトープ内で栽培管理していく必要がある植物についても、モデル植物に用いた。

コギシギシ (タデ科、多年草、*Rumex nipponicus*)

本州、四国、九州に分布するタデ科の多年草で、河原や、田んぼのあぜなど低湿地に生育する。国のレッドリスト (2012) では絶滅危惧Ⅱ類に指定されている。群馬県レッドデータブック (2012) では、準絶滅危惧種に指定されている。チノー・ビオトープおよび男井戸川調整池ビオトープに自生する (須永 2017)。

ミゾコウジュ (シソ科、越年草、*Salvia plebeia*)

本州、四国、九州、沖縄に分布するシソ科の越年草で、水辺の裸地的な立地に生育する。河川工事や除草剤散布などにより減少傾向にあることから、国のレッドリスト (2012) では準絶滅危惧種に指定され、群馬県のレッドデータブック (2012) でも準絶滅危惧種に指定されている。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する (須永 2017)。

絶滅危惧種 A

チョウジソウ (キョウチクトウ科、多年草、*Amsonia elliptica*)

北海道、本州、九州、朝鮮半島、中国に分布し、川岸の原野にはえる多年草。国のレッドデータブック (2012) では準絶滅危惧、群馬県のレッドデータブック (2012) では絶滅危惧 IA 類に指定されている。群馬県内では東毛のわずか 1 カ所の河川敷に生育するのみとなっており、種子や挿し木からの保護増殖や、ビオトープなど人の管理による保全が可能な場所への一時退避を実施せざるをえない状況である (石川 私信)。

イヌトウバナ (シソ科、多年草、*Clinopodium micranthum*)

北海道、本州、四国、九州の山地の林内や道ばたなどに生育し、朝鮮半島に分布するシソ科の多年草で、8 月～10 月にかけてわずかに淡紫色をおびた白色の花を咲かせる。アドバンテスト・ビオトープに自生する (須永 2017)。

イヌビエ (イネ科、一年草、*Echinochloa crus-galli*)

原野の廃地、路傍、溝辺に生育するイネ科の一年草本。水田雑草の一種。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する (須永 2017)。

オトコエシ (オミナエシ科、多年草、*Patrinia villosa*)

北海道から琉球列島および朝鮮半島、中国に渡って分布するオミナエシ科の多年草で、日当たりのよい山野によくみられる。チノー・ビオトープに自生する (須永 2017)。

キツネアザミ (キク科、越年草、*Hemistepta carthamoides*)

本州、四国、九州、朝鮮から南の東南アジア、オーストラリアに広く分布するキク科の越年草で、道ばたや田のへりなどに生育する。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する (須永 2017)。

ナズナ (アブラナ科、越年生草本、*Capsella bursa-pastoris*)

郊外の道端、田圃あるいは庭の隅等にはえるごく普通の越年生草本。別名ペンペンサ。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する (須永 2017)。

ハルノノゲシ（キク科、越年生草本、*Sonchus oleraceus*）

日本各地、いたるところの路傍、荒地などに普通にみられる。ヨーロッパ原産であると考えられ、史前帰化植物の一つである。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する（須永 2017）。

アメリカセンダングサ（キク科、一年草、*Bidens frondosa*）

南アメリカ、ヨーロッパ、アジア、オセアニア原産。水辺や湿地を好む。1920年頃に琵琶湖畔、1940年代以降に奄美大島、徳之島、沖縄島で確認され、奄美諸島・沖縄諸島を含むほぼ全国に生育している。外来生物法で要注意外来生物に指定されている（国立環境研究所侵入生物データベース HP）。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する（須永 2017）。

ナガバギシギシ（タデ科、多年草、*Rumex crispus*）

ヨーロッパ、西アジア原産で日本に帰化し、雑草として各地に見られる多年草。茎は直立して高さ 1～1.5m にもなる。移入種（外来種）リストに掲載されている（国立環境研究所侵入生物データベース HP）。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池ビオトープおよびアドバンテスト・ビオトープに自生する（須永 2017）。

種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験

2016年の10月31日にアドバンテスト・ビオトープ内、11月7日に、11月17日に、で採取された絶滅危惧種 A の種子、2016年9月27日に荒牧キャンパス構内で栽培、採取された販売品由来のチョウジソウの種子、2009年5月4日に荒牧キャンパス構内で採取されたナズナの種子、2016年10月20日に藤岡市で採取されたイヌビエの種子、2015年11月4日に西榛名地域で採取されたアメリカセンダングサ、オトコエシの種子、2014年10月16日にアドバンテスト・ビオトープ内で採取されたイヌトウバナの種子、2008年6月19日にアドバンテスト・ビオトープ内で採取されたナガバギシの種子、2016年5月23日に男井戸川調整池にて採取されたコギシギシの種子、2016年5月24日にチノー・ビオトープ内で採取されたコギシギシの種子、2016年6月21日にチノー・ビオトープ内で採取されたミゾコウジュの種子、2015年5月25日にチノー・ビオトープ内で採取されたハルノノゲシ、キツネアザミの種子の計 12 種の種子について実験を行った。各種の種子の採取日時・場所・前処理（冷湿処理の有無）・実験のスケジュールを（表 2）に示す。

イヌビエ、オトコエシ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシ、チョウジソウ、絶滅危惧種 A、アメリカセンダングサの種子の種子は採取後にシリカゲルを用いて十分に乾燥させた後、-80℃のディープフリーザー（MDF-U384, Panasonic）内で冷凍保存されているものを用いた。ナズナの種子は 2009 年に採取後に

シリカゲルを用いて十分に乾燥させた後冷蔵庫で保存されていたが、2013年11月より-80℃のディープフリーザー（MFD-U384, Panasonic）内で冷凍保存されているものを用いた。ナガバギシギシの種子は2008年に採取後に、4℃の冷蔵庫で保存されているものを用い。これらの種子を用いることで、長期の冷蔵または冷凍保存による種子劣化の程度の定量実験とした。

保存されていた種子のうちから健全な種子だけを峻別し、石英砂を敷いた直径9cmのプラスチック製シャーレに成熟した種子を50個ずつ入れ、各々のシャーレに蒸留水を注入した。このシャーレを各植物各処理区あたり3シャーレずつ用意し、温度勾配型恒温器（TG-100-ADCT, NKsystem）に入れて培養した。設定温度は30/15℃、25/13℃、22/10℃、17/8℃、10/6℃の5段階とし、最低34日間培養、発芽数を記録した。記録は培養開始から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見なして数を記録し、取り除いた。また観察日ごとにシャーレに蒸留水をつぎ足し、シャーレの内部が常時湿った状態を保った。こうして得られた最終的な積算発芽率を、最終発芽率とした。アメリカセンダングサ、イヌビエ、チョウジソウの3種については、上記と同様に種子を調整し、冷湿処理を施した後に上記の5段階の温度区で培養する実験、および冷湿処理を行わずに25/13℃区で培養する実験を行った。前処理である冷湿処理は、一般に冬を経験させることによって種子の休眠を解除し発芽を促進させる処理であり、多くの野生植物の種子でその促進効果が確認されている（荒木ら2003）。本研究では、上記と同様に調整したチョウジソウ、イヌビエおよびアメリカセンダングサの種子の入った3シャーレを4℃の薬品保管庫（サンヨー、MEDICOOL MPR-504（H））で保管することによって、2ヶ月冷湿処理を施した。冷湿処理終了後、上記と同様の方法で培養と観察を行った。

異なる環境条件下における栽培実験

前栽培と初期サンプリング

イヌビエ、オトコエシ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ミゾコウジュ、チョウジソウ、コギシギシ、ナガバギシギシ、アメリカセンダングサ、イヌトウバナ、絶滅危惧種A、ナズナの種について、前述の発芽実験で発芽した実生をジフィーピートバンに移植して1ヶ月〜2ヶ月栽培した。その後イヌビエ、オトコエシ、コギシギシ（チノー産）、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ミゾコウジュ、チョウジソウ、ナガバギシギシ、アメリカセンダングサ、絶滅危惧種A（アドバンテスト、 ）の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ポットに1個体ずつ移植し、群馬大学荒牧キャンパス内の圃場で栽培した。なお発芽が不良または実生の生育が不良であったイヌトウバナ、ナズナ、絶滅危惧種A（ 、 ）、コギシギシ（男井戸川産）は栽培実験を行わなかった。

初期サンプリングに際しては、前述のプラスチックポットに植栽した苗の本葉の数の

多さおよび見かけのサイズが大きい順に並べ、これを順番に6区に配分して、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・葉に分けて紙袋に入れ、送風定温乾燥機 (DRS620DA, ADVANTEC) に入れて1週間 80°Cで乾燥させた後、電子式上皿天秤 (BJ210S, Sartorius) で乾燥重量を測定した。葉面積はカラスキャナー (GT-S640, EPSON) を用いて解像度 300dpi、16bit グレーでスキャンした後、ImageJ1.41o (NIH) を用いてドット数を計測した。今回は 148 cm²あたり 2100664 ドットとした。栽培実験のスケジュールを (表 3) に示す。

光強度を調節した栽培実験

寒冷紗を用いて光量子密度を 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圃場に設けた。初期サンプリングを行った日から、これらの処理区に苗ポットを配置して、各材料植物の苗をそれぞれ2週間から1ヶ月栽培した。

以上の栽培実験終了直後、全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、各器官の乾燥重量と葉面積を求めた。

気温を調節した栽培実験

群馬大学荒牧キャンパス内にガラス温室 (サイズはおよそ 500×200×250cm) を設置し、換気調節を行うことによって、外気温と比べて平均気温が約 1.6°C 上昇するように調節した区 (+1.6°C 区) および +0°C 区としては、前述の光強度を調節した栽培実験の際の 100% 区内に苗ポットを配置して、各材料植物の苗をそれぞれ約 2 週間から栽培した。栽培中は、ポットの下からポットの下から 5 分の 1 程度の高さまで水を張った受け皿にポットを置き、毎日確認して水量が減った場合は随時水を足した。肥料は与えていない。

以上の栽培実験を行った後、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。

各材料植物の栽培のスケジュールを (表 3) に示す。

生長解析

生長解析の各パラメータは、以下の式を用いて算出した。

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

$$RGR = (\ln(TW2) - \ln(TW1)) / (T2 - T1) \quad (g \ g^{-1} \ day^{-1})$$

TW1：初期または当月サンプリングにおける個体乾燥重量 (g)
TW2：最終または次月サンプリングにおける個体乾燥重量 (g)
T1：初期または当月サンプリング日
T2：最終または次月サンプリング日

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

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

(g m⁻² day⁻¹)

TW1：初期または当月サンプリングにおける個体乾燥重量 (g)
TW2：最終または次月サンプリングにおける個体乾燥重量 (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：初期または当月サンプリング日
T2：最終または次月サンプリング日

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

$$\text{LAR} = (\text{LA1}/\text{TW1} + \text{LA2}/\text{TW2}) / 2 \quad (\text{m}^2 \text{ g}^{-1})$$

TW1：初期または当月サンプリングにおける個体乾燥重量 (g)
TW2：最終または次月サンプリングにおける個体乾燥重量 (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である。

$$\text{SLA} = \text{LA}/\text{TW} \quad (\text{m}^2 \text{ g}^{-1})$$

LA：最終または次月サンプリングにおける個体の葉面積 (m²)
TW：最終または次月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器官にどれくらい配分したかを示す指標である。(g g⁻¹)

- 葉重比 (LWR : Leaf Weight Ratio)

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

LW：最終または次月サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)
TW：最終または次月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)

$$SWR = SW / TW$$

LW : 最終または次月サンプリングにおける個体の茎乾燥重量 (g)

TW : 最終または次月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)

$$RWR = RW / TW$$

RW : 最終または次月サンプリングにおける個体の根乾燥重量 (g)

TW : 最終または次月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。

$$RGR \approx NAR \cdot LAR$$

$$LAR \approx SLA \cdot LWR$$

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

統計解析

生長解析結果については、JMP9.0 (SAS Institute Inc.) を用いて分散分析および多重比較 (Turkey-Kramer の HSD 検定) を行った。

植物データベースの構築

各ビオトープで生育が確認された植物の分類学的情報、確認日時、写真、位置図、生態学的特性情報を、サーバ経由で閲覧・検索可能な植物データベースの構築を行った。データベースの構築には FileMaker Pro12 (ファイルメーカー社) を用いた。

なおこの植物データベースは、スマートフォン・タブレット用の無料アプリである FileMaker GO (ファイルメーカー社) でも利用可能である。

結果および考察

植物相調査

チノー・ビオトープ

チノー・ビオトープでは、2017年度（4-9月）の計4回の調査により在来種85種、外来種40種の計125種が確認された（表4）。2012年度の調査では在来種100種、外来種47種の計147種が確認され（都丸 2013）、2013年の調査では在来種99種、外来種55種の計154種が確認され（春原 2014）、2014年の調査では在来種87種、外来種37種の計124種（石田 2015）、2015年度の調査では在来種107種、外来種42種の計149種（関 2016）、2016年度の調査では在来種92種、外来種44種の計136種が確認された（須永 2017）。

2012年以降、出現種数に大きな変化はないと言えるが、チノー・ビオトープ竣工直後（在来種43種、外来種22種の計74種；青木 2011）に比べると約2倍の種数が継続して確認されていることになる（図4）。

チノー・ビオトープ内で生育が確認されている絶滅危惧種は、4種類確認されている。竣工直後から確認されている県指定の準絶滅危惧種コギシギシ、2012年から引き続き確認されている県指定の準絶滅危惧種カワヂシャとミゾコウジュは今年度も生育が確認された。また今年度は去年度に確認できなかった県指定の準絶滅危惧種のコシガヤの生育が確認された。

チノー・ビオトープの帰化率は2017年度で約32%であった。2011年度は約42.6%（松田 2012）、2012年度は約31%（都丸 2013）、2013年度は約37.1%（春原 2014）、2014年度は約29.8%（石田 2015）、2015年度は約28.2%（関 2016）、昨年度は約32.4%（須永 2017）であり、例年30%ほどで平衡状態が続いている。

また、2011年で17種（松田 2012）、2012年で10種と園芸種の生育が目についた本ビオトープであったが、2013年、2014年（春原 2014；石田 2015）は5種、2015年度（関 2016）は6種、昨年度（須永 2017）は5種であり、今年度は3種であった。2012年以前と比べると園芸種数は減っており、引き抜き除去の効果が出ているといえる。この中でもなお継続して確認された園芸種はユウゲショウである。今年度は確認されなかったが特に群馬県危険外来種のナガミヒナゲシについては今後も継続して引き抜き管理を要する。

2012年に緊急避難対策として、から採取した挿し穂から作出した絶滅危惧種A苗を、本ビオトープのせせらぎ横に移植した。2013年には開花するまでに生長し（春原 2014）、2014年も開花が確認できた（石田 2015）。しかしその後生育が不良で、昨年度は生存個体を確認することができなかった。そのため、2015年5月25日に、本研究室で栽培していた絶滅危惧種A（産）を、本ビオトープ内のせせらぎ横およびトンボの池南側に移植した。2015年度から開花が見られ、今年も開花がみられたので現在順調に生育しているといえる。

2012年7月30日に伊勢崎市の天野沼から移植し当研究室で栽培していたアサザ（国・準絶滅危惧種、県・絶滅危惧ⅠA類）を緊急避難対策で本ビオトープ内のトンボの池（写真1）に移植した（都丸 2013）。そして本年度も、トンボの池およびせせらぎ横の一面をアサザが覆い、5月の調査の際には開花を確認することができたため、生育は良好であるといえる。

板倉町小保呂沼から避難させ当研究室で栽培していたトチカガミ（国・準絶滅危惧種、県・絶滅危惧ⅠA類）を、2013年に本ビオトープ内のトンボの池に移植したが、生育が不良であった。そこで2015年5月25日に、同種をトンボの池内に再移植した。2015年9月の調査の際には、個体が増殖していることが確認された（関 2016）。

今年度はふたたびせせらぎ横に当研究室で栽培していたトチカガミを再移植したが、本年度も開花を確認することができなかった。原因としてトンボの池およびせせらぎ横はアサザが繁茂して一面を覆っており本種の生長を阻害している可能性がある。

本種は群馬県内でわずか2カ所に生育しているのみで、絶滅を回避するために、今後も生育状況をモニタリングし保護育成に取り組んでいかなければならない。今後なぜ開花が見られないのか原因を解明し、来年度以降は定着し多くの開花を確認できるよう期待したい。

今回確認された在来植物種の中には、オカトラノオやオトコエシなど榛名山西部の里山にも生育している種が見られた。また、本年度の調査では里山の林床で見られるシロヨメナが本ビオトープ内で初めて確認された。着実に地域の植物相、ひいては地域の生態系の再生という目的に向かって育成が進んでいると言える。

2015年10月22日、本ビオトープに、水生絶滅危惧植物種ササバモ（ヒルムシロ科、群馬県絶滅危惧ⅠB 写真7）を緊急避難的に移植した。本種は藤岡市内の数地点の河川・用水路において生育が確認されていた（群馬県自然史博物館・大森武宏氏 私信）が、そのうちの1カ所、岡之郷用水路が群馬県により改修されることとなったためである。岡之郷用水路は、同じく絶滅危惧種で藤岡市の天然記念物に指定されているヤリタナゴの生育地でもあるため、群馬県と関係農家および魚類専門家が協議会を組織して対策を検討していたが、工事着工1ヶ月前に至っても、この協議会はササバモの保全に関して一切の具体的な協議を行わなかった（群馬県自然環境課 私信）。これは所管する自治体として無策も甚だしい所作であるが、本研究室の提案により、着工まで1ヶ月を切ってから取り得る対策として、チノー・ビオトープ、および工事を行わない岡之郷用水路上流部への移植、および群馬大学荒牧キャンパスへの緊急避難が決定した（関 2016）。

これをうけて2016年度、チノー・ビオトープのトンボの池およびトンボの池から流出するせせらぎの計3カ所に、麻紐で素焼き鉢にくくりつけたササバモを沈めた。また、くくりつけられなかった短いササバモは、直接せせらぎの川床に植え込んだ（関 2016）。

本年度、これらのササバモの確認をしたところ、2016年度と同じくトンボの池から流出するせせらぎに移植したササバモは生育していた。これら緊急避難させたササバモに

については、今後も継続してモニタリング調査を行い、より確かな管理方法を検討する必要がある。

男井戸川調整池ビオトープ

男井戸川調整池ビオトープでは、2017年度（4月、5月、9月）の計3回の調査により在来種72種、外来種31種の計103種が確認された（表5）。2010年の当調整池工事中の植物相調査で生育が確認されたのは在来種13種、外来種6種の計19種（青木 2011）、2012年では在来種37種、外来種27種の計64種（浦野 2013）、2013年では在来種45種、外来種33種の計78種（春原 2014）、2014年では在来種41種、外来種25種の計66種（石田 2015）、2015年度では在来種59種、外来種39種の計98種（関 2016）、2016年度の調査では在来種69種、外来種34種の計103種（須永 2017）であったことから、植物の多様性が着実に増加しているといえる（図5）。当調整池が完成した2012年3月以降、着実に多様な植物が生育できる環境の形成が進んでいるといえる。

本年度の調査ではじめて、国の指定する絶滅危惧Ⅱ類、県の指定する絶滅危惧ⅠB類に分類されている、キタミソウの生育が確認された。キタミソウは男井戸川の川沿いに広く分布し、4月20日と5月16日の2日間で41個体群の生育を確認することができた。キタミソウは図鑑では6～10月が花期とされるが、現地で見られるキタミソウは4月20日の調査の際にも開花が確認されたため、冬から春にかけてが花期であると考えられる。また一般に多年草であるとされるが、当地では6月26日の調査の際には確認することができなかったため、夏季には暑さや水位の上昇などにより枯死すると考えられる。

2012年以来毎年生育が確認されていた県指定の準絶滅危惧種のコギンギシが、2014年に開花前に草刈りされてしまい確認できなくなってしまったことへの対応として、本研究室で2014年から栽培していた当地産のコギンギシを、2015年4月に本調整池の土手に移植した。その後2015年5月の調査において開花・結実している様子が確認され、2016年度、本年度ともに生育が確認された。また、男井戸川調整池における草刈りの実施計画も見直され、本年度の調査においては、移植した本調整池の土手にて広く分布しているのを確認した。ビオトープの生態系管理には適切な管理が不可欠である。人の手による管理がその場所に与える影響も十分考慮した上でモニタリングを継続していく必要があると言える。

川辺と開けた場所においては準絶滅危惧種のカワヂシャの生育を確認した。カワヂシャは調整池の造成前の2008年、造成中の2010年、造成後の2012年、2013年、2014年、2015年、2016年の調査でも生育が確認されており（高橋 2009；青木 2011；浦野 2013；春原 2014；石田 2015；関 2016；須永 2017）、継続的に生育しているものと考えられる。一方で、2015年には確認できなかったが2016年度に再び生育が確認された特定外来生物のオオカワヂシャが本年度も確認され、カワヂシャの生息域が侵略を受ける可能性があるため、適切に引き抜きや刈払を行う必要がある。

2016年に引き続き準絶滅危惧種のみゾコウジュを確認できたほか、2012年9月に浦野ら（2013）が本調整池に移植したアサザも川の水流が穏やかな地点で定着していることが確認された。また県指定の準絶滅危惧種であるミコシガヤも本年度も生育が確認された。このように、当地は多くの絶滅危惧種・在来種が生育しており、生物保護上の重要性が高い地域であると言える。

一方で、本年度確認された外来種は31種で、そのうちにはオオカワヂシャ、オオキンケイギク、アレチウリの4種の特定外来生物が含まれる。帰化率は約30.1%と去年度の約33.0%と比べ低下した。園芸種は昨年調査で7種が確認されたが（須永 2017）、今年調査ではユウゲショウの1種のみが確認された。

今年新たに生育が確認された植物は17種であり、うち外来種はコニシキソウの1種類、絶滅危惧種はキタミソウの1種類であった。在来種の新規参入は生態系の再生として望ましいことであるが、外来種の新たな侵入は、生態系の破壊へと繋がりがかねない。外来種の流入は減少傾向にあるが、今後もモニタリングを行いながら、適切な引き抜き・刈り取り作業を続け、外来種の侵入を抑制することが求められる状況である。

以上の結果より、当調整池では絶滅危惧種をはじめとする在来種が整備されつつある一方で、生態系に悪影響を与えるような外来種の侵入を防ぐことや繁茂を抑えることが今後の課題となる。また新たに確認されたキタミソウについて生態学的特徴を今後の調査により明らかにしていかなければならない。当調整池は竣工直後より、群馬県伊勢崎土木事務所および地域団体である「殖蓮地区自然環境を守る会」が共同して草刈りなどの管理を行っているが、群馬県伊勢崎土木事務所の管理する区域を中心として群馬県危険外来種であるヒメモロコシが広く繁茂するなど適切な管理が行われているとはいえない状況にある。これらの組織と連携をとりつつ、モニタリング調査および適切な維持管理計画の提案を行っていく必要がある。

観音山公園

観音山公園（カップピア跡地）では、が6個体確認された。この個体数はチノー・ビオトープの7個体と比較しても大差なく、の貴重な生育地であることは間違いない。の生育が確認された地点は、今後地元の市民によるお花畑ゾーンとして整備する計画があり、この中でをどのように保全していくかが課題であると考えられる。

いせさき聖苑

いせさき聖苑では、本年度はを中心に個体群の調査を行った。調査の結果、県指定の絶滅危惧類のは77個体の生育が確認された。2016年度の調査では約50個体の生育が確認されているため、個体数は順調に増加していると言え、適切な管理方法が行われていると考えられる。また今年度も県指定の絶滅危惧類の

個体群を確認することができた。今後もいせさき聖苑の管理団体や、地元住民の方々と協力して、個体数を記録し育成管理を行っていく必要がある。また と は園芸目的での盗掘が相次いでおり、生育地の情報の管理を適切に行う必要がある。

植物データベースの構築

データベースの構築には FileMaker Pro12 (ファイルメーカー社) を用い、各ビオトープで生育が確認された植物の分類学的情報、確認日時、写真、位置図、生態学的特性情報を、サーバ経由で閲覧・検索可能な植物データベースの構築を行った。結果の一部を図 6, 7 に載せた。

種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験

絶滅危惧種

コギシギシ (タデ科、多年草、*Rumex nipponicus*)

冷湿処理を施さず 1 ヶ月培養したチノー・ビオトープ産の種子の最終発芽率は 10/6°C 区で 0%、17/8°C 区で 8%、22/10°C 区で 89.3%、25/13°C 区で 92.7%、30/15°C 区で 92% と 22/10°C 区以上の高い温度区で発芽率が高くなった。冷湿処理を施さず 1 ヶ月培養した男井戸川産の種子の最終発芽率は 25/13°C 区で 69.3% となった (表 6、図 11, 12)。2012 年のチノー・ビオトープ産の種子を用いた実験では、冷湿処理後に培養したところ、最終発芽率は 25/13°C、30/15°C の温度区で 84.0%~84.7% となり、すべての温度区において約 64~84% の変異であった (都丸 2013)。また、冷湿処理を施さず、最適温度である 25/13°C の温度区で培養したところ、最終発芽率は 82.7% となったことから、本種の最終発芽率は培養温度と冷湿処理の有無に関して有意な差がみられなかったといえる (都丸 2013)。また、2014 年のチノー・ビオトープ産、男井戸川産の種子を用いた実験では、冷湿処理を施さず、最適温度である 25/13°C の温度区で培養したところ、最終発芽率はそれぞれ 96.0%、83.3% といずれも高い値となった (石田 2015)。2012 年の先行研究の結果は、冷凍保存前の種子を用いた実験結果である。その後コギシギシの種子を -80°C のディープフリーザーで保存し 2014 年の実験に用いている。一方 2016 年の実験 (須永 2017) では冷湿処理を施さずに培養した男井戸川産の種子の最終発芽率は 10/6°C 区~30/15°C 区全ての温度区で 0.7%~22.0% と低い発芽率となった。

今回の結果から本種は高温でよく発芽し、低温では発芽しない、すなわち散布後速やかに発芽を開始し、冬には発芽しないものと考えられる。また、男井戸川産の種子は発芽率の低いものが多く、これは男井戸川に生育するコギシギシの個体数が少ないことが原因で近親交雑が起こっているためだと考えられる。そのため、男井戸川ではコギシギシの個体数を増やすことが必要となる。

また、コギシギシの種子は、-80°C のディープフリーザーで保存後も高い発芽率を維持していることが明らかになったといえる。このため本種の種子を人工的に保存して、個

体群の維持を保障することも効果的と考えられる。

チョウジソウ（キョウチクトウ科、多年草、*Amsonia elliptica*）

2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、22/10℃で34.0%と最大となり、30/15℃で14.7%、25/13℃で8.7%、17/8℃で23.3%と、不定な偏差は大きいが高くなり、10/6℃では1.3%と最低なった。また冷湿処理を施していない種子を25/13℃で培養した結果は0.0%と全く発芽しなかった（表6, 図10, 13）。山里（2017）が行った先行研究では、2ヶ月間の冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、22/10℃～25/13℃で約27%～29%で、30/15℃および17/8℃で約11%～12%、10/6℃で0.7%であった。また冷湿処理を施していない種子の最終発芽率は25/13℃で0.0%と全く発芽しなかった。これらの結果と、本研究の結果を集約すると、本種の種子の発芽最適温度は22/10℃程度であると推察される。また本種は種子の状態でも冷湿処理、すなわち冬を経験することが発芽するために必要な条件であると考えられる。本種は群馬県内の自生地が限られているため、今後はビオトープ内に移植、栽培していく必要があり、最適な栽培環境を特定するため継続的な実験を行う必要があると考えられる。

絶滅危惧種 A ()

本種の発芽における最適温度、および産地間の種子発芽率の違いの有無を解明するため、アドバンテスト産、産、産、産の4産地の種子を用い、冷湿処理を施さずに各温度区で培養した。

アドバンテスト産種子では最終発芽率は30/15℃で68.7%、25/13℃で56.0%、22/10℃で46.0%、17/8℃で22.0%、10/6℃で22.7%と、温度の高い区ほど高くなった（表6, 図14）。

産種子では培養温度による差は比較的小さく、全処理区で約29%～34%となった（表6, 図15）。

産種子で培養温度による差は比較的小さく、全処理区で約45%～53%となった（表6, 図16）。

産種子では、培養温度による差は比較的小さく、全処理区で約33%～53%となった（表6, 図17）。

産の種子を用いた先行研究での最大発芽率は、2ヶ月間の冷湿処理を施した場合は、22/10℃区で24%（鈴木 2010）、1ヶ月間の冷湿処理を施した場合は、22/10℃区で50.7%（青木 2011）、10/6℃区で54.7%（松田 2012）であった。冷湿処理を施していない場合は、25/13℃で20.7%（須永 2017）だった。

一方、アドバンテスト・ビオトープで採取した種子を用いた実験の先行研究は、高岩（2008）、高橋（2009）、松田（2012）、浦野・都丸（2013）、春原（2014）、関（2016）が行っており、それぞれの最終発芽率は14%（高岩 2008）、4%（高橋 2009）、12%（松

田 2012)、50.7% (浦野・都丸 2013)、30% (春原 2014)、44.7% (関 2016) であった。

高岩 (2008)、高橋 (2009) の先行研究の結果から、アドバンテスト・ビオトープに生育する絶滅危惧種 A は、その起源と考えられる の個体群よりも種子の発芽能力あるいは種子の稔実率自体が低くなっており、最終発芽率の低下がみられると考えられた。その原因は、アドバンテスト・ビオトープの絶滅危惧種 A は個体数が少ないため、近親交雑あるいは花粉不足による種子の未熟や劣化によるものではないかと推察された (松田 2012)。

そこで、2010 年の青木の研究時点より、近隣の の絶滅危惧種 A 個体群由来の種子から栽培して移植を開始し (青木 2011)、2011 年も 産種子から栽培に成功した絶滅危惧種 A を、10 月 27 日に本ビオトープ内に移植した。また、 産の絶滅危惧種 A の挿し木実験も成功し、本ビオトープ内に移植した (松田 2012)。これら継続的な移植により、近親交雑や花粉不足の問題が解消される傾向にあり、浦野ら (2013) が行った同一年に採取した種子の発芽実験結果では、最終発芽率に産地による有意な差は見られなかった (25/13°C 区でアドバンテスト・ビオトープ産 50.7%、 産 47.3%)。

今回の発芽実験の結果においては、25/13°C でアドバンテスト・ビオトープ産と 産の間に最終発芽率の有意な差は見られなかった。これは、継続的な移植により、近親交雑や花粉不足の問題が解消される傾向にあるためと考えられる。

春原 (2014) の発芽実験結果において、アドバンテスト・ビオトープ産の種子の発芽率が 産のそれよりも有意に低かったのは (17/8°C 区でアドバンテスト・ビオトープ産 16.0%、 産 55.3%)、冷蔵後 1 年を経過し劣化した種子を用いたことによると考えられ、保存は冷凍で行うことが不可欠であるといえる (関 2016)。

産の絶滅危惧種 A を用いて行った石田 (2015) の先行研究では、冷湿処理を施さず、25/13°C 区で培養した場合の最終発芽率が 22.7% であった。同じく 産の種子を、冷湿処理を施さず培養した須永 (2017) の結果では、25/13°C で 29.3% となっている。今回の実験では 25/13°C で 46.7% となっており、上記 2 回の実験結果より高い値となった。これは、過去の実験においては未熟な種子を多数用いてしまったためと考えられる。今後本種の種子を実験や保全のための栽培に用いる際に、充実した種子を選別することが不可欠である。

また本年度は 産の絶滅危惧種 A の種子の発芽実験も実施した。本種の種子を、冷湿処理を施さず培養した結果、最終発芽率は 17/8°C で 34.0% と最も高くなり、他の温度区もおおむね 30% 前後の最終発芽率になった。管 (未発表) の実験では、 産絶滅危惧種 A の種子の最終発芽率は 30/15°C で 59.3%、25/13°C で 56.0% という結果になっている。この結果と本研究の結果を比較すると、本研究の最終発芽率は著しく低下している。これは、実験を行う際に種子の選別に失敗して、未熟な種子を多数用いてしまったことが原因であると考えられる。

管の結果に基づけば、 産の絶滅危惧種 A の種子も、他の自生地と同等の発芽能

力を有していると推定できる。の自生地では、絶滅危惧種 A はわずか二株のみの生育が確認されており、個体数が少ないため、近親交雑あるいは花粉不足によって種子の未熟や劣化が生じている可能性が考えられるが、いまのところ種子に影響はでていないといえる。しかし個体数が極めて少ないため、今後は個体数の増加のため移植などの対策や、継続的な調査が求められる。

以上の結果から、絶滅危惧種 A の種子発芽に冷湿処理は必須ではなく、10℃～30℃の幅広い温度条件下で発芽可能で、永続的な土壌シードバンクを形成しないといえる。河川敷という洪水などたびたび自然攪乱が生ずる湿性環境を生育地とする本種は、こうした発芽特性をもって自然攪乱後のギャップに速やかに侵入し繁殖すると考えられる。

ただし、生育条件が悪化すると、本種はアドバンテスト・ビオトープ定着の初期の頃のように、未熟な種子を多く作ってしまう危険性がある。また永続的な土壌シードバンクを形成しないため、河川改修や護岸工事などの強度人為的攪乱によって親株が消滅すると、ただちにその地点で絶滅してしまう危険性が極めて高い。群馬県においてわずかに残された自生地は、アドバンテスト・ビオトープを除いて全てこの危険性が高い。群馬県や関係者は、本種の生態学的特性と本種が絶滅危惧 となることを重く受け止めて、全力で保全に努めるべきである。また、ビオトープには本種の自生地に近い環境が復元されているため、緊急避難場所として活用できると考えられる。

ミゾコウジュ（シソ科、越年草、*Salvia plebeia*）

チノー・ビオトープ内で採取された種子を、冷湿処理を施さずに各温度区で培養したところ、本種の種子の最終発芽率は 22/10℃～30/15℃区で 74%～94.0%と高く、17/8℃および 10/6℃で 0%となった（表 6, 図 18）。ミゾコウジュの種子を用いた発芽実験は、依田（2006）、高橋（2009）、青木（2011）、松田（2012）、浦野（2013）、関（2016）が行っており、高い温度区（30/15℃～22/10℃）で発芽率が高く（94.6%～42.0%）、10/6℃区での発芽率はいずれも 7.3%以下であった。なお、これらの先行研究では、すべてアドバンテスト・ビオトープ産またはチノー・ビオトープ産の種子が用いられている。

本種は高い温度区で発芽率が高く、低い温度区で発芽率が低いことから、初夏から秋季にかけて発芽し、冬季はロゼットで越冬し、春季から夏季にかけ開花し種子をつくるという生活史を有し、種子は永続的な土壌シードバンクを形成しないものと推測される。したがって本種は生育中の個体群が何らかの壊滅的な影響を受けると、土壌シードバンクからの再生は望めないことになると考えられる。本種の野外での発芽適地の確保や野外生育中の個体群の生長・生存を可能にするためには、断続的な草刈り管理などによって個体の生育を促進することが不可欠といえる。また種子を人工的に保存して、個体群の維持を保障することも効果的と考えられる。ただし、本種は中規模な攪乱後によく見られるが、それは種子が光発芽特性を有していて、土壌中に埋まると発芽しないためという説もあるため、今後実験的な検証が必要である。

在来普通種

イヌトウバナ（シソ科、多年草、*Clinopodium micranthum*）

本種の種子を、冷湿処理を施さずに培養した最終発芽率は、30/15°Cで53.3%、25/13°Cで50.0%、22/10°Cで62.7%、17/8°Cで28.7%、10/6°Cで5.3%となった（表6, 図19）。本研究に用いた種子と同じ産地・産年の種子を用いた過去の実験（須永 2017）においては、最終発芽率は30/15°Cで68.7%、25/13°Cで76.0%、22/10°Cで56.0%、17/8°Cで7.3%、10/6°Cで0.7%と、ほぼ同様の結果であったことから、本種の最適発芽温度は22/10°Cであるといえる。

関（2016）の先行研究においては、2ヶ月間の冷湿処理を施して各温度区で培養した場合の最終発芽率が、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%になっており、低温度区で顕著な最終発芽率の促進がみられた。

以上の結果から、本種は野外においては、秋の種子散布後に冬を経験した後、春から夏にかけて発芽すると推察される。また本種の種子発芽に冷湿処理、すなわち冬を経験することは必須ではないが、低温でもよく発芽するようになるため、早春の発芽を促進する効果があると推察される。いずれにしても本種は永続的な土壌シードバンクを形成しないと考えられるため、保全のためには個体の生長を促進する管理を行うことが不可欠である。

イヌビエ（イネ科、一年草、*Echinochloa crus-galli*）

2ヶ月の冷湿処理を施した後に培養した種子の最終発芽率は、30/15°Cで88.0%、25/13°Cで79.3%、22/10°Cで91.3%、17/8°Cで82.0%、10/6°Cで6.0%となった。冷湿処理を施さずに25/13°Cで培養した種子の最終発芽率は46.0%となった（表6, 図9, 20）。

本研究に用いた種子と同じ産地・産年の種子を用い冷湿処理を施さなかった過去の実験（須永 2017）と比較すると、全温度帯で0-1.3%となっている須永（2017）の結果より全体的に発芽率が高くなっており、冷湿処理の有効性があると考えられる。狩谷（2004）は本種の種子に109日間冷湿処理を施した後本実験と同様の温度条件で培養し、10/6°Cでは2.0%、17/8°C以上の温度区で2週間以内にほぼ100%が発芽するという結果を得ている。今回の実験の結果も10/6°Cでは6.0%、17/8°C以上の温度区では、最終発芽率がおおむね80%を超えるという結果が得られている。以上の結果から、本種の種子における発芽の最適温度は17/8°C区以上であるが、30°Cまでの比較的幅広い温度条件下で発芽が可能と考えられる。ビオトープにおいて、本種は初夏から秋までの長期にわたって開花個体が見られるが、これは本種の発芽が比較的長期間にわたってさまざまな温度条件下で連続して起こっているためと推察される。

オトコエシ (オミナエシ科、多年草、*Patrinia villosa*)

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は 30/15°C で 71.3%、25/13°C で 90.7%、22/10°C で 98.7%、17/8°C で 99.3%、10/6°C で 97.3% となった (表 6, 図 21)。本研究に用いた種子と同じ産地・産年の種子を用いた過去の実験 (須永 2017) と比較すると、30/15°C では 84.0%、25/13°C では 64.7%、17/8°C で 99.3%、10/6°C で 91.3% と、ともに高温帯で最終発芽率が低く、低温帯で最終発芽率が高いという結果が得られた。オトコエシは西榛名地域のような標高が高く低温な山野に生育していることが多く、秋季や冬季など低い温度帯で発芽することで長い生長期間を確保でき、より大きな個体サイズになることで生存率を高めていると考えられる。

足助 (2016) が本種の種子を用い 2 ヶ月の冷湿処理を行った後に同様の実験を行ったところ、30/15°C で 35.3%、25/13°C で 38.7%、22/10°C で 69.3%、17/8°C で 81.3% と、今回の結果と比較して高温帯の結果が著しく低下している。このことからオトコエシは冷湿処理、つまり冬を体験した後、次のシーズンには 25/13°C 以上の高温条件によって、二次休眠が誘導される可能性があると考えられる (須永 2017)。発芽せずに高温期を迎えると、一部の種子の二次休眠が誘導されて、土壌シードバンクを形成する可能性があると考えられる。

キツネアザミ (キク科、越年草、*Hemistepta carthamoides*)

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は 30/15°C で 94.7%、25/13°C で 94.7%、22/10°C で 18.7%、17/8°C で 5.3%、10/6°C で 2.0% となっている (表 6, 図 22)。本研究に用いた種子と同じ産地・産年の種子を用い、2 ヶ月間の冷湿処理を施した過去の実験 (須永 2017) の最終発芽率の結果と比較すると、30/15°C で 94.0%、25/13°C で 92.7%、22/10°C で 86.0%、17/8°C で 34.0%、10/6°C で 0%、冷湿処理を施さず、25/13°C 区で培養したものは、96.0% となっており、22/10°C で大幅な最終発芽率の低下が見られるが、他の温度帯ではほぼ同様の結果が得られた。以上の結果から、本種の種子における発芽の最適温度は 22/10°C ~ 25/10°C 以上であると考えられる。また本種の種子発芽に冷湿処理、すなわち冬を経験することは必須ではないと推察される。

ナズナ (アブラナ科、越年生草本、*Capsella bursa-pastoris*)

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は 30/15°C で 46.7%、25/13°C で 82.0%、22/10°C で 59.3%、17/8°C で 2.0%、10/6°C で 5.3% となった (表 6, 図 23)。本研究に用いた種子と同じ産地・産年の種子を用いた過去の実験 (荒木 2011) と比較すると、ともに 17/8°C 以下の低温帯での最終発芽率が 0~5.3% と低くなっている。また 22/10°C 以上の高温帯区では、低温帯区と比べ、最終発芽率が高くなる結果が得られた。このことからナズナは夏季から秋季にかけて発芽し、その後越冬し春季に開花し種子を生産するという生活史を有すると考えられる。

荒木 (2011) は、本種の種子に 1 ヶ月の冷湿処理を施し、同様の実験を行っているが、最終発芽率は 30/15°C で 9.0% となっており、冷湿処理を施すと著しく発芽率が低下した。このことからナズナは発芽が遅れ種子のまま冬季を迎え、低温にさらされると二次休眠が誘導され、土壌シードバンクを形成するようになると考えられる。

本実験では 2009-2013 年までの冷蔵保存により種子が劣化していることが予想されたが、最終発芽率が 10/6°C 区と 17/8°C 区で 0% となり、22/10°C 区で約 16% となり、これらより高い温度区では約 35% - 39% となった。荒木 (2011) の実験と比較しても発芽率は低下しておらず、種子の寿命が長い種であると考えられる。また 2013 年に種子の保存方法を冷凍保存に切り替えたことも、発芽率の低下の抑制につながった可能性が考えられる。

ハルノノゲシ (キク科、越年生草本、*Sonchus oleraceus*)

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は 30/15°C で 79.3%、25/13°C で 84.7%、22/10°C で 83.3%、17/8°C で 86.0%、10/6°C で 86.7% となった (表 6, 図 24)。本研究に用いた種子と同じ産地・産年の種子を用い、2 ヶ月間の冷湿処理を施した過去の実験 (須永 2017) の最終発芽率の結果は、30/15°C で 82.7%、25/13°C で 81.3%、22/10°C で 90.0%、17/8°C で 90.7%、10/6°C で 84.7%、とすべての温度区で 80% 以上の発芽率を記録した。また冷湿処理を施さず、25/13°C で培養したものは 100% であった。今回の実験の結果からも、すべての温度区で 79% 以上の最終発芽率となった。また、冷湿処理を施したものとそうでないものを比較しても、有意な差はみられなかった。以上の結果から、本種の種子は広い温度域で発芽するとみられ、土壌中に十分な水分さえあれば地温の低い冬季にも発芽し、土壌シードバンクを形成する可能性は低いと考えられる。

外来種

アメリカセンダングサ (キク科、一年草、*Bidens frondosa*)

アメリカセンダングサは実験開始前に、二ヶ月間の冷湿処理を行っている。これは先行研究により冷湿処理の有効性が明らかであるからである (河毛 2010)。また冷湿処理の有効性を再確認するため、冷湿処理を施さずに 25/13°C 区で同様の実験を行った。冷湿処理を施した本種の種子の最終発芽率は、30/15°C で 16.0%、25/13°C で 2.7%、22/10°C で 2.0%、17/8°C で 28.0%、10/6°C で 12.0%、冷湿処理を施さず 25/13°C で培養した場合は 8.7% となった (表 6, 図 8, 25)。これらの値は、本研究に用いた種子と同一の産地・産年の種子を用いた実験 (佐藤 2017) と比べて極めて低い結果になっている。また佐藤 (2017)、河毛 (2010) の本種の種子の発芽実験結果においては、多くの温度帯で発芽率の標準偏差が大きくなっている。これは種子の成熟度合いに個体差が大きく、未熟種子が多い種であることが原因であるといえる。今後、成熟した種子のみを慎重に選別して、再度実験を行う必要がある。

ナガバギシギシ (タデ科、多年草、*Rumex crispus*)

本実験では 2008 年にアドバンテスト・ビオトープで採取後、2008–2017 年まで 4°C で冷蔵保存されていたため、種子が劣化していることが予想されたが、最終発芽率は全温度帯において 97.3% 以上と非常に高くなった (表 6, 図 26)。

本研究に用いた種子と同一の産地・産年の種子を用いた三輪 (2017) の実験結果でも、最終発芽率は本研究と同様に全ての温度区でほぼ 100% を記録している。このことから、ナガバギシギシは土壤中に十分な水分さえあれば地温の低い冬期であっても発芽が可能で、また幅広い温度環境下で発芽可能な植物であると考えられる。また、このことからナガバギシギシは永続的な土壌シードバンクを形成しない種であると考えられる。

本種は長期の冷蔵保存にも耐え、その後高い最終発芽率を記録したため、種子の寿命が長い種であると考えられる。永続的な土壌シードバンクを形成しないとはいえ、もしも野外で種子が乾燥状態でおかれるなら、9 年以上にわたって発芽可能な状態であることができるとも考えられる。

異なる光条件下で栽培した植物の生長解析

図 27 に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。6 月から 11 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。

絶滅危惧種

コギシギシ (チノ一産)

コギシギシ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.033g であったものが、最終サンプリング時には 0.026g (3% 区)–0.528g (100% 区) となった (表 7)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3% 区では約 -0.018、9% 区では約 0.056、13% 区では約 0.070、100% 区では約 0.124 と、相対光量子密度が高い明るい区ほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。特に 3% の光条件区で著しく低い値となった (表 8, 図 28)。関 (2016) は本種について同様の研究を行い、ほぼ同等の結果を得ている。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3% 区では約 -0.523、9% 区では約 1.370、13% 区では約 1.969、100% 区では約 7.105 と、相対光量子密度が高い区ほど有意に高くなり ($P < 0.0001$)、特に 3% の光条件区で著しく低い値となった (表 8, 図 28)。

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、3% 区では約 0.036、9% 区では約 0.041、13% 区では約 0.037、100% 区では約 0.026 (表 8, 図 28) と、相対光量子密度が低い区の方が有意に高い値となった ($P < 0.0001$)。

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、3% 区では約 0.116、9% 区では約 0.082、13% 区では約 0.072、100% 区では約 0.032 (表 8, 図 28) と、相対光量子密度が低い区ほど高くなった。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 27%、9%区で約 50%、13%で約 46%、100%区で約 36%となった。9%区で値が最大になり、100%区と 3%区で低下した。茎の重量比である SWR は、9-13%区で約 23%-約 24%と大差は見られず、3%区で約 19%、100%区で約 20%と低い値を示した。根の重量比である RWR は、3%区で約 53%、9%区で約 26%、13%区で約 29%、100%区で約 43%となった。

3%区では LWR、SWR の低下がみられ、RWR で増加がみられたが、先行研究の結果の逆の結果になっている。この原因として 3%区のサンプリング数が、ほかの光条件区に比べ少なくなっており標準偏差も増加しているためであると考えられる。

9%区-100%区でみられる SLA、LAR、LRW のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという特性である。

都丸 (2013) は 2012 年に本種について同様の研究を行ったが、100%区の RGR の値が約 0.040 と、本研究の値の 1/3 程度となった。他の被陰区での RGR は本研究の値と同等で、また LAR はいずれの区でも本研究の値と同等であった。しかし 100%区の NAR の値が本研究の値の 1/3 程度であったことから、2012 年の酷暑が 100%区のコギシギシの光合成を阻害し、生長速度を低下させたものと考えられる。

以上から、コギシギシは裸地から相対光量子密度 9%程度までの広い光条件下で良く生育することができるが、裸地において極端な高温にさらされると生長が阻害される場合もあると考えられる。気候は年々変動し、特に今後は温暖化による気温上昇も顕著になってくる危険性もあるため、今後も野外での検証実験を繰り返すことで、結果の確度を高める必要がある。

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 0.089g であったが、最終サンプリング時には約 0.077g (9%区) -約 0.201g (100%区) であった (表 7)。相対成長速度 (RGR、 $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3%区で 0.001、9%区で-0.008、13%区で約 0.018、100%区で約 0.048 (表 8、図 29) と、相対光量子密度の高い区の方が有意に高い値となった ($P < 0.0001$)。ただし 9%区では栽培中に虫に葉の一部が食べられてしまったため、健全個体をもとに補正を行ったが、乾燥重量、RGR とともにやや低い結果となった。本種のは相対光量子密度 100%、すなわち裸地で良く生長し、林縁や草原の光環境である 13%程度でも生長が著しく低下し、林床の光環境である 9%以下の暗い場所では生長しないと考えられる。

本種は里地の水辺という、ビオトープの再生目標に近い環境で生育しており、また群馬県内における自生地がわずか 1カ所にまで減少しているため、保全のためにビオトープに移植栽培する必要があると考えられる。本種をビオトープ内に移植栽培する場合、裸地以外

の被陰環境では生長が極めて悪いので、水辺の裸地に移植するのが望ましい。また 100% の陽当たりを確保するため、頻繁に草刈りを行う必要があると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$) は、3%区で-0.031、9%区で-0.458、13%区で約 1.015、100%区で約 2.476 (表 8、図 29) と、相対光量子密度の高い区の方が有意に高い値となった ($P < 0.0001$)。

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、3%区で 0.027、9%区で 0.019、13%区で 0.022、100%区で 0.020 (表 8、図 29) と、相対光量子密度の低い区ほど有意に高くなった ($P < 0.0001$)。ここでも 9%区で虫による食失のよって NAR、LAR が低下していると考えられる。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、3%区で 0.058、9%区で 0.041、13%区で 0.049、100%区で 0.037 と暗い光条件下のほうが大きい値となった。器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 51.5%、9%区で約 32.7%、13%区で約 38.2%、100%区で 45.7%となった。茎の重量比である SWR は、3%区で約 23.6%、9%区で約 31.4%、13%区で約 22.9%、100%区で約 20.4%となった。根の重量比である RWR は、3%区で約 25%、9%で約 35.9%、13%区で約 39%、100%区で約 34%となった。

これらの LAR、SLA の処理による違いは、光が不足して光合成活性が低下した場合に、葉の厚さを薄くして、同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、13%以下の被陰環境下では 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。

山里 (2017) は本種の種子を用い、同様の実験を行ったが、RGR が、3%区で 0.005、9%区で 0.032、13%区で約 0.050、100%区で約 0.058 と今回の実験結果のほぼ 2 倍であり、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するとされた。この 2 年間での変異は、栽培時の気象条件の違いがもたらした NAR の差によるものと考えられる。山里 (2017) の結果では本種の NAR は 3%区で 0.172、9%区で 1.111、13%区で約 1.924、100%区で約 2.863 と、100%区以外では今回の実験結果のほぼ 2 倍となっている。2016 年夏は晴天に恵まれていたが、2017 年夏は雨が多く日照時間が極端に短かったため、本種のような光要求性の強い種は十分な光合成が行えず、結果として 2016 年栽培時よりも NAR が低くなったことで、13%以下の被陰下で生長が著しく低下したものと推察される。気候は年々変動し、特に今後は温暖化による気温上昇も顕著になってくる危険性もあるため、今後も野外での検証実験を繰り返すことで、結果の確度を高める必要がある。

絶滅危惧種 A (産)

産絶滅危惧種 A 実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.125g であったものが、最終サンプリング時には 0.125g (3%区) ~0.507g (100%区) となった (表 7)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で 0.003、9%区で 0.065、13%区で 0.069、100%区で 0.111 と光条件が良いほど有意に大きい値となり ($P < 0.0001$)、3%区では生長が著しく悪くなった (表 8、図 30)。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。春原 (2014) の行った実験 (3%区で約 0.007、100%区で約 0.043)、関 (2016) の行った同様 (3%区で約 0.015、100%区で約 0.061) においても、同様の結果が得られた。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3%区では約 0.068、9%区では約 2.947、13%区では約 3.606、100%区では約 7.992 (表 8、図 30) と光条件が良いほど有意に高い値となった ($P < 0.0001$)。

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、3%区では約 0.034、9%区では約 0.037、13%区では約 0.034、100%区では約 0.021 (表 8、図 30) と暗い光条件下ほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。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}) も、3%区では約 0.076、9%区では約 0.054、13%区では約 0.049、100%区では約 0.023 と光条件が悪いほど大きい値となった。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。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は 3%区で約 56.7%と最大になり、9%区で約 40.3%、13%区で約 31.9%と最低、100%で約 41.8%となり、光条件が悪い条件区のほうが LWR の増加がみられた。茎の重量比である SWR は 3%区で約 24.5%、9%区で 32.2%、13%区で約 40.7%、100%区で約 26.8%となった。根の重量比である RWR は 3%区で約 18.8%と最低になり、100%区で約 31.4%と最大になり、光条件がよい条件区の方が RWR の増加が見られた。

SLA、LAR のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、より多くの光合成産物を葉に投資し、またより薄い葉を生産することによって、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという、多くの植物にみられる特性である (浦野 2013)。しかし本種においては、3%区のような暗い環境下では NAR の低下を補うことができずに、RGR の著しい低下を起こしてしまったと考えられる。

以上の結果から、本種は周辺に背丈の高い植物が繁茂し、光環境が劣悪である場合、十分な生育は困難であることが考えられる。周辺に植物が生育していても、陽当たりがある程度あり、土壤中に十分な水分があれば一定の生育が可能であり、陽当たりが十分な裸地であれば十分な生育が可能であることが考えられる。

浦野 (2013) は、4 月から 8 月にかけて絶滅危惧種 A の越年草を用いて生長解析を行い、本種が最も生長するのは夏期の 7-8 月であり、初夏の 5-7 月にかけても生長期であ

る、とした。すなわちビオトープや の草刈り管理においては、初夏から夏季に十分な光が絶滅危惧種 A に当たるように、スケジュールを組まなくてはならないといえる。

初夏から夏季の草刈りなどで草体が失われると、絶滅危惧種 A は開花・結実に至れない危険性があると考えられる（富沢 1998）。絶滅危惧種 A の安定的な生育、増殖を促進するためには、里山保全の一手法である下草刈りによって絶滅危惧種 A まで刈ることがないように、絶滅危惧種 A の草丈がまだ小さい 5 月までに草刈りを行うか、冬に行うことが望ましく、もし初夏以降に行う場合は、絶滅危惧種 A 以外の草を選択的に刈る必要があると考えられる。

絶滅危惧種 A（アドバンテスト・ビオトープ産）

絶滅危惧種 A 実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.076g であったものが、最終サンプリング時には 0.075g（3%区）～0.238g（100%区）となった（表 7）。

本種実生の相対生長速度（RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、相対光量子密度 3%区で 0.007、9%区で 0.070、13%区で 0.086、100%区で 0.065（表 8、図 31）となり、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場所で良く生長し、極端に暗い場所では生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率（NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、3%区では約 0.066、9%区では約 1.870、13%区では約 2.433、100%区では約 3.848（表 8、図 31）と光条件が良いほど有意に大きい値となった（ $P < 0.0001$ ）。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 3%区で約 0.042 と最大になり 100%区で約 0.021 と最小となった。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} ）も 3%区で約 0.092 と最大になり、100%区で約 0.038 と最小となった。LAR、SLA の値ともに、相対光量子密度が低い区の方が大きくなる傾向が見られた（表 8、図 31）。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。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は 3%区で約 52.1%と最大になり、100%で約 27.5%と最小となり、光条件が悪い条件区ほど LWR の増加がみられた。茎の重量比である SWR は 3%区で約 28.6%、9%区で約 30.2%、13%区で約 32.3%、100%区で約 30.5%となった。根の重量比である RWR は 3%区で約 19.3%と最低になり、100%区で約 41.9%と最大になり、光条件がよい条件区ほど RWR の増加が見られた。

SLA、LAR のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、より多くの光合成産物を葉に投資し、またより薄い葉を生産することによって、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという、多くの植物にみられる特性である（浦野 2013）。しかし本種においては、3%区のような暗い環境下では NAR の低下を補うことができずに、RGR の著しい低下を起こしてしまったと考えられる。

ミゾコウジュ

ミゾコウジュ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.117g であったものが、最終サンプリング時には 0.087g (3%区) ~0.408g (100%区) となった (表 7)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で約-0.062、9%区で約 0.021、13%区で約 0.043、100%区で約 0.099 (表 8、図 32) と、3%区で全く生長せず、9%区以上の光条件がよい条件区ほど有意に値が大きくなった ($P < 0.0001$)。

すなわち、本種は比較的広い範囲の光条件下でよく生長するが、林床のような極端に暗い環境下 (3%区) では生長できないと考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3%区では約-1.787、9%区では約 0.528、13%区では約 1.166、100%区では約 4.667 (表 7、図 32) と光条件が良いほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。

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、3%区では約 0.039、9%区では約 0.040、13%区では約 0.037、100%区では約 0.022 (表 7、図 32) と、暗い光条件下になると有意に大きい値になった ($P < 0.0001$)。以上の結果から、本種が 3%区で生長しなかった主な要因は、光合成活性 (NAR) の低下であると考えられる。

浦野 (2013)、関 (2016)、須永 (2017) は本種について同様の研究を行い、100%区以外では本研究とほぼ同等の結果を得ている。しかし、100%区においては、これら 3つの先行研究で本種の RGR は 0.023~0.06 と本研究での値の 2/3 以下となっており、NAR も本研究での値の 2/3 以下であった。

本種は本来越年草で、主な生長期は早春~初夏の比較的低温な時期である。しかし栽培の都合上、本種の生長解析はすべて 7 月以降に実施しているため、特に 100%区においては、夏の高温とそれがもたらす乾燥の影響を受けやすいものと考えられる。本研究を実施した 2017 年夏は、雨が多く日照時間の極端に短かったため、100%区で光合成活性が低下せず、結果として先行研究よりも生長がよかったものと推察される。

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、3%区では約 0.091、9%区では約 0.086、13%区では約 0.072、100%区では約 0.030 と暗い光条件下ほど大きい値となった。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 63%、9%区で約 64%、13%区で 66%、100%区で約 62%と、有意な差がみられなかった。茎の重量比である SWR は 3%区で約 16.9%、100%区で約 10.7%となっており光条件が悪いほど大きな値になった。根の重量比である RWR は、100%区で約 26.8%と最も大きく、13%区で約 19.1%、9%区で約 19.8%、3%区で約 20.3%となり、100%区のような光条件が極端よい場合は増加し、13%区以下の条件区では大きな差がみられなかった。

SLA、LAR、LWR のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるといった特性である。本種は 9%~13%という中程度の被圧下においては、NAR の低下を LAR の増加で補完してある程度の RGR

を達成しているが、3%ではNARがマイナスになってしまうため生長できないといえる。

以上の結果から、本種は裸地や草丈の低い草原といった比較的明るいところで良く生長するが、他の植物が繁茂し、光条件が劣悪な環境下では、生長が悪くなると考えられる。このことは、本種が主に陽当たりのよい通路沿い（ミゾコウジュの名の由来）といった明るい環境下に分布する理由の一つであると推察される（浦野 2013）。そのため、他の植物と共存する場合、本種の光環境に悪影響をおよぼさない植物である必要がある。また、本種の十分な生育のためには周辺の植物を刈り取り、陽当たりの良い環境を作り出すことも重要であるといえる。

在来普通種

イヌビエ

イヌビエ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に0.267gであったものが、最終サンプリング時には0.208g（3%区）～0.693g（100%区）となった（表7）。

相対生長速度（RGR, $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、相対光量子密度3%区で-0.019、9%区で0.038、13%区で0.031、100%区で0.072（表8、図33）と光条件が良いほど有意に大きい値になり（ $P < 0.0001$ ）、3%区ではほとんど生長しなかった。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率（NAR, $\text{gg}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、3%区では約-1.012、9%区では約2.550、13%区では約1.968、100%区では約7.139（表8、図28）と100%区で最も高い値が得られた。

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%区で最小の値（0.011）となり、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} ）も100%区で最小（0.036）となった。相対光量子密度が低い区の方がLAR、SLAの値が大きくなる傾向が見られた（表8、図33）。

器官別重量比のうち葉の重量比であるLWRは100%区で約23%と最も小さく、3%区で約41%と最も大きい値となった。茎の重量比であるSWRは、3%区で最も小さく（約31%）、100%区で最も大きくなり（約44%）、光条件が良いほど大きい値となった。根の重量比であるRWRは、13%区で約29%と最も小さく、100%区で約33%と最も大きくなった（表8、図28）。

SLA、LAR、LWRのこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、限られた光合成生産物を葉に投資し、またより薄い葉を生産することによって、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという、多くの植物にみられる特性である（浦野 2013）。しかし本種においては、SLA、LAR、LWRの反応だけでは、暗い環境下でのNARの低下を補うことができずに、RGRの著しい低下を起こしてしまったと考えられる。

以上の結果より、本種は光環境の影響を受けやすく、巨大な樹木が生い茂る森林の林床のような光条件が極端に悪い環境下では生長が阻害されるが、密な草原や落葉樹の林

床など相対光量子密度 9%程度までの光条件であればよく生長できると考えられる。

オトコエシ

オトコエシ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.043g であったものが、最終サンプリング時には 0.051g (3%区) ~0.134g (13%区) となった (表 7)。

相対生長速度 (RGR, $g\ g^{-1}day^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で 0.005、9%区で 0.034、13%区で 0.049、100%区で 0.043 (表 8、図 34) と光条件が良くなると有意に大きい値となり ($P < 0.0001$)、3%区ではほとんど生長しなかった。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $g\ g^{-1}day^{-1}$) は、3%区では約 0.161、9%区では約 1.452、13%区では約 2.203、100%区では約 2.656 (表 8、図 34) と光条件が良いほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。

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、3%区では約 0.030、9%区では約 0.025、13%区では約 0.023、100%区では約 0.019 (表 8、図 34) と、暗い光条件下ほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。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。また本種は相対光量子密度の低下による NAR の低下を LAR の増加で補っているものの、相対光量子密度が 3%区以下になると補いきれなくなり、生長不良となると推察される。

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、3%区では約 0.073、9%区では約 0.051、13%区では約 0.046、100%区では約 0.029 と暗い光条件下ほど大きい値となった。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 46%と最も大きく、100%区で約 38%と最も小さくなり、暗い光条件下ほど大きい値となった。茎の重量比である SWR は、3%区で約 39%と最も大きく、100%区で約 33%と最も小さくなった。根の重量比である RWR は、100%区で約 29%と最も大きく、3%区で約 14%と最も小さくなり、光条件が良いほど大きい値となった。

SLA、LAR、LWR のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、より多くの光合成産物を葉に投資し、またより薄い葉を生産することによって、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるといふ、多くの植物にみられる特性である (浦野 2013)。しかし本種においては、著しく暗い環境下では NAR の低下を補うことができずに、RGR の著しい低下を起こしてしまったと考えられる。

以上の結果より、本種は裸地から相対光量子密度 9%程度までの広い光条件下でよく生育することができ、光条件が極端に悪い環境下では、生長が阻害される可能性があると考えられる。

足助 (2016) および須永 (2017) も本種について同様の実験を行っており、2015 年の 100%区での RGR の値 (0.021) および NAR の値 (1.335) が他の年の同区の値より低かつ

た以外は、本研究と同様の結果を得ている。2015年の本種の栽培期間（7月19日～8月21日）は日中の平均気温が30℃という酷暑であったため、山地性の本種が特に100%区で光合成活性の著しい阻害を受けたものと推察される。気候は年々変動し、特に今後は温暖化による気温上昇も顕著になってくる危険性もあるため、今後も野外での検証実験を繰り返すことで、結果の確度を高める必要がある。

キツネアザミ

キツネアザミ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に0.083gであったものが、最終サンプリング時には0.127g（3%区）～0.329g（13%区）となった（表7）。

相対生長速度（RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、相対光量子密度3%区で0.025、9%区で0.070、13%区で0.078、100%区で0.060（表8、図35）と光条件が良い9～100%区で大きい値となり、3%区ではほとんど生長しなかった。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率（NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、3%区では0.549、9%区では約2.049、13%区では約2.313、100%区では約2.825（表8、図35）と光条件が良いほど有意に大きい値となった（ $P < 0.0001$ ）。

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、3%区では約0.046、9%区では約0.036、13%区では約0.037、100%区では約0.028（表8、図35）と、100%区での値が、他の光条件区と比較して最も小さくなった。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、3%区では約0.070、9%区では約0.050、13%区では約0.050、100%区では約0.030と暗い光条件下ほど大きい値となった。

器官別重量比のうち葉の重量比であるLWRは、約38%（100%区）～約67%（3%区）であった。茎の重量比であるSWRは、温度区ごとに有意な差が見られず、値は約15～23%となった。根の重量比であるRWRは、100%区で約39%と最も大きく、9%区で約10%と最も小さくなり、光条件が良いほど大きい値となった。

SLA、LARのこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという特性である。しかし本種においては、極端に暗い環境下（3%区）ではSLA、LARの反応だけでNARの低下を補うことができずに、RGRの著しい低下を起こしてしまったと考えられる。

以上の結果から、本種は裸地的な明るいところ、ある程度の光条件が確保されている環境下では良く生長するが、すでに他の植物が繁茂し、光条件が劣悪な環境下では、生長が悪くなると考えられる。そのため本種の十分な生育のためには、周辺の植物の刈り取りが重要になってくると考えられる。

ハルノノゲシ

ハルノノゲシ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.206 g であったものが、最終サンプリング時には 0.364g (3%区) ~3.200g (100%区) となった (表 7)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で 0.009、9%区で 0.067、13%区で 0.049、100%区で 0.074、(表 8、図 36) と光条件が良い温度区のほうが有意に大きい値となり ($P < 0.0001$)、3%区ではほとんど生長しなかった。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3%区では約 0.263、9%区では約 2.143、13%区では約 1.558、100%区では約 3.170 (表 8、図 36) と光条件が良いほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。

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、3%区では約 0.045、9%区では約 0.036、13%区では約 0.034、100%区では約 0.031 (表 8、図 36) と暗い光条件下ほど有意に大きい値となった ($P < 0.0001$)。

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、3%区では約 0.072、9%区では約 0.051、13%区では約 0.049、100%区では約 0.034 と暗い光条件下ほど大きい値となった。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、100%区で約 47%と最も小さく、3%区 ~13%区でこれより大きくなった。茎の重量比である SWR は 3%以上の温度区ではいずれも 20%を超えたが 3%区では約 16%であった。根の重量比である RWR は、100%区で約 33%と最も大きく、3%区で約 16%と最も小さくなった。

SLA、LAR、LWR のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという特性である。しかし本種においては、3%区では LWR の値が十分ではなく、NAR の低下を補うことができず RGR の低下を起こしてしまったと考えられる。

以上の結果から、本種は裸地的な明るいところで良く生長するが、他の植物が繁茂し、光条件が劣悪な環境下では、生長が悪くなると考えられる。その主な原因は光条件が悪い環境下では光合成活性が大きく落ちることによると考えられる。そのため、本種の十分な生育のためには周辺の植物を刈り取り、陽当たりの良い環境を作り出すことも重要であるといえる。

外来種

アメリカセンダングサ

アメリカセンダングサ実生の個体乾燥重量は、初期サンプリング時に 0.020 g であったものが、最終サンプリング時には 0.022g (3%区) ~0.108 g (100%区) となった。(表 7)

相対成長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3%区では約 0.002、9%区では約 0.018、13%区で

は約 0.043、100%区で約 0.058 となった (表 8、図 37)。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$) は 3%区では約 0.066、9%区では約 0.913、13%区では約 2.437、100%区で約 5.188 となり、相対光量子密度が高くなるほど NAR は高くなり、特に 100%区では著しく高くなった (表 8、図 37)。

各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は 3%区では約 0.018、9%区では約 0.020、13%区では約 0.019、100%区で約 0.013 となった。結果として 100%区と比較して 13%以下の光条件が悪い区で、若干の LAR の向上がみられた (表 8、図 37)。本種は相対光量子密度の低下による NAR の低下を LAR の増加で補っているものの、相対光量子密度が 3%区以下になると補いきれなくなり生長不良となると推察される。

また、各個体の葉の厚みを葉面積/重量ベースで表す SLA (m^2g^{-1}) は、9%区で約 6.6%と最大、100%区で約 2.8%と最低になった (表 8、図 37)。この結果から本種は、相対光量子密度が低くなると葉を薄くし、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげる、という多くの植物と同様の特性を持つと考えられる。器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、処理区間で有意な差はなかった。茎の重量比である SWR は、3%区で約 28.2%、13%区で 38.1%、100%で約 30.4%と、相対光量子密度が低くなると SWR が高くなった。根の重量比である RWR は、3%区で約 33.1%、100%区で約 36.8%と、相対光量子密度が低いほど低くなった。

以上の結果から、本種の RGR が光条件の明るい区ほど高くなった主な要因は、光合成活性 (NAR) の増加であると考えられる。すなわち、本種は明るいところでよく生長し、林床のような暗い環境下ではある程度の耐性があるものの、相対光量子密度が 3%を下回るような場所では著しく生長が悪くなると考えられる。

また、13%区であまり RGR が下がっていないのは暗くなるほど NAR が低下するのを、LAR が補っているためと推察できる。これらの結果は、本種が主に河川敷といった明るい環境や、山間地の谷津田のような半日陰など幅広い環境に適応して生育していることの理由の一つであると考えられる。

ナガバギンギシ

ナガバギンギシ実生の個体乾燥重量は、初期サンプリング時に 0.094g であったものが、最終サンプリング時には 0.077g (3%区) ~0.477 g (100%区) となった。(表 7)

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で約-0.011、9%区で約 0.032、13%区で約 0.051、100%区で約 0.075 (表 8、図 38)、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区では全く生長しなかった。この結果は三輪 (2017) の結果とも一致しており、すなわち本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなると考えられる。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は 100%区で約 4.551 と最も高い値を示し、相対光量子密度が低いほど値は低くなり、3%区では約-0.3108 とマイナスになった

(表 8、図 38)。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 3%区で約 0.036 と最大になり、100%区で約 0.023 と最小と、暗い光条件下ほど大きい値となった (表 8、図 38)。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 3%区で約 9.8% と最大になり、100%区で約 3.1% と最低になった (表 8、図 38)。器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、処理区間で有意な差はなかった。茎の重量比である SWR は、3%区で約 32.1%、100%で約 14.6%と、相対光量子密度が低い区ほど高くなった。根の重量比である RWR は、3%区で約 30.1%、100%区で約 52.5%と相対光量子密度が低い区ほど低くなった。

本種はビオトープ内の陽当たりの良い所に生育することが確認されたが、林床や草丈の高い草原内では生育してない。これは、本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなることが原因の一つであると考えられる。

本種は暗い環境下で SLA を増加させることができるが、暗い環境下で LAR、LWR を増加させることができないと考えられる。このことは光が不足して NAR が低下しても、SLA の増加分では、それを補完することができず RGR は低下したといえる。本種は明るいところでよく生長し、暗い環境下では著しく生長が悪くなることが原因の一つであると考えられる。

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 27 に示す。植物の栽培時の気温は、おおむね 15°C ~ 35°C の範囲内にあり、昼間の温室内の気温平均で約 1.6°C 、昼間の外気温よりも高かった。生長解析結果は、表 8 および、図 39~49 に示す。

相対生長速度 (RGR) がコントロール区に比べて 1.6°C 上昇区で有意に高くなった種は絶滅危惧種 A (アドバンテスト産) であり ($P < 0.01$)、イヌビエ、ナガバギシギシ、絶滅危惧種 A (産) においては逆に有意に低下した ($p < 0.01$)。その他多くの種では相対生長速度 (RGR) に処理区間で有意な差は認められなかった。絶滅危惧種 A (アドバンテスト産) の光合成活性 (NAR) が、コントロール区に比べて 1.6°C 上昇区で有意に高くなった ($P < 0.01$) ことから、光合成活性 (NAR) の増加が相対生長速度 (RGR) 増加の主要因であると考えられる。イヌビエ、ナガバギシギシ、絶滅危惧種 A (産) においては、光合成活性 (NAR) がコントロール区に比べて 1.6°C 上昇区で有意に低くなった ($P < 0.01$) ことから、光合成活性 (NAR) の低下が相対生長速度 (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、鈴木 (2018) に委ねる。

結論

本研究により、大型ビオトープは適切に育成管理することによって絶滅危惧種の保護や生物多様性の保全という機能を発揮できる可能性が高いことが明らかになった。本来その地に根付くべき地域生態系としての機能を大型ビオトープが有するようになるまでは、できるだけ人為的な在来生物の導入を行わず、自然に移入・定着できるように管理することが望ましい。そのようにして導入した生物が本来構築されるべき生態系を改変してしまう恐れがあるからだ。生物の自然移入や定着を促すためには、外来種の駆除及び物理化学的環境条件の多様化などを行う必要がある。そして、地域の絶滅危惧種の系統維持や生物多様性の保全を実現するために、移植などを行うことが想定される。その際には対象種の生態学的特性、すなわち結実、発芽、生長特性を解明し、自生地とビオトープの生育条件とを比較して、移植後の健全な育成が実現するようにしなければならない。

その中でも最も重要なことは周囲の自然から独立させず、調和できるようにすることである。特定の種を特別扱いしすぎると全体の多様性が失われてしまう。ビオトープの目的は対象地域本来の自然環境を復元し、保全することにある。ビオトープは、人為的な生物種の導入ではなく、在来種が自然に移入・定着するような管理と、外来種の積極的駆除といった二つの育成管理を同時に両立させていくことにより、生物多様性と地域特性を持つ自然を守ることが可能になるのである。

チノー・ビオトープでは在来種 85 種、外来種 40 種の計 125 種が確認された。本ビオトープでは 2011 年度から継続して 140 種前後を確認している。

生育が確認できた種の中には竣工直後から確認されている準絶滅危惧種のコギシギシ、2011 年度から確認されている準絶滅危惧種のカワヂシャとミゾコウジュの生育が確認できた。県の指定する絶滅危惧 IB 類であるササバモに関しては、2015 年度に工事予定地からの緊急避難として本種を素焼き鉢にくくりつけ、本ビオトープ内の池に沈めたが、本年度の調査でも本種を確認することができた。また 2015 年 5 月 25 日に本ビオトープ内の池に移植した、県が指定する絶滅危惧 IA 類のトチカガミの生育が確認できなかったため、本年度も本ビオトープ内の池にふたたびトチカガミを移植したが、アサザが優占している池であるため生長が確認できなかった。今後本種の育成管理方法について継続して研究していく必要があると考えられる。また生息地の確保のため、当地に植栽されている県の指定する絶滅危惧 類の絶滅危惧種 A は本年度も確認することができた。本種は来年度から群馬県では絶滅危惧 類に分類されることが決まっており、当地の重要性がいっそう増すことが予想される。

園芸種は 2011 年度で 17 種（松田 2012）と目立っていたが、2013 年度の調査では 5 種、2014 年度は 3 種、2015 年度は 6 種、2016 度は 5 種、本年度は 3 種と減っている。引き抜き除去を継続した成果であり、今後も継続する必要がある。

男井戸川遊水池では在来種 72 種、外来種 31 種の計 103 種の生育が確認された。2012 年の調整池完成前の 2010 年の調査では 19 種確認できたのみであり、多様な植物が生育できる環境の形成がすすんでいると言える。本年度の調査ではじめて、国の指定する絶滅危惧Ⅱ類、県の指定する絶滅危惧ⅠB 類に分類されている、キタミソウの生育が確認された。キタミソウは図鑑では 6-10 月が花期とされるが、現地で見られるキタミソウは 4 月 20 日の調査の際にも開花が確認されたため、冬から春にかけてが花期であると考えられる。また一般に多年草であるとされるが、当地では 6 月 26 日の調査の際には確認することができなかつたため、夏季には暑さや水位の上昇などにより枯死すると考えられる。今後も本種の生態的特徴について継続して調査を行う必要がある。また、2012 年度より継続し準絶滅危惧種のコギシギシとカワヂシャを確認した。加えて、本年度も 2012 年度を最後に確認できず 2015 年度の調査で再び確認された準絶滅危惧種のみゾコウジュも確認することができ、その他の希少種も含めて今後定着することを期待したい。

発芽実験では、キツネアザミ、みゾコウジュ、ナズナ、イヌトウバナが高温度帯で高い発芽率を示し、春季から夏季にかけて発芽する特徴があることが分かった。またナガバギシギシ、ハルノノゲシは全ての温度帯で高い発芽率を示し、一年中気温に関係なく発芽することが分かった。絶滅危惧種 A は産地ごとの発芽率の違いが見られた。先行研究ではアドバンテスト産の絶滅危惧種 A は、その起源と考えられる の個体群よりも種子の発芽能力が低くなっており、最終発芽率の低下がみられると考えられてきた。しかしこれまでの移植などの対策によって、アドバンテスト産の発芽率は 産の発芽率と比較してみても、低温度帯で低い値になっているものの、高温度帯では差がみられなくなった。今後も継続した対策が必要である。 産の種子は、他の産地と比べて標準偏差が大きく、発芽率も若干低くなっている。この原因は の自生地では、本年度の調査で 2 個体のみ確認されており、個体数が少ないため、近親交雑あるいは花粉不足による種子の未熟や劣化の可能性が考えられる。今後は個体数の増加のため移植などの対策や、継続的な調査が求められる。

絶滅危惧種 A を異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することがわかり、また浦野 (2013) は同種の生長期のピークが 7-8 月であることを明らかにしている。よって、草刈りをそれ以前に行い、光環境を整える必要があると考えられる。同様に、みゾコウジュ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、イヌビエ、コギシギシ、チョウジソウを異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することが明らかになり、他の植物に被陰されないよう継続的な周辺管理が不可欠である。

また 2 種類の外来種であるアメリカセンダングサ、ナガバギシギシを異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することが明らかになった。陽当たりのよいところに生育する本種を中心に駆除を行う必要がある。オトコエシは同様に異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、13%ほどの光条件下で

最も生長した。これは本種が林床のような光条件が少し悪い環境で生育していることが原因と考えられる。

本年度は、チノー・ビオトープ内に絶滅危惧種 A、ミゾコウジュ、カワジシャ、男井戸川調整池内にキタミソウ、コギシギシ、ミゾコウジュなどの絶滅危惧種を確認することができた。今後は研究結果も踏まえてこれらの植物の生育環境が適切であるかどうかを継続的にモニタリングし、適切な管理を続けていく必要がある。

ビオトープの育成管理は、地域の自然の自己回復力に人間が手を添えるという創造作業の一局面である。持続的な自然再生を実現するためには、見た目の奇抜さや公園利用価値のある庭園や緑地帯を目指して作るべきではない。多様なタイプのビオトープがつくられることは好ましいが、そこに生物の持続できる空間が確保されていなければ、ただの人間の自己満足で終わってしまう。地域特有の自然や立地環境の復元を目標にして、その目標に向けビオトープを育成管理し、持続的にモニタリングすることが不可欠である。同時に、ビオトープ利用者や地域住民への情報提供を行い、管理やモニタリングに可能な限り参加してもらうことで、ビオトープに対する理解や関心を深め、今後の更なる成長を共に見守っていくことにつながるだろう。そしてビオトープの意義として重要な自然体験の場を住民に提供することに繋がり、ひいては一人一人の環境問題への意識が高まっていくことが期待される。

県内には絶滅危惧種 A のように、近年の自生地の減少にともない来年度から絶滅危惧類に分類されることが決まった種もあり、川岸の開発などにより水辺の植物の生育環境は年々悪化していると言える。また開発などの影響がなくても、台風などの洪水によって水辺の植物の自生地は絶えず危険にさらされている。このような状況の中、水辺や林床のようなさまざまな環境があるビオトープは、種の保全という点で大きな意義を示すようになるだろう。脆弱な生息地を保全する上でもビオトープを緊急的な保護地として利用していくことは有効であると考えられる。過去には絶滅危惧種 A をチノー・ビオトープに移植を行い、本年度は絶滅危惧 IA 類トチカガミをチノー・ビオトープ内に移植を行っており、今後はチョウジソウなど自生地が減少している種の移植を行っていく必要がある。そのためにもビオトープ内の環境を整備し、継続的なモニタリングを続けていくことが必要であると言える。そして移植する種の生育条件を把握するためにも、今後も継続して希少種の発芽実験、栽培実験を行っていく必要がある。

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下、環境科学研究室内で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大変熱心にご指導・ご助言を頂きました。

チノー・ビオトープの調査につきましては、株式会社チノー機械事業環境開発課・高橋哲夫氏、小林孝旨氏にご協力いただきました。

男井戸川調節池の調査におきましては、群馬県議会・環境カウンセラー・臂泰雄氏、殖蓮地区自然環境を守る会・会長・膳福一氏、赤城自然塾・副代表・下條茂夫氏をはじめ、多くの会員の方々、地域の皆様にご指導・ご協力いただきました。

また同時期に卒業論文に取り組んだ櫻井翠氏、鈴木統子氏、諏訪間侑樹氏、長倉優希氏そして研究生の馬圓氏、管雪氏をはじめとする、研究室の学生の皆様のご指導・ご協力なしには決して完成し得なかったものであります。心から感謝し、厚く御礼を申し上げます。

引用文献

- Andrew S. Pullin (2004) 保全生態学. 生物多様性のための科学と実践. 丸善株式会社 19.
- 青木良輔 (2011) 大型ビオトープの育成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.
- 足助直紀 (2016) 地球温暖化が植物の発芽・生長に及ぼす直接影響に関する実験生態学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 秋山恵二郎 (2000) ビオトープ環境の創造. 信山社サイテック 5, 7.
- 川道美枝子、岩槻邦男、堂本暁子編 (2001) 移入・外来・侵入種. 生物多様性を脅かすもの. 築地書館 21-24, 26-27, 33.
- 国際連合大学高等研究所、日本の里山・里海評価委員会編 (2012) 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし. 朝倉書店 13-14, 17, 21, 23-24.
- 杉山恵一、重松敏則 (2002) ビオトープの管理・活用 ー続自然環境復元の技術ー. 朝倉書店 5, 6.
- 鈴木由希 (2010) 大型ビオトープの有する生態系機能に関する基礎研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 須永勇樹 (2017) 群馬県内のビオトープに生育する植物に対する地球温暖化の諸影響に関する生態学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 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.
- 武内和彦、鷺谷いづみ、恒川篤史編 (2001) 里山の環境学. 東京大学出版 1-4.
- 都丸希美 (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 ーチノー・ビオトープを中心とした解析ー. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 富沢美和 (1998) フジバカマとセイタカアワダチソウの夏季における地上部喪失に対する反応ー復元植生の育成管理を立てるためにー. 保全生態学研究.
- 根本正之編著 (2010) 身近な自然の保全生態学. 培風館 50-52, 66.
- 長谷川明子、根本淳、井上雅義、中島敦司 (2004) 『環境復元と自然再生を成功させる 101 ガイド ビオトープ』. (近自然研究会 編). 誠文堂新光社. 8, 82-83, 88, 98-100.
- 福山研二・安田喜憲 (2009) 森林環境 2009 生物多様性の日本. 森林文化協会. 93-95.
- 牧野富太郎 (2000). 新訂 牧野新日本植物図鑑. 北隆館.
- 三輪晏史 (2017) 群馬県内のビオトープにおける来植物の侵入状況と植生影響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.
- 村上興正、鷺谷いづみ (2002) 外来種ハンドブック. 地人書館. 5.
- 矢原徹一 (2003) レッドデータプランツ. 山と溪谷社. 2, 3.
- 山里純 (2017) 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. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 養父志乃夫 (2006) ビオトープ再生技術入門. 農山漁村文化協会 19.
- 鷺谷いづみ、鬼頭秀一編 (2007) 自然再生のための生物多様性モニタリング. 東京大学出版 4, 5.
- 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 66-68.
- 鷺谷いづみ (1999) 新生態学への招待 生物保全の生態学. 共立出版 60, 61.
- 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 42.
- 鷺谷いづみ (2001) 生態系を蘇らせる. 日本放送協会出版 31, 32.
- 鷺谷いづみ (2010) 〈生物多様性〉入門. 岩波書店 13, 20, 29, 37, 39.

引用ウェブサイト

WWF ジャパン レッドリストについて

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

伊勢崎市 市の施設のご案内 いせさき聖苑

<http://www.city.isesaki.lg.jp/www/contents/1358384356329/index.html>

外務省 生物多様性条約

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

環境省 RL/RDB

<https://ikilog.biodic.go.jp/Rdb/>

環境省 自然環境局 生物多様性センター センターの概要 生物多様性条約

http://www.biodic.go.jp/biolaw/jo_hon.html

環境省 自然環境局 外来生物法

<https://www.env.go.jp/nature/intro/index.html>

環境省 生物多様性 生物多様性国家戦略

<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/index.html>

環境省 平成 19 年度版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書

<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h19/html/vk0701020100.html>

環境省 平成 22 年度版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h22/index.html>

環境省 平成 23 年度版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h23/index.html>

国立環境研究所 侵入生物データベース

<http://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/>

国立環境研究所 日本の生物多様性を脅かす「4つの危機」

<https://www.nies.go.jp/kanko/news/35/35-5/35-5-05.html>

国立環境研究所 環境情報メディア 環境展望台 さまざまな生態系

http://tenbou.nies.go.jp/learning/note/theme2_2.html

高崎市 観音山公園（カッパピア跡地）基本計画

<http://www.city.takasaki.gunma.jp/docs/2013122401233/>

野生生物調査協会 日本のレッドデータ検索システム

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



写真 1. チノー・ビオトープの風景
（上）ビオトープ正面。2017年5月23日撮影
（下）トンボの池。2017年5月23日撮影



写真 2. チノー・ビオトープの風景

(上) 県指定絶滅危惧 I A 類のヤリタナゴが生育するタナゴ池。2017 年 5 月 23 日撮影

(下) 新たに造設された地域。2017 年 5 月 23 日撮影



写真 3. 男井戸川調節池の風景

(上) 男井戸川周辺風景。2017年5月16日撮影

(下) 男井戸川周辺風景。2017年5月16日撮影



写真 4. 男井戸川調節池の風景

(上) 男井戸川の周辺風景。2017年4月20日撮影

(下) 対岸のススキなどが繁茂する草原。2017年9月27日撮影



写真 5. チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種

(上) ビオトープ内に生育するコギシギシ。2017年5月23日撮影

(下) ビオトープ内に生育するミゾコウジュ。2017年5月23日撮影



写真 6. チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種 2

(上) ビオトープ内に生育する絶滅危惧種 A。2017 年 9 月 27 日撮影

(下) ビオトープ内に生育するカワジシヤ。2017 年 5 月 23 日撮影



写真 7. チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種 3

(上) ビオトープ内に生育するアサザ。2017年5月23日撮影

(下) ビオトープ内に生育するササバモ。2017年5月23日撮影



写真 8. 男井戸川調節池内の絶滅危惧種

(上) 本年度初めて調節池内に生育が確認されたキタミソウ。2017年4月20日撮影

(下) 調節池内に生育するアサザ。2017年5月16日撮影



写真 9. 男井戸川調節池内の絶滅危惧種 2

(上) 調節池内に生育するカワヂシャ。2017年4月20日撮影

(下) 調節池内に生育するミゾコウジュ。2017年5月16日撮影

表 1. 各調査地の調査日一覧
植物相調査

チノー・ビオトープ (計4回)	2017年4月21日、5月23日、6月26日、9月27日
男井戸川調整池 (計3回)	2017年4月20日、5月16日、9月27日
観音山公園 (計1回)	2017年5月23日
いせさき聖苑 (計2回)	2017年4月20日、5月9日

表 2. 発芽の温度依存性実験スケジュール表

科名	和名	学名	生活型	採取日時	採取場所	冷蔵処理	実験開始日～終了日	実験期間	備考	
ツリクサ科	ナズナ	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	越年草	2008/5/4	群馬大学農牧センターCA	なし	5/13～7/10	58日間(30/15 度は55日間)	10・8℃、17・8℃、 22/10℃、 25/13℃、30/15℃ 区画で栽培	
	オトコエシ	<i>Parrotia rubra</i>	多年草	2015/11/4	西播磨地域		※30/15℃は5/18～ 7/10			
	キク科	キクネアザミ	<i>Hieracopsis carthagenicus</i>	越年草	2015/3/25		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
	キク科	ハハコグサ	<i>Senecio abrotanoides</i>	越年草	2015/3/25		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
					2016/10/31		チノー・ヒオトーブ			
					2016/11/7					
					2016/11/17					
					2016/11/17					
					2016/11/17					
					2016/11/17					
シソ科	イヌトウバチ	<i>Chrysopsis microstichus</i>	多年草	2014/10/16	チノー・ヒオトーブ	なし	5/13～7/10	58日間	10・8℃、17・8℃、 22/10℃、 25/13℃、30/15℃ 区画で栽培	
	シソ科	キノコウリス	<i>Silybia pichia</i>	越年草	2016/6/21		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間(30/15 度は55日間)
	タネ科	コギンギン	<i>Munier ruppianus</i>	多年草	2016/3/24		男井戸川調整池	25/13℃は11/24～ 12/28		34日間
	タネ科	チヂバギンギン	<i>Promis crispus</i>	多年草	2008/6/19		チノー・ヒオトーブ	11/24～12/28		34日間
					2016/3/24		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
					2016/3/24		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
					2016/3/24		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
					2016/3/24		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
					2016/3/24		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間
					2016/3/24		チノー・ヒオトーブ	5/13～7/10		58日間

冷蔵処理あり

科名	和名	学名	生活型	採取日時	採取場所	冷蔵処理	実験開始日～終了日	実験期間	備考
イヌ科	イヌヒエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	一年草	2016/10/20	藤岡市内	冷蔵処理	7/11～9/11	60日間	10・8℃、17・8℃、 22/10℃、 25/13℃、30/16℃ 区画で栽培
キク科	アザミカセンダングサ	<i>Bidens frondosa</i>	一年草	2015/11/4	西播磨地域				
キク科	チヨウソウ	<i>Anemone elliptica</i>	多年草	2016/9/23	群馬大学農牧センターCA				

表 3. 栽培実験スケジュール表

科名	和名	学名	生活型	採取日時	採取場所	種交換日	栽培開始日	サンプリング日	備考
イネ科	イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	一年草	2016/10/20	藤岡市内	2017/7/4	2017/7/21	2017/8/4	異なる4つの光条件下、1つの温度条件下で栽培
オミナエシ科	オミナエシ	<i>Pennisetia villosa</i>	多年草	2015/11/4	西播磨地域	2017/8/20	2017/8/27	2017/7/18	
キク科	アザミカササギ	<i>Rudbeckia frondosa</i>	一年草	2015/11/4	西播磨地域	2017/9/5	2017/10/5	2017/11/2	
キク科	キクネアザミ	<i>Hemistepta carthagenensis</i>	越年草	2015/5/25	チノー・ビオトープ	2017/8/27	2017/7/4	2017/7/21	
キク科	ハルノナゲシ	<i>Senecio abrotanoides</i>	越年草	2015/5/25	チノー・ビオトープ	2017/8/27	2017/7/4	2017/7/21	
	絶滅危惧種A			2016/10/31	アビバビテス・ビオトープ	2017/7/14	2017/7/19	2017/8/3	
				2016/11/17		2017/8/27	2017/7/4	2017/7/18	
キョウチクトウ科	キョウチクトウ	<i>Amorpha elliptica</i>	多年草	2016/9/27	群馬大学農牧キャンパス	2017/8/31	2017/8/31	2017/9/19	
シソ科	ミソコウジユ	<i>Sida phleba</i>	越年草	2016/6/21	チノー・ビオトープ	2017/7/7	2017/7/21	2017/8/4	
タデ科	コボシギシ	<i>Rumex crispus</i>	多年草	2016/5/24	チノー・ビオトープ	2017/8/19	2017/8/19	2017/7/11	
タデ科	チガハギシギシ	<i>Rumex crispus</i>	多年草	2008/6/19	アビバビテス・ビオトープ	2017/8/19	2017/8/19	2017/7/11	

表 6. 各植物の発芽実験における最終発芽率一覧

冷湿処理を施していないアメリカセンダングサ、イヌビエ、チョウジソウの種子は 25/13°C (昼 14hr、夜 10hr) に設定した温度勾配型恒温器内で培養した。

2ヶ月間の冷湿処理を施したアメリカセンダングサ、イヌビエ、チョウジソウの種子は、30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C (昼 14hr、夜 10hr) に設定した温度勾配型恒温器内で培養した。

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
アメリカセンダングサ	30/15°C	16.0	6.9
	25/13°C	2.7	1.2
	22/10°C	2.0	2.0
	17/8°C	28.0	10.6
	10/6°C	12.0	6.0
	25/13°C(冷湿なし)	8.7	4.2

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
イヌビエ	30/15°C	88.0	9.2
	25/13°C	79.3	12.7
	22/10°C	91.3	6.1
	17/8°C	82.0	7.2
	10/6°C	6.0	2.0
	25/13°C(冷湿なし)	46.0	10.4

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
チョウジソウ	30/15°C	14.7	5.8
	25/13°C	8.7	3.1
	22/10°C	34.0	2.0
	17/8°C	23.3	11.0
	10/6°C	1.3	1.2
	25/13°C(冷湿なし)	0.0	0.0

表 6 (続) . 各植物の発芽実験における最終発芽率一覧

冷湿処理を施していないオトコエシ、ナガバギシギシ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナズナ、イヌトウバナ、コギシギシ (チノー産)、ミゾコウジュ、絶滅危惧種 A (アドバンテスト産)、絶滅危惧種 A (産)、絶滅危惧種 A (産)、絶滅危惧種 A (産) の種子を、30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C (昼 14hr、夜 10hr) に設定した温度勾配型恒温器内で培養した。

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
オトコエシ	30/15°C	71.3	4.6
	25/13°C	90.7	8.3
	22/10°C	98.7	1.2
	17/8°C	99.3	1.2
	10/6°C	97.3	1.2

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
ナガバギシギシ	30/15°C	99.3	1.2
	25/13°C	97.3	3.1
	22/10°C	99.3	1.2
	17/8°C	97.3	2.3
	10/6°C	98.7	1.2

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
キツネアザミ	30/15°C	94.7	5.0
	25/13°C	94.7	3.1
	22/10°C	18.7	9.5
	17/8°C	5.3	6.1
	10/6°C	2.0	2.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
ハルノノゲシ	30/15°C	79.3	10.1
	25/13°C	84.7	6.1
	22/10°C	83.3	5.0
	17/8°C	86.0	5.3
	10/6°C	86.7	6.4

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
ナズナ	30/15°C	46.7	4.6
	25/13°C	82.0	2.0
	22/10°C	59.3	9.0
	17/8°C	2.0	0.0
	10/6°C	5.3	5.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
イヌトウバナ	30/15°C	53.3	2.0
	25/13°C	50.0	22.7
	22/10°C	62.7	5.3
	17/8°C	28.7	5.3
	10/6°C	5.3	5.8

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
コギシギシ(チノー産)	30/15°C	92.0	4.0
	25/13°C	92.7	6.1
	22/10°C	89.3	3.1
	17/8°C	8.0	2.0
	10/6°C	0.0	0.0

表 6 (続) . 各植物の発芽実験における最終発芽率一覧

冷湿処理を施していないコギシギシ(男井戸川産)については 25/13°C (昼 14hr、夜 10hr) に設定した温度勾配型恒温器内で培養した。

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
コギシギシ(男井戸川産)	30/15°C		
	25/13°C	69.3	8.3
	22/10°C		
	17/8°C		
	10/6°C		

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
ミゾコウジュ	30/15°C	82.0	4.0
	25/13°C	94.0	2.0
	22/10°C	74.0	18.3
	17/8°C	0.0	0.0
	10/6°C	0.0	0.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
絶滅危惧種A(アドバンテスト産)	30/15°C	68.7	5.0
	25/13°C	56.0	2.0
	22/10°C	46.0	14.0
	17/8°C	22.0	5.3
	10/6°C	22.7	6.1

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
絶滅危惧種A(産)	30/15°C	38.7	29.0
	25/13°C	26.7	27.0
	22/10°C	30.7	31.0
	17/8°C	34.0	34.0
	10/6°C	29.3	29.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
絶滅危惧種A(産)	30/15°C	53.3	8.1
	25/13°C	52.7	6.4
	22/10°C	48.7	7.6
	17/8°C	44.7	13.0
	10/6°C	51.3	8.1

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
絶滅危惧種A(産)	30/15°C	38.7	6.4
	25/13°C	46.7	8.1
	22/10°C	52.7	2.3
	17/8°C	49.3	9.2
	10/6°C	33.3	6.1

表 7. 栽培実験における各植物の個体あたり乾燥重量

植物名	乾燥重量平均値・標準偏差	初期サンプリング	最終サンプリング				
			3%	9%	13%	100%	+2°C
アメリカセンダングサ	平均値	0.020	0.022	0.033	0.081	0.108	0.100
	標準偏差	0.006	0.013	0.013	0.074	0.066	0.059
	平均値	0.267	0.208	0.469	0.425	0.693	0.477
イヌビエ	標準偏差	0.090	0.072	0.190	0.163	0.182	0.193
	平均値	0.043	0.051	0.099	0.134	0.125	0.123
	標準偏差	0.018	0.015	0.055	0.054	0.059	0.059
オトコエシ	平均値	0.083	0.127	0.277	0.329	0.243	0.311
	標準偏差	0.020	0.029	0.079	0.147	0.107	0.155
	平均値	0.033	0.026	0.119	0.179	0.528	0.498
コギシギシ(チノー)	標準偏差	0.009	0.006	0.056	0.064	0.176	0.243
	平均値	0.089	0.083	0.077	0.135	0.201	0.182
	標準偏差	0.069	0.038	0.056	0.117	0.078	0.075
ナガバギシギシ	平均値	0.094	0.077	0.192	0.288	0.477	0.398
	標準偏差	0.027	0.029	0.056	0.070	0.219	0.135
	平均値	0.206	0.364	0.525	0.709	3.200	0.756
ハルノナギシ	標準偏差	0.120	0.219	0.303	0.218	0.462	0.513
	平均値	0.076	0.075	0.146	0.196	0.238	0.248
	標準偏差	0.069	0.042	0.099	0.090	0.097	0.129
絶滅危惧種A(アトハシチスト)	平均値	0.125	0.125	0.277	0.286	0.507	0.363
	標準偏差	0.102	0.096	0.154	0.165	0.304	0.283
	平均値	0.117	0.087	0.153	0.207	0.408	0.387
ミノコウジュ	標準偏差	0.083	0.061	0.103	0.146	0.196	0.216

表 8. 栽培実験における各植物の生長解析結果

アサヒカサセンダングサ

相対光量子密度	平均			SD				
	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)
3%	0.002	0.018	0.066	0.052	0.009	0.003	0.432	0.012
9%	0.018	0.020	0.913	0.066	0.008	0.003	0.128	0.006
13%	0.043	0.019	2.417	0.057	0.018	0.003	1.252	0.009
100%	0.058	0.013	5.188	0.028	0.010	0.001	0.985	0.003
2°C上昇区	0.055	0.016	3.561	0.042	0.013	0.002	1.139	0.002

オトコエシ

相対光量子密度	平均			SD				
	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)
3%	-0.019	0.019	-1.012	0.061	0.007	0.001	0.368	0.004
9%	0.038	0.015	2.550	0.048	0.014	0.001	1.088	0.002
13%	0.031	0.016	1.968	0.048	0.011	0.001	0.676	0.006
100%	0.072	0.011	7.139	0.036	0.008	0.001	1.130	0.004
2°C上昇区	0.039	0.014	2.882	0.046	0.015	0.001	1.216	0.006

ネツネアザミ

相対光量子密度	平均			SD				
	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)
3%	0.005	0.030	0.161	0.073	0.005	0.003	0.176	0.006
9%	0.034	0.025	1.452	0.051	0.011	0.003	0.530	0.006
13%	0.049	0.023	2.203	0.046	0.005	0.003	0.362	0.006
100%	0.043	0.019	2.656	0.029	0.007	0.002	0.606	0.003
2°C上昇区	0.041	0.019	2.528	0.030	0.009	0.004	0.718	0.006

コギンギン(チノー)

相対光量子密度	平均			SD				
	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)
3%	0.025	0.046	0.549	0.070	0.002	0.002	0.070	0.007
9%	0.070	0.036	2.049	0.050	0.007	0.001	0.189	0.003
13%	0.078	0.037	2.313	0.050	0.015	0.002	0.665	0.006
100%	0.060	0.028	2.825	0.030	0.016	0.002	0.906	0.002
2°C上昇区	0.073	0.031	2.770	0.040	0.017	0.001	0.772	0.004

チヨウジソウ

相対光量子密度	平均			SD				
	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)
3%	-0.018	0.036	-0.523	0.116	0.003	0.005	0.142	0.017
9%	0.056	0.041	1.370	0.062	0.011	0.003	0.260	0.007
13%	0.070	0.037	1.969	0.072	0.011	0.002	0.377	0.004
100%	0.124	0.026	7.105	0.032	0.006	0.003	0.953	0.003
2°C上昇区	0.120	0.030	4.990	0.051	0.010	0.003	0.778	0.006

チヨウジソウ

相対光量子密度	平均			SD				
	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)	RGR($\text{g}/\text{g}/\text{day}$)	LAR(m^2/g)	NAR($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	SLA(m^2/g)
3%	0.001	0.027	-0.031	0.058	0.013	0.005	0.723	0.011
9%	-0.008	0.019	-0.458	0.041	0.011	0.004	0.636	0.003
13%	0.018	0.022	1.015	0.049	0.007	0.006	0.839	0.005
100%	0.048	0.020	2.476	0.037	0.018	0.004	0.631	0.002
2°C上昇区	0.045	0.022	2.123	0.037	0.015	0.004	0.630	0.004

表 8 (続) . 栽培実験における各植物の生長解析結果

チガハギシギシ									
相対光量子密度	平均			SD			SD		
	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	-0.011	0.036	-0.311	0.098	0.010	0.006	0.278	0.011	
9%	0.032	0.037	0.882	0.086	0.010	0.004	0.275	0.007	
13%	0.021	0.022	1.171	0.068	0.004	0.004	0.262	0.006	
100%	0.051	0.020	2.612	0.033	0.016	0.004	0.649	0.020	
2°C上界区	0.066	0.025	3.207	0.046	0.004	0.003	0.529	0.004	
ハルノゲン									
相対光量子密度	平均			SD			SD		
	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	0.009	0.045	0.263	0.072	0.028	0.006	0.702	0.012	
9%	0.067	0.036	2.143	0.051	0.007	0.010	0.693	0.009	
13%	0.049	0.034	1.558	0.049	0.015	0.005	0.398	0.006	
100%	0.074	0.031	3.170	0.034	0.029	0.008	1.716	0.008	
2°C上界区	0.092	0.031	3.728	0.039	0.031	0.006	1.511	0.007	
熱減危損種A(フトハフチスホ)									
相対光量子密度	平均			SD			SD		
	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	0.003	0.034	0.066	0.076	0.007	0.008	0.022	0.015	
9%	0.065	0.024	2.947	0.054	0.026	0.007	1.245	0.010	
13%	0.069	0.021	3.606	0.049	0.023	0.005	1.118	0.008	
100%	0.111	0.017	7.992	0.023	0.027	0.004	2.172	0.004	
2°C上界区	0.078	0.019	5.045	0.041	0.026	0.006	2.631	0.004	
ミノコウジュ									
相対光量子密度	平均			SD			SD		
	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	0.007	0.042	0.066	0.092	0.028	0.009	0.695	0.015	
9%	0.070	0.037	1.870	0.078	0.037	0.009	0.855	0.012	
13%	0.086	0.034	2.433	0.073	0.039	0.010	0.557	0.016	
100%	0.065	0.021	3.848	0.038	0.024	0.007	1.343	0.008	
2°C上界区	0.100	0.028	4.029	0.057	0.036	0.007	1.303	0.010	
2°C上界区									
相対光量子密度	平均			SD			SD		
	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RCGR (g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	-0.062	0.039	-1.787	0.091	0.041	0.003	1.151	0.016	
9%	0.021	0.040	0.528	0.086	0.014	0.006	0.346	0.016	
13%	0.043	0.037	1.166	0.072	0.011	0.005	0.233	0.010	
100%	0.099	0.022	4.667	0.030	0.025	0.005	0.943	0.005	
2°C上界区	0.094	0.027	3.554	0.043	0.026	0.005	0.876	0.010	



図1. 各調査地一覧

面積約10,119m²

植栽配置検討資料

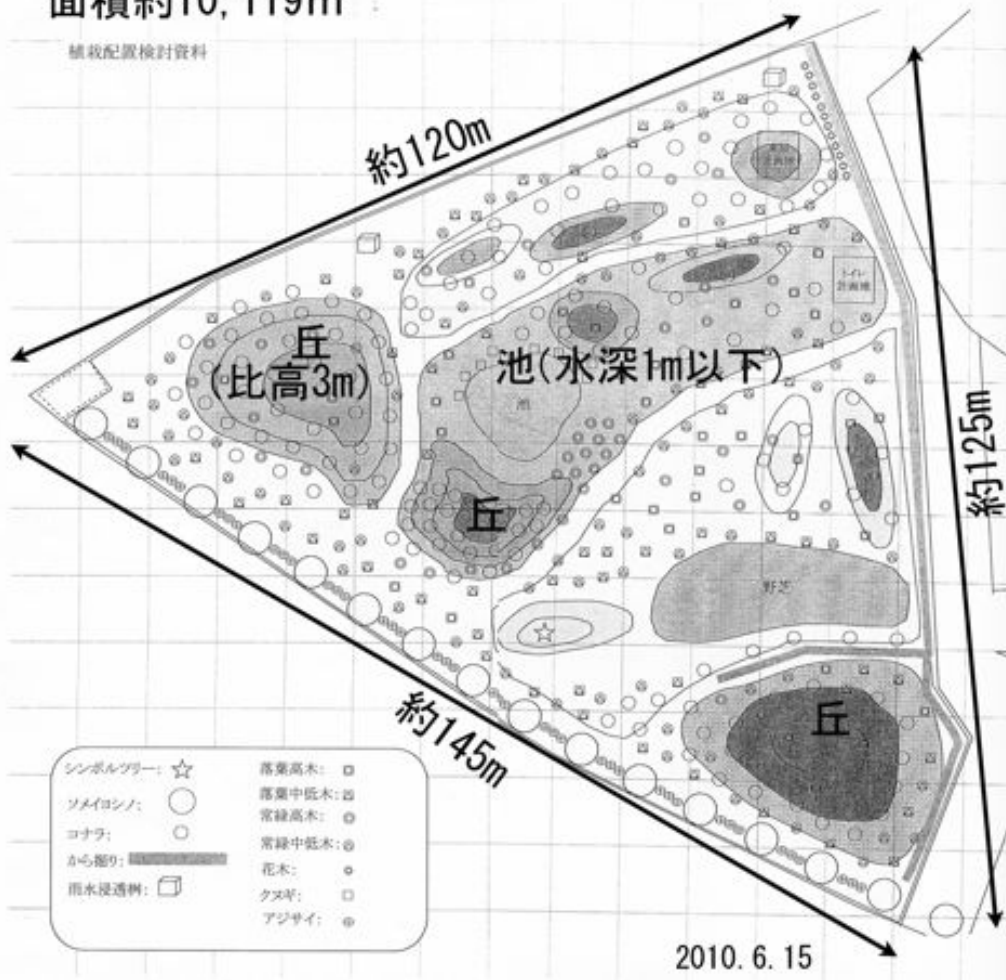


図2. チノー・ビオトープ見取り図



図 3. 男井戸川調整池見取り図
2015 年時点では、地下水の浸出により活用ゾーン 1 の全面および活用ゾーンおおよそ半分が湿地化している

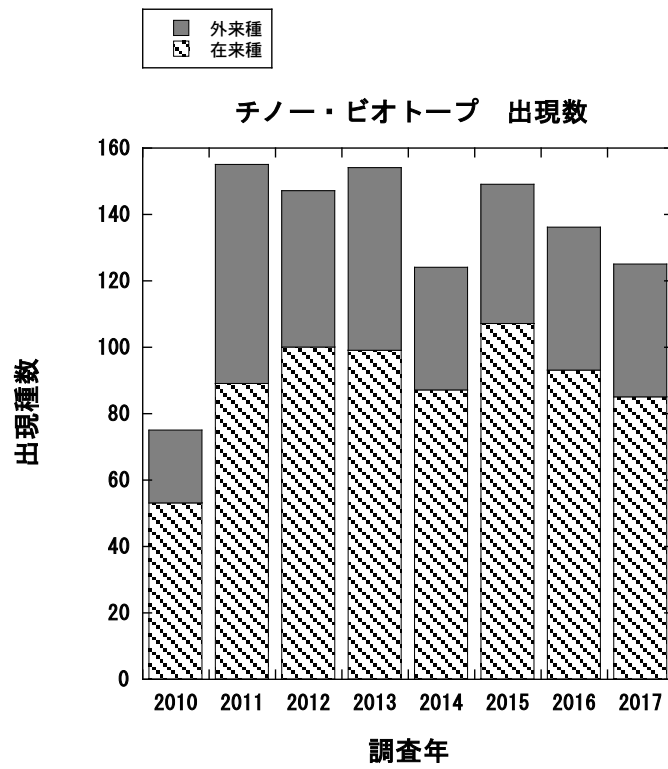


図 4. チノー・ビオトープにおいて生育が確認された在来種と外来種の種数の経年変化

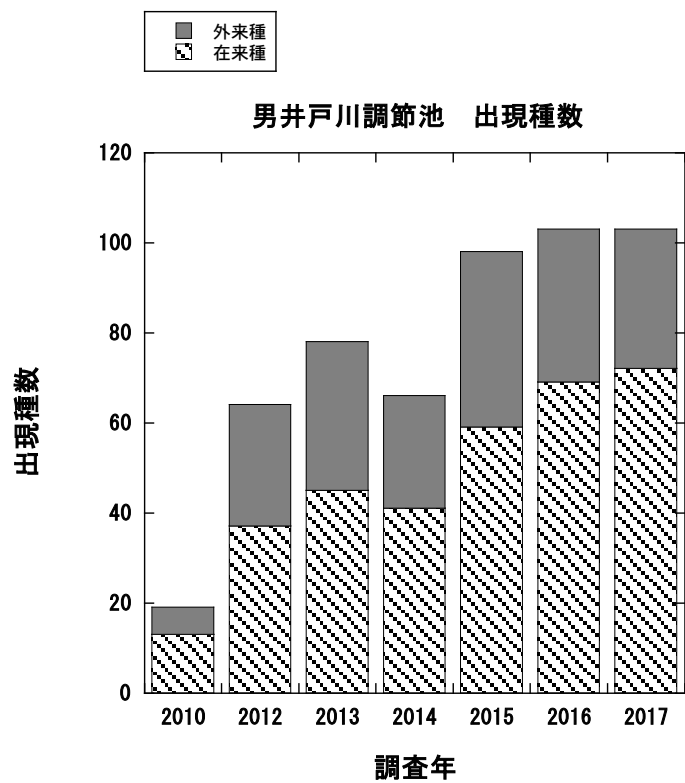


図 5. 男井戸川調整池ビオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

新規レコード作成

写真



科名 シソ科
 種名 エゾコウジュ
 学名 *Salvia plebeia*

撮影年 2018 05.24

撮影場所 チノー

種別 在来種減色植物

掲載 掲載する

備考

生育位置



図 6. チノー・ビオトープに生育する植物の写真と生育位置図の例
 FileMakerPro12 を用いてデータベース化した。

新規レコード作成

写真



科名 ゴマノハグサ科
 種名 キタミソウ
 学名 *Linocella aquatica*

撮影年 2017 04.20
 撮影場所 男井戸川調整池
 種別 外来種(外来植物)
 掲載
 備考

生育位置



図 7. 男井戸川調整池に生育する植物の写真と生育位置図の例
 FileMakerPro12 を用いてデータベース化した。

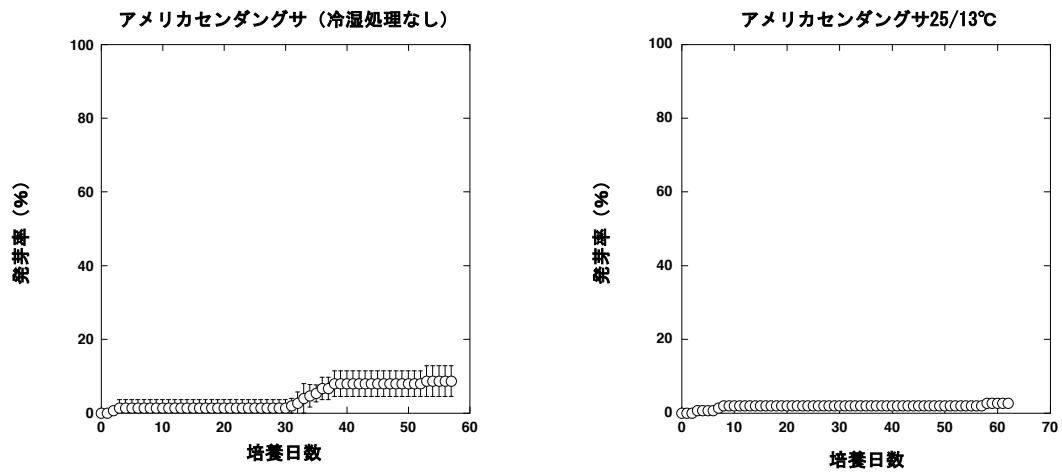


図8. 冷湿処理を施していないアメリカセンダングサの種子発芽率の経時変化（左図）と冷湿処理を施した種子の発芽率の経時変化（右図）。

種子を 25/13°C に設定した温度勾配型恒温器内で 63 日間培養した。
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。

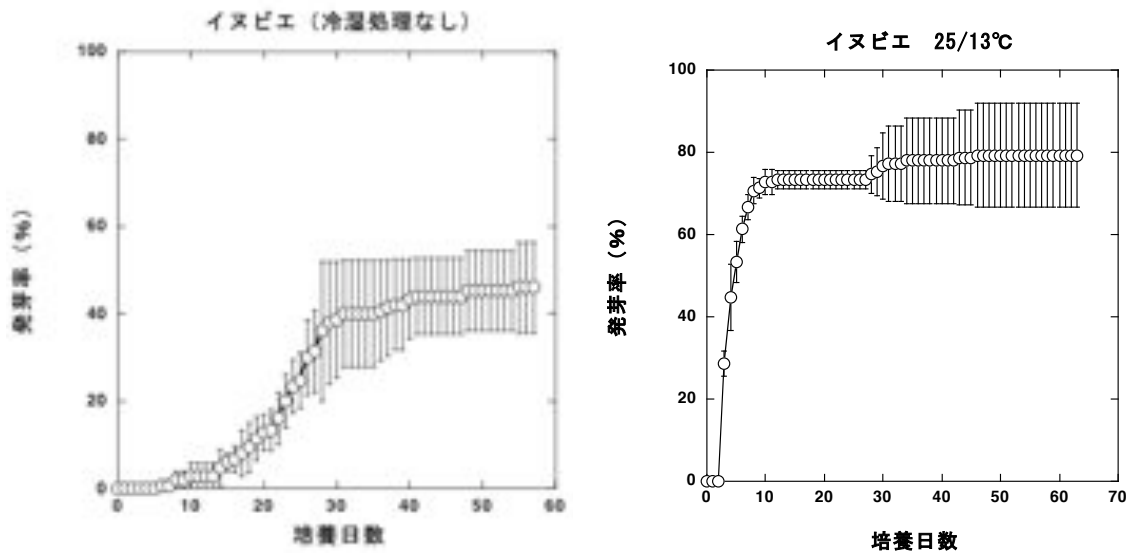


図 9. 冷湿処理を施していないイヌビエ（藤岡産）の種子発芽率の経時変化（左図）と冷湿処理を施した種子の発芽率の経時変化（右図）。

種子を 25/13°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。
縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。n=3。

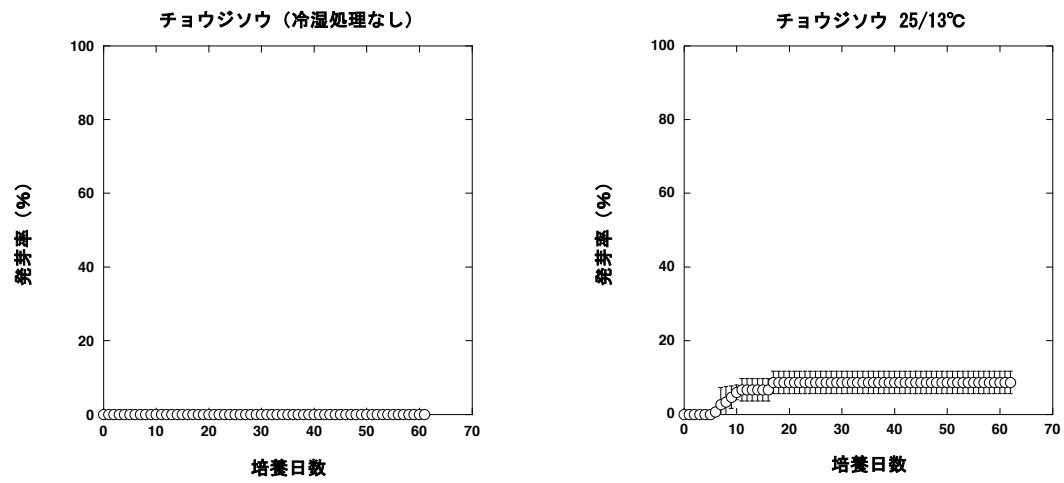


図 10. 冷湿処理を施していないチョウジソウの種子発芽率の経時変化（左図）と冷湿処理を施した種子の発芽率の経時変化（右図）。

種子を 25/13℃に設定した温度勾配型恒温器内で 63 日間培養した。

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

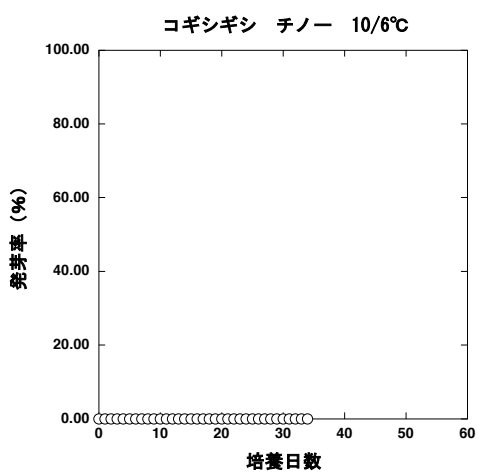
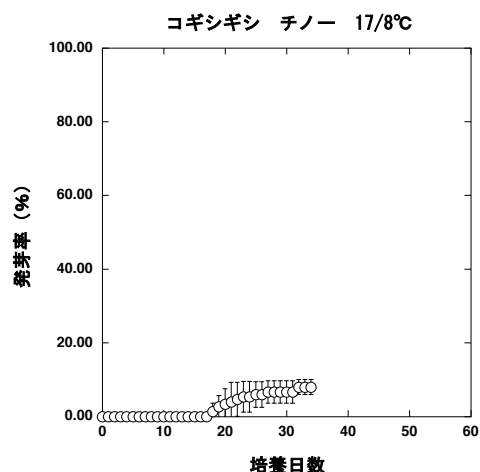
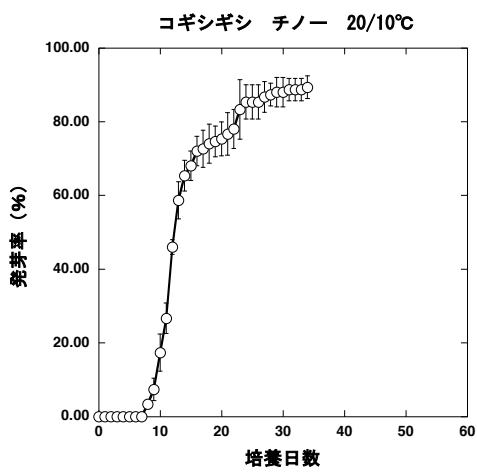
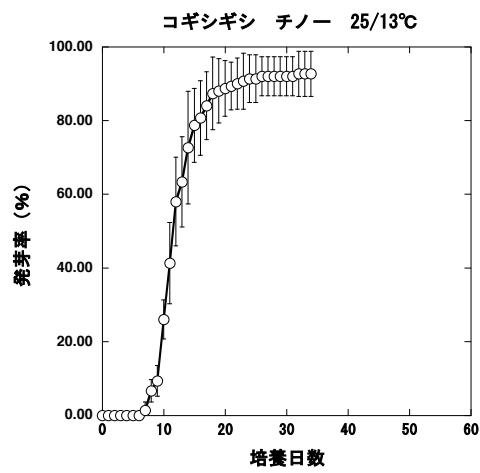
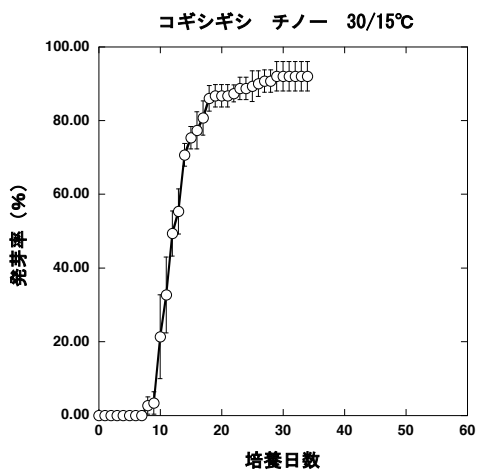


図 11. 冷湿処理を施していないコギシギシ (チノー産) の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 34 日間培養した。

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。

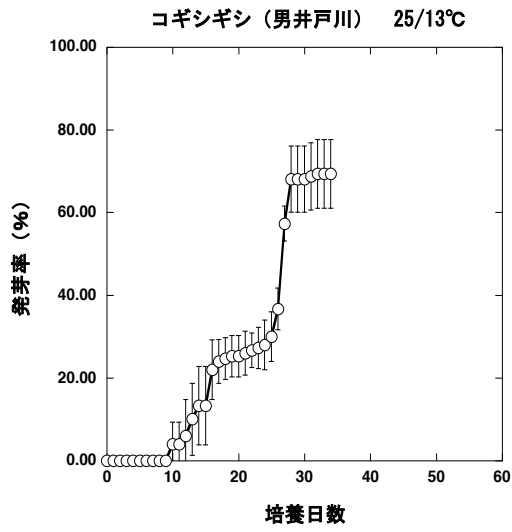


図 12. 冷湿処理を施していないコギシギシ (男井戸川産) の種子発芽率の経時変化

種子を 25/13°C に設定した温度勾配型恒温器内で 25/13°C は 34 日間培養した。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。

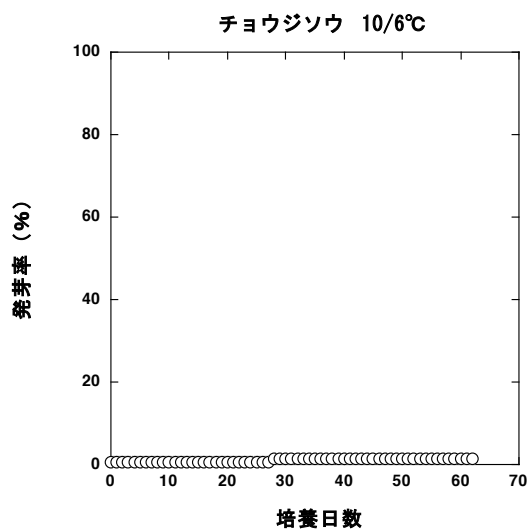
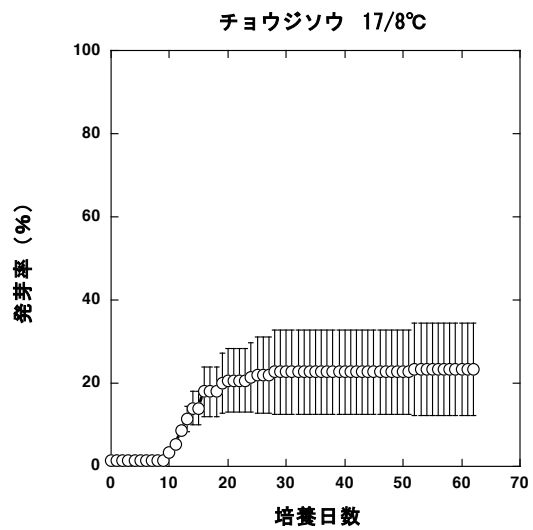
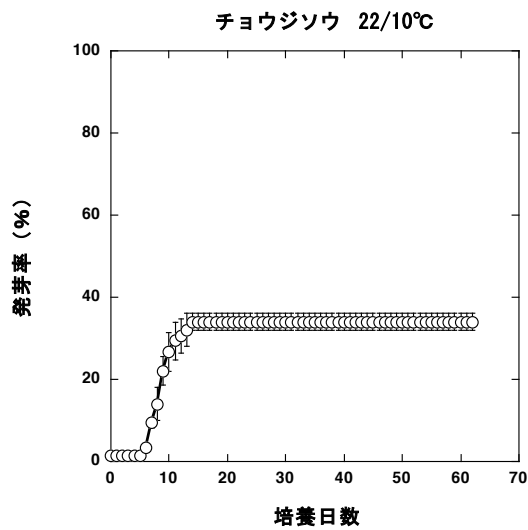
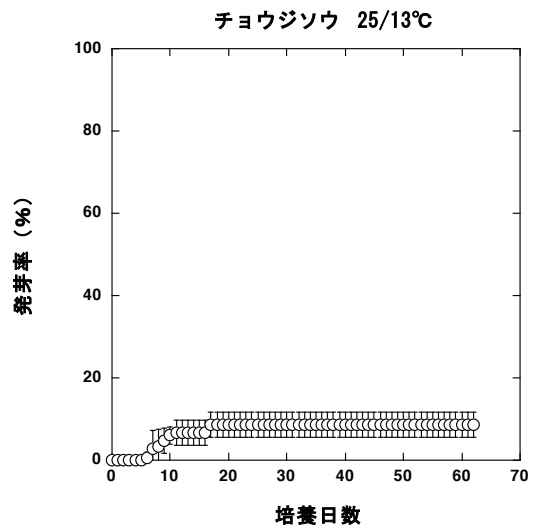
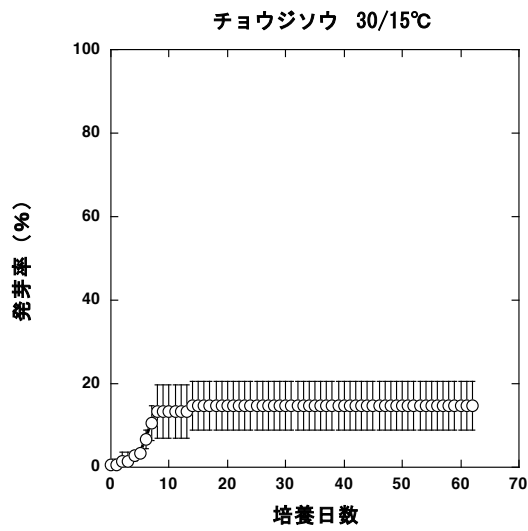


図13. 冷湿処理を施したチョウジソウの種子の発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 63 日間培養した。

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。

图 14

☒ 15

☒ 16

☒ 17

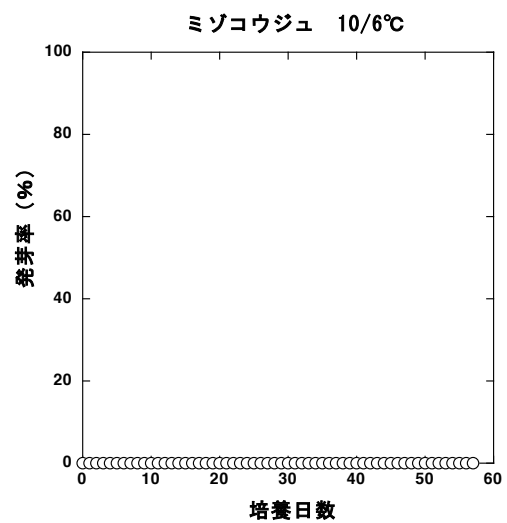
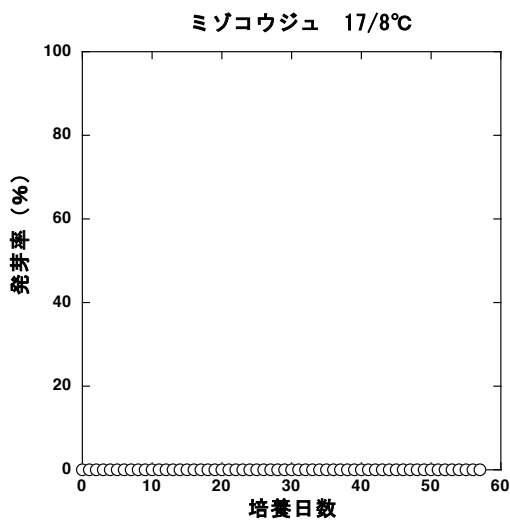
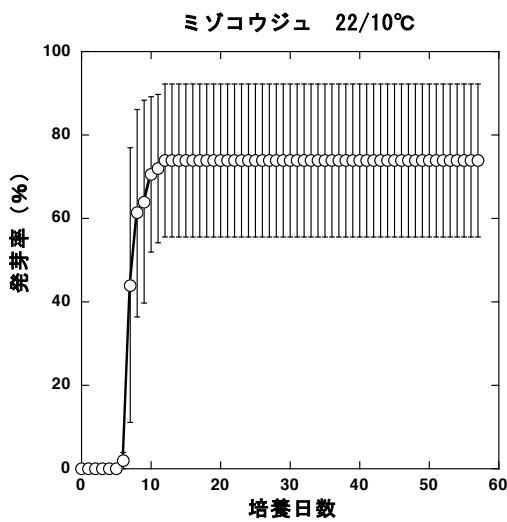
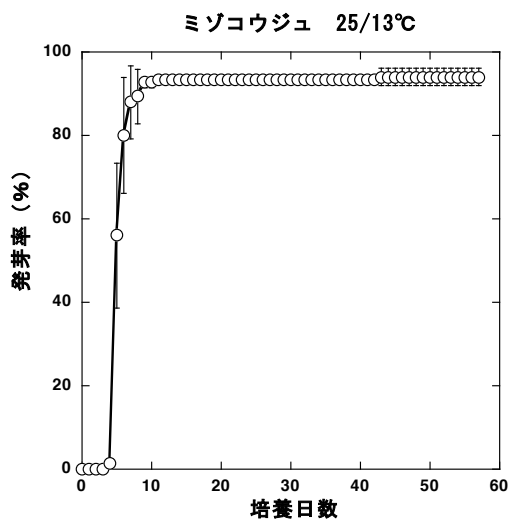
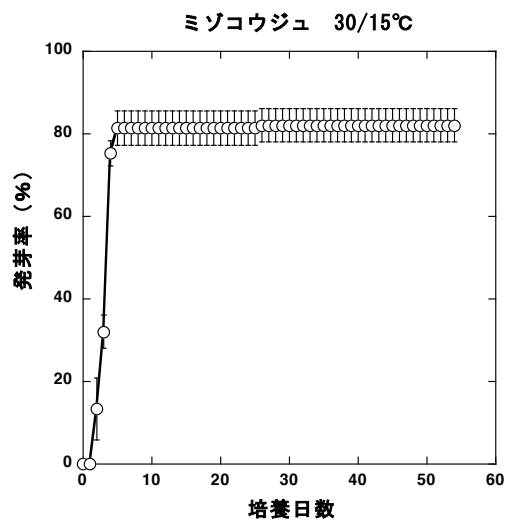


図 18. 冷湿処理を施していないミゾコウジュ（チノー産）の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

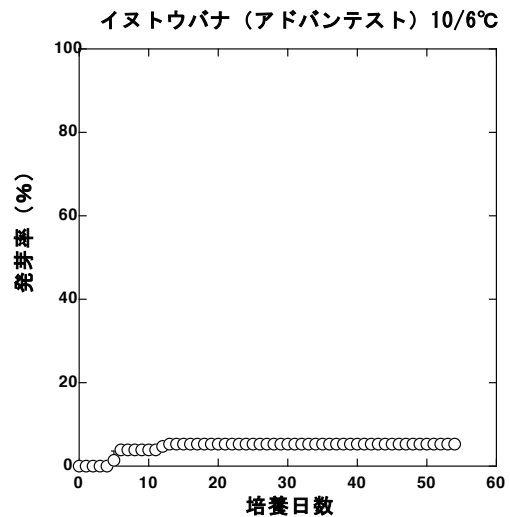
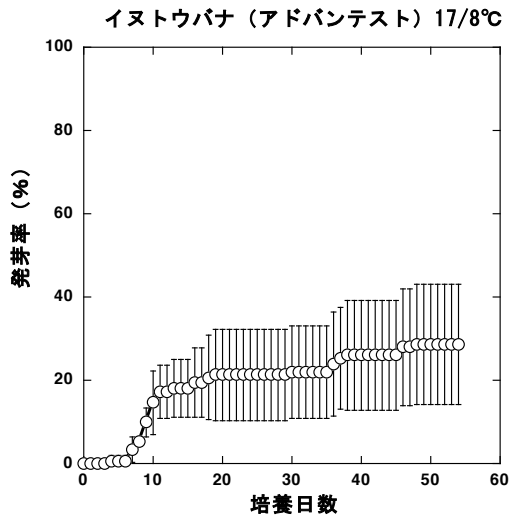
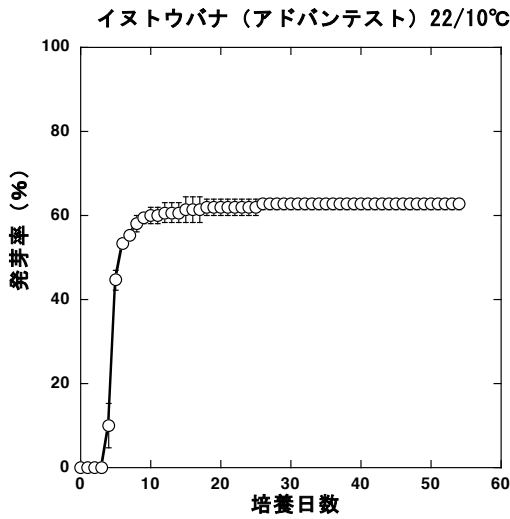
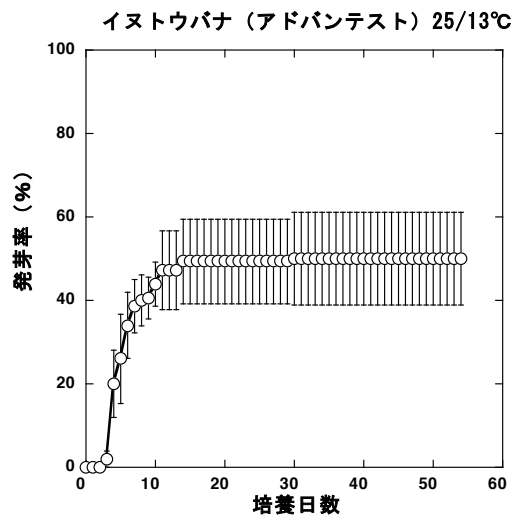
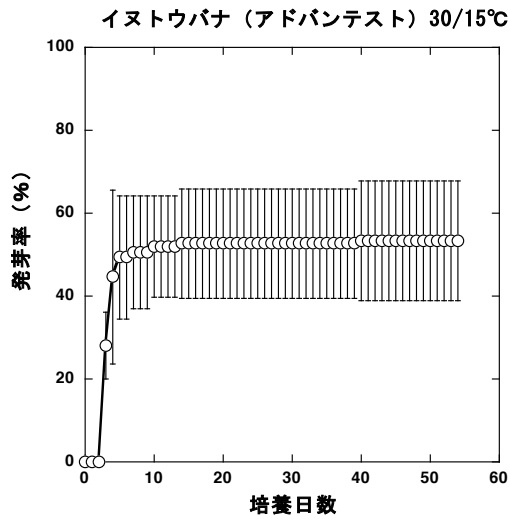


図 19. 冷湿処理を施していないイヌトウバナ (アドバンテスト産) の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

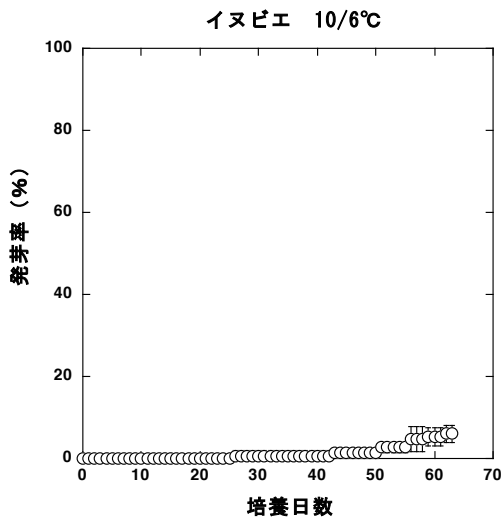
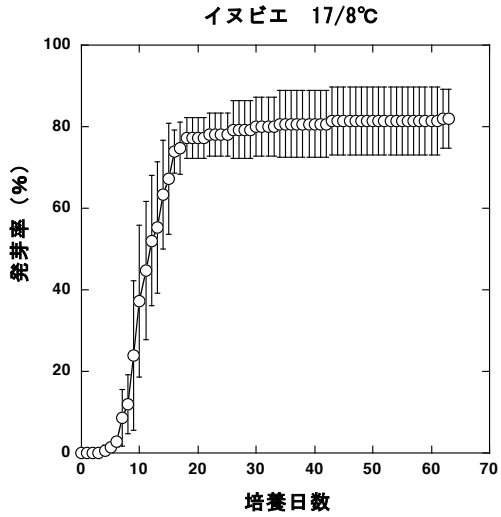
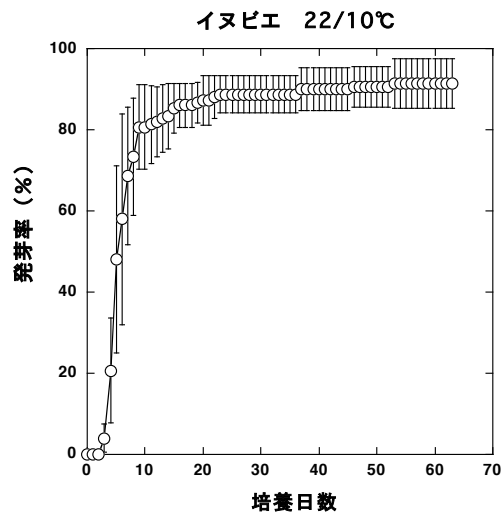
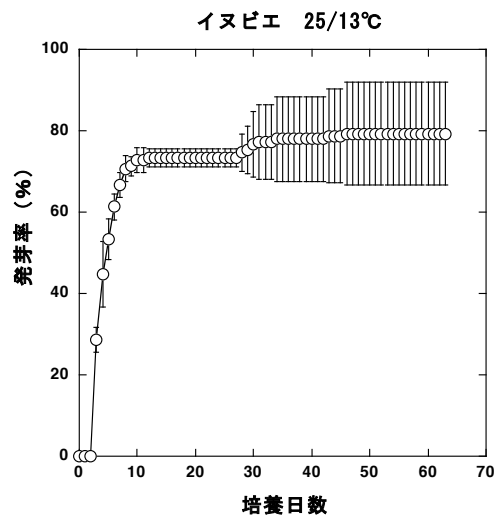
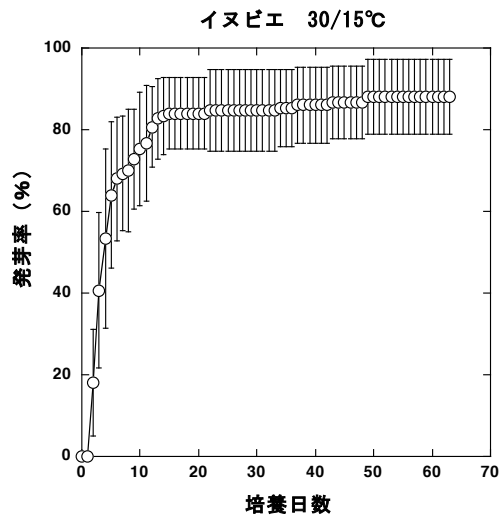


図 20. 冷湿処理を施したイヌビエ（藤岡産）の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 63 日間培養した。

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。

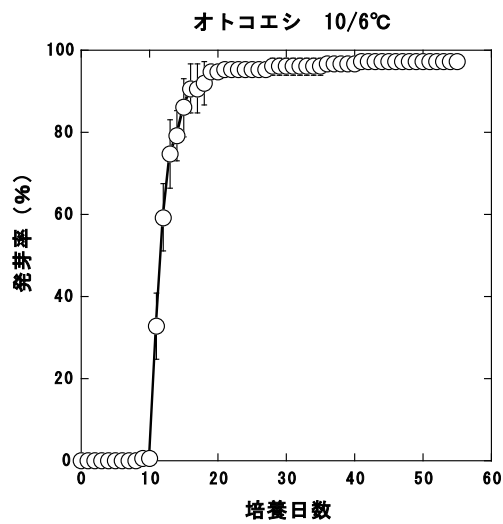
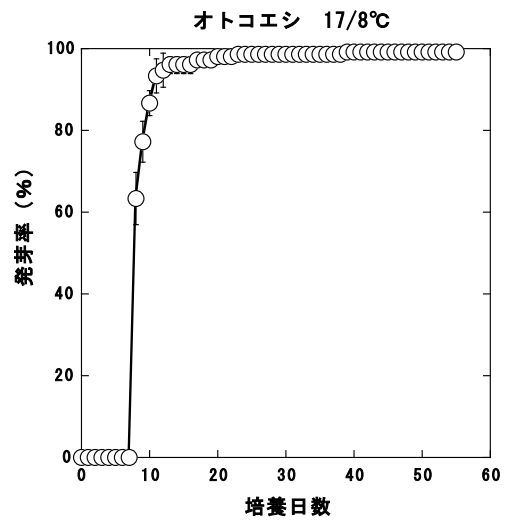
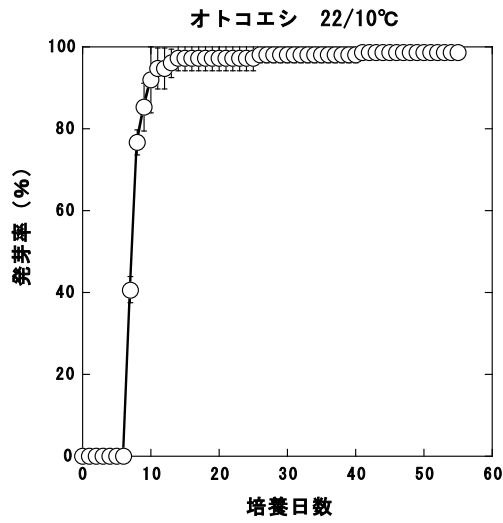
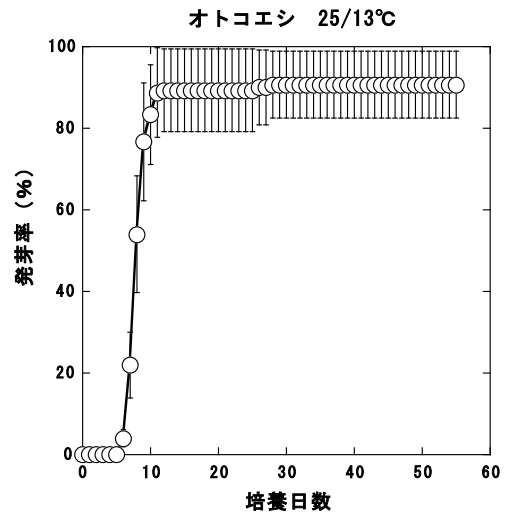
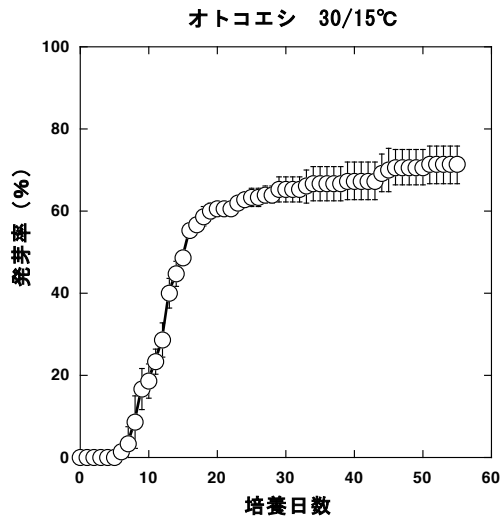


図 21. 冷湿処理を施していないオトコエシ（西榛名産）の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

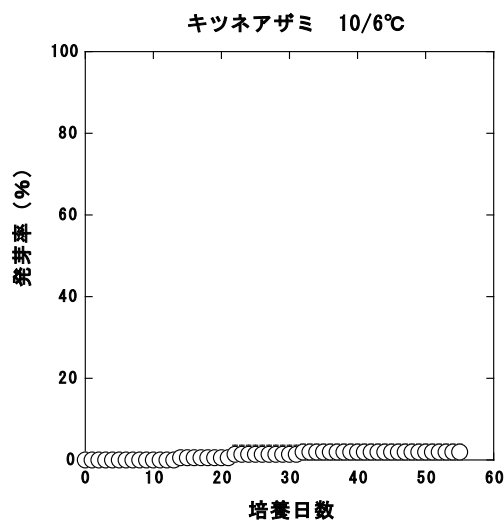
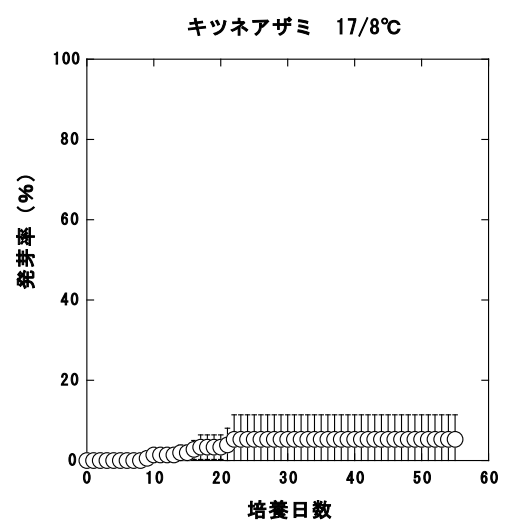
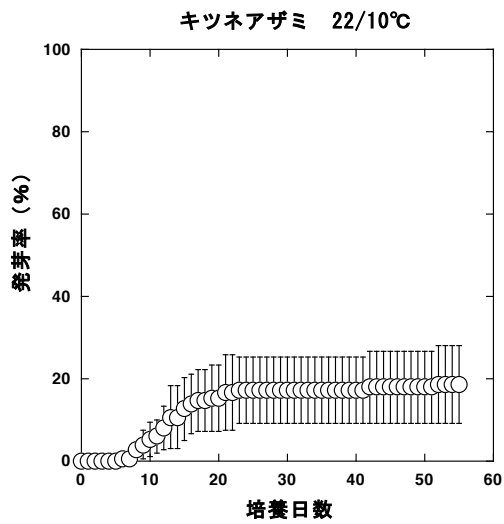
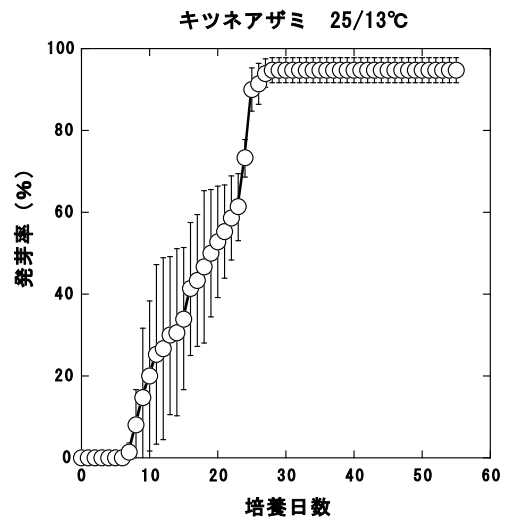
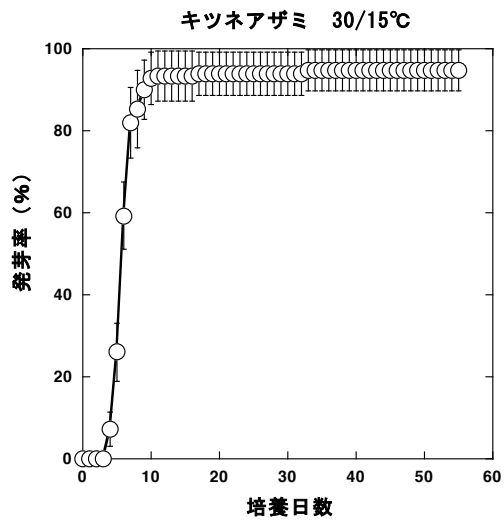


図 22. 冷湿処理を施していないキツネアザミ (チノー産) の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

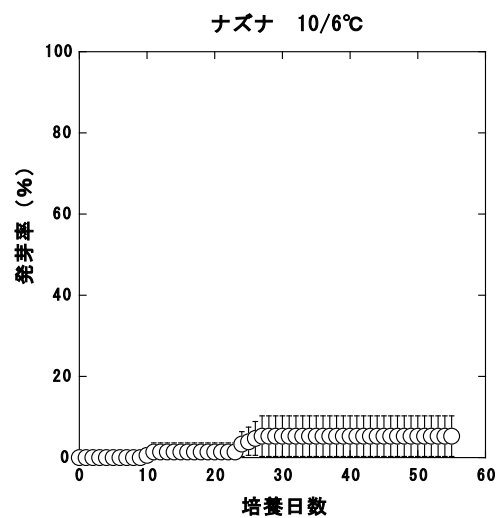
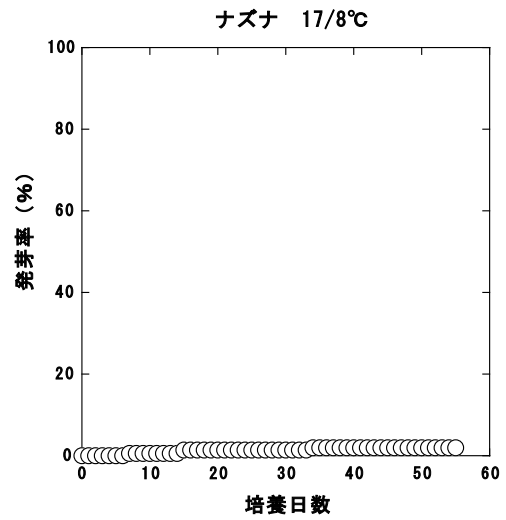
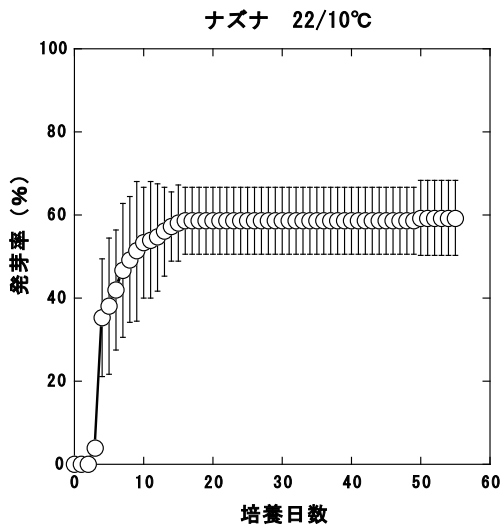
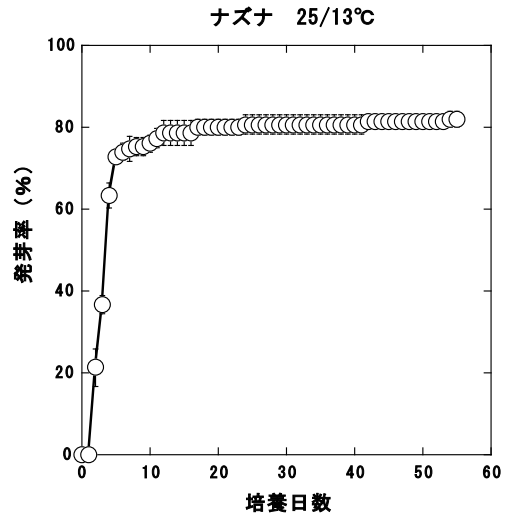
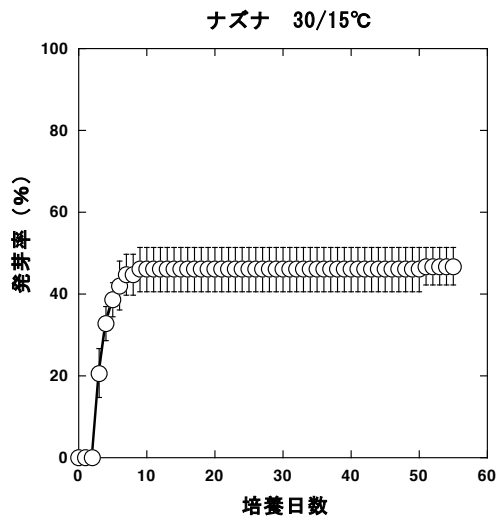


図 23. 冷湿処理を施していないナズナ（荒牧産）の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

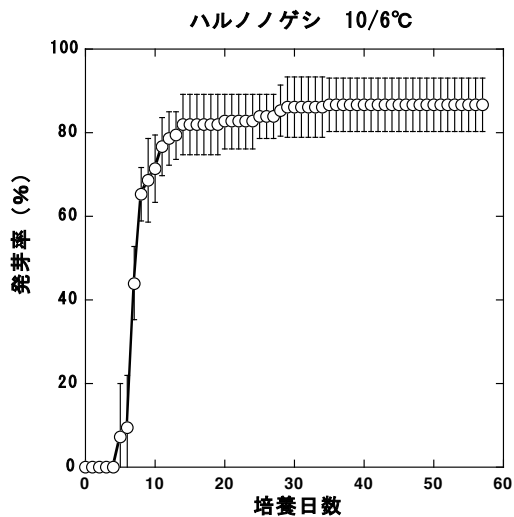
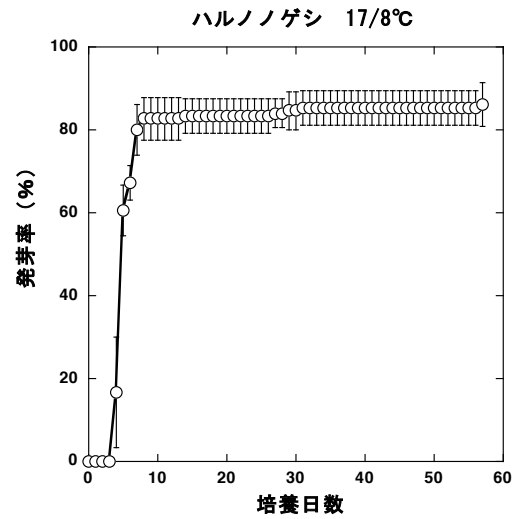
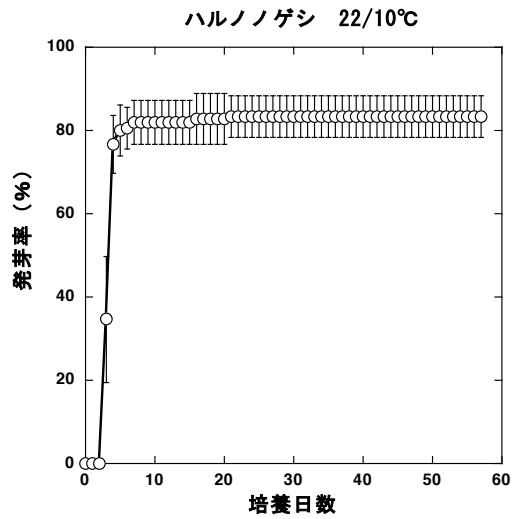
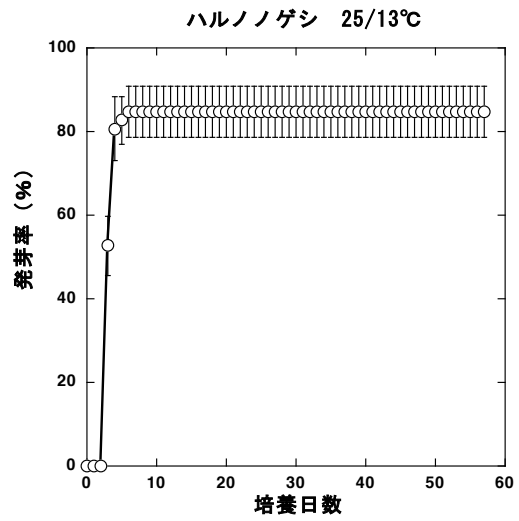
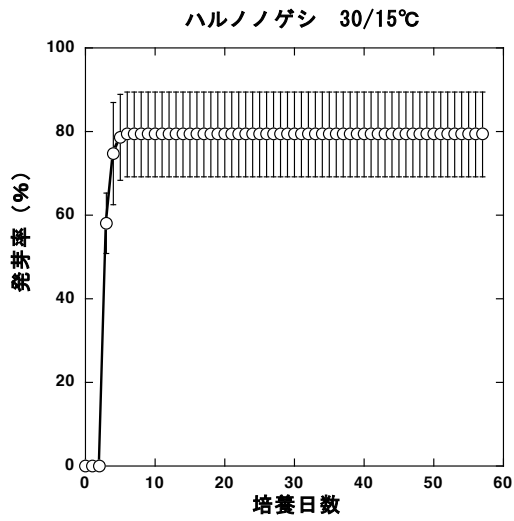


図 24. 冷湿処理を施していないハルノノゲシ (チノー産) の種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

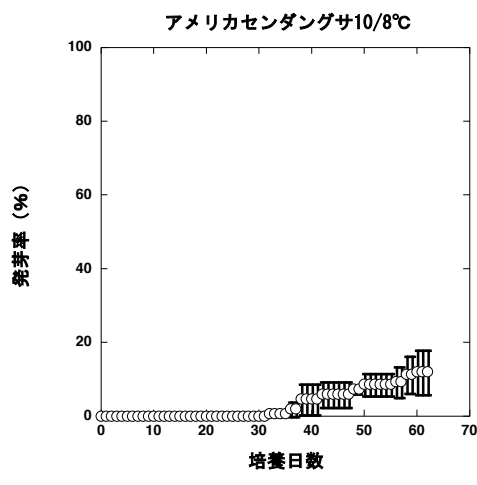
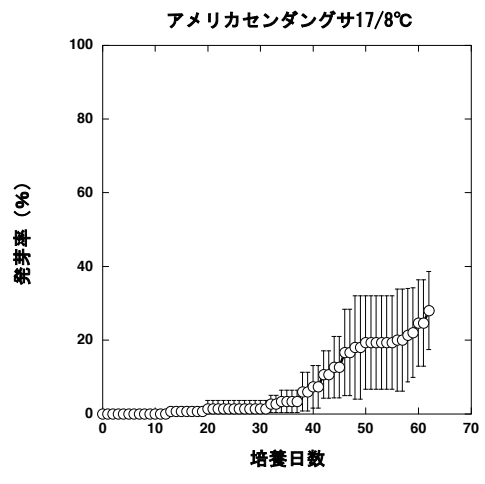
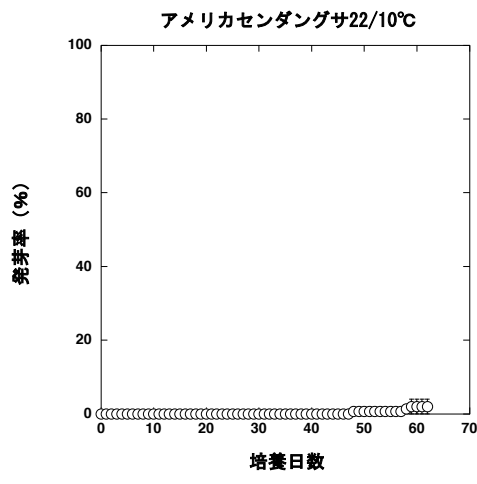
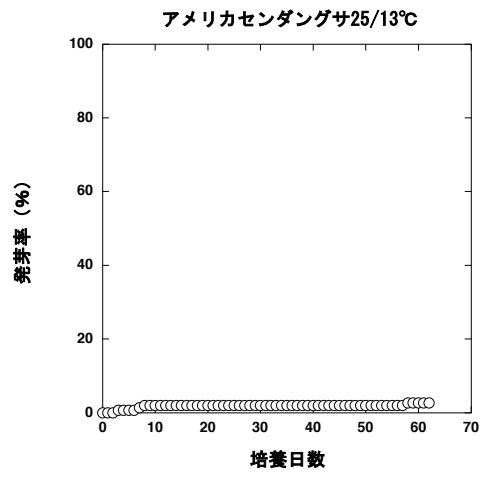
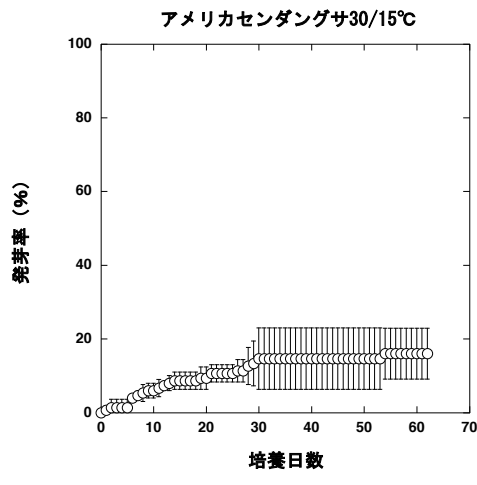


図 25. 冷湿処理を施したアメリカセンダングサの種子発芽率の経時変化

種子を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 63 日間培養した。

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。

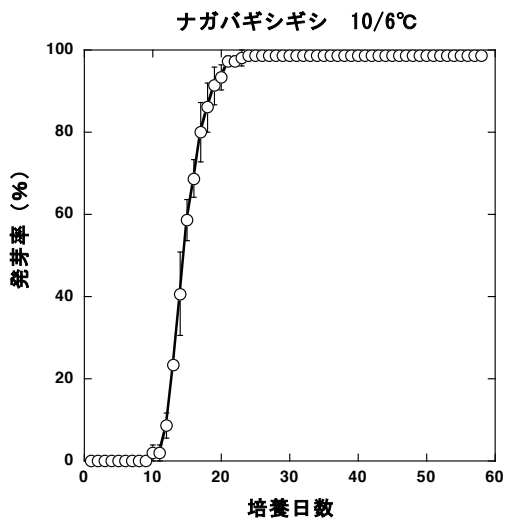
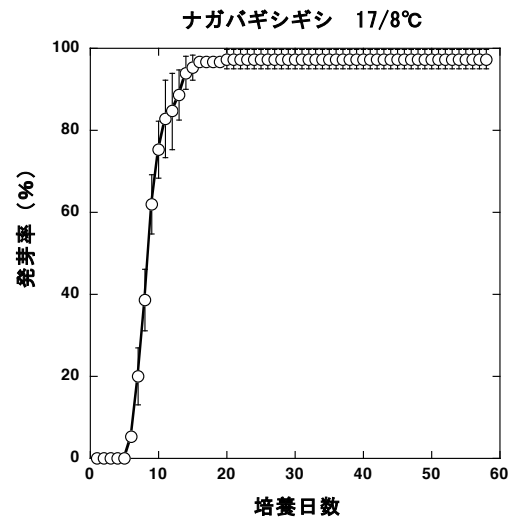
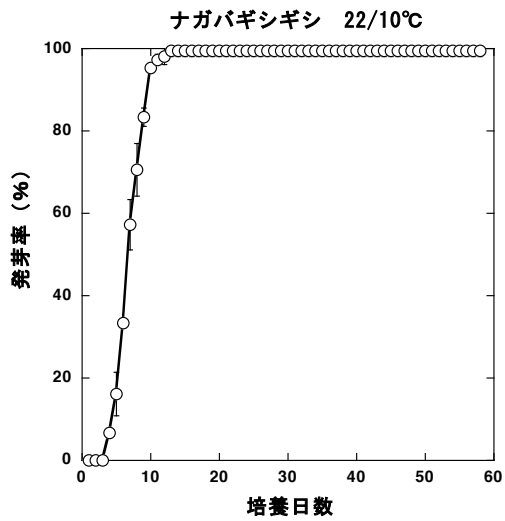
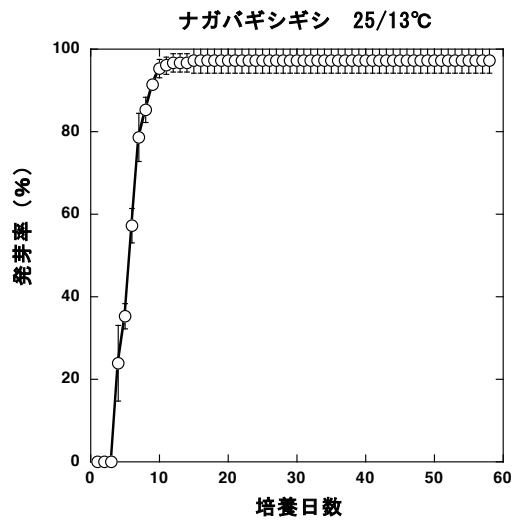
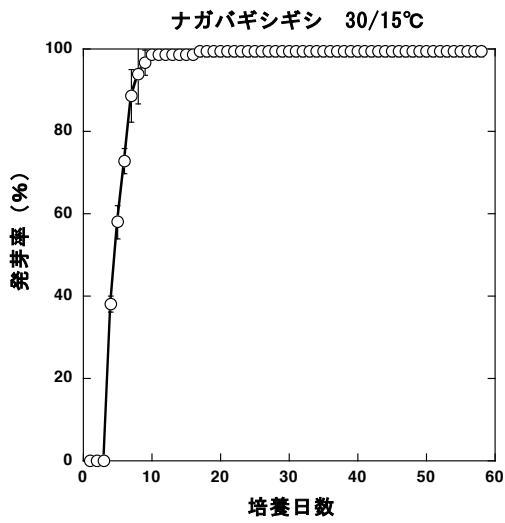


図 26. 冷湿処理を施していないナガバギシギシの種子発芽率の経時変化

種子を 30/15℃、25/13℃、22/10℃、17/8℃、10/6℃に設定した温度勾配型恒温器内で 58 日間培養した。

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。

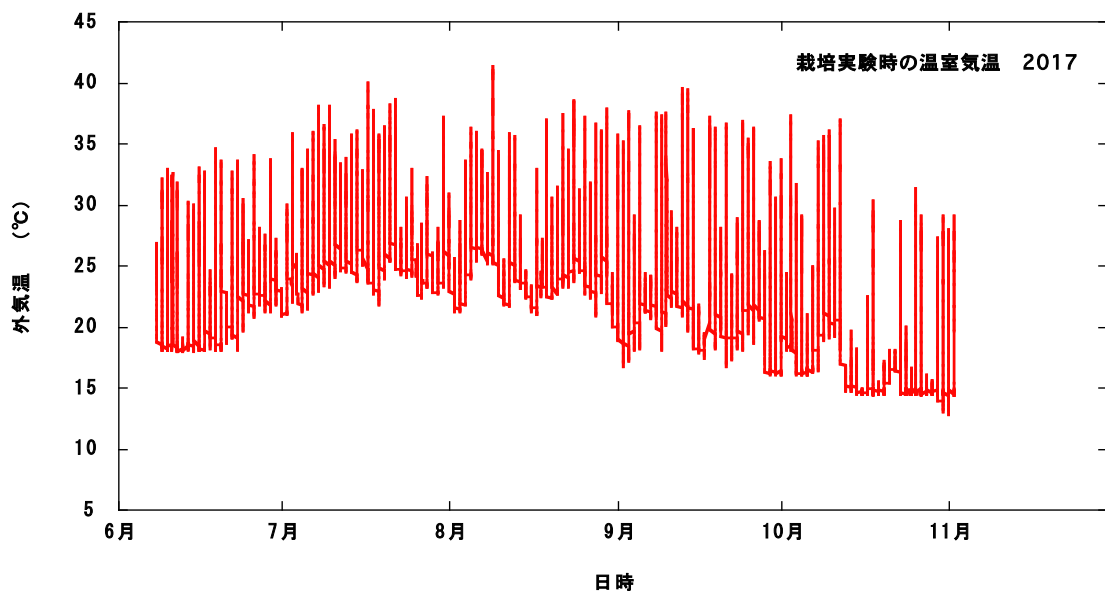
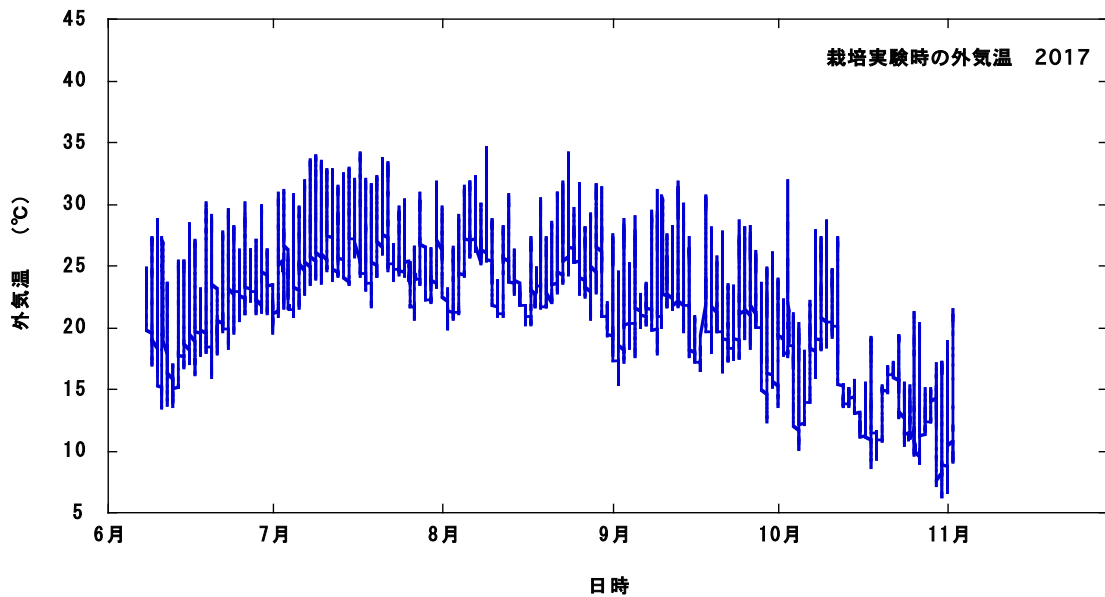


図 27. 群馬大学荒牧キャンパス構内の栽培実験期間中の圃場および温室内の気温
 2017 年 7 月から 11 月までの間、群馬大学荒牧キャンパス構内の圃場と温室内で気温を温度データロガー (TR52, T&D corporation) をそれぞれ高さ 1.5m 付近に設置し、30 分おきに連続測定した。上図は圃場の気温、下図は温室内気温を示す。温室と圃場の平均温度差は 1.6°Cであった。

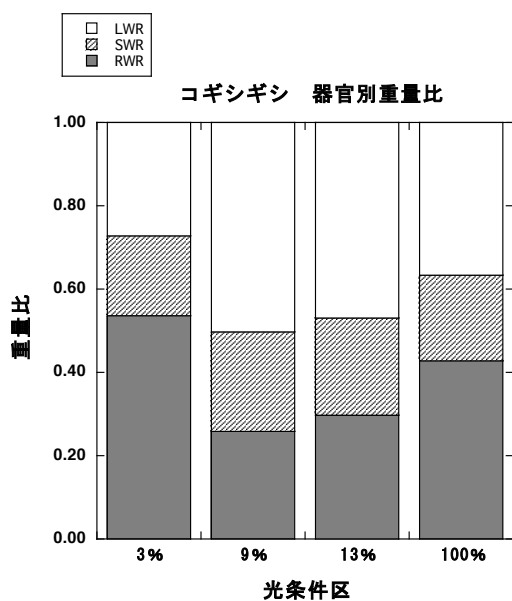
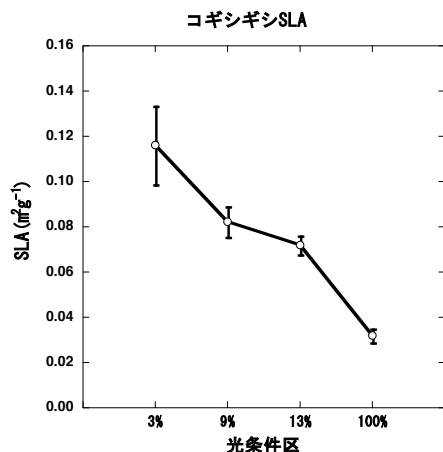
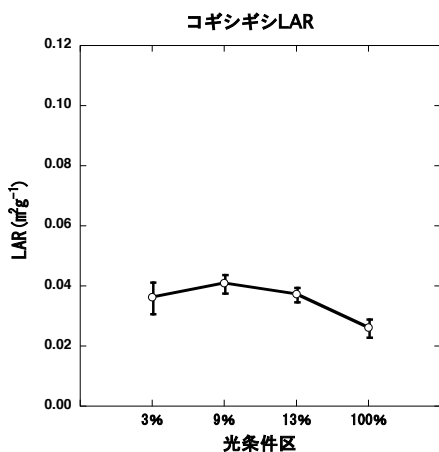
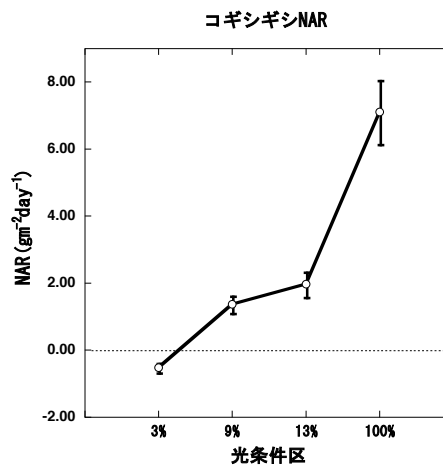
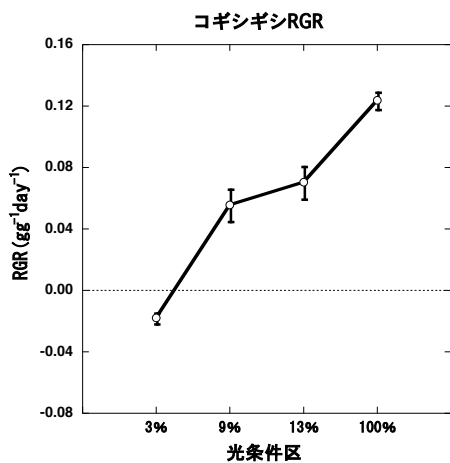


図 28. 異なる光条件下で栽培したコギシギシ (チノー産) の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を 2017 年 6 月 19 日から 22 日間栽培した。相対生長速度 (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=8-14。

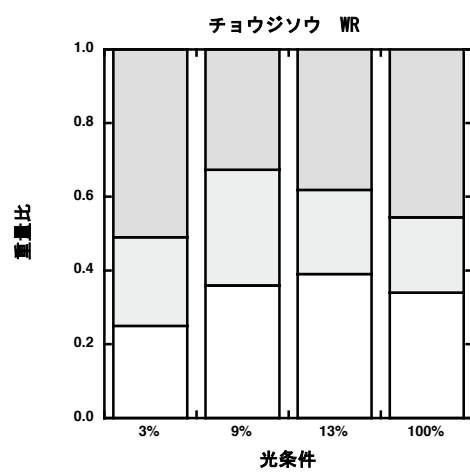
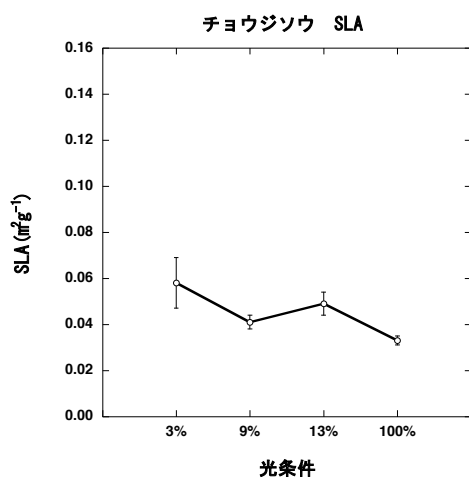
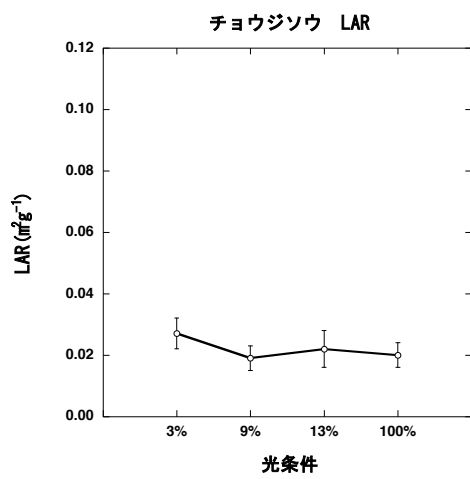
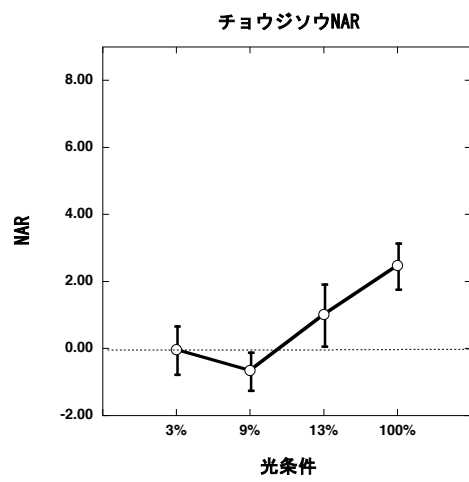
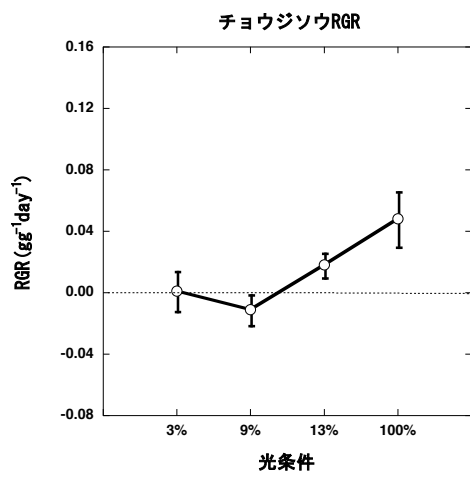


図29. 異なる相対光量子密度下で栽培したチョウジソウの生長解析結果

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%)内でポット植えした苗を約2週間栽培した。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=12。

☒ 30

☒ 31

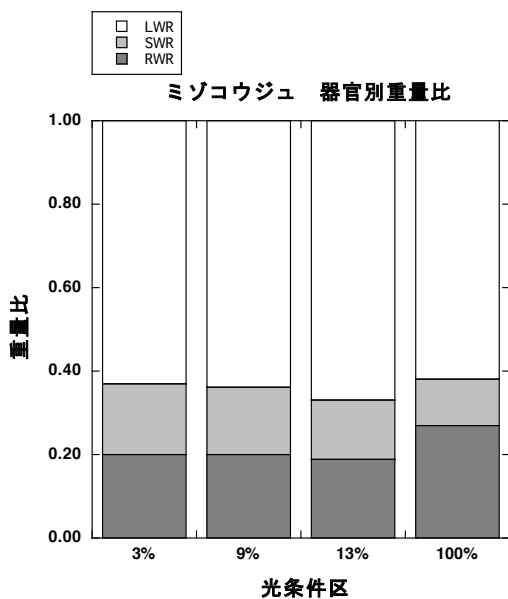
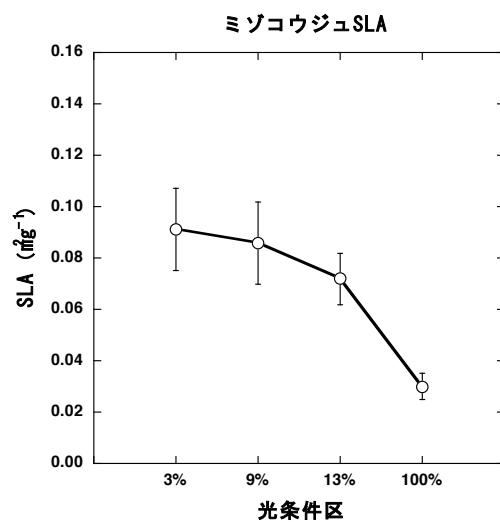
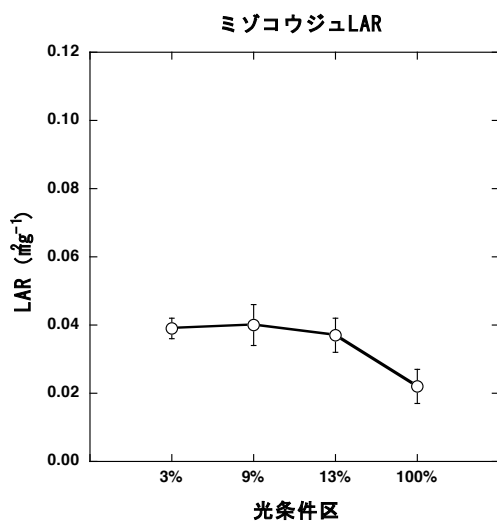
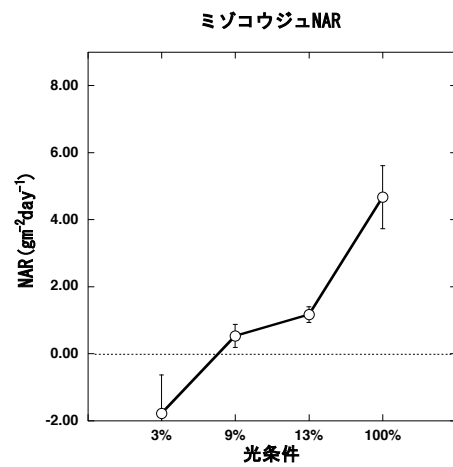
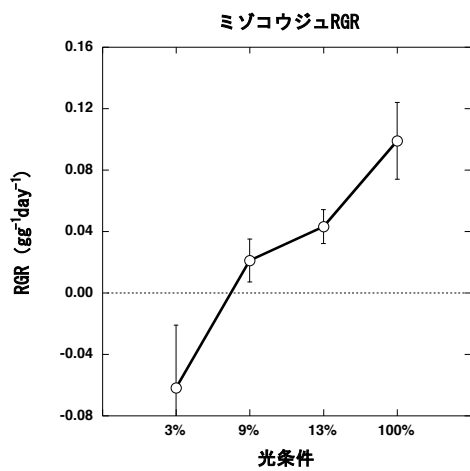


図 32. 異なる光条件下で栽培したミゾコウジュ (チノー産) の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を 2017 年 7 月 21 日から 14 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=3-5。

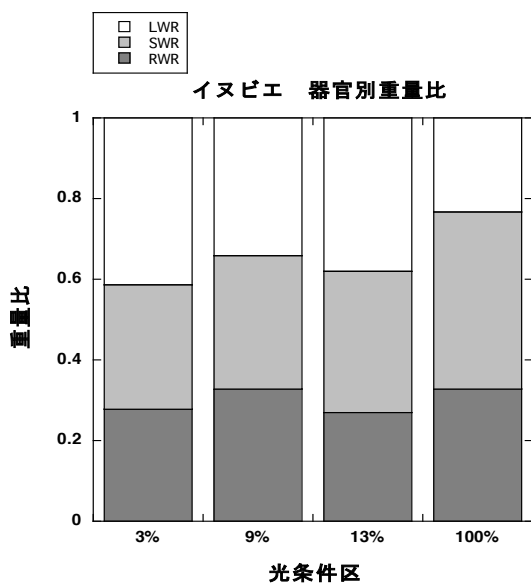
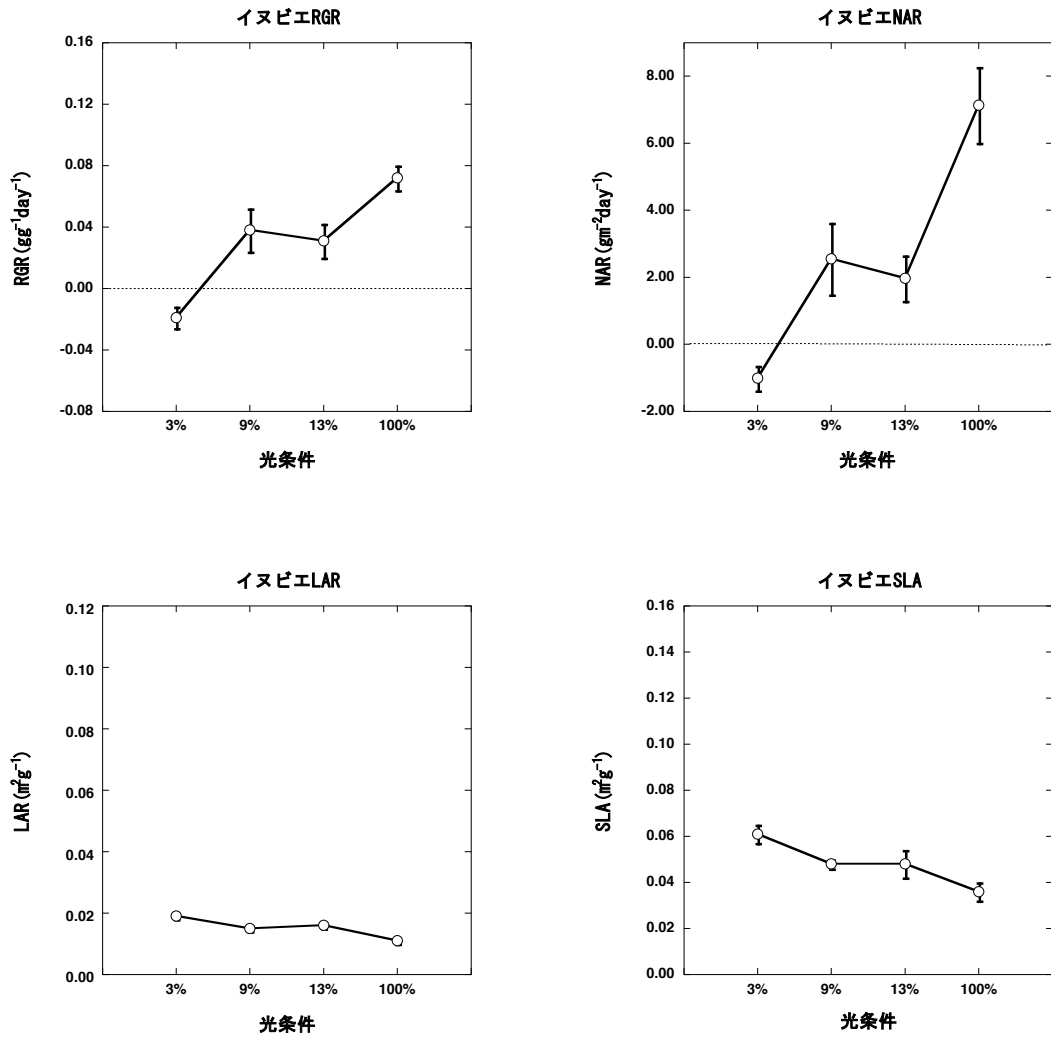


図 33. 異なる光条件下で栽培したイヌビエ（藤岡産）の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を2017年7月21日から14日間栽培した。相対生長速度 (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=6-7。

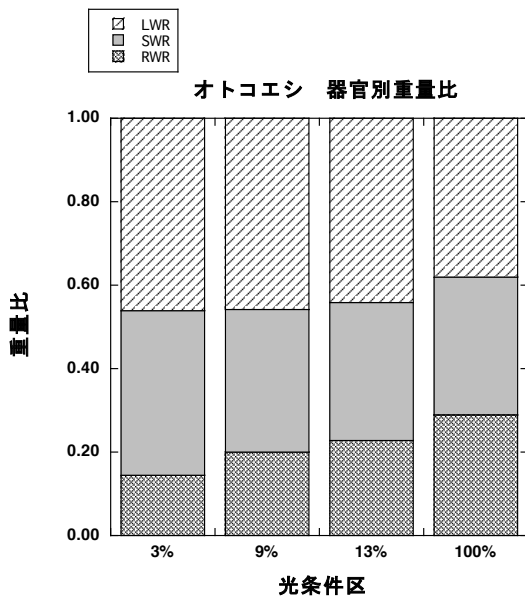
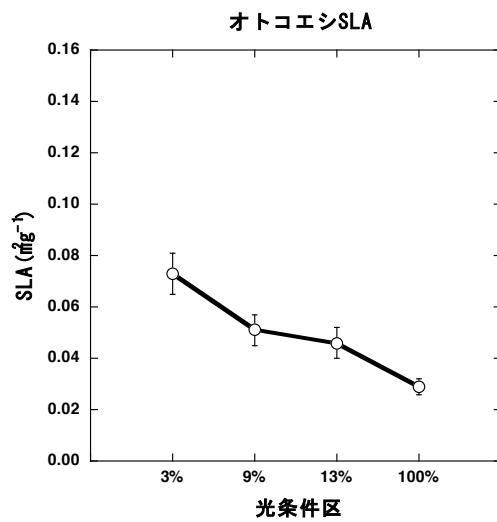
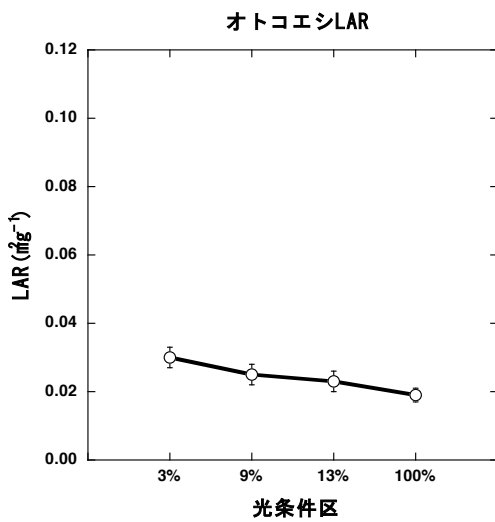
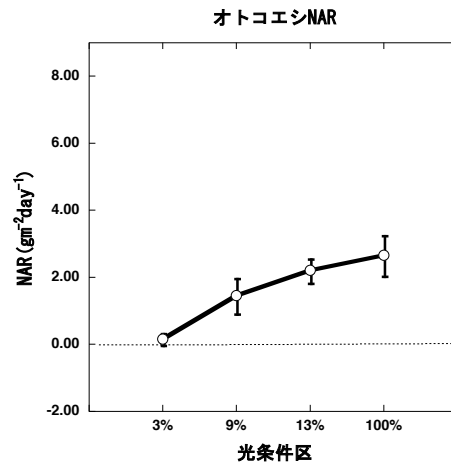
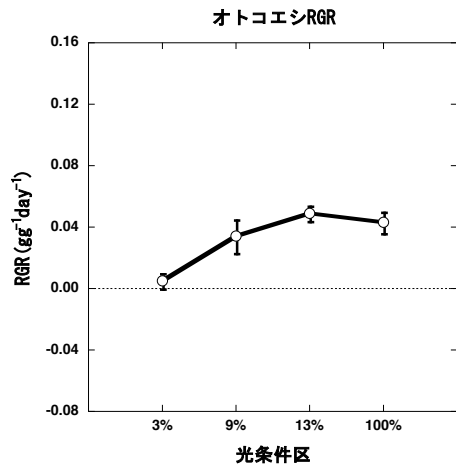


図 34. 異なる光条件下で栽培したオトコエシ（西榛名産）の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を2017年6月27日から22日間栽培した。相対生長速度（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=13-15。

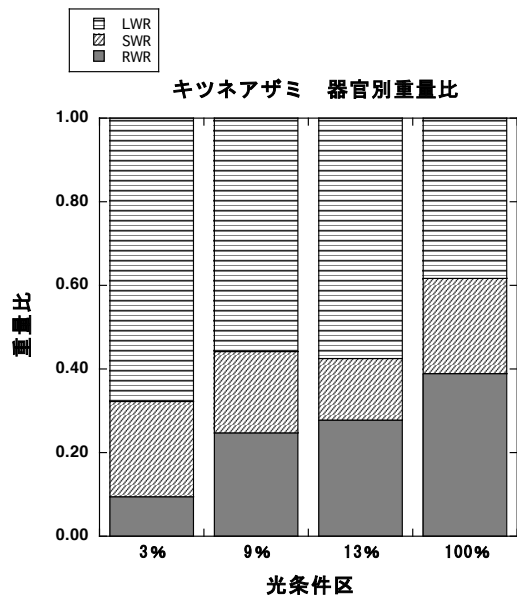
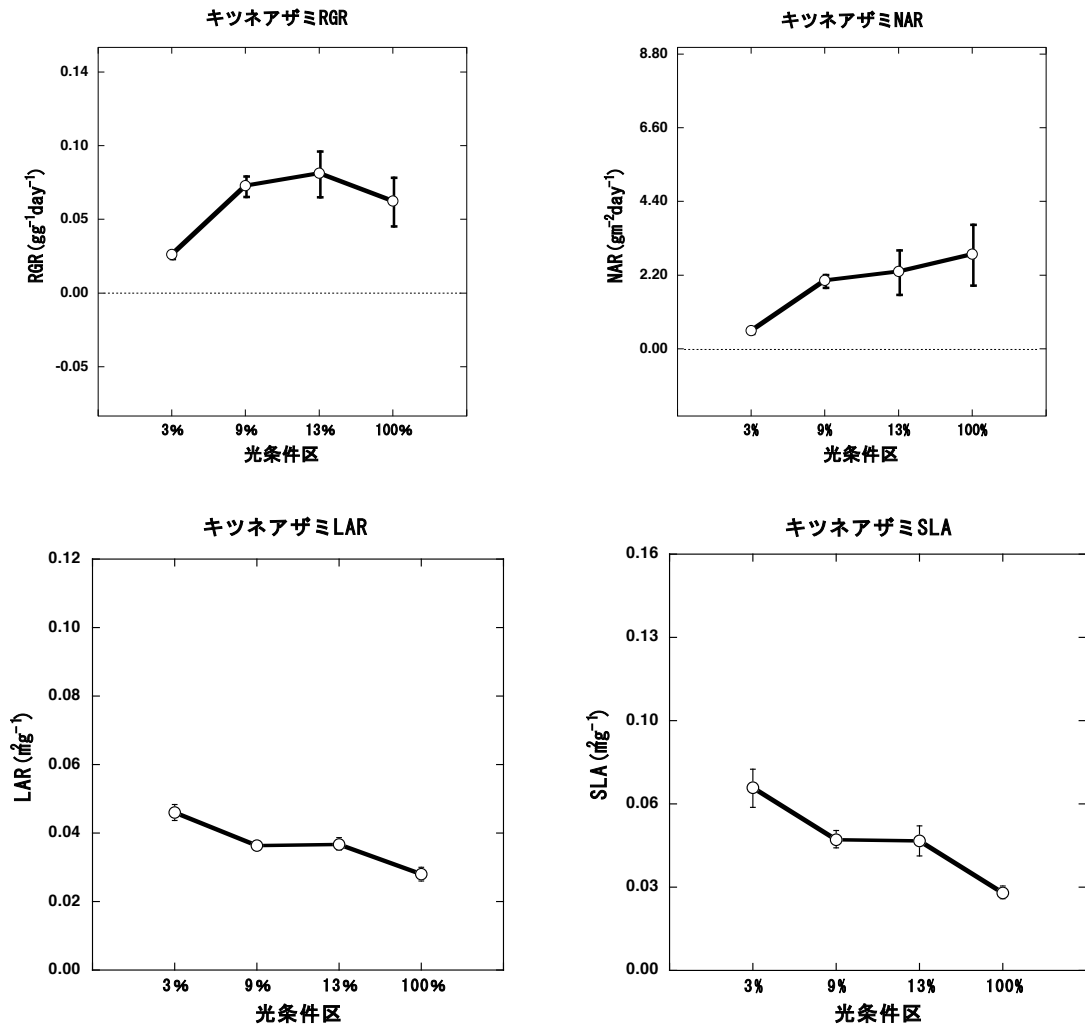


図 35. 異なる光条件下で栽培したキツネアザミ (チノー産) の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を 2017 年 7 月 4 日から 17 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=4。

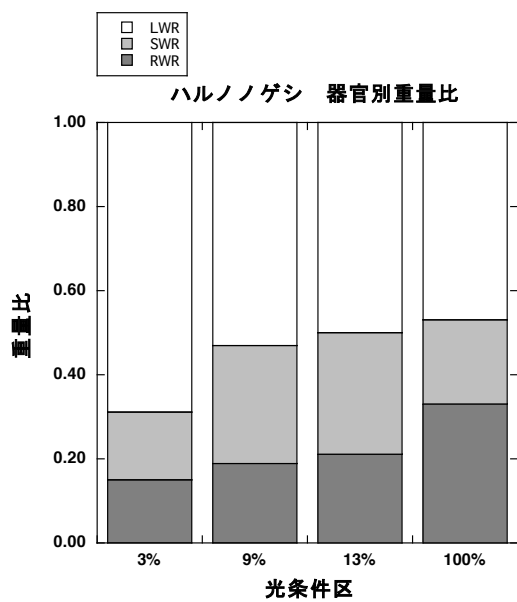
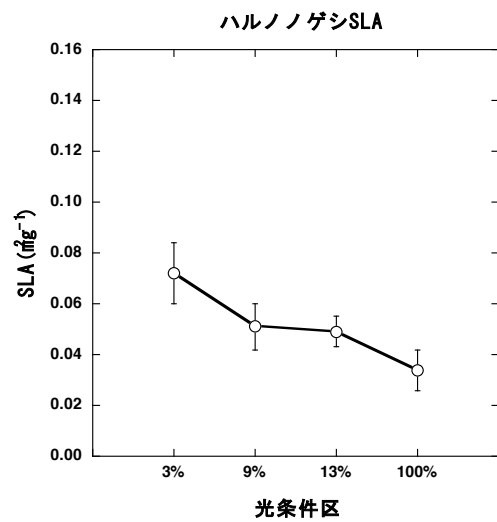
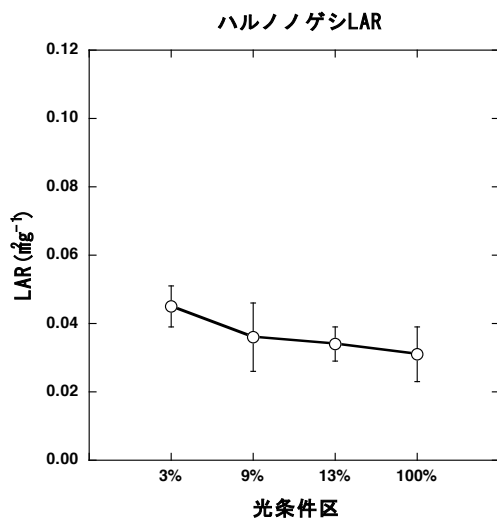
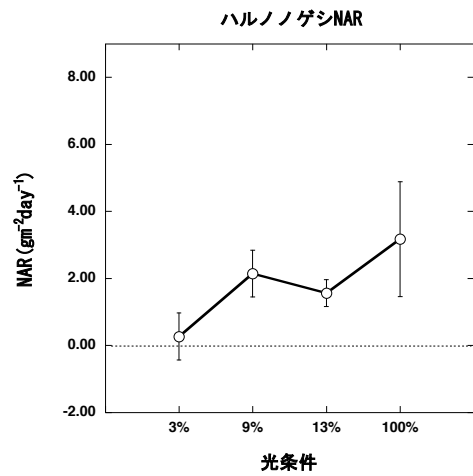
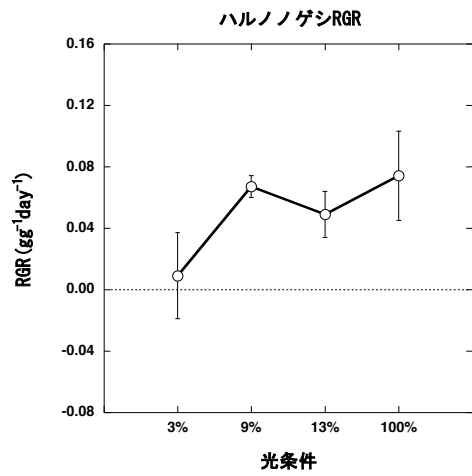


図 36. 異なる光条件下で栽培したハルノノゲシ (チノー産) の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を 2017 年 7 月 4 日から 17 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=3-5。

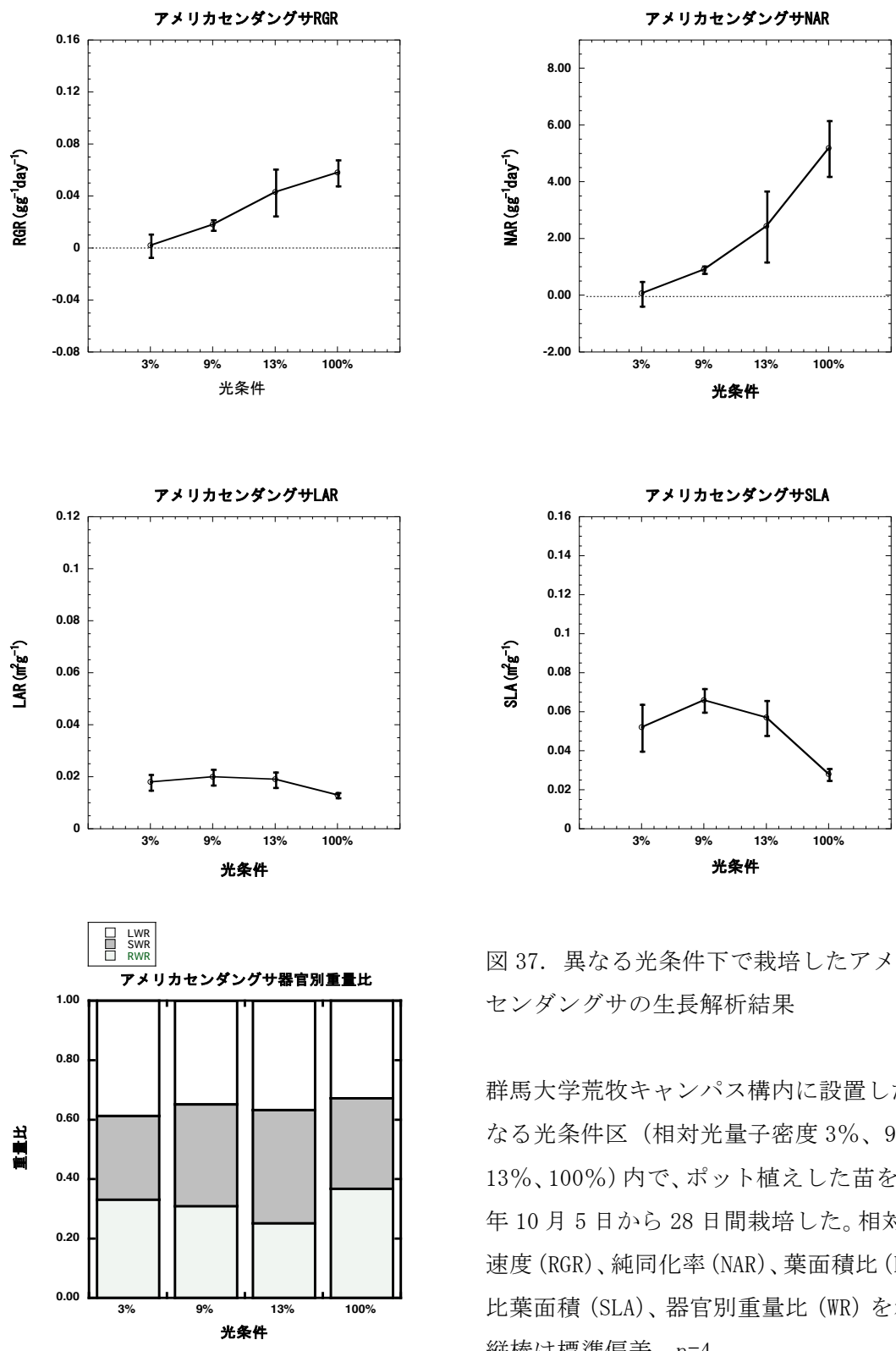


図 37. 異なる光条件下で栽培したアメリカセンダングサの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を 2017 年 10 月 5 日から 28 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=4。

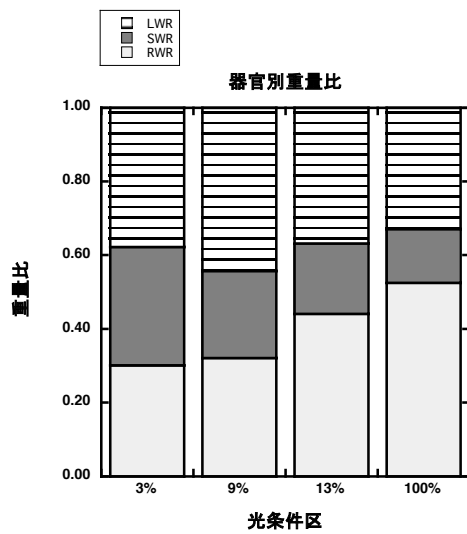
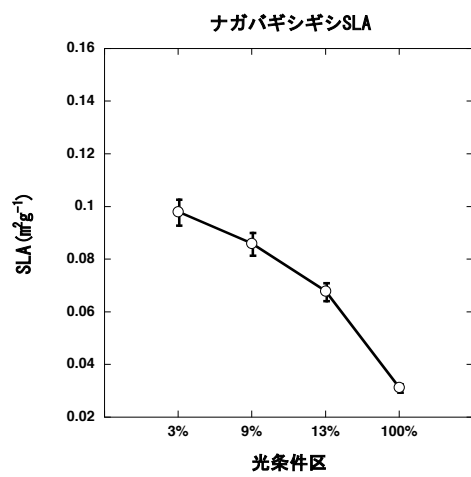
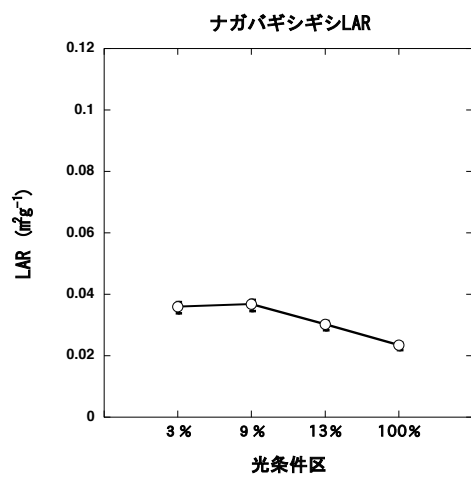
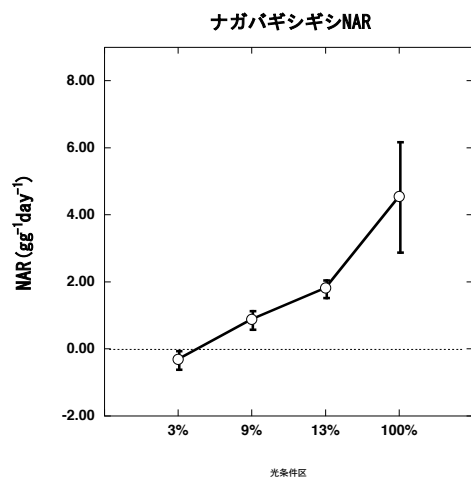
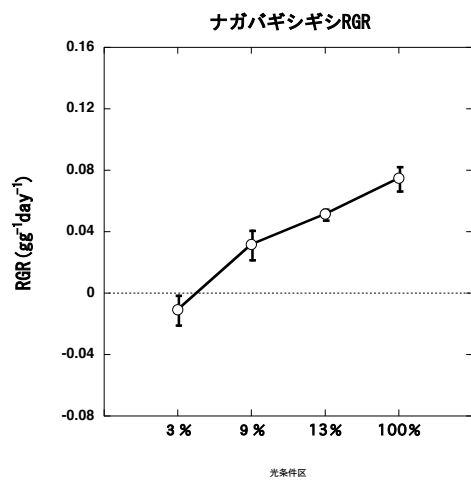


図 38. 異なる光条件下で栽培したナガバギシギシ (アドバンテスト産) の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内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、ポット植えした苗を 2017 年 6 月 19 日から 22 日間栽培した。相対生長速度 (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=15-17。

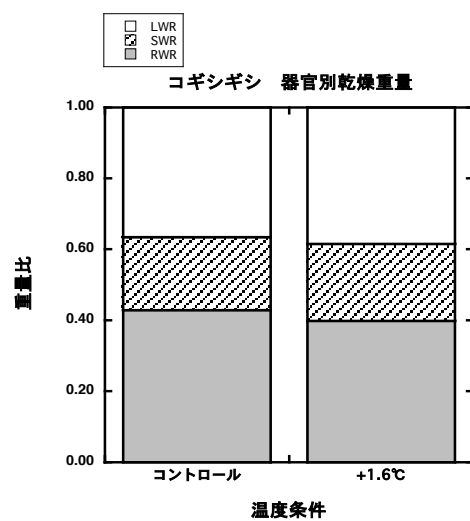
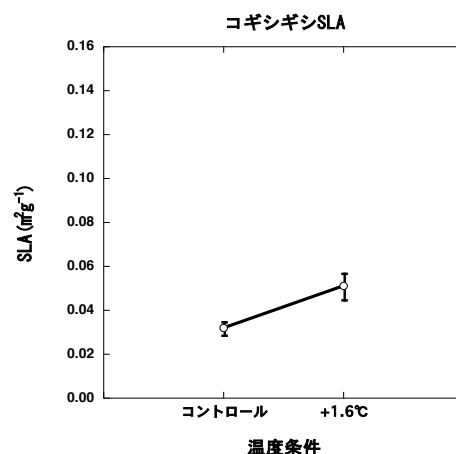
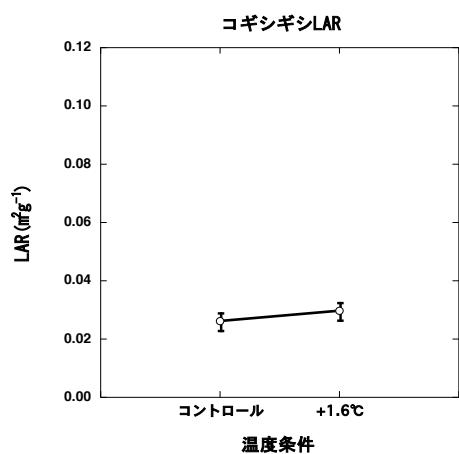
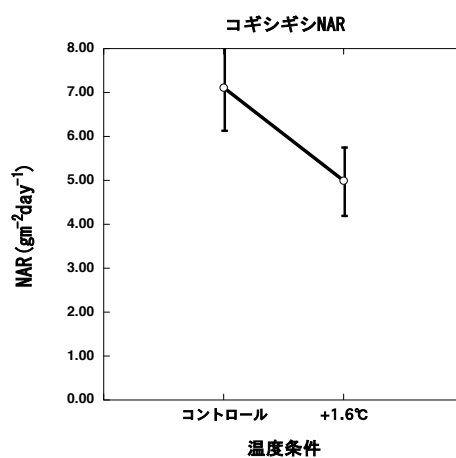
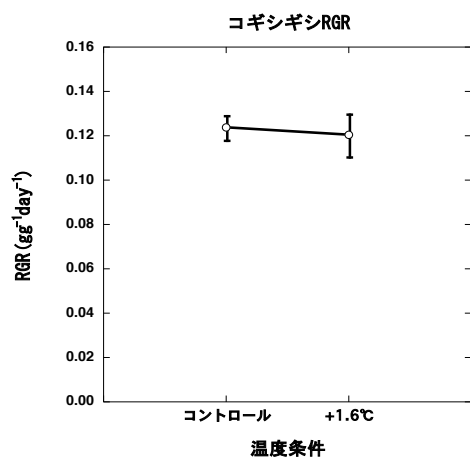


図 39. 異なる温度条件下で栽培したコギシギシ（チノー産）の生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 6 月 19 日から 22 日間栽培した。相対生長速度（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=14。

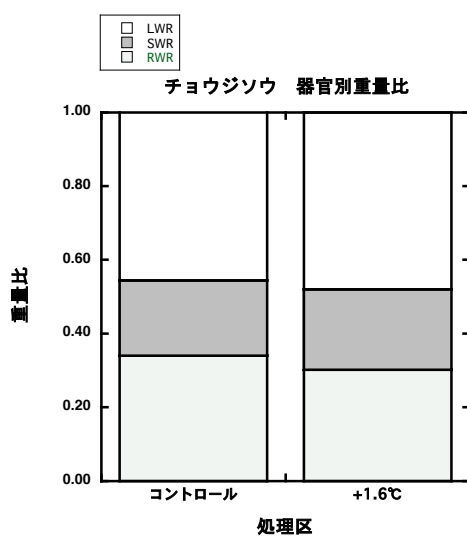
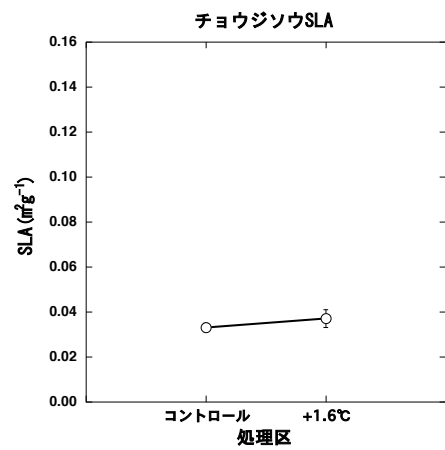
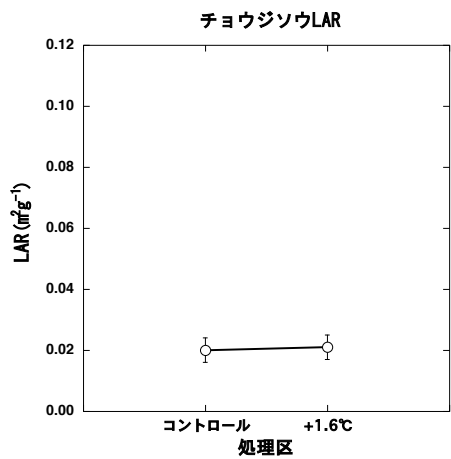
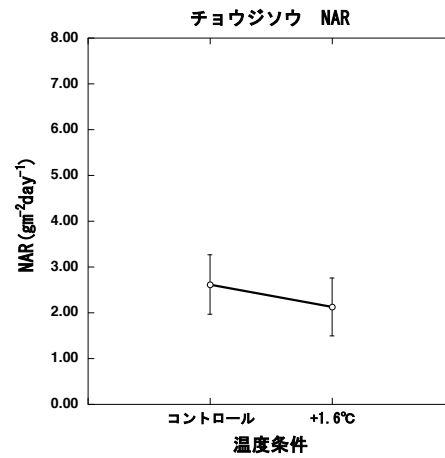
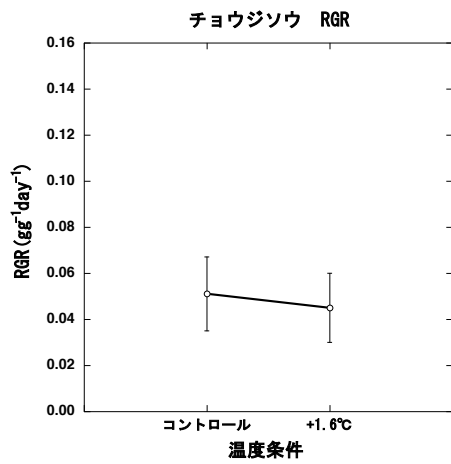


図 40. 異なる温度条件下で栽培したチョウジソウの生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 8 月 31 日から 19 日間栽培した。相対生長速度 (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=12。

☒ 41

☒ 42

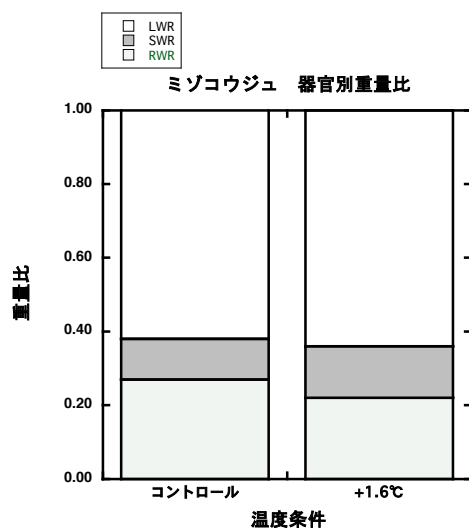
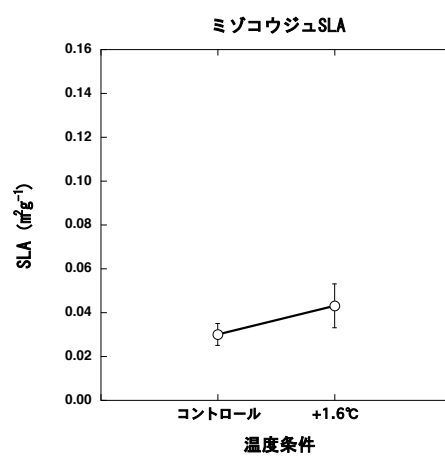
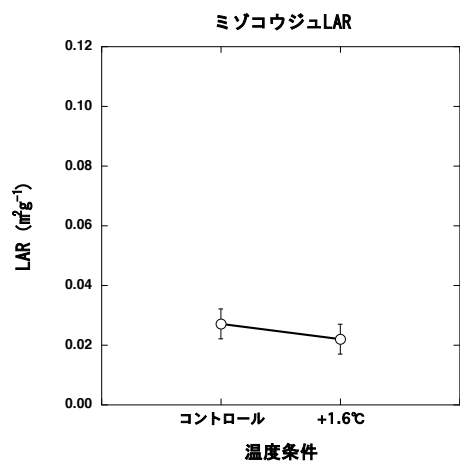
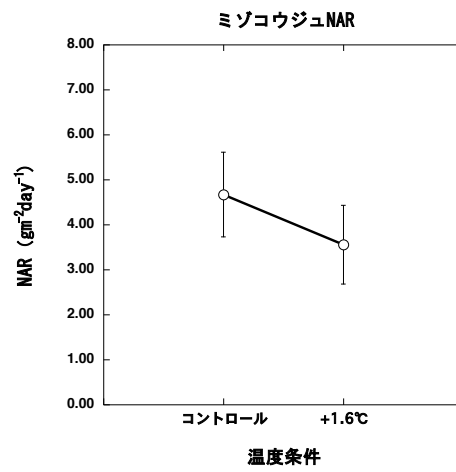
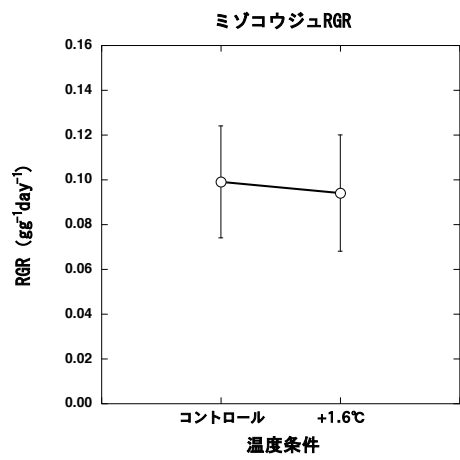


図 43. 異なる温度条件下で栽培したミゾコウジュ（チノー産）の生長解析結果
群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 7 月 21 日から 14 日間栽培した。相対生長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=5。

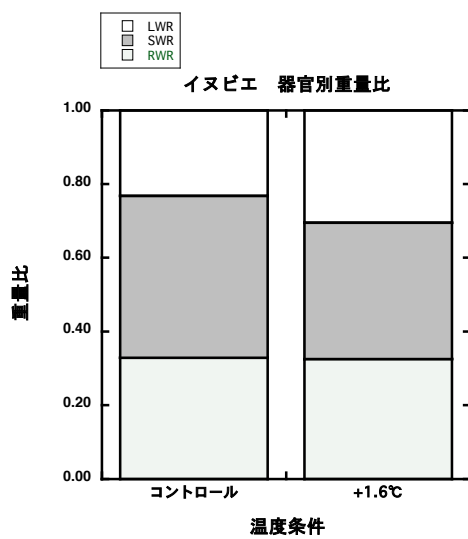
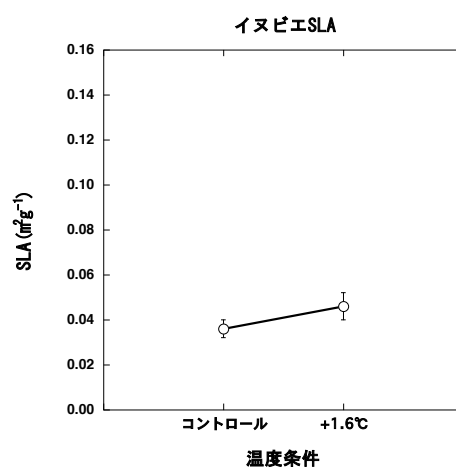
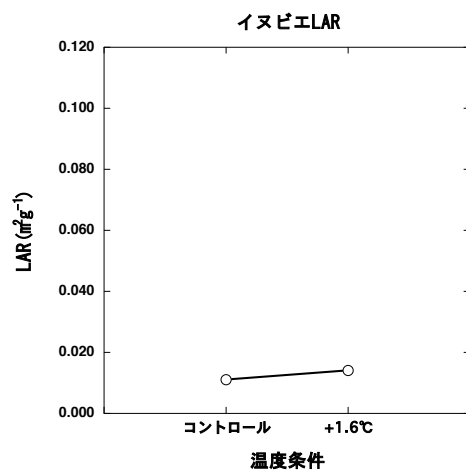
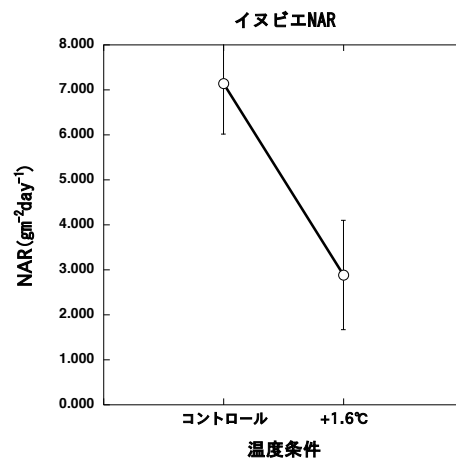
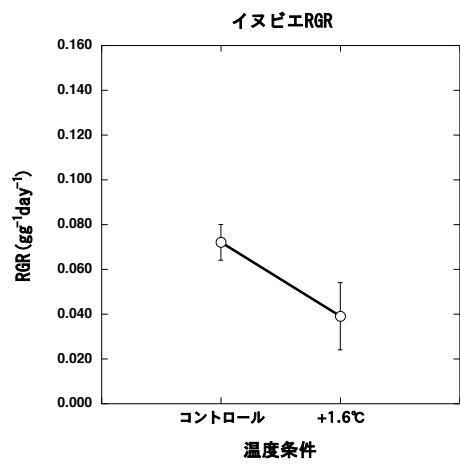


図 44. 異なる温度条件下で栽培したイヌビエ（藤岡産）の生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 7 月 21 日から 14 日間栽培した。相対生長速度（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=6。

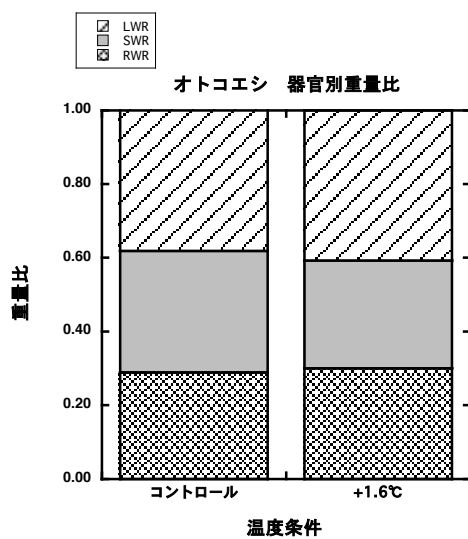
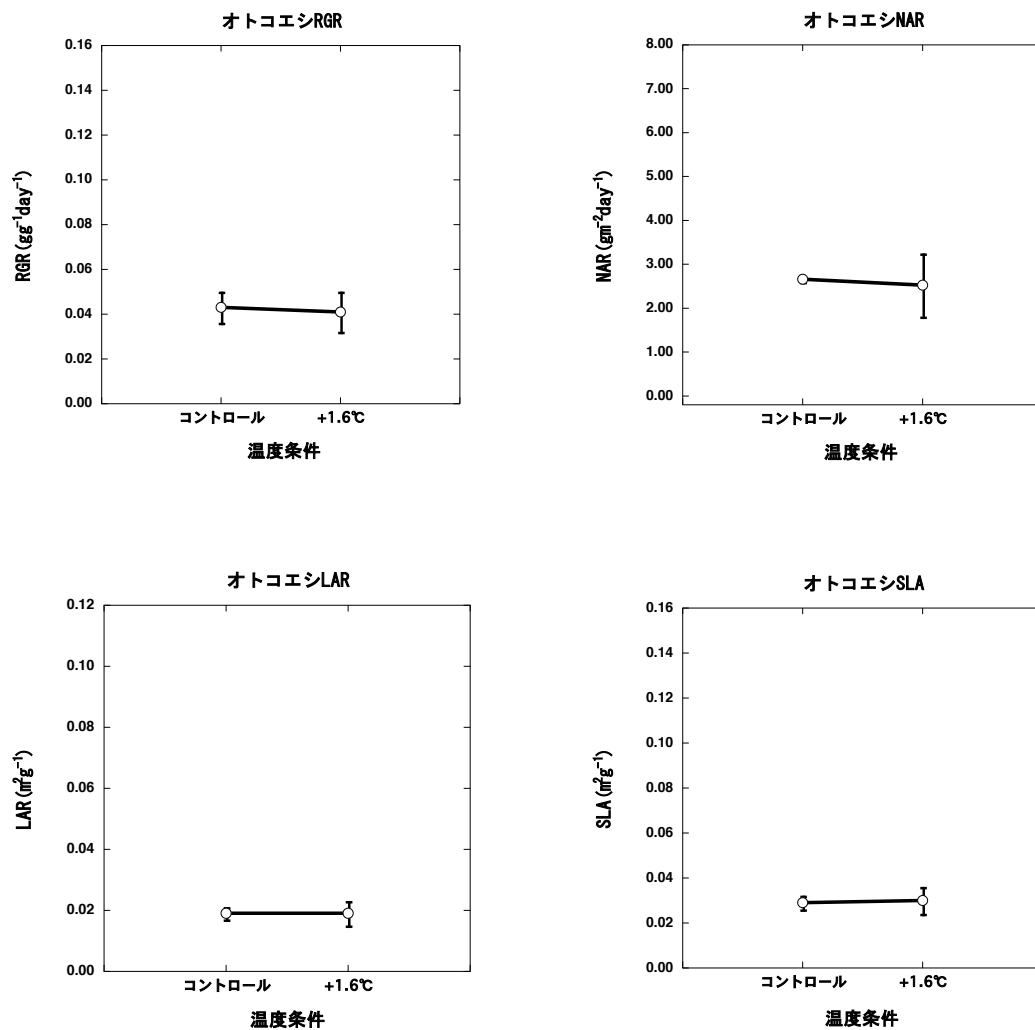


図 45. 異なる温度条件下で栽培したオトコエシ（西榛名産）の生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 6 月 27 日から 22 日間栽培した。相対生長速度（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=13。

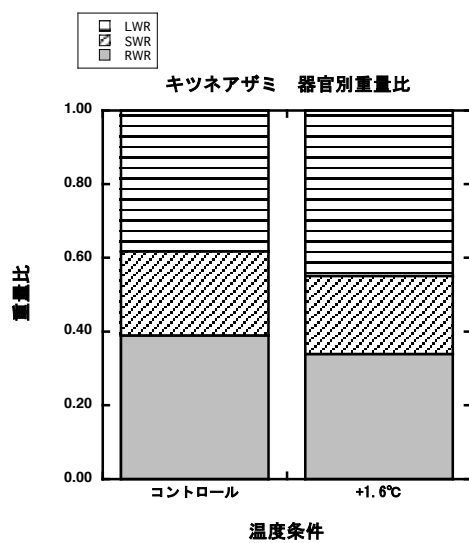
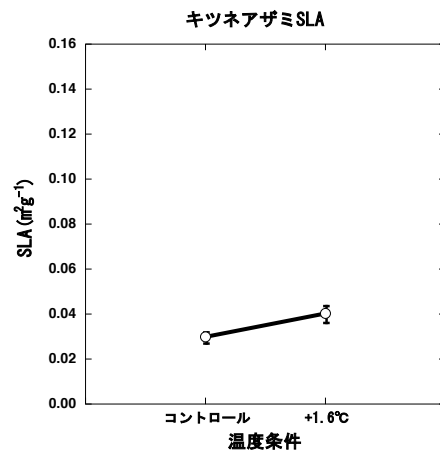
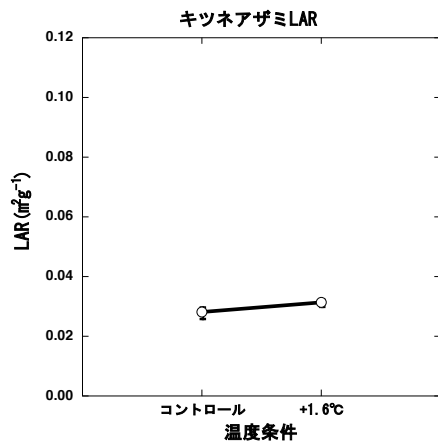
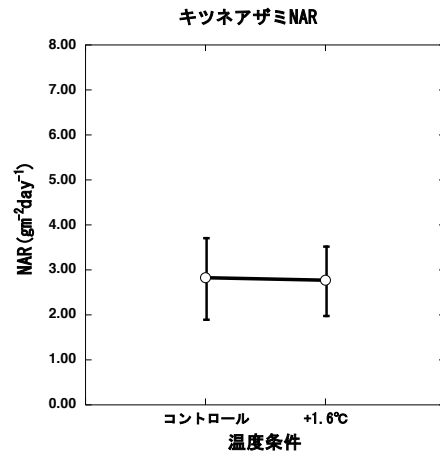
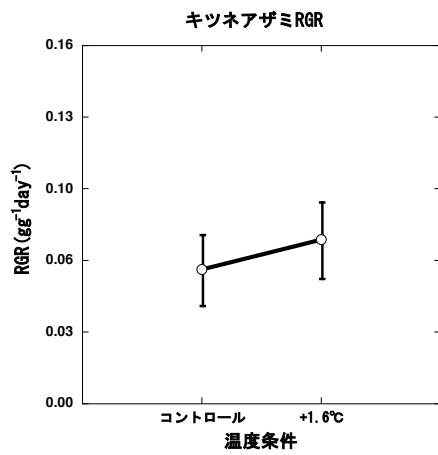


図 46. 異なる温度条件下で栽培したキツネアザミ (チノー産) の生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 7 月 4 日から 17 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=4。

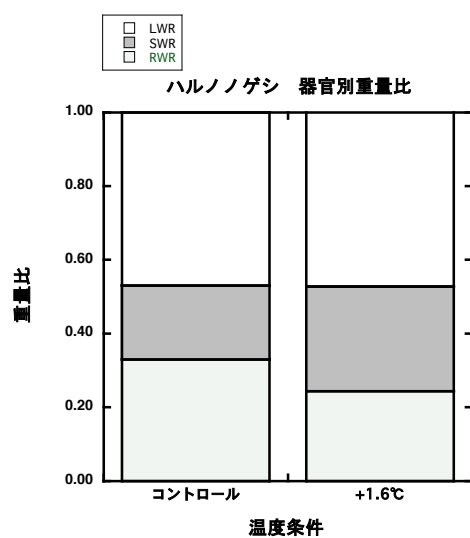
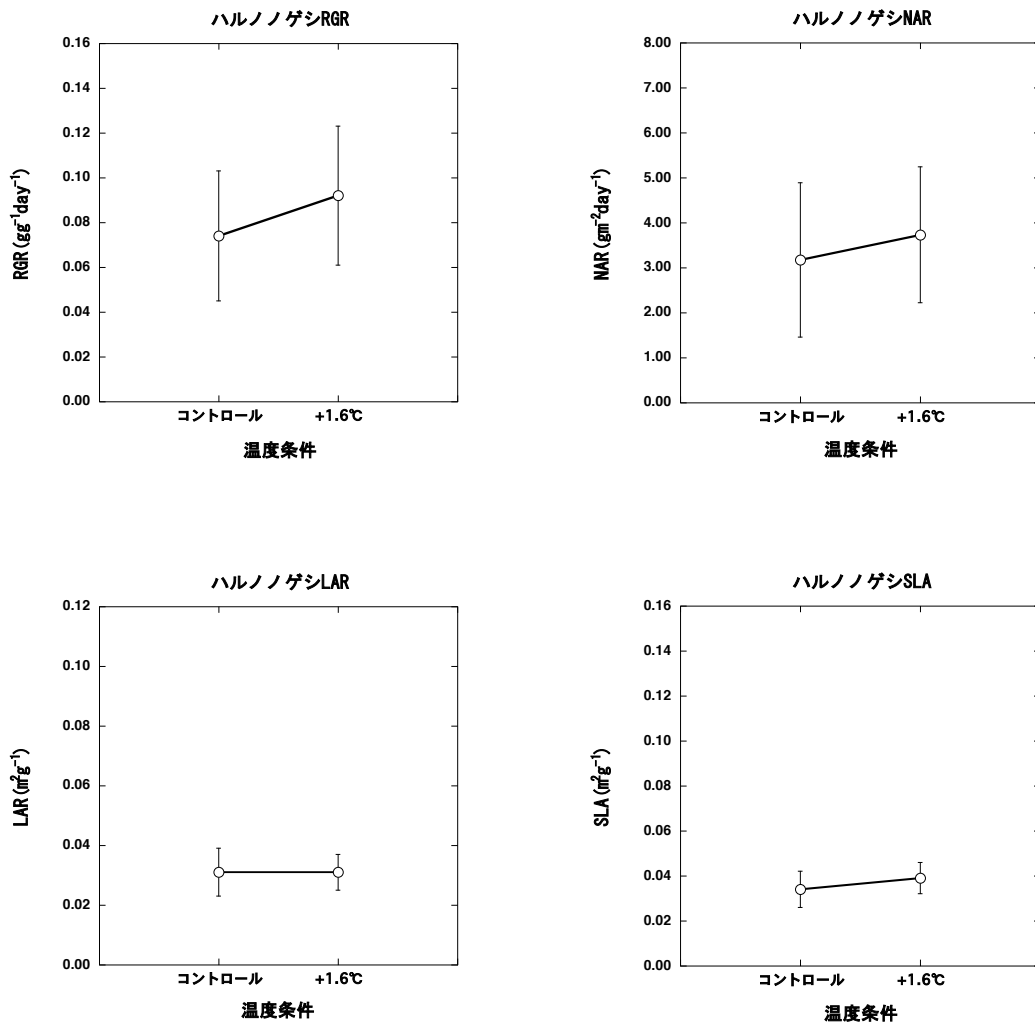


図 47. 異なる温度条件下で栽培したハルノゲシ (チノー産) の生長解析結果
 群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地(相対光量子密度 100%) にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 7 月 4 日から 14 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=5。

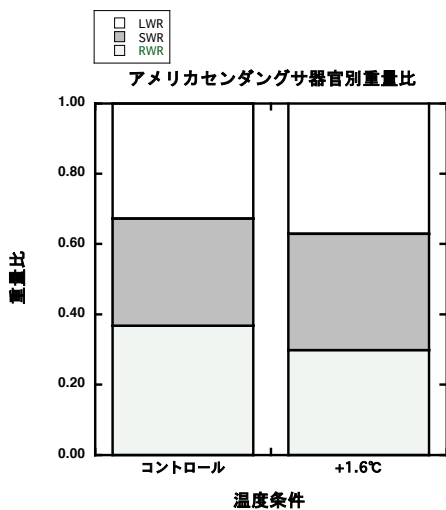
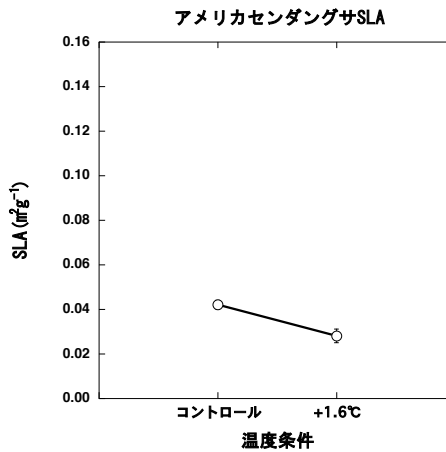
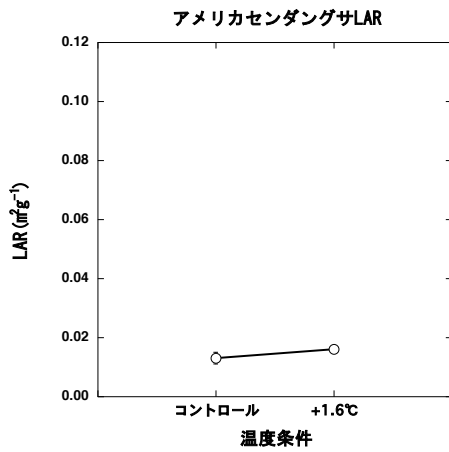
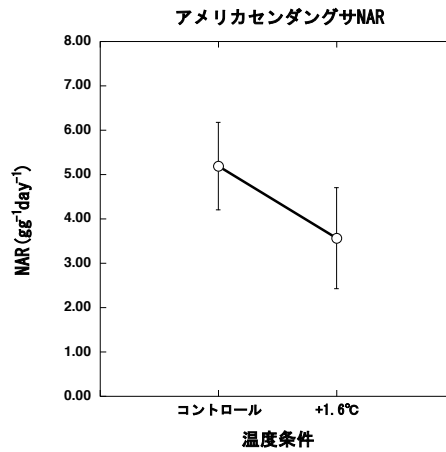
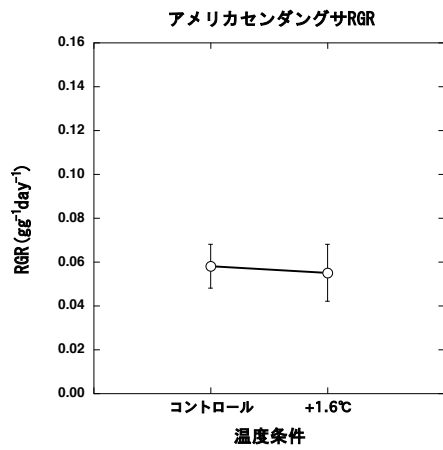


図 48. 異なる温度条件下で栽培したアメリカセンダングサ（西榛名産）の生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 10 月 5 日から 28 日間栽培した。相対生長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）、比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差。n=4。

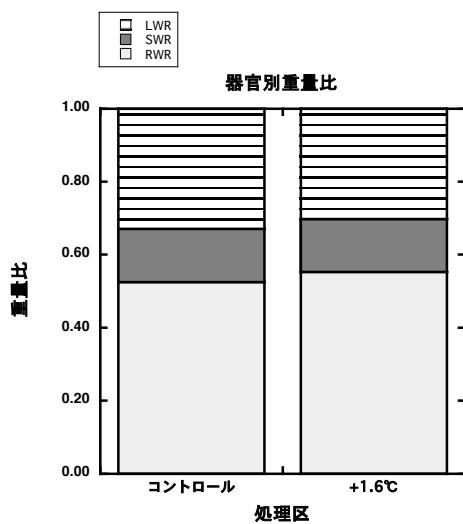
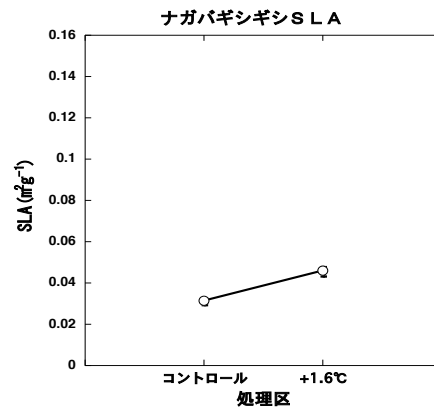
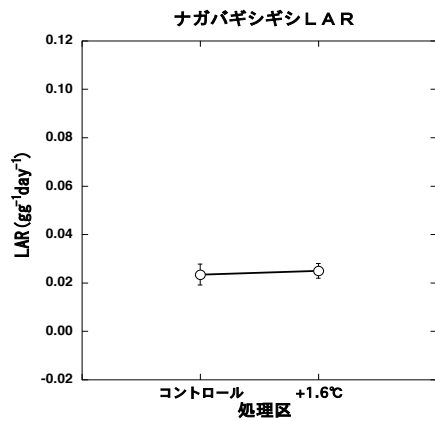
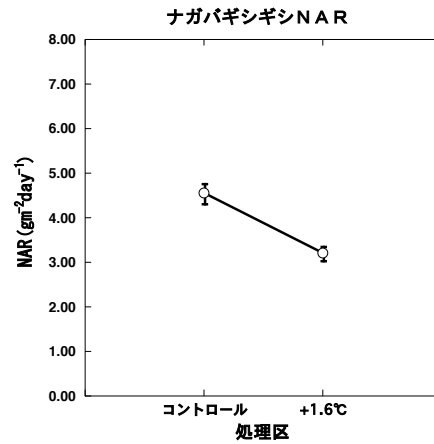
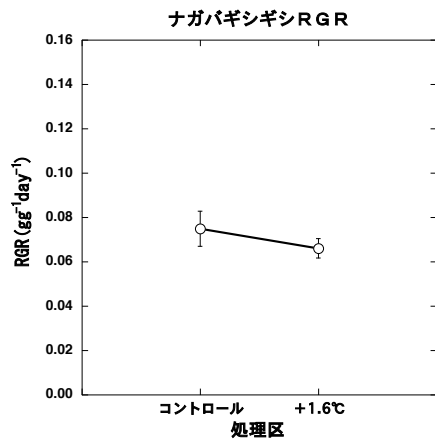


図 49. 異なる温度条件下で栽培したナガバギシグシ (アドバンテスト産) の生長解析結果

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上昇させた 1.6°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 2017 年 6 月 19 日から 22 日間栽培した。相対生長速度 (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=15-17。