

卒業論文

題名

群馬県内のビオトープにおける外来植物の
侵入状況と植生影響に関する環境科学的研究

学籍番号

13602048

氏名

三輪 晏史

指導教員名

石川 真一 教官

平成 29 年 1 月 17 日 提出

概要

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（アドバンテスト・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）の植物種多様性は、一定の定常状態に達している。しかし、外来種数もある一定の状態では、駆除を行っているため量的には少ないが、局所的に繁茂している。特にヒメモロコシ、メリケンカルカヤ、イヌムギといったイネ科の外来種があまり抑制できていない。

そこで本研究では、これらの外来種がビオトープ内のどのような立地に侵入しているか、また外来種の侵入によって、在来種がどのような影響を受けているかを明らかにすること、そして外来植物を抑制あるいは駆除しつつ、在来植物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、2001年4月に竣工したアドバンテスト・ビオトープ（群馬県邑楽郡明和町）、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、これらの外来種の生態学的特性を明らかにするため、発芽実験および生長解析を行った。

アドバンテスト・ビオトープでは、2016年度（4-10月）の計5回の調査により在来種82種類、外来種34種類の計116種の生育と開花が確認された。近年の調査と比較すると、新規確認種を含めて生育している総植物数および生育植物の帰化率は引き続き動的平衡状態にあるものと考えられる。確認できた種の中にはフジバカマやミゾコウジュと言った湿地性絶滅危惧種や里山植物も多数含まれており、継続的な生育が確認できた。その一方でセイタカアワダチソウやカモガヤなどと言った、完全な駆除の難しい外来種も継続して確認されており、継続的な維持管理が求められる。

チノー・ビオトープでは、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。竣工直後から確認されている絶滅危惧Ⅱ類であるコギシギシや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も引き続き確認されている。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。2016年度のチノー・ビオトープの帰化率は約32.6%であり、2015年度の約28.2%よりも高くなった。一方、近年の調査と比較すると過去に多数みられた園芸種の種数は減少傾向にあり、定期的な引き抜きや仮払いなどの効果が出ていると言える。

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種が確認された。2012年度より継続して確認されている絶滅危惧Ⅱ類のコギシギシや準絶滅危惧種のカワヂシャ、2013年に本研究室が当地に移植し定着が確認された絶滅危惧Ⅱ類のアサザなども確認され、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。一方、2014年には絶滅危惧Ⅱ類のコギシギシを开花前に刈り払いしてしまったり、区画によっては管理上の問題で外来種であるヒメモロコシが卓越して繁茂している状況にある部分もあり、外来種を抑制し生物多様性を保っていく上での課題も多くみられる。

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。調査値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。

発芽の温度依存性実験によって、アドバンテスト・ビオトープで採取したイヌムギおよびカモガヤ、ナガバギシギシ、チノー・ビオトープで採取したナガミヒナゲシ、群馬大学荒巻キャンパス敷地内で採取したチカラシバおよびメリケンカルカヤの6種の植物の種子の発芽特性を分析した。イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシの三種は2008年に採取して以来冷蔵保存されていた種子を用いることにより長期冷蔵保存による種子の劣化確認実験とした。高い発芽率になると予想されたナガミヒナゲシは何らかの要因によるものかほとんど発芽しないという結果となったが、長期冷蔵保存による種子の劣化確認実験に用いた三種は、長期の冷蔵保存を経ても最終発芽率が大きく下がることはなく、広い温度帯で高い発芽率を維持できることが明らかになった。

イヌムギ、カモガヤ、メリケンカルカヤ、ナガバギシギシの4種を異なる光環境下（相対光量子密度3%、9%、13%、100%）で栽培し成長解析を行ったところ、4種とも光環境が良好であればよく成長する一方、日陰では光合成活性が低下し、著しく成長が悪くなることが明らかになった。これらの外来種は草丈の低い草原や攪乱を受けたばかりの土地で生育しやすく、そのため造成後間もないビオトープなどに進入してくる可能性が高いと考えられる。

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で外来種の侵入を抑制し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。在来の生物が自然に移入・定着し、多様性の高い生態系の構築を促すためには、在来種と競合・駆逐する可能性のある外来種を適切に駆除し抑

制を図ることが必須である。その際には、有効な駆除手段を講じるためにも、駆除の対象となる外来種の生態学的特性、すなわち結実、発芽、成長特性を解明し、どのような手法が外来種を駆除抑制し多様な生態系の構築・保全に有効であるのかを検討する必要がある。

目次

はじめに.....	3
生態系.....	3
生物多様性.....	3
生態系サービス.....	5
生物多様性の危機.....	7
外来種の導入.....	8
植物の生存戦略.....	9
外来植物の侵入地の立地条件.....	10
外来種がもたらす影響.....	11
外来種への対策.....	12
外来種の法的規制.....	13
群馬県内における外来植物の概況.....	15
外来植物の生態特性.....	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.....	20
土壌シードバンク.....	21
本研究の目的.....	22
調査地概要.....	23
アドバンテスト・ビオトープ.....	23
チノー・ビオトープ.....	24
伊勢崎市男井戸川調整池.....	24
研究方法.....	25
植物相調査.....	25
材料植物.....	25
種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験.....	26
異なる環境条件下における栽培実験.....	27
生長解析.....	28
群馬大学荒牧キャンパスの気温測定.....	29
植物相調査.....	30

種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験.....	33
異なる光条件下で栽培した植物の生長解析.....	34
異なる温度条件下で栽培した植物の生長解析.....	38
結 論.....	39
謝 辞.....	42
引用文献・引用 WEB ページ.....	43

はじめに

生態系

自然界に存在する全ての種は、各々が独立して存在しているのではなく、食うもの食われるものとして食物連鎖に組み込まれ、相互に影響し合って自然界のバランスを維持している。これらの種に加えて、それを支配している気象、土壌、地形などの環境も含めて生態系と呼ぶ。互いに関連を持ちながら安定が保たれている生物界のバランスは、ひとつが乱れるとその影響が全体に及ぶだけでなく、場合によっては回復不能なほどの打撃を受けることもある（原科・横田 2000）。

「生態系」とは、食物連鎖などの生物間の相互関係と、生物とそれを取りまく無機的環境（水、大気、光など）の間の相互関係を総合的に捉えた生物社会のまとまりのことを示す概念である。生態系には、広大な森林から小さな池まで様々な大きさのものがあ、り、時として地球全体を一つの生態系と見ることもある。

生態系は、大気や水、土壌などにおける物質循環や、生物間の食物連鎖などを通じて、絶えずその構成要素を変化させながら、全体としてバランスを保っている。こうした状態は、「動的平衡」ともいわれ、生態系の仕組みを理解し、その保全のあり方を考える上で重要な視点となっている（国立環境研究所 HP）。

健全な生態系とは、ヒトがそこから自然の恵みを十分に得ることができるような生態系である。そこでは、多様な動植物や微生物の連係プレーによって、有機物の生産、栄養塩の再生・保持・循環、特有の攪乱作用とそれに対する植生の応答などの、多様な生態系のプロセスが円滑に進み、エネルギーや物質のダイナミックなうけわたしと循環が保証されている。そして、それらの担い手である動植物や微生物が、絶滅の心配なく存続することができるような条件が整えられているのである。

このような性質は、ヒトの干渉によって大きく機能の損なわれた生態系である不健全な生態系においては、決して期待することはできない。不健全な生態系は、自然の恵みを提供することができない。なぜなら、生産性が低下し、土壌からは栄養塩が溶脱し、動植物が絶滅しやすく、システム全体が不安定化するなどの兆候が現れているからである。わずかな外力によって極端な変化がもたらされるのも、不健全な状態と言えるであろう（鷲谷 2001）。

生物多様性

さまざまな姿・形、生活様式などの変異性を総合的に指す概念を「生物多様性」といい、生態系・生物群系または地球全体に、多様な生物が存在していることを指す。

生物多様性条約では、生物多様性をすべての生物の間に違いがあることと定義し、生態系の多様性、種間（種）の多様性、種内（遺伝子）の多様性という3つのレベルでの多様

性があるとしている。

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事である。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言えるが、必ずしも境界がはっきりしているものではなく、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、草原などと言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捉え、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、バクテリアなどが生息・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、我が国の生物相はほか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行く際には、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。例えば、2011 年 6 月に小笠原諸島が、我が国では 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、小笠原諸島にしかない固有種等の生息・生息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様々だが、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。

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。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）。

生物多様性国家戦略によれば、生物多様性の保全と持続可能な利用の重要性は、以下の4つに整理することができる。

1 「全ての生命が存立する基礎となる」

地球上の生物は、地球生態系という一つの環の中で深く関わり合い、繋がり合って生きている。多様な生態系は、そのさまざまな働きを通じて、現在および将来の全ての生命の存在にとって欠かすことのできない基礎となっている。

2 「人間にとって有効な価値を有する」

私たちの生活は、多様な生物を利用することによって成り立ってきた。今後、さまざまな形で生物を間接的・潜在的に利用する可能性があり、生物多様性は、現在および将来の豊かな暮らしにつながる有用な価値を有している。

3 「豊かな文化の根源となる」

日本のように、人と自然が一体となった自然観を有し、自然を尊重し、自然と共生する暮らしの中で多様な文化を形成してきた地域は、世界の中でみられる。生物多様性は、精神の基盤となり、地域色豊かな固有の財産ともいべき文化の多様性を支えるものであり、その根源となっている。

4 「将来にわたる暮らしの安全性を保障する」

多様で健全な森林の整備・保全、地形の不適切な改変の回避、環境保全型農業の推進などは、土砂の流出や崩壊防止、安全な飲み水や食料の確保に寄与している。生物多様性の観点から、自然と人の利用のバランスを健全に保つことは、長い目で見れば、世代を超えて効率的に暮らしの安全性を保障することにつながる。

生物多様性は生命の豊かさを包括的に表す広い概念で、その保全は、食料や薬品などの生物資源に留まらず、広く人間に不可欠な生存基盤としても重要である。

反面、人間活動の拡大とともに、生物多様性が低下してきていることが、今日の大きな課題となっている（国立環境研究所 HP）。

生態系サービス

生物多様性はそれ自体も価値を有しているが、多様な生物に支えられた生態系は、私たち人類に多大な利益をもたらしている。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およ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があることがわ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のことを指す。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、現在およ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言う。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攪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言う。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サービスのことを言う。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)。

生物多様性はこれら生態系サービスを生み出す生態系機能の担い手であり、多様なサービス全般とかかわる健全性の指標でもある (鷲谷・鬼頭 2007)。

生態系サービスの価値は市場で取引されるもの以外は市場経済の中では見えにくくなっているが、生態系サービスを提供する生態系、生物多様性や自然資源のことを「自然資本」としてとらえ、それを劣化させることなく持続的に利用していくために、適切なコストを支払って保全していく必要がある。そのため、生態系サービスが有する価値を評価して、その価値を可視化しようとする取組が進みつつある。

生物多様性と生態系サービスとの関係については、単一種の作物から食料を効率的に得ることができる場合もあるように、供給サービスなどは必ずしも生物の多様性と直接的な結びつきがないように考えられる場合もある。しかし、生物多様性が維持されていること

によって、私たちは観賞用の植物や医薬品など、さまざまな用途に対応した供給サービスを得ることが可能となる。また、生物多様性の高い生態系では病虫害の抑制などといった調整サービスに優れ、レクリエーションの場の提供をはじめとした文化的サービスの多くは生物多様性とも重要な結びつきを持っている。このように、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いったトレードオフ（二律背反）の関係にある場合がある。例えば、都市域における緑地の確保は二酸化炭素の吸収や都市住民のレクリエーションの場の提供など、複数の生態系サービスの向上に繋がる。一方、マングローブ林を伐採し、エビの養殖場などのために開発することは短期的にはエビの養殖による商業的利益をもたらすが、魚類等の繁殖場所の消失や、二酸化炭素の吸収、海岸の保全などのさまざまな生態系サービスの低下につながる。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行く際には、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行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

現代は、「第六の大量絶滅時代」と呼ばれる。マイヤース（N.Myers）の推定によれば、恐竜時代の大量絶滅が生じた白亜紀末期の絶滅速度と比して、1900～1975年は千～十万倍、そして1975～2000年では4千万倍の速度といわれている。生態系の視点から見ても、生物種の絶滅は生物多様性を低下させ、ひいては生態系サービスの低下をもたらしかねない（佐藤ら 2012）。

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（鷲谷 2001）。

生物多様性国家戦略に生物多様性を脅かす要因が4つに分けて整理されている。

- ・ 第一の危機：人間活動ないし開発が直接的にもたらす種の減少、絶滅、あるいは生態系の破壊、分断、劣化を通じた生息・生育空間の縮小、消失。
- ・ 第二の危機：生活様式・産業構造の変化、人口減少など社会経済の変化に伴い、自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することによる里地里山などの環

境の質の変化、種の減少ないし生息・生育状況の変化。

- ・ 第三の危機：外来種など人為的に持ち込まれたものによる生態系の攪乱。
- ・ 第四の危機：地球温暖化によってもたらされる種の生息・生育地の縮小、消失等の影響（上原 2011・環境白書 2010）。

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、鬼頭 2007）。

外来種の導入

在来種（native species）とは、（過去または現在の）自然分布域と分散能力域の範囲内に生存する種、亜種、またはそれ以下の分類群のこと（すなわち自然に占有している生息域内に存在するもの、あるいは人間による直接的、間接的な導入、あるいは世話なしに存在できるであろうもの）である（村上、鷲谷 2002）。

地域に特定の型ということからか、地方種ということもある。植物の場合、自然の状態ですべて生育していることを自生するというので、植物相の基本的な構成種を自生種ともいう（岩槻 2001）。

それに対し、外来種（alien species）とは、過去あるいは現在の自然分布域外に導入（人によって直接的・間接的に自然分布域外に移動させること）された種、亜種、あるいはそれ以下の分類群を指し、生存し繁殖することができるあらゆる器官、配偶子、種子、卵、無性的繁殖子を含むものをいう。また、外来種のうち、その導入もしくは拡散が生物多様性を脅かすものを侵略的外来種（invasive alien species）という（村上・鷲谷 2002）。

生物が外国から日本国内に運ばれる場合に限らず、日本国内で自然分布域の外へ運ばれる場合（本州から北海道や各地の離島へ持ち込まれたニホンイタチ等）、あるいはその種の分布する地域のなかで運ばれる場合（生まれた川と異なる地域に放流されたメダカ等）も、外来生物になる。また、古くから広い範囲に運ばれている生物では、そもそもどこに元々生息していたのか分からなくなっているものもある（セアカゴケグモ、ホオグロヤモリ等）。

故意に自然分布域の外へ運び出された場合を「意図的導入」という。導入予防のためには、防止したい種に対する法的規制と密輸・密放逐に対する監視が必要になる。植物生態系における例としては、法面緑化植物（シナダレスズメガヤ、オニウシノケグサ等）や街路樹（ハリエンジュ等）が挙げられる。

人や物の移動に随伴して意図せず運ばれる場合を「非意図的導入」という。導入予防の

ためには、多くの種を運んでしまう物資及びその移送経路を特定した上で、監視・検疫が必要になる。例として、農産物や牧草の輸入に混入する形で流入したアレチウリ・ワルナスビ等がある（国立環境研究所 HP）。

こうした経路で日本に導入されて定着した、すなわち野外に自生するに至った外来植物の種数は、明治時代には約 100 種程度に過ぎなかったが、近年では『日本帰化植物写真図鑑』（清水ら 2001）に約 600 種、『外来種ハンドブック』（日本生態学会・編 2002）には 800 種を超えて掲載されるという状態に至った。

外来植物には、①繁殖力が旺盛である、②種子散布能力が高い、③工事などによって荒らされた「攪乱地」に主として生育する、といった生態特性があることが明らかになりつつある。またその半数以上が、日本と気候条件が比較的にている欧州・北米原産である（石川ら 2009）。

また、外来種には環境に応じて進化し、環境適応を遂げて爆発的に増殖・拡大する物も多くある。したがって、持ち込まれた当初の性質だけでは、外来種の将来における危険性を判断できない（石川ら 2009）。

植物の生存戦略

渡来した外来植物が分布を拡大するか否かは、当該外来植物が芽生えてから種子をつくるまでに、日本国内で遭遇するであろう淘汰圧に対してどう対処するのか、その生存戦略を知ることのできるののところまで予想できる。

グライムは、植物に対する外部からの淘汰圧として、耕起、刈り取り、植物の喫食、踏みつけ、火入れなど、それによって植物体の一部又は全体を破壊する「攪乱」と、光不足、貧栄養、低温など植物の光合成と物質生産を抑制する「ストレス」の二つを取り上げた。二つの淘汰圧に着目し、植物の生存戦略を両者の強弱程度の組み合わせに対応するものと考え、以下の 7 つに類型化した。

- ①攪乱依存植物（Ruderals）：攪乱の強い土地に生育する植物
- ②ストレス耐性植物（Stress Tolerators）：ストレスの強い土地に生育する植物
- ③競争植物（Competitors）：攪乱及びストレスによる淘汰圧が弱い土地に生育する植物
- ④競争的攪乱依存（C-R）植物：②および③の中間的な特性を示す植物
- ⑤ストレス耐性攪乱依存（S-R）植物：①および②の中間的な特性を示す植物
- ⑥C-S-R 植物：三者の中間的な特性を示す植物
- ⑦ストレス耐性競争（C-S）植物：①および③の中間的な特性を示す植物

外来植物は主に①の攪乱依存植物に分類されるが、他に C-R、S-R、C-S-R 植物も含まれる（根本 2014）。

外来植物の侵入地の立地条件

日本に渡来し、野生化したほとんどの外来植物は、人間が攪乱した立地で生活している。根本正之は、攪乱の仕方と攪乱地の環境条件の違いから、外来種の侵入地の立地条件を以下の四つに分けた。

A：都市内の空き地

都市に生育する帰化植物は、取り壊して間もないビルや工場の跡地、土を掘り起こした工事現場、管理の行き届かない公園の広場などといった比較的大きな裸地から、歩道脇の頻繁に踏みつけられたり草を刈ったり抜いたりした跡、石垣の小さな隙間などでみられる。このような空間には、攪乱の程度やその及ぶ範囲はさまざまでも、人間が攪乱するのか、そして攪乱の結果生じた裸地がいつふさがるのか、まったく予測が付かない。そのため、そこで生活するには、すぐ発芽可能な種子を大量に生産し、風や水の力を利用して種子を飛ばせるような特性を備えることが有利である。このような特性を持った外来植物は、放浪種と言われるキク科に多く見られる。例えば、ロゼット型のセイヨウタンポポ、ブタナ、ノボロギク、ヒメムカシヨモギなど、休眠特性を持たない多量の種子を生産し、乾燥した土地を好む種や、自家受粉や単為生殖によって孤立した個体からでも増えることが可能な種が多い。

B：耕作地

耕作地における植物の生育環境は、定期的な耕作と作物による被陰のため、外来植物の生育可能な期間は断続的なものになる。このような環境で生きのびてゆくためには、短期間で生活史を全うでき、また発芽のタイミングを知るためのメカニズムが発達していなければならない。そのため、耕作地に侵入する帰化植物は、オランダミミナグサ、ナガミヒナゲシ、メヒシバなど、一年生で発芽に好適な環境が到来するまで休眠している耕地雑草型の攪乱依存種がほとんどである。

C：道路、鉄道線路、河川堤防の法面

これらの法面の多くは定期的な草刈りによって中規模の攪乱がある。このような場所では、古くからススキやオギ、チガヤに混在してフジバカマ、カワラナデシコなどの在来種が生育していた。しかし現在、在来種の地上部がほぼ枯れている冬季に良く生育できるイネ科やマメ科、地下茎に貯蔵した養分を使って芽が出て間もなく旺盛な成長ができるセイタカアワダチソウ、早春から芽生え、初期生長も早いオオアレチノギクなど、他種との競争に強く、比較的長期間にわたり攪乱地を利用できる競争的攪乱依存種の「自然の敵：nature enemy」といわれる外来植物がしばしば優占群落を形成している。

D：伝統的な畦畔や昔からある堤防

在来植物の多様性に富んだ伝統的な畦畔や、かなり古くに築堤された堤防では、上記のC地域ほど外来植物は生育していない。雨水によって長期間にわたり土壤中の栄養塩類が

流亡した結果、土壌が貧栄養で酸性になっていることが考えられる理由の一つである。セイタカアワダチソウやブタクサが侵入してきても、大きくなるために必要な資源の不足からうまく定着できていないのだと思われる。ただし、栄養塩の不足というストレスと、放牧という攪乱に適応しているといわれるハルガヤやアユガなどのC-S-R型の帰化植物はうまく定着できる可能性がある（根本 2014）。

外来種がもたらす影響

海洋島、内陸湖などをはじめとする様々な生態系において、外来種の侵入が生物多様性を脅かす主要な原因であることが明らかにされてきた。そのため、外来種問題の解決は、国際的にも生物多様性保全上の最も重要な課題の一つとして認識されている。日本を含む196の国と地域（2015年5月現在、外務省HP）が締約している生物多様性条約においても、その第8条には、「生態系、生息地若しくは種を脅かす外来種の導入を防止し又はそのような外来種を制御し若しくは撲滅すること」という締約国の義務が記されている。外来種の管理の重要性と必要性は、今では世界的な共通認識なのである（村上・鷲谷 2002）。

外来種がもたらす影響は、以下のように分類整理される。

①生態系への影響

- ・外来種が財らの生き物を食べてしまうことにより、本来の生態系が乱されてしまう
- ・外来種が日陰を作ってしまうことで、在来の植物の生活の場を奪ってしまったり、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。

②人の生命・身体への影響

- ・毒、あるいはアレルギー性物質などによる被害（環境省HP・石川ら 2009）。

③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。共存の事実は、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、外来種と在来種との間には、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もので、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)。

外来生物問題が生じる原因は、様々な形で人為的に生物が運ばれ、野外に放たれること(導入と呼ばれる)である。導入されたものの一部が、野外で繁殖集団を形成し(定着と呼ばれる)、長期にわたって様々な影響を及ぼすようになる。運ばれ方(侵入経路・導入経路)は様々だが、いずれも我々の日常生活を密接に関係している。運ばれ方によって予防方法が異なるため、導入経路の特定は、防除戦略を立てる上で重要な課題の一つである。

外来生物は、原因も影響も様々であるため、その対策も状況に応じて様々である。具体的には、外来生物の導入そのものの水際での防止、すでに定着している外来生物の被害防止/軽減、法規制の組み合わせによって対策されている(国立環境研究所 HP)。

外来種への対策

生態系に侵入する外来種の中には生態系に無視できない影響を及ぼすものがあり、一部の外来種は甚大で不可逆的な影響を与える。また、一般に生物は指数関数的に増殖し、適応進化や突然変異により容易に性質を変えるため、初期の対策をためらうと手遅れになりやすい。しかもまん延した外来生物が生態系を不可逆的に変化させれば、その悪影響は後の世代にも及ぶ。外来種が引き起こす可能性のある環境コストや経済的コストを回避するためには、代替手段がなく極めて公益が大きい場合を除き、外来種を導入しないことが最も経済的で効果が大きい。国際的にも、現存する外来種の管理よりも、まずは外来種が入ることを未然に防ぐ予防的措置の重要性が繰り返し述べられている(IUCN2000, SBSTTA2001)。

さらに、野生化を防ぐ管理を徹底しなければならない。それによって、外来種問題の多くを未然に防ぐことができる。外来種の野生化を防ぐためには外来種利用を制限したり、人や物資の移動に伴う非意図的な導入を防止するための管理が必要となる。やむを得ず外来種を利用する場合には、それが野外に逸出することがないような厳格な管理がなされなければならない。このため、必要な罰則規定を含む法的措置が必要である。

不幸にも生態系に外来種が定着した場合、取り得る方策は、①何もしない、②根絶する、③抑制するの三つのいずれかである。これまで多くの外来種については①の対処がなされてきたが、それは積極的に選択されたというよりは、外来種問題に対する認識が不十分であったため放置されたのである。本来は、少なくとも影響の兆しが見られたり、既存の生態学的情報から影響が予測される場合には、その時点で影響が目立たなくとも、②もしくは③を選択するべきである。

問題を起こす外来種が野生化する種 10 種のうちの 1 種であるとしても、どの種がその問題外来種となるかの予測には大きな不確実性が伴う。したがって、予防原理に基づく判断、すなわち「疑わしきは罰する」という姿勢で臨むことが何よりも大切である。

ここでの「根絶」とは、ふたたび導入することなしに個体群が回復することがないように、外来種の個体と繁殖子を除去することを指す。また、「抑制」とは個体群が存続してもその悪影響が問題とはならない程度にとどめておくことである。

根絶は十分な生態学的な研究を踏まえた慎重な計画に基づいて実施し、モニタリングの結果を絶えず計画に反映できるような手法によって行われなければならない。

外来種が定着してからかなりの時間を経過している場合、多数の外来種の影響が輻輳している場合、外来種の問題と他の環境問題が輻輳している場合など、生態的な関係が錯綜しているため、生態学的な現状把握と評価をしっかりと踏まえた対策プログラムを立てる必要がある。また、対策の実施に当たっては、十分なアセスメントを行い、慎重な計画を立案し、結果を見ながら柔軟に方針を変えていけるように、順応的に取組を実施する必要がある。対策により、生態系を損なったり、保全すべき種に悪影響を与えることもあり得るからである。

外来種を駆除・制御する手段としては、機械的手段、抜き取り、化学的手段、生物学的手段などが取り得るが、倫理的にも許容できる方法で、標的とする外来種への選択的な作用であること、および社会的合意を得られるものであることが望ましい。

外来種の根絶や抑制は、生態系の保全と管理において最も重要な要素の一つとなってきた。外来種対策は、それだけを単独で計画したり実施するよりは、生態系の回復という、より広い目標のもとに位置づけることが有効である（村上・鷲谷 2002）。

外来種の法的規制

2005 年 6 月、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」（外来生物法）が施行された。この法律の目的は、特定外来生物による生態系、人の生命・身体、農林水産業への被害を防止し、生物の多様性の確保、人の生命・身体の確保、農林水産業の健全な発展に寄与することを通じて、国民生活の安定向上に資することである。そのために、問題を引き起こす海外起源の外来生物を特定外来種として指定し、その飼養、栽培、

保管、運搬、輸入と言った取扱いを規制し、特定外来生物の防除等を行うこととしている。

特定外来生物とは、外来生物（海外起源の外来種）であって、生態系、人の生命・身体、農林水産業へ被害を及ぼすもの、又は及ぼすおそれがあるものの中から指定される。特定外来生物は、生きているものに限られ、個体だけではなく、卵、種子、器官なども含まれる。

特定外来生物とは別に、生態系や人の身体・生命、農林水産業へ被害を及ぼすおそれがあるものである疑いがある、もしくは実態がよく分かっていない海外起源の外来生物のことを「未判定外来生物」と呼ぶ。これらを輸入する場合は、事前に環境大臣に届け出る必要がある。その後、主務大臣が判断し、影響を及ぼすおそれがある場合は特定外来生物に指定され、輸入や取扱いについて規制される。影響を及ぼすおそれがないと主務大臣が判断した場合は、とくに規制はかからない。

特定外来生物か未判定外来生物かをすぐに判断できない海外起源の生物は、「種類名証明書の添付が必要な生物」として扱われる。これらを輸入するには外国の政府機関などが発行したその生物の正式名称を記載した種類名証明書を添付しなければならない。

2015年現在、外来生物法により指定される特定外来生物は110種、うち植物は13種である（池田 2006・環境省HP 外来生物法）。

要注意外来生物とは、外来生物法に基づく飼養等の規制が課されるものではないが、これらの外来生物が生態系に悪影響を及ぼしうることから、利用に関わる個人や事業者等に対し、適切な取扱いが求められるものである。これらの外来生物は被害に係る科学的な知見や情報が不足しているものも多い。2016年現在要注意外来生物には148種が指定されており、その特性から大きく以下の4つのカテゴリーに区分することができる。

(1) 被害に係る一定の知見があり、引き続き指定の適否について検討する外来生物

専門家会合等において、生態系等に対する被害があるかそのおそれがあるとされ、指定に伴う耐領域のおそれなどの生物ごとの様々な課題があることから、現時点で外来生物法に基づく特定外来生物等の指定対象となっていないもの。今後も特定外来生物の指定の適否について検討することとしている。現在16種類の外来生物が選定されている。

(2) 被害に係る知見が不足しており、引き続き情報の集積に努める外来生物

専門家会合等においても生態系等に関する被害のおそれ等が指摘されているが、文献等の被害に関する科学的な知見が不足しているもの。引き続き情報の集積に努め、その状況を踏まえて指定の必要性について引き続き検討するとともに、利用に当たっての注意を呼びかけている必要があるとされた外来生物。現在116種類の外来生物が選定されている。

(3) 選定の対象とならないが注意喚起が必要な外来生物（他法令の規制対象種）

他法令による規制があることから、外来生物法に基づく特定外来生物や未判定外来生物の選定の対象とはならないが、特に利用に当たっての注意喚起が必要な外来生物。現在植

物防疫方の規制対象となっている 4 種の外来生物が選定されている。

(4) 別途総合的な取組を進める外来生物（緑化植物）

緑化に用いられる外来植物は、災害防止のための法面緑化など様々な場で用いられることから、被害の発生構造の把握と合わせて代替的な植物の入手可能性や代替的な緑化種法の検討等を含めて環境省、農林水産省及び国土交通省の 3 省が連携して総合的な取り組みについて検討を進めることとしている。現在文献等で被害に係わる指摘がある緑化植物として 12 種類の緑化植物が選定されている（環境省 HP 外来生物法）。

群馬県内における外来植物の概況

1 特定外来種

2008（平成 20）年に発行された『群馬県外来生物調査報告書』（群馬県自然環境課発行）によると、特定外来生物に指定された 12 種の植物のうち、ミズヒマワリ、アレチウリ、オオフサモ、オオカワヂシャ、オオハンゴンソウ、オオキンケイギク、ボタンウキクサの 7 種が群馬県内に自生していることが確認された。

2 要注意外来種

環境相指定の要注意外来種の植物のうち 52 種が、群馬県内に定着し、多くの種がまん延と言わざるを得ない状態である。そのなかにはシナダレスズメガヤ、ハリエンジュ、コカナダモ、オオブタクサなど、在来植物や生態系に対する被害事例が多数報告され、特定外来種と同等の高い生態リスクを持つ種も含まれている。

3 県内危険外来種

群馬県では前記の指定外来種以外に、県内において生態系等に被害を及ぼす危険性の高い 11 種の植物を「県内危険外来種」として注意を喚起した。セリバヒエンソウ、ナガミヒナゲシ、外来アブラナ科、ショカツサイ、ニワウルシ、タカサゴユリは栽培個体群を起源として野外で分布を拡大している。ナガミヒナゲシ、外来アブラナ科、ショカツサイは、春に咲く美しい花が目的で播種されることが多く、しばしば大規模な個体群を形成しています。ナヨクサフジは緑肥として導入され、河川敷などに密生個体群を形成している。ニワウルシは暖地を中心に河川敷や林縁に生育する樹木である。要注意外来種のハリエンジュと同様に、根から多数出芽して高密度の樹林を形成している（石川ら 2009）。

外来植物の生態特性

1 特定外来種

アレチウリ *Sicyos angulatus*（ウリ科）

北米原産の一年生つる植物。河川敷および河川敷に近い湿潤な畑地で旺盛に生育する。砂質の河川敷や堤防に繁茂するが、丸石川原にはほとんど分布しない。一年生植物だが、

野外では5月から10月ごろまで断続的に発芽し、成長する。旺盛につるを伸ばして巻きひげで他の植物に絡みついてよじ登り、大きな葉を数多くつける。8月下旬から10月まで開花し、多数の大型の種子を作る。鷺谷（2003）によれば、本種は土壤中に長期にわたって生きた種子が蓄積される「永続的土壌シードバンク」を形成するため、地上に生育する個体の除去だけでは駆除の効果はないとされる。

本種は他の植物に絡まり、また大きな葉を数多く付けることにより他の植物を日陰にして衰退させる「被圧」を引き起こす。この被圧により、本種は各地の河川敷で在来種植物・植生に被害を与えている（石川ら 2009）。

オオカワヂシャ *Veronica angallis-aquatica* (ゴマノハグサ科)

ユーラシア大陸原産の多年生草本。用水路や中小河川の泥質の川岸や、大河川の流れの緩い流路に生育する。茎は地をはってよく分枝し、巨大な株を形成することが多いが、流れが速い流路には少ない。ひとたび根を下ろすと、水深30cmを超えても水中から茎葉を出して生育する。草丈が1mを超えることも稀ではなく、草丈にかかわらず開花・結実し、大量の種子を生産する。種子は25℃の温度下では、4日以内にほぼ100%発芽する。また、伸びた茎が根を下ろして増殖し、この茎が切れて流され、下流の泥質の川岸に流れ着けば、やはり根を下ろして分布を拡大する。

草丈が1mほどにもなる高密度個体群を形成するので、日本の河川の水際に昔から分布している在来植物を日陰にして、その生育に悪影響を及ぼすおそれがある。特に、近縁の在来種で準絶滅危惧種に指定されているカワヂシャにとっては脅威である。両種は生育環境・分布可能域が重複し、オオカワヂシャの方が草丈が高くより広がるため、カワヂシャが日陰にされて駆逐される危険性がある（石川ら 2009）。

2 要注意外来種

メリケンカルカヤ *Andropogon virginicus* (イネ科)

北米原産の多年生草本で、分株して叢生する。種子は密な綿毛に覆われており、風により遠距離に散布される。裸地に多く分布することから、強光下で土壌が乾燥しやすい立地において良好に成長すると考えられる。

多量の種子を広範囲に散布し、人為的又は自然災害によって土壌が攪乱された「攪乱地」や乾燥した裸地で速やかに高密度個体群を形成するため、同様に裸地や攪乱地にいち早く生育することで種を存続させている「先駆的在来植物種」にとって大きな脅威となると考えられる（石川ら 2009）。

シナダレスズメガヤ *Eragrostis curvula* (イネ科)

南アフリカ原産の多年生草本で、現在では世界的に分布する。河川敷や道端と言った、強光下で良く生育する。村中・鷺谷（2001；2003）により、本種が河川敷においてしばし

ば巨大な超高密度個体群を形成し、これが砂を捕獲して微地形を改変することが明らかにされている。

本種は河川敷の微地形を改変して生育適地を他の植物から奪い、また、超高密度準群落を形成して他の植物を日陰にして、その発芽と生育に多大な悪影響を及ぼすことによって、全国の河川敷に生育する在来植物種・植生に対して壊滅的な悪影響を与えている（石川ら 2009）。

3 県内危険外来種

ナガミヒナゲシ *Papaver dubium* (ケシ科)

ヨーロッパ原産の一年草で、春から初夏に欠けて開花する。乾燥下で果実上側（円盤状の柱頭）が開口し、そこから種子が散布されるが、この開口部は高湿度下では閉鎖する。この仕組みによって、種子は効率的に散布される。種子は非常に多く生産されて風により遠距離に散布されるため、本種は迅速かつ広範囲に侵入・拡大する可能性が高い。

多量の種子を広範囲に散布し、人為的に土壌が攪乱された「攪乱地」や荒地でも旺盛に繁殖してしばしば群生するので、特に人里周辺や河畔に生育している在来植物を日陰にして、駆逐する危険性がある（石川ら 2009）。

ヒメモロコシ *Sorghum halepense* f. *muticum* (イネ科)

南アフリカ原産の多年生草本で、道端など強光環境下で旺盛に生育する。草丈は2mに達し、分株と地下茎からの出芽で良く増えて超高密度個体群を形成する。また種子発芽率は10℃で約70%、17~30℃ではほぼ100%と非常に高い。

強光環境下において在来植物種を日陰にして、その発芽と生育に悪影響を及ぼすおそれがある（石川ら 2009）。

ビオトープとは

ビオトープとは、景観生態学、地域生態学から生まれた学術用語である。ギリシャ語のビオス（Bios:生物）とトポス（Topos:場所）を合成したドイツ語で、動植物が存在する空間を対象に、景観としての等質的最小単位である「エコトープ」の中の「フィト（植物）トープ」と「ズー（動物）トープ」を対象に、生物学的な空間的不連続性で区切った景観単位のことを指す。ドイツやスイスにおいては、技術専門用語としても1970年代ごろから庭園や河川の自然管理の際に使われるようになり、現在では、日本を含めた世界中に浸透しつつある考え方である（中島 2004）。

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。生物の多様性や保護・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、人と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方がある。雑木林やため池、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、攪乱することによって遷移する植生が逆戻りし、動植物の生息密度や複雑な環境構造が更新され維持されてきた(養父 2006)。

様々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)。

ヨーロッパでは、生態学的な価値の高いビオトープは共有地であることが多く、その維持管理には何らかの税金が投入されることが多い。言わば、インフラとして、ビオトープの健全性を維持している。民有地であっても、ビオトープの価値を下げない対策を、税金で賄うことは少なくない。その一方で、環境に貢献できる森林から得た材木を優先的に高額で公共が買い取るというような間接的な資金投入が盛んで、ビオトープの健全化も「儲け」の中で行うことが民地での競争原理をも含めた対応と位置づけているようだ。これならば、所有者はビオトープの健全化を経営努力の一端として、大きな負担を伴うことなく行うことができる(中島 2004)。

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。人工ビオトープづくりでは、人工ビオトープの造成および管理する過程では、多くのエネルギーを費やしてしまう(環境負荷となる)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。

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）。

ビオトープは原則として復元することは非常に難しいものがある。特に、特別な土地の条件と長い発展経緯を踏んで出来上がってきた、特定の生物の生息空間である湿原、あるいは原生林のようなものがこれにあたる。このようなビオトープは代替不可能であり、このビオトープが消滅する場合には、ただ他のビオトープを新たに造成して、せめてもの補償をする以外には手はないのである。しかし、その他のビオトープのタイプは多くの場合人間によって造られたものであり、条件付きでかなりの質のビオトープを新しく創り出すことができ、なおかつその機能を十分に発揮することができる（秋山 2000）。

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。この将来展望は状況によって見直しても良い。目標や方向性が大幅に変わるような見直しは避けたいところだが、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。

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）。

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共にある生活を送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。

環境問題への取組に対して、企業の果たすべき役割が増大してきており、地域にひらかれた形での社会貢献が期待されている。ビオトープづくりは、環境問題の中で種の多様性の維持にかかわる物であり、地域の生態系の一部として、地域社会に対して企業がかわっていく手法の一つとしての可能性が期待される（重松 2002）。

ビオトープ整備の七原則

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。また、決

してこのようなことはあってはならないのである。

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「整備の七原則」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て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

群馬県邑楽郡明和町、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化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化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。

男井戸川調整池（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化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）。

土壌シードバンク

種子は、移動分散に適した形態をもっているだけでなく、芽生えの成長に不適な時期を発芽することなくやり過ごすための生理的特性（休眠発芽特性）をもち、空間的分散のみならず時間的分散にも長けている。生理的に休眠する特性を持つ種子は、環境条件に応じて積極的に発芽を抑制しているともいえる。土壌中には、休眠解除のための環境シグナルあるいは発芽に適した条件が与えられないために発芽せず、休眠（発芽に適した条件が与えられていても生理的に発芽を抑制する状態）あるいは休止（発芽に適した条件が与えられないために発芽しない状態）の状態にある種子が多く含まれている。そのような生存種子の集合が土壌シードバンクである。

それぞれの植物がつくる土壌シードバンクは、地上の植物体からの種子分散による種子の参入により大きくなり、生物的・非生物的な原因での死亡、あるいは発芽によって縮小する。そのダイナミクス、とくにその存続性は、種子の休眠発芽特性と環境条件によって

制御されている。土壌シードバンクは、とりこまれた種子が一年以内に発芽（または死亡）するか、それ以上の期間にわたって発芽を延期して存続するかにより、季節的シードバンク及び永続的シードバンクの二つのタイプに分類される。永続的シードバンクの形成には、ギャップ検出機構など、特別の環境シグナルが与えられないと解除されない生理的休眠が関与していることが多く、先駆植物や雑草などの攪乱依存種や水辺を生育場所とする植物の多くがこのタイプのシードバンクを形成することが知られている（荒木ら 2003）。

本研究の目的

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（アドバンテスト・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）の植物種多様性は、一定の定常状態に達している。しかし、外来種数もある一定の状態、駆除を行っているため量的には少ないが、局所的に繁茂している。特にヒメモロコシ、メリケンカルカヤ、イヌムギといったイネ科の外来種があまり抑制できていない。

そこで本研究では、これらの外来種がビオトープ内のどのような立地に侵入しているか、また外来種の侵入によって、在来種がどのような影響を受けているかを明らかにすること、そして外来植物を抑制あるいは駆除しつつ、在来植物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、2001年4月に竣工したアドバンテスト・ビオトープ（群馬県邑楽郡明和町）、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、これらの外来種の生態学的特性を明らかにするため、発芽実験および生長解析を行った。これらの結果を踏まえて、今後の各ビオトープにおける、外来種の抑制手法を考案する。

調査地概要

本研究で調査地とした大型ビオトープは3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化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。

アドバンテスト・ビオトープ

群馬県邑楽郡明和町、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月に竣工した大型ビオトープである（図2、写真1、2）。

本ビオトープは「多様な生き物の生育空間の創出とネットワーク」、「失われつつある昔ながらの風景の再現」、「従業員の安らぎの場の創出」を目標として造成された。「多様な生き物の生育空間の創出とネットワーク」とは、地域の多様な生物種が生息できるよう、生態学的な知見に基づいた生育空間を創出し、R&D センター北側に谷田川をはじめとする、周辺環境との連続性とネットワークを形成しようというものである。「失われつつある昔ながらの風景の再現」とは、ひと昔前には関東平野北部のどこにでも広がっていた広大な氾濫原、失われてしまった水辺、湿性環境、雑木林と空き地の草原などの風景の再生をめざし、周辺環境の保全を行うというものである。「従業員の安らぎの場の創出」とは、工場内で働く従業員の人々に対して、自然と触れ合える安らぎの場を創出するものである。

このように、本ビオトープは単純に緑地を創出しようというのではなく、本来の定義に沿ったビオトープの創出を目指している（関 2016）。

本ビオトープの設計にあたっては、関東平野の昔ながらの田園風景の復元を目指して、高低差3m程度の微地形と、大きく分けて水辺、樹林、草地からなる多様な環境が配置されている。これにより、エコトーンと呼ばれる性質の異なった2つの環境が接する推移帯が形成され、より自然に近い環境を創出し、多様な生物種が生息できる空間が確保されている。また、ビオトープ内には、ビオトープ装置（石積ビオトープ：2地点、伐採木ビオトープ：4地点、伐採竹ビオトープ：3地点、砂礫ビオトープ：1地点）が配置されており、多様な小動物種の生育を可能としている。

この15年間外来植物を継続的に駆除したことによって、のべ100種を超える在来植物が出現し定着しつつある。群馬大学社会情報学部環境科学研究室、清水建設の共同研究結果を基にして、アドバンテストとアドバンテスト・グリーン社が管理を行っている。

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。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（図3、写真3、4）。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西側には鑄川が流れている（石田 2015）。

2015年の調査で在来植物107種、うち6種の絶滅危惧種の生育が確認されたので、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（関 2016）。

伊勢崎市男井戸川調整池

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4、写真5）。

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（天野沼）から2000年代中頃に移植されたアサザをはじめ、オモダカ、カワヂシャ、シャクジモの計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（石田 2015）。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。

2012年の植物相調査により、在来種58種、外来種39種の計97種が確認され、準絶滅危惧種であるカワヂシャと、準絶滅危惧種のみゾコウジュ、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、これらの植物のなかには、水田・湿地、畑地雑草が多数出現しており、これは当地が水田として利用されていた時期に形成された永続的土壌シードバンクから発芽したものと考えられる。

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 5-7) に、調査の実施日程を (表 1) に示す。

材料植物

3 つの調査対象ビオトープに侵入し繁茂している以下の外来植物を、モデル植物として用いた。

イヌムギ (イネ科、多年草、*Bromus unioloides*)

明治初年に牧草としての導入が目的で渡来し、今は広く路傍あるいは原野に帰化した米大陸原産のイネ科の多年草。移入種 (外来種) リストに掲載されている (環境省)。

カモガヤ (イネ科、多年草、*Dactylis glomerata*)

牧草としてアメリカから渡来したもので今は雑草化しているイネ科の多年草。牧草や緑化植物として全国で広く用いられているが、初夏に、大量の花粉を飛ばす元凶のひとつである (鷲谷 1996)。自然性の高い環境や希少種の生育環境に侵入し、問題になっているため、要注意外来生物に指定されている (環境省 2015)。

メリケンカルカヤ (イネ科、一年草、*Andropogon virginicus*)

北アメリカから渡来し、関東から西の本州、四国や九州の都会の付近に普通にみられるイネ科の一年草。各地で近年になっても増加がみられ、在来種や農作物との競合・駆逐のおそれがあるため、要注意外来生物に指定されている (環境省 2015)。

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、雑草として各地にみられるタデ科の多年草。日本には 1891 年に東京で定着が報じられ、現在では全国の道ばたや荒れ地に普通にみられる (清水ら 2001)。移入種 (外来種) リストに掲載されている (環境省)。

ナガミヒナゲシ（ケシ科、一年草、*Papaver dubium*）

ヨーロッパ原産、野原や荒地、川原などに生育するケシ科の一年草で、4月から5月にかけて橙紅色の花を咲かせる。国内では、1960年に確認されて以来、全国に広く分布する（国立環境研究所）。

種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験

2008年6月19日にアドバンテスト・ビオトープで採取しその後4°Cで冷蔵保存されているイヌムギ、カモガヤおよびナガバギシ種子、2016年2月23日に群馬大学荒牧キャンパス内で採取したメリケンカルカヤ種子、および2015年5月25日にチノー・ビオトープで採取しその後-80°Cで冷凍保存されているナガミヒナゲシ種子の計5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。

イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシの3種については、2008年に採取した後8年間冷蔵保存されていた種子を用いることで、長期の冷蔵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°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°Cの5段階とし、最低60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。

メリケンカルカヤおよびナガミヒナゲシの2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°C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メリケンカルカヤおよびナガミヒナゲシの種子3シャーレを4°C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、1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

メリケンカルカヤ、イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシの4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。いずれの材料植物も、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。

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寡および見かけのサイズが大きい順に並べ、これを順番に橙区分して、区分ごとにサイズ分布と個体数がおおむね同等になるようにした。このうち1区分を初期サンプルとして採取し、残りの区分をそれぞれの処理区に供した。

サンプリングした苗は個体ごとに根・茎・葉に分けて紙袋に入れ、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グレイでスキャンした後、ImageJ1.41o (NIH)を用いてドット数を計測した。今回は148 cm²あたり2063162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(サイズはおおよそ500×200×250cm)を設置し、換気調節を行うことによって、外気温と比べて平均気温が約2.4°C上昇するように調節した区(+2.4°C区)および+0°C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1ヶ月栽培した。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。

各材料植物ごと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。

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

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)

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

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)

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

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。

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

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

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

群馬大学荒牧キャンパスの気温測定

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

統計解析

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

結果および考察

植物相調査

アドバンテスト・ビオトープ

アドバンテスト・ビオトープでは、2016年度（4-10月）の計5回の調査により在来種82種類、外来種34種類の計116種の生育と開花が確認された（表4）。これまでの調査では、2009年度には在来種86種、外来種33種の計119種（鈴木 2010）、2010年度は在来種66種、外来種32種の計98種（青木 2011）、2011年度には在来種68種、外来種27種の計94種（松田 2012）、2012年度には在来種49種、外来種23種の計82種（浦野 2013）、2013年度には在来種81種、外来種38種の計119種（春原 2014）、2014年度には在来種67種、外来種30種の計97種（石田 2015）、昨年（2015年度）には在来種107種、外来種33種の計140種（関 2016）の生育と開花が確認されている。確認種数は、外来種はこの数年間ほぼ定常状態にあると言える。在来種数は昨年の記録からは減少が見られるものの、2006年度からの在来種数は60種前後〜100種前後を推移している（図8）ことを踏まえると、年によって確認できなかった種もあるために全成育種数を毎年確認できている訳ではないが、新規確認種を含めて生育している在来植物数は、引き続き動的平衡状態にあるものと考えられる。

2016年度の調査における帰化率（出現植物の総数に占める外来種の割合）は約29.3%であった。2015年度、2014年度、2013年度の調査ではそれぞれ約23.6%、約30.9%、約31.9%であった（関 2016；石田 2015；春原 2014）。これまでの調査では約18.6%（2006年）〜約44.1%（2002年）であったことから、依然平衡状態が続いているといえる。外来種には、地下茎や種子により旺盛に繁殖するために完全な駆除が難しい種が存在する。そのうち、カモガヤ、セイタカアワダチソウ、ヒメモロコシは2012年の調査から継続して確認されている。2014年に確認され、2015年には確認されなかったにも関わらず、本年度確認できた外来種は4種で、このうちオニウシノケグサ、ネズミムギは国の要注外来生物に指定されているため注意が必要である。こうした外来種は旺盛な繁殖力をもつため完全な駆除は困難だが、引き抜きまたは刈り取りによって勢力を抑制していくことは可能である。今後も継続して勢力抑制を図っていく必要がある。

過去3年間確認されず、本年確認された種は19種であり、うち4種は外来種だった。新たに確認された種数を見ると帰化率は低く、確認された外来種はいずれも要注外来生物等の指定を受ける種ではなかった。

館林市の畑地、休耕田や湿地で確認されている植物や里山植物の生育が確認されていることから周囲の環境に恵まれており、地域間での生物種の移動・流入が期待できる。しかし、同時に繁殖力の強い外来種の侵入しやすい環境であるとも言えるため、今後も注意し

て管理を行っていく必要がある。

チノー・ビオトープ

チノー・ビオトープでは、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（表5）。2012年の調査では在来種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種が確認され（石田 2015）2015年の調査では在来種107種、外来種42種の生育が確認されている（関 2016）。2012年以降、出現種数に大きな変化はないと言える（図9）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。

2016年度のチノー・ビオトープの帰化率は約32.6%であり、2015年度の約28.2%よりも高くなった（関 2016）。また、2011年で17種（松田 2012）、2012年で10種（都丸 2013）と園芸種の生育が目についた本ビオトープであったが、2014年には5種、2015年には6種となり（石田 2015；関 2016）、本年度確認されたのは4種であった。2012年以前と比べると園芸種数は減っており、引き抜き除去継続の効果が出ているといえる。2013年から2015年に掛けての三年間で確認できなかった植物のうち、今年度確認できた外来種数は24種類中7種類となっており、なお継続して確認された園芸種はムラサキカタバミ、ナガミヒナゲシ、ユウゲショウ、の3種であるが、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引き続き引き抜き管理を要する。またガマは在来種であるが、栄養繁殖によって繁茂する速度が速いので、適宜引き抜いて抑制する必要がある。また、同様に今年度新たに確認できたアズマネザサも、在来種であるものの、成長が早く林床を覆い尽くし草原の生物種多様性を低下させてしまうため、定期的な刈払いを行って抑制する必要がある。

2014年の調査で確認された植物のうち、2015年の調査では確認できなかったが、本年度の調査で再び確認された外来種は7種類であった。そのうちのオオカワヂシャとナガバギシギシはチノー・ビオトープ内で生育が確認されているカワヂシャ（県・準絶滅危惧）およびコギシギシ（国・絶滅危惧Ⅱ類、県・準絶滅危惧）の近縁種であり、生活系の競合から生息域が脅かされるおそれがあるため、引き抜きや刈り取りによる侵入抑制を行っていく必要がある。

以上の結果から、チノー・ビオトープの植物生態系は一定の定常状態にあると言えるが、貴重な在来種が同敷地内に生息する外来種によって駆逐される危険もあるため、今後もモニタリングを継続しつつ適宜引き抜きや刈払を継続していく必要があると言える。

男井戸川調整池

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、うち36種は2013年の調査から引き続き確認ができた(表6)。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種であった(図10)ことから、植物の多様性が着実に増加しているといえる。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。

2012年以来毎年生育が確認されていた絶滅危惧Ⅱ類のコギシギシが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う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シギシを、2015年4月に本調整池の土手に移植した。その後5月の調査において開花・結実している様子が確認された。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)、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特定外来生物のオオカワヂシャの生育が確認され、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。住宅川の平地では昨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水の流れが穏やかな地点で定着していることが確認された。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、2013年から引き続き確認された外来種は14種で、そのうちにはオランダガラシ、キシユウスズメノヒエ、アメリカセンダングサ、ハルジオンの4種の要注意外来生物を含む。加えて、県内危険外来種であるナガミヒナゲシも引き続き確認されている。今年新たに生育が確認された植物は20種であり、うち外来種は6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かねない。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。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言いがたい状況にある。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。

種子発芽の冷湿処理・培養温度依存性実験

イヌムギ（イネ科越年生草本、南米原産、*Bromus catharticus*）

2008年にアドバンテスト・ビオトープで採取し、以後冷蔵保存されていた種子を用いての実験である。8年間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、最終発芽率は全温度帯において82.7%～92.7%の範囲内と高くなった（表7、図11）。本研究室におけるイヌムギの発芽実験は、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が過去に二度実施されたが、その結果は、採取から2年後で86.7%～98.0%（河毛2011）、採取から3年後で84.0～100.0（遠山2012）と、若干の最終発芽率の低下は見られるものの、非常に高い最終発芽率を維持することが可能であるということが分かった。このことから、イヌムギ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あり、また幅広い温度環境下で発芽可能な植物であると言える。

発芽速度については、高温区ほど発芽速度が速い傾向が見られる。この傾向は、過去の2例の実験と比較して本研究で顕著であり、長期の冷蔵保存による低温帯での発芽スピードが鈍化したと考えられる。

カモガヤ（イネ科多年生草本、要注意外来生物、*Dactylis glomerata*）

2008年にアドバンテスト・ビオトープで採取し、以後冷蔵保存されていた種子を用いての実験である。8年間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、最終発芽率は全温度帯において72.7%～82.0%の範囲内と高くなった（表7、図12）。過去の発芽実験においては、河毛（2011）の本種の種子に冷湿処理を施した実験では最終発芽率は84.0%～100.0%と非常に高く、冷湿処理を施さなかった遠山（2012）の実験においても59.3%～80.7%という結果になっている。以上の結果から、本種の種子は冷湿処理を施さなくても高い発芽率となるが、冷湿処理によって発芽率がさらに高まると考えられる。すなわち本種は野外においては種子散布直後から発芽可能であり、冬を経験することではほとんどの種子が発芽すると考えられる。また長期間の冷蔵保存でもほとんど劣化しない性質を有することが明らかとなった。

メリケンカルカヤ（イネ科一年生草本、要注意外来生物、*Andropogon virginicus*）

冷湿処理を施した本種の種子の最終発芽率は 30/15°C で 25.3%、25/13°C で 23.3%、22/10°C で 9.3%、17/8°C で 2.0%、10/6°C で 0.0%、冷湿処理を施さず 25/13°C で培養した場合は 18.7% となった（表 7、図 14、15）。高い温度帯であるほど最終発芽率は高くなるが、いずれの温度区においても発芽は実験開始から数えて 10～15 日前後に集中している。また、冷湿処理によって最終発芽率は有意に高くなった。最終発芽率は最大でも 25.3% と低い数値に留まっているが、本種は一度に種子を大量に生産するため繁殖力は強く、今後もビオトープ内で繁茂し、また分布域を急速に拡大する可能性がある。

ナガミヒナゲシ（ケシ科越年生草本、県内危険外来種、*Papaver dubium*）

冷湿処理を施した本種の種子の最終発芽率はいずれの温度区でも極めて低く、最大で 0.7% という結果となり、冷湿処理がもたらす影響についても有意な差は見られなかった（表 7、図 16、17）。未熟な種子を実験に用いた、あるいは実験の過程で種子に傷がついたなどの可能性が考えられる。

ナガバギシギシ（タデ科多年生草本、欧州原産外来植物、*Rumex crispus*）

2008 年にアドバンテスト・ビオトープで採取し、以後冷蔵保存されていた種子を用いての実験である。8 年間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、最終発芽率は全温度帯において 96.0% 以上と非常に高くなった（表 7、図 18）。過去の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（柴宮 2009）と比較すると、17/8°C 区および 10/8°C 区において発芽開始までの培養日数が長くなっていることから若干の劣化が見られるものの、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言える。

異なる光条件下で栽培した植物の生長解析

（図 20）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。7 月から 10 月までの栽培実験期間中の気温は、おおむね 15°C～35°C の範囲であった

イヌムギ

イヌムギ実生の個体乾燥重量は、初期サンプリング時に 0.030g であったものが、28 日後の最終サンプリング時には 0.029g（3% 区）～0.080g（100% 区）となった。（表 8）

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 0.024、13% 区で 0.026、100% 区で 0.034（表 9、図 21）と、相対光量子密度が高い区ほど高くな

り、3%区では全く生長しなかった。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%区で最も高い値 (1.916) となり、相対光量子密度が低いほど値は低くなり、3%区ではほぼゼロとなった。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 (0.020) となり、相対光量子密度が低いほど、値は高くなった。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 100%区で最小 (0.031) となり、相対光量子密度が低いほど、値は高くなった。器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で平均 55.0%、100%区で平均 35.9%と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。茎の重量比である SWR は、3%区で平均 8.2%、100%で平均 3.1%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%区で平均 33.8%、100%区で平均 36.3%と相対光量子密度が低い区ほど低くなった。

これらの LAR、SLA、LWR 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、葉への資源投資を相対的に増やし、また葉の厚さを薄くして同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、暗い環境下では LAR の増加が完全に NAR の低下を補えずに、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

本種は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いない (図 3)。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。

カモガヤ

カモガヤ実生の個体乾燥重量は、初期サンプリング時に 0.087g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.080g (3%区) ~0.202 g (100%区) となった。(表 8)

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-0.001、9%区で 0.014、13%区で 0.024、100%区で 0.043 (表 9、図 22) と、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区では全く生長しなかった。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%区で最も高い値 (2.714) となり、相対光量子密度が低いほど値は低くなり、3%区ではほぼゼロとなった。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 (0.018) となり、相対光量子密度が低いほど、値は高くなった。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 100%区で最小 (0.030) となり、相対光量子密度が低いほど、値は高くなった。器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で平均 49.9%、100%区で平均 44.7%と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。茎の重量比である SWR は、3%区で平均 6.3%、100%で平均 3.0%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%区で平均 29.5%、100%区で平均 39.1%と相対光量子密度が低い区ほど低くなった。

これらの LAR、SLA、LWR 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、葉への資源投資を相対的に増やし、また葉の厚さを薄くして同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、暗い環境下では LAR の増加が完全に NAR の低下を補えずに、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

本種は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いない (図 3)。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。

メリケンカルカヤ

メリケンカルカヤ実生の個体乾燥重量は、初期サンプリング時に 0.055g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.080g (3%区) ~0.224 g (100%区) となった (表 8)。

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-0.008、9%区で 0.023、13%区で 0.025、100%区で 0.065 (表 9、図 23) と、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、3%区では全く生長しなかった。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%区で最も高い値 (3.917) となり、相対光量子密度が低いほど値は低くなり、3%区ではほぼゼロとなった。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 (0.019) となり、相対光量子密度が低いほど、値は高くなった。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 100%区で最小 (0.042) となり、相対光量子密度が低いほど、値は高くなった。器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で平均 45.3%、100%区で平均 31.6%と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。茎の重量比である SWR は、3%区で平均 36.6%、100%で平均 28.5%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%区で平均 18.1%、100%区で平均 39.9%と相対光量子密度が低い区ほど低くなった。

これらの LAR、SLA、LWR 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、葉への資源投資を相対的に増やし、また葉の厚さを薄くして同じ資源量でもより広い面積の葉を生産することで、光合成生産量を確保しようという、多くの植物種に現れる特性と同様のものである。しかし、暗い環境下では LAR の増加が完全に NAR の低下を補えずに、結果として RGR の低下を引き起こすと考えられる。

本種は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いない (図 3)。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。

ナガバギシギシ

ナガバギシギシ実生の個体乾燥重量は、初期サンプリング時に 0.076g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.056g (3%区) ~0.224 g (100%区) となった。(表 8)

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 -0.013、9%区で 0.039、13%区で 0.041、100%区で 0.052 (表 9、図 24)、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。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%区で最も高い値 (3.536)、相対光量子密度が低いほど値は低くなり、3%区ではほぼゼロとなった。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}) は処理区間で有意な差はなかった。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}) は処理区間で有意な差はなかった。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%区で平均 31.8%、100%で平均 14.7%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%区で平均 35.9%、100%区で平均 62.4%と相対光量子密度が低い区ほど低くなった。

本種は主に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も生育が見られた。これは、本種はある程度暗い環境下であっても生長が低下せず、生育が可能である性質によるものと考えられる。

本種は暗い環境下で LAR、SLA、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、それを補完することができないことを示しており、本種は明るいところでよく生長し、極端に暗い環境下では著しく生長が悪くなることの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 1 に示す。植物の栽培時の気温は、おおむね 25°C～40°C の範囲内にあり、平均で約 2.4°C、外気温よりも高かった。

生長解析結果は、(表9) および、(図25～28) に示す。

イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシの相対生長速度 (RGR) は、コントロール区に比べて 2.4°C 上昇区で有意に高くなった ($p < 0.01$)。

イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシの純同化率 (NAR) は処理区間で有意な差は認められず、葉面積比 (LAR) がコントロール区に比べて 2.4°C 上昇区で有意に高くなった ($p < 0.01$) ことから、葉の増加が RGR 増加の主要因であると考えられる。

メリケンカルカヤは、RGR、LAR、NAR いずれもコントロール区と 2.4°C 上昇区の間で有意な差はなかった。

これらの結果の詳細な考察は、須永 (2017) に委ねる。

結 論

本研究により、大型ビオトープは適切に育成管理することで外来種の侵入を抑制し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。在来の生物が自然に移入・定着し、多様性の高い生態系の構築を促すためには、在来種と競合・駆逐する可能性のある外来種を適切に駆除し抑制を図ることが必須である。その際には、有効な駆除手段を講じるためにも、駆除の対象となる外来種の生態学的特性、すなわち結実、発芽、成長特性を解明し、どのような手法が外来種を駆除抑制し多様な生態系の構築・保全に有効であるのかを検討する必要がある。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 2 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。

アドバンテスト・ビオトープでは在来種 82 種類、外来種 34 種類の計 116 種の生育が確認された。直近 3 年間は総種数 90～140 種類、うち外来種は 30～40 種類程度を確認しており、アドバンテスト・ビオトープの生態系は依然として動的平衡状態を保っていると言える。確認できた種の中には、フジバカマやミゾコウジュといった湿地生絶滅危惧種や里山植物が多数含まれている一方、カモガヤやセイタカアワダチソウといった要注意外来生物も数多い。ビオトープとしては非常に規模が大きいため、維持管理にも大きな手間と労力を必要とする。

チノー・ビオトープでは在来種 92 種、外来種 44 種の計 136 種が確認された。本ビオトープでは 2011 年度から継続して 150 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絶滅危惧 II 類のコギシギシ、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。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。特に群馬県危険外来種のナガミヒナゲシについては注視しなければならない。

男井戸川調整池では在来種 69 種、外来種 34 種の計 103 種が確認され、うち 36 種は 2013 年の調査から引き続き確認ができた。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進んでいる。また、2012 年度より継続し絶滅危惧 II 類のコギシギシと準絶滅危惧種のカワヂシャを確認した。加えて、

2012 年度を最後に確認できていなかった準絶滅危惧種のミ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。

一方、男井戸川調整池内の利活用ゾーン①（図 4）の周辺など、一部適切な外来種の駆除抑制が行われているとは言えない場所もあるため、改めて管理について適切な手法を提案する必要があると思われる。

長期の冷蔵保存による種子の劣化確認実験により、イヌムギやカモガヤといった代表的な外来種は温度依存性も低く種子の劣化も起こりにくいことが明らかになった。ビオトープの造成を行う際には遠隔地から土を持ってくることがあるが、その土中で土壌シードバンクを形成し、造成されたビオトープで一斉に発芽する場合がある。そのため、ビオトープの造成や拡張を行う際には、なるべく外来種の少ない土壌を選び移植することで、ビオトープのその後の生態系の構築・保存に良い影響を与えることができる。チノー・ビオトープでは、造成の際に外来種の少ない土壌を選択的に集め造成に用いたため、最初の維持管理の手間が比較的少なく済んだという経緯がある。2016 年に新たにビオトープが拡張されたが、その際に持ち込まれた土壌ある程度選択的に集めたとのことだったので、出現する外来種数は抑えられることが予想される。いずれにせよ、新たにその場所に在来種が移入・定着し生態系が安定するまで、継続的なモニタリングおよび駆除抑制を行っていく必要があるだろう。

イヌムギ、カモガヤ、メリケンカルカヤ、ナガバギシギシの 4 種を異なる光環境下（相対光量子密度 3%、9%、13%、100%）で栽培し成長解析を行ったところ、4 種とも光環境が良好であればよく成長する一方、日陰では光合成活性が低下し、著しく成長が悪くなることが明らかになった。これらの外来種は草丈の低い草原や攪乱を受けたばかりの土地で生育しやすく、そのため造成後間もないビオトープなどに進入してくる可能性が高いと考えられる。

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け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指して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えば、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。また今後 100 年以内に、ある程度（地球平均で 1〜3℃）の温暖化は避けがたいという悲惨な予測もなされている。したがって、防止対策に加えて、実際に温暖化した場合にその悪影響を緩和するための対策を考える必要があり、そのためには

野生植物種それぞれが温暖化から受ける諸影響とそのメカニズムを研究し、知見を増やしていくことが必要不可欠である。さらに、今後は植生を構成している種間の相互関係が温暖化によってどのように変化するのかを解明することで、植物種多様性の低下を防止し生態系の崩壊を食い止め、温暖化対策を真に実効的なものにすることができると考えられる。

謝 辞

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

本研究を進めるに当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・ご助言頂きました。

アドバンテスト・ビオトープの調査におきましては、株式会社アドバンテスト R&D 人事総務部長代理・藤田敏氏にご協力頂き、また株式会社アドバンテスト・グリーン・代表取締役社長・荒木武氏、加賀谷孝一氏、砂川祐司氏、早野圭一氏、曾田まゆみ氏にご指導頂きました。なお 2016 年 8 月 16 日付アドバンテスト社社印付文書による藤田敏氏からの通知によると、本社の経営難により本年度以降の調査経費が支払えなくなったとのことで、本研究室によるモニタリング調査は 2016 年をもって終了しますが、ビオトープが末永く繁栄することを祈念しております。

チノー・ビオトープの調査におきましては、株式会社チノー機器事業環境開発課・高橋哲夫氏、村田匡一氏、小林考旨氏にご協力頂きました。

男井戸川調整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・ご協力頂きました。

また、同時期に卒業論文に取り組んだ佐藤颯哉氏、篠原大勇氏、須永勇樹氏、山里純氏をはじめとする、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、厚くお礼申し上げます。

引用文献・引用 WEB ページ

- 秋山恵二郎 (2000) ビオトープ環境の創造. 信山社サイテック. 7 116.
- 足助直紀 (2016) 地球温暖化が植物の発芽・成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.
- 荒木佐智子・安島美穂・鷲谷いづみ (2003). 土壌シードバンクを自然再生事業に活かす. 自然再生事業 生物多様性の回復をめざして.鷲谷いづみ、草刈秀紀 編. 築地書館. 187-190.
- 池田清彦 (2006) 外来生物事典. 東京書籍. 380-389.
- 石川真一・清水義彦・大森威宏・増田和明・柴宮朋和 (2009) 外来植物の脅威. 上毛新聞社. 1-2 4-6 7-8 9-10 43-47 51-52 66-67.
- 石田新太 (2015) 大型ビオトープによる植物相の保全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.
- 今関六也・大谷吉雄・本郷次雄 (1988) 山溪カラー名鑑 日本のきのこ. 山と溪谷社. 563.
- 河毛直也 (2011) 発芽・初期生長過程における外来植物の定着能力の実験的評価. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 草刈秀紀 (2010) 知らなきヤバイ！生物多様性の基礎知識 いきものと人が暮らす生態系を守ろう. 日刊工業新聞社. 4.
- 佐藤永・島田正和・竹門康弘・仲岡雅裕・村岡裕由 (2012) 第 10 章 生態系の保全と地球環境. 生態学入門 第 2 版. 日本生態学会 編. 東京科学同人. 239.
- 重松敏則 (2002) 概論 ビオトープの目標と管理・活用. ビオトープの管理・活用—続 自然環境復元の技術—. 杉山恵一、重松敏則 編. 朝倉書店. 5.
- 清水矩宏・森田弘彦・廣田伸七 (2001). 日本帰化植物写真図鑑. 全国農村教育協会.
- 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.
- 春原悠樹 (2013) 大型ビオトープとその周辺にある里地の植物相の保全生態学的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 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.
- 恒藤克彦・河野容久・上原健・杉本嘉宏・平田耕一 (2011). <生物多様性>エコリーダーになろう. 東京商工会議所 編. 中央経済社. 17-21.
- 遠山里希 (2012) 地球温暖化が数種の外来草本植物とブナ科木本植物に及ぼす直接影響に関する実験研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.

- 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
-チノー・ビオトープを中心とした解析-. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 根本正之 (2014). 雑草社会がつくる日本らしい自然. 築地書館. 137-143.
- 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 12 14-15
82-83 88-89 91-105.
- 林弥栄 (2009) 増補改訂新版 山溪カラー名鑑 日本の野草. 山と溪谷社.
- 林弥栄 (1985) 山溪カラー名鑑 日本の樹木. 山と溪谷社.
- 原科幸彦・横田勇 (2000) 環境アセスメント基本用語事典. 環境アセスメント研究
会 編. オーム社. 100.
- 牧野富太郎 (2000). 新訂 牧野新日本植物図鑑. 北隆館.
- 村上興正・鷺谷いづみ (2002). 外来種ハンドブック. 地人書館. 3-5 39-41 282-283.
- 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 (2001) 生態系を蘇らせる. 日本放送出版協会. 31 130-131.
- 鷺谷いづみ、鬼頭秀一 (2007) 自然再生のための生物多様性モニタリング. 東京大学
出版会. 5 15.
- 外務省 生物多様性条約
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/bio.html>
- 環境省 外来生物法 <https://www.env.go.jp/nature/intro/1outline/basic.html>
- 環境省 生物多様性国家戦略 2012-2020
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/20763.pdf>
- 環境省 平成 19 年版 図で見る環境・循環型社会白書
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h19/index.html#index>
- 国立環境研究所 環境展望台 <http://tenbou.nies.go.jp/>
- 国立環境研究所 侵入生物データベース
<https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/basics/index.html>



写真 1. アドバンテスト・ビオトープの風景
（上）建物及び池。2016年10月31日撮影。
（下）池。2016年10月31日撮影。



写真 2. アドバンテスト・ビオトープの風景

(上) 林内。2016年5月27日撮影。

(下) 中庭。2016年10月31日撮影。



写真 3. チノー・ビオトープの風景

(上) 入口付近。2016年10月20日撮影。

(下) 林内。2016年5月24日撮影。



写真 4. チノー・ビオトープの風景

(上) ビオトープ内の 2016 年度に新たに拡充された区画の風景。2016 年 4 月 25 日撮影。

(下) 同上。2016 年 10 月 20 日撮影。



写真 5. 男井戸川調整池の風景

(上) 男井戸川周辺 (南側)。2016 年 9 月 16 日撮影。

(下) 男井戸川周辺 (北側)。2016 年 9 月 16 日撮影。



写真 6. ビオトープ内に生育する外来植物

(上) チノー・ビオトープに生育するイヌムギ。2016年4月25日撮影。

(下) アドバンテスト・ビオトープに生育するカモガヤ。2016年4月22日撮影。



写真 7. ビオトープに生育する外来植物

(上) アドバンテスト・ビオトープに生育するメリケンカルカヤ。2016年4月22日撮影。

(下) 男井戸川調整池に生育するナガミヒナゲシ。2016年4月20日撮影。



写真 8. ビオトープに自生する外来植物

チノー・ビオトープに生育するナガバギシギシ。2016年5月24日撮影。



写真 9. ビオトープに生育する希少植物

(上) アドバンテスト・ビオトープに生育するアサザ。2016年5月27日撮影。

(下) チノー・ビオトープに生育するコギシギシ。2016年4月25日撮影。



写真 10. ビオトープに生育する希少植物

(上) チノー・ビオトープに生育するフジバカマ。2016年9月16日撮影。

(下) 男井戸川調整池に生育するミゾコウジュ。2016年4月20日撮影。

表 1. 各調査地の調査日程一覧

調査地	調査日
アドバンテスト・ピオトープ(計5回)	2016年4月22日、5月27日、6月24日、9月28日、10月31日
チノー・ピオトープ(計5回)	2016年4月25日、5月24日、6月21日、9月16日、10月20日
男井戸川調整池(計3回)	2016年4月20日、5月24日、9月16日

表 2. 種子発芽の培養温度依存性実験スケジュール一覧

冷蔵処理なし

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
イネ科	イヌムギ	<i>Bromus unioloides</i>	多年草	2008年6月19日	アド・リネスト・ビオトープ	なし	2016年5月18日～2016年7月18日	62日間	10/6℃, 17/8℃, 22/10℃, 25/13℃, 30/15℃区間で栽培
イネ科	カモガヤ	<i>Dactylo glomerata</i>	多年草	2008年6月19日	アド・リネスト・ビオトープ		2016年5月18日～2016年7月18日		
イネ科	チカラシバ	<i>Pennisetum oligosperum</i>	多年草	2016年10月18日	群馬大学荒巻キャンパス		2016年10月24日～2016年12月24日		
イネ科	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i>	一年草	2016年2月23日	群馬大学荒巻キャンパス		2016年5月18日～2016年7月18日		
ケシ科	ナガミヒナゲシ	<i>Papaver dubium</i>	多年草	2015年5月25日	テノー・ビオトープ		2016年5月18日～2016年7月18日		
タデ科	ナガバギシギシ	<i>Rumex crispus</i>	多年草	2008年6月19日	アド・リネスト・ビオトープ		2016年5月18日～2016年7月18日		10/6℃, 17/8℃, 22/10℃, 25/13℃, 30/15℃区間で栽培

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
イネ科	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i>	一年草	2016年2月23日	群馬大学荒巻キャンパス	あり	2016年6月3日～2016年8月3日	62日間	10/6℃, 17/8℃, 22/10℃, 25/13℃, 30/15℃区間で栽培
ケシ科	ナガミヒナゲシ	<i>Papaver dubium</i>	多年草	2015年5月25日	テノー・ビオトープ		2016年7月1日～2016年8月30日	61日間	

表 3. 栽培実験スケジュール一覧

科名	和名	学名	生活型	採取日時	採取場所	植え替え日	栽培開始日	サンプリング日	備考
イネ科	イヌムギ	<i>Bromus unioloides</i>	多年草	2008年6月19日	アドバンテスト・ビオトープ	2016年6月2日	2016年6月9日	2016年7月7日	異なる4つの光条件下、1つの気温条件下で栽培
イネ科	カモガヤ	<i>Dactylis glomerata</i>	多年草	2008年6月19日	アドバンテスト・ビオトープ	2016年6月16日	2016年6月30日	2016年7月16日	
イネ科	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i>	一年草	2016年2月23日	群馬大学荒巻キャンパス	2016年8月12日	2016年8月30日	2016年9月20日	異なる4つの光条件下、1つの気温条件下で栽培
タデ科	ナガバギシギシ	<i>Rumex crispus</i>	多年草	2008年6月19日	アドバンテスト・ビオトープ	2016年6月14日	2016年6月23日	2016年7月14日	

表6 (続)．男井戸川調整池において開花・生育が確認された植物と生態的特性
 2016年4月20日から9月16日までにを行った調査で生育が確認できた植物種ごとのリスト。
 科名の前にある*は、その種が外来種であることを示す。

科名	属名	植物名(学名)	生活型	花期	生育時期	分布	確認日
* 科名	* 属名	<i>Ribes cereum</i>	多年生	4-12月	開花	静岡県沼津市	4月20日
		<i>Physalis peruviana</i>	一年生	7-12月	結実	北海道、東北、関東、中部	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Medicago sativa</i>	一年生	9-10月	開花、結実期、播種	本州、四国、九州、沖縄	4月20日
		<i>Cornifolia communis</i>	一年生	4-10月	開花、結実	日本全土	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Euphorbia japonica</i>	多年生	4-8月	開花、結実	本州、四国、九州、沖縄	4月20日、4月21日
		<i>Fuchsia arvensis</i>	多年生	2-11月	開花	日本全土	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Lycium chinense</i>	多年生	7-11月	結実、開花	アジア東部、東南部	4月14日
		<i>Solanum elaeagnifolium</i>	一年生	4-12月	結実	日本全土	4月20日、4月21日
* 科名	* 属名	<i>Conium maculatum</i>	多年生	4-11月	開花、結実	静岡県沼津市	4月20日
		<i>Pulsatilla nuttalliana</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Duchesnea eschscholae</i>	一年生	4-8月	結実	日本全土	4月20日
		<i>Anemone pulsatilla</i>	多年生	4-11月	開花、結実	日本全土	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Adonis vernalis</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州	4月20日
		<i>Primula obconica</i>	多年生	7-11月	結実、開花	北海道、東北、関東、中部	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Pulsatilla nuttalliana</i>	多年生	4-11月	開花	北海道、東北、関東、中部	4月20日
		<i>Geopelia sibirica</i>	一年生	4-11月	開花、結実	北海道、東北、関東、中部	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Sedum spectabile</i>	多年生	7-11月	結実	北海道、東北、関東、中部	4月20日
		<i>Urtica dioica</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州、沖縄	4月20日、4月21日
* 科名	* 属名	<i>Taraxacum officinale</i>	多年生	7-11月	結実	本州、四国、九州、沖縄	4月20日、4月21日
		<i>Urtica dioica</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州、沖縄	4月20日、4月21日
* 科名	* 属名	<i>Alnus glandulosa</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州	4月20日
		<i>Myrica asarifolia</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州	4月20日
* 科名	* 属名	<i>Populus euphratica</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州	4月20日
		<i>Populus euphratica</i>	多年生	4-11月	開花	本州、四国、九州	4月20日

表 7. 各材料植物の発芽実験における最終発芽率一覧

イヌムギ、カモガヤ、チカラシバ、ナガバギシギシの種子には冷湿処理を施さず、30/15℃、25/13℃、22/10℃、17/8℃、10/6℃（昼 14h、夜 10h）に設定した温度勾配型恒温器内で、62 日間（チカラシバのみ 63 日間）培養した。

メリケンカルカヤ、ナガミヒナゲシの種子には 2 ヶ月間の冷湿処理を施した後、30/15℃、25/13℃、22/10℃、17/8℃、10/6℃（昼 14h、夜 10h）に設定した温度勾配型恒温器内で、62 日間培養した。加えて、冷湿処理を施さないものも用意し、25/13℃（昼 14h、夜 10h）に設定した温度勾配型恒温器内で、メリケンカルカヤは 62 日間、ナガミヒナゲシは 61 日間培養した。

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
メリケンカルカヤ	30/15℃	25.3	9.9
	25/13℃	23.3	2.3
	22/10℃	9.3	3.1
	17/8℃	2.0	2.0
	10/6℃	0.0	0.0
	25/13℃(冷湿なし)	18.7	5.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
ナガミヒナゲシ	30/15℃	0.0	0.0
	25/13℃	0.7	1.2
	22/10℃	0.7	1.2
	17/8℃	0.7	1.2
	10/6℃	0.0	0.0
	25/13℃(冷湿なし)	0.0	0.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
イヌムギ	30/15℃	85.3	3.1
	25/13℃	82.7	6.4
	22/10℃	92.7	4.6
	17/8℃	86.7	6.1
	10/6℃	90.0	5.3

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
カモガヤ	30/15℃	80.7	6.4
	25/13℃	72.7	11.0
	22/10℃	77.3	9.0
	17/8℃	82.0	2.0
	10/6℃	74.0	2.0

植物種名	温度条件	最終発芽率(%)	標準偏差
チカラシバ	30/15℃	31.3	11.4
	25/13℃	10.7	1.2
	22/10℃	3.3	4.2
	17/8℃	0.0	0.0
	10/6℃	0.0	0.0

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℃	99.3	1.2
	25/13℃	96.7	3.1
	22/10℃	96.0	6.9
	17/8℃	99.3	1.2
	10/6℃	98.7	2.3

表 8. イヌムギ、カモガヤ、メリケンカルカヤ、ナガバギシギシの個体あたり乾燥重量一
覧

イヌムギ	個体乾燥重量 (g)						標準偏差					
	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区
2016年7月7日	0.030	0.029	0.081	0.065	0.080	0.097	0.006	0.011	0.019	0.022	0.023	0.024

カモガヤ	個体乾燥重量 (g)						標準偏差					
	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区
2016年7月21日	0.087	0.080	0.114	0.139	0.202	0.232	0.034	0.015	0.035	0.040	0.042	0.075

メリケンカルカヤ	個体乾燥重量 (g)						標準偏差					
	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区
2016年9月20日	0.055	0.048	0.090	0.105	0.224	0.208	0.016	0.020	0.032	0.043	0.098	0.085

ナガバギシギシ	個体乾燥重量 (g)						標準偏差					
	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区	初期サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2℃上昇区
2016年7月14日	0.076	0.056	0.170	0.179	0.224	0.240	0.020	0.033	0.035	0.054	0.044	0.048

表 9. イヌムギ、カモガヤ、メリケンカルカヤ、ナガバギシギシの生長解析の結果一覧

イヌムギ	平均				標準偏差			
	相対光量子密度	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)
3%	-0.003	0.034	-0.094	0.062	0.005	0.006	0.164	0.009
9%	0.024	0.027	0.887	0.057	0.005	0.003	0.195	0.006
13%	0.026	0.025	1.039	0.050	0.007	0.002	0.326	0.006
100%	0.034	0.020	1.893	0.031	0.003	0.002	0.309	0.003
2°C上昇区	0.041	0.022	1.916	0.039	0.003	0.002	0.206	0.005

カモガヤ	平均				標準偏差			
	相対光量子密度	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)
3%	-0.001	0.030	-0.038	0.063	0.012	0.003	0.416	0.007
9%	0.014	0.026	0.411	0.054	0.007	0.003	0.125	0.008
13%	0.024	0.027	0.869	0.053	0.007	0.004	0.232	0.008
100%	0.043	0.018	2.714	0.030	0.011	0.003	0.717	0.006
2°C上昇区	0.052	0.021	2.588	0.039	0.007	0.002	0.301	0.003

メリケンカルカヤ	平均				標準偏差			
	相対光量子密度	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)
3%	-0.008	0.030	-0.275	0.079	0.004	0.004	0.173	0.006
9%	0.023	0.028	0.805	0.062	0.006	0.002	0.242	0.004
13%	0.025	0.028	0.941	0.063	0.018	0.004	0.735	0.010
100%	0.065	0.019	3.917	0.042	0.010	0.002	0.889	0.003
2°C上昇区	0.061	0.020	3.342	0.043	0.009	0.002	0.590	0.003

ナガバギシギシ	平均				標準偏差			
	相対光量子密度	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)
3%	-0.013	0.030	-0.428	0.072	0.012	0.004	0.396	0.009
9%	0.039	0.031	1.358	0.066	0.004	0.003	0.243	0.005
13%	0.041	0.030	1.457	0.065	0.005	0.003	0.245	0.004
100%	0.052	0.022	3.536	0.029	0.004	0.002	0.412	0.004
2°C上昇区	0.055	0.025	2.721	0.043	0.006	0.003	0.355	0.003



図 2. アドバンテスト・ビオトープ見取り図



図 3. チノー・ビオトープ見取り図



図 4. 男井戸川調整池見取り図

2015年現在、地下水の浸出により利活用ゾーン1の全面及び利活用ゾーン2のおよそ半分が湿地化している。

新規レコード作成

写真



科名 キク科

種名 コセンダングサ

学名 *Bidens pilosa*

撮影年 2016 09.28

撮影場所 アドバンテスト

種別 要注意外来種

掲載 掲載する

備考

生育位置



図 5. アドバンテスト・ビオトープに生育する外来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。

写真



科名	イネ科
種名	イヌムギ
学名	<i>Bromus catharticus</i>
撮影年	2016 04.25
撮影場所	チノー
種別	外来種
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外来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。

写真



科名 タデ科
 種名 ナガバギシギシ
 学名 *Rumex crispus*

撮影年 2016 04.25

撮影場所 チノー

種別 外来種

掲載 掲載する

備考

生育位置



図 6 (続). チノー・ビオトープに生育する外来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。

写真



科名 ケシ科
 種名 ナガミヒナゲシ
 学名 Papaver dubium

生育位置

撮影年 2016 04.20
 撮影場所 男井戸川調整池
 種別 県内危険外来種
 掲載 掲載する
 備考



図 7. 男井戸川調整池に生育する外来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。

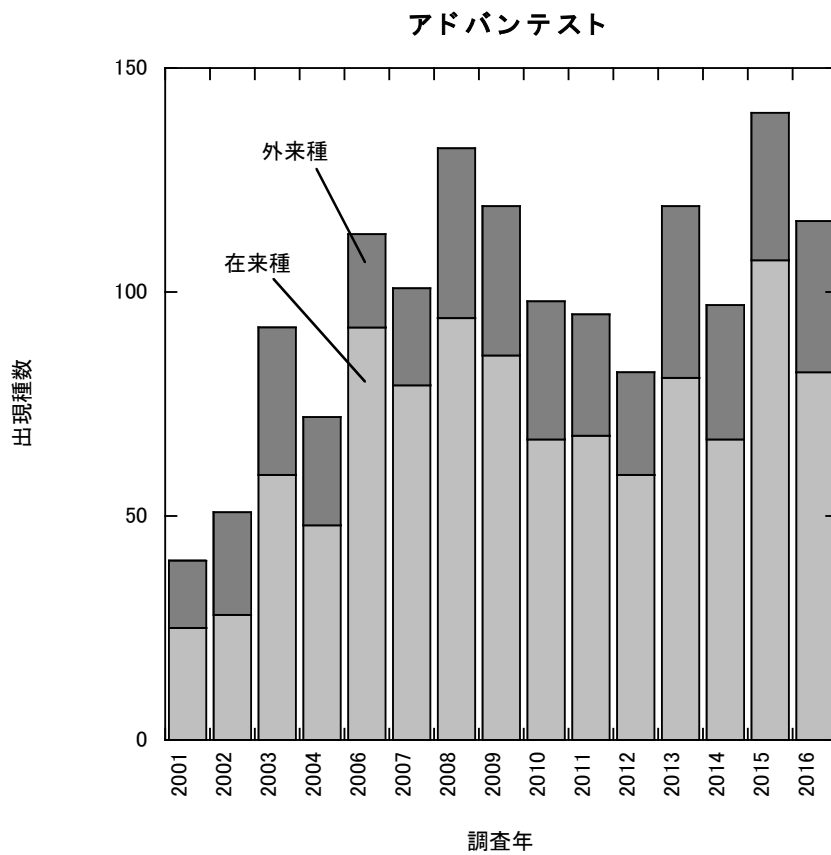


図 8. アドバンテスト・ビオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

2005 年度は調査していない。

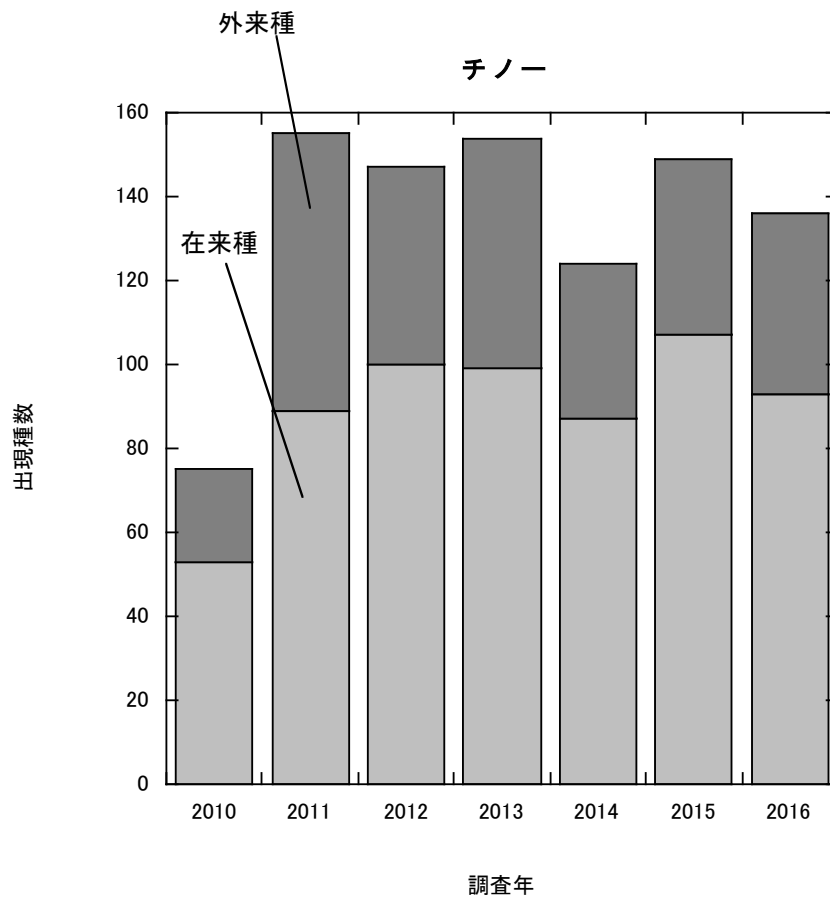


図 9. チノー・ビオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

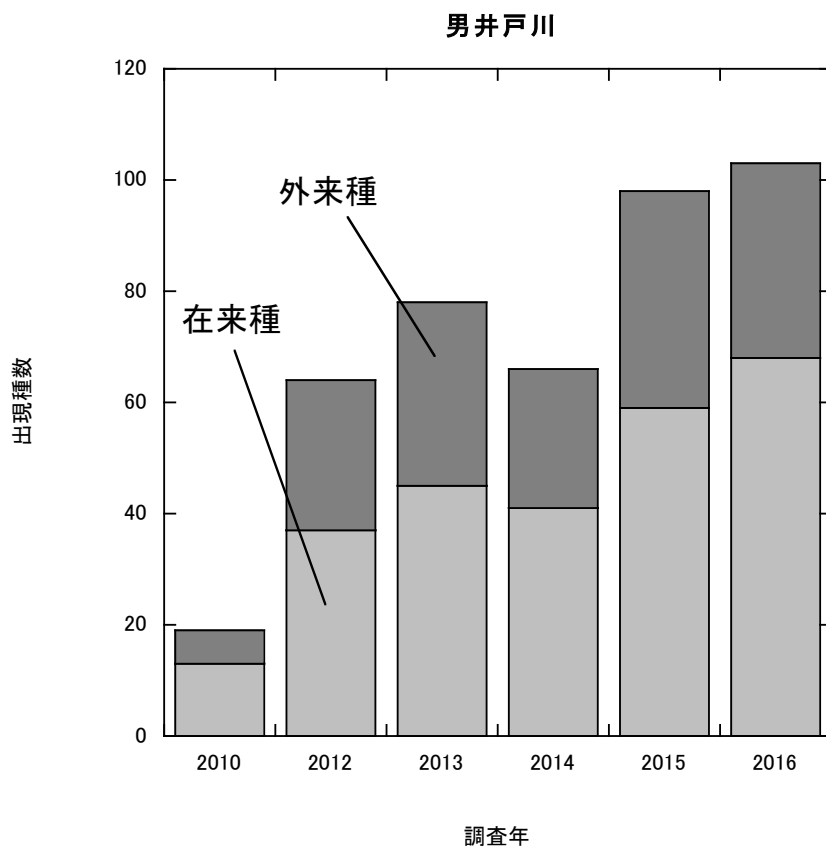


図 10. 男井戸川調整池において生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

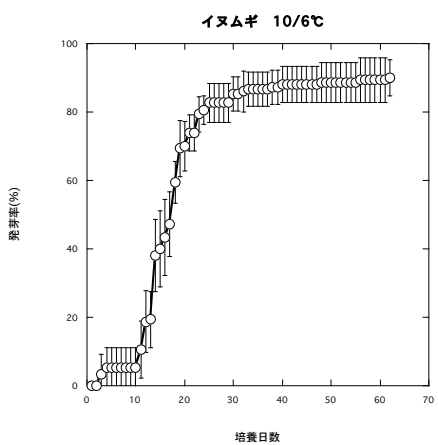
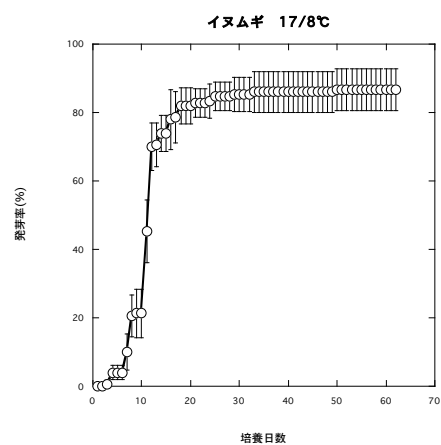
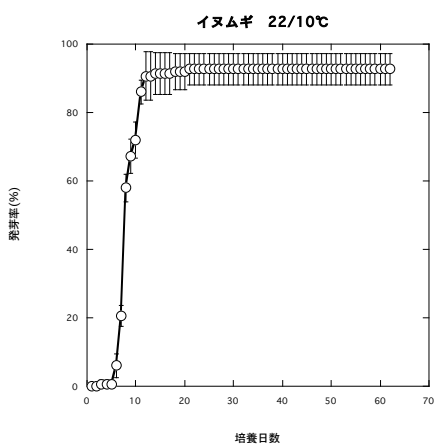
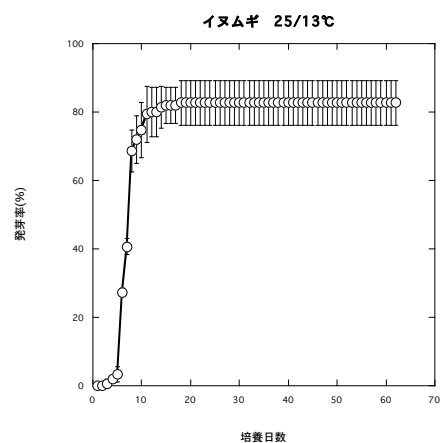
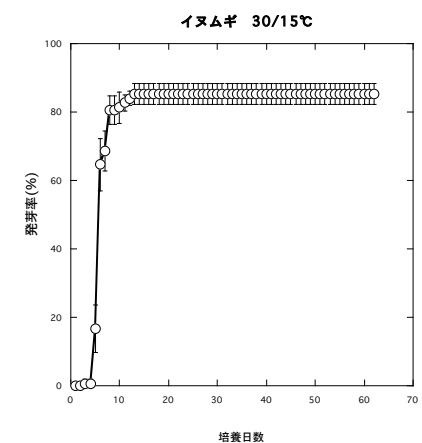


図 11. イヌムギの種子の発芽実験における発芽率の経時変化
 温度条件を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 62 日間培養した。
 縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。
 n=3。

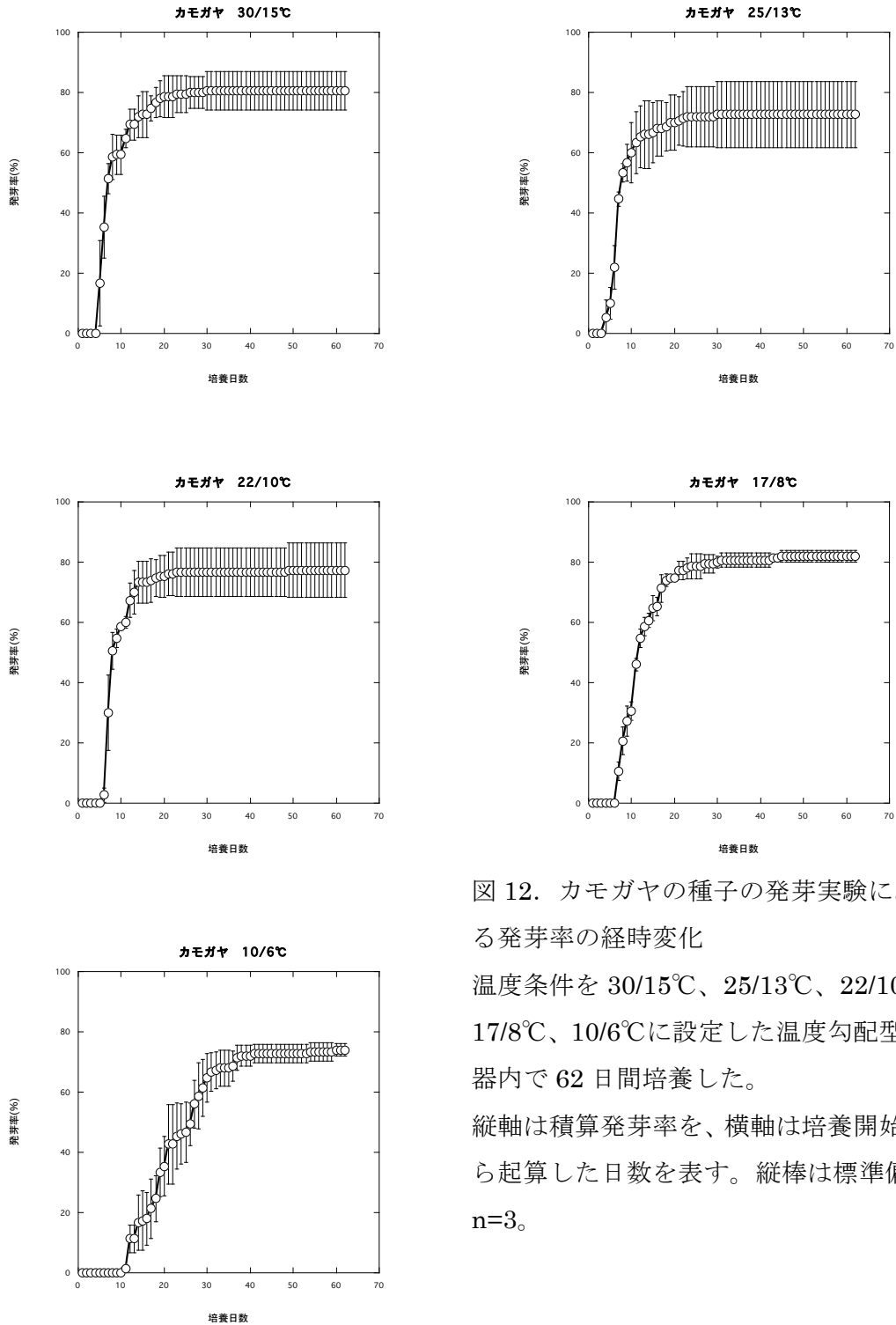


図 12. カモガヤの種子の発芽実験における発芽率の経時変化

温度条件を 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 62 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。

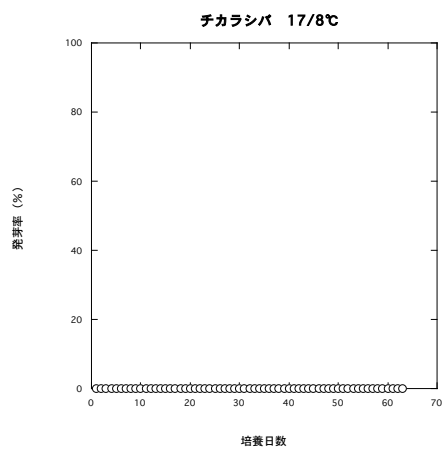
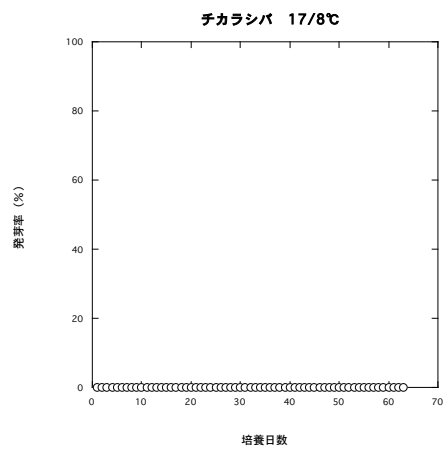
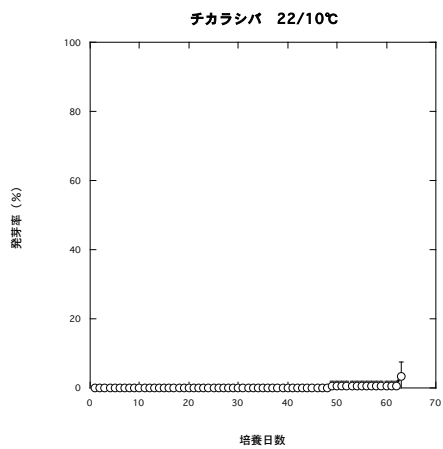
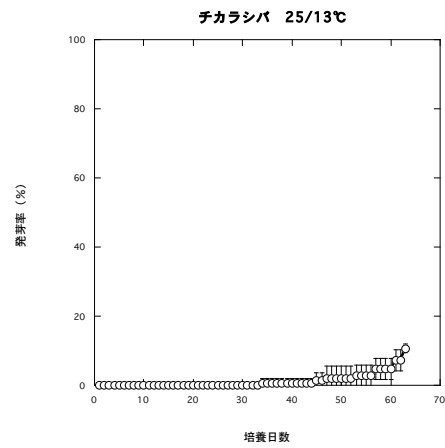
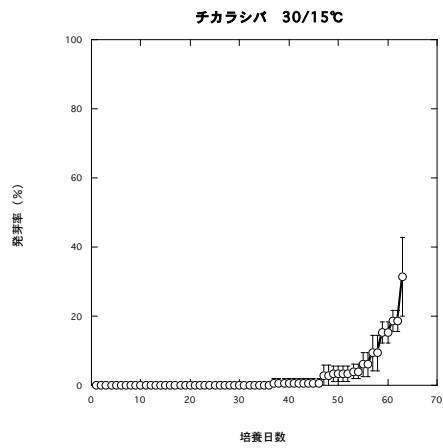


図 13. チカラシバの種子の発芽実験における発芽率の経時変化
 温度条件を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°C に設定した温度勾配型恒温器内で 63 日間培養した。
 縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。
 n=3。

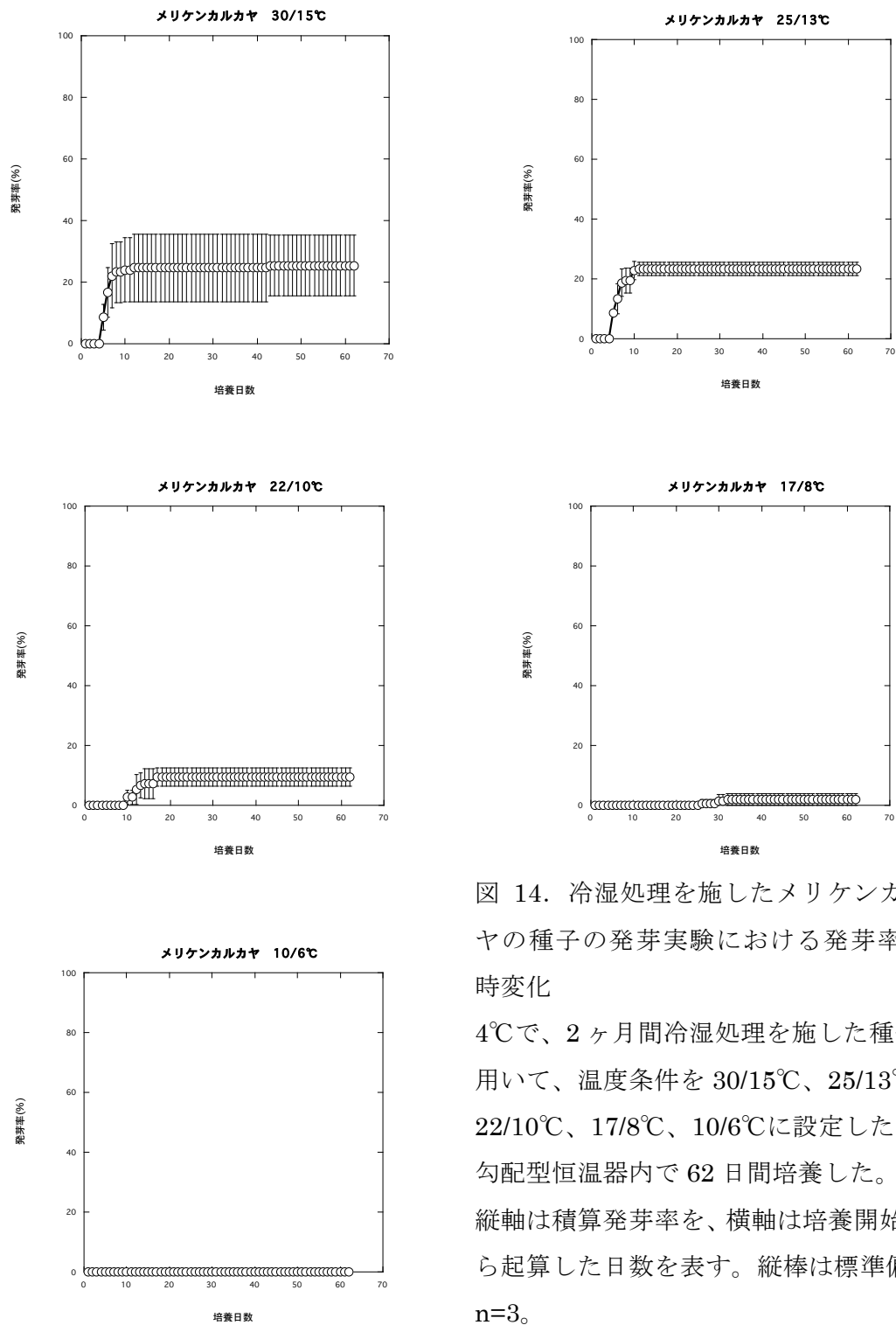


図 14. 冷湿処理を施したメリケンカルカヤの種子の発芽実験における発芽率の経時変化

4°Cで、2ヶ月間冷湿処理を施した種子を用いて、温度条件を 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 62 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。

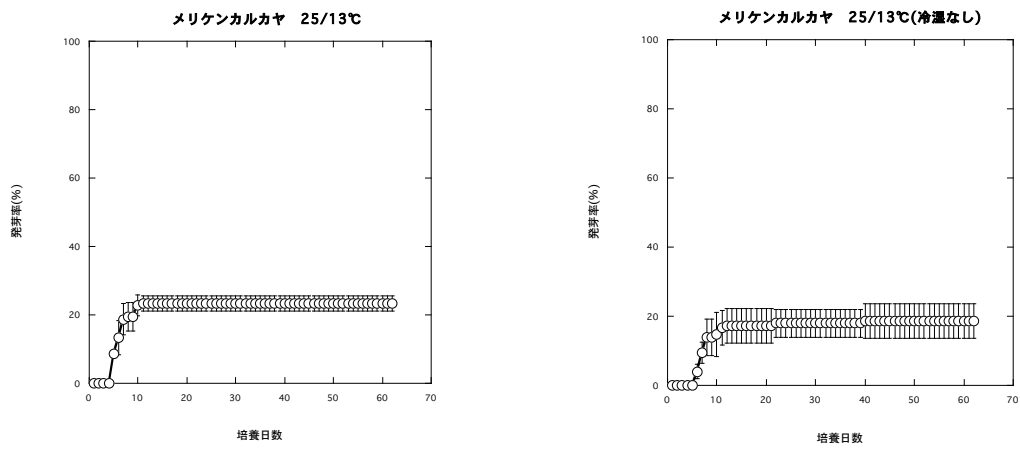


図 15. 冷湿処理を施したメリケンカルカヤの種子（左）と冷湿処理を施さなかったメリケンカルカヤの種子（右）の発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で 62 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。

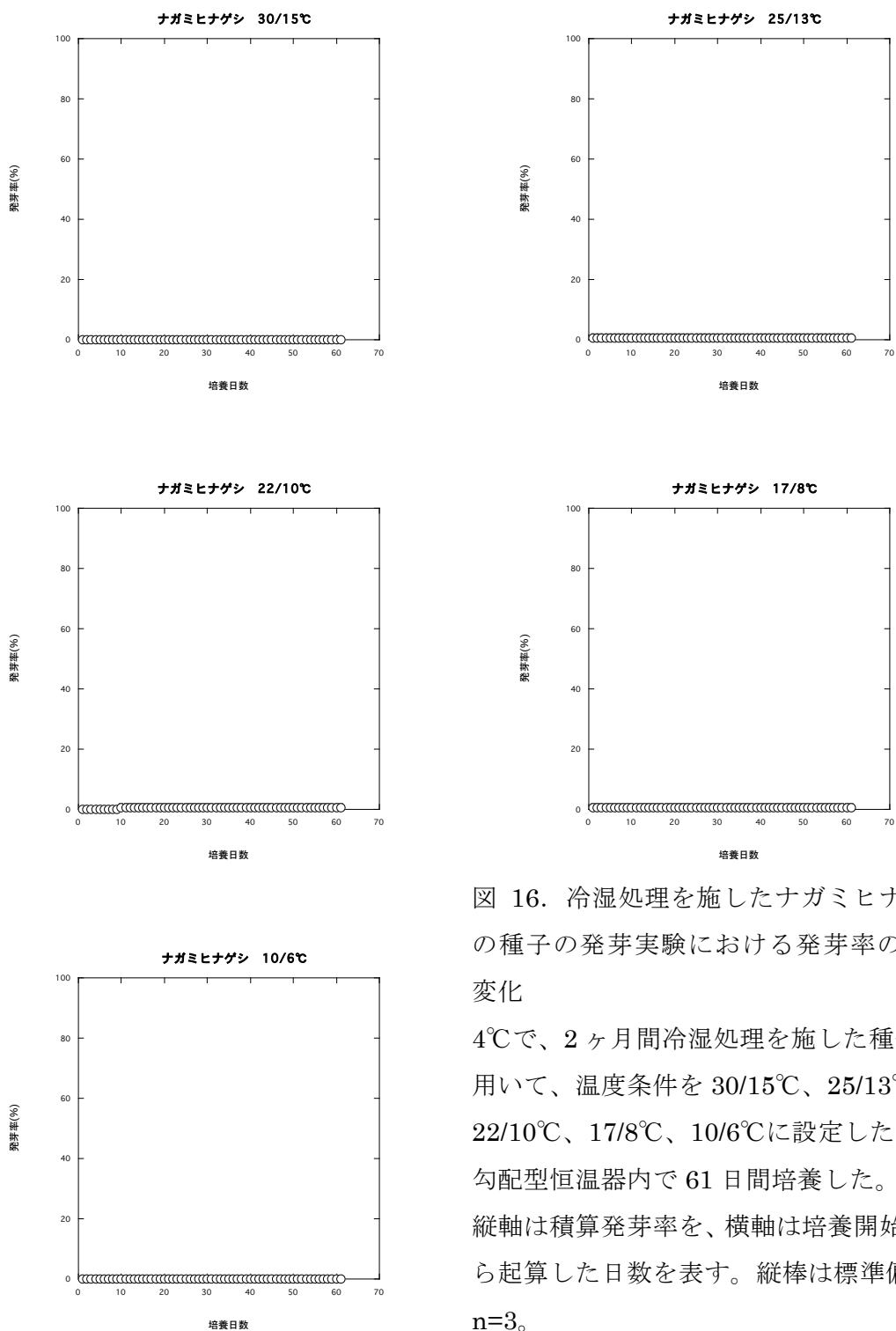


図 16. 冷湿処理を施したナガミヒナゲシの種子の発芽実験における発芽率の経時変化

4℃で、2ヶ月間冷湿処理を施した種子を用いて、温度条件を 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 61 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。

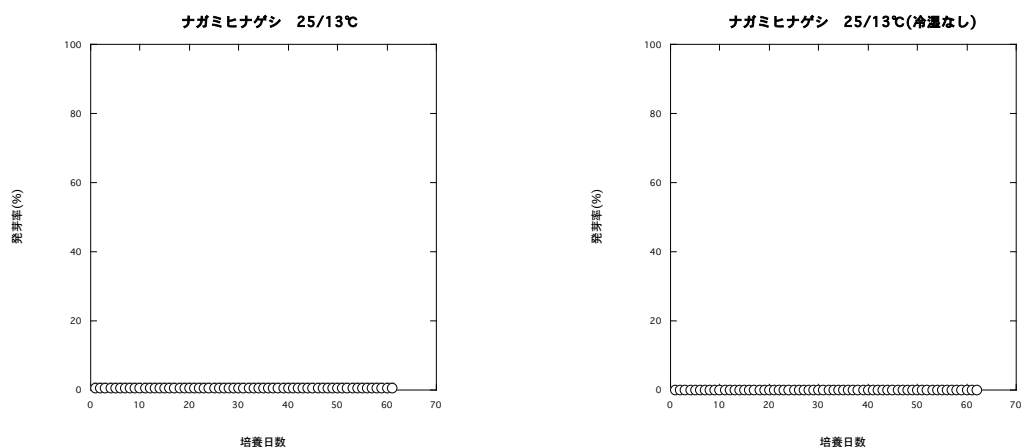


図 17. 冷湿処理を施したナガミヒナゲシの種子（左）と冷湿処理を施さなかったナガミヒナゲシの種子（右）の発芽実験における発芽率の経時変化

温度条件を 25/13℃（昼/夜）に設定した温度勾配型恒温器内で、冷湿処理を施した種子は 61 日間、冷湿処理を施さなかった種子は 62 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。

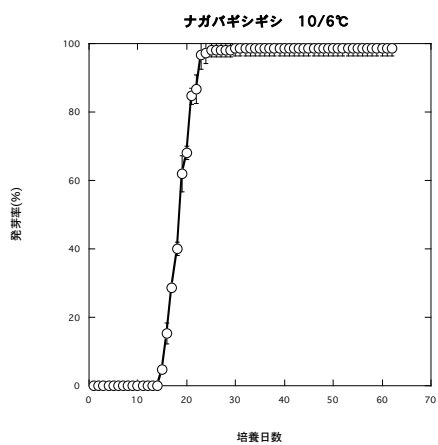
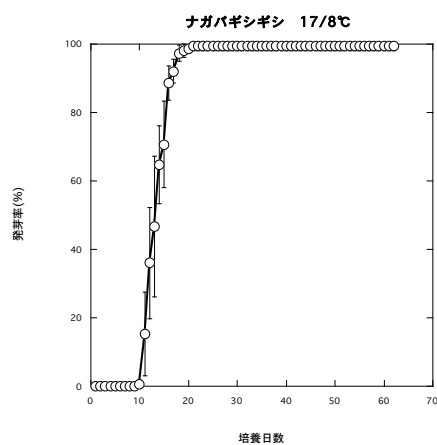
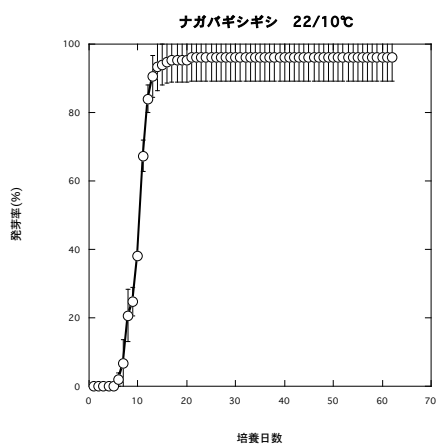
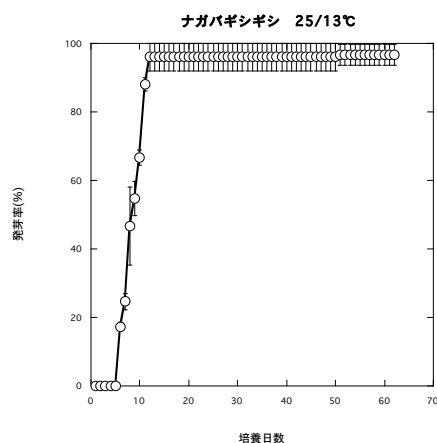
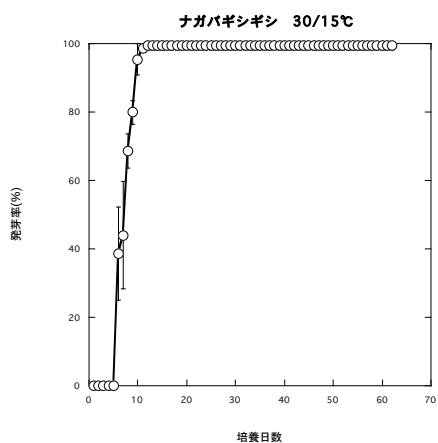


図 18. ナガバギシギシの種子の発芽実験における発芽率の経時変化
 温度条件を 30/15℃、25/13℃、22/10℃、17/8℃、10/6℃に設定した温度勾配型恒温器内で 62 日間培養した。
 縦軸は積算発芽率を、横軸は培養開始時から起算した日数を表す。縦棒は標準偏差。
 n=3。

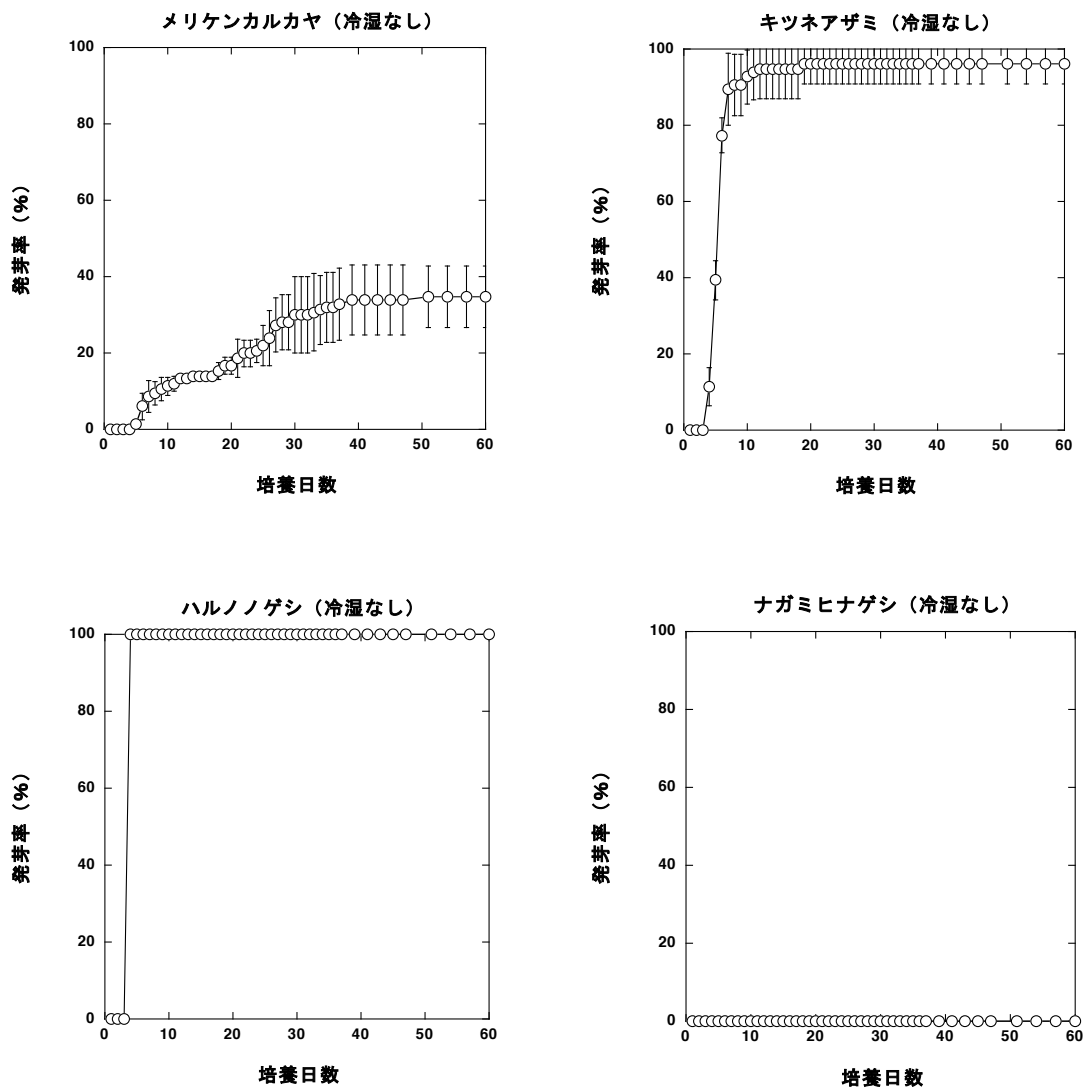


図 19. 冷室処理を施さない種子の発芽実験における発芽率の経時変化 (須永 2017) メリケンカルカヤ (上左)、キツネアザミ (上右)、ハルノノゲシ (下左)、ナガミヒナゲシ (下右) の結果を示す。

種子を 25/13°C に設定した温度勾配型恒温器内で 60 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。

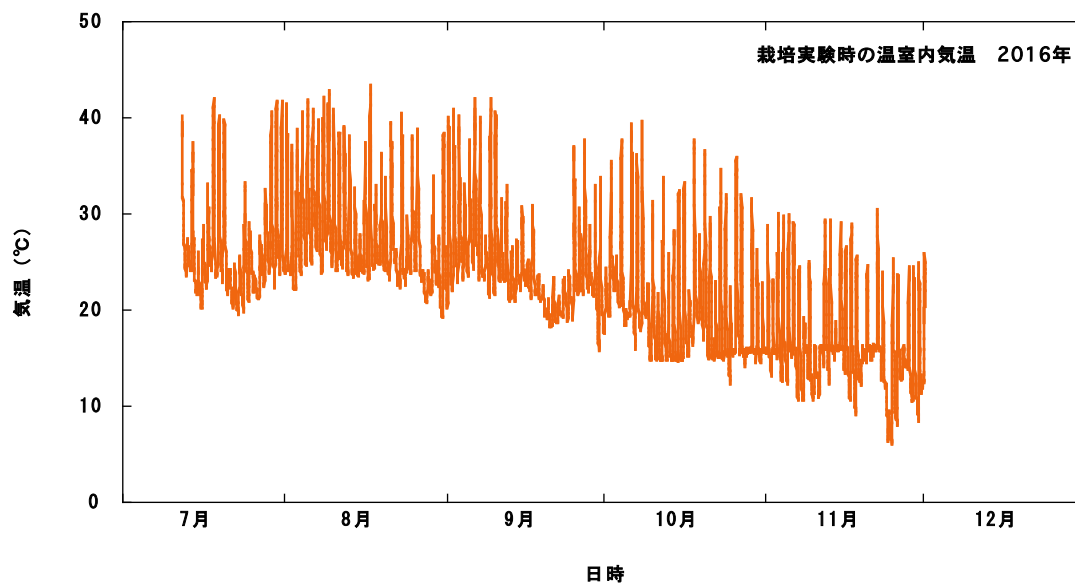
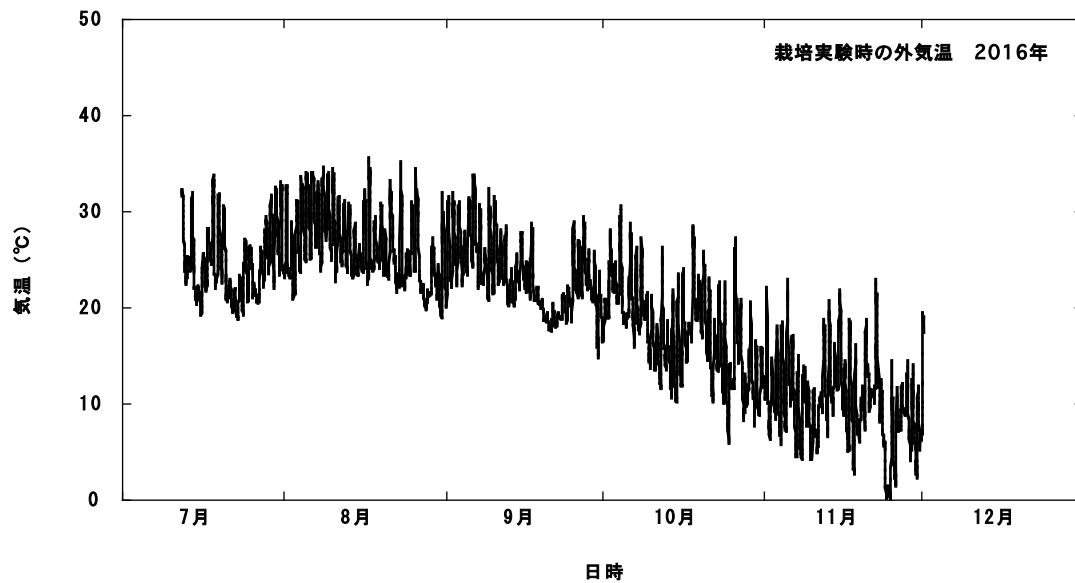


図 20. 群馬大学荒牧キャンパス構内の栽培実験期間中の圃場および温室内の気温
 2016年7月から11月までの間、群馬大学荒牧キャンパス構内の圃場と温室内で気温を温度データロガー (TR52, T&D corporation) をそれぞれ高さ 1.5m 付近に設置し、30 分おきに連続測定した。上図は圃場の気温、下図は温室内気温を示す。温室と圃場の平均温度差は 2.4°Cであった。

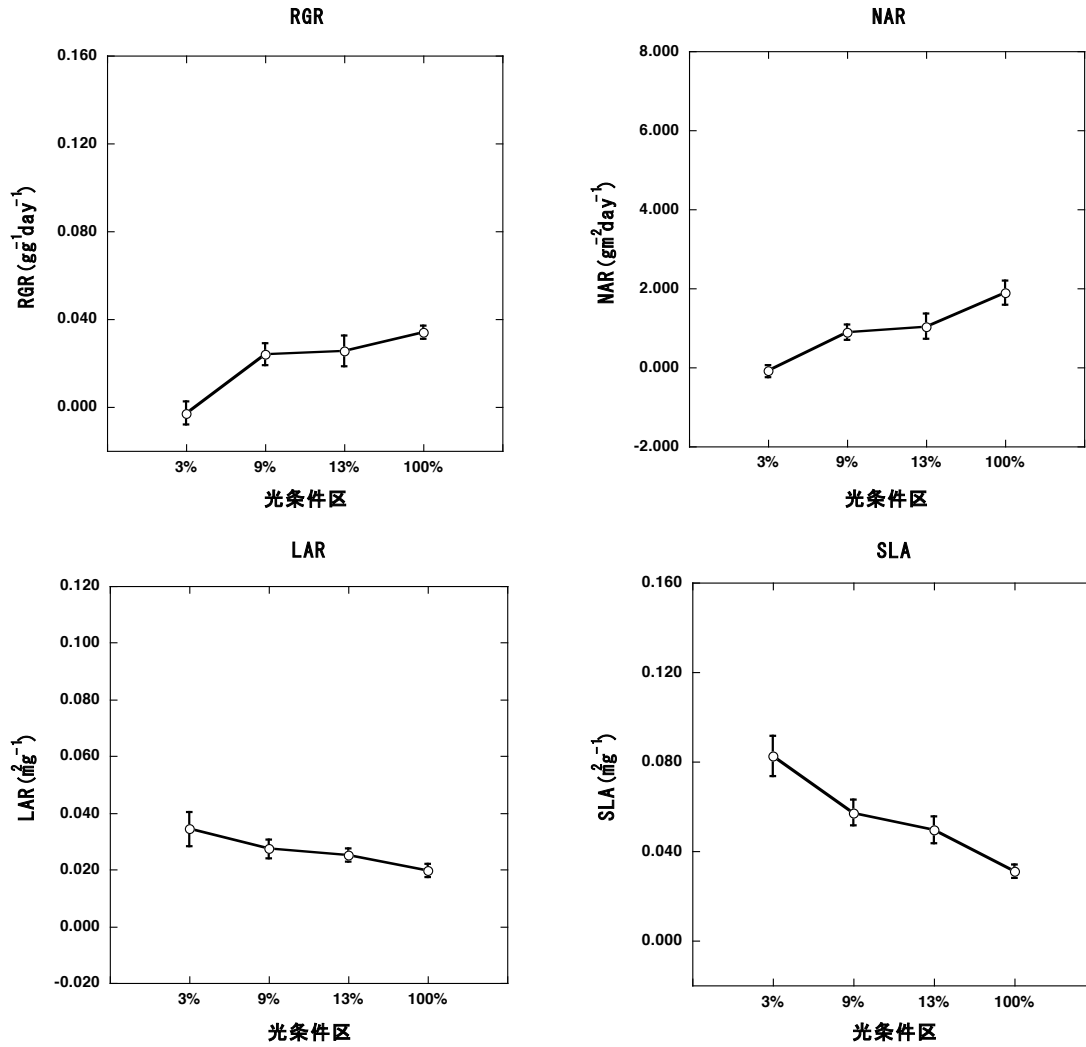
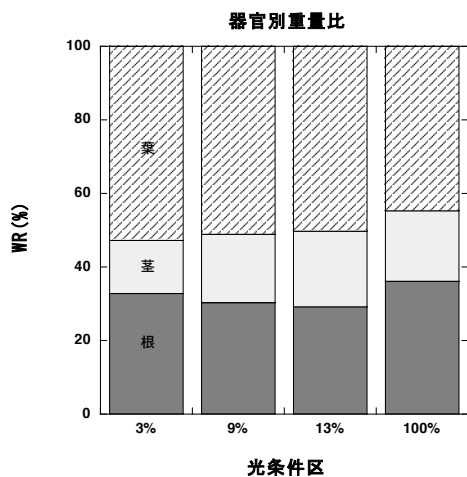


図 21. 異なる光条件下で栽培したイヌムギの生長解析結果

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 2016 年 6 月 9 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=19。



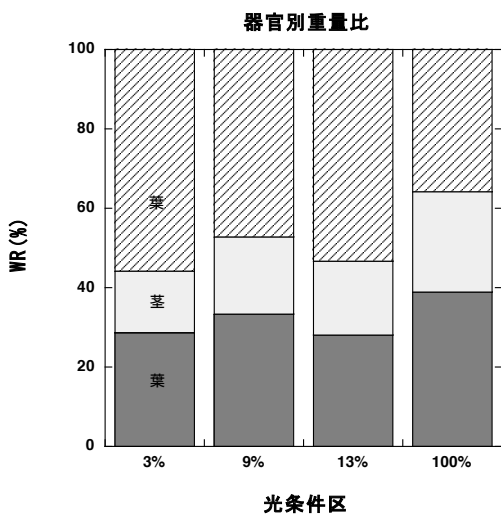
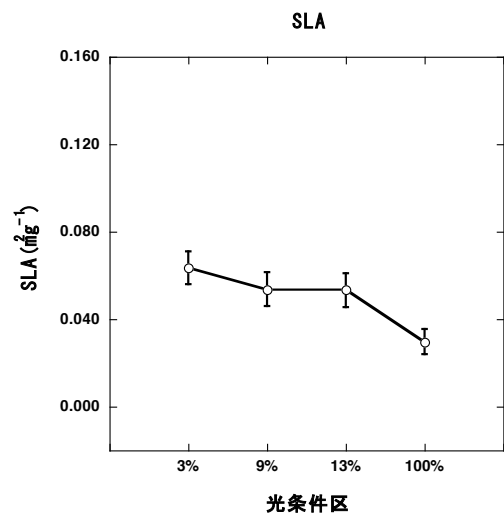
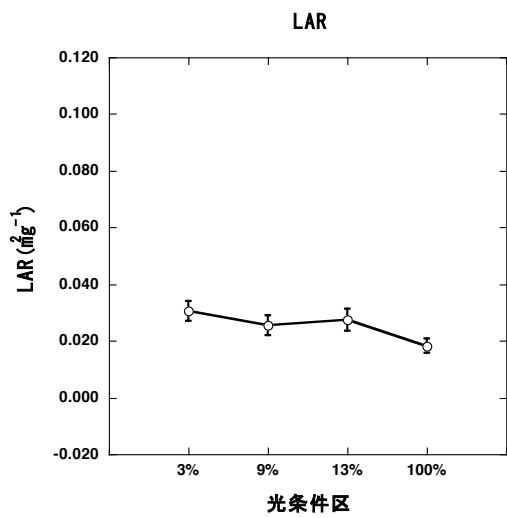
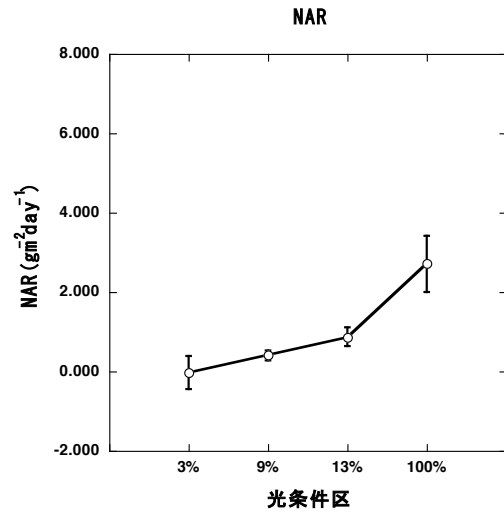
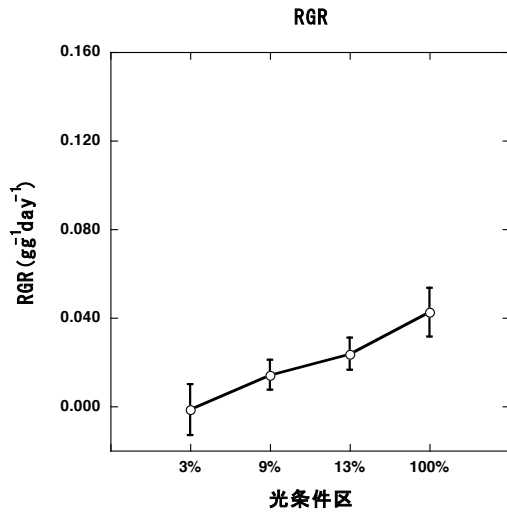


図 22. 異なる光条件下で栽培したカモガヤの生長解析結果

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 2016 年 6 月 30 日から 21 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=20。

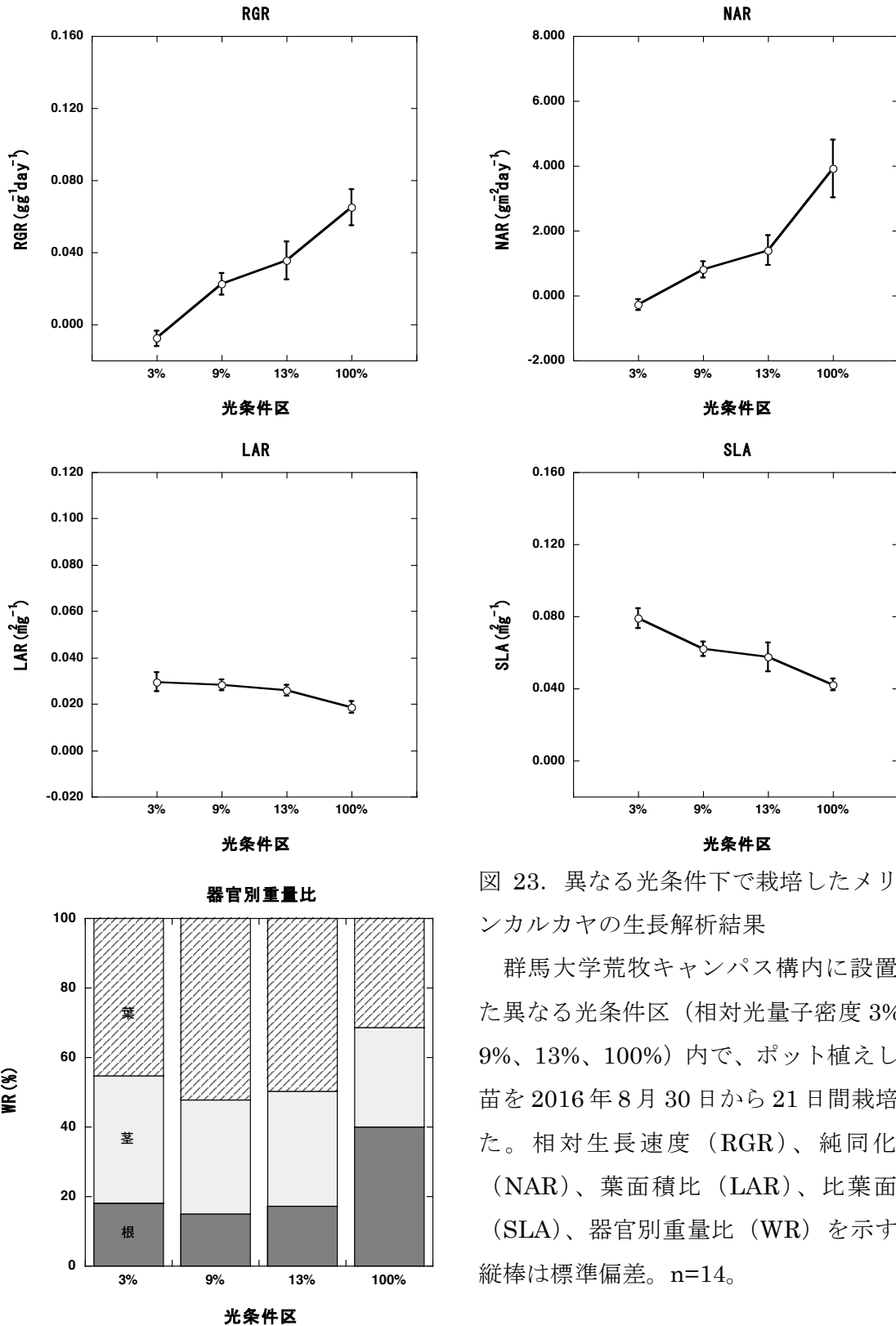


図 23. 異なる光条件下で栽培したメキシカンカルカヤの生長解析結果

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 2016 年 8 月 30 日から 21 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。

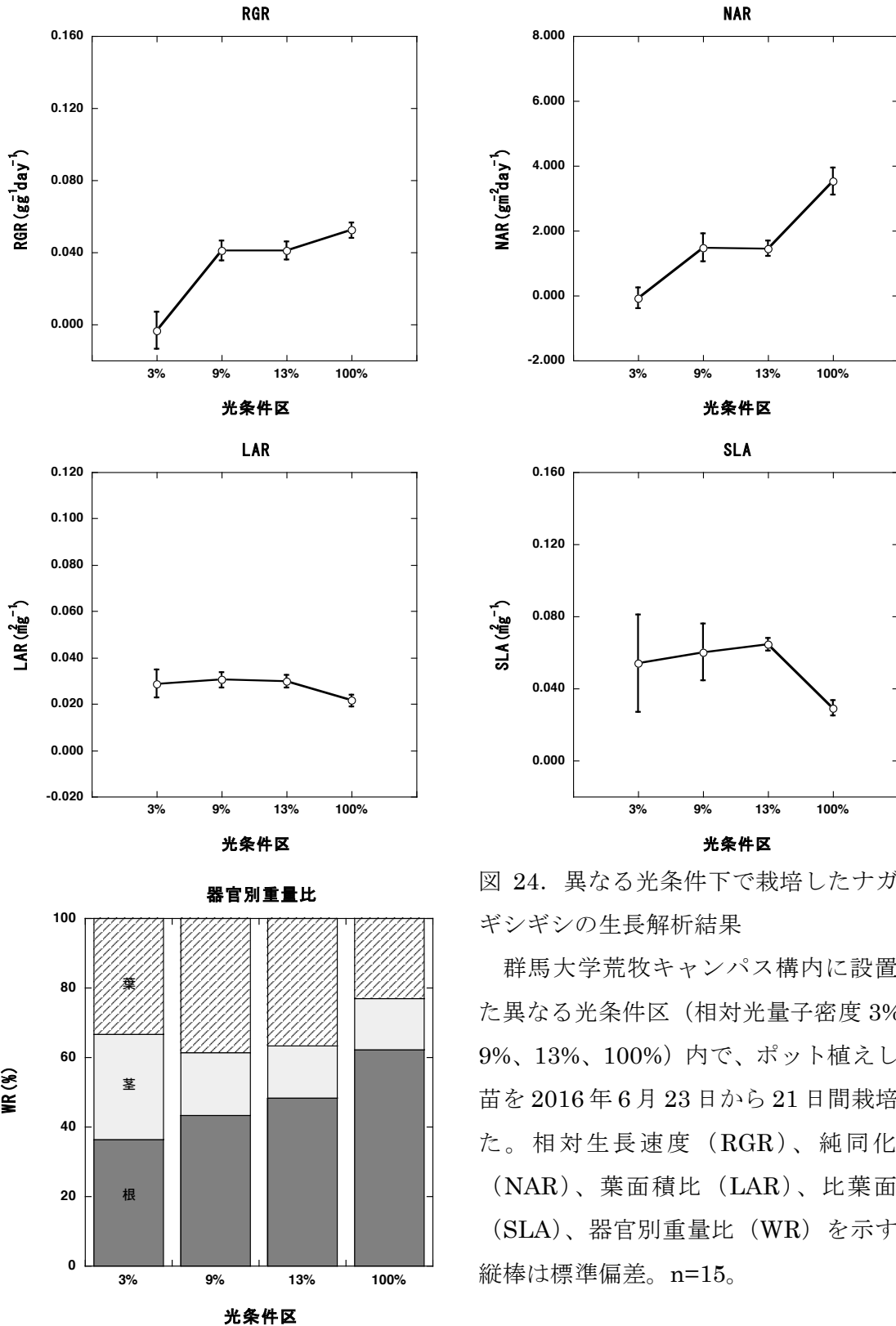


図 24. 異なる光条件下で栽培したナガバギシの生長解析結果

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 2016 年 6 月 23 日から 21 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。

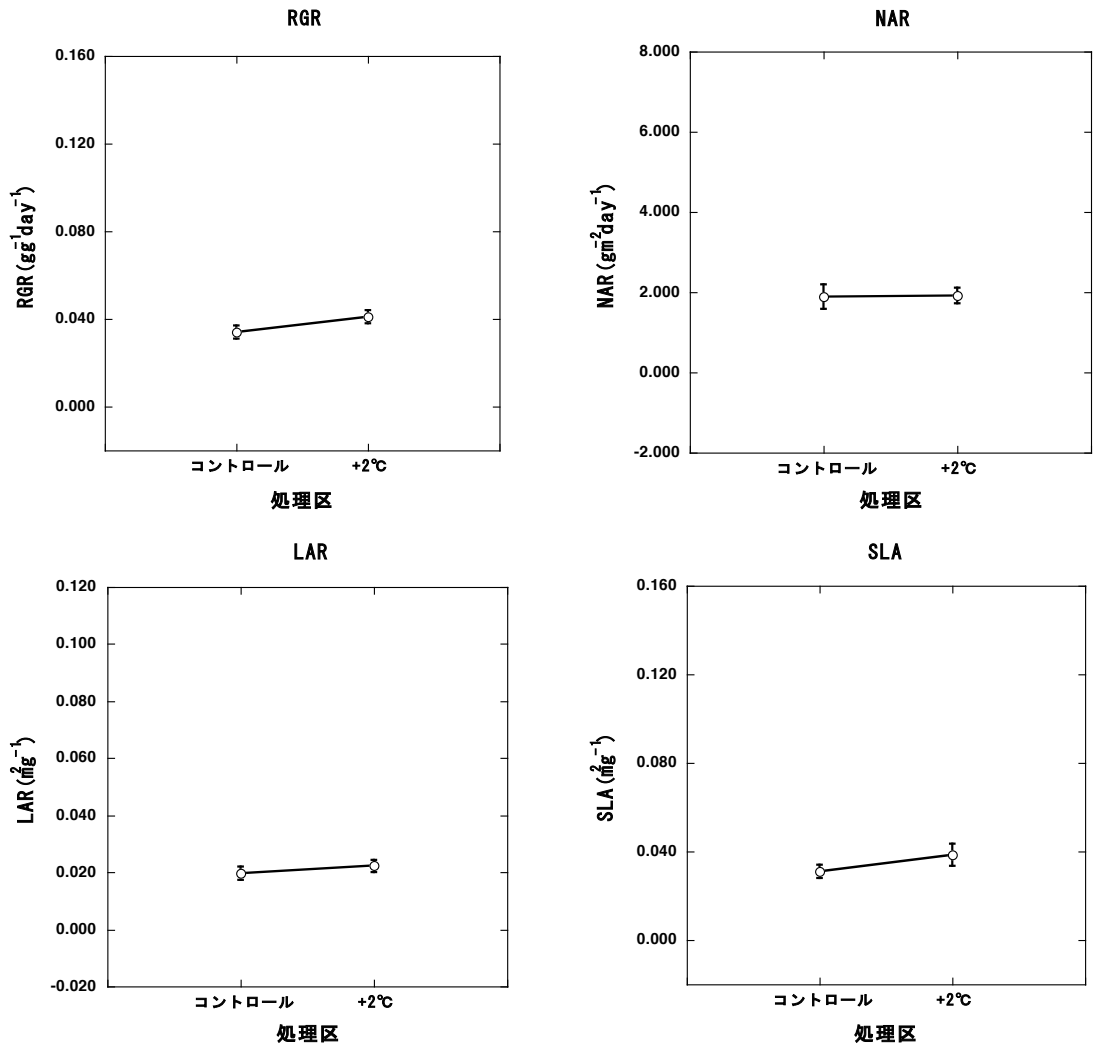
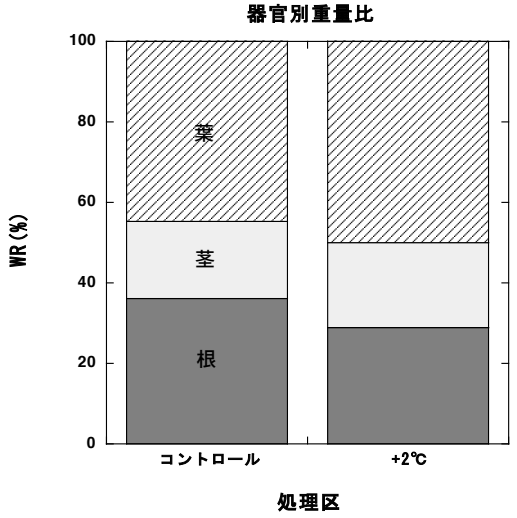


図 25. 異なる温度条件下で栽培したイヌムギの生長解析結果



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 2.4°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 2016 年 6 月 9 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=19。

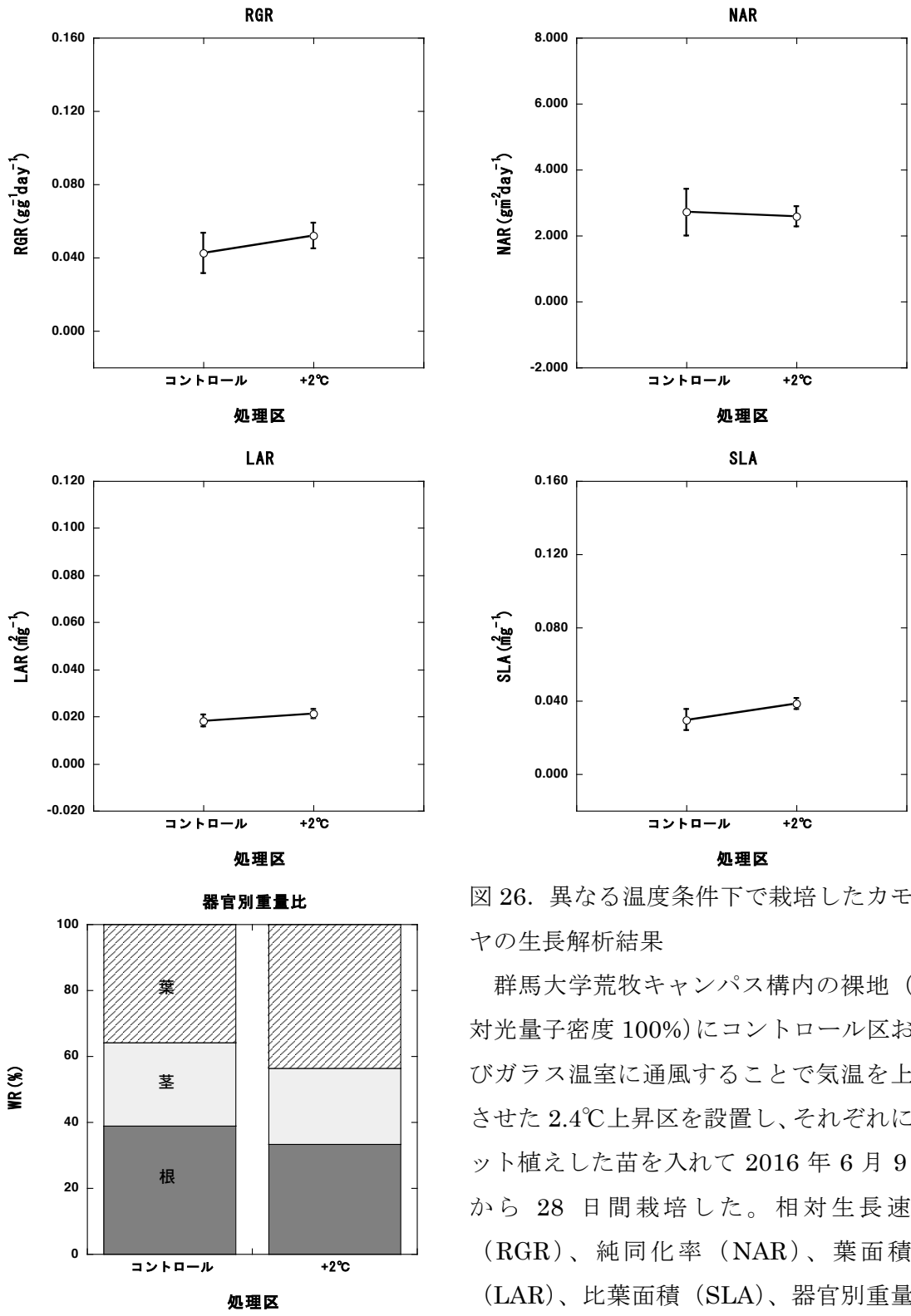


図 26. 異なる温度条件下で栽培したカモガヤの生長解析結果

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 2.4°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 2016 年 6 月 9 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=19。

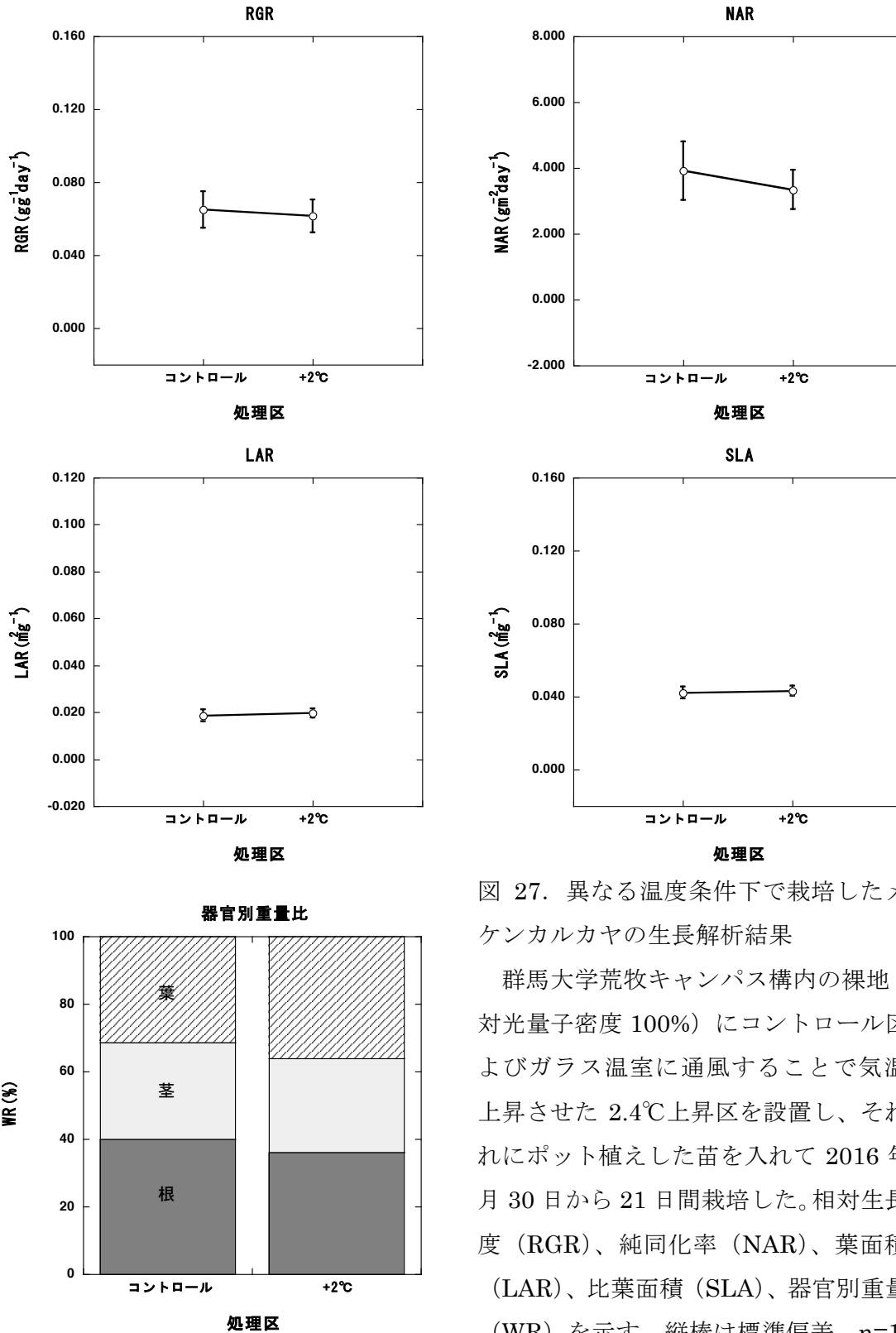


図 27. 異なる温度条件下で栽培したメリケンカルカヤの生長解析結果

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 2.4°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 2016 年 8 月 30 日から 21 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。

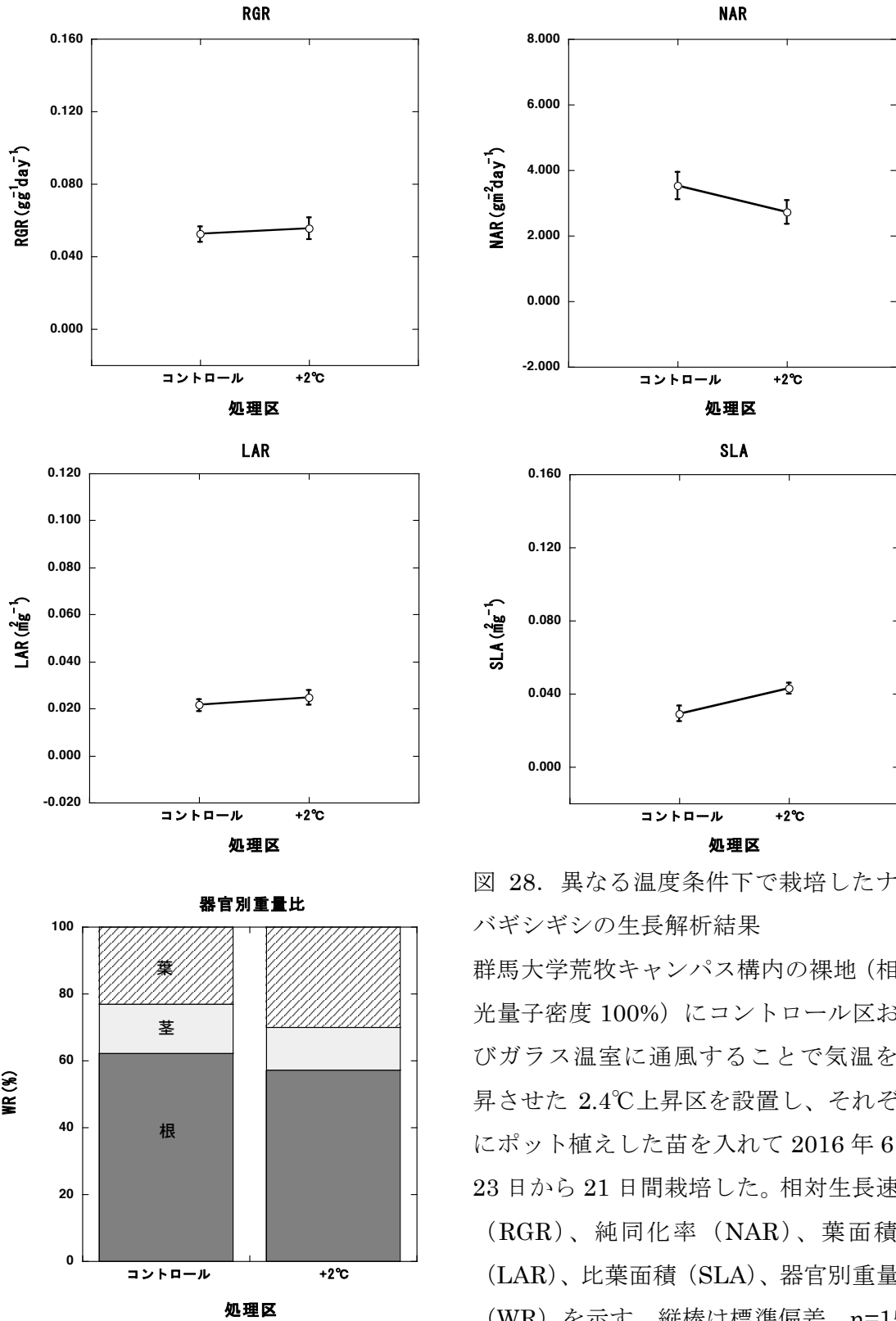


図 28. 異なる温度条件下で栽培したナガバギシギシの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 2.4°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 2016 年 6 月 23 日から 21 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。