

卒業論文

題

名

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

学籍番号

13602033

氏

名

須永 勇樹

指導教員名

石川 真一 教官

平成 29 年 1 月 17 日 提出

概要

地球温暖化により将来、冬が短くなることが予測されている。多くの植物は野外で冬を経験することにより発芽するため、冬の短縮は発芽低下を引き起こすかも知れない。他方、春が早く到来することによって、生育時の高温と生育期間の伸張が起こり、発芽後の生長が促進されるかもしれない。それによって、どのような生態的特徴をもつ植物がどのような影響を受けるのか。これらの可能性を、植物数種類を実験的に栽培して、発芽実験、生長解析を行うことにより究明する。

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）の植物種多様性は、一定の定常状態に達している。しかし近年急速に進行している地球温暖化の直接および間接影響（気候の変化：ゲリラ降雨や猛暑など自然災害の増加など）により、その植物種多様性が近い将来に損なわれる危険性が想定される。

そこで、現在各ビオトープ内に生育している代表的植物が、温暖化によりどのような影響を受けるかを明らかにすることを目的に、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）で現地調査を行った。さらに、各ビオトープ内に定着する絶滅危惧種について、これに対応した持続的な育成管理法を検討した。

アドバンテスト・ビオトープでは、在来種 82 種、外来種 34 種の計 116 種の生育が確認された。確認種数は、外来種箱の数年間ほぼ定常状態にあるが、在来種は昨年、2001 年以降で初めて 100 種を超え、今年度も 82 種の生育が確認されている。絶滅危惧種 A やミゾコウジュなどの絶滅危惧種は多年にわたり継続して確認されている。

チノー・ビオトープでは、在来種 92 種、外来種 44 種の計 136 種の生育が確認された。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。カワヂシャ、ミゾコウジュ、コギシギシなど多くの絶滅危惧種は、2011 年度の調査から継続して確認されている。また、竣工から目立っていた園芸種は引き抜き除去の継続により、2011 年度調査では 17 種が確認されたが、今年度の調査では 5 種となった。

男井戸川調整池では、在来種 69 種、外来種 34 種の計 103 種の生育が確認された。今年度の調査では、2010 年の植物相調査以降、最も多くの種が確認された。また、カワヂシャ、ミゾコウジュをはじめとした準絶滅危惧種、絶滅危惧Ⅱ類の植物計 4 種を確認することができ、2012 年度以降の調査において毎年確認されている絶滅危惧種Ⅱ類のコギシギシは土手および川辺で確認することができた。

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いえる。

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。

アドバンテスト・ビオトープ内、チノー・ビオトープ内それぞれの絶滅危惧種 A 生育地において土壌含水率を測定した結果、絶滅危惧種 A は比較的広い範囲の土壌含水率で生育可能であるが、土壌含水率が極端に低いと生育不良になるということがわかった。

発芽の温度依存性実験では、藤岡市で採取したイヌビエ種子、前橋市で採取したチカラシバ種子、西榛名で採取したオトコエシ種子、チノー・ビオトープで採取したキツネアザミ、
、
でそれぞれ採取した絶滅危惧種 A 種子、榛名公園沼ノ原で採取したオカトラノオ種子、アドバンテスト・ビオトープで採取したイヌトウバナ種子、板倉町朝日乃池で採取したミゾコウジュ種子、男井戸川で採取したコギシギシ種子の 9 種の植物種子について、発芽特性を分析した。イヌビエ、チカラシバ種子は発芽率が悪く、発芽には冷湿処理を必要とする可能性があることがわかった。オトコエシ種子は、低温度帯での発芽率が高くなったことから、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、ハルノノゲシ種子は、土壌シードバンクを形成する可能性が低いことが推察された。ミゾコウジュ種子は、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は土壌シードバンクを形成しないものと推察されていたが、今年度用いた板倉町ニュータウン内の調整池（朝日乃池）で採取された種子は、最終発芽率が低い結果となり、土壌シードバンクをより形成しやすい可能性があることが考えられる。オカトラノオ、イヌトウバナ種子は、17/8℃以下の温度区での発芽率が低く、発芽の最適温度は 25/13℃区であると推察される絶滅危惧種 A、コギシギシ種子は、全ての温度区で発芽率が低く、未成熟の種子を実験に用いてしまった可能性がある。

発芽実験に用いたオトコエシ、キツネアザミ、ハルノノゲシ絶滅危惧種 A、イヌトウバナ、ミゾコウジュの 6 種類の在来植物について、異なる光条件下（相対光量子密度 3%、9%、13%、100%）で栽培し生長解析を行ったところ、6 種すべてにおいて明るい環境下では良く生長し、暗い環境下では生長が悪くなった。そのため、他の植物が繁茂し、光条件が劣悪な環境下では、生長できず、他の植物と共存する場合、本種の光環境に悪影響を及ぼさない植物である必要があることがわかった。

異なる温度条件下で栽培した植物の生長解析を行い、外来植物、ビオトープ内に生育する在来植物、榛名公園（標高が 1000m を超える里山）に生育する在来植物、里地・里山（標高 700m 以下）に生育する在来植物に分類して考察を行った。その結果、外来植物のうちイ

ヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシ、ナヨクサフジの4種について、温度上昇による生長の促進が確認された。在来植物のうち温度上昇による生長の促進が確認されたのは、コバギボウシ、チョウジソウの2種であり、ジョウロウスゲ、キツネアザミ、ミヤコアザミ、ハルノノゲシ、カセンソウ、サラシナショウマの6種については温度上昇による生長の阻害が確認された。そのため、今後温暖化が進行し、気温上昇が起これば、外来植物と在来植物が競合した際、外来植物が優位な立場となり、在来植物に悪影響をおよぼしかねないことが考えられる。また、イヌムギのCO₂濃度実験では、産業革命後現在までの人為的な大気中CO₂濃度上昇により、生長が促進されたことがわかり、現在から将来までに起こるであろうCO₂上昇の影響に比べ、今まで起こってきたものによる影響が大きいことが推察される。

本研究により、ビオトープは絶滅危惧種の保護や生物多様性保全という目的を達成する可能性が高いことが明らかになった。すなわち、今後も継続的にモニタリングや実験を行い、育成管理を行っていく必要がある。また、地球温暖化により野生植物種に与える影響は生育環境や植物の特性によって異なり、特に在来植物に対しては、多くの悪影響を与えるおそれがある。そのような影響を緩和するためには、地球温暖化の防止対策に加え、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。

目次

はじめに	3
地球環境変化	3
地球温暖化の対策	4
生態系	5
生態系の危機と安定性	5
生物多様性	7
生態系サービス	8
生物多様性条約	10
生物多様性~企業の取り組み~	11
生物多様性に関する企業の取り組みの例	11
レッドリストとレッドデータブック	12
種の絶滅	14
外来種・外来生物	15
外来生物の侵入	16
外来生物に対する対策~外来生物法~	17
ビオトープ	18
自然再生事業としてのビオトープ	19
大型ビオトープの実例	20
本研究の目的	22
調査地概要	23
材料および方法	25
植物相調査	25
体積土壌含水率	25
材料植物	26
発芽の冷湿処理・温度依存性実験	28
異なる環境下における栽培実験	28
大気中 CO ₂ 濃度を調節した栽培実験	29
生長解析	30
群馬大学荒牧キャンパスの気温測定	31
統計解析	31
結果および考察	32
植物相調査	32

はじめに

地球環境変化

近年、地球上では様々な環境変化が起こっている。その代表的な例として、地球温暖化があげられる。二酸化炭素をはじめとする気体の集まりである温室効果ガスが地球を包んでおり、地表面から放出される熱を吸収し地表面に再反射することで、地球の平均気温が約 14°C に保たれている。しかし、18 世紀後半の産業革命頃から行われた石油や石炭の大量消費を皮切りに、二酸化炭素の排出量が年々増えていき、それに伴って、CFH、HCFC、ハロン、臭化メチル等の物質により構成される温室効果ガスが増えることで、地表面から放出される熱の反射量が増え、地球の気温が上昇し続けている。

その結果、地上に到達する有害な紫外線 (UV-B) が増加し、皮膚ガンや白内障等の健康被害の発生や、植物やプランクトンの生育の阻害等を引き起こすことが懸念されている (環境白書 2010)。

2013 年 9 月 23 日にスウェーデン・ストックホルムで開催された IPCC 第 1 作業部会会合では、温暖化の原因が人間の活動である可能性を「90%以上」とした 2007 年の第 4 次報告書から 6 年ぶりの改定となる第 5 次報告書が公表された。ここでは、人間活動が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の要因である可能性が極めて高い (95%以上) と結論づけられ、大気中の二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O) が、過去 80 万年間で前例のない水準まで上昇していると記述している。気温の上昇に関しては、1880～2012 年の期間にかけて世界平均で 0.85°C の上昇を示していると発表された。海面水位の上昇に関しては 1901～2010 年の期間中、世界平均海面水位 0.19m の上昇と発表され、その変化は 21 世紀中も進行し、世紀末には 1986～2005 年と比較して 0.26～0.82m 上昇すると予測されている。また、海洋が人為起源の二酸化炭素の約 30% を吸収することで、海洋酸性化を引き起こし、工業化初期以降の pH は 0.1 減少したと報告されている。

また、今後の気温上昇に関して、21 世紀末 (2081～2100 年) の気温は現在 (1986～2005 年) と比較すると、温暖化の対策なしとするシナリオ RCP8.5 の場合、+2.6～4.8°C が「可能性の高い」予測幅とされている。また、温暖化対策規模「少」のシナリオ RCP6.0 では +1.4～3.1°C、「中」のシナリオ RCP4.5 では +1.1～2.6°C、「最大」のシナリオ RCP2.6 では +0.3～1.7°C で、それぞれ「可能性の高い」予測幅とまとめられており、どのような仮定 (シナリオ) を当てはめても気温は上昇する、と結論づけられた (IPCC 第 5 次評価報告書 2013)。

地球温暖化の影響として気温、海水温の上昇の他にも、北半球の雪・氷の減少、さらには動植物の生息域の北上等もあげられている (環境白書 2010)。中でも、日本における海水温の上昇は著しく、日本近海における 1915 年から 2015 年までのおよそ 100 年間にわた

る海域平均海面水温（年平均）の上昇率は、 $+1.07^{\circ}\text{C}/100$ 年 であり、世界全体や北太平洋全体で平均した海面水温の上昇率（それぞれ $+0.52^{\circ}\text{C}/100$ 年、 $+0.47^{\circ}\text{C}/100$ 年）と比べると大きい値を示す（気象庁 2015）。

酸性雨については、湖沼や河川の酸性化による魚類等への影響、土壌の酸性化による森林への影響、建造物や文化財への影響等が懸念されている（環境白書 2010）。動植物の生息域に関しては、2014年8月に国内では69年ぶりに確認された「デング熱」を媒介する「ヒトスジシマカ」の生息域の拡大など、人類に有害な影響をもたらす恐れも示唆されている（国立感染症研究所 2014）。

地球温暖化の対策

1992年、国連の下で「気候変動に関する国際連合枠組条約」が採択され、世界全体での地球温暖化対策への取り組みが始まった。この条約は「大気中の温室効果ガスの濃度を安定させること」を究極の目的と定め、3年後の1995年から毎年気候変動枠組条約締約国会議（COP）が開催されている。1997年には京都で第3回締約国会議（COP3）が開催され、先進国の拘束力ある二酸化炭素削減目標が明確に規定される等、本格的な取り組みが行われるようになった。目標は「温室効果ガスを2008年から2012年の間に、1990年比で約5%削減すること」というものであった。

2015年11月30日から12月13日にかけてフランス・パリで行われた国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、パリ協定、気候資金、緑の気候基金、長期目標に関する2013-2015年レビュー、適応委員会、ワルシャワ国際メカニズム、技術メカニズムと条約の資金メカニズムの連携、京都議定書の第二約束期間の実施に関する細則等のCOP/CMP決定が採択された。中でも、パリ協定の採択は新たな法的枠組みとなるものであった。この協定に含まれるものは、

- ・ 世界共通の長期目標として 2°C 目標のみならず 1.5°C への言及
- ・ 主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新すること、共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告し、レビューを受けること
- ・ JCMを含む市場メカニズムの活用が位置づけられたこと
- ・ 森林等の吸収源の保全・強化の重要性、途上国の森林減少・劣化からの排出を抑制する仕組み
- ・ 適応の長期目標の設定および各国の適応計画プロセスと行動の実施
- ・ 先進国が引き続き資金を提供することと並んで途上国も自主的に資金を提供すること
- ・ イノベーションの重要性が位置づけられたこと
- ・ 5年ごとに世界全体の状況を把握する仕組み
- ・ 協定に発効要件に国数および排出量を用いるとしたこと

- ・ 「仙台防災枠組」への言及

である。この中には、日本の提案によって取り入れられたものも多くある。

「世界の平均気温上昇を 2°C 未満に抑える」という目標は世界全体のものであり、今回のパリ条約では、今世紀の後半にかけて人間活動による温室効果ガス排出量を実質的にゼロにしていく方向が打ち出されることとなった（環境省 2015）。

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である（A.S.Pullin 2002）。生態学では、生態系を「ある空間で生活するすべての生物とその非生物的環境を含むシステム」と定義（鷺谷 1999）している。日本は、主要先進国の中でも、人口密度も高い国としては特異に森林がしめる面積が大きく、生物多様性も高い（福山 2009）。

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。（鷺谷 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（鷺谷 2010）。

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（鷺谷 2010）。

生態系の危機と安定性

地球生態系における現在のヒトは、個体数が多いことと、一個体あたりの生態系への影響が大きいことの両面において、超越的な優占種である。しかし、ヒトの影響によって地球上の大気、海洋、生物相、生物群集、地球生態系にあらゆる変化をもたらすことは、ヒトにとっても「望ましくない」環境変化であり、けっきょくはその影響がヒト自身の身に降りかかってくる。さまざまな人間活動による生態系プロセスの阻害や変動によって、生態系は自立性を失い、不安定さを増している。生態系は単純化してますます不安定なものとなり、ヒト個体群の存続可能性自体を危惧しなければならない時代が訪れたのである（鷺谷 2005）。

そもそも、生態系に関する人間のかかわりは、大きく分けて三つの段階があると考えられる。第一は、まったく人間がかかわっていないか、あるいはあまりかかわっていない段

階。第二は、人間がかかわった結果、生態系は変質しているが、人間と自然のバランスが取れたかたちで生態系が変質している段階。第三は、人間活動が優位で人工化が進んだ段階である。その中でも、地球上から消え去ろうとしている第一段階の自然生態系と、人類が地球環境とともに生きていくうえで欠かすことのできない第二段階の生態系は、なんとしても保全していく必要がある。また、第三段階では、条件の許す限り失われてしまった生態系をふたたび蘇らせることが必要となる。

その第三段階のうち、農村ランドスケープを第二段階の生態系として維持しようとするならば、適度な人間による攪乱を継続し続けることが必要である。中部ヨーロッパには、英語で「ヒース」(heath)、ドイツ語で「ハイデ」(Heide) とよばれる独特の二次草原が存在するが、それを例にあげてみることにする。このヒースを構成する植物は、カルーナやエリカの仲間であり、都市緑化などに使われる園芸種にもなっている。それらの花がさくころには、ヒースは一面紅紫色の絨毯のようになる。この草原のランドスケープを守るには、適度な人間の攪乱を行い続ける必要がある。なぜなら、ヒースは、過放牧が生み出した人為的なランドスケープだからである。カルーナやエリカは、ヒツジなどの家畜が好まず、酸性の貧栄養土壌にも成育可能であるため、放牧により牧草が選択的に採餌され、しかも放牧により土壌の貧化が起こるからこそ、このようなヒースが成立してきたのである。

したがって、ヒースを維持するには、保護するのではなく、ヒツジを放牧して、適度に人間の攪乱を続ける必要がある。結果的に、ヒースの維持には、農民が牧畜を続けることが最適であると考えられるため、所得の向上や、ボランティアによる維持管理などの仕組みをつくる必要がある(鷺谷ら 2005)。

河川による攪乱では、河辺生態系にとって特別の意味を持つ。原始的な河川では、常に洪水が発生し、流路を含むか船内の微地形は大きく変動する(鷺谷ら 2005)。このような自然的攪乱の場合、頻度と強度が異なる微地形が連続的に配置される典型的なエコトーンが形成され、さまざまな植物や生物が生息する場がつけられる。

ところが、ダムや堤防のような人口構造物が河川に建設され、洪水や氾濫の発生が抑制されると、遷移段階はつねに進むようになる。その結果、繰り返される洪水や氾濫が維持してきた遷移の初期段階の生態系パッチが消失し、河辺の生態系は、水域そのものと、樹林など発達した陸域の生態系に二極化していく。それに伴い多様な生態系パッチによって育まれていた生物多様性が大きく損なわれる。それはまた、洪水や氾濫に適応して生息・生育していた在来生物の絶滅や外来生物の繁殖にも繋がる(鷺谷ら 2005)。

生態系が人間社会に提供するさまざまな便益である「生態系サービス」を生み出す主な担い手は、普通種である。個体数が少ない、生息環境が限られている、地理的な分布が限定されているなどの特性を持つ種を、希少種と呼ぶ。普通種とは、そうではない種のこと

である。普通種が衰退して絶滅危惧種となることは、生態系サービスを供給する可能性を変化させる（鷲谷 2010）。

地球環境問題に代表されているような深刻な環境問題に人類が直面するようになった今日、生態系の安定性に大きな関心が寄せられている。生態系の安定性は、地球環境の持続可能性を保障する生態系の健全性につながる重要な要素だからである。

安定性は、外からの変化を促す力（外力）を受けた場合に、外力に抗して変化を押しとどめる「抵抗性」と、変化しても素早く元に戻る「復帰性」の2つが要因となっている。例えば、害虫の発生などに対する生態系の安定性に対しては、樹種の多様性や種内の遺伝的要因により「抵抗性」が生み出され、大きな被害を防ぐ上で重要な要因となり得る。攪乱のような生態系に作用する外力に対しては、ギャップ形成などの顕著な変化は受けてしまうため、生態系に安定性をもたらす要因は「復帰性」ということになる。

これらの特性は、種の多様性に直接依存することとなり、生態系の機能不全や不安定化を防ぐために必要な要素である（鷲谷 2005）。

生物多様性

「生物多様性」とは、自然生態系を構成する動物、植物、微生物など地球上の豊かな生物種の多様性とその遺伝子の多様性、そして地域ごとの様々な生態系の多様性をも意味する包括的な概念である（環境白書 1996）。この概念は1980年代にアメリカで作られたとされている。最初に、「保全生物学」という分野が作られ、その後、「生物多様性」という概念が誕生した。「保全生物学」は、地球の様々な生物学的な多様性の減少を明らかにするだけでなく、その環境を元に戻すための手法を開発して推奨することを使命として1980年代に作られた実践的な学問の分野である（草刈 2010）。

生物多様性は、我々に食料や水、空気を供給し、自然災害から我々を守り、更には、経済・文化の発展の基礎としての役割を果たす。いわば、我々人間の生活基盤なのである

（Endrukaitis ら 2011）。生物多様性は、健全な生態系が生み出す自然の恵みの源泉でもあるとともに、生態系が不安定になるなどの不健全化を監視し、防止するための指標として捉えることができる。人類社会の持続可能性を保障するには、科学技術の高度化により際限なく巨大化しつつある人間の力が生態系におよぼす変化を抑制し、その力を健全な生態系を維持・再生する方向へと振り向けることが必要である。「生物多様性」は、暗闇の中でそのような方向を探る燈火のようなものであるともいえる（鷲谷ら 2005）。

「生物多様性」は、遺伝子、種、生態系の3つのレベルでとらえられることが多い。

（1）遺伝子の多様性

同じ生物種でも、生息する地域ごとに色や形などの特徴が微妙に異なることが多いが、これはそれぞれが持つ異なる遺伝情報が外見に現れた結果である。遺伝子の多様性とは、

このような遺伝子の変異の大きさを指すものである。遺伝子の多様性の高い生物種は個体間で異なる遺伝情報を多く持っており、同じ種の中でも個体ごとに多様な性質や形状を持つことになる。種内における遺伝子の多様性は、その種の環境の変化に対する適応性を左右する。

(2) 種の多様性

種の多様性は、通常ある地域内の生物の種数としてとらえられる。一般的に気候等の条件が厳しい環境や、変化しやすい環境においては生息できる生物の種数は少なくなり、穏やかで安定した環境では多くの種が生息できるといわれている。2008年時点では、確認されている生物の総種数は約175万種であるが、確認されていない生物も含めた地球上の総種数は500万〜3000万種の間という説もある。

(3) 生態系の多様性

地球上では、地域ごとの気候や土壌といった物理的な環境とそれぞれの生育環境に適応した様々な生物が相互に影響し合いながら、地域に固有の生態系を形成している。そして、地域ごとの生態系は、明確な境界を作ることなく総体として地球の生態系を構成している。生態系の多様性とは、それぞれの場所に応じて成立している生態系の間の変異の多様さを指すが、木々の高さや川の形状などの生態系の空間的構造や生物たちの関係の多様性も重要な要素である。例えば鳥類では、その種数が生息場所の植物の種数よりも葉の高さの多様性と強く相関することが報告されている。つまり、草本、低木、中木、高木とさまざまな高さの植物があることによって、多くの種類の鳥が生息することができるということである（環境白書 1996）。

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（環境白書 2007）。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、衣食住に必要な資源を提供する。医薬品や自然の風景など、私たちが心身ともに豊かな生活を営むのに不可欠である。これらの恩恵、すなわち、人間社会が生態系からうけるあらゆる利益を意味することを生態系サービスというが、生物多様性はその源泉でもある（鷲谷 2010）。

生態系サービス

人類は生態系サービスと呼ばれる大きな利益を享受し、生存の基盤としている。そのサービスの供給は、地球上の多様な生物などの生態系の構成要因が複雑に絡み合うなかで人類にもたらされるものである（環境白書 2007）。生態系管理において、持続可能に守るべきは、個々の生物だけではなく、それらの生きた関係すべてである。この関係総体を生態系過程という。食物網の構造や、光合成による一次生産や、有機物の分解過程や、物質循環に至るまで、これらを総体として損なわないように守り、もとに近い状態を維持するの

でなければ、個々の生物を守ることはできない。そうしてはじめて、自然の恵み、すなわち、生態系から得られる生態系サービスを得続けることができるのである（松田 2008）。

生態系サービスは、生態系の働きのうち人間社会にとっての便益に繋がるもの全てを含む概念である。この用語を広めたコスタンザ（R.Costanza）らは、生態系サービスの内訳として、ガス交換、気候緩和、攪乱緩和、洪水緩和、水資源供給、土砂流出緩和、土壌形成、栄養循環、水質形成、花粉売価、生物防除、避難地の提供、食料生産、各種材料供給、遺伝資源供給、レクリエーション、文化基盤提供などをあげている（佐藤ら 2012）。

生物多様性と私たち人類の豊かな暮らしとの関係は、これまであまり体系的に理解されていなかったが、2005年に発表されたミレニアム生態系評価の報告書では、この「生態系サービス」という概念を用いて、その関係がわかりやすく示された（環境白書 2007）。この報告書では、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。

②調節サービス（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。

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。多くの地域固有の宗教や文化は、その地域に固有の生物相や生態系と密接に関係している。

④基盤サービス（Supporting Services）

光合成による酸素の生成、土壌形成、栄養循環、水循環などの、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いう。

このように、生態系が私たち人類に与えるサービスは非常に多様であり、それを支える生物多様性は人類が存在していく上で不可欠の基盤を提供しているといえる（環境白書 2007）。

生態系サービスは生物多様性が減少するとその安定性が低下する。つまり、生物多様性は生態系サービスの安定供給の基盤であり、生物多様性の急速な損失は自然を破壊し環境が均衡を保つことができなくなり、それによって洪水や砂嵐、異常気象と言った激しい自然現象が引き起こされるのである。ひいては、我々の生活基盤自体も危険にさらされるのである（B&B Japan 2011）。

生態系が提供するサービスについては、これまで十分に社会的な評価が与えられていた

とは言えない。自然が損なわれ、それまであたりまえに提供されていたサービスが失われ、社会に経済的なコストを課す事例が増えてくるにつれ、その重要性が強く認識されるようになってきた（鷲谷 1999）。

これらのさまざまな生きものやその相互の関係（森林など）から、人間生活を豊かにする為の価値を最大限に引き出すことは、今後の人類の生存に欠かすことができない。私たちの時代だけではなく、子孫の時代まで考え、上手に利用していく必要がある（生物多様性政策研究会 2002）。

生物多様性条約

国際社会は、生物多様性の緊迫した状況を世界規模での課題と認識し、1992年「環境と開発に関する国際連合会議」（通称「地球サミット」）において、その保全に向け「生物多様性条約」を採択した。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
- 遺伝資源の利用から生ずる利益の衡平かつ公平な配分を実現することを目的とする。

生物多様性の保全とその持続可能な利用を実現するには、これまで生物多様性を利用し発展してきた先進国に対して、その実現のための資金確保の責任があるとされた（B&B Japan 2011）。

その後の2002年には、生物多様性条約第6回締約国会議（オランダ、ハーグ）において生物多様性条約戦略計画を採択し、2010年目標を掲げた。その概要は、「2010年までに生物多様性の損失速度を顕著に減少させる」という国際目標のもと、2002年から2010年にかけて、生物多様性の重要な地域の保護、絶滅危惧種の現状の改善等の21の個別目標を掲げ、それぞれの達成を求めるものであった（環境省 2002）。この2010年目標を掲げたことで、保護地域が拡大したことや、外来種問題への取組が増えたこと、そして、生物多様性国家戦略・行動計画の策定が進んだこと（約170カ国で実現）など、認められた一定の効果は確かにあったが、生物多様性条約事務局（2010）によると、2010年の報告書地球規模生物多様性概況第3版（GBO3）では2010年度目標は、21の個別目標のいずれについても達成されなかったと結論づけられた。

全世界が危機感を共有するなか、2010年目標の目標年にあたる2010年（平成22年）10月に開催されたCOP10では、目標の空白期間を生じさせることなく、2011年以降の新たな世界目標である「生物多様性戦略計画2011-2020および愛知目標（愛知目標）」が採択された。愛知目標は、2050年までの長期目標として「自然と共生する世界」の実現、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を実施

する」ことを掲げている（環境白書 2012）。

生物多様性~企業の取り組み~

生物多様性条約締約国会議において、経済、民間部門が生物多様性の保全とその持続可能な利用に取り組んでいく責任が強調されてきた。経済活動は、食料、薬品、建築・科学技術、エネルギー資源を生み出す燃料、空気、水資源など天然資源と強く結びついている。自然は、将来におけるイノベーション（新たなアイデアや手法・方法）のための元となる形やアイデアを秘めた宝箱でもある。ハスの葉、サメ、ペンギン、ヤモリ、これらの動植物がヒントとなって、表面の撥水加工、飛行機に用いるコーティング剤、低空気抵抗、高性能エンジンを備えた自動車、再利用可能な接着剤などの新技術が開発されるなど、動植物が高性能技術の開発のきっかけになるのである。

したがって、企業は根本的に生物多様性の受益者であるのと同時にそれを破壊してしまう立場にもある。そのため、企業にとって生物多様性の保全は非常に重要な意味をもつのである。つまり、企業活動と生態系・生物多様性は、密接にかかわり合っており、切り離せない関係なのである（B&B Japan 2011）。

の本は、1993年に生物多様性条約を締結し、条約の第6条に基づいて生物多様性国家戦略を策定し、国内の生物多様性に関する取り組みを推進してきた。当初策定された生物多様性国家戦略では、企業の役割には言及されていなかったため、企業は主に自主的な社会貢献の一環として生物多様性の保全を行っていた。

生物多様性の取組をさらに協力に進めるためには企業の事業活動の中で生物多様性の取り組みを推進することが重要であるとの認識が高まり、2006年に開催された生物多様性条約第8回締約国会議（COP10）では、「企業の参画が必要」との決議がされた。

日本もこの決議を受けて、007年11月に策定した第3次生物多様性国家戦略においては、企業などの事業者が原材料の調達、遺伝情報の活用、土木建築など様々な場面で生物多様性に影響を与えているとともに、生物多様性の保全と生物資源の持続可能な利用を社会経済的な仕組みの中に組み込んでいく上で重要な役割を担っていることが認識され、生物多様性の取り組みを推進する上では企業の参画が不可欠であると明記され、合わせて、企業の自主的な活動の指針となる「生物多様性企業活動ガイドライン」野策定が国家戦略として示された（生物多様性研究会 2010）。

生物多様性に関する企業の取り組みの例

- ・富士通株式会社 ICT を活用した生物多様性保全活動

富士通グループは、生物多様性への取組みは地球温暖化防止への取組みとならび、企業をはじめあらゆる主体が取り組むべき重要な課題の1つと考えている。

外来種の侵食や人工林の放置により、生物多様性は低下の一途をたどっている。河川敷では、ハリエンジュ（ニセアカシア）と呼ばれる外来植物が繁茂し、生態系が乱され、又、森林においては、林業の衰退とともに森林は荒れ果て、CO₂吸収源としての森林の価値は低下している。これらの問題の解決には、植生状況の正確な把握が重要である。そこで、危険な河川敷や森林に入ることなく、ICTを活用することで、専門家でなくても簡便に植生を把握できる手法について、上空約 500~2000m でヘリコプターなどの航空機により撮影し、樹種ごとにマーキングすることで、植生の把握が可能であることを確認した。本技術は生物多様性保全に貢献できることが確認できた（畠山ら 2011）。

・積水ハウス 「5本の樹」計画

「5本の樹」計画とは、「3本は鳥のために、2本は蝶のために。地域に合わせた日本の在来樹種を」というスローガンのもとに当社が 2001 年より取り組む造園緑化事業の基本コンセプトである。

樹木と樹木に集う様々な生物との関連性にも配慮しながら地域ごとの在来種を選んで庭に植えることで、失われつつある地域の生態系や生物多様性の維持・保全をめざすものである。

松山市にある 2 箇所の分譲地では、「コモンステージ松山」で鳥類が 3 種から 8 種、昆虫類が 4 種から 32 種に増えるなど、それぞれの分譲地で生きものの種類の増加が確認できた。また、大型トンボのギンヤンマやイエコウモリの飛来、アゲハチョウ類の増加などから、植栽の生長に伴い、生きものにとっての採食地や周辺地域から移動してくる空間として、分譲地が利用されはじめたことが分かった。

仙台市中心部に位置する「コモンスティ青葉のまち」は、分譲地内の公園に、既存のクロマツやサワラ、ヤブツバキなどを残すとともに、「5本の樹」計画が提案する在来樹種を多く高密度に植栽している。周辺地域は植栽がそれほど多くなく、近隣の面積約 1 ヘクタールの公園でも 4 種の鳥しか確認できなかったのに対して、分譲地内では 8 種の鳥を観察できたことから、「5本の樹」計画に基づくまちづくりが、生物多様性の保全につながっていることが実証された（佐々木 2010）。

レッドリストとレッドデータブック

世界で絶滅の恐れのある動物をリストアップした「レッドリスト（正式名称：絶滅のおそれのある種のレッドリスト）」は、スイスのグランに本部を置く、IUCN（国際自然保護連合）により発表されている。また、レッドリストを掲載し、関連するデータをまとめた本をレッドデータブックという（矢原 2003）。

現在、日本の環境省も日本独自のレッドデータブックおよびレッドリストを作成してい

るが、これらも、IUCN が作成したレッドリストの評価基準に基づいて作成されている。日本に生息又は生育する野生生物について、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（環境省 HP）。

日本には、シダ植物と種子植物をあわせると、約 7000 種類（種・亜種・変種）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、特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、残念なことに、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「絶滅危惧種」としてリストされた。これらを併せると、日本の野生植物の約 24% に達する。これらの絶滅危惧種のなかには、世界最大の野生バラであるサンショウバラや、欧米で古くから栽培されるシデコブシなどが含まれ、また、秋の七草に数えられるキキョウやフジバカマも含まれている（矢原 2003）。

レッドリストにはそれぞれカテゴリーがあり、絶滅危惧種のうち、ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高いものを CR（絶滅危惧 I A）、I A ほどではないが、近い将来における野生での絶滅の危険性が高いものを EN（絶滅危惧 I B）、絶滅の危険が増大している種を VU（絶滅危惧 II）というように分けられている。なお、それ以外にも、すでに絶滅したと考えられる種は EX（絶滅）、飼育・栽培下、あるいは自然分布域の明らかに外側で野生化した状態でのみ存続している種は EW（野生絶滅）、現時点での絶滅危険度は小さいが、生息条件の変化によっては「絶滅危惧」に移行する可能性のある種は NT（準絶滅危惧）、地域的に孤立している個体群で、絶滅のおそれが高いものを、LP（地域個体群）、という形でカテゴリー分けがなされている（環境白書 2015）。

レッドリストは、おおむね 5 年ごとに見直されている。2012 年 8 月 28 日に第 4 次レッドリストが公開され、その後 2015 年 9 月 15 日には、第 5 次レッドリストが公開された。ここでは哺乳類の一部の種（ゼニガタアザラシ、カモシカ）についてカテゴリーの見直しが行われた。海棲哺乳類であるゼニガタアザラシは、第 4 次リストでは絶滅危惧 II 類であったが、調査によって個体数の増加傾向が認められ、環境省が設置しているゼニガタアザラシ科学委員会が数量解析により絶滅の可能性を計算した結果、今後 100 年間における絶滅確率が 10% 以上とはならないことが示された。恚うした状況から、準絶滅危惧種（NT）と評価した。カモシカについては、第 4 次リストでは地域個体群に掲載していたが、四国地方出実施された徳島県教育委員会・高知県教育委員会の調査により、2003 年から 2011 年の間に生育密度が 1.4 頭/k m² から 0.1 頭/k m² に減少していることが明らかになった。こ

の減少の要因としては、人工林の高齢林化およびニホンジカの増加による食物資源量の減少が考えられる。生育個体数が減少傾向にあることは明らかであるため、「四国地方のカモシカ」について、新たに絶滅の恐れのある地域個体群(LP)に選定された(環境白書 2015)。

種の絶滅

これまでの日本は、自然の仕組みを考えず、これから生まれる子どもたちの財産である自然をむやみに消費・破壊することで物質的な豊かさを享受してきた。しかしこの結果、野生の生き物の絶滅という大きな環境問題を引き起こした(生物多様性政策研究会 2002)。

日本では、古来より近年に至るまで、ヒトは多様な生物と生活場所を共有し、数千年にわたって、自然を比較的良く保全し、豊かな生物相を継承してきた。ところが、そのようにして維持されてきた「普通種」の多くが、今では絶滅危惧種になり、身近な種に絶滅の危機が迫っている(鷲谷ら 2005)。

生物の絶滅の危険性を高め、生物多様性をおびやかしている原因はいくつもある。農業・林業開発のための森林伐採、湿地や沿岸の開拓など広範囲にわたる土地状態の改変、農業に代表される化学物質などによる環境汚染、人間が持ち込む侵略的外来種の影響、及び地球温暖化などである(鷲谷 2010)。

ある一種の生物が、絶滅したとしよう。一種の絶滅だけでは、生態系のはたらきや生態系サービスにそれほど大きな変化は起こらないと考えるのは、楽観的すぎる。種間の関係を介してドミノ倒しのように絶滅の連鎖が起こり、生態系の構造や機能が大きく変わったり、不安定化することがあり得るからだ。このような絶滅の連鎖を絶滅カスケード、そしてその鍵を握る種をキーストーン種という。

その事例として、北アメリカの太平洋岸からアザラシが絶滅したことによる海藻林生態系の崩壊がある。キーストーン種であったアザラシの絶滅後、餌となっていたウニなどの植物食の動物が著しく増えた。その食害によって海藻林が衰退し、海藻林を生息の場としていた無数の魚や、エビやカニや貝類などの無脊椎動物までもが消えてしまった(鷲谷 2010)。

以前は、生態学者は一定の個体数に保たれる安定性の条件を追い求めていた。けれども、生態系はそのような意味では不安定なものであるという認識に変わってきた。その代わりに、常に数が変わっていてもそれぞれの種が絶滅しないという存続性の方がもっともらしいと考えられるようになった(松田 2008)。

私たちヒトは、古来、生物から多くのことを学んできた。ヒトがその適応進化の途上で獲得した知能は、「生物から学ぶ」あるいは、「生物を模倣する」ことにおいて特に優れているとあってよいだろう。さまざまな環境、さまざまな必要性に対処するための「生物の知恵」とも言うべき適応戦略は、それ自体が莫大な価値と潜在的な利用の可能性を秘めて

いる。だが、生物の絶滅は、「生命の知恵」や「生命の技」のみならず、「生命の作品」ともいうべき膨大で貴重な情報を、私たちがそれを解明し、認識し、利用し、楽しむひまなく、永久に失わせてしまう（鷲谷 2010）。絶滅の危機に瀕している動植物種の保護は、生物多様性を確保する上で緊急の課題である（養父 2006）。

外来種・外来生物

本来の生息地を越えて別の地域に移動する種を侵入種という。貿易などの人間活動によって生物の侵入がきわめて頻繁になっている。侵入種が移動先で定着すると、その生態系を攪乱し、在来種を絶滅に追いやる可能性もある。このため、特に国境を越えた侵入種を外来種と言う（松田 2008）。「外来種」とは、分類群の対象が原則として「種」の単位である一方、「外来生物」では、種に加えてより小さな分類群、あるいは遺伝子、地域個体群などをも含む広い概念として認識するのが妥当である（村中 2010）。

「外来種」が、人間による利用のために意図的に導入されたり、あるいは意図せずに持ち込まれたりする機会が増えた（鷲谷 2010）。移入経路は、三タイプに分けられる。意図的導入、目的があって導入されたが逸出（逸出導入）、非意図的導入である（川道 2001）。

意図的導入は、経済的利益目的、生物的コントロール目的、園芸目的などの理由があげられる。オーストラリアやニュージーランドでは、生産性の高い動植物を導入するために、民間・公共の資金で多くの順化協会が活動した。人間の都合のいいように移民先の自然を改良しようとするものであった。また、有害な動植物を駆除するために、キツネ、イタチ、マンガ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ことが多い（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）。カリフォルニア州には、300種の定着した移入植物があるが、もとは園芸植物が逃げ出したものである（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。また、輸入された動植物に寄生して入り込む微少な生物や病原体は、それぞれについての検査体制がなければ、発見すら難しい。最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。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するケースや（川道 2001）、米国東海岸のチェサピーク湾では、バラスト水由来と考えられる 116種の海洋移入生物が数え

られるようになったことがある (Cox 1999)。その他にも、輸入物への混入や寄生などが非意図的導入の原因としてあげられる (川道 2001)。

外来生物の侵入

外来生物は、生物多様性の危機をもたらすおそれがある。外来植物の定着と分布域拡大によってもたらされる問題点の1つは、生態系の物理基盤を変え、生物相と生物群集そのものに大きな影響を与えることである (角野 2010)。

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 (鷲谷 2010)。

例えば、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。地域によっては、在来種との置きかわりが起こりつつある。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)。

かつて日本の急流河川中流域の河原は、歴が露出した裸地である砂礫質河原が多く、そこにはカワラハハコ、カワラノギク (絶滅危惧Ⅱ類)、カワラニガナ (準絶滅危惧種)、カワラヨモギなどの、和名に「カワラ」を冠した河原に固有な植物がややまばらに生育していた。しかし、1999年以降、その生態系はシナダレスズメガヤによって大きくその姿が変わってしまった。その植物は、河原一面を覆い尽くし、砂礫質河原に固有な植物と入れ替わっている (村中 2010)。

外来生物が持ち込む問題点は、在来種を駆逐し絶滅に追い込むだけではない。絶滅させるのと同じほど重大なのが、在来種と交雑することで、遺伝定攪乱が進行することだ。在来種と大陸山の外来近縁種と交わり、どちらともつかない雑種を多数生み出し、数万年かけて形成してきた種の特徴が、あっさり崩れ去ってしまうのである。他にも、環境改変、病原生物の持ち込み、農業被害など様々な面で深刻な被害を引き起こす (池田 2007)。

一方で、元々は外来であった生物が、自然生態系や農業等に、正の影響をもたらす例も存在している。植物の例をあげると、米・大麦・小麦・トウモロコシ・ソバ・ジャガイモ・サツマイモ・白菜・カボチャなどのほとんど全ての作物は、もとをさかのぼれば外来植物である。雑穀と呼ばれ、日本に昔からあったと思われるキビ、アワ、ヒエなども、古く渡来したイネ科作物であり、ダイズ、アズキ、インゲン、ササゲ、エンドウ、ソラマメなどの豆類も外来植物である。日本に固有のものは、山野に自生しているヤマノイモ (自

然薯) くらいであり、サトイモも古い時代に伝来した外来植物である(中尾 1966)。こういった例が示すように、外来植物なしには、現在の豊かな食生活はあり得ないし、将来の食料となる新しい外来植物の研究も重要である(藤井 2008)。

動物の例としては、先ほど例にあげたヨーロッパ原産のセイヨウオオマルハナバチがある。1970年にベルギーで大量増殖法が開発されて以来、農作物の花粉媒介用に商品化され、世界中で利用されている(Ruijiter 1996)。日本においても、1991年よりハウストマトの受粉用に輸入が始まり、現在年間約7万箱ものコロニーが輸入・輸出されている(国武・五箇 2006)。本種の導入により農家は受粉作業から解放され、さらに生物資材の利用という枠組で減農薬・省農薬も促進され、マルハナトマトと称される安全で質の高いトマトの供給が可能となった(五箇 2008)。

しかし、生態学者からは本種の野生化による生態系影響が指摘されてきた。日本には在来種のマルハナバチ 22種が生育しており、侵入種と在来種の間で強い競争関係が生じることが心配された。このような状況から、本種は外来生物法の第一次特定外来生物リスト入りの候補にもあがったが、農業関係者によって、農業生産性の維持のために規制に反対する意見が多数寄せられ(五箇 2008)、最終的には平成18年9月1日より、特定外来生物として規制されている(環境省 自然環境局)。

例外として、在来種であっても、特定の種が増えすぎて、生態系のバランスが崩れることもある。いま、日本各地で、シカの増えすぎが問題となっている。尾瀬、知床、日光といった、国立公園に指定されている地域でもその被害は深刻で、シカの好む植物が根こそぎ食べられたり、毒を含みシカが食べない植物が林床の優占種になっている場所がある。そのような地域では、消失した植物を食草としている植物の現象や、シカによる農林業被害も深刻化している(鷲谷 2010)。

外来生物に対する対策~外来生物法~

外来生物の問題が「環境問題」として認識され始めて以降、農学、環境工学、生態学などのさまざまな学問分野が、各々の視点から外来生物の侵入実態や影響、侵入リスク評価、有効な防除策の提案などの研究に取り組んでいる(村中ら 2010)。

外来種による生態系や農林業への影響を防止することを目的として、「外来生物法」(前述)が、2005年6月より施行されている(水谷 2008)。

特定外来生物は、概ね明治期以降にわが国に導入されたと考えられる生物で、識別が容易な大きさのもので、生態系、ヒトの生命・身体、農林水産業に重大な被害をもたらすものが指定される(水谷 2008)。

この法律では、特定外来生物に指定されたものについては以下の項目について規制される。

→飼育、栽培、保管及び運搬することを禁止。

※研究目的などで、逃げ出さないように適正に管理する施設を持っているなど、特別な場合には許可される。

→輸入することを禁止。

※飼養等をする許可を受けている者は、輸入することができる。

→野外へ放つ、植える及びまくことを禁止。

→許可を受けて飼養等する者が、飼養等する許可をもっていない者に対して譲渡し、引き渡しなどをすること、また、販売することを禁止。

→許可を受けて飼養等する場合、その個体等にマイクロチップを埋め込むなどの個体識別等の措置を講じる義務（環境省 自然環境局）。

文化財や文化遺産は、その歴史的価値から保存への努力がなされる。文化遺産よりもはるかに長い歴史のなかで、必然と偶然の結果としてうみだされた生物多様性とそこに蓄積されている膨大な「情報」。それを現代の一部の人々の短期的な経済的利益と引きかえに、永久に失わせることほどおろかなことはないだろう（鷲谷 2010）。

ビオトープ

ビオトープとは、ギリシャ語の「生命…bio」「場所…topos」の合成語で、生物の生育空間を意味する。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（養父 2006）。

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、それに変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、多くの日本人が今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（杉山、重松 2002）。

多様なタイプのビオトープが作られることは好ましいことではあるが、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があってはならないのである。尚、この分野でも、先進国ドイツではビオトープ整備について以下の「整備の七原則」が定められ、厳格な体制で取り組まれている。

- 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。
- ② ①の理由により設計に際しては、利用素材はその地本来のものとする。
- ③ 回復・保全する生物の継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作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）。

自然再生事業としてのビオトープ

過去に損なわれた生態系その他の自然環境を取り戻すことを目的とした自然再生推進法が、平成 15 年 1 月 1 日より施行されている。この法律は、我が国の生物多様性の保全にとって重要な役割を担うものであり、地域の多様な主体の参加により、河川、湿原、干潟、藻場、里山、里地、森林、サンゴ礁などの自然環境を保全、再生、創出、又は維持管理することを求めている（環境省 自然再生推進法）。

その中で、自然環境について、以下のように定義されている。

自然再生推進法 第二条

「自然再生」とは、過去に損なわれた生態系その他の自然環境を取り戻すことを目的として、関係行政機関、関係地方公共団体、地域住民、特定非営利活動法人、自然環境に関し専門的知識を有する者等の地域の多様な主体が参加して、河川、湿原、干潟、藻場、里山、里地、森林その他の自然環境を保全し、再生し、もしくは創出し、又はその状態を維持管理することをいう。

自然再生を図ることは、生きものに餌を与え飼育することではない。各種の生きものが自立して生活し、世代交代を繰り返したり、移動時に立ち寄ったりする環境条件をもとの状態に戻すことである。これは生態系を再生する為の基本原則である（養父 2006）。

自然再生事業のひとつでもあるビオトープは、個人から国際まで、様々な視点から参加、取り組める環境保護対策の一つであり（杉山 1999）、地域の生態系の一部として、地域社会に対して企業が関わっていく一つの手法としての可能性が期待される（杉山、重松ほか 2002）。さらに近年、ビオトープの名のもとに、地域の生態系の復活を意図した自然環境復元の事業が盛んに行われるようになった（杉山 1999）。

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（根元 2004）。

一般の花壇や庭園造りでは、その地域の自然生態系をあまり考えず、手入れがしやすい、

珍しい、見た目がきれいであるなど、人間の都合が優先されるが、ビオトープでは、その地域に元々あった自然を守り、育てることが基本となる（生物多様性政策研究会 2002）。

近年は、自然に乏しい場所を対象とした「ビオトープの再生」が盛んになってきたが、行われていることは「ビオトープの生態学的な価値を再び高めること」である（中島 2004）。そのキーワードとして「復元」「創出」「再生」が広く知られるようになった（根元 2004）。

「復元」は、自然を「元に戻す」という意味では、それがほぼ不可能であることがわかる。となると、何を復元するのかということ、生物がみられなくなった場所を再び生物が棲めるように戻すことが最下位のレベルであるもう少し上位の対応としては、かつて水辺だったところを再び水辺にするとか、かつての森を植樹で再び森にするといったことがあげられる。

「創出」は、自然が著しく失われた場所で、過去の自然にこだわらず、何らかの自然環境が定着できる環境条件をつくり出すことが目的の行為だ。かつては海だった埋め立て地や、山を切り開いた造成地に湿地をつくることもあるし、学校ビオトープなどは小規模な創出の例だ。

「再生」は、過去の社会経済活動などによって損なわれた生態系などの自然環境を取り戻すことが目的で、復元と創出を包括した全体論だといえる。リセットの「やり直し」も含まれている（根元 2004）。

3つはともに、失われた自然を取り戻す行為であり、これらに「守る」、つまり壊さないという対応を組み合わせて、地域の自然環境を豊かにしようとする狙いだ。ただ、自然が元通りになるという意味ではなく、「普通にイメージする」復元、完全に取り戻すことなど不可能だろうということは注目しておきたい（根元 2004）。

野生の生きものはその種類により、生息や成育に必要なビオトープの規模やタイプが異なる。また、多くの野生の生きものは、採餌・休憩・繁殖や一日・一年・一生のライフサイクルにおいて複数の異なるタイプのビオトープが必要である。さらに野生の生きものは小さな集団だけで交配を続けると、環境の変化に耐えられない弱い個体が増え、種を維持できなくなってしまうため、他の集団との交流ができるような同じタイプのビオトープが一定範囲内に存在する必要がある（生物多様性政策研究会 2002）。個体数の多さや多様性の高さを別にしても、ビオトープの保護と再生を通して地球環境に貢献することが本来の目的であることには違いないだろう（長谷川 2004）。

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 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内の石川真一教授が、生態学的学術調査に基づいたアドバイスを行っている。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内の石川真一教授が、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内の石川真一教授が、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

地球温暖化により将来、冬が短くなることが予測されている。多くの植物は野外で冬を経験することにより発芽するため、冬の短縮は発芽低下を引き起こすかも知れない。他方、春が早く到来することによって、生育時の高温と生育期間の伸張が起こり、発芽後の生長が促進されるかもしれない。それによって、どのような生態的特徴をもつ植物がどのような影響を受けるのか。これらの可能性を、植物数種類を実験的に栽培して、発芽実験、生長解析を行うことにより究明する。

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）の植物種多様性は、一定の定常状態に達している。しかし近年急速に進行している地球温暖化の直接および間接影響（気候の変化：ゲリラ降雨や猛暑など自然災害の増加など）により、その植物種多様性が近い将来に損なわれる危険性が想定される。

そこで、現在各ビオトープ内に生育している代表的植物が、温暖化によりどのような影響を受けるかを明らかにすることを目的に、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）で現地調査を行った。さらに、各ビオトープ内に定着する絶滅危惧種について、これに対応した持続的な育成管理法を検討した。

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）

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 3 m 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）

群馬県藤岡市森、株式会社チノ一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3、写真3）。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 m²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西側には鍬川が流れている（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）。

・男井戸川調整池（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4、写真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の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。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（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、カワジシャ、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（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。

2015年の植物相調査においては、58種の在来種が確認され、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ンギンやカワジシャなど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。

材料および方法

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。各調査地域を踏査史、開花・結実している植物種中心として、目視、デジタルカメラによる撮影、または採集を行い、その後植物図鑑を用いて種の同定を行った。尚、この調査方法では、踏査により目視可能な種が対象となるために、比較的量の多い植物種をピックアップすることになる。

確認植物については、ポータブル GPS (GPSmap62SCJ, GARMIN) を用いた写真撮影により、生育位置情報を自動記録した。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。データベースは **FileMaker Pro12 (FileMaker Inc.)** を用いて作成した。作成したデータベースの一例を図 8~10 に示す。

調査日はアドバンテスト調査が 2016 年 4 月 22 日、5 月 27 日、6 月 24 日、9 月 28 日、10 月 31 日 (計 5 回)、チノー調査が 2016 年 4 月 25 日、5 月 24 日、6 月 21 日、9 月 16 日、10 月 20 日 (計 5 回)、男井戸川調整池調査が 2016 年 4 月 20 日、5 月 24 日、9 月 16 日 (計 3 回) であった (表 1)。

体積土壌含水率

アドバンテスト・ビオトープ内せせらぎの下流の絶滅危惧種 A を植栽した 1 地点および絶滅危惧種 A が自生している 1 地点の計 2 地点 (図 2) において、土壌含水率計 (ThetaProbe TypeML, Delta-T 社) を用いて土壌含水率を測定した。測定は各所 3~4 回ずつ行い、その平均値から、含水率計付属の換算グラフ (ML1-UM-1 NOV.1995) を用いて体積含水率を算出した。測定日は、2016 年 4 月 22 日、5 月 27 日である。

また、チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種 A を植栽した 2 地点および同種の生長が不良であった 1 地点の計 3 地点 (図 3)、においても、同様にして体積含水率を算出した。測定日は、2015 年 5 月 24 日である。

計算式は以下の通りである。x=土壌含水率 (測定値)。

(測定値が大きい場合) 体積土壌含水率= $17.578-36.249x+19.244x^2$

(測定値が小さい場合) 体積土壌含水率= $0.54545x-0.022547$

材料植物

3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。また地球温暖化の直接影響を解明するために行った気温を調節した栽培実験においては、山里（2017）・篠原（2017）が行った榛名山および群馬県内の里地に生育する植物を用いた実験結果、佐藤（2017）が行った外来植物および在来植物カラスノエンドウを用いた実験結果も含めて、総合的な考察を行った。

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。

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）。

チカラシバ（イネ科、多年草、*Pennisetum alopecuroides*）

原野、路傍、土堤等の日当たりのよい草地に多く生えるイネ科の多年草で、非常に強いひげ根を地中に下し、抜くのが難しいほど丈夫な株となる。

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）。

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。

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。

ハルノノゲシ（キク科、越年草、*Sonchus oleraceus*）

北海道、本州、四国、九州の道ばたや畑のふちなどに生育するキク科の越年草で、4月から7月にかけて黄色の花を咲かせる。

絶滅危惧種 A

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。

オカトラノオ（サクラソウ科、多年草、*Lysimachia clethroides*）

アジア東部の温帯、亜熱帯に広く分布するサクラソウ科の多年草で、山地、原野の日当たりの良い場所に生育する。

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。

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。

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。

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）。

発芽の冷湿処理・温度依存性実験

2016年10月20日に藤岡市で採取したイヌビエ種子、2016年10月18日に前橋市で採取したチカラシバ種子、2015年11月4日に西榛名で採取したオトコエシ種子、2015年5月25日にチノー・ビオトープで採取したキツネアザミ、ハルノノゲシ種子、2015年10月29日、2015年12月3日に採取した絶滅危惧種A種子、2014年9月17日に榛名公園沼ノ原で採取したオカトラノオ種子、2014年10月14日にアドバンテスト・ビオトープで採取したイヌトウバナ種子、2015年6月24日に板倉町朝日乃池で採取したミゾコウジュ種子、2015年5月30日に男井戸川で採取したコギシギシ種子の9種の植物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）、実験のスケジュールを表2に示す。

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、石英紗を敷いた直径9cmのプラスチック製シャーレに種子を50個ずつ入れ、各々のシャーレに蒸留水を約20cc注入した。このシャーレを、それぞれの植物の種子について、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。

キツネアザミ、ハルノノゲシについては、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期待されている（荒木ら 2003）。本研究では、上記の蒸留水を加えたシャーレに入れた植物の種子を、4℃の薬用保冷庫（サンヨー, MEDICCOOLMPR-504(H)）で保管することによって、2ヶ月間冷湿処理を施した。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。

異なる環境下における栽培実験

前栽培と初期サンプリング

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（約95mL容量）に一個体ずつ移植し、群馬大学荒牧キャンパス内の圃場で栽培した。栽培中は、1日に1度水道水を十分に与えた。

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見かけのサイズが大きい順に並べ、これを順番に等区分して、区分毎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毎に根・茎・葉に分けて紙袋に入れ、送風定温乾燥機 (DRS620DA, ADVANTEC) に入れて 80°C で 1 週間ほど乾燥させた後、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 206312 ドットとした。

光強度を調節した栽培実験

発芽実験に用いたオトコエシ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、絶滅危惧種A、イヌトウバナ、ミゾコウジュの6種類の在来植物について行った。寒冷紗を用いて相対光量密度を 3%、9%、13%、100% (裸地) に調節した4つの光条件区を群馬大学荒牧キャンパス内の裸地に設けた。これらの光条件区内にポット植え苗を入れて栽培した。栽培期間中は1日に1回水道水を与えた。肥料は与えていない。

気温を調節した栽培実験

光強度を調節した栽培実験に用いた在来植物に加えて、ビオトープに繁茂している外来植物種についても実験を行った。2008年6月19日にアドバンテスト・ビオトープで種子を採取したイヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシ、2016年2月23日に群馬大学荒牧キャンパス内で種子を採取したメリケンカルカヤで、これら外来植物は三輪 (2017) との共同研究として行った。群馬大学荒牧キャンパス内にガラス温室 (サイズはおよそ500×200×250cm) を設置し、換気調節を行うことによって、外気温と比べて平均気温が約 2.4°C 上昇するように調節した区 (+2.4°C 区) および +0°C (コントロール) 区として、前述の光強度を調節した栽培実験の際の100%区内にポット植え苗を入れて約1ヶ月間栽培した。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。

大気中 CO₂ 濃度を調節した栽培実験

イヌムギについて行った。

グロースキャビネット (MLR-350T, SANYO、内部にLED白熱電球を増設して昼間の相対光量子密度を約380-400 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、25/20°C (昼/夜) に調節した) 中の大気中CO₂濃度を、CO₂コントローラ (PPM-3, C. A. P) とCO₂ボンベガス (100%) とソーダ石灰 (CO₂吸収剤) を組み合わせた制御システムを用いて調節し、産業革命前の低濃度 (制御目標値270ppm)、20世紀末から現在までの平均濃度 (制御目標値400ppm)、および21世紀中に到達してしまうと推定されている最高濃度 (制御目標値1000ppm) の3区を設定した。各区における実際のCO₂濃度はCO₂計 (GM70, VAISALA) で1時間おきに自動測定したところ、それぞれ約260

±45 (SD) ppm、410±39 (SD) ppm、1254±70 (SD) ppmとなった。そこで本研究では、それぞれのCO₂濃度処理区を270ppm区、400ppm区、1000ppm区と称することとした。これらの中でイヌムギを2週間栽培した。栽培期間中は1〜2日おきに水道水を与えた。肥料は与えていない。

実験スケジュールを表3に示す。

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。

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。

<生長パラメータと計算方法>

・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。

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

TW1 : 初回サンプリングにおける個体総乾燥重量(g)

TW2 : 最終サンプリングにおける個体総乾燥重量(g)

T1 : 初回サンプリング日

T2 : 最終サンプリング日

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

$$NAR = (TW2 - TW1) (\ln(LA2) - \ln(LA1)) / (LA2 - LA1) / (T2 - T1) \quad (g \ m^{-2} \ day^{-1})$$

TW1 : 初期サンプリング日における個体総乾燥重量(g)

TW2 : 最終サンプリング日における個体総乾燥重量(g)

LA1 : T1 における個体の葉面積 (m²)

LA2 : T2 における個体の葉面積 (m²)

T1 : 初回サンプリング日

T2 : 最終サンプリング日

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

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

TW1 : 初期サンプリングにおける個体総乾燥重量(g)

TW2 : 最終サンプリングにおける個体総乾燥重量(g)

LA1 : T1 における個体の葉面積 (m²)

LA2 : T2 における個体の葉面積 (m²)

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

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

LA : 最終サンプリングにおける個体の葉面積 (m²)

TW : 最終サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)

- ・器官別重量比 : 光合成産物をそれぞれの器官にどれくらい配分したかを示す指標。
- ・葉重比 (LWR : Leaf Weight Ratio) $(g \text{ g}^{-1})$

$$LWR=LW/TW$$

LW : 最終サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)

TW : 最終サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

- ・茎重比 (SWR : Stem Weight Ratio)

$$SWR=SW/TW$$

SW : 最終サンプリングにおける個体の茎乾燥重量 (g)

TW : 最終サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

- ・根重比 (RWR : Root Weight Ratio)

$$RWR=RW/TW$$

RW : 最終サンプリングにおける個体の根乾燥重量 (g)

TW : 最終サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

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、外来種34種の計116種の生育と開花が確認された（表5）。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）、また、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72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）、昨年は在来種107種、外来種33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が、在来種は去年、2001年以降で初めて100種を超え、在来種が生育しやすい環境が維持されているといえる。

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、2012年度の調査ではそれぞれ約23.6%、約30.9%、約31.9%、約28.0%であった（関 2016; 石田 2015; 春原 2014; 浦野 2013）。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言える。3年前の2013年度の調査から現在まで継続して確認された外来種は、要注意外来生物であるアメリカセンダングサ、ハルジオンなどをはじめとする13種であった。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が、そのなかで、セイタカアワダチソウとヒメモロコシは2011年の調査から継続して確認されているこれらの外来植物種に対しては引き抜きまたは刈り取りによる勢力抑制が有効であると考えられる。根絶は難しいものの、継続して勢力抑制を図る必要がある。

今年度の調査で確認された外来種のうち、12種が危険外来生物、要注意外来生物であり、ビオトープ内の生態系を脅かすおそれがあり、注意が必要である。また、危険外来生物、要注意外来生物でなくとも、イヌムギ、カモガヤなどをはじめとする外来生物は、繁殖力が高く、あらゆる環境に耐性をもつものも多くあるため、在来種に影響をおよぼすおそれがある。

今年度も昨年に引き続き絶滅危惧種 A、ミゾコウジュ、アサザ、ミコシガヤといった準絶滅危惧種が確認された。またイヌトウバナやノコンギクなど里山植物も多数継続して生育が確認された。

絶滅危惧種 A はアドバンテスト・ビオトープでの自生が初めて確認された2006年以来個体数はあまり増加せず、2010年に至っても2個体を確認しただけであった（青木

2011)。2011 年の調査でも確認個体数が少なかった（松田 2012）ため、2011 年 5 月 26 日に の自生地で採取した絶滅危惧種 A の苗を 5 月 30 日に挿し木し、群馬大学 荒牧キャンパス内の裸地で栽培し、2011 年 10 月 27 日に本ビオトープの池の端の盛り土 に移植した（松田 2012）。その後主な生長期（7 月）以前に草刈りを行い、光環境を改 善したことで 2012 年は、盛り土に移植した個体で初めて開花が確認され、昨年度の調査 でも開花を確認した（浦野 2013；関 2016）。今年度の調査では、4 月 22 日の調査で 5 個体が確認でき、その後の調査においても継続して確認することができた。

2012 年 9 月 20 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、緊急避難対策としてアドバンテスト・ビ オトープ内の池に移植した。しかし、2012 年に移植したアサザは、継続して生育はして いたものの生育不良であった。そこで 2015 年 5 月 20 日の調査の際に、本研究室で栽培 していたアサザを、これまでと同じ池内の水深が浅く、水の流れが緩やかで陽当たりの 良い地点に再移植した。6 月 24 日の調査の際には、開花こそ確認できなかったが、広い 範囲にわたり生育している様子がみられた。

これらの希少種については、周辺に繁茂する外来植物等の刈り取り、引き抜きを行い、 脅威を減らし、良好な生育環境を保つことが個体維持のためには重要である。また、ア サザに関しては、昨年度の移植の際、苗を石にくくりつけたり、苗の周辺に竹の囲いを 設けたりしたことで、苗が流失してしまうことを防ぐことができた。今後も生育状況を モニタリングし、適切な管理を行うことでより良い生育環境を整えていくことが重要で 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 6）。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 種昨年度の調査では在来種 107 種（石田 2015）、外来種 42 種の計 149 種が 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。

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絶滅危惧 II 類のコギシギ シ、準絶滅危惧種のカワヂシャ、ミゾコウジュである。竣工直後から確認されているコ ギシギシ、2012 年から引き続き確認されているカワヂシャとミゾコウジュの 3 種につい ては今年度も生育が確認された。

2016 年度のチノー・ビオトープの帰化率は約 32.4%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)、昨年度は 28.2% (関 2016) 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 (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、2013 年、2014 年 (石田 2015 ; 春原 2014) は 5 種、昨年度 (関 2016) は 6 種であり、今年度は 5 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。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、ユウゲシヨウの 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。

2012 年に、緊急避難対策として、矢場川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 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。今年は、開花がみられたので順調に生育しているといえる。

2012 年 7 月 30 日に前述のアサザを本ビオトープ内のトンボの池 (写真 3 下) に移植した (都丸 2013)。そして本年度は、池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、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)。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。本年は開花を確認することはできなかったが、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、オトコエシ、ヤマハギなど、榛名山西部の里山にも生育している (高橋 2009 ; 赤上 2011 ; 荒川 2012) 種が見られた。また、本年度の調査ではスマレ、ヤグルマソウが本ビオトープ内で初めて確認された。これら里山で確認されている在来植物種数 (塚越 2013) に比べると、本ビオトープ内で生育している種数は少ないものの、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 14 上) 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。

これをうけて昨年度、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（写真 14 下）。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。本年度、これらのササバモの確認をしたところ、素焼き鉢に、ササバモは付着しておらず、確認することができなかった。しかし、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ついては、今後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

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（表 7）。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。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。2014 年度の調査において出現種数が少なくなっているのは、調査回数が 4 月、5 月の計 2 回であったためとみられる。

今年度の調査では、2012 年度以降の調査において毎年確認されている絶滅危惧種Ⅱ類のコギシギシは土手および川辺で確認することができた。2013 年の調査でコギシギシを確認した土手では、2014 年に開花前に草刈りされてしまったため、2014 年度は確認することができなかった（石田 2015）。そこで 2015 年 4 月 17 日に、本研究室で 2014 年から栽培していた当地産コギシギシを、本調整池の土手に移植した。2015 年 5 月の調査においては、この植栽個体および自生個体の結実を確認し種子を採取した（関 2016）。本年度も、植栽個体、自生個体の結実を確認することができた。今後は草刈りを、コギシギシの開花・結実後に行うように、管理計画を見直す必要がある。

本年度の調査では、カワヂシャ、ミゾコウジュをはじめとした準絶滅危惧種、絶滅危惧Ⅱ類の植物計 4 種を確認することができた。川辺と開けた場所においてはカワヂシャ

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。また、2015 年度の調査（関 2016）では 2013 年の調査（浦野 2013）を最後に確認できていなかったミゾコウジュを住宅側の平地で確認することができた。そして本年度の調査でも確認することができた。

また、2012 年 9 月に浦野ら（2013）が本調整池に移植したアサザは、開花が確認できたものの、一部流失しかけていた。今後は水の流れが緩やかな（あるいは流れのない）地点に移植し、生育状況をモニタリングする必要がある。

調整池内の湿地では、ミコシガヤの生育を確認することができた。ミコシガヤは、2013 年、2014 年、2015 年の調査でも生育が確認されており（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。

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いえる。

一方で、オランダガラシ、キシユウスズメノヒエ、セイタカアワダチソウなど 2012 年から引き続き確認された要注意外来生物は 5 種であり、加えて群馬県危険外来種であるナガミヒナゲシも 2012 年から引き続き確認されている。また、園芸種については昨年の調査で 7 種の生育が確認されたが（関 2016）、今年の調査では 7 種の生育が確認された。また、今回の調査で確認された危険外来生物、要注意外来生物はヒメモロコシ、アレチウリなどをはじめとして計 12 種であった。一方で、ヒデリコ、アゼナなど、これまでの調査ではみられなかった新たな在来種も確認された。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、生態系の破壊へとつながりかねない、危険な状況である。アドバンテスト・ビオトープ、チノー・ビオトープでは、継続的に外来種および園芸種の引き抜きまたは刈り取り除去を行っていて、一定の効果が出ている。当調整池においても、継続的に引き抜きまたは刈り取りを行っていくことが有効な管理方法であると考えられる。

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生育しやすい環境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これまでの課題であったが、今後の課題でもある。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。今後もこれらの組織と共同で、モニタリング調査及びこれを基にした管理計画の提案を行っていく必要がある。

体積土壌含水率

アドバンテスト・ビオトープ内の絶滅危惧種 A 生育地 2 地点において測定した体積土壌含水率（ θ , m^3 , m^3 ）は 0.43～0.68 の範囲であった（表 11）。2011 年に松田（2012）

が植栽を開始した水辺の左岸にある盛り土では、2016年5月27日の測定において盛り土の下で0.43となった。また、2012年に新たに絶滅危惧種Aが自生していることが確認された右岸では0.67～0.68の範囲となった。2013年に測定を行った際には、左岸にある盛り土の上で0.30～0.45、盛り土の下で0.28～0.44、右岸の自生地で0.51～0.79の範囲となり（浦野 2013）、2015年には、右岸で0.65～0.89、左岸の盛り土の上で0.27～0.41、盛り土の下で0.27～0.39であり（関 2016）、本年度と同様、右岸での測定値が大きくなった。

以上の結果から絶滅危惧種Aは比較的広い範囲の土壌含水率で生育可能であると考えられる。

チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種Aを植栽した1地点および絶滅危惧種Aの生育が不良であった1地点の計3地点において測定した体積土壌含水率（ θ , m^3 , m^3 ）は0.12～0.53の範囲であった（表12）。2015年5月25日の調査の際に絶滅危惧種Aを植栽した地点の内、トンボの池南側で0.53となった。また、絶滅危惧種A失敗地点で0.12と、非常に小さな値を示した。2015年の測定でも、トンボの池南側で0.40～0.45絶滅危惧種A失敗地点で0.11～0.36となり、同様の傾向がみられた。

2015年の結果もふまえ、絶滅危惧種Aの生育は、チノー・ビオトープ内の体積土壌含水率0.11～0.36の地点ではうまくいかず、アドバンテスト・ビオトープ内の0.28～0.44の地点では生育が可能であり、測定値0.65～0.89の地点でも生育が可能であるといえる。

以上の結果から絶滅危惧種Aは比較的広い範囲の土壌含水率で生育可能であるが、土壌含水率が極端に低いと生育不良になると考えられる。

発芽の温度依存性実験

イヌビエ

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は10/6℃区で0%、17/8℃区で0%、22/10℃区で0%、25/13℃区で1.3%、30/15℃区で0.7%となった（表9、図16）。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、17/8℃区以上の温度区で2週間以内にほぼ100%が発芽するという結果を得ている。本種におけるこうした冷湿処理と発芽速度・発芽率の関係について、今後追試験が必要である。

チカラシバ

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は10/6℃区で0%、17/8℃区で0.7%、22/10℃区で2.0%、25/13℃区で10.0%、30/15℃区で27.3%となった（表9、図17）。いずれの処理区でも発芽率はあまり高くなかったが、実験終了後に23℃の実験室にシャーレを放置したところ、残りの種子のほぼ全てが発芽した。したがって本種の発芽最適温度は23℃～30℃であるが、発芽までに2ヶ月以上かかるものと推察される。また狩谷

(2004) はチカラシバ種子に 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、17/8℃区以上の温度区で 2 週間以内にほぼ 100%が発芽するという結果を得ている。本種におけるこうした冷湿処理と発芽速度・発芽率の関係について、今後追試験が必要である。

オトコエシ

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は10/6℃区で91.3%、17/8℃区で99.3%、22/10℃区で95.3%、25/13℃区で64.7%、30/15℃区で84.0%と、いずれの温度区においても高い値となった(表9、図18)。足助(2016)が2015年に本種の種子を2ヶ月間冷湿処理した後に同様の実験を行ったところ、22/10℃以下の温度区では本実験結果と同様の結果を得ているが、25/13℃以上の温度区では最終発芽率が約35%~39%と低くなった。

足助(2016)はまた、25/13℃区での本種の最終発芽率が、冷湿処理を施した種子で約39%、施さない種子で56%と、冷湿処理を施すと発芽率が低下したことから、冷湿処理による本種の種子の発芽促進効果があるとは考えにくいと考察している。これらの結果を総合すると、本種の種子は成熟直後には10/6℃~30/15℃の幅広い温度域でよく発芽するが、冷湿処理、すなわち冬を経験すると、次のシーズンには25/13℃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。本種の成熟期は晩秋であり、野外では散布後の冬季~春季にかけて発芽することで、長い生育期間を確保することができ、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推察できる。または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思われる。温暖化によって引き起こされる冬季の短縮は、二次休眠の誘導を阻害し、土壌シードバンクを形成しにくくするかもしれない。

キツネアザミ

2ヶ月間の冷湿処理を施した後に培養した種子の最終発芽率は、10/6℃区で0%、17/8℃区で34.0%、22/10℃区で86.0%、25/13℃区で92.7%、30/15℃区で94.0%と、高い温度区ほど高くなった。また冷湿処理を施さず、25/13℃区で培養した種子の最終発芽率は、96.0%であった(表9、図19)。本種の種子における発芽の最適温度は22/10℃以上の高温区であると考えられる。また冷湿処理による本種の種子の発芽促進はないと考えられる。以上の結果から、野外において本種は種子散布の翌年の春から速やかに発芽を開始し、夏までにほとんどの種子が発芽して、土壌シードバンクを形成しないと推察される。したがって温暖化によって引き起こされる気温上昇、冬季の短縮によって、発芽季節がより早くなる可能性があると考えられる。

ハルノノゲシ

2ヶ月間の冷湿処理を施した後に培養した種子の最終発芽率は10/6℃区で84.7%、

17/8℃区で 90.7%、22/10℃区で 90.0%、25/13℃区で 81.3%、30/15℃区で 82.7%と全ての区で高い値となった。また冷湿処理を施さず、25/13℃区で培養した種子の最終発芽率は 100%であった（表 9、図 20）。

2004 年に本種の種子について行われた同様の実験（佐藤 2005）では、34 日間の冷湿処理を施した後に培養した種子の最終発芽率はすべての温度区で 85%以上となった。また、冷湿処理を施した場合と施さない場合の間に、種子の最終発芽率の有意な差はみられなかった。

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、土壤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ことが考えられる。

絶滅危惧種 A

冷湿処理を施さずに培養した谷田川産の種子の最終発芽率は 10/6℃区で 11.3%、17/8℃区で 11.3%、22/10℃区で 15.3%、25/13℃区で 20.7%、30/15℃区で 12.7%、矢場川産の種子の最終発芽率は、10/6℃区で 26.0%、17/8℃区で 29.3%、22/10℃区で 24.7%、25/13℃区で 29.3%、30/15℃区で 29.3%となった（表 9、図 21、22）。

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。

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。これら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いたと考えられる。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）。そのため、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℃区でアドバンテスト・ビオトープ産 50.7%、 産 47.3%）。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℃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℃区で培養した場合の最終発芽率が 22.7%であった。今回の実験でも、25/13℃で培養した場合の最終発芽率は同程度となった。また、各温度区の最終発芽率について有意な差は見られず、冷湿処理による種子への影響がないことが推察される。石田 (2015) は、種子を選別する段階で未成熟なものを選んでしまった可能性、あるいは-80℃の冷凍保存の影響の可能性があり、今回の実験でも、同様の可能性があることが推察される。

産の種子を用いて行った今回の実験において、いずれの温度区においても最終発芽率が 10%~30%となった原因としては、種子を選別する段階で未成熟なものを選んでしまった可能性、あるいは採取された種子自体が未成熟なものを含んでいた可能性が考えられる。

オカトラノオ

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は 10/6℃区で 2.0%、17/8℃区で 6.0%、22/10℃区で 40.7%、25/13℃区で 68.0%、30/15℃区で 41.3%と、25/13℃区で最も高い値となった (表 9、図 23)。一方、17/8℃以下の温度区では発芽率が低く、6%以下であった。以上の結果から、本種の種子発芽の最適温度は 25/13℃区であると考えられる。

イヌトウバナ

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は 10/6℃区で 0.7%、17/8℃区で 7.3%、22/10℃区で 56.0%、25/13℃区で 76.0%、30/15℃区で 68.7%となった (表 9、図 24)。

石田 (2015) の先行研究では、2 ヶ月間の冷湿処理を施し、各温度区で培養した場合の最終発芽率が 10/6℃区で 2.0%、17/8℃区で 6.0%、22/10℃区で 64.0%、25/13℃区で 53.3%、30/15℃区で 60.0%であった。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は 10/6℃区で 60.0%、17/8℃区で 66.7%、22/10℃で 72.7%、25/13℃区で 72.7%、30/15℃区で 67.3%であった。いずれも、22/10℃区以上の温度区での最終発芽率について有意な差は見られないが、それ以下の温度区では違いがみられた。

以上の結果から、本種は野外においては、冬季にはほとんど発芽せず、春から夏にかけて発芽すると推察される。また、冷湿処理を施して実験を行った石田 (2015) の結果と比較しても最終発芽率に有意な差は見られず、冷湿処理による本種の種子への影響はないと考えられる。また、関 (2016) は、本種の種子が-80℃のディープフリーザーで保存後もある程度の期間、一定の発芽率を維持していることを明らかにし、本種の種子を

人工的に冷凍保存して、個体群の維持を保障することも効果的と考えられるとしたが、本実験において同様のことが結論づけられるといえる。低温度区での最終発芽率の差については、今後も実験を繰り返し、解明する必要がある。

ミゾコウジュ

冷湿処理を施さずに培養した種子の最終発芽率は10/6℃区で0.0%、17/8℃区で0.7%、22/10℃区で6.0%、25/13℃区で42.0%、30/15℃区で55.3%となった（表9、図25）。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（22/10℃区～30/15℃区）で発芽率が高く（42.0%～94.6%）、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おり、今回の実験では、板倉ニュータウン内の調整池（通称・朝日乃池）で採取された種子を用いている。

上記の結果から、浦野（2013）は、アドバンテスト・ビオトープ産またはチノー・ビオトープ産のミゾコウジュの種子に関しては、生産・散布された翌年の夏までに大部分が発芽し、土壌シードバンクを形成しないものと推察し、従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している。そのため、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の、断続的な草刈り管理などが不可欠といえる。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。

朝日乃池で採取された種子に関しては、各ビオトープ産の種子を用いて行われた先行研究と比較すると最終発芽率が低く、22/10℃区においては非常に低い値となった。

以上の結果から、ビオトープ産の種子と比べ、発芽に必要な最低温度が高く、より早い時期に芽生える可能性、土壌シードバンクをより形成しやすい可能性があることが推察される。この違いは、生育場所、周辺環境の影響など、様々な可能性が考えられ、今後も実験を継続し、解明していく必要がある。

コギシギシ

冷湿処理を施さずに培養した男井戸川産種子の最終発芽率は10/6℃区で0.7%、17/8℃区で1.3%、22/10℃区で4.0%、25/13℃区で22.0%、30/15℃区で12.7%とすべての温度区において低い値となった（表9、図26）。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℃、30/15℃の温度区で84.0%～84.7%と高い値となり、すべての温度区において約64～84%の範囲であった（都丸2013）。また、冷湿処理を施さず、最適温度である25/13℃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。

先行研究の結果からは、本種の種子発芽は温度依存性があまりなく、休眠性もないため土壌シードバンクを形成しないと考えられる。したがって本種は、四季を通じて野外で発芽するものの、生育中の個体群が何らかの破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。本種の野外での発芽場所の確保や、生育中の個体群の生長・生存を可能にするための、継続的な草刈り管理などが不可欠といえる。

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。

今回の実験において、すべての温度区で発芽率が低くなった原因として、種子が未成熟であった可能性あるいは種子の選別の際、未成熟なものを選んでしまった可能性が考えられる。

異なる光条件下で栽培した植物の生長解析

群馬大学荒牧キャンパス構内および温室内の気温を図 27 に示す。栽培期間中の群馬大学荒牧キャンパス内圃場の気温の経時変化を示す。7 月から 10 月までの栽培実験期間中の気温は、おおむね 15°C ~ 35°C の範囲であった。

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 0.061g であったものが、22 日後の最終サンプリング時には 0.055g (3%区) ~ 0.250g (100%区) となった (表 10)。

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 0.004、9%区で 0.042、13%区で 0.052、100%区で 0.061 (表 11、図 28) と光条件が良いほど大きい値となり、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%区では約 0.136、9%区では約 1.705、13%区では約 2.432、100%区では約 3.893 (表 11、図 28) と光条件が良いほど大きい値となった。

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、3%区では約 0.033、9%区では約 0.027、13%区では約 0.024、100%区では約 0.021 (表 11、図 28) と、暗い光条件下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。

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 0.055、13%区では約 0.046、100%区では約 0.029 (表 11、図 28) 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 47%と最も大きく、100%区で約 32%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 36%と最も大きく、100%区で約 31%と最も小さくなった。根の重量比である RWR は、100%区で約 37%と最も大きく、3%区で約 17%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、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良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登推察される。

足助 (2016) の実験では 100%区での RGR の値 (0.21) が 13%区 (0.044) と 9%区 (0.036) より低いという、今回の実験とは異なる結果が得られており、RGR が 9%区、13%区で高くなり、3%区と 100%区で低くなったのは、LAR と NAR の変化によるもので、オトコエシは陽当たりの良い裸地よりも、他の植物などによって被陰される環境で良く生長するとしている。この違いは、今後追試を行うことで解明していく必要がある。

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 0.042g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.039g (3%区) ~0.178g (100%区) となった (表 10)。

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-0.005、9%区で 0.050、13%区で 0.052、100%区で 0.067 (表 11、図 29) と光条件が良いほど大きい値となり、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%区ではほぼゼロ、9%区では約 1.262、13%区では約 1.468、100%区では約 2.989 (表 11、図 29) と光条件が良いほど大きい値となった。

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、3%区、9%区では約 0.039、13%区では約 0.035、100%区では約 0.026 (表 11、図 29) 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 0.088、9%区では約 0.073、13%区では約 0.065、100%区では約 0.037（表 11、図 29）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 は処理区間で有意な差はなく、約 51%であった。茎の重量比である SWR は、3%区で約 32%と最も大きく、100%区で約 20%と最も小さくなった。根の重量比である RWR は、100%区で約 36%と最も大きく、9%区で約 17%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 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、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。しかしながら、本種の生長に対する光環境の影響をみた研究は今回が初めてであり、本年の結果を踏まえて今後も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。

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 0.044g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.044g（3%区）～0.420g（100%区）となった（表 10）。

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 0.052、13%区で 0.059、100%区で 0.106（表 11、図 30）と光条件が良いほど大きい値となり、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%区ではほぼゼロ、9%区では約 1.193、13%区では約 1.444、100%区では約 5.709（表 11、図 30）と光条件が良いほど大きい値となった。

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、3%区では約 0.056、9%区では約 0.046、13%区では約 0.044、100%区では約 0.031（表 11、図 30）と暗い光条件下ほど大きい値となった。

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} ）は、3%区では約 0.11、9%区では約 0.065、13%区では約 0.067、100%区では約 0.025（表 11、図 30）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 41%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 は処理区間で有意な差はなく、約 22%であった。根の重量比である RWR は、100%区で約 39%と最も大きく、3%区で約 18%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 LRW の値が十分ではなく、NAR の低下を補うことができず、また 100%区においても NAR が低下したため、それぞれの光条件区で 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。しかしながら、本種の生長に対する光環境の影響をみた研究は今回が初めてであり、本年の結果を踏まえて今後も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 0.139g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.159g (3%区) ～0.381g (100%区) となった (表 10)。

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 0.012、9%区で 0.037、13%区で 0.041、100%区で 0.053 (表 11、図 31) と光条件が良いほど大きい値となり、3%区では生長が著しく悪くなった。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。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 0.432、9%区では約 1.772、13%区では約 2.042、100%区では約 3.673 (表 11、図 31) と光条件が良いほど大きい値となった。

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、3%区では約 0.028、9%区では約 0.023、13%区では約 0.021、100%区では約 0.017 (表 11、図 31) と暗い光条件下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。

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 0.074、9%区では約 0.064、13%区では約 0.062、100%区では約 0.030 (表 11、図 31) 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 は処理区間で有意な差はなく、約 32%であった。茎の重量比である SWR は処理区間で有意な差はなく、約 23%であった。根の重量比である RWR は処理区間で有意な差はなく、約 45%であった。

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、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、暗い環境下では NAR の低下を補うことができず、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、土壌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。そのため、本種が他の植物と共存することが可能かどうかは、周辺に生育する植物が本種の光環境にどれほど影響するかに依存すると推察される。

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。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。

イヌトウバナ

イヌトウバナ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.068g であったものが、28 日後の最終サンプリング時には 0.085g（3%区）～0.188g（100%区）となった（表 10）。

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 0.026、13%区で 0.030、100%区で 0.056（表 11、図 32）と光条件が良いほど大きい値となり、3%区では生長が著しく悪くなった。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 0.269、9%区では約 1.068、13%区では約 1.206、100%区では約 2.368（表 11、図 32）と光条件が良いほど

大きい値となった。

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、3%区では約 0.030、9%区～100%区では約 0.021～0.026 (表 11、図 32) と 3%区で最も高くなった。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%区では約 0.040 (表 11、図 32) と、3%区～13%区の値 (約 0.057～0.081) より低い値となった。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は処理区間で有意な差はなく、約 37%であった。茎の重量比である SWR は処理区間で有意な差はなく、約 24%であった。根の重量比である RWR は処理区間で有意な差はなく、約 39%であった。

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、3%区では NAR の低下を補うことができず、また 100%区においても NAR が低下したため、それぞれの光条件区で RGR の低下を起こしてしまったと考えられる。

本種の生育場所は主に山地の木陰で、実際、標高 700m の西榛名地域および標高 1000m の県立榛名公園でも本種の生育が確認されている (小関 2014、福島 2015)。

以上の結果から本種は極端に光条件が悪い環境下では、光合成活性が低下し、生長が悪くなるが、一定以上の陽当たりのある環境下では、十分な生育が可能であると推察される。

関 (2016) の実験では、100%区での RGR の値が 9%区、13%区と比較すると低くなる (9%区で 0.036、13%区で 0.038、100%区で 0.021) という結果が得られており、裸地的な光環境下においても同様に光合成活性が低下して生長が悪くなるとしている。今回の実験ではサンプル個体数が 5～6 と少なく、正確な値を得ることができなかった可能性があり、今後も実験を繰り返すことで、結果の精度を高めていく必要がある。

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 0.051g であったものが、21 日後の最終サンプリング時には 0.043g (3%区) ～0.083g (100%区) となった (表 10)。

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 0.020、13%区で 0.019、100%区で 0.023 (表 11、図 33) と、3%区で全く生長せず、それ以外の条件区では有意な差はみられなかった。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%区ではほぼゼロ、9%区では約

0.616、13%区では約 0.665、100%区では約 1.189（表 11、図 33）と光条件が良いほど大きい値となった。

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、3%区では約 0.041、9%区では約 0.033、13%区では約 0.029、100%区では約 0.022（表 11、図 33）と暗い光条件下ほど大きい値となった。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。また本種は 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、結果として 100%の光条件下と同等の RGR を達成しているといえる。

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 0.086、9%区では約 0.063、13%区では約 0.052、100%区では約 0.032（表 11、図 33）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 58%と最も大きく、100%区で約 41%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 は処理区間で有意な差はなく、約 13%であった。根の重量比である RWR は、100%区で約 46%と最も大きく、3%区で約 27%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、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。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 100%の光条件下と同等の RGR を達成しているが、3%では NAR がゼロになってしまうため生長できないといえる。

浦野 (2013) の同様の実験でも、RGR の値は 3%区で約 0.014、100%区で約 0.060、関 (2016) が行った実験でも、3%区では約 0.014、100%区では約 0.060 と今回の実験と同様の傾向がみられている。

青木 (2011) の実験では、7月から8月に異なる光条件下 (相対光量子密度 3%、13%、100%) でミゾコウジュを栽培した結果、裸地のような光環境であれば良く生長することを示した。相対光量子密度 100%区 (裸地) で栽培したミゾコウジュは、RGR が約 0.1、NAR が約 4.2、LAR が約 0.04 と、今回の結果と比べると RGR、NAR、LAR の値がそれぞれ高かった。これは青木 (2011) は栽培中に液肥 (ハイポネックス) を与えていたが、今回の実験および浦野 (2013)、関 (2016) の実験では与えていないためと考えられる。

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。

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 25℃～40℃の範囲内にあり、平均で約 2.4℃、外気温よりも高かった。

外来植物

外来植物種の生長解析結果は、表11および、図34～42に示す。オオブタクサ、ハリエンジュ、アメリカセンダングサ、ナヨクサフジは佐藤氏の実験によるものである。

相対生長速度 (RGR) がコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に高くなった種はイヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシ、ナヨクサフジ ($p < 0.01$) であり、オオブタクサ (前橋産)、ハリエンジュ、アメリカセンダングサにおいては逆に有意に低下した。菅平産のオオブタクサではRGRには処理区間で有意差が検出できなかったが、NARおよびLARの反応は前橋産のものと同じ結果であったので、サンプル数に比べて生長にばらつきが大きいこと起因する統計学的過誤であると思われる。

イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシ、ナヨクサフジの純同化率 (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℃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。

オオブタクサ (前橋産)、ハリエンジュ、アメリカセンダングサのNARがコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に低くなった ($p < 0.01$) ことから、光合成活性の低下がRGR低下の主要因であると考えられる。

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℃上昇区の間で有意な差はなかった。

ビオトープに生育する在来植物

ビオトープに生育する在来植物の生長解析結果は、表11および、図43～48に示す。カラスノエンドウは佐藤氏の実験によるものである。

相対生長速度 (RGR) がコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に高くなった ($p < 0.01$) 種は、カラスノエンドウのみであった。

カラスノエンドウの純同化率 (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℃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。

相対生長速度 (RGR) がコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に低くなった種は、ハルノノゲシ、キツネアザミであった。この2種ではNARがコントロール区に比べて2.4℃

上昇区で有意に低くなった ($p < 0.01$) ことから、光合成活性の低下がRGR低下の主要因であると考えられる。

オトコエシ絶滅危惧種A、イヌトウバナ、ミゾコウジュいずれにおいても、相対生長速度 (RGR) はコントロール区と2.4℃上昇区の間で有意な差はなかった。足助 (2016) が行った実験では、オトコエシのRGRはコントロール区の約0.021に対し、気温上昇 (この場合は2℃) 区で約0.030と高くなり、NARもコントロール区の約1.335に対し、気温上昇区では約1.657と高くなった。関 (2016) が行った実験では、絶滅危惧種A、イヌトウバナは同様に気温上昇 (この場合は2℃) の影響を受けないという結果であった。しかしミゾコウジュではRGRの値がコントロール区で0.060、2℃上昇区で0.051となり、NARはコントロール区で3.460、2℃上昇区では2.495といずれも2℃上昇区の値が区コントロール区よりも高くなった。オトコエシ、ミゾコウジュについては、追試を再度行って結果の確度を高める必要がある。

榛名公園 (標高が 1000m を越える里山) に生育する在来植物

標高が1000mを越える里山である榛名公園に生育する在来植物 (篠原氏実験分) の生長解析結果は、表11および、図49～52に示す。

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

カセンソウ、サラシナショウマの純同化率 (NAR) はがコントロール区に比べて2.4℃上昇区で有意に低くなり ($p < 0.01$)、葉面積比 (LAR) に処理区間で有意な差はなかったため、光合成活性の低下がRGR低下の主要因であると考えられる。

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

里地・里山 (標高 700m 以下) に生育する在来植物

標高が700m以下の里地・里山に生育する在来植物 (山里氏実験分) の生長解析結果は、表11および、図53～59に示す。

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

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

ジョウロウスゲ、ミヤコアザミにおいてはNARがコントロール区に比べて2.4°C上昇区で有意に低くなった ($p < 0.01$) ことから、光合成活性の低下がRGR低下の主要因であると考えられる。

各植物のRGR、LAR、NARについて行った分散分析結果は、表12にまとめた。この結果から、植物の生長に対する地球温暖化の直接影響は種ごとに異なるが、おおまかには植物の起源と生育場所によって影響が整理できると考えられる。

すなわち、標高が1000mを越える里山である榛名公園に生育する在来植物は、カセンソウ、サラシナショウマのように2.4°C程度の気温上昇によってNARすなわち光合成系が阻害されることによって生長低下を引き起こすことがある。エゾカワラナデシコは気温上昇によりNARもLARも低下しないため、生長も低下しないと考えられる。

標高が700m以下の里地・里山およびビオトープに生育する在来植物の多くは、2.4°C程度の気温上昇によってNARすなわち光合成系が活性化されるか影響を受けず、生長が促進されるかあるいは低下を引き起こすことがない。しかし、ハルノノゲシおよびキツネアザミのような冬季一年生草本は、2.4°C程度の気温上昇によってNARすなわち光合成系が阻害され、生長低下を引き起こす。湿地生植物であるジョウロウスゲ、ミヤコアザミも2.4°C程度の気温上昇によって光合成系が阻害され、生長低下を引き起こす。

イネ科のC₃外来植物種であるイヌムギとカモガヤおよびタデ科のC₃外来植物種であるナガバギシギシは、2.4°C程度の気温上昇によって生長が促進されるが、NARすなわち光合成系は影響を受けず、生長促進は葉 (LAR) の増加によるものといえる。イネ科のメリケンカルカヤは、高温乾燥に強いと言われるC₄植物の1種であるため、少なくとも2.4°C程度の気温上昇によっては全く影響を受けないと考えられる。しかし他の科の外来植物は、冬季一年生植物であるナヨクサフジを除いて2.4°C程度の気温上昇によりNARすなわち光合成系が阻害され、その結果生長低下を引き起こすことがある。オオブタクサ、ハリエンジュ、アメリカセンダングサは河川敷など湿性環境に多く生育するので、在来の湿性植物同様、温暖化に弱いのかもしれない。

イヌムギ実生の生長に対する異なる CO₂ 濃度の影響

初期サンプリング時に0.144gであった個体乾燥重量は、270ppm区で0.246g、400ppm区で0.275g、1000ppm区で0.278gとなった (表10)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、270ppm区で0.014、400ppm区で0.030、1000ppm

区で 0.034 と高 CO_2 濃度区ほど高い値となった ($p < 0.01$) が、400ppm 区と 1000ppm 区間では有意な差はなかった (表 11、図 60)。

純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は 270ppm 区で 1.057、400ppm 区で 2.530、1000ppm 区で 2.978 と高 CO_2 濃度区ほど高い値となった ($p < 0.01$) が、400ppm 区と 1000ppm 区間では有意な差はなかった (表 11、図 60)。

葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は、270ppm 区で 0.014、400ppm 区で 0.012、1000ppm 区で 0.012 と CO_2 濃度区間で有意な差はみられなかった (表 11、図 60)。

比葉面積 (SLA, m^2g^{-1}) は、270ppm 区で 0.029、400ppm 区で 0.026、1000ppm 区で 0.025 と低 CO_2 濃度区ほど高い値となった (表 11、図 60)。

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く、約 39% であった。茎の重量比である SWR は処理区間で有意な差はなく、約 17% であった。根の重量比である RWR は処理区間で有意な差はなく、約 44% であった。

以上の結果より、イヌムギは産業革命後現在までの人為的な大気中 CO_2 濃度上昇によって、光合成活性が促進されたため生長も促進されたといえる。しかし今後 21 世紀末までに起こりうると想定されているさらなる大気中 CO_2 濃度上昇によって、本種の生長は促進されないと考えられる。

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。本来、人為的な移入は自然界で起こることはなく、人が介入することで生態系を脅かすおそれがある。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。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。

アドバンテスト・ビオトープでは在来種 82 種、外来種 34 種の計 116 種の生育が確認された。直近 4 年間は総種数 80~120 種程度を確認することができていて、依然として動的平衡状態を保っているといえる。確認できた種の中には、絶滅危惧種 A やミゾコウジュといった湿地性絶滅危惧種や、イヌトウバナ、ノコンギクなどの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。出現植物の総種数に占める外来種の割合は約 29.3%と、これまでの調査で約 18.6% (2006 年) ~約 44.1% (2002 年) の間にあることから、依然平衡状態が続いているといえる。

本ビオトープ内の気温調査から地点間の気温条件は植生や草丈に関連していることが明らかになった。こうした植生による気温の緩和作用は攪乱地を好む外来植物の侵入を発芽レベルで抑制し、また在来植物の生育を促進するものと考えられる (松田 2012)。一方で過去 12 年間にわたって、同ビオトープ内で計測してきた気温のデータをとりまとめたところ、植生による気温の緩和作用が働き気温の上昇を抑制しているはずにも関わらず、気温が上昇している地点があることから温暖化が進んでいる可能性があることがわかった。

本ビオトープで確認された植物のうち、イヌトウバナや絶滅危惧種 A に関して、気温を上昇させて栽培した植物の生長解析では、高温になると光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) が悪化する傾向が見られた。すなわち、高温になるとエネルギーの生産効率が落ち、極端に気温が上昇した場合、生育することが難しくなると推察される。一方で過去の研究によれば、外来植物の中には温度上昇により生長が促進されるものも

いるとしている。今回の実験で用いたイヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシといった外来植物に関しては、温度上昇により成長が促進されることは明らかにならなかったが、生長の阻害は起こらないという結論へ至った。すなわち、気温の上昇が起こった際、これらの植物の生長は阻害されず、準絶滅危惧種であるイヌトウバナや絶滅危惧種 A の生長が阻害されるため、競合の面では、外来生物が有利な状況となる可能性が高い。

また発芽の温度依存性実験では、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、オトコエシの種子が土壌シードバンクをほとんど形成しないものということがわかった。したがってこれらの植物は生育中の個体群が何らかの破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。よって、野外での発芽場所の確保や、生育中の個体群の生長・生存を可能にするための、継続的な草刈り管理および温暖化対策が不可欠といえる。

チノー・ビオトープでは在来種 92 種、外来種 44 種の計 136 種の生育が確認された。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。県の指定する絶滅危惧 I 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、本年度の調査では確認することができなかつたため、別の方法を用いての保護が必要である。

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、今年度は 5 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。

男井戸川遊水池では在来種 69 種、外来種 34 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進んでおり、今年度確認された種数は過去最高であった。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。

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。

またアドバンテスト・ビオトープ内、チノー・ビオトープ内それぞれの絶滅危惧種 A

生育地において土壌含水率を測定した結果絶滅危惧種 A は比較的広い範囲の土壌含水率で生育可能であるが、土壌含水率が極端に低いと生育不良になるということがわかった。

外来植物を異なる温度条件下で栽培し、生長解析を行ったところ、イヌムギ、カモガヤ、ナガバギシギシの 3 種について、温度上昇による生長の促進が確認され、メリケンカルカヤについては、生長の促進はみられないものの、温度上昇による生長の阻害は受けけないことが明らかになった。一方で、ビオトープ内でみられる在来植物および里地・里山（標高 700m 以内）に生育する在来植物は、ジョウロウスゲ、キツネアザミ、ミヤコアザミ、ハルノノゲシの 4 種について、温度上昇による生長の阻害が確認され、榛名公園（標高が 1000m を超える里山）に生育する在来植物については、カセンソウ、サラシナショウマの 2 種について、それぞれ温度上昇による生長の阻害が確認された。

イヌムギの CO₂ 濃度実験では、産業革命後現在までの人為的な大気中 CO₂ 濃度上昇によって、光合成活性が促進されたため生長も促進されたと考えられる。しかし今後 21 世紀末までに起こりうる想定されているさらなる大気中 CO₂ 濃度上昇によって、本種の生長は促進されないと考えられる。

以上のことから、温暖化による気温上昇の影響を受けにくい外来植物と、影響を受けやすい植物の多い在来植物が競合する際は、外来植物が優位であり、在来植物に悪影響をおよぼしかねない。こうした競合性の強い外来植物から希少種を保護するためには、人の手による生育環境の維持、管理が必要不可欠なものとなる。

本年度は、アドバンテスト・ビオトープ内にミゾコウジュ、アサザ、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、群馬県議会議員・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、三輪晏史氏、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え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

- 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.
- B&B Japan (2011) グッドカンパニーの事例に学ぶ 生物多様性へのビジネスアプローチ 株式会社経済法令研究会 4, 5, 7, 116, 125, 126.
- 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.
- 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, 8.
- 足助直紀 (2016) 地球温暖化が植物の発芽・生長におよ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.
- 池田透 (2007) 外来生物が日本を襲う! 青春出版社 38.
- 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.
- 浦野茜詩 (2013) 大型ビオトープとその目標となる植物相に関する生態学研究-東毛の2つのビオトープを中心とした解析- 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 河毛直也 (2011) 発芽・初期成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.
- 狩谷文恵 (2004) 大型ビオトープにおける植物相の育成管理に関する基礎的研究. 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 川道美枝子 岩槻邦男 堂本暁子 (2001) 移入・外来・侵入種 築地書館 21-28.
- 企業が取り組む生物多様性研究会 (2010) 企業が取り組む「生物多様性入門」 日本能率協会マネジメントセンター 36, 37, 90, 91, 92, 97, 98.
- 近自然研究会編 (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 誠文堂新光社 14, 22-24.
- 草刈秀紀 (2010) 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 3.
- 種生物学会編 (2010) 外来生物の生態学 株式会社文一総合出版 12, 61.
- 森林環境研究会 (2009) 生物多様性の日本 森林文化協会 4.
- 杉山恵一 重松敏則 (2002) ビオトープの管理・活用 朝倉書店 5, 80.
- 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 (2014) 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.
- 生物多様性政策研究会編 (2002) 生物多様性キーワード事典 中央法規出版株式会社 38, 208, 209.
- 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.
- 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.
- 日本農学会編 (2008) 外来生物のリスク管理と有効利用 株式会社養賢堂 1, 5, 19, 188, 189.
- 松田紗依 (2012) 大型ビオトープにおける植物種多様性と絶滅危惧植物の育成方法に関する環境科学的研究 群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 松田裕之 (2008) なぜ生態系を守るのか? NTT 出版株式会社 66, 67, 179.
- 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 11, 19.
- 鷺谷いづみ、竹内和彦、西田睦 (2005) 生態系へのまなざし 東京大学出版会 6, 24, 25, 101, 102, 125, 126, 287.
- 鷺谷いづみ (2010) 〈生物多様性〉入門 岩波書店 17, 18, 25, 28, 31, 37, 41, 42.
- 鷺谷いづみ 新・生態学への招待 生物保全の生態学 12, 60, 61.
- 平成 19 年度版 環境循環型社会白書 11.
- 日本生態学会編 生態学入門 第 2 版 229.
- 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価報告書 第 1 作業部会・第 2 作業部会・第 3 作業部会報告書.
- 気象庁 海洋の健康診断表 日本沿岸の海面水位の長期変化傾向
http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html
- 環境省 気候変動枠組条約締約国会議の結果 気候変動の国際交渉
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>
- 1 生物多様性とは-環境白書平成 8 年版 第 2 章 第 1 節 1 生物多様性とは
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/honbun.php3?kid=208&serial=10009&bflg=1>
- 平成 20 年版 環境/循環型社会白書-環境省 第六章
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h20/html/hj08020601.html>
- 環境省 2010 年目標について
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/11345>.
- 環境省 平成 22 年度版 環境白書
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h24/.../hj12010404.html>
- 環境省 2015 年レッドリストの公表について

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

環境省 自然環境局 外来生物法

<https://www.env.go.jp/nature/intro/1outline/law.html>

環境省 自然環境・生物多様性

<http://www.env.go.jp/nature/saisei/law-saisei/>

環境省 生物多様性条約第6回締約国会議の結果について

<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=3307>

国立感染症研究所 我が国のデング熱媒介蚊であるヒトスジシマカの分布域拡大について

<http://idsc.nih.go.jp/iasr/25/288/dj2888.html>



写真 1. アドバンテスト・ビオトープの風景 1

(上) 林内。5月27日撮影

(下) 池。10月31日撮影



写真 2. アドバンテスト・ビオトープの風景 2

(上) 池。10月31日撮影

(下) 中庭。10月31日撮影



写真 3. チノー・ビオトープの風景

(上) ビオトープ正面。4月 25 日撮影

(下) トンボの池。9月 16 日撮影



写真 4. 男井戸川調整池の風景

(上) 男井戸川周辺風景。9月16日撮影

(下) 男井戸川周辺風景。9月16日撮影



写真 5. アドバンテスト・ビオトープ内の絶滅危惧植物

(上) ビオトープ内に移植されたアサザ。5月27日撮影

(下) ビオトープ内に生育するミコシガヤ。6月24日撮影



写真 6. アドバンテスト・ビオトープ内の絶滅危惧植物 2

(上) ビオトープ内に生育する絶滅危惧種 A。5 月 27 日撮影

(下) ビオトープ内に生育するミゾコウジュ。5 月 27 日撮影



写真 7. チノー・ビオトープ内の絶滅危惧植物
ビオトープ内に生育するコキシギシ。4月25日撮影



写真 8. チノー・ビオトープ内の絶滅危惧植物 2

(上) ビオトープ内に生育する絶滅危惧種 A。9月 16 日撮影

(下) ビオトープ内に生育するミゾコウジュ。6月 21 日撮影



写真 9. 男井戸川調整池内の絶滅危惧植物

(上) 調整池内に生育するカワヂシャ。4月20日撮影

(下) 調整池内に生育するヨギシギシ。4月20日撮影



写真 10. チノー・ビオトープ内に移植された植物

(上) ビオトープ内に移植されたササバモ。5月24日撮影。

(下) ビオトープ内に移植されたトチカガミ。6月21日撮影。



写真 11. 男井戸川を彩る園芸種

(上) ビオラ。4月20日撮影。

(下) ナガミヒナゲシ。群馬県では危険外来種に指定されている。4月20日撮影。

表 1. 各調査地の調査日一覧

アドバンテスト・ビオトープ (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・ビオトープ (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. 発芽の温度依存性実験スケジュール表

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	イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	一年草	2018年10月20日	福岡市	なし	10月24日～12月25日	63日間	10/8℃, 17/8℃, 22/10℃, 25/13℃, 30/15℃区間で実験
イネ科	イヌムギ	<i>Bromus unioloides</i>	多年草	2008年8月19日	アド・ビオトープ		5月18日～7月16日	60日間	
イネ科	カモガヤ	<i>Dactylis glomerata</i>	多年草	2008年8月19日	アド・ビオトープ		5月18日～7月16日	60日間	
イネ科	チカラシバ	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	多年草	2018年10月20日	寛政		10月24日から12月25日	63日間	
オシロイソウ科	オトコエシ	<i>Patrinia villosa</i>	多年草	2015年11月4日	西條名		5月18日～7月16日	60日間	
サクランボ科	オカトラノオ	<i>Lysimachia clethroides</i>	多年草	2014年9月17日	権者公園近/源		5月18日～7月16日	62日間	
シソ科	イヌトウバナ	<i>Clinopodium micranthum</i>	多年草	2014年10月16日	アド・ビオトープ		5月18日～7月16日	60日間	
シソ科	ミゾコウジュ	<i>Salvia plebeia</i>	越年草	2015年6月24日	あさひの池		5月18日～7月16日	62日間	
タデ科	コギシギシ	<i>Rumex japonicus</i>	多年草	2015年5月30日	界井戸川		5月18日～7月16日	60日間	
タデ科	ナガバギシギシ	<i>Rumex crispus</i>	多年草	2008年8月19日	アド・ビオトープ		5月18日～7月16日	60日間	
イネ科	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i>	一年草	2016年2月23日	寛政				
キク科	キツネアザミ	<i>Hemistepta carthamoides</i>	越年草	2015年5月25日	チノー・ビオトープ		5月18日～7月17日	61日間	
キク科	ハルノメゲン	<i>Sonchus oleraceus</i>	越年草	2015年5月25日	チノー・ビオトープ				
ケシ科	ナガヒナゲン	<i>Papaver dubium</i>	一年草	2015年5月25日	チノー・ビオトープ				
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	寛政	約1ヶ月間	6月2日～8月2日	61日間	10/8℃, 17/8℃, 22/10℃, 25/13℃, 30/15℃区間で実験
キク科	キツネアザミ	<i>Hemistepta carthamoides</i>	越年草	2015年5月25日	チノー・ビオトープ	約2ヶ月間	6月30日～8月30日	62日間	
キク科	ハルノメゲン	<i>Sonchus oleraceus</i>	越年草	2015年5月25日					
ケシ科	ナガヒナゲン	<i>Papaver dubium</i>	一年草	2015年5月25日					

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	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・レンテスト・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つの温度条件下で栽培
イネ科	カモガヤ	<i>Dactylis glomerata</i>	多年草	2008年6月19日	アド・レンテスト・ビオトープ	2016年6月18日	2016年6月30日	2016年7月21日	
イネ科	メリケンカルフカヤ	<i>Andropogon virginicus</i>	一年草	2016年2月23日	豊後	2016年6月17日	2016年6月30日	2016年9月20日	
オモナエシ科	オトコエシ	<i>Patrinia villosa</i>	多年草	2015年11月4日	西播磨	2016年6月30日	2016年7月14日	2016年8月12日	
キク科	キクネアザミ	<i>Hemistepta carthamoides</i>	越年草	2015年5月25日	チノー・ビオトープ	2016年6月18日	2016年6月30日	2016年7月21日	
キク科	ハルノゲシ	<i>Sonchus oleraceus</i>	越年草	2015年5月25日	チノー・ビオトープ	2016年7月21日	2016年8月12日	2016年9月2日	
シソ科	イヌトウバナ(アド・レンテスト産)	<i>Clinopodium micranthum</i>	多年草	2014年10月18日	アド・レンテスト・ビオトープ	2016年8月24日	2016年9月9日	2016年9月30日	
シソ科	ミソコウジュ	<i>Salvia plebeia</i>	越年草	2015年6月24日	あきひの池	2016年8月24日	2016年9月9日	2016年9月30日	
夕草科	ナガバギシギシ	<i>Rumex crispus</i>	多年草	2008年6月19日	アド・レンテスト・ビオトープ	2016年6月10日	2016年6月23日	2016年7月14日	
CO ₂ 濃度実験									
イネ科	イヌムギ	<i>Bromus unioloides</i>	多年草	2008年6月19日	アド・レンテスト・ビオトープ	2016年10月21日	2016年10月28日	2016年11月21日	異なる3つのCO ₂ 濃度条件下で栽培

表3(続). 栽培実験スケジュール表
篠原氏が行った栽培実験スケジュール一覧

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

山里氏が行った栽培実験スケジュール一覧

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

佐藤氏が行った栽培実験スケジュール一覧

和名	学名	植え替え日	栽培開始日	初期サンプリング数	サンプリング日	最終サンプリング数
オオバタクサ	Ambrosia trifida	2016年6月15日	2016年6月22日	15個体	2016年7月15日	15個体
		2016年6月15日	2016年6月22日	15個体	2016年7月15日	15個体
アメリカセンダングサ	Bidens frondosa	2016年8月19日	2016年8月26日	15個体	2016年9月16日	15個体
ハリエンジュ	Robinia pseudoacacia	2016年7月26日	2016年8月2日	11個体	2016年8月23日	11個体
ナヨクサフジ	Vicia villosa subsp. Varia	2016年10月31日	2016年11月5日	15個体	2016年11月20日	15個体
カラスノエンドウ	Vicia sativa subsp.nigra	2016年11月2日	2016年11月9日	15個体	2016年12月1日	15個体

表5 (続) . チノー・ピオトープにおいて開花・生育が確認された植物と生態的特性
 2016年4月25日～10月20日までにに行った調査で生育が確認できた植物種のリスト。
 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	科名	植物名(学名)	生育地	花期	生育地	生育地	備考	確認日
* ヲシロ	ツバキ科	<i>Clivia sp.</i>	一年生	8-10月	群馬	北海道、東北、中部、四国、九州		8月12日
* ヲシロ	ツバキ科	<i>Ula dipetala</i>	多年生	3-10月	群馬	四国近海等植物		8月24日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Ula japonica</i>	多年生	3-10月	群馬	本州、四国、九州、沖縄		8月26日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Asplenium nidus</i>	一年生	8-10月	群馬	日本全土		8月28日
* ヲシロ	ツバキ科	<i>Urtica rupestris</i>	多年生	3-10月	群馬	九州、北九州、四国、九州、沖縄		8月28日、8月29日、8月31日、9月1日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Urtica dioica</i>	多年生	3-10月	群馬	本州、四国、九州、沖縄		8月29日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Desmodium polyanthum subsp. stracheyanum</i>	多年生	3-10月	群馬	日本全土		8月29日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Urtica dioica DC.</i>	多年生	3-10月	群馬	本州、四国、九州		8月29日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Urtica angustata var. japonica</i>	一年生	8-10月	群馬	本州、四国、九州		8月29日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Leopoldia obscura</i>	多年生	3-10月	群馬、長野	北海道、東北、四国、九州		8月29日
スズクシ科	スズクシ科	<i>Sparganium angustatum</i>	多年生	8-10月	群馬	本州、四国、九州	国一準保護植物、国一準絶滅危惧1A種	8月29日、8月31日、9月14日、8月21日、8月14日
スズクシ科	スズクシ科	<i>Asar japonicum</i>	多年生	8-10月	群馬	北海道、本州、四国、九州		8月29日
スズクシ科	スズクシ科	<i>Nepenthes pedunculata</i>	多年生	3-10月	群馬	北海道、本州、四国、九州		8月29日
* ヲシロ	ツバキ科	<i>Phytolacca americana</i>	多年生	3-10月	群馬	日本全土		8月29日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Disocaulis japonica</i>	多年生	3-10月	群馬	北海道近海等植物		8月29日
ヲシロ	ツバキ科	<i>Myrica rubra</i>	多年生	3-10月	群馬	本州、四国、九州、沖縄		8月29日
ユキノシタ科	ユキノシタ科	<i>Rudbeckia hirta</i>	多年生	8-10月	群馬	関東地方等(山崎-沖崎)		8月29日
ユキノシタ科	ユキノシタ科	<i>Cardiophorus pinnatifidus</i>	多年生	3-10月	群馬	北海道、本州、四国、九州		8月29日
ユキノシタ科	ユキノシタ科	<i>Shorea chinensis</i>	多年生	8-10月	群馬	本州(関東以西)、四国、九州、沖縄	国一準絶滅危惧、国一準生絶滅	8月29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～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	種名(学名)	生活型	原産地	定着時期	生育地	調査日
* ヨモギ科	オウゴン	多年生	4-10月	道ばた、河川	静岡県産の外来種	8月22日
ユキノシタ科	<i>Pectis (Dorberg)</i>	一年生	3-10月	山道	北海道、本州、四国、九州	8月14日
ツクシ科	<i>Mertensia himalaica</i>	一年生	8-10月	河川、河川沿い、道ばた	本州、四国、九州、沖縄	8月14日
ユキノシタ科	<i>Conoclinium chinensis</i>	一年生	8-10月	道ばた	日本全土	8月14日
トウモロコシ科	<i>Euphorbia hirsuta</i>	越年生	4-10月	河川、道ばた	本州、四国、九州、沖縄	4月20日, 8月21日
トウモロコシ科	<i>Euphorbia arvensis</i>	多年生	3-10月	道ばた、河川	日本全土	4月20日
* ナズナ科	<i>Lysichiton japonicus</i>	塊根植物	3-10月	河川、道ばた	アジア産の外来種	8月14日
ナズナ科	<i>Salsola arbuscula</i>	一年生	8-10月	河川、道ばた	日本全土	8月14日
ナズナ科	<i>Stellaria palustris</i>	越一多年生	4-10月	山道	北海道、本州、四国、九州	8月22日, 8月14日
* ナズナ科	<i>Conostichum pleranthum</i>	越年生	8-10月	道ばた	静岡県産の外来種	4月20日
ナズナ科	<i>Polygonum chinensis</i>	多年生	3-10月	河川	本州、四国、九州	4月20日
ナズナ科	<i>Duchesnea ciliolata</i>	多年生	4-10月	道ばた	日本全土	4月20日
* ナズナ科	<i>Amaranthus phytolacca</i>	一年生	8-10月	河川、道ばた	静岡県産の外来種	8月14日
ナズナ科	<i>Achyrocline saturei</i>	多年生	8-10月	道ばた、河川	本州、四国、九州	8月14日
* ナズナ科	<i>Ischaemum chinense</i>	一年生	7-10月	道ばた、河川	静岡県産の外来種	8月14日
ナズナ科	<i>Panicum octandrum</i>	多年生	8-10月	河川、道ばた	北海道、本州、四国、九州、沖縄	8月21日
* ナズナ科	<i>Geranium capense</i>	一年生	3-7月	河川、道ばた、河川沿い、道ばた	北米産の外来種	8月21日
ナズナ科	<i>Sida linearis Thunb.</i>	多年生	3-7月	道ばた、河川沿い、道ばた	アジア産の外来種	8月21日
ナズナ科	<i>Mispampol</i>	越年生	3-10月	河川	本州、四国、九州、沖縄	4月20日, 8月21日
* ナズナ科	<i>Trichum repens</i>	多年生	5-10月	道ばた、河川	静岡県産の外来種	4月20日, 8月21日
ナズナ科	<i>Mispampol</i>	二年生	4-10月	道ばた、河川	本州、四国、九州、沖縄	4月20日, 8月21日
ナズナ科	<i>Amaranthus multiflorus</i>	一年生	8-10月	河川、道ばた	日本全土	8月14日
ナズナ科	<i>Myrica palustris</i>	多年生	8-10月	河川	本州、四国、九州	4月20日, 8月21日
ナズナ科	<i>Trigonotis peduncularis</i>	越年生	3-10月	河川、道ばた	本州、四国、九州	4月20日, 8月21日
ナズナ科	<i>Sida</i>	塊根植物	8月21日		日本全土	4月20日

表 7. アドバンテスト・ビオトープ内の絶滅危惧種 A 生育地の体積土壌含水率の季節変化一覧

アドバンテスト・ビオトープ内の絶滅危惧種 A が生育しているせせらぎ下流の 2 地点において土壌含水率を測定した。各地点 3~4 回測定し、その平均値から体積土壌含水率を算出した。n=3~4

2016年	体積土壌含水率 (m^3m^{-3})		SD	
	右岸(自生)	左岸(植栽)	右岸(自生)	左岸(植栽)
4月22日	0.68	-	0.02	-
5月27日	0.67	0.43	0.03	0.07

表 8. チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種 A 生育地の体積土壌含水率一覧

チノー・ビオトープ内の絶滅危惧種 A を植栽した地点および絶滅危惧種 A の生育が不良であった 1 地点の計 2 地点において土壌含水率を測定した。各地点 4 回計測し、その平均値から体積土壌含水率を算出した。

2016年	体積土壌含水率 (m^3m^{-3})		SD	
	トンボの池南側	失敗地点	右岸(自生)	左岸(植栽)
5月25日	0.53	0.12	0.02	0.04

表 9. 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メリケンカルカヤ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシの種子は 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。

メリケンカルカヤについては 1 ヶ月間、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシについては 2 ヶ月間の冷湿処理を施した後、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。

冷湿なし

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
イヌビエ	藤岡市	30/15°C	0.7	1.2
		25/13°C	1.3	2.3
		22/10°C	0.0	0.0
		17/8°C	0.0	0.0
		10/6°C	0.0	0.0

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
イヌムギ	アドバンテスト・ビオトープ	30/15°C	83.3	6.4
		25/13°C	78.0	14.0
		22/10°C	97.3	3.1
		17/8°C	92.0	6.0
		10/6°C	87.3	15.1

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
カモガヤ	アドバンテスト・ビオトープ	30/15°C	70.0	6.9
		25/13°C	78.0	6.0
		22/10°C	78.0	3.5
		17/8°C	73.3	7.6
		10/6°C	71.7	4.6

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
チカラシバ	藤岡市	30/15°C	27.3	7.0
		25/13°C	10.0	2.0
		22/10°C	2.0	2.0
		17/8°C	0.7	1.2
		10/6°C	0.0	0.0

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
オトコエシ	西榛名	30/15°C	84.0	14.0
		25/13°C	64.7	6.4
		22/10°C	95.3	4.2
		17/8°C	99.3	1.2
		10/6°C	91.3	7.0

表9(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メリケンカルカヤ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシの種子は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。

メリケンカルカヤについては1ヶ月間、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシについては2ヶ月間の冷湿処理を施した後、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。

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
		30/15°C	12.7	1.2
		25/13°C	20.7	9.9
		22/10°C	15.3	2.3
		17/8°C	11.3	3.1
		10/6°C	11.3	1.2

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
		30/15°C	29.3	1.2
		25/13°C	29.3	6.1
		22/10°C	24.7	8.1
		17/8°C	29.3	5.8
		10/6°C	26.0	4.0

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
オカラノオ	榛名公園	30/15°C	41.3	5.0
		25/13°C	68.0	7.2
		22/10°C	40.7	16.3
		17/8°C	6.0	2.0
		10/6°C	2.0	2.0

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
イストウバナ	アドバンテスト・ビオトープ	30/15°C	68.7	6.1
		25/13°C	76.0	6.0
		22/10°C	56.0	8.7
		17/8°C	7.3	8.1
		10/6°C	0.7	1.2

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
ミゾコウジュ	板倉町	30/15°C	55.3	21.4
		25/13°C	42.0	3.5
		22/10°C	6.0	4.0
		17/8°C	0.7	1.2
		10/6°C	0.0	0.0

表9 (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メリケンカルカヤ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシの種子は25/13℃ (昼14hr、夜10hr) に設定した温度勾配型恒温器内で培養した。

メリケンカルカヤについては1ヶ月間、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシについては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14hr、夜10hr) に設定した温度勾配型恒温器内で培養した。

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
コギシギシ	男井戸川	30/15℃	12.7	7.6
		25/13℃	22.0	12.5
		22/10℃	4.0	4.0
		17/8℃	1.3	1.2
		10/6℃	0.7	1.2

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
ナガバギシギシ	アドバンテスト・ビオトープ	30/15℃	97.3	2.3
		25/13℃	98.0	2.0
		22/10℃	96.7	5.7
		17/8℃	98.0	2.0
		10/6℃	96.0	0.0

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
メリケンカルカヤ	群馬大学荒牧キャンパス内	25/13℃	34.7	8.8
キツネアザミ	チノー・ビオトープ		96.0	5.3
ハルノノゲシ			100.0	0.0
ナガミヒナゲシ			0.0	0.0

表9 (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メリケンカルカヤ、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシの種子は 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。

メリケンカルカヤについては1ヶ月間、キツネアザミ、ハルノノゲシ、ナガミヒナゲシについては2ヶ月間の冷湿処理を施した後、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。

冷湿あり				
和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
メリケンカルカヤ	群馬大学荒牧キャンパス構内	30/15°C	30.0	16.4
		25/13°C	23.3	9.2
		22/10°C	6.0	3.5
		17/8°C	0.0	0.0
		10/6°C	0.0	0.0
和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
キツネアザミ	チノー・ビオトープ	30/15°C	94.0	4.0
		25/13°C	92.7	7.0
		22/10°C	86.0	15.6
		17/8°C	34.0	4.0
		10/6°C	0.0	0.0
和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
ハルノノゲシ	チノー・ビオトープ	30/15°C	82.7	9.0
		25/13°C	81.3	4.2
		22/10°C	90.0	8.7
		17/8°C	90.7	4.2
		10/6°C	84.7	16.1
和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
ナガミヒナゲシ	チノー・ビオトープ	30/15°C	0.0	0.0
		25/13°C	0.0	0.0
		22/10°C	0.0	0.0
		17/8°C	0.0	0.0
		10/6°C	0.0	0.0

表 10. 各植物の個体あたり乾燥重量

イヌムギ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年6月9日	0.030	0.097	0.029	0.061	0.065	0.080	0.006	0.024	0.011	0.019	0.022	0.023
カモガヤ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年6月30日	0.087	0.252	0.080	0.114	0.129	0.202	0.034	0.075	0.015	0.035	0.040	0.042
メリケンカルカヤ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年8月30日	0.055	0.208	0.046	0.090	0.105	0.224	0.016	0.085	0.020	0.032	0.063	0.098
オトコエシ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年7月14日	0.061	0.238	0.055	0.158	0.195	0.250	0.019	0.145	0.043	0.064	0.116	0.121
キツネアザミ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年6月30日	0.042	0.131	0.039	0.120	0.123	0.178	0.017	0.064	0.016	0.041	0.043	0.096
ハルノゲン	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年8月12日	0.044	0.338	0.044	0.142	0.161	0.420	0.009	0.145	0.031	0.068	0.070	0.146
	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
	0.139	0.384	0.155	0.290	0.316	0.381	0.087	0.250	0.072	0.135	0.151	0.137
イヌトウバナ(アドバン)	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年9月9日	0.068	0.202	0.065	0.120	0.122	0.188	0.032	0.128	0.056	0.060	0.088	0.124
ミソコウジュ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年9月9日	0.051	0.098	0.043	0.066	0.075	0.083	0.022	0.078	0.018	0.012	0.033	0.041
ナガバギンギン	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区	初期サンプル	+2℃区	3%区	9%区	13%区	100%区
2016年6月23日	0.076	0.240	0.064	0.176	0.179	0.224	0.020	0.048	0.040	0.030	0.054	0.044
CO ₂ 濃度実験												
イヌムギ	個体乾燥重量						SD					
	初期サンプル	270ppm	400ppm	1000ppm	初期サンプル	270ppm	400ppm	1000ppm	初期サンプル	270ppm	400ppm	1000ppm
2016年10月28日	0.144	0.246	0.275	0.278	0.044	0.178	0.094	0.128				

表 10 (続) . 各植物の個体あたり乾燥重量一覧
 篠原氏が行った栽培実験の各植物の個体あたり乾燥重量一覧

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

山里氏が行った栽培実験の各植物の個体あたり乾燥重量一覧

植物名	生活型	乾燥重量平均値・標準偏差	初期サンプリング時	最終サンプリング時				
				3%	9%	13%	100%	+2°C
イヌトウバナ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.031	0.053	0.068	0.082	0.122	0.111
		標準偏差	0.026	0.049	0.044	0.044	0.074	0.039
コバギボウシ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.070	0.072	0.128	0.136	0.126	0.188
		標準偏差	0.025	0.022	0.037	0.049	0.066	0.062
ゴマナ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.053	0.022	0.021	0.193	0.059	
		標準偏差	0.022	0.028	0.014	0.153	0.066	
ジョウロウスゲ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.054	0.056	0.142	0.179	0.422	0.364
		標準偏差	0.008	0.013	0.043	0.052	0.080	0.071
チョウジソウ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.117	0.130	0.226	0.335	0.383	0.434
		標準偏差	0.046	0.055	0.077	0.146	0.125	0.149
ナガミツルキケマン	1-2年草	乾燥重量平均値(g)	0.033	0.032	0.116	0.106	0.115	0.125
		標準偏差	0.029	0.020	0.058	0.097	0.076	0.060
		乾燥重量平均値(g)	0.102	0.116	0.202	0.250	0.325	0.309
		標準偏差	0.059	0.050	0.082	0.080	0.125	0.130
ミヤコアザミ	多年草	乾燥重量平均値(g)	0.070	0.075	0.162	0.204	0.298	0.270
		標準偏差	0.022	0.020	0.078	0.080	0.078	0.061

佐藤氏が行った栽培実験の各植物の個体あたり乾燥重量一覧

	平均個体乾燥重量(g)			標準偏差(SD)		
	初期	100%区	2.4°C区	初期	100%区	2.4°C区
オオブタクサ菅平	0.085	0.487	0.450	0.031	0.133	0.110
オオブタクサ前橋	0.124	0.508	0.407	0.052	0.107	0.111
ハリエンジュ	0.056	0.145	0.159	0.027	0.044	0.098
アメリカセンダングサ	0.019	0.176	0.152	0.013	0.108	0.096
ナヨクサフジ	0.042	0.078	0.093	0.011	0.017	0.022
カラスノエンドウ	0.015	0.032	0.037	0.003	0.009	0.009

表 11. 各植物の生長解析結果一覧

イヌムギ								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
3%	-0.003	0.034	-0.084	0.082	0.005	0.006	0.164	0.009
9%	0.024	0.027	0.887	0.057	0.005	0.027	0.195	0.006
13%	0.026	0.025	1.039	0.050	0.007	0.025	0.327	0.006
100%	0.034	0.020	1.893	0.031	0.003	0.020	0.308	0.003
2°C上昇区	0.041	0.022	1.816	0.038	0.003	0.022	0.206	0.005

カモメヤ								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
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	0.006
13%	0.024	0.027	0.869	0.053	0.007	0.004	0.232	0.006
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	2.589	0.039	0.007	0.003	0.301	0.003

メリケンカメヤ								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
3%	-0.006	0.030	-0.275	0.078	0.004	0.004	0.173	0.006
9%	0.023	0.028	0.805	0.062	0.006	0.003	0.242	0.004
13%	0.036	0.026	1.394	0.058	0.010	0.002	0.457	0.006
100%	0.065	0.019	3.917	0.042	0.010	0.002	0.888	0.003
2°C上昇区	0.061	0.020	3.342	0.043	0.009	0.002	0.590	0.003

オトコエシ								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
3%	0.004	0.033	0.136	0.072	0.005	0.003	0.147	0.004
9%	0.042	0.027	1.705	0.055	0.007	0.003	0.344	0.005
13%	0.052	0.024	2.432	0.046	0.009	0.003	0.572	0.003
100%	0.061	0.021	3.893	0.029	0.011	0.002	0.764	0.003
2°C上昇区	0.062	0.022	3.373	0.034	0.009	0.002	0.688	0.003

キツネアザミ								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
3%	-0.005	0.029	-0.035	0.088	0.010	0.005	0.247	0.014
9%	0.050	0.029	1.262	0.073	0.009	0.003	0.251	0.007
13%	0.052	0.025	1.468	0.065	0.004	0.002	0.137	0.004
100%	0.067	0.026	2.889	0.037	0.005	0.002	0.442	0.003
2°C上昇区	0.051	0.028	1.979	0.047	0.012	0.002	0.608	0.006

ハルノゲン								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
3%	-0.001	0.056	-0.011	0.011	0.018	0.006	0.330	0.018
9%	0.052	0.046	1.193	0.065	0.017	0.005	0.446	0.006
13%	0.058	0.044	1.444	0.067	0.013	0.003	0.431	0.013
100%	0.106	0.031	5.709	0.025	0.009	0.002	0.958	0.005
2°C上昇区	0.094	0.034	3.806	0.036	0.013	0.002	0.935	0.006

未記載								
相対光量子密度	平均				SD			
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
3%	0.012	0.028	0.432	0.074	0.007	0.003	0.293	0.005
9%	0.037	0.023	1.772	0.064	0.008	0.003	0.390	0.005
13%	0.041	0.021	2.042	0.062	0.007	0.002	0.377	0.004
100%	0.053	0.017	3.873	0.030	0.011	0.002	0.625	0.003
2°C上昇区	0.046	0.017	3.113	0.038	0.010	0.002	0.923	0.004

表 11 (続) . 各植物の生長解析結果一覧

イヌトウバナ(アドバンテスト)									
相対光量子密度	平均				SD				
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	0.007	0.030	0.269	0.081	0.008	0.003	0.302	0.006	
9%	0.026	0.025	1.068	0.057	0.008	0.003	0.303	0.010	
13%	0.030	0.026	1.206	0.079	0.007	0.003	0.369	0.021	
100%	0.056	0.021	2.368	0.040	0.009	0.002	0.726	0.003	
2°C上昇区	0.049	0.022	2.459	0.042	0.007	0.004	0.675	0.006	

ミゾコウジュ									
相対光量子密度	平均				SD				
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	-0.007	0.041	-0.186	0.086	0.007	0.006	0.190	0.010	
9%	0.020	0.033	0.616	0.063	0.012	0.003	0.380	0.009	
13%	0.019	0.029	0.665	0.052	0.006	0.004	0.213	0.007	
100%	0.023	0.022	1.189	0.032	0.007	0.003	0.344	0.005	
2°C上昇区	0.027	0.024	1.297	0.034	0.014	0.003	0.821	0.005	

ナガバギンギシ									
相対光量子密度	平均				SD				
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
3%	-0.003	0.029	-0.077	0.054	0.010	0.006	0.319	0.027	
9%	0.041	0.030	1.480	0.060	0.006	0.003	0.427	0.016	
13%	0.041	0.030	1.457	0.065	0.005	0.003	0.245	0.004	
100%	0.052	0.022	3.537	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	

CO ₂ 濃度実験 イヌムギ									
相対光量子密度	平均				SD				
	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	
270ppm	0.014	0.014	1.057	0.029	0.004	0.001	0.309	0.003	
400ppm	0.030	0.012	2.530	0.026	0.005	0.001	0.615	0.003	
1000ppm	0.034	0.012	2.978	0.025	0.008	0.002	0.976	0.003	

篠原氏が行った栽培実験の各植物の生長解析結果一覧

植物名	生活型	相対光量子密度・温度	平均				標準偏差			
			RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
エゾカワラナデシコ	多年草	3%	-0.010	0.021	-0.369	0.051	0.003	0.006	0.097	0.012
		9%	-0.010	0.028	-0.395	0.071	0.006	0.008	0.288	0.037
		13%	0.017	0.024	0.717	0.048	0.008	0.004	0.286	0.007
		100%	0.030	0.017	2.099	0.024	0.005	0.003	0.077	0.004
		+2°C	0.035	0.020	1.788	0.029	0.014	0.003	0.519	0.002
カセンノウ	多年草	3%	-0.004	0.033	-0.051	0.119	0.023	0.008	0.822	0.030
		9%	0.023	0.032	0.776	0.095	0.009	0.010	0.412	0.012
		13%	0.030	0.031	1.031	0.062	0.017	0.005	0.898	0.012
		100%	0.064	0.020	4.171	0.040	0.006	0.005	1.141	0.006
		+2°C	0.040	0.027	1.502	0.212	0.005	0.007	0.375	0.307
クルマバナ	多年草	3%	-0.004	0.017	-0.280	0.065	0.006	0.003	0.356	0.009
		9%	0.005	0.012	0.430	0.051	0.007	0.001	0.576	0.009
		13%	0.005	0.013	0.488	0.057	0.003	0.002	0.361	0.029
		100%	0.004	0.013	0.520	0.053	0.004	0.003	0.396	0.022
		+2°C	0.016	0.011	1.830	0.033	0.007	0.002	0.926	0.004
サラシナショウマ	多年草	3%	0.000	0.037	0.001	0.083	0.004	0.006	0.089	0.011
		9%	0.014	0.037	0.500	0.061	0.004	0.006	0.138	0.014
		13%	0.022	0.030	1.051	0.059	0.015	0.010	0.927	0.017
		100%	0.047	0.021	2.899	0.025	0.010	0.004	0.474	0.003
		+2°C	0.027	0.021	1.505	0.031	0.005	0.003	0.463	0.002

表 11 (続) . 各植物の生長解析結果一覧
 山里氏が行った栽培実験の各植物の生長解析結果一覧

植物名	生活型	相対光子密度	平均				標準偏差SD			
			RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)	RGR(g/g/day)	LAR(m ² /g)	NAR(g/m ² /day)	SLA(m ² /g)
イストウバナ	多年草	3%	0.016	0.022	0.810	0.091	0.012	0.006	0.636	0.021
		9%	0.030	0.021	1.469	0.068	0.010	0.005	0.503	0.005
		13%	0.041	0.015	3.081	0.040	0.016	0.004	1.059	0.003
		100%	0.053	0.014	4.518	0.034	0.013	0.004	1.042	0.002
		+2℃区	0.052	0.015	4.056	0.036	0.020	0.003	1.655	0.003
コバキボウシ	多年草	3%	0.001	0.021	0.071	0.052	0.003	0.002	0.125	0.003
		9%	0.022	0.020	1.145	0.047	0.003	0.002	0.201	0.002
		13%	0.024	0.017	1.445	0.044	0.004	0.002	0.342	0.004
		100%	0.020	0.016	1.337	0.037	0.005	0.001	0.385	0.004
		+2℃区	0.035	0.016	2.318	0.037	0.004	0.002	0.502	0.003
ジョウロウスゲ	多年草	3%	0.002	0.041	0.040	0.077	0.003	0.004	0.074	0.005
		9%	0.034	0.035	0.991	0.060	0.006	0.004	0.216	0.005
		13%	0.043	0.034	1.276	0.060	0.005	0.004	0.246	0.005
		100%	0.073	0.023	3.838	0.034	0.002	0.002	0.306	0.002
		+2℃区	0.069	0.026	2.907	0.043	0.002	0.003	0.262	0.003
チョウジソウ	多年草	3%	0.005	0.033	0.172	0.078	0.006	0.004	0.267	0.006
		9%	0.032	0.030	1.111	0.064	0.006	0.003	0.203	0.007
		13%	0.050	0.028	1.924	0.056	0.006	0.003	0.347	0.006
		100%	0.058	0.023	2.863	0.034	0.005	0.002	0.211	0.003
		+2℃区	0.063	0.025	2.858	0.040	0.004	0.002	0.184	0.004
ナガミノツルキケマン	1→越年草	3%	0.006	0.040	0.144	0.107	0.013	0.007	0.324	0.016
		9%	0.055	0.028	2.201	0.079	0.023	0.007	1.116	0.014
		13%	0.045	0.031	1.573	0.070	0.016	0.006	0.673	0.009
		100%	0.051	0.023	2.945	0.039	0.015	0.006	0.640	0.006
		+2℃区	0.054	0.023	3.175	0.052	0.015	0.006	1.251	0.003
		3%	0.008	0.030	0.253	0.079	0.007	0.004	0.240	0.005
		9%	0.035	0.023	1.577	0.063	0.007	0.002	0.238	0.004
		13%	0.046	0.023	2.111	0.063	0.010	0.003	0.396	0.005
		100%	0.058	0.019	3.788	0.029	0.009	0.002	0.519	0.003
		+2℃区	0.055	0.020	3.286	0.042	0.008	0.002	0.482	0.004
ミヤコアザミ	多年草	3%	0.004	0.025	0.169	0.053	0.005	0.002	0.176	0.006
		9%	0.038	0.021	1.815	0.042	0.009	0.002	0.576	0.005
		13%	0.050	0.019	2.714	0.034	0.006	0.002	0.565	0.003
		100%	0.070	0.014	5.656	0.020	0.004	0.001	0.661	0.002
		+2℃区	0.065	0.016	4.481	0.023	0.006	0.001	0.537	0.002
ゴマナ	多年草	3%	-0.014	0.026	-0.531	0.075	0.007	0.005	0.183	0.007
		9%	-0.024	0.021	-1.583	0.067	0.001	0.006	0.965	0.014
		13%	0.037	0.026	1.606	0.064	0.011	0.006	0.628	0.010
		100%	0.018	0.021	1.016	0.032	0.005	0.003	0.190	0.006

表 11 (続) . 各植物の生長解析結果一覧
 佐藤氏が行った栽培実験の各植物の生長解析結果一覧
 オオブタクサ (菅平産)

相対光量子密度	平均値				標準偏差 (SD)			
	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)
100%区	0.077	0.013	7.719	0.025	0.006	0.002	0.926	0.003
13%区	0.049	0.019	2.661	0.058	0.007	0.003	0.591	0.006
9%区	0.047	0.021	2.194	0.067	0.005	0.003	0.249	0.007
3%区	0.010	0.021	0.369	0.059	0.011	0.005	0.592	0.026
2.4℃区	0.074	0.015	5.699	0.041	0.007	0.002	0.816	0.003

オオブタクサ (前橋産)

相対光量子密度	平均値				標準偏差 (SD)			
	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)
100%区	0.063	0.014	5.821	0.027	0.008	0.002	0.905	0.003
13%区	0.039	0.019	2.045	0.056	0.008	0.003	0.338	0.006
9%区	0.026	0.023	1.189	0.066	0.009	0.003	0.446	0.006
3%区	-0.013	0.022	-0.666	0.063	0.007	0.004	0.511	0.019
2.4℃区	0.053	0.016	3.786	0.041	0.006	0.002	0.430	0.005

ハリエンジュ

相対光量子密度	平均値				標準偏差 (SD)			
	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)
100%区	0.049	0.021	2.505	0.039	0.012	0.001	0.613	0.005
13%区	0.041	0.029	1.430	0.073	0.007	0.003	0.254	0.012
9%区	0.019	0.029	0.745	0.079	0.008	0.007	0.382	0.014
3%区	-0.008	0.023	-0.434	0.061	0.006	0.005	0.363	0.011
2.4℃区	0.046	0.024	1.961	0.052	0.010	0.002	0.519	0.006

アメリカセンダングサ

相対光量子密度	平均値				標準偏差 (SD)			
	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)
100%区	0.108	0.026	5.842	0.046	0.005	0.006	1.044	0.004
13%区	0.072	0.042	1.790	0.103	0.011	0.006	0.428	0.011
9%区	0.067	0.044	1.516	0.109	0.014	0.007	0.299	0.019
3%区	0.000	0.049	-0.111	0.191	0.021	0.017	0.620	0.285
2.4℃区	0.099	0.029	4.311	0.056	0.011	0.006	0.955	0.004

ナヨクサフジ

相対光量子密度	平均値				標準偏差 (SD)			
	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)
100%区	0.041	0.008	5.103	0.051	0.011	0.001	1.354	0.003
13%区	0.007	0.008	1.061	0.046	0.005	0.003	1.359	0.017
9%区	0.013	0.011	1.299	0.071	0.006	0.002	0.685	0.013
3%区	-0.007	0.010	-0.792	0.066	0.004	0.001	0.499	0.008
2.4℃区	0.053	0.010	5.536	0.053	0.004	0.001	0.923	0.004

カラスノエンドウ

相対光量子密度	平均値				標準偏差 (SD)			
	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)	RGR (g/g/day)	LAR (m2/g)	NAR (g/m2/day)	SLA (m2/g)
100%区	0.033	0.009	3.825	0.034	0.007	0.001	0.962	0.002
13%区	0.013	0.011	1.227	0.043	0.007	0.001	0.697	0.004
9%区	0.012	0.012	1.072	0.053	0.005	0.002	0.542	0.007
3%区	-0.003	0.013	-0.227	0.064	0.005	0.002	0.421	0.008
2.4℃区	0.041	0.011	3.642	0.043	0.005	0.002	0.624	0.005

表 12. 各植物の RGR、LAR、NAR についての分散分析結果

<外来種>	コントロール区と比べて2.4℃区の値が			P<0.01	備考
	RGR	LAR	NAR		
イヌムギ	+	+	ns		
カモガヤ	+	+	ns		
メリケンカルカヤ(C4)	ns	ns	ns		
ナガバギシギシ	+	+	-		
ナヨクサフジ	+	+	ns		栽培遅すぎ参考記録
ハリエンジュ	ns	+	-		
オオブタクサ(前橋)	-	+	-		
オオブタクサ(菅平)	ns	+	-		
アメリカセンダングサ	-	ns	-		
<里地・低標高里山>	RGR	LAR	NAR		
コバギボウシ	+	ns	+		
チョウジソウ	+	ns(微増)	ns		
ミゾコウジュ	ns	ns	ns		
イストウバナ(アドバンテスト)	ns	ns	ns		
イストウバナ(西橋名)	ns	ns	ns		
オトコエシ	ns	ns	ns		
ナガミノツルキケマン	ns	ns	ns		
	ns	ns	ns		
	ns	ns	-(微減)		
ジョウロウスゲ	-	+	-		
キツネアザミ	-	+	-		
ミヤコアザミ	-	+	-		
ハルノゲシ	-	+	-		
カラスノエンドウ	+	+	ns		栽培遅すぎ参考記録
<高標高里山(榛名公園)>	RGR	LAR	NAR		
エゾカワラナデシコ	ns	ns	ns		
カセンソウ	-	+	-		
サラシナショウマ	-	ns	-		
クルマバナ	+	-	+		栽培遅すぎ参考記録

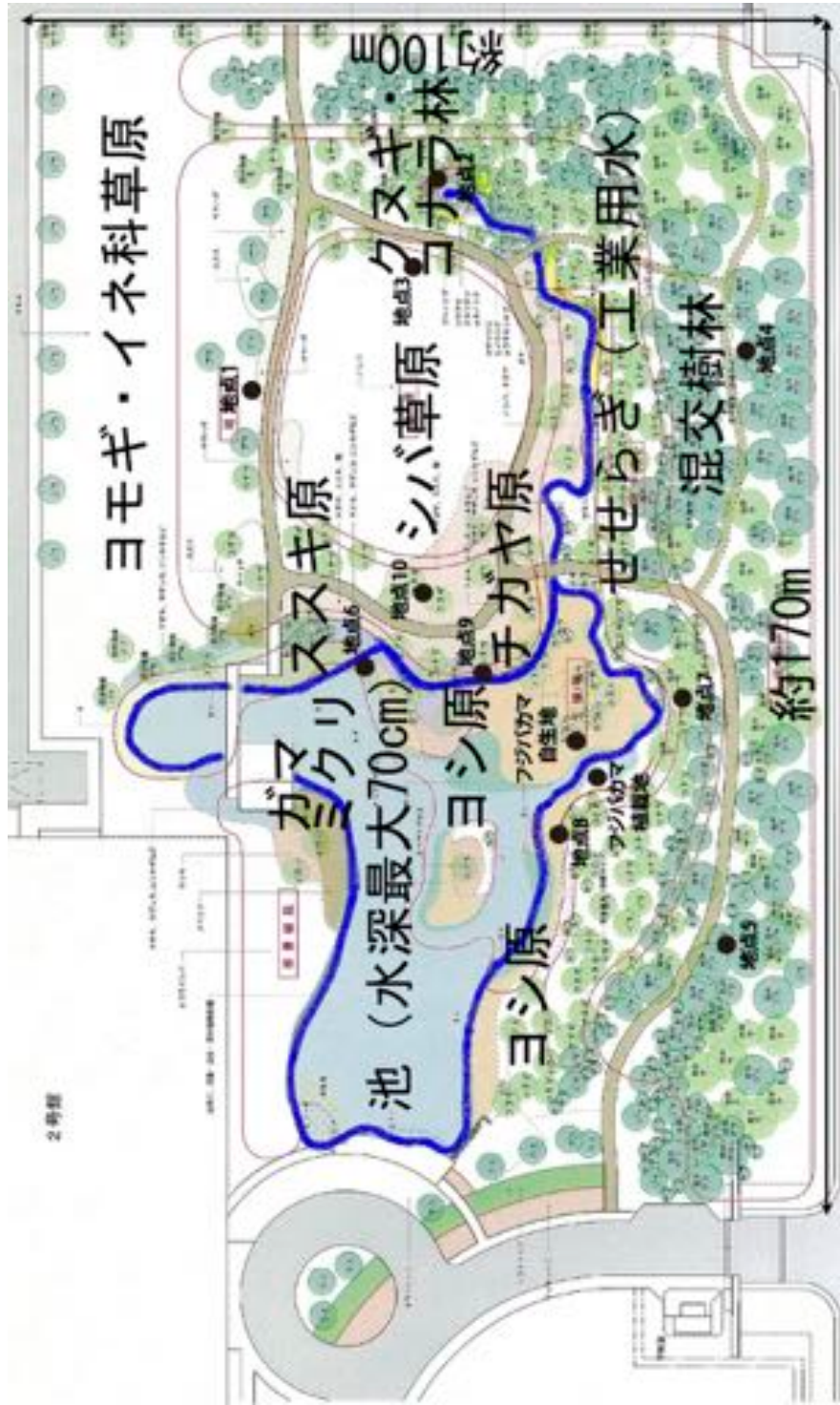


図 2. アドバンテラスト・ビオトープ見取り図
 絶滅危惧種 A 自生地 (右岸) および絶滅危惧種 A 植栽地 (左岸 盛り土の下) において土壌含水率を測定した。

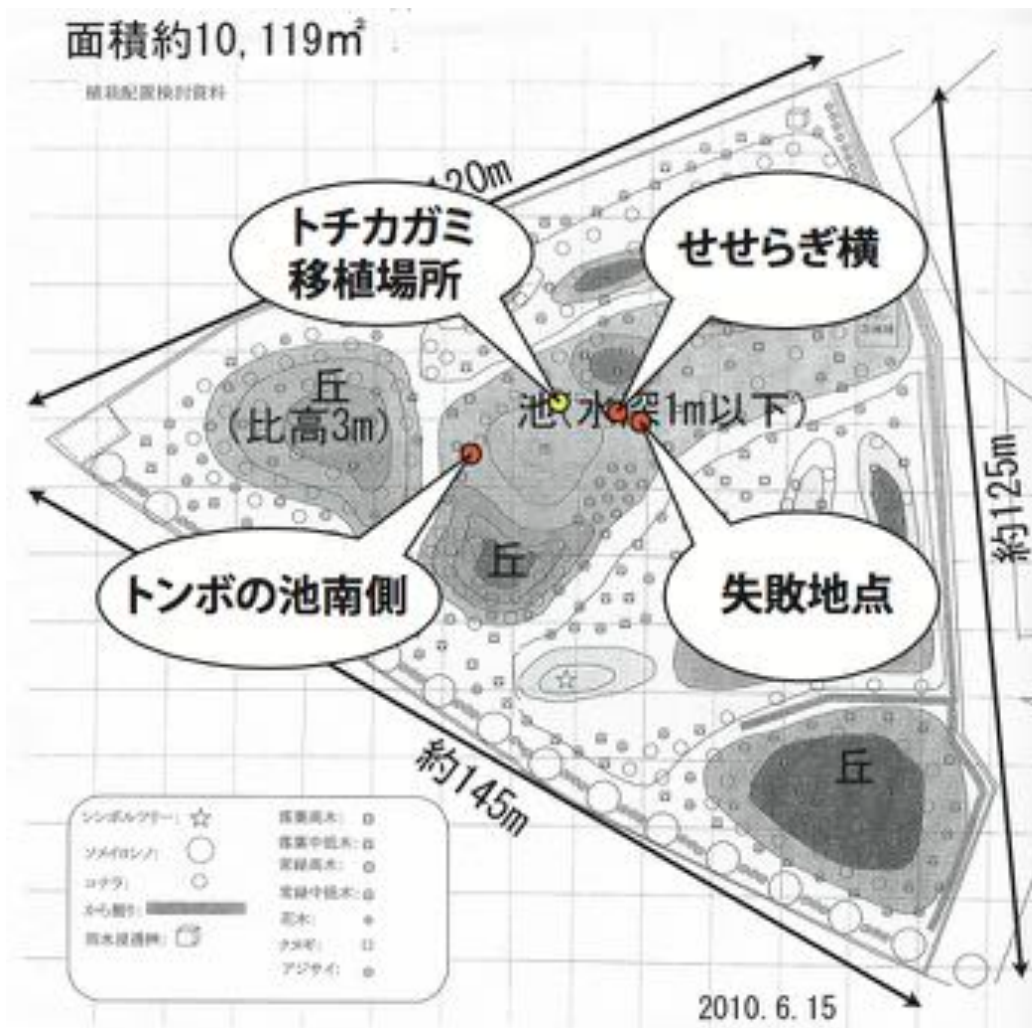


図3. チノー・ビオトープ見取り図
絶滅危惧種A植栽地（トロボの池南側）および絶滅危惧種Aの生育が不良であった地点（失敗地点）において土壌含水率を測定した。

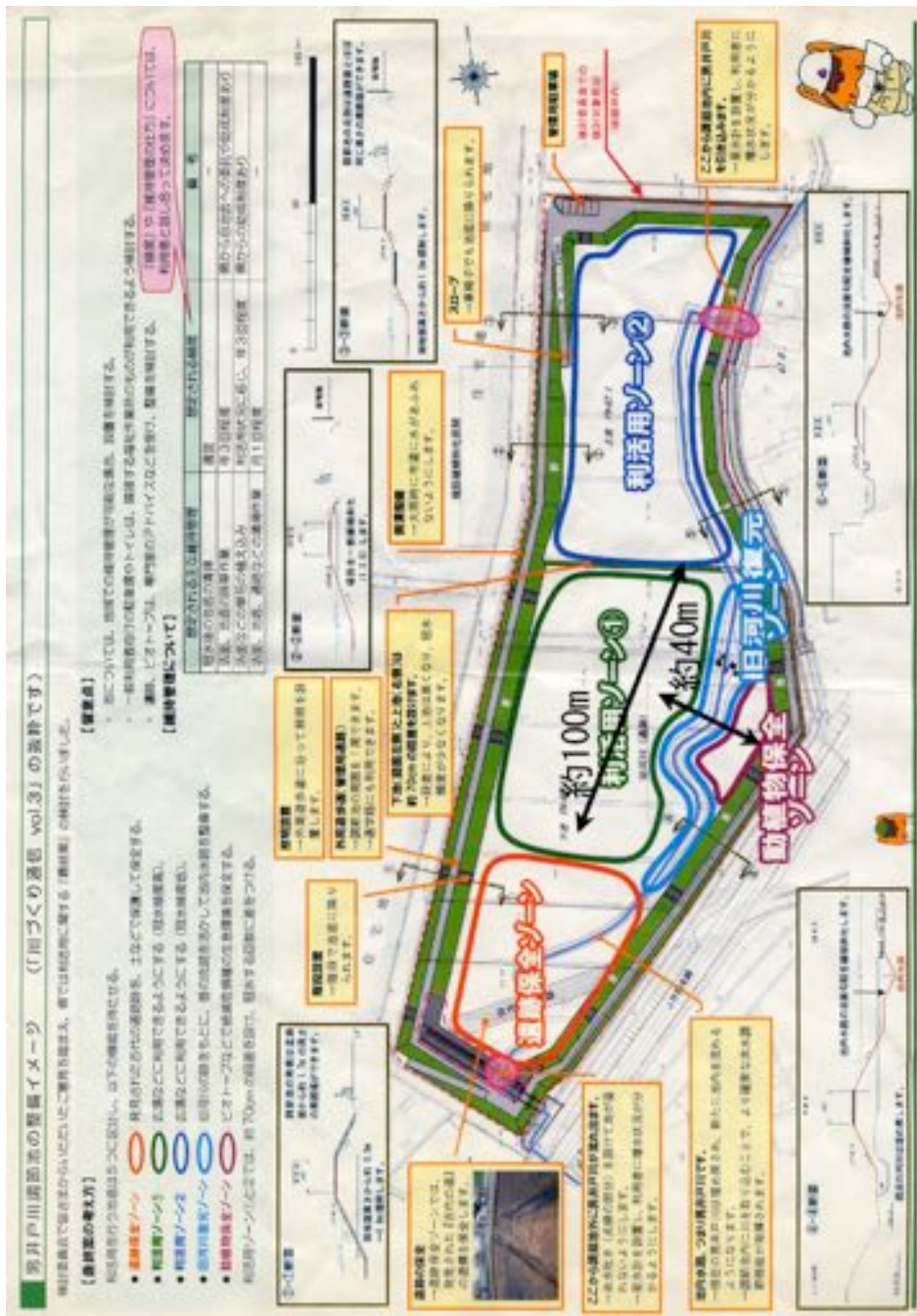


図 4. 男井戸川調整池見取り図
2015 年時点では、地下水の浸出により活用ゾーン 1 の全面および活用ゾーン 1 の全面および活用ゾーン 1 の全面が湿地化している

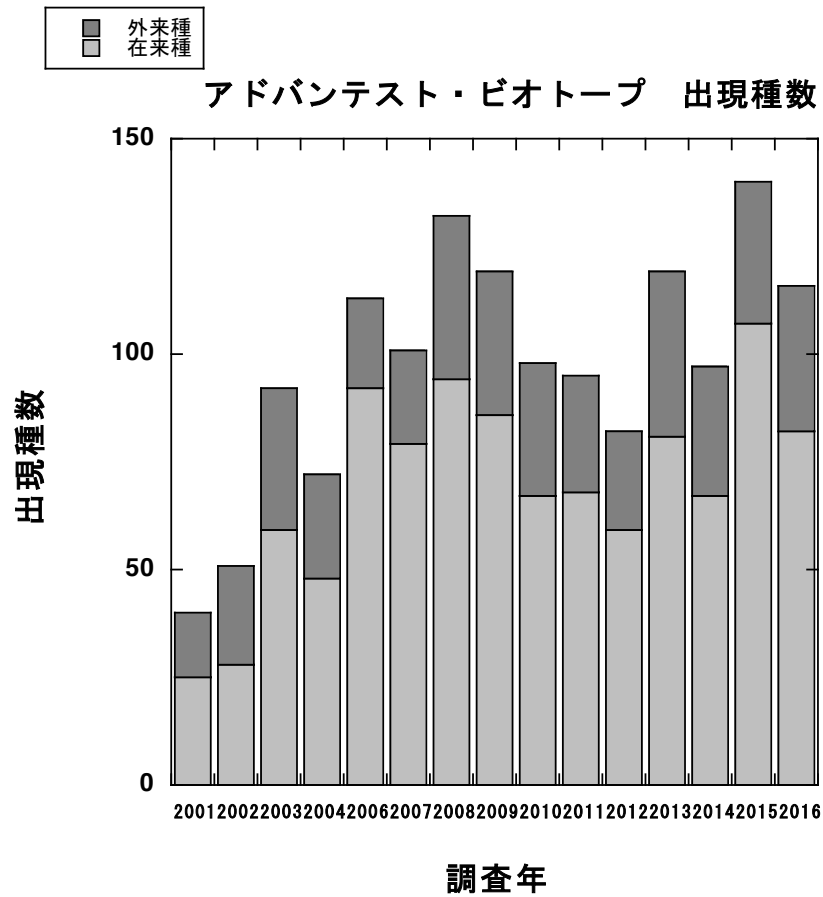


図 5. アドバンテスト・ビオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化
2005 年は調査していない。

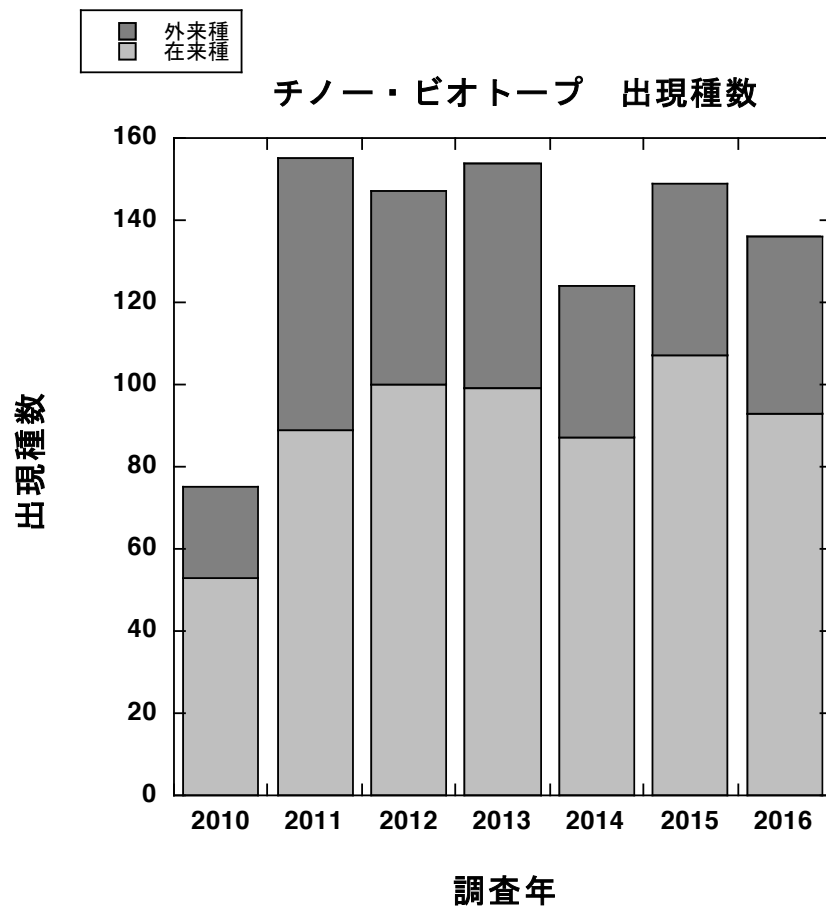


図 6. チノー・ビオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

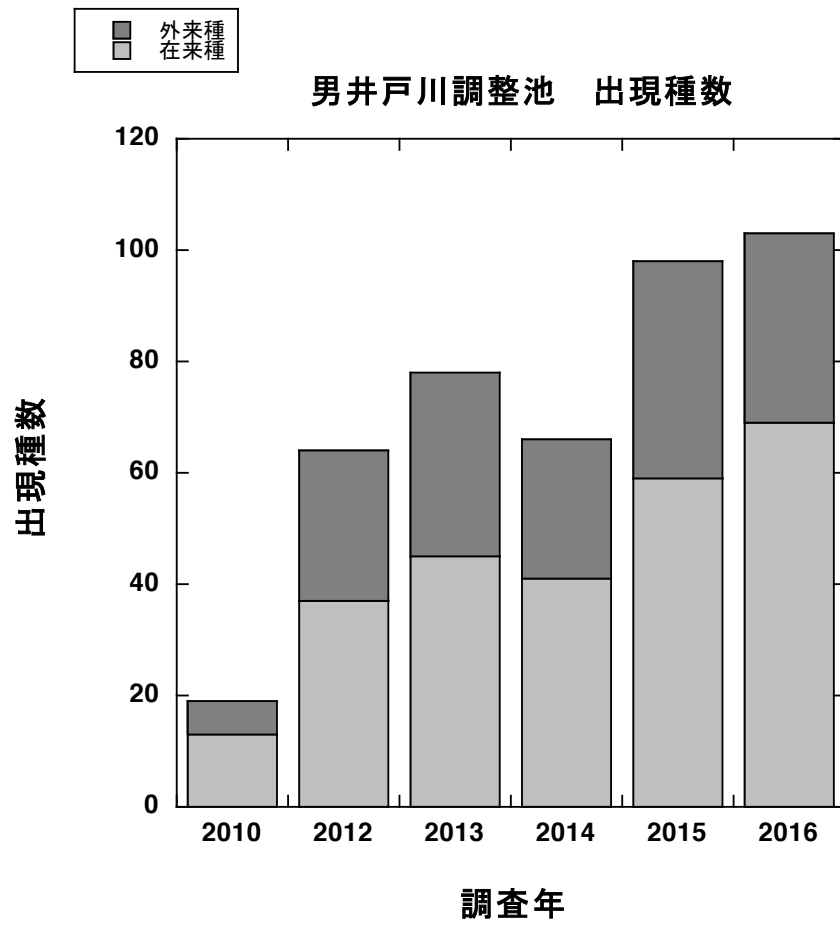
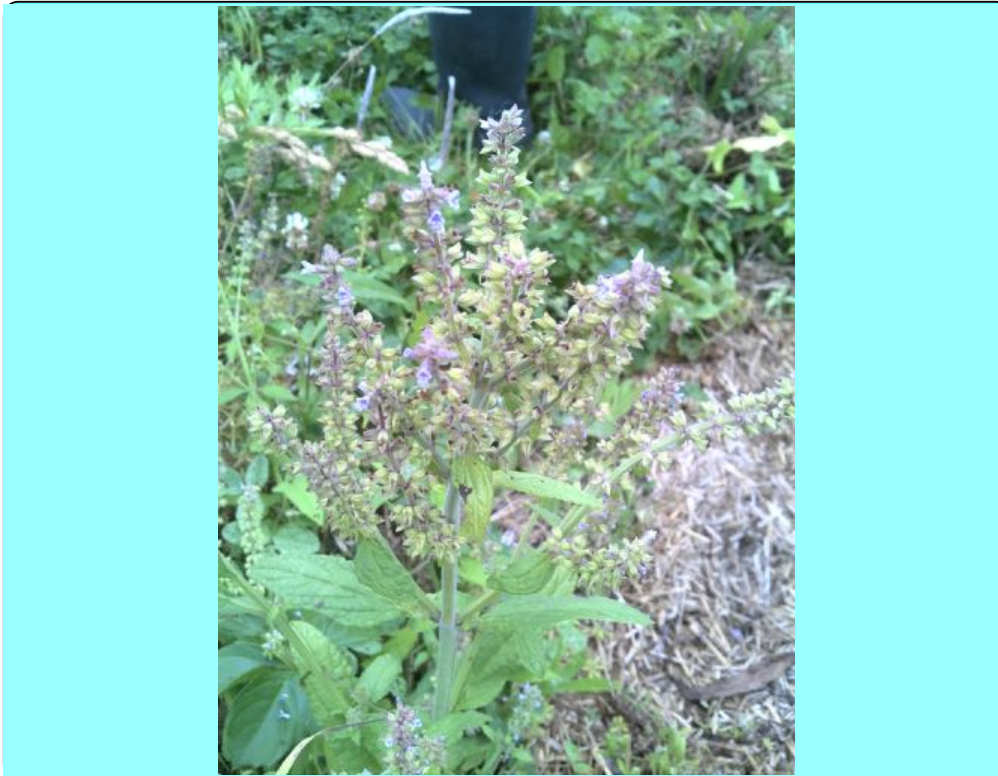


図7. 男井戸川調整池において生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

写真



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

撮影年 2016 05.27

撮影場所 アドバンテスト

種別 在来絶滅危惧種

掲載 掲載する

備考

生育位置



図 8. アドバンテスト・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。

图 9

新規レコード作成

写真



科名 タデ
種名 コギシギシ
学名 *Rumex nipponicus*

生育位置

撮影年 2016 04.20
撮影場所 男井戸川調整池
種別 在来絶滅危惧種
掲載 掲載する
備考



図 10. 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。

图 11

图 12

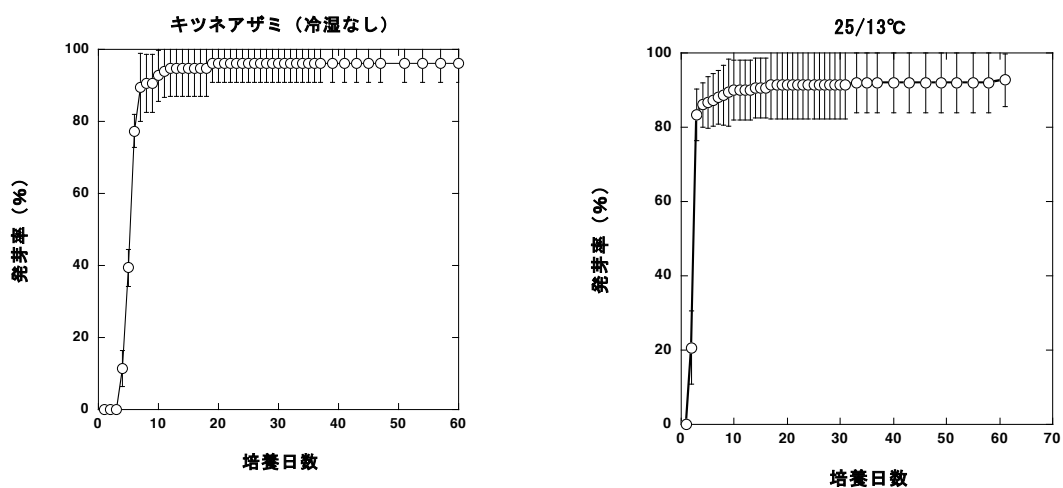


図 13. 冷湿処理を施していないキツネアザミ (チノー産) の種子発芽率の経時変化 (左図) と冷湿処理を施した種子の発芽率の経時変化 (右図)。

種子を 25/13°C に設定した温度勾配型恒温器内で 59 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。

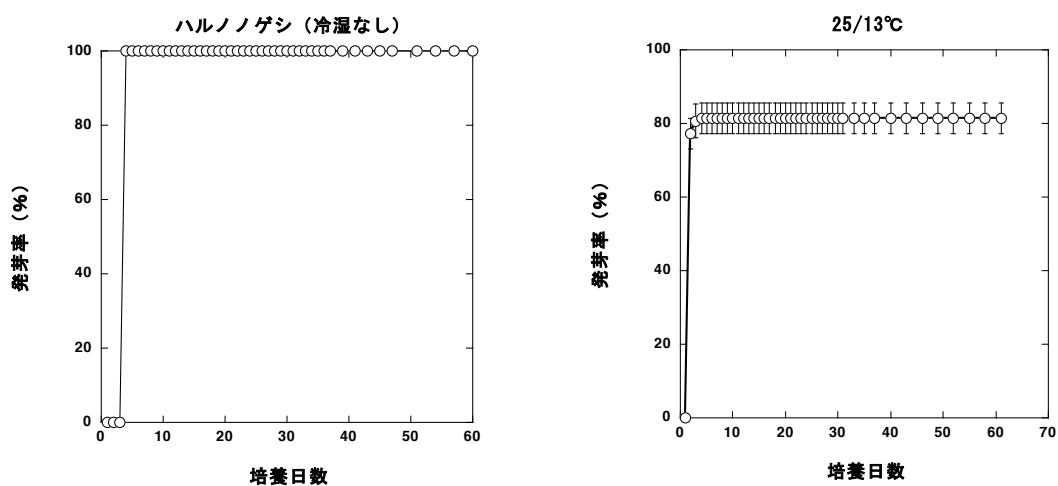


図 14. 冷湿処理を施していないハルノノゲシ（チノー産）の種子発芽率の経時変化（左図）と冷湿処理を施した種子の発芽率の経時変化（右図）。

種子を 25/13°C に設定した温度勾配型恒温器内で 59 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。 $n=3$ 。

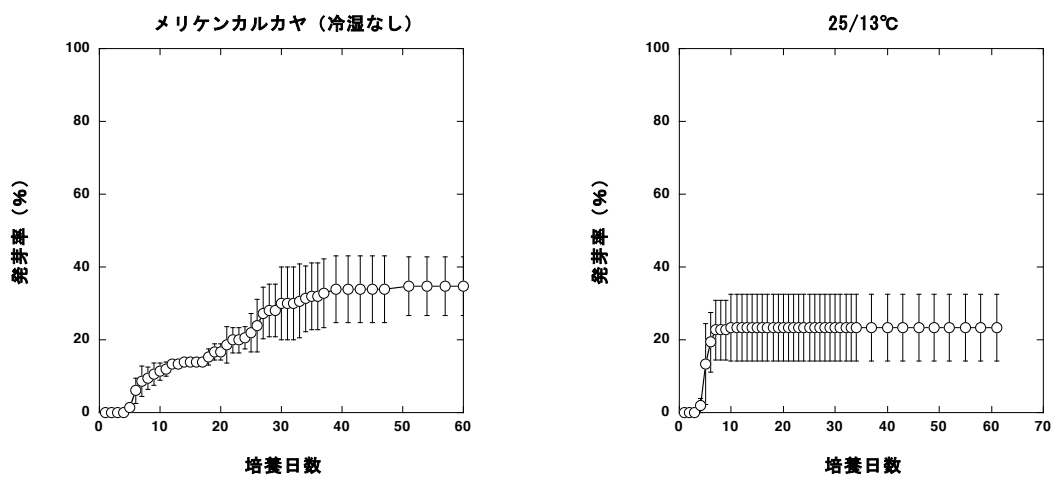


図 15. 冷湿処理を施していないメリケンカルカヤ（荒牧産）の種子発芽率の経時変化（左図）と冷湿処理を施した種子の発芽率の経時変化（右図）。

種子を 25/13℃ に設定した温度勾配型恒温器内で 59 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。 $n=3$ 。

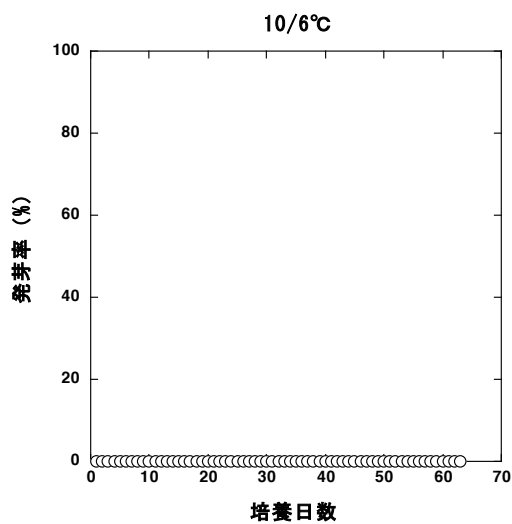
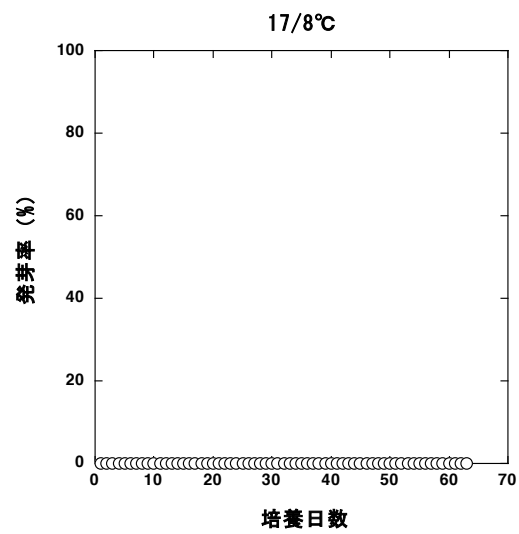
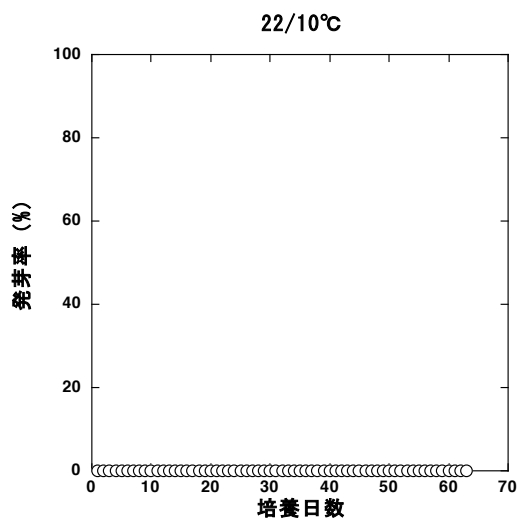
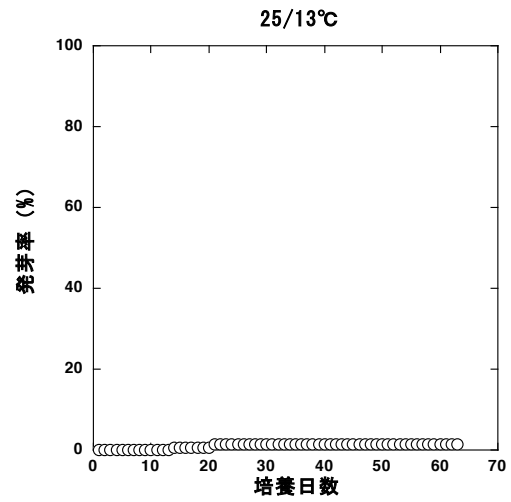
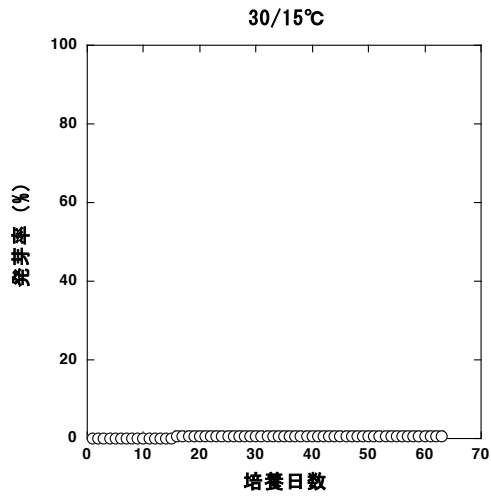


図 16. 冷湿処理を施していないイヌビエの種子発芽率の経時変化

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。

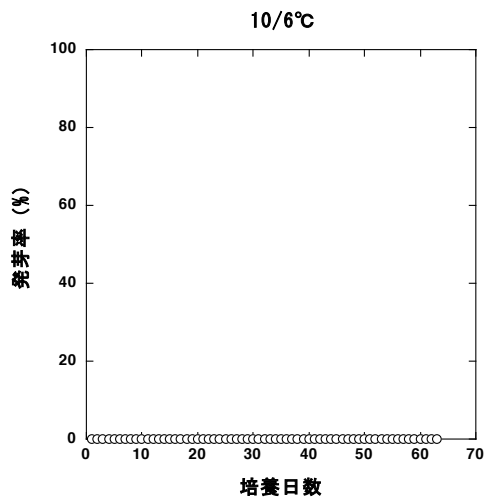
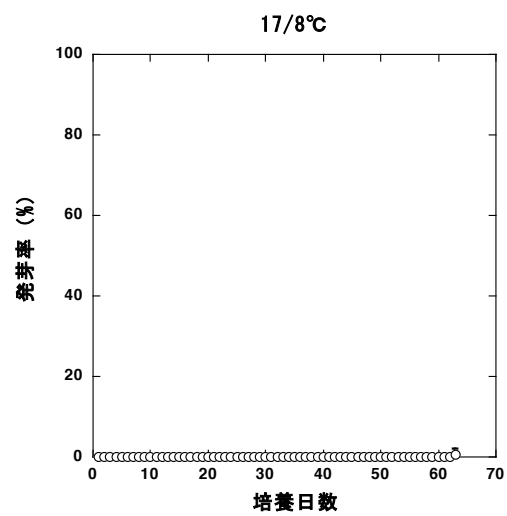
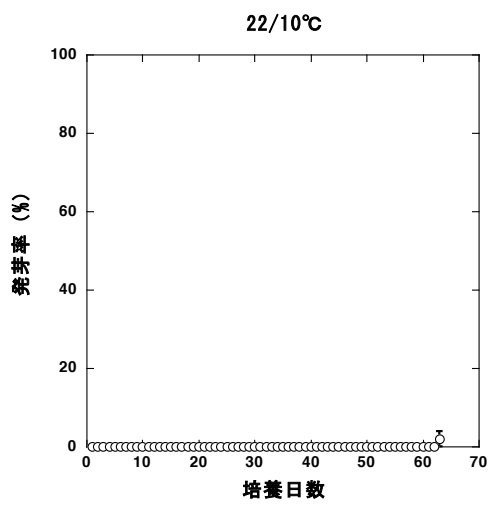
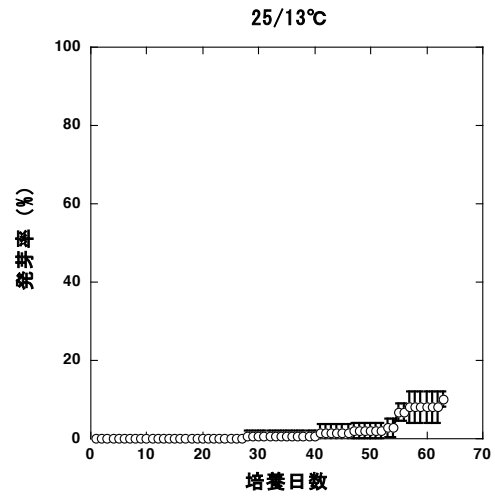
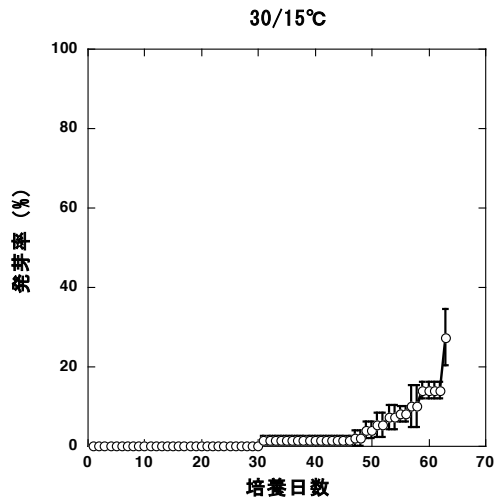


図 17. 冷湿処理を施していないチカラシバの種子発芽率の経時変化

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。

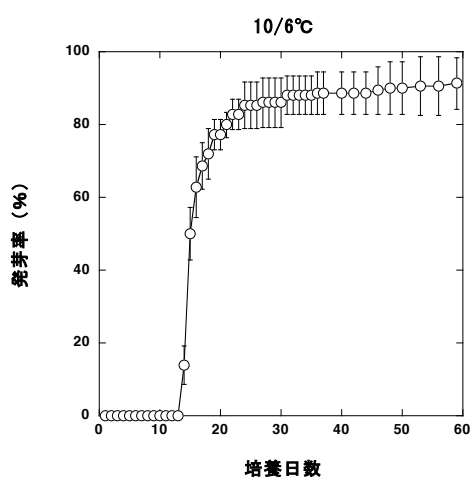
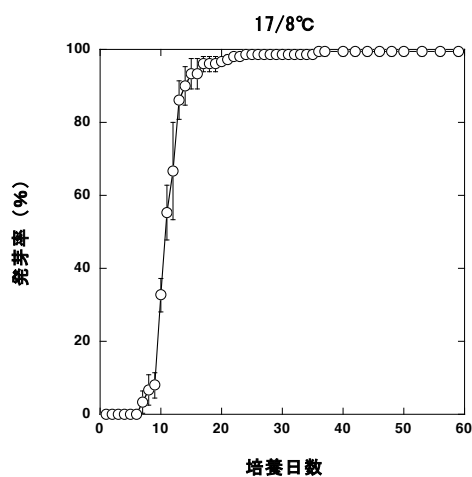
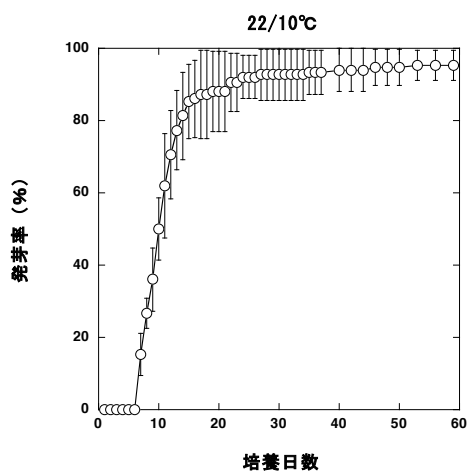
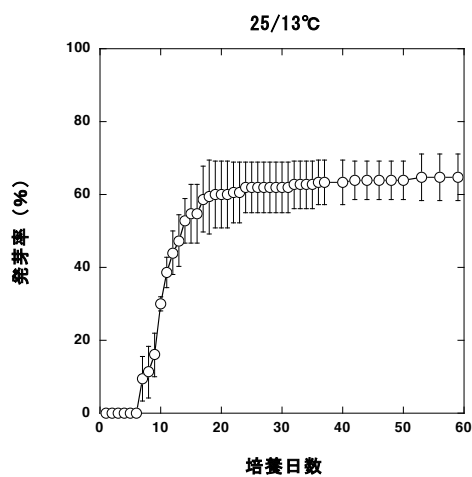
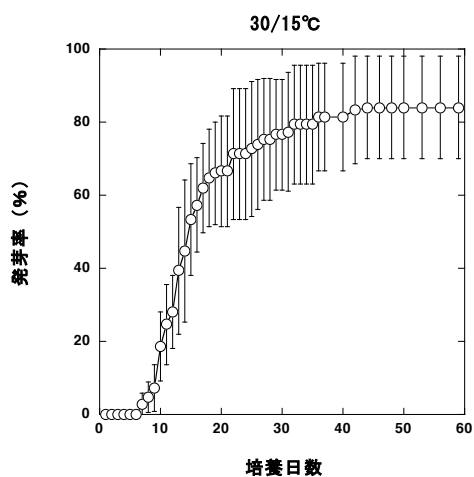


図 18. 冷湿処理を施していないオトコエシ（西榛名産）の種子発芽率の経時変化

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 59 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。

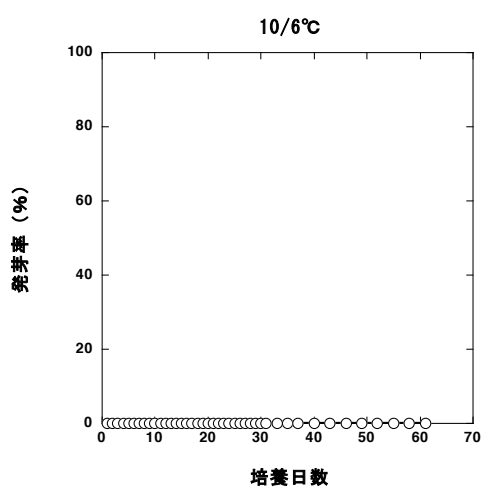
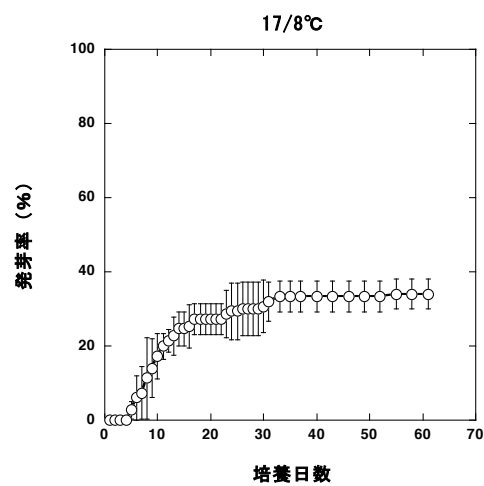
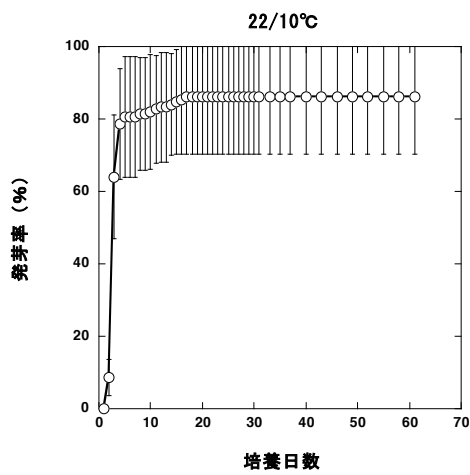
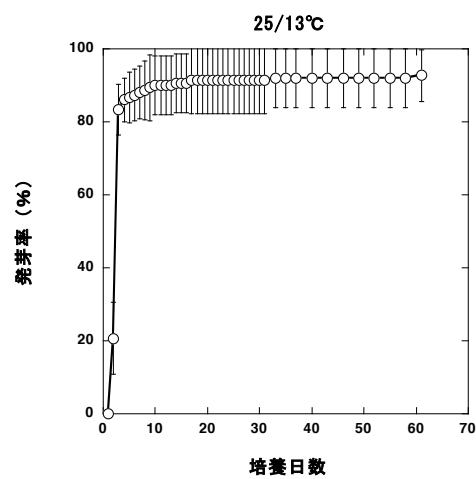
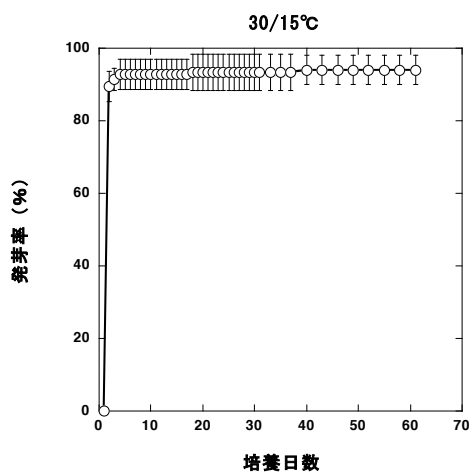


図 19. 冷湿処理を施したキツネアザミ（チノー産）の種子発芽率の経時変化

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 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。

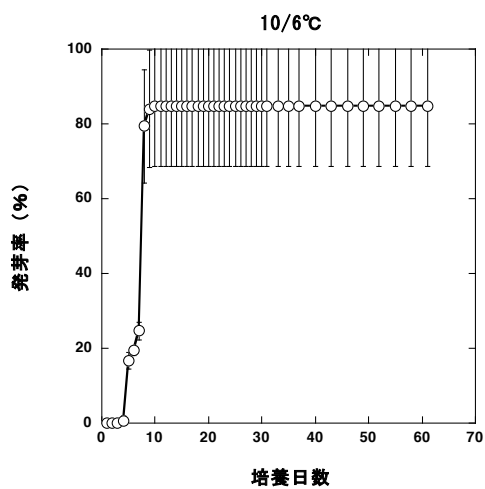
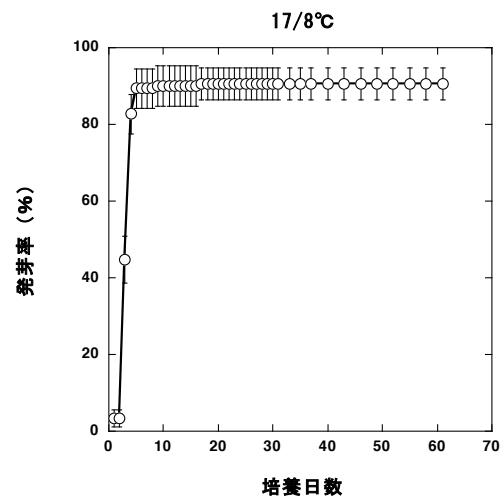
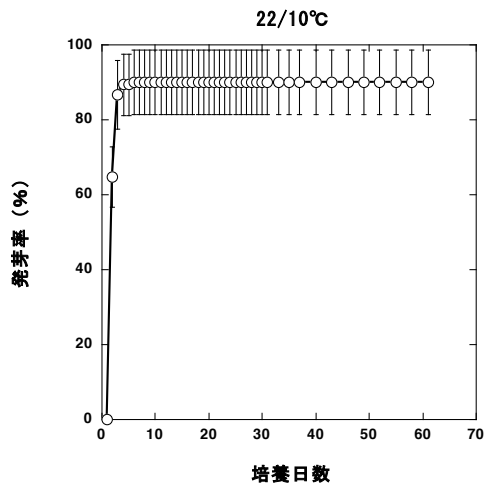
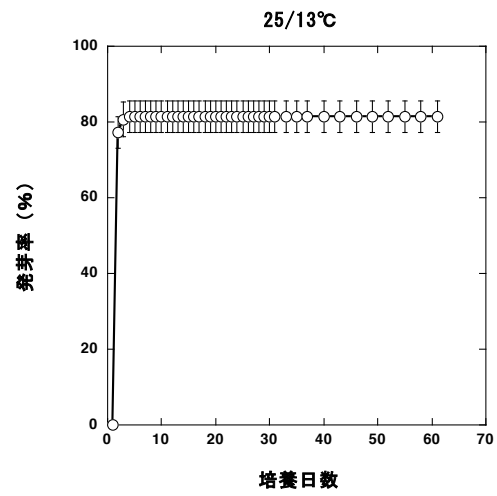
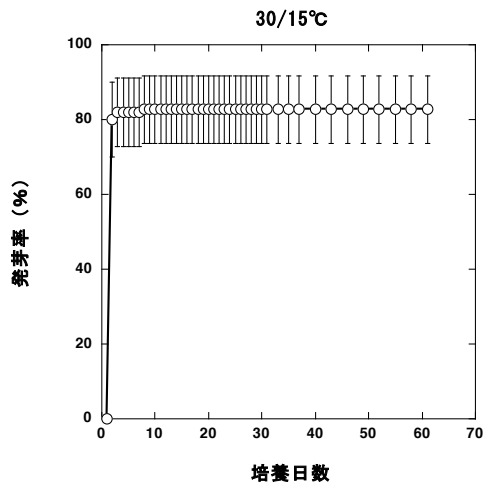


図 20. 冷湿処理を施したハルノノゲシ (チノー産) の種子発芽率の経時変化

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 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。

图 21

图 22

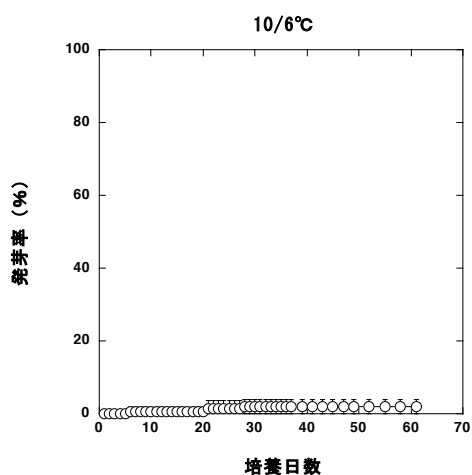
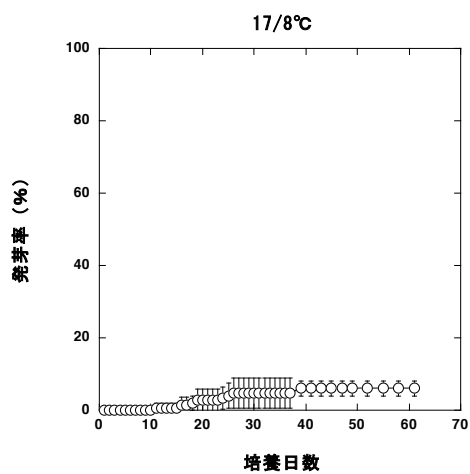
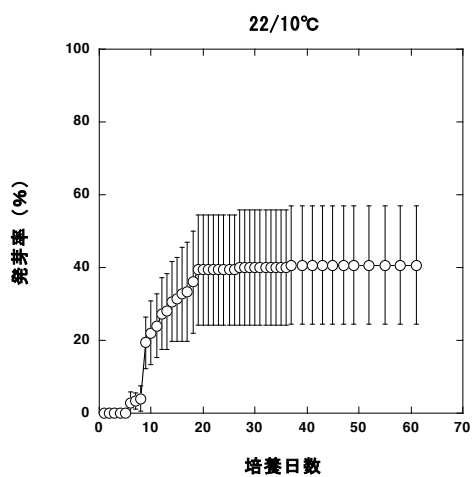
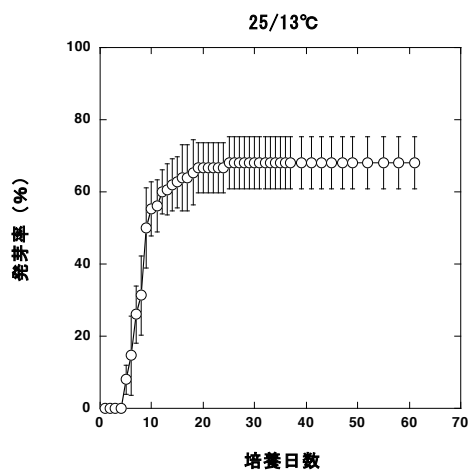
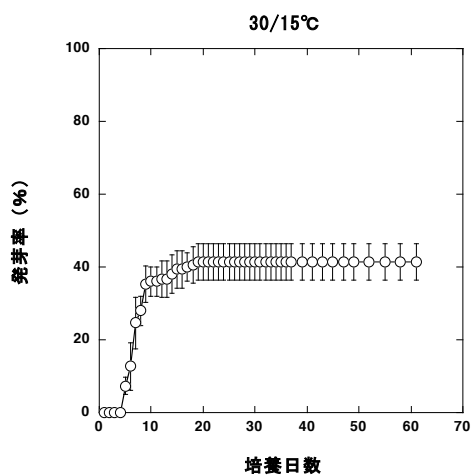


図 23. 冷湿処理を施していないオカトラノオ（榛名公園産）の種子発芽率の経時変化

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 59 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。

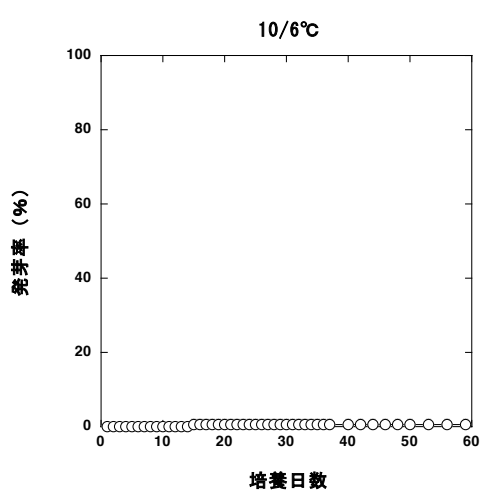
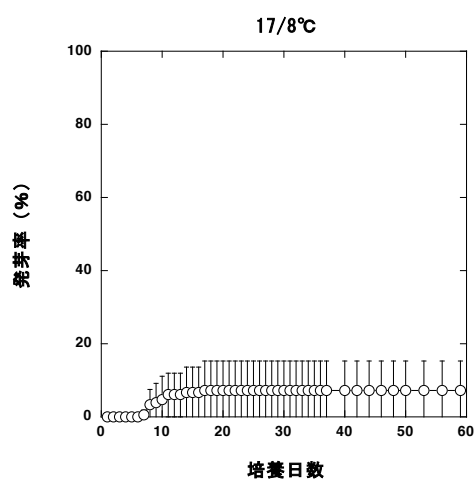
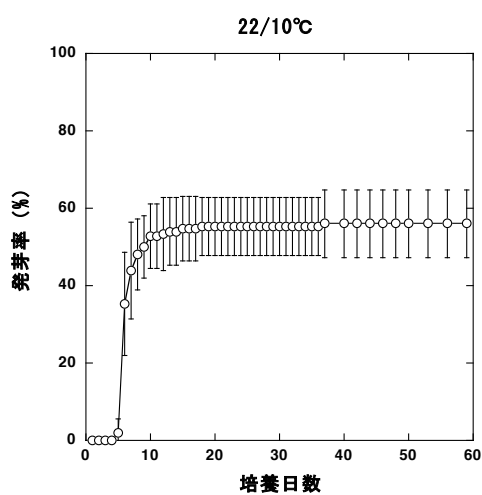
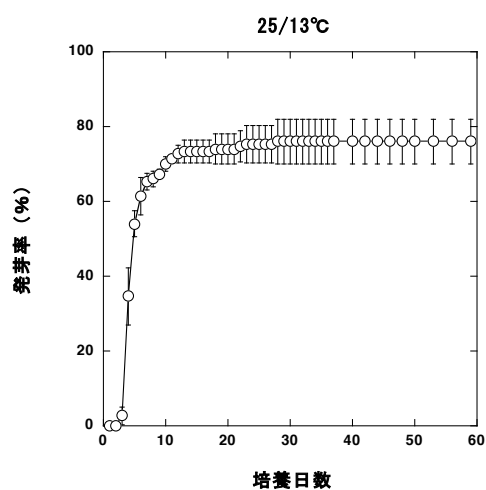
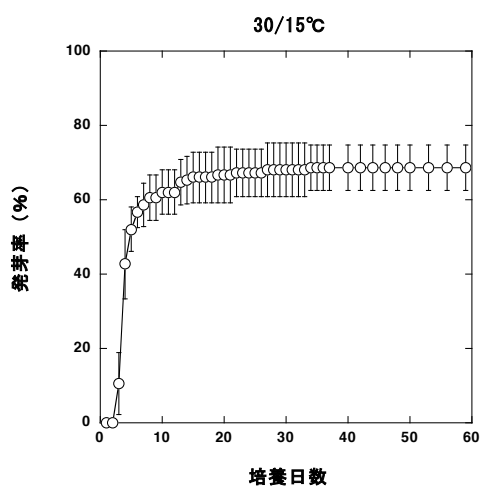


図 24. 冷湿処理を施していないイヌトウバナ（アドバンテスト産）の種子発芽率の経時変化

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 59 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。

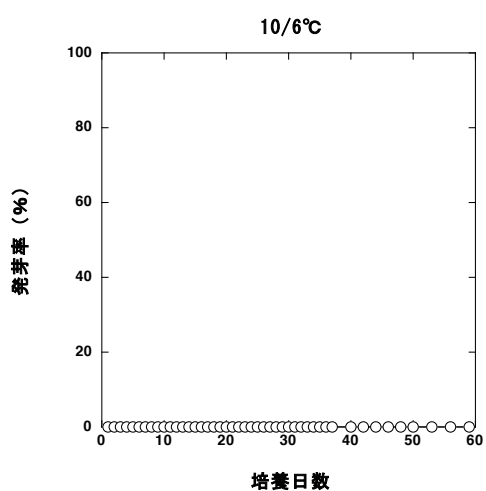
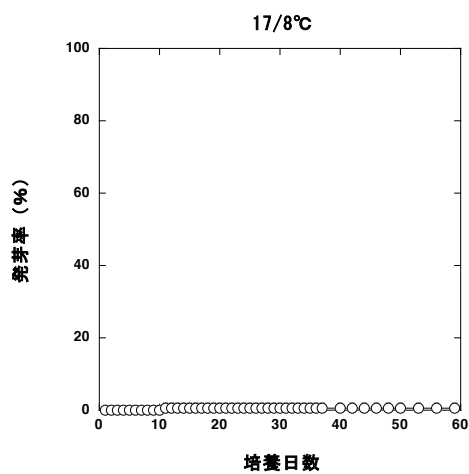
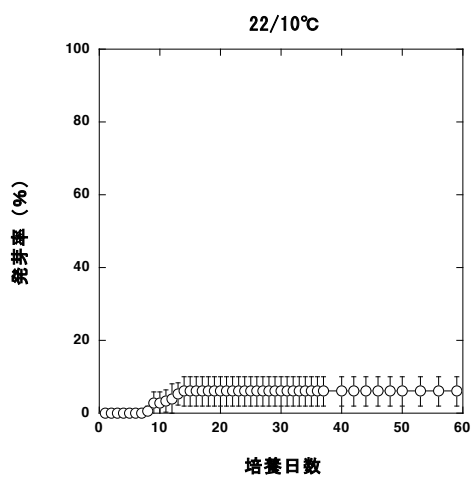
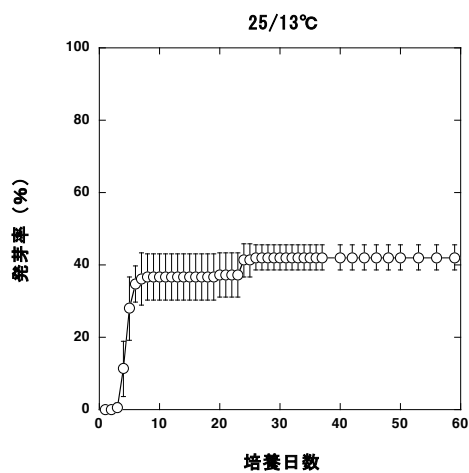
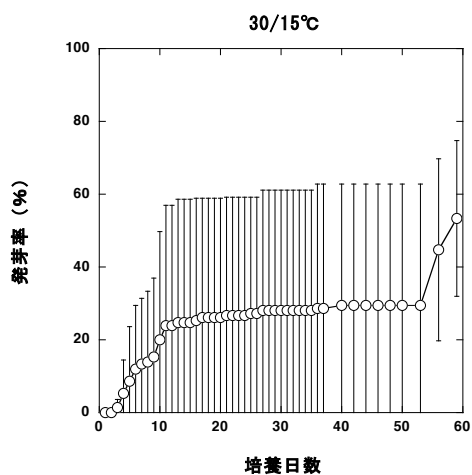


図 25. 冷湿処理を施していないミゾコウジュ（板倉町産）の種子発芽率の経時変化

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 59 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。

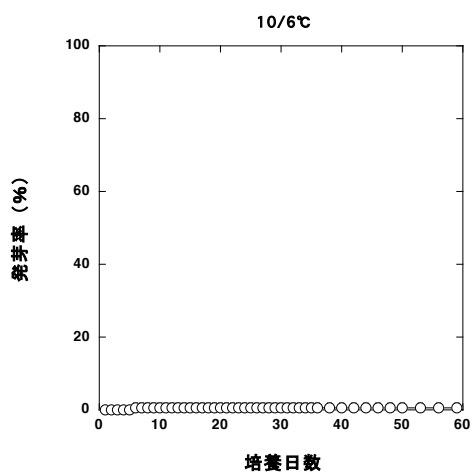
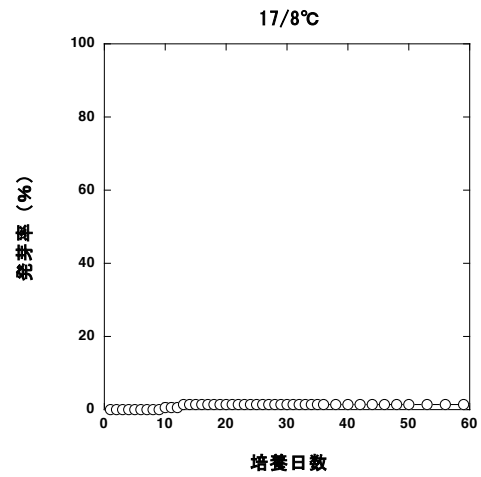
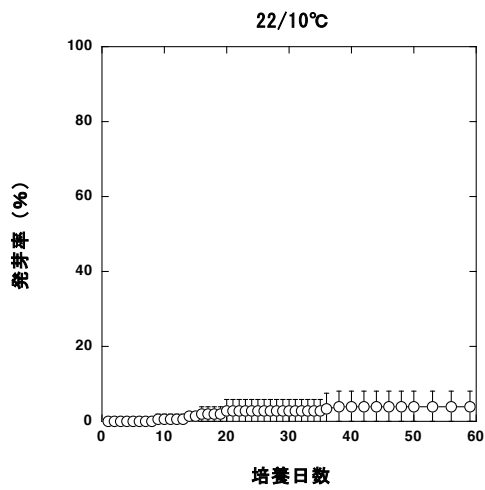
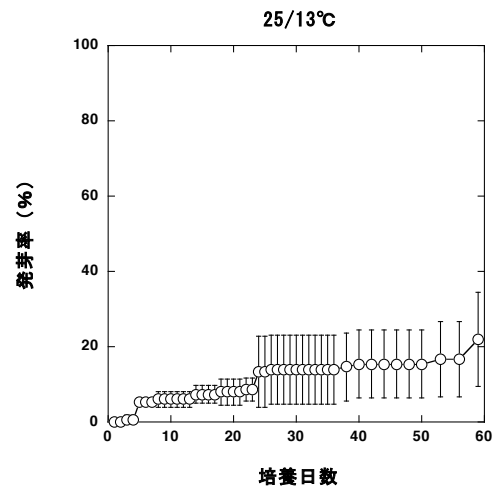
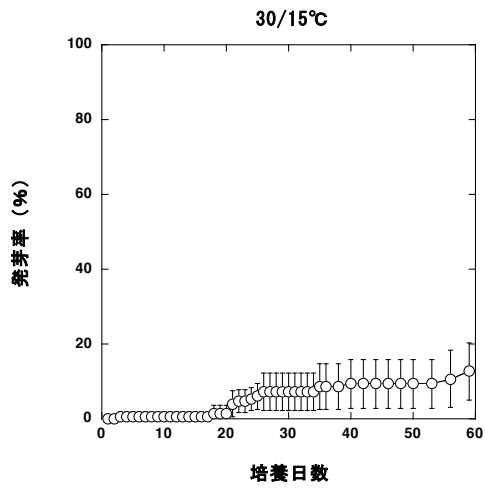


図 26. 冷湿処理を施していないコギシギシ（男井戸川産）の種子発芽率の経時変化

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 59 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。

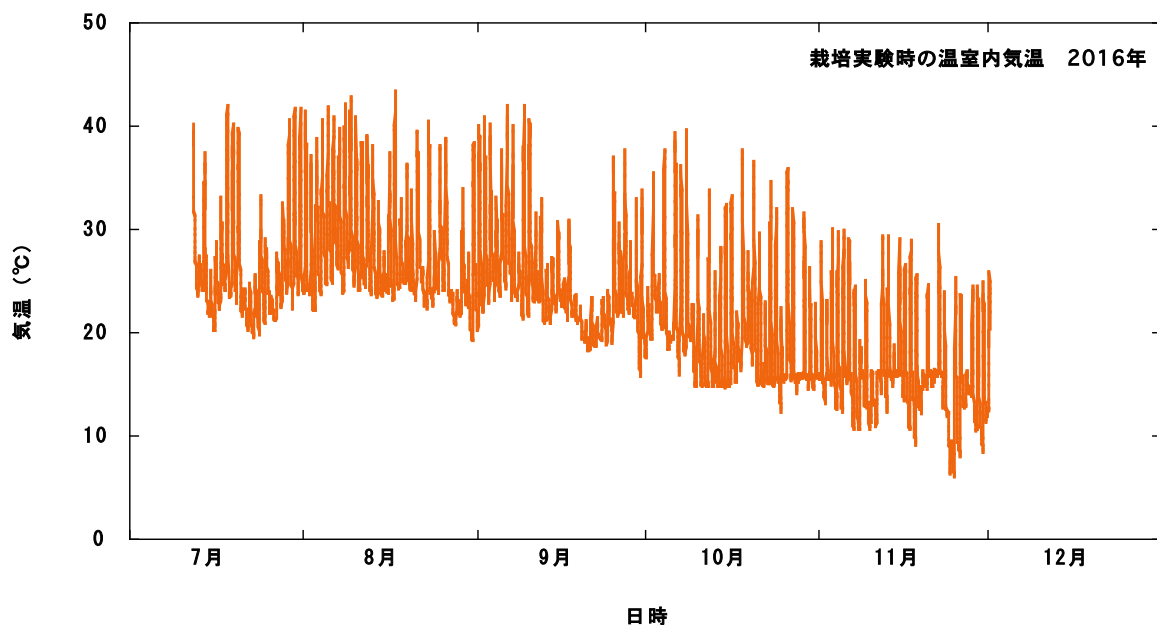
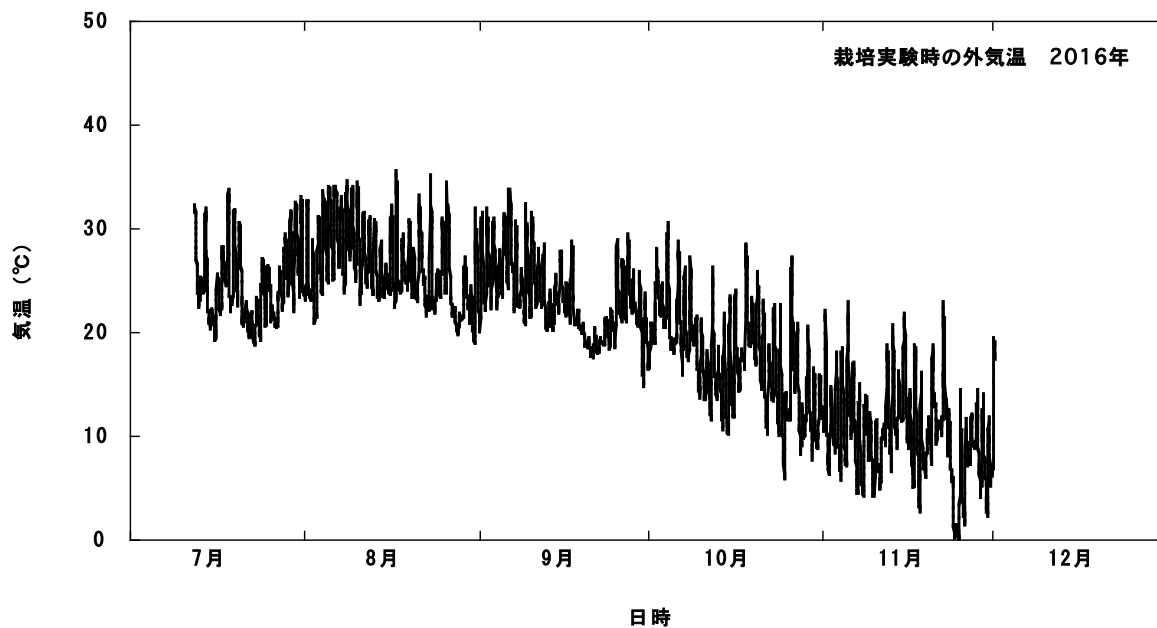


図 27. 群馬大学荒牧キャンパス構内の栽培実験期間中の圃場および温室内の気温
 2016年7月から11月までの間、群馬大学荒牧キャンパス構内の圃場と温室内で気温を温度データロガー (TR52, T&D corporation) をそれぞれ高さ 1.5m 付近に設置し、30 分おきに連続測定した。上図は圃場の気温、下図は温室内気温を示す。温室と圃場の平均温度差は 2.4°Cであった。

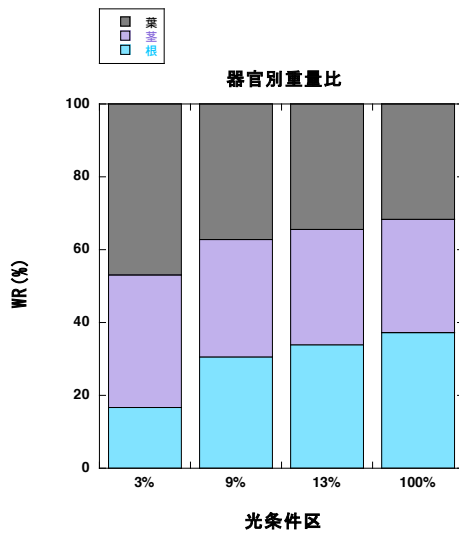
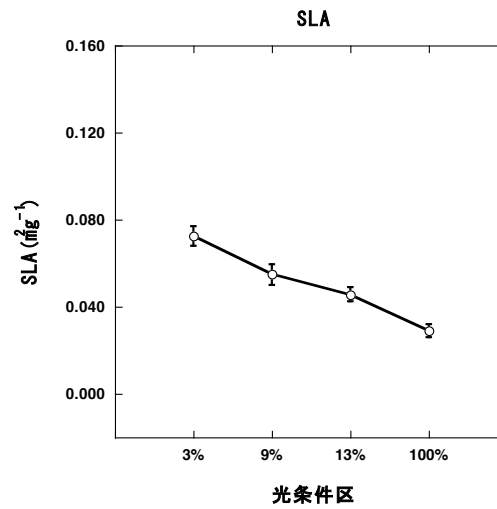
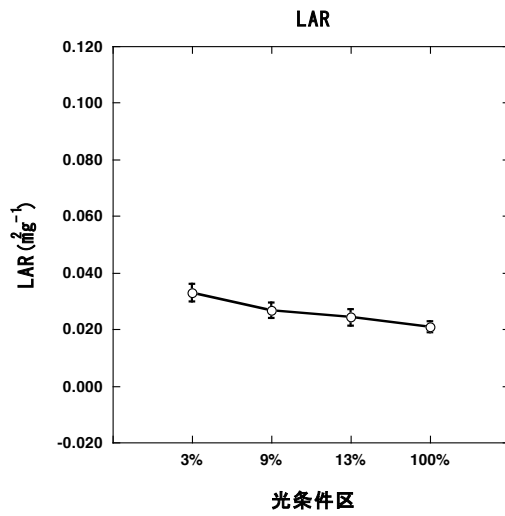
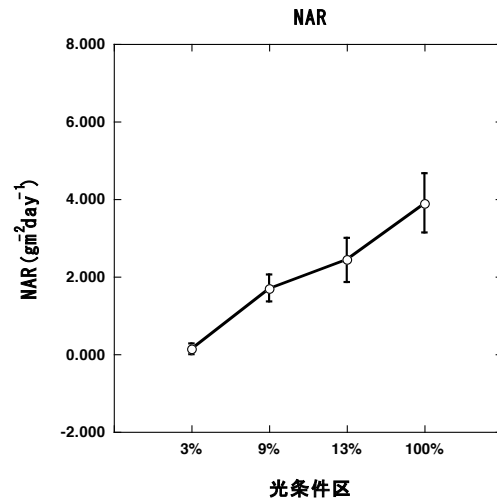
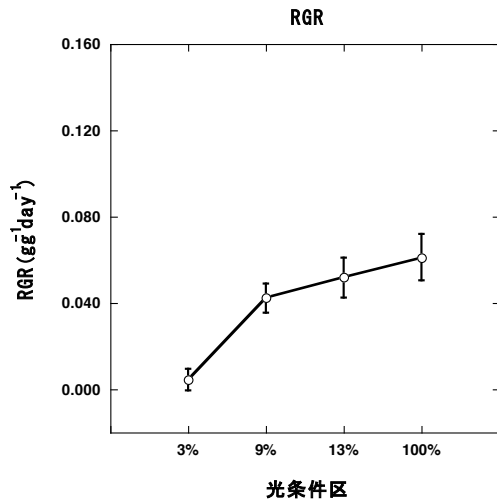


図 28. 異なる光条件下で栽培したオトコエシ（西榛名産）の生長解析結果

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、ポット植えた苗を 2016 年 7 月 14 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=11-15。

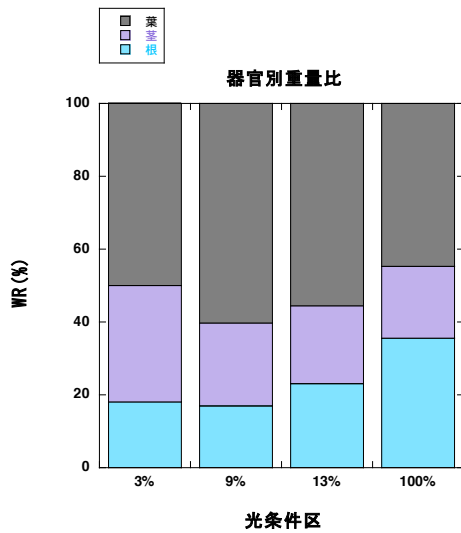
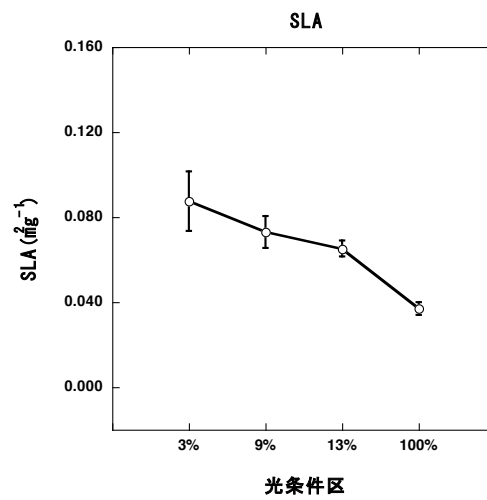
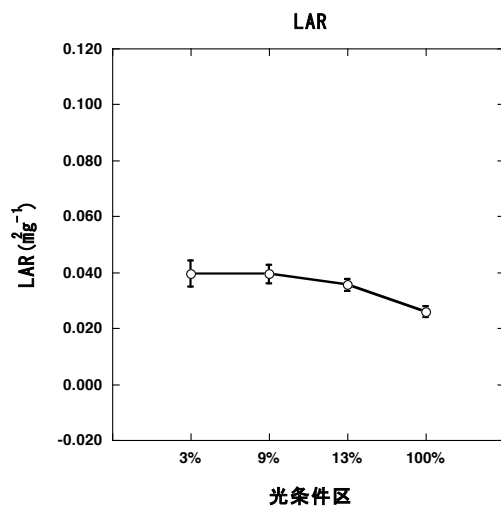
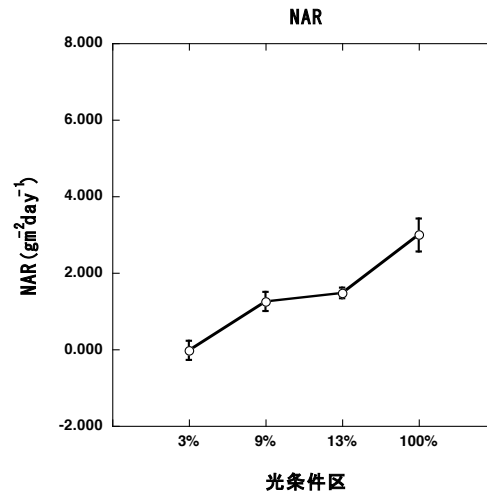
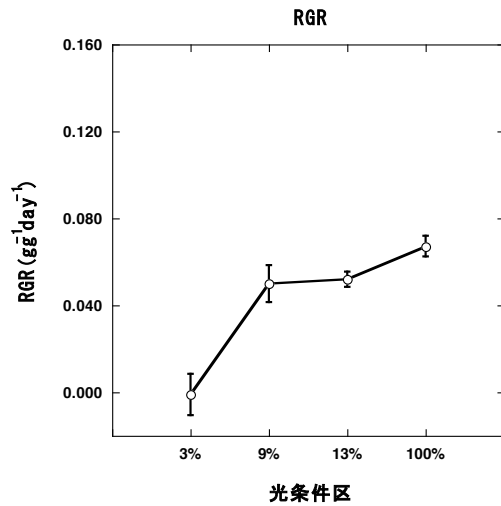


図 29. 異なる光条件下で栽培したキツネアザミ (チノー産) の生長解析結果

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=13。

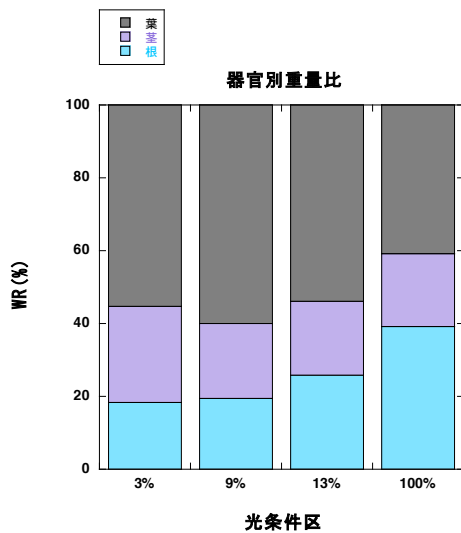
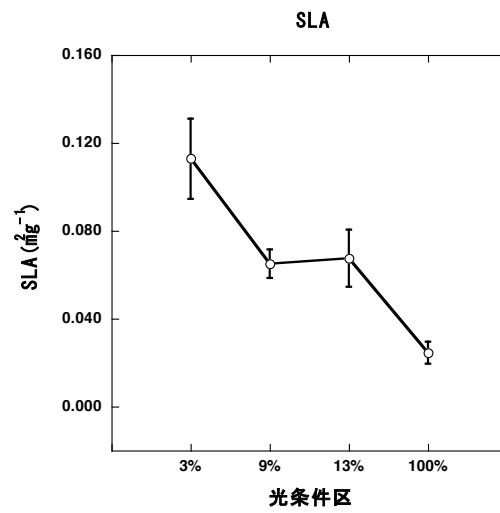
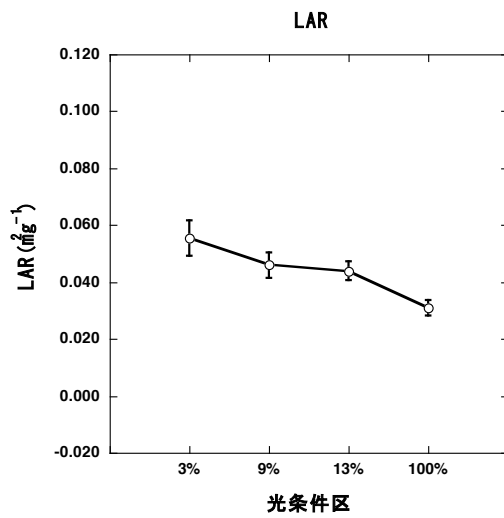
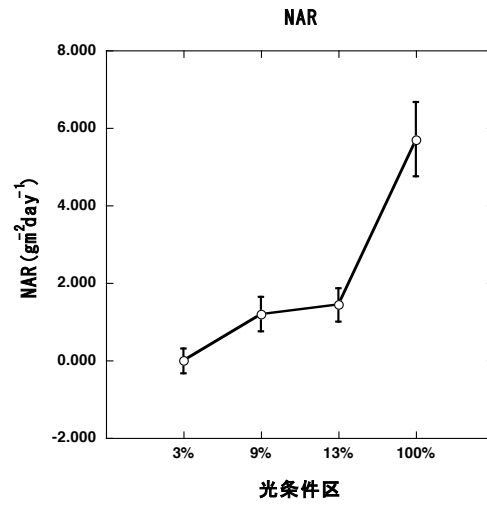
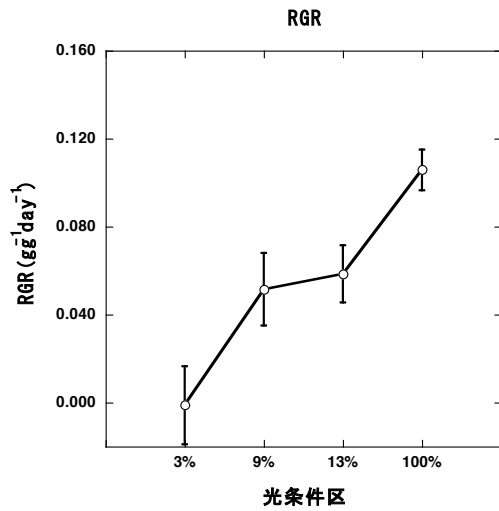


図 30. 異なる光条件下で栽培したハルノノゲシ (チノー産) の生長解析結果

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、ポット植えた苗を 2016 年 8 月 12 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=7-8。

图 31

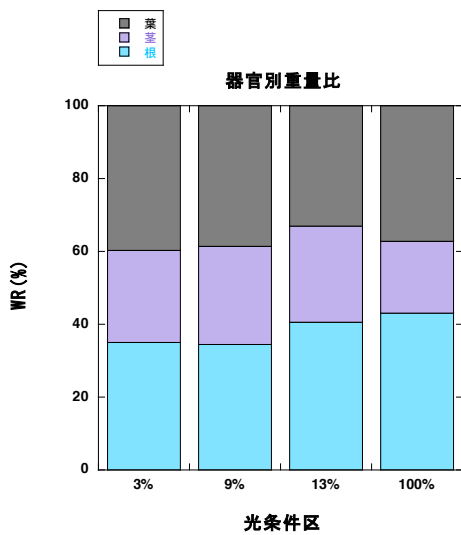
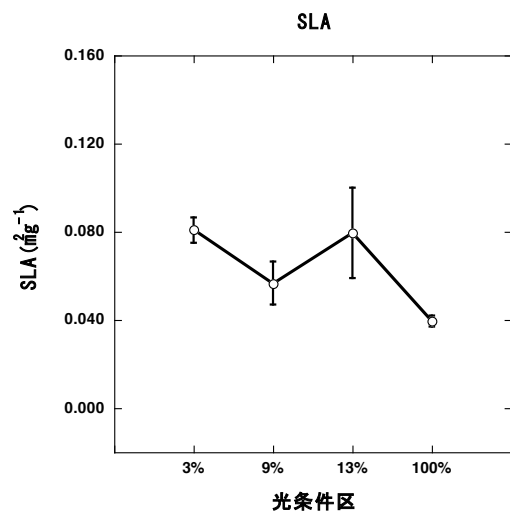
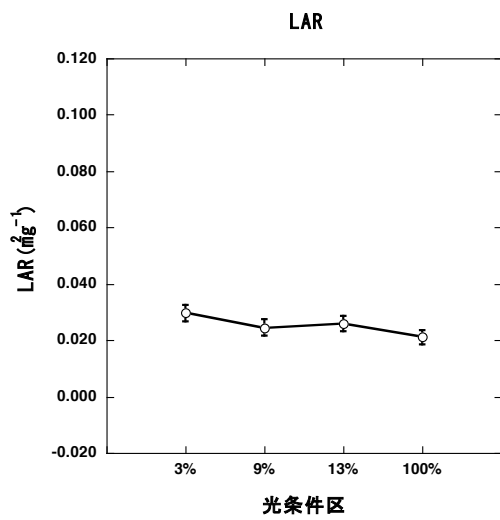
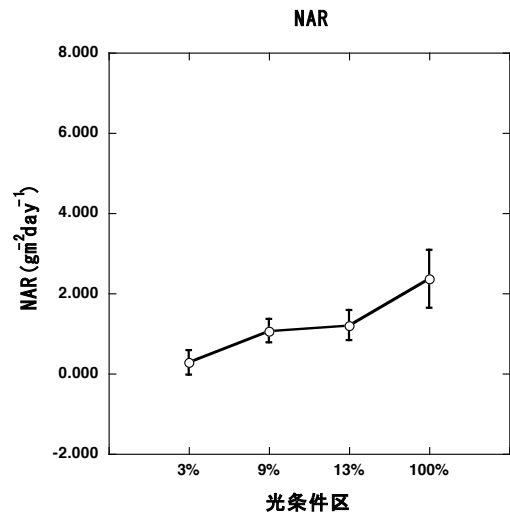
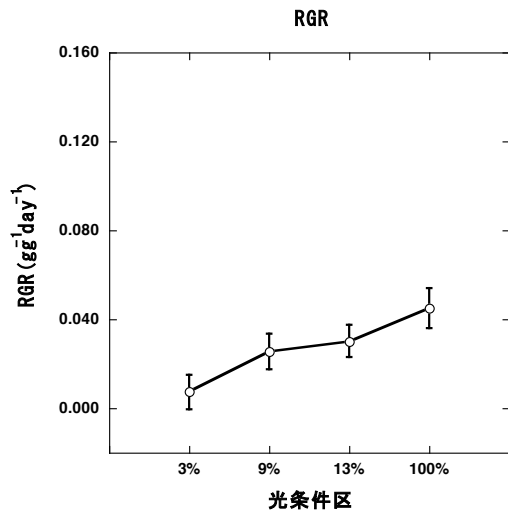


図 32. 異なる光条件下で栽培したイヌトウバナ（アドバンテスト産）の生長解析結果

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、ポット植えた苗を 2016 年 9 月 9 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=5-6。

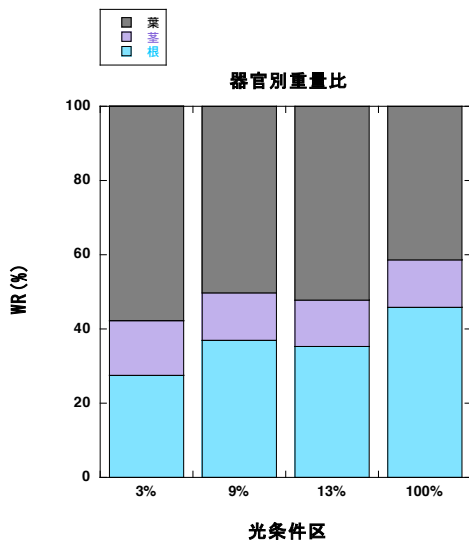
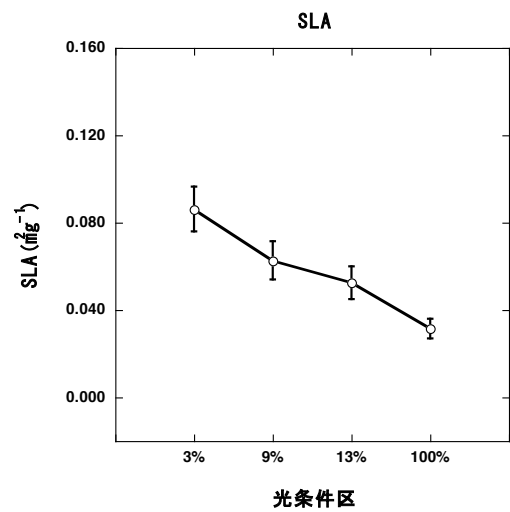
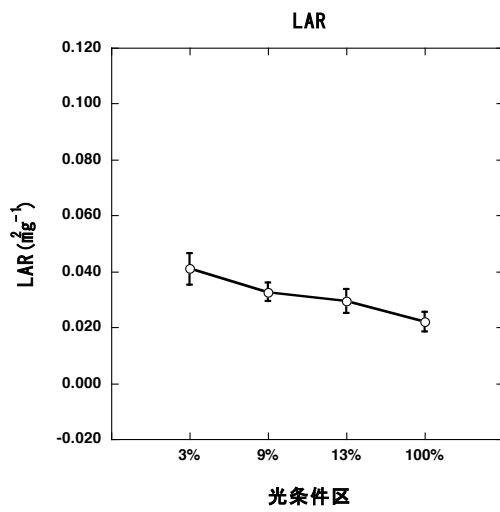
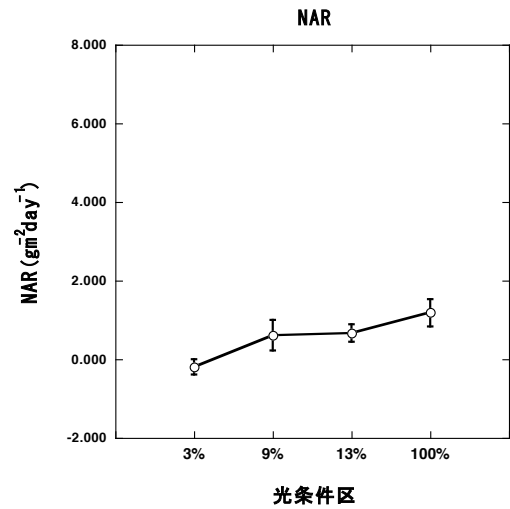
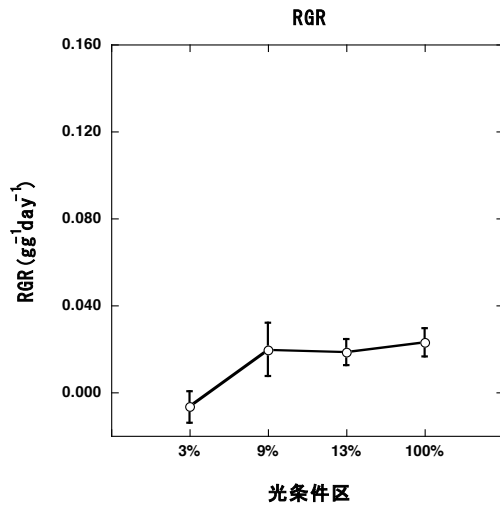


図 33. 異なる光条件下で栽培したミゾコウジュ（板倉町産）の生長解析結果

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、ポット植えた苗を 2016 年 9 月 9 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=10-11。

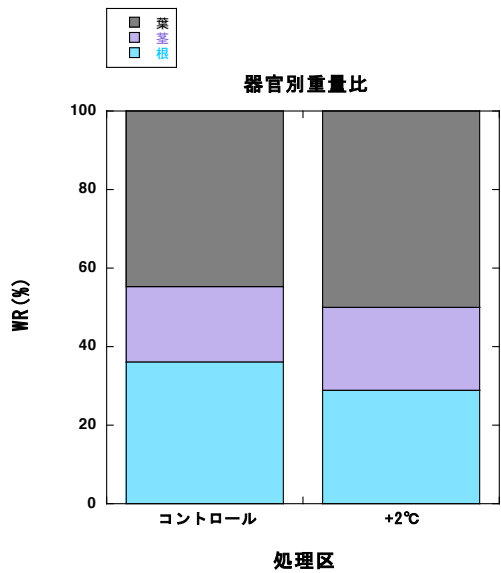
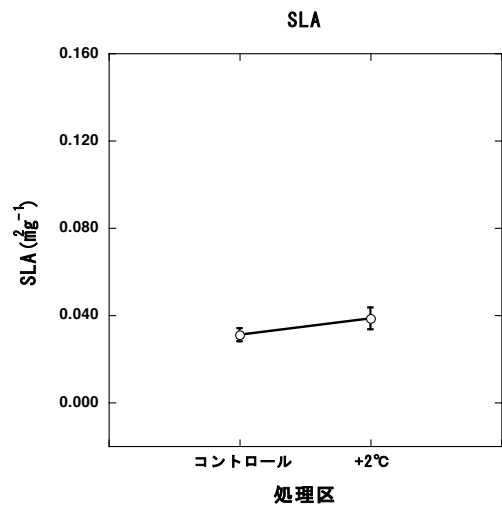
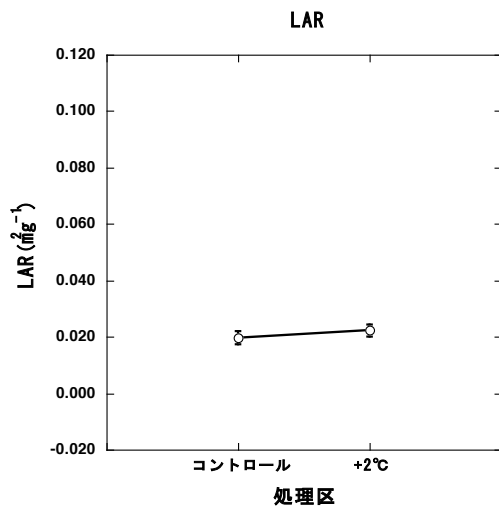
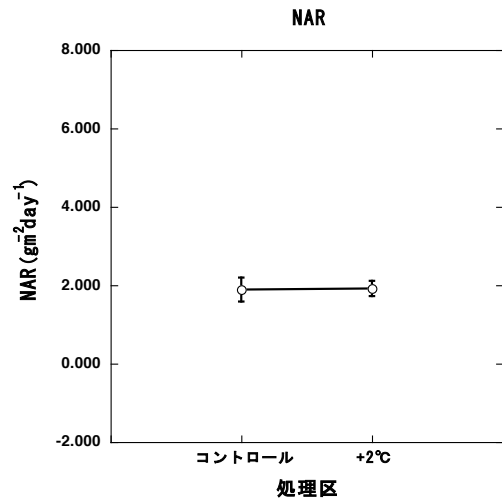
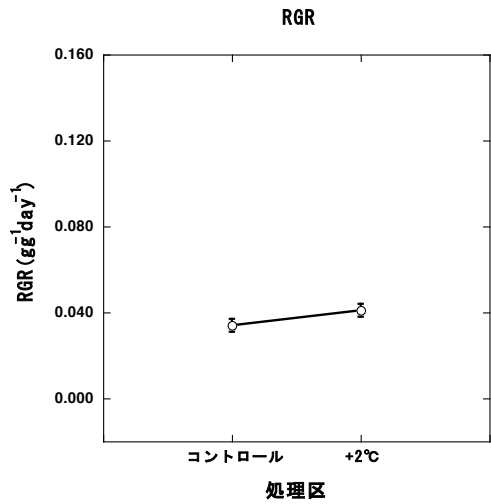


図 34. 異なる温度条件下で栽培したイヌムギ (アドバンテスト産) の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 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。

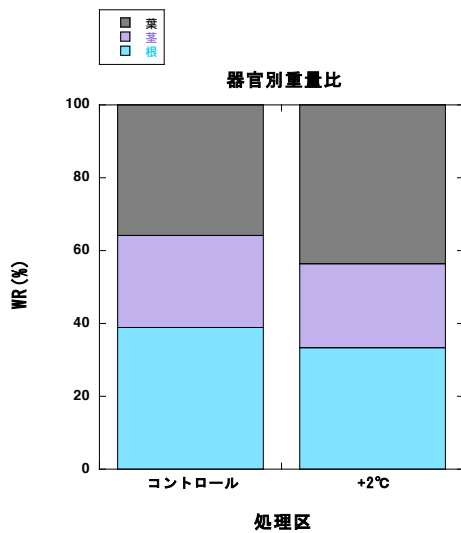
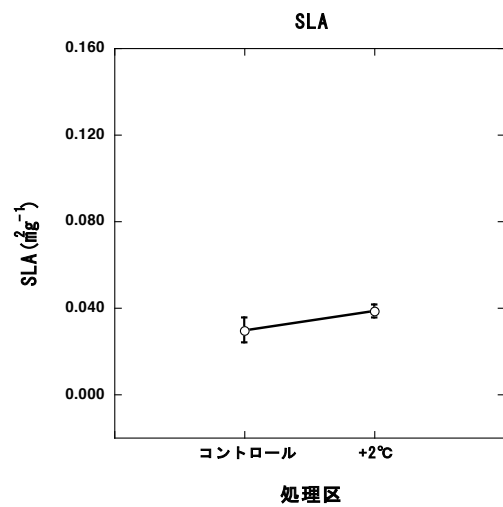
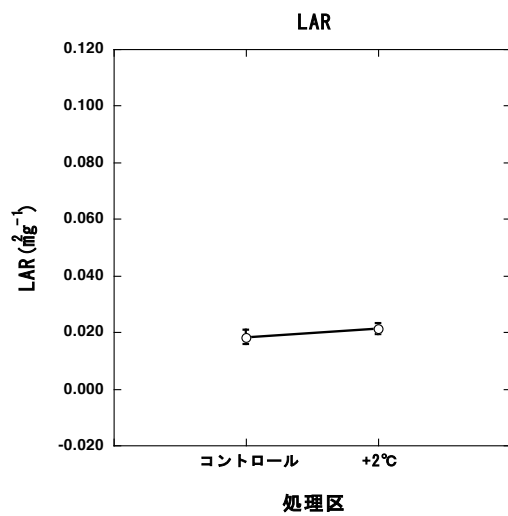
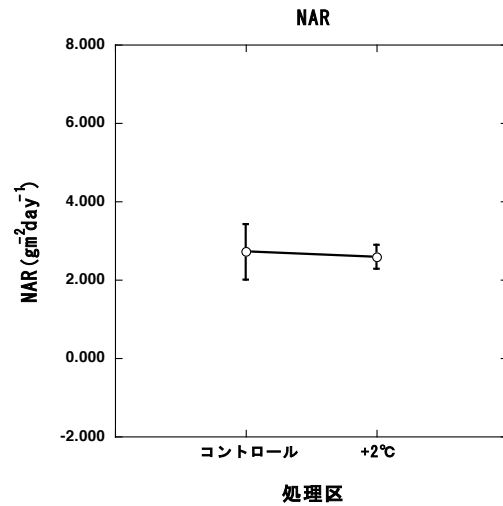
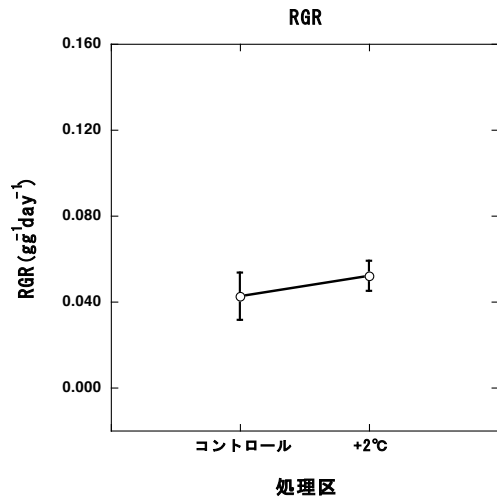


図 35. 異なる温度条件下で栽培したカモガヤ (アドバンテスト産) の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 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。

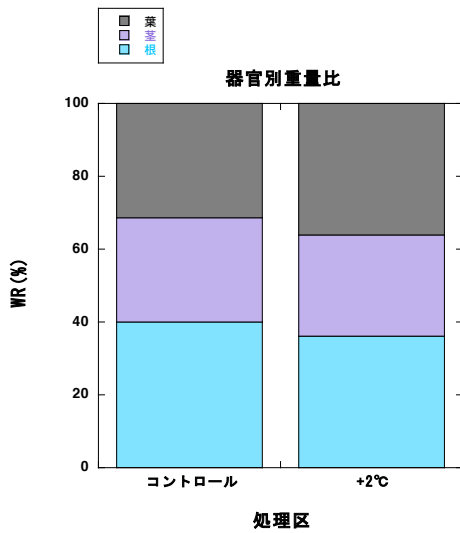
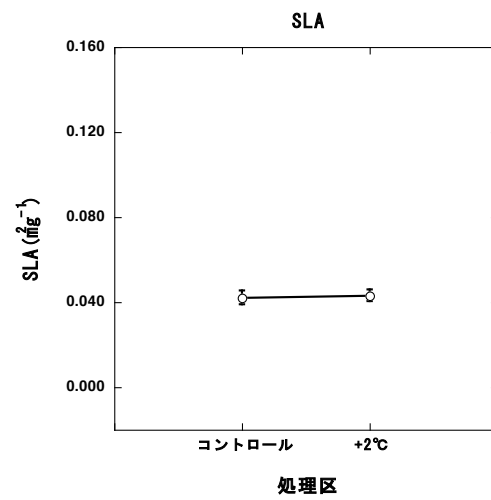
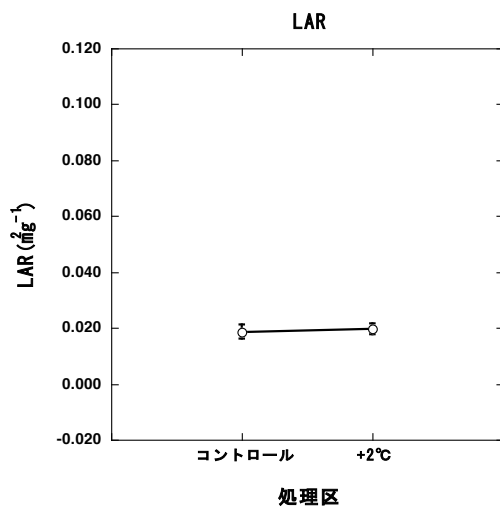
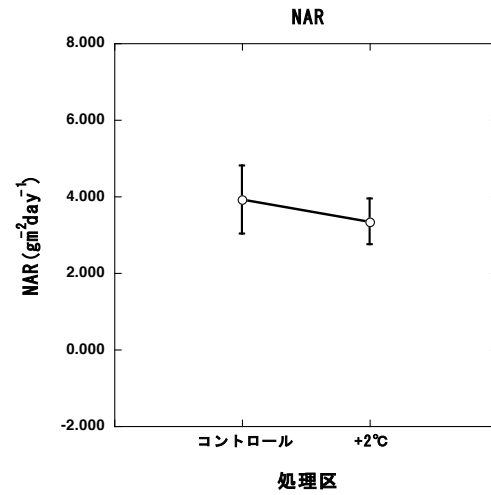
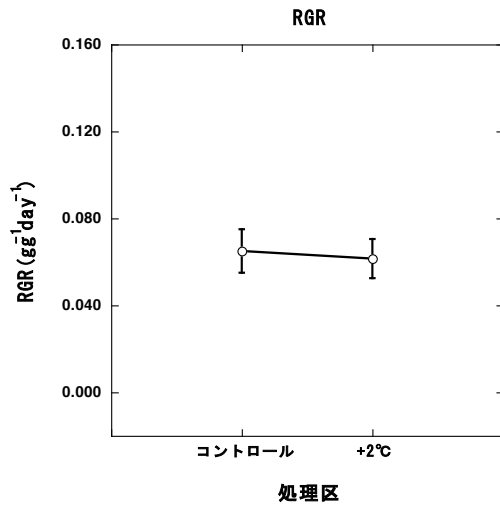


図 36. 異なる温度条件下で栽培したメリケンカルカヤ（群馬大学構内 2013 年産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 月 9 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=13。

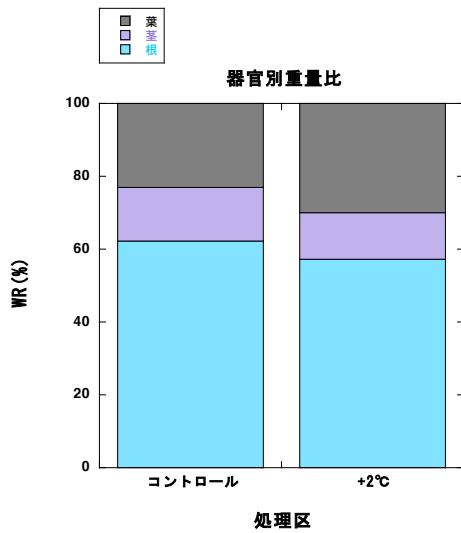
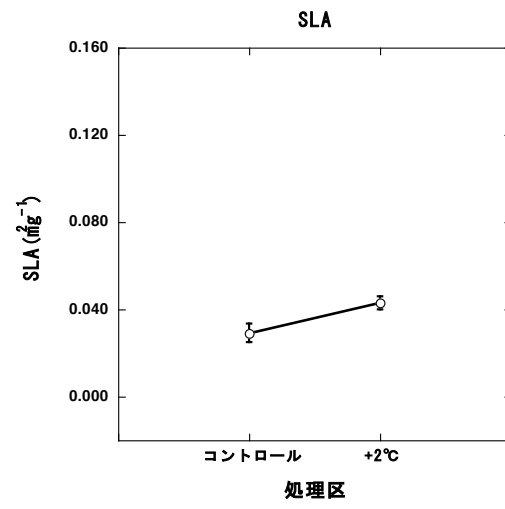
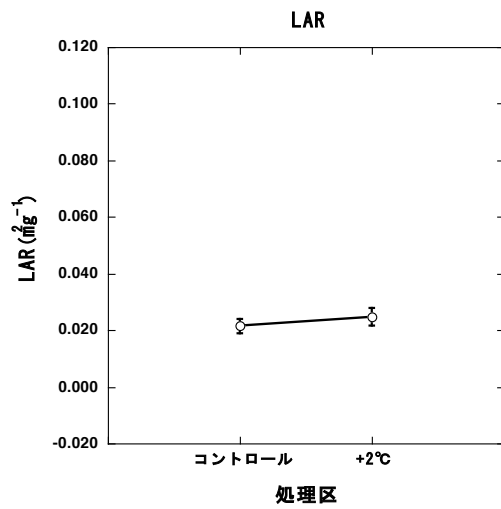
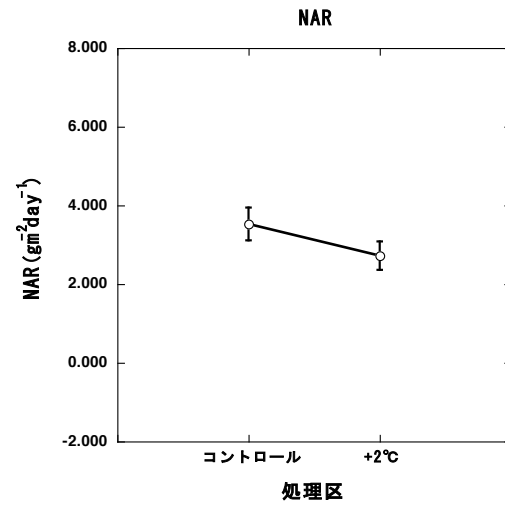
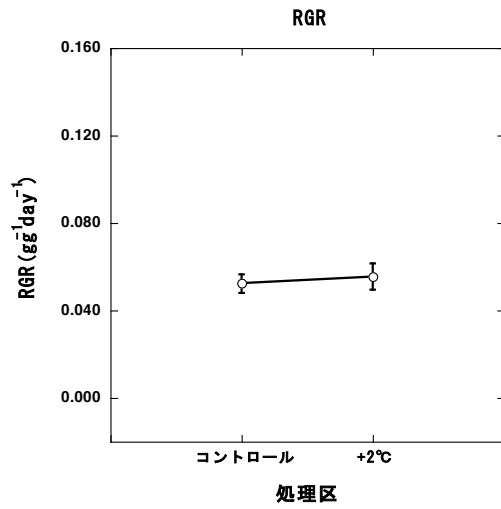


図 37. 異なる温度条件下で栽培したナガバギシギシ (アドバンテスト産) の生長解析結果

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。

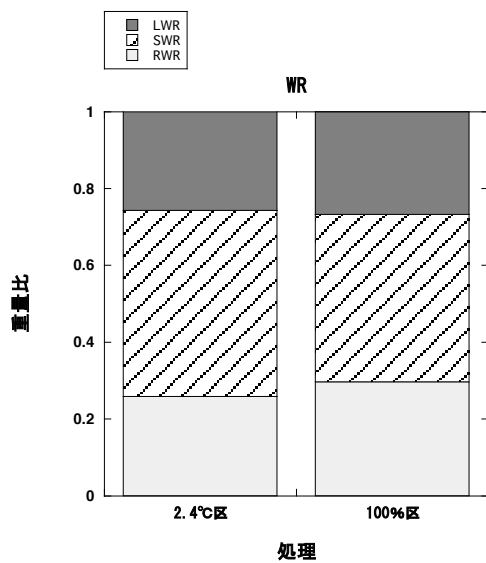
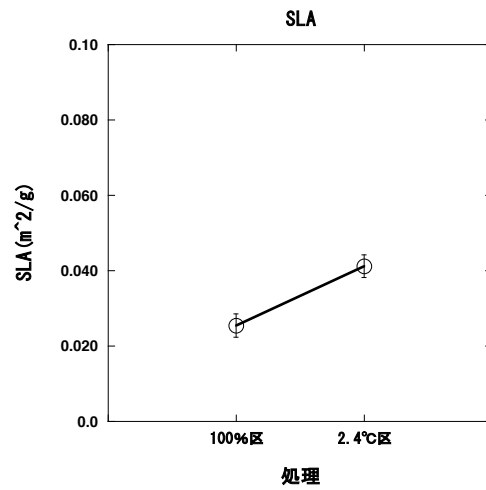
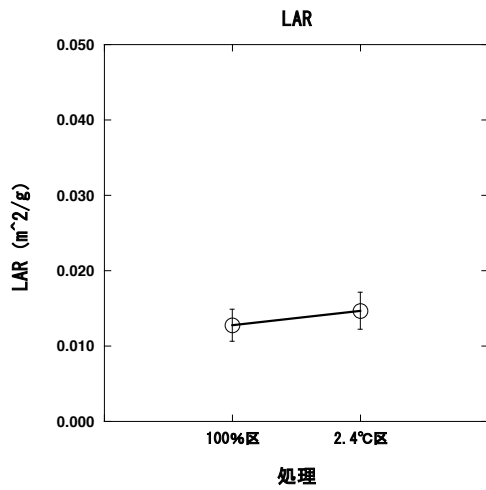
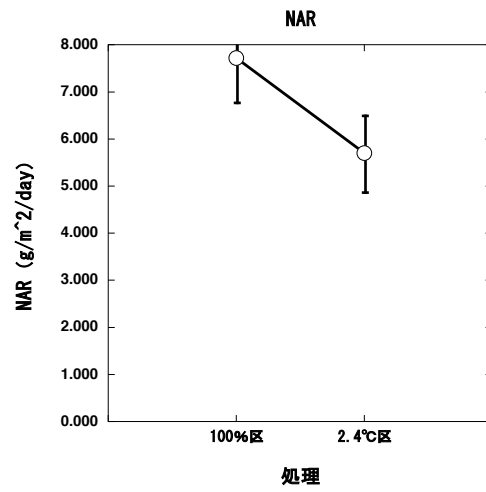
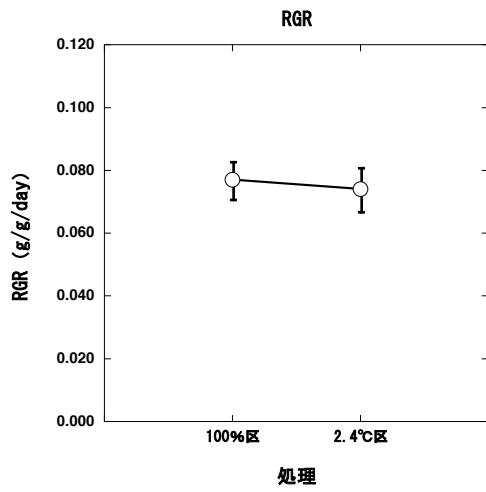


図 38. 異なる温度条件下で栽培したオオブタクサ（菅平）の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区（2.4°C 区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 23 日間栽培した。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。縦棒は標準偏差を示す。n=15。

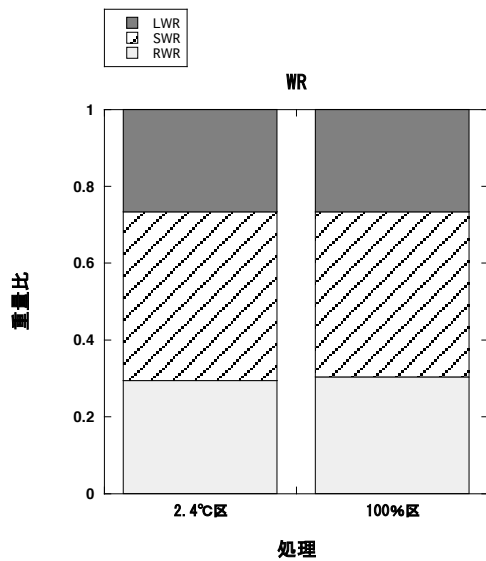
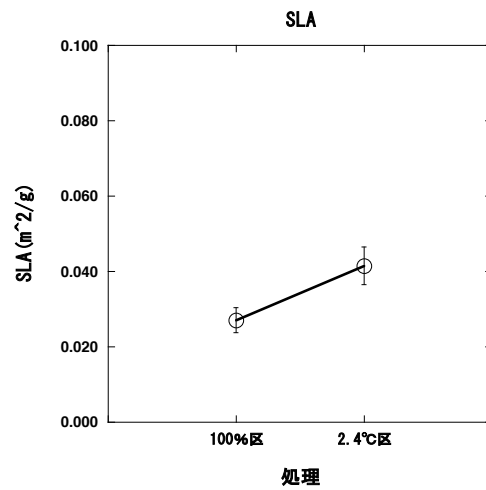
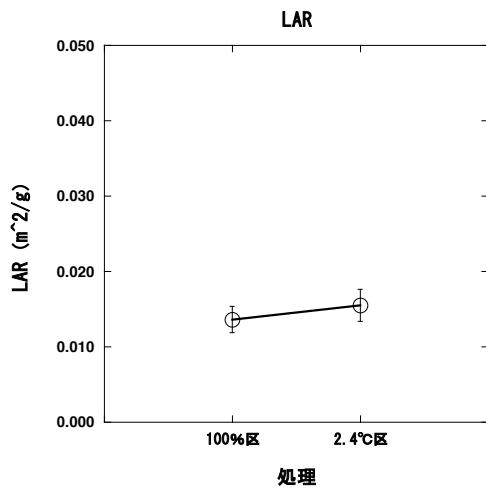
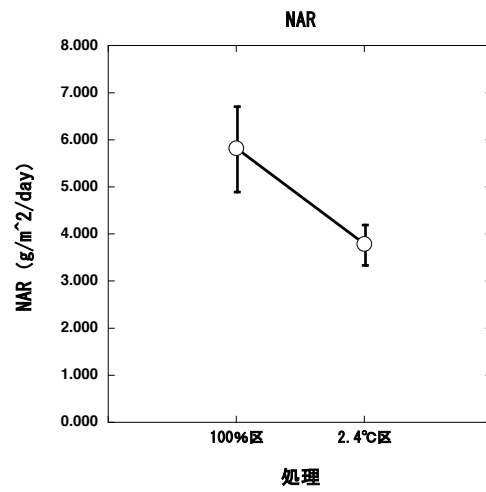
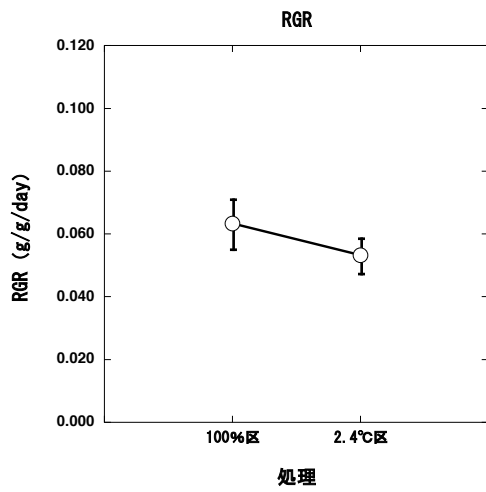


図 39. 異なる温度条件下で栽培したオオブタクサ（前橋）の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4℃上昇させた実験区（2.4℃区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 23 日間栽培した。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。縦棒は標準偏差を示す。n=15。

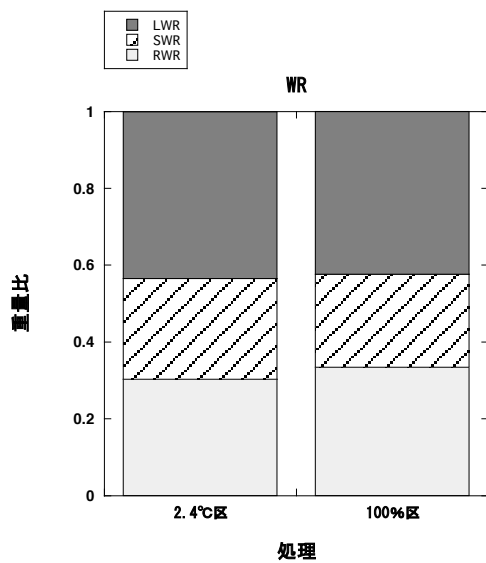
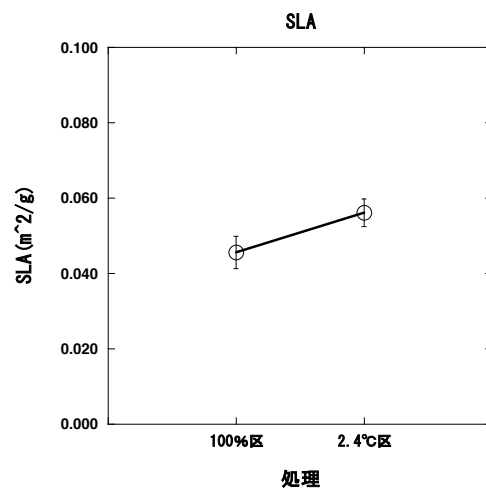
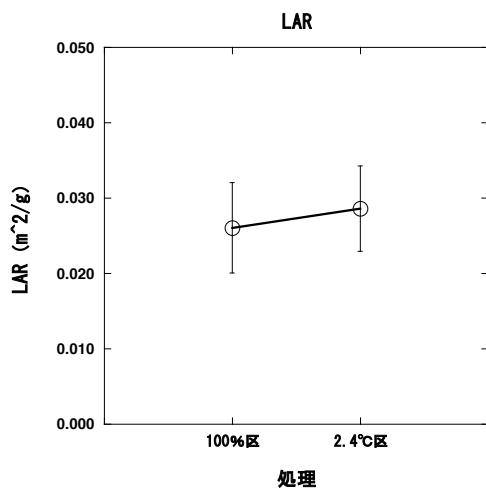
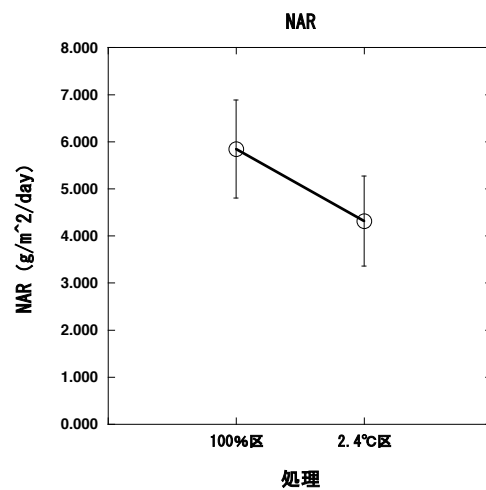
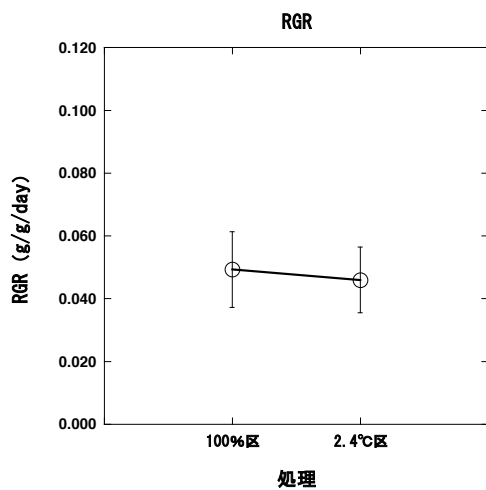


図 40. 異なる温度条件下で栽培したハリエンジュの生長解析結果
 群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地(相対光量子密度 100%)にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区 (2.4°C区) を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 21 日間栽培した。相対成長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR) 比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差を示す。n=11。

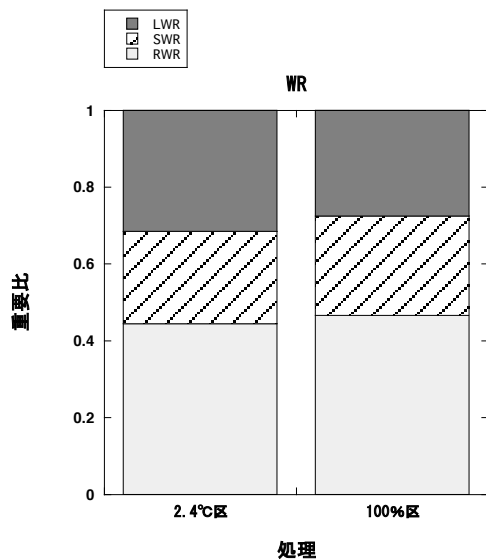
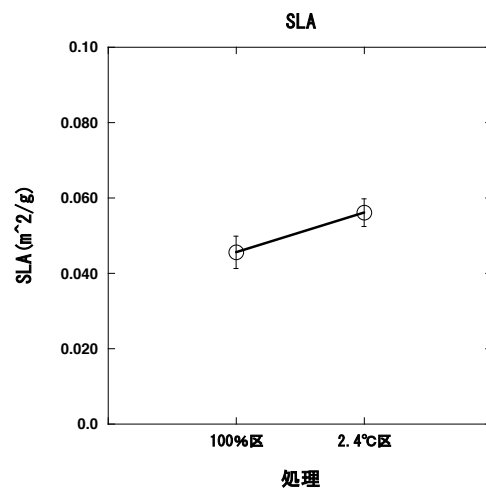
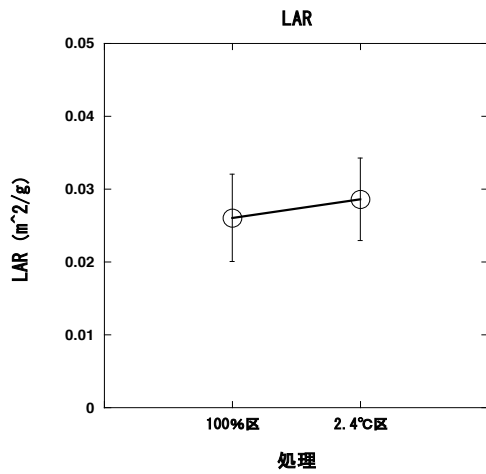
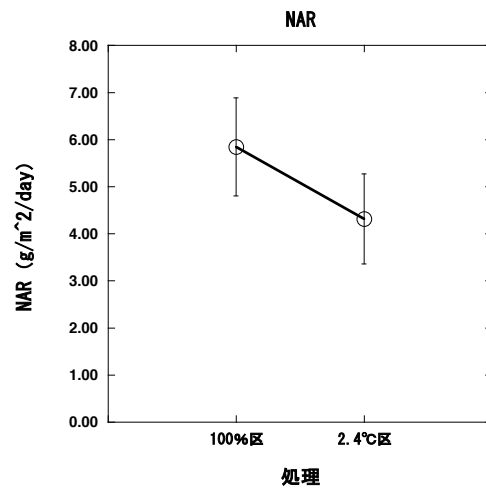
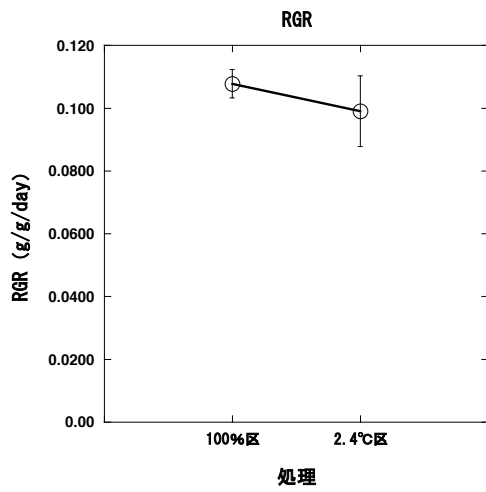


図 41. 異なる温度条件下で栽培したアメリカセンダングサの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区（2.4°C 区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 21 日間栽培した。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。縦棒は標準偏差を示す。n=15。

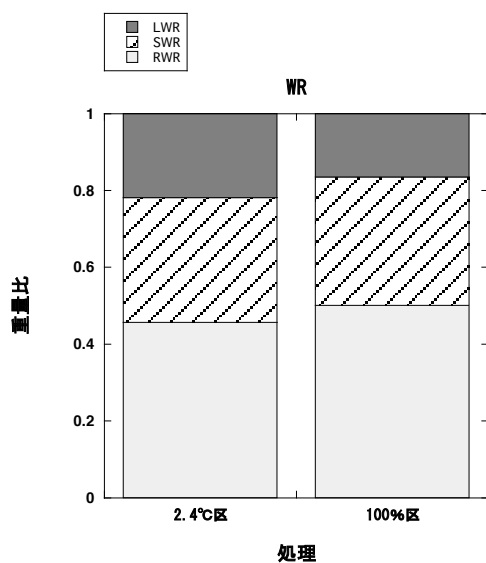
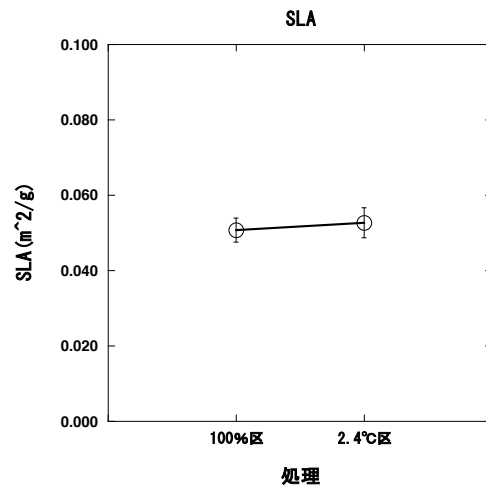
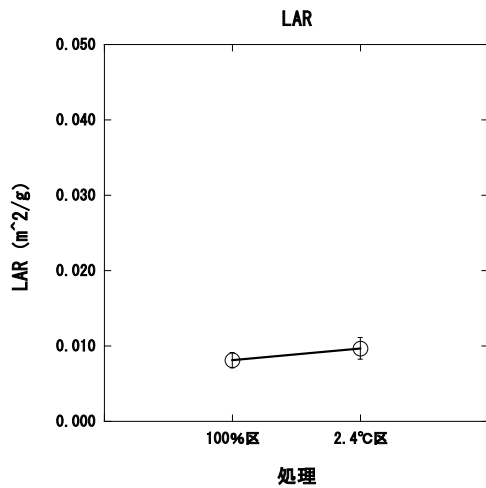
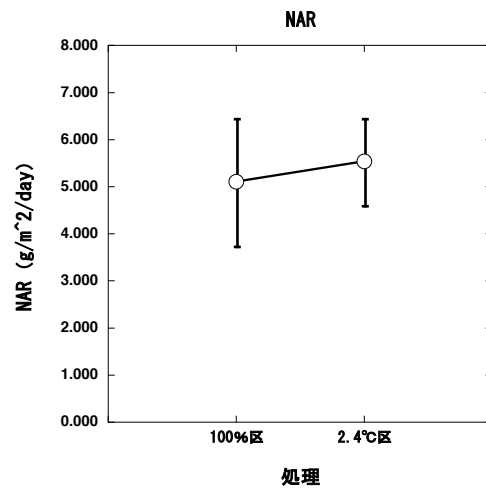
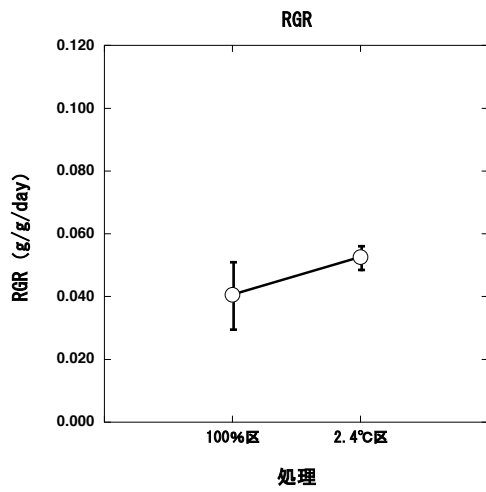


図 42. 異なる温度条件下で栽培したナヨクサフジの生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4℃上昇させた実験区（2.4℃区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 15 日間栽培した。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。縦棒は標準偏差を示す。n=15。

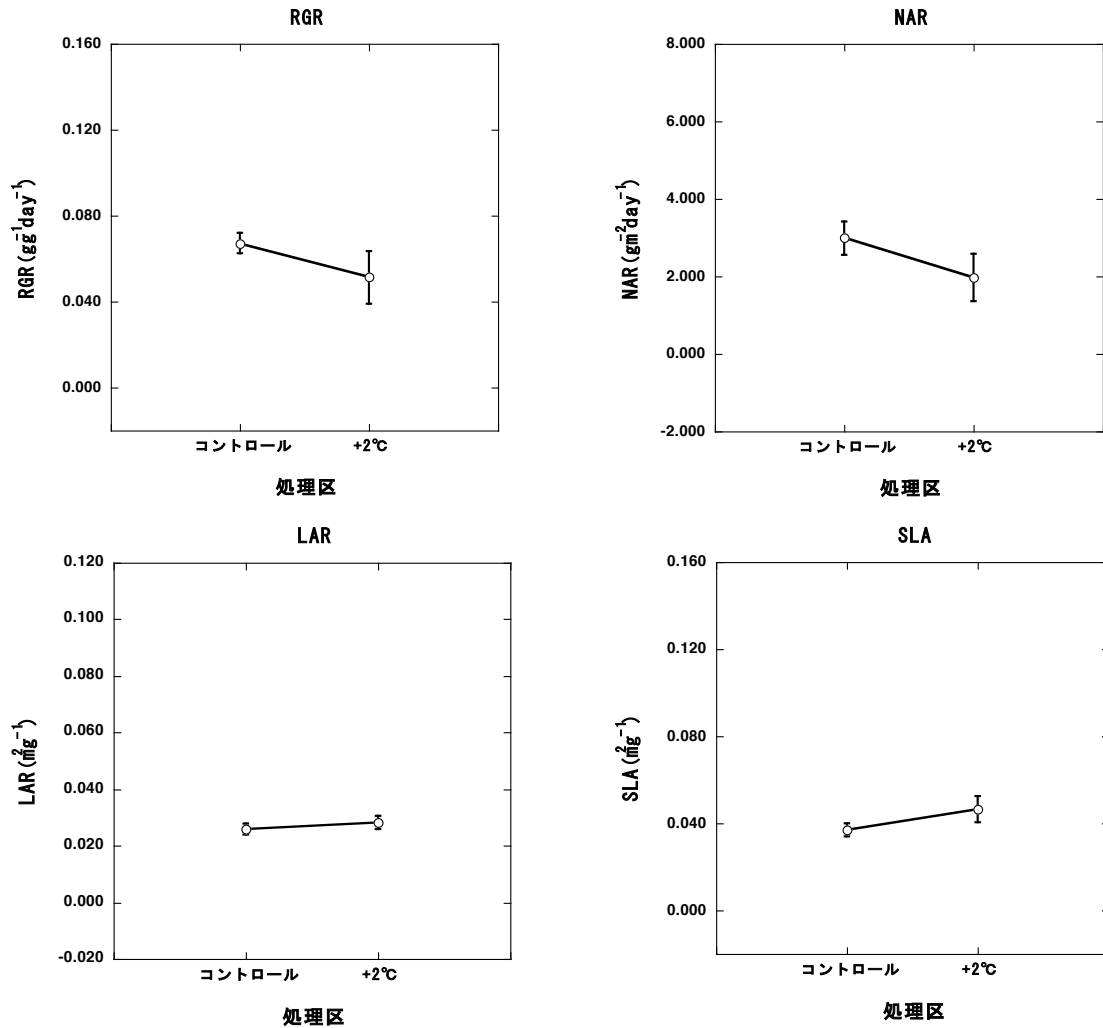
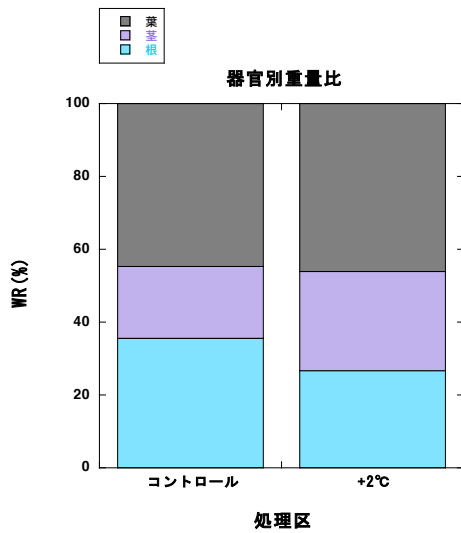


図 43. 異なる温度条件下で栽培したキツネアザミ（チノ一産）の生長解析結果



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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 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=13。

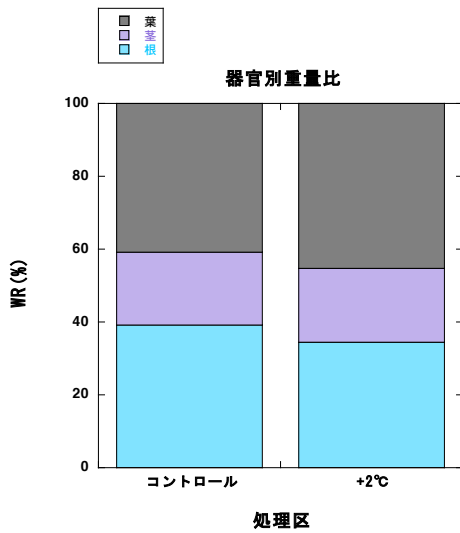
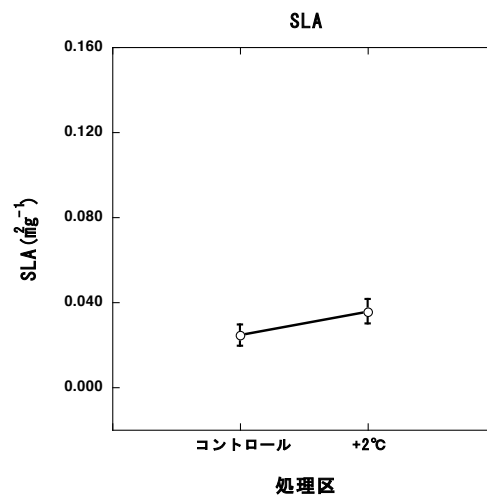
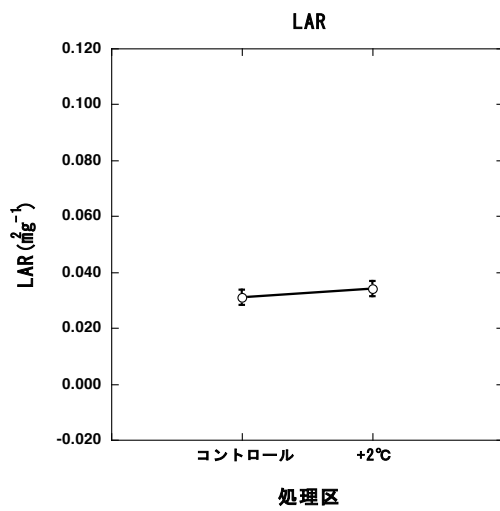
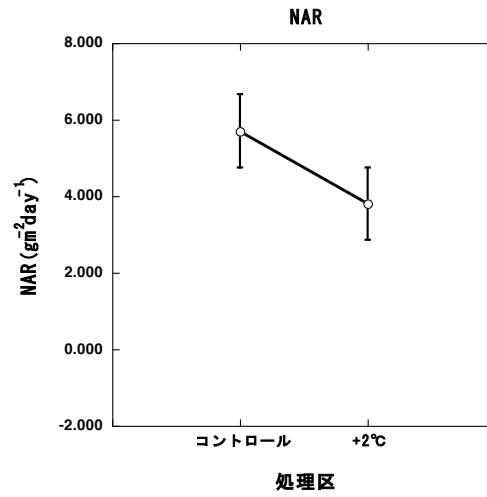
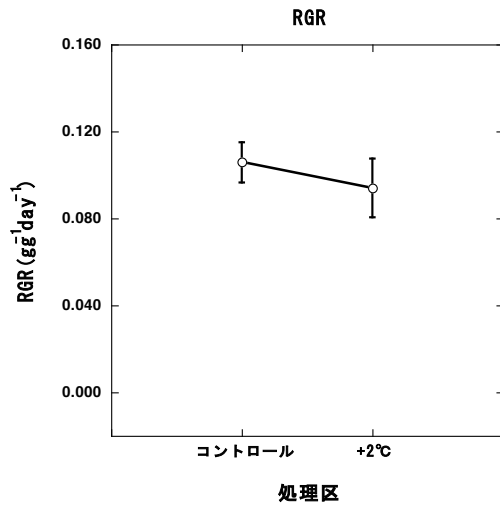


図 44. 異なる温度条件下で栽培したハルノゲシ (チノー産) の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 8 月 12 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=8。

图 45

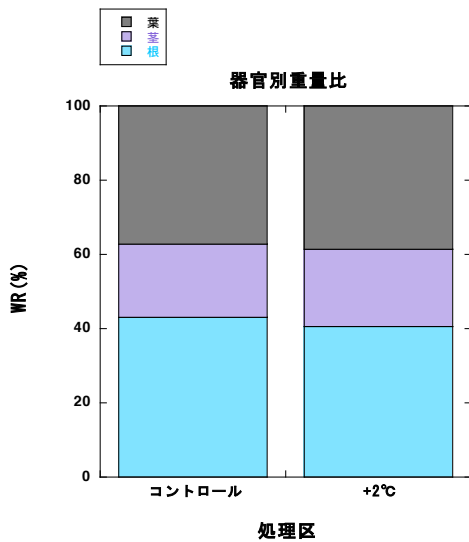
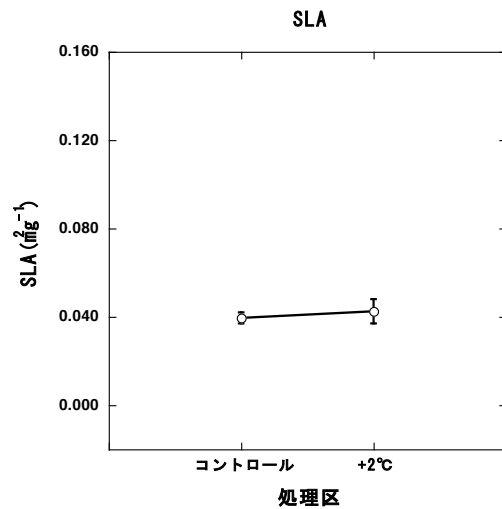
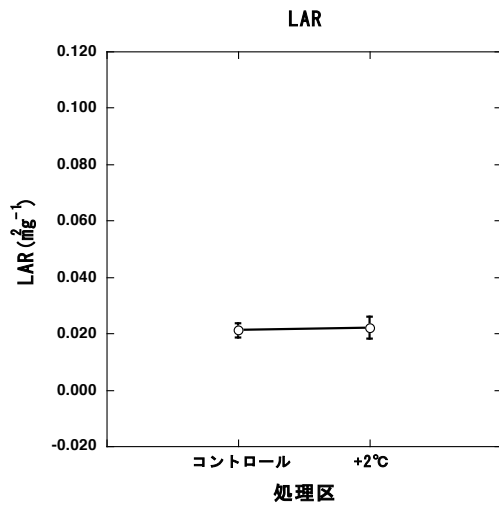
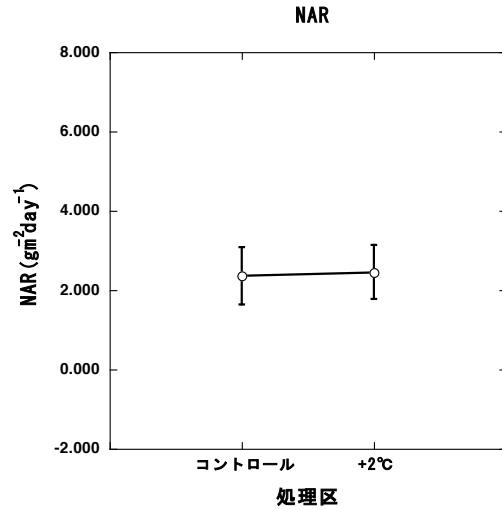
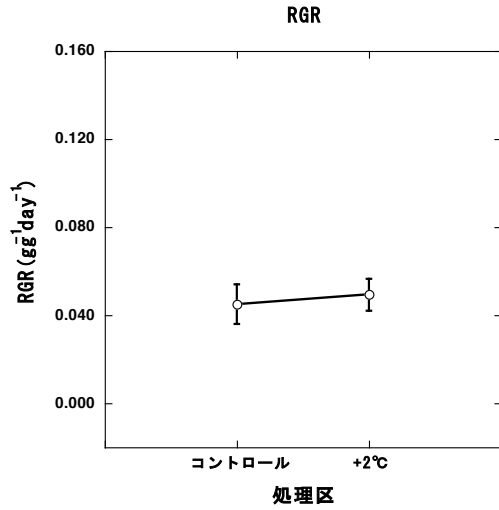


図 46. 異なる温度条件下で栽培したイヌトウバナ (アドバンテスト産) の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 月 9 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=6。

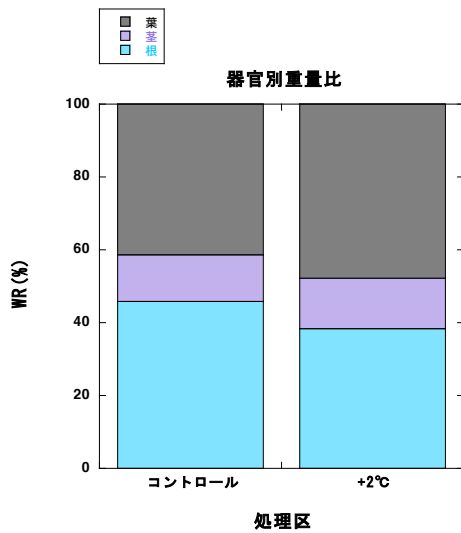
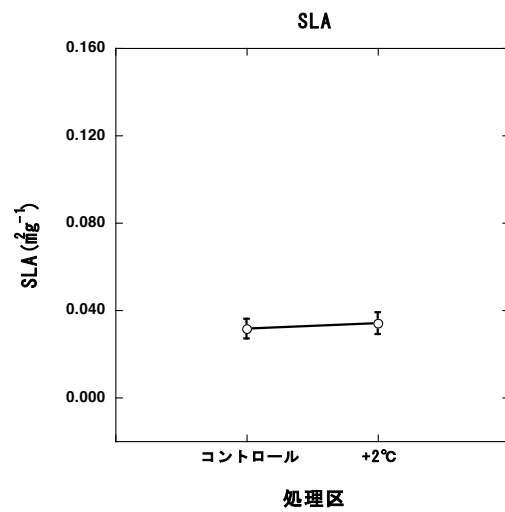
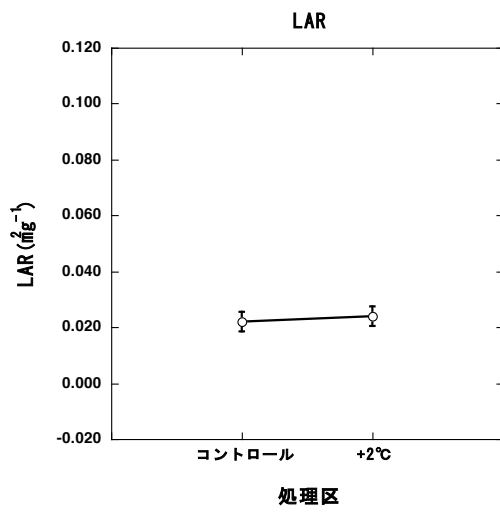
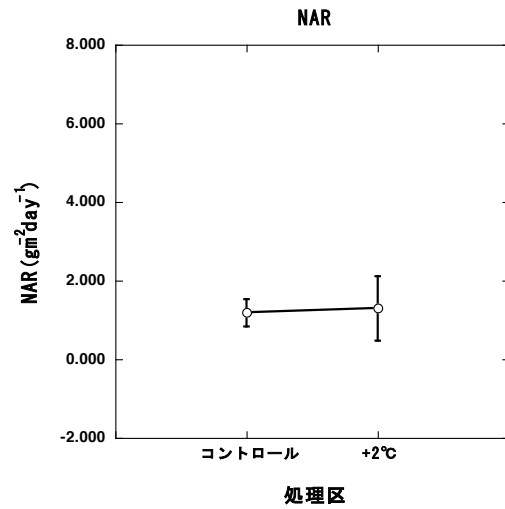
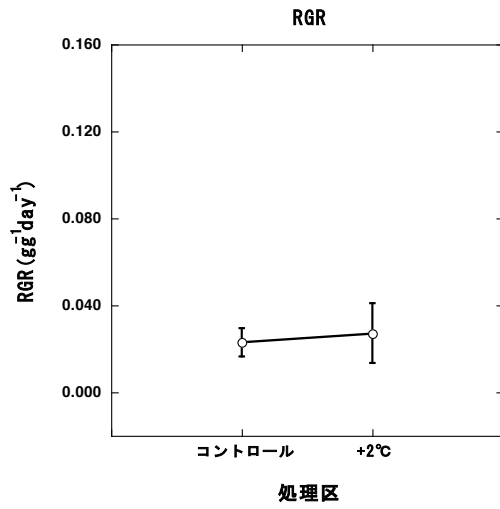


図 47. 異なる温度条件下で栽培したミゾコウジュ（板倉町産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 月 9 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=11。

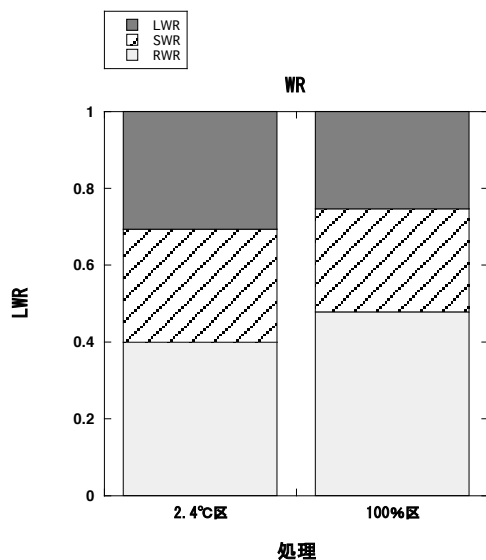
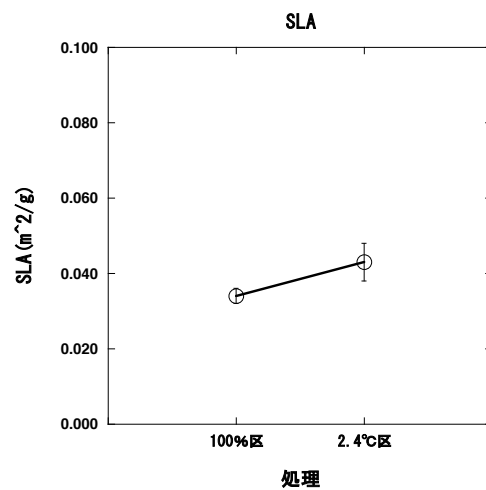
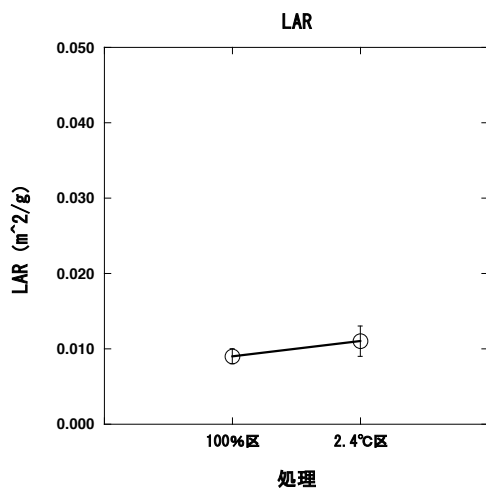
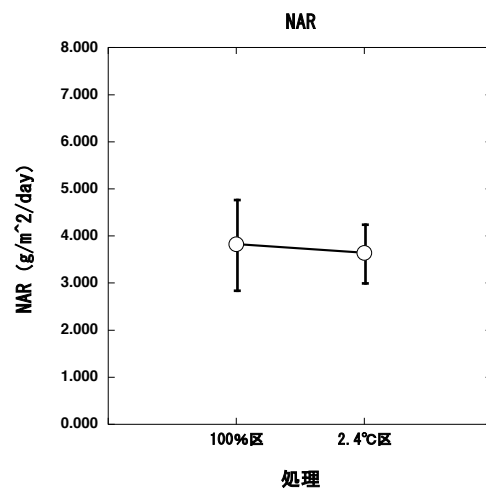
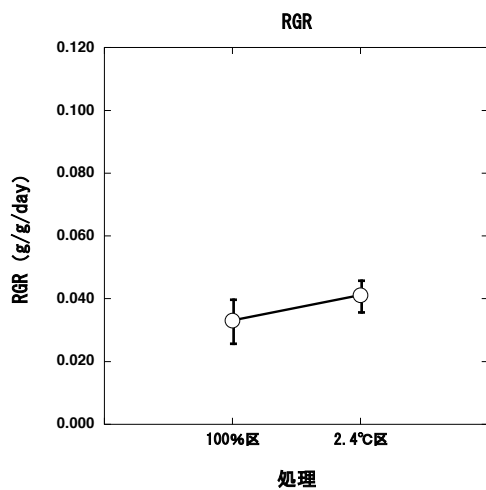


図 48. 異なる温度条件下で栽培したカラスノエンドウの生長解析結果
 群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を約 2.4°C 上昇させた実験区（2.4°C 区）を設置し、それぞれにポット植えした苗を入れて 22 日間栽培した。相対成長速度（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）比葉面積（SLA）、器官別重量比（WR）を示す。縦棒は標準偏差を示す。n=15。

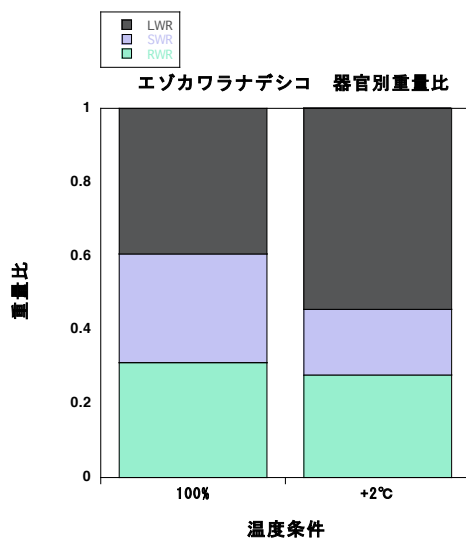
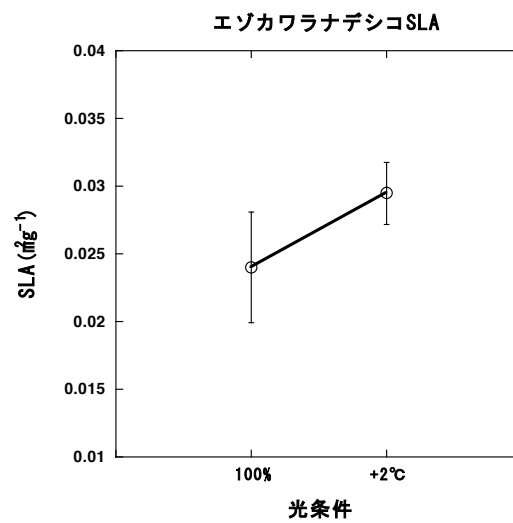
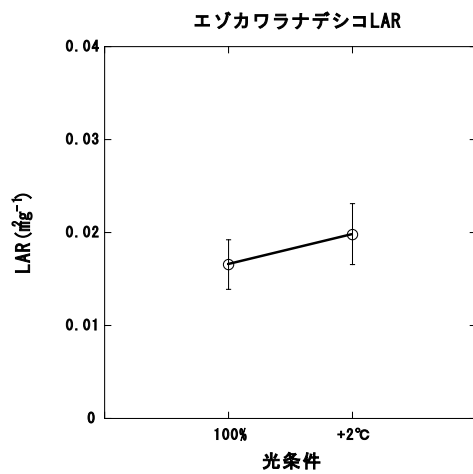
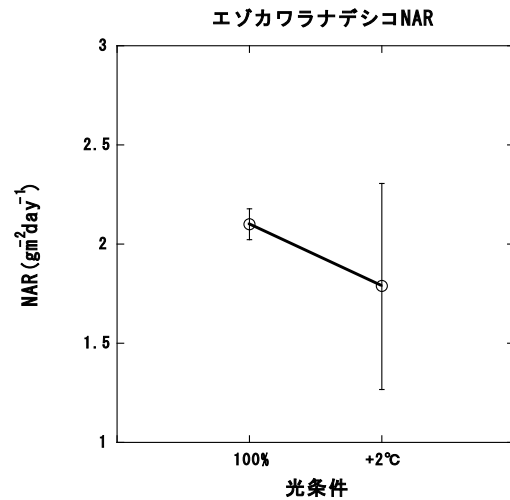
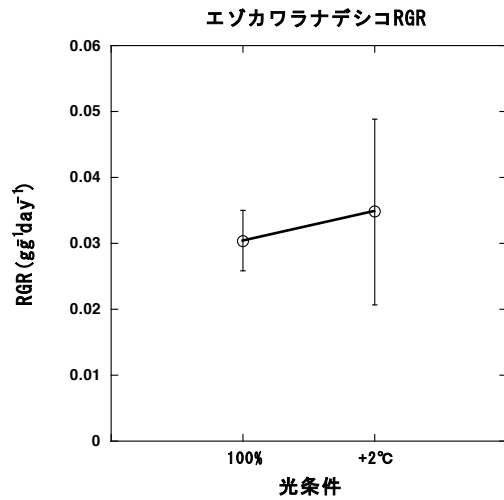


図 49. 異なる温度条件下で栽培したエゾカワラナデシコ (榛名公園産) の生長解析結果

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 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 9 月 15 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=3-4。

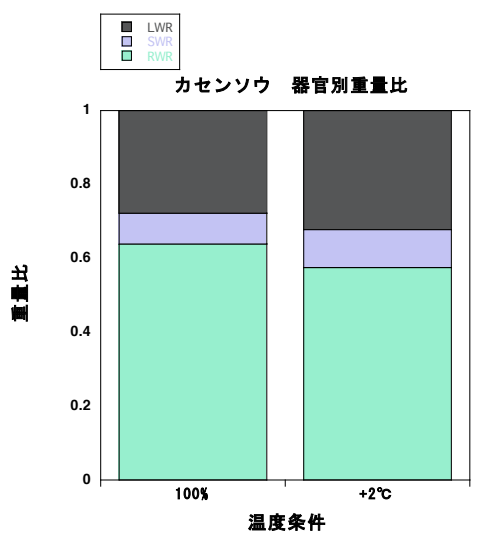
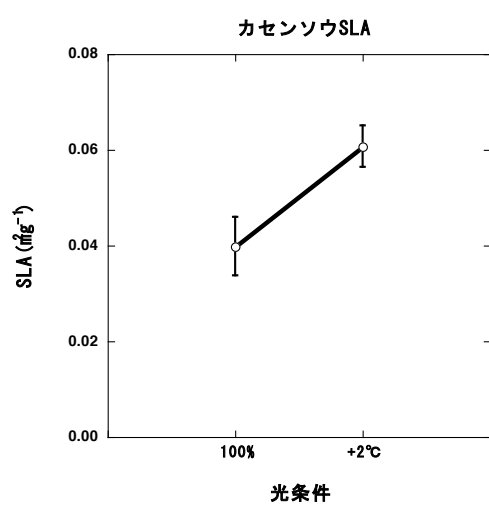
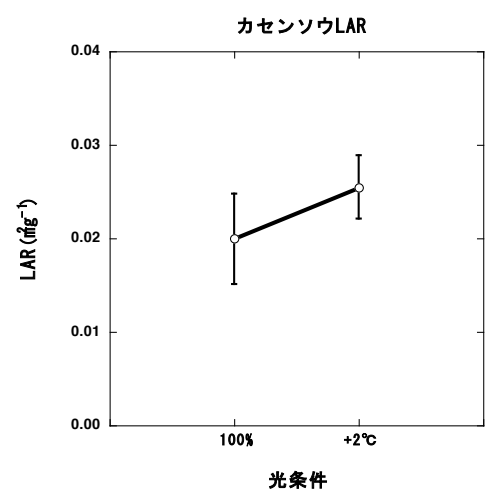
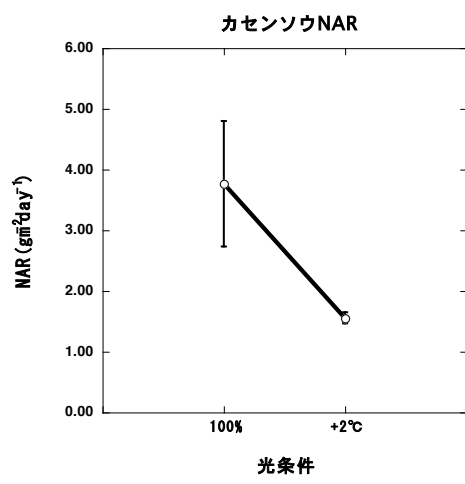
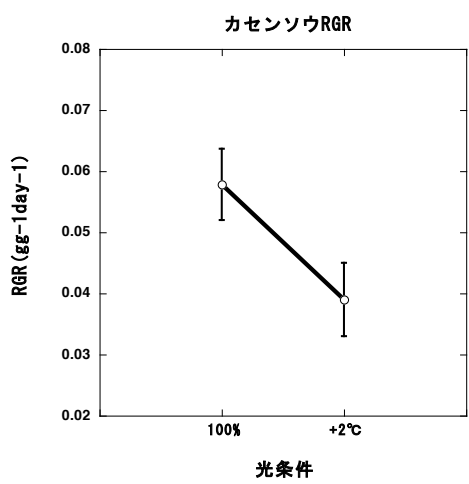


図 50. 異なる温度条件下で栽培したカセンソウ（榛名公園産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 月 5 日から 32 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=4-5。

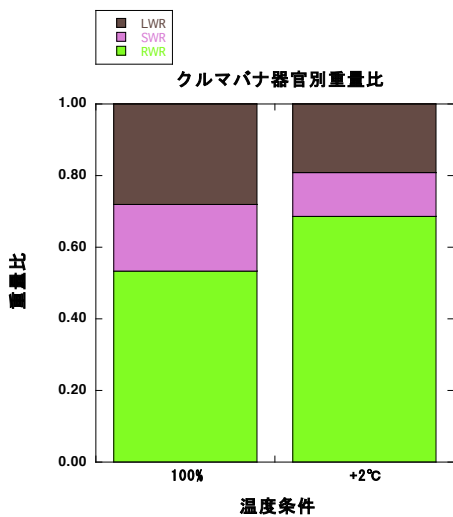
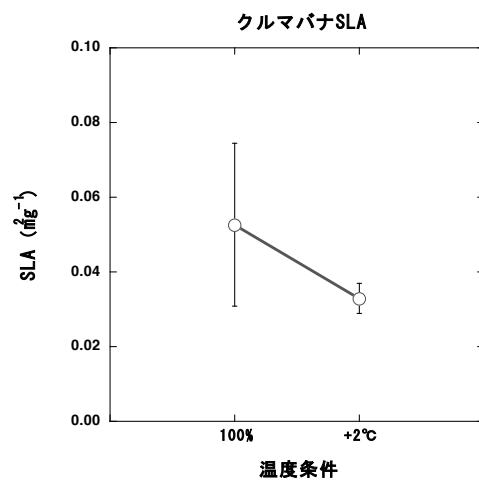
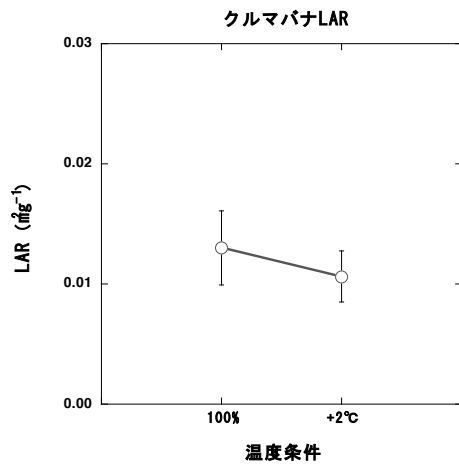
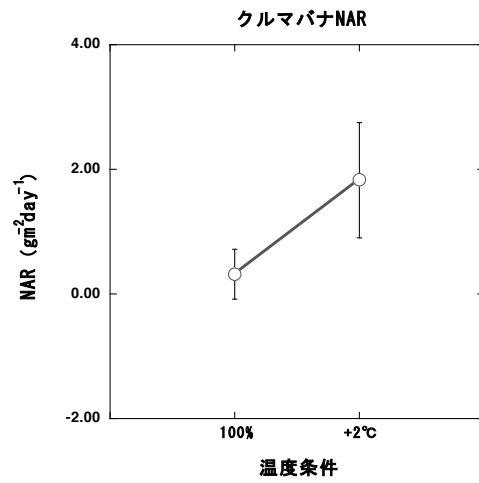
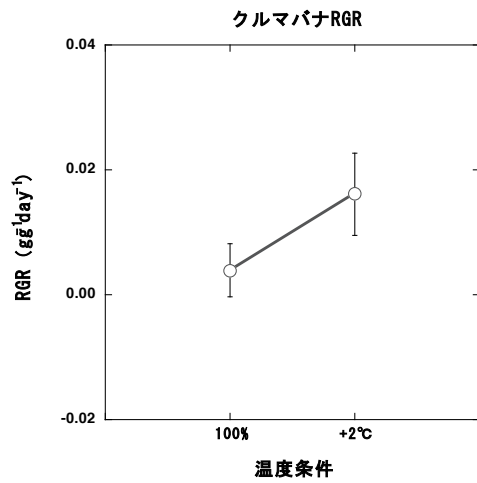


図 51. 異なる温度条件下で栽培したクルマバナ（榛名公園産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 10 月 20 日から 33 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。

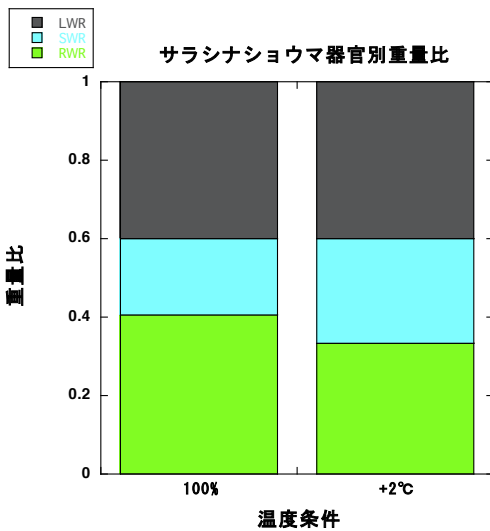
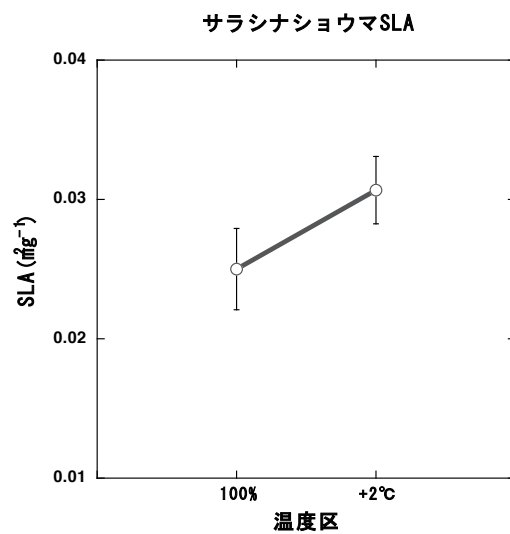
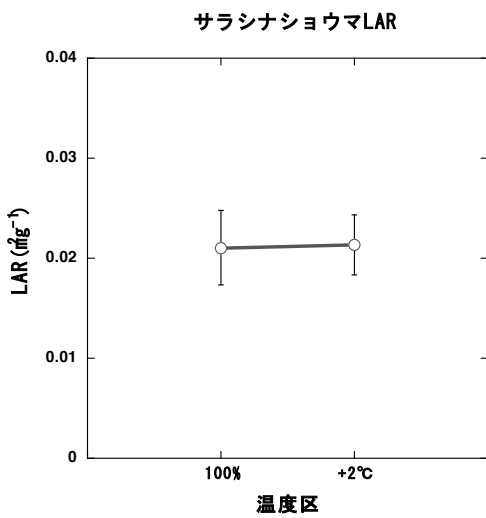
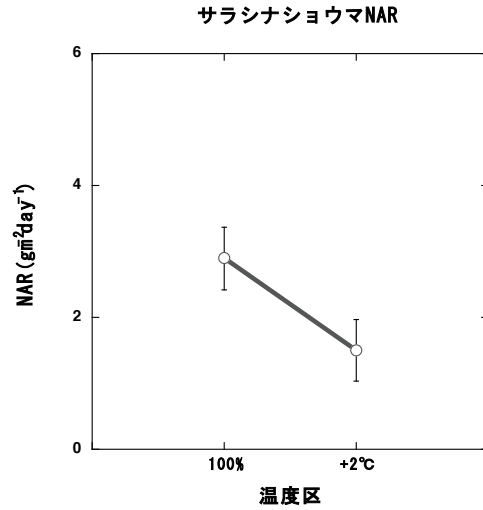
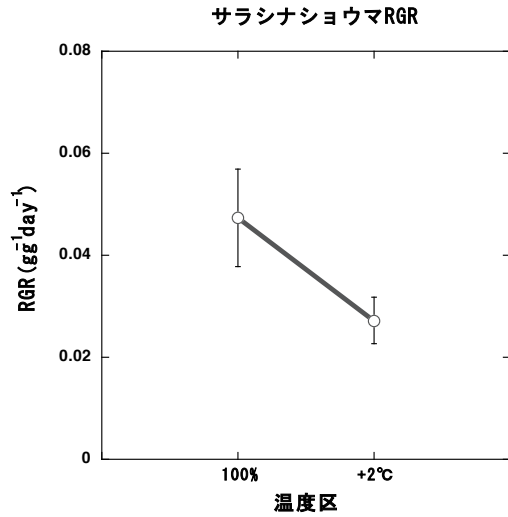


図 52. 異なる温度条件下で栽培したサラシナショウマ（榛名公園産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 月 21 日から 30 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=7-9。

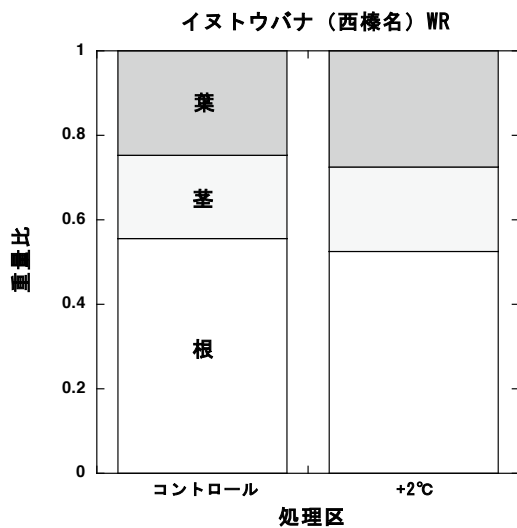
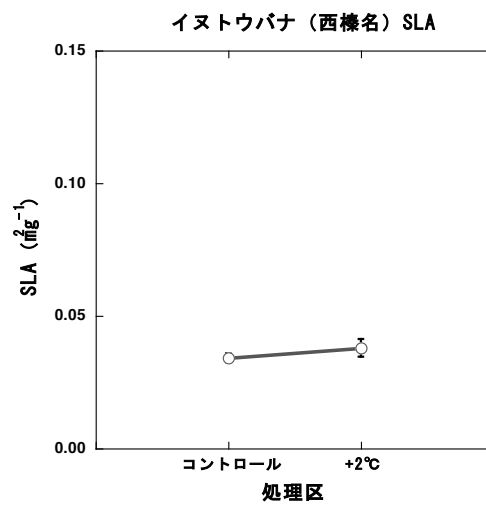
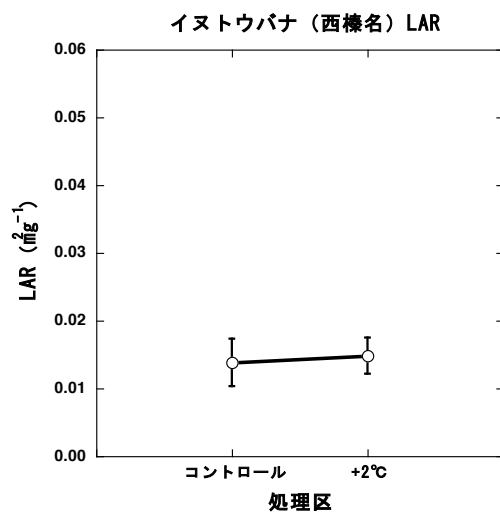
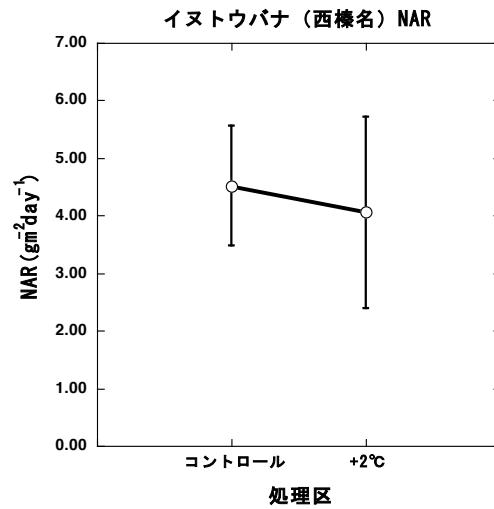
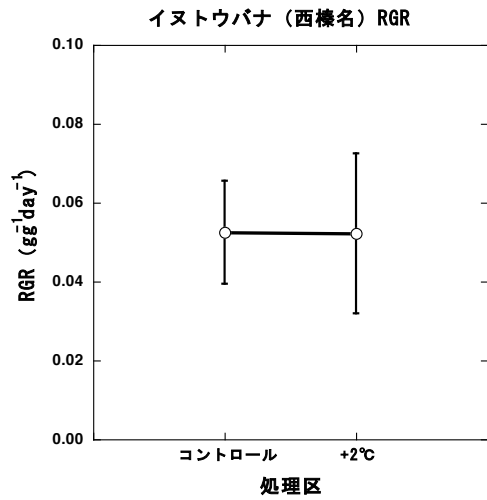


図 53. 異なる温度条件下で栽培したイヌトウバナ (西榛名産) の生長解析結果

群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地(相対光量子密度 100%)にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた2.4°C上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて2016年9月21日から30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。

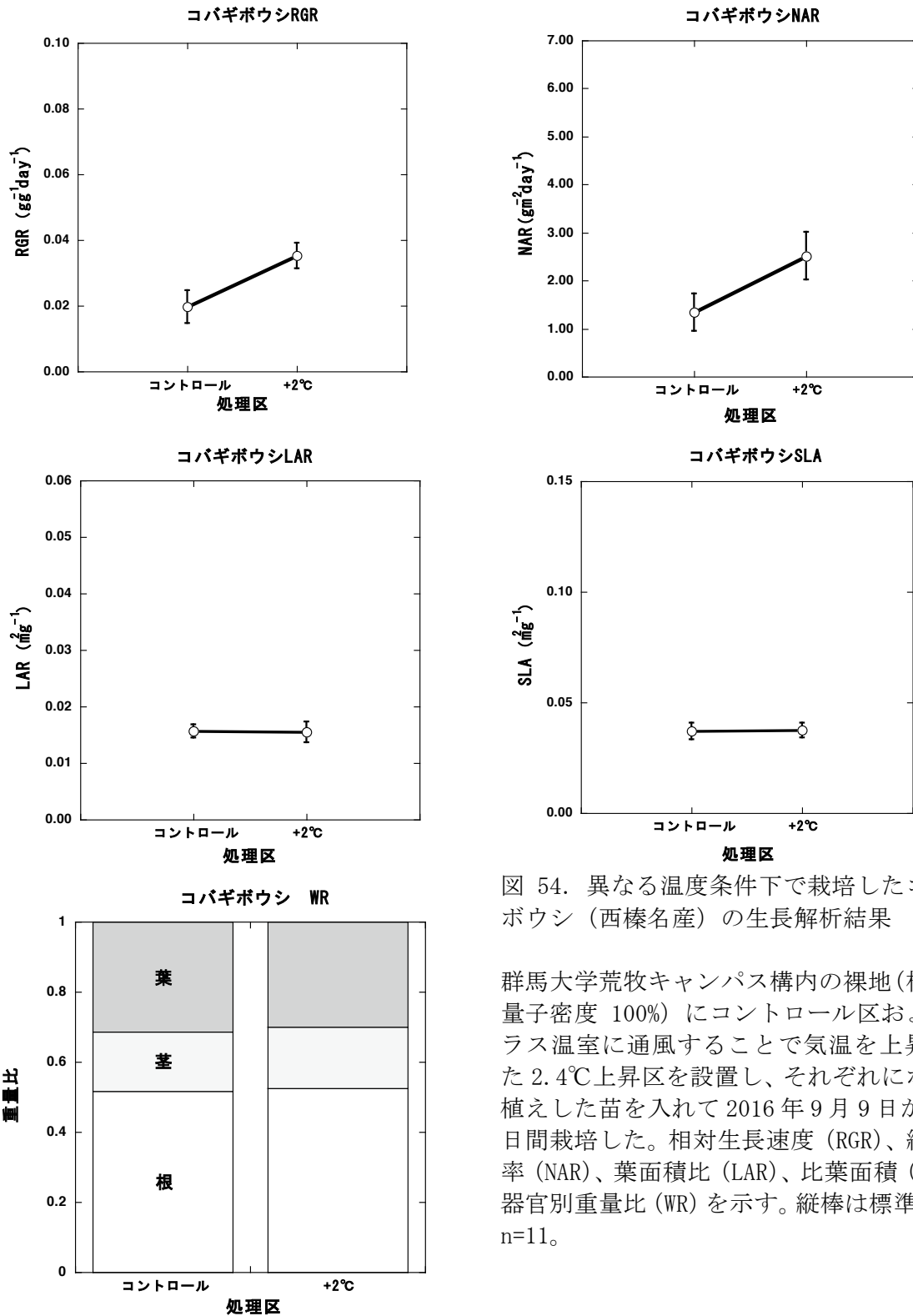


図 54. 異なる温度条件下で栽培したコバギボウシ（西榛名産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 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=11。

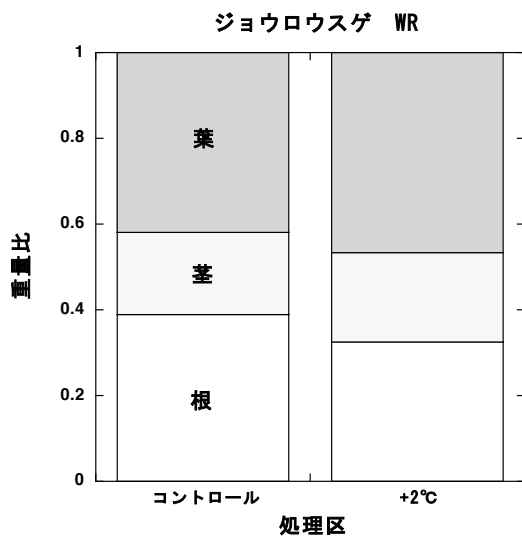
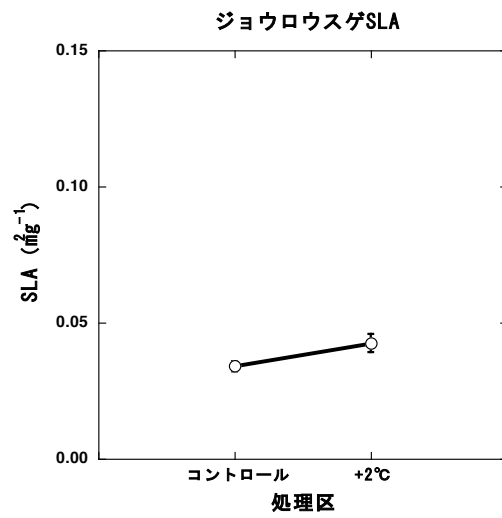
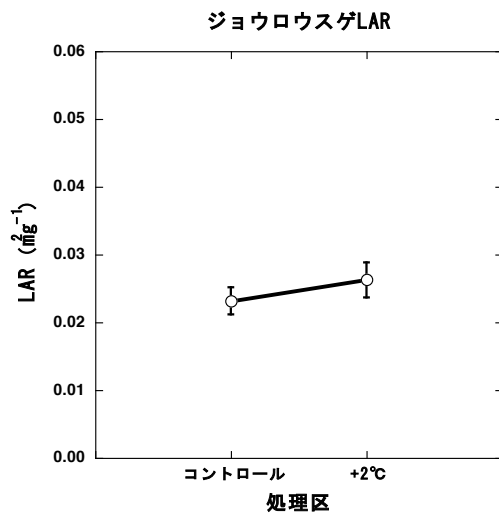
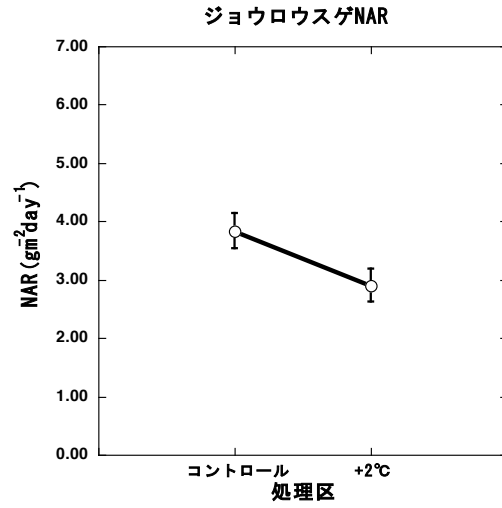
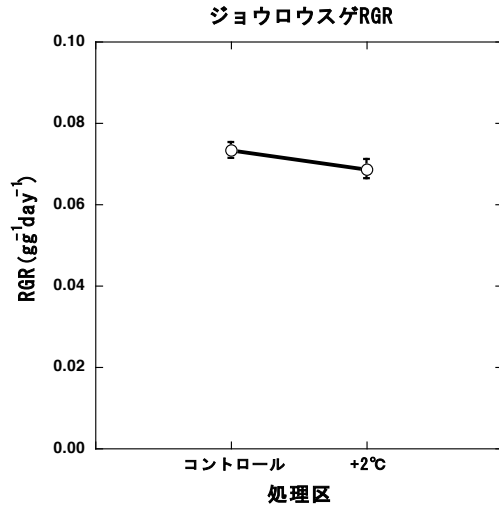


図 55. 異なる温度条件下で栽培したジョウロウスゲ（館林産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 8 月 10 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=16-17。

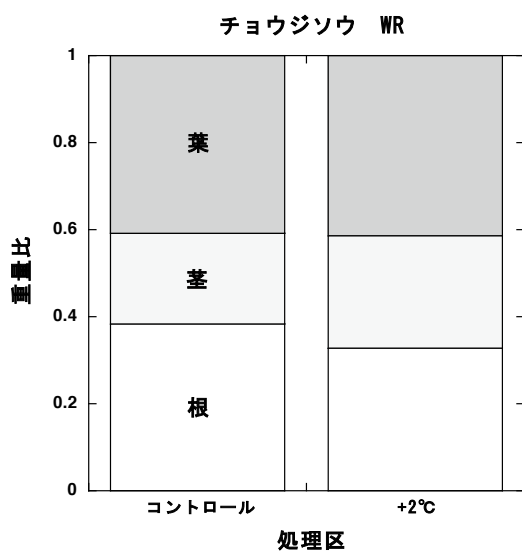
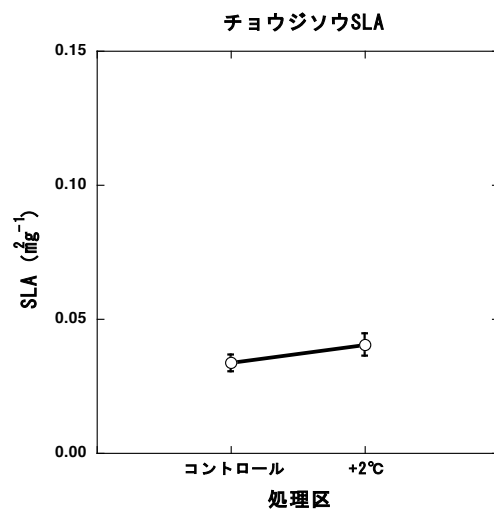
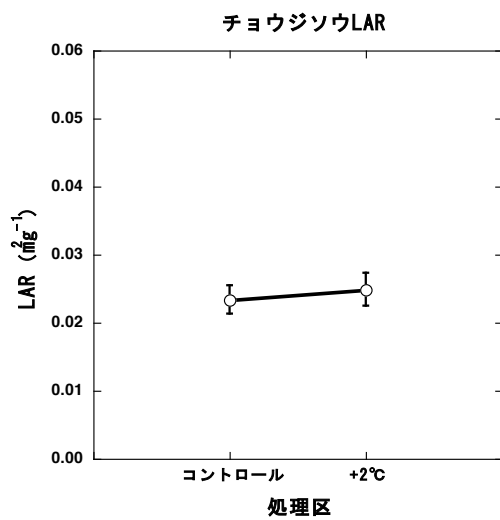
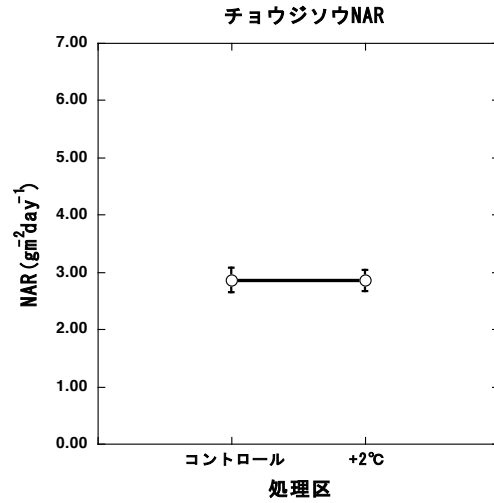
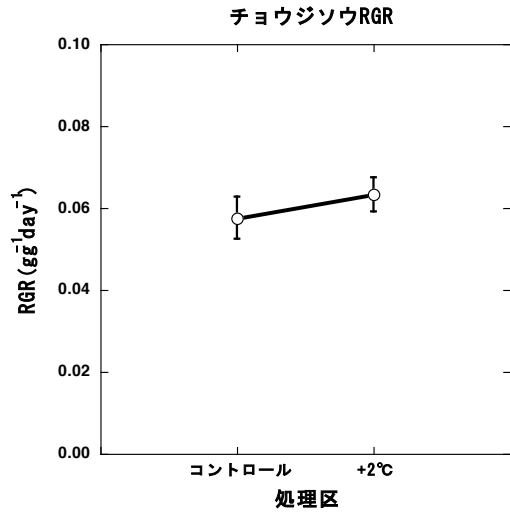


図 56. 異なる温度条件下で栽培したチョウジソウ（群馬大学構内圃場産）の生長解析結果

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 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 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=11。

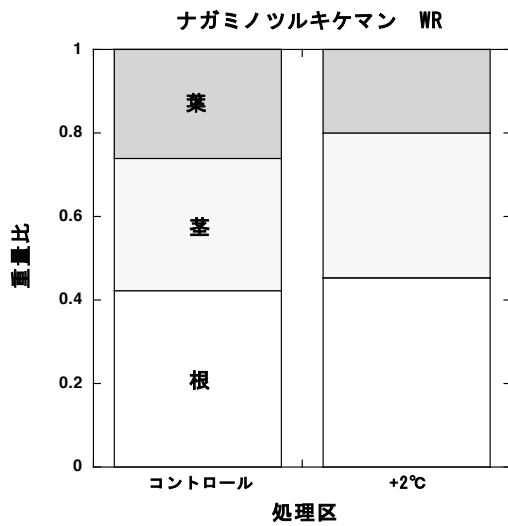
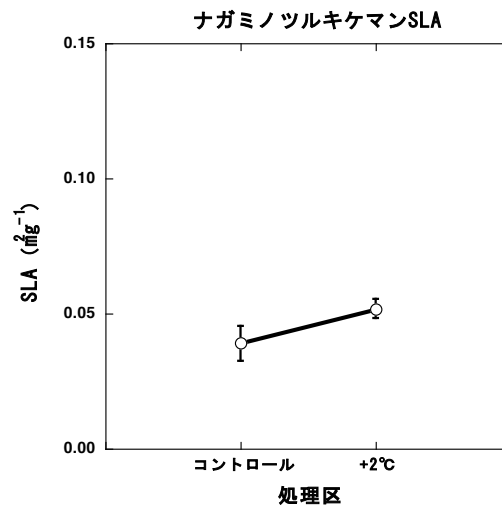
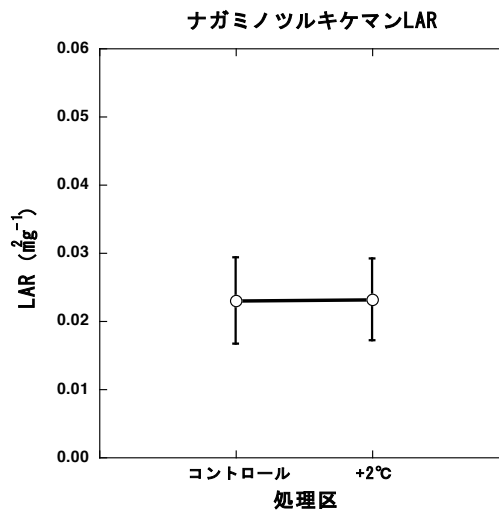
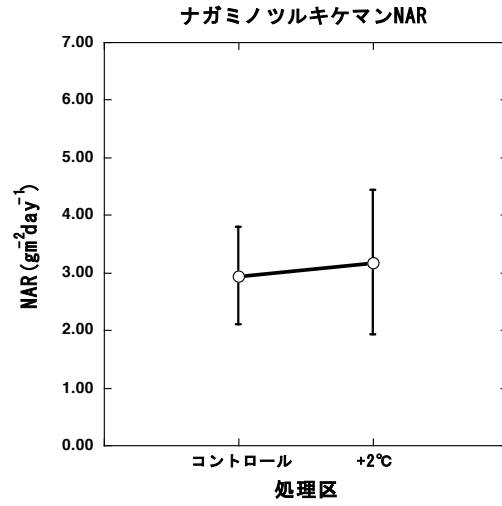
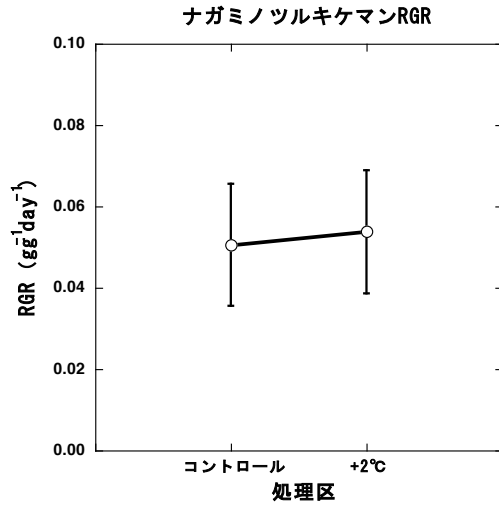


図 57. 異なる温度条件下で栽培したナガミノツルキケマン（西榛名産）の生長解析結果

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 2.4°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2016 年 9 月 21 日から 30 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。

☒ 58

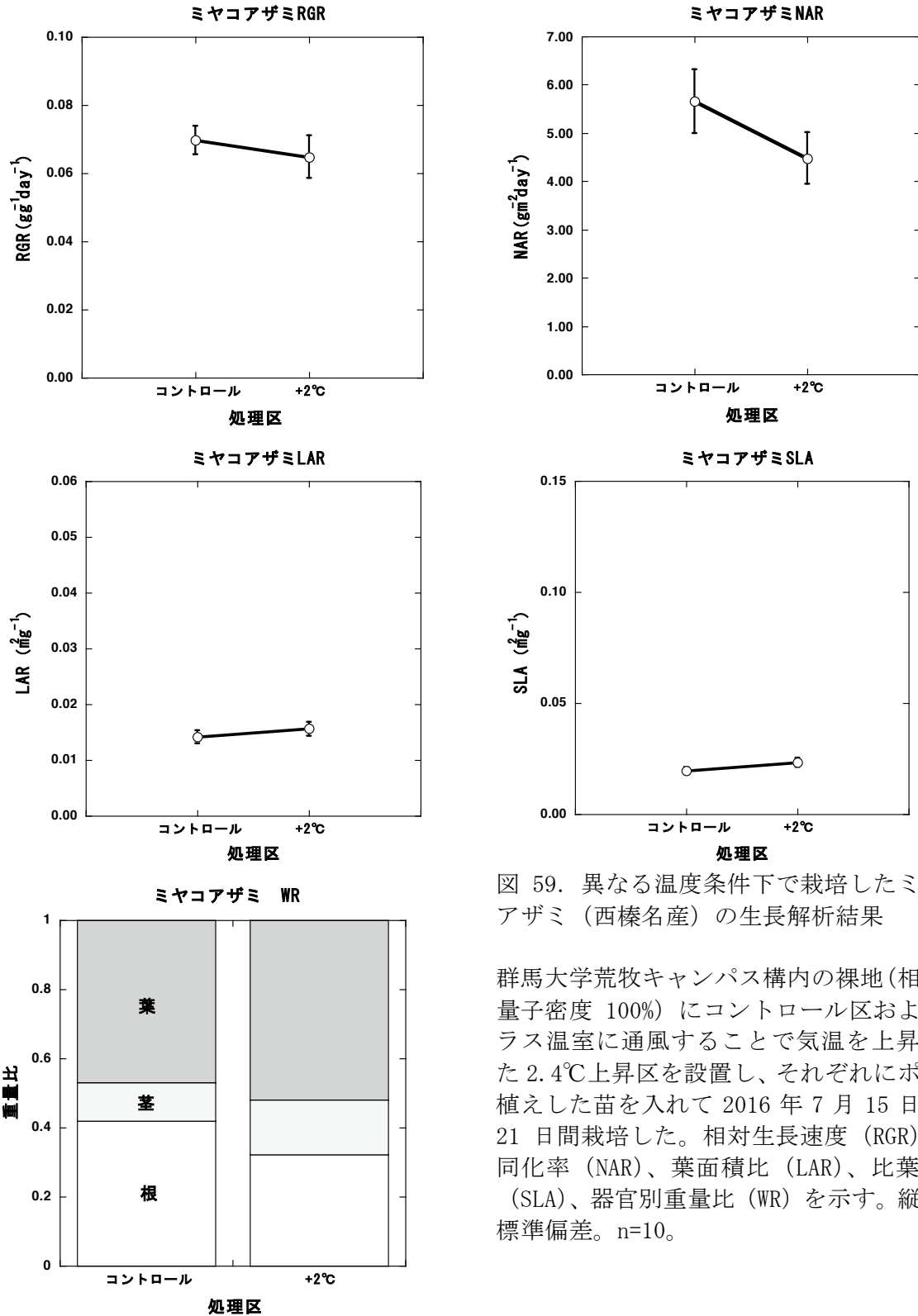


図 59. 異なる温度条件下で栽培したミヤコアザミ（西榛名産）の生長解析結果

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 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 7 月 15 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=10。

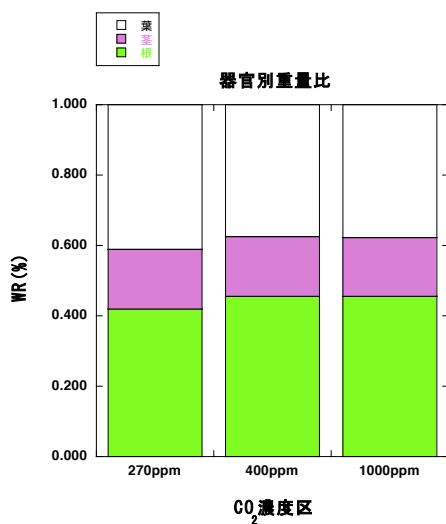
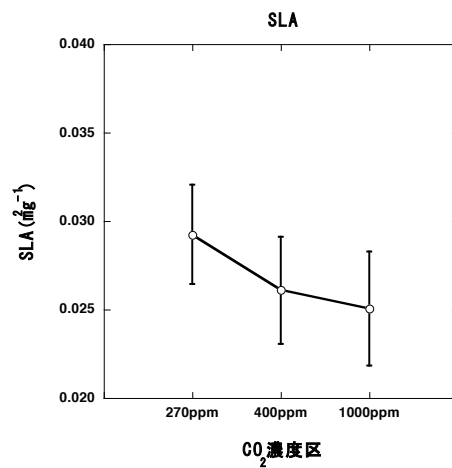
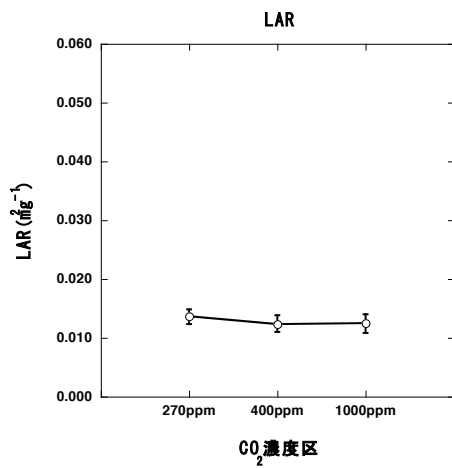
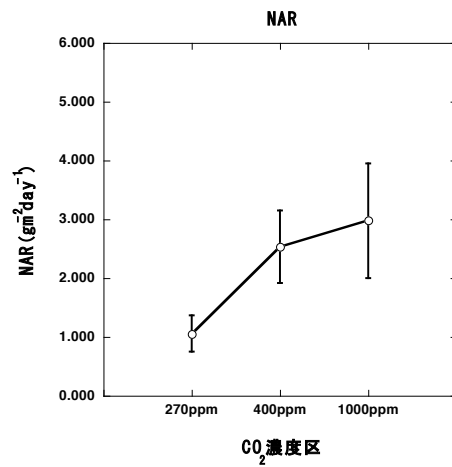
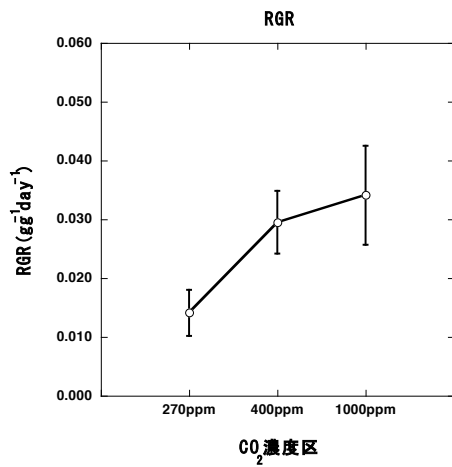


図 60. 異なる CO₂ 濃度条件下で栽培したイヌムギ (アドバンテスト産) の生長解析結果

2016 年 10 月 28 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=8-10。