

卒業論文

題名

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

学籍番号

12602033

氏名

関 拓也

指導教員名

石川 真一 教官

平成 28 年 1 月 20 日 提出

概 要

自然再生を目的として造成され育成管理されている大型ビオトープ（アドバンテスト・ビオトープ、チノー・ビオトープ）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。

そこで本研究では、大型ビオトープの育成管理において、外来植物を抑制あるいは駆除しつつ、在来植物の増加を促進する方策を検討するために必要な生態学的知見を、環境情報として蓄積すること、そして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の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（伊勢崎市）で現地調査を行った。また、温暖化による影響を予測し、地域の生態系の再生という機能を果たし始めている各ビオトープについて、地域の絶滅危惧種の保護・増殖場所となる可能性を高めるために、群馬県内に生育する3種の国指定絶滅危惧種（フジバカマ、ミゾコウジュ、コギシギシ）およびアドバンテスト・ビオトープに定着・生育するが個体数の増加が見られない里山植物イヌトウバナの温暖化の影響に対応した持続的な育成管理方法を検討した。さらに、アドバンテスト・ビオトープで過去12年間にわたって計測してきた気温のデータを分析することによって、これまでにすでに起こっているであろう、地球環境変化の影響を明らかにすることとした。加えて矢場川の自然再生地内ではフジバカマ移植後のモニタリング調査を行った。

アドバンテスト・ビオトープでは在来種107種、外来種33種の計140種の生育が確認された。近年の調査と比較すると総種数は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、フジバカマやミゾコウジュといった湿地性絶滅危惧種や、里山植物も多数含まれており、継続的な生育が確認できた。

また過去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。

チノー・ビオトープでは在来種107種、外来種42種の計149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。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年度調査のおよそ3分の1に減った。

男井戸川遊水池では在来種 58 種、外来種 39 種の計 97 種の生育が確認された。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、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た。これらの植物の中には、水田・湿地、畑地雑草が多数出現しており、これは当地が水田として利用されていた時期に形成された永続的土壌シードバンクから発芽したものと考えられる。

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。

本年度は矢場川の自然再生地内にフジバカマを移植した。地域の生物多様性を保全するためには、一生育地をまもる点的な方法ではなく、複数の生育地を含む広域の生態系として保全をしていく必要がある。そこで本研究では、アドバンテスト・ビオトープだけでなく、矢場川のフジバカマの保護増殖にも取り組んでいる。今後も適切な時期の草刈りや引き抜きといった管理が必要であるといえる。

アドバンテスト・ビオトープ内および矢場川自然再生地内のフジバカマ生育地において光量子密度を測定した結果、フジバカマは比較的広い範囲の相対光量子密度でも生育可能であることが明らかになった。しかし、極端に暗い環境下では生長が悪くなると考えられるため、今後も草刈りや樹木の間伐など、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、矢場川自然再生地内それぞれのフジバカマ生育地において土壌含水率を測定した結果、フジバカマ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によって、アドバンテスト・ビオトープで採取したフジバカマおよびイヌトウバナ、アドバンテスト・ビオトープとチノー・ビオトープでそれぞれ採取したみゾコウジュ、チノー・ビオトープで採取したコギシギシの 4 種の植物の種子の発芽特性を分析した。アドバンテスト・ビオトープのフジバカマは近親交雑あるいは花粉不足の問題があると考えられていたが、フジバカマ種子の最終発芽率は 40%を超え、谷田川由来の実生と挿し木個体の移植を継続的行なったことにより、これらが解消されたものと推察される。イヌトウバナ種子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見られなかったため、広い温度域で発芽すると考えられる。またみゾコウジュ、コギシギシ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。したがってみゾコウジュとコギシギシ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。

フジバカマ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシの4種を異なる光環境下（相対光量子密度 3%、9%、13%、100%）で栽培し生長解析を行ったところ、フジバカマ、ミゾコウジュ、コギシギシは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。イヌトウバナは極端に暗い環境下では生長が悪くなるが、裸地的な光環境下においても同様に生長が悪くなることが明らかになった。本種の生育場所は主に山地の木陰（榛名公園にも生育）であり、そのことが今回のような結果になった一因だと推察される。

上記の4種について気温を上昇させて栽培した植物の生長解析では、フジバカマ、イヌトウバナは生長パラメータに有意な影響を与えなかった一方で、ミゾコウジュ、コギシギシ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、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。

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。また地球温暖化に対しては、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。

目 次

はじめに	3
生態系	3
生態系サービス	3
生物多様性	4
生物多様性の危機	5
生物多様性を守る 4 つの意味	8
地球温暖化とその影響	9
地球温暖化対策に係る取り組み	10
レッドリスト・レッドデータブック (RDB)	11
外来種	13
里山・水辺の生態系	15
生物多様性の保全と自然再生事業	17
企業の取り組みとその実例	19
ビオトープ	20
ビオトープ整備の七原則	21
本研究の目的	21
調査地概要	23
アドバンテスト・ビオトープ	23
チノー・ビオトープ	23
男井戸川調整池	24
矢場川	24
材料および方法	26
植物相調査	26
GPS 専用機とスマートフォンの GPS 機能の性能比較	26
矢場川の自然再生地におけるフジバカマ移植後のモニタリング調査	26
材料植物	27
発芽の冷湿処理・温度依存性実験	27
栽培実験	28
前栽培と初期サンプリング	28
異なる環境条件下における栽培実験	29
生長解析	30
気温測定	31
相対光量子密度測定	32

体積土壌含水率	32
結果および考察	33
植物相調査	33
アドバンテスト・ビオトープ	33
チノー・ビオトープ	34
男井戸川調整池	36
植物分布マップと誤差	37
矢場川の自然再生地におけるフジバカマ移植後のモニタリング調査	38
アドバンテスト・ビオトープ内の気温測定	39
立地別の気温の季節変化（2015年）	39
立地別の気温の経年変化（2003年～2015年）	39
フジバカマ生育地の環境	40
相対光量子密度	40
体積土壌含水率	41
発芽の温度依存性実験	41
フジバカマ	41
イヌトウバナ	42
ミゾコウジュ	43
コギシギシ	43
異なる光条件下・気温上昇下で栽培した植物の生長解析	44
フジバカマ実生の生長に対する光環境の影響	44
フジバカマ実生の生長に対する気温上昇の影響	45
イヌトウバナ実生の生長に対する光環境の影響	46
イヌトウバナ実生の生長に対する気温上昇の影響	46
ミゾコウジュ実生の生長に対する光環境の影響	47
ミゾコウジュ実生の生長に対する気温上昇の影響	48
コギシギシ実生の生長に対する光環境の影響	49
コギシギシ実生の生長に対する気温上昇の影響	50
結論	51
謝辞	55
引用文献・引用 web ページ	56
写真	59
表	79
図	106

はじめに

生態系

人間活動のあらゆる面での環境への配慮の重要性が認識されるようになった今日、生態系への影響、生態系の破壊、生態系の健全性、生態系の保全などの言葉が頻繁につかわれ、私たちの社会はかつてなく強く生態系を意識するようになった（鷲谷 2001）。

生態系とは、生物と環境が相互作用する系のことである。「群集」が生物どうしの関係に注目しているのに対して、「生態系」は生物を取り巻く環境を視野に入れた概念である。生物と環境の間では、炭素、窒素、リンなど、様々な物質が循環している。また、物質の媒体となる水が循環している。さらに、水や物質の循環ともに、熱や化学エネルギーが流れている。このような物質・水・エネルギーの流れを「系」（システム）としてとらえた概念が生態系である（日本生態学会 2010）。

健全な生態系とは、ヒトがそこから自然の恵みを十分に得ることができるような生態系である。そこでは、多様な動植物や微生物の連携プレーによって、有機物の生産、栄養塩の再生・保持・循環、特有の攪乱作用とそれに対する植生の応答などの、多様な生態系のプロセスが円滑にすすみ、エネルギーや物質のダイナミックなうけわたしと循環が保障されている。そして、それらの担い手である動植物や微生物が、絶滅の心配なく存続することができるような条件が整えられているのである。このような性質は、ヒトの干渉によって大きく機能の損なわれた生態系である不健全な生態系においては、決して期待することができない。不健全な生態系は、自然の恵みを提供することができない。なぜなら、生産性が低下し、土壌からは栄養塩が溶脱し、動植物が絶滅しやすく、システム全体は不安定化するなどの兆候があらわれているからである。わずかな外力によって極端な変化がもたらされるのも、不健全な状態と言えるであろう（鷲谷 2001）。

日本の生態系は同緯度にある国々に比べて圧倒的に豊かである。トンボを例にすれば、日本は全体で約 200 種、日本とほぼ同面積のイギリスでは約 40 種、ヨーロッパ全土で約 150 種である。北米からはさすがに 600 種ほど知られているが、国土面積は日本の 3 倍どころではない。植生についてもその豊かさは想像にかたくない（杉山、重松ほか 2002）。

生態系サービス

人間の生活は、生物多様性の複雑な相互作用によって作られるネットワーク、つまり生態系による恩恵によって支えられている。これは生態系サービスと呼ばれ、次のように分類される。

- ・供給サービス：淡水や食糧、燃料、医薬品原料など一次原材料の供給を示す。
- ・調整サービス：生態系は有害な物質に対して緩衝となったり、こうした物質を分解し

たりして、機構の調整や洪水の抑制、水の浄化など環境の基盤としての役割を果たす。

- ・文化サービス：文化サービスには、審美的・感情的・精神的充足やレクリエーションの提供、新たな科学的発見を生み出すアイデアの提供（生体工学）など多岐にわたる文化面のサービスが含まれる。
- ・基盤サービス：生態系は水循環や土壌の肥沃土の維持、バイオマスや食糧など様々なサービスの提供を支えている。

この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、異常気象といった厳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晒されるのである（B&B Japan 2011）。

近年、この恵みを定量的に評価する試みが行われている。例えば、生物多様性の価値を経済的に評価するプロジェクトである「生態系と生物多様性の経済学(TEEB)」では、サンゴ礁が人間にもたらす便益は、地域の食料や漁業資源になる海水魚の生息地になるなど、年間約 3.3 兆～18.9 兆円に達するとしている。また、2005 年（平成 17 年）の一年間に、昆虫が農作物の授粉を行ったことによる経済的価値は、約 21.4 兆円に達したとされている（環境白書 2015）。

生物多様性

生物多様性についての国際的な枠組みである「生物多様性に関する条約」(CBD)において、生物多様性とは「すべての生物（陸上生態系、海洋その他の水界生態系、これらが複合した生態系その他生息又は生育の場のいかんを問わない。）の間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性及び生態系の多様性を含む」と定義されている。つまり、多種多様な生物が地球上のあらゆる所に存在し、それらの間に違いがあり、生物種（種間）、遺伝子（種間）、生態系の 3 つのレベルにおいて多様性があることを意味する。これらの多様性は、長い時間をかけて互いに作用し合い築かれた複雑な相互作用によって維持され、自然の豊かさを形成する（B&B Japan 2011）。

種の多様性とは、私たちが普段、サクラソウ、メダカ、コウノトリ、ヒトなど生物の種類として認識しているものの多様性であり、それらが絶滅することによって、種の多様性が損なわれる。

遺伝子の多様性とは、私たちが他人を性格、顔立ち、体つきなどでひとりひとり区別しているように、同じ種の動物のなかにもよく観察すると個性が見えてくることである。たとえば、同じサクラソウの花でも、よく見ると色や形のちがうものがあることなどで遺伝子の多様性は実感できる。

生態系の多様性とは針葉樹林、落葉樹林などの森林、草原、湿地、水田などの生態系のバリエティをさす。一面同じように整備された水田ばかりが広がる近代化された農業景観に比べて、田畑があり、樹林があり、ため池があり、草地もある里山のほうがずっと多様性が高い。このことは、その景色を眺めれば誰もが容易に感じることができるだろう（鷺谷 2004）。

この多様性の豊かさは、自然界の状態を表す物差しといえる。生物の多様性が多ければ多いほど、その自然が脆く、しかしそれゆえに、より安定した環境状態を維持することができるのである。ここでいう「安定」とは、「不変」という意味ではなく、複雑な相互作用で起こる様々な変化が更なる変化を引き起こすネットワークで、自然特有の再構築の仕組みのことである。生物の多様性、つまり自然環境や生物群、そしてそれらの遺伝因子は、常に変異が生じており、そうした変化は当然のことながら非常にゆっくりとしたスピードで起きている（B&B Japan 2011）。

生物多様性は、自然の保護や生物の数だけを問題にする静的な概念ではない。むしろ、生物が相互に依存し合い、水や栄養、エネルギーの流れといった循環の機能を果たす生物の動的な概念であり、人間の生活や文化、開発、貿易、知的財産権など社会的要因をも視座に据えている（岩槻、堂本 2008）。

生物多様性の危機

2005年に国連が公表した「ミレニアム生態系評価～地球規模の生態系に関する総合的評価～」において、24項目のうち、15項目で、生物多様性が失われていることが示された。さらに、翌06年、生物多様性条約第8回締約国会議でも、生物多様性の悪化傾向が公表される。07年には、IPCC第四次報告書の中で、地球温暖化による生物多様性への影響が明確に示されたように、この10年間、国際的な報告の中で、生物多様性の状況が、実証的に明らかにされてきた（岩槻、堂本 2008）。

生物多様性が失われ、その場所でヒトとともに長い間生きつづけてきた生物の生活が立ちゆかなくなるような環境変化は、いずれヒトの安全で豊かな生活をも脅かすことになると考えなければならない。また、生物多様性の喪失は、ヒトがその生活を精神的にも物質的にもより豊かにするために利用できる可能性をもつ生物資源の喪失を意味すると同時に、自然環境の単純化によるさまざまな災禍の危険性の増大を意味する。単純化した環境では、害虫、害草、病原生物など、ヒトにとって手ごわい生物が蔓延しがちである。また、そこから生み出される自然の恵みすなわち財としての生物資源や、土壌流出の防止、治水上の安全確保、清浄な水の提供などのサービスも限られたものとなる。生物多様性は、価値の高いものの存在を保障すると同時に、環境の安全性をはかる尺度であるともいえる。

また、種の絶滅などによる生物多様性の喪失は、回復の不可能な環境変化である。いったん失われた種を取り戻すことができないという意味で、温暖化やオゾン層などは、

回復の方法は誰にとっても単純明快であり、そのためにどのように生産や生活を変えればよいかも明らかになっている。実行に移すかどうかだけが問題である。それに対して、失われた生物多様性の要素についてはその回復手段はなく、どのようにして喪失を防ぐかもそれほど単純ではない。単に、人為を排すれば自動的に生物多様性が保たれるというようなものではないからである。現在では、伝統的な人の営みがつくりだした環境に生活する里山や水辺の動植物のうちで絶滅危惧種になっているものが少なくないが、そのなかには開発など強い人為によって脅かされているだけでなく、草原の利用・管理が行われなくなったなど、人為が失われたことが絶滅要因となっているものもある。生物多様性の喪失という問題に目を向け、その再生をめざすことで、はじめて、複合的に作用するいくつもの要因により急速に悪化していく地域の環境が抱える問題を明確に認識することができ、安全で豊かなヒトの生活の基盤を確実なものとするための方策を明らかにできる（鷲谷 2004）。

日本は主に温帯に位置し、国土面積がそれほど広くはないにもかかわらず、豊かな生物相を誇り、固有種の比率が高い。南北に長い列島がモンスーン気候帯にあり、概して温暖で降水量に恵まれ、火山活動が盛んで地形がきわめて変化に富み、地史的には氷河の影響をあまり受けなかったことなどが、その豊かさの理由である。両生類やトンボ類など水辺と森林の両方を生息に必要とする動物の豊かさは、比類なきものである。

ところが今日では、メダカ、フジバカマ、キキョウ、ハマグリなど、人の生活域にかつては普通に見られた動植物までが絶滅危惧種となってレッドリストに掲載されている。それは里山・里地、沿岸、浅海域など、ここ数十年の間の人の営みの場での飽くなき開発と、生産や生活の様式の大きな変化による。自然海岸、干潟などは数十年前に比べると半分ほどしか残されておらず、湖沼、河川、水路などの水辺の多くがコンクリートで固められ、かつてはウェットランドとして多くの生き物を育んだ水田もイネを育てる工場になり、生き物の影が薄れた。豊かな水辺やウェットランドの自然が失われたことが、「身近な絶滅危惧種」をつくりだした主要な要因でもある。それは同時に、健全な水循環を損ない、作物の質の低下を通じて生産、生活、健康などへの悪影響をもたらしている（鷲谷 2004）。

わが国の生物多様性の危機の構造は、その原因及び結果を分析すると、人間との関わりが原因となっているものとして、人間活動や開発による第1の危機、自然に対する働きかけの縮小による第2の危機、人間により持ち込まれたものによる第3の危機に整理することができる。このほか、地球温暖化をはじめとした地球環境の変化による生物多様性への影響は、人間活動が原因ともなっている一方で、直接的な原因者を特定するのが困難なこと、影響がグローバルな広がりを持つことに加え、人間活動による影響だけではない地球環境の変化との複合的な要因によるものであることから、上記の3つの危機とは別に第4の危機として整理している。これらの危機に対して、国内あるいは地球規模でさまざまな対策が講じられてきており、効果が見られているものもあるが、これ

らの危機は依然進行している。

○第1の危機

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

○第2の危機

第2の危機は、第1の危機とは逆に、自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することによる影響である。里地里山の薪炭林や農用林などの里山林、採草地などの二次草原は、以前は経済活動に必要なものとして維持されてきた。こうした人の手が加えられた地域は、その環境に特有の多様な生物を育ててきた。また、氾濫原など自然の攪乱を受けてきた地域が減り、人の手が加えられた地域はその代わりとなる生息・生育地としての位置づけもあったと考えられる。しかし、産業構造や資源利用の変化と、人口減少や高齢化による活力の低下に伴い、里地里山では、自然に対する働きかけが縮小することによる危機が継続・拡大している。

○第3の危機

第3の危機は、外来種や化学物質など人間が近代的な生活を送るようになったことにより持ち込まれたものによる危機である。まず、外来種については、マングース、アライグマ、オオクチバス、オオハンゴンソウなど、野生生物の本来の移動能力を越えて、人為によって意図的・非意図的に国外や国内の他の地域から導入された生物が、地域固有の生物相や生態系を改変し、大きな脅威となっている。また、家畜やペットが野外に定着して生態系に影響を与えている例もある。特に、他の地域と隔てられ、固有種が多く生息・生育する島嶼の生態系などでは、こうした外来種による影響を強く受ける。外来種問題については、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）」に基づき特定外来生物等の輸入・飼養等が規制されているが、既に国内に定着した外来種の防除には多大な時間と労力が必要となる。また、国外から輸入される資材や他の生物に付着して意図せず導入される生物や国内の他地域から保全上重要な地域や島嶼へ導入される生物などは、外来生物法による規制が難しく、こうした生物も大きな脅威となっている。化学物質については、20世紀に入って急速に開発・普及が進み、現在、生態系が多くの化学物質に長期間ばく露されるという状況が生じている。化学物質の利は人間生活に大きな利便性をもたらしてきた一方で、中には生物への有害性を有するとともに環境中に広く存在するものがあり、そのような化学物質の生態系への影響

が指摘されている。化学物質による生態系への影響については多くのものがいまだ明らかではないが、私たちの気付かないうちに生態系に影響を与えているおそれがある。

○第4の危機

第4の危機は、地球温暖化など地球環境の変化による生物多様性への影響である。地球温暖化のほか、強い台風の頻度が増すことや降水量の変化などの気候変動、海洋の一次生産の減少及び酸性化などの地球環境の変化は、生物多様性に深刻な影響を与える可能性があり、その影響は完全に避けることはできないと考えられている。さらに、地球環境の変化に伴う生物多様性の変化は、人間生活や社会経済へも大きな影響を及ぼすことが予測されている（生物多様性国家戦略 2012-2020）。

これらの危機が重なり合って、しばらく前までは普通に見られた身近な動植物、メダカやタガメやキキョウやフジバカマまでが絶滅の危険にさらされるようになった。トキやコウノトリは、日本産のものはすでに絶滅してしまっている（鷲谷、草刈 2003）。

生物多様性を守る4つの意味

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

1 「すべての生命が存立する基礎となる」

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

2 「人間にとって有用な価値を有する」

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

3 「豊かな文化の根源となる」

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

4 「将来にわたる暮らしの安全性を保証する」

多様で健全な森林の整備・保全、地形の不適切な改変の回避、環境保全型農業の推進などは、土砂の流出や崩壊防止、安全な飲み水や食料の確保に寄与している。生物多様性の観点から、自然と人の利用のバランスを健全に保つことは、長い目で見れば、世代を超えて効率的に暮らしの安全性を保証することにつながる（生物多様性国家戦略 2012-2020）。

地球温暖化とその影響

増加しつつある人口、一人あたりが消費するエネルギーや各種の資源、それらを得るための生態系への働きかけ方、そのいずれもが狩猟採集経済の時代とは比較にならないほどのものとなっている。そして、地域や社会によって大きな差異はあるものの、ヒトによる資源やエネルギーの消費は、全体として地球の生態系の大きな負担となり、温暖化など気候の大きな変動をもたらし、多くの動植物を絶滅に追いこむ根本の原因となっている（鷲谷 2001）。

人為によってもたらされる急速な地球温暖化が生物多様性に与える甚大な影響とは、温暖化という無機環境要因が多様な生物の個々の種に種特異的に顕現し、個々の種が種特異的に反応することから生じる現象を指す。急激な温暖化により、ある種は絶滅し、ある種はより冷涼な場所へ移動するだろう。また、種によって対応が異なるため、成立していた生態系は構成種の成り立ちを崩し、地球上のほぼすべての場所で平衡を失うことになる。生態系は多数の種の複合体として存在しているから、構成要素がいくつも欠落すれば、整っていた生態系は容易に崩壊につながる。地球温暖化が生物多様性に及ぼす究極の問題は、まさに、そこにある（岩槻、堂本 2008）。

近年、人間活動の拡大に伴って二酸化炭素、メタン等の温室効果ガスが大量に大気中に排出されることで、地球が温暖化している。特に二酸化炭素は、化石燃料の燃焼などによって膨大な量が人為的に排出されている。我が国が排出する温室効果ガスのうち、二酸化炭素の排出が全体の排出量の約 93%を占めている（環境白書 2015）。

IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change, 気候変動に関する政府間パネル）第 5 次評価報告書第一作業部会報告書（2013）では、「気候システムの温暖化には疑う余地はない」「人間の影響が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い（95%以上）」と結論づけた。前回報告書では「可能性が非常に高い（90%以上）」であったが、更に踏み込んだ表現となった。気温に関して、同報告書では、「19 世紀後半以降、世界平均地上気温が上昇していることは確実である。地球の表面では、測器記録において過去 30 年の各 10 年はいずれも先立つ 10 年よりも高温でありつづけ、21 世紀の最初の 10 年が最も高温であった。」としている。気象庁の気候変動監視レポート（2014）によると、世界の年平均気温は、100 年あたり 0.70℃の割合で上昇している。また、日本の年平均気温は、100 年あたり 1.14℃の割合で上昇している。2081~2100 年の世界平均地上気温の 1986~2005 年平均に対する上昇量は、濃度で駆動される CMIP5 モデルシミュレーションから得られる幅によれば、RCP2.6 シナリオ（厳しい緩和シナリオ。工業化以前に対する世界平均の気温上昇を高い可能性（66% 超の確率）で 2℃未満に維持することを目指すシナリオの代表）では 0.3~1.7℃、RCP4.5 シナリオ（RCP2.6 と RCP8.5 の間の中間的なシナリオ）では 1.1~2.6℃、RCP6.0 シナリオ（RCP4.5 シナリオに同じ）では 1.4~3.1℃、RCP8.5 シナリオ（非常に高い温室効果ガス排出となるシナリオ）では 2.6~4.8℃の範囲に入る可能性が高いと予測される。温

室効果ガス世界資料センターの解析によると 2013 年の二酸化炭素濃度は 396.0 ppm であり、前年に比べて 2.9 ppm 増えている。また、最近 10 年間の平均年増加量は約 2.1 ppm であり、1990 年代の平均年増加量（約 1.5 ppm）より大きい。地球全体が 1 年間で自然吸収する二酸化炭素の量は、約 31 億炭素トンであり、そのうち陸上の生態系（森林や草原、農地など）は約 18 億炭素トンを吸収しているとされている。しかし、森林面積の減少は止まっておらず、二酸化炭素を吸収する能力は徐々に下がっている。森林生態系の減少や劣化が地球温暖化を加速させることになる（環境白書 2010）。海の状況に関しては、1971 年から 2010 年において、海洋表層（0~700m）で水温が上昇したことはほぼ確実にされ、また、1992 年から 2005 年の期間において、3000m から海底までの層で海洋は温暖化した可能性が高く、最も大きな温暖化は南極海で観測されているとした（IPCC 2013）。

衛星による北極の観察では、すでに北極の氷は過去 20 年間に 100 万平方キロメートルほどとなった。さらに氷が溶けるにしたがって、大量の冷たい海水が解き放たれることになるが、それは、ヨーロッパに温暖な気候をもたらしているメキシコ湾流の気候緩和作用を打ち消すことになるという。それがヨーロッパの気象と生態系に及ぼす影響は十分には予想しきれていない。この地球上で確実に進みつつある温暖化は、人間生活に困難な問題をもたらすはじめ、それと同時に多くの動植物を絶滅の渦に巻きこみつつある（鷲谷 2004）。

温暖化の影響は、生物分布の北上とともに植物の開花時期の変化に現れている。特に、1980 年代以降、ソメイヨシノやタンポポの開花が早まる半面、カエデの紅葉の遅れ傾向も顕著になってきた（生物多様性 JAPAN 事務局 2007）。銚子のソメイヨシノの開花は、かつて、3 月 31 日前後だったが、近年、10 日以上早い年もあり、また、秋のイチョウの黄葉も最近では 12 月からの年が多い。

温暖化は農業にも、大きな影響をもたらすと見込まれる。イネについては、最近、白未熟粒などの高温障害が東北以南の広い地域で報告されている。このほか、温暖化影響はキャベツやピーマンなどの野菜にも及ぶが、ナシやブドウのような落葉性の果樹、落葉樹の緑化木などへの影響は特に大きくなると見られる（岩槻、堂本 2008）。

アメリカの魚類野生生物局は、海氷の変化が予測どおり進むと、21 世紀中頃までに、全世界のホッキョクグマの生息数の 3 分の 2 が失われると推測している。また、IPCC 第 4 次評価報告書では、約 1~3℃の海面水温の上昇は、熱に対するサンゴの適応や順応がない限り、より頻繁なサンゴの白化現象と広範な死滅をもたらすと予測されている（環境白書 2010）。

地球温暖化対策に係る取り組み

急速に温暖化する地球と、急激に減少しつつある生物多様性、その主たる原因をつくり出しているのは人間の営みである。一般に、地球全体の問題、広域的な問題として一

律にとらえがちなこれらの現象は、実は、地域ごとに異なる現象の集合だから、温暖化と生物多様性という問題のみならず、環境と人間の将来、すなわち、持続可能性は、包括的な国家戦略だけでは到底、解決できない。従って、自治体は国とともに、真剣で効果的な対策と実行指針を持たねばならず、そこに住む人々や関連する企業・団体などすべてが、持続可能性をめざす高い意識と、そのために必要な知識を持つことが不可欠になる（岩槻、堂本 2008）。

気候変動に関する国際連合枠組条約は、地球温暖化防止のための国際的な枠組みであり、究極的な目的として、温室効果ガスの大気中濃度を自然の生態系や人類に危険な悪影響を及ぼさない水準で安定化させることを掲げている。現在、温室効果ガスの排出量は地球の吸収量の 2 倍以上である。将来の自然吸収量が現状とは異なる可能性もあるが、長期的な気候の安定化の視点から考えると、上記の目的の実現のためには、2050 年までに温室効果ガスを半減させることは 1 つの中期的な道標と言える。

平成 25 年 3 月 15 日に、地球温暖化対策の推進に関する法律に基づき設置された、地球温暖化対策推進本部において、「当面の地球温暖化対策に関する方針」が決定された。この方針において、平成 25 年度以降、気候変動枠組条約の下でのカンクン合意に基づき、2020 年までの削減目標の登録と、その達成に向けた進捗の国際的な報告・検証を通じて、引き続き地球温暖化対策に積極的に取り組んでいくこととされた。

我が国は、地球温暖化対策を進めていくために「長期的な目標として、2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減を目指す」ことを第四次環境基本計画（平成 24 年 4 月 27 日策定）で定め、その推進を図っている。

気候変動が経済に及ぼす影響を示した「スターン・レビュー」では、森林減少の抑制が、「温室効果ガス排出量の削減における費用対効果の非常に高い方法である。」と述べているほか、生物多様性の保全等にもつながると指摘している。また、例えば、水源の確保のための水源林のかん養等、生態系サービスを維持するための手法である「生態系サービスへの支払い制度（PES（Payment for Ecosystem Services）」）は、その結果として森林が適切に保全されれば、二酸化炭素吸収源としての機能も果たすものと期待される。このように、生物多様性保全と地球温暖化対策は、一方の取組が別の相乗効果や付加価値をもたらすことにつながるため、両者を関連付けて取り組むことが効果的といえる（環境白書 2015）。

レッドリスト・レッドデータブック（RDB）

生物の進化の過程で多様化していった生物の種の中には、人間活動によって絶滅の危機に瀕しているものがあり、国際自然保護連合（IUCN）が 2012 年にまとめたレッドリストによると、評価対象とした脊椎動物約 3 万 6 千種、無脊椎動物約 1 万 3 千種、植物 1 万 5 千種などのうち 30%以上が絶滅のおそれがあるとされている（生物多様性国家戦略 2012-2020）。

野生生物の保全のためには、絶滅のおそれのある種を的確に把握し、一般への理解を広める必要があることから、環境省では、レッドリスト（日本の絶滅のおそれのある野生生物の種のリスト）を作成・公表するとともに、これを基にしたレッドデータブック（日本の絶滅のおそれのある野生生物の種についてそれらの生息状況等を取りまとめたもの）を刊行している。

動物では、[1]哺乳類 [2]鳥類 [3]爬虫類 [4]両生類 [5]汽水・淡水魚類 [6]昆虫類 [7]貝類 [8]その他無脊椎動物（クモ形類、甲殻類等）の分類群ごとに、植物では、[9]植物（維管束植物）及び [10]植物（維管束植物以外：蘚苔類、藻類、地衣類、菌類）の分類群ごとに、計10分類群について作成している。

レッドデータブックは環境省以外に、都道府県やNGO、学会等の団体でも作成されている。

野生生物の生息状況は常に変化しているため、レッドリスト・レッドデータブックにおける評価は、定期的に見直すことが不可欠である。

レッドリストは、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。おおむね5年ごとに公表を行っている。現在、最新のレッドリストは平成24年・25年に公表した第4次レッドリストである。レッドデータブックは、レッドリストに掲載された種について、それらの生息状況や存続を脅かしている原因等を解説した書籍である。おおむね10年ごとに刊行している。現在のレッドデータブックは平成26年～27年に刊行（第4次レッドリストに対応）したものである（環境省HP）。

カテゴリー（ランク）の概要は以下の通りである。

- 絶滅（EX）：我が国ではすでに絶滅したと考えられる種
- 野生絶滅（EW）：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
- 絶滅危惧Ⅰ類（CR+EN）：絶滅の危機に瀕している種
 - ・絶滅危惧ⅠA類（CR）：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
 - ・絶滅危惧ⅠB類（EN）：ⅠA類ほどではないが、近い将来における野生での絶滅の危険性が高いもの
- 絶滅危惧Ⅱ類（VU）：絶滅の危険が増大している種
- 準絶滅危惧（NT）：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
- 情報不足（DD）：評価するだけの情報が不足している種
- 絶滅のおそれのある地域個体群（LP）：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

平成 24 年 8 月に、9 分類群について新たなレッドリスト（第 4 次レッドリスト）を取りまとめ公表し、平成 25 年 2 月に、残る汽水・淡水魚類について取りまとめ作業が終了したため、公表した。

絶滅のおそれのある種（絶滅危惧 I 類（IA 類（CR）、IB 類（EN））及び絶滅危惧 II 類（VU）に選定された種）の総数は、第 3 次リスト（平成 18 年～19 年公表）では 3155 種だったが、新リストでは 3597 種となり、442 種増加した。貝類における評価対象の拡大といった事情はあるが、我が国の野生生物が置かれている状況は依然として厳しいことが明らかになった。

環境省としては、新たなレッドリストの周知に努めるとともに、必要な保護対策について今後検討する考えである。また、平成 27 年 3 月までにレッドリスト掲載種について解説したレッドデータブックを全て刊行した（環境省 HP）。

地域に特徴的な種が失われつつあること、および、人がほかの地域からもちこんだ移入種が蔓延していること、この 2 つがおもな原因となり、地球上の生物種の分布が均一化してきていることが指摘されている（鷲谷、鬼頭 2007）。

過去に地球上で起きた生物の大量絶滅は 5 回あったといわれているが、これらの自然状態での絶滅には数万年～数十万年の時間がかかっており、平均すると一年間に 0.001 種程度であったと考えられている。一方で、人間活動によって引き起こされている現在の生物の絶滅は、過去とは桁違いの速さで進んでいることが問題である。1975 年以降は、一年間に 4 万種程度が絶滅しているといわれ、実際、人間は、あっという間に生物を絶滅させてしまう力をもっている（環境白書 2010）。

外来種

人間によって自然分布域以外の地域に移動させられた生物を「外来生物 / 外来種」「侵入生物 / 侵入種」「移入生物 / 移入種」などという。貿易大国の日本では、これまでに 2000 種を超える外来生物が記録されている。外来生物は、移動先で繁殖集団を形成し（定着または帰化と呼ばれる）、その土地の生態系・農林漁業・人間の健康や日常生活などに対して影響を及ぼすことがある。大きな影響を及ぼすものを、特に「侵略的外来生物」といい、世界的な問題となっている。

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

故意に自然分布域の外へ運び出された場合を「意図的導入」という。導入予防のためには、防止したい種に対する法的規制と密輸・密放逐に対する監視が必要になる。例えば、法面緑化植物（シナダレスズメガヤ、オニウシノケグサ等）、街路樹（ハリエンジュ等）などのケースがある。

人や物の移動に伴って意図せず運ばれる場合を「非意図的導入」という。導入予防のためには、多くの種を運んでしまう物資およびその移送経路を特定した上で、監視・検疫が必要になる。例えば、建築資材や土砂などの輸送に伴ったアルゼンチンアリ、セアカゴケグモ、ヤモリ類などのケースがある（国立環境研究所）。

生態系への影響として、(1) 外来種が在来の生き物を食べてしまうことにより、本来の生態系が乱されてしまう (2) 外来種が、日陰を作ってしまうことで、在来の植物の生活の場を奪ってしまったり、在来の動物と同じ餌を食べることにより、エサを巡って競争がおこる (3) 近縁の在来の種と交雑して雑種を作ってしまう、在来種の遺伝的な独自性がなくなる、ことなどが挙げられる（環境省 HP）。

人為的な環境改変を受けた土地は外来種が生活するのに適しており、外来種は世界的にも猛威を振るう傾向を強めている。日本では北アメリカからもたらされたオオブタクサやセイタカアワダチソウなどが在来の植物に大きな影響を与えているが、日本の植物も、たとえばクズは北アメリカで、イタドリは英国でやっかいな害草となっている。日本のワカメはオーストラリアの海域に広がり、もっとも厄介な外来種のひとつとして認識されている（鷲谷 2004）。

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

以下に、調査地で確認された外来植物の例を示す。

キシウズメノヒエ（イネ科、多年草、*Paspalum distichum*）

要注意外来生物。湿地などに群生する。茎で地表を這い、多くの匍匐茎を分枝してしばしばマット状の群落を形成する。水辺に生える他の植物を排除する形で広がり、さらに水面を覆うことで、水辺を単純な植生に変えてしまう。はじめはみずみずしい緑の小型植物に思えるが、瞬く間に広い面積を占め、駆除に苦勞する。チノー・ビオトープ、男井戸川調整池で確認された。

コマツヨイグサ（アカバナ科、多年草、*Oenothera laciniata*）

要注意外来生物。北アメリカ原産で、日本へは 1910 年頃に導入され、昭和期に分布を拡大し、現在は本州以南に分布する。茎の上部の葉脈に直径 4cm ほどの淡黄色の 4 花

弁をつける。亜熱帯～温帯の河原や海岸の砂地など攪乱された場所を好み、道端、荒地、市街地、畑地、樹園地などでも生育する。河原で多く見られ、固有種と競争し駆逐するおそれがある。アドバンテスト・ピオトープ、男井戸川調整池で確認された。

セイタカアワダチソウ（キク科、多年草、*Solidago altissima*）

要注意外来生物。人の背丈を超えるほど草丈が高く、群生して生える北アメリカ原産の帰化植物。先端に黄色の小さな花を無数につけ種子が風に吹かれて運ばれるほか、地下茎を横に伸ばして増える多年生草本で、放っておくと一面この植物で覆われてしまう。この草が密生すると、内部が暗くなり栄養を奪われるだけでなく、根から他の植物の成長を阻害する物質（アレロパシー）を出すために、他の植物は姿を消す。このように強い繁殖力をもっているため、小さい（幼苗の）うちに根こそぎ取り除くようにする。全てのピオトープで確認された。

里山・水辺の生態系

里地里山は、集落を取り巻く二次林と人工林、農地、ため池、草原などを構成要素としており、人為による適度なかく乱によって特有の環境が形成・維持され、固有種を含む多くの野生生物を育む地域となっている。希少種が集中して分布している地域の5割以上が里地里山に含まれている（環境白書 2010）。

自然のままに放棄するのではなく、柴刈りや落ち葉かきなど、ある程度人の手が入ったときのほうが、多様性は高くなる。伝統的な管理は、凶らずも生物多様性に貢献していたのである。下草が刈られ、落ち葉が除去された雑木林は、上層の落葉樹の葉が繁る前の春先には地表面にまでよく陽光が差し込む。それは、フクジュソウ、カタクリ、サクラソウなど、春に明るい環境を必要とする春植物の生育に欠かせない条件である。また、下層にササなどが繁ることなく十分な空間が残されている雑木林であれば猛禽類などが餌を採ることができる。しかし、管理が放棄されてアズマネザサや常緑の低木が繁ってしまえば、これらの動植物には利用できない単純な環境になってしまう（鷲谷 2004）。

政府は、2050年までに、里地里山的環境を有する都市から離れた中山間地域や奥山周辺の約3～5割が、無居住地化すると予測している。さらに、農林業における担い手の減少・高齢化に伴って、近年耕地面積が減少する一方で、耕作放棄地は増加している。また、森林資源利用の減少（化石燃料の普及による薪・炭の需要減少や、化学肥料の普及による森林由来の堆肥需要の減少）等に伴い、二次林の管理放棄が進み、野生動植物の生息・生育環境の劣化が生じている。こうした里地里山の荒廃は、森林による水質浄化や洪水緩和、大気浄化などの生態系サービスの低下を招くことが懸念される。この機能低下は、森から里、里から川、川から海という森里川海のつながり・循環の中で、大都市圏にも様々な悪影響を及ぼすこととなる（環境白書 2015）。

水は、地球上の多くの生命にとって欠かせないものである。そして、河川をはじめとし、湖沼、湿原、湧水地などの水系は生物多様性の重要な基盤である。水系は森林、農地、都市、沿岸域などをつなぐことで国土の生態系ネットワークの重要な基軸となる。そのつながりを通じて流域から生み出される土砂や栄養分、さらには土地利用による汚濁物質を下流へと運ぶとともに、海からサケやウナギなどが遡上する。

水系は、魚類などの水生生物や水鳥をはじめ多様な生物の生息・生育地として重要である。特に湿原は、生物多様性が豊かな地域であり、保水、浄化、洪水調節、地域の気候緩和といった機能を有する一方、人為の影響を受けやすい脆弱な生態系といえる。

これまで河川沿いの氾濫原の湿地帯や河畔林は、農地、宅地などとして営々と開発、利用され、また、洪水等の災害を防止するための河川改修や流域の土地利用の変化により、流量の減少、水循環の経路の変更や分断、砂礫の供給の減少、攪乱の減少や水質汚濁などが生じたことから、河川生態系は大きな影響を受けてきた。自然湖沼においても、干拓・埋立、湖岸改修、水位の改変、水質汚濁、富栄養化、外来種の侵入などによって、湖沼生態系は大きな影響を受けてきた。日本に生育する水草のおよそ3分の1の種が絶滅危惧種に選定されるなど、水辺環境には多くの絶滅危惧種が存在する（生物多様性国家戦略 2012-2020）。

水辺には、本来、水と陸の異質な生態系をゆるやかにつなぐ「移行帯」がみられるものである。そこには、水深や水分条件に応じて異なる水草が分布する水草帯と、陸側のヨシやマコモが生育するヨシ帯などからなる植生帯が成立し、湖沼の生態系の安定性や健全性を決めるうえできわめて重要な空間をつくっている（鷲谷 2001）。

かつての水田のまわりには、灌漑用のため池や水路、肥料や燃料、建材などを得るための雑木林や草原が配され、最近では里山として認識されるようになった多様な特性をもつ生息・生育場所からなるモザイク的な複合生態系がつくられていた。

そのような複合生態系は、物質循環の面からみても優れたシステムとして再評価されつつあるが、生物多様性保全機能が高いこともその特徴である。水田やため池などの湿地環境が小規模にせよ森林環境と近接して存在することの意味は大きい。

元来、氾濫原にはわずかな高低差によって、湿地、林地、一時的な止水域などが存在している。人の手が加わったあとにも同様の生息・生育場所の条件が水田やため池として農業生産の場に残されたため、人々の営みの場でもありながら豊かな生物多様性を誇る複合生態系もそのまま維持された（鷲谷 2004）。

しかし近代になって、圃場整備、水路のコンクリート化、除草剤や農薬の導入など、動植物にとって致命的な行為が進められてきた結果、水田に生活する動植物の多くは、かつて個体数が豊富であったこともあって、保護の対象として注目されないまま、絶滅が危惧されるまでに減少していった。このように、水田生態系は人間と共生しながら成立してきたにもかかわらず、最終的には人間によって壊滅的な打撃を受けることになった（杉山、重松ほか 2002）。

生物多様性の保全と自然再生事業

自然と共生する社会の実現に向けて、自然環境の価値を再認識し、地域固有の動植物や生態系その他の自然環境について、保全のための取組を推進することはもちろん、自然再生によって地域の自然環境を蘇らせ、自然の恵みを享受できる地域社会を創りあげていくことが必要となっている（生物多様性国家戦略 2012-2020）。

自然保護の対象や手法は多様化し、拡大しつつある。従来の自然保護は、特定の自然物や生物種、あるいは自然度の高い地域を対象としていた。こうした特定の自然から、保護の対象は生物種を含む生態系全体へと広がり、さらには生物多様性そのものへと移行しつつある。また、保存や保全という受動的な手法から、自然再生のように能動的な手法もとられるようになった（鷲谷、鬼頭 2007）。

自然再生に関しては、2002年12月に「自然再生推進法」が成立した。それは自然再生の基本理念やその実施の方針や体制などを定める法律である。「自然再生」は、「過去に損なわれた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、NPO、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、も場、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、またはその状態を維持管理すること」と定義され、その基本理念と、①健全で恵み豊かな自然が将来の世代にわたって維持されるとともに、生物の多様性の確保を通じて自然と共生する社会の実現を図り、あわせて地球環境の保全に寄与する。②多様な主体が連携しつつ、自主的かつ積極的に取り組む。③地域における自然環境の特性、自然の復元力および生態系の微妙な均衡を踏まえ、かつ、科学的知見にもとづいて実施する。④自然再生の状況を監視し、その監視の結果に科学的な評価を加え、これを事業に反映する。⑤自然環境の保全に関する学習の場としての活用も図る、ことなどが挙げられている（鷲谷、草刈 2003）。

自然再生推進法では、基本方針として「自然再生事業は、複雑で絶えず変化する生態系（中略）を対象とした事業であることから、地域の自然環境に関し専門的知識を有する者の協力を得て、自然環境に関する事前の十分な調査を行い、事業着手後も自然環境の再生状況をモニタリングし、その結果を科学的に評価し、これを当該自然再生事業に反映させる順応的な方法により実施することが必要です」と説明されている。

順応的管理で進められる事業では、事業の計画は科学的な根拠を持つ「予測」（＝仮説）に基づいて立てられ、事業の実施・モニタリングを通して、この仮説が検証される。予測通りの状態になれば事業は成功だが、予測とは異なる結果が示された場合、予測の方法や予測の根拠に誤りがあったということになる。また、当初は予測されていなかった新たな問題が事後に認識されることもある。これらの場合、順応的管理では、計画を見直し、新たな予測を立て、事業の改善措置がとられる。このような循環的なプロセスを継続することで、事業を徐々に成功に導きつつ、科学的・技術的知見を充実させるのが、

順応的管理である（日本生態学会 2010）。

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

生物多様性の保全を地域において追求する際にもっとも重要なことは、「固有性」、すなわち地域に固有な多様性を重視することである。それぞれの種がその生態的特性や歴史に応じて地理的に限られた分布を示し、その生態によく合った限定された生息・生育場所でのみ生育・生息することが、ある程度広い地理的空間における多様性の理由である。したがって、それぞれの地域における生物多様性の保全とは、ローカルな固有性の尊重、つまり、それぞれの地域に独特な生態系や生息・生育場所、動植物の種などの喪失を防ぐことである。それによって、その地域において伝統的に維持されてきた人々の生活や生産に必要な生態系のサービスが途切れることなく提供される。

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

植生は、動物の生活のための資源や場を提供するため、その場所にふさわしい植生を回復させることは自然再生全体の前提であるともいえる。しかし、現在では、開発によって著しく生育環境が損なわれたため、すでにその場からすっかり姿を消した植物が少なくない。そのような植物を含む植生を回復させるには、土壌シードバンクが最後の望みの綱となる（鷲谷、草刈 2003）。

土壌シードバンクとは、発芽のための条件が整うまで、休眠状態で土壌内に蓄積されている種子のことで、水分や光、温度などの環境が、発芽に必要な条件を満たすと休眠から目覚め、発芽を始める。水辺の植物のなかには、長い寿命をもつ種子をつくるものが多く、地上からその植物が姿を消していても、土壌シードバンク中の種子を利用すれば、再びその植物を再生することができることもある（鷲谷、鬼頭 2007）。

生態系の健全性の回復を主な目標とする自然再生事業においては、その効果を確かめながら確実に事業を進めるため、不健全性の影響を強く受けて絶滅の危険を増している在来の動植物や衰退の著しい群落などの回復を目安にすることが必要である。霞ヶ浦の環境再生事業である「アサザプロジェクト」では、シンボルとしてアサザが取り上げられている（鷲谷 2004）。

企業の取り組みとその実例

2008年のCOP9（ドイツ・ボン）の閣僚級会合では、生物多様性条約の目的達成に民間企業の関与をさらに高めるため、ドイツ政府が主導する「ビジネスと生物多様性イニシアティブ」（B&B イニシアティブ）の「リーダーシップ宣言」の署名式が行われた。この宣言は、生物多様性条約の3つの目的に同意し、これを支持し、経営目標に生物多様性への配慮を組み込み、企業活動に反映させるというもので、日本企業9社を含む全34社が参加した。さらに、2007年、2008年、2009年のG8環境大臣会合などにおいても、生物多様性が重要議題となり、産業界を巻き込む政策の強化、生物多様性の損失に伴う経済的影響を検討する必要性などが示された（環境白書 2010）。

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。例えば、国連食糧農業機関（FAO）によると、世界経済の約40%が生物資源に直接依存していると指摘されている。そのうえ、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（B&B Japan 2011）。

このように、農林水産業、建設業、製造業、そして小売業や金融業、マスメディアなどであっても、生物資源の利用、サプライチェーン、投融資などを通じて、生物多様性に影響を与えたり、その恵みに依存したりしている。また、このような恵みや影響は、国内外を問わない。特に、天然資源に乏しいわが国は、その多くを海外に依存しており、海外の生態系サービスを利用することで、現在の私たちの生活が成り立っているということを忘れてはいけない。

これまでの事業者の取組は、どちらかというとCSR活動が中心だったが、これからは、本業の中でも、生物多様性に取り組んでいくことが重要となる。「生物多様性民間参画ガイドライン」では、それぞれの事業者との取組の方向として、①事業活動と生物多様性とのかかわり（恵みと影響）を把握すること、②生物多様性に及ぼす影響の低減を図り、持続可能な利用に努めること、③取組の推進体制等を整備することを挙げている。生物多様性とのかかわりを把握し、実現可能性も考慮しながら、優先順位に従い取組を進めていくことが重要である（環境白書 2010）。

次に、実際に企業で行われている取り組みを挙げる。

・住友信託銀行株式会社

住友信託銀行では、信託銀行として本業で生物多様性の保全を推進するとともに、全国の支店での社会貢献活動などに積極的に取り組んだ。支店ロビーで生物多様性に関するパネル展を開催したほか、地元で生息する絶滅危惧種を飼育することによってお客様に広く保護を呼びかける活動を行った。ニッポンバラタナゴで始まったこの取り組みは各地に拡大し、カワバタモロコ、ゼニタナゴ、横浜メダカを地元のNGOか

ら指導を受けながら飼育した。

・三井住友海上火災保険株式会社

2005年4月から、ジャワ島在来種を中心に30の樹種からなる約30万本の植林をパリヤン野生動物保護林内の修復対象地350haに行った。苗木は順調に成長し、姿を消していた保護対象動物のオナガザルも2009年からは生息を確認できるまでになった。また、植栽の成長度を毎年検証しているガジャマダ大学からも、森林が順調に形成されていると報告がされているなど、インドネシア国内においては森林再生の成功事例の1つとして注目を集めるまでになった（B&B Japan 2011）。

ビオトープ

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

雑木林や溜池、小川、田んぼなどの日本のビオトープの多くは、自然を人の手から遠ざけるのではなく、人が手を加え、かく乱することによって遷移する植生が逆戻りし、動植物の生息密度や複雑な環境構造が維持されてきた（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、それに代わって人工的な環境や装置、商業的な娯楽に取り囲まれて生活しているといっている。しかし、多くの日本人がいますぐ都市から農山村に転住し、かつてのように自然とともにある生活おく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、重松ほか 2002）。

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。これが生態系を再生するための基本原則である。

生きものの移動路をビオコリドーと呼ぶ。現実には、連続した樹林や草地、緑道などのように、各種の生きものが生息している拠点緑地から対象地までの緑の帯、小川や河川、風（上昇気流や季節風など）などが、これに該当する。飛翔力の高い鳥類やトンボ類などの生きものは、飛び石状に分布するビオトープによるネットワークも可能である。自然再生地において生態系を構成する生きものは、このビオコリドーを通過して移動してきた動植物種が基礎になって成立する（養父 2006）。

ビオトープは本来、地域自然の回復を目指す物であり、その方法は一定条件の環境を

整備・準備した上で、自然の推移に任せるのが基本である。しかし、外来植物や高茎雑草などをどう扱うかは、管理上問題となることが多い。これらは圧倒的な競争力、繁殖力で、郷土種の衰退や種の多様性を損なうことがあり、放置すると優占し、ビオトープの大半のスペースが覆われることになりかねないからである。放置することで、そこにみられる生物の種類が単純化することは回避する必要がある。

環境問題への取組みに対して、企業の果たすべき役割が増大してきており、地域にひらかれた形での社会貢献が期待されている。ビオトープづくりは、環境問題の中で種の多様性の維持に関わるものであり、地域の生態系の一部として、地域社会に対して企業が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）。

多自然型あるいは近自然型といわれる川づくりをはじめとして、公園の造成、道路、ダム建設などに伴う自然破壊の回復・復元、あるいは企業による事業所構内の整備の一環としてのビオトープづくりまで、多種多様な事業が展開され始めている状況である（秋山 2000）。

ビオトープ整備の七原則

多様なタイプのビオトープがつくられることは好ましいことなのだが、そこに生物の持続できる空間が確保されていなければ、ただ人間の自己満足で終わってしまう。また、決してこのようなことがあってはならないのである。

なお、この分野でも先進国のドイツでは、ビオトープ整備について次のような「整備の七原則」が定められ、厳格な姿勢で取り組んでいる。

- ①整備対象地本来の自然環境を復元し、保全する。そのための自然環境の把握は必要条件。（この復元の中には創造も含む。創造の場合は「この地本来」となる）
- ②①の理由により、設計に際しては、利用素材（生物も非生物も全て含む）はその地本来のものとする。
- ③回復・保全する生物の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設計図面に基づき整備した当初のビオトープは完成半ばであり、その後自然が仕上げて完成状態となる読みが設計技術には必要である。
- ⑥ビオトープ整備は行政の思惑のみで進めないで、何らかの形で市民参加を図る。
- ⑦ビオトープ・ネットワーク・システム構築のために、当該ビオトープの整備後のモニタリングを十分に行う。

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

本研究の目的

自然再生を目的として造成され育成管理されている大型ビオトープ（アドバンテス

ト・ビオトープ、チノー・ビオトープ)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。

そこで本研究では、大型ビオトープの育成管理において、外来植物を抑制あるいは駆除しつつ、在来植物の増加を促進する方策を検討するために必要な生態学的知見を、環境情報として蓄積すること、そして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の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(伊勢崎市)で現地調査を行った。また、温暖化による影響を予測し、地域の生態系の再生という機能を果たし始めている各ビオトープについて、地域の絶滅危惧種の保護・増殖場所となる可能性を高めるために、群馬県内に生育する3種の国指定絶滅危惧種(コギシギシ、フジバカマ、ミゾコウジュ)およびアドバンテスト・ビオトープに定着・生育するが個体数の増加が見られない里山植物イヌトウバナの温暖化の影響に対応した持続的な育成管理方法を検討した。さらに、アドバンテスト・ビオトープで過去12年間にわたって計測してきた気温のデータを分析することによって、これまでにすでに起こっているであろう、地球環境変化の影響を明らかにすることとした。加えて矢場川の自然再生地内ではフジバカマ移植後のモニタリング調査を行った。

調査地概要

・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。本ビオトープは、半導体試験装置等の開発・製造業者であるアドバンテスト社が、環境保全活動の一環として、自然環境との共生をテーマに構築したものである。本ビオトープの面積は約17,000m²と、民間企業所有としては国内最大級の規模のものである（図2、写真1, 2）。ビオトープは工業団地の一角に位置しており、建設前の用地は雑草がまばらに育成する程度の裸地であった。敷地周辺は水田が広がり、畑地、雑木林などが点在しており、敷地北側には谷田川が、約2km南には利根川が流れている。

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（石田 2015）。

本ビオトープの設計にあたっては、関東平野の昔ながらの田園風景の復元を目指して、高低差3m程度の微地形と、大きく分けて水辺、樹林、草地からなる多様な環境が配置されている。これにより、エコトーンと呼ばれる性質の異なる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。

・チノー・ビオトープ（群馬県藤岡市森）

群馬県藤岡市森、株式会社チノー藤岡事業所敷地内に造成された大型ビオトープである（図3、写真3）。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。当地にはかつての水田が埋まっており、この土地を掘り起こし、ビオトープ内に小規模な水域を造成して、土を撒きだして「水田ビオトープ」が創出されている。本ビオトープの周辺にはJR高崎線、国道17号が走り、敷地内600m北側には烏川が、約1km西側には鑄川が流れている（石田 2015）。

・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、カワヂシャ、ジャクジモの計4種の絶滅危惧種が含まれている（高橋 2009）。こうした保護の重要性が高い植物相を水生ビオトープ内に再生するため、群馬県中部県民局・伊勢崎土木事務所によって、当地の表土の一部を別所に温存して調整池整備後に再配置し、土壌シードバンクから植生ビオトープ内に再生する計画が実施されている（石田 2015）。当調整池は竣工直後より、群馬県伊勢崎土木事務所および地域団体である「殖蓮地区自然環境を守る会」が共同して草刈りなどの管理を行っている。

・矢場川

矢場川（やばがわ）は、栃木・群馬両県境付近を流れる利根川水系渡良瀬川支流の1級河川である。太田市市場町八幡林を源に発し、上流は足利市を流れる。その後は栃木・群馬県境を流れ邑楽町大字藤川付近で藤川を、館林市木戸町付近で多々良川を併せ、同市下早川田町付近で渡良瀬川に合流する。

矢場川の流域は、渡良瀬川、渡良瀬遊水地、利根川、谷田川、及びその周辺に位置する池沼群からなる「板倉ウェットランド地域」へと繋がる。これら群馬県南東部に位置するウェットランド地域は、河川蛇行域の氾濫原が発達した地域で、自然堤防に挟まれた後背湿地や河跡湖がみられる。群馬の水郷地帯とも呼ばれ、県内で最も低い標高10m

から 20m の低地帯である。そのため、浸水被害対策の排水施設が各地に存在し、沖積低地、あるいは洪積台地の侵食谷にできたウェットランドが集中する県内唯一の地域である。ウェットランドは生物相の豊かさ、高い生産能力、そして健全な地球環境維持のための重要な生態的役割を有し、森林や海洋と並ぶ重要な環境の一つであるといえる（鍛冶川 2014）。本地域では、数多くの湿地性植物が見られ、その宝庫となっており、絶滅危惧種にランクされる希少種も少なくない（板倉町教育委員会 2005）。

このような豊かな生物多様性を有するウェットランドに繋がる矢場川は、国土交通省渡良瀬河川工事事務所の所管で、「河川緑の国勢調査」の対象とされてきた。2008 年および 2009 年に同調査が行われ、複数の水生および水辺の絶滅危惧植物の生育が確認されている。（鍛冶川 2014）。

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。各調査地域を踏査し、開花・結実している植物を中心として、目視、iPhone5s の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。なお、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。

また、確認植物については、iPhone5s の GPS 機能を用いた写真撮影により、生育位置情報を自動記録した。その後これらの情報をもとに、植物の分布マップを作成した。

調査日はアドバンテストが 2015 年 4 月 24 日、5 月 20 日、6 月 24 日、9 月 14 日、10 月 29 日 (計 5 回)、チノーが 2015 年 4 月 22 日、5 月 25 日、6 月 22 日、9 月 16 日、10 月 22 日 (計 5 回)、男井戸川調整池が 2015 年 4 月 17 日、5 月 30 日、9 月 16 日 (計 3 回) であった (表 1)。

GPS 専用機とスマートフォンの GPS 機能の性能比較

上記の植物相調査の際、一部の確認植物については、iPhone5s の GPS 機能を用いた写真撮影とともに、ポータブル GPS (GPSmap62SCJ, GARMIN) により、生育位置情報を同時記録した。その後ポータブル GPS による計測結果を基準にして、そこから iPhone5s の GPS 計測結果がどれだけずれているか平均誤差を算出した。平均誤差を算出する際は、ポータブル GPS と iPhone5s でそれぞれ撮影した写真の中から同じ植物個体を撮影したことが明らかなものについて比較し誤差を算出した。また、地球は、自転による遠心力の影響を受けて、極 (南北) 方向に比べて赤道方向が少し膨らんだ回転楕円体に近い形状をしているため、緯度によって緯度・経度 1 度の距離が変わってくる。よって、今回は群馬県付近を通る北緯 36 度線における緯度・経度 1 度の距離 (緯度 1 度 111,263m、経度 1 度 90,035m) を用いて計算を行った。

矢場川の自然再生地におけるフジバカマ移植後のモニタリング調査

2013 年、矢場川のフジバカマ自生地が河川改修されることとなった。改修地には絶滅危惧種のフジバカマ (国準絶滅危惧、群馬県絶滅危惧 IB) が自生しているため、この工事により影響を受けないように、国土交通省渡良瀬河川事務所と協議し、工事方法を改善した。この結果フジバカマはほぼ無傷で残り、また河川改修で新たに創出された氾濫原と河川敷において、自然再生およびフジバカマの移植再生を行うこととなった。

矢場川の自然再生地において、フジバカマ移植後のモニタリング調査を行った。今回

移植したフジバカマは、2012年6月21日に矢場川の自生地で採取したフジバカマの苗を同日に挿し木し、群馬大学荒牧キャンパス内の圃場において栽培していたものである（都丸 2013）。それらを2015年2月20日に当地2カ所（右岸上流側、右岸下流川）に移植した。なお、移植後の管理・調査については、国土交通省関東地方整備局渡良瀬河川事務所および株式会社いであと共同で行っている。

調査日は2015年4月24日、5月20日、6月24日、9月14日、10月29日（計5回）であった。

材料植物

フジバカマ（キク科、多年草、*Eupatorium japonicum*）（写真5, 6上）

本種は関東地方以西（本州、四国、九州）に分布するキク科の多年草で、野原や河原に生育している。かつては秋の野草の代用として七草に含められていたほど身近な植物であったが、河川敷の埋め立て、護岸工事などによる自生地の消失や除草剤を用いた土手の管理などにより個体数が減少し（鷲谷 1996）、国のレッドリスト（2012）では準絶滅危惧種に指定されている。群馬県レッドデータブック（2012）では絶滅危惧IB類に指定されている。

イヌトウバナ（シソ科、多年草、*Clinopodium micranthum*）（写真7）

北海道、本州、四国、九州の山地や道ばたに生育し、朝鮮半島に分布するシソ科の多年草であり、晩夏から秋にかけて白色をおびた淡紫色の花を咲かせる。

ミゾコウジュ（シソ科、越年草、*Salvia plebeia*）（写真6下, 10）

本種は本州、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*）（写真9上）

本種は本州、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。

発芽の冷湿処理・温度依存性実験

2014年11月10日にアドバンテスト・ビオトープに自生するフジバカマ（谷田川の自生地由来）から採取した種子、2014年10月16日にアドバンテスト・ビオトープ内で採取したイヌトウバナ種子、2011年6月20日にアドバンテスト・ビオトープ、2011年

6月23日にチノー・ビオトープでそれぞれ採取したミゾコウジュ種子、2011年5月29日にチノー・ビオトープ内で採取したコギシギシ種子の4種の植物の種子について実験を行った。各種の種子の採取日時・場所、前処理（冷湿処理）、実験のスケジュールを表2に示す。いずれの種子も採取後にシリカゲルを用いて十分に乾燥させた後、 -80°C のデュープフリーザー（MDF-U384, Panasonic）内で冷凍保存されている。ここから、健全なものだけを峻別し、実験に用いた。

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、イヌトウバナについては各処理区あたり3シャーレずつ、その他の植物については1植物あたり6シャーレずつ用意した。

イヌトウバナの種子については、冷室処理を施さなかったものと実験前に冷湿処理を施したものをそれぞれ実験に用いた。前処理である冷湿処理は、一般に冬を経験させることによって種子の休眠を解除し発芽を促進させる処理であり、多くの野生植物の種子でその促進効果が確認されている（荒木ら 2003）。本研究では、上記の蒸留水を加えたシャーレに入れたイヌトウバナの種子を、 4°C の薬用保冷庫（サンヨー, MEDICOOL MPR-504 (H)）で保管することによって、1ヶ月間冷室処理を施した。

前処理を含む準備が完了した後、温度勾配型恒温器（TG-100-ADCT, NKsystem）にシャーレを入れて培養した。温度勾配型恒温器内の温度は、冷室処理を施さなかったフジバカマ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシの種子については $25/13^{\circ}\text{C}$ （昼14hr、夜10hr、昼間の光量子密度は約 $30\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ）、冷室処理を施したイヌトウバナの種子については $30/15^{\circ}\text{C}$ 、 $25/13^{\circ}\text{C}$ 、 $22/10^{\circ}\text{C}$ 、 $17/8^{\circ}\text{C}$ 、 $10/6^{\circ}\text{C}$ （昼14hr、夜10hr、昼間の光量子密度は約 $30\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ）の5段階とし、イヌトウバナについては各処理区あたり3シャーレずつ、その他の植物については1植物あたり6シャーレずつを培養した。実験開始後の1ヶ月は毎日、その後は1-4日おきに種子を観察し、肉眼で幼根が確認できたものを発芽種子とみなして数を記録し、取り除いた。また観察日ごとに蒸留水をつぎ足し、常時湿った状態を保った。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。

栽培実験

前栽培と初期サンプリング

栽培スケジュールを表3に示す。ミゾコウジュ（アドバンテスト産、チノー産）については、前述の発芽実験と同様に用意し、 $25/13^{\circ}\text{C}$ で培養した種子から発芽した実生を寒天培地（1.5%寒天、ハイポネックス1000倍）に移植し、植物育成棚（LED球を用いて140L/10Dの日長で昼の光量子密度を約 $380\text{-}400\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ とし、室温は 25°C に調節）で数週間栽培を行った。

イヌトウバナ、フジバカマについては発芽した実生を、ミゾコウジュ（アドバンテスト

ト産、チノー産)については寒天培地で栽培した個体を、ジフィーピートバン(サカタのタネ)に移植した。コギシギシについては前述の発芽実験で発芽した実生を、まずピートモスを入れた容器に移植し栽培していたが、生育不良であったため、園芸用培養土を入れた容器に再移植し、植物育成棚で数週間栽培した。フジバカマについては、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同様に栽培した。

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1個体ずつ移植し、群馬大学荒牧キャンパス内の圃場で栽培した。栽培中は2-3日に1度水道水をポットから水が流れ出るまで十分灌水した。

初期サンプリングに際しては、前述のプラスチックポットに植栽した苗の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、区分ごとにサイズ分布と個体数がおおむね同等になるようにした。このうち1区分を初期サンプルとして採取し、残りの区分をそれぞれの処理区に供した。

サンプリングした苗は個体ごとに根・茎・葉に分けて紙袋に入れ、送風低温乾燥機(DRS620DA, ADVANTEC)に入れて1週間80°Cで乾燥させた後、電子式上皿天秤(BJ210S, Sartorius)で乾燥重量を測定した。葉面積はカラスキャナー(GT-S640, EPSON)を用いて解像度300dpi、16bitグレーでスキャンした後、ImageJ1.4lo(NIH)を用いてドット数を計測した。今回は148cm²あたり2063162ドットとした。

なお、実験に用いなかった分のアドバンテスト産のミゾコウジュおよびミゾコウジュ苗については、栽培を続けた後2015年10月29日にアドバンテスト・ビオトープに植え戻した。

異なる環境条件下における栽培実験

光強度を調節した栽培実験

寒冷紗を用いて光量子密度を3%、9%、13%、100%(裸地)に調節した4つの光条件区を、群馬大学荒牧キャンパス内の圃場に設けた。初期サンプリングを行った日から、これらの処理区に苗ポットを配置して、各材料植物の苗をそれぞれ約2週間から1ヶ月栽培した。栽培中は、前栽培と同様の灌水管理を行った。

気温を調節した栽培実験

群馬大学荒牧キャンパス内にガラス温室(サイズはおおよそ500×200×250cm)を設置し、換気調節を行うことによって、外気温と比べて平均気温が約2°C上昇するように調節した区(+2°C区)および+0°C区としては、前項に記した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2週間から1ヶ月栽培した。栽培中は、ポットの下から3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、水量が減った場合は随時水を足した。それ以外の灌水管理および光条件については裸地栽培と同様とした。

以上の栽培実験終了直後、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、各器官の乾燥重量と葉面積を求めた。

生長解析

生長解析の各パラメータは、以下の式を用いて算出した。

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

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

TW1：初期または当月サンプリングにおける個体乾燥重量（g）

TW2：最終または次月サンプリングにおける個体乾燥重量（g）

T1：初期または当月サンプリング日

T2：最終または次月サンプリング日

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

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

(g m⁻² day⁻¹)

TW1：初期または当月サンプリングにおける個体乾燥重量（g）

TW2：最終または次月サンプリングにおける個体乾燥重量（g）

LA1：T1における個体の葉面積（m²）

LA2：T2における個体の葉面積（m²）

T1：初期または当月サンプリング日

T2：最終または次月サンプリング日

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

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

TW1：初期または当月サンプリングにおける個体乾燥重量（g）

TW2：最終または次月サンプリングにおける個体乾燥重量（g）

LA1：T1における個体の葉面積（m²）

LA2：T2における個体の葉面積（m²）

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

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

LA：最終または次月サンプリングにおける個体の葉面積（m²）

TW：最終または次月サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)

・器官別重量比：光合成産物をそれぞれの器官にどれくらい配分したかを示す指標である。(g g⁻¹)

・葉重比 (LWR : Leaf Weight Ratio)

$$LWR=LW/TW$$

LW：最終または次月サンプリングにおける個体の葉乾燥重量 (g)

TW：最終または次月サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

・茎重比 (SWR : Stem Weight Ratio)

$$SWR=SW/TW$$

LW：最終または次月サンプリングにおける個体の茎乾燥重量 (g)

TW：最終または次月サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

・根重比 (RWR : Root Weight Ratio)

$$RWR=RW/TW$$

RW：最終または次月サンプリングにおける個体の根乾燥重量 (g)

TW：最終または次月サンプリングにおける個体総乾燥重量 (g)

それぞれのパラメータ間には、以下のような関係がある。

$$RGR\approx NAR \cdot LAR$$

$$LAR\approx SLA \cdot LWR$$

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

気温測定

アドバンテスト・ビオトープ内 10 地点 (図 2) において、地上 1m に温度データロガー (CENTER340, CENTER) を設置し、気温を 30 分おきに自動測定した。データロガーのセンサー部分に直射日光が当たらないよう、高さ 2cm のカバーを付けた。測定期間は 2015 年 4 月 28 日から 2015 年 10 月 28 日の間であった。測定データから、地点別に月ごとの気温の平均・日最高値・日最低値の平均値と標準偏差を算出した。

またアドバンテスト・ビオトープ内の 3 地点 (地点 NO1. ヨモギ草原、地点 NO5. 林床、地点 NO9. ススキ草原 図 2) において、過去 10 年間にわたって計測してきた気温のデータを取りまとめた。測定期間は 2003 年 4 月 27 日から 2013 年 10 月 21 日の間で、温度データロガー (TR52, TandD) を用いて 30 分おきに気温を自動計測したものである。なお、地点によってデータロガーの故障により気温を測定できない年もあつ

た。また、2014年は測定を行わなかった。

相対光量子密度測定

アドバンテスト・ビオトープ内せせらぎの下流のフジバカマを植栽した1地点およびフジバカマが自生している1地点(図2)において、光量子センサー(IKS-20, koito)を用いて光量子密度を測定した。測定は各所4回ずつ行い、その結果をもとに各地点の裸地で測定した光量子密度(100%)との相対値を算出した。この相対値が相対光量子密度であり、植物の生育・分布と強い相関関係があるとされている(村岡・鷺谷 1999)。測定日は、2015年5月20日、9月14日である。

また、矢場川自然再生地のフジバカマが自生している3地点およびフジバカマを植栽した2地点の計5地点においても、同様にして相対光量子密度を算出した。測定日は、2015年5月20日、9月14日である。

計算式は以下の通りである。

$$\text{光量子密度} = \text{測定値の平均値} \times 300 \times 0.94436$$

$$\text{相対光量子密度} = (\text{各地点の光量子密度} / \text{各地点の裸地における光量子密度}) \times 100$$

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フジバカマを植栽した1地点およびフジバカマが自生している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。左岸(写真5)では盛り土の斜面の上、下の2ヶ所を測定した。測定は各所3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、2015年5月20日、6月24日、9月14日である。

また、チノー・ビオトープ内のフジバカマを植栽した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)、矢場川自然再生地のフジバカマが自生している3地点および同種を植栽した2地点の計5地点においても、同様にして体積含水率を算出した。測定日は、チノー・ビオトープが2015年5月25日、6月22日、9月16日、10月22日、矢場川が2015年5月20日、6月24日、9月14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)。

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

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

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、2015年度（4-10月）の計5回の調査により在来種107種、外来種33種の計140種の生育と開花が確認された（表4）。これまでの調査では、2009年度には在来種86種、外来種33種の計119種（鈴木 2010）、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）、昨年の2014年度には在来種67種、外来種30種の計97種（石田 2015）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。

2015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23.6%であった。2014年度、2013年度、2012年度の調査ではそれぞれ約30.9%、約31.9%、約28.0%であった（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（図5）。外来種には、地下茎や種子により旺盛に繁殖するために完全な駆除が難しい種が存在する。そのなかで、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。2013年に確認され、2014年には確認されなかったにもかかわらず、本年度確認できた外来種は8種で、そのうちコセンダングサとヒメジョオンは要注意外来生物であるため注意が必要である。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。

過去3年間確認されず、本年確認された種は32種であり、うち6種は外来種で、その中で要注意外来種は2種（コマツヨイグサ、エゾノギシギシ）であった。館林市の畑地、休耕地や湿地で確認されている植物や里山植物の生育が確認されていること（松澤ら 1994）から周囲の環境に恵まれており、地域間での生物種の移動・流入が期待できる一方、このような外来種の侵入にも気を配らなければならない。

今年度も昨年に引き続きフジバカマ、ミゾコウジュといった湿地性絶滅危惧種が確認され、同ビオトープ内の池の南側にこれらの種の新たな生育地も見つかった（写真6）。またイヌトウバナ（写真7上）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。

イヌトウバナは、2003年頃から本ビオトープ内に定着・開花がみられるが、近年衰退傾向にあるため、今年は栽培実験で残った個体を植え戻した。来年度以降、ミゾコウジ

ユを含め定着し開花することを期待したい。

フジバカマはアドバンテスト・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 日に谷田川の自生地で採取したフジバカマの苗を 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、2013 年も開花を確認した（浦野 2013；春原 2014）。本年度は植栽地および自生地で開花を確認した（写真 5, 6 上）。

人間が草刈りにより適切に手を加えたことで本種は旺盛に生長することができた。今後も適切な管理をすることが求められる。

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、数個の開花を確認することができた（写真 8）。今回は、再移植の際にアサザの苗を石にくくりつけたり、移植した苗の周囲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げたものと考えられる。今後も生育状況をモニタリングし、より良い生育環境を整えていくことが重要である。来年度以降は、多くの開花を確認できるよう期待したい。

チノー・ビオトープ

チノー・ビオトープでは、2015 年度（4-10 月）の計 5 回の調査により在来種 107 種、外来種 42 種の計 149 種が確認された（表 5）。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 種が確認されている（石田 2015）。

2012 年以降、出現種数に大きな変化はないと言える（図 6）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（写真 9 上）、準絶滅危惧種のカワヂシャ（写真 9 下）、ミゾコウジュ（写真 10 上）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。なお、ミゾコ

ウジュに関しては、移植用に栽培した個体を、本ビオトープ内に植え戻した（写真 10 下）。来年度以降、これらが定着し開花することを期待したい。

2015 年度のチノー・ビオトープの帰化率は約 28.2%であり、2013 年度の約 37.1%よりも低くなった（春原 2014）。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）に確認されたのは両年とも 5 種であった。そして本年度確認されたのは 6 種であり、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。カモミールは本年度に初めて確認された。なお継続して確認された園芸種はムラサキカタバミ、ナガミヒナゲシ、ユウゲショウ、ヤグルマギクの 4 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フジバカマ苗を、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、2015 年 4 月には生存個体を確認することができなかった。そこで 2015 年 5 月 25 日に、本研究室で栽培していたフジバカマ（矢場川産）を、本ビオトープ内のせせらぎ横およびトンボの池南側に移植した（写真 11）。今後も生育状況のモニタリングが必要である。来年度以降は、多くの開花を確認できるよう期待したい。

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（写真 12）、生育は良好であると言える。

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（写真 13 上）。9 月の調査の際には、個体が増殖していることを確認でき（写真 13 下）、生育は良好であるといえる。本種は群馬県内でわずか 2 カ所に生育しているのみで、絶滅を回避するために、今後も生育状況をモニタリングし保護育成に取り組んでいかなければならない。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、ノコンギクなど、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。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。

チノー・ビオトープのトンボの池およびせせらぎの計 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。これら緊急避難させたササバモの生育について、今後モニタリング調査する必要がある。

男井戸川調整池

男井戸川調整池では、2015 年度(4 月、5 月、9 月)の計 3 回の調査により在来種 58 種、外来種 39 種の計 97 種が確認され、うち 28 種は 2012 年の調査から引き続き確認ができた(表 6)。2010 年の当調整池工事中の植物相調査で生育が確認されたのは在来種 13 種、外来種 6 種の計 19 種(青木 2011)、2012 年では在来種 37 種、外来種 27 種の計 64 種(浦野 2013)、2013 年では在来種 45 種、外来種 33 種の計 78 種であった(図 7)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。

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 II 類のコギシギシ(写真 15 上)は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、昨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が確認され、種子を得ることができた。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。川辺と開けた場所においては準絶滅危惧種のカワヂシャの生育を確認した。カワヂシャは調整池の造成前の 2008 年、造成中の 2010 年、造成後の 2012 年、2013 年、2014 年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)、継続的に生育しているものと考えられる。また 2013 年の調査(浦野 2013)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を住宅側の平地で確認することができた(写真 15 下)。

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(写真16)。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。

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6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4種の生育が確認されたが(石田2015)、今年の調査では6種の生育が確認された。さらに、今回の調査で初めて生育を確認したのは、アレチウリ(特定外来生物)やオオオナモミ(要注意外来生物)、ヒメモロコシ(群馬県危険外来種)など外来種が14種、およびアキノエノコログサ、アキメヒシバ、ケイヌビエなど外来種が24種である。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、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今後の課題となる。当調整池は竣工直後より、群馬県伊勢崎土木事務所および地域団体である「殖蓮地区自然環境を守る会」が共同して草刈りなどの管理を行っている。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。

植物分布マップと誤差

各ビオトープで確認された植物種について、iPhone5sのGPS機能を用いて計測した生育位置情報および確認植物の写真をもとにして、植物分布マップを作成した(図8~13)。このマップをもとに、今後植物の位置確認が容易となり、管理計画等に役立つと思われる。

iPhone5sによる生育位置情報を、ポータブルGPSの計測結果と比較して算出された平均誤差は、緯度方向に8.4m、経度方向に4.8m(アドバンテスト・ビオトープ、チノー・ビオトープ、男井戸川調整池それぞれにおける平均誤差の平均値)となった(表7)。本年度iPhone5sのGPS機能を利用してマップを作成したのは、実験的試みとしてその精度をみるためである。結果として、iPhone5sのGPS機能を利用して一見正しく見えるようなマップは作成できるが、正確な位置を示していないことが明らかになった。10m程度の解像度での粗いマップは作成できるが、高精度を必要とする学術的な調査には不

向きといえる。

矢場川の自然再生地におけるフジバカマ移植後のモニタリング調査

当地のフジバカマは、チノー・ビオトープに緊急避難させた個体の原産地である。群馬県内に残されたフジバカマの自生地は 2015 年 7 月現在、わずか 4 カ所となっている（群馬県自然環境課 私信）。2012 年群馬県レッドデータブック改訂に伴う調査により、フジバカマは県内 5 カ所で自生が確認されていた。ところが 2015 年 7 月に、利根川本流域のフジバカマ自生地が、群馬県河川課の平成 25 年度堤防補修工事により消失していたことが明らかになった。原因は工事に際して河川課の当時の担当者が、絶滅危惧種の生育確認をするという県の定めたルールを失認したという、業務上の過失である（群馬県自然環境課・河川課 私信）。また 2015 年より、もう一つのフジバカマ自生地であるアドバンテスト・ビオトープの個体の原産地と推定されている谷田川の自生地でも、群馬県河川課による堤防補修工事が開始され、フジバカマ消失のおそれが極めて高いため、現在工事を中断して自然環境課と協議中である。このように群馬県においては、2015 年より野生生物保全条例を施行したにもかかわらず、県自らがこの条例の本意を損なうような粗暴な行為を繰り返している。群馬県庁において、かように行政レベルで条例の遵守がままならない状況であるため、今後は県議会議員を通じて県議会等、政治レベルでの対応を推進する。

矢場川自然再生地およびフジバカマ自生地は、幸い群馬県の手の中になく、国土交通省渡良瀬工事事務所の所管により適正に管理されており、またアドバンテスト・ビオトープから比較的近い位置にある。地域の生物多様性を保全するためには、一生育地をまもる点的な方法ではなく、複数の生育地を含む広域の生態系として保全をしていく必要がある。そこで本研究では、アドバンテスト・ビオトープだけでなく、矢場川のフジバカマの保護増殖にも取り組んでいる。

土手の上のフジバカマ自生地においては、フジバカマの開花・結実を確認することができ、2015 年 10 月 29 日の調査の際に種子を採取した。また 2015 年 2 月に移植したフジバカマは、下流側植栽地においては順調に生長し、自生地と同日に種子を採取することができた（写真 17）。一方同年 9 月 14 日の調査の際に、上流側植栽地が直前の洪水により水没したことを確認した（写真 18）。またフジバカマはこの前後に何らかの動物に全て食害されたと考えられ、個体を確認することができなかった。上流側植栽地の方が下流側植栽地よりも明るく土壌含水率が高く、フジバカマの生育にとってはより良い環境と推定して植栽したのであるが、結果は逆に動物の餌食となってしまった。

また周囲の植物相については、フジバカマ植栽地付近でハンゲショウやミコシガヤ（両種とも群馬県準絶滅危惧種 写真 19）を確認することができた一方、土手の上のフジバカマ自生地ではセイタカアワダチソウが生育していた（写真 20 上）。セイタカアワダチソウは水分や栄養塩など幅広い環境条件に適応し（肱元・猪谷 1975、猪谷・肱元 1978）、

繁殖力が旺盛で（榎本・中川 1977）、他の植物の混入を許さないほど密生して純群落をつくることが知られている。こういった外来植物の侵略から絶滅危惧種を守るためには、適切な時期の草刈りや引き抜きといった管理が必要であるといえる。

アドバンテスト・ビオトープ内の気温測定

立地別の気温の季節変化（2015年）

2015年4月28日から2015年10月28日の間、アドバンテスト・ビオトープ内10地点（図2）で気温を連続計測した結果（表8）、ビオトープ内の気温は地点間で異なり、その差異は立地の植生や草丈の違いに起因していることが明らかになった。例えば2015年4月の日最高気温は、草丈の低い草原（芝地）ではおよそ27.9～30.8℃の範囲、草丈の高い草地（ススキ草原）ではおよそ29.6～30.2℃の範囲にあるのに対し、林床ではおよそ26.8～27.6℃と、林内では気温が草原に比べておよそ2℃低かった。

こうした植生による気温の緩和作用は、植物の環境形成作用と呼ばれ、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）。

立地別の気温の経年変化（2003年～2015年）

2003年4月27日から2015年10月28日の過去12年間にわたって、アドバンテスト・ビオトープ内3地点（地点NO1. ヨモギ草原、地点NO5. 林床、地点NO9. ススキ草原 図2）で計測してきた気温のデータをとりまとめた（表9、図14）。その結果、この12年間で温暖化が進んでいる可能性があることが示唆された。

地点NO1における2003年の日平均気温の平均値は、4月が17.6℃、7月が22.4℃、8月が26.2℃、9月が23.9℃であった。一方2015年の日平均気温の平均値は、4月が19.8℃、7月が25.6℃、8月が26.0℃、9月が21.6℃であった。この地点は2003年頃ヨモギの生育する草原であった。しかしながら、次第に木々が生長していき、現在ではシラカシの並木となっている。裸地に比べて森林群落は、日射や熱をよく吸収し、気温やその影響を受ける地温について、高温・低温が抑えられた較差の小さい温度環境となる（只木 1996）。よって年を経て木々が生長するにつれて、林内の気温は低下していくと予想できる。ところが、2003年と2015年の気温差を月別に算出してみると、8月（-0.2℃）と9月（-2.3℃）は低くなったものの、4月（+2.2℃）と7月（+3.2℃）は高くなった。

地点NO5における2003年の日平均気温の平均値は、4月が16.9℃、7月が21.9℃、8月が24.9℃、9月が22.8℃であった。一方2015年の日平均気温の平均値は、4月が19.8℃、7月が25.5℃、8月が25.9℃、9月が21.4℃であった。この地点は2003年にはすでに林床であったが、木々の生長に伴い日射や熱を吸収する機能が高くなってきていると考えられる。2003年と2015年を比較してその気温の変化をみると、9月（-1.3℃）

は低くなったものの、それ以外の月では高くなった（4月 +2.9℃、7月 +3.6℃、8月 +1.0℃）。

地点 NO9 における 2004 年（2003 年のデータがないため）の日平均気温の平均値は、4 月が 16.5℃、7 月が 28.4℃、8 月が 26.6℃、9 月が 24.2℃であった。一方 2015 年の日平均気温の平均値は、4 月が 21.1℃、7 月が 26.3℃、8 月が 26.5℃、9 月が 21.8℃であった。この地点は当初のチガヤ草原からさらに草丈の高いススキ草原へと変化した。2003 年と 2015 年を比較してその気温の変化をみると、4 月（+4.6℃）は高くなり、それ以外の月では低くなった（7月 -2.1℃、8月 -0.1℃、9月 -2.5℃）。

以上の結果から、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、12 年間で特に 4 月がどの地点も気温が上昇していた。このことから、当地では温暖化の影響がすでに出ている可能性があるかと推察できる。2015 年 9 月は 2003 年と比べてどの地点も気温が低下しているが、それは本年度の 8 月中旬から 9 月上旬頃にかけて天候不順であった（気象庁）ことが影響しているだけかもしれない。

フジバカマ生育地の環境

相対光量子密度

アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ植栽地および自生地の計 2 地点（図 2）における相対光量子密度は、測定期間内において植栽地が 18.1%～55.2%、自生地が 83.3%～100%の範囲であった（表 10、図 15）。2012 年と 2013 年にも、当該フジバカマ生育地の相対光量子密度を測定しており、その値はそれぞれ 13.9%～100%（浦野 2013）、11.8%～95.8%（春原 2014）の範囲であった。

2003 年 8 月 27 日に本ビオトープ内の混合樹木林内 36 地点で行った測定では、2.4%～89.4%の範囲であった（星野 2004）。また 2004 年 6 月 10 日の同様の測定では、同林内 16 地点で 11.6%～41.9%の範囲であった（狩谷 2004）。さらに、2011 年 7 月 21 日の同様の測定では、同林内の計 5 地点における相対光量子密度は 1.7%～24.5%の範囲であった（松田 2012）。これら林内の各地点と比べて、フジバカマの生育地は高い相対光量子密度のもとにあるといえる。

以上のようにアドバンテスト・ビオトープのフジバカマ生育地の相対光量子密度が高く維持されていることは、草刈り管理が適切に行われたことと、植栽地が約 1.5m の土盛りとなっていて、フジバカマを他の植物が覆いにくい構造になっていることに起因すると考えられる。しかし直近の樹木や草本が生長してフジバカマを覆うようになってしまうと、過去に測定された林床のような暗い環境になってしまうかもしれない。今後も草刈りや樹木の間伐など、継続的な周辺管理が不可欠である。

矢場川自然再生地のフジバカマ自生地 3 地点および植栽地 2 地点の計 5 地点における相対光量子密度は、測定期間内において 20.8%～100%の範囲であった（表 11、図 16）。フジバカマ自生地の土手の上では 3 地点とも 100%であった。またフジバカマ植栽地の

内、上流側で 35.9%～36.3%、下流側で 20.8%～27.7%の範囲であった。植栽地の相対光量子密度が自生地と比べて低くなった要因として、植栽地である氾濫原にハンノキが生育していることがあげられるが（写真 20 下）、草刈り管理は適切に行われており、下流側ではフジバカマの開花・結実を確認することができた（写真 17 下）。

以上の結果から、フジバカマは比較的広い範囲の相対光量子密度で生育可能であるが、極端に暗い環境下では生長が悪くなると考えられるため、今後も草刈りや樹木の間伐など、継続的な周辺管理が不可欠である。

体積土壌含水率

アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ生育地 3 地点において測定した体積土壌含水率（ θ , m^3 , m^3 ）は 0.27～0.89 の範囲であった（表 12、図 17）。2011 年に松田が植栽を開始した水辺の左岸にある盛り土では、盛り土の上で 0.27～0.41、盛り土の下で 0.27～0.39 となった。また、2012 年に新たにフジバカマが自生していることが確認された右岸では 0.65～0.89 の範囲となり、体積土壌含水率を測定した 3 地点の中で最も大きな値となった。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）、本年度と同様の結果となった。

以上の結果から、フジバカマ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・ビオトープ内のフジバカマを植栽した 2 地点およびフジバカマの生育が不良であった 1 地点の計 3 地点（図 3）において測定した体積土壌含水率（ θ , m^3 , m^3 ）は 0.11～0.47 の範囲であった（表 13、図 18）。2015 年 5 月 25 日の調査の際にフジバカマを植栽した地点の内、せせらぎ横で 0.16～0.47、トンボの池南側で 0.40～0.45 となった。また、フジバカマ失敗地点で 0.11～0.36 と、体積土壌含水率を測定した 3 地点の中で最小となった。

矢場川自然再生地のフジバカマ自生地 3 地点および植栽地 2 地点の計 5 地点において測定した体積土壌含水率（ θ , m^3 , m^3 ）は 0.22～0.56 の範囲であった（表 14、図 19）。フジバカマ自生地の内、土手の上地点 A で 0.24～0.39、土手の上地点 B で 0.22～0.26、土手の上地点 C で 0.29～0.37 となった。またフジバカマ植栽地の内、上流側で 0.34～0.56、下流側で 0.32～0.50 となった。

以上の結果から、フジバカマ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

フジバカマ

本種の最終発芽率は、25/13℃区において、44.7%となった（表 15、図 20）。

アドバンテスト・ビオトープで採取したフジバカマの種子を用いた発芽実験は、高岩（2007）、高橋（2009）、松田（2012）、浦野（2013）、都丸（2013）、春原（2014）が行っている。2011年度以前の実験では、冷湿処理を施さなかった場合の最大発芽率は14%（高岩 2007）、2ヶ月間の冷湿処理を施した後は4%（高橋 2009）、1ヶ月間の冷湿処理を施した後は12%（松田 2012）と、いずれも低かった。一方、谷田川で採取した種子を用いた発芽実験では、2ヶ月間の冷湿処理を施した場合の最大発芽率は24%（鈴木 2010）、1ヶ月間の冷湿処理を施した場合は50.6%（青木 2011）、54.7%（松田 2012）と、アドバンテスト産の種子よりも高い値となった。

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フジバカマは、その起源と考えられる谷田川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・ビオトープのフジバカマ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、近隣の谷田川のフジバカマ個体群由来の種子から栽培して移植を開始し（青木 2011）、2011年も谷田川産種子から栽培に成功したフジバカマを、10月27日に本ビオトープ内に移植した。また谷田川産のフジバカマ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%、谷田川産 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谷田川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%、谷田川産 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。

以上の結果から、本ビオトープにおいてはフジバカマの近親交雑や花粉不足の問題が解消される傾向にあると推察される。今後も、移植したフジバカマの生存・生育状況について、継続的に調査を行う必要がある。

イヌトウバナ

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、種子の最終発芽率は74.0%となった。冷湿処理を施した種子の最終発芽率は、10/6℃区で60.0%、17/8℃区で66.7%、22/10℃区で72.7%、25/13℃区で72.7%、30/15℃区で67.3%（表15、図20、21）と、全ての温度区において約60%～70%の範囲であった。

以上の結果から、本種の種子は広い温度域で発芽すると考えられ、広い生育帯（標高の高い低いにあまり影響されない）での生育が可能だと推察される。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（卒論

引用)。

石田 (2015) が 2014 年に行った同様の実験でも、本種の最終発芽率は最大 64.0%となった。以上の結果から、本種の種子は、 -80°C 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。

本種の種子は冷室処理を施さなくても高い最終発芽率となったことから、野外では秋の散布直後から、水分環境が整えば発芽可能であると推察される。

以上のような発芽特性は、本種を様々な標高で生育可能にしている重要な特性のひとつであると考えられる。

ミゾコウジュ

本種の最終発芽率は、 $25/13^{\circ}\text{C}$ の温度区において、アドバンテスト・ビオトープ産が 97.0%、チノー・ビオトープ産が 94.7%といずれも高い値となった(表 15、図 20)。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) が行っており、高い温度区 ($22/10^{\circ}\text{C}\sim 30/15^{\circ}\text{C}$) で発芽率が高く ($42.0\%\sim 94.6\%$)、 $10/6^{\circ}\text{C}$ での発芽率はいずれも 7.3%以下であった。2013 年の実験では $30/15^{\circ}\text{C}$ の温度区で行い、97%以上という高い値が確認された(春原 2014)。これは冷凍保存前の種子を用いた実験結果である。その後ミゾコウジュの種子を -80°C のディープフリーザーで保存し、昨年の発芽実験で用いたところ、チノー・ビオトープで採取した本種の最終発芽率は、 $25/13^{\circ}\text{C}$ の温度区で 78.7%と高い値となった(石田 2015)。

これらの結果から、本種の種子は生産・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される。したがって本種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。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、継続的な草刈り管理などが不可欠といえる。

またミゾコウジュの種子は、 -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。

コギシギシ

本種の最終発芽率は、 $25/13^{\circ}\text{C}$ 区において、96.7%と高い値となった(表 15、図 20)。

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 $25/13^{\circ}\text{C}$ 、 $30/15^{\circ}\text{C}$ 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。また、冷湿処理を施さず、最適温度である $25/13^{\circ}\text{C}$ の温度区で培養したところ、最終発芽率は 82.7%となったことから、本種の最終発芽率は培養温度と冷湿処理の有無に関して有意な差が見られなかったといえる

(都丸 2013)。また、昨年のチノー・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 年の発芽実験に用いている。

以上の結果から、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。

異なる光条件下・気温上昇下で栽培した植物の生長解析

フジバカマ実生の生長に対する光環境の影響

図 22 に 2015 年の栽培実験期間中の気温を示す。

フジバカマ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.054g であったものが、23 日後の最終サンプリング時には 0.079g (3%区) ~ 0.222g (100%区) となった (表 16)。

本種実生の相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で 0.015、9%区で 0.053、13%区で 0.054、100%区で 0.061 (表 17、図 23) と、より明るい光環境下で高い値となった。春原 (2014) の行った同様の実験においても、同様の結果 (3%区で約 0.007、100%区で約 0.043) が得られた。

各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は 100%区で最小 (0.016) となり、各個体の葉の厚みを葉面積/重量ベースで表す比葉面積 (SLA, m^2g^{-1}) も 100%区で最小 (0.028) となった。特に SLA は 2 番目に値が小さかった被陰区の値 (9%区の 0.051) の半分近くという結果が得られ、相対光量子密度が低い区の方が SLA の値は大きくなる傾向が見られた (表 17、図 23)。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は 100%区で最も高い値が得られ (4.703)、相対光量子密度が低いほど、その値は低くなる傾向が見られた。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 42% ~ 約 56%、100%区で約 26% ~ 約 34% と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。茎の重量比である SWR は、全ての処理区で約 14% ~ 約 20% と有意な差は認められなかった。根の重量比である RWR は、3%区で約 25% ~ 約 40%、100%区で約 43% ~ 約 61% と相対光量子密度が低い区ほど低くなった (図 23)。

SLA、LAR、LRW のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、よ

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

以上の結果から、本種は特に裸地的な光環境の元で旺盛に生長することが示された。逆に本種は他の植物に被陰されたり林床のような暗い環境下では、生長が悪くなると考えられる。

浦野 (2013) は、4 月から 8 月にかけてフジバカマ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矢場川の草刈り管理においては、初夏から夏季に十分な光がフジバカマに当たるように、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、フジバカマは開花・結実に至れない危険性があると考えられる。矢場川の自生地では、国土交通省河川工事事務所により草刈り管理が行われているが、2012 年まで草刈りを 7 月に行っていたため、フジバカマは全く開花していなかった。2013 年は草刈りを止めてもらったためフジバカマが開花に至り、種子を得ることができた（石田 2015）。フジバカマの安定的な生育、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フジバカマまで刈ることがないように、フジバカマ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、フジバカマ以外の草を選択的に刈る必要があると考えられる。

フジバカマ実生の生長に対する気温上昇の影響

初期サンプリング時に 0.054g であった個体乾燥重量は、最終サンプリング時にはコントロール区で 0.222g、気温 2°C 上昇区で 0.262g となった（表 16）。

相対生長速度（RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）は、コントロール区で 0.061、2°C 上昇区で 0.062 と有意な差はなかった。葉面積比（LAR, m^2g^{-1} ）も、コントロール区で 0.016、2°C 上昇区で 0.017 と有意な差は認められなかった（表 17、図 24）。

純同化率（NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$ ）はコントロール区で 4.703、2°C 上昇区では 4.372 と有意な差は認められなかった。比葉面積（SLA, m^2g^{-1} ）もコントロール区で 0.028、2°C 上昇区では 0.035 と、有意な差は認められなかった（表 17、図 24）。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、コントロール区で約 26%～約 34%、2°C 上昇区で約 24%～約 31%、茎の重量比である SWR は、コントロール区で約 14%～約 25%、2°C 上昇区で約 17%～約 27%、根の重量比である RWR は、コントロール区で約 43%～約 61%、2°C 上昇区で約 42%～約 59% と有意な差は認められなかった（図 24）。

春原 (2014) の行った同様の生長解析（気温 3°C 上昇条件下で栽培）では、3°C 上昇区で NAR を低下し RGR の値は低下するが、LAR および SLA が増加することにより

RGR の低下を緩和するということが示された。本研究における 2°C の気温上昇では、本種の生長パラメータは全く有意な影響を受けなかったことから、本種は気温 2°C 上昇までの温暖化には耐えられるが、3°C 以上上昇すると何らかの影響を受けると推察される。今後はさらに高い温度条件下で実験を行う必要がある。

イヌトウバナ実生の生長に対する光環境の影響

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 0.045g であったものが、37 日後の最終サンプリング時には 0.067g (3%区) ~ 0.187g (13%区) となった (表 16)。

本種実生の相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区で 0.010、9%区で 0.036、13%区で 0.038、100%区で 0.021 となり、13%区、9%区で生長が最も良くなった (表 17、図 25)。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は 3%区で最小 (0.305) となったが、9%区で 1.142、13%区で 1.386、100%区で 1.146 と、その他の区間では有意な差は認められなかった (表 17、図 25)。

各個体の乾燥重量と葉面積の比率を表す葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は 100%区で最小 (0.022) となり、各個体の葉の厚みを葉面積/重量ベースで表す比葉面積 (SLA, m^2g^{-1}) も 100%区で最小 (0.022) で、相対光量子密度が低い区の方が SLA の値は大きくなる傾向が見られた (表 17、図 25)。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、約 46% (3%区) ~ 約 55% (13%区) と各処理区間で有意な差は認められなかった。茎の重量比である SWR は、3%区で約 29%、100%区で約 17%と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。根の重量比である RWR は、3%区~13%区で約 23%~約 25%と有意な差は認められなかったが、100%区で約 36%と高い値となった (図 25)。

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

以上の結果から、本種は極端に暗い環境下では光合成活性が低下して生長が悪くなるが、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)。

こうした結果をふまえて、本年度はアドバンテスト・ビオトープ内の木陰に本種の苗を植栽したので、今後はそれらの生育状況をモニタリングしていく必要がある。

イヌトウバナ実生の生長に対する気温上昇の影響

初期サンプリング時に 0.045g であった個体乾燥重量は、最終サンプリング時にはコン

トロール区で 0.097g、気温 2°C 上昇区で 0.144g となった (表 16)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、コントロール区で 0.021 であり、2°C 上昇区では 0.031 となったが、有意な差ではなかった (表 17、図 26)。

純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) はコントロール区で 1.146、2°C 上昇区で 1.366 と有意な差はなかった (表 17、図 26)。

葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は、コントロール区で 0.022、2°C 上昇区では 0.02 と有意な差はなかった。比葉面積 (SLA, m^2g^{-1}) も、コントロール区で 0.022、2°C 上昇区で 0.030 と処理区間で有意な差は認められなかった (表 17、図 26)。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、コントロール区で約 37%~約 51%、2°C 上昇区で約 49%~約 59%、茎の重量比である SWR は、コントロール区で約 14%~約 22%、2°C 上昇区で約 12%~約 19%、根の重量比である RWR は、コントロール区で約 30%~約 49%、2°C 上昇区で約 22%~約 37% と有意な差は認められなかった (図 26)。

以上の結果から、2°C の気温上昇は本種の生長パラメータに有意な影響を与えなかったといえる。しかしながら、本種の生長に対する気温上昇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。

ミゾコウジュ実生の生長に対する光環境の影響

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 0.074g であったものが、25 日後の最終サンプリング時には 0.089g (3%区) ~0.261g (100%区) となった (表 16)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区では約 0.014、9%区では約 0.040、13%区では約 0.046、100%区では約 0.060 と、相対光量子密度が高い明るい区ほど高くなった (表 17、図 27)。浦野 (2013) の同様の実験においても、同様の結果が得られている (3%区で約 0.004、100%区で約 0.064)。

光合成活性を表す純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、3%区で最小 (0.435)、100%区で最大 (3.460) となり、特に 3%区で著しく低い値となった (表 17、図 27)。

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%区で最大 (0.037)、100%区で最小 (0.022) となった (表 17、図 27)。

以上の結果から、本種の RGR が光条件の明るい区ほど高くなった原因は、光合成活性、すなわちエネルギーの生産効率を表す NAR が明るい区ほど高くなったためと考えられる。

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%区で最大 (0.070)、100%区で最小 (0.030) と、相対光量子密度が低い区ほど高くなった (表 17、図 27)。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 59%~約 70%、100%区で

約 46%～約 53%と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。茎の重量比である SWR は、全ての処理区で約 6%～約 8%と有意な差は認められなかった。根の重量比である RWR は、3%区で約 23%～約 32%、100%区で約 41%～約 48%と相対光量子密度が低い区ほど低くなった (図 27)。

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

青木 (2011) 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、今回は与えてないためと考えられる。

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、他の植物に被陰されたり林床のような暗い環境下では、生長が著しく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)。また本種の生育を促進するためには、周辺の植物を刈り取って、できる限り陽当たりを良くすることが重要であるといえる。

ミゾコウジュ実生の生長に対する気温上昇の影響

初期サンプリング時に 0.074g であった個体乾燥重量は、最終サンプリング時にはコントロール区で 0.261g、気温 2℃上昇区で 0.209g となった (表 16)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、コントロール区で 0.060 で、2℃上昇区で 0.051 と低下した (表 17、図 28)。

純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) はコントロール区で 3.460 で、2℃上昇区では 2.495 と低下した (表 17、図 28)。

葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は、コントロール区で 0.022、2℃上昇区で 0.023 と有意な差はなかった。比葉面積 (SLA, m^2g^{-1}) も、コントロール区で 0.030、2℃上昇区で 0.032 と処理区間で有意な差は認められなかった (表 17、図 28)。

以上の結果から、本種の RGR が気温の 2℃上昇によって低下した原因は、光合成活性、すなわちエネルギーの生産効率を表す NAR が 2℃の気温上昇によって低下し、かつそれを補うために LAR および SLA を増加させられず、RGR の低下を緩和することができなかったためと考えられる。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、コントロール区で約 46%～約 53%、

2℃上昇区で約 43%～約 57%、茎の重量比である SWR は、コントロール区で約 5%～約 8%、2℃上昇区で約 5%～約 7%、根の重量比である RWR は、コントロール区で約 41%～約 48%、2℃上昇区で約 37%～約 50%と有意な差は認められなかった (図 28)。

よって、本種は極端に気温が上昇した場合、光合成活性が阻害されることによって生長が悪くなると推察される。しかしながら、本種の生長に対する気温上昇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。

コギシギシ実生の生長に対する光環境の影響

コギシギシ実生の個体乾燥重量は、初回サンプリング時に 0.103g であったものが、14 日後の最終サンプリング時には 0.100g (3%区) ～0.478g (100%区) となった (表 16)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、相対光量子密度 3%区では約-0.006、9%区では約 0.032、13%区では約 0.039、100%区では約 0.112 と、相対光量子密度が高い明るい区ほど高くなった (表 17、図 29)。

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-0.144、9%区では約 0.893、13%区では約 1.174、100%区では約 6.802 と、相対光量子密度が高い区ほど高くなり、特に 3%の光条件区で著しく低い値となった。

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 0.036、9%区では約 0.035、13%区では約 0.034、100%区では約 0.021 と、相対光量子密度が低い区ほど高い値となった。

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 0.098、9%区、13%区では約 0.086、100%区では約 0.044 と、相対光量子密度が低い区ほど高くなった (表 17、図 29)。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、3%区で約 26%～約 48%、100%区で約 20%～約 28%と相対光量子密度が低い区ほど高くなった。茎の重量比である SWR は、3～13%区で約 21%～約 24% (平均) と大差は見られず、100%区で約 12% (平均) と低い値を示した。根の重量比である RWR は、3%区で約 35% (平均)、100%区で約 64% (平均) と相対光量子密度が低い区ほど低くなった (図 29)。

SLA、LAR、LRW のこれらの反応は、光が不足して光合成活性が低下した際に、限られた光合成生産量を有効に葉面積の生産につなげるという特性である。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、RGR の著しい低下を起こしてしまったと考えられる。

都丸 (2013) は同様の研究を行い、相対光量子密度 9%程度までの光条件下では NAR の低下を SLA、LAR、LWR の増加で補うことができ、RGR を 100%区と同等にすることができたとしている。しかしながら、100%区の RGR の値が約 0.040 (都丸 2013) と、今回の結果と大きな差が出た。これは NAR の差 (都丸の実験では 3.227、本実験で

は約 6.802) によるものと考えられる。

以上から、コギシギシは裸地から相対光量子密度 9%程度までの広い光条件下で良く生育することができると考えられる。これら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。

コギシギシ実生の生長に対する気温上昇の影響

初期サンプリング時に 0.103g であった個体乾燥重量は、最終サンプリング時にはコントロール区で 0.478g、気温 2°C 上昇区で 0.381g となった (表 16)。

相対生長速度 (RGR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) は、コントロール区で 0.112、2°C 上昇区では 0.094 と低下した (表 17、図 30)。

純同化率 (NAR, $\text{g g}^{-1}\text{day}^{-1}$) はコントロール区で 6.802、2°C 上昇区では 3.769 と低下した (表 17、図 30)。

葉面積比 (LAR, m^2g^{-1}) は、コントロール区で 0.021、2°C 上昇区で 0.027 と有意な差はなかった。一方比葉面積 (SLA, m^2g^{-1}) は、コントロール区で 0.044、2°C 上昇区で 0.071 と高くなった (表 17、図 30)。

器官別重量比のうち葉の重量比である LWR は、コントロール区で約 20%~約 28%、2°C 上昇区で約 25%~約 35%、茎の重量比である SWR は、コントロール区で約 10%~約 17%、2°C 上昇区で約 12%~約 18%、根の重量比である RWR は、コントロール区で約 57%~約 70%、2°C 上昇区で約 48%~約 63%と有意な差は認められなかった (図 30)。

以上の結果から、本種の RGR が気温の 2°C 上昇によって低下した原因は、光合成活性、すなわちエネルギーの生産効率を表す NAR が気温の 2°C 上昇によって低下し、かつそれを補うために LAR を増加させられず、RGR の低下を緩和することができなかつたためと考えられる。

よって、本種は極端に気温が上昇した場合、光合成活性が阻害されることによって生長が悪くなると推察される。しかしながら、本種の生長に対する気温上昇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。

結 論

本研究により、大型ビオトープは適切に育成管理することによって絶滅危惧種の保護や生物多様性の保全という機能を発揮できる可能性が高いことが明らかになった。本来その地に根付くべき地域生態系としての機能を大型ビオトープが有するようになるまでは、できるだけ人為的な在来生物の導入を行わず、自然に移入・定着できるように管理することが望ましい。そのようにして導入した生物が本来構築されるべき生態系を改変してしまう恐れがあるからだ。生物の自然移入や定着を促すためには、外来種の駆除及び物理化学的環境条件の多様化などを行う必要がある。そして、地域の絶滅危惧種の系統維持や生物多様性の保全を実現するために、移植などを行うことが想定される。その際には対象種の生態学的特性、すなわち結実、発芽、生長特性を解明し、自生地とビオトープの生育条件とを比較して移植後の健全な育成が実現するようにしなければならない。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 107 種、外来種 33 種の計 140 種の生育が確認された。直近 3 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、フジバカマやミゾコウジュといった湿地性絶滅危惧種や、里山植物も多数含まれており、継続的な生育が確認できた。出現植物の総種数に占める外来種の割合は約 24%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。

気温を上昇させて栽培した植物の生長解析では、フジバカマ、イヌトウバナは生長パラメータに有意な影響を与えなかった一方で、ミゾコウジュ、コギシギシ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。

また発芽の温度依存性実験では、ミゾコウジュ、コギシギ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。したがってミゾコウジュとコギシギシ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 107 種、外来種 42 種の計 149 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。園芸種は 2011 年度で 17 種（松田 2012）と目立っていたが、2013 年度の調査では 5 種、2014 年度は 3 種、2015 年度は 6 種と減っている。引き抜き除去を継続した成果であり、今後も継続する必要がある。特に群馬県危険外来種のカ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 58 種、外来種 39 種の計 97 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いる。また、2012 年度より継続し絶滅危惧Ⅱ類のコギシギシと準絶滅危惧種のカワヂシャを確認した。加えて、2012 年度を最後に確認できていなかった準絶滅危惧種のカワヂシャ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。

矢場川自然再生地はアドバンテスト・ビオトープに近接しており、フジバカマが自然に移入・定着できるような環境を整え、本来その地に根付くべき地域生態系の保全を目指していくうえで重要な場所だといえる。当該自然再生地内のフジバカマ移植後のモニタリング調査については、植栽地下流側でフジバカマは順調に生長し、種子を採取することができた。一方で植栽地上流側は水没していることを確認し、フジバカマについても流されてしまったと考えられる。今後は水没を避けられる地点へ再度移植を行い、その後の状況をモニタリングしていく必要がある。

フジバカマ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。実際、アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ生育地において光量子密度を測定した結果、同地点の相対光量子密度は高く維持されていることが明らかになり、同ビオトープ内のフジバカマ生育地は日当りの良い環境を好む同種の生育に適しているといえる。

一方、矢場川自然再生地内のフジバカマ生育地における相対光量子密度は 20.8%~100%の範囲となり、フジバカマは比較的広い範囲の相対光量子密度でも生育可能である

ことが明らかになった。しかし、極端に暗い環境下では生長が悪くなると考えられるため、今後も草刈りや樹木の間伐など、継続的な周辺管理が不可欠である。

同様に、ミゾコウジュ、コギシギシを異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、光環境が良好であればよく生長することが明らかになり、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、矢場川自然再生地内それぞれのフジバカマ生育地において土壌含水率を測定した結果、フジバカマ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。

イヌトウバナの種子について、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見られなかったため、広い温度域で発芽すると考えられる。また本種を異なる光環境下で栽培し生長解析を行ったところ、極端に暗い環境下では生長が悪くなるが、裸地的な光環境下においても同様に生長が悪くなることが明らかになった。本種の生育場所は主に山地の木陰（榛名公園にも生育）であり、そのことが今回のような結果になった一因だと推察される。イヌトウバナはアドバンテスト・ビオトープ内の裸地的環境下に生育しているが、生育不良である。本年度は新たに同ビオトープ内の木陰に本種を移植したので、今後は生育状況のモニタリング、検証実験を繰り返していく必要がある。

本年度は、アドバンテスト・ビオトープ内にイヌトウバナ、ミゾコウジュ、アサザ、チノー・ビオトープ内にフジバカマ、ミゾコウジュ、トチカガミ、男井戸川調整池内にコギシギシ、矢場川自然再生地内にフジバカマの移植を行った。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ていく必要がある。

アドバンテスト産のフジバカマについて、種子は未成熟または不稔のものが多くと推察されていた。しかし、本年度の発芽の温度依存性実験において最終発芽率は40%を超え、過去の実験におけるその起源と考えられる谷田川の種子の発芽率と同程度となった。同ビオトープ内のフジバカマは近親交雑あるいは花粉不足の問題があると考えられていたが、谷田川由来の実生と挿し木個体の移植を継続的に行なったことにより、これらが解消されたものと推察される。

また今回発芽実験に用いた4種の種子は、冷凍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ため、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。

本年度はGPS計測結果(iPhone5s)および確認植物の写真をもとにして、各ビオトープの植物相マップを作成した。このマップをもとに、今後植物の位置確認が容易となり、管理計画等に役立つと思われる。今後はさらに精度の高いGPSを使って再度マップを作成し、植物の位置情報の精度を高めることが望ましいといえる。

このように、現地調査・植物実験を継続的に行なうことにより、その地域に生育する

植物の特性が明らかになった。

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。

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

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。

群馬県立自然史博物館・群馬県自然環境調査研究会の大森威宏氏には植物の同定に際してご指導頂きました。

また、同時期に卒業論文に取り組んだ、足助直紀氏、嶋方里佳氏、田村一志氏をはじめとする、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

- 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 5, 7.
- 荒木結衣（2011）地球温暖化が植物多様性に及ぼす直接影響に関する実験研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- いがりまさし（2008）『四季の野の花図鑑』株式会社技術評論社
- 石川真一（2013）地域の里山環境の再生をめざした事業所敷地内ビオトープの育成～チノー・ビオトープフォレストの試み～ 30.
- 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．
- 猪谷富雄・肱元茂善（1978）セイタカアワダチソウの生態に関する研究Ⅲ．生育と土壤反応との関係．雑草研究．23：165-169.
- 岩槻邦男、堂本暁子（2008）『温暖化と生物多様性』築地書館株式会社 2, 34, 63, 186-187, 193.
- 浦野茜詩（2013）大型ビオトープとその目標となる植物相に関する生態学的研究－東毛の2つのビオトープを中心とした解析－．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 榎本敬・中川恭二郎（1977）セイタカアワダチソウに関する生態学的研究第一報種子および地下茎からの生長．雑草研究．22：202-208.
- 長田武正（1989）『増補日本イネ科植物図鑑』株式会社平凡社
- 鍛冶川和也（2014）群馬県内の水辺の在来植物相と外来植物の侵入、定着状況に関する生態学的研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 勝山輝男（2005）『日本のスゲ』株式会社文一総合出版
- 近自然研究会（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』株式会社誠文堂新光社
- 小関よう子（2014）里山地域に生育する希少植物種の分布と発芽・生長特性に関する生態学的モニタリング研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 財団法人自然環境研究センター編（2008）『決定版日本の外来生物』株式会社平凡社
- 杉山恵一、重松敏則（2002）『ビオトープの管理・活用』朝倉書店 5, 14, 50, 80.
- 鈴木庸夫（2005）『樹木図鑑』株式会社日本文芸社
- 鈴木由希（2010）大形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．
- 高橋勝雄（2002）『野草の名前』株式会社山と溪谷社

- 高橋美絵（2009）里山の植物多様性の形成メカニズムに関する環境科学的基礎研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 只木良也（1996）『森林環境科学』株式会社朝倉書店 86．
- 塚越みのり（2013）里地・里山地域における希少植物種の分布と繁殖の規定要因に関する生態学的基礎研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 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．
- 富沢美和（1998）絶滅危惧植物フジバカマ（*Eupatorium fortunei* Turcz.）の群落復元のための実験的検討．筑波大学大学院環境科学系修士学位論文．
- 日本生態学会（2010）『自然再生ハンドブック』株式会社地人書館 27, 43．
- 林弥栄（2002）『日本の野草』株式会社山と溪谷社
- 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 2, 3-4, 7, 83, 131．
- 肱元茂善・猪谷富雄（1975）セイタカアワダチソウの生態に関する研究Ⅰ．生育と土壌水分、三要素肥料および受光量との関係．広島農短大報．5：117・124．
- 福島彩（2015）里山地域に生育する希少植物種の保全方法に関する生態学的研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 牧野富太郎（2000）『新訂牧野新日本植物図鑑』株式会社北隆館
- 松田紗依（2012）大形ビオトープにおける植物種多様性と絶滅危惧種の“育成”方法に関する環境科学的研究．群馬大学社会情報学部卒業論文．
- 谷城勝弘（2007）『カヤツリグサ科入門図鑑』全国農村教育協会
- 養父志乃夫（2006）『ビオトープ再生技術入門 ビオトープ管理士へのいざない』社団法人農山漁村文化協会 19, 20．
- ヨーゼフ・ブラープ（1997）『ビオトープの基礎知識』財団法人日本生態系協会
- 鷺谷いづみ（2001）『生態系を蘇らせる』日本放送出版協会 7, 12-13, 130-131, 195．
- 鷺谷いづみ（2004）『自然再生』中央公論新社 10-11, 16, 17-19, 24-25, 97-98, 104, 107-108, 175．
- 鷺谷いづみ、鬼頭秀一（2007）『自然再生のための生物多様性モニタリング』財団法人東京大学出版会 5-6, 49-50, 89, 205．
- 鷺谷いづみ、草刈秀紀（2003）『自然再生事業』築地書館株式会社 17, 19-20, 187．
- 環境省 環境白書 平成22年度版
- IPCC（2007）気候変動に関する政府間パネル第4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
- IPCC（2013-2014）気候変動に関する政府間パネル第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

外来種について [外来生物法] www.env.go.jp/nature/intro/1outline/basic.html

環境省 自然環境局 里地里山の保全・活用

<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/top.html>

環境省 生物多様性国家戦略 2012-2020

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

環境省 環境白書 平成 27 年度版 <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/>

気象庁 気候変動監視レポート 2014 <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/>

気象庁 報道発表資料 平成 27 年（2015 年）8 月中旬以降の不順な天候

<http://www.jma.go.jp/jma/press/1509/18e/japan20150918.html>

群馬県 <http://www.pref.gunma.jp>

国土地理院 ジオイドとは <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geoid/geoid.html>

国立環境開発法人 国立環境研究所 <https://www.nies.go.jp>

松江の花図鑑 <http://matsue-hana.com>

三河の野草 <http://mikawanoyasou.org>

レッドリスト・レッドデータブック（RDB）-絶滅危惧種検索

www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html

写真、図表



写真1. アドバンテスト・ビオトープの風景1

(上) 中庭。2015年9月14日撮影。

(下) 池。2015年5月20日撮影。



写真 2. アドバンテスト・ビオトープの風景 2

(上) 林内。2015 年 10 月 29 日撮影。

(下) 池。2015 年 10 月 29 日撮影。



写真 3. チノー・ビオトープの風景

(上) 正面の案内板。2015 年 4 月 24 日撮影。

(下) トンボの池。2015 年 9 月 16 日。写真の左側が南。



写真 4. 男井戸川調整池の風景

(上) 男井戸川周辺。2015年4月17日撮影。

(下) 湿地となった利活用ゾーン1。2015年5月30日撮影。



写真 5. アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ植栽地
写真左下方向にせせらぎがあり、植栽地はその左岸河口部にある。2015年9月14日撮影。



写真 6. アドバンテスト・ビオトープ内に自生する絶滅危惧植物種
（上）フジバカマ。2015年5月20日撮影。
（下）ミズコウジュ（写真右）。2015年5月20日撮影。



写真7. アドバンテスト・ビオトープ内に生育するイヌトウバナ
(上) 自生個体。2015年9月14日撮影。
(下) 2015年秋に移植した個体。2015年10月29日撮影。



写真 8. アドバンテスト・ビオトープ内に移植したアサザ

(上) 移植直後。2015年5月20日撮影。

(下) 移植から約1ヶ月後。2015年6月24日撮影。



写真9. チノー・ビオトープ内に自生する絶滅危惧植物種

(上) コギシギシ。2015年5月25日撮影。

(下) カワヂシャ。2015年4月22日撮影。



写真 10. チノー・ビオトープ内に生育するミゾコウジュ
（上）自生個体。2015年6月22日撮影。
（下）2015年秋に移植した個体。2015年10月22日撮影。



写真 11. チノー・ビオトープ内に生育するフジバカマ
（上）せせらぎ横に移植した個体。2015 年 5 月 25 日撮影。
（下）トンボの池南側に移植した個体。2015 年 6 月 22 日撮影。



写真 12. チノー・ビオトープ内に生育するアサザ
トンボの池に植栽したもの。2015年5月25日撮影。



写真 13. チノー・ビオトープ内に再移植したトチカガミ
（上）トンボの池に移植直後。2015 年 5 月 25 日撮影。
（下）移植後約 4 ヶ月後。2015 年 9 月 16 日撮影。



写真 14. 水生絶滅危惧植物種ササバモ

(上) 岡之郷用水路のササバモ。2015年10月22日撮影。

(下) チノー・ビオトープ内に移植したササバモ。2015年10月22日撮影。



写真 15. 男井戸川調整池内に自生する絶滅危惧植物種

(上) コギシギシ。2015年4月17日撮影。

(下) ミゾコウジュ。2015年9月16日撮影。



写真 16. 男井戸川調整池内に植え戻されたアサザ
改修工事前に自生していた個体を保護し、工事終了後に植え戻した。写真左が上流側である。2015年9月16日撮影。



写真 17. 矢場川自然再生地内に生育するフジバカマの開花
（上）土手の上の自生個体。2015 年 9 月 14 日撮影。
（下）氾濫原に植栽した個体（植栽地下流側）。2015 年 10 月 29 日撮影。



写真 18. 水没した矢場川自然再生地内のフジバカマ植栽地点
フジバカマ上流側植栽地である。2015 年 9 月 14 日撮影。



写真 19. 矢場川自然再生地内のフジバカマ植栽地付近に生育する絶滅危惧植物種
(上) ハンゲショウ。2015年6月24日撮影。
(下) ミコシガヤ。2015年6月24日撮影。



写真 20. 矢場川自然再生地内フジバカマ自生地（土手）

（上）自生地に生育しているフジバカマ（手前、白い花）とセイタカアワダチソウ（奥、黄色い花）が競合している。2015年10月29日撮影。

（下）自生地直下の氾濫原に成立しているハンノキ林。2015年6月24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)	2015年4月24日、5月20日、6月24日、9月14日、10月29日
チノー・ビオトープ (計5回)	2015年4月22日、5月25日、6月22日、9月16日、10月22日
男井戸川調整池 (計3回)	2015年4月17日、5月30日、9月16日
矢場川フジバカマ移植地調査 (計5回)	2015年4月24日、5月20日、6月24日、9月14日、10月29日

表 2. 発芽の温度依存性実験スケジュール一覧

冷蔵処理なし

科名	和名	学名	生活型	採取日時	採取場所	冷蔵処理	実験開始日～終了日	実験期間	備考
キク科	フジバカマ	<i>Eupatorium fortunei</i>	多年草	2014年11月10日	アドバンテスト・ビオトープ	なし	4月10日～6月8日	60日間	25/13℃区間のみで栽培
シソ科	イヌトウバナ	<i>Clinopodium micranthum</i>	多年草	2014年10月16日	アドバンテスト・ビオトープ				
シソ科	ミゾコウジュ	<i>Salvia plebeia</i>	越年草	2011年6月20日	アドバンテスト・ビオトープ				
				2011年6月23日	チノー・ビオトープ				
タデ科	コギシギシ	<i>Rumex nipponicus</i>	多年草	2011年5月29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
シソ科	イヌトウバナ	<i>Clinopodium micranthum</i>	多年草	2014年10月16日	アドバンテスト・ビオトープ	約2ヶ月間 (4月～6月)	6月10日～8月15日	67日間	10/6℃、17/8℃、 22/10℃、25/13℃、 30/15℃区間で栽培

表 3. 栽培実験スケジュール一覧

科名	和名	学名	生活型	採取日時	採取場所	植え替え日	栽培開始日	サンプリング日	備考
キク科	フジバカマ	<i>Eupatorium fortunei</i>	多年草	2014年11月10日	アドバンテスト・ビオトープ	2015年7月13日	2015年7月28日	2015年8月20日	異なる4つの光条件下、1つの気温条件下で栽培
シソ科	イストウバナ	<i>Clinopodium micranthum</i>	多年草	2014年10月16日	アドバンテスト・ビオトープ	2015年7月8日	2015年7月20日	2015年8月26日	
シソ科	ミソコウジュ	<i>Salvia plebeia</i>	越年草	2011年6月20日	アドバンテスト・ビオトープ	2015年7月22日	2015年7月30日	2015年8月24日	
				2011年6月23日	チノー・ビオトープ	2015年7月22日	—	—	鉢で栽培し現地(チノー・ビオトープ)に植え戻した
タデ科	コギシギシ	<i>Rumex nipponicus</i>	多年草	2011年5月29日	チノー・ビオトープ	2015年6月15日	2015年6月26日	2015年7月10日	異なる4つの光条件下、1つの気温条件下で栽培

表 4. アドバンテスト・ビ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

2015年4月24日から10月29日まで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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	主な生育地	分布	備考	確認日
アカネ科	ヘラシロソウ		<i>Pandera scandens</i>	多年草	3~4月	野道	日本全土		4月28日
アカネ科	ギンギク		<i>Galium aparine</i> var. <i>subrepens</i>	一年草	3~4月	野道、空き地	日本全土		4月24日, 5月20日
* アカネ科	コマクサ		<i>Oenothera biennis</i>	二年草	3~4月	海岸、河原	北海道産外来植物	国・道沿線の外来種	5月20日
* アザミ科	キクソウ		<i>Iris pseudacorus</i>	多年草	3~4月	水辺	欧州産外来植物	国・道沿線の外来種	4月24日
* アザミ科	シヤブ		<i>Iris japonica</i>	多年草	3月	山側	本州、四国、九州	中国産	4月28日
イネ科	アキノノコギリ		<i>Scleria tabernaemontana</i>	一年草	3~10月	道ばた、空き地	日本全土		4月14日
イネ科	アキノノコギリ		<i>Oplismenus hirtellus</i>	一年草	3~10月	道ばた	日本全土		4月14日
イネ科	アズミ草		<i>Poa annua</i>	多年草	4~5月	道ばた、雑草	北海道(青森)、本州、中部以北		4月14日, 4月24日
* イネ科	イヌムギ		<i>Bromus ciliaris</i>	多年草	3~7月	道ばた、雑草	東洋産外来植物		4月28日
* イネ科	ウシソウ		<i>Festuca ovina</i>	多年草	3~4月	草場	欧州産外来植物		4月14日
イネ科	ゴギ		<i>Taraxacum officinale</i>	多年草	3~4月	水辺	北海道、本州、四国、九州		4月28日
* イネ科	カモシヤ		<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	多年草	3~4月	道ばた、雑草	欧州、西アジア産外来植物	国・道沿線の外来種	5月20日
イネ科	カモシヤ		<i>Cyperus tenuiflorus</i> Honda var. <i>truncatus</i>	多年草	3~7月	道ばた、野道	日本全土		4月24日, 5月20日
イネ科	キンギョク		<i>Scleria purida</i>	一年草	3~10月	道ばた	日本全土		4月14日
イネ科	コノハ		<i>Alopecurus pratensis</i>	一年草	3~11月	水田の脇、野道	日本全土		10月29日
* イネ科	シラネアオイ		<i>Poa annua</i>	多年草	3~10月	道ばた	東洋産外来植物		4月14日
イネ科	スズメ		<i>Miscanthus sinensis</i>	多年草	3~10月	山側	日本全土		4月14日
イネ科	スズメノテ		<i>Bromus japonicus</i>	一年草	3~7月	道ばた、雑草	北海道、本州、四国、九州		5月20日
イネ科	チヂミ		<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>holstii</i>	多年草	4~8月	野道	日本全土		4月28日, 5月20日
イネ科	チヂミ		<i>Pennisetum glaucum</i>	多年草	3~11月	道ばた	日本全土		4月14日, 4月24日
イネ科	チヂミ		<i>Oplopanax andriatifolium</i>	多年草	3~10月	山側	日本全土		4月28日, 4月29日
イネ科	ツルソウ		<i>Phragmites japonica</i>	多年草	3~10月	河原、水辺	日本全土		4月14日
* イネ科	アキノノコギリ		<i>Vilfa hyssopifolia</i>	一年草	3~4月	道ばた、河原、海岸	北アメリカ、西アジア産外来植物		4月28日, 5月20日
イネ科	ヒメアザミ		<i>Microrhagus villosus</i>	一年草	3~10月	道ばた、雑草、林縁	日本全土		10月29日
* イネ科	ヒメアザミ		<i>Elymus biflorus</i> Link. var. <i>mutuus</i>	多年草	3~10月	荒地	東アジア産外来植物	国・道沿線の外来種	4月14日, 4月24日
イネ科	アキノノコギリ		<i>Oplismenus hirtellus</i>	一年草	3~11月	道ばた	日本全土		4月14日
イラクサ科	アザミ		<i>Rhynchospora gracilis</i>	多年草	3~4月	山側	北海道、本州、四国、九州		4月14日
イラクサ科	アザミ		<i>Rhynchospora longipes</i>	多年草	3~10月	山側	北海道、本州、四国、九州		4月14日
ウラボシ科	キツキ		<i>Holcus thymoides</i>	多年草	10~12月	林内、林縁	本州、四国、九州		4月28日
ウラボシ科	スズメ		<i>Miscanthus japonicus</i>	一年草	3~4月	荒地、水辺	本州、四国、九州		4月14日
* オオノコギリ	ツルソウ		<i>Pennisetum glaucum</i>	一年草	3~10月	道ばた、荒地	東洋産外来植物		5月20日
オオノコギリ	アズミ草		<i>Cynodon dactylon</i>	多年草	3~4月	雑草、雑草、林縁	本州(関東一帯を除く)、台湾		4月24日
オオノコギリ	カモシヤ		<i>Oplismenus hirtellus</i>	多年草	3~4月	道ばた	日本全土		4月28日, 5月20日
オオノコギリ	アキノノコギリ		<i>Cyperus rotundus</i>	一年草	3~10月	雑草、道ばた、雑草	本州、四国、九州		4月14日
オオノコギリ	アキノノコギリ		<i>Cyperus tenuiflorus</i>	一年草	3~4月	雑草	本州(中部以北)	国・道沿線の外来種	5月20日
オオノコギリ	アキノノコギリ		<i>Cyperus tenuiflorus</i>	多年草	4~4月	雑草	日本全土		4月24日
オオノコギリ	アキノノコギリ		<i>Cyperus tenuiflorus</i>	多年草	3~10月	海岸、野	本州、四国、九州、沖縄		4月14日
オオノコギリ	アキノノコギリ		<i>Cyperus tenuiflorus</i>	多年草	3~4月	山側	本州(中部以北)・東北産		4月28日

表4(続)．アドバンテスト・ビ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

2015年4月24日から10月29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	科名	植物名(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	主な生育地	分布	備考	確認日
レン科	ムラサキキンキフ		<i>Callitriche japonica</i>	常葉低木	5~8月	林内、林縁	北海道、本州、四国、九州、沖縄		4月24日、10月29日
ヤブ科	ヤブ		<i>Geranium japonica</i>	多年草	7~8月	湿地、水辺	日本全土		4月24日
ヤブ科	ヤブシロシ		<i>Tofieldia japonica</i>	球根草	5~7月	林内	日本全土		5月20日、6月14日
ヤブ科	ヤブシロシ		<i>Weta aculeata</i>	常葉低木	5~8月	海岸	四国、九州、沖縄		5月14日
＊ミズギ科	アレスキギンギン		<i>Rumex conglomeratus</i>	多年草	5~7月	道ばた、荒地	群生原産の帰化植物		3月20日、6月14日
＊ミズギ科	エゾノギンギン		<i>Rumex obtusifolius</i>	多年草	5~8月	道ばた、林内	群生原産の帰化植物	国・都道府県外来種	4月24日、5月20日
ミズギ科	スイバ		<i>Rumex acetosa</i>	多年草	5~8月	草地、林縁	北海道、本州、四国、九州		4月24日
ミズギ科	ヤナギミズギ		<i>Panicum hybridum</i>	一年草	7~10月	水辺、湿地	日本全土		4月14日
ツユクサ科	ツユクサ		<i>Commelina communis</i>	一年草	6~8月	林、道ばた	日本全土		5月14日
ツユクサ科	ヤブヒメウツ		<i>Pellaea japonica</i>	多年草	7~8月	山地	本州・関東以西、四国、九州		4月14日
トウダイゴサ科	アサヒゴシツ		<i>Wolffia japonica</i>	常葉低木	7月	山地	本州、四国、九州、沖縄		4月24日
＊トウダイゴサ科	エビノキツ		<i>Euphorbia esula</i>	一年草	6~8月	林、道ばた	北米原産の帰化植物		4月14日
トウダイゴサ科	トウダイゴサ		<i>Euphorbia helioscopia</i>	球根草	4~8月	林、道ばた	本州、四国、九州、沖縄		4月24日
トウヤク科	スズナ		<i>Eleocharis acicularis</i>	多年草	5~8月	道ばた、林内	日本全土		4月24日、5月20日
ドクダミ科	ドクダミ		<i>Helleborus scaberrimus</i>	多年草	6~7月	道ばた、林内	本州、四国、九州、沖縄		3月20日、6月14日
＊ナス科	アサヒキイヌオウゴン		<i>Solanum psycanthum</i>	一年草	6~10月	山地	北米原産の帰化植物		4月14日
ナズナ科	ツリノコバ		<i>Stellaria media</i>	球根多年草	4~10月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月24日、5月20日
＊ナズナ科	オランダゴボウ		<i>Cerastium glomeratum</i>	球根草	4~8月	林、道ばた	群生原産の帰化植物		4月24日
ナズナ科	ノミナヅク		<i>Arenaria serpyllifolia</i>	一年草	5~8月	道ばた、林、水辺	日本全土		4月24日
ナズナ科	ヒメナヅク		<i>Cerastium hololevifolium</i> var. <i>hololevifolium</i>	球根草	4~8月	道ばた、林	北海道、本州、四国、九州		4月24日
ユリ科	エノキ		<i>Calla striata</i> var. <i>japonica</i>	常葉低木	4~8月	山地、林縁	本州、四国、九州、沖縄		3月20日、河原科
バラ科	オヘビイチゴ		<i>Potentilla canadensis</i> var. <i>rubra</i>	多年草	5~8月	林内	本州、四国、九州		5月20日
バラ科	キンズク		<i>Agrimonia japonica</i>	多年草	7~10月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月14日
バラ科	ハイハク		<i>Rosa multiflora</i>	常葉低木	5~8月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月24日
バラ科	ヘビイチゴ		<i>Duchesnea phylicifolia</i>	多年草	4~8月	道ばた	日本全土		4月24日、5月20日
バラ科	オヘビイチゴ		<i>Rubus palmatus</i> var. <i>caprifolius</i>	常葉低木	4月	山地、林縁	本州・中部以西		3月20日
バラ科	ヤマアザミ		<i>Kerria japonica</i>	多年草	6~8月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月24日
バラ科	ツルモコ		<i>Sanguisorba officinalis</i>	多年草	6~10月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月14日
バラ科	シモツク		<i>Spiraea japonica</i>	常葉低木	5~7月	山地	本州、四国、九州		4月24日
ヒルギ科	ヒナダイノツチ		<i>Actinorhiza bicolorata</i> var. <i>aurata</i>	多年草	6~8月	道ばた、荒地	本州、四国、九州		4月14日、10月29日
＊ヒルギ科	アサヒアザミ		<i>Senecio jacobinae</i>	一年草	6~10月	道ばた	群生原産の帰化植物		4月24日
＊アウロウ科	アサヒアザミ		<i>Geranium carolinianum</i>	一年草	6~8月	道ばた、荒地、林	北米原産の帰化植物		3月20日
アザミ科	アザミ		<i>Artemisia japonica</i> var. <i>heterophylla</i>	常葉つぎ性草本	7~8月	山地	北海道、本州、四国、九州、沖縄		4月24日、6月14日
アザミ科	ヤブアザミ		<i>Cyanus japonica</i>	多年草	6~8月	道ばた、林縁、荒地	北海道・関東部、本州、四国、九州		3月20日、6月14日
アザミ科	ミナ		<i>Galearia japonica</i>	常葉低木	6~8月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月24日
＊アザミ科	アサヒアザミ		<i>Falsum pratense</i>	多年草	5~11月	道ばた、荒地	群生原産の帰化植物		3月20日
アザミ科	オウゴン		<i>Vicia sepium</i>	球根草	3~8月	林内	本州、四国、九州、沖縄		4月24日
アザミ科	オウゴン		<i>Aeschynomene indica</i>	一年草	6~10月	湿地	日本全土		4月14日
アザミ科	オウゴン		<i>Phacelia tubata</i>	多年草	7~8月	山地	北海道、本州、四国、九州		4月24日、6月14日

表4(続)．アドバンテスト・ビ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
 2015年4月24日から10月29日まで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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	主な生育地	分布	備考	確認日
* マメ科		コマツブツメツサ	<i>Tribulus terrestris</i>	一年草	5~8月	道ばた、荒地等	九州産産外産植物		4月29日
* マメ科		シロツメクサ	<i>Tribulus terrestris</i>	多年草	5~10月	道ばた、荒地等	九州、北アフリカ産産外産植物		4月29日、5月14日
マメ科		スズメノエンドウ	<i>Vicia hirsuta</i>	二年草	4~6月	道ばた、畑	本州、四国、九州、沖縄		4月29日
マメ科		ツルマメ	<i>Vicia sativa</i>	一年草	5~8月	畑等	北海道、本州、四国、九州		4月29日
マメ科		スズメノエンドウ	<i>Desmodium podocarpum subsp. oxyphyllum</i>	多年草	7~8月	山地	日本産		4月29日
マメ科		ホシハシ	<i>Lespedeza pilosa</i>	多年草	5~10月	山地	日本産		4月29日、5月14日
マメ科		ホシハシ	<i>Lespedeza cuneata</i>	多年草	5~10月	畑等	日本産		4月29日
マメ科		ヤマシロツ	<i>Kummerowia striata</i>	多年草	5~10月	道ばた	日本産		4月29日、5月14日
マメ科		ヤマシロツ	<i>Vigna angularis var. japonensis</i>	一年草	5~10月	畑等	本州、四国、九州		4月29日、5月14日
マメ科		ヤマシロツ	<i>Aeschynomene frutescens subsp. japonensis var.</i>	一年草	5~10月	林縁、草地	本州(関東以西)、四国、九州		4月29日、5月14日
マメ科		ヤマシロツ	<i>Lespedeza bicolor</i>	多年草	7~8月	林縁、草地	北海道、本州、四国、九州		4月29日
スズキ科		アサギ	<i>Azusa japonica</i>	常緑低木	3~5月	山地、林内	北海道、本州、四国、九州、沖縄		4月29日
ミカン科		ヒメミカン	<i>Azusa multiflora</i>	一年草	5~11月	水辺、荒地	日本産		4月29日
ミカン科		アサギ(園芸)	<i>Bombycium ciliatum</i>	多年草	5~8月	水辺	本州、四国、九州	園・遊園地栽培、庭・緑地栽培も多数	4月29日
ムラサキ科		キウリソウ	<i>Digitalis purpurea</i>	多年草	3~5月	畑、道ばた	日本産		4月29日
ヤシ科		シロヤシ	<i>Trachypogon fortunei</i>	常緑低木	5~8月	雑地	九州		4月29日
ユリ科		シロヤシ	<i>Ophiopogon japonicus</i>	多年草	3~8月	山地、林内	本州(関東以南)、四国、九州		4月29日
ユリ科		シロヤシ	<i>Allium grayi</i>	多年草	3~8月	道ばた、畑等	日本産		4月29日
ユリ科		ヤマシロツ	<i>Hemerocallis fulva var. asiatica</i>	多年草	7~8月	道ばた、土手、林縁	北海道、本州、四国、九州		4月29日、5月14日
ユリ科		ヤマシロツ	<i>Lilium asiaticum</i>	多年草	5~10月	林縁、林内	本州(関東以西)、四国、九州		4月29日
ユリ科		ユリ	<i>Lilium album</i>	多年草	7~8月	畑等	北海道、本州(今野山系)、四国、九州		4月29日、5月14日
ユリ科		ナルシソウ	<i>Polypodium latifolium</i>	多年草	5~8月	山地	本州、四国、九州		4月29日
ラン科		ホシハシ	<i>Spiranthes sinensis var. sinensis</i>	多年草	4~8月	畑等	北海道、本州、四国、九州		4月29日

表 5. チノー・ビ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

2015年4月22日から10月22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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	生息環境	分布	備考	確認日
* アカギ科	アカギ	<i>Chenopodium foliolatum</i>		一年草	8~9月	灌木下、河川沿	九州、アジア原産外来植物		4月22日
* アカギ科	シロギ	<i>Chenopodium album</i>		一年草	8~10月	灌木下	ユーラシア産外来植物		4月22日
アカギ科	ヘクシメギ	<i>Festuca scaberrima</i>		多年草	8~9月	野原	日本産		10月22日
アカギ科	ギンメギ	<i>Galium spicatum var. adpressum</i>		一年草	8~9月	野原、灌木下	日本産		4月22日
* アルミナ科	ユウゲリソウ	<i>Demissa rosea</i>		多年草	8~10月	灌木下、河川	朝鮮半島産外来植物	園芸種	3月29日、4月22日
アルミナ科	ユウゲリソウ	<i>Abies pentaphylla</i>		常緑つる性木	8~10月	山野	九州、四国、九州		10月22日
* アブラナ科	オウゴンチヂミ	<i>Nasturtium officinale</i>		多年草	8~10月	水辺、灌木下	欧州産外来植物	1949年(アレンソン)、園芸種由来植物	4月22日、4月22日、4月22日
アブラナ科	スズメノカタビ	<i>Rapce stridula</i>		一年草	8~10月	水辺、灌木下	日本産		4月22日
アブラナ科	オウゴンチヂミ	<i>Cardaria flexuosa</i>		越年草	9~9月	水辺、灌木下	日本産		4月22日
アブラナ科	ツキビ(園芸)	<i>Eutrema japonica</i>		多年草	2~5月	山野	北海道、本州、四国、九州		4月22日
イネ科	アサノハ(アサノ)	<i>Setaria faberii</i>		一年草	8~10月	灌木下、灌木下	日本産		4月22日、10月22日
イネ科	アサノハ(アサノ)	<i>Digitaria stramonium</i>		一年草	8~10月	灌木下、灌木下	日本産		4月22日
イネ科	イヌビロ	<i>Echinochloa crus-galli</i>		一年草	8~10月	灌木下	九州、四国、九州、沖縄		3月29日、10月22日
* イネ科	イヌビロ	<i>Bromus catharticus</i>		越年草	8~10月	灌木下、灌木下	東洋産外来植物		4月22日、10月22日
* イネ科	ツクシ	<i>Festuca ovina</i>		多年草	8~9月	灌木下	欧州産外来植物		4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Molinia caerulea</i>		多年草	8~10月	水辺、河川	北海道、本州、四国、九州		10月22日
イネ科	オギ	<i>Elymus trichostachyus</i>		多年草	8~10月	灌木下、野原	日本産		4月22日、4月22日、4月22日
* イネ科	オギ	<i>Panicum distachyon</i>		多年草	7~9月	灌木下	日本産、アジア原産外来植物	園芸種由来植物、園芸種由来植物	4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Setaria asiatica</i>		一年草	8~10月	灌木下	日本産		4月22日、10月22日
* イネ科	オギ	<i>Lycopodium obscurum</i>		多年草	8~11月	日光の多い湿潤地	中国産外来植物	園芸種	4月22日
* イネ科	オギ	<i>Panicum distachyon</i>		多年草	7~10月	灌木下	東洋産外来植物		4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Oryza sativa</i>		多年草	7~9月	灌木下、灌木下	日本産		4月22日
イネ科	オギ	<i>Mosses japonica</i>		多年草	7~10月	山野	日本産		10月22日
イネ科	オギ	<i>Bromus japonicus</i>		一年草	8~10月	灌木下、灌木下	北海道、本州、四国、九州		4月22日
イネ科	オギ	<i>Alopecurus pratensis</i>		一年草	8~9月	灌木下、灌木下	北海道、本州、四国、九州		4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Isopogon cylindricus var. longifolius</i>		多年草	8~9月	野原	日本産		4月22日、4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Isopogon cylindricus</i>		多年草	8~10月	山野	日本産		4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Phragmites japonica</i>		多年草	8~10月	灌木下、水辺	日本産		4月22日、4月22日
* イネ科	オギ	<i>Lolium multiflorum</i>		一年草	7~9月	灌木下、野原	欧州産外来植物		3月29日
* イネ科	オギ	<i>Isopogon cylindricus</i>		多年草	8~10月	灌木下	東アジア産外来植物	園芸種由来植物、園芸種	4月22日、4月22日
イネ科	オギ	<i>Digitaria stramonium</i>		一年草	7~10月	灌木下、灌木下	日本産		10月22日
イネ科	オギ	<i>Echinochloa crus-galli</i>		多年草	7~11月	山野	北海道、本州、四国、九州		4月22日、4月22日、4月22日、10月22日
イネ科	オギ	<i>Echinochloa crus-galli</i>		多年草	7~9月	山野	北海道、本州、四国、九州		10月22日
イネ科	オギ	<i>Echinochloa crus-galli</i>		多年草	8~10月	山野	北海道、本州、四国、九州		4月22日、4月22日
イネ科	オギ	<i>Alopecurus pratensis</i>		多年草	8~9月	灌木下、灌木下	北海道、本州、四国、九州		3月29日、4月22日
イネ科	オギ	<i>Rhus javanica var. mollis</i>		常緑つる性木	8~9月	灌木下	日本産		4月22日、4月22日、10月22日
オギ	オギ	<i>Festuca ovina</i>		多年草	8~10月	山野	日本産		4月22日、4月22日、10月22日
オギ	オギ	<i>Metastelma japonica</i>		多年草	7~9月	山野、灌木下	北海道、本州、四国、九州		4月22日
オギ	オギ	<i>Ornithoglossum</i>		多年草	8~9月	灌木下	日本産		3月29日、4月22日

表5(続)．チノー・ビ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

2015年4月22日から10月22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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	主な生育地	分布	備考	確認日
* 菊科	ムラサキ科(旧)	<i>Quilicayumbona</i>	多年草	5-7月	道志川	北米産の外来植物	国・県主要外来植物 観賞用	4月22日, 6月24日	
菊科	アザミ	<i>Lythris latifolia</i>	多年草	5-6月	河原	北海道, 本州, 四国, 九州		5月16日	
アザミ科	アザミ	<i>Carex diandraefolia</i>	多年草	5-6月	河原	日本産		5月23日	
アザミ科	アザミ	<i>Carex diandra</i>	多年草	5-6月	河原, 道志川	北海道, 本州, 四国, 九州		5月23日	
アザミ科	アザミ	<i>Cyperus tenuis</i>	一年草	5-10月	河原, 道志川, 河原	本州, 四国, 九州		5月16日	
アザミ科	アザミ	<i>Carex lasiocarpa</i>	多年草	5-6月	河原, 河原	北海道, 本州, 四国, 九州		4月22日	
アザミ科	アザミ	<i>Carex tenuis</i>	一年草	5-6月	河原	本州(道志川上)	国・県主要外来植物	5月23日	
キク科	アキノノゲシ	<i>Lactuca indica var. indica</i>	一二年草	5-11月	山側	日本産		5月16日, 10月22日	
* 菊科	アキノノゲシ	<i>Bidens frondosa</i>	一年草	5-11月	道志川, 河原	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	4月22日, 6月14日, 10月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Helianthus strumosus</i>	多年草	7-8月	河原	北米産の外来植物		5月16日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Isoetes debilis</i>	多年草	5-5月	河原	日本産		4月22日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Thymus latifolius</i>	一二年草	5-10月	道志川	日本産		4月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Melissaria stramonii</i>	越年草	春	道志川, 河原, 山側	北米, 西アジア産の外来植物	観賞用	4月22日, 5月14日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Taraxacum platyctenium</i>	多年草	2-8月	河原, 道志川	本州		10月22日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Hemipogon frutes</i>	越年草	5-8月	河原, 道志川	本州, 四国, 九州, 沖縄		4月22日, 5月14日, 10月22日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Plant. heterophylla subsp. japonica</i>	越年草	5-10月	山側	北海道, 本州, 四国, 九州		5月23日, 4月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Bidens pilosa</i>	一年草	5-10月	道志川, 河原	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	5月16日, 10月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Solidago canadensis var. acuta</i>	多年草	10-11月	河原	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	10月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Taraxacum officinale</i>	多年草	2-8月	道志川, 河原	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	4月22日, 6月14日, 10月22日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Elyda prostrata</i>	一年草	5-8月	河原	本州, 四国, 九州, 沖縄		4月16日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Aster ageratoides var. ovatus</i>	多年草	5-11月	山側	本州, 四国, 九州		10月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Gelimgia pentstemonifolia</i>	一年草	5-11月	道志川, 河原	北米産の外来植物		10月22日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Sanctus strumosus</i>	一二年草	5-10月	道志川, 河原	北海道, 本州, 四国, 九州		4月22日, 5月14日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Senecio strumosus</i>	一二年草	5-10月	河原, 道志川	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	4月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Ergon canadensis</i>	二年草	5-10月	道志川, 河原	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	4月22日, 6月14日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Phacelia japonica</i>	多年草	2-5月	山側	本州, 四国, 九州, 沖縄		5月23日, 4月22日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Eupatorium fortunei</i>	多年草	5-8月	河原	本州, 四国, 九州	国・県主要外来植物	5月16日, 6月14日, 10月22日	
* 菊科	イヌホトズシ	<i>Helianthus scaberrimus</i>	一二年草	5-8月	道志川, 河原	北米産の外来植物	国・県主要外来植物	5月23日	
キク科	イヌホトズシ	<i>Artemisia indica</i>	多年草	5-10月	山側	本州, 四国, 九州		4月16日	
アザミ科	アザミ	<i>Diapogon umbellata</i>	常緑草本	5-8月	河原, 河原	日本産		4月22日	
アザミ科	アザミ	<i>Broussonetia japonica</i>	常緑草本	5-8月	山側	四国, 九州, 沖縄		5月16日, 10月22日	
アザミ科	アザミ	<i>Musa bambusa</i>	常緑草本	5-8月	河原, 山側	北海道, 本州, 四国, 九州		4月16日, 10月22日	
アザミ科	アザミ	<i>Fatsia sibirica</i>	一年草	5-10月	道志川, 河原	本州, 四国, 九州		10月22日	
* アザミ科	アザミ	<i>Musa alba</i>	常緑草本	5-8月	人里	北米産の外来植物		5月23日, 6月14日	
アザミ科	アザミ	<i>Musa australis</i>	常緑草本	5-8月	山側	北海道, 本州, 四国, 九州		10月22日	
アザミ科	アザミ	<i>Machilus cordata</i>	多年草	7-8月	河原	北海道, 本州, 四国, 九州		4月22日, 6月14日	
* アザミ科	アザミ	<i>Phacelia japonica</i>	越年草	5-5月	道志川, 河原	北中東地方産の外来植物	県内主要外来植物 観賞用	4月22日, 5月14日	
* アザミ科	アザミ	<i>Helianthus strumosus</i>	越年草	5-8月	河原, 道志川	北米産の外来植物		4月22日, 5月14日	
アザミ科	アザミ	<i>Helianthus scaberrimus</i>	越年草	5-8月	本道, 本道	本州(中道山側), 四国, 九州, 沖縄	国・県主要外来植物	4月22日, 5月14日	

表5(続)．チノー・ビ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

2015年4月22日から10月22日まで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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	生育地	分布	備考	確認日
バラ科	ヘビイチゴ	<i>Duchesnea indica</i>	多年草	4-6月	道ばた	日本全土			4月22日
バラ科	クサビイチゴ	<i>Rubus palmatus</i> var. <i>capitatus</i>	落葉低木	4月	山側、林縁	九州(中道以北)			4月22日
* 玄米草科	アザミ草	<i>Erigeron hybridus</i>	一年草	8-10月	道ばた	朝鮮半道産外来植物			4月22日
玄米草科	ユズメ草	<i>Galinsoga hybridus</i>	多年草	8-10月	道ばた、野原	日本全土			3月29日、4月22日
玄米草科	ヒルギ草	<i>Galinsoga japonica</i>	多年草	7-10月	道ばた、野原	北海道、本州、四国、九州			3月29日、4月22日
* 玄米草科	ヤマアザミ	<i>Erigeron hybridus</i>	一年草	7-10月	道ばた	北米産産外来植物			3月29日
* 玄米草科	ヤマアザミ	<i>Erigeron annuus</i>	一年草	8-10月	道ばた、河川	朝鮮半道産外来植物			4月22日
* 玄米草科	ヤマアザミ	<i>Erigeron hybridus</i> var. <i>integrifolius</i>	一年草	8-10月	道ばた、河川	朝鮮半道産外来植物			3月29日
* 玄米草科	ヤマハルコウ	<i>Quercus serrata</i>	一年草	7-10月	道ばた、空き地	朝鮮半道産外来植物			3月29日
玄米草科	スズメ	<i>Pteranodon elegans</i>	多年草	8-10月	河川	日本全土	水質		4月22日、4月24日
* ぶつこう科	アザミ草	<i>Oenothera biennis</i>	一年草	8-10月	道ばた、河川	北米産産外来植物			3月29日
ぶつこう科	オシロイバナ	<i>Asplenium platyneuron</i> var. <i>heterophyllum</i> f. <i>obov.</i>	落葉つばき木本	7-10月	山地、渓流	日本全土			4月22日
ぶつこう科	ヤブコウソウ	<i>Quercus japonica</i>	多年草	8-10月	道ばた、林縁、空き地	北海道、津島市、本州、四国、九州			3月29日
ヤブ科	オシロイバナ	<i>Musa sapientum</i>	雑草	8-10月	野原	本州、四国、九州、沖縄			4月22日
ヤブ科	ウヤユヤ	<i>Asplenium nidus</i>	一年草	8-10月	山地	日本全土			4月22日
ヤブ科	ウツ	<i>Pteris lobata</i>	多年草	7-10月	山地	北海道、本州、四国、九州			4月22日、4月24日
* ヤブ科	シロツメクサ	<i>Tofieldia calyculata</i>	多年草	8-10月	道ばた、河川	欧州、北アメリカ産産外来植物			4月22日、4月24日
ヤブ科	スズメノカタビラ	<i>Musa sapientum</i>	雑草	8-10月	道ばた、河川	本州、四国、九州、沖縄			4月22日
ヤブ科	スズメノカタビラ	<i>Eleocharis palustris</i> var. <i>capitata</i>	多年草	7-10月	山地	日本全土			4月22日、4月24日
ヤブ科	スズメノカタビラ	<i>Alisma plantago-</i>	落葉低木	8-10月	河川、野原	本州、四国、九州、沖縄			3月29日
ヤブ科	ノヂヅク	<i>Mercurialis perennis</i> DC.	落葉つばき木本	8月	林縁、林内	本州、四国、九州			3月29日
ヤブ科	ノヂヅク	<i>Leopoldia comata</i>	多年草	8-10月	野原	日本全土			3月29日
ヤブ科	ヤブコウソウ	<i>Vigna angustata</i> var. <i> japonensis</i>	一年草	8-10月	野原	本州、四国、九州			4月22日
ヤブ科	ヤブコウソウ	<i>Asplenium platyneuron</i> var. <i>heterophyllum</i> f. <i>obov.</i>	一年草	8-10月	林縁、野原	本州(関東以西)、四国、九州			3月29日
ヤブ科	ヤブコウソウ	<i>Leopoldia comata</i>	落葉低木	7-10月	林縁、野原	北海道、本州、四国、九州			3月29日、4月24日、4月25日
キンコ科	ヤブコウソウ	<i>Zosterophyllum japonicum</i>	落葉低木	8-10月	河川、山地、林縁、林内	北海道、本州、四国、九州			3月29日
キンコ科	アザミ草	<i>Rumex crispus</i>	多年草	8-10月	河川	本州、四国、九州	第一種指定外来種、第二種指定外来種		4月22日
ムギ草科	キヌタノアザミ	<i>Trisetum pedunculatum</i>	雑草	8-10月	河川、道ばた	日本全土			4月22日
ヤブ草科	ヤブコウソウ	<i>Mnium rubrum</i>	常緑低木	7-10月	山地	関東地方(関東以西)一帯			4月22日、4月24日
ユリ科	ツツクサ	<i>Chrysopsis japonica</i>	多年草	7-10月	山地、林内	本州(関東以西)、四国、九州			4月22日
ユリ科	ヤブコウソウ	<i>Liriodendron chinense</i>	多年草	8-10月	林縁、林縁	本州(関東以西)、四国、九州			3月29日
ユリ科	シロシ	<i>Stella media</i>	多年草	8-10月	山地	本州(関東以西)、四国、九州、沖縄	第一種指定外来種、第二種指定外来種		3月29日

表 6. 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

2015年4月17日から9月16日まで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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	生育生態	分布	備考	確認場所	確認日
アオイ科	ヤエムダラ	<i>Gallium aparine</i> var. <i>subrepens</i>	一年草	5~8月	乾燥、空き地	日本全土			土手	4月17日
* アオイ科	アレチマンリョウヤ	<i>Cenotheca lutea</i>	多年草	7~8月	河原、空き地	北海道から九州			川沿	4月17日
* アオイ科	ヨナンソウバサ	<i>Cenotheca lutea</i>	二年草	7~8月	河原、空き地	北海道から九州	国・東北地方東部		川沿、開け七瀬川	4月17日、4月18日
* アオイ科	ユラギソウ	<i>Cenotheca lutea</i>	多年草	5~10月	道沿、河原	北海道から九州	国・東北地方東部	国産種	開け七瀬川	5月30日
* アブラナ科	オランダアザミ	<i>Helianthus officinalis</i>	多年草	6~7月	水田、田んぼ	九州から九州	九州から九州	国・東北地方東部	川沿、開け七瀬川	4月17日
* アブラナ科	シロケンマイ	<i>Oxyphragma vestitus</i>	多年草	7~8月	空き地、道沿	中国から九州	中国から九州	新内陸部東部	川沿	4月17日
アブラナ科	スズメノカタビラ	<i>Brassica oleracea</i>	一年草	4~10月	水田、田んぼ	日本全土			開け七瀬川	4月17日、4月18日
* アブラナ科	セイヨウアサガサ	<i>Brassica napus</i>	一年草	5~8月	河原	九州から九州			土手	4月17日
アブラナ科	オオアザミ	<i>Carduus arvensis</i>	多年草	4~8月	水田、田んぼ	日本全土			川沿、開け七瀬川	4月17日
* イブキ科	コゴメイ	<i>Juncus sp.</i>	多年草	夏~秋	水田	北海道から九州			開け七瀬川	5月30日
イブキ科	アキノミドリツバキ	<i>Salsola selago</i>	一年草	6~10月	道沿、空き地	日本全土			土手	5月18日
イブキ科	アキノミドリ	<i>Digitaria ciliolata</i>	一年草	6~10月	道沿、空き地	日本全土			開け七瀬川	5月18日
イブキ科	イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	一年草	6~10月	田んぼ	東洋、中国、九州、沖縄			土手	5月18日
* イブキ科	イヌムギ	<i>Bromus catharticus</i>	多年草	6~7月	道沿、田んぼ	北海道から九州			川沿	4月17日
* イブキ科	ウシソウ	<i>Festuca ovina</i>	多年草	6~8月	田んぼ	九州から九州			土手	4月17日
* イブキ科	オニソウ	<i>Festuca arundinacea</i>	多年草	6~8月	道沿、田んぼ	九州から九州	国・東北地方東部		土手	4月17日
イブキ科	五芒ソウ	<i>Beckmannia erucaeifolia</i>	一年草	6~7月	水田、田んぼ	北海道、九州、中国			開け七瀬川	4月17日、4月18日
イブキ科	カキソウ	<i>Fimbristylis diandra</i> var. <i>impressa</i>	多年草	5~7月	道沿、田んぼ	日本全土			開け七瀬川	5月30日
* イブキ科	オシロイソウ	<i>Paspalum distachyon</i>	多年草	7~8月	田んぼ	新南支、アジア東部から九州	国・東北地方東部、国・九州地方東部		開け七瀬川	5月18日
イブキ科	オシロイ	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>aristata</i>	一年草	6~10月	田んぼ、水田	東洋、中国、九州			開け七瀬川	5月18日
* イブキ科	シマズミ	<i>Paspalum dilatatum</i>	多年草	7~10月	道沿	北海道から九州			開け七瀬川	5月18日
* イブキ科	シロキキソウ	<i>Cenchrus ciliaris</i>	多年草	6~10月	空き地、田んぼ	東洋から九州			川沿	5月30日
イブキ科	スズメノカタビラ	<i>Poa annua</i>	一年草	3~11月	道沿	日本全土			開け七瀬川	5月30日
イブキ科	オシロイ	<i>Pennisetum glaberrimum</i>	一年草	7~10月	乾燥、空き地	日本全土			川沿	5月18日
* イブキ科	オシロイ	<i>Setaria verticillata</i>	一年草	7~8月	道沿、田んぼ	九州から九州			開け七瀬川	5月30日
* イブキ科	トモロコシ	<i>Sorghum halepense</i> form. <i>robustum</i>	多年草	6~10月	田んぼ	南アジアから九州	国・九州地方東部、国産種		土手	5月18日
イブキ科	ヨシ	<i>Phragmites australis</i>	多年草	6~10月	田んぼ	日本全土			川沿	4月17日、4月18日
イブキ科	ヤブヤブ	<i>Eleusine indica</i>	多年草	6~10月	田んぼ	北海道、東洋、中国、九州			開け七瀬川	5月30日
* ウラボシ科	アレチウラボシ	<i>Elycus japonicus</i>	一年草	7~10月	乾燥、田んぼ	北海道から九州	国・特産地東部		土手	5月18日
ゴマ科	ゴマ	<i>Ligusticum sinense</i>	多年草	6~8月	田んぼ	北海道、東洋、中国、九州			川沿	4月17日、4月18日、4月19日
カヤクサ科	アザミ	<i>Cirsium discolor</i>	多年草	4~8月	田んぼ	日本全土			開け七瀬川	5月30日
カヤクサ科	カヤクサ	<i>Cyperus tenuis</i>	一年草	6~10月	乾燥、道沿、田んぼ	東洋、中国、九州			川沿	5月18日
カヤクサ科	カヤクサ	<i>Cyperus tenuis</i>	多年草	7~10月	田んぼ	日本全土			開け七瀬川	5月30日、4月18日
カヤクサ科	カヤクサ	<i>Cyperus tenuis</i>	一年草	5~8月	田んぼ	東洋、中国、九州			開け七瀬川	5月30日
キク科	アキノミドリ	<i>Carthamus tinctorius</i>	一年草	6~10月	田んぼ	日本全土			土手	5月18日
* キク科	アキノミドリ	<i>Carthamus tinctorius</i>	一年草	6~10月	田んぼ	日本全土			川沿、土手	4月17日、5月30日、4月18日
* キク科	オシロイ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	一年草	夏	田んぼ、田んぼ	アキノミドリから九州			開け七瀬川	5月18日
* キク科	オシロイ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	一年草	6~10月	道沿、空き地	北海道から九州	国・東北地方東部		開け七瀬川	5月18日
* キク科	オシロイ	<i>Andropogon triflorus</i>	一年草	6~8月	田んぼ、田んぼ	北海道から九州	国・東北地方東部		川沿	5月30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
 2015年4月17日から9月16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(和名)	植物名(学名)	生活型	花期	生育地	分布地域	分布	備考	確認場所	確認日
ナズナ科	ツバキ科	ツバキ	<i>Stefania aquatica</i>	短一年草	8-10月	山間	北海道、本州、四国、九州			川原	4月17日
* ナズナ科	オラン草シダ科	オラン草シダ	<i>Ceratium glomeratum</i>	越年草	8-9月	畑、道ばた	九州各地の雑草植物			土手	4月17日
ナズナ科	ハコベ	ハコベ	<i>Stellaria media</i>	一年二葉草	3-9月	野原、道ばた	日本全土			土手	4月17日
バラ科	ヘビイチゴ	ヘビイチゴ	<i>Duchesnea physanilla</i>	多年草	8-9月	道ばた	日本全土			土手	4月17日
ヒユ科	イヌビロ	イヌビロ	<i>Amaranthus hybridus var. axillaris</i>	一年草	8-11月	道ばた、畑	関東地方			開十九橋池	4月18日
* ヒユ科	マメアサギ	マメアサギ	<i>Sonchus oleraceus</i>	一年草	3-9月	道ばた	北海道の雑草植物			開十九橋池	4月18日
* ヒユ科	マルバムクゴ	マルバムクゴ	<i>Quercus coccinea</i>	一年草	7-9月	道ばた、畑	関東地方の雑草植物			土手	4月18日
ヒユ科	オノノ	オノノ	<i>Pterangetron arachnoides</i>	多年草	8-9月	河川、ため池	北海道、本州、四国、九州、沖縄	洋風植物、貴重植物		川の中	4月18日
ペンタゴニア科	マシキソウ	マシキソウ	<i>Sidastris thalictroides</i>	多年草	3-7月	道ばた、日陰の湿り地	世界各地の雑草			開十九橋池	4月18日
マメ科	オウゴン	オウゴン	<i>Vicia sepium</i>	越年草	3-6月	野原	本州、四国、九州、沖縄			川原、土手	4月17日
マメ科	ウツクシ	ウツクシ	<i>Aeschynomene indica</i>	一年草	8-10月	畑	日本全土			開十九橋池	4月18日
* マメ科	シロツメクサ	シロツメクサ	<i>Tillium japonicum</i>	多年草	5-10月	道ばた、畑	朝鮮、北アフリカの乾燥地			開十九橋池	4月17日
マメ科	スズメノエンドウ	スズメノエンドウ	<i>Vicia hirsuta</i>	二年草	4-8月	道ばた、畑	本州、四国、九州、沖縄			川原、土手	4月17日
ミカン科	ミカン	ミカン	<i>Amomum multiflorum</i>	一年草	9-11月	畑、道ばた	日本全土			川原	4月18日
ミカン科	アサギ	アサギ	<i>Nymphoides peltata</i>	多年草	8-9月	河川	本州、四国、九州	国産植物、貴重植物		川の中	4月17日、5月15日
ムラサキ科	キムウツクサ	キムウツクサ	<i>Figonea pedunculata</i>	越年草	3-5月	畑、道ばた	日本全土			土手	4月17日
ヤナギ科	ヤナギ	ヤナギ	<i>Salix glabra</i>	常緑小高木	3月	河川	北海道(南限)、本州			開十九橋池	4月18日
ヤナギ科	ヤナギ	ヤナギ	<i>Salix subrepens</i>	常緑小高木	3-6月	日陰の湿り地、川	北海道、本州、四国			開十九橋池	4月18日
ユリ科	アヒ	アヒ	<i>Aluiphiopsis</i>	多年草	5-8月	道ばた、野原	日本全土			開十九橋池	4月18日

表 7. iPhone5s とポータブル GPS による植物生育位置計測結果の平均誤差

ポータブル GPS の位置計測結果を基準にして、そこから iPhone5s の位置計測結果がどれだけずれているかを平均誤差を算出して表した。

平均誤差	アドバンテスト・ ビオトープ	チノー・ ビオトープ	男井戸川調整池	平均
北緯(m)	9.1	8.3	7.9	8.4
東経(m)	4.0	5.1	5.3	4.8

表 8. 2015 年におけるアドバンテスト・ビオトープ内の気温の季節変化

2015 年 4 月 27 日から 2015 年 10 月 28 日の間、ビオトープ内 10 地点（図 2）に温度データロガーを各一台設置し、30 分間隔で気温を連続測定した。得られたデータから月ごとの日平均気温、日最高気温、日最低気温の平均値（MEAN）と標準偏差（SD）を算出した。

日平均気温

月	M1. コモノ草畑		M2. 芝地		M3. 芝地		M4. ススキ畑		M5. ススキ畑		M6. 水田用水路		M7. 雑草		M8. 雑草		M9. 雑草		M10. 雑草	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
4	19.8	0.8	19.7	0.8	21.4	1.0	20.0	0.6	21.1	1.0	20.0	0.9	19.6	0.9	19.8	0.8	19.6	0.9	20.9	1.0
5	20.6	2.1	20.3	2.1	21.7	2.3	20.4	2.1	21.4	2.2	20.4	2.1	20.2	2.1	20.3	2.0	20.1	2.0	21.3	2.3
6	21.6	1.9	21.4	1.9	22.6	2.2	21.2	1.9	22.3	2.1	21.5	1.9	21.3	1.9	21.4	1.9	21.2	1.9	22.2	2.1
7	25.6	3.6	25.4	3.6	26.6	4.0	25.2	3.5	26.3	3.9	25.6	3.6	25.4	3.6	25.5	3.5	25.3	3.5	26.2	3.9
8	26.0	3.2	25.8	3.2	26.9	3.7	25.7	3.2	26.5	3.6	25.9	3.2	25.7	3.2	25.9	3.2	25.6	3.2	26.2	3.4
9	21.6	2.0	21.4	2.0	22.0	2.1	21.3	1.9	21.8	2.1	21.5	1.9	21.3	1.9	21.4	1.9	21.2	1.9	21.7	2.1
10	17.2	1.7	17.1	1.6	17.8	1.7	16.9	1.6	17.1	1.7	17.1	1.6	17.0	1.6	17.1	1.6	16.9	1.6	17.0	1.7

日最高気温

月	M1. コモノ草畑		M2. 芝地		M3. 芝地		M4. ススキ畑		M5. ススキ畑		M6. 水田用水路		M7. 雑草		M8. 雑草		M9. 雑草		M10. 雑草	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
4	29.0	2.1	27.9	2.5	30.8	2.3	29.6	2.4	30.2	2.2	27.6	2.8	26.8	2.5	27.4	2.3	27.1	2.8	32.9	3.6
5	27.6	2.9	26.7	2.8	29.7	2.9	27.8	3.2	28.7	2.9	26.2	2.8	25.9	2.8	26.4	2.7	25.8	2.8	31.1	5.3
6	26.6	3.3	26.0	3.2	28.6	3.5	25.9	3.3	27.9	3.4	25.8	3.0	25.4	3.0	25.7	2.9	25.4	3.1	29.7	5.2
7	29.8	5.2	29.5	5.2	31.6	5.6	29.1	5.2	31.0	5.5	29.3	5.2	29.0	5.1	29.3	5.1	29.2	5.2	32.1	6.9
8	30.5	5.4	29.9	5.1	32.4	6.0	30.1	5.5	31.5	5.7	29.6	5.0	29.4	5.1	29.9	5.1	29.4	5.1	30.5	5.2
9	25.5	3.5	24.9	3.2	27.0	4.2	24.9	3.2	26.0	3.7	24.7	3.0	24.4	3.0	25.1	3.1	24.5	3.1	25.5	3.6
10	22.7	3.3	22.3	2.8	24.5	3.5	22.2	2.9	22.7	2.9	21.6	2.7	21.4	2.8	22.5	3.0	21.5	2.8	21.9	2.7

表 8 (続) . 2015 年におけるアドバンテスト・ビオトープ内の気温の季節変化

2015 年 4 月 27 日から 2015 年 10 月 28 日の間、ビオトープ内 10 地点 (図 2) に温度データロガーを各一台設置し、30 分間隔で気温を連続測定した。得られたデータから月ごとの日平均気温、日最高気温、日最低気温の平均値 (MEAN) と標準偏差 (SD) を算出した。

日最低気温																				
月	N01.ヨモギ草原		N03芝地		N010芝地		N06スキキ草原		N09スキキ草原		N02水辺低木林		N04林床		N05林床		N07林床		N08林床	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
15-4	12.9	1.4	12.9	1.1	12.4	1.4	13.1	1.2	12.6	1.2	13.2	1.1	13.2	1.0	13.1	1.4	13.0	1.3	12.9	1.3
5	14.4	3.0	14.5	2.9	14.1	3.2	14.5	2.9	14.3	3.0	14.7	2.9	14.8	2.8	14.8	2.8	14.7	2.8	14.4	2.9
6	17.8	2.0	17.9	2.0	17.7	2.1	17.8	2.0	17.8	2.0	17.9	2.0	18.0	2.0	18.0	1.9	17.9	2.0	17.8	2.0
7	22.2	2.6	22.2	2.6	22.2	2.5	22.2	2.5	22.2	2.5	22.3	2.6	22.4	2.6	22.4	2.6	22.4	2.6	22.2	2.6
8	22.8	2.2	22.8	2.2	22.7	2.1	22.8	2.1	22.7	2.1	22.9	2.2	22.9	2.2	23.0	2.2	22.9	2.1	22.8	2.1
9	18.7	2.0	18.7	2.0	18.6	2.1	18.6	1.9	18.6	2.0	18.8	2.0	18.8	1.9	18.8	1.9	18.8	1.9	18.7	2.0
10	13.0	2.1	13.1	2.1	12.8	2.2	12.9	2.2	12.9	2.2	13.2	2.0	13.4	2.0	13.3	2.1	13.4	2.0	13.0	2.1

表 9. アドバンテスト・ビオトープ内の気温の経年変化

2003年4月27日から2015年10月28日の過去12年間にわたって、アドバンテスト・ビオトープ内3地点（図2）で計測してきた気温のデータを取りまとめた。各地点に温度データロガーを各一台設置し、30分間隔で気温を連続測定した。得られたデータから月ごとの日平均気温の平均値（MEAN）と標準偏差（SD）を算出した。横棒はデータロガーの故障によりデータがないことを示す。

N01. ヨモギ草原

	4月		7月		8月		9月	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
2003	17.6	1.5	22.4	1.1	26.2	2.3	23.9	3.4
2004	16.3	2.9	28.0	2.2	26.2	3.2	23.9	2.5
2005	13.5	3.7	23.7	2.8	26.5	1.9	23.1	2.7
2006	15.2	2.0	25.2	2.3	27.0	1.7	22.6	2.4
2007	14.2	2.6	23.3	1.9	27.5	2.4	25.7	6.3
2008	15.4	2.5	28.7	2.0	28.6	3.0	24.9	3.4
2009	13.8	2.6	25.0	2.1	24.7	1.7	21.0	1.4
2010	12.0	4.5	27.1	2.3	28.6	1.3	24.2	4.7
2011	12.7	3.5	26.9	2.5	26.3	3.0	23.4	3.8
2012	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	12.7	3.0	25.8	2.1	27.6	2.0	22.9	2.7
2015	19.8	0.8	25.6	3.6	26.0	3.2	21.6	2.0

N05. 林床

	4月		7月		8月		9月	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
2003	16.9	1.5	21.9	1.9	24.9	3.0	22.8	4.1
2004	16.2	2.7	27.7	2.1	25.9	3.0	23.6	2.2
2005	11.9	1.9	24.2	1.8	27.9	1.7	24.8	2.1
2006	-	-	24.6	2.2	27.0	1.9	22.7	2.6
2007	14.8	2.8	23.4	1.9	27.7	2.4	24.0	3.2
2008	13.5	2.3	26.0	1.9	25.2	3.0	22.3	3.0
2009	14.2	2.8	25.0	2.0	25.1	1.8	21.4	1.4
2010	11.3	3.4	26.2	2.3	28.4	1.5	23.9	4.7
2011	12.5	3.1	26.3	2.5	25.9	2.9	23.2	3.8
2012	13.0	3.6	25.5	3.3	28.1	1.1	24.8	2.4
2013	12.7	3.0	25.3	2.0	27.1	2.0	22.6	2.7
2015	19.8	0.8	25.5	3.5	25.9	3.2	21.4	1.9

表 9 (続) . アドバンテスト・ビオトープ内の気温の経年変化

2003 年 4 月 27 日から 2015 年 10 月 28 日の過去 12 年間にわたって、アドバンテスト・ビオトープ内 3 地点 (図 2) で計測してきた気温のデータをとりまとめた。各地点に温度データロガーを各一台設置し、30 分間隔で気温を連続測定した。得られたデータから月ごとの日平均気温の平均値 (MEAN) と標準偏差 (SD) を算出した。棒はデータロガーの故障によりデータがないことを示す。

N09. ススキ草原

	4月		7月		8月		9月	
	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
2003	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	16.5	2.9	28.4	2.2	26.6	3.4	24.2	2.6
2005	14.7	4.0	24.3	2.7	26.6	0.8	24.3	1.4
2006	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	14.5	2.9	25.5	2.2	25.8	1.9	22.1	1.8
2010	-	-	27.2	1.6	28.4	1.4	24.2	4.8
2011	12.7	3.1	27.0	2.8	26.4	3.1	24.4	3.7
2012	13.6	3.8	27.5	3.7	29.4	1.3	25.4	2.9
2013	13.4	3.1	25.5	2.0	27.3	2.0	22.9	2.7
2015	21.1	1.0	26.3	3.9	26.5	3.6	21.8	2.1

表 10. アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ生育地 2 地点における相対光量子密度一覧
 各測定地点の一覧は図 2 を参照。各地点で 4 回ずつ測定し、直近の裸地での測定値を 100%として各地点の光量子密度を相対値で表した。

2015年	光量子密度 ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			相対光量子密度 (%)	
	裸地	右岸(自生)	左岸(植栽)	右岸(自生)	左岸(植栽)
5月20日	1019.9	1019.9	184.9	100.0	18.1
9月14日	446.2	371.8	246.5	83.3	55.2

表 11. 矢場川自然再生地のフジバカマ生育地の 5 地点における相対光量子密度一覧
各地点で 4 回ずつ測定し、直近の裸地での測定値を 100%として各地点の光量子密度を相対値で表した。

2015年	光量子密度 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)				相対光量子密度 (%)		
	裸地	土手の上A, B, C	植栽地(上流)	植栽地(下流)	土手の上A, B, C	植栽地(上流)	植栽地(下流)
5月20日	1969.0	1969.0	715.4	545.4	100.0	36.3	27.7
9月14日	1636.1	1636.1	587.9	340.0	100.0	35.9	20.8

表 12. アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ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・ビオトープ内のフジバカマが生育しているせせらぎ下流の 2 地点 (図 2) において土壌含水率を測定した。各地点 3 回測定を行い、その平均値から体積土壌含水率を算出した。左岸では盛り土斜面の上と下の 2 ヶ所を測定した。n=3。

2015年	体積土壌含水率(m ³ .m ⁻³)			SD		
	右岸(自生)	左岸(植栽) (盛り土の上)	左岸(植栽) (盛り土の下)	右岸(自生)	左岸(植栽) (盛り土の上)	左岸(植栽) (盛り土の下)
5月20日	0.67	0.27	0.27	0.04	0.03	0.04
6月24日	0.89	0.40	0.39	0.01	0.03	0.00
9月14日	0.65	0.41	0.38	0.01	0.02	0.07

表 13. チノー・ビオトープ内のフジバカマ生育地の体積土壌含水率の季節変化一覧

チノー・ビオトープ内のフジバカマを植栽した 2 地点およびフジバカマの生育が不良であった 1 地点の計 3 地点 (図 3) において土壌含水率を測定した。各地点 3 回測定を行い、その平均値から体積土壌含水率を算出した。n=3。

2015年	体積土壌含水率 (m ³ .m ⁻³)			SD		
	せせらぎ横	トンボの池南側	失敗地点	せせらぎ横	トンボの池南側	失敗地点
5月25日	0.27	0.40	0.11	0.09	0.12	0.05
6月22日	0.47	0.45	0.36	0.08	0.03	0.06
9月16日	0.22	-	-	0.04	-	-
10月22日	0.16	0.43	-	0.03	0.13	-

表 14. 矢場川自然再生地のフジバカマ生育地の体積土壌含水率の季節変化一覧

矢場川自然再生地のフジバカマを植栽した 2 地点およびフジバカマが自生している 3 地点の計 5 地点において土壌含水率を測定した。各地点 3 回測定を行い、その平均値から体積土壌含水率を算出した。n=3。

2015年	体積土壌含水率 (m ³ .m ⁻³)				
	自生地(土手の上A)	自生地(土手の上B)	自生地(土手の上C)	植栽地(上流)	植栽地(下流)
5月20日	0.24	0.22	0.29	0.34	0.32
6月24日	0.39	0.26	0.37	0.45	0.43
9月14日	0.35	0.23	0.30	0.56	0.50

2015年	SD				
	自生地(土手の上A)	自生地(土手の上B)	自生地(土手の上C)	植栽地(上流)	植栽地(下流)
5月20日	0.06	0.04	0.06	0.08	0.02
6月24日	0.03	0.05	0.04	0.06	0.00
9月14日	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04

表 15. フジバカマ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシの発芽実験における最終発芽率一覧

フジバカマ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシの種子には冷湿処理を施さず、25/13℃（昼 14hr、夜 10hr）に設定した温度勾配型恒温器内で、60 日間培養した。

イヌトウバナの種子には 2 ヶ月間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、67 日間培養した。

冷室処理なし

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
フジバカマ	アドバンテスト・ピオトープ	25/13℃	44.7	11.7
イヌトウバナ	アドバンテスト・ピオトープ		74.0	7.2
ミゾコウジュ	アドバンテスト・ピオトープ		97.0	2.1
	チノー・ピオトープ		94.7	4.5
コギシギシ	チノー・ピオトープ		96.7	2.7

冷室処理あり

和名	採取場所	温度	最終発芽率(%)	SD
イヌトウバナ	アドバンテスト・ピオトープ	30/15℃	67.3	4.2
		25/13℃	72.7	4.2
		22/10℃	72.7	11.0
		17/8℃	66.7	11.0
		10/6℃	60.0	11.1

表 16. フジバカマ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシの個体あたり乾燥重量一覧

フジバカマ	個体乾燥重量 (g)						SD					
	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区
2015年8月31日	0.054	0.079	0.159	0.177	0.222	0.262	0.048	0.071	0.131	0.157	0.220	0.288

イヌトウバナ	個体乾燥重量 (g)						SD					
	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区
2015年9月4日	0.045	0.067	0.176	0.187	0.097	0.144	0.009	0.019	0.068	0.059	0.020	0.046

ミゾコウジュ	個体乾燥重量 (g)						SD					
	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区
2015年8月31日	0.074	0.089	0.165	0.194	0.261	0.209	0.030	0.029	0.056	0.067	0.047	0.068

コギシギシ	個体乾燥重量 (g)						SD					
	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区	初期 サンプル	3%区	9%区	13%区	100%区	2°C上昇区
2015年7月18日	0.103	0.100	0.156	0.180	0.478	0.381	0.043	0.049	0.049	0.074	0.141	0.151

表 17. フジバカマ、イヌトウバナ、ミゾコウジュ、コギシギシの生長解析の結果一覧

フジバカマ

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%	0.015	0.028	0.513	0.064	0.008	0.004	0.232	0.004
9%	0.053	0.024	2.266	0.051	0.014	0.005	0.387	0.008
13%	0.054	0.023	2.499	0.054	0.012	0.006	0.674	0.012
100%	0.061	0.016	4.703	0.028	0.018	0.003	1.789	0.004
2℃上昇区	0.062	0.017	4.372	0.035	0.013	0.002	1.301	0.004

イヌトウバナ

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%	0.010	0.034	0.305	0.073	0.003	0.003	0.088	0.007
9%	0.036	0.032	1.142	0.057	0.005	0.002	0.165	0.007
13%	0.038	0.029	1.386	0.044	0.004	0.002	0.152	0.004
100%	0.021	0.022	1.146	0.022	0.002	0.002	0.139	0.002
2℃上昇区	0.031	0.025	1.386	0.030	0.004	0.002	0.207	0.003

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%	0.014	0.037	0.435	0.070	0.008	0.014	0.268	0.043
9%	0.040	0.026	1.656	0.039	0.006	0.004	0.335	0.014
13%	0.046	0.024	2.095	0.033	0.008	0.003	0.610	0.009
100%	0.060	0.022	3.460	0.030	0.004	0.005	1.240	0.016
2℃上昇区	0.051	0.023	2.495	0.032	0.009	0.003	0.646	0.004

コギシギシ

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%	-0.006	0.036	-0.144	0.098	0.013	0.005	0.355	0.013
9%	0.032	0.035	0.893	0.086	0.008	0.005	0.185	0.006
13%	0.039	0.034	1.174	0.086	0.007	0.005	0.280	0.006
100%	0.112	0.021	6.802	0.044	0.010	0.003	0.716	0.003
2℃上昇区	0.094	0.027	3.769	0.071	0.005	0.003	0.490	0.005

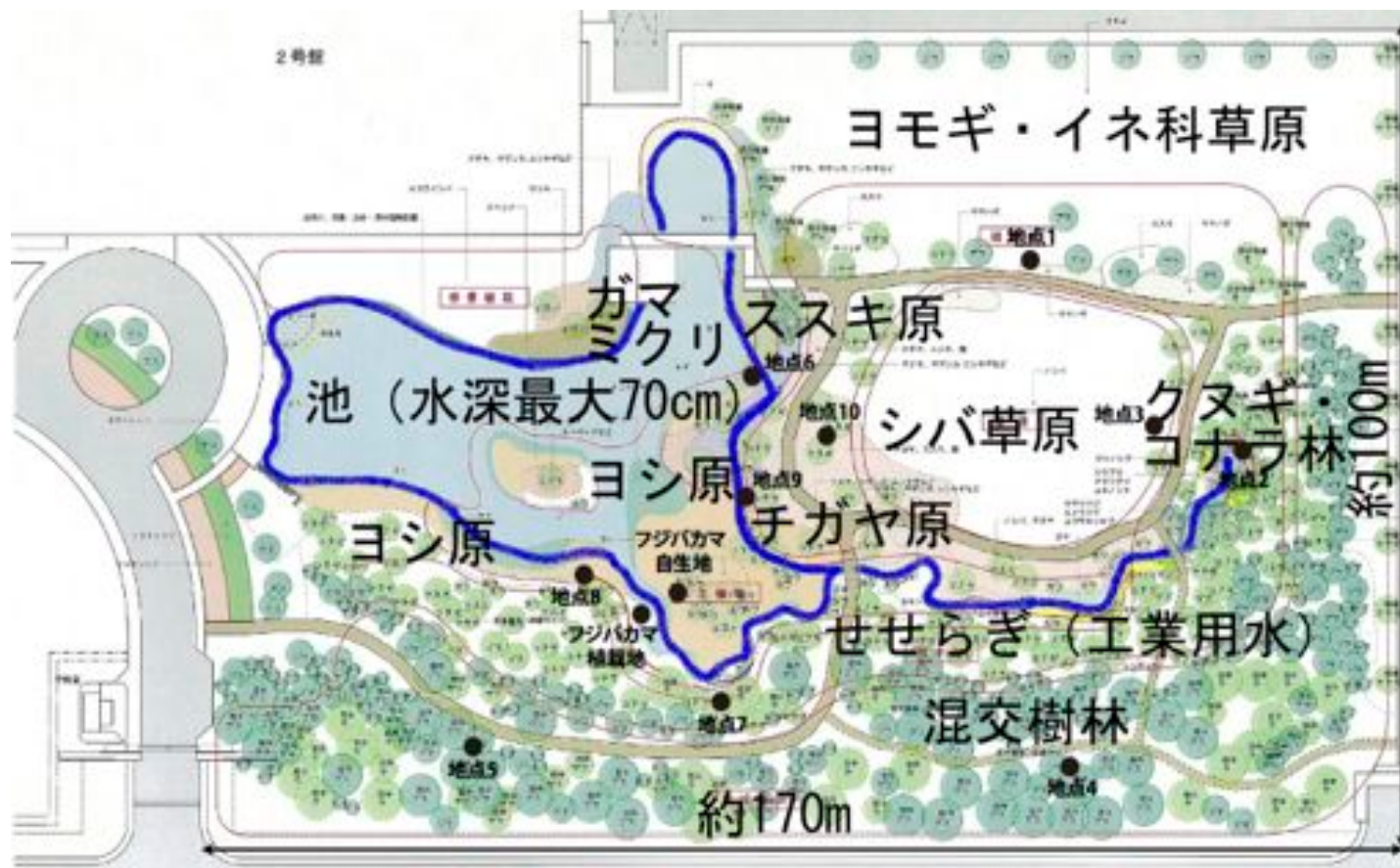


図2. アドバンテテスト・ビオトープ見取り図

地点番号 1～10 は、本年度気温を測定した地点を示す。また、フジバカマ自生地（右岸）およびフジバカマ植栽地（左岸 上・下）において光量子密度、土壌含水率を測定した。



図 3. チノー・ビオトープ見取り図

2015年5月25日の調査の際に、本ビオトープ内のトンボの池にトチカガミを移植した。また、フジバカマ植栽地（せせらぎ横、トンボの池南側）およびフジバカマ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。

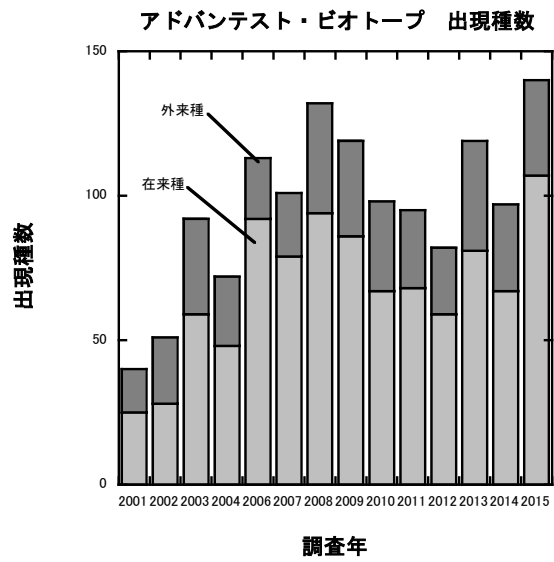


図 5. アドバンテスト・ピオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化
2005 年度は調査していない。

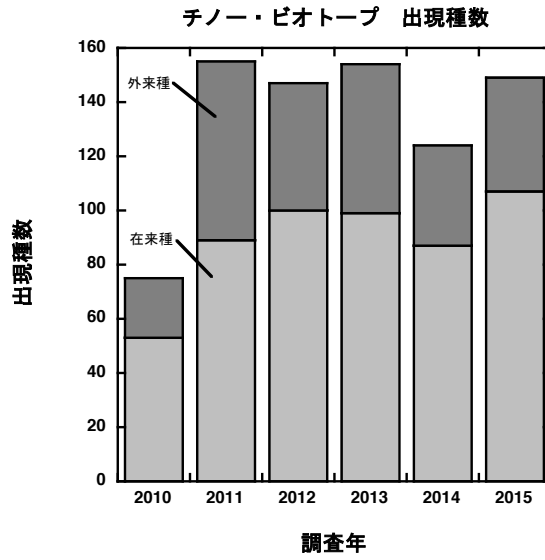


図 6. チノー・ビオトープにおいて生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

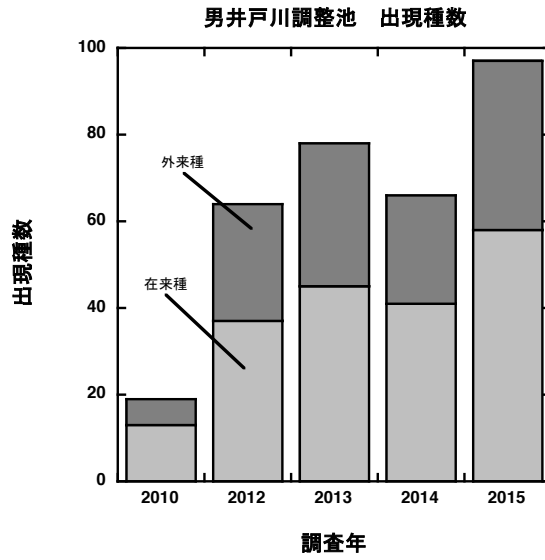


図 7. 男井戸川調整池において生育が確認された在来植物と外来植物の種数の経年変化

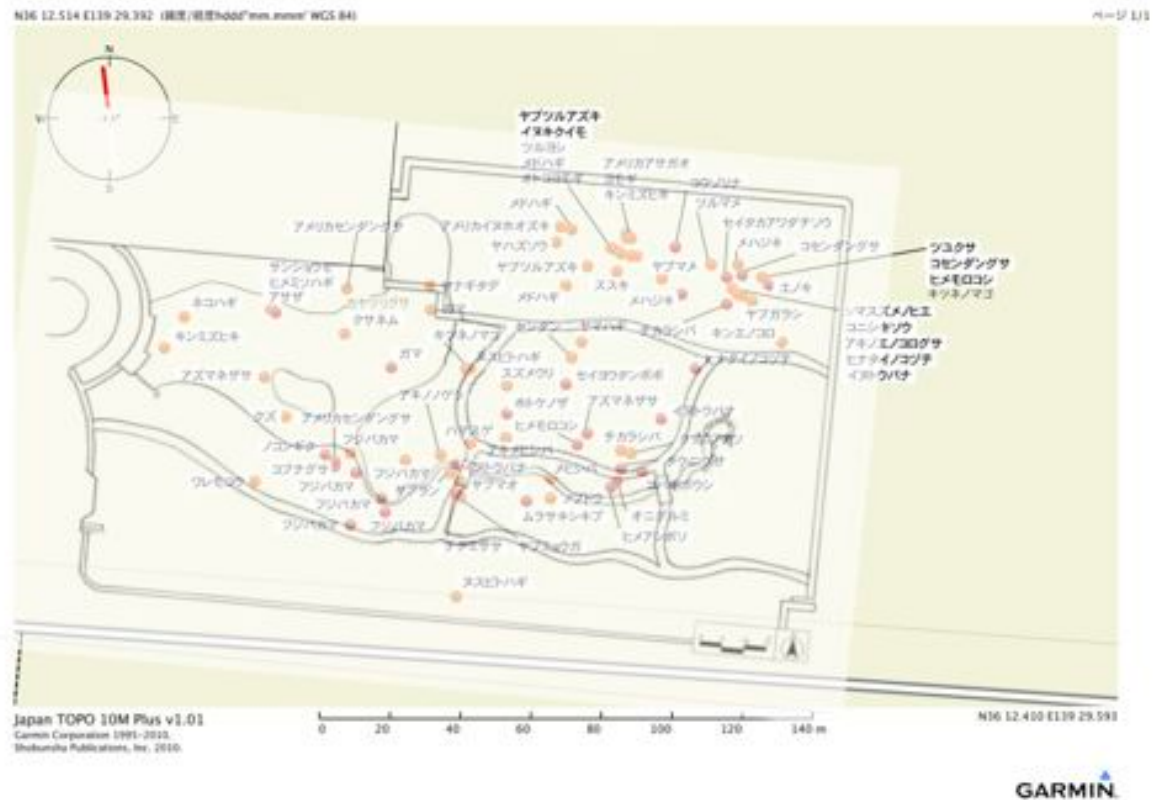


図9. アドバンテスト・ビオトープ 出現植物マップ (秋)

2015年9月14日、10月29日の調査の際、iPhone5sのカメラで植物について写真を撮影すると同時にGPS機能を用いて緯度経度の位置情報を自動記録し、これらの情報をもとに作成した。

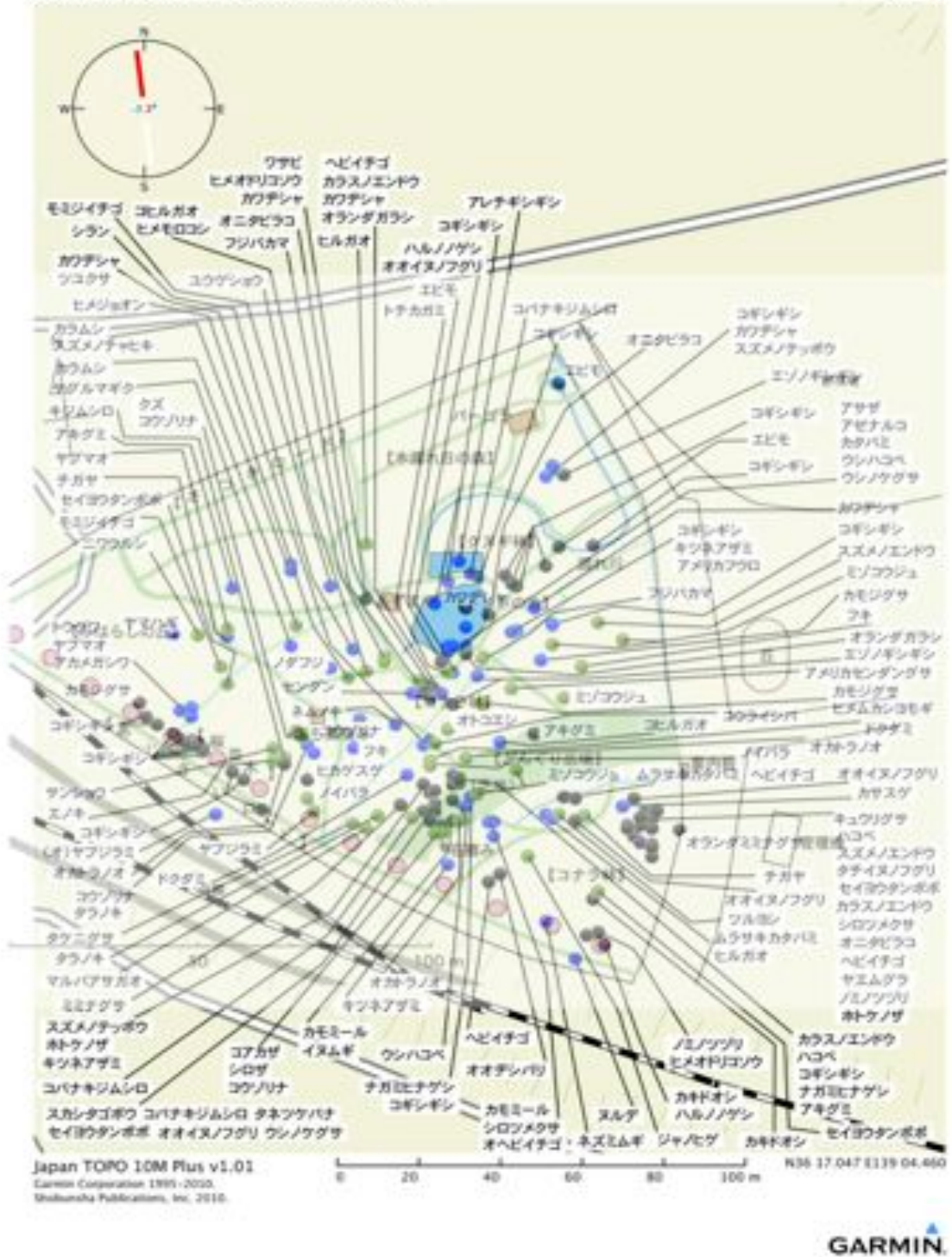


図 10. チノー・ビオトープ 出現植物マップ (春)

2015年4月22日、5月25日、6月22日の調査の際、iPhone5sのカメラで植物について写真を撮影すると同時にGPS機能を用いて緯度経度の位置情報を自動記録し、これらの情報をもとに作成した。

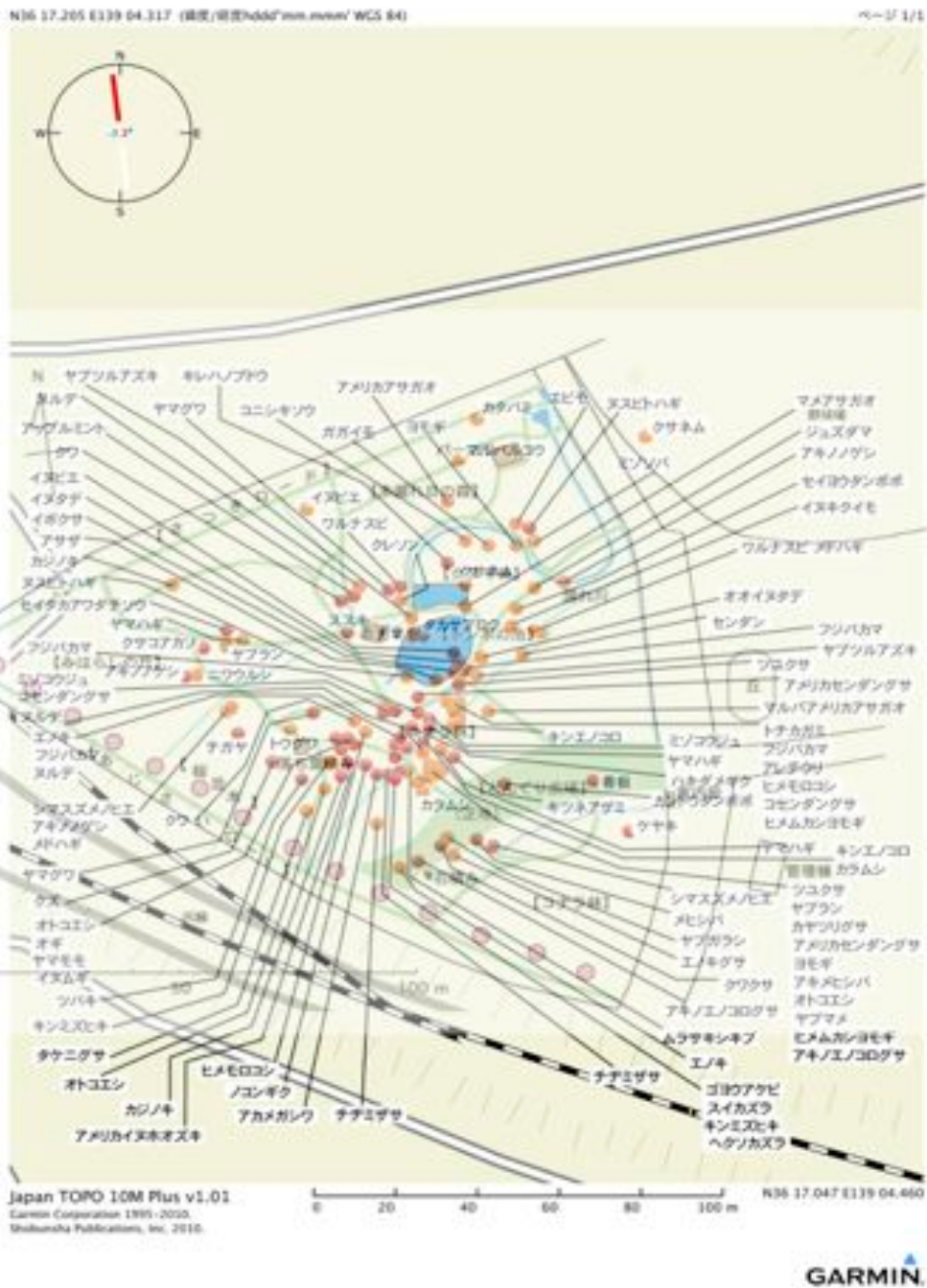


図 11. チノー・ビオトープ 出現植物マップ (秋)

2015年9月16日、10月22日の調査の際、iPhone5sのカメラで植物について写真を撮影すると同時にGPS機能を用いて緯度経度の位置情報を自動記録し、これらの情報をもとに作成した。

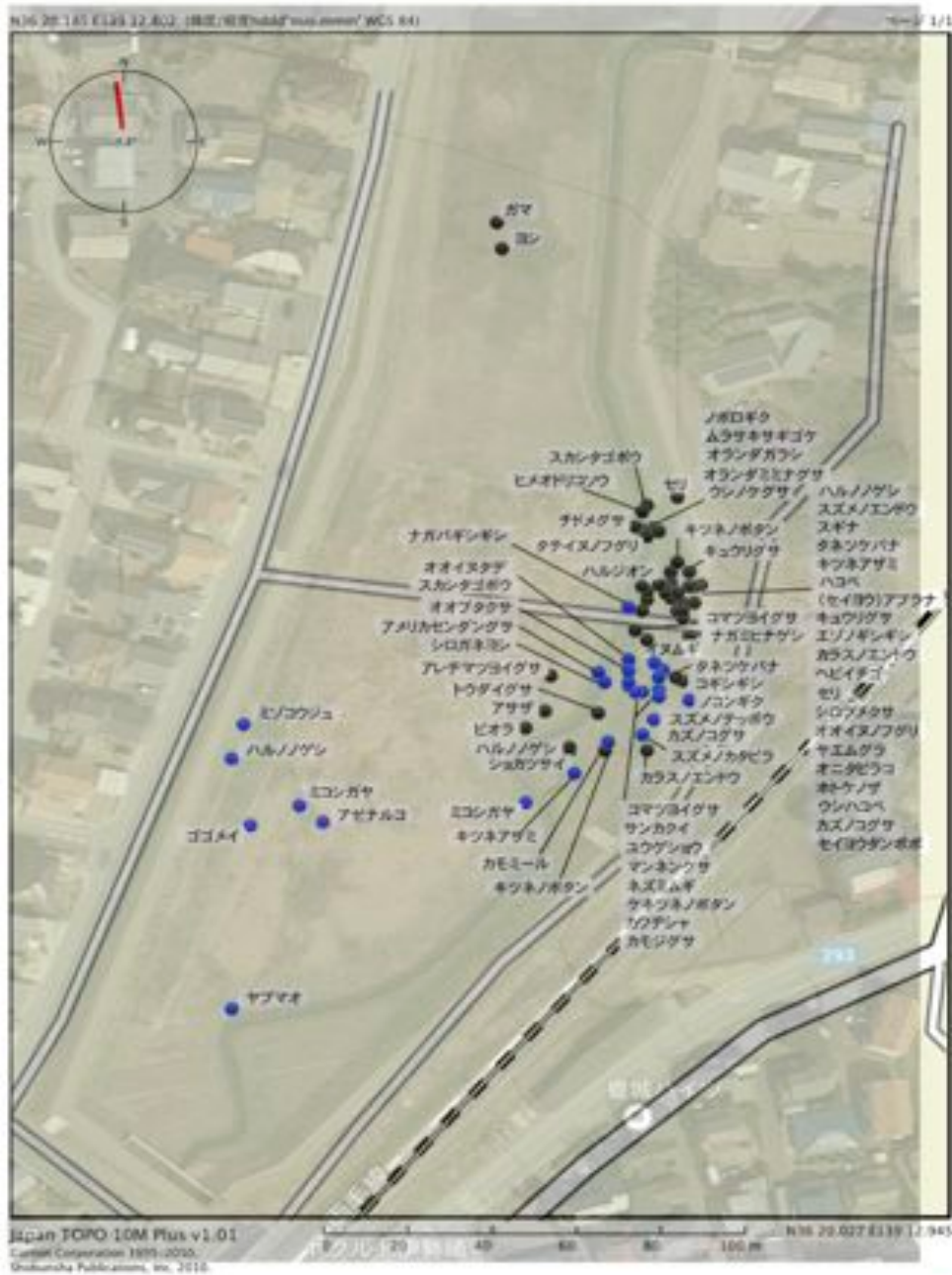


図 12. 男井戸川調整池 出現植物マップ (春)

2015年4月17日、5月30日の調査の際、iPhone5sのカメラで植物について写真を撮影すると同時にGPS機能を用いて緯度経度の位置情報を自動記録し、これらの情報をもとに作成した。

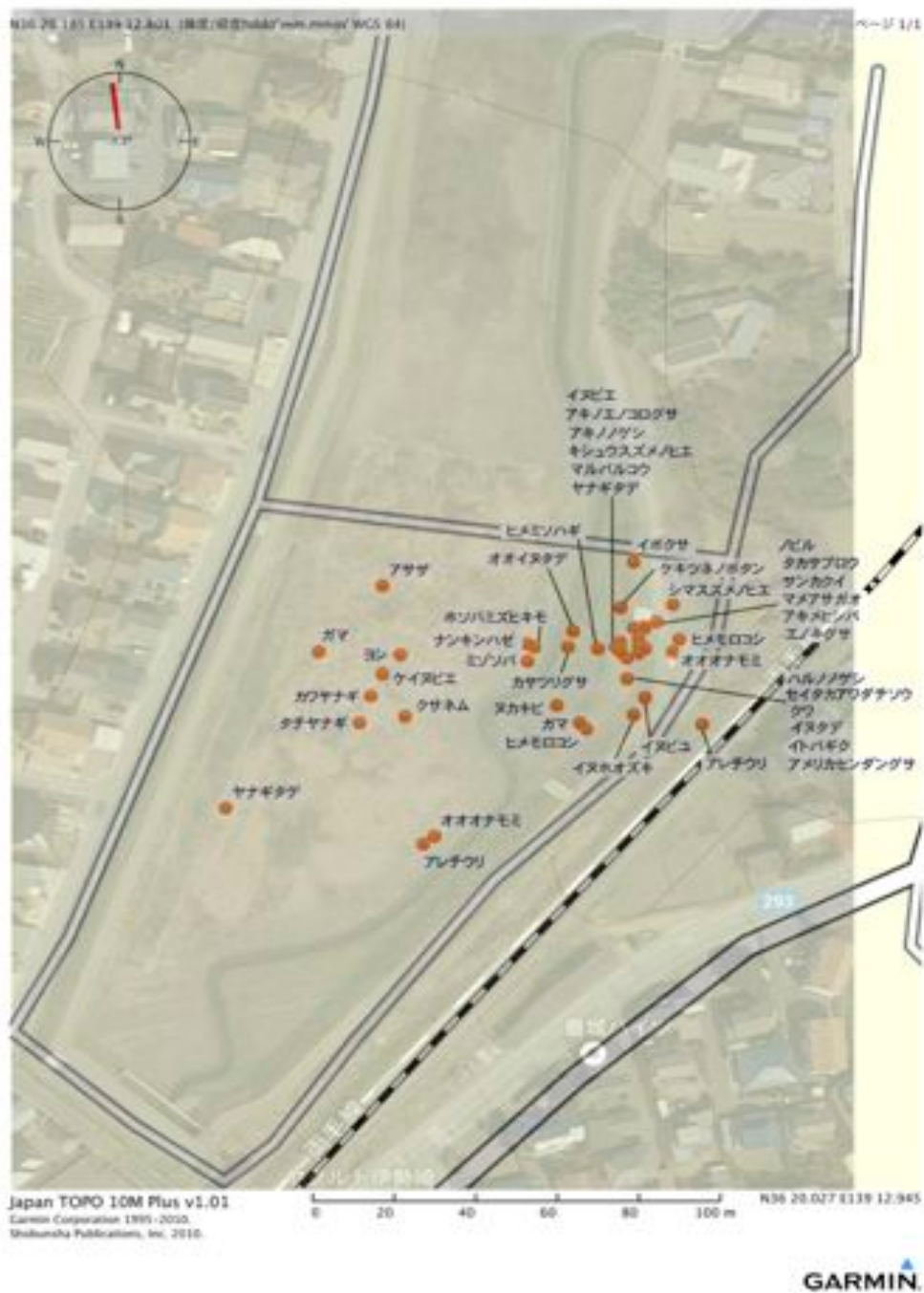


図 13. 男井戸川調整池 出現植物マップ (秋)

2015年9月16日の調査の際、iPhone5sのカメラで植物について写真を撮影すると同時にGPS機能を用いて緯度経度の位置情報を自動記録し、これらの情報をもとに作成した。

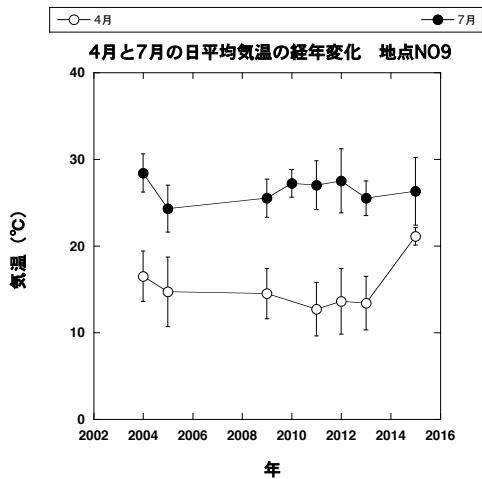
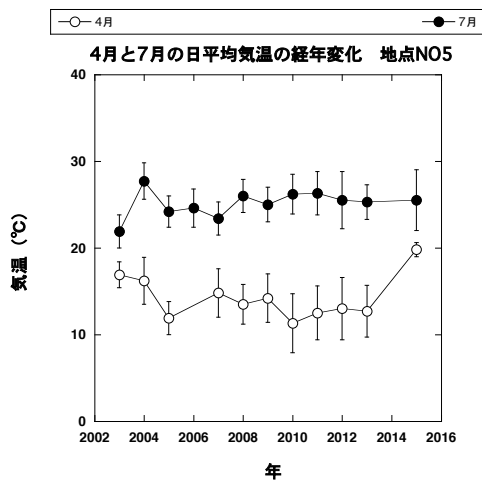
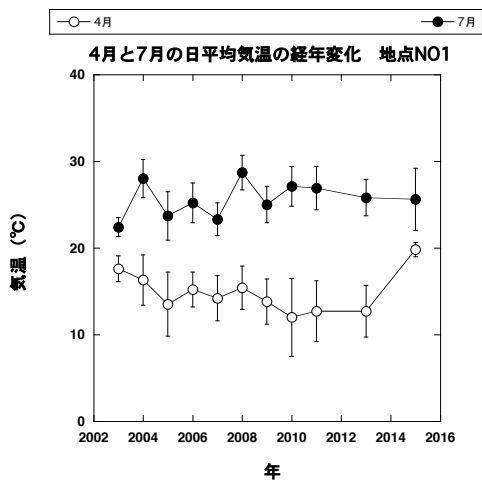


図 14. アドバンテスト・ビオトープにおける 4 月と 7 月の日平均気温の経年変化

2003 年 4 月 27 日から 2015 年 10 月 28 日の過去 12 年間にわたって、アドバンテスト・ビオトープ内 3 地点 (図 2) で計測してきた気温のデータをとりまとめた。そのうち 4 月と 7 月の日平均気温の経年変化を示す。

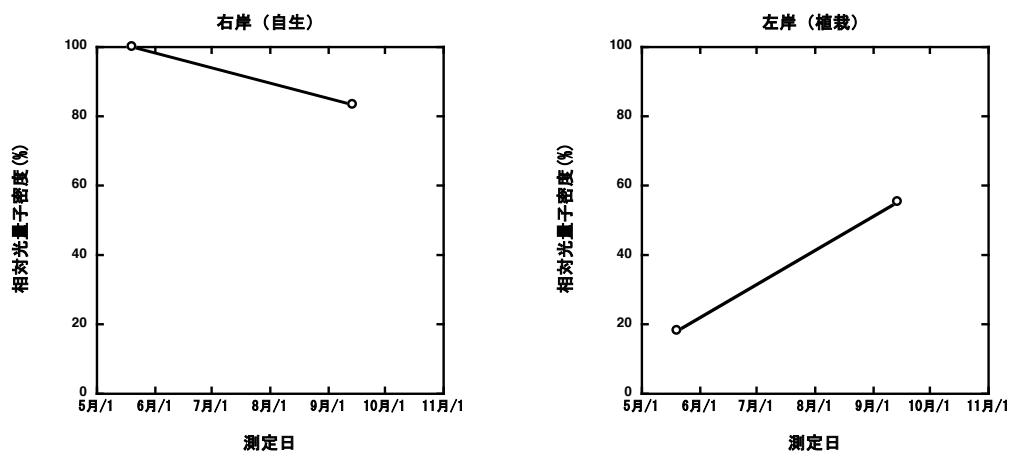


図 15. アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ生育地における相対光量子密度の季節変化

アドバンテスト・ビオトープ内せせらぎ下流のフジバカマを植栽した 1 地点とフジバカマが自生している 1 地点 (図 2) において光量子密度を測定した。各地点 4 回ずつ光量子密度を測定し、平均値を算出した。各地点での光量子密度の測定の前後に、同ビオトープ内の裸地で光量子密度を測定し、裸地の測定値を 100%として各地点の光量子密度との相対値を算出した。n=4。

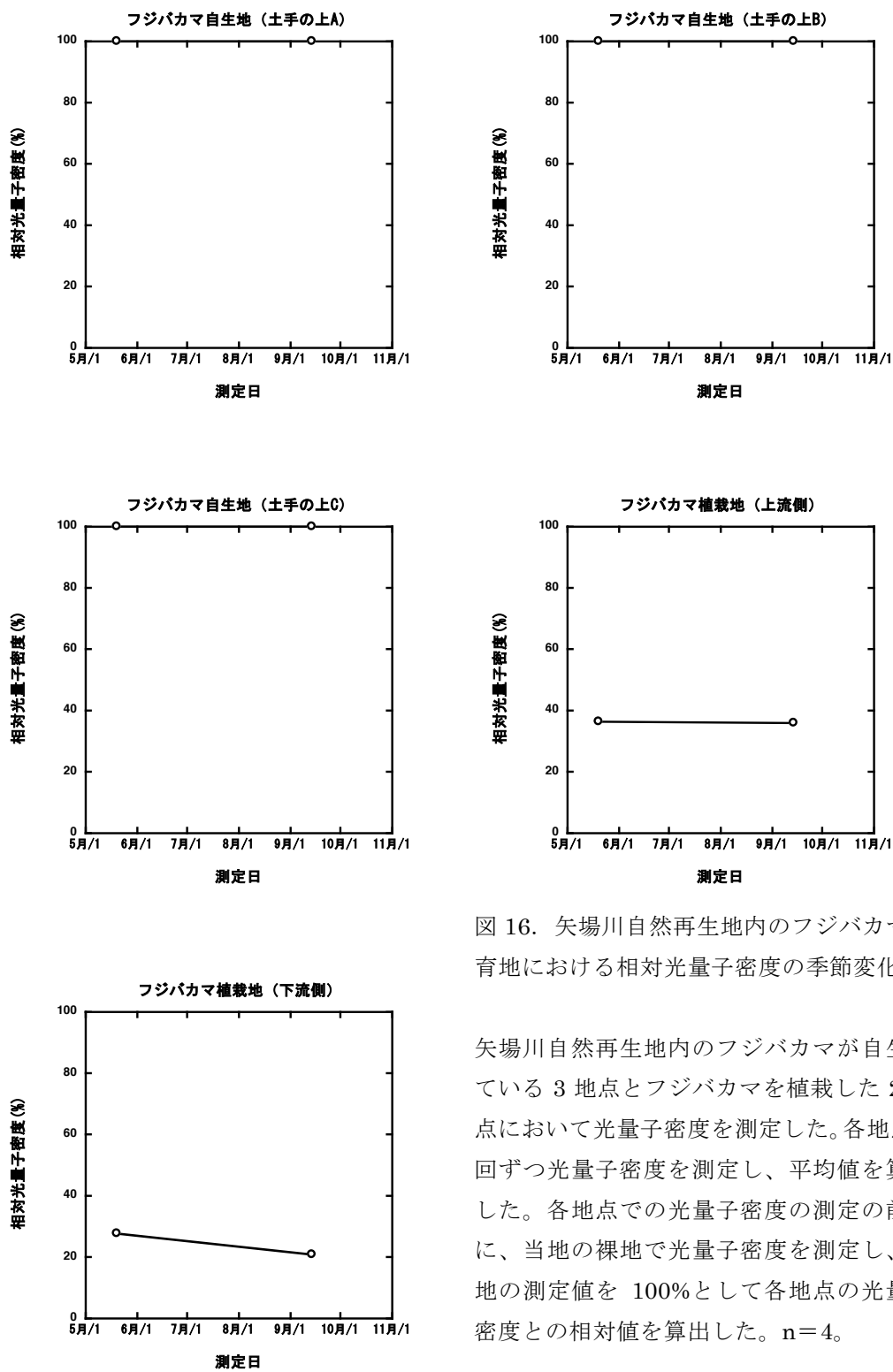


図 16. 矢場川自然再生地内のフジバカマ生育地における相対光量子密度の季節変化

矢場川自然再生地内のフジバカマが自生している 3 地点とフジバカマを植栽した 2 地点において光量子密度を測定した。各地点 4 回ずつ光量子密度を測定し、平均値を算出した。各地点での光量子密度の測定の前後に、当地の裸地で光量子密度を測定し、裸地の測定値を 100%として各地点の光量子密度との相対値を算出した。n=4。

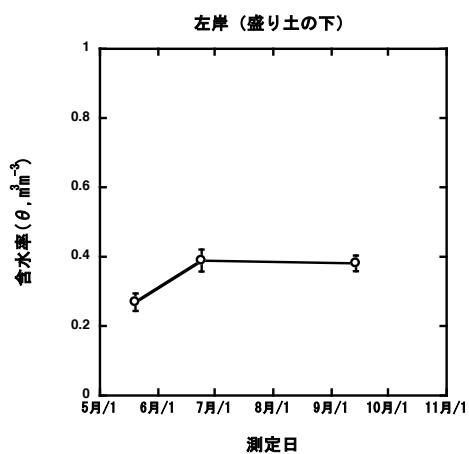
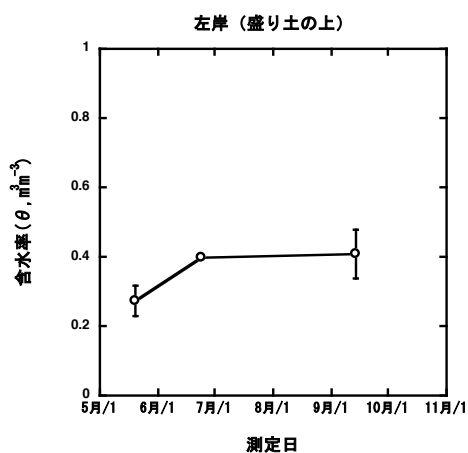
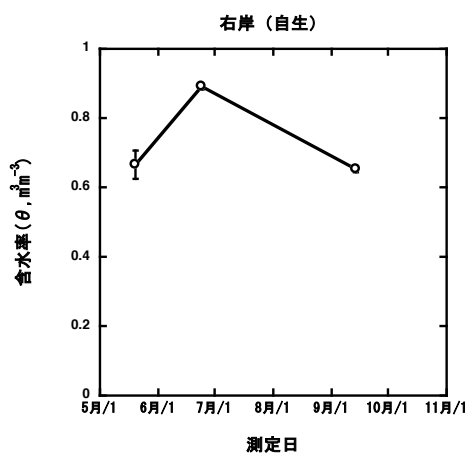


図 17. アドバンテスト・ビオトープ内のフジバカマ生育地の体積土壌含水率の季節変化

アドバンテスト・ビオトープ内せせらぎ下流のフジバカマを植栽した 1 地点とフジバカマが自生している 1 地点 (図 2) において土壌含水率を測定した。各地点 3 回ずつ測定を行い、その平均値から体積含水率を算出した。左岸では、盛り土の斜面の上、下の 2 ヶ所を測定した。縦棒は標準偏差。n=3。

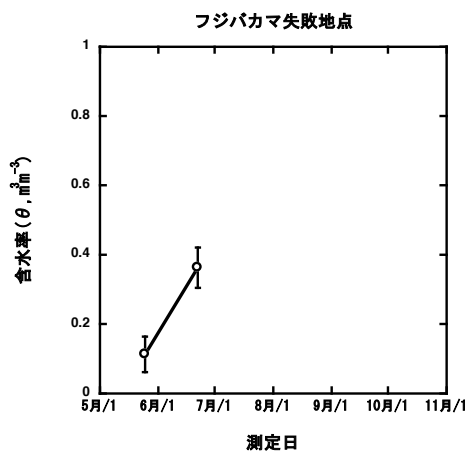
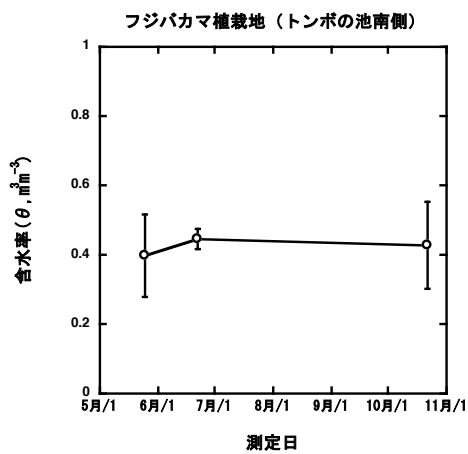
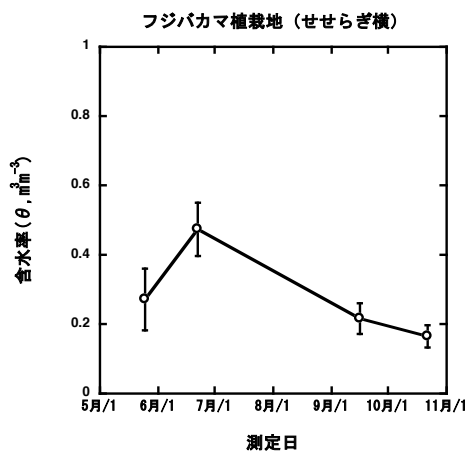


図 18. チノー・ビオトープ内のフジバカマ生育地の体積土壌含水率の季節変化

チノー・ビオトープ内のフジバカマを植栽した 2 地点 (せせらぎ横、トンボの池南側) とフジバカマの生育が不良であった 1 地点 (フジバカマ失敗地点) (図 3) において土壌含水率を測定した。各地点 3 回ずつ測定を行い、その平均値から体積含水率を算出した。n=3。

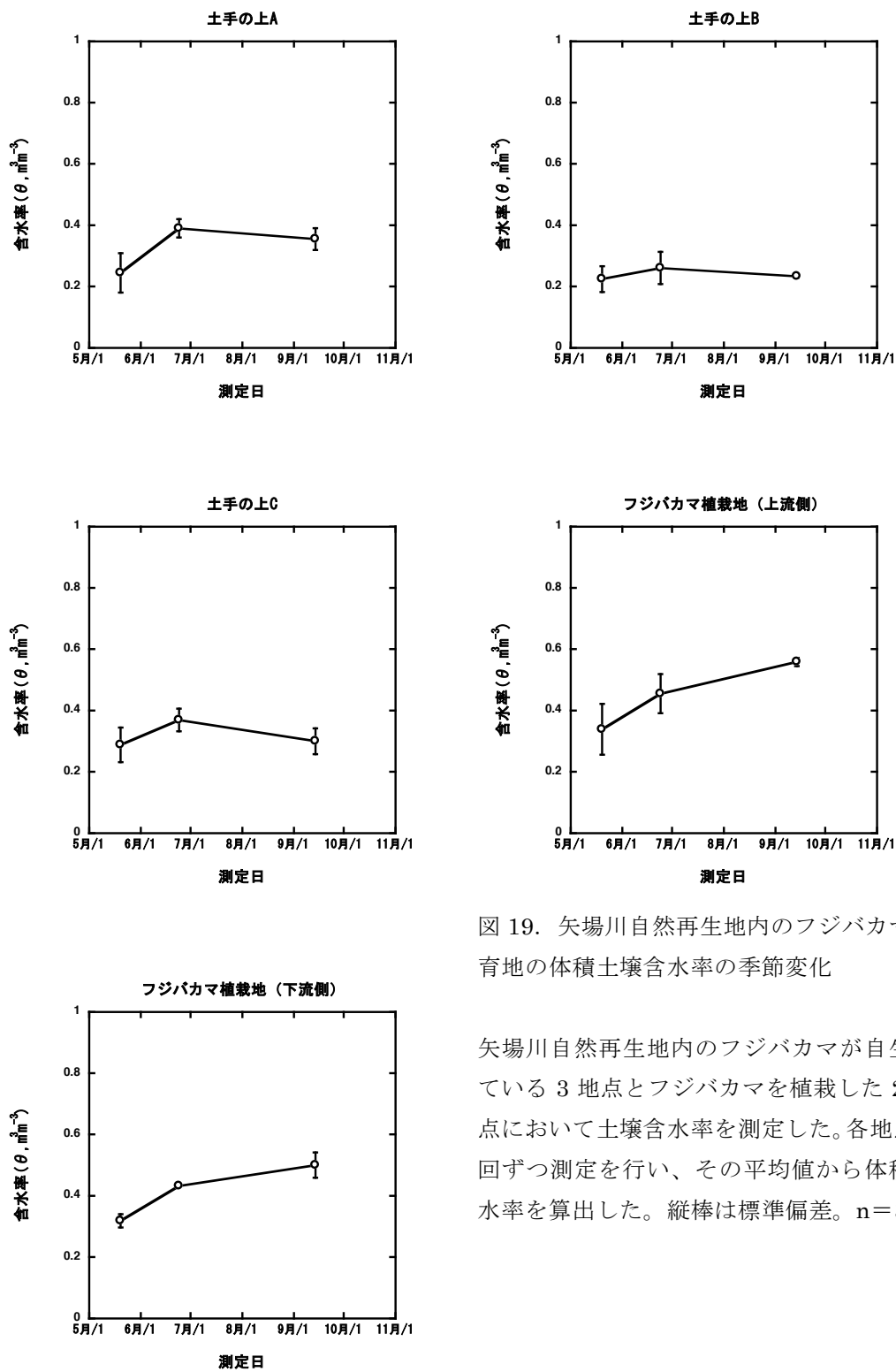


図 19. 矢場川自然再生地内のフジバカマ生育地の体積土壌含水率の季節変化

矢場川自然再生地内のフジバカマが自生している 3 地点とフジバカマを植栽した 2 地点において土壌含水率を測定した。各地点 3 回ずつ測定を行い、その平均値から体積含水率を算出した。縦棒は標準偏差。n=3。

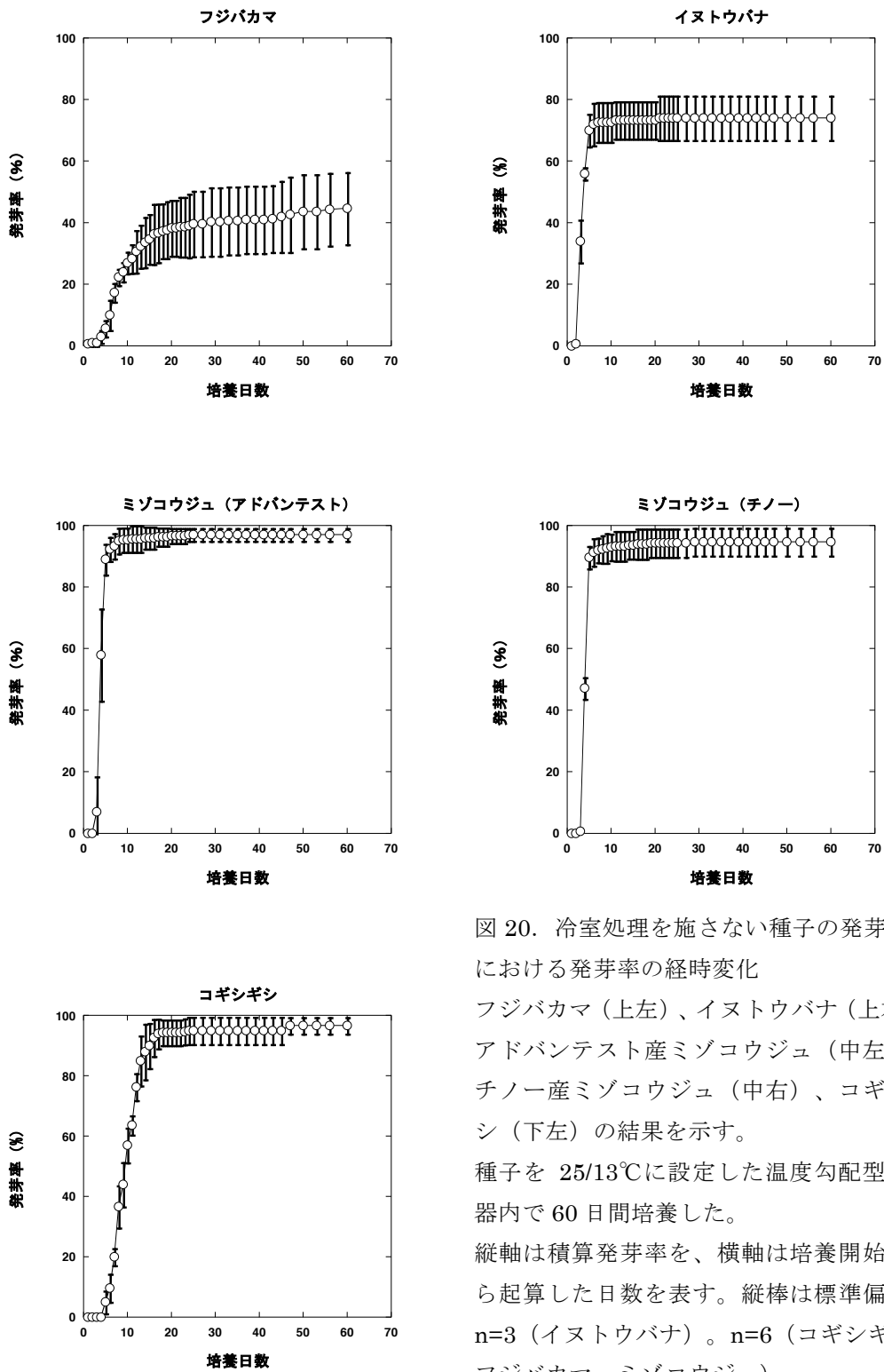


図 20. 冷室処理を施さない種子の発芽実験における発芽率の経時変化

フジバカマ (上左)、イヌトウバナ (上右)、アドバンテスト産ミゾコウジュ (中左)、チノー産ミゾコウジュ (中右)、コギシギシ (下左) の結果を示す。

種子を 25/13℃ に設定した温度勾配型恒温器内で 60 日間培養した。

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

n=3 (イヌトウバナ)。n=6 (コギシギシ、フジバカマ、ミゾコウジュ)。

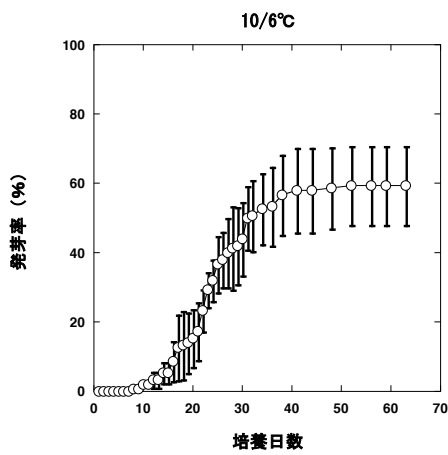
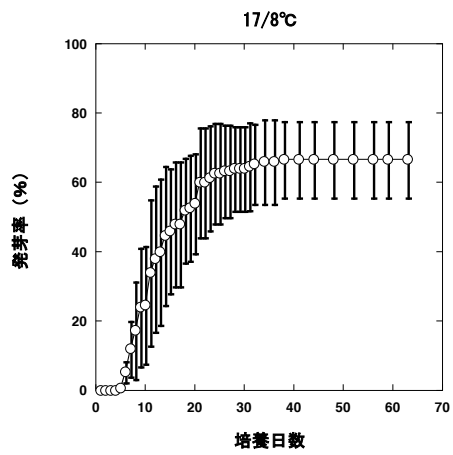
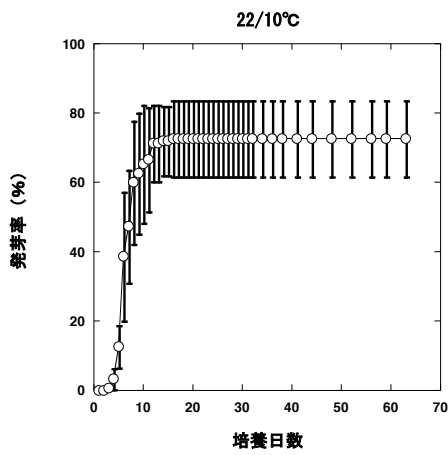
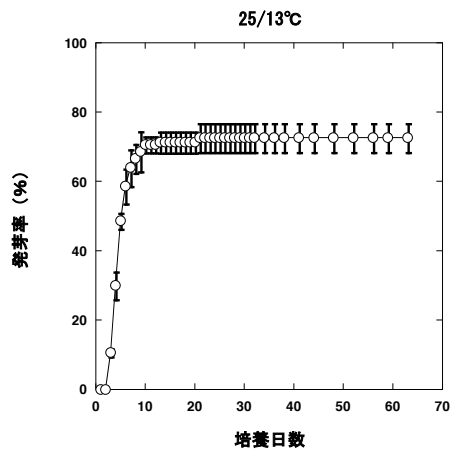
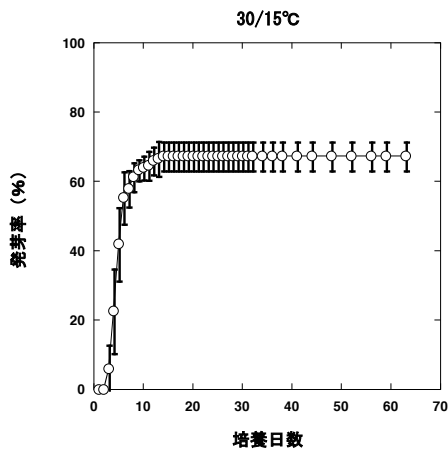


図 21. 冷湿処理を施したイヌトウバナの種子発芽率の経時変化

4°Cで、2ヶ月間冷湿処理を施した種子を用いて、温度条件を 30/15°C、25/13°C、22/10°C、17/8°C、10/6°Cに設定した温度勾配型恒温器内で 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。

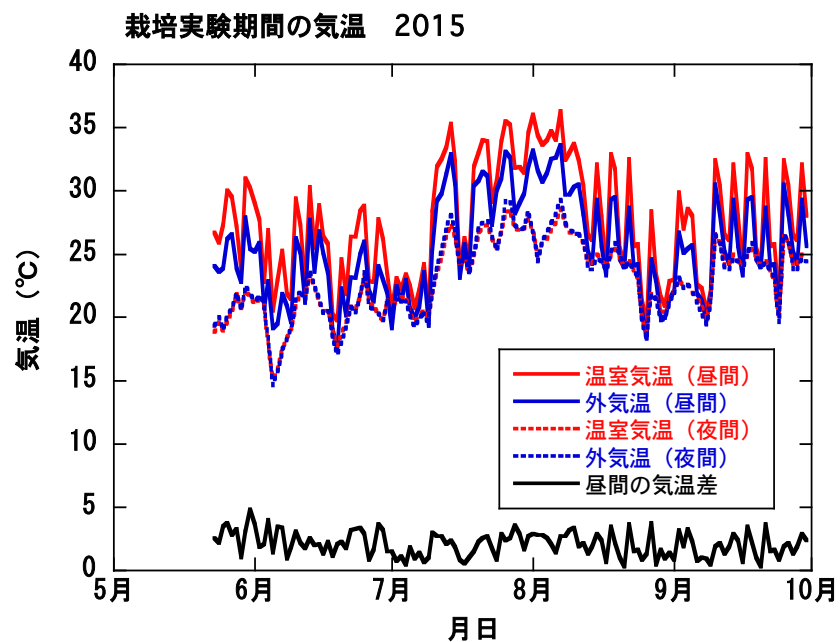


図 22. 群馬大学荒牧キャンパス内における栽培実験期間中の気温
 2015年5月23日から9月30日までの間、群馬大学荒牧キャンパス内圃場および温室で気温を測定した。昼間の温室気温、昼間の外気温、夜間の温室気温、夜間の外気温、昼間の気温差を示す。

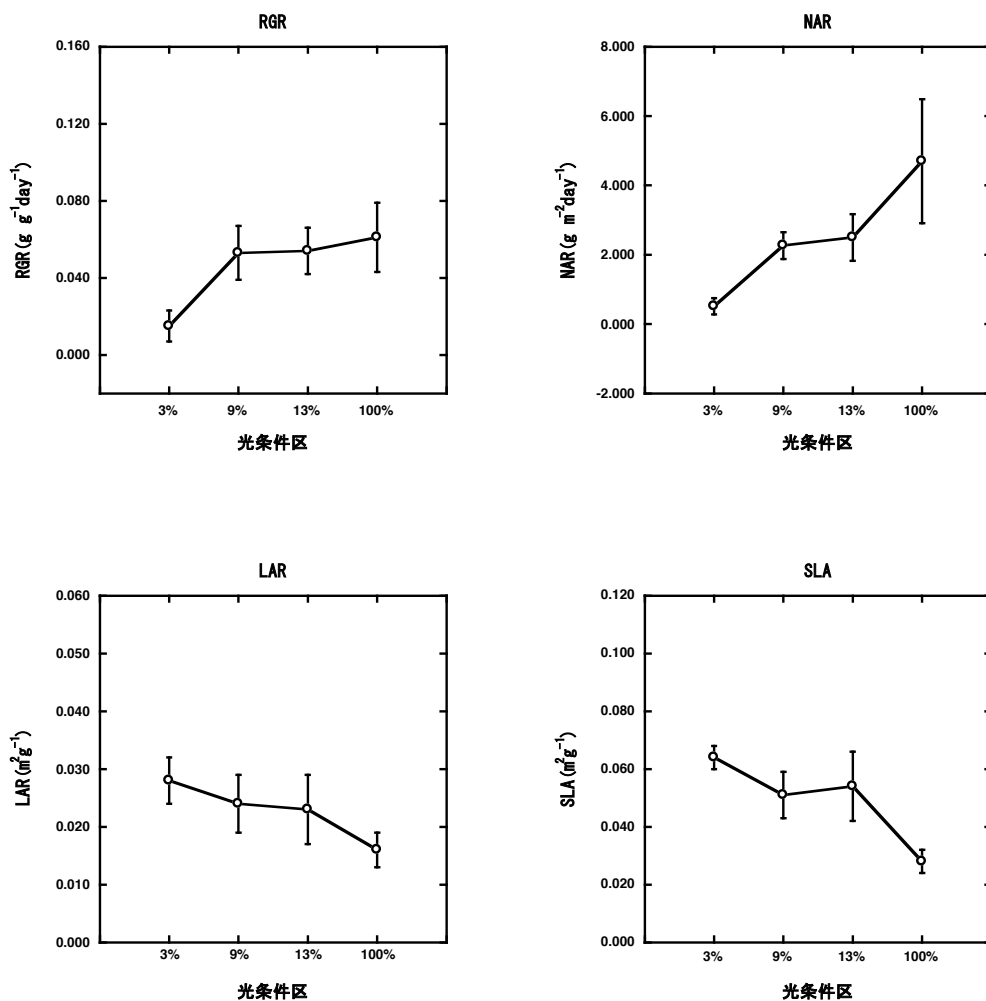
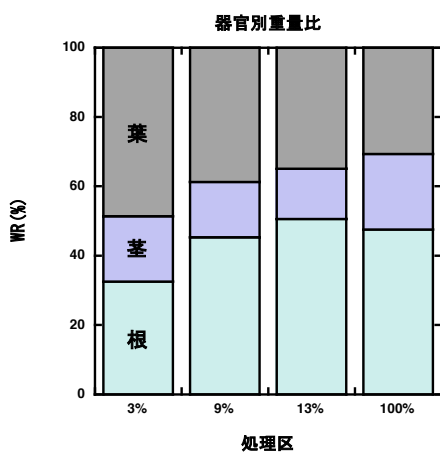


図 23. 異なる光条件下で栽培したフジバカマの生長解析結果



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 2015 年 7 月 28 日から 38 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=9。

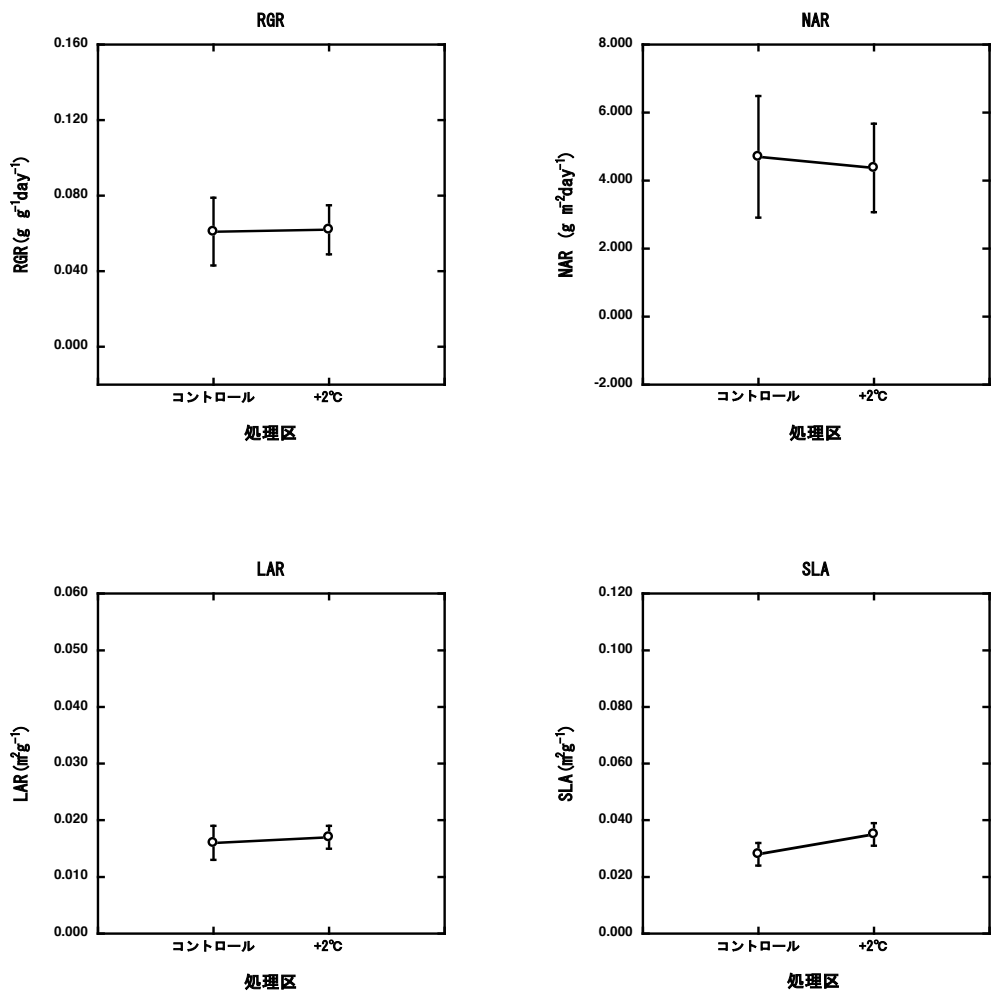
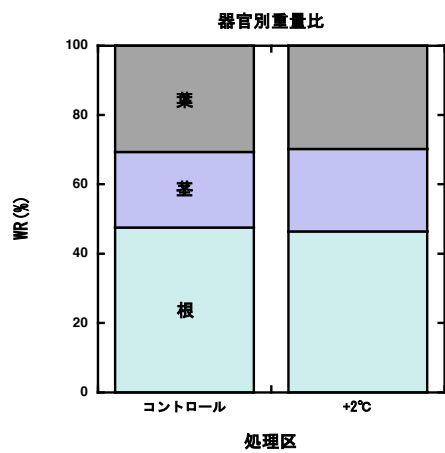


図 24. 異なる温度条件下で栽培したフジバカマの生長解析結果



群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 2°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2015 年 7 月 28 日から 38 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=9。

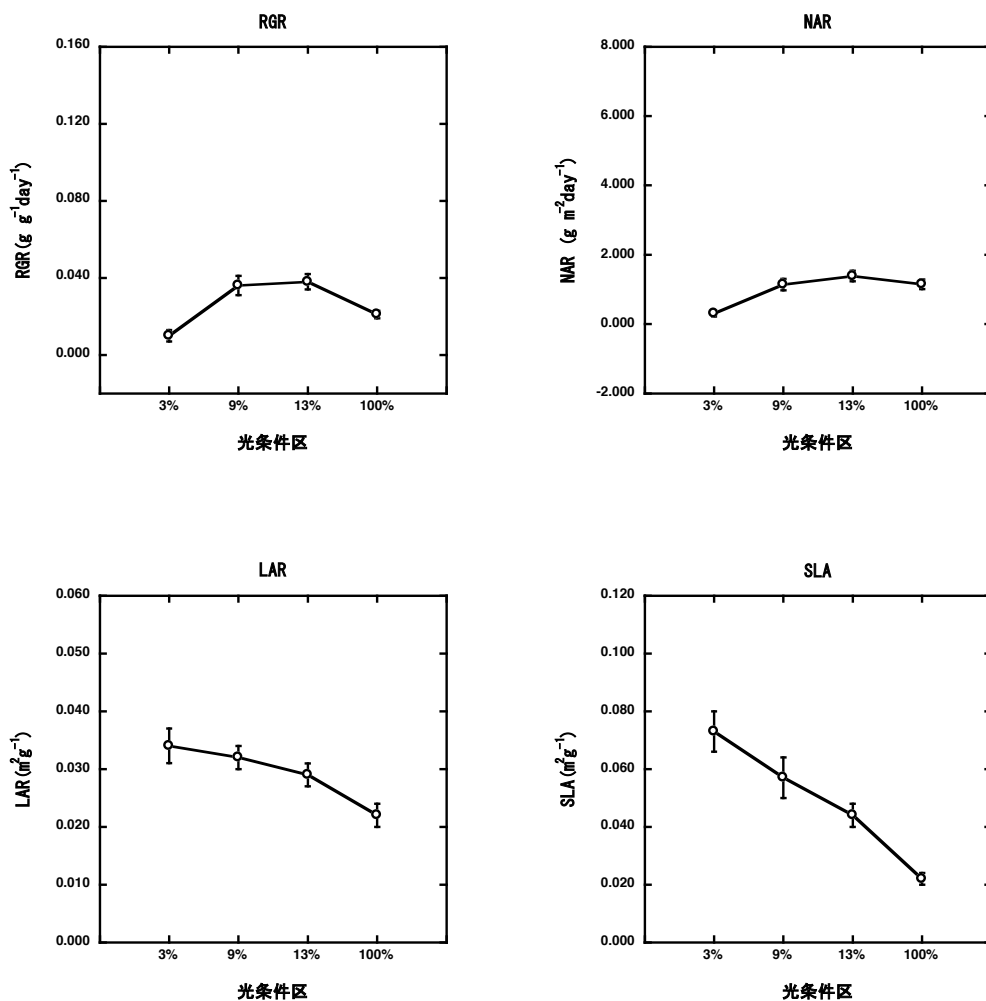
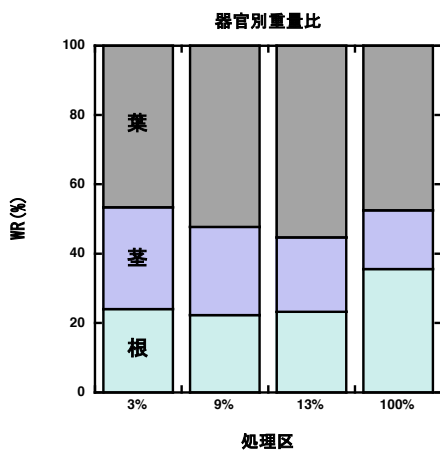


図 25. 異なる光条件下で栽培したイヌトウバナの生長解析結果



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（相対光子密度 3%、9%、13%、100%）内で、ポット植えた苗を 2015 年 7 月 20 日から 49 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=15-16。

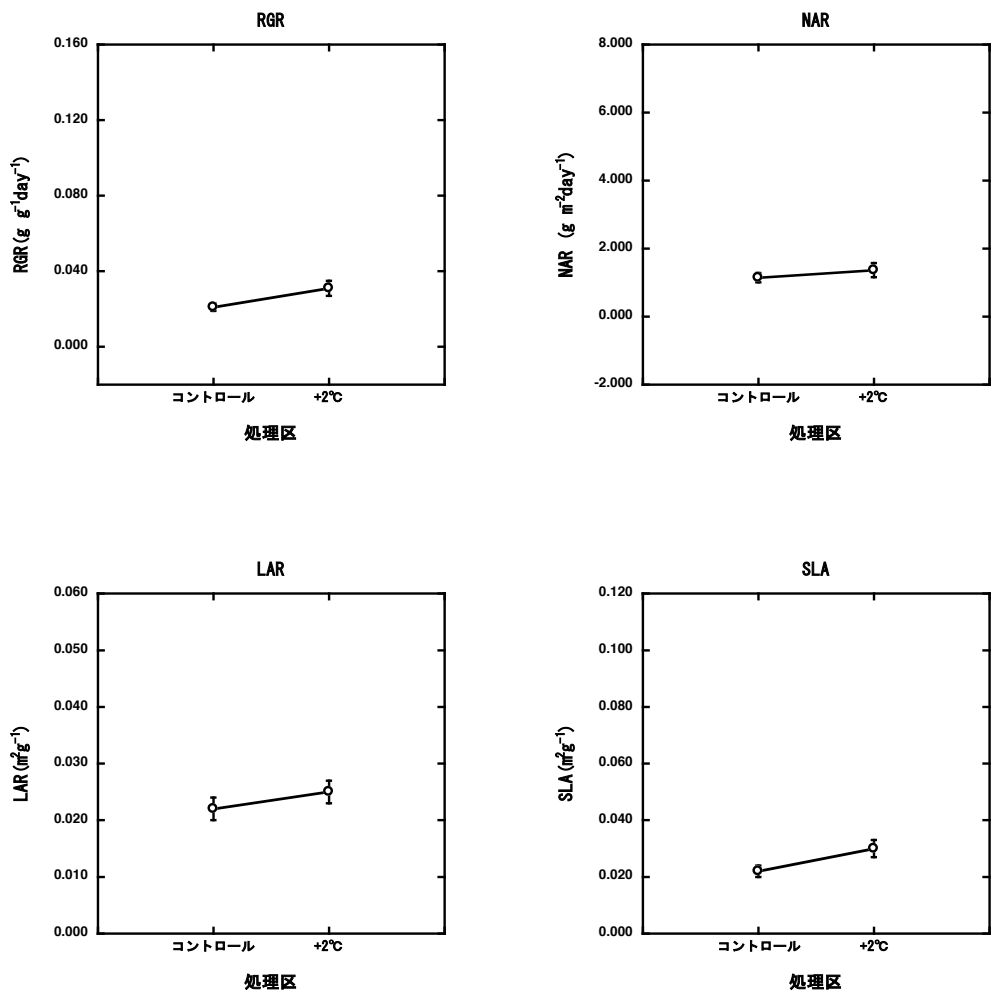
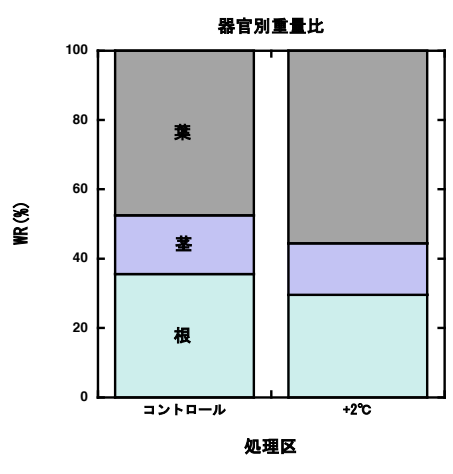


図 26. 異なる温度条件下で栽培したイヌトウバナの生長解析結果



群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 2°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2015 年 7 月 20 日から 49 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=15-16。

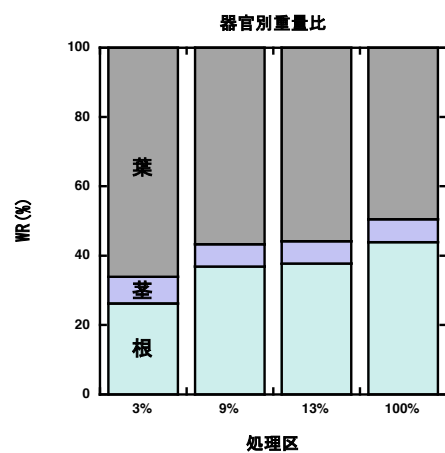
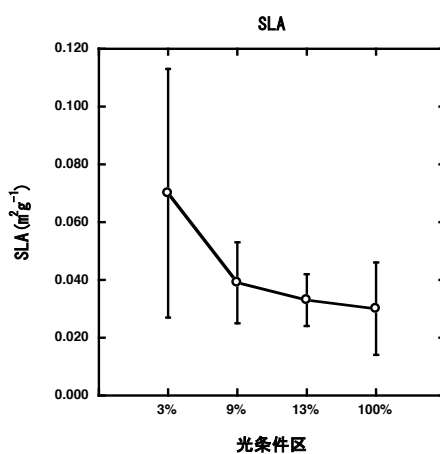
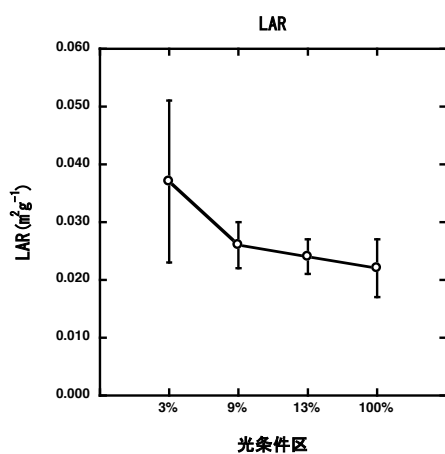
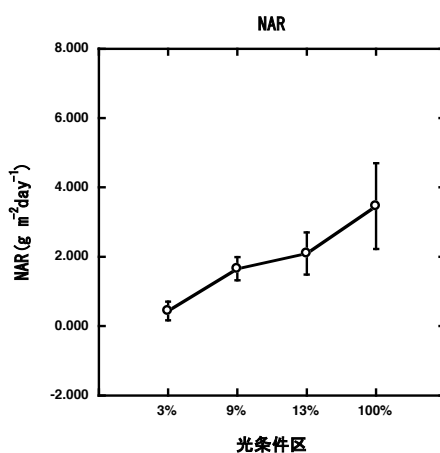
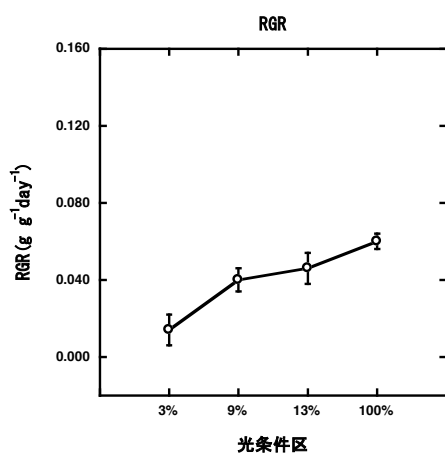


図 27. 異なる光条件下で栽培したミゾコウジュ（アドバンテスト・ビオトープ産）の生長解析結果

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 2015 年 7 月 30 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=10。

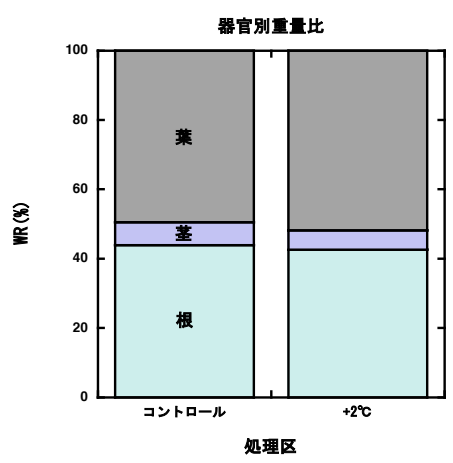
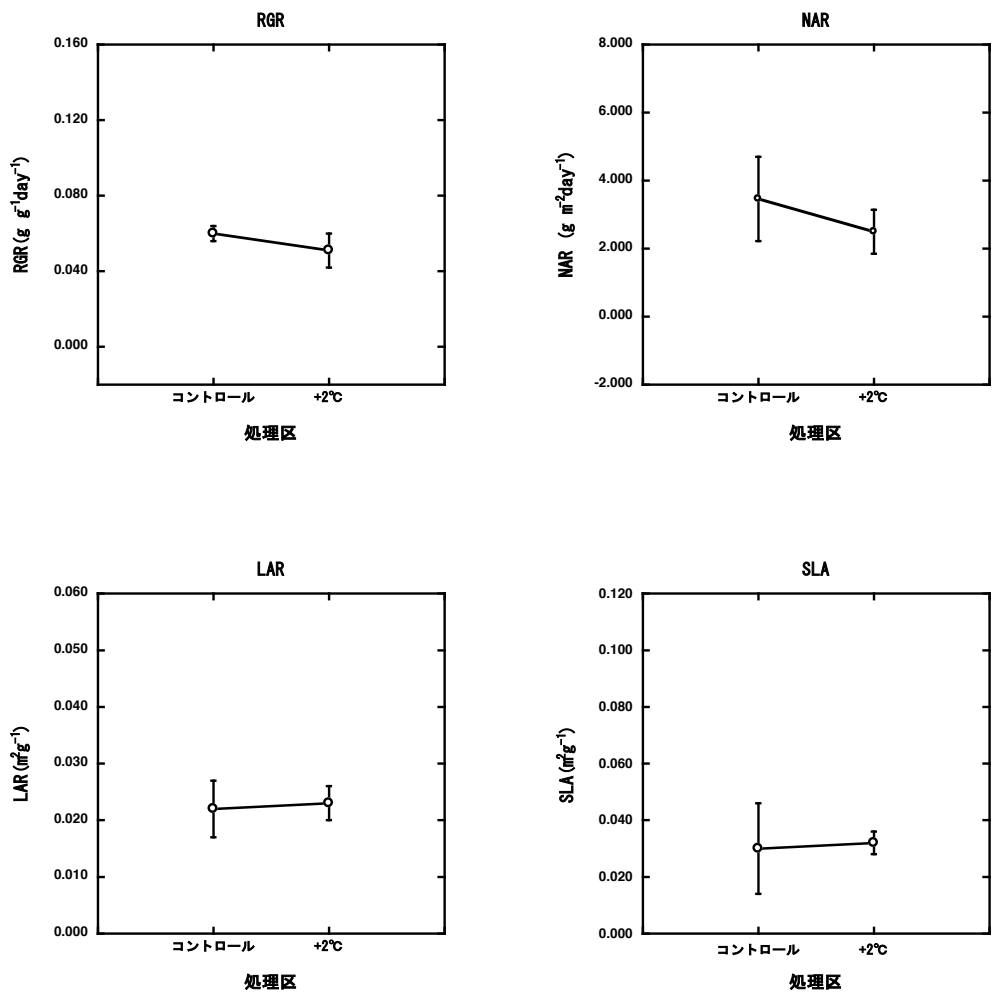


図 28. 異なる温度条件下で栽培したミゾコウジュ (アドバンテスト・ビオトープ産) の生長解析結果
 群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地 (相対光量子密度 100%) にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 2°C 上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2015 年 7 月 30 日から 33 日間栽培した。相対生長速度 (RGR)、純同化率 (NAR)、葉面積比 (LAR)、比葉面積 (SLA)、器官別重量比 (WR) を示す。縦棒は標準偏差。n=10。

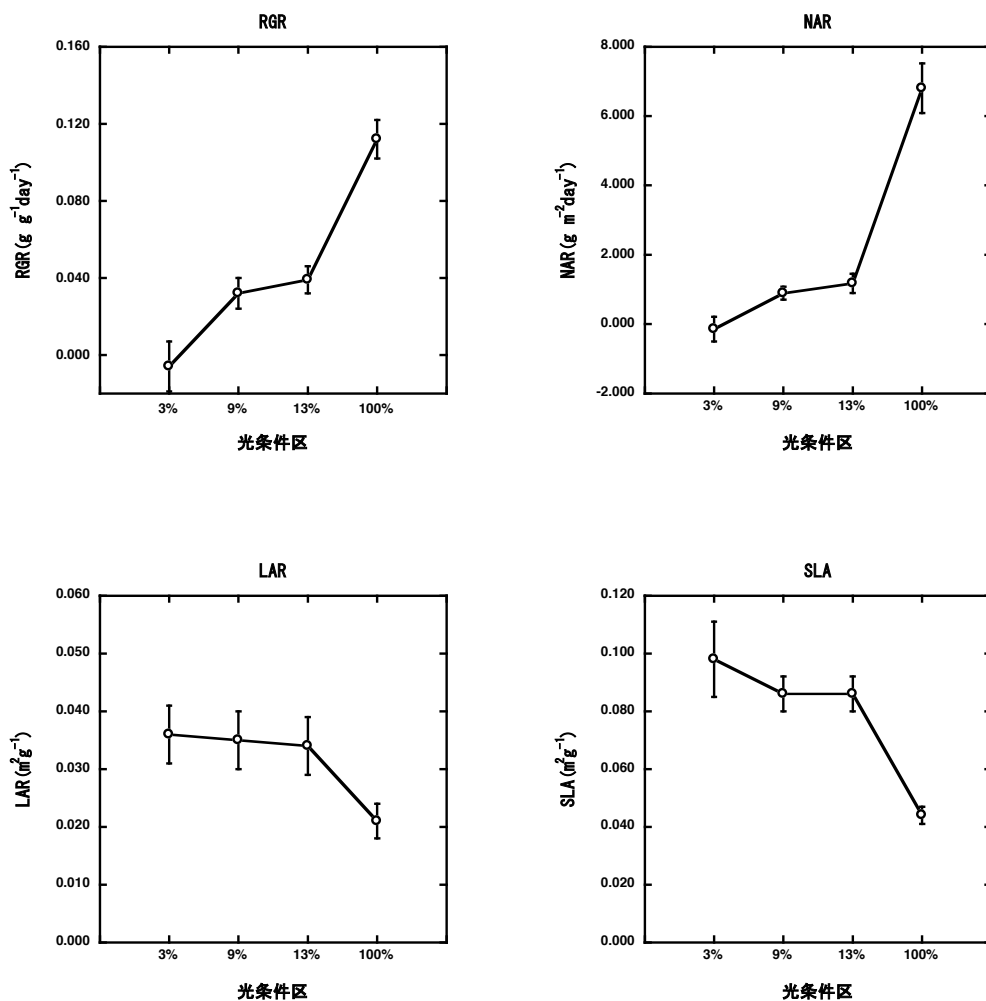
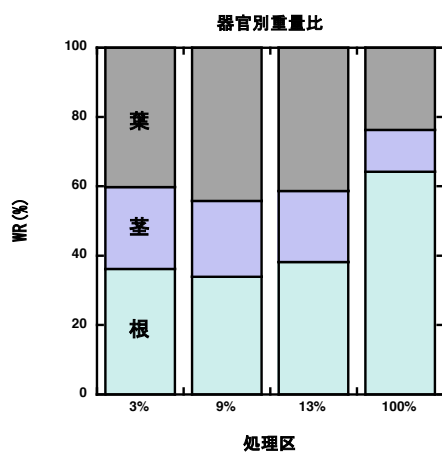


図 29. 異なる光条件下で栽培したコギシギシの生長解析結果



群馬大学荒牧キャンパス構内に設置した異なる光条件区（相対光量子密度 3%、9%、13%、100%）内で、ポット植えた苗を 2015 年 6 月 26 日から 25 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。

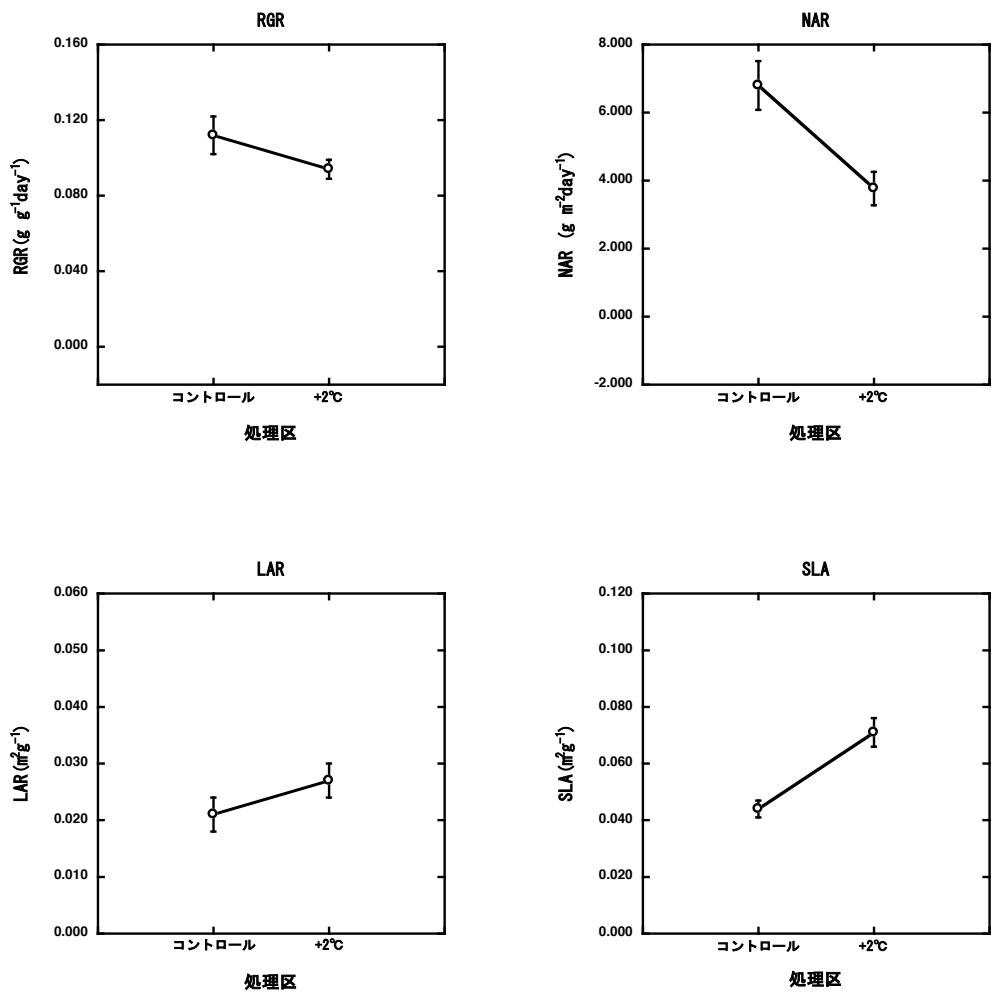
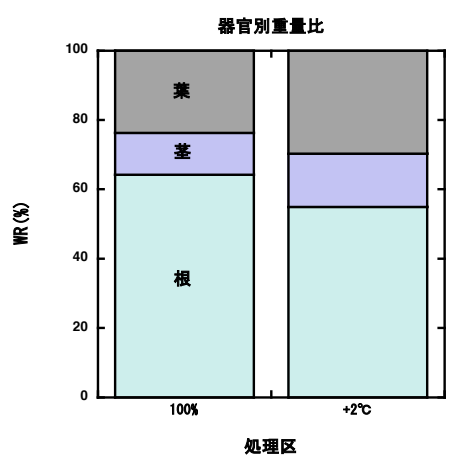


図 30. 異なる温度条件下で栽培したコギシンの生長解析結果



群馬大学荒牧キャンパス構内の裸地（相対光量子密度 100%）にコントロール区およびガラス温室に通風することで気温を上昇させた 2℃上昇区を設置し、それぞれにポット植えた苗を入れて 2015 年 6 月 26 日から 25 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。