

生物多様性保全に資する研究施設の整備

ー水生生物研究ヤードとしてのビオトープの設計・施工ー

Development of research facilities for biodiversity conservation

- Design and construction of biotope for research on aquatic organisms -

長 千佳* 稲留康一** 富山陽子*** 浅野博光****

要 旨

建設工事により自然環境が失われることがあるが、その対応策の一つとして、建設予定地に生息する在来種や動植物を代替地に移すことにより、生物多様性の保全を図る「代償ミティゲーション」という手法がある。2021年2月から8月にかけて、「代償ミティゲーションの実践」および「ビオトープ等の生物多様性に配慮した空間に関する総合的な提案や技術の蓄積」を目的として、当社の技術研究所内にビオトープを整備した。本報では、代償ミティゲーションなどの生物多様性の保全のうち、水生生物を対象とした研究の場として整備したビオトープについて、設計・施工、およびそこでの取り組みについて報告する。

キーワード：生物多様性、ビオトープ、絶滅危惧種、水草、ミティゲーション

1. まえがき

持続可能な開発目標（SDGs）には、生態系に関するゴールとして、ゴール 14「海の豊かさを守ろう」、ゴール 15「陸の豊かさを守ろう」の2つが設定されている。SDGs の各ゴールには複数のターゲットが設定されているが、2011 年から 2020 年までに各国が生物多様性保全のために取り組む項目を掲げた「愛知目標」から引用されたものも多く、生物多様性の保全は SDGs の達成にも深くかかわっている。

さらに、自然保護区が日本の国土全体に占める割合について、現在は陸域で 20.5%、海域で 13.3%であるが、絶滅の危機に瀕している動植物の保護や生物多様性の保全のため、2030 年までに陸域、海域ともにそれぞれ 30%以上とする方針¹⁾が、2021 年 8 月に環境省から示された。この方針では、自然保護区の拡大とともに、生物多様性の保全に貢献する場所として、企業の所有する山林や緑地などを認定する制度（OECM）を試行的に導入するとしており²⁾、企業において今後、生物多様性の保全に係る対応が求められる機会はさらに増えてくると予想される。

建設工事においては、環境アセスメントの対象となる大規模な工事の場合には、事前に十分な調査が行われ、その結果を基に、生物多様性への影響を最低限にするた

めの保全措置（ミティゲーション）が取られている。

ミティゲーション（mitigation）とは、「開発による自然環境への影響を何らかの具体的な措置によって緩和すること」を意味しており、人間活動によるマイナスの環境影響を緩和するための保全行為を指す。

ミティゲーションは、表-1に示す5つのレベルに分けられる。優先順位は「①回避」が最も高く、「⑤代償」が最も低い。建設工事におけるミティゲーション措置は、様々な検討が行われ、複数の方法がとられる。哺乳類、鳥類、爬虫類等の動物に対しては、例えばアンダーパスやオーバブリッジなどの移動経路の確保といった「①回避」や「②最小化」の方法が採用される。一方で、移動性の低い植物は、「⑤代償」が選択されるケースが多い。具体的には、工事範囲内に移植地を設置し、希少動植物を移植・移動させる方法が選択される。

表-1 ミティゲーションの概念に含まれる措置

①	回避	特定の行為あるいはその一部を行わないことにより、影響全体を回避する
②	最小化	行為とその実施において、程度と規模を制限することにより、影響を最小化する
③	修正	影響を受けた環境を修復、回復、または改善することにより、影響を矯正する
④	軽減 ／除去	保護・保全活動を行うことにより、事業期間中の影響を軽減・除去する
⑤	代償	代償の資源や環境で置き換え、あるいはこれらを提供することにより、影響を代償する

* 土木本部土木部環境技術室 ** 技術本部技術戦略部 *** 技術本部技術研究所企画・管理グループ
**** 西日本支社建築設計部

図-1に、植物の移植に関する調査・実験の項目と手法を示す。移植に際しては、保全の対象とする種だけではなく生物間相互作用を考慮した生態系全体の保全が重要であるとされているが、保全対象種の生活史や生育環境、移植地の選定方法などの必要な知見が得られることは少なく、生育環境の整備方法などの技術的手法が確立されていることもほとんどない。そのうえ、生育地や生育個体が限られているため、移植の経験がほとんどないにも関わらず、移植の失敗が許されないといった困難な問題がある³⁾。

これらの問題の解決には、既存文献、専門家へのヒアリングに加えて、現地調査や実験などの調査研究により、対象種の生態学的特性を把握することが非常に重要となる。ここで言う生態学的特性とは、種の生活史や繁殖特性などの生態学的・生理学的特性、気候、地形・地質、土壌、水質、植生等の対象種の生息・生育に適正な環境を指す⁴⁾。

このように、建設工事において、希少植物の代償ミティゲーションを合理的な手法で実施し、地域の生態系を保全することで社会に貢献していくためには、対象種の生態学的特性を把握するための調査研究を実践し、調査・実験の項目と手順に関するノウハウを蓄積しておくことが望まれる。

そこで、希少植物（水生植物、湿地性植物などの水草）に対する代償ミティゲーションの実践の場として、2021年2月から8月にかけて、茨城県つくば市にある当社の技術研究所敷地の一部にビオトープ（以下、「対象地」）を整備した（写真-1）。本論文では、その整備構想・設計などの計画と、施工について報告する。

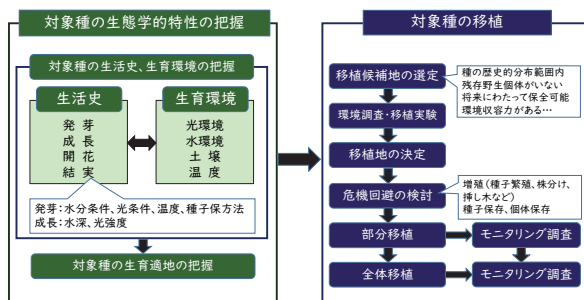


図-1 移植に関する調査・実験の項目と手法³⁾を加工



写真-1 ビオトープ全景（整備直後）

2. 周辺地域の自然環境とその保全に向けた取り組み

2.1 周辺地域の自然環境

対象地がある茨城県つくば市には、筑波山や古くから残る里地里山などの豊かな自然環境がある。また、つくば市域の大部分は、筑波・稲敷台地と呼ばれる標高 20～30m の関東ローム層に覆われた平坦な地形であり、南北に小貝川、桜川、谷田川、西谷田川などの河川が流れている。

対象地をメッシュ平年値（気象庁 2014）に基づいて評価すると、暖かさの指数⁵⁾が 109°C・月、寒さの指数⁵⁾が -4°C・月であり、植生はシイ、カシ等の常緑針葉樹林、気温条件としては暖温帯に相当する。また、夏季降水量は 685.2mm、冬季降水量は 214.3mm、年間降水量は 1228.3 mm であり、温暖で潤湿な太平洋型の気候域に属している。

周辺地域の現存植生図から、対象地周辺地域は宅地、工場地帯等の市街地化が進められる中であって、台地上面を中心とした畑地、谷底平野を中心とした水田といった耕作地が広く分布している。そして、その周辺部に残存するクヌギ-コナラ群集、ススキ群団（VII）等の二次的な自然と一体となって、いわゆる里地里山の生態系が形成されていると考えられる。また、一部の社寺林等では、シラカシ群集、ヤブコウジ-スダジイ群集などの地域の潜在的な植生が残存するほか、河辺等の自然立地には河辺林、湿原植生が分布し、多様な植生がモザイク状に分布している。

2.2 希少種の保全とつくば市内の研究機関との連携

生息・生育する種などを保全するための法律として、「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」（種の保存法）がある。種の保存法では、同法に基づく「希少野生動植物種保存基本方針」に沿って、国内に生息・生育する希少野生生物について、レッドリストに掲載されている絶滅のおそれのある種から国内希少野生動植物種を指定し、捕獲・採取や譲渡等の規制や生息地の保護等を定めている。

図-2に、種の保存法の3つの規制と、絶滅危惧種を保全する手法である生息域内保全と生息域外保全の関係を示す。種を保全し、絶滅を避けようとする行為としては、本来の生息域内で、必要な環境要素やその規模を確保する「生息域内保全」が望まれるが、時間が長期間に渡るため、その間に種が絶滅してしまうリスクがある。そこで、それを補うものとして、生息域外の施設で保護し、増やすことにより絶滅を回避する「生息域外保全」が採用される。生息域外保全は、野生絶滅した場合の保険としての種の保存のほか、科学的知見の集積、緊急避難等の目的がある。

ミティゲーションが開発を行う際に環境への影響を最小限に抑えるための代償となる処置であるのに対し、生

息域外保全は、生息地の外で遺伝資源、野生種、栽培種、種の保全などのあらゆるレベルの生物多様性を保全する手法である。希少植物の生息域外保全の活動は、環境省の保護増殖事業計画に基づいて実施されているほか、近年では、植物園や民間企業が主体となった取り組みも増えてきている。

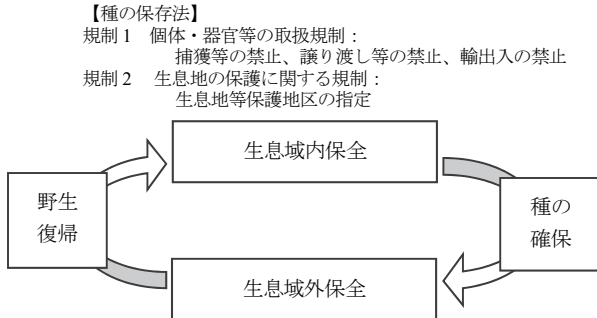


図-2 生息域内保全・生息域外保全と種の保存法の規制の関係

つくば市では、2020年4月に「第3次つくば市環境基本計画」を策定し、重点施策の一つとして、つくば市の生物多様性の保全やその持続可能な利用の戦略的推進に資する「つくば市生物多様性戦略（仮称）」の策定を挙げている⁶⁾。現在、戦略の検討のため、つくば市は市内の生物多様性の現状把握を行うとともに、茨城県生物多様性センター、博物館、筑波大学などの研究機関との連携、近隣市町村との協力、さらに市民の参加を得ながら策定が進められている。このことから、つくば市内の民間事業者を含む多様な主体が、生物多様性の保全のための取り組みを、今後さらに推進していくことになると考えられる。

2.3 保全・生育の研究と対象種の選定

つくば市等のそうした積極的な取り組みに参画する形で、当社では、2020年春から、筑波大学、国立科学博物館筑波実験植物園の指導のもと、つくば市内の希少な水草の保全に資する、種の生活史や生育環境を把握するための調査・実験を行っている。

水草には抽水植物や湿地性植物など（図-3）があり、水際に生息する水草が環境を多様にすることから、水と陸が接する「水辺エコトーン」は、生物多様性の保全への貢献度が高い空間であると言われている。多様な空間を生む水草は、日本には亜種・変種を含むと270種が生息しているが、そのうちの43%が環境省版レッドリストに記載されている。日本の植物全体の環境省版レッドリスト掲載種は種の約30%であることと比較すると、水草は絶滅しそうな種が多いと言える⁸⁾。

水草の消滅は、水辺の埋め立て、河川・湖沼などの護岸工事、農薬散布といった人間活動に伴う水質汚濁など

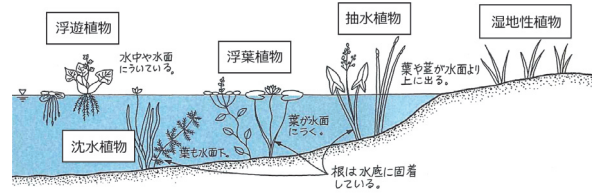


図-3 水草の生活形⁷⁾

表-2 研究対象とする植物^{10)、11)}

和名(学名)	環境省版 RL(2020)	茨城県版 RL(2012)	指定都道府県数
クロホシクサ (Eriocaulon parvum Koern.)	絶滅危惧Ⅱ類(VU)	絶滅危惧ⅠB類	30
イトイヌノヒゲ (Eriocaulon decemflorum Maxim.)	—	絶滅危惧ⅠB類	13

絶滅危惧ⅠB類：絶滅危惧ⅠA類程ではないが、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：絶滅の危険が増大している種



写真-2 クロホシクサ



写真-3 イトイヌノヒゲ

に起因する。一方で、溜池のような人工水域や、河川周辺で、かつては氾濫原であった新田開発地など、人による維持管理に伴う攪乱が生じることで生育し続けられてきた種は、人間活動の減少によって姿を消している⁹⁾。

筆者らは、つくば市内の希少な水草のうち、ホシクサ科のクロホシクサ（写真-2）とイトイヌノヒゲ（写真-3）を研究対象とすることとした（表-2）。研究対象としてこれら2種を選定した理由として、レッドリスト掲載種ではあるものの、現状は絶滅の危機に瀕しているレベルではないため、種子の確保や生息地の状況の確認等が可能であることが挙げられる。なお、それぞれの生息地は、いつ開発されるかわからない状態であり、自生地において種がなくなってしまった場合のバックアップの役割も期待できる。また、ホシクサ科の在来種は54種あると言われるが、クロホシクサなどの22種が環境省版レッドリストで絶滅危惧種に指定されており、準絶滅危惧種を含めると半数近くの種が絶滅の危機に瀕している。ここで得られた知見は、近縁種の保全に役立てられると考えている。

3. ビオトープの整備計画と設計

3.1 ビオトープ整備の基本方針

整備するビオトープでは、先述のとおり、そこを活用して、代償ミティゲーションの実践および企業緑地などに導入されるビオトープ等の生物多様性に配慮した空間に関して、維持管理までを含めた総合的な提案のためのノウハウや技術の蓄積を目指している。そこで、生物多様性保全への貢献度が極力高い空間を目指し、水際の生物多様性の保全を確保すべく、「水生植物や湿地性植物に焦点を当てた保存・生育のための実験施設」を施設整備の基本方針とした。

2.3 に示した通り、「水辺エコトーン」は、生物多様性の保全への貢献度が高い空間であると言われているが、これは水位変動によって水域となったり陸地となったりと変化に富む場所であることに起因する。そのため、水位の制御が可能な設備を計画した。

3.2 施設設計

設計したビオトープの概要と施設全体を表-3および図-4に示す。ビオトープには、対象となる水生植物や湿地性植物の生育に適した条件を調べるための生育実験池と、対象となる水生植物を生息地に近い条件で生育さ

表-3 整備概要

敷地面積	1,039.83	m ²	
陸地面積	753.03	m ²	
水域面積	286.80	m ²	注：土手頂部ラインを水域とする
水域率	27.58	%	
水域内訳	水源～せせらぎ～用水路	47.90	m ² せせらぎ橋より上流
	保全実験池	142.43	m ² せせらぎ橋より下流
	生育実験池 No.1	17.27	m ²
	生育実験池 No.2	16.96	m ²
	生育実験池 No.3	15.00	m ²
	生育実験池 No.4	13.48	m ²
	生育実験池 No.5	13.21	m ²
防水仕様	塩ビシート防水	水源、せせらぎ	
	ペントナイトシート防水	せせらぎ～用水路～保全実験池、生育実験池	
	塗膜防水	浮葉実験池、下流槽、ポンプピット、連通槽、浸透樹	

せる保全実験池、浮葉植物の生育・展示の場である浮葉実験池の3種類の池を配置した。

生育実験池は、対象植物の生育を調査・確認するため、複数条件での実験が可能なヤードとした。大きさは法肩で長辺5m、短辺2m程度である。それぞれの池は、水門による流入水量の調整と、排水筒による水位の調整が可能である(図-5)。2.3 に示した研究対象種である



図-4 施設全体

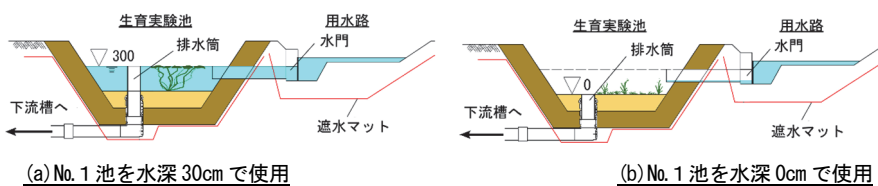


図-5 生育実験池 断面イメージ

クロホシクサとイトイヌノヒゲは、水深が0～10cm程度が生育に適した水深と言われているが、中には水深50cmほどのところで生育しているものもある。生育可能な水深の範囲や、水深と生育の関係を把握できるよう、また、今後、研究対象種を拡大することも想定し、様々な種に対応できるように実験池の水深の設定に配慮した。具体的には、5つの実験池のうち、絶滅危惧種は水深30cm未満の比較的浅い範囲で生息しているものが多いため、水深を0～30cmに可変できる池を3つ設けた。また、深い範囲で生息する植物にも対応できるように、水深を30～60cmおよび60～90cmに可変できる池をそれぞれ1つ設けた。それぞれの池は独立しており、水の流入量や水深を各々設定できるようにした。

保全実験池は、水域面積は約142m²、水深は最大で60cmである。ここは、つくば市内の希少植物を対象とした代償ミティゲーションの実践の場であり、多様な生活形の水生植物(図-3)を保全しながら、その生活史や生育環境について調査する実験ヤードである。池の法面は1:2～1:5の複数の勾配で造成し、池内には研究対象種を含む希少な湿地性植物の保全の場として約7m²の湿地帯を2箇所設けている。

浮葉実験池は、主に浮葉系の希少植物を生育・展示する場であり、既設のコンクリート水槽に給排水設備を設けたものである。水深は最大で60cmで、連通槽を通して保全実験池と繋がっている。連通槽内には排水筒が設置されており、保全実験池と浮葉実験池の水位を調整できるようにした。

3.3 水系システム設計

河川や用水路と接続していないビオトープの場合、使用する水は、自然界の水循環に則して雨水が利用されることが多い¹²⁾。本ビオトープでは、実験のために、一定の水位を確保する必要があるが、雨水のみの供給では不足することも想定されるため、井戸水を供給源とした循環式水系システムを採用した(図-6)。ただし、井戸水は常時供給とはせず、必要に応じた供給のみとした。具体的には、ポンプピットに設置されたポンプにより下流槽から水源、浮葉実験池、保全実験池に繋がる用水路に水を送る。そのうち、水源に送られた水は、せせらぎと用水路を経由して各生育実験池および保全実験池へと流れる。各生育実験池に流れた水は、池内の排水筒から下流槽へ戻る。また、浮葉実験池及び保全実験池の水は連通槽内の排水筒から下流槽に戻る仕組みとした。

なお、連通槽内の排水筒は生育実験池と同様の仕組みを採用しており、筒の高さを変えることで保全実験池と浮葉実験池の水位も調整できる。また、降雨によりビオトープ内の水量が増加した場合には、ポンプピットに設置した排水ポンプと全実験池のオーバーフロー管により、浸透枳へ排水し、地中に戻す仕組みとなっている。

また、本水系システムは完全循環を基本としているが、

夏場の水温上昇や、蒸発による水量低下の懸念がある。その対応策として、生育実験池には水温センサーと水位センサーを、連通槽には水位センサーを設置し、いずれかのセンサーが設定値を超過した場合に井戸水を供給する方法を採用している。

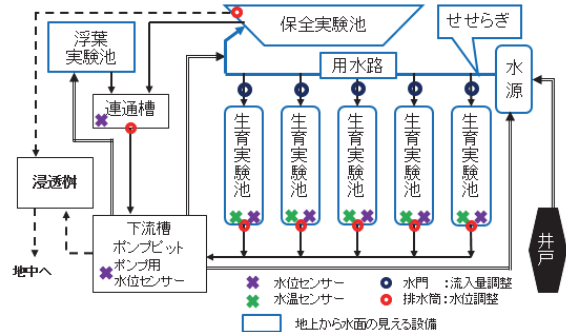


図-6 水系システムの概要

4. 施工

工事にあたっては、ドローンによる空中撮影を数回実施し、地上での測量に加え、俯瞰的に池の形状を確認した(写真-4)。



施工前(2020年1月)



施工中(2021年4月)



完成時(2021年9月)

写真-4 実験池の造成過程

生育実験池および保全実験池の法面および底面は、長期的に池の形状を保つため、赤土や消石灰などを混合して叩き固めた三和土（たたき）で成形した。三和土は、日本では古くから民家の土間などに利用されてきた。消石灰による一時的な pH の上昇は、植物に対して悪影響を及ぼす可能性があるため、造成後に定期的に pH 測定を行い、影響がないことを確認している。

一方、ビオトープの遮水構造は、地盤の状況に応じてたたき粘土（地盤が粘土質土壌の場合）やシートなどの資材（地盤が砂質土壌の場合）が使用される¹²⁾。遮水シートには、ポリエチレンシート、塩ビシート、ゴムシート、ベントナイトシート、ポリエチレンシートにベントナイトが付着したものなどがある。今回、池の形状が複雑であること、排水管の貫通部等、遮水構造上の弱部が複数あること、また、施工性を考慮し、主としてベントナイト系遮水マット（ポルクレイ・マット ST、厚さ 6.4mm 以上、透水係数 5×10^{-9} cm/sec 以下）による遮水構造とした。

5. おわりに

建設工事における希少植物の保全に資する研究の場として、約 1,000m² のビオトープを整備した。研究対象には、植物の中でも絶滅危惧種の割合が高い「水草」を選定し、実験ヤードとして生育実験池、保全実験池、浮葉実験池の3種類の池を整備した。生育実験池は、個々の種の保全のための場であり、水門や排水筒により水量や水位を調整することが可能である。また、保全実験池は湿地帯を有した様々な種の保全のための場であり、水位調整機能により、変化に富む「水辺エコトーン」の現象を作り出すことが可能である。

今後、この実験ヤードにおいて、クロホシクサとイトイヌノヒゲを対象として、対象種の生態学的特性を把握するための調査研究を実践し、調査・実験の項目と手順に関するノウハウの蓄積により、希少植物の移植による種の保全の確実性を高めていきたい。また、環境教育や生物多様性の保全の啓発の場であるとともに、つくば市近郊の様々な水生植物の保全の場として活用することで、地域の生態系の保全に貢献していきたい。

【謝辞】

本施設の整備及び希少植物の保全に関する研究を行うにあたって、筑波大学生命環境学群生命地球科学研究群生命環境系の上條隆志教授並びに、国立科学博物館筑波実験植物園多様性解析・保全グループの田中法生研究主幹に技術指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 環境省、「30by30 基本コンセプト」、
https://www.env.go.jp/council/12nature/%E8%B3%87%E6%96%991%E5%8F%82%E8%80%83_30by30%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%82%BB%E3%83%97%E3%83%88.pdf
- 2) 環境省、「自然環境部会生物多様性国家戦略小委員会（第1回）議事録」、https://www.env.go.jp/council/12nature/post_62.html、2021.11
- 3) 森本幸裕他、「ミティゲーションー自然環境の保全・修復技術ー」、ソフトサイエンス社、pp.114-153、2001
- 4) 環境省自然環境局野生生物課、「絶滅のおそれのある野生動植物種の生息域外保全実施計画作成マニュアル」、<https://www.env.go.jp/nature/yasei/ex-situ/manual.pdf>
- 5) 吉良竜夫、「温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて」、寒地農学、2：pp.143-173、1948
- 6) つくば市、「生物多様性の保全」、<https://www.city.tsukuba.lg.jp/kurashi/kankyo/doushokubutsu/1015039.html>
- 7) 滋賀県の理科教材研究委員会、滋賀の水草・図解ハンドブック、2016
- 8) 水草保全ネットワーク、「水草の疑問」、成山堂書店、2018
- 9) 角野康郎、「絶滅危惧水草の保全：維持管理の重要性」、ワイルドライフ・フォーラム、16巻、2号、pp.8-9、2012
- 10) 環境省、「環境省レッドリスト2020」、<http://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf>
- 11) 茨城県、「茨城県版レッドデータブック（植物編）2012年改訂版」、https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukan/kyo/shizen/tayousei/redbook/ibaraki_redbook.html
- 12) 養父志乃夫、「ビオトープづくり実践帳」、誠文堂新光社、p.52、pp.70-73、2010