

鶺鴒池自然再生プロジェクト エコトーン試験造成企画書

岐阜大学環境サークル G-amet 鶺鴒池自然再生プロジェクト
企画代表者:羽賀 舞人(応用生物科学部 生産環境科学課程3年)

1 概要

エコトーンは鳥類や魚類、水生昆虫類、貝類、湿生・水生植物など多種多様な動植物の生息・生育場や繁殖場として重要な環境であるとともに、水質改善への寄与も期待されている。しかし、鶺鴒池では1980年代以降、水位低下や富栄養化に伴う水際植生の衰退、波浪によって池のエコトーンは消失した。そこで、本企画は鶺鴒池において人工的にエコトーンを造成し、水際植生の復元を促すことによって、豊かな水辺環境の修復を目指すものである。本企画は大規模な機械類などを導入することなく、自然の復元力を活かした再生方策として実施する。エコトーン造成による効果や不可逆的な影響、維持管理面について評価・検証するため、今回は小規模な実験区を設置する。

2 背景

2.1 なぜ今、エコトーンを造成するのか

河川や湖沼、水田などの淡水域は、地球表面の約0.8%にすぎないが、多種多様な動植物の生息・生育場所となっており、脊椎動物種の約35%が生息している。しかし、世界自然保護基金(WWF)の2022年レポートでは、淡水域のLPI(Living Planet Index:地球上の生物の個体群を表す指標)は人間活動の影響によってこの50年間で83%にまで減少するなど、生物多様性の損失が最も顕著な生態系であることが指摘されている。鶺鴒池のような湖沼生態系もその1つである。

特に近年、湖沼における水生植物相の衰退が顕著に進行していることが報告されている。湿生・水生植物は湖沼生態系を構成する一要素にすぎないが、後述するような、水生生物の繁殖・成長の場、底質の巻き上げを防ぐ機能などを有しており、湖沼生態系の物質循環や物理構造上の重要要素である。これら湿生・水生植物の生育の場となっているのがエコトーン(移行帯)である。

「エコトーン(移行帯)」とは、陸域と水域の境界、

農地と森林の境界のように、隣り合う2つの異なる環境の間に成立する場所・生態系のことである。土壌水分、水深、日射条件などの環境要素が連続して変化する。そのため、エコトーンは多種多様な動植物の繁殖・生育の場として、生物多様性の高い生態系を形成する。

「水辺のエコトーン」は、陸域から水域へと移行する部分で、頻繁に水没したり干出したりするほか、岸辺から水深の深い場所に向かって抽水植物・浮葉植物・沈水植物が分布する植生帯が特徴である。このようなエコトーンを含む植物群落は下記のような多面的機能を有し、図1のように湖沼・湿地生態系のみならず人間生活にとっても効果が期待される。

供給サービス (例:食料)	調整サービス (例:花粉媒介)	生息・生育地サービス (例:生息環境)	文化的サービス (例:レクリエーション)
<ul style="list-style-type: none"> 食料 淡水資源 原材料 遺伝子資源 薬用資源 観賞資源 	<ul style="list-style-type: none"> 大気質調整 気候調整 局所災害の緩和 水量調節 水質浄化 土壌浸食の抑制 地力の維持 花粉媒介 生物学的防除 	<ul style="list-style-type: none"> 生息・生育環境の提供 遺伝的多様性の保全 	<ul style="list-style-type: none"> 自然景観の保全 レクリエーションや観光の場と機会 文化、芸術、デザインへのインスピレーション 神秘的体験 科学や教育に関する知識

図1 生態系サービスの分類(環境省(2022))



①多様な動植物への生息・生育場所の提供

多種多様な動植物に対して生息・生育場所を提供する。鳥類や魚類、水生昆虫類、十脚類、貝類などの繁殖・成長場所としての機能も有する。

特に鳥類にとっては、営巣地、越冬地、集団ねぐら地、渡りの中継地として重要な役割を持つ。そうした機能を最大限発揮するためには餌となるマコモやヒシ、遮蔽効果を有するヤナギ類の生育以上に、抽水植物群落の大きさが重要となる。図2はヨシ群落の面積と営巣可能性のある鳥類の関係を整理したものである。300 m²以下では、稀にバンが営巣する場合もあるが、通常は営巣する鳥類はわずかである。

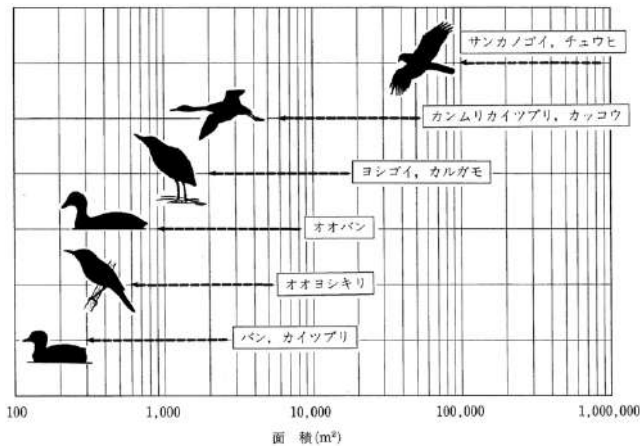


図2 ヨシ群落の面積と鳥類の繁殖状況の関連(出典:奥田・佐々木(1996)「河川環境と水辺植物 一植生の保全と管理一」, p.177)

また、植物体の水中部は、植物プランクトンを食べる動物プランクトンの生息場所(捕食者である魚類からの避難場所)、濾過食性の付着性動物や栄養塩吸収効果の高い付着性藻類の生息基盤となる。こうした生物種は後述の「③水質浄化への寄与」と深く関わっている。

②波浪や流水による湖岸の侵食防止(被覆機能)

ヨシ、オギ、マコモ、スゲ類などの植生域では、図3のように、増水時や雨天時に植物体が倒伏することで地表面の侵食を軽減することが知られている。また、こうした抽水植物は地下茎が発達するため、土

壤保持能力や護岸機能が高いことも知られている(図4)。特にヨシはその根茎が、通常は深さ0.5-1m、土壤条件が良いと深さ2m付近まで達するとされ、栄養や水分の吸収、越冬のみならず、立地の侵食防止にも役立っている。

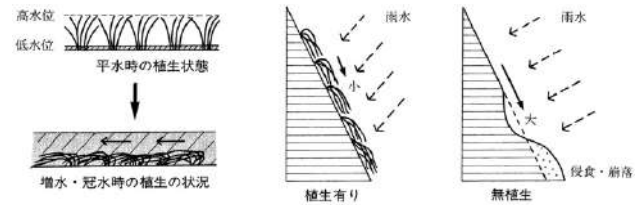


図3 植生による被覆機能(出典:奥田・佐々木(1996)「河川環境と水辺植物 一植生の保全と管理一」, p.168)

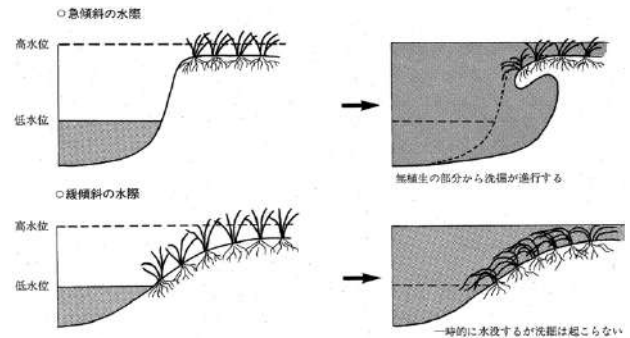


図4 水辺の洗掘過程と応用例(出典:奥田・佐々木(1996)「河川環境と水辺植物 一植生の保全と管理一」, p.169)

③水質浄化への寄与

栄養塩類や汚濁物質の捕捉・吸収・分解を通して水質浄化に寄与する。繁茂した葉や茎、発達した根による波浪・風の緩和を通して、底質の安定化と底泥の巻き上げ抑制(浮遊物質の沈降促進)、それに伴う汚濁物質の回帰抑制も期待される。また、栄養塩類の吸収によってアオコの発生を抑制し、高い透明度の維持・改善に寄与する。さらに、光や栄養塩類をめぐる競争やアレロパシー作用による植物プランクトン増殖の抑制によって淡水赤潮の対策としても期待される。

ただし、群落維持のために、刈り取りが年1回しか行えないこと、栄養塩類が地下茎へ転流された冬場に刈り取ることなどの理由から、急速に大きな効果があるとは言えない。



④農業や人間生活への資源の供給

私たち人間は昔から湿地に深く依存して生きてきたことから、水生植物も人間生活との関わりが衣食住全般に渡って深い。後述する目標種について見てみると、ヨシは葦簀や屋根葺きの素材として、マコモやコナギは食材、ヒメガマやコガマは止血薬として文化的な利活用が各地でされている。現在鶴ヶ池に生育している種について、カキツバタは観賞用、ショウブは端午の節句、マコモは夏越の祓など行事・催事においても活用される。また、農業において、植物残渣を含む泥は水田の肥料として活用されてきた。こうした利用によって、植物体に吸収された栄養塩類が湖外に排出され、湖沼の水質浄化と物質循環に貢献していた。現在では農業や人間生活において利用される機会は著しく減少したが、近年は飼料や燃料、さらには蒸留酒や家具として加工する取り組みも見られるようになってきている。さらに、「①多様な動植物への生息・生育場所の提供」で述べたように、エコトーンは植物体そのものだけでなく、そこで成長した魚やエビ、カニ、貝、カモなどを水産資源として人間生活に供給している。

⑤水辺景観の形成と環境教育・自然体験への寄与

水生植物は直接的に人間生活に関わるだけでなく、人間の心に癒しを与える存在でもある。ビオトープを親水空間として整備する際に多種多様な植栽をしたり、アクアリウムに水草を植え付けるのは、植物そのものや景観としての美しさを楽しむためである。

エコトーン（水生植物群落）は、その機能の多様性から、自然の営みや人間活動との関わり、環境問題について理解し活動を展開する場として重要である。大学キャンパスの場合、学生や地域の人々が実物に触れて環境学習を行う場、保全のための幅広い技術・視野を持った人材を育成する場として機能することが考えられる。本企画のようなエコトーンの修復、抽水植物群落の維持管理などの保全再生活動もその1つと考えられる。また、自然環境やそこに棲む動植物と親しみふれあいを深める自然観察会や観察施設の

整備、エコトーンに関する知識や湖沼生態系の保全の必要性について普及啓発を図ることも重要である。

以上のようにエコトーン（移行帯）は、豊かな水辺環境には欠かせない場所である。これらの機能の多くは、抽水植物自身よりは群落としての効果が大きい。特に鳥類や魚類の繁殖地として機能する場合、図2で示したように一定以上の面積が必要であることも知られている。そのため、その効果を最大限発揮するためには、積極的なエコトーンの拡大が求められる。また、その機能を修復・保全し続けるためには、現状と課題を踏まえた適切な活用と保全が両立する管理が必要である。そのためには多様な主体の協働のもと、合意形成や調査研究、保全再生、教育・学習、普及啓発が重要となる。

近年、エコトーンの修復・再生は全国各地の水辺で重要なテーマとなっており、湖沼においては伊豆沼・内沼（宮城県）、霞ヶ浦（茨城県）、上尾丸山公園大池（埼玉県）、井の頭池（東京都）などで行われている。岐阜大学環境サークル G-amet が中心となって進める「鶴ヶ池自然再生プロジェクト」では、いくつかの事例について、これまでに学生自身が直接現地に足を運び、実施者に話を伺うとともに、その作業を体験し、鶴ヶ池で有効な保全再生方策であるか検討を重ねてきた（図5～9）。その結果、今回は、エコトーン造成による効果や不可逆的な影響、維持管理面について評価・検証するため、鶴ヶ池の北池に小規模な実験区を設置することとした。



図5 上尾丸山公園大池（埼玉県）における湿地再生と浅場造成イベント「みんなで水辺守 大池に浅場をつくる編」参加時の様子（2022年3月6日撮影）





図6 井の頭池(東京都)における市民と自治体の協働による浅場・湿地整備の取り組み(2022年3月5日撮影)



図7 大阪府立大学(現:大阪公立大学)中百舌鳥キャンパスにおける学生主体の湖沼・湿地生態系の維持管理の取り組み(2021年12月5日撮影)



図8 九州大学伊都キャンパス・生物多様性保全ゾーンにおける湿地環境の保全の取り組み(2023年9月11日撮影)



図9 佐鳴湖(静岡県)におけるヨシ原の維持管理の取り組み(2023年8月10日撮影)

2.2 鶴ヶ池の自然環境の変遷と課題

かつての鶴ヶ池は、伊自良川の後背湿地に位置する遊水地として氾濫原的な環境の面影を残しており、多種多様な野鳥、水生生物、水生植物などの貴重な生息・生育の場となっていた。「自然保存地総合調査報告書(岐阜大学生物科学研究会, 1983)」では「岐阜県内でも少ない典型的な低層湿原」とも表現されており、泥炭地ではないものの、地下水位が高く、地下水を中心に、伊自良川の伏流水、周囲に広がっていた水田からの排水など(図10に示したようにすぐ側まで水田があった)によって涵養されていたと考えられる。しかし、1972年頃からの新堀川の掘削・河道整備による地下水位の低下、1978年頃からの各池間の通水路整備と構内水路・河川の接続による湖沼水位の低下、1979年頃からの堤防工事や土地造成工事による伏流水や水田からの水供給の減少によって、より閉鎖的な水域への変化とともに水質悪化(富栄養化)や乾燥地化が顕著に進行したと考えられる。

1980年代の鶴ヶ池の地形的特徴について、水深は岸から1m付近で急激に深くなり、中央付近は平坦で水深は50~110cm程度であった。北池のみは、1978年頃からの堤防工事に伴う土砂の投入によって、堤防から9m付近までは水深10cm程度と非常に浅くなっている。また、底には40~50cmの厚さでヘドロが堆積していた。ただし、これらのデータは河道掘削、土地造成工事、堤防工事の開始以降に記録されたものであり、湖沼水位が低下した後の段階と考えられる。これ以前は、地下水位が高く、地表面付近に水面があり、周囲の水田と水面が連続することもあったのではないかと考えられる(図10)。また、「岐



図10 北側から見た1970年頃の鶴ヶ池(岐阜大学統合予定敷地視察調査報告書(株式会社 応用地質調査事務所, 1970))



「岐阜大学統合予定敷地視察調査報告書（株式会社 応用地質調査事務所, 1970）」によると、鶺鴒池周辺の土地は、軟弱な粘性土がちな地盤の上に、伊自良川の後背湿地が広がり、鶺鴒池を含む多数の小規模な池沼・湿地、水田、自然堤防、伊自良川の旧流路が取り残された池沼が点在している。その土地の特性ゆえ、堀田による水田耕作が行われていた（図 11）。



図 11 1962 年頃の鶺鴒池周辺の様子。この周辺は水鳥の生息地として知られており、周辺では堀田による水田耕作が行われていた。湖岸にはオギが優占している。（出典：丸山幸太郎・道下淳（1983）「ふるさとの思い出 写真集（明治・大正・昭和）」, p.34）

1970・80 年代の鶺鴒池の植生について、池の周辺は高さ 1.5～2 m のヨシやマコモを中心とした湿地性の草原になっており、岸部にはマコモ、陸域の大部分はヨシが優占し（これらの残骸が堆積して浮島になっていた）、所々にトキワススキ^{※1}やオギが見られる環境であった（図 12・13）。その間にイボクサ、ミゾソバ、オモダカのほか、イネ科、カヤツリグサ科、タデ科、セリ科、キク科、アゼナ科、サクラソウ科、ウコギ科の湿地性の種が生育していた。80 年代に入ると大学移転工事や堤防工事による土砂の搬入による影響なのか、荒地性・乾燥地性の種やオニノゲシ、ホウキギク、オオアレチノギク、セイタカアワダチソウ

などの帰化植物も記録されるようになっている。池の中には水生植物が多く、水面はヒシが優占しているが、その間にヒメビシ、ガガブタ、ホソバミズヒキモ、サンショウモ、ウキクサ、アオウキクサなどの浮葉・浮遊植物が見られた（これらに混ざってヒシモドキが生育していた可能性が高い）（図 14）。水中にはクロモ、センニンモ、コカナダモ、フサモの一種といった沈水植物のほか、マツモ、タヌキモ、ミカワタヌキモ（オオバナノイトタヌキモの可能性あり）といった浮遊植物が生育していた（図 15）。この他にもミズオオバコ、キクモ、コナギといった水生植物の記録がある。なお、樹木については低木のヤナギ類、ミヤマイボタ^{※2}、マグワ、ヌルデなどが散在するのみで、高木は見られなかったようである。



図 12 1980 年 8 月に撮影された鶺鴒池。ヨシやマコモを中心としてエコトーンが形成されている。この写真が撮影された時点で鶺鴒池周辺を除いてほとんどの場所で土地造成工事が進められていたようである。（出典：野村忠夫ほか（1985）「岐阜大学統合地周辺の環境に関する研究」, p.34）

※1 トキワススキ（イネ科）は、これまでに岐阜市を含む岐阜県内での生育報告はなく、オギ（イネ科）の誤同定による記載の可能性がある（岐阜市, 2014；岐阜県植物誌調査会, 2019）。

※2 ミヤマイボタ（モクセイ科）は、これまでに岐阜市内での生育報告はない（岐阜市, 2014）。岐阜県植物誌（2019）において、県内から報告はあるものの、こちらも岐阜市内の報告はなく、県内では標高 300 m 以上の丘陵帯から山地帯にかけて生育するとある。以上のことからイボタノキの誤同定による記載の可能性が高い。





図 13 1979 年頃の鵜ヶ池湖岸のエコトーンと飛来したカルガモ。当時はカルガモの営巣・繁殖も確認されていたようである。(撮影:若井和憲氏)



図 14 1980 年頃の鵜ヶ池湖岸のエコトーンと飛来したゴイサギ、カルガモ。水面はヒシやヒメビシで覆われている。(撮影:若井和憲氏)

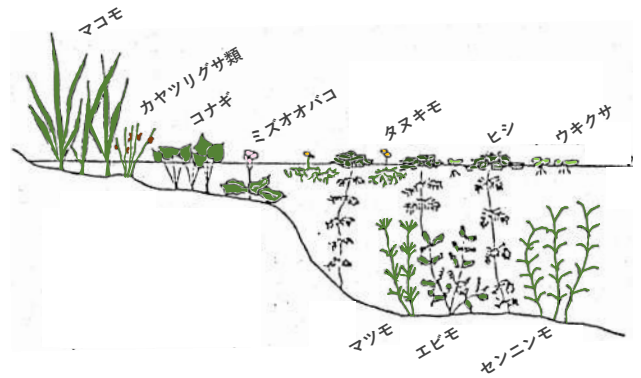


図 15 1980 年頃の鵜ヶ池の水生物植物相。多様な生育形を持つ水生植物が生育していた。湖岸から 1 m 付近までは浅瀬だが、以降は急激に深くなる地形をしていた。(出典:岐阜大学生物科学研究会(1983)「自然保存地総合調査報告書」を一部改変)

この場所が「鵜ヶ池 (バンガ池)」と呼ばれるようになったのは、1969 年になってからである。この年、名もなき遊水地であったこの場所で、「日本野鳥の会岐阜」の会員によって、バンの集団繁殖地であることが確認されたことで「鵜ヶ池」という名で広く知られるようになった。当時は、バン、カイツブリ、カルガモ、オオヨシキリ、セッカ、ヒバリなど、ヨシ原を主要な生息地とし、巣材や餌資源として湿生・水生植物を利用する種の繁殖が多数観察されており、1971 年にはバンの営巣が 27 巣も確認されていた (図 16)。図 16 をみると、この頃は湖岸のみならず陸域までヨシやマコモが広がっており、少なくとも 3600 m²の抽水植物群落が発達していたことが分かる。改めて図 2 を見ても、当時の群落面積は、これらの種の繁

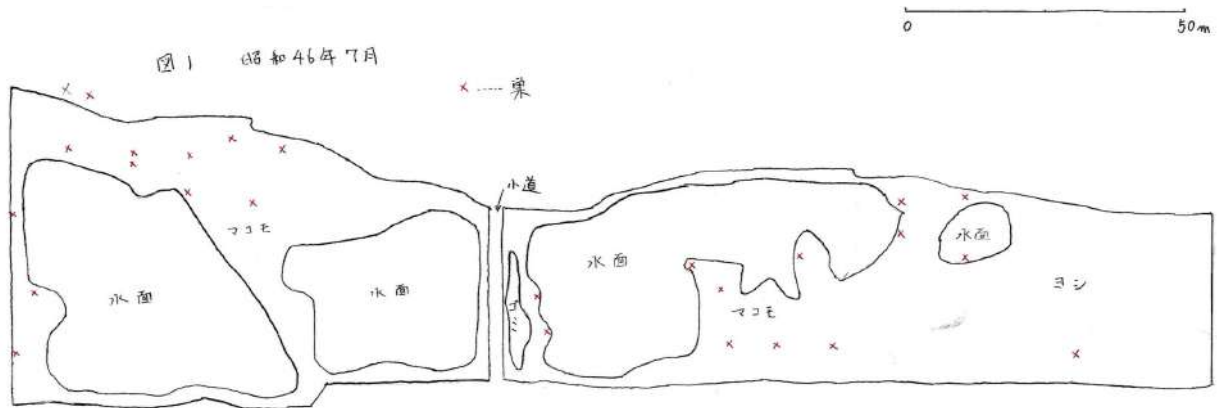
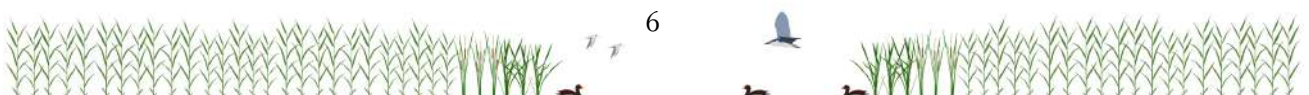


図 16 1971 年の鵜ヶ池の植生とバンの営巣地点。工事前の当時は池の水位が高く、湖岸だけでなく陸域の奥までヨシやマコモが優占している。(岐阜大学生物科学研究会鳥班(1973)「岐阜大学統合移転計画に関する要望書 一自然保護一」)



殖として十分確保されていたことを示唆している。

しかし、新堀川の掘削・河道整備、構内河川の接続、堤防工事、土地造成工事が始まって以降の1980年頃の植生図を見ると、荒地性草本やセイタカアワダチソウが陸域に侵入し、ヨシやマコモが優占するのは池の周囲のみになっている(図18)。この変化について、当時の「自然保存地総合調査報告書(岐阜大学生物科学研究会,1983)」では、「工事に伴って刈られたり、セイタカアワダチソウとの競争に負けたため」と考察しているが、水位低下と乾燥地化が池を含む湿地全体で進んでいることが背景にあるのではないかと考えられる。報告書の中では、「イネ科、カヤツリグサ科などの湿地性植物が減少し、荒地性・乾燥地性の種が増加した」との記載もある。

乾燥地化に加えて、水供給の減少、ヘドロの堆積(栄養塩類の蓄積)、より閉鎖的な水域へ変化したことによる透明度の低下、水質悪化(富栄養化)が進行し、1985年頃には浮葉植物、沈水植物、浮遊植物などの水生植物相が消失した(図19)。マコモ・ヨシ群落はさらに減少し、土壌保持能力や護岸機能を失った湖岸は波浪に直接曝されるようになり、湖岸侵食が急速に進行した(図20・21)。陸域に残存していたヨシやオギも、セイタカアワダチソウの分布拡大に伴って、その個体数を減らした。1990年代の撮影記録を見ると、当時の湖岸植生は、セイタカアワダチソウが優占していることが分かる(図22)。



図17 周囲の土地造成・堤防工事が進んで孤立化した1981年頃の岐阜大学自然保存地。(撮影:若井和憲氏)

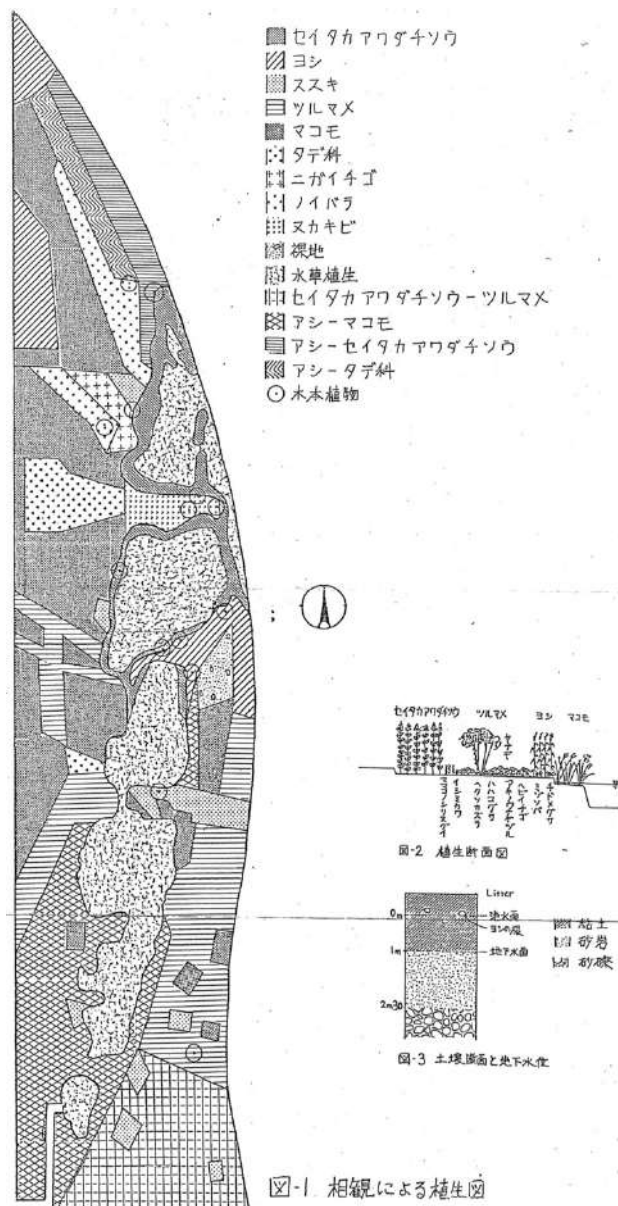


図18 1980年頃の鶺鴒池とその周辺の植生。池の水位低下に伴って、ヨシやマコモが優占していた陸域は、荒地化・乾燥地化が進行し、セイタカアワダチソウやつる性植物が侵入・優占している。図中の「アシ」は「ヨシ」の別名であり、同じ植物を指している。(出典:岐阜大学生物科学研究会(1983)「自然保存地総合調査報告書」)





図 19 1985 年 6 月に撮影された鷺ヶ池。湖岸はヨシやマコモを中心としたエコトーンが残存しているが、水面や水中に水生植物の姿を見ることができない。(出典: 岐阜大学開学五十周年記念誌発行等事業専門委員会(1999)「岐阜大学の五十年」, p.61)



図 22 1991 年に撮影された鷺ヶ池。侵食で切り立った湖岸周辺は、すべてセイタカアワダチソウ群落に変化しており、ヨシやスキは陸域の一部にしか見られない。池では大規模な淡水赤潮が発生している。(出典: 岐阜大学排水処理施設運営委員会(1996)「岐阜大学排水処理施設報 創刊号」, p.6)



図 20 1988 年頃に撮影された鷺ヶ池。ヨシやマコモが消失して、エコトーンの植生基盤のみが残されている。奥側の湖岸はヨシが優占しているが、手前はセイタカアワダチソウが優占している。(岐阜大学(1988)「岐大ひろば 第 6 号 特集 岐大キャンパスの環境をめぐる」)

2023 年現在では、ヨシ、オギ、マコモなどのエコトーンを構成していた抽水植物群落は鷺ヶ池からほとんど消失した。代わりに、大学移転後に侵入した(移入された)と思われるショウブがわずかに生育している。湖岸植生の大部分は、ノイバラとつる性植物によって覆われているが、所々に湿地性の種(ヌマトラノオ、ミズユキノシタ、ヒメナミキ、コシロネ、ヒメジソ、ゴキヅル、アゼスゲ、タチスゲ、アゼナルコなど)が見られる。しかし、これらが生育している箇所も侵食によって失われつつあり、極めて危機的な状況にある。陸域のヨシ、オギは比較的池に近い場



図 21 鷺ヶ池における約 40 年間の湖岸環境の変遷。周辺の土地利用や植生の変化と同時に、エコトーンの消失、湖岸侵食、水質悪化(透明度低下)などが急速に進行していることが分かる。



所に点在しており、まとまった群落としては存在していない。陸域の中で、5～7月頃まではヨシが優占する場所がいくつか見られるものの、その後はつる性植物やセイタカアワダチソウが優占する。陸域の大半は、藪化・荒地化の進行とともに、木本類が分布を拡大している。特に西側は、植栽されたとみられるメタセコイアやヌマスギなどの高木、ヤブツバキやクロガネモチなどの低木が多く生育している。

水際植生の衰退によって、波浪による湖岸の侵食が進行し、わずかに残存していたエコトーンも消失した。湖岸侵食は極めて深刻で、湖岸には波浪による侵食、底質の流出によって高低差約 50～120 cm の侵食崖が生じ、以前のような浅瀬はなく、岸からすぐ池底に到達するという地形となっている（図 22）。このように急傾斜となった水際部は、増水時に植生の被覆ない部分が侵食・洗掘され、植生のある場所も崩落、岸部が侵食後退していくことが知られている。実際に、水位の低下と抽水植物などの被覆植生がないことによって、崖の途中がさらに侵食を受けており、陥没・崩落している箇所が存在する。また、土壌の嫌気化によって根系が浅くなり、湖岸侵食とともに倒伏した樹木もいくつか見られる（図 23・24）。さらに、ヌートリアの営巣による湖岸の掘削も懸念される。湖岸部での侵食による土砂の流出やヘドロの堆積が湖内全域で進行し、浅底化が生じている。同時に、底質の流出はヨシ・マコモ群落の再生を困難にしている可能性がある。この先、湖内全域で浅底化が進んでから急速に陸地化すると考えられる。

なお、図 21 で示すように、エコトーンの消失と侵食によって水面面積が次第に拡大していることは、航空写真からも確認できる。事前調査の結果、1975 年から現在までの約 50 年間で、約 1,200 m² のエコトーンが失われていることが明らかになった。図 16 に基づいて、1975 年頃は水面を除く陸域全体がすべてヨシやマコモで覆われていた（エコトーンであった）と考えると、これまでに失われたエコトーン（抽水植物群落）は、約 13,500 m² にのぼる可能性があることが明らかになった。

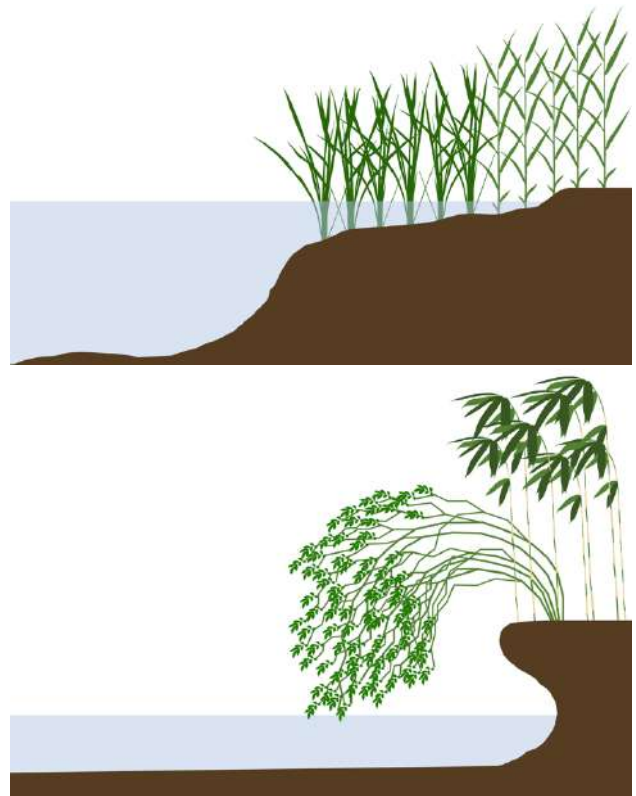


図 22 エコトーン造成予定地の湖岸環境の変化（上：1980 年代、下：2023 年現在）。約 40 年間で、水位低下、エコトーンの消失、ヘドロの堆積が進行し、それに伴う浅底化、湖岸侵食が著しく進んでいる。植生はヨシやマコモなどの抽水植物から、ノイバラやつる性植物、ジョウボウザサなど乾燥地性のもに变化している。



図 23 土壌の嫌気化で根系が浅くなり湖岸侵食により倒伏したジャヤナギ（右）、左の個体も侵食が進行すると倒伏の可能性がある。（2023 年 4 月 4 日撮影）

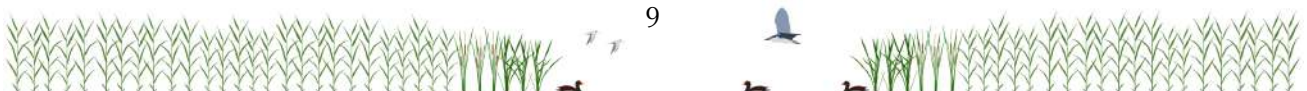




図 24 湖岸侵食により倒伏した樹木(種類不明)。(2022年4月6日撮影)

3. 目的・目標

3.1 エコトーン造成の目的と目標

上述のように、鶴ヶ池の湿生・水生植物について、定着・長期生育が困難であることが課題となっている。生育適地が侵食されたため、自然のままでは急速な回復はほとんど期待できない状況にある。阻害要因の検証が求められる中で、人為的にエコトーンの造成を行うことが、豊かな水辺環境の修復に向けた解決策の1つであると考えられる。大規模な工学的手法も選択肢の1つではあるが、人為的なコントロールを最小限に抑え、生態系の復元力(レジリエンス)を高めた保全方策として検討する。

エコトーン造成を通して、長期的には、かつての鶴ヶ池が有していた豊かな湖沼・湿地生態系とその多面的機能の修復を目指す。中期的には、抽水植物群落(エコトーン)の拡大を図ること、絶滅の危機にある湿生・水生植物を保全すること、湖岸侵食の進行を抑えること、崩落した湖岸環境を修復することを目指す。小規模な試験区を造成する今回は以下の短期目標を掲げる。

- ①消失したヨシ・マコモなどの抽水植物の生育場所を人工的なエコトーンの造成によって再生することが可能か検証する

- ②期待される効果や不可逆的な影響の発現など、今後のエコトーン整備や鶴ヶ池のあるべき姿を議論するための知見を得る
- ③造成したエコトーンの継続的な維持管理が可能かどうか検討する
- ④エコトーンの造成によって湖岸侵食を防止する
- ⑤鶴ヶ池の保全再生のプロセスにおいて学生自身が楽しみながら、実践し学ぶ

本企画の目的は、上記の目標達成に向けて、小規模な実験区を設置して、エコトーン造成による効果や不可逆的な影響、維持管理面について評価・検証することである。同時に、エコトーン造成が鶴ヶ池における今後の保全再生方策として有効であるか否かを検討する。また、企画全体を通じて、学生自身が身近な自然環境の保全修復のための技術、モニタリング調査手法、継続的な維持管理、自然環境が変化していくプロセスを体験学習する機会とする。さらに、試験区の範囲はわずかであるが、木板と木杭の設置によって、深刻化する湖岸侵食の波浪対策に貢献する。

3.2 エコトーン造成における目標種

エコトーン造成を実施するにあたって、その効果か影響を検証する「目標種」を動植物それぞれについて選定した。これまでの現地調査や文献調査、聞き取りの結果を踏まえて、以下のような考え方に基いて選定している。また、鶴ヶ池でエコトーンが発達していた1970-80年代の生態系ピラミッドの各階層から網羅的に種を選定するようにした。

- ・鶴ヶ池の湖沼・湿地生態系において本来主要な生息・生育種と考えられる種



・過去に鷺ヶ池とその周辺で生息・生育が記録されている種

・エコトーン環境への依存性から重要度が高い種

・エコトーン造成によって個体数増加が期待できる種

・エコトーン造成によって確認(移動、飛来、発芽など)が期待できる種

・鷺ヶ池やその周辺において希少性の高い種(絶滅のおそれのある種)

ここに挙げた種は現時点での調査結果や考え方に基づいて選定した目標種である。今後の調査結果やパブリックコメントなどをもとに再選定を行う場合もある。加えて、あくまでも後述する目標種はエコトーン造成の効果や影響の指標となる種であり、これら以外の多様な種とその生息環境条件についても十分留意し、保全を検討する必要がある。

3.2.1 目標種(植物種)

エコトーン造成における目標種(植物種)を表1に示す。本取り組みにおいて、短期的には、3種の抽水植物(ヨシ、マコモ、ヒメガマ)の定着を図る。中期的には、3種の分布拡大とともに、その他の抽水植物の定着を図る。長期的には、短期・中期目標種のさらなる拡大とともに、鷺ヶ池から絶滅した種、絶滅の危機に瀕している湿生・水生植物種の保全再生を図る。植栽・移植するにあたって、基本的には鷺ヶ池を含む大学キャンパスにおいて生育・残存している個体、または埋土種子(土壌シードバンク)から発芽した個体を活用する。

表1 造成したエコトーンでの生育・繁殖を目指す植物種(短期・中期・長期目標種)

短期目標種	ヨシ (イネ科)
	マコモ (イネ科)
	ヒメガマ (ガマ科)
中期目標種	アゼナルコ (カヤツリグサ科)
	タチスゲ (カヤツリグサ科)
	アゼスゲ (カヤツリグサ科)
	オギ (イネ科)
	クサヨシ (イネ科)
	コガマ (ガマ科)
長期目標種	オグルマ (キク科)
	クロモ (トチカガミ科)
	ミゾコウジュ (シソ科)
	キクモ (オオバコ科)
	サデクサ (タデ科)
	サクラタデ (タデ科)
	ミゾソバ (タデ科)
	コナギ (ミズアオイ科)
	センニンモ (ヒルムシロ科)
	ヌマトラノオ (サクラソウ科)

今回、短期目標種として掲げたヨシ、マコモは1970-80年代における鷺ヶ池の優占種であることから選定した。また、ヒメガマは鷺ヶ池での記録はないものの、大学キャンパス内で生育していること、周辺地域(岐阜市則松で生育確認)から風散布で種子が飛来する可能性が高いことから、目標種に選定した。これら3種は抽水植物の代表種であるが、図25に示すように水深や泥の堆積状況によって生育適地が異なる。そのため、後述する2段からなるエコトーン試験区に創出された異なる環境条件をカバーできると考えられる。



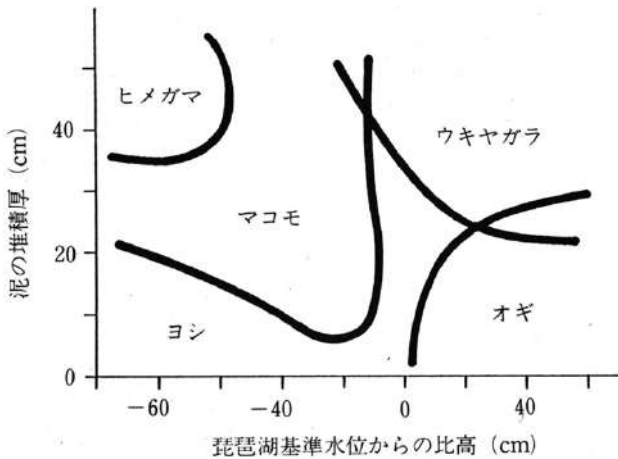


図 25 琵琶湖岸における低湿地の優先種の立地(出典:奥田・佐々木(1996)「河川環境と水辺植物 一植生の保全と管理一」, p.26)

中期目標種に掲げたアゼナルコ、タチスゲは鶺鴒池での記録はないものの、大学キャンパス内で生育していること、過去の植物目録でカサスゲ(カヤツリグサ科)と誤同定した可能性が高いことなどから目標種に選定した。また、コガマについても鶺鴒池での記録はないものの、埋土種子から発芽が確認されたこと、周辺地域(岐阜市西秋沢で生育確認)から風散布で種子が飛来する可能性が高いことから、目標種に選定した。

長期目標種に掲げたキクモについては鶺鴒池を含む大学キャンパスからは絶滅したため、隣接する伊自良川河川敷からの再導入を検討する。また、クロモやセンニンモのような沈水植物はエコトーンという「場の消失」のみならず、富栄養化やヘドロ堆積、透明度低下など複合的な要因によって絶滅したと考えられる。そのため、「場の再生」とともにこうした課題解決が必須である。加えて、すでに大学キャンパスやその周辺から消失した種については、埋土種子(土壌シードバンク)を活用した再生も検討していく。

将来的には、ミズタガラシ(アブラナ科)、ウマスゲ(カヤツリグサ科)、ミズユキノシタ(アカバナ科)、ナガエミクリ(ミクリ科)など、鶺鴒池では生育記録はないが、大学周辺で個体数が減少傾向にある植物種について、生息域外保全の必要が十分に大きければ積極的に検討する。

3.2.2 目標種(動物種)

エコトーン造成における目標種(動物種)を表2に示す。これらはエコトーン(抽水植物群落)を主な生息場・繁殖場として利用している動物種である。今回の小規模な試験区での効果が期待できないが、今後長期的にエコトーンを造成し、その面積が拡大した場合には、移動・飛来・繁殖の可能性が高い。

表 2 造成したエコトーンでの生息・繁殖を目指す動物種(長期目標種)

鳥類	オオヨシキリ (ヨシキリ科)
	ヨシゴイ (サギ科)
	セッカ (セッカ科)
	コジュリン (ホオジロ科)
	カイツブリ (カイツブリ科)
	バン (クイナ科)
	クイナ (クイナ科)
	ヒクイナ (クイナ科)
	オオジシギ (シギ科)
魚類	デメモロコ (コイ科)
水生昆虫類	クロゲンゴロウ (ゲンゴロウ科)
	タイコウチ (タイコウチ科)
	ミズカマキリ (タイコウチ科)

4 実施内容

4.1 エコトーンを造成する意義

かつての鶺鴒池は、伊自良川の氾濫原的な環境の面影を残しており、多種多様な野鳥、水生生物、水生植物などの貴重な生息・生育の場となっていた。1975年に「岐阜大学自然保存地」に指定されたものの、具体的な保全・管理・活用の方針は決まらず「放置」され、自然環境の劣化と生物多様性の低下が著しく進んでいることがこれまでの調査結果から確認されている。地球環境や大学周辺の環境変化も原因と考えられるが、人間活動の影響によって劣化した鶺鴒池の自然環境を私たちの手でコントロールし、修復・再



生することも人間の責任であると私たちは考えている。

エコトーンは多種多様な動植物の生息・生育場や繁殖場として重要な環境であるとともに、湖岸侵食の防止、水質改善への寄与、人間生活への資源供給、環境教育・自然体験への寄与など、多面的な機能を有している。しかし、鶴ヶ池では1980年代以降、水位低下や富栄養化に伴う水際植生の衰退、波浪によって池のエコトーンは消失した。そこで、本企画は鶴ヶ池において人工的にエコトーンを造成し、水際植生

の復元を促すことによって、豊かな水辺環境とエコトーンが有する多面的機能の修復を目指す。

4.2 期待される効果

エコトーンやそれを構成する植物群落は、2.1で示したような多面的な機能を有する。エコトーンの造成によってこれらの多面的機能が回復することが期待される。エコトーンの造成は、豊かな水辺環境の修復において、重要な役割を果たすと考えられる。

表3 エコトーン造成によって期待される効果とその詳細

期待される効果	効果の内容
多種多様な動植物の生息・生育環境の拡大(生息・生育場、繁殖場の提供)	エコトーンは、鳥類、魚類、水生昆虫類、十脚類、貝類など、多種多様な動植物に対して生息・生育場所を提供するほか、繁殖・成長場所としての機能も有する。特に鳥類にとっては、営巣地、越冬地、集団ねぐら地、渡りの中継地として重要な役割を持つ。また、植物体の水中部は、植物プランクトンを食べる動物プランクトンの生息場所(捕食者である魚類からの避難場所)、濾過食性の付着性動物や栄養塩吸収効果の高い付着性藻類の生息基盤となる。エコトーンを生息場所とする小型の水生生物が増加することで、餌資源としている魚類や鳥類も増加し、湖沼・湿地生態系全体の回復が期待される。
湖岸侵食の抑制	湖岸侵食の抑制はもちろん、エコトーンを含む崩壊した湖岸環境の修復が期待される。今回は木板と木杭による侵食防止が主であるが、将来的には、定着・活着した抽水植物群落による侵食防止機能が期待される。エコトーンでは、増水時や雨天時に植物体が倒伏することで地表面の侵食を軽減する。また、抽水植物の地下茎の発達によって、土壌保持能力や護岸機能が期待される。
ヨシやマコモといった抽水植物を再生させる場所の創出	現在の鶴ヶ池は、抽水植物の生育適地が侵食されたため自然のままでの急速な回復が厳しい状況にある。人工的なエコトーン造成と湿生・水生植物の移植・植栽を通して、成長した移植株の種子・切れ藻・殖芽の分散や地下茎の広がりによって、水生植物の再生産・拡大とともに、群落の形成・維持が期待される。また、泥に含まれる埋土種子(土壌シードバンク)の発芽、絶滅した植物種の復活も期待される。復活した植物種の生育場所として、造成したエコトーンが機能することも期待できる。
浅底化の防止(浅底化を引き起こしているヘドロの運搬先確保)	冬季の刈り取りによって枯死した植物体を湖外に持ち出すことにより、ヘドロの堆積を抑制する。また、今回はエコトーンの植生基盤として、造成地の周辺から採取したヘドロを用いる。池の水位を一時的に下げれば、ヘドロ



	<p>を干し出すことによる分解促進も期待される。先述の埋土種子（土壌シードバンク）の発芽など、このようなヘドロの活用が実現できた場合、かいぼり（池干し）を行った際に掻き出されるヘドロの運搬先としても期待される。</p>
<p>栄養塩類の除去(水質汚濁の改善・進行を抑える)</p>	<p>エコトーンを構成する湿生・水生植物群落は、栄養塩類や汚濁物質の捕捉・吸収・分解を通して水質浄化に寄与する。これら栄養塩類を吸収した植物体を湖外に持ち出すことにより栄養塩類の削減につながる。また、水質浄化や底質分解に寄与する藻類、動植物プランクトン、底生生物の増加によっても効果が期待される。さらに、光や栄養塩類をめぐる競争やアレロパシー作用による植物プランクトン増殖の抑制によって淡水赤潮の対策としても期待される。</p> <p>ただし、群落維持のために、刈り取りが年1回しか行えないこと、栄養塩類が地下茎へ転流された冬場に刈り取ることなどの理由から、急速に大きな効果があるとは言えない。</p>
<p>エコトーン造成地付近の透明度向上</p>	<p>エコトーンを構成する水際植生の存在によって、繁茂した葉や茎によって、風速・波浪・流れが減衰され、懸濁物質の沈降が促進される。また、根の発達による底質の安定化と底泥の巻き上げ抑制、それに伴う栄養塩類の溶出・回帰抑制が期待される。加えて、植物体による遮光や動物プランクトンへの生息場所（捕食者である魚類からの避難場所）提供によって、植物プランクトンの増殖抑制に寄与する。以上の効果からエコトーン造成地付近の透明度向上が期待される。</p>
<p>水辺景観の形成(親水性・景観の改善)</p>	<p>水生植物は人間の心に癒しを与える存在でもあり、植物そのものや景観としての美しさを楽しむことができる。また、浅場域の拡大によって、後述するような水辺環境での自然観察や環境教育など、親水性の向上が期待される。さらに、水際植生による湖岸の目隠し効果による景観の改善や採餌・休息・繁殖している水鳥に対する目隠し効果も期待される（上述の「多種多様な動植物の生息・生育環境の拡大」につながる）。</p>
<p>環境教育や自然体験学習の充実</p>	<p>エコトーン（水生植物群落）は、その機能の多様性から、自然の営みや人間活動との関わり、環境問題について理解し活動を展開する場として重要である。大学キャンパスの場合、学生や地域の人々が実物に触れて環境学習を行う場、保全のための幅広い技術・視野を持った人材を育成する場として機能することが考えられる。また、自然環境やそこに棲む動植物と親しみふれあいを深める自然観察会や観察施設の整備、エコトーンに関する知識や湖沼生態系の保全の必要性について普及啓発を図ることも重要である。将来、エコトーンの造成、抽水植物の植栽、ヨシを使用したイベントや体験学習、また刈り取ったヨシの新たな有効な利用検討などに、学生・教職員・地域住民・企業が参画・協働することによって、エコトーンの持つ価値を共有するとともに、池への関心の高まりと環境教育への寄与が期待される。</p>



資源の循環と農業・人間生活への貢献	刈り取った抽水植物は焼却処分されることも多いが、これらを堆肥、ヨシ紙、食品、バイオマス資源などに加工、付加価値をつけて有効活用することで、資源の循環と農業・人間生活に貢献することが期待される。
-------------------	--

■ 湖沼の水質浄化手法について

富栄養化した湖沼の水質改善を図るためには、エコトーンの回復・再生のみならず、複数の手法を組み合わせることで実施することが効果的である。

- ①衰退・消失した水生植物を回復・再生させる。
- ②食物連鎖などの生物間相互作用を活用する。
- ③湖内の未利用の動植物資源を取り出して肥料などとして循環利用する。
- ④かいぼりなど、中規模の人為的攪乱を実施する。

上記の方法は、大規模な機械類などを導入することなく、自然の復元力を活かした再生方策である。河川水を導入して再生を図る場合においても、沈水植物群落の発達、魚類相の健全な構成、大型の動物プランクトンの十分な発生などが得られるレベルまで改善させるためには、それ単体ではなく、いくつかの再生方策と組み合わせることが必要であると言われている。また、水生植物の再生、生物間相互作用、物質循環の取り組みは、効果自体は小さいかもしれないが、持続的に水質改善を図っていくためには重要な対策である。

4.3 想定される懸念点

エコトーン試験造成にあたって、下記のような不可逆的な影響や問題点が想定される。取り組みの対象は生態系であり、そこに生息する動植物と物理的環境の膨大かつ複雑なシステムによって成り立っている。そのため、人為的攪乱が生態系に与える影響のすべてを把握し予測することは非常に困難（＝不確実性）である。今回のような保全方策が実施者の期待通りに行く場合もあれば、予期せぬ結果（取り返しのつかない失敗）をもたらす場合も考慮しなければならない。この不確実性への対処として、「順応的管理手法」に基づいて取り組みを進める。

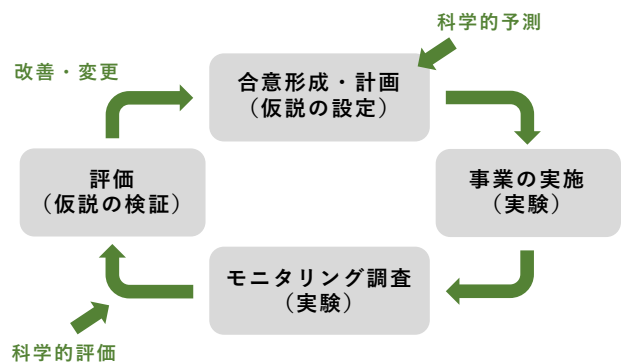


図 26 順応的管理の流れ。エコトーン造成のみならず、鶴ヶ池自然再生プロジェクトの取り組みはすべてこの考え方に基いて進める。（日本生態学会(2010)「自然再生ハンドブック」, p.43）

表 4 エコトーン造成によって想定される懸念点とその対応策・解決策

想定される懸念点	対応策・解決策
木板の継ぎ目や湖岸側から泥が流出してしまう ※湖岸側は波浪で侵食されており真っ直ぐ切り立った崖ではない。	設計を変更し、隣り合う板をわずかに重ねてから打ち込む。または数日間天日干しして固まった泥を投入する。湖岸側から流出する場合には、最低限湖岸を削って板との隙間をなくすようにする。
地面が緩く移植株が定着・活着しない	一定期間、池の水位を下げるまたはかいぼり（池干し）によってヘドロの乾燥を促す。基盤とする土壌を池外から投入することも検討する。



	※移植時期やその年の環境条件に左右される可能性もあるため、多方面から原因の究明にあたる。
ヨシが水に接しておらず水質浄化機能が発揮できない ※土壌中の栄養塩類の吸収を中心に機能しているため、効果がないわけではない。	次回の施工時に造成区の高さを再検討、既存の造成区はかいぼり時などに調整する。角落堰やチェックゲートの設置により池の水位を上げる。
枯れた抽水植物による底質悪化、 栄養塩類の回帰 ※冬季に枯れた植物体を放置すると、植物が捕捉・吸収した窒素やリンなどの栄養塩類が水中に溶け出し回帰してしまう。また、これらがヘドロ化して浅底化が進行する。	継続的に抽水植物（水際植生）を刈り取り、水域から除去（湖外に排出）することによって、富栄養化と浅底化の進行を抑制する（4.4⑤でも後述）。
波浪の緩和による底質の細粒化 ヘドロの堆積 ※刈り払いを実施していても枯死した植物体の堆積は完全には排除できない。 ※脱窒効果があるため、この還元層は最低限必要であるが、20 cm 以上厚く堆積すると抽水植物の生育が阻害される。	短期間の水位低下やかいぼり（池干し）を定期的を実施し、底質環境の改善を図る。ヘドロのすき取り除去も検討する（ヘドロの有効活用策についても検討する）。エコトーン内でのヘドロの堆積状況についても注意深く観察し記録する。本来、エコトーンは季節や降雨量に応じて環境が変化する干出域である。しかし、上述のとおり、鶴ヶ池に流入した水は即座に南側の水路から構内河川へ排水される。そのため、角落堰やチェックゲートの設置により池の水位を上げること、かいぼり（池干し）によって水位を変動させる（湛水域は干出させること）が必要になってくると考えられる。
キシウブなど繁殖力が旺盛な外来植物の侵入・拡大 ※一般的に湿地再生のために形成された裸地的な場所には、外来植物が定着する可能性がある。	定期的なモニタリングの上、発見時には駆除活動（抜き取り、冬季の刈り払い）を実施する。
移植株の確保が難しい	移植株の確保にあたって、移植元の地下茎を破損させたり個体数を減少させる恐れがあるため、移植元の個体数の回復状況を考慮するとともに、播種や挿し木によるヨシ苗栽培移植についても今後検討していく（4.4③でも後述）。
刈り取った抽水植物の処分方法	当面は焼却処分を検討しているが、これらに付加価値をつけて有効活用する方法（堆肥、ヨシ紙、食品、バイオマス資源など）についても検討していく。
維持管理面の問題（維持管理が追いつかない） ※エコトーンとそこに生育する抽水植物群落の機能を最大限発揮するためには、刈り払いを中心とした継続的な維持管理が必須である。	試験区の撤去を検討する。施工にあたって地面に打ち込んでいるため、撤去が難しい場合も考えられる。そのような場合に備えて、木製の材料を用いることで環境への負荷を低減する。今後の遷移をモニタリング、岸辺の侵食防止用に活用することを検討する。



4.4 実施手順

エコトーン試験区の造成は、図 27 と後述するプロセスで行う計画であるが、常に前述した「順応的管理」の考え方に基づき実施する。試験区の造成以降、維持管理とともに、随時評価の実施と知見の取りまとめを行う。不可逆的な影響や問題が発生した場合には、科学的知見に基づいて順応的に対応・再検討を行う。

①エコトーン試験区造成地の選定・造成手法の検討

エコトーン試験区の造成地は、これまでの調査結果に加えて、調査研究や自然観察で鶴ヶ池を利用している専門家や学生の意見を参考に、以下の点を踏まえて検討した。

- ・現在の鶴ヶ池の生育環境条件に適応した植物やそれらを利用する多様な昆虫類が生息している。造成にあたって湖岸の植物を刈り払う必要がある。既存植生や昆虫相への影響を最小限に抑えるため、比較的単調な植生の箇所を選定する。
- ・2024年11月頃から池Aにおいて、かいぼり(池干し)を行う予定である。排水時に試験区のメンテナンスや拡大作業が可能である。また、池Aの南岸は樹木が侵入・成長しているため日当たりが悪く抽水植物の生育に向かない。北岸・東岸は水深が非常に浅く、底質も礫質が中心で杭や板を打ち込めない。以上を踏まえて施工やメンテナンス作業が容易な箇所を選定する。

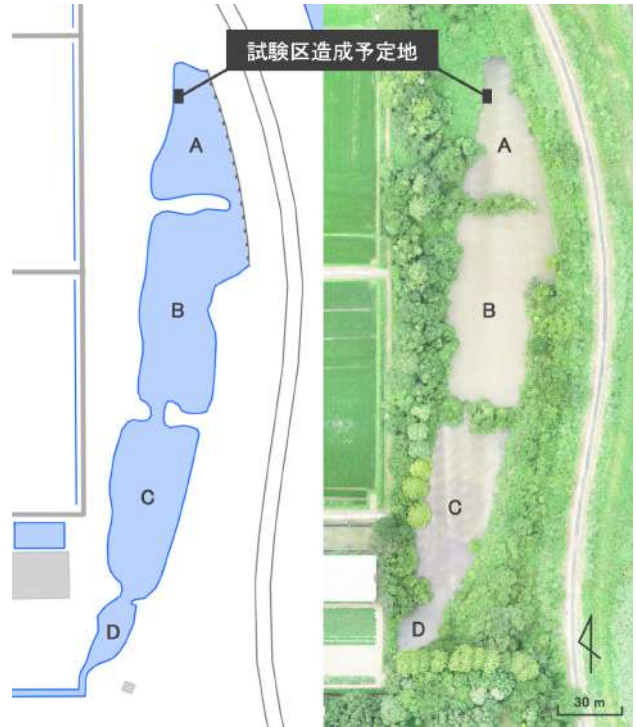


図 28 エコトーン試験区の造成予定地。鶴ヶ池でのこれまでの調査結果と利用者の意見を参考に、植生や今後の保全再生に基づいて予定地を選定した。

検討の結果、図 28 に示した池 A の西側湖岸を造成予定地として選定した。2022年11月12日に現地の湖岸を一部刈り取り、地形と植生を調査した。事前調査の結果、予定地の湖岸には、図 22 (下) のような 110 cm の侵食崖が生じており、崖の下には崩落したと思われる砂が堆積していた (図 29)。また、植生

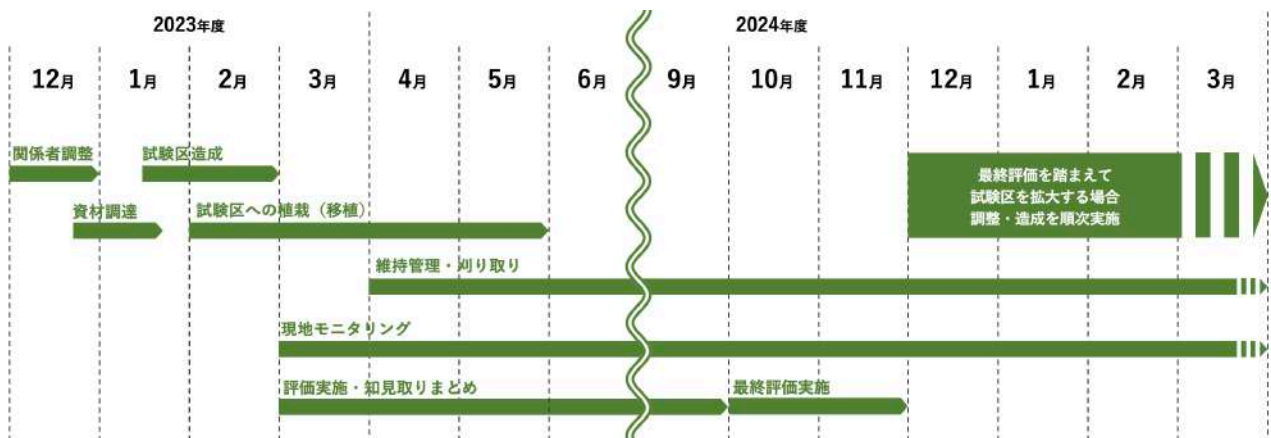


図 27 鶴ヶ池におけるエコトーン試験造成のプロセス。順応的管理に基づき、区切りにこだわることなく柔軟に対応する。



について、予定地には表5で示した7科7種の植物種が生育しており、希少種や外来種は見られなかった。なお、2023年現在、鶴ヶ池には63科143種の維管束植物(木本、草本、シダ植物)が生育している。陸域にはジョウボウザサが優占し、侵食崖はノイバラやつる性植物で水面まで覆われていた。



図29 エコトーン試験区の造成予定地の湖岸状況。110 cmの侵食崖が生じており、崖はノイバラやつる性植物で水面まで覆われていた。

表5 エコトーン造成予定地の植物相(上が最も優占している種)。

科名	和名
イネ科	ジョウボウザサ <i>Sasaella bitchuensis</i>
バラ科	ノイバラ <i>Rosa multiflora</i>
ツヅラフジ科	アオツヅラフジ <i>Cocculus trilobus</i>
ブドウ科	ヤマブドウ <i>Vitis coignetiae</i>
マメ科	フジ <i>Wisteria floribunda</i>
ウリ科	カラスウリ <i>Trichosanthes cucumeroides</i>
カニクサ科	カニクサ <i>Lygodium japonicum</i>

エコトーン造成にあたって、土台の資材としては「捨石」や「矢板」が用いられるが、環境への影響やコスト面、景観面から今回は「木板・木柵タイプ」を採用した。これは、木板(合板)の両側に木杭を打ち込んだ構造である。木板の耐久性は10~20年と言われており、それまでにヨシが十分活着し、安定したヨシ群落が形成されていると考えられる。ヨシの活着が不十分で安定しない場合には、ヤナギ類(タチヤナギ、ジャヤナギ)の植栽によってエコトーンを補強することも考えられる。

11月23日には、これらの資材が設置可能か現地で検証を行った。その結果、侵食崖から150 cm程度までは底質が固く、合板がほとんど埋没しなかった。これより沖合は以前から池であったと考えられ、50 cm程度のヘドロの堆積があり、板の下半分が埋没した。以上の事前調査の結果をもとに試験区の設定を行った。

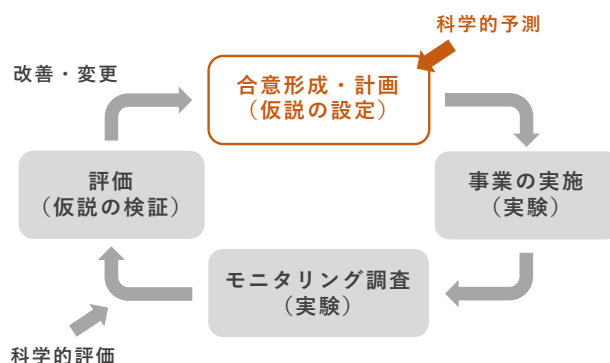


図30 順応的管理手法における本節「エコトーン試験区造成地の選定・造成手法の検討」のプロセス。

②エコトーン試験区造成(小規模区画の造成)

これまで述べてきたとおり、今回はエコトーン造成による効果や不可逆的な影響、維持管理面について評価・検証するため、鶴ヶ池の池Aに小規模な実験区を設置することとした。

はじめにエコトーン試験区のイメージ図を示す(図31)。試験区は、水面からの比高、土壌水分、泥の堆積厚が異なる2段から構成されている。設計図は図32・33のとおりで、前述したように侵食



崖から 150 cm 程度は合板が 15 cm 程度しか埋まらず、沖合は 50 cm 程度埋まるため、板の長さを調整している。また、造成にあたっての費用は表 6 のとおりである。

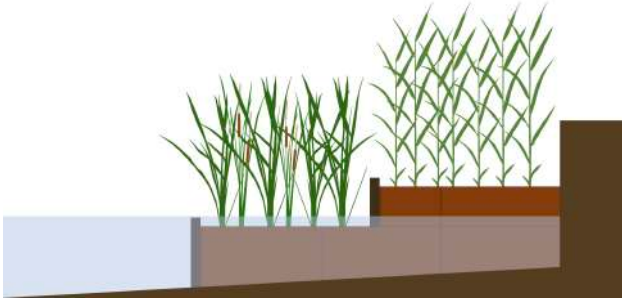


図 31 完成イメージ図。二段構成となっており、両段に半分ずつ、ヨシとマコモ・ヒメガマを植栽する予定である。

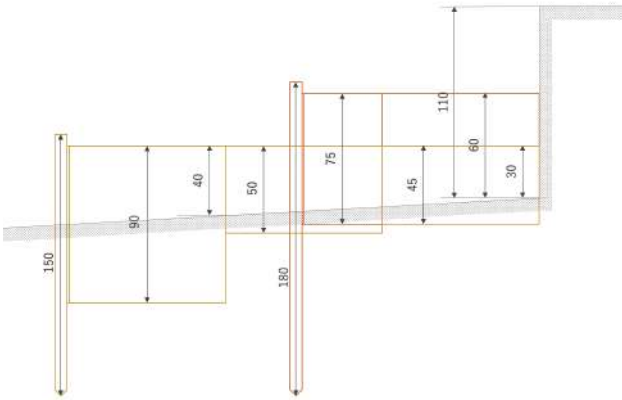


図 32 エコトーン試験区設計図(断面図を表している。棒が木杭、線が木板を表している。単位は cm。)

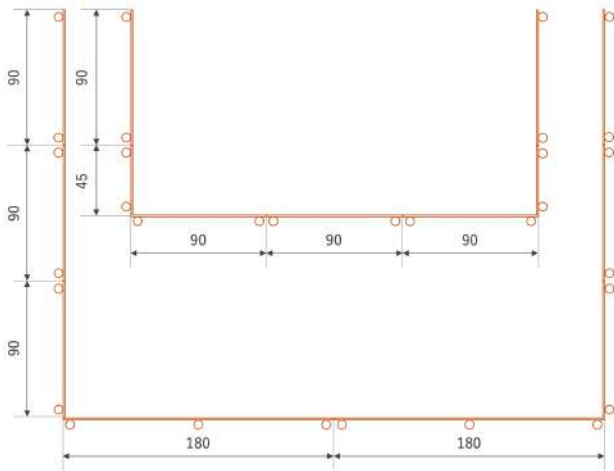


図 33 エコトーン試験区設計図(上から見た図を表している。棒が木杭、線が木板を表している。単位は cm。)

表 6 エコトーン試験区造成における購入物品と予算内訳(一部購入済)。

No.	物品	数量	小計
①	JASコンパネ(1800×900×12 mm)	2	¥ 5,016
②	JASコンパネ(900×900×12 mm)	2	¥ 2,541
③	JASコンパネ(900×500×12 mm)	2	¥ 2,574
④	JASコンパネ(900×450×12 mm)	2	¥ 7,755
⑤	JASコンパネ(900×750×12 mm)	5	
⑥	JASコンパネ(450×750×12 mm)	2	¥ 2,574
⑦	焼杉杭(60 φ×150 cm)	18	¥ 11,520
⑧	焼杉杭(60 φ×180 cm)	14	¥ 10,570
⑨	木槌	1	¥ 1,889
⑩	軽トラレンタル代 + 保険代 ニッポンレンタカー T-Hクラス 3時間利用の場合		¥ 5,500
合計			¥ 49,939

■ 施工手順

エコトーン試験区の造成手順と実施上の留意事項は以下のとおりである(図 35)。なお、施工する各段の高さは目安であり、現地の水位や底質状況を見て調整する。

①池 A 西側の造成予定地周辺の湖岸植生を刈り払う。刈り払い範囲は、幅約 5.0 m、高さ約 1.5 m の湖岸壁面の植生を対象とする(図 34)。刈り払いには手鎌と剪定鋏を使用し、軍手を着用して安全に十分注意して実施する。

②下段の施工にあたって、木槌で木杭を打ち込み(水面から約 20 cm 出る程度)、木板を立てかけるように設置して木槌で打ち込む(水面からの高さが木杭と同じになる程度)。

③木板で囲われた枠内に、周囲の泥をタモ網ですくい入れる。木板よりも 5 cm ほど低い位置まで泥を入れ終わったら、上段の施工に移る(泥が固まるまで日を空ける)。

④上段の施工は下段と同様にして、木槌で木杭を打ち込み(水面から約 40 cm 出る程度)、木板を立てかけるように設置して木槌で打ち込む(水面からの高さが木杭と同じになる程度)。



⑤木板で囲われた枠内に、周囲の泥をタモ網ですくい入れる。

⑥底質の状態が安定したら、上段と下段それぞれにヨシ、マコモ、ヒメガマを植栽する。植栽方法については後述する。



図 34 刈り取りと試験区設置範囲(白枠内)

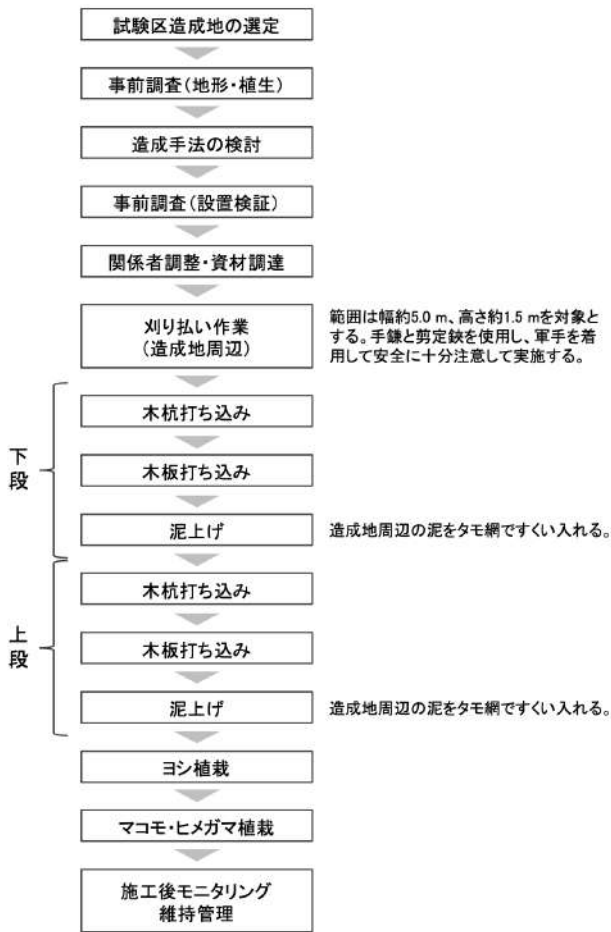


図 35 作業フロー(エコトーン試験区造成)

③抽水植物の移植・植栽

植栽・移植するにあたって、基本的には鵜ヶ池を含む大学キャンパスにおいて生育・残存している個体、または埋土種子(土壌シードバンク)から発芽した個体を活用する。植栽する目標種の詳細については、3.2.1を参照。

ヨシについて、今回は「地下茎法(ヨシの休眠期の終わりから春先の新芽が伸び始めるまでの間に、地下茎を掘り起こし、新芽を付けて20~50 cmに切り分けたものを苗として植栽する方法)」を採用する予定である。ただし、この方法は移植元の地下茎を破損させたり個体数を減少させる恐れがあるため、移植元の個体数の回復状況を考慮するとともに、播種や挿し木によるヨシ苗栽培移植についても今後検討していく。マコモとヒメガマについては構内水路・構内河川に生育している個体群から株分けによって移植する。

鵜ヶ池における抽水植物の移植も初の試みであるため、移植成功率向上と作業効率性を考慮して方法を検討していく。

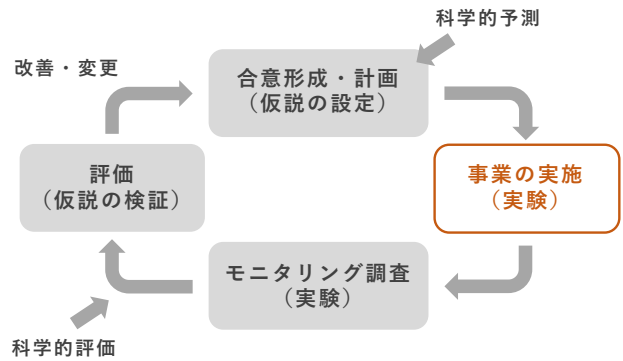


図 36 順応的管理手法における前節「エコトーン試験区造成(小規模区画の造成)」と本節「抽水植物の移植・植栽」のプロセス。



④モニタリング調査

今回の試験区を造成する目的は、エコトーン造成による効果や不可逆的な影響、維持管理面について評価・検証することである。同時に、エコトーン造成が鵜ヶ池における今後の保全再生方策として有効である

るか否かを検討することである。そのために、最初の1年間は下記のようなモニタリング調査を予定している。物理化学的環境の変化や動植物の応答、維持管理面などについて評価する。なお、モニタリング内容は造成後の状況に合わせて、適切な方法に変更する。

表7 現地でのモニタリングを予定している調査項目・内容

モニタリング項目	モニタリング内容
植生(生育状況、侵入状況)	移植・植栽を実施した箇所については、各季(年4回程度)に生育状況を確認するとともに、1m程度のコードラットを設定し、種構成や優占種の茎数などを記録する(例:水深、植被率、植生高、単位面積あたりの茎数)。侵略的外来種の侵入状況についても記録する。また、定点から試験区を撮影し、植栽した中止水植物の成長・拡大の変化を記録する。
鳥類(飛来状況、利用状況)	月2回程度実施している鳥類調査の際に、試験区における鳥類の利用状況も調査する。鳥類調査は、1年を通じて、鳥類の活動が活発な日の出前後にラインセンサス法を用いて行っている。試験区に出現した鳥類を鳴き声や目視確認により判別し、種名及び個体数、行動の状況について記録する。それ以外の範囲や時間帯に記録されたものについては、任意調査結果として記録する。
施工状況・物理環境	月1回程度、試験区及びその周辺の状況(例:木杭や木板が大きく動いていないか、土や泥の流出がないか、水面がエコトーンのどのあたりにきているか、など)をモニタリングし、必要に応じてメンテナンスを行う。

以上に加えて、1年を通じて試験区及びその周辺において生息・生育が確認された動植物を記録する。可能な限り個体数や行動の状況について記録するようにする。また、今後検討するモニタリング項目として、以下の項目を挙げる。

- ・湿重量、乾重量(抽水植物の成長量把握)
- ・地盤硬度(エコトーンの地形地質特性)
- ・水位変動(エコトーンの冠水状況)
- ・底質分析(エコトーン内の粒度・物質変化)

・鳥類利用状況(自動撮影カメラ(トレイルカメラ)による鳥類利用状況の把握)

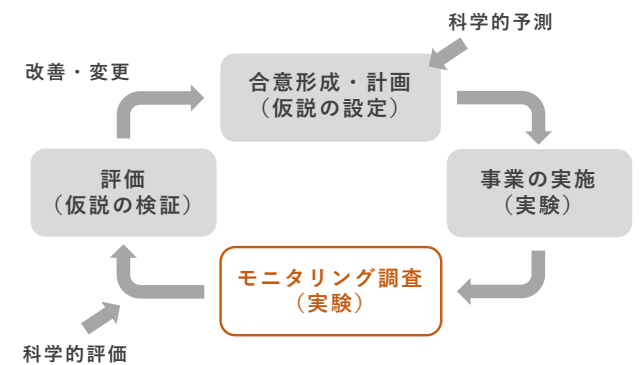


図 37 順応的管理手法における本節「モニタリング調査」のプロセス。



⑤定期管理

今回はヨシ・マコモ群落の維持を目的として、冬期に刈り取りを行う。ヨシやマコモは冬季には地上部が枯れる。これらを放置すると、植物が捕捉・吸収した窒素やリンなどの栄養塩類が水中に溶け出し回帰してしまう。また、これらがヘドロ化して浅底化が進行する。そのため、水際植生を刈り取り、水域から除去（湖外に排出）することによって、富栄養化と浅底化の進行を抑制する。さらに、刈り取りは春先の新芽の成長を促すこと、地上部に侵入・寄生している昆虫や表面に繁殖する菌類を除去できること、刈り取りという人為的攪乱によって植生遷移の進行を食い止めることが期待できる。以上のことから、ヨシなどの抽水植物群落を良好な状態で維持するために冬季の刈り取りを行う。

なお、刈り取り時期については、何を目的とするかによって適期が異なる。水質浄化（栄養塩類の除去）を目的とする場合、冬期には地下茎に転流しているため、地上部の栄養塩濃度が高い夏期前後に刈り取りを行うのが効果的である（水質浄化機能については2.1を参照）。効果的にヨシ群落を維持する（翌年の成長を維持し、他の植物の侵入を防止する）ことを目的とする場合では、刈り取り時期は12月など遅いほど良好であることが示唆されている。また、刈り取り後に茎が冠水すると翌年の成長が悪化することが報告されているため、刈り取り位置についても十分留意する必要がある。

⑥評価・検証・知見とりまとめ

試験区のモニタリング結果をもとに、エコトーン造成による効果や不可逆的な影響、維持管理面について評価・検証を行う。同時に、今後のエコトーン拡大や具体的な目標設定に向けて、知見の取りまとめを行う。具体的には、現状やモニタリング結果に応じて、実現の優先度を考慮した目標の再検討、他の保全方策との併用による複合的な効果の発揮に着目した取り組みの検討を行う。最終的には、鶴ヶ池において、エコトーン造成の拡大が現実的であるか、保全再生

に有効な手段であるか判断する。判断の例として、「改善策の検討」「経過観察」「試験区の拡大」「試験区の形状見直し」などが考えられる。

評価の時期について、不可逆的な影響の発生も考えられるため、順応的管理の考え方のもと、区切りにこだわることなく柔軟に取り組みの見直しを行うこととする。また、順応的管理の各プロセスにおいて、学生のみならず専門家が科学的評価を行うべきであるが、その解釈や判断が適切であるかどうか幅広く客観的評価を行う必要がある。評価に当たっては、可能な限り透明性を確保し、インターネット、広報誌、パンフレット、看板などで結果を公表・公開し、広く意見を求め（パブリックコメント）、今後の取り組みに反映させていく。

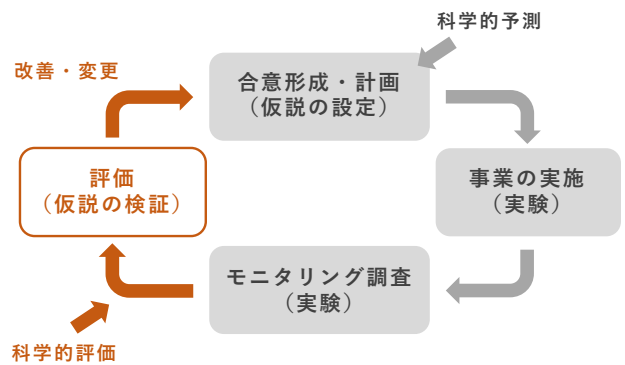


図 38 順応的管理手法における本節「評価・検証・知見とりまとめ」のプロセス。



■ エコトーン造成メンバー(岐阜大学環境サークル G-amet・鶴ヶ池自然再生プロジェクト)(2023年12月14日時点)

氏名	所属
羽賀 舞人	企画代表者 応用生物科学部 生産環境科学課程 環境生態科学コース3年
片山 義章	鶴ヶ池自然再生プロジェクト代表 工学部 化学・生命工学科3年
中藤 駿	自然科学技術研究科 生物生産環境科学専攻 環境生態科学領域2年
堀部 真生	応用生物科学部 生産環境科学課程2年
石原 美優	応用生物科学部 生産環境科学課程1年
上井 ゆり子	応用生物科学部 生産環境科学課程1年
清田 暖乃	応用生物科学部 生産環境科学課程1年
前田 佳穂	応用生物科学部 生産環境科学課程1年

■ 鶴ヶ池自然再生プロジェクトメンバー(岐阜大学環境サークル G-amet)

(エコトーン造成メンバー除く)(2023年12月14日時点)

氏名	所属
高橋 憲紀	自然科学技術研究科 生物生産環境科学専攻1年
丹羽 航大	応用生物科学部 生産環境科学課程4年
金元 和奏	応用生物科学部 生産環境科学課程3年
鈴木 美来	応用生物科学部 生産環境科学課程3年
高城 和佳	応用生物科学部 生産環境科学課程3年
田中 ひなた	応用生物科学部 生産環境科学課程3年
永田 弾	工学部 電気電子・情報工学科3年
小崎 文太	地域科学部 地域政策学科3年
CAO SHANSHAN	応用生物科学部 生産環境科学課程2年
後藤 明日香	応用生物科学部 応用生命科学課程2年
山中 健生	応用生物科学部 応用生命科学課程2年
河合 詩桜	応用生物科学部 生産環境科学課程1年
丸山 すず菜	応用生物科学部 生産環境科学課程1年

※鶴ヶ池自然再生プロジェクトは、岐阜大学環境サークル G-amet が中心となって進める学生主体の生物多様性保全・自然再生プロジェクトである。

■ 岐阜大学環境サークル G-amet 顧問

氏名	所属
櫻田 修	工学部 化学・生命工学科 教授



5 参考文献

- 荒川太郎右衛門地区自然再生協議会 生態系モニタリング委員会 (2005)「荒川太郎右衛門地区自然再生事業 試験掘削地の実験とモニタリング 資料-3」.
- 石井潤・橋本瑠美子・鷺谷いづみ (2011)「渡良瀬遊水地の湿地再生試験地における初期の植生発達」, 保全生態学研究 16 : pp.69-84.
- 伊豆沼・内沼自然再生協議会 (2020)「伊豆沼・内沼自然再生全体構想 第2期 ～ひと・みず・いきものが織りなす輝く未来へ～」.
- 伊豆沼内沼自然再生協議会 (2021)「令和3年度自然再生事業の成果報告」.
- 伊豆沼内沼自然再生協議会 (2021)「令和3年度伊豆沼・内沼自然再生事業水質改善効果検討調査結果」.
- 伊豆沼内沼自然再生協議会 (2022)「令和4年度伊豆沼・内沼自然再生事業水質改善効果検討調査結果」.
- 伊豆沼内沼自然再生協議会 (2022)「令和4年度 自然再生事業等実施計画 (案) 【宮城県実施分】」.
- 碓井星二 (2015)「魚類の生息場所としてのヨシ帯の機能」, 東京大学大学院農学生命科学研究科生圏システム学専攻博士論文.
- 応用生態工学会 (2019)「応用生態工学会テキスト 河道内氾濫原の保全と再生」, 技報堂出版株式会社.
- 大森浩二・一柳英隆 (2011)「ダムと環境の科学II ダム湖生態系と流域環境保全」, 京都大学学術出版会.
- 奥田重俊・佐々木寧 (1996)「河川環境と水辺植物 -植生の保全と管理-」, 株式会社ソフトサイエンス社, pp.26-27, pp.52-55, pp.104-107, pp.166-182.
- 角野康郎 (2014)「ネイチャーガイド 日本の水草」, 株式会社 文一総合出版, pp.15-16.
- 株式会社 応用地質調査事務所 (1970)「岐阜大学統合予定敷地視察調査報告書」.
- 環境省 (2022)「生物多様性民間参画ガイドライン (第3版) -ネイチャーポジティブ経営に向けて-」, p.6.
- 岐阜県植物誌調査会 (2019)「岐阜県植物誌」.
- 岐阜市 (2014)「岐阜市の自然情報 ～岐阜市自然環境基礎調査～」.
- 岐阜大学 (1988)「岐大ひろば 第6号 特集 岐大キャンパスの環境をめぐる」.
- 岐阜大学開学五十周年記念誌発行等事業専門委員会 (1999)「岐阜大学の五十年」, p.61.
- 岐阜大学祭シンポジウム「鶴ヶ池からみる岐阜大学の環境」実行委員会 (日本科学者会議岐阜支部生活環境委員会・岐阜地域自然環境研究会・岐阜大学学生有志) (1998)「鶴ヶ池からみる岐阜大学の環境 -1997年「岐阜大学祭シンポジウム」記録-」.
- 岐阜大学生物科学研究会 (1972)「総合調査報告書 第6号 (神崎他編)」, pp.ト 1-8.
- 岐阜大学生物科学研究会 (1973)「岐大生研機関誌 (総合調査報告) No.7」, pp.1-8.
- 岐阜大学生物科学研究会鳥班 (1973)「岐阜大学統合移転計画に関する要望書 -自然保護-」.
- 岐阜大学生物科学研究会 (1980)「Bird Watching Vol.3」, pp.26-29.
- 岐阜大学生物科学研究会 (1983)「自然保存地総合調査報告書」.
- 岐阜大学排水処理施設運営委員会 (1996)「岐阜大学排水処理施設報 創刊号」, p.6.
- Christer Brönmark・Lars-Anders Hansson (2007)「湖と池の生物学-生物の適応から群集理論・保全まで」, 共立出版株式会社, p.259.
- 国土交通省 関東地方整備局 荒川上流河川事務所 (2005)「第9回荒川太郎右衛門地区自然再生協議会 議事録」.
- 国土交通省 関東地方整備局 荒川上流河川事務所 (2019)「荒川太郎右衛門地区自然再生事業 第35回維持管



- 理・環境管理専門委員会 参考資料1：目標種の選定と整備の経緯」。
- 小室隆・安部雄大・山室真澄（2021）「宍道湖における消波堤造成を伴うヨシ植栽事業が湖岸表層底質環境に与えた影響」, 陸水学雑誌 82 : pp.139-148.
- 財団法人 淡海環境保全財団（2002）「琵琶湖のヨシ再生に向けた植栽条件に係る調査研究 報告書」。
<https://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2001/00033/mokuji.htm>（2023年12月5日閲覧）。
- 桜井善雄（1991）「抽水植物群落復元技術の現状と課題」, 水草研究会報 43, pp.2-8.
- 桜井善雄, 荳木新一郎・上野直也・上原励・長田純子・越中直樹（1992）「河岸・湖岸帯植生の保全と復元に
 関する研究（要録）」, 環境科学年報（信州大学環境科学研究会）14 : pp.97-100.
- 桜井善雄（1994）「水辺の自然環境 -特に植生のはたらきとその保全について」, 人と自然 3 : pp.1-15.
- 滋賀県（2004）「ヨシ群落保全基本計画」. https://www.pref.shiga.lg.jp/site/jourei/reiki_int/reiki_honbun/k001RG00001005.html（2023年12月5日閲覧）
- 宗宮功（2000）「琵琶湖 -その環境と水質形成-」, 技報堂出版株式会社, pp.238-240.
- 高橋佑亮・藤本泰文（2018）「2007年の航空写真より計測した伊豆沼・内沼の水面形状および面積」, 伊豆沼・
 内沼研究報告 12 : pp.17-25.
- 田中周平（2008）「特集 琵琶湖の生態系と水質の改善 琵琶湖岸ヨシ群落の修復・再生への取り組み」, 環境技
 術 35(8) : pp.582-587.
- 谷田一三・江崎保男・一柳英隆（2014）「ダムと環境の科学Ⅲ エコトーンと環境創出」, 京都大学学術出版会.
- 成田高速鉄道アクセス株式会社（2012）「成田新高速鉄道線 環境影響評価事後調査報告書（施工時編）」。
- 成田高速鉄道アクセス株式会社（2014）「成田新高速鉄道線 環境影響評価事後調査報告書（供用時編）」。
- 西野麻知子・浜端悦治（2005）「内湖からのメッセージ 琵琶湖周辺の湿地再生と生物多様性保全」, サンライ
 ズ出版株式会社.
- 西廣淳・藤原宣夫（2000）「河川生態特集：湖沼沿岸の植生帯の衰退と土壌シードバンクによる再生の可能性
 -霞ヶ浦を例に-」. 土木技術資料, 42-12 : pp.34-39.
- 日本湿地学会（2017）「図説 日本の湿地 -人と自然と多様な水辺-」. 株式会社朝倉書店, pp.70-71.
- 日本湿地学会（高田雅之・朝岡幸彦・太田貴大・大畑孝二・佐伯いく代・富田啓介・藤村善安・皆川朋子・矢
 崎友嗣・山田浩之）（2023）「シリーズ〈水辺に暮らす SDGs〉3 水辺を守る -湿地の保全管理と再生-」, 株
 式会社朝倉書店.
- 日本生態学会（矢原徹一・松田裕之・竹門康弘・西廣淳）（2010）「自然再生ハンドブック」, 株式会社地人書
 館, pp.79-96.
- 日本生態学会（2012）「シリーズ 現代の生態学 9 淡水生態学のフロンティア」, 共立出版株式会社, pp.208-
 219.
- 野村忠夫・関根清・小西清明・橋本昭夫・山内克典・伊藤栄一・磯野昌弘・後藤研也・加藤照美・高橋弘（1985）
 「昭和 54 年度特定研究（岐阜大学）岐阜大学統合地周辺の環境に関する研究」, pp.5-34.
- 福岡市港湾空港局 アイランドシティ事業部 計画調整課（2023）「アイランドシティはばたき公園 湿地の順応
 的管理計画」。
- 藤本泰文・速水裕樹・横山潤（2019）「1976年から2012年にかけて伊豆沼・内沼の湖岸植生で生じたマコモ
 群落の消失と樹林化」, 湿地研究 9 : pp.29-37.
- 丸山幸太郎・道下淳（1983）ふるさとの思い出 写真集（明治・大正・昭和）, p.34.



- 水草保全ネットワーク (2018)「みんなが知りたいシリーズ⑩ 水草の疑問 50」, 株式会社成山堂書店, pp.107-110, pp.158-174.
- 皆川朋子・一柳英隆・鬼倉徳雄・萱場祐一・島谷幸宏・三宅洋 (2022)「社会基盤と生態系保全の基礎と手法」, 株式会社朝倉書店, pp.114-118.
- 宮城県 (2020)「伊豆沼・内沼自然再生事業実施計画 (第2期)」.
- 宮城県伊豆沼・内沼サンクチュアリセンター (2020)「伊豆沼・内沼サンクチュアリセンターニュース Vol.118」.
- 宮下直・西廣淳 (2015)「保全生態学の挑戦 空間と時間のとらえ方」, 東京大学出版会, pp.184-198.
- 養父志及夫 (2010)「設計から施工、メンテナンスまでがひと目でわかる ビオトープづくり実践帳」, 株式会社誠文堂新光社.
- 渡辺綱男 (2018)「湿地を対象とした自然再生事業の現状と持続的展開に関する研究」, 東京大学博士論文.

