清水建設研究報告
第101号2023年12月

都市型ビオトープ「再生の杜」におけるエコトーンの経年変化

渡部　陽介　　松岡　達也　　平野　尭将　　加藤　雄大
（技術研究所）　（技術研究所）　（技術研究所）　（技術研究所）

Vegetation Change of The Saisei-no-Mori Urban Biotope

Yosuke Watanabe, Tatsuya Matsuoka, Takamasa Hirano, and Takahiro Kato

本研究は2006年に清水建設技術研究所に整備された都市型ビオトープ「再生の杜」における都市の生態系回復の長期実証の一環で、エコトーンの経年変化を明らかにすることを目的とした。15年間の植物モニタリングデータを分析した。その結果、1)陸域では樹林の高木層が形成されつつも草地縮小によりエコトーンが衰退傾向にある一方で、2)水域では、多様な水草類等が継続生育しエコトーンが平衡状態にあることが明らかになった。こうした陸域・水域の変化には管理による攪乱が影響している可能性が示唆された。エコトーンが長期的に効果を発現するには初期のゾーニングに加え攪乱を考慮した植生管理をデザインすることが重要と考えられた。

The purpose of this study is to identified vegetation change of the Saisei-no Mori urban biotope which was constructed in 2006 at Institute of Technology Shimizu Corporation. As results, there have been following two findings; 1) Expansion of forest environment and degradation of grassland have been observed in terrestrial ecotone, 2) aquatic plants environment have stably been maintained in aquatic ecotone. It suggests that vegetation change of ecotone have been affected by disturbance in vegetation. For enhancing biodiversity for long time, in addition to zoning at planning phase, design of vegetation management considering disturbance is essentially important.

1. はじめに

地球規模で生物多様性の損失が深刻化するなか、SDGs・ESGをめぐる国際潮流は、生態系劣化の防止にとどまらず生態系の積極的な回復を目指すネイチャーポジティブへと大きく変化してきている。人と生き物が共生できる持続可能なまちづくりの基盤として、都市における生態系回復の実践と展開が急務となっている。

上記課題に対し、都市部では2000年以降、多様な生物の生息生育に配慮したビオトープ・緑地整備が多数試みられてきた。しかし、効果検証は、竣工直後など初期段階での生物モニタリングに基づく事例が多く、長期的な効果については公表された知見が乏しい。ビオトープ・緑地を構成する樹林や草地、水域などは時間の経過とともに変化するため、生態系回復の効果は長期モニタリングに基づく検証・改善が重要と考えられる。

都市における生態系回復に関する既往研究としては、郊外部や臨海部などの大規模な自然再生の事例が多い一方、土地の限られた都心既成市街地を対象とした知見は限られている。そうしたなか、京都都心に整備された復元型ビオトープ「いのちの森」は先駆的な試みである。操車場跡地に整備された梅小路公園の一角に7,000 ㎡弱のビオトープを創出し、1996年の開園以降、現在までモニタリングが継続され、長期知見が蓄積・公表されている[1)-3)]。しかし、長期モニタリングのなかで植生遷移や侵略的外来種の増加などの課題も指摘され[3)]、生態系回復の効果を持続・向上させる知見の蓄積が急務である。特に生物多様性の新しい国際目標30by30の主要施策OECM(民間取組等と連携した自然環境保全)において企業緑地の位置づけが強化されるなか、企業緑地での生態系回復に資する技術的知見の蓄積が必須である。

本研究の対象である都市型ビオトープ「再生の杜」は清水建設技術研究所の敷地にあり、都市の生態系回復の実証フィールドとして2006年に整備された企業緑地である。水域から陸域にかけての環境移行帯であるエコトーンをはじめ生物多様性に配慮した手法が導入され、竣工後15年以上にわたり生物モニタリングの長期観測が継続される。

再生の杜に関する既往知見としては、橘ら(2007)[4)]・橘・薬師寺(2012)[5)]、米村ら(2017)[6)]がある。橘ら(2007)と橘・薬師寺(2012)では、再生の杜の計画・施工・維持管理・モニタリングの生物生息

の状況について初期知見が報告されている[4),5)]。一方、米村ら(2017)は竣工後10年後の生物生息状況を初期・中期と比較して報告している[6)]。これらの既往報告から、都心近傍にもかかわらず多様な動植物の生息生育の場が創出・育成されていることやサギ類や水鳥、トンボ類等の生態系ネットワークの結節点になっていること等が実証されている。一方、動植物の生息生育の基盤となる植生の変化は、米村ら(2017)[6)]で考察されているがさらなる知見の蓄積が必要である。再生の杜を特徴づけるエコトーンは、生物の生息生育環境も連続的に変化する。多様な動植物の生息生育の場の創出・育成に資する重要な手法である。しかし、その経年変化と長期的な効果は未解明である。特に水域は希少な水草等の継続的な生育が確認され、中核的なゾーンであるが過去調査では調査範囲が水際に限られ植生の状況は明らかになっていない。

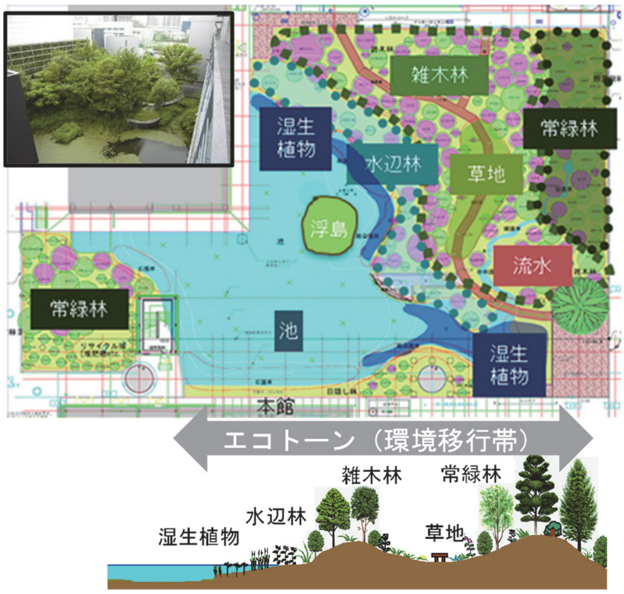
以上の問題意識のもと、本研究では再生の杜における都市の生態系回復の長期実証の一環として、15年間のエコトーンの経年変化を明らかにすることを目的とした。具体的には、基盤的環境として植生に着目して、1)エコトーンの植物相の経年変化、2)ゾーン別の植生変化、3)水域の現況植生、の3点を分析した。

2. 研究方法

2.1 「再生の杜」の概要

清水建設技術研究所の都市型ビオトープ「再生の杜」(東京都江東区越中島)を対象とした。総面積1,940m²陸域1,060 m²、水域約650 m²、ウッドデッキ160 m²等から構成される。

再生の杜では、多様な動植物の生息生育の場を創出・育成することを目指し、水域～陸域にかけて池・湿地・水辺林・草地・雑木林・常緑林とゾーニングし、徐々に環境が推移する「エコトーン」が整備されている(図−1)。さらに起伏を緩衝帯として活かすことで人と生物の活動の場を緩やかに区分している。また植栽した在来種200種(木本106 種、草本94 種)は遺伝子レベルで配慮し、すべて関東産とした。その他、近郊の建設現場の畑地・水田の土を表土として活用し、埋土種子による在来植生の早期回復を図った。一方、周辺緑地の生物調査や指標生物の棲みやすさのシミュレーションにより地域生態系との融合・生態系ネットワークの形成を目指している。また竣工以降、動植物の経年変化を観測しつつ樹林や草地、水域の順応的管理が実践されている。そのほか、保全対象種を残す選択的除草や化学薬品の低減、外来種駆除等の工夫も積み重ねられている。



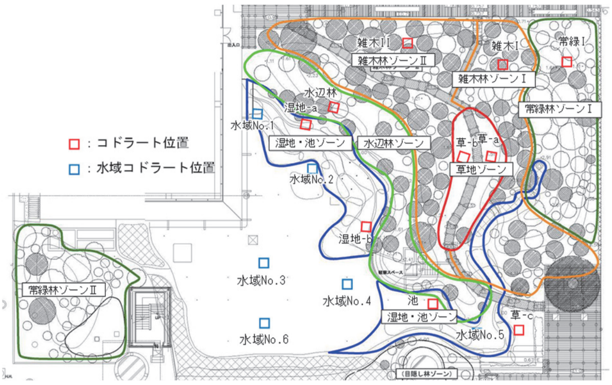
図−1 再生の杜のエコトーン・ゾーニング

2.2 植物モニタリング

植物モニタリングは2006年竣工後、15年以上にわたり継続されている。本研究ではこのうちエコトーンの植生変化にかかわる植物相(ある地域に生育する植物の全種類)および植生(ある地域を覆う植物群のまとまりと組成)調査、毎木調査のデータを用いた。以下、各調査の方法を示す。

植物相調査は、春季・秋季にビオトープ全域を踏査し、ゾーン毎に確認された種を記録した。

植生調査は、ゾーン毎にコドラート(方形状の調査区画)を設置し、下層植生(低木層・草本層)を対象に区画内で確認された植物種の被度・群度を記録した。コドラートは、計10カ所(常緑林1カ所、雑木林2カ所、水辺林1カ所、草地3カ所、湿地・池3カ所)である。水域は現況植生を把握する新規



図−2 調査地点(コドラート位置)

調査として、2021年に水域全域における湿地・水生植物の分布、2022年に水域コドラートにおける垂直的な階層(水面、水中上層、水中中層、水中下層)ごとの出現種や優先状況を調査した。**図−2** にコドラートの位置を示す。

毎木調査は、ビオトープ内を踏査し、確認された樹木(稚樹を除く)の樹種と樹高、枝張りおよび位置を記録した。

2.3　分析方法

2.3.1　ゾーン別の植物相の経年変化

各ゾーンにおける植物相の経年変化の全体傾向を把握するため，ゾーン毎に植物種数とその内訳を分析した。内訳は木本・草本と植栽種・出現種(埋土種子や風・鳥による種子散布等から出現した種)によって4区分した。

2.3.2　ゾーン別の植生変化

各ゾーンの植生の経年変化を把握するため、ゾーン毎に植生構造を分析した。具体的には、植生の階層構造を上層(高木層・亜高木層)、下層(低木層・草本層・水面下)に区分して植物の優占状況の経年変化を分析した。常緑林ゾーン・雑木林ゾーン・水辺林ゾーン(以下、各樹林ゾーンをまとめて表現する場合は「樹林エリア」とする)は上層・下層を、草地・湿地・池ゾーンは下層のみを対象とした。なお、湿地・池ゾーンは水中があるため、草本層と水面下に細区分した。

上層については、植栽時および15年目の毎木調査データを用い、面的広がりを表す指標として樹冠投影面積、群落の階層関係を表現する指標として平均樹高を種ごと・ゾーンごとに算出した。

下層植生は、竣工後4年目(2009年)、5年目(2010年)、10年目(2015年)、15年後(2021年)の植生調査データを用いて、コドラートで確認された植物種の被度(植物種の面的なひろがりを示す指標)の経年変化を分析した。被度は目視により被覆割合に応じて7階級で測定される。被度を定量評価するため各階級の中央値(被度 r: 0.1%、+: 0.5%、1: 5%、2: 17.5%、3: 37.5%、4: 62.5%、5: 87.5%)に換算した上で相対被度を算出した。相対被度は、対象となる植物種の被度の換算値をコドラート内で確認された全種の被度の換算値の合計値で除した値である。相対被度を年・生活型(植物の生活様式の類型)ごとに集計し平均値を算出した。

2.3.3 水域の現況植生

水域の現況植生を把握するため、2021年・2022年に行った植生調査データを用いて、池ゾーンにコドラートを6カ所設置して階層別・種毎に確認地点数を集計した。

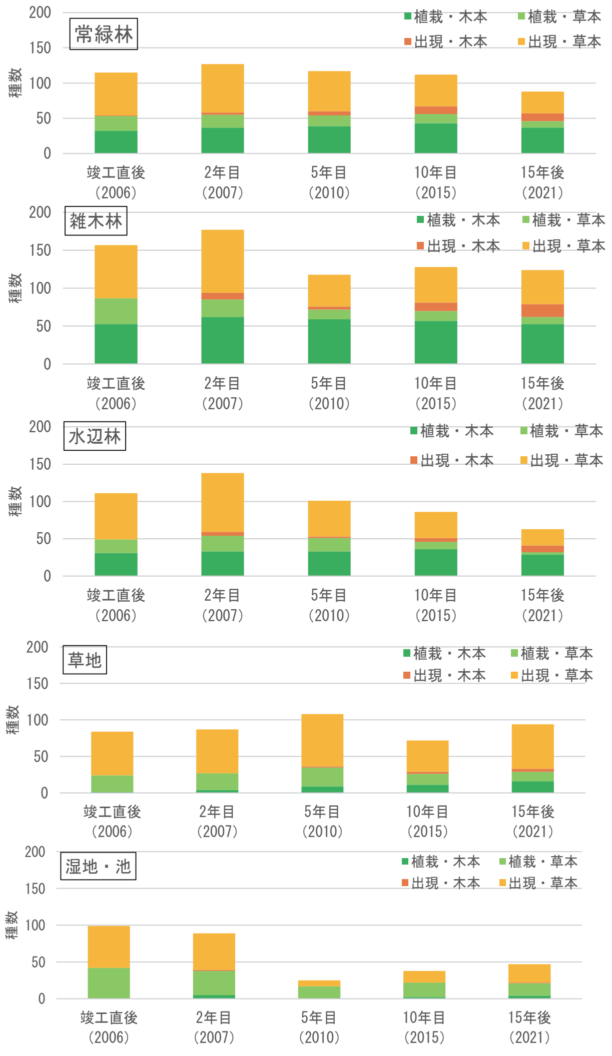
3. 結果

3.1　エコトーンの植物相の経年変化

図−3 に各ゾーンにおける植物種数とその内訳を分析した結果を示す。

3.1.1　樹林エリア

各ゾーンの植物種数は、常緑林・雑木林・水辺林いずれにおいても2年目がピークで100〜150種前後であり、その後は徐々に減少していた。特に、草本の増減が大きく、植栽種は経年的に漸減する一方、出現種は竣工後に急増した後に2年目をピークに大きく減少している。対して木本は、植栽した木本が15年後に植栽当初の種数を概ね維持され、出現した木本も微増していた。



図−3　ゾーン別の植物種数の変化

3.1.2　草地ゾーン

ゾーン全体の植物種数は、10 年目に 60 種程度まで減少したものの、経年的には 100 種前後で推移していた。内訳としては、植栽した草本が漸減したのに対し、出現した草本は 60 種前後で推移していた。また樹林エリアに由来すると考えられる木本の植栽種も増加していた。

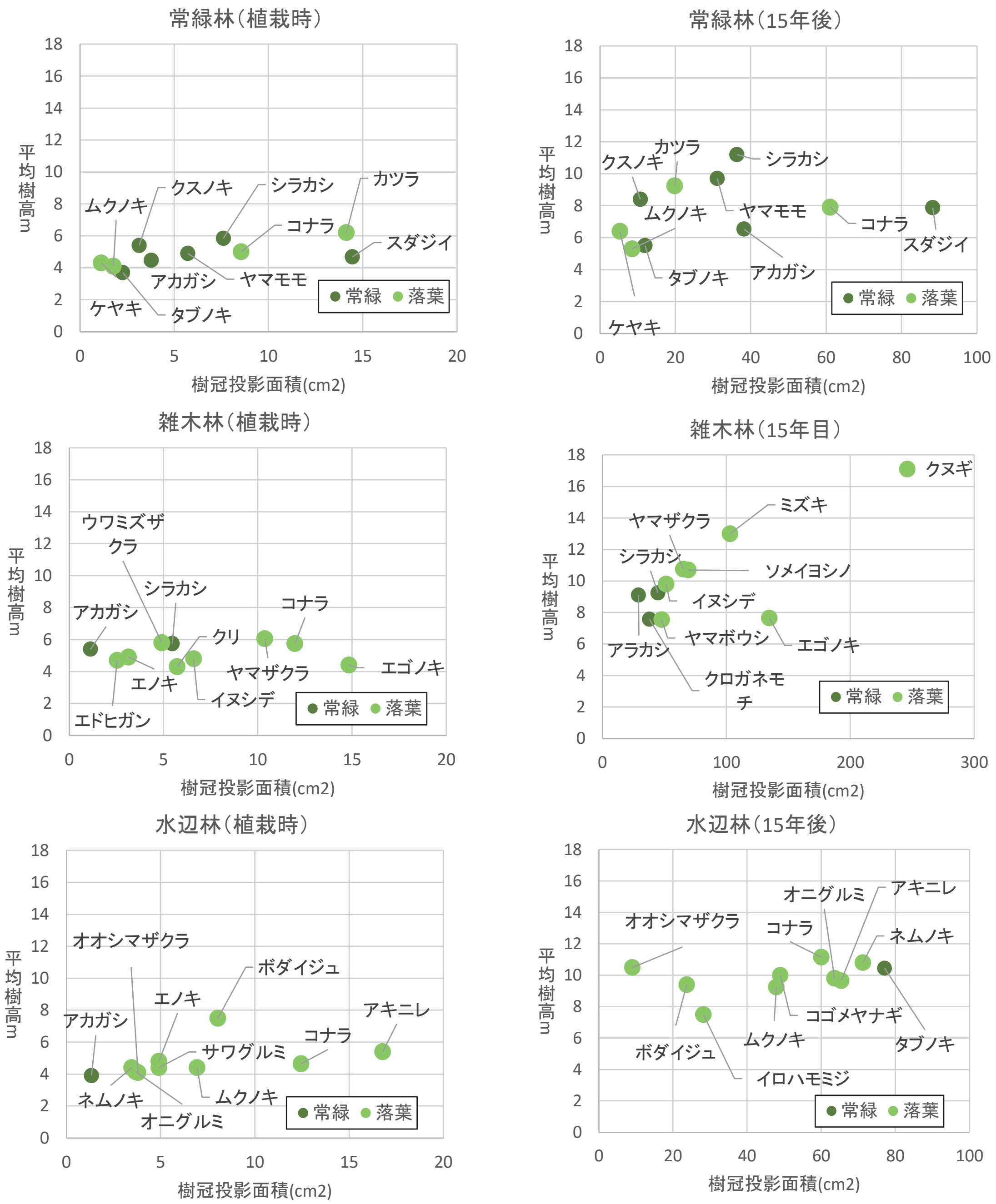
3.1.3　湿地・池ゾーン

ゾーン全体の植物種数は、竣工後に 100 種程度だったものが、15 年後には 50 種程度まで減少していた。特に、出現した草本の変動が大きいのに対し、植栽した草本は、5 年目に大きく減少した後、20 種程度で推移していた。

3.2 ゾーン別の植生変化

3.2.1 樹林エリア

図−4 に樹林エリアの階層構造について、植栽時と 15 年後の高木層～亜高木層の木本の優占状況の変化を示す。縦軸を平均樹高、横軸を樹冠投影面積の平均として、平均樹高の大きい上位 10 種について図示した。



図−4　樹林エリアの階層構造（上層）

その結果、常緑林では植栽時は、常緑樹であるスダジイやシラカシ、アカガシ等とカツラ・コナラ・ケヤキ等の落葉樹が 4～6m 付近に分布し、樹冠投影面積はスダジイとカツラが大きかった。対して 15 年後は、シラカシやヤマモモが 10m 前後となり高木層を、スダジイやコナラ・アカガシ・ムクノキ等が 8m 付近の亜高木層をそれぞれ形成していた。樹冠投影面積は、スダジイが最大で、コナラ・シラカシ・アカガシ・ヤマモモの順に大きかった。スダジイを主体とした常緑高木が優占する高木層が形成されていた。

雑木林では、植栽時はコナラやクリ、エゴノキ、サクラ類などの落葉高木が 4～6m 付近に分布し、樹冠投影面積はエゴノキ、コナラ、ヤマザクラの順に大きかった。対して 15 年後は、クヌギやミズキ、サクラ類が 10m 以上となり高木層を形成する一方、亜高木層には、エゴノキやシラカシ、アラカシ、クロガネモチなどが分布していた。樹冠投影面積は、クヌギが特に大きかった。雑木林の高木層はクヌギを主体とした落葉高木が優占する一方、亜高木層は落葉高木と常緑樹が混在していた。

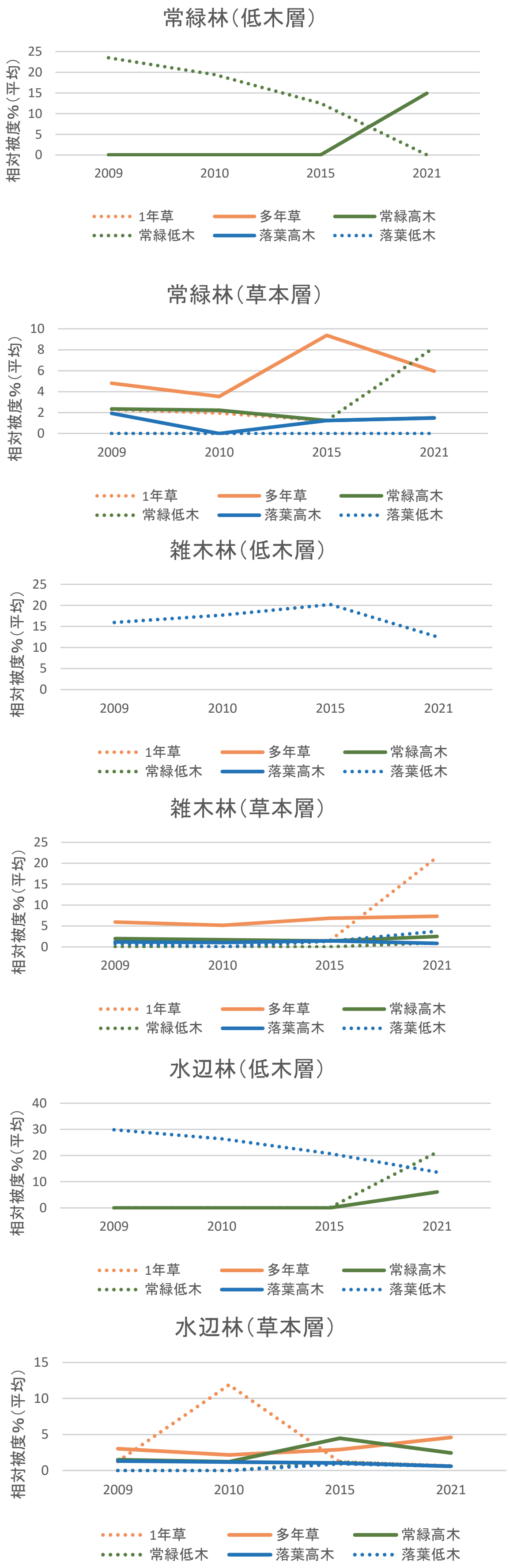
水辺林は、植栽時はサワグルミやオニグルミ、コナラ等の落葉高木が 4～8m付近に分布し、樹冠投影面積はアキニレが最も大きい状況であった。対して 15 年後は、ヤナギ類やクルミ類、アキニレ、サクラ類など 10m 前後に生長しており、高木層を形成し、亜高木層にはイロハモミジなどが分布していた。樹冠投影面積は、タブノキが最も大きく、次いでオニグルミ、コゴメヤナギの順であった。水辺林の高木層はクルミ類やヤナギ類等、水辺を好む落葉高木が優占していた。

図－5 に樹林エリアの下層植生について、低木層・草本層の相対被度の経年変化を生活型別に整理した結果を示す。

常緑林の低木層では常緑低木のアオキが減少する一方、常緑高木のシラカシの相対被度が増加していた。草本層では、多年草が増減していた一方、常緑高木や落葉高木が低い割合で推移していた。また、10 年目以降は、アオキやマンリョウなど常緑低木の相対被度が増加していた。

雑木林の低木層では 4 年目の時点でヤマブキやニシキギ、ツクバネウツギなど植栽した落葉低木がみられ 10 年目に減少に転じていた。草本層では、多年草が 5%程度で推移する一方、10 年目以降に 1 年草が増加していた。

水辺林の低木層では、ヤマブキやサツキといった植栽した落葉低木が 4 年目は 30%程度だったもの



図－5　樹林エリアの階層構造（下層）

が15年後は15%程度まで減少していた。また、10年目以降に常緑低木(マルバグミ等)と常緑高木(クスノキ)が増加していた。草本層は、1年草の変動が大きく、5年目のピーク後、10年目以降は低調だった。多年草は5%弱で推移していた。

3.2.2 草地ゾーン

図－6に草地ゾーンの草本層の相対被度の経年変化を生活型別に整理した結果を示す。その結果、いずれの年代も1年草・多年草が主体であり相対被度は変動していた。多年草について4年目・5年目の時点では在来草地の優占種であるチガヤが優占する地点があったものの、10年目以降は大きく低下していた。一方、同じく多年草で在来草地の構成種であるキキョウやオミナエシは20%弱まで増加していた。また一年草(ヤブマメ)が10年目以降に増加していた。

3.2.3 湿地・池ゾーン

図－6に湿地・池ゾーンの草本層・水面下の相対被度の経年変化を生活型別に整理した結果を示す。

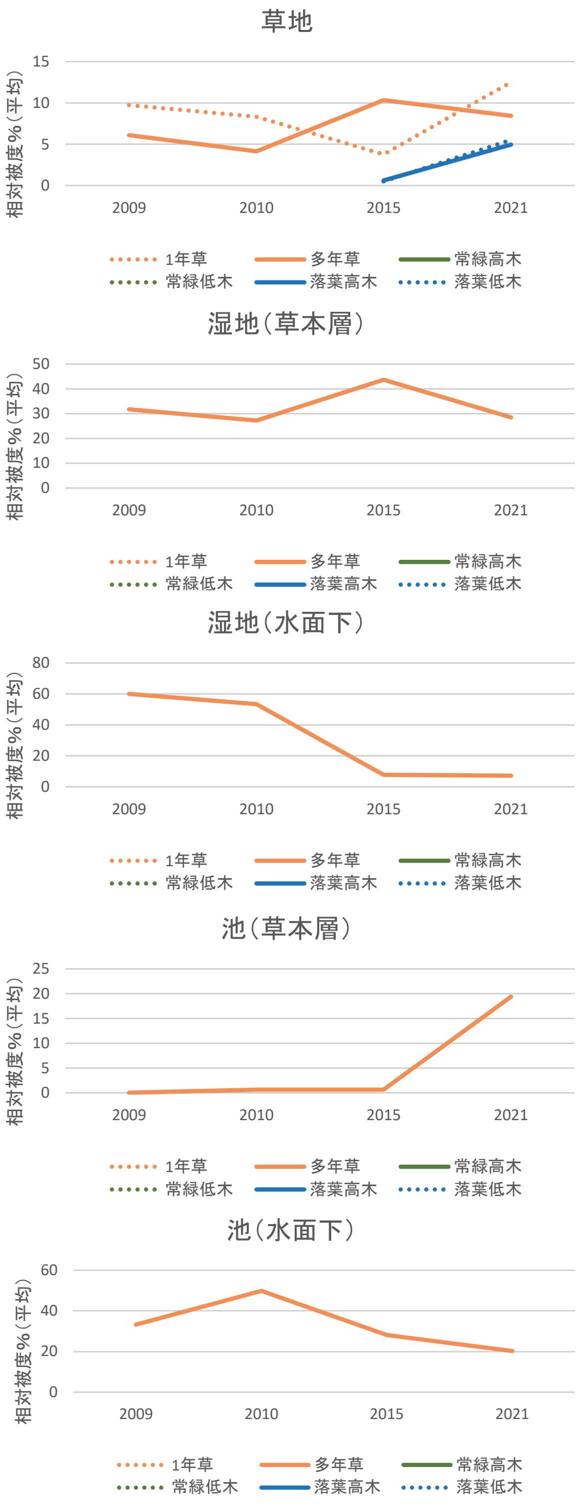
湿地ゾーンでは草本層は多年草が変動しつつも相対被度が 30~40%で推移していた。ウキヤガラやハンゲショウ、ショウブなどが優占している状況に大きな変化なかった。一方、水面下は多年草によって構成され、4年目に 60%程であった相対被度が 10 年目以降は 10%以下まで減少していた。ただし、アサザやヤナギモ、トチカガミ等、多様な水草・藻類の継続的な生育が確認された。

池ゾーンは、草本層はハンゲショウやショウブなどの多年草の湿生植物が 4 年目から 10 年目までは相対被度が低く推移していたのに対して、2021年には20%程度まで増加していた。一方、水面下は、アサザやトチカガミ、ヤナギモなどが5年目の約50%をピークに減少し、15年後には20%になっていた。

3.3 水域の現況植生

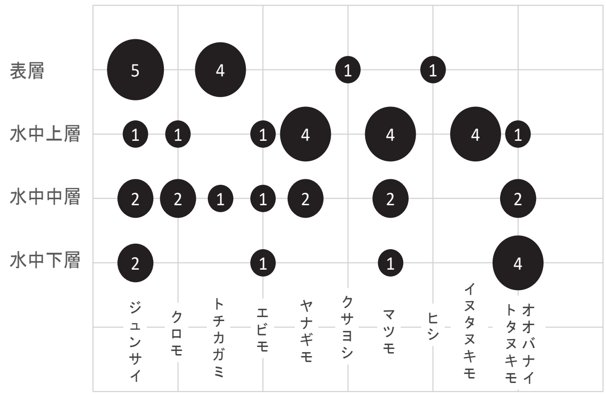
水域の現況植生の分布を調べた結果、池中央部には、ジュンサイ・トチカガミといった浮葉植物の群落が、水際にはハンゲショウ・ショウブ、ヒメガマといった抽水植物の群落が成立していた。このうち、ジュンサイ群落が水面の大部分を占めており優占していた。

図－7に水域の現況植生について、階層別・種毎に確認地点数を整理した結果を示す。黒丸が大きいほど、確認地点数が多いことを表している。



図－6 草地・湿地・池ゾーンの階層構造

水面では、ジュンサイやトチカガミ等、浮葉植物が多地点で生育しており、優占している状況が確認された。一方、水面下の上層～中層では、ヤナギモ、マツモ、イヌタヌキモといった沈水植物が多数の地点で分布していた。下層では侵略性の高い外来種であるオオバナイトタヌキモが多地点で確認された。



図－7　水域の現況植生の階層構造

4.考察

4.1　樹林エリア

樹林エリアでは植栽した木本が維持され、常緑林ではスダジイ、雑木林ではクヌギ、水辺林ではオニグルミやアキニレ等、当初植栽した樹種が順調に成長し、優占種として高木層を形成していた。一方、下層植生については、低木層では当初植栽した低木が減少しつつ、草本層に常緑低木や一年草のつる植物が侵入してきており、種組成が変化していると考えられた。雑木林・水辺林の下層植生については、高木層の拡大に伴い衰退傾向にあると考えられた。

中村・夏原(2005)[7]は、万国博記念公園における常緑林を主体とした森林の復元について植栽後30年を経て、常緑の樹冠で閉鎖されることで暗い光環境となり林床の種の多様性が小さくなっているとの課題を指摘し、間伐による人工的なギャップ形成によって光環境および林床植生の改善の可能性を報告している。再生の杜の樹林エリアについても、高木層の拡大は今後も進行することが予想されるため、間伐を含めて樹林更新を試みていくことが重要と考えられる。

4.2　草地ゾーン

草地ゾーンでは、全体として相対被度が低く推移していたが、そのなかでも多年草が増加傾向にあった。特に、当初植栽されたキキョウやオミナエシについては継続的な生育が確認された。一方で、チガヤやススキなど、当初植栽された高茎草本は減少していた。草地全体としては衰退傾向にあり、隣接する樹林の成長に伴い光環境が悪化したことが主要因と考えられた。

4.3　湿地・池ゾーン

湿地・池ゾーンでは、当初植栽されたジュンサイやトチカガミ等の浮葉植物が群落を形成して、広く分布している一方、水中には、クロモ、マツモ等の沈水植物も継続的に生育できていた。東京都レッドリストに絶滅危惧種として掲載されている重要種が多数継続生育できており、良好な水域環境が維持されているものと考えられる。ただし、水中の下層には侵略性の高い外来種であるオオバナイトタヌキモも確認されており、今後、生育の抑制・除去などの対策が必要と考えられる。

良好な水域環境が形成・維持された要因は様々考えられるが、水草の刈り取り除去と外来生物の抑制が大きいと考える。再生の杜では、毎年、水草の刈り取りが行われており、刈り取った水草は池の系外へと搬出されている。このことが富栄養化による水質悪化の抑制および定期的な撹乱につながり、多様な水草・藻類が共存できる環境が維持されてきたものと考えられた。一方、外来生物については、公共空間に整備されたビオトープの場合、アメリカザリガニが意図せず移入してしまい、水域環境の悪化要因として問題となっている。そうした問題に対して、再生の杜では、これまでアメリカザリガニは確認されていない。民間企業の敷地内にあり公開が限定されていることが、外来生物であるアメリカザリガニの移入を抑制できているものと考えられた。

4.4　エコトーンの変化とその要因

各ゾーンの植生変化を踏まえると、エコトーン全体としては陸域では樹林拡大とそれに伴い草地が縮小する一方、水域では植栽種が減少するも水草・藻類が継続生育できており、エコトーンとしては平衡状態が保たれていると考えられる。

陸域・水域のエコトーンの変化には様々な要因が考えられるが管理による撹乱の違いが大きいと考えられる。陸域は枝打ちや草刈りを中心とした管理で、枯死木の除去などを除いては、基本的には大規模な間伐は行われていない。撹乱が小さいことが樹林化と草地縮小につながったと考えられる。一方、水域では、毎年秋に水草の刈り取り・除去の管理が行われており、撹乱が大きいことが平衡状態の維持につながったものと考えられた。

エコトーンは多様な環境が接しているため、隣接ゾーンなどの影響による環境の変化が起こりやすいと考えられる。自然生態系では、自然的な撹乱(台風や洪水、潮汐など)があるため、エコトーンは

維持されるものの、都市内ではそうした自然の営みは期待できない。再生の杜のように都市において人為的に整備したエコトーンの効果を長期的・持続的に発現させていくには、植生管理において人為的な攪乱を内包させていくことが必要となる。

5. まとめ

本研究では、再生の杜ビオトープにおける都市の生態系回復の長期実証の一環として、エコトーンの経年変化を分析した。

その結果，陸域では常緑林・雑木林・水辺林が高木層を形成する一方で草地環境が縮小しており、エコトーンが衰退傾向にあった。対して、水域では、湿地・池ゾーンで多様な水草類等の継続的な生育がみられ、エコトーンは平衡状態が維持されていた。こうした陸域・水域のエコトーンの変化には管理による攪乱が影響している可能性が示唆された。エコトーンが長期的な生態系回復に貢献するには，初期のゾーニングに加え，攪乱を考慮に入れた管理手法をデザインすることが重要と考えられた。

「人と自然の関係性の再生」をコンセプトに掲げた再生の杜では、15年を経て、生態系ネットワークの結節点となる多様な動植物が生息生育する場を創出・育成されている。今後は、都市における生態系回復の効果を持続・向上させていくためにも、攪乱を内包したダイナミックに変動するビオトープへの発展が期待される。さらに、こうした生態系回復の実践知をネイチャーポジティブなまちづくりへと展開していくためには、地域連携や次世代育成の共創拠点としても活用を進めていきたい。

謝辞

再生の杜の長期実証は、計画・整備・維持管理・モニタリングの過程で、技術研究所の研究員をはじめとした従業員や植生調査を担当した株式会社地域環境計画・株式会社ポリテックエイディディ、社外有識者など、たくさんの方々の連携・協力のもとに成り立っている。これまで再生の杜に携わった方々への感謝をここに記す。

<参考文献>

1) 森本幸裕：“都市によみがえる野生”，森本幸裕・夏原由博編：いのちの森—生態神話都市の理論と実践，京都大学学術出版社，pp.3-35，2005
2) 田端敬三：“生きものの聖域「いのちの森」の誕生”，森本幸裕編：景観の生態史観－攪乱が再生する豊かな大地，pp.185-186，京都通信社，2012
3) 田端敬三：“生態系モニタリングにみる驚嘆すべき15年の変遷”，森本幸裕編：景観の生態史観－攪乱が再生する豊かな大地，pp/191-193，京都通信社，2012
4) 橘大介，那須守，薬師寺圭，米村惣太郎，小田原卓郎，中村健二，林豊，横田樹広：“都市域に造られた大型ビオトープ「再生の杜ビオトープ」の果たす役割”，清水建設研究報告85，pp.29-40，2007
5) 橘大介，薬師寺圭：“大都市域に創出したビオトープが出現動物に与える影響と課題”，日本建築学会技術報告集18巻38号，pp.391-396，2012
6) 米村惣太郎，林豊，中村健二：“都市型ビオトープ「再生の杜」における竣工後10年目の生物生息状況”，清水建設研究報告94，pp.141-148，2017
7) 中村彰宏，夏原由博：“万国博記念公園の森－人工ギャップによる再生”，森本幸裕・夏原由博編：いのちの森—生態神話都市の理論と実践，京都大学学術出版社，pp.3-35，2005