

# 気候変動下における減災のための空間マネジメントと市民の関与

## Spatial management and citizen engagement for disaster risk reduction under climate change

横田 樹広

YOKOTA, Shigehiro

(東京都市大学環境学部教授)

### 【要旨】

気候災害の増大に伴い、自然に根差した防災・減災のあり方が求められる。集中豪雨の増大によりもたらされる気候災害リスクを、自然を活かして最大限に低減するための空間デザインでは、降雨と表流水に対して植物と土壌が有する遮断・浸透・貯留機能を最大限発揮させるための、基盤環境の保全とネットワーク配置が重要となる。そして、グリーンインフラの機能性を継続的に発揮させるためには、市民による自然への関与が欠かせない。ネイチャーポジティブにむけた変革 (Transformation) として、敷地を超えた自然のつながりづくりや、共助・公助としての適応空間の管理・活用が求められる。また、適応の体験・学習などのアクションも重要となる。気候災害リスクに対し、ランドスケープアプローチによって都市の NbS を実現するために、自然のなりたちを踏まえた環境の確保と、自然の機能を活かすための市民の協働が期待される。

キーワード：『EcoDRR (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction)』『NbS (Nature-based Solutions)』『グリーンインフラ』『流域』『表流水』『ネイチャーポジティブ』

### 1. はじめに

気候変動の極端化に伴い、都市における気候災害の影響も、集中的になっている。全国で時間雨量 50 mm以上の降雨頻度は、1976～1985 年に年平均約 226 回であったのに対して、2015～2024 年の 10 年間では約 334 回となっており、約 1.5 倍に増えている (国土交通省, 2025)。雨の降り方に関連して、土砂災害の発生件数も、1982～1992 年の年平均 852 件から、2013～2022 年で年平均 1446 件に増加している (国土交通省水管理・国土保全局砂防部 HP, 2024)。

これに対して、グリーンインフラの活用が期待されている。グリーンインフラとは、社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能 (生物の生息・生育の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制等) を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進める取り組み (国交省, 2015) である。気候災害に対してグリーンインフラ機能が発揮されるステージには、複数の段階があると考えられる。

まず、災害の「発生源」となる環境において、自然自体が災害の発生を抑制する。たとえ

ば、豪雨に対しては、樹冠による降雨の遮断や土壌による雨水の浸透・貯留により、流れ出す雨水を低減する。土砂災害に対しては、樹木の根系による土壌緊縛力により、表層崩壊を抑制する。また、酷暑に対しては、植物の葉や土壌からの蒸発散により、反射や蓄熱をもたらす都市の人工被覆面の蓄熱を抑制する。

次に、災害の「発生リスクの高い場所」において、自然自体が緩衝帯となって、その影響を遠ざける。たとえば、河川沿いの湿地は洪水時の越流をとどめたり遅らせたりし、急傾斜地の下の堆積地形は土砂が流出する範囲を小さくする。

そして、災害の「発生場所」では、自然自体が影響を受け止めることで被害を軽減する。たとえば、屋敷林は暴風や暴雪から家屋を守り、水害防備林は、氾濫水とともに流木や土砂が農地や市街地へ流入するのを防ぐ。

このように、自然は、素因（根本的・素質的な原因）のレベルで災害リスクが高くても、誘因（直接の引き金となる原因）のレベルで、その発生機会や範囲に対して抑制的に働く機能も有している。そのような自然の減災機能を活かせれば、起こりうる影響を低減できる。都市の側からみれば、自然のもつ多様な環境調整機能が活用され、「生態系インフラ」として機能してくれることになるが、その機能性を発揮させるには、自然を計画的に残し、創り、活かしていく、個人（自助）と社会（共助・公助）の取り組みが必要である。自然の影響としての災害に適応しながら、自然自体を利用して災害を抑制する考え方は、生態系に根差した防災・減災（Eco-DRR；Ecosystem-based Disaster Risk Reduction）と呼ばれる。自然（Eco）と防災・減災（DRR）を両立して、高い影響低減効果を発揮させるには、災害の誘因の抑制における社会協働が必要である。

また、自然の環境調整機能は、基本的に多機能である。グリーンインフラは、水の流れの調整だけでなく、日射の調整、気候の調整、土壌の安定、大気質・水質の調整など、つながりあう複合的な環境を一体的に調整する。この点は、個別最適化された人工インフラである、雨水管、堤防、庇、擁壁、フィルターなどのグレーインフラとは異なる。自然自体の構造や機能を活かして、災害の発生機構を変容させ、実際の影響を低減させる必要がある。そしてその副次効果として、自然の生産的価値や文化的価値など、個人と社会の価値を期待できる。このような、自然に根差した気候変動への適応は、EbA（Ecosystem-based Adaptation）と呼ばれ、自然に根差した解決策（NbS；Nature-based Solutions）としての適応のあり方である。そこでの自然への「根差し方」は、自然の減災機能に対する人・社会の関与のあり方に依存する。

では、自然の限られた都市において気候災害に適応していくためには、どのような自然に、どの程度根差していくことができるのだろうか。また、そこでどのように自然を活かしていくことが必要だろうか。そして、私たちにできることとは、何があるのだろうか。これらを本稿での問いとしたい。

## 2. 小流域における自然のリスクとポテンシャルのバランス

### 2.1 垂直的な水と物質の移動

ここでは、さまざまな気候災害のうち、集中豪雨の増加に伴い発生リスクが高まっている都市型水害と土砂災害に注目し、自然のリスクとポテンシャルを考えたい。それを考えるための環境の範囲は、「流域」である。流域は、地表に降った雨水が集まる集水範囲（集水域）であり、分水嶺に囲まれる閉じた範囲である。都市においてこの分水嶺は明確ではないことも多いが、微地形によって地表水の集まる最小範囲となる「小流域」はかならず形づくられ、それが入れ子状に集まることで流域を構成している（図1）。

この小流域の内部では、傾斜に応じて、高い場所（微高地）から低い場所（低地）へと、地表水が集水される。この地表水の流れ（以下、表流水）の運搬作用によって、有機物（たとえば落ち葉などの分解物や土壌）やそこからの栄養塩も、低地側へと移動する（図2）。この表流水の流下過程におけるリスクとして、表流水による土壌の流亡や、物理的な浸食による崩壊がある。また、流出した水や物質が貯留・拡散される過程におけるリスクとして、低地での氾濫がある。一方で、これらの過程で、自然による減災機能のポテンシャルも存在している。それは、微高地において透水性の高い土壌・地盤がもつ浸透機能であり、低地において透水性の低い土壌・地盤がもつ貯留機能である。

災害のリスクと機能のポテンシャルは、同所的にも存在し、浸透機能が高い土壌・地盤を活用できれば水や土壌の流出を抑制でき、貯留機能が高い土壌・地盤を活用できれば氾濫を抑制することができる。そのバランスは、立地によって決定づけられ、相対的に高い土地では「浸透×流出抑制」、低い土地では「貯留×氾濫抑制」のシナジーが重要となる。このシナジーが適切に発揮されるかは、災害のリスクの大きさに対して、環境の機能のポテンシャルを十分に活用できるかにかかってくる。

リスクの大きさは、水や土壌などの物質の移動により決まるため、より詳細な地形構造が影響する。斜面の横断面においては、傾斜が急変する地点（遷急点や遷緩点とよばれる）がある（図3左）。遷急点（下方が不連続に急傾斜になる点）より上部では、水・物質の拡散や移動が、遷緩点（下方が不連続に緩傾斜になる点）より下部では、水・物質の集中や堆積が優占的である。このような斜面の形態は、地形の凹凸のつながり方や広がり方によって異なり、水・物質の移動によるリスクの特性や範囲が変わってくる（図3右）。この遷急点・遷緩点のあいだは、斜面上側のリスクと斜面下側のリスクの両方が重なりやすい。

市街化において土地が造成される際には、そういった傾斜が急変する地点付近まで、土地が改変される。斜面上部は切土、斜面下部は盛土がされ、その間に残る急傾斜地は法面として残されることが多い。そして、そのように斜面中腹の急傾斜地が残されても、その上下で人工的な擁壁がつくられやすい。斜面の土壌が保全され、斜面の上部も下部も地形を残すことができれば、リスクに対して浸透・貯留のポテンシャルをつなげることができる。一方、斜面が上側からも下側からも人工化された斜面では、急傾斜地のリスクだけが残されるこ

とになる。そのため、残る急傾斜地自体も擁壁で固められることも多い。

減災のための空間確保として重要になるのは、斜面中腹とあわせて、上部の浸透ポテンシャルを発揮する斜面、下部の貯留ポテンシャルを発揮する空間を一体的に確保することである。とくに、地下水保全・湧水復活といった、地上と地中のあいだの水循環の健全化の観点からは、浸透ポテンシャルを活かした表流水の流出への対策が重要となる。斜面上部では、崩壊につながらないように、斜面頂部や頂部平坦地の際まで含めて樹林地を保全し、土壌の安定を図りながら、透水性の高い表土の発達による安定的な水浸透環境を確保する必要がある。これにより、水・物質移動の上流側から、リスクを上回るポテンシャルを強化するようにランドスケープを形成していくことが重要である。

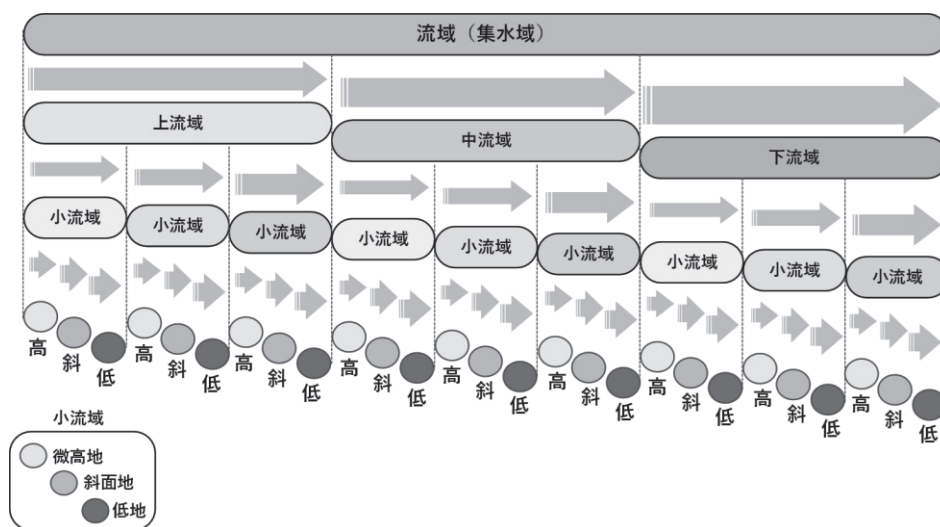


図1 流域における小流域の環境の入れ子構造

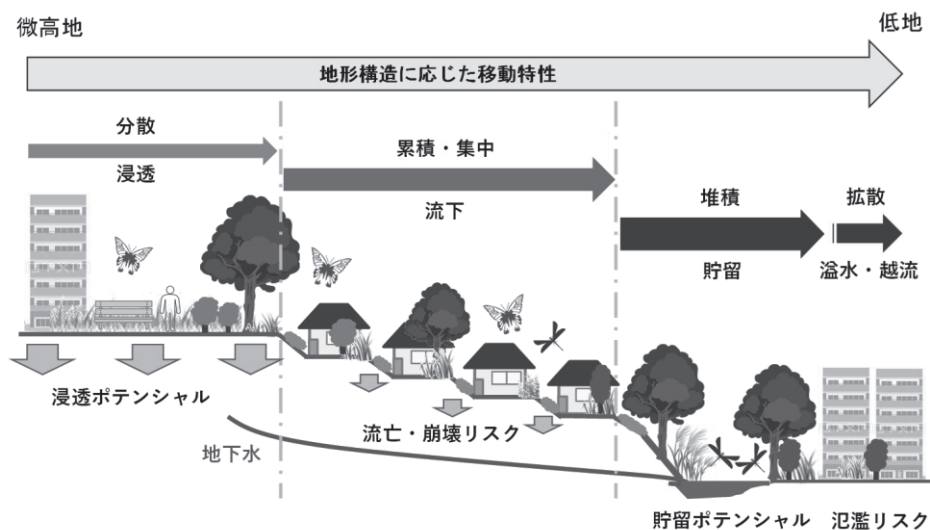
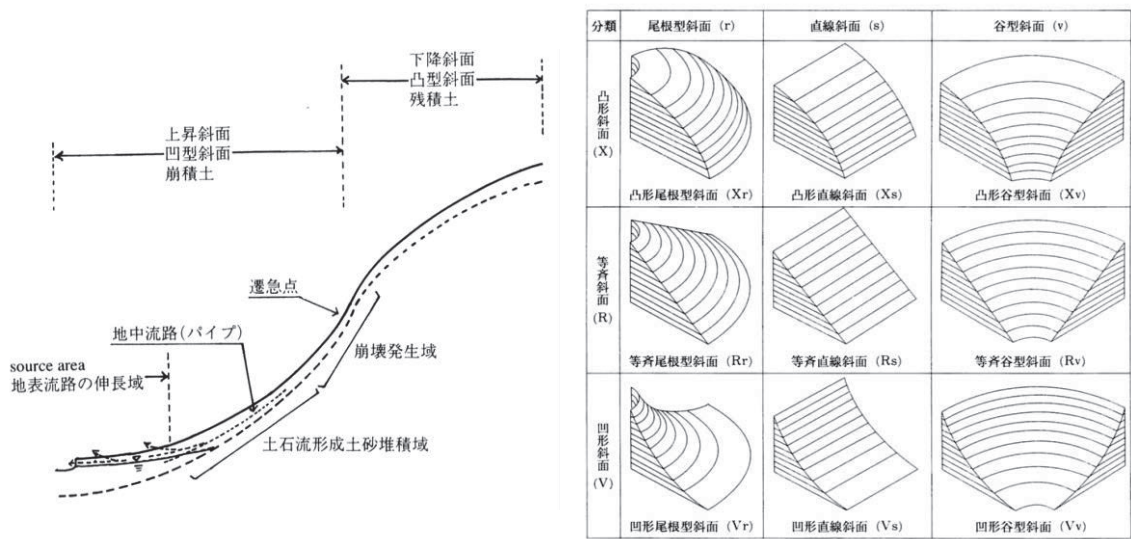


図2 小流域における水・物質の移動特性と環境のリスク・ポテンシャル



出典) 鈴木 (2000), p.691, p.755

図3 斜面の横断面における水・土壌の移動 (右) と斜面形態の多様性 (右) (鈴木, 2000)

## 2.2 流域における表流水と浸透・貯留環境のバランス

では、集中豪雨に対して、流域の自然による浸透・貯留ポテンシャルを、どのような場所で、どれくらい期待していくことができるのだろうか。流域に降る雨とその流出プロセスをもとに、考えたい。

流域の降雨量は、時間あたりに地表に降る雨の厚さ（深さ）である。たとえば、2019年に東日本を中心に大きな被害をもたらした台風19号（令和元年東日本台風）における総雨量は、多摩川上流にある小河内ダム付近の東京都檜原村の小沢で649mmを記録し、下流の世田谷区内では、上用賀雨量局で総雨量275mm（時間最大雨量34mm，10分間最大雨量8mm），玉川雨量局で総雨量256mm（時間最大雨量31mm，10分間最大雨量7mm）を記録した。1.5ℓペットボトル1本分以上の厚さの雨が、1.5日程度の間降ったことになる。

一方、降雨の流出によって累積するインパクトは、集まる水の体積である。令和元年東日本台風における浸水被害の検証シミュレーション（世田谷区土木部土木計画調整課，2020）によると、上流側の街から流入した雨水排水の累積量は、区内の上野毛・野毛地区において下野毛排水区からの流入量が約27.6万m<sup>3</sup>（ピーク時浸水量7.2万m<sup>3</sup>），玉堤地区における等々力排水区・上沼部排水区からの流入量が合計約22.9万m<sup>3</sup>（ピーク時浸水量22.4万m<sup>3</sup>）とされる。

時間あたりに蓄積する降雨量と、それが地表で累積した流出量に対して、浸透と貯留では果たす役割が異なる。一般に浸透は、土壌のもつ浸透能の発揮により、降雨による流出量から一定量を差し引き、雨水流出を「ベースカット」する（降雨を底からカットする）役割を果たす。これは浸透強度（mm/hrなど）で表され、浸透適地となる関東ローム層の最終浸透能を示す飽和透水係数は、一般に10<sup>-5</sup>m/sec（時間あたりに換算すると36mm/hr）程度のオー

## 特集

ダー、砂礫層の場合はその 10 倍の  $10^{-4}\text{m/sec}$  程度のオーダーとされる。また、透水性舗装の飽和透水係数については、路床の転圧・締固め等の影響により、関東ローム層の  $1/10$  の  $1.0 \times 10^{-6}\text{m/sec}$  ( $3.6\text{mm/hr}$ ) とみなすことができる（国土交通省都市・地域整備局下水道部、河川局治水課，2010）。

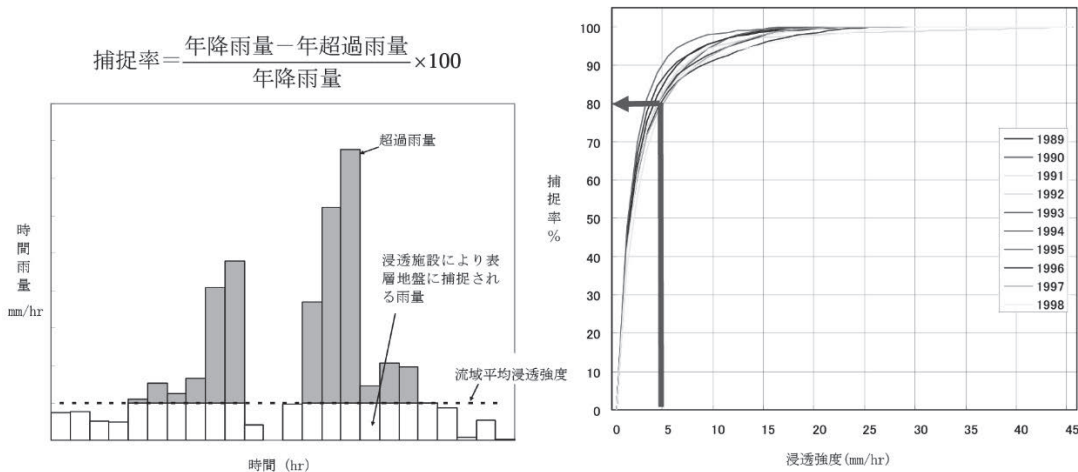
一方、貯留は、降雨による流出量の時間最大値（ピーク）を抑制する「ピークカット」の役割を果たし、これは単位面積あたりの貯留量 ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) で表される。ある流域で期待される計画貯留量は、時間当たり降雨から浸透強度（と放流強度）をベースカットした後に、流出する総雨量となる。これは、浸透（や放流）がしきれないので、流域や排水区にて貯める必要がある量であり、これを単位面積あたりの厚さ（mm）で表したものを「必要貯留高」とよぶ。例えば、 $600\text{m}^3/\text{ha}$  の貯留対策には、必要貯留高 60mm が必要であることをさす。

これにより、浸透と貯留の効果は、単位時間に浸透させられる雨の厚さと、空間面積あたりに貯留できる雨の厚さにより、合計が可能となる。一般的に、特定都市河川浸水被害対策法にもとづく特定都市河川においては、流域対策の目標として、貯留と浸透を合わせ  $10\text{mm/hr}$  程度を目安としている場合が多い。たとえば東京都は「東京都における総合的な治水対策のあり方について（61 答申）」で定めた長期計画目標において、区部では時間  $75\text{mm/hr}$  降雨（年超過確率  $1/20$  規模）への対応を目標としている。そのうち、河川整備・下水道整備で約  $50\text{mm/hr}$  分、調節池・地下河川・下水道施設と家づくり・まちづくり対策で約  $10\text{mm/hr}$  分に対応し、残る  $10\text{mm/hr}$  分を流域の土地の浸透や雨水貯留による流域対策の対策目標量としている（東京都，2023）。

不浸透面の多い市街地においても、浸透ます等を設置することで、雨水浸透機能の回復を期待できる。浸透ます 1 基あたりの単位設計浸透量に設置数量を乗じた合計浸透量 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ ) をその集水範囲面積で除して、浸透ますによる流域への効果としての流域平均浸透強度（単位は  $\text{mm/hr}$ ）が求まる。1 基あたり単位設計浸透量  $0.2\text{m}^3/\text{hr}$ 、対策可能面積  $40\text{m}^2$  の浸透ますを、1ha に 250 基設置することで、流域平均浸透強度は  $5\text{mm/hr}$  を達成する（ $0.2\text{m}^3/\text{hr}/\text{基} \times 250 \text{ 基} \div 1\text{ha}$  を mm 換算）。

柳瀬川流域（東京都・埼玉県）でのケーススタディでは、浸透ます整備による流域平均浸透強度  $5\text{mm/hr}$  分を流域全体で達成すると、年間降水量の 80%以上の雨水が表層地盤に捕捉（浸透）され、それ以上の浸透強度の増加に対する捕捉率の増加割合は小さいと見積もられている（国土交通省都市・地域整備局下水道部，河川局治水課，2010）（図 4）。これは、東京都の年間降水量（1995～2006 年の平均年間降水量  $1517\text{mm}$ ）に対し、約 80%にあたる  $1214\text{mm}$  分である。

また、この浸透ます整備による浸透対策を、世田谷区谷戸川流域（流域面積  $2.83\text{km}^2$ 、不浸透面積率 32%）において実施した場合、不浸透面の流域平均浸透強度が  $5\text{mm/hr} \times 0.32 = 1.6\text{mm/hr}$  の浸透対策となり、その結果、地下水涵養量が年間  $287\text{mm}$  増加し、河川流況（渇水時流量など）が 50%以上回復する試算結果が得られている。



出典：国土交通省都市・地域整備局下水道部，河川局治水課（2010），p.17

図4 年間降水量に対する捕捉率の事例（柳瀬川流域）（国土交通省，2010）

### 2.3 集水域における減災と生態系の両立

世田谷区では，世田谷区豪雨対策行動計画（改定）において，東京都豪雨対策基本方針の対策基準かそれ以上に相当する対策量として，たとえば，3000m<sup>2</sup>以上の大規模公園や区立小中学校では1000m<sup>3</sup>/ha，公共施設や大規模民間施設では600m<sup>3</sup>/ha，小規模民間施設や私道では300m<sup>3</sup>/haの雨水貯留浸透を求めている（世田谷区，2022）。貯留施設による対策の場合，計画貯留高は100mm～30mmとなる。

ベースカットである土壤中への雨水浸透は，多くの対策を広い面積で平準化して行う対策であるのに対して，ピークカットである貯留対策は，水が集まる場所で土地を必要とする。たとえば，レインガーデン（浸透を促すとともに間隙に貯水ができる貯留砕石層を地中に設けた庭）などの地中貯留や，街から流出する表流水を一時する調整池や，流路からの越流水を貯留する遊水地などの地表貯留のための空間確保が必要である。

また，浸透促進にはそのための基盤環境が必要である。急傾斜地や高い盛土地などでは，雨水浸透は斜面崩壊につながるリスクがある。また，沖積低地などで，粘土分が高く（40%以上は不適），間隙率の低い（10%以下は不適）不透水性の土壌や，地下水位が高い土地（地下水位と浸透施設底面の距離が0.5m以下は不適）は，そもそも浸透不適地である。そのような土地では，貯留空間の確保が優先される。

このように，浸透と貯留の適切な配分にあたっては，地形，土質・地質，地下水位などの基盤環境を考慮する必要がある。この基盤環境には，表流水の累積パターンに影響する地形効果もあわさって，表流水の流出抑制の必要性和，浸透・地下水涵養の必要性のバランスが決まってくる。

基盤環境に応じた流域対策の有無による効果に関して，図5に，斜面横断面での流出に沿った流出割合，貯留割合，浸透割合の関係をモデル化して比較する。斜面横断面の土地を同

サイズの連続するタンクにみても、斜面における表流水の累積・集中を地形影響とし、流出が加速された状態（図5上）と抑制された状態（図5下）をモデル化したものである。簡易的に、各タンクからの流出割合（流出係数）と貯留割合の和を1とし、貯留割合分の水は浸透継続によってすべて地中浸透されると仮想している。比較すると、地形影響の重みが全体の流出量に大きく影響していくことが分かる。傾斜が大きく地形影響の重みが大きい斜面で、流出係数が下がることが、全体の流出抑制に寄与しやすいことから、斜面樹木の保全による浸透環境の確保が重要と言える。あわせて、高い浸透効果をもったタンクは、流出のより早い段階に配置されると、流出が累積して溢水する（あふれる）タンクの発生を未然に防ぐことにつながる。このように、低影響な開発を影響累積の上流側に集約していき、全体としての流出負荷の最小化を図る配置原則は、LID（Low Impact Development）と呼ばれる。

また、斜面下で流出が累積した後のタンクの下流側では、貯留機能を配置することが最も大きな流出抑制機能を発揮できる。流出負荷の大きい市街地の下流側に調整池を設置することの意義と言える。流出の末端が河川であれば、斜面側からの表流水を調整できる区画と、河川からの越水を貯留できる区画の両方が配置されることが望ましい。すなわち、都市の流出抑制施設としての調整池と、河川からの越水を貯留できる空間としての調節地または遊水地を両立する、内外水氾濫一体対応型の空間整備が期待される。

生態系の観点からみれば、LIDのための空間では、浸透のための乾燥環境がネットワーク化されることが有効であり、尾根とつながる草地・樹木環境の保全・復元が望ましい。また、崖線下や斜面下では、湧水の保全・活用と表流水の調整・貯留を両立する空間として、湧水湿地と水路の組み合わせによる水辺生態系のつながりを保全・復元することが重要である。そして、河川沿いの内外水貯留のための空間では、街の表流水と川の越流を一時貯留する空間として、まとまった規模での水辺生態系の保全・復元が期待される。これらの水調整と生態系のシナジー空間のネットワークは、台地－崖線－低地の横断方向のネットワークであり、ひとつのユニットとして考えることができる。表流水の流出経路に沿った多様な地形横断面のユニットが、立体的に小流域でまとまりを形成しながら、支流域、流域全体を入れ子状に構成している。

この入れ子構造は、流域における水の流出に応じた、生物種の生息環境の入れ子、すなわち異質な生息環境の組み合わせを生み出し、それが流域生態系の多様性をもたらしている。一つの生息環境の復元には、その背景にある横断ユニットの環境の改善が必要である。たとえば、都市化以前にみられた湧水依存型の生物種が残存する湿地があれば、そこに持続的に湧水が提供されるように、横断ユニット全体のなかで、雨水流出過程も改善し、自然に雨水を還元することが重要である。保全・復元すべき生態系について、その異質性を基盤環境とあわせて把握し、その生態系の水循環における位置を踏まえて、集水域スケールでの自然の強化を図っていくことが重要である。

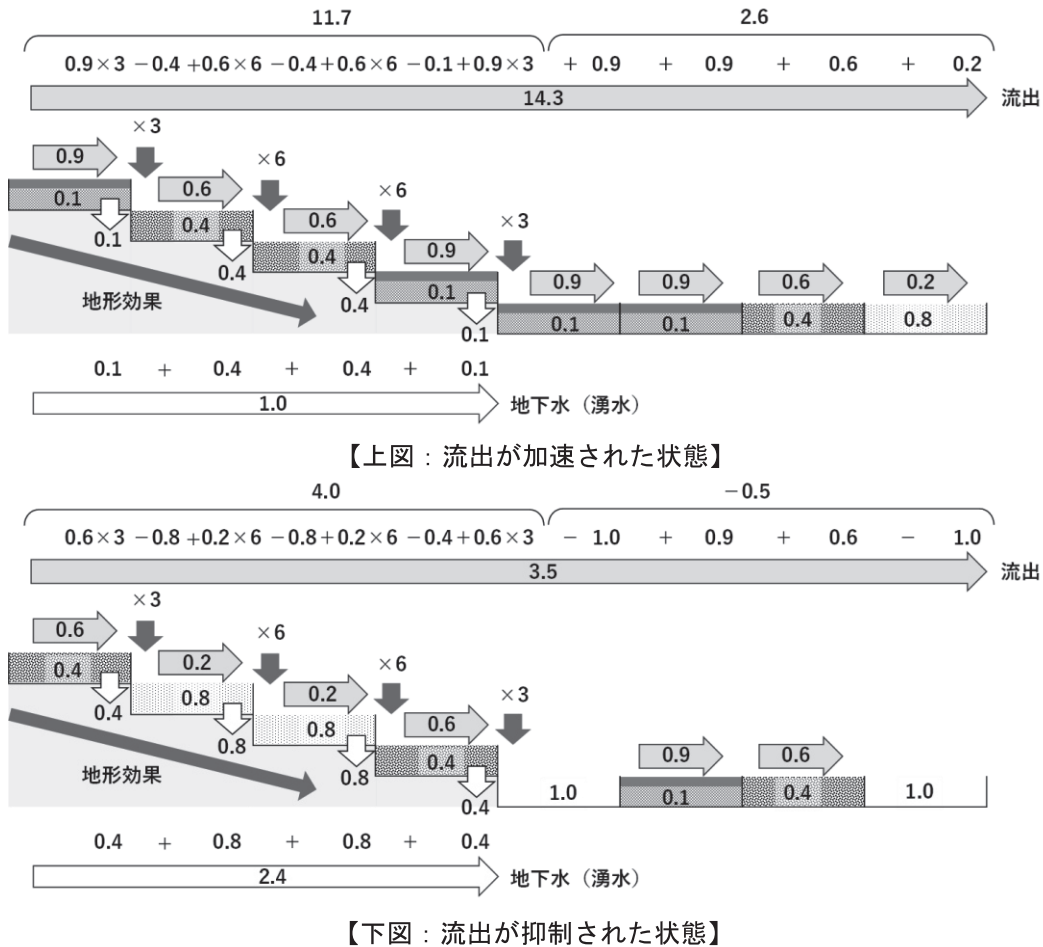


図5 斜面における表流水の累積・集中と流出・貯留・浸透の関係

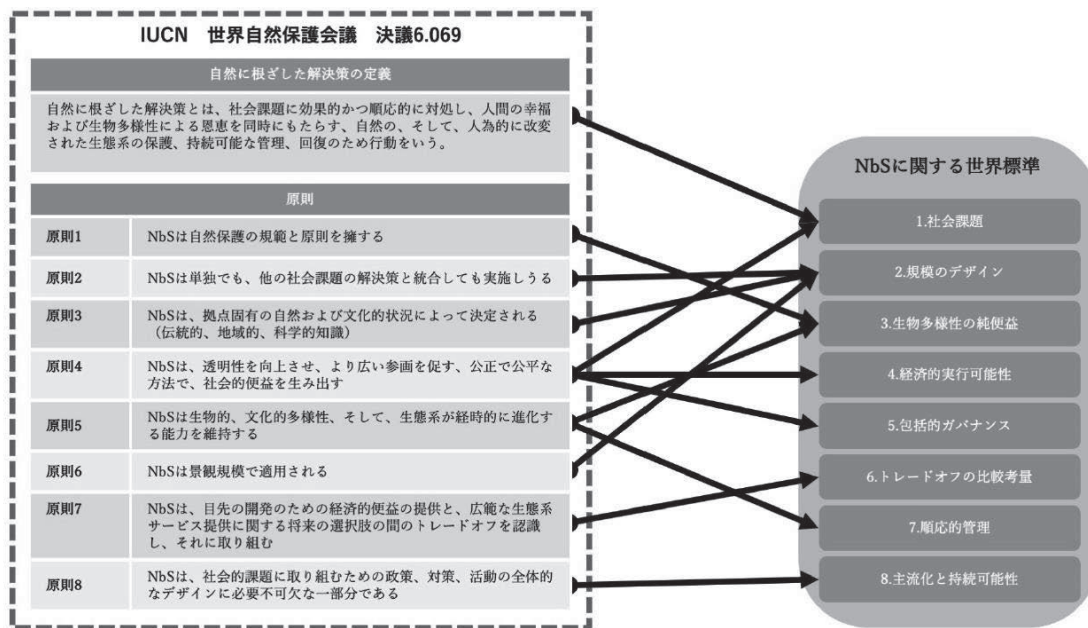
### 3. 減災・適応と生態系を両立する市民関与のあり方

#### 3.1 NbSにおけるトレードオフの克服

IUCN（世界自然保護連合）決議 6.069（IUCN, 2016）によれば、NbSは、「社会課題に効果的かつ順応的に対処し、人間の幸福および生物多様性による恩恵を同時にもたらし、自然の、そして人為的に改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための行動」と定義される。その原則7では、「NbSは、目先の開発のための経済的便益の提供と、広範な生態系サービス提供に取り組む将来の選択肢の間のトレードオフを認識し、それに取り組む」とあり、世界標準6として「トレードオフの比較考量」を求めている（IUCN, 2021; 図6）。

グリーンインフラも、人工的なグリーンと自然としてのグリーンのあいだのトレードオフが生まれやすい概念である。自然の持つ機能を人工的なインフラに接続させて発揮させるのがグリーンインフラである以上、グリーンにおいてどれだけ自然の機能を活用し、「自然保護の規範と原則を擁する」（原則1）かが問われる。そして、自然の機能を発揮しつづけるためには、「生物的、文化的多様性、そして生態系が経時的に進化する能力の発揮」（原則5）のための「順応的管理」（世界標準7）が不可欠である。

都市型水害の減災のための表流水の浸透・貯留においても、生態系の有する多様なサービスを向上させず、そのための長期的かつダイナミックな生態系の変化をもたらさないグリーン活用は、NbS とは言い難い。たとえば、屋根の水を下水道に流さないために設置される雨水タンクは、タンクが人工構造物で構成され、貯められた雨水が環境と結びつかなければ、それは NbS と言えない。また、タンクに貯められた水を電動ポンプなどで散水やせせらぎに活用しても、エネルギーを消費し続けなければ持続しないシステムも、やはり NbS とは言えない。グリーンインフラによる環境改善を NbS として実現するためには、自然のシステムを尊重し、自然の保護による「生物多様性の純便益」（世界標準3）を実現する必要がある。グリーンインフラは、人間中心的な考えによって「電動ポンプ付き貯水タンクを備えた植栽ユニット」となりやすく、NbS の原則と世界標準に反することが起こり得る。そしてそれは、人工的コントロールを前提として経済的効率性が高いシステムほど、都市環境に実装されやすい側面がある。



(出典：IUCN (2021), p.12)

図6 NbS の定義，原則，標準（IUCN，2021）

これを克服し、NbS としてのグリーンインフラを実装していくためには、自然の成り立ちに対する社会の理解と受容が必要である。たとえば、土地の基盤環境を活かして表流水を流出させない空間づくりをするならば、その土地は流入する雨水を貯留するための空間や、浸透能の高い基盤環境を有し、その空間の大きさや浸透能が、集水される雨水の体積や厚さよりも必要になるということに対して、理解が必要である。また、雨水の集水の過程では、ぬかるみが生じることや、根腐れしやすい樹木を植栽できないこと、集水の継続で堆積物が蓄

積するときそれを除去する管理が必要であることが、受容される必要がある。

また、気候変動への適応において自然を活用する手段を、自助としてではなく、共助・公助として展開し、「公正・公平な方法で社会的便益を生み出す」(原則4) が必要である。このための責任ある関与のことを、「スチュワードシップ (Stewardship)」と呼ぶ。自然の成り立ちに対する社会的な理解と受容を実現していくためには、社会的便益、すなわち地域共通のメリットの創出が必要であり、それが個人とコミュニティのスチュワードシップによって実現される必要がある。

グリーンインフラ整備による社会的便益に関する米国・フィラデルフィア市の試算結果 (U.S. EPA, 2010) では、最も高い便益は「熱中症リスクの低減」(37%) であり、次いで、「審美的価値・不動産価値の向上」(20%)、「レクリエーション機会の拡大」(18%) とされる。また、割合は低い (4%) が市民に直結する便益として、「グリーンカラー就労による社会コスト減」が挙げられる。水循環の健全化を目的としたグリーンインフラ整備が、酷暑緩和や景観の美化といった環境改善だけでなく、人々のウェルビーイングや、公益的な就労機会につながる点に注目する必要がある。むしろ、グリーンインフラによって、地域課題の克服におけるウェルビーイングや社会経済的公平を実現していくことなかで、“自然に根差すこと (Nature-based)” に対する受容を促進する必要がある。「環境が良くなる」ことによるさまざまな社会的便益を期待して、自然の成り立ちそのものが修復されるような投資と地域社会の関与を生み出していくことが重要である。

### 3.2 民有地の緑をグリーンインフラとして機能させていくためのアクション

植物または家屋・道路が、雨水流出に対して与える影響は、それらの流出抑制の機能性や、配置上の関係性によって、大きく異なる (図7)。まず、降雨が樹木の樹冠に落ちるか、家屋・道路に落ちるかが、流出の発生源における最初の分岐点であり、グリーンとグレーのトレードオフと言える。樹木の樹冠で遮断される雨は、植物中・土壌中に還元されるのに対し、家屋や道路に降った雨は、都市排水として回収される。植物、家屋・道路それぞれからの表流水の流出係数 (降雨に対する流出の割合) の値も、降雨の到達地点がグリーンかグレーかで逆転的な値をとる。樹木の構造による樹冠遮断 (樹冠による雨の貯留)、樹幹流 (樹木の幹・枝による雨の集水)、地中への浸透・貯留によるパッシブな流出抑制と、樹木自体による葉からの蒸散によるアクティブな流出抑制が、流出係数を低下させる。降雨がグリーンではなくグレーに到達しても、屋根等の人工面から発生した表流水が、下水道 (雨水管) に排水される前に、自然土壌のある環境に接続できれば、流出をオンサイトで自然に還元することができる。

グリーンにおける垂直的な水移動は、樹冠遮断により、樹木の葉など、植物体の表面に一定量の降雨が貯留された後、幹の表流水 (樹幹流) により集水され地表に到達する。樹木の植栽基盤であっても、葉によって集水された降雨が継続的に集水されることにより、浸透能

を超えた水が滞水することがある。また、とくに落葉期は樹冠遮断効果が小さいため、樹冠を透過した降雨が地表面を固める（クラスト生成）することで、地表面からの浸透能自体も低下し、流出を発生しやすくする場合がある（写真1）。このように緑地内にも表流水は生じるが、地表での水たまりや土壌表面の粗さ（粗度）によって、人工面のコンクリート上の流出よりも流出速度は遅い。このような植物上の垂直的な水の保持と、地表での水平的な抵抗が、ダム効果を生じ、流出量の抑制だけでなく、時間的な流出遅延をもたらす。

したがって、家屋の屋根や路面等からの表流水が、雨水管に入る前に、垂直的、水平的に土壌を媒介させ、流出遅延をもたらすことで、洪水に対するインパクトの時間的なコントロールに貢献できる。建物緑化によるダム効果での検証例として、世田谷区の「うめとびあ」（世田谷区保健医療福祉総合プラザ）における検証事例（横田，2024）がある。屋上と各階テラスに設置された緑化が、「じゃかご樋」によって垂直的に接続された、建物まわりの一体的な緑化による雨水流出遅延効果を、実測結果をもとに推定した。その結果、屋上・4階・3階のモデル区間で、垂直的な連結緑化の効果によって、時間最大降雨 20.4mm/hr の短時間集中降雨に対して 30 分以上の流出遅延に貢献していた。本施設では、緑化で貯留しきれない雨水に対しても、施設内に雨水貯留層が設置されており、ハイブリッド化による流出抑制が図られている。周辺市街地から雨水管に流入する降雨は 1 時間以内に河川に到達することを想定すれば、氾濫抑制に対して大きな効果を発揮していると言えよう。

家屋等による流出インパクトが大きい場合には、個別の緑化効果を垂直的・水平的に連続させ、流出の発生源から段階的に抑制をする考え方が重要である（図8）。すなわち、まず、屋根の降雨を屋根での緑化により貯留させる。そのうえで、屋根から集水される雨を、縦樋から庭の樹木・土壌に導くことで、緑地の浸透・貯留効果を発揮させる。そして、敷地内の人工面の雨は、透水性の舗装や緑化ブロック等により地中浸透させよう。最終的に流出する敷地境界において、境界部のバイオスウェル（緑溝）や浸透目地などによって、地中浸透させる。LID のアプローチによるトータルな配慮によって、屋上と庭の活用による敷地からのネットゼロインパクト、すなわち「表流水の外部流出のない家づくり」を目指すことができる。ここで重要となるのは、降る雨の厚さが移動して上乗せされないように、最大限オンサイトで土壌に浸透・貯留させることであり、垂直的な貯留・浸透措置を水平に連結させるカスケードを、敷地内の緑化システムとして構成することである。敷地内で雨水流出に最も大きいインパクトを与えるのは屋根である。東京都は 2025 年 4 月から新築戸建住宅の屋根にソーラーパネルを設置することを義務付ける制度を導入しているが、パネル表面からの雨水流出に対する配慮があわせて必要である。屋上緑化ができる場合は緑化を先行整備し、パネルからの雨水を屋上の植栽基盤や地上の緑化部に導水して浸透・貯留させることが重要である。

また、表流水の流出の出口となる敷地境界における雨水浸透も、カスケード効果の最終ステップとして重要である。敷地が道路と接する接道距離が長い場合も、貯留砕石基盤を連結

させながら配置することで、台風レベルの降雨に対しても流出遅延を期待できる。道路からの表流水を沿道のバイオスウェルの連結により浸透・貯留させる効果を予測した研究（横田・渡部，2023）では、台風を想定した降雨でも30%以上の流出抑制効果が予測されたが、これは敷地内から雨水に対する敷地境界での浸透・貯留にもあてはめられる。

個人住宅での一体的なグリーンインフラ形成のための助成制度として、世田谷区では、雨水浸透ますや雨水タンクなど雨水浸透貯留施設の設置に対する助成と、シンボルツリー植栽・生垣緑化などの緑化に対する助成を組み合わせた助成を、グリーンインフラ助成として実施している（世田谷区 HP）。あわせて、庭のグリーンインフラの教育・啓発の機会として、世田谷区では、「世田谷グリーンインフラ学校」が展開されている（一般財団法人世田谷トラストまちづくり HP）。都市における雨水流出抑制と地下水回復のための個人住宅における NbS に対する先進的な助成のあり方であり、住宅地内での良い環境づくりを促進する手段として展開されることを期待したい。また流域スケールでのグリーンインフラ教育・啓発としては、「雨の水みち TOKYO プロジェクト」においても、身近な地域の表流水調査、模型作成ワークショップなど、学習のためのコンテンツが提供されている（雨の水みち TOKYO プロジェクト HP）。

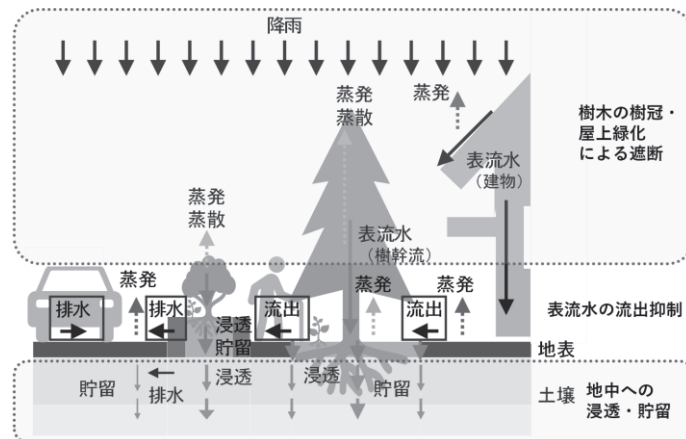


図7 植物と家屋・道路の雨水流出への影響



写真1 降雨初期の樹冠遮断（左）と樹冠下で発生した表流水による波紋（右）

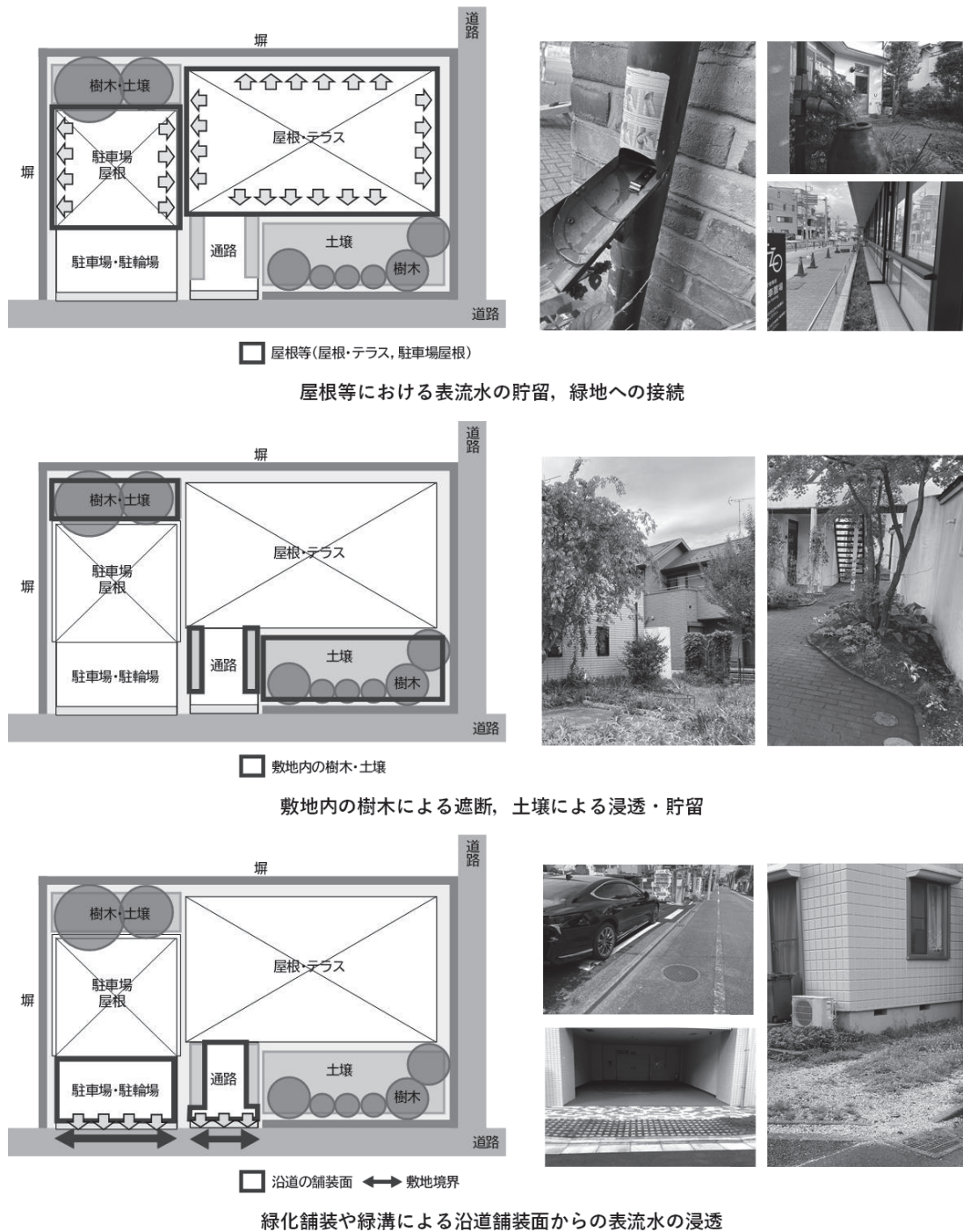


図8 戸建て住宅敷地内の雨水を累積させずにオンサイトで浸透・貯留するステップ

### 3.3 アーバンフォレストリーによる環境適応

NbS として, 身近な自然のもつ環境調整機能を活かしながら減災や環境適応を実現していくために重要になるのが, 「自然の恵みに対する近接性」の実現である。都市と自然の近

接性 (Proximity) を実現することは、都市の生態系のつながりづくりと、自然を基盤としたウェルビーイングの両立において、重要である。樹木の多様な恵みをすまいの中で享受するためには、その機能の範囲内に暮らしがあることが重要となる。都市の樹木の機能性が樹木主体で発揮されるように、樹木の育成を促進し、適切な循環を形成していく、都市林業＝アーバンフォレストリー (Urban Forestry) を実現していくことが必要である。

EU では、都市樹木の便益への近接性を実現していくための具体的な空間指標として、「3-30-300 ルール」が注目され、都市樹林の計画的な保全・創出のために活用する海外都市がでてきている (NBSI の HP)。このルールは、住宅の窓から 3 本の樹木が視認でき、街区の周縁部の 30% が樹木で緑化され、300m 歩けば成熟した樹林を有する緑地にアクセスできる、空間条件を満たす都市緑化のあり方である。樹木との近接性を、人、街区、地区の 3 つのスケールで充実させ、樹木による多様な生態系サービスとウォークビリティ、ウェルビーイング (Well-being) のシナジーを生み出すための基準と言える。

都市における樹木管理は、気候変動などによる倒木リスクや、病虫害リスクとも関係が深い。樹木の健全性の確保にあたっては、民有地だけでなく、街路樹や公園の樹木などの公共の樹木に対しても、市民による管理やモニタリングへの参画が期待される。そこでは、情報技術の活用が鍵となる。たとえば、ロンドン市では、街路樹の健全度の報告や管理を、住民が自発的に関与できるよう、樹木に QR コードを付けたタグを設置している (写真 2)。また、街路樹台帳を電子地図化し、その管理状況とあわせて複数の環境調整機能と経済価値を地図上で数値化する Street tree map システムとそのための樹木の生態系サービス評価ツール i-Tree (U.S. Forestry Service の HP) は、現在多くの都市に展開されている。東京都においても、植えられている街路樹の樹種に応じて i-Tree をローカライズした Street Tree Map の開発がなされ、再開発緑地における緑化効果の評価への活用が検討されている (鷲見ら, 2022)。

一方、かつて農家の屋敷林等にあった樹木・樹林を都市の残存樹木として積極的に保全していくために、保存樹木や保存樹林の指定などによる維持管理への支援がある。また、地域の力を得ながら樹林管理をしていく手法として、土地所有者の協力のもと公共性をもたせた市民緑地認定制度の活用も行われている。これらの事例では、面積は小規模ながら、地域協働での樹林地の管理・活用の取り組みが進み、堆肥づくりなどの落ち葉管理、生き物の棲み処づくりなどの取り組みが行われている例もみられる。文化的景観としての名木に関しても、世田谷区では、昭和 61 年度に選定された樹木 148 本をもとに新たに 150 本を選定し、名木百選としてマップや冊子で紹介されている。この名木は、世田谷区風景づくり計画における風景づくり資源としても位置付けられている (世田谷区 HP)。

著者が 2023 年に世田谷区民 750 人を対象に実施したインターネットアンケート調査によると、「身近な名木の文化的な意義」に対しては、景観・美観が最も高く評価され、次いで伝統芸能・伝統文化、土地の歴史・シンボル性、が高く評価された。一方、「風景づくり計画の方向性」として優先順は、自然・景観の保護、防災・減災空間の拡充、歴史・文化の継

承，賑わい空間の創出，協働の仕組みづくり，の順に高かった。身近な樹木に対しては，美観や文化的価値が重視される一方，地域の風景としては自然や防災との調和が期待されている。樹木の文化的な意義を，地域景観のスケールで再評価し，自然性と防災・減災の両立にむけた活用を，市民みずから意識していくことが必要であろう。また，アンケートでは，「名木のような昔からある樹木の保全が難しい理由」として，無秩序な開発，老木化による樹勢低下・病虫害が重視され，地域住民の関心の低さや土地所有者の対応の過剰さといった理由よりも問題視されていた。農住混在地域におけるミニ開発など，土地利用転換や小規模な再開発による樹木の存続の難しさと，樹木自体の老木化の問題に対して，樹木とその生育環境全体の更新プランを含めた復元のアプローチが必要である。



写真2 街路樹の灌水や課題共有を啓発するタグ（英国・ロンドン市ハックニー区）

### 3.4 累積的影響をネットポジティブにしていく仕組みづくり

樹林・樹木の文化的価値は，都市の再開発に伴う環境アセスメントにおいても焦点となりやすい。そこでは従来，保全すべき貴重な自然がないものとされ，動物，植物，生態系といった環境影響評価項目が選定されないまま，緑地の消失と転換が続いてきた。一方で，都市再開発に伴う緑地は，生物の生息場に加え，クールスポットや災害時の避難場所，避難経路としても期待される。都市再開発における環境影響を Eco-DRR の観点からとらえ直し，環境適応に対する効果に関するアセスメントを進めていくことが必要である。そのような環境アセスメントのあり方の先進例として，横浜市では，2025 年の環境影響評価配慮指針の改定において，計画段階配慮の配慮事項として，ヒートアイランド現象に係る適応に関する記載を追加し，グリーンインフラの保全・活用に関する取り組みも選定，記述する仕組みを盛り込んでいる。また，環境影響評価技術指針の改定において，動物，植物，生態系の環境影響評価項目とは独立して，新たに自然資本の観点からの「緑地」の項目を創設した。これにより，特定の保全対象種や生物群集を想定した影響を検討しにくい都市部の環境影響評価において，とくに緑地の創出による生態系ネットワークや生態系サービスの向上・回復に

関する効果について調査・予測・評価し、ポジティブインパクトも含めて事業者がベスト追及を図る環境アセスメントを推進している。

また、民間都市再開発を契機として、緑地の環境機能をネットワーク的に改善するための公的認証として、国土交通省は2024年にTSUNAG認証（優良緑地確保計画認定制度）を創設し、地域と連携した環境改善をもたらす開発に対して認証を開始した（国土交通省HP）。民間事業者サイドにおいても、ABINC（一般社団法人いきもの共生事業推進協議会）は、2025年9月に日本初となる「生物多様性ネットゲイン認証β版」の仕組みを創設した（ABINCのHP）。民間事業者に対して、事業地と「自然再興実施地」をあわせて、生態系影響を回避・低減・代償し、全体としてマイナス影響を上回るポジティブ効果をもたらす開発のあり方を認証する仕組みである。これらの官・民の認証の仕組みによって、開発事業者による地域コミュニティと連携した自然再興のアクションがつながっていくことが期待される。

世界経済フォーラムによるネイチャーポジティブな都市づくりのためのガイドライン（World Economic Forum, 2024）によれば、ネイチャーポジティブとするためには、従来の影響の回避・低減・代償に加えて、システムレベルの変革（Transformation）が求められる。気候変動と人口減少のダブルインパクトに対するレジリエンスの向上は、そのような変革のための最も重要なドライビングフォースとなるだろう。日本の景観と土地利用のモザイクに適した、自然とその機能に対するネットポジティブな影響を累積する適応モデルが必要である。

そのための循環共生社会では、自然資源の地域内循環が、自然資本の価値を増大させる重要な機会となる。たとえば、民有地の緑化を緑化植物の種苗圃場（ナーサリー）としての機能も含めて促進することで、適応の手段となる樹木環境のネットポジティブにつなげることができる（写真3）。そして、開発地内で、圃場環境を開発に先立って創出することができれば、アーバンフォレストリーとしての資源循環をもたらし、在来種保全にもつながる。このような循環型の（サーキュラーな）適応のあり方は、区画の小規模な庭などにおいても実践できる。隣地とのつながりを生む植栽を、隣地の緑化のための植物の種苗生産も含めて実現する、社会生態的なグリーンインフラモデルである。

前述した雨水流出影響の低減において、街区レベルの機能を発揮するのは、隣地をまたいだ流出影響の低減である。街区を集水域ととらえ、接続する隣地のつながりの単位で流出影響を低減することが、街区全体の流出影響に高い効果を発揮する。田んぼダムと同様に、民有地の庭もダムとみなし、敷地境界のみどりを隣地同士でつなぐことは、ランドスケープレベルでの適応の手段となる。地区レベルでの緑化協定などにより確保されてきた庭や生垣の連続性は、環境適応の観点から再評価される必要がある。敷地間での浸透目地の接続や、隣地同士で樹木を連続させて構成するクールスポットづくりなどへの変革が期待される。また、土地造成により拡大してきた都市近郊の市街地においては、擁壁の老朽化も懸念される。擁壁改修の機会も、街区の環境の「側面」をグリーンインフラネットワークとして再生

させるための機会となり得るだろう。

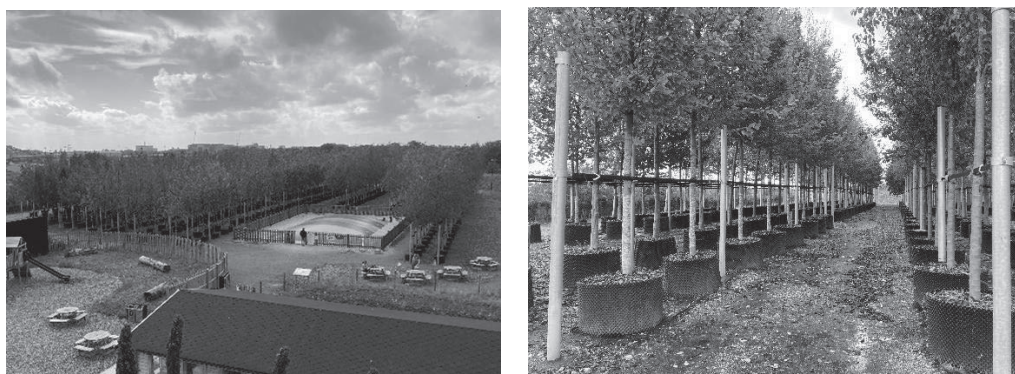


写真3 Berkley 社 The Green Quarter プロジェクトでのナーサリー（英国・ロンドン市）

#### 4. おわりに

本稿では、NbS としてのグリーンインフラの保全・活用を、気候災害の発生源対策としての都市雨水管理において実現していき、ランドスケープスケールで自然機能のシナジーを發揮させるための条件や手段について考えた。自然の循環の上流側において、自然の機能性をより發揮できるための条件を、環境、社会の両面で整えていくことが、地域のレジリエンスの向上につながる。このような地域景観とそれを支える地域社会での課題解決のあり方は、「ランドスケープアプローチ」とよばれる。気候変動に対して、地域の自然資本と気候災害リスクに応じたランドスケープアプローチをデザインしていく必要がある。

都市インフラの老朽化に伴うマネジメントコストの増大は、インフラ改修時におけるグリーンインフラ実装の機会を高める。事前リスク回避として、資金や人材の一定割合を自然資本に充て、地域レベルで自然の環境調整機能をつなげる NbS を実現し、都市の持続可能性を高めることが期待される。その際に重要なのは、自然の成り立ちに対する私達自身の同時的なレスポンスである。都市の雨水流出や暑熱緩和などの短期的な機能性を長期にわたり發揮するみどりのストックを実現するためには、自然のマネジメントをベースとした適応環境の整備が必要である。そこからもたらされる多様な環境改善効果を、実装のモチベーションや原資としていくことが必要である。

再生可能エネルギーと自然資本のトレードオフを、シナジーに転換するためにも、立地としての自然への先行投資を前提とすることを期待したい。屋上においても、雨水流出抑制と在来動植物の保全に貢献する緑化をしたうえでソーラーパネルを設置することは、十分に可能である。また、デンマーク・コペンハーゲン市の気候適応公園（Grønningen-Bispeparken；SLA の HP）のように、気候変動のインパクトを緩和する身近な自然の確保と、市民のリスク検知やまちづくりでの対策の実体験を一体的に実現できる環境づくりが重要だろう。国内では、流域治水とともに整備される川沿いの環境が、そのような災害適応空間になってい

くことが期待される。増大する都市雨水の排水路として整備されてきた日本の都市河川では、河川沿いの雨水調節池は河川施設として立ち入りできない管理施設となっていたり、地下化されていることが多いが、市民自身が行政と共同して生態系空間として調整池内の河畔林や湿地環境の管理を行っている清瀬金山調節地（東京都清瀬市 HP）のような先進事例もある。気候災害に対するレジリエンスを向上する景観づくりとして、流域や街区における自然機能のシナジーとポジティブインパクトをもたらす環境創出が行われるとともに、市民による環境を活用したリスクへの適応の体験やアクションが同期されていくことが期待される。

### [文献リスト]

国土交通省（2025）：河川事業概要 2025. p.6

国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2024）HP：土砂災害の現況について.

[https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/items/post-163/01/shiryoku4.pdf](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-163/01/shiryoku4.pdf)

国土交通省（2015）：国土形成計画（全国計画）. 150-151.

鈴木隆介（2000）：建設技術者のための地形図読図入門 第3巻段丘・丘陵・山地. 942p.

世田谷区土木部土木計画調整課（2020）：令和元年台風第19号に伴う上野毛・野毛地区、玉堤地区における浸水被害の検証について（最終報告）. 61p.

国土交通省都市・地域整備局下水道部，河川局治水課（2010）：雨水浸透施設の整備促進に関する手引き（案）～浸透能力の低減を見込んだ効果把握及び維持管理の考え方について～. 80p.

東京都（2023）：東京都豪雨対策基本方針（改定）. 79p.

世田谷区（2022）：世田谷区豪雨対策行動計画（改定）. 75p.

IUCN（2016）：WCC-2016-Res-069-EN Defining Nature-based Solutions.

[https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2016\\_RES\\_069\\_EN.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_EN.pdf)

IUCN（2021）：自然に根ざした解決策に関する IUCN 世界標準の利用ガイダンスー自然に根ざした解決策の検証、デザイン、規模拡大に関するユーザーフレンドリーな枠組み（初版）. 57p.

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2010) : GREEN INFRASTRUCTURE CASE STUDIES: Municipal Policies for Managing Stormwater with Green Infrastructure. 70p.

横田樹広（2024）：屋上緑化とテラス緑化が連結した立体緑化による雨水流出抑制効果の実測. 日本建築学会技術報告集 30(74), 211-215. DOI: <https://doi.org/10.3130/aijt.30.211>

横田樹広・渡部陽介（2023）：高解像度 DEM を用いた街区内道路空間における雨水流出環境とバイオスウェル導入シナリオの評価. 日本建築学会技術報告集 29(72), 904-909. DOI: <https://doi.org/10.3130/aijt.29.904>

世田谷区 HP：みんなでできる雨水対策 グリーンインフラを広げていきましょう！.

<https://www.city.setagaya.lg.jp/documents/4535/greeninfrajosei.pdf>

## 特集

一般財団法人世田谷トラストまちづくり HP : 世田谷グリーンインフラ学校～自分でもできる雨庭づくり. <https://www.setagayatm.or.jp/trust/support/gi/planning-study.html>

雨の水みち TOKYO プロジェクト HP : <https://mizumichi.tokyo/>

NBSI (Nature-bases Solutions Institute) HP : 3-30-300. <https://nbsi.eu/the-3-30-300-rule/>

U.S. Forestry Service HP : i-Tree. <https://research.fs.usda.gov/products/dataandtools/i-tree>

鷺見泰弘・中浦樹生・横田樹広・平林聡 (2022) : i-Tree Eco による東京都心部の再開発街区における都市緑地機能の定量的評価. 東京都環境科学研究所年報 2022, 60-61.

世田谷区 HP : 風景づくり計画. <https://www.city.setagaya.lg.jp/02092/4214.html>

横浜市 HP : 「横浜市環境影響評価技術指針」及び「横浜市環境配慮指針」を改定しました (2025年4月4日掲載) .

<https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/koho-kocho/press/kankyo/2025/0404shishinkaitei.html>

国土交通省 HP : TSUNAG ー優良緑地確保計画認定制度. <https://tsunag-mlit.com/>

一般社団法人いきもの共生事業推進協議会 (ABINC) HP : 「自然と共生する世界」の実現にビジネスから貢献 「生物多様性ネットゲイン認証 β 版」のリリースと トライアルサイトの募集. [https://www3.abinc.or.jp/wp-content/uploads/2025/09/ABINC\\_netgain2025.pdf](https://www3.abinc.or.jp/wp-content/uploads/2025/09/ABINC_netgain2025.pdf)

World Economic Forum (2024) : Nature Positive: Guidelines for the Transition in Cities -Insight Report-. 40p.

SLA HP : Grønningen-Bispeparken Cloudburst Park. <https://www.sla.dk/cases/gronningen/>

東京都清瀬市 HP : 清瀬金山調節池.

<https://www.city.kiyose.lg.jp/siseijouhou/machizukuri/kouen/1004502/1004513.html>