

自然環境機能化技術の都市への展開

伊藤康則

鹿島建設株式会社 環境本部（〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-21 新宿パークタワー29F）

わが国の急速な都市化によるヒートアイランド現象を代表とする都市環境問題の解決に向け、自然の持つ環境保全機能を活用し、都市機能に自然の働きを組み込む考え方として「自然環境機能化」の概念を提示するこれにより、自然環境緩和や水循環保全、地球環境保全、生活環境保全のための機能を、水や緑などの自然の要素を活用した自然環境インフラによって担ってゆくものである。建物緑化技術や生物多様性技術、水循環保全技術などの環境技術と環境機能の評価や都市への展開のためのソフト手法の統合により、都市環境をマネジメントする新たな都市インフラが形成され、今後の持続可能な都市づくりや都市再生のための重要なツールとなる。

キーワード：自然環境，都市，機能化，環境保全，水と緑

1．都市環境問題の現状と課題

(1)都市化の進展と環境の変化

わが国は、戦後の復興から産業の発展とともに高度経済成長を経て、大都市への人口集中と機能の集積により都市の急激な拡大がもたらされた。急速な人口や都市機能の集積は経済活動の急成長をもたらした一方で、緑地や水面の減少と大気汚染や水質汚濁、ヒートアイランド現象による温度上昇、交通渋滞、防災上の問題など多方面に渡って都市環境に悪影響を及ぼし、都市域での生活や産業活動に支障を与えている。

(2)過密・交通問題

人口や都市機能の集積は住宅やビル等の構造物の過度の密集をもたらし、日照問題や震災時の安全性阻害の他、道路や都市インフラに対する負担を増大させ空間と密度のバランスの崩れより交通渋滞や洪水等の問題が生じている。

(3)公害問題

高度経済成長時代の都市への産業集積は臨海工業地帯を中心に工場立地を促し、経済性・生産性重視の企業活動の結果、大気汚染・水質汚濁をもたらした。また、人の移動や流通量の増大は自動車による排ガスを増大させ、SOx、NOxの他、微粒子状浮遊物質による大気汚染は都市住民の健康を脅かしている。

(4)ヒートアイランド現象

都市への機能集中がもたらした大気汚染と排熱の増大は、地表面の人口被覆化による日射の輻射量の増大が重なることによりヒートアイランド現象という都市独特の異常気象現象を発生させ、都市環境をますます劣悪化させている。

(5)環境負荷低減による持続可能な社会の形成

人間社会の発展や高度化の象徴である都市を、今後も持続的に機能させ活性化してゆくためには、経済性・生産性の側面と合わせて、そこで活動する主体が持続的に活動可能な、さらにはより活動しやすい環境を創造し保全してゆくことが求められる。これに应运えてゆくためには、都市に求められる経済性・生産性と共存可能な生活環境の改善や自然環境保全、環境負荷低減技術の確立による持続可能な社会の形成を追求してゆく必要がある。

2．都市環境改善への取り組み

(1)環境汚染対策（公害対策）

光化学スモッグに代表される大気汚染や重金属類、有機塩類により自然生物や人の健康に危害を及ぼす水質汚濁については、環境アセスメントの実施や排ガス・排水基準の厳正化および行政指導や企業の環境対策の徹底により緩和の方向に向っているが、微粒子状浮遊物質やダイオキシン、土壤汚染等の近年表面化した問題に対しては、法的規制や基準の整備

が進んでいるものの対策技術の確立については開発途上にあり対策が急がれる。

(2) ヒートアイランド対策

都市環境の保全のみならず地球環境保全のための温暖化防止にも関連するヒートアイランド対策については、現在国の重大な緊急課題として省庁連携によりその解決にむけて取り組んでいる。その方策としては、1. 現象のメカニズムの解明、2. 地表面被覆の改善、3. 建物や自動車からの排熱量の抑制の3つが大きなテーマとなっている。これに対し建設分野が担うべき技術的な側面は、温度を上昇させない地表および構造物被覆工法の開発であり、構造基準や他の要求を満たしながら温度の上昇を抑制する道路舗装や建築外装、建造物緑化に関わる材料や工法の開発が盛んに進められている。

また、面的な都市構成の改善による解決策として、緑化の推進・義務化による緑地面積の拡大や都市におけるクーリングスポットや風の道の確保が行政主導で推進されている。

(3) 自然環境保全対策

都市においては、環境改善効果の大きい自然環境を有する新たな土地を確保・創造するのは困難なことから、まず第1には既にある都市林や寺社・屋敷林を保全することが重要である。また、限られた自然の機能を有効に果たすためには、河川や道路用地のリニアな繋がりを最大限に活用した緑のネットワーク形成が求められる。核となる公園や河川は極力生物が多様性を持てる構成とし食物連鎖や移動空間の確保に努めるべきである。

さらに地表面の被覆については、人工的な舗装面についても透水性の確保できる構造を積極的に採用し、緑化可能な部分は極力緑化してゆくことにより地下水の涵養や洪水調整の機能を高め流域の水循環のバランス向上を図ってゆく必要がある。

(4) 資源・エネルギー対策

都市域に集中する資源・エネルギー消費量の削減と排ガス・排熱・廃棄物排出量の抑制のための対策としては、1. 太陽光発電・風力発電、小水力発電・地熱発電などの自然エネルギー活用、2. 下水熱・ごみ発電などの未利用エネルギー活用、3. 天然ガスコージェネレーション・燃料電池・クリーンエネルギー自動車などのエネルギー新利用形態導入が進められている。

自然エネルギー活用に対しては、施策的推進や優遇措置に加え、効率を高める技術や経済性・汎用性

の向上により化石燃料の消費や排出物の削減が、未利用エネルギー活用に対しては、行政サイドの連携により関連技術の導入を通じた最善策に向けての既往システムからのシフトが期待される。エネルギー新利用形態導入に対しては、関連分野や企業の技術開発や商品化が急速な勢いで進められており、施策的支援を背景に技術の進展とともに普及が進むものと考えられる。

3. 都市と自然（都市環境を保全する自然の機能）

(1) 都市の中の自然

近年の都市化の進展は自然を侵食し、都市に残る自然を減少の途へと導いていった。その動向についてトノサマバッタを指標として分布状況の変化を見ると、東京都では生息エリアの減退が顕著に表れていることがわかる（図-1）¹⁾。

また、自然の持つ広域的な環境の働きとして、流域圏における河川や地下水・降雨による水循環や広域的な地形や土地利用の形態によりもたらされる風の流れがあり、これにより歴史的な風土が守られてきた。都市の巨大化はこのような広域的な環境にも変化をもたらしているとともに、その変化によって大きな循環システムのバランスを崩しつつある。

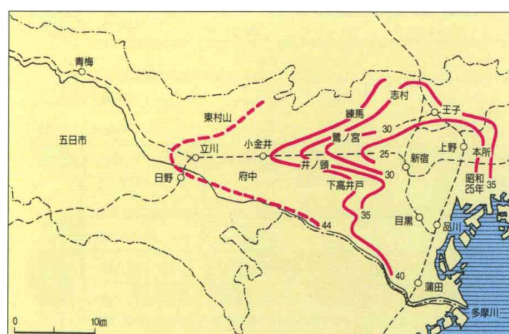


図-1 都市化による自然の減退（トノサマバッタ）

(2) 緑の持つ機能と都市環境的效果

緑はその生態的機能により物質やエネルギーの循環作用を果たしており、その働きは人間を含め生物が生息する環境を維持する上で様々な機能的効果を果たしている（図-2）²⁾。

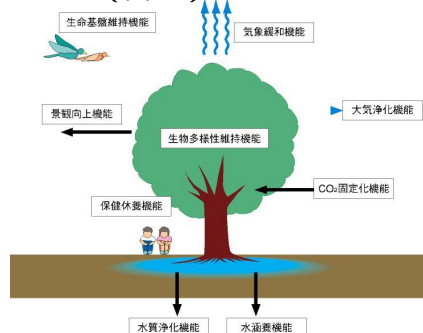


図-2 緑の持つ機能的効果

(3)水の持つ機能と都市環境的效果

水は溶解性に富み物質成分を含有するとともに流域圏の水循環により上流域から下流域に移動したり、土壌や樹木などの生命体や物質中に吸収され代謝や成長作用の媒体として機能したり、蒸散や排泄作用等により排出されたりする。また水は、熱を蓄えたり蒸散時に気化熱を奪い温度を下げる効果を有する。そして水面から蒸発した水蒸気は上昇し降雨として再び大地に還元し循環系を形成する(図-3)³⁾。

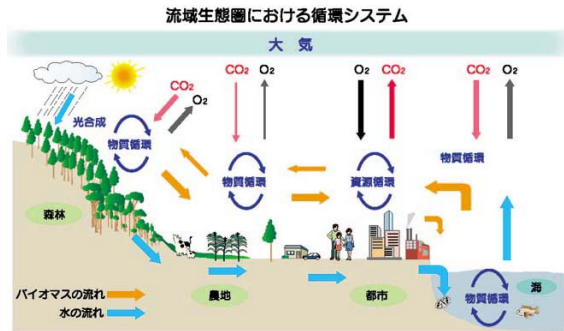


図-3 流域圏の水循環系

(4)大地の持つ機能と都市環境に与える効果

都市はある特定の立地条件の下、気象条件との関わりを深く持ちながら固有の環境特性を保有している。立地条件の中でも地形、河川・海、土地利用の状況は都市の環境特性を大きく作用する要因となっており、人間の活動の舞台となる都市環境を形成する上での重要な面的環境機能要素と考えられる。

4. 都市における環境的機能と自然環境インフラ

(1)自然の持つ機能を生かす環境インフラ

都市は人間の活動のため自然を支配しながら発展してきた歴史的経緯から、都市と自然は対立する関係にあるものと理解されてきた。ところが、近年、その支配が限度を超えて環境問題として人間の生活を脅かすまでに跳ね返りつつある状況となり、身の回りの身近なレベルから地球環境の国際的レベルに至るまで、自然との関わりを見直し環境を守ってゆこうとする価値観や行動が優勢になってきた。

この時代の趨勢を機に、自然を守る姿勢から共生へ、さらには、自然の持つ機能を社会の基盤として取り入れて、環境を保全することに加えて社会活動の向上に役立るしくみを構築することが、高度化した社会を持続可能とする方策の一つと考えられる。

そこで、求められるのが自然の持つ環境的機能を都市のインフラとして活用する環境共生技術である。これを都市における「自然環境機能化技術」と呼ぶこととする。自然環境機能化技術は、前節で述べた都市環境を保全する自然の持つ機能を都市のインフ

ラストラクチャーに組み込むことにより都市と自然が共生的な関係を持って機能を高めるための技術であり、これにより機能化が期待できるインフラとしては以下のものが考えられる。

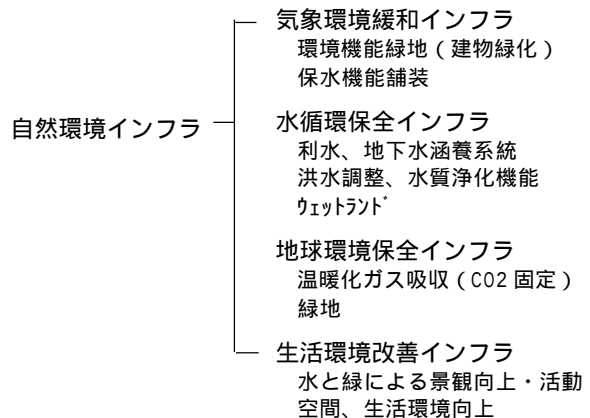


図-4 自然環境機能化によるインフラストラクチャー

(2)気象環境緩和のための自然環境インフラ

自然の機能により気象環境を緩和する働きを持つ要素には、蒸散機能によりクーリング効果を発揮する緑地（建物緑化）や水面があり、都市における被覆率の向上や風の道を誘引する有効的な空間的配置等により環境機能を有する都市インフラとしての役割を果たすことができる。その他、自然素材以外にも地表被覆面の保水機能化による温度緩和効果から、保水性の舗装材料や自然の働きにより地表面に水分の供給が可能な舗装工法による道路や広場のネットワークについても気象環境緩和インフラと言える。

このインフラは、先に述べた都市のヒートアイランド現象を緩和する特効的效果を有するものとして導入に大きな期待が持たれるものである。

(3)水循環保全のための自然環境インフラ

水循環は、自然の代表的な要素である水の自然の働きそのものであるが、都市化による人間の活動優先に行った人工的な被覆や治水・利水によりその均衡は崩れ、量的にも質的にも人工的なコントロールなくして保持できないものとなった。失った機能を取り戻し、自然の働きにより健全な水循環を保持するためには、流域圏の水収支および環境容量のバランスのとれた利水系統と緑地や透水被覆による地下水涵養、生物の多様なウェットランドによる洪水調整、水質浄化などの導入を通して土地利用全体を考えた都市システムとして構築する必要がある。

(4)地球環境保全のための自然環境インフラ

地球環境保全すなわち地球を温暖化から守るための手段を自然の機能に求める方策としては、緑地に

よる温暖化ガス吸収およびCO₂固定が考えられる。これは主に自然地域の森林地帯が担うべき仕事であるが、人口の大半が生活する都市においてもその意義は大きい。本来、都市は人口や産業機能が集積する人工空間で自然を排除してきたが、人間が生物の一員として活動する限りにおいては、自然の働きを持つ緑豊かな環境で生活することが望ましい。土地利用上の制約が厳しいものの、道路・河川・大規模施設用地や宅地内など、場合によっては建物や構造物上においても可能な限り緑化し、インフラストラクチャー化することにより、生物的な生活環境の確保と合わせて地球環境保全に寄与することが可能となる。

(5)生活環境改善(アメニティ)のための自然環境インフラ

自然環境は都市における物理的機能を満たすだけでなく質的な面においても効果を果たすものである。自然の要素である水と緑や大地の構成による地形は、都市景観向上の役割を果たすとともに、屋外活動の場や自然との触れ合いの場を提供する。従って、これらの自然的要素の構成は、アメニティの向上と言った都市の重要な機能を持つインフラストラクチャーとして位置付けることができる。

また、人々の生活環境の質を維持する上で、緑は大気浄化や騒音防止、防災機能等の機能を果たすことができることから、その配置や構成により都市のインフラとしての機能を果たすことが可能となる。

5．自然環境を機能化する技術

(1)都市インフラ形成へと導く自然環境機能化技術

建設の分野で都市計画や都市施設の計画にあたり自然環境の機能を生かして都市インフラとしての役割を担ってゆく可能性を持つと思われる実用的技術を紹介する。

(2)建物緑化技術：屋上・壁面への特殊緑化技術

自然の不足する都市部では緑化の推進が叫ばれているが、土地利用上の制約から普及が難しく、最近では可能性を建物の屋上や壁面など構造物上への緑化が求められるようになっている。東京都では、都市環境改善のため屋上緑化を義務付けている。

屋上緑化は、都市の気象緩和機能からヒートアイランド現象に対する対策の1つとして大きく期待が持たれている他、洪水調整機能や大気浄化機能、景観向上機能、建物の空調負荷低減機能など多様な役割を果たすことができる。

ところが、架空の本来植物が生育する基盤のないところに人工的に土壌基盤を設置することから、荷

重や給排水、風による飛散・倒木の問題、施工性の問題など技術的課題が多く普及の障害となっていた。そこで、これらの問題を克服するために開発されたのが人工軽量土壌や薄層緑化パネル(図-5)⁴⁾である。

人工軽量土壌は、パーライトなどの軽量材と肥料分や保水性など植物の生育に適した物理化学性を有する成分を人工的に配合を行った構造物上の緑化基盤に適した土壌である。一方、薄層緑化パネルは、土壌を平板状に成形もしくは皿型ユニットに充填した基盤に芝やセダムなどを植え付けた植栽パネルで、舗装材や外装材の感覚で施工が容易に行うことができるメリットを持つ。

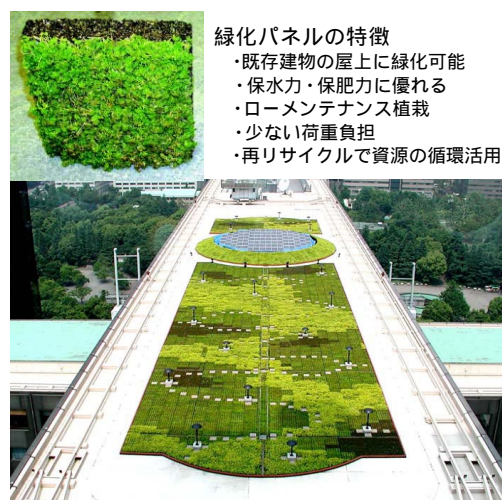


図-5 薄層緑化パネルによる屋上緑化

(3)生物多様性技術：ピオトープ創生技術

都市における自然の減少は、生きた動植物との触れあう機会が少なく潤いに乏しい生活を余儀なくさせる。そこで、都市における限られた空間に多様な生物の生息する潤い空間を提供する役割を果たすのがピオトープである。ピオトープは一般的には自然地域に成立するものであるが、都市部においても公園内やケースによっては、植栽基盤の工夫や防水処置の徹底により廃校になった学校のプールや、建物の屋上(図-6)に設置することも可能である。注意すべきは、外来種や食物連鎖を乱す生物種を導入しないことと、ネットワーク的に移動できる空間や距離を確保することである。

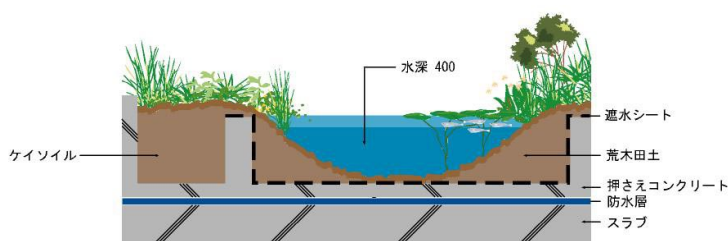


図-6 屋上ピオトープの断面構造

(4)水循環保全技術

非透水性のコンクリートとアスファルトで固められた都市においては、降雨は速やかに集水され側溝・河川に放流される。強度降雨時には増水により洪水の危険性が増し、防災上、調整池や水路に対する負担が高まっている。このような人工的な都市基盤に対する負担を軽減するための水循環保全技術として、敷地内における雨水貯留、雨水利用および地下水還元による水循環システムがある(図-7)。

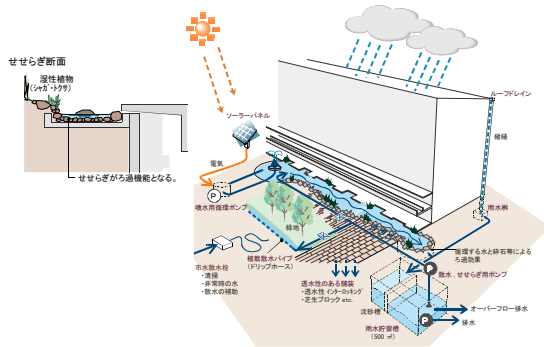


図-7 住宅地における水循環保全技術

また、最近では、地表被覆面の性状を透水性や保水性の性能をもつ舗装材の製品や施工方法が技術開発され、雨水の流出を防止し地下水を涵養する機能や保水性による蒸散効果の結果日射の反射や輻射により高温となる舗装表面の温度を下げる機能を期待することが可能となった。

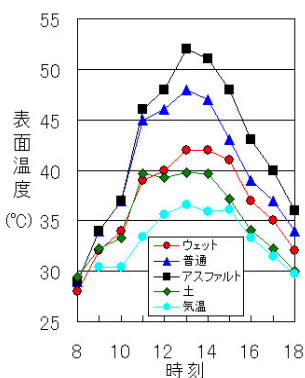


図-8 ウェットコンクリートの温度特性

図-8は、コンクリートに土壌成分や植物繊維等を配合することにより吸水・保水・蒸発散機能を実現化したウェットコンクリートの温度特性を表したものである。

さらに、流域の水質保全に向けて自然の機能を生かす技術として植生浄化技術に期待が持たれる。中でもリビングフィルターは、ユニット型植生基盤とひも状接触材の組合せにより効率的で安定した水質浄化を行うものである⁵⁾(図-9)。

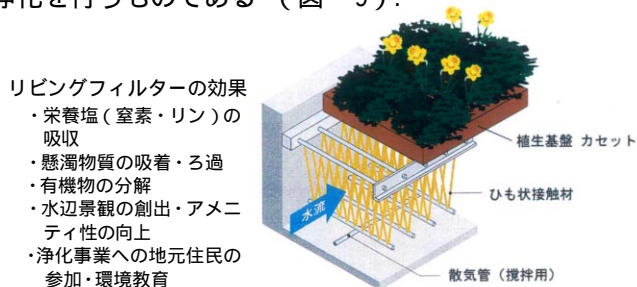


図-9 リビングフィルターの構造

(5)水と緑のアメニティ空間ネットワーク形成

都市に水や緑の自然の要素を導入しその機能的効果を高めるためには、量的に増やすことだけでなく、線状に繋いでネットワークを形成することが重要である。その手法としては、図-10⁶⁾の例に示すように大規模公園や学校、社寺等のまとまった緑の拠点を核に、河川や道路等に沿って緑の帯を繋いでゆく。

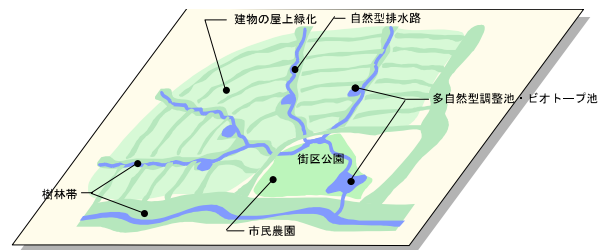


図-10 水と緑のネットワーク

(6)風の道を形成する土地利用・建物配置

自然の持つ都市気象を緩和するための機能として風の道によるクールスポットからの冷風の導入や高温域の空気の拡散による作用がある。これは、図-11⁷⁾に示すように水面・緑地や地形、構造物の配置等のコントロールにより、空気の動きを促したり、風の流れの流路を設定するものである。

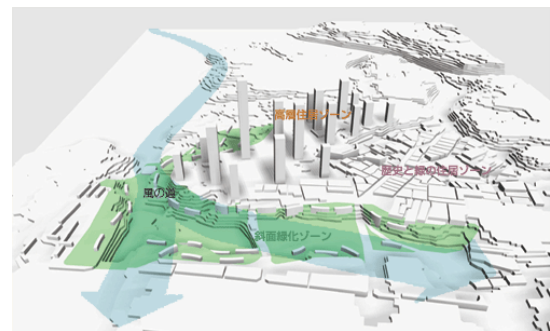


図-11 風の道のコントロール

(7)グリーンビル設計技術

都市における建築計画においても、パッシブソーラーの導入や自然通風・採光、土壌蓄熱、雨水利用など、自然の力を資源・エネルギーとして活用する技術を様々な形で導入することが可能である。

図-12⁸⁾に自然通風を利用した建物の計画を示す。

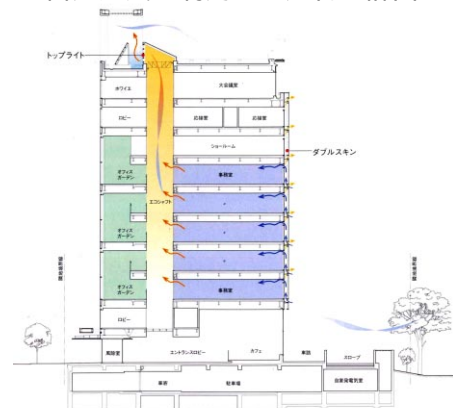


図-12 自然通風を導入したグリーンビル

6. 自然環境機能化技術の展開方法と可能性

(1) 環境機能の評価技術

自然の持つ環境機能を適正に都市の基盤整備等に導入するためには、その効果が果たす効果の程度を把握する必要がある。これに応えるため、環境機能の評価技術が求められる。例えば緑化による環境効果のポテンシャルを定量的に把握する手法として、温度緩和、空調負荷軽減、洪水調整、大気浄化、CO₂固定、生物多様性機能の評価システムが考えられる。図-13に大気浄化機能（NO_x）評価の例²⁾を示す。



（静岡県掛川市での事例）

図-13 緑地による大気浄化機能（NO_x）の評価結果

平成12年度GIS整備・普及支援モデル実証実験データベース活用実験より抜粋

これらの評価技術を活用することにより、例えば緑化面積の増大や地表被覆面の透水・保水性能の付与による温度低減効果を指標化することが可能となり、ヒートアイランド対策など都市における環境保全政策策定や都市再生などの面的都市基盤整備における環境保全計画のための基礎情報となる。

図-14、図-15は自然環境を機能する水と緑のネットワークを導入した都市づくりによる土地利用上、雨水涵養機能上の効果を表したものである⁶⁾。

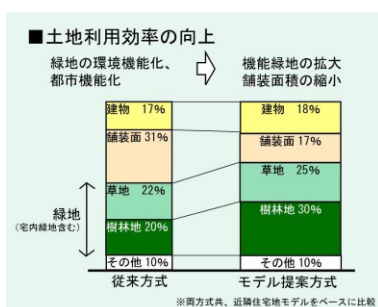


図-14 緑地面積増加による環境機能化の土地利用

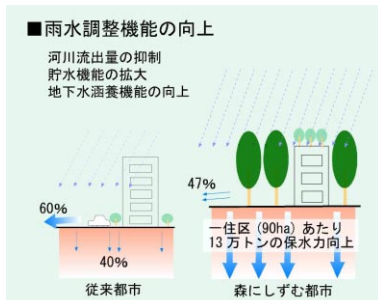


図-15 緑地による雨水涵養機能化

(2) 環境機能最適化導入のプランニング

環境機能の評価の多くは項目別把握のため、これを具体的な政策決定や計画策定へと導くためには、関連する他の視点と合わせて総合的に評価を行うことが必要となる。その一例として図-16に示すのが計画の代替案に対し、文化・環境・経済・安全・社会の5つの分野から関連情報を把握し総合的な評価へと導いてゆくサステナブルアセスメント評価手法のフローである⁷⁾。

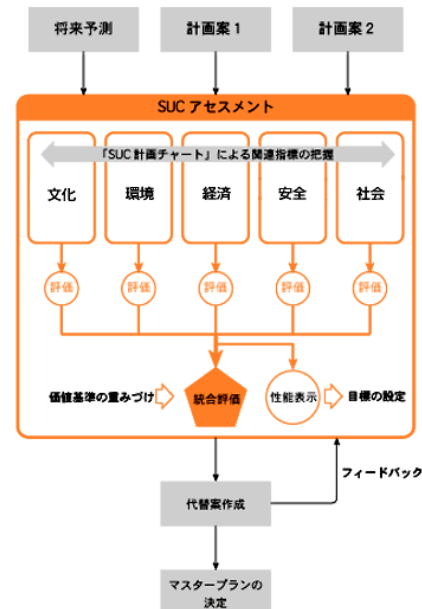


図-16 サステナブル都市の総合評価フロー

また、図-17は都市の基盤を形成するインフラストラクチャーのネットワークに水と緑の自然要素や資源循環のシステムを融合し都市機能の向上を図る街区モデルの例である。これは、水と緑の機能により水循環や環境保全の役割を果たすインフラとシェア方式の住区交通インフラ、バイオマス資源の循環システムが重なり合って都市機能全体の価値を高めるものである⁶⁾。

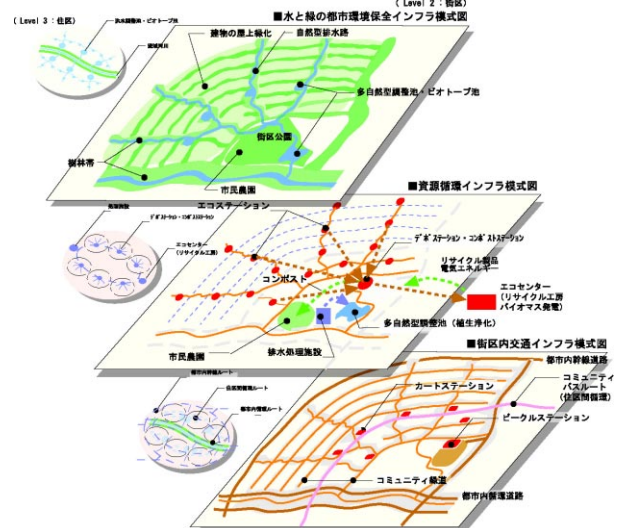


図-17 自然機能融合型街区インフラモデル

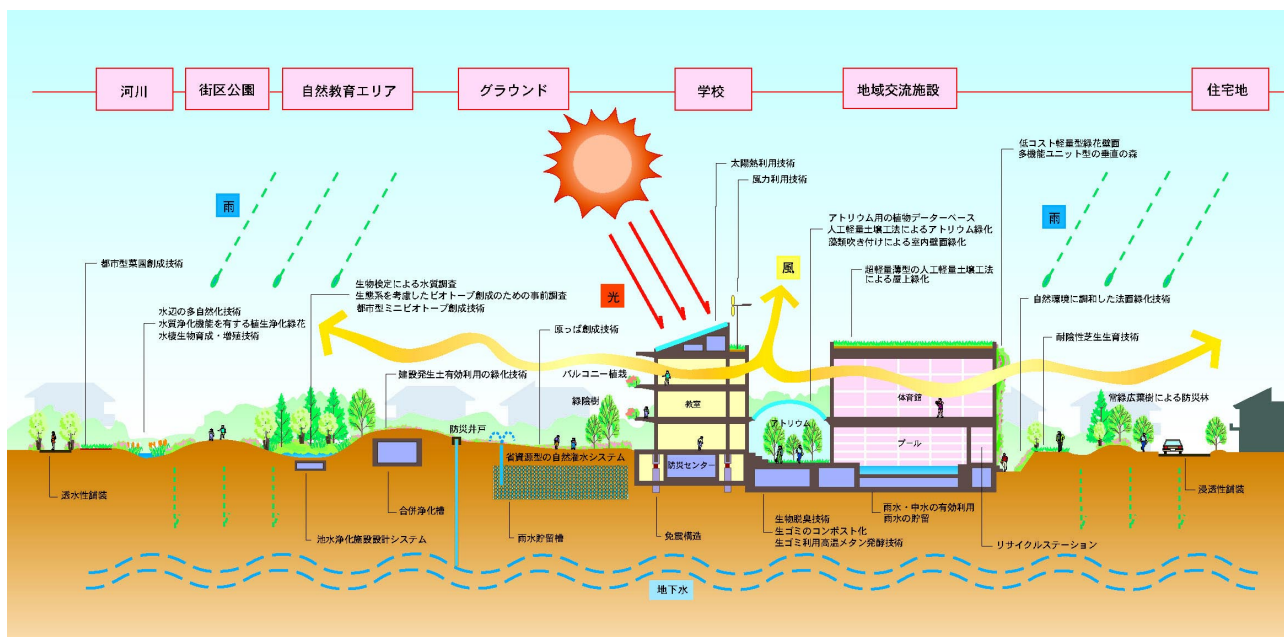


図 - 18 自然環境機能化技術を導入した地区コミュニティプラン

(3) 自然環境機能化技術の普及・推進

評価・総合化した自然環境機能化技術を具体化するためには、都市形成等のプランに技術を目に見え形で落とし込み、その関連性や効果を明らかにしてゆく必要がある。図 - 18 は、学校と街区公園を舞台に自然の資源を活用した技術を導入した地区コミュニティを描いたもので、様々な自然の要素が地域住民の活動と関わりを持って都市機能の役割を果たしていることがわかる。また、これらの働きは、図 - 19 に示すような要素間の関係を持って資源循環の連鎖が営まれる⁹⁾。

また、プランを描くことに加え、これらの技術を社会に普及・推進してゆくためには、技術の信頼性を高めるための実証や、国の関係機関等による認定や標準化を行うことが有効であり、今後取り組むべき課題である。

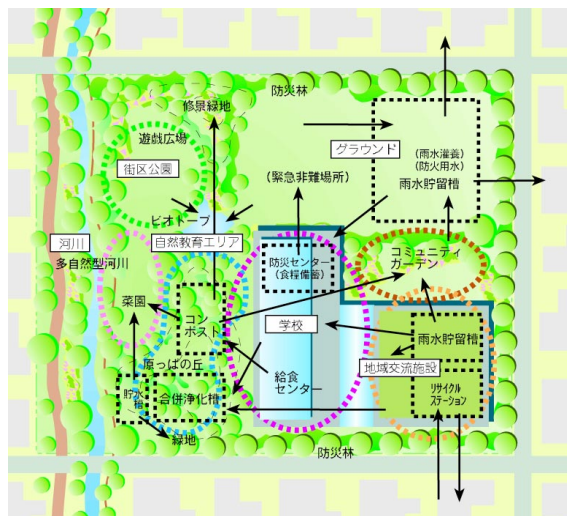


図 - 19 地区コミュニティにおける資源循環

さらに、環境保全や持続可能な社会づくりなどの社会的効果や新規産業の創生などの経済的効果を導く社会システムを積極的に描いてゆくことにより、地域住民や行政、企業の活動推進のインセンティブとして、住民参加や都市計画や行政施策への反映、企業の参入や事業展開の活性化を促すことが求められる。

これらのしくみの運用的側面においては、図 - 20 に示すように地域住民と行政と企業がパートナーシップを組んでそれぞれの立場の役割を担いながら地域が果たすべき経済、環境、コミュニティの機能を高めてゆく地域コミュニティサービスを提供するしくみづくりが重要となる。図の例は、地域交流や経済活動の活性化を促すための、エコマネーによる地域コミュニティ創造型チャージフリー地域経済システムである⁶⁾。

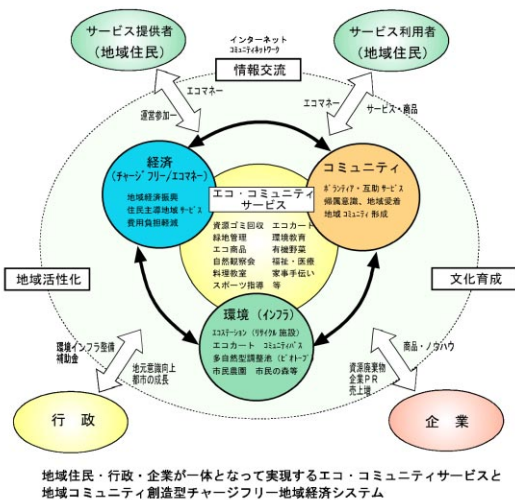


図 - 20 地域コミュニティ創造型チャージフリー地域経済システム

7. まとめ

以上、自然環境機能化技術の都市への展開について論述したが、内容をまとめると以下の通りとなる。

- 1) わが国は、戦後の急速な都市化により都市機能集積の一方で自然が減少し、過密・交通問題や公害問題、ヒートアイランド現象などの都市環境問題が深刻化した。
- 2) 都市環境問題の解決のため、環境汚染対策（公害対策）やヒートアイランド対策、自然環境保全対策、資源・エネルギー対策など、都市環境改善への取り組みが強化されている。
- 3) 都市化により減少の途をたどっている自然は、都市環境を保全する上で重要な役割を持っており自然を構成する要素である「緑」、「水」、「大地」の自然の営みが様々な都市環境的效果を発揮する。
- 4) 都市における環境的機能に対し自然の働きを組み込む考え方として、「自然環境機能化」の概念を導入し、自然環境緩和や水循環保全、地球環境保全、生活環境保全のための自然環境インフラを提案。
- 5) 自然環境を機能化するための建設分野における有効な要素技術として、建物緑化技術、生物多様性技術、水循環保全技術、水と緑のネットワーク形成手法、風の道形成手法、グリーンビル設計技術が上げられる。
- 6) 自然環境機能化技術を導入し、実社会において都市環境施策や都市形成・再生等に反映するためには、環境機能の評価技術、環境機能最適化プランニング、施策反映や社会システム形成などのソフト分野の手法の適用が重要である。

環境問題が国際的レベルから身近なレベルの問題にまで深く浸透し、環境保全や都市再生が強く求められる現在、都市環境の保全・創造についての問題は、建設分野が力を入れて取り組んで行かなければならない大きな課題である。これに応える技術は、要素技術については実用のレベルに達しているものが多いものの、社会経済的側面を包含する総合的な評価や施策決定のためのツールについては、実用化に至るものが少なく、統一的な手法の構築が急がれる。

これらの要請に応え、個別の技術開発テーマへの深耕と社会に通用する総合化の技術の構築に向け、関連する分野との連携を深めて社会に貢献できる技術の確立に努めたい。

参考・引用文献

- 1) (財)都市緑化技術開発機構 編：都市のエコロジカルネットワーク, pp10, 1999.7
- 2) 鹿島建設 KTI パンフレット: EASE 緑環境評価システム, 1999
- 3) 九州大学総合研究博物館：森・水・人「学術の森による森林生態科学の展開」,
<http://www.forest.kyushu-u.ac.jp/jyoho/future/recycle.html>
- 4) テクノウェーブ パンフレット: 環境緑化パネル グリーンスクエア
- 5) 鹿島建設環境本部：植物を利用した水域の水質浄化技術、美しい川と湖／川と湖をきれいにする研究会，No.46, pp8-9, 2001.7
- 6) 鹿島建設環境本部：エコライフ・シティ，福島県森にすむ都市戦略モデル提案，2000.6
- 7) 鹿島建設：サステナブル都市コミュニティ，<http://www.kajima.co.jp/tech/suc/>，suc2-suc3
- 8) 鹿島建設：特集 環境配慮建築，KAJIMA 2003.1，pp12
- 9) 鹿島建設：環境共生緑化技術の開発，1999.2，pp48-50