

都市緑地整備による生態系ネットワーク効果と 温熱環境改善効果の統合評価システムの開発

渡部 陽介¹・佐々木 澄²・小野 梓²・横田 樹広³

¹正会員 清水建設株式会社技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3 丁目 4 番 17 号)

E-mail: y-watanabe@shimz.co.jp

²非会員 清水建設株式会社技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3 丁目 4 番 17 号)

E-mail: k_sasaki@shimz.co.jp, ono.azusa@shimz.co.jp

³正会員 東京都市大学環境学部環境創生学科 (〒224-8551 横浜市都筑区牛久保西 3-3-1)

E-mail: yokotas@tcu.ac.jp

都市緑地整備では生態系配慮と人の快適性の両立が重要である。しかし、両効果を計画段階から統合的に定量評価する試みは少ない。本研究では、東京臨海部における仮想的な緑化計画を対象に、シジュウカラの生息適性を指標とした生態系ネットワーク効果と温熱指標である SET* を用いた温熱環境改善効果を統合的に評価するシステムを開発・適用した。緑化計画は大規模公共施設の周辺敷地約 10,000 m² を想定し、樹木の構成・密度・配置形状に応じ、分散列植型、並木・広場型、林分形成型の 3 案を設定した。解析の結果、林分形成型で、生息適性向上度と温熱環境改善効果が最も高くなった。しかし、樹群の風下側街路で林分による通風阻害が生じ、SET* の低下が抑制され、温熱環境改善効果が低減する傾向も見られた。

Key Words: urban greening, ecological network, thermal environment, integrated simulation

1. 背景

持続可能な都市構造への転換が急務とされる中、都市の屋外環境を巡る様々な課題を解決するための手段として緑地整備に対する期待が高まっている。

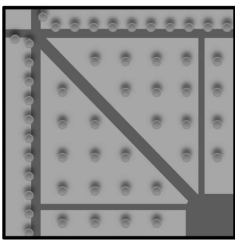
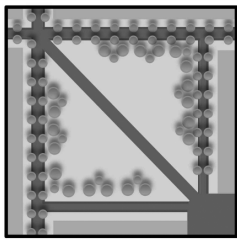
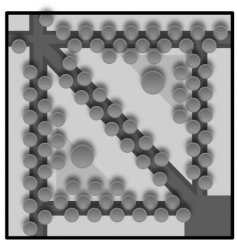
緑地整備がもたらす環境改善効果は多岐に渡るが、生物の生息環境に対する効果と人間の生活環境に対する効果に大別される。前者については、都市の生物多様性向上という観点から、緑地整備による生態系ネットワーク効果が重要視されている。一方、後者については、都市生活の快適性・安全・安心の向上という観点から、ヒートアイランド緩和や保健休養、レクリエーション、景観形成、防災・減災等、様々な効果が期待されている。とりわけ、温熱環境改善効果は、都市における生活の快適性・安全性に関わる重要な課題として社会的にも認知されてきている。今後の都市緑地整備にあたっては、生物の生息環境に関わる生態系ネットワーク効果と人間生活の快適性・安全性に関わる温熱環境改善効果を両立する形で実現していくことが求められる。

これまでの緑地整備においても、生態系と温熱環境への効果を個別に計画した事例は多数存在する。

しかし、各々の環境改善効果の発現・向上にとって最適な緑地整備が必ずしも一致しているわけではないと考えられる。例えば、生物多様性という観点からは樹林形成が有効である一方、快適な温熱環境という点では、樹木の過密な植栽が、風通しを悪化させてしまう場合も想定される。今後、求められるのは、緑地整備の計画段階において、緑地整備がもたらす単一の環境改善効果の発現・向上に着目するだけでなく、複数の環境改善効果間の調整を図りつつ、最適解を模索していくことである。しかし、緑地整備による生態系と温熱環境への効果の関係性について、計画段階から統合的かつ定量的に評価する試みはまだ少ない。

以上の問題意識のもと、本研究では、都市緑地整備による生態系ネットワーク効果と温熱環境改善効果を統合的に評価するシステムを開発することを目的とした。具体的には、東京臨海部における仮想的な緑化計画を対象に、シジュウカラの生息適性を指標とした生態系ネットワーク効果の評価と、温熱指標である SET* (標準新有効温度) を用いた温熱環境改善効果の評価を統合し、両者の関係性を可視化するシステムを開発・適用した。

表-1 植栽パターン

パターン	分散列植型	並木・広場型	林分形成型
植栽配置			
樹木形態	W:3.5m C:4.0m Hc:2.0m	W:3.5m C:4.0m Hc:2.0m, W:6.0m C:6.0m Hc:2.0m	W:6.0m C:6.0m Hc:2.0m, W:10.0m C:6.0m Hc:2.0m
地表面被覆	アスファルト	草地	草地

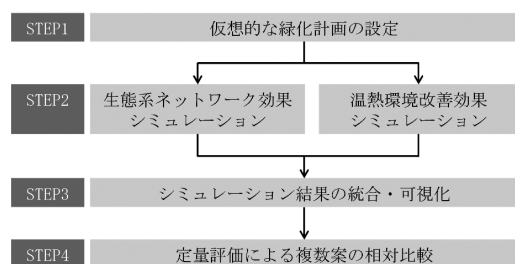


図-1 統合評価システム構成

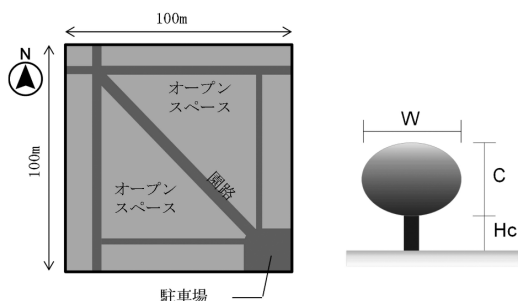


図-2 仮想的な緑化計画の基礎条件

2. 都市緑地整備による生態系ネットワーク効果と温熱環境改善効果の統合評価システムの構成

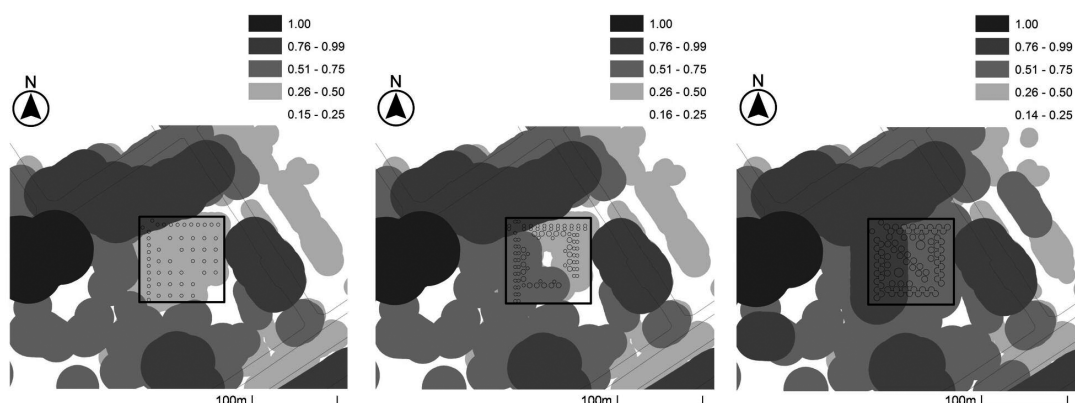
都市緑地整備による生態系ネットワーク効果と温熱環境改善効果の統合評価システムは、仮想的な緑化計画の設定、生態系・温熱環境のシミュレーション、シミュレーション結果の統合、定量評価による複数の緑化計画案の相対比較という4つのパートで構成される（図-1）。

まずSTEP1において、樹木の構成・密度・配置形状や地表面被覆の異なる複数の緑化計画案を設定する。緑化計画のデータは、CADデータ等により作成し、高解像度航空画像データに基づく計画地周辺の緑被分類データとの重ね合わせにより、計画案ごとの仮想的な緑地分布GISデータとして整備する。これをもとに、STEP2において、計画地周辺を対象とした生態系ネットワークと、計画地内を対象とした温熱環境のシミュレーションを行う。STEP3において、シミュレーション結果を統合し、STEP4において、緑化計画の効果を定量的に相対評価する。

3. 仮想的な緑化計画の設定

本研究では、仮想的な緑化計画は、東京臨海部に位置する大規模公共施設の周辺街路および空地部における緑地整備を想定し、評価システムを適用した（図-2）。敷地の形状は正方形とし、1辺の長さを100mとした。敷地内部は、5本の園路（東西方向2本、南北方向2本、北西～南東方向1本）と、駐車場を南東部に配置し、それ以外はオープンスペースとした。

樹木の構成・密度・配置形状の異なる3通りの樹木植栽パターン（分散列植型、並木・広場型、林分形成型）を設定した（表-1）。各パターンの共通点としては、いずれも園路沿いとオープンスペースに樹木を植栽している点が挙げられる。一方、樹木の配置形状や密度、樹木形態（樹冠の幅・高さ、枝下高）については、各々のパターンで変化させている。加えて、地表面被覆についても、分散列植型がアスファルト、それ以外のパターンでは、草地で被覆されているものとした。



分散列植型

並木・広場型

林分形成型

図-4 生息適性評価結果

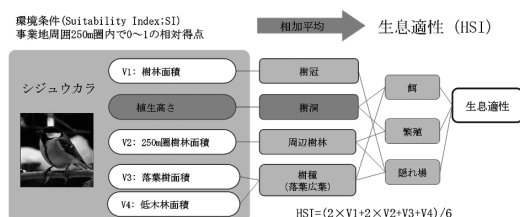


図-3 生息適性評価手続き (シジウカラ)

4. 都市生態系ネットワークの評価

(1) 都市生態系ネットワークシミュレーションシステムの概要

都市生態系ネットワークシミュレーションシステムは、都市内における主要な自然環境（樹林環境・草地環境・水辺環境）を対象に、指標生物の生息適地のつながりという観点から、生態系ネットワークの現状および緑化による周辺への波及効果を定量的に評価するシステムである¹⁾。

生態系ネットワーク効果については、計画地周辺250m圏内を対象として、樹冠の連なる樹木群パッチごとの環境条件をもとにシジウカラの生息適性をモデル化し、緑化前に対する緑化後の向上度を定量的に評価した。

第1ステップでは、高解像度航空画像データを用いて緑被地を抽出し、樹林・草地・水辺の3つの土地被覆に分類する。具体的には、2013年に撮影された解像度10cmの航空画像データを用い、計画地より1km圏を対象に、概ね2m四方以上の緑被について、抽出・分類を行った。この緑被分類データに緑化計画案のデータを重ね合わせ、緑化計画ごとの緑被分布データとして整備した。

第2ステップでは、樹林・草地・水辺に生息地とす

る代表的な生物種を指標生物として選定する。本稿では、樹林性の鳥類であるシジウカラを選定した。

第3ステップでは、指標生物の生息条件モデルを設定する。シジウカラの生息適性を餌場・繁殖場・隠れ場の3要素から構成されるものとし、樹林を好む種であるため、樹冠・周辺樹木・樹種といった3項目から評価することとした。各評価項目は、さらに、樹冠面積 (V1)、周辺250m圏の樹林面積 (V2)、落葉樹面積 (V3)、低木林面積 (V4)、という4つの指標を設定した。生息適性の評価スコアはV1～V4の各スコアを相加平均で求めた (図-3)。なお、生息適性はエリア内の最大値が1となるよう相対化を行ったため、最小0から最大1の値を取る。

第4ステップでは、各緑化プランの事業地周辺の生態系ネットワークへの波及効果が空間的かつ定量的に評価される。さらに、緑化計画毎に緑化前後の生息適性向上度が定量的に評価される。

(2) 結果

図-4に、各緑化プランのシジウカラの生息適性評価結果を示す。分散列植型では、周辺への波及効果は見られず、敷地内の生息適性の向上も僅かであった。並木・広場型については、分散列植型同様、周辺への波及効果はほとんど見られなかったものの、敷地内部では、西側部分の生息適性が向上していた。一方、林分形成型については、緑化面積が最も大きく、敷地内部の生息適性が全体的に向上しているとともに、西側の敷地外の生息適性への波及効果も見られた。他の緑化プランと比較した際、林分形成型が、生態系ネットワーク効果が高いものと考えられた。

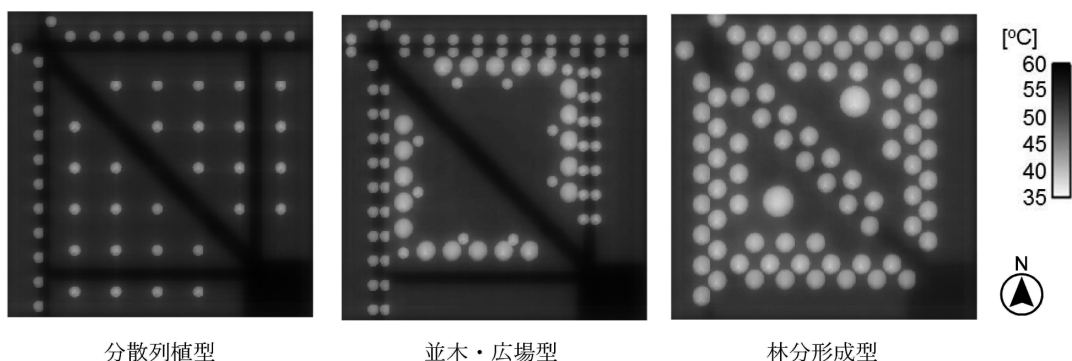


図-5 MRT の水平分布（高さ 1.25m）

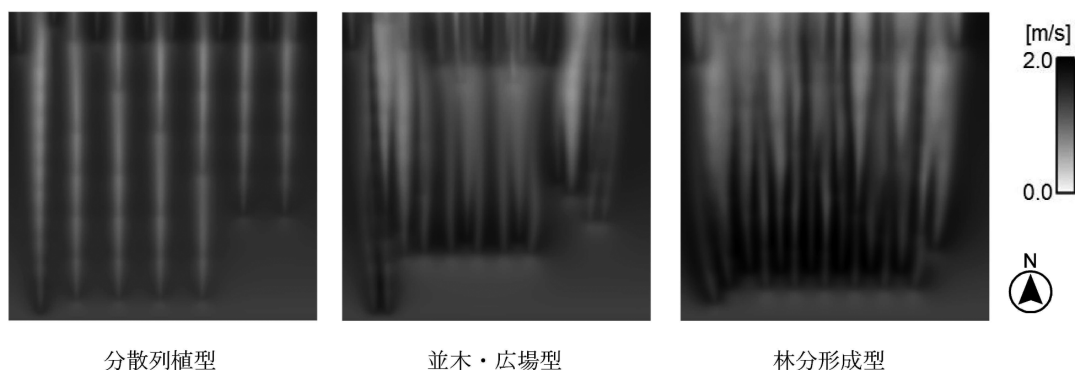


図-6 風速の水平分布（高さ 1.25m）

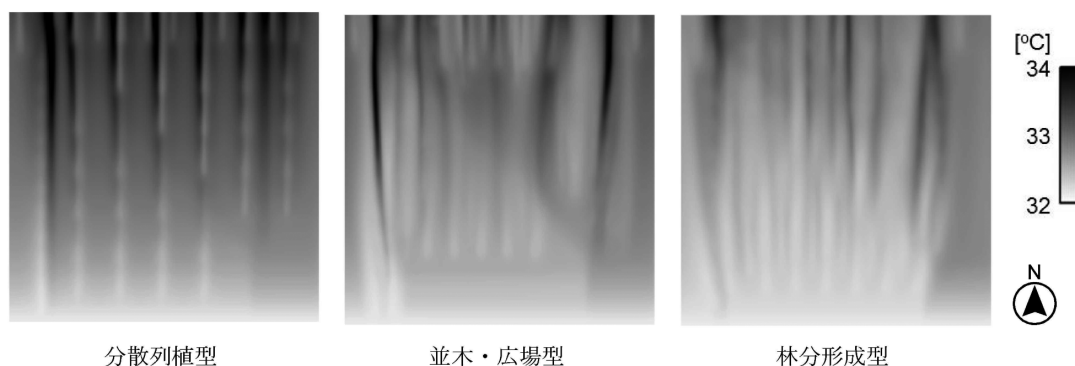


図-7 気温の水平分布（高さ 1.25m）

5. 温熱環境の評価

(1) 解析概要

東京都における夏季の気象条件をもとに、緑化計画毎に温熱環境解析を実施し、これらの結果から SET* の分布を算出した。

第 1 ステップでは、地表面温度と MRT（平均放射温度）の空間分布を得るため、放射・伝熱解析を実施した。評価対象日は 2014 年 8 月 1 日とした。

第 2 ステップでは、評価対象日の正午 12 時を対象として流体解析を行った。気温、風速に関する初期条件、境界条件は東京における当該日時の気象条件（気温 32℃、地表高さ 20m における風速 2.1m/s、主風向南、相対湿度 55%、全天日射量 943W/ m²、大気放射量 394W/ m²）を用い、地表面温度分布は第 1 ステップの放射・伝熱解析で得られた結果のうち当該時刻（12 時）における結果を用いた。計算領域サイズは 100m × 100m × 100m とした。乱流モデルとし

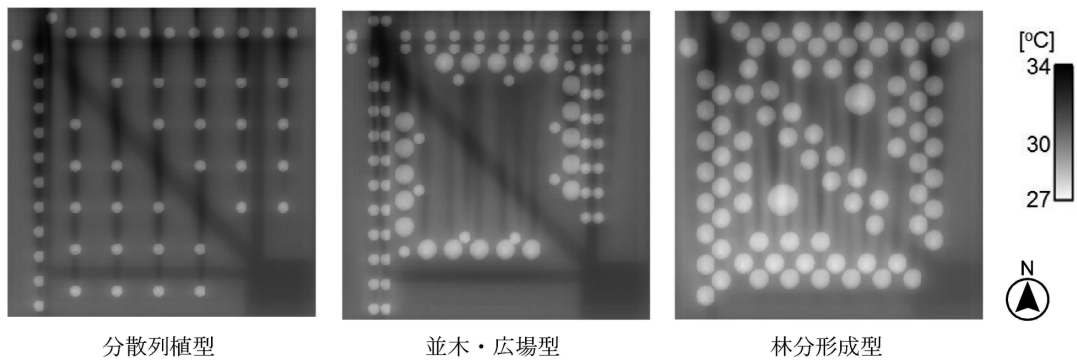


図-8 SET*の水平分布（高さ1.25m）

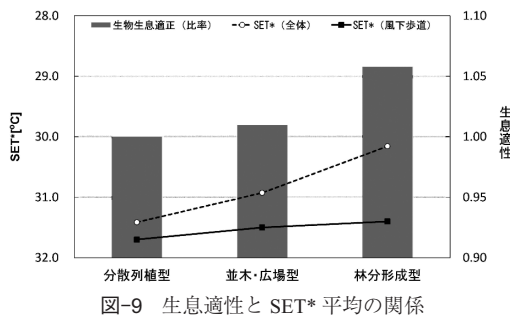


図-9 生息適性とSET*平均の関係

て標準 $k-\varepsilon$ モデルを用い、樹木による気流の影響を再現するため、既往研究で提案されている樹木 Canopy モデル^{2), 3), 4)}を用いた。

第3ステップでは、SET*を指標として用い、対象エリアの温冷感の評価を行った。SET*は、第1ステップと第2ステップより得られた風速、気温、MRTの結果に加え、仮定して与えた湿度、代謝量、着衣量から計算した。なお、着衣量（夏季の軽装を想定）は $0.062\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ (0.4clo)、代謝量（歩行時を想定）は 6.98W/m^2 (1.2Met) としている。

(2) 結果

a) MRT

図-5に、高さ1.25mにおけるMRTの水平分布を示した。分散列植型と並木・広場型では、園路上でMRTが高くなっている。これは、直射日光により地表面温度が高くなったためである。林分形成型では、樹木の緑陰効果により、サイト全体で、MRTは低くなっている。

b) 風速

図-6に、高さ1.25mにおける風速の水平分布を示した。なお、風向は南から北（図の下から上）である。いずれのプランでも、樹木の抵抗の影響により、樹木の背後の領域において、風速が明らかに低下している様子が見られた。分散列植型では、樹木の背

後の領域を除き、計画地内の流入側から流出側にかけて風速が維持されていた。林分形成型では、計画地内の風上で風速が増していた一方、風下では、風速が低減されていた。

c) 気温

図-7に、高さ1.25mにおける気温の水平分布を示した。いずれのプランでも、風上から風下にかけて気温の上昇が見られた。これは、高温の地表面で熱せられた空気が、風下へ運ばれたためだと考えられる。分散列植型では、風下の気温は、風上と比較して約2℃高かった。一方、並木・広場型と林分形成型では、分散列植型と比較して、風下の気温は低い値であった。これは、地表面が草地に覆われていたことで表面温度の上昇が抑えられたことに起因する。林分形成型では、緑陰による地表面温度の低下により、敷地全体を通じて、気温は低い値であった。

d) SET*

図-8に、高さ1.25mにおけるSET*の水平分布を示した。いずれのプランでも、風上から風下にかけて、SET*の上昇が見られた。特に、分散列植型では、気温とMRTが高かったことで、園路上でSET*の値が高くなっている。林分形成型では緑陰の効果により風上側でSET*の値が低い一方、風下側の園路周辺では、風通しが悪いいためSET*の値が並木・広場型と同程度となった。このことは、過度な植栽は風通しを悪化させるため、必ずしも温熱環境を改善するとは限らないということを示唆している。

6. 生態系ネットワークと温熱環境の関係

図-9は、生態系ネットワークと高さ1.25mにおけるSET*の平均（計画地全体および風下側歩道）の評価の関係を示している。生態系ネットワーク評価は、仮想サイトから250m圏内の生息適性評価の平

均について、分散列植型の評価結果を1とした際の各プランの評価を相対的に示している。これによると、並木・広場型と比較した際、林分形成型において、生態系ネットワークおよびSET*の平均の両者において大幅な向上が認められた。しかし、林分形成型の風下側のSET*平均値は、並木・広場型と同等であった。これは、緑地の増加は、生態系ネットワークにはポジティブに影響する一方、樹木の過度な植栽は、風速を低減させてしまうため、温熱感の観点からは必ずしも効果的ではないということを示唆している。

7. 結論

本研究では、東京臨海部における仮想的な緑化計画を対象に、シジュウカラの生息適性を指標とした生態系ネットワーク効果と、温熱指標であるSET*（標準新有効温度）を用いた温熱環境改善効果の評価を統合し、両者の関係性を可視化するシステムを開発・適用した。その結果、林分形成型の緑化計画において、事業地周辺でのシジュウカラの生息適性向上度および緑化地における温熱環境改善効果は最も高くなる結果となったが、樹群の風下側街路において、林分により通風が妨げられることによりSET*の低下が抑制され、温熱環境改善効果が低減する傾

向も見られた。本システムにより、都市緑地整備において、樹群の集塊度や階層構造による生態系と温熱環境への影響を定量的に予測し、生態系ネットワーク形成と温熱環境の快適性の両立を図ることが有効と考えられた。

参考文献

- 1) 横田樹広, 林豊, 那須守, 米村惣太郎, 小田信治, 小松裕幸, 神成篤司, 渡辺高史: 都市生態系ネットワーク評価システム「UE=Net」の開発と緑化計画への適用, 環境システム研究論文発表会講演集, vol. 41, pp. 189-196, 2013.
- 2) 平岡久司, 丸山敬, 中村泰人, 桂順治: 植物群落内および都市キャノピー内の乱流モデルに関する研究 (その1) 乱流モデルの作成, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 406, pp. 1-9, 1989.
- 3) 吉田伸治, 大岡龍三, 持田灯, 富永禎秀, 村上周三: 樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋外温熱環境緩和効果の検討, 日本建築学会計画系論文集, No. 536, pp. 87-94, 2000.
- 4) 岩田達明, 木村敦子, 持田灯, 吉野博: 歩行者レベルの風環境予測のための植生キャノピーモデルの最適化, 第18回風工学シンポジウム論文集, pp. 69-74, 2004.

(2015. 7. 16 受付)

DEVELOPMENT OF THE INTEGRATED SIMULATION SYSTEM FOR EVALUATING THE EFFECTS OF URBAN GREENING ON ECOLOGICAL NETWORK AND ON THERMAL ENVIRONMENTS

Yosuke WATANABE, Kiyoshi SASAKI, Azusa ONO and Shigehiro YOKOTA

It is significantly important to consider effects of urban greening on biodiversity and human amenity. However, those two types of effects have separately been evaluated in planning process. This study aims to develop an integrated simulation system for evaluating and visualizing effects of urban greening on ecological network and thermal environments. Ecological and thermal effects of greening plans on fictitious 10,000 m² public land located in Tokyo bay area were simulated. Based on tree structure, density, and layout, three greening plans including low planting type, boulevard trees with open space and forest type were decided. As results, compared with other types, forest types have more positive impact on ecological network and thermal environments. Although increasing of green spaces provides positive effects on ecological network, with wind velocity reduction, it is shown that too much tree plant does not show remarkably positive effect for human thermal sensation. It is important to consider not only the quantity but also the arrangement of trees in order to improve both ecological network and human thermal environment.