

雨水貯留浸透機能を考慮した街路樹の 多面的評価に関する研究

浅田 拓人¹・屋井 鉄雄²

¹正会員 成田国際空港株式会社 (〒282-8601 千葉県成田市古込字古込1-1)
E-mail:t-asada@naa.jp

²正会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 都市・環境学コース
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-J3-26)
E-mail:tyai@enveng.titech.ac.jp

近年、都市域ではヒートアイランド現象を一因とする内水氾濫が増加している。街路樹は浸水対策として期待されるものの、その雨水貯留浸透機能に関する既往研究は少ないのが現状である。また街路樹は景観向上といった効果をもたらす一方で、自転車レーンの整備に伴う街路樹の伐採といった事例もみられ、道路空間における街路樹の在り方が問われている。

本研究では、国道16号線を対象に街路樹が有する雨水貯留浸透機能の定量的な把握を行い、アンケート調査を用いて雨水貯留浸透機能を含めた街路樹の多面的な評価を行った。またコンジョイント分析を行うことで、道路空間の選好意識を検証した結果、雨水貯留浸透機能は少なからず街路樹の保全創出に寄与すること、そして移動手段によって道路空間の選好意識に違いがあることが明らかとなった。

Key words : *Function of stormwater storage penetration, Street tree, Questionnaire, Con-joint analysis*

1. 序論

近年、都市流域では集中豪雨による内水氾濫による浸水被害が頻発している。ヒートアイランド現象を一因とする都市型集中豪雨だけでなく、都市化が進行する中で地表面がコンクリートやアスファルトに覆われ、不浸透域が増大したことが、内水氾濫による被害を増加させている。緑地や街路樹は浸透域であり、雨水の流出を抑制する雨水貯留浸透機能を有している。特に街路樹は不浸透域である道路沿いに整備されており、街路樹を活用することで道路空間の浸水対策として機能するポテンシャルを有している。しかし、現状では道路の雨水を街路樹に流入する構造にはなっておらず、また街路樹の雨水貯留浸透機能に着目した研究は少ない。

また街路樹について、景観向上や緑陰形成といった様々な役割を果たすものの、根上がりによる歩行障害や維持管理の煩雑さといった課題を抱えている。他にも、近年では道路沿いに自転車レーンの整備が促進されているが、自転車レーンのスペースを確保するために街路樹を伐採するケースも存在しており、限られた道路空間の中で、歩道幅員や自転車レーンといった空間構成要素を考慮した道路空間のあり方が問われている。

そこで本研究では、街路樹が有する各機能だけでなく、歩道や自転車レーンといった空間構成要素を含めた多面的な評価を行うことを目的とする。加えて、これまであまり着目されていなかった街路樹の雨水貯留浸透機能を考慮した場合の、街路樹評価への影響の把握も併せて分析していく。

研究の流れとして、初めに米国の先進的な雨水管理事例の整理を行い、街路樹の雨水貯留浸透機能を活用するための知見を得る。その後、国道16号線を対象に街路樹による雨水貯留浸透量の概算を行う。またアンケート調査を実施することで人々の道路空間の選好意識の分析を行うが、その際に先述の概算を活用し、雨水貯留浸透機能に対する評価も併せて分析する。

2. 既往研究と本研究の位置付け

都市緑地において、都市公園や屋上緑化を対象として雨水貯留浸透機能や流出抑制効果について算出した研究¹⁾は存在するものの、街路樹に着目し、雨水の流出抑制効果を検証した研究は少ない。また歩道と自転車走行空間に着目し、道路空間の再配分について検証を行った研

究³⁾は存在するものの、街路樹を考慮した、道路空間構成の総合的な評価を行った研究は見当たらない。そこで本研究では、街路樹と歩道幅員、自転車レーンを考慮した様々な空間構成要素の選好意識を調査することで、街路樹に対する受容意識を把握するとともに、望ましい空間構成について把握する。併せて、街路樹の雨水貯留浸透機能の効果を検証し、街路樹に対する評価への影響を明らかにすることで、街路樹の多面的評価を行った。

3. 米国における雨水管理事例の整理

国内では下水管や地下貯水槽といった地下設備の設置など、既に流出した雨水の処理に重点が置かれているが、米国では 1990 年代から屋上緑化の推進を行うなど、雨水の流出源での対策を行っている。このように、既成市街地において水とみどりを総合的に扱う流出雨水対策を、Storm Water Management (以下 SWM) という。SWM の中でも主要な雨水流出抑制施策の一つが、グリーンインフラの概念を道路空間に適用したグリーンストリートであり、その特徴として、植樹帯のグラウンドレベルを歩道・車道よりも 10cm ほど低い構造にすることで、雨水を植樹帯に貯留浸透させる仕組みとなっている⁴⁾。グリーンストリートの導入により、雨水流出量の抑制だけでなく、下水管修繕工事費の削減や健康の向上といった様々な効果をもたらしている。現状、国内では道路雨水を街路樹で対応する構造ではないが、今後米国の雨水管理事例を国内でも適用することで、都市域での浸水の軽減等の効果が期待される。

4. 街路樹による雨水貯留浸透量の算出

(1) 土壤硬度を説明変数とした浸透能の推定

本研究では、雨水貯留浸透機能を考慮した場合の、街路樹に対する評価の影響の把握を目的としているが、アンケート調査に雨水貯留浸透機能を反映させるにあたり、その機能・効果を定量的に把握する必要がある。

街路樹による貯留浸透量の算出には、街路樹周辺の土壤の浸透能を把握する必要がある。しかし、街路樹の浸透能に焦点を当てた研究は非常に少ない。ただし、浸透能と相関関係にあることが予測される土壤硬度に関するデータは比較的多く存在するため、街路樹における浸透能と土壤硬度を両方測定した既往研究⁵⁾をもとに、土壤硬度を説明変数とした回帰分析を行い、街路樹の浸透能の推定を行った。併せて浸透能と土壤硬度のデータ数の多い緑地を対象とした研究⁶⁾も同様の分析を行うことで、街路樹における浸透能の推定の妥当性を評価した。

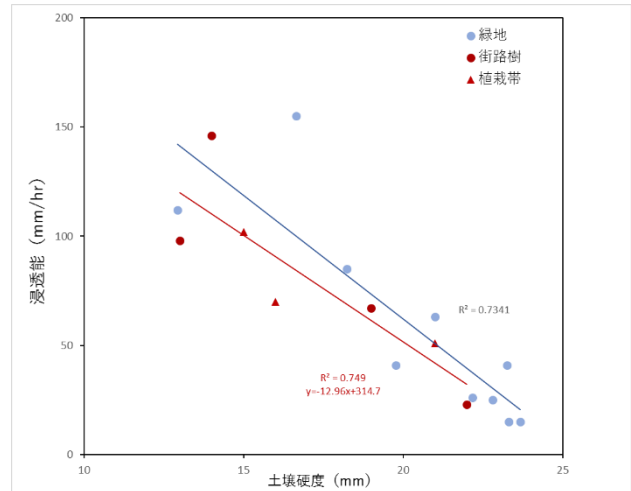


図-1 浸透能と土壤硬度の関係

分析の結果、街路樹、緑地共に強い負の相関関係 ($r = 0.865$, 有意) が認められた。結果を図-1 に示す。また土壤硬度を説明変数とした回帰分析を行い、t 検定を行ったところ、有意な説明変数であることが分かった (5% 有意)。街路樹、緑地の回帰直線を比較したところ、同様の傾向がみられるため、街路樹における浸透能の推定は妥当な結果であることが示唆された。

回帰モデルにより、土壤硬度から街路樹・植樹帯の浸透能を、それぞれ 89.4mm/hr、69.9mm/hr と推定した。

(2) 街路樹の雨水貯留浸透量の算出方法と評価

街路樹の雨水貯留浸透量の算出にあたり、米国の雨水管理事例に倣い、植樹帯上部に雨水を貯水するスペースを設けることを想定して算出することとする。街路樹の雨水貯留浸透量 Q_G は、地中貯留浸透量 V_G と上部貯水量 K_G の和で算出される。

$$Q_G = V_G + K_G \quad - (1)$$

$$V_G = \rho_W \times A_G \times h_G \quad - (2a)$$

$$K_G = h_W \times A_G \quad - (2b)$$

ここで、 Q_G : 街路樹貯留浸透量、 V_G : 地中貯留浸透量、 K_G : 上部貯水量、 ρ_W 最大保水率、 A_G : 街路樹面積、 h_G : 土層厚、 h_W : 貯水高を表す。

上記の式により、街路樹の雨水貯留浸透量が算出できるが、その評価を行うためには、ある区間における道路面積に対して、どの程度の降雨量まで対応できるか把握する必要がある。そこで街路樹の貯留浸透量から、街路樹に接する道路総面積 A_R と、街路樹の土壤が飽和状態になるまでの時間 T_S を除することで、ある区間における街路樹の単位時間当たりの対応降雨量 R_G を算出す

る。なお、街路樹の土壌が飽和状態になるまでの時間 T_S は、街路樹の浸透能と土層厚から算出する。

$$T_S = \frac{\rho_W \times h_W}{f_G} \quad - (3)$$

$$R_G = \frac{Q_G}{A_R \times T_S} \quad - (4)$$

ここで、街路樹の土壌が T_S : 飽和状態になるまでの時間、 f_G : 街路樹の浸透能 R_G : 街路樹の単位時間当たり対応降雨量、 A_R : 道路総面積を表す。

国道 16 号線を対象に、街路樹による対応降雨量を算出していき、合わせて、街路樹面積や保水率、土層厚といったパラメータを変化させ、街路樹を拡張・改良した場合の対応降雨量についても比較対象として算出した。なお、土層厚、保水率の初期パラメータはそれぞれ 30cm、0.45 と設定して計算を行った。国道 16 号線の区間概要を表-1、計算結果を図-2 に示す。

表-1 国道 16 号線における区間概要

| | |
|---------|------------|
| 対象区間 | 東林間入口交差点前後 |
| 道路延長 | 1490 (m) |
| 道路総面積 | 26829 (㎡) |
| 現状街路樹面積 | 232.2 (㎡) |

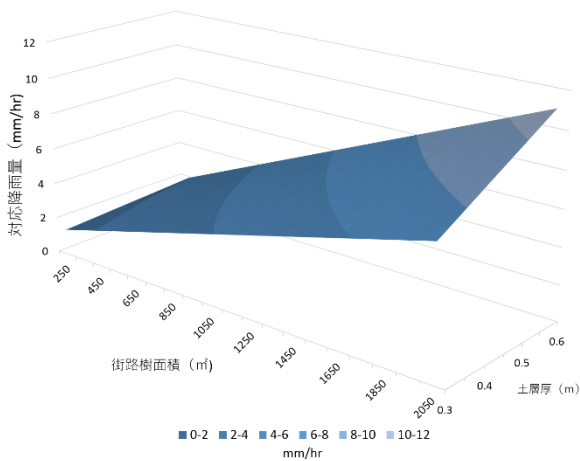


図-2 街路樹による対応降雨量

現状の街路樹面積の場合、1.5mm/hr 程度の対応降雨量であるものの、既存の街路樹に加えて新たに植樹帯を整備し、土層厚、土壌物性の改良を加えることで 10mm/hr 程度の降雨量に対しても対応可能となる結果となった。ただし、浸透能と土層厚の関係から、降雨時間が 3 時間を超えるあたりから飽和状態になり、貯留浸透能力が低下することに留意する必要がある。

一般に、既存排水設備の限界能力である 50mm/hr を超えると内水氾濫が発生する⁷⁾。ここで、50mm/hr 以上の年間降雨発生回数と、50~60mm/hr までの年間降雨発生回数を図-3 に示す⁸⁹⁾。50~60mm/hr までの年間降雨発生回数は、50mm/hr 以上の年間降雨発生回数の約半数であり、60mm/hr 程度の降雨対応能力を保持すれば、50mm/hr 以上の年間降雨発生回数のうち、半数以上の降雨に対して対応可能であることがいえる。つまり、既存の排水設備能力に加えて、街路樹の対応降雨量である 10mm/hr を合わせることで 60mm/hr 程度の降雨量まで対応可能となり、年間の内水浸水回数を半減する可能性がある。このことから、街路樹の雨水貯留浸透機能がある程度効果的であることが示唆された。

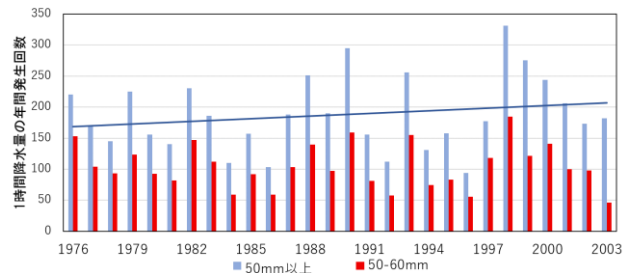


図-3 単位時間降雨量の年間発生回数⁷⁸⁾

5. 街路樹の多面的評価

(1) アンケート調査

街路樹と歩道、自転車レーンを考慮した様々な空間構成要素の選好意識の把握を目的とし、幹線道路ながらも比較的緑豊かである相模原市内の国道 16 号線周辺を対象にアンケート調査を行った。アンケート調査概要を表-2 に示す。

表-2 調査の概要

| | |
|---------|---|
| 配布日 | 2018年1月12日 |
| 配布地域 | 相模原市役所・国道16号線周辺 |
| 設問 | ①街路樹に対する意識を尋ねる設問 ②街路樹の存在の是非に関する設問 ③空間構成の選好意識に関する設問 ④個人属性に関する設問 |
| 配布・回収方法 | ポスティング・郵送回収 |
| 配布数 | 783部 |
| 回収率 | 28.5% (うち、有効回答数206) |

(2) 街路樹の機能に対する評価

道路空間の選好意識調査の前に、人々が街路樹のどのような効果を重要視するかを把握することを目的とし、街路樹の 5 つの機能を順位付けさせた。その結果を図-4 に示す。集計の結果、交通安全機能が最も重要視され、次いで景観向上機能、緑陰形成機能という順位となった。交通安全機能が最も高かった理由として、国道 16 号線をはじめ交通量の多い道路が周囲に存在するため、街路樹による歩車分離による安心感を重視する傾向にあることがあげられる。また雨水貯留浸透機能については

上記の3つの機能よりも低い結果となった。この結果から、街路樹に対して、浸水対策としての役割に対する期待は大きくないことが読み取れる。ただし、街路樹の雨水貯留浸透機能があまり知られていないことも要因の一つであると考えられる。

(3) 道路空間の選好意識に関する調査

道路空間における望ましい空間構成を把握するために、街路樹構成と自転車レーンの整備の有無、そして雨水貯留浸透機能の存在が街路樹の評価に対する影響を把握するために雨水貯留浸透機能の有無と、3つの属性をもとに、どのような組み合わせであれば望ましいかを尋ねた。シナリオの概要は図5に示す。図5のシナリオを表3のように変化させ、直交表を用いて7のプロファイルを作成し、選択型コンジョイントを行った。1名あたり7つの設問を用意し、7問すべてに回答している206名を有効回答とした。

モデルの変数として、「街路樹構成」「雨水貯留浸透機能」「自転車レーンの整備」の3つを組み込んだ。街路樹構成は緑量を変数とし、街路樹伐採を0、高木+広い植樹帯を1とした。その他は、雨水貯留浸透機能がある場合を1、自転車レーンを整備する場合を1とするダミー変数とした。全ての変数が0~1間を変動するため、推定パラメータ係数の大きさを直接比較する事ができる。ここで、全回答以外にも、浸水経験の有無や車両の利用頻度がパラメータにどのような影響を及ぼすかを把握するため、いくつかのセグメントに分類して推定を行った。分析には、Rのsurvivalパッケージを用いた。

(4) 結果及び考察

各セグメントごとの推定結果を表4に示す。各属性の符号は全て正となった。また全てのセグメントにおいて、街路樹構成の効用値が最も高く、次いで自転車レーンとなった。街路樹が有する機能の順位付けでも明らかであったが、雨水貯留浸透機能に対する期待はそこまで大きくないという結果となった。一方で符号は正であるため、少なからず街路樹の保全創出に寄与することが示唆された。

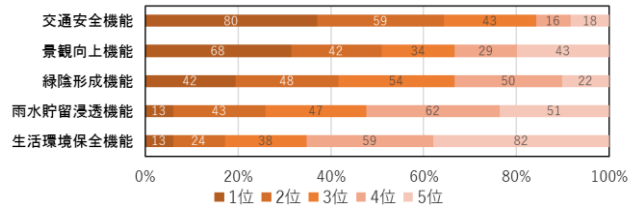


図4 街路樹の各機能の順位

1. 街路樹構成の整備
街路樹は、景観の向上だけでなく、緑陰形成といった様々な効果をもたらします。また、植樹帯を整備することで歩車道分離による安全性の確保や、騒音の緩和といった効果をもたらします。一方で、街路樹を伐採することで、歩道の幅を広げたりすることも可能です。

2. 街路樹の雨水貯留・浸透システムの整備
通常、歩道や車道の雨水は排水設備によって処理されますが、街路樹に排水口を設置し、雨水を引き込み、貯留・浸透させるシステムを整備することで、歩道や車道の浸水軽減に貢献できます。

3. 自転車レーンの整備
自転車レーンの整備によって、歩道における自転車走行率が約7割から約3割まで減少し、歩道の安全性が高まったことが報告されています。また歩行者、自転車の分離が明確になることで、歩行快適性が向上されます。

図5 シナリオの概要

表3 属性と水準

| 属性 | 水準 | | |
|------------|---------|-------------|-----------|
| | なし (伐採) | 高木のみ (現状維持) | 高木+ 狭い植樹帯 |
| 街路樹構成 | | | 高木+ 広い植樹帯 |
| 街路樹の貯留浸透機能 | なし | | あり |
| 自転車レーンの整備 | なし | | あり |

表4 パラメータ推定結果

| 変数 | 回答者全体 係数 | 浸水経験あり 係数 | 歩行頻度高い 係数 | 自転車の利用頻度高い 係数 | 自動車の利用頻度高い 係数 |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 街路樹構成 | 2.310 *** (60.2) | 2.707 *** (58.4) | 1.814 *** (65.0) | 2.051 *** (57.3) | 2.67 *** (59.1) |
| 雨水貯留浸透機能 | 0.408 *** (10.6) | 0.526 ** (11.4) | 0.179 (6.4) | 0.314 * (8.8) | 0.642 *** (14.2) |
| 自転車レーン | 1.120 *** (29.2) | 1.399 *** (30.2) | 0.799 *** (28.6) | 1.213 *** (33.9) | 1.202 *** (26.6) |
| 初期尤度 | -999.518 | -252.306 | -271.714 | -334.790 | -456.091 |
| 最終尤度 | -845.897 | -201.906 | -244.127 | -286.703 | -371.863 |
| 調整済み尤度比 | 0.154 | 0.200 | 0.102 | 0.144 | 0.185 |
| サンプル数 | 1442 | 364 | 392 | 483 | 658 |

***: 1%有意, **: 5%有意, *: 10%有意

各効用値を相対重要度に変換することで、セグメント間の比較を行った。過去に浸水経験がある人は雨水貯留浸透機能を重視する傾向にあると予測したが、相対重要度が若干向上しただけであり、回答者全体のセグメントと比較しても大きな差は確認できなかった。一方で日常的に自転車を利用している人は、他のセグメントと比較して街路樹に対する相対重要度が小さく、その分自転車レーンの整備を重要視する傾向にあることが分かった。この結果から、日常的に自転車を利用している人は、街路樹の効果よりも自転車レーンの整備による走行快適性を重要視する傾向にあることが示唆された。また日常的に自動車を利用している人は、他のセグメントと比較して自転車レーンの整備の相対重要度が小さく、雨水貯留浸透機能を重要視する傾向にあるという結果となった。理由として、道路浸水による交通麻痺や車両の故障を避けるために、相対的に雨水貯留浸透機能の重要度が相対的に高くなったことが考えられる。このように、移動手段により道路空間における選好意識に違いがあることが示唆された。

6. まとめと今後の課題

本研究では、既往研究の少ない街路樹の雨水貯留浸透機能を定量的に把握した。具体的には、土壤硬度から街路樹の浸透能を推定し、実際に国道16号線を対象に街路樹による降雨対応量の算出を行った。その結果、植樹帯の拡張・土壤物性の改良を行うことで浸水軽減効果があることが示唆された。

アンケート調査を用いて、雨水貯留浸透機能を含め、街路樹の機能の順位付けを分析することで、街路樹の多面的な評価を行った。その結果、移動手段や年齢層といった個人属性によって重要視される機能が異なることを把握した。またコンジョイント分析を行うことで、道路空間の選好意識を検証した結果、街路樹が最も効用値が高く、次いで自転車レーンという結果となった。雨水貯留浸透機能の効用値は小さいものの、符号は正となり、少なからず街路樹の保全創出に寄与することが示唆された。また、移動手段によって道路空間の選好意識に違いがあることが明らかとなった。

今後の課題としては、街路樹の各機能や道路幅員、整備にかかる負担金額といった要素を加えることで、道路空間における選好意識の分析精度の向上を目指す。更に、分析対象地域を拡大することで、地域に沿った道路空間整備施策の作成を目指す。

参考文献

1. 吉田葵, 林誠二, 石川幹子: 都市緑地における種組成の差異が雨水浸透機能に与える影響に関する研究, 都市計画学会論文集, 48(3), 1011-1016, 2013
2. 菊池佐智子, 興水肇: 局所的集中豪雨を想定した貯排水層の異なる屋上緑化システムの流出特性, ランドスケープ研究, 74(5), 739-742, 2011
3. 味水佑毅: 自転車走行空間の整備に関する経済評価, 地域政策研究, 第14巻, 第4号 1-16, 2012
4. Portland City Department of Environmental Conservation : 2013 Stormwater Management Facility Monitoring Report
5. 大貫直子, 松本暢: 街路樹の置かれている土壤環境, 造園雑誌 56(1), 39-44, 1992
6. 森本幸裕, 増田拓朗: 踏圧による土壤の圧密と樹木の生育状態について, 造園雑誌 39(2), 34-42, 1975
7. 国土交通省: 水害対策を考える
http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai/suigai_3-3-5.html
8. 国土交通省: 日本の年降水量の経年変化
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/yosan/gaiyou/yosan/h17budget/pdf/p40.pdf
9. 気象庁: アメダスでみた短時間強雨発生回数 of の長期変化について,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>

(?)