

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	都市熱環境予測のための樹木の蒸散特性の計量化と数値モデル化
Title(English)	Quantification and numerical modeling of tree transpiration characteristics for predicting urban thermal environment
著者(和文)	清野友規
Author(English)	Tomoki Kiyono
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10520号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:浅輪 貢史,田村 哲郎,木内 豪,神田 学,大風 翼,小林 秀樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10520号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)

Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 環境理工学創造 専攻
Department of
学生氏名： 清野 友規
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 浅輪 貴史
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)： 田村 哲郎
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「都市熱環境予測のための樹木の蒸散特性の計量化と数値モデル化」と題し、以下の7章から構成した。

第1章「序論」では、ヒートアイランド現象の一因とされる土地被覆面からの潜熱量の減少が都市熱環境に与える影響を論じた上で、庭木や街路樹、屋上緑化などの、孤立環境にあり土壌容積の小さな都市特有の緑化樹木の蒸散を研究対象として定めた。現状の課題として、緑化空間設計・灌水計画に必要な単木スケールでの蒸散量の定量的実態が明らかでない点、および蒸散の生理的制御を表現するパラメータである気孔コンダクタンスの予測方法が確立されていない点を指摘した。さらに、樹木の熱環境調整効果を評価するには、蒸散に加えて土壌蒸発と放射環境が気温に与える影響を考慮することの必要性を述べた上で、研究目的と論文構成を示した。

第2章「長期的なケヤキの水収支計測に基づく単木の蒸散特性の把握」では、土壌容積の小さい孤立樹木において、蒸散量を決定している環境物理的・植物生理的要因を把握することを目的として、様々な気象・着葉条件を含んだ長期的なケヤキ供試木の水収支計測結果を分析した。まず、ライシメータ法による高木の蒸散計測の課題であった風圧や降雨による誤差の問題を解決するために、時系列解析を用いたデータ品質管理方法を提案し、1時間以下の分解能での定量的評価を実現した。孤立樹木では葉面境界層抵抗の影響が小さいために飽差の影響が卓越すること、経年変化による葉面積の増加が蒸散量の増大につながらなかったことを明らかにし、街路樹のような土壌容積の小さな条件では樹木の水分供給能力が蒸散を制限する可能性が高いことを考察した。

第3章「複数樹種の計測に基づく単木蒸散能力と形態的・生理的特徴の関係分析」では、樹木の形態的・生理的特徴のうち、蒸散予測に利用可能な情報を分類するために、土壌容積を統一した上で、晴天・灌水条件での全11種の供試木の蒸散能力を分析した。まず、短期間での複数個体の蒸散計測を実現するために、手動で操作・着脱可能な吊り下げ式重量計を提案し、時系列解析を用いてこの重量計が1時間単位の蒸散量を十分な精度で推定できることを示した。更に、可能蒸発量比の分析から、供試木のサイズの範囲においては樹冠投影面積や幹直径などの形態的特徴の影響が明確でなかったこと、太い道管径を持つ環孔材樹種の蒸散能力が他に比べて有意に大きかったこと、既往の温帯広葉樹林の結果と比べて、孤立環境にある供試木間では蒸散量の差異が大きかったことを明らかにした。

第4章「蒸散予測を目的とした簡便な Soil-Plant-Atmosphere Continuum モデルの構築」では、緑化樹木の熱・水収支を予測可能で、かつ省パラメータな土壌-植物-大気系 (SPAC) モデルを構築するため、既存の複数のサブモデルを組合せ、予測能力を比較した。まず、街路樹や屋上緑化の予測では土壌容積・土壌種が既知とみなせること、根の鉛直分布と土壌水理特性は既存のデータベースが利用できる点に着目し、植物体内の水理的・生化学的過程に基づく気孔コンダクタンスモデルと土壌-根の接触界面の効果を予測する根の吸水モデルの組合せを提案し、従来の SPAC モデルと比べてパラメータ数を半減出来ることを示した。更に、第2章のケヤキ供試木を対象とした灌水停止実験の再現計算を行い、提案モデルは、気象予測のために簡略化されていた従来の経験的モデルに比べて入力パラメータの不確実性に対する依存度が低いことを明らかにした。

第5章「気孔コンダクタンスパラメータの実用的な定量化方法の提案」では、経験的校正が必要な気孔コンダクタンスを効率的に定量化する方法を提案した。まず、気孔コンダクタンスパラメータが最大蒸散能力と気象条件への応答特性に分離できることを示し、最大蒸散能力は日単位の蒸散計測から推定可能である点、都市緑化樹木では気象応答特性に関して放射環境の三次元性の影響が顕著となる点を考察した。第2・3章の供試木を対象に、葉面積密度分布の計測結果に基づく樹冠吸収放射量を計算し、複数のパラメタリゼーション方法を比較した結果、最大蒸散能力と樹冠形態を個体ごとに校正すれば、気象応答特性の個体差は平均化しても蒸散予測への影響は限定的であることを明らかにした。

第6章「蒸発散による緑化空間の熱環境の予測評価」では、日射・樹木蒸散・土壌蒸発の相互作用を考慮した上で各要因が緑化空間における熱・水収支と気温に与える影響を評価することを目的として、提案モデルとそのパラメータを導入した予測計算を行った。その結果、日射遮蔽が不十分な条件下で樹木蒸散によって土壌水分が減少した場合には、土壌の高温化によって生活高さの気温が上昇しうることが示し、灌水計画と熱環境を同時に検討することの重要性を論じた。また、気孔コンダクタンスの差異によって樹冠付近の気温が1℃以上変化する予測結果に基づき、樹冠を通過した空気が滞留するような空間配置では孤立樹木に比べて蒸散の影響が増大することを示した。

第7章「結論」では、各章で得られた知見と結果を総括して結論を述べるとともに、今後の課題を示した。

以上要するに、本論文は、緑化樹木の蒸散特性を計量化・モデル化する方法を構築することで、樹木による緑化空間の熱環境調整効果を定量的に予測評価することを可能とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	環境理工学創造	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	清野 友規		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	浅輪 貴史	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	田村 哲郎	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Isolated trees planted in limited soil volumes are common in urban area, such as garden and roadside trees. I proposed the methods of quantifying and modeling whole-tree transpiration rates (WTTR), which enable to predict and evaluate thermal ameliorating effects of urban trees.

In an introductory review, chapter 1, I pointed out: (i) any previous measurement methods are improper to investigate WTTR in urban area; (ii) prognostic stomatal conductance model for urban tree is rarely studied; (iii) Soil-Plant-Atmosphere Continuum (SPAC) scheme is necessary to evaluate thermal effects of transpiration.

Next, in chapter 2, I proposed a new data quality control method for long-term lysimeter measurements of trees and investigated an isolated container-grown *Zelkova* throughout years to answer which biotic and abiotic factors determine transpiration. The data suggested: the effect of vapor pressure deficit is dominant for isolated trees; the leaf area increase of the *Zelkova* did not lead increasing WTTR. In chapter 3, I developed new gravimeters and investigated 11 species WTTR and found the ratio to potential evaporation rates of ring-porous species were larger than others. These results suggested hydraulic process is dominant for WTTR under limited soil volume conditions.

Then, in chapter 4, I proposed a prognostic and parsimonious SPAC model which made of hydromechanical-biochemical stomatal conductance model and root contact model. Numerical simulation based on the dry-down experiment results of the *Zelkova* revealed that the proposed model is more robust than previous empirical models. In chapter 5, I proposed a simple parameterization scheme which enable efficient WTTR measurement. By using three dimensional radiation transfer simulation, it was revealed that maximum transpiration capacity and leaf area density should be calibrated individually, but averaging stomatal sensitivity parameters to atmospheric conditions lead relatively small error.

Finally, in chapter 6, I calculated SPAC simulation considering radiation, transpiration and soil evaporation to evaluate how each factors affect thermal environment. The results showed that under insufficient solar shading, when tree use up water and soil dry, soil temperature become high and air temperature of human height can be worsen irrespective of transpiration. Also, it was found that thermal ameliorating effect by transpiration can be amplified when the air pass through tree crown exchange is restricted.

論文題目の英文名は以下の通りである。

Quantification and numerical modeling of tree transpiration characteristics for predicting urban thermal environment

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).