

## 1-1. 自主調査研究

### ① 科学技術研究

1) ライシメーター法による実大樹木の蒸散量計測によるヒートアイランド対策への展開

実施年度：平成27年度 ～ 平成29年度（予定）

## 1. 背景

樹木は屋外環境設計上の極めて重要な要素であり、特に暑熱環境緩和にはもつとも効果の高い方策である。この機能は、日射の遮蔽による緑陰の形成機能と、蒸散による潜熱消費による気温低減効果という両面によっている。このような樹木を都市の空間に適切に配置することにより、人間の活動域での熱ストレスを低減させ、いかに快適性を向上させるかが課題となってくる。

この課題に対応するためには都市における樹木、特に高木を、快適性確保と管理の両面から、最大ではなく最適なサイズ、規模による樹冠を形成しその効果を確認することが、快適な都市環境の形成のために重要である。

高木においては枝葉を広げ大きな緑陰を作るものほど効果が高いが、都市空間においては枝が広げられる空間を確保する必要があるだけでなく、植栽空間の管理にかかる剪定などの手間やコスト、管理上のリスクなど、多くの課題がある。研究代表者らは既報において、単木や樹林といった樹冠のまとまりの違いによる蒸散量の差異と気温等の環境条件の関係を整理している。蒸散量をもとに詳細な潜熱消費量の把握が可能となり、日射遮蔽の効果と切り分けての評価が可能となった。

本研究は、これまでの知見をもとに街路樹や公園等における都市樹木の最適な樹冠のサイズ・規格、および配置間隔を、実測およびシミュレーションの両面から検討することをめざし、これまで別個に検討されてきた、歩行者空間の温熱快適性とメンテナンス上のリスクの評価を統合して、この両面から最適な樹冠の大きさ、高さを提案する試みを行う。

## 2. 目的

本研究は、公園や公開空地等に植栽されている都市樹木を対象として、人間の活動域でのストレスを低減させて快適性を向上させるため、最適なサイズ、規模によって形成された樹冠を「アーバン・クール・スポット」と呼び、その実現のための研究を以下の両面から行う。

1) ①都市樹木の最適な樹冠のサイズ・規格、および配置間隔を、実測およびシミュレーションの両面から検討し、②最適な樹冠形成モデルとなる実大サイズの樹冠を実際に作成し、③温熱環境低減効果を中心とした効果を実測し、アーバン・クール・スポットの創出の有効性を検証する。

2) ⑤適切な樹冠の維持管理手法や、⑥市民の合意を得るための評価方法を検討することで、実効性のある、適切な樹冠形成による良好な都市環境の整備・普及に寄与するものである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 単木の最適解の検討

「身近なレベルでの都市樹木」の快適性を評価し、クーリングポテンシャルを示すための最適解を検討する(図1参照)。

最適解を求めるための個々の項目において、性能を評価するが評価基準については数値化されているものは少ないため、数値化可能な項目においては、数値化を目指して検討する。

数値化可能な評価基準としては、以下について検討する。「樹冠サイズおよび樹形」「枝下高さおよび樹高」「樹冠密度、葉面積指数(LAI)」。

その上で、最適解に関する仮説として、以下を設定する。

- ・樹冠は位置が、高すぎない、傘上の樹木。
- ・樹高は最高 8m程度までの範囲で維持、枝下高さは 2.5m 程度として地面に近い位置における効果を持続させる。

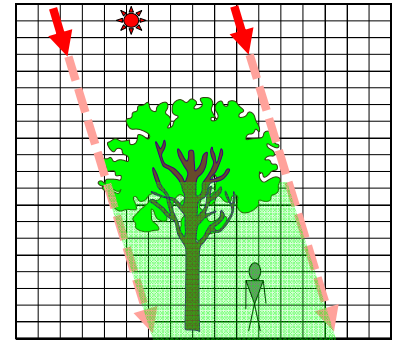


図1 最適解のイメージ

#### (2) 適切な樹冠形成手法の検討

- ・成長が早すぎず、大きくなりすぎないような樹種の検討。
- ・決められた姿に樹形、樹冠を維持するための技術の検討。
- ・コンテナ栽培条件下での樹木による樹冠サイズの変化の確認。(1.2m 角のコンテナを用いた実大高木による蒸散量測定の先行研究の供試木(2012 年植栽)を、継続栽培の先行例として活用する。)

#### (3) シミュレーションによる最適解の検討

##### a) 単木の最適解のパターン比較

温熱環境上、適切と考えられる樹冠についての検討結果をもとにシミュレーションにて、①一本当たりの幅／②高さ(樹高、枝下)／③葉の密度、および風の透かし方の複数のパラメーターについて、複数のパターンにて比較を行い、最適解を導く。そのうえで、検討内容を上記(1)単木の最適解の検討にフィードバックさせ、検証を深化させる。なお解析は CFD 解析(Computational Fluid Dynamics) + 3次元放射解析を用いる。この解析手法は、数値流体力学上の計算により都市に形成される複雑な熱や空気や風の流れを再現するもので、都市環境に関する研究で広く用いられている手法である。

##### b) 列植のパターン比較

列植状態での、最適解による樹木の状態をシミュレーション上で再現し、単木と同様に CFD 解析 + 3次元放射解析にて植栽間隔の比較検討を行い、最適な植栽間隔を検討する。

#### (4) 管理上の課題の検討

(2)および(3)による検討を踏まえて、実際の樹冠形成上の課題を整理する。特に安全面の確保、管理作業のコスト面、樹木の更新(伐採、植え替え)について、リスクコントロールの視点も含めて検討する。

#### (5) 最適な樹冠形成モデルの設定(温熱環境上、生育上)

温熱環境シミュレーションによる検討、および管理リスクの検討結果の両面を踏まえて、適切な、樹木の樹冠の大きさ、高さを設定する。

## 4. 結果 (概要)

検討の結果作成した、解析ケースは⑦パターンである。各ケースの要素と樹形を、それぞれ表1、図2に示す。

表1 解析ケース

ケース	枝張り [m]	樹高 [m]	枝下高さ [m]	葉面積密度 $a[m^2/m^3]$	樹形
CaseA-1	4	8	2.5	0.86	円柱形(基本ケース)
CaseA-2				0.45	円柱形(基本ケース)
CaseA-3				1.59	円柱形(基本ケース)
CaseB-1	4.5	9.7	2.5	0.86	円柱形(枝下高い)
CaseC-1	6.0				円柱形(枝張広い)
CaseD	6	9.7	2.5	0.86	イチョウ型(円錐形)
CaseE					ケヤキ型(逆円錐形)

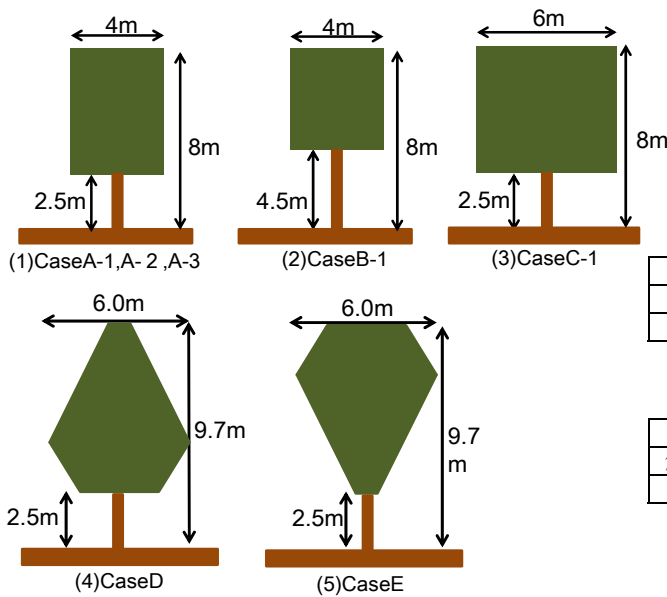


図2 各ケースの樹木形状

表4 放射解析メッシュ分割

メッシュ分割	38×38×23
解析領域(x[m]×y[m]×z[m])	430×430×211
総メッシュ数	33212

表5 非等温 CFD 解析メッシュ分割

メッシュ分割	74×74×50
解析領域(x[m]×y[m]×z[m])	224×224×350
総メッシュ数	273800

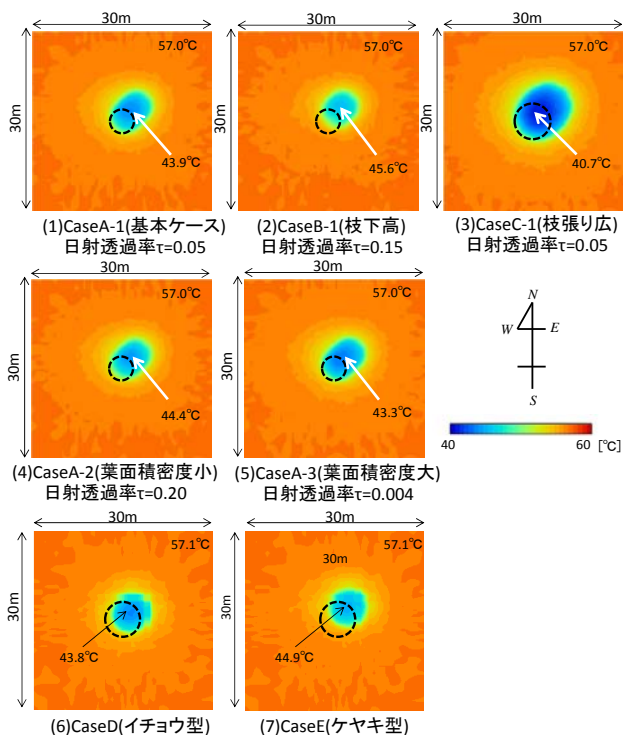
## 5. 単木を対象とした放射・流体解析

前項で検討したパターンを用いて放射解析・流体解析を行い、樹冠形状や葉面積密度が温熱4要素(風速・気温・MRT・絶対湿度)に及ぼす影響を明らかにする。

### (1)放射解析概要

吉田らによる樹木 Canopy モデルを用いた<sup>6)</sup>。今回は平均的な夏日として2011年8月8日を対象日とし、前日1日分を助走計算として8月7日0時からの48時間を解析した。気象条件は東京管区气象台での測定値を与えた。メッシュ分割を表4に示す。

### (2)流体解析概要



対象日の内、気温が最も上昇した 13 時を対象時刻とした。メッシュ分割を表 5 に示す。乱流モデルは Durbin 型  $k-\epsilon$  モデルを使用した。樹木の流体力学的効果に図 3 の MRT 水平分布 (13 時,  $h=1.5\text{m}$ ) を用いた。

### (3)放射解析結果

本報では、13 時の結果を示す。

①平均放射温度 (MRT) 図 3 に高さ 1.5m での MRT の水平分布を示す。CaseA-1~CaseC-1 の 5 ケースについては 13 時の最大日射透過率  $\tau$  も示す。

$\tau$  が高いほど日射が通りやすいため MRT が上がると推測されるが、基本ケース CaseA-1 と枝張りが広い CaseC-1 では  $\tau$  が等しいにも関わらず MRT の最小値に差が生じている。これは樹冠の拡大により地表面温度の低下範囲が拡大し、地表面から人体が吸収する長波放射量が減少するためである。また枝下が高い CaseB-1 は  $a$  が小さい CaseA-2 より  $\tau$  は低い MRT の最小値が高い。これは、枝下が高くなり緑陰の範囲が縮小し、地表面から人体が吸収する長波放射量が増加するためだと考えられる。

次に CaseD(イチヨウ型)と CaseE(ケヤキ型)を比較する。MRT が低い範囲は各ケースの緑陰部の影響を受けており、CaseEの方が樹冠位置から離れた部分に存在している。

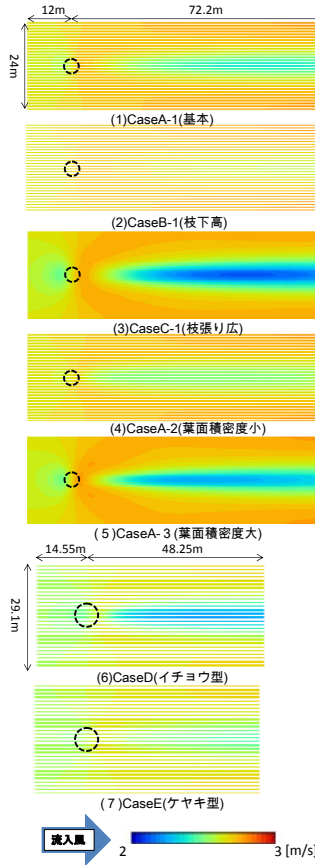


図 4 スカラー風速の水平分布( $h=1.5\text{m}$ )

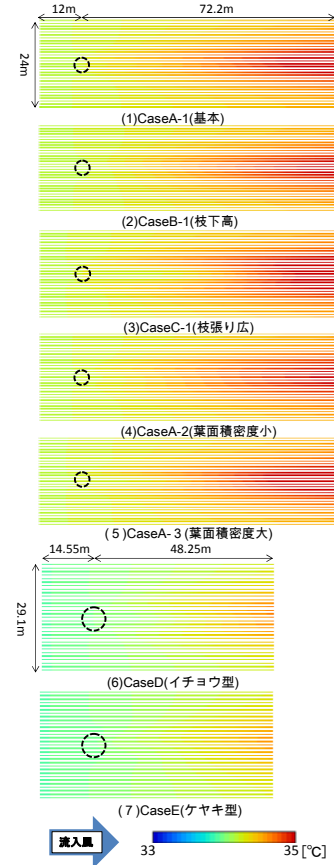


図 5 気温の水平分布( $h=1.5\text{m}$ )

② 人体が吸収する方向別短波・長波放射量 各ケースで、13 時における歩行者高さ( $h=1.5\text{m}$ )の MRT が最小となる位置(図 6 の矢印部分)において人体が吸収する方向別短波放射量、長波放射量は、短波放射量はどの方向においても枝下が高い CaseB-1 が最も多く、枝張りが広い CaseC-1 が最も少ない結果となり、日射透過率が大きく影響していると考えられる。また、長波放射量は短波放射量と同じく上からの放射量以外は全て枝下が高い CaseB-1 が最も多く、枝張りが広い CaseC-1 が最も少ない。

CaseD、CaseE については、短波放射量も長波放射量も CaseE(ケヤキ型)の方が多かった。

### (4)流体解析結果

①スカラー風速(図 4) 枝下が高い CaseB-1 は基本ケース CaseA-1 と比べて樹冠後方の風速が大きくなっている。枝張りが広い CaseC-1 は CaseA-1 と比べて樹冠後方の風速が小さくなっており、樹冠が大きくなったことにより風速低減の度合いが大きくなっている。一方、葉面積密度  $a$  が小さい CaseA-2 は CaseA-1 と比べて樹冠後方の風速は大きくなっており、 $a$  が大きい CaseA-3 は CaseA-1 と比べて樹冠後方の風速は小さくなっている。一方、CaseD は CaseE と比べて樹冠風下側の風速が明確に低下している。これは、CaseD(イチヨウ型)は下に行くにつれて樹冠幅が広がっていくため、樹冠下部において風速がより低減されることが原因と考えられる。

②気温(図5) 枝張りが広い CaseC-1、 $a$  が大きい CaseA-3 は CaseA-1 と比べて樹冠後方に気温が低い範囲が存在している。枝下が高い CaseB-1 と  $a$  が小さい CaseA-2 は CaseA-1 と比べて気温が高い範囲がより後方に存在している。

CaseD と CaseE を比較すると、歩行者高さにおいては CaseD(イチヨウ型)の方が樹冠後方に周囲より気温が低い範囲が存在している。

## 6. 樹冠形状・葉面積密度の変更による各気象要素の変化が SET\*増減に与える影響の分析

SET\*を算出し、各ケースにおける各気象要素の SET\*への寄与度を分析する。

(1) SET\*の空間分布 図6に13時、歩行者高さ( $h=1.5\text{m}$ )の SET\*水平分布を示す。この領域において、SET\*の平均値は枝張りの広い CaseC-1 が最も低い値を取った。

(2) SET\*の増減に関わる各気象要素の影響の要因分解

① 要因分解の概要 樹冠形状や葉面積密度  $a$  が変化することで、風速、気温、MRT、絶対湿度がそれぞれ変化し、結果として SET\* も変化する。基本ケース CaseA-1 の各気象要素の一つを CaseB-1~CaseA-3 の気象要素で一つずつ入れ替えて算出した SET\* と元の基本ケースの SET\* との差を求めることにより、SET\* の算出における各気象要素の影響を定量的に分析した。また、CaseD、CaseE に関しては、CaseD の各気象要素の一つを CaseE の気象要素で一つずつ入れ替えて算出した SET\* と元の CaseD の SET\* との差をとった。

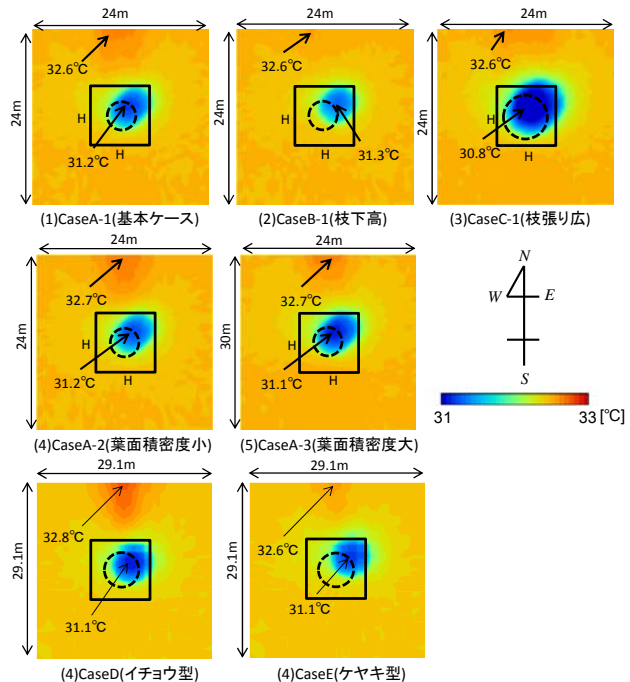


図6 SET\*の水平分布(13:00,  $h=1.5\text{m}$ )

② 要因分解の結果 各ケースの SET\* の要因分解の結果を確認したところ、CaseA-1~3、B-1、C-1 の5つのケースでは、MRT は気象要素の中で最も SET\* への寄与度が高く、枝下高さが高いケース、葉面積密度が小さいケースでは正值になっており、これらの変更により放射環境が悪化している。一方枝張りが広いケース、葉面積密度が大きいケースでは負値となっており、これらの変更により放射環境が改善している。

CaseD(イチヨウ型)と CaseE(ケヤキ型)の比較では、高さ 1.5m における樹冠風下側の風速は高くなるため、SET\* の低下に寄与している。また、MRT に関しては、ケヤキ型はイチヨウ型よりも樹冠位置から北東側に離れた位置に緑陰が生じているため、樹冠下付近では SET\* の上昇に寄与、樹冠北東部分では SET\* の低下に寄与している。また気温に関してケヤキ型はイチヨウ型と比べ樹冠風下側において高くなっており、SET\* の上昇に寄与している。

これらにより、樹冠形状や葉面積密度の変更による MRT の変化は気象要素の中で SET\* への寄与度が最も高く、次に風速、気温の寄与度が高いという結果となった。また、枝張りが広いケースや葉面積密度  $a$  が大きいケースでは樹冠下で下降流が生じるため、基本ケースと比べ樹冠風下側の風速が大きくなり、SET\* の低下に寄与する結果となった。

## 7. 今後の予定

本研究では、樹木単木の効果について温熱環境改善を主眼とした都市樹木の最適な樹冠サイズ及び形状を検証した。今後は、最適な樹冠形成モデルとなる実大サイズの樹冠を実際に作成し、温熱環境低減効果を中心とした効果を実測し、その有効性を検証していく予定である。