

樹木の形状と配置が緑視率に与える影響に関する 基礎的考察とランダム配置シミュレーションの試行

○ 藤井 健史^{*1} 山田 悟史^{*2}

キーワード：緑視率 植栽計画支援 立体角 可視領域 全方位視野

1. はじめに

外部空間において、利用者からどれだけ緑が見えているのかは、快適性の向上の観点から計画上の重要なテーマとなる。しばしば緑視率といった指標で評価され、近年では、例えば「第1次京のみどり推進プラン」のように行政によってその目標値が定められた例もある。人の目線に立った立体的な緑の可視性を確保することが、今後の緑地環境整備において重要なテーマとなることを示している。

緑視率に関する既往研究を概観すると、実在の地域や街路公園等の都市施設に対して写真撮影やCG技術によって緑視率を実測し、現状把握及び将来計画等に役立てようとする研究例^{1)~5)}は多く見られる。一方で、緑視率は樹形の違いや樹木配置などの様々な要因によって影響を受ける計量的指標であるが、どのような樹木をどのような条件で配置すればどういった緑視率の分布様態になるのかという数理的な関係については解明できていない。

本研究は、樹木のサイズや本数、樹木間の距離など、植栽計画に関する様々な条件と緑視率の数理的な関係を明らかにし、植栽計画立案の際に緑視率確保の目安となる資料の提供を目的とする。その一環として、本報では基礎的な考察とランダム配置シミュレーションの計算結果について報告する。

2. 全方位緑視率の計算手法

これまでに、筆者らは全天球パノラマ画像を用いた全方位緑視率の計算手法を発表している^{6),7)}。しかし、本研究では樹木の形状ならびに配置と緑視率との数理的関係の把握を目的として多数のシミュレーションを行う必要があるため、より高速な計算手法が必要となる。そこで、本研究では汎用プログラミング言語Pythonを用いて計算プログラムを構築する。

本研究の計算手法ではまず3次元CADソフトを用い

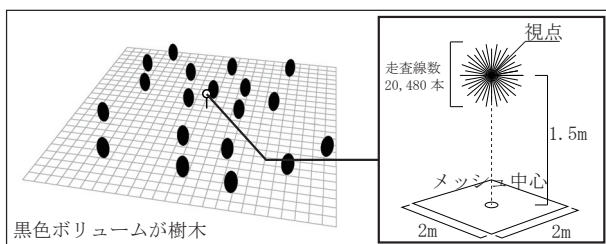


図1 3次元モデルと視点の設定

て計算対象の3次元モデルを作成する。具体的には50m×50mの敷地を仮定し、その範囲内に樹冠形状を単純化した樹木モデルを配置する。作成した3次元モデルは三角形ポリゴンで分割し、各三角形ポリゴンの頂点座標を緑視率計算対象のモデル情報として取得する。

次に、解析範囲を2mメッシュで分割し、各メッシュの中心点から高さ1.5mの位置に視点を設定する。視点から全方位に向けて20,480本の走査線を発生させ、各走査線と計算対象の三角形ポリゴンの交差判定を総当たりで行い、立体角に基づく全方位緑視率を算出している（図1）。

以上の計算をすべてのメッシュで行い、緑視率の分布様態を画像化するとともに、適宜統計処理を行うことで樹木の形状と配置が緑視率に与える影響について考察を加える。

3. 基礎的な緑視率計算シミュレーション

本章では、まず樹木形状ならびに配置と緑視率との基本的な数理的関係を大まかに把握するため、基準モデルを設定した上で樹木形状・配置に関するパラメーターを1種類ずつ段階的に変化させ、緑視率にどのような変化がみられるかを比較分析する。

3.1 パラメーターの設定

シミュレーションは樹木形状に関するシミュレーションと樹木配置に関するシミュレーションに大別して行った（図2）。形状に関するパラメーターは以下の4種類とする。

- ①樹冠形状タイプ（楕円型、円錐型、さかずき型、円筒型）
- ②樹冠の最上部から最下部までの長さ $h1$
- ③樹冠の最下部から地面までの長さ $h2$
- ④樹冠の枝ぶり w

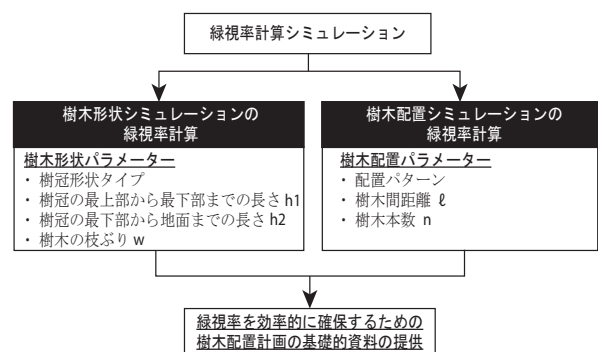


図2 基礎的シミュレーションのフロー

なお、樹冠形状タイプに関しては亀山⁸⁾による分類を参照した(図3)。 $h1$, $h2$, w と樹木各部との対応関係を図4に示す。

次に、樹木配置に関するパラメーターは以下の4種類とする。

- ①典型的配置パターン(図5, グリッド配置型, L字型, 十字型, T字型, 二列配置型,)
- ②樹木間距離 ℓ
- ③樹木本数 n

3.2 基準モデルの設定と計算結果

基準モデルの敷地形状は1辺50mの正方形としする。これは住区基幹公園の街区公園に相当する規模である。この敷地の中央部に、 $h1=4m$, $h2=2m$, $w=2m$ の楕円型樹木16本を $\ell=4m$ の間隔でグリッド配置したモデルを基準モデルとする(図6)。

基準モデルの緑視率分布図を図7に示す。緑視率は白に近いほど高く、黒に近いほど低い。全方位緑視率の平均値は3.49%, 最大値は23.04%, 最小値は0.49%であった。

3.3 樹木形状シミュレーションの緑視率計算結果

1) 樹冠形状タイプ変更シミュレーション

基準モデルから樹冠形状タイプを変化させて緑視率を計算する。4種の樹冠形状の中では、円筒型樹木モデルの平均緑視率が最も高く(4.54%), さかずき型樹木モデルの平均緑視率が最も低かった(2.54%)。さかずき型は円筒型の半分程度の緑視率しか得られないことがわかった(図8, 9)。

2) $h1$ 変更シミュレーション

$h1$ を、4m, 4.5m, 5m, 5.5m, 6m, 7m, 8mと段階的に変化させてシミュレーションを行った。平均緑視率は単調増加を示し、 $h1=8m$ のとき、平均緑視率は5.18%となった。 $h1$ が2倍になると平均緑視率は約1.5倍となった(図10, 11)。

3) $h2$ 変更シミュレーション

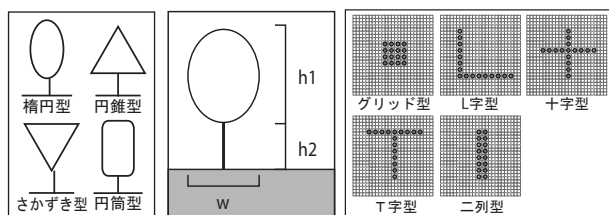


図3 樹冠形状タイプ

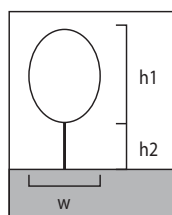


図4 $h1$, $h2$, w

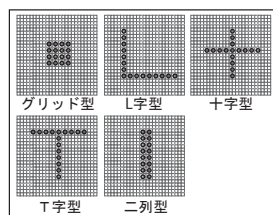


図5 典型的配置パターン

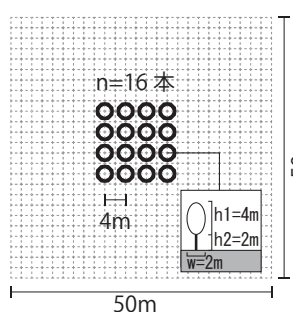


図6 基準モデル

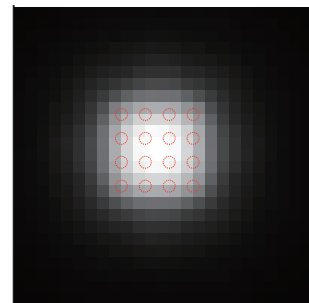


図7 基準モデル緑視率分布図

$h2$ を2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4mと段階的に変化させてシミュレーションを行った。平均緑視率は単調減少を示し、 $h2=4m$ のとき、平均緑視率は2.66%となった。 $h2$ が2倍になると平均緑視率が約25%減少する結果となった(図12, 13)。

4) w 変更シミュレーション

w を2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4mと段階的に変化させてシミュレーションを行った。平均緑視率は単調増加を示し、 $w=4m$ で平均緑視率は6.07%となった。 w が2倍になると緑視率が約7割上昇することが分かる(図14, 15)。

$h1$ ならびに w 変更シミュレーションから、 $h1$, w をそれぞれ2倍にしたときの緑視率の増加率はそれぞれ約5割と約7割であった、限定的な分析結果ではあるが、このことは樹冠形状の高さを増加させるよりも枝ぶりを大きくした方が緑視率を効率よく確保できることを示している。

3.4 配置条件シミュレーションの緑視率結果

1) 典型的配置パターンシミュレーション

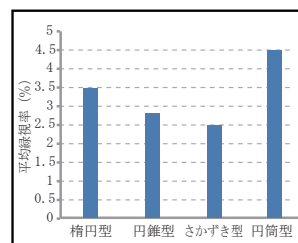


図8 樹冠形状変更シミュレーション平均緑視率

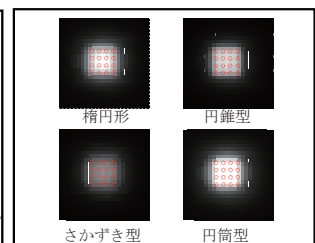


図9 樹冠形状変更シミュレーション緑視率分布図

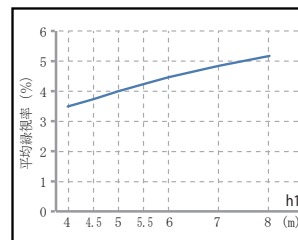


図10 $h1$ 変更シミュレーション平均緑視率

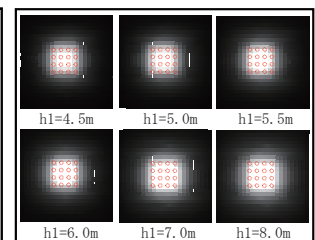


図11 $h1$ 変更シミュレーション緑視率分布図

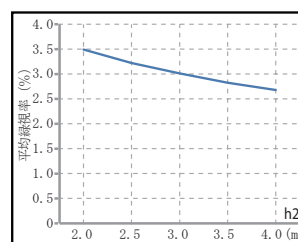


図12 $h2$ 変更シミュレーション平均緑視率

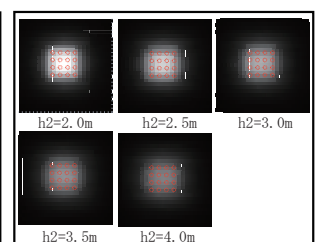


図13 $h2$ 変更シミュレーション緑視率分布図

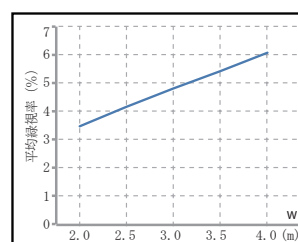


図14 w 変更シミュレーション平均緑視率

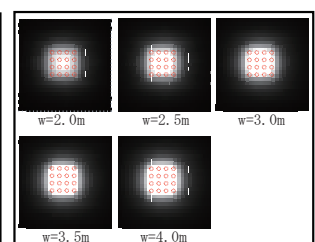


図15 w 変更シミュレーション緑視率分布図

基準モデルのグリッド配置に加え、L字型、十字型、T字型、二列配置型の5パターンのシミュレーションを行った。5つの配置パターンでは、十字型の平均緑視率3.84%が最も高い。次いでT字型、L字型、2列型の順に高く、グリッド型の平均緑視率3.49%が最も低かった（図16）。

各配置パターンの緑視率の分布を詳細に見るため、図22に緑視率の頻度分布の積み上げグラフを示す。グリッド型は緑視率が10%を上回る地点が敷地の1割以上を占め、全パターンの中で最も多い。しかし、緑視率が2.5%を下回る地点も全パターンの中で最も多く、敷地の約7割を占めている。緑視率のばらつきが大きく、平均値としては低い値になったと考えられる。2列型にもこれに近い傾向が見られた。一方、十字型、L字型、T字型は緑視率2.5%未満の地点が比較的少なく、平均値としては緑視

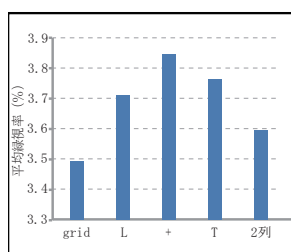


図16 典型的配置パターンシミュレーション平均緑視率

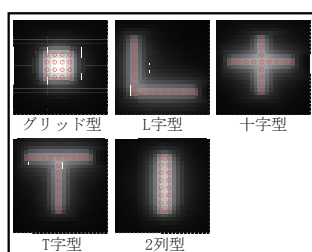


図17 典型的配置パターンシミュレーション緑視率分布図

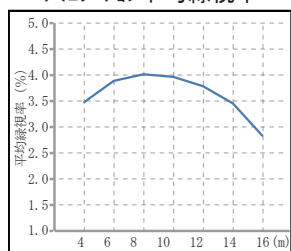


図18 l 変更シミュレーション平均緑視率

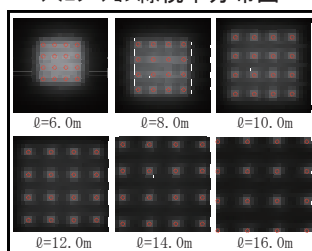


図19 l 変更シミュレーション緑視率分布図

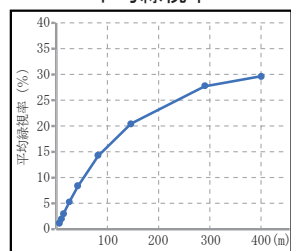


図20 n 変更シミュレーション平均緑視率

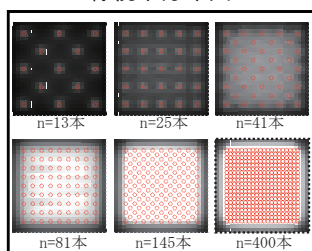


図21 n 変更シミュレーション緑視率分布図例

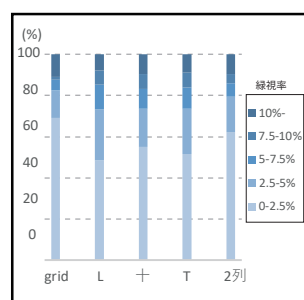


図22 典型的配置パターンシミュレーション頻度分布積み上げグラフ

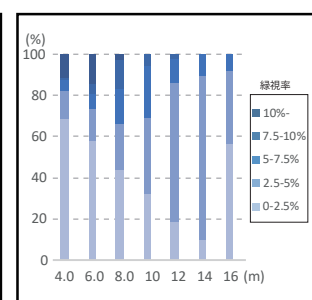


図23 l 変更シミュレーション頻度分布積み上げグラフ

率が高くなったと考えられる。この傾向は図17の緑視率分布図においても、確認することができる。

2) l 変更シミュレーション

l は 4m, 6m, 8m, 10m, 12m, 14m, 16m と段階的に変化させ、樹木が等間隔のグリッド配置を保つようにモデルを作成してシミュレーションを行った。 $l=8m$ のときに、平均緑視率が 4.01% となり最も高くなった。緑視率は単純な推移を示さず、 $l=8m$ で極値を持つことが明らかとなった（図18, 19）。

図23に各モデルの緑視率の頻度分布の積み上げグラフを示す。 $l=8m$ のモデルは他と比較して緑視率5%未満の地点が敷地の65%程度と少なく、代わりに5～10%の比較的高い緑視率を取る地点は敷地の3割以上を占め、高い平均緑視率になったと考えられる。一方、 $l=16m$ のモデルは敷地の9割以上が緑視率5%未満となっており、平均緑視率は最も低かった（2.82%）。

以上から、樹木同士を適切に離して配置する方が平均緑視率を効率的に確保できると考えられる。

3) n 変更シミュレーション

敷地内の樹木密度を均一に保つように配慮しながら樹木本数 n を増加させたシミュレーションを行った。樹木の本数が増えるに従って平均緑視率は上昇するものの、緑視率の増加率は低下することが分かる（図20, 21）。

そこで、樹木一本当たりの平均緑視率の増加量 γ （＝緑視率の増加量 / 樹木の増加数）を算出すると、 $41 < n < 81$ の区間で $\gamma \approx 0.15\%$ 、 $81 < n < 145$ の区間で $\gamma \approx 0.1\%$ 、 $145 < n < 289$ の区間で $\gamma \approx 0.05\%$ であった。 $145 < n$ の範囲では γ は 0.1% 未満となり、145本より多くの樹木を配置しても、効率の良い平均緑視率の増加は期待できないと言える。

4. ランダム配置シミュレーション

前章におけるシミュレーションによって、限定的な条件下ではあるが、樹木の形状と配置が緑視率に与える影響を大まかに把握した。一方で、設計者によって策定される植栽計画は様々であり、緑視率確保の目安をして有用な資料とするには、結果の一般性を確保する必要がある。

そこで、本章では最初の試みとして配置に着目し、ランダム配置シミュレーションを行う。特定の配置ではなく、16本の樹木を無作為に配置した場合、どの程度の緑視率を確保できるのかを確率分布として示し考察を加える。

4.1 シミュレーション条件

ランダムシミュレーションモデルには、基準モデルで用いた16本の樹木（ $h1=4m$, $h2=2m$, $w=2m$, 楕円型）を用いる。敷地サイズは前章と同様に $50m \times 50m$ とした。各樹木モデルの x, y 座標に乱数を与え、100通りのランダムモデルを作成し、緑視率の計算を行う。

4.2 シミュレーション結果

図24に全100モデルの平均緑視率のヒストグラムを示

す。3.5～3.62%の区間に全体の40%のサンプルが集中しており、最頻値は3.515%，中央値は3.54%，期待値は3.52%であった。一方、3.4%付近にも多くのサンプルが存在していた。1つの正規分布に従うか、多峰性が見られるかについては特定できておらず、今後サンプル数を増やして追加の検討を行う。

仮に1つの正規分布に従うとすれば、平均±2SDは3.28～3.79%となる。本章で用いた形状の樹木を50m角の敷地にランダムに16本配置する場合、緑視率の平均値は96%の確率で3.28～3.79%の値を取ることを示している。これによると、3章で行った基礎的なシミュレーションのうち、典型的配置パターンシミュレーションの十字型およびℓ変更シミュレーションのℓ=6.0m, 8.0m, 10.0mのモデルは非常に高い平均緑視率をとっていたことがわかる。反対に、ℓ変更シミュレーションのℓ=16.0mのモデルは非常に低い平均緑視率であったと言える。

図25に全100モデルの緑視率の確率密度関数を示す。いずれも左に偏った分布となっており、緑視率2.5%付近で高い確率密度を取るが、グラフ形状を見るとモデル毎

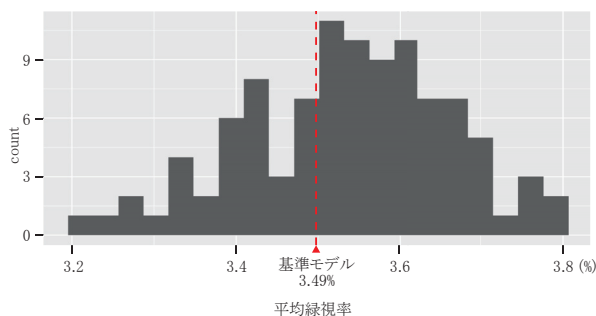


図24 ランダム配置シミュレーションの平均緑視率のヒストグラム

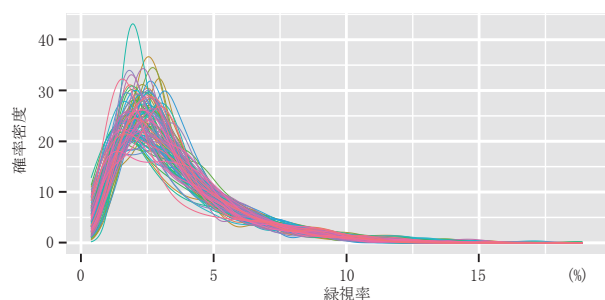


図25 ランダム配置シミュレーションの確率密度関数

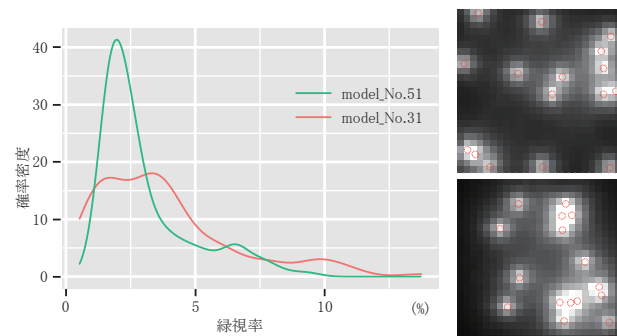


図26 No. 51 および No. 31 の確率密度関数

図27 No. 51 (上) / No. 31 (下) の緑視率分布図

の分布傾向の違いを指摘できる。例として、2例の確率密度関数と緑視率分布図を取り上げる（図26, 27）。

No. 51は緑視率1.8%付近に突出して高い確率密度も示す一方、No. 31は緑視率2.5%前後にばらつきを持って高い確率密度が分布している。それぞれの緑視率分布図を見ると、No. 51は敷地の周縁部にも多くの樹木が配置され、全体的にまばらな配置となっているのに対し、No. 31は特定の箇所にまとまった樹木が配置されつつ、比較的中央部分に偏った配置となっている。平均緑視率はNo. 51が3.29%，No. 31が3.67%でNo. 31の方が高かった。

同じ条件下でも樹木配置によって分布様態や平均緑視率は異なる。今後シミュレーションを重ね、緑視率の分布様態を類型化することで、樹木配置のパターンと緑視率の分布様態との対応関係を考究する。

5. おわりに

本研究では樹木形状ならびに配置に関わるパラメータを変動させ、各パラメータと緑視率との基礎的な数値的関係を把握した。また、樹木のランダム配置シミュレーションを行い、樹木配置と緑視率の関係について、確率分布を捉えて考察を加えた。しかしながら、本報で得られた知見は限定的な条件下でのシミュレーション結果に基づくものである。今後、更にシミュレーションを重ねることで結果の一般性を確保し、植栽計画に際しての緑視率確保を加味した検討を効率的に行えるようにするための知見としてまとめることを展望とする。

【謝辞】

本研究はJSPS 科研費JP16K18214の助成を受けて行った。

【参考文献】

- 1) 青木陽二：視野の広がり と 緑量感の関連，造園雑誌，Vol. 51，No. 1，pp. 1-10，1987. 8
- 2) 高野歩：住区内街路における緑視状況に関する研究，日本造園学会誌，Vol. 59，No. 5，pp. 157-160，1996. 3
- 3) 小西達也，小松義典：キャンパス内の学生行動と緑視率による緑化適地選定，日本建築学会東海支部研究報告集，vol. 43，pp. 489-492，2005. 2
- 4) 北原 拓也，小林 祐司，佐藤 誠治：緑視率・緑被率を指標とした身近な緑環境評価—大分市の緑化等に関する指針を有する戸建住宅団地を対象として—，日本建築学会九州支部研究報告，第50号，pp. 337-340，2011. 3
- 5) 金晃漢，ほか4名：大分市中心部における緑視率推定と印象評価実験による緑化整備推進区域の選定（その1），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1117-1118，2008. 7
- 6) 全方位緑視率を用いた緑地環境に対する印象評価推定モデル作成と検証—全方位緑視率と印象評価実験をもとにした自己組織化マップを用いて—，山田悟史・藤井健史・宗本晋作，日本建築学会計画系論文集，査読有，第81巻，第727号，pp. 2083-2093，2016年9月
- 7) CGモデルによる全方位緑視率の計量手法とその応用可能性，藤井健史・山田悟史・廣瀬徳郎・及川清昭，日本建築学会技術報告集，査読有，第43号，pp. 1067-1072，2013年
- 8) 亀山章：緑地植物の形態，「緑の環境設計」所収，エヌジーティー，pp. 61-66，2002. 11

* 1 立命館大学理工学部 助教 博士（工学）

* 2 立命館大学理工学部 講師 博士（工学）