

建物群のヴォリューム分布と屋根面の総日射量に基づく 地区の太陽光パネル設置効果の考察

日大生産工 (院) ○星川 大輝
日大生産工 岩田 伸一郎

1. はじめに

東京都は、エネルギー大消費地の責務として、2030年までに都内の温室効果ガスを50%削減する「カーボンハーフ」の実現に向けて、2025年から延べ床面積2,000㎡未満の中小規模の新築建物に対し、太陽光パネルの設置を義務化すると発表した。全国的にも太陽光パネルの普及が進んでおり、再生可能エネルギーの一つである太陽光エネルギーを積極的に活用しようという機運が高まっている。

一方で、都市部では建物群がなす街の立体的な状態は多様であるため、すべての新築建物に設置した太陽光パネルが十分な効果をもたらすか、既存の建築物が十分な日射を得られるかは不明確である。本稿では、東京都の都市部を対象として、建物群がなす空間の立体状態（以下、ヴォリューム分布）の違いによって、単位面積あたりの建物群が受ける日射量を算出し、太陽光発電の有効性とヴォリューム分布の関係について検証し、太陽光パネルの適正な配置と今後の都市計画の一つの指標として太陽光発電に基づいた有効的な都市形状を提案する。

2. 研究の方法

2.1. 研究の概要

PLATEAU^{注1)}の3Dモデルデータ (LoD1^{注2)}) と数値標高モデル (DEM) をArcGISに読み込み、対象地域の区を500mメッシュの区画に分割する。それぞれの区画ごとに都市ヴォリューム分布要素である「区画面積に対する総建築面積の合計（以下、建築面積合計）」、「建物高さの平均値（以下、建物高さ平均）」、「建物高さの分散（以下、建物高さ分散）」、「区画内の建物の個数（以下、建物個数）」の4要素（表1）と「区画内の単位面積あたりの日射量（以下、日射量）」を求める。建築面積合計、建物高さ分散、建築高さ平均、建物個数を多変量解析によって都市ヴォリューム分布を分類し、回帰分析を用いて屋根面日射量との相関性を調査する。壁面においては解析結果を可視化し、ヴォリューム分布の違いによって適切な太陽光パネルの設置を提案する。

表1. 都市ヴォリューム分布要素一覧

都市ヴォリューム分布要素
建築面積合計
建物高さ平均
建物高さ分散
建物個数

2.2. 対象地域の選定

環境省が発行している都市環境気候図の一つである天空率分布図¹⁾を参考にした（図1）。図1で青い部分は天空率が高く、赤い部分は低い地域である。本稿では凹凸のある都市ヴォリューム形状を成す地域を対象にして解析を行うため、高い建物が多く、天空率の低い「豊島区」、「中央区」、「台東区」の3区を対象地域に選定した。

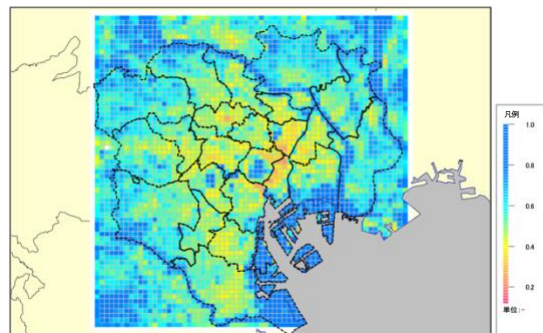


図1. 天空率分布図

2.3. 都市ヴォリューム形状の分類

異なる都市ヴォリューム分布と日射量の関係と比較するため、500mメッシュに分割した区画ごとの都市ヴォリューム分布を分類する。都市形状を評価する指標である建築面積割合、建物高さ平均、建物高さ分散、建物個数をExcelデータに整理し、統計解析ソフトであるSPSSを用いて階層クラスター分析を行った。測定方法は平方ユークリッド距離を用いた。分析の結果から分類されたクラスターごとに都市ヴォリューム分布要素を比較し、都市ヴォリューム分布の特徴を考察する。

2.4. 屋根面の日射量解析方法

PLATEAUの数値標高モデル (DEM) と3D建物モデルを用い、ArcGIS上で日射量を算出する。日射量は区画内の全建物の屋根面のみが24時間に受ける総日射量を区画面積で除した値 (Wh/㎡) を平均日射量と定義する (式1)。春分・秋分・夏至・冬至の4日間の平均値を用いる。その後、日射量平均の値に応じて区画ごとに色分けをし、可視化する。その結果から3区の特徴を考察する。

$$\text{平均日射量 (Wh/m}^2\text{)} = \frac{\text{屋根面が受ける日射量 (Wh)}}{\text{区画面積 (m}^2\text{)}} \dots \text{(式1)}$$

Consideration of the effect of solar panel installation in the district based on the volume distribution of building clusters and total solar radiation on roof surfaces.

Hiroki HOSHIKAWA and Shinichiro IWATA

2. 5. 回帰分析

クラスター分析で分類されたグループごとにExcelの分析ツールである「単回帰分析」と「重回帰分析」の2つの分析を行う。「単回帰分析」は目的変数を日射量の値、説明変数を建築面積合計とし、「重回帰分析」においては目的変数を日射量の値、説明変数をすべての都市形状要素を用いる。単回帰分析では補正係数 R^2 の値を評価する。 R^2 の値は $0 < R^2 < 1$ の絶対値で示され、値が高いほど建築面積合計と日射量平均は相関が強いと言える。重回帰分析では、 R^2 、P-値、tの3つの値を評価する。補正 R^2 の値は単回帰分析同様に $0 < R^2 < 1$ の値をとり、重回帰分析の結果の精度を示すものであり、P-値はそれぞれの説明変数が目的変数に対して関係しているか否かを、tの値は目的変数に対して影響している度合いを示しており、絶対値が大きいほど影響が強いことを意味する。それぞれの解析で出た結果をもとに、日射量とそれぞれの要素との間にどのような関係があるのかを考察する。

2. 6. 壁面の日射量解析方法

屋根面の日射量解析とは異なり、壁面が受ける日射量の解析はGrasshopperのアドインソフトLadybugを用いる。本稿では、異なるヴォリューム分布から日射量との関係を比較するため、クラスター分析で分類したグループの中の対照的な2グループを選定し、それぞれ1区画ずつを抽出する。周りの建物の影響を考慮し、1区画から100mオフセットした区画で解析を行う。3DモデルデータはPLATEAUから引用する。期間は屋根面と同じく春分・秋分・夏至・冬至の4日間の平均値を用いる。単位は (kWh/m^2) で示す。解析の結果からそれぞれのグループで比較する。

3. 研究結果と考察

3. 1. 都市形状の分類

豊島区、中央区、台東区の3区においてクラスター解析を行った。区画は合計224区画あり、グループは4つに分類された。簡略化したデンドログラムで示す(図2)。グループAは54区画、グループBは30区画、グループCは99区画、グループDは41区画となった。この結果から、それぞれのグループ特徴について考察する。

表2よりグループAは他と比べて建築面積合計と建物高さ平均ともに低かった。住宅街のような低層建築物がある地域だと推測できる。また、グループBは建物高さ、建物高さ分散ともに最も高く、建物一つあたりの建築面積が最も大きい値を示した。オフィス街のような一つあたりの建築面積が大きく凹凸があるグループだと考えられる。実際に八重洲や日本橋付近のオフィス街や湾岸部の高層マンションを含む区画が多く見受けられた。グループCは建物高さ分散が他と比べ、圧倒的に少ない値で、建物高さ平均は比較的高い値を示した。つまり、グループBとは対照的に建物高さは高いが凹凸が少な

いグループであると推測できる。実際に池袋駅周辺なども該当したが、住宅街が多く占めていた。建物個数、建物高さ平均、分散、建物一つあたりの建築面積においてグループDではグループA~Cの平均に近い値を示した。

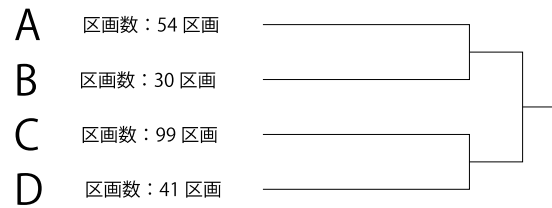


図2. 簡易デンドログラム

表2. グループごとの都市形状要素

	建築面積合計	建物個数	建物高さ平均	建物高さ分散	建築面積合計/建物個数
A	9068.05	82.93	12.1	193.61	109.3458338
B	31734	261.7	15.12	205.6	121.2609859
C	85176.22	827.9	14.02	111.95	102.8822563
D	55487.38	478.73	13.35	143.67	115.9053746

3. 2. 屋根面の日射量解析

図3から豊島区の日射量平均の値は他の2区と比べて全体的に高いことがわかる。また、東部よりも西部の方が日射を多く受けている地域が多い。西部は住宅街で、東部の日射量平均が低い部分は高校や駅などを含んでおり、建築面積合計に応じて日射量も低かった。また、中央部の日射量が高い区画では建築面積合計が低い区画があり、池袋駅周辺を含んでいた。つまり、駅ビルのような建築面積が大きく、建物高さが高い建物は影の影響をあまり受けないため、非常に多くの日射を受けることができる。このような建物は周り建物に影を落とすことで、得られない日射量を担保できていると推測できる。

また、図4から台東区は、中央部から東部は日射量平均が多く、西部は日射量平均が少ないことがわかる。西部には東京国立博物館や国立西洋美術館が位置しており、建物が過疎状態にある地域であるため、必然的に日射量平均が低い値を示す。日射量平均が高い北東部は住宅街が位置しており建物高さ平均も低いことから低層部で凹凸がないボリューム分布は隣の建物から影の影響を受けづらいため建築面積合計に比例して日射量が高くなっていることが考えられる。

図5の中央区では日射量平均が低い地域が比較的多く見受けられる。また、北西部は日射量平均が高く、南東部に行くにつれて低くなっている。北西部には銀座が位置しており、密集した建物群があるため日射量平均が高くなっていると考えられる。南東部では建物高さが約200mの建物が点在しており、その建物周辺に影を落とすため、日射量平均が少ないと推測できる。豊島区と台東区において建築面積合計が90,000 m^2 以上の区画を抽出し、日射量を比較したところ、豊島区の方が多くの区画が多く見受けられた。それぞれの都市形状を比較すると豊島区は建物高さ分散が小さい住宅街に対して、台東区は秋葉原駅付近の商業地域が該当し、建物高さ分散が大き

い区画であった。そのため、日射量平均は建物高さ分散に大きく影響していると推測できる。

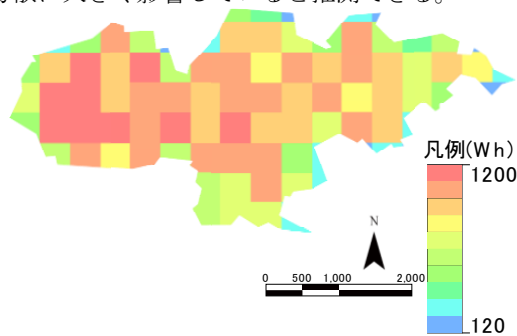


図 3. 豊島区日射量解析

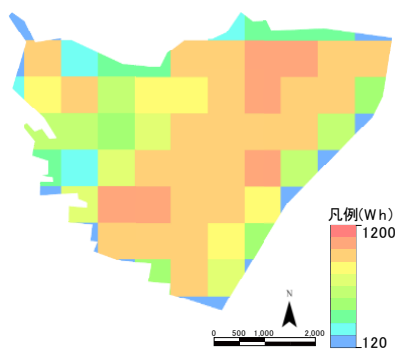


図 4. 台東区日射量解析

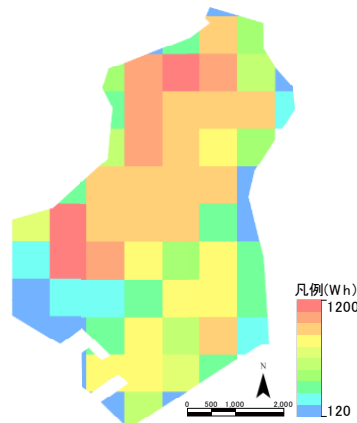


図 5. 中央区日射量解析

3.3. 回帰分析結果

3.3.1. 単回帰分析

それぞれのグループごとにおいて単回帰分析を行った(図6～図9)。横軸には建築面積合計、縦軸には日射量平均、補正係数 R^2 の値をグラフの左上に示す。補正係数 R^2 の値はグループ A からそれぞれ 0.9739、0.7038、0.6011、0.7709 という結果になった。ここから A、D、B、C の順で相関が強いことがわかる。グループ A (図6) は補正係数 R^2 が 0.9739 と非常に高い値が出たことから屋根面が受ける日射量が建築面積に比例し、影の影響が非常に少ないことがわかる。また、グループ B とグループ D は補正係数 R^2 が 0.7038、0.7709 と A より低い値ではあるが正の相関があり、A に比べて影の

影響があることがわかる。また、グループ C は補正係数 R^2 が 0.6011 と 4 つのグループの中で最も低い値を示し、相関が弱いことがわかる。このことから、影の影響を大きく受けていると推測できる。これらの結果から、グループ A のようなヴォリューム分布は屋根面に太陽光パネルを設置するのは効果的であるが、グループ D のようなヴォリューム分布の区画は効果的ではないと言える。

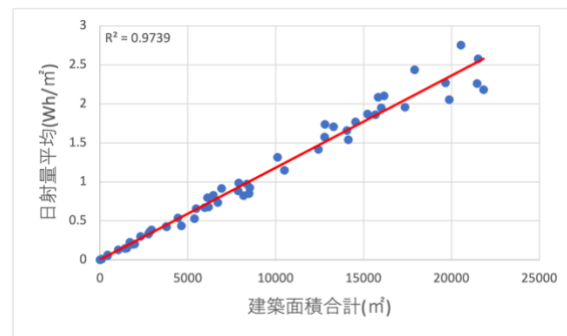


図 6. 日射量平均と建築面積合計の関係 (A)

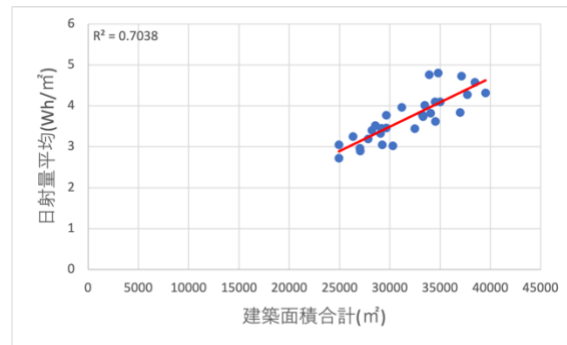


図 7. 日射量平均と建築面積合計の関係 (B)

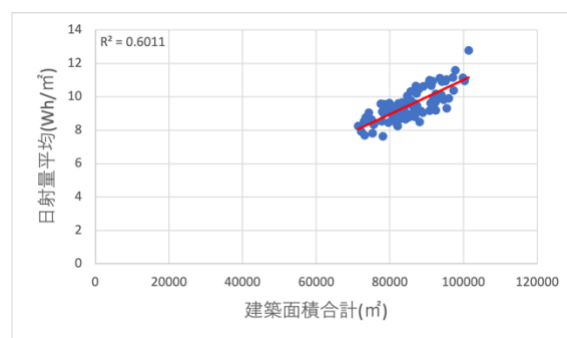


図 8. 日射量平均と建築面積合計の関係 (C)

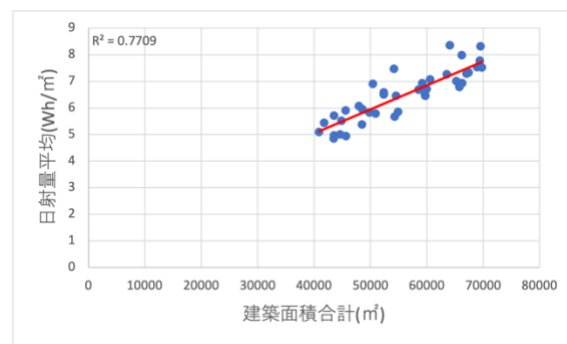


図 9. 日射量平均と建築面積合計の関係 (D)

3.3.2. 重回帰分析

グループ A からグループ D までの重回帰分析の結果を以下に示す（表 3）。すべてのグループにおいて補正係数 R^2 が 0.8 以上であるため、回帰式の精度は高い結果となった。P-値はグループ B の建物高さ分散のみ 0.05 を上回ったため、日射量と関係していない可能性が高いということがわかった。また、建築面積合計の t の値からグループ A が最も影響しており、B は最も影響していない。このことからグループ A のような地域では日射量平均と建築面積合計の相関は強く、屋根面に太陽光パネルを設置すると有効であることがわかる。

それとは対照的にグループ B のような地域では日射量平均と建築面積合計と相関が弱いため、屋根面に設置するのは有効性が保証されていないと推測できる。しかし、建物高さ平均、分散ともに高かったグループであるため、壁面に太陽光パネルを設置した方が有効である可能性があるという推測できる。

表 3. 重回帰分析結果

A			B		
補正 R2	0.985178048		補正 R2	0.8499171	
	t	P-値	t	P-値	
建築面積合計	41.05951187	1.2832E-39	12.90801179	1.4806E-12	
建物個数	-5.32854869	2.4846E-06	-4.43719498	0.00016026	
建築高さ平均	-5.09636421	5.5542E-06	-4.3120492	0.00022158	
建築高さ分散	3.016252089	0.00404937	1.807263293	0.08277111	

C			D		
補正 R2	0.844495297		補正 R2	0.94131017	
	t	P-値	t	P-値	
建築面積合計	23.09118475	1.6126E-40	23.11321257	3.4581E-23	
建物個数	-11.5077345	1.2101E-19	-7.53788107	6.5508E-09	
建築高さ平均	-11.5648527	9.1944E-20	-8.41067865	5.1057E-10	
建築高さ分散	3.666159236	0.00040768	6.220227081	3.5328E-07	

3.4. 日射量解析（壁面）

建物高さ平均、建物高さ分散が最も高い値を示したグループ B と建物高さ分散が最も低い値を示したグループ C の 1 区画を抽出し、日射量解析を行った（図 10、図 11）。グループ B は日本橋付近の区画をグループ C では池袋駅周辺を抽出した。グループ B では建築面積の小さい建物が多くあり、突出して高い建物はないが凹凸があることがわかる。しかし、3D モデル上で見るとグループ C よりも壁面が得られる日射量が多いことがわかる。また、グループ C のような建築面積が大きく高い建物が点在している区画ではその周りの建物の壁面に日射が得られない。また、建物高さが高い建物でも平面的に見た形が歪であると壁面が受ける日射量が低い。壁面に関する日射量はグループ C に比べてグループ B の都市ヴォリューム分布の方が多く得られるということが推測される。

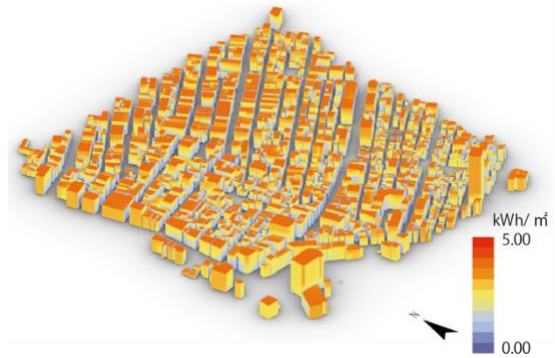


図 10. 壁面日射量解析（グループ B）

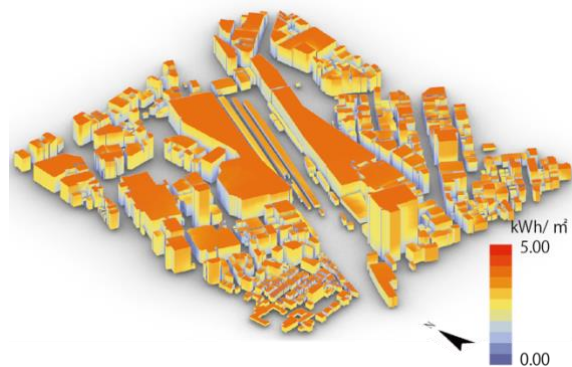


図 11. 壁面日射量解析（グループ C）

4. まとめ

本稿では、屋根面を中心に都市ヴォリューム分布に基づいて太陽光発電の有効性に関して調査した。都市形状によって屋根面が受ける日射量に差が生じた。今後は都市形状の 4 要素で解析を行ったが、より精度を高めるため、要素を増やし、都市形状の特徴を明確にする必要がある。また、壁面についても屋根面と同様に対象地域の全区画で日射量解析を行い、屋根面に壁面を加味した都市ヴォリューム分布と太陽光発電の有効性について研究していく。

注釈

- 注 1) 本稿では国土交通省が公開している 3D 都市モデル PLATEAU を用いて分析を行った。なおデータは豊島区、中央区、台東区の 3 区の FGDB 形式を使用した。
- 注 2) PLATEAU の 3D 建物モデルは詳細度により LoD1 と LoD2 に分かれており、本稿ではより単純な形式の LoD1 を使用した。
- 注 3) 本稿では ESRI ジャパン株式会社 ArcGIS pro のエリア日射量解析機能を用いて解析を行った。

参考文献

- 1) ヒートアイランド現象の計画的実施に関する調査検討会，ヒートアイランド対策ガイドライン改訂版，2013，p120，<https://www.env.go.jp/content/00400017.pdf>（参照 2023-3-15）