

東京での災害時における屋根設置型太陽光発電の実用性評価

～日別レジリエンス指標による災害対応能力の評価～

東京都立科学技術高等学校 2年 浜田 賢一

1. 研究背景

近年、気候変動やエネルギー問題に関するニュースを見ない日はない。特に 2022 年の夏には電力需給が逼迫し、節電要請が出されたことは記憶に新しい。こうした中で、太陽光発電などの再生可能エネルギーの重要性が増している。

私の家の近くの小学校は地域の避難所に指定されているが、もし大規模な停電が発生したとき、本当に避難所として機能できるのだろうかと思なった。学校の屋根は広く、太陽光パネルを設置すれば災害時の電力源として活用できるのではないかと考えた。しかし、実際にどの程度の発電が見込めるのか、曇りや雨の日が続いたらどうなるのかといった具体的なデータがなければ、導入を検討することもできない。

そこで本研究では、気象庁が公開している実際の日射量データを使って、東京の学校の屋根に太陽光発電システムを設置した場合の発電能力を評価し特に、「災害時に何日間くらい自給できるのか」という点を、調べることを目標とした。

本研究でいう「災害時」とは、地震や台風などの自然災害により送配電網が広い範囲で使えなくなり、外部からの電力供給がすぐには戻らない状況を指す。

2. 現状分析と課題

太陽光発電に関する研究は数多く行われているが、そのほとんどは「年間で何 kWh 発電できるか」という総量の評価に留まっている。確かに年間発電量は重要だが、災害時の電力確保という観点からは、「いつ、どのくらい発電できないのか」という情報の方が重要ではないかと考えた。具体的には、以下の 3 つの課題があると感じた。

課題 1：季節による発電量の変動が大きい

東京の気候では、夏と冬で日射量が大きく異なる。年間の平均値だけを見ても、実際に運用したときの信頼性は分からない。特に冬場や梅雨時にどの程度発電が落ち込むのかを把握する必要がある。

課題 2：連続して発電できない日が続くか不明

災害はいつ起こるか分からない。もし長雨の時期に災害が発生したら、何日間太陽光発電が使えない状態が続くのか。この「最悪のケース」を想定した評価が必要だと考えた。

課題 3：適切なシステム規模が分からない

小さすぎるシステムでは災害時に役立たないが、大きすぎれば設置費用が膨らむ。どの程度の規模があれば実用的なのか、定量的な基準が必要である。

これらの課題を解決するため、「日単位での自給可能性」を評価する新しい指標を考案し、実際のデータで検証することにした。

3. 新たな発想内容

3.1 研究の基本的な考え方

本研究の核となる発想は、「その日の発電量が家庭 1 日分 (12.3 kWh) 以上かどうか」を「日別レジリエンス」という新たな指標とし、それを用いて「日数カ

バー率(自給可能だった日数 ÷ 366 × 100 (%))」
と「最長連続不足日数(連続して不足した日の最長記録)」という 2 つの指標を導入したことである。これまでの研究が「年間総発電量」という“量”に注目していたのに対し、本研究では「何日自給できるか」という“日数”と「最悪の場合何日連続で不足するか」という“リスク”に注目した。この発想に至ったのは、災害時の避難所運営を考えたときに、「年間では十分な電力が得られても、肝心の災害時に連続して発電できないれば意味がない」と気づいたためである。

3.2 使用したデータと前提条件

気象庁のウェブサイトから、東京の 2024 年 1 年間(366 日分)の日射量データをダウンロードした。データは「全天日射量 (GHI)」という、水平な面に届く太陽エネルギーの総量を表す値である。元のデータの単位は MJ/m² (メガジュール毎平方メートル) だったため、電力量の単位である kWh/m² に変換した (1 kWh = 3.6 MJ の関係を使用)。

太陽光パネル

太陽光パネルはカタログに書かれている出力通りには発電しないことが多い。配線での電力損失、インバータ (直流を交流に変換する装置) での変換ロス、パネル表面の汚れ、温度による効率低下など、様々な要因で実際の発電量は減少する。これらの損失をまとめて表す係数を「性能比 (PR)」と呼び、本研究では一般的な住宅用システムで用いられる **0.75** という値を採用した。これは「定格出力の 75% が実際に得られる」という意味である。

家庭の電力消費

家庭の電力消費は経産省統計を参照し、1 日平均を約 12.3 kWh (年約 4,500 kWh) として用いた。これは 4 人家族程度の平均的な消費量である。

経済性の評価

CO₂ 排出係数を 0.40 kg-CO₂/kWh (東京電力の標準的な値)、電気料金を ¥30/kWh、太陽光発電システムの

設置費用を約 ¥200,000/kWp と仮定した。

これらすべてを Python で計算し、グラフとデータを出力させた。

3.3 評価方法の詳細

ステップ 1: 基礎データの処理

ダウンロードしたデータを Python に読み込ませ、数値計算とグラフの作成をさせた。

ステップ 2: 容量別の年間発電量計算

一般家庭向けの 5 kWp (キロワットピーク: パネルの定格出力を表す単位)、中規模の 10 kWp、大規模(学校の屋根全体)を想定した 50 kWp の 3 パターンを設定した。

各容量は「年間日射量合計 (GHI) × 容量 (kWp) × PR (0.75)」でおおまかな年間発電量を計算した。さらに、

- CO₂ 削減量平均値の 0.40 を使い (発電量 × 0.40)
- 年間の電気代節約額 (発電量 × ¥30)
- 単純回収年数 (設置費用 ÷ 年間節約額)

これらを Python により算出した。

ステップ 3: 日別レジリエンス評価 (新指標)

ここが本研究の最も重要な部分である。366 日それぞれについて、日別レジリエンス 「その日の発電量が家庭 1 日分 (12.3 kWh) 以上かどうか」を判定した。

例えば 5 kWp のシステムの場合、ある日の日射量が 3.28 kWh/m² だったとする。この日の発電量は「3.28 × 5 × 0.75 = 12.3 kWh」となり、ちょうど家庭 1 日分を賄える。これより日射量が多ければ「自給可能」、少なければ「不足」と判定する。

Python で 366 日全てを判定した後、以下の 2 つの指標を計算した: 日数カバー率 最長連続不足日数

なお、この評価では蓄電池は考慮していない。つまり「その日発電した電力をその日使う」という前提での評価である。

4. 新たな発想内容の評価結果

4.1 東京の日射量ポテンシャル

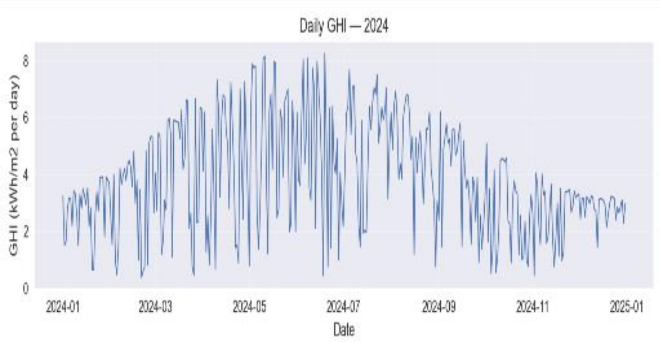


図 1: 東京の 2024 年 1 年間の日別の日射量

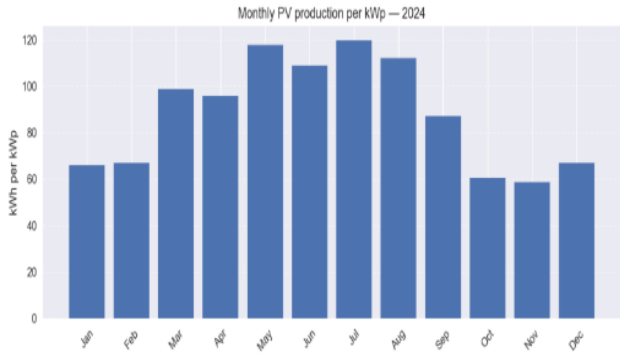


図 2: 月別の発電量グラフ

図 1、2 より解析の結果、2024 年の東京における年間日射量は約 1412 kWh/m²であることが分かった。これに性能比 0.75 を掛けると、1 kWp のシステムあたり約 1059 kWh の年間発電量が期待できる計算になる。この値は、太陽光発電業界で一般的に言われている「東京では 1 kWp あたり 1000～1100 kWh/年」という経験値とよく一致しており、データの妥当性が確認できた。

図 2 より、月別に見ると、5 月が 118 kWh/kWp、7 月が 120 kWh/kWp、8 月が 112 kWh/kWp と、春から夏にかけて発電量が多い。一方、10 月、11 月、1 月は 70～80 kWh/kWp 程度と少なく、明確な季節変動が見ら

れた。

4.2 容量別の詳細評価結果

表 1: 日別レジリエンス指標による評価表

系統 (kWp)	日数カバー率	最長連続不足日数
5.0	56.0 %	30 日
10.0	84.2 %	3 日
50.0	100.0 %	0 日

日数カバー率: システムの発電量だけで家庭 1 日の消費を自給できた日数の年間の割合 (自給可能だった日数 ÷ 366 × 100 (%))

最長連続不足日数: 家庭 1 日の消費電力を自給できなかった日が、連続して何日続いたか

【5 kWp システム：一般サイズ】

- 年間発電量：5,295 kWh
- CO₂削減量：2.12 トン/年
- 年間電気代節約額：¥158,852
- 想定設置費用：¥1,000,000
- 単純回収年数：6.3 年
- 日数カバー率：56.0% (366 日中 205 日で自給可能)
- 最長連続不足日数：30 日

5 kWp でも年間の半分以上の日で自給できるという結果は予想以上だった。しかし、最長 30 日も連続で不足する期間があるという事実は重大である。これは図 2 と python の詳細データより 11 月から 12 月に相当する。もしこの時期に災害が発生したら、太陽光発電だけでは 1 ヶ月近く電力を供給できないことになる。

【10 kWp システム：中規模】

- 年間発電量：10,590 kWh
- CO₂削減量：4.24 トン/年
- 年間電気代節約額：¥317,703
- 想定設置費用：¥2,000,000
- 単純回収年数：6.3 年
- 日数カバー率：84.2%（366 日中 308 日で自給可能）
- 最長連続不足日数：3 日

容量を 2 倍にすると、レジリエンス性能が劇的に向上することが分かった。日数カバー率が 84.2%まで上がり、連続不足も 3 日程度に抑えられる。3 日間であれば、小型の蓄電池と組み合わせることで十分対応可能と考えられる。

【50 kWp システム：大規模】

- 年間発電量：52,951 kWh
- CO₂削減量：21.18 トン/年
- 年間電気代節約額：¥1,588,516
- 想定設置費用：¥10,000,000
- 単純回収年数：6.3 年
- 日数カバー率：100%（366 日全てで自給可能）
- 最長連続不足日数：0 日

50 kWp の大容量は日常的にも災害時にも高い信頼度を示すが、設置面積や費用の制約が大きい。Python で計算した結果 50kWp だと最低 3 軒自給できることがわかった。

4.3 新指標から見えてきたこと

本研究で導入した「日別レジリエンス評価」により、いくつかの重要な発見があった。

発見 1：容量を増やす効果は線形ではない

5 kWp から 10 kWp へ容量を 2 倍にすると、年間発電量も 2 倍になるのは当然だが、日数カバー率は 56.0%から 84.2%へと 28 ポイントも上昇した。つまり、容量を増やす効果は、単なる発電量の増加以上に、「安定性」の向上に大きく寄与することが分かった。

発見 2：「30 日の壁」の存在

5 kWp システムでの最長連続不足 30 日は、年間発電量では見えてこない重要なリスクである。この期間は図 2 と python の詳細データより 11 月から 12 月に対応すると考えられる。災害はいつ起こるか分からないため、この「30 日の壁」は無視できない。

発見 3：10 kWp が実用的な閾値

10 kWp まで増やせば連続不足は 3 日程度に抑えられ、日数カバー率も 84%を超える。費用対効果と実用性のバランスを考えると、10 kWp 程度が災害対応を視野に入れた現実的な選択肢だと考えられる。

4.4 経済性についての補足

今回計算した回収年数 6.3 年は、かなり単純化した計算である。実際には以下の要素を考慮する必要がある：

- 国や自治体の補助金（これにより実質的な設置費用は大幅に下がる可能性がある）
- 余剰電力の売電収入（本研究では自家消費のみを想定）
- 年間の保守点検費用（パネルの清掃、機器の点検など）
- 将来の電気料金の変動や経年劣化など

したがって、実際に導入を検討する際は、より詳細な経済シミュレーションが必要である。

5. まとめ

本研究では、災害時の電力確保という観点から太陽光発電を評価するため、「日別レジリエンス」から「日数カバー率」と「最長連続不足日数」という新しい指標を提案し、気象庁の実測データを用いて東京における屋根設置型太陽光発電の実用性を定量的に評価した。

主な成果は以下の通りである：

1. **東京の日射量ポテンシャルの確認** 年間 1412 kWh/m²の日射量があり、1 kWp あたり約 1059 kWh/年の発電が期待できることを確認した。
2. **容量とレジリエンスの関係の定量化** 5 kWp では日数カバー率 56.0%、最長連続不足 30 日であるのに対し、10 kWp では 84.2%、3 日と大幅に改善することが分かった。50 kWp では年間 100%の自給が可能である。
3. **実用的な導入指針の提示** 災害対応を考慮する場合、10 kWp 程度のシステムが費用対効果と信頼性のバランスが取れた選択肢である。
4. **段階的導入の重要性** まずは 5～10 kWp の小規模システムで実測データを取得し、実際の性能比や季節変動を確認した上で、段階的に拡張していく計画が現実的である。

今後の課題としては：

- 複数年のデータによる年次変動の評価
- パネルの設置角度や方位の影響の詳細検討
- 蓄電池を含めた総合的なシステム設計
- 長期的な経済性評価(割引率を考慮した正味現在価値など)
- データを増やし、処理させ発見 1 の線形ではないことの確認

この研究を進める中で、太陽光発電の実用性を知るに

は、「年間でいくら発電できるか」だけでなく「最悪の場合、何日間発電できないのか」を調べることが大切だと分かった。この研究結果が、学校や公民館などに太陽光発電を設置するかどうか判断する際の参考になれば嬉しい。

6. 参考文献

1. 気象庁, 「過去の気象データ・ダウンロード(合計全天日射量等)」, (参照) 2025-09-30.
[<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/>]
2. NEDO, 「太陽光発電開発戦略 2025(NEDO PV Challenges 2025)」, 技術資料(PDF), 2025. (参照) 2025-09-30.
[<https://www.nedo.go.jp/content/800022979.pdf>]
3. 環境省, 「算定方法・排出係数一覧」, 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度ウェブサイト, (参照) 2025-09-30.
[<https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/calc.html>]
4. 株式会社ハウスプロデュース(太陽光設置お任せ隊), 「費用について(太陽光発電の概算費用)」, (参照) 2025-09-30.
[<https://taiyoukou-secchi.com/column/ems/initial-running-cost/>]

コード、入力データ、出力データ、出力グラフはこちら

[<https://drive.google.com/file/d/1dvLxYXgnTaks6EP-6WB9hNkXFoupRayf/view?usp=drivesdk>]