

災害レジリエンスと太陽光発電に着目した 空間詳細な電力需給バランスの推計

村上 大輔¹・山形 与志樹²

¹国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

E-mail : murakami.daisuke@nies.go.jp

²国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

E-mail : yamagata@nies.go.jp

本研究の目的は太陽光発電の供給ポテンシャルと電力需要のバランスを空間詳細な単位毎に評価することである。対象地域は東京大都市圏であり、寡照年、平均年、多照年の3ケースについて、日別時間帯別の需給バランス(家計部門)を評価する。本評価は、十分な数の太陽光パネルが一戸建て住宅の屋根に設置された場合を想定する。本分析の結果、全体としては、ほとんどの日に、太陽光発電の供給ポテンシャルは住宅電力需要を下回るものの、都心西部に限ると相当量の余剰電力が春と秋に生じることを明らかとした。この結果と、災害ハザードマップを重ね合わせることで、マルチレイヤのPV電力共有システムが東京大都市圏の災害に対するレジリエンスを向上させようとの示唆を得た。

Key Words : photovoltaic, disaster resilience, surplus electricity, METPV-11, Tokyo metropolitan area

1. はじめに

近年、我が国において太陽光発電(photovoltaics : PV)システムの急速に普及してきている。その誘因には次のような点が挙げられる：(i) Feed-In-Tariffが2012年に導入されて以降、再生可能エネルギーの固定価格での買い取りが行われていること；(ii) PVの導入に要する費用が急速に低下してきていること(Lingら2012)；(iii) 従来の集約型のシステムに比べ、太陽光発電のような分散型の発電システムは災害に対するレジリエンスが高いこと。東日本大震災に伴う大規模な停電を経験して以降、(iii)の観点からの太陽光発電の有用性は特に強い関心を集めている。Voss (2006)によれば東京大都市圏の異常気象リスクは世界の主要都市圏の中で最悪であり、今後の気候変動のさらなる進展を鑑みると東京大都市圏において災害レジリエンスを高めることは喫緊の課題である。

幸い、PV電力を効率的に蓄電・共有することでレジリエンスを高めようというシステムが既に提案されており(例えばYamagata and Seya, 2013; 2015; Yamagataら2016)、その中には環境モデル都市での実証実験も計画されているものも存在する(Lingら2012)。

PVを活用したシステムを効果的に導入・運営するためにはPVがどの程度の電力需要をカバーしうるのかを空間詳細な単位毎に把握する必要がある。Yamagata and Seya (2013; 2015)は横浜市を対象に1km

メッシュ毎のPV供給量を推計している。しかしながら、彼らは月毎の推計を実施しており、日射量や気温の日々の変動や場所毎の違いは考慮していない。また、彼らは多照年のみを想定しており、PV供給量が各年でどの程度変動しうるのかや、その電力需給バランスへの影響は明らかとしていない。幸い、日別・時間帯別の日射量と気温をアメダス点毎に推計したデータセットであるMETPV-11(2章参照)が新エネルギー産業技術総合開発機構によって公開されており、同データを活用することで、空間詳細な日々のPV供給量を詳細に推計することが可能となると考えられる。

本研究の目的は、METPV-11を活用して平均年、寡照年、多照年の3ケースについて1kmグリッド毎のPV供給量と電力需要(家計部門)のバランスを日別・時間帯別に評価し、その結果を元に、PVをどのように導入すべきかを災害レジリエンスの観点から考察する。対象地域は東京大都市圏とする。

2. 太陽光発電の余剰電力の推計手法

(1) 余剰電力

1kmグリッド毎の余剰電力は(1)式で評価できる：

$$S_{i,d} = \sum_h PV_{i,h,d} - \sum_h D_{i,h,d} \quad (1)$$

ここで i は 1km グリッドの添え字、 $d \in \{1, \dots, 365\}$ は日付、 $h \in \{1, \dots, 24\}$ は時間である。 $PV_{i,h,d}$ は太陽光発電による電力供給、 $D_{i,h,d}$ は電力需要である。本研究

では、 $S_{i,d}$ を平均年，寡照年，多照年の 3 シナリオの下で評価する。

(2) 太陽光発電による電力供給量

PV による発電量は(2)式で評価できる：

$$PV_{i,h,d} = I_{i,h,d} \times \tau \times roof_i^{PV} \times \eta \times K(T_{i,h,d}) \times p \quad (2)$$

ここで $I_{i,h,d}$ は日射量， τ は array conversion efficiency (= 0.1)， η は efficiency of power conditioner (= 0.95)， p は performance ratio (= 0.89) である。 $K(T_{i,h,d})$ は温度補正因子であり，本研究では各グリッドの日別時間別の気温 $T_{i,h,d}$ の関数で与えた。Itagaki ら(2003)に倣い本研究では $K(T_{i,h,d}) = 1 - 0.04 \times (T_{i,h,d} - 25) / 25$ とした。また $roof_i^{PV}$ はグリッド i における太陽光パネルの総面積を表し，本研究では $roof_i^{PV} = A_i \times 1 / \cos \psi$ とした。ここで A_i はグリッド i における建物面積（出展：固定資産課税台帳のデータをもとに推計）， ψ は太陽光発電の傾斜角である (= 30°)。

家計部門における PV のポテンシャルを評価することが本研究の主眼であることから，本研究ではすべての一戸建ての屋根に太陽光パネルが設置された場合を想定する。すなわち，太陽光パネルが十分に普及した場合の PV のポテンシャルを，3 つの日照シナリオの下で評価する。

各 1km グリッドの日射量 $I_{i,h,d}$ は METPV-11 データベースを用いて推計する。同データには平均年，多照年，寡照年の 3 ケースについて，アメダス点別（対象地域内には 116 地点存在）・日別・時間別の日射量データが含まれている。ここで多照年の下での日射量データは次の手順で整備されている：(a) 最も日射量の多かった 1 月を 1990～2009 年の 1 月の中から抽出する；(b) 2～12 月についても同様に最も日射量の多かった月をそれぞれ抽出する；(c) 以上によって抽出された 1～12 月の日別・時間別データを繋ぎ合わせることで多照年における年間の日射量データを構築する。同様に，平均年データについては日射量が最も平均的だった各月をつなぎ合わせることで，寡照年データについては日射量が最も少なかった各月をつなぎ合わせることで，それぞれ整備されている。

ここで METPV-11 はアメダス点毎のデータである。1km グリッド毎の日射量を推計するために，本研究では，グリッド毎の日別・時間帯別日射量を逆距離加重モデル(3)式を用いて推計した (Lu and Wong, 2008)。

$$I_{i,h,d} = \frac{1}{\sum_j (1/d_{i,j})} \sum_j (1/d_{i,j}) I_{j,h,d} \quad (3)$$

ここで $I_{j,h,d}$ は第 j アメダス点における日射量データ， $d_{i,j}$ は第 i グリッドの重心点と第 j アメダス点の間の直線距離である。同様に，グリッド毎の気温につい

ても，アメダス点毎の日別・時間帯別の気温 (METPV-11 の中に存在) に逆距離加重モデルを適用することで空間補間した。

(3) 電力需要

グリッド i における家計部門の電力需要は次式で評価できる。

$$D_{i,h,d} = F_i \times w_{h,d} \quad (4)$$

ここで F_i はグリッド i の延べ床面積 (km²；固定資産課税台帳を元に推計)， $w_{h,d}$ は d 日の h 時の電力需要の原単位 (家計部門) である。この原単位は次のように評価した：(a) 月 $m \in \{1, \dots, 12\}$ の電力原単位 (日本エネルギー学会, 2008) を同月の中日の原単位とする；(b) (a) で得た各月の中日の原単位に逆距離加重モデルを適用することで，各 365 日の電力原単位を補間する。ここで (b) の逆距離加重モデルにおける距離は日付の差で与えた。月別の元々の原単位と同様，手順 (a)，(b) によって得られた日別原単位は空調の使用が増える夏期と冬季に上昇するとともに，照明等の使用が増える夜間に上昇するものである。

3. 分析結果

(1) PV 供給と電力需要の推計結果

図 1 (左) は平均年，寡照年，多照年の 3 シナリオの下での日別の PV 電力供給量をプロットした。同図より，冬季はシナリオ間の電力供給の差が比較

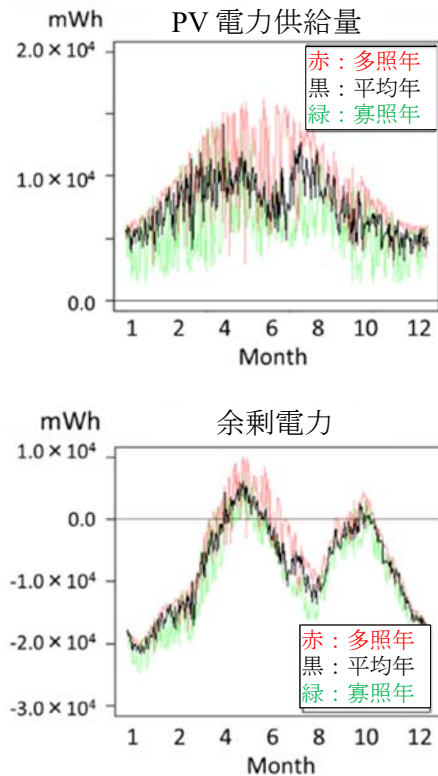


図-1：PV 電力供給量 (左) と余剰電力 (右)

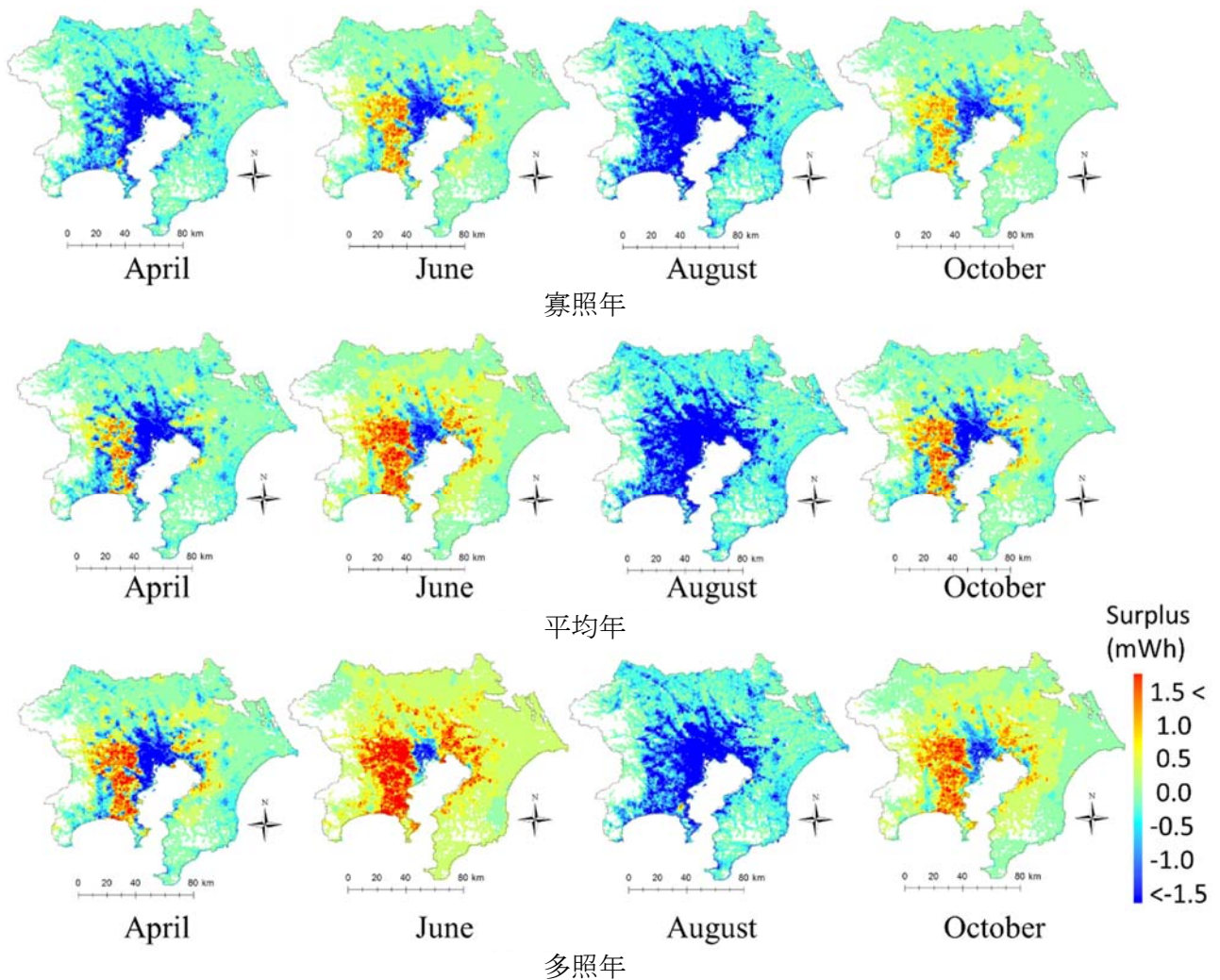


図-2：推定された余剰電力の空間分布

的小さい一方で、春から夏にかけてはシナリオ間の差異が顕著となることが確認できる。例えば寡照年となった場合の5月のPV供給量は多照年となった場合の73.3%である。複数の日射量シナリオを考慮することは、春から夏の電力供給を考えるうえで特に重要といえよう。図1(右)は(1)式を用いて評価した日別の余剰電力である。残念ながら、各シナリオについて、春と秋の一部期間を除き、例えばPVが十分に普及したとしても、PVだけで電力需要(家計)をカバーすることは難しとの結果が得られた。

グリッド別の余剰電力の推定結果(4月、6月、8月、10月の各日間平均)を図2に示す。同図より、都心西部における余剰電力が各シナリオにおいて比較的大きくなっていることが確認できる。特に4、6、10月については、平均年と多照年の両方で多量の余剰電力が発生すると推定された。このことより、東京大都市圏全域ではPVは電力需要をカバーすることができない一方で(図1参照)、都心西部に限定すれば春季と秋季の電力需要がPVのみでもカバー可能との示唆を得た。

次に余剰電力が発生した日数を図3に示す。興味深いことに、平均年と多照年の両シナリオについて、都心西部における4月、6月、10月のPV供給量は半数以上の日に電力需要を上回っていることが確認できる。対称的に、都心付近や都心北部にも住宅地は存在するものの、両地域では余剰電力がほとんど発生しなかった。以上より、PV発電量は導入するゾーンに強く依存すること、及び都心西部にPVを積極的に導入することでより多くの電力が供給可能となりうることを確認した。

(2) PVによる余剰電力と災害リスクとの関連

PVのような分散型のシステムを普及させることで東日本大震災後に発生したような電力不足や停電のリスクを下げることができるが、そのためには災害が分散型システムに及ぼす影響をできる限り小さくすることが望ましい。図4(左)に想定浸水深(出展：国土数値情報)を同図(右)に30年以内にマグニチュード6.5以上の震災が発生する確率を、それぞれプロットした。両図より、余剰電力が発生した都心西部の被災確率が比較的低いことが確認できる。一方で、都心と都心北部は被災確率が高いこ

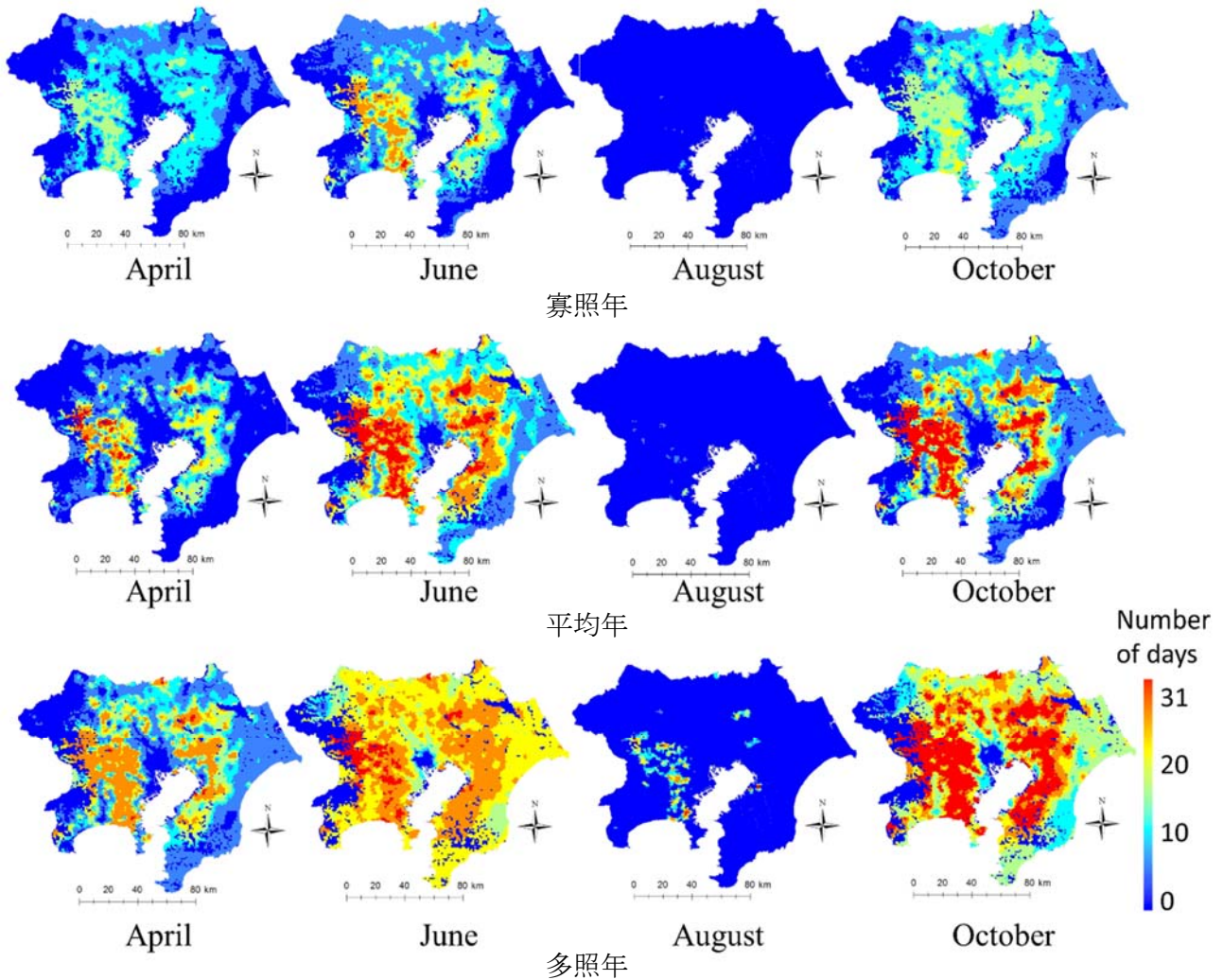
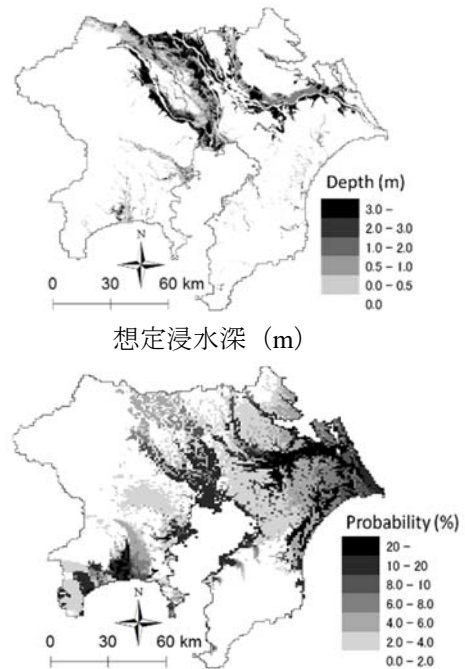


図-3：余剰電力が発生した日数の空間分布

とが確認できる。しかしながら、両地区の電力は需要過多であったため（図2）、被災後の電力を両地区内の PV のみで補うのは難しいと考えられる。

以上の結果に基づけば、より多くの余剰電力が発生しかつ被災確率が低い都心西部に PV を積極的に導入し、特に災害時については都心西部で生成された余剰電力を被災確率の高い都心や都心北部などに供給することでレジリエンスを高めることができる。一方で、コミュニティ間の電力供給もまた地域の災害レジリエンスを向上させることが山形ら(2016)で指摘されている。上記 2 点より、PV から生成された電力をローカルに共有するとともに、必要に応じてグローバルにも共有する（例えば都心西部→都心+都心北部の共有）というマルチレイヤの PV 電力共有システムの導入が、特に東京大都市圏の災害に対するレジリエンスを向上させる上で有用であるとの示唆を得た。



震度 6.5 以上の地震の発生確率（30 年以内）
図-4：水害リスク（左）と震災リスク（右）

参考文献

- 1) Ling, A.P.A., Sugihara, K. and Mukaidono, M. (2012) The Japanese smart grid initiatives, investments, and collaborations. *Int J Adv Comput Sci Appl*, 3, 44–54.
- 2) Voss, S. (2006) A risk index for megacities. Munchener Ruck, Munich Re Group.
- 3) Yamagata, Y. and Seya, H. (2013) Spatial electricity sharing system for making city more resilient against X-events. *Innov Supply Chain Manag*, 7, 75–82.
- 4) Yamagata, Y. and Seya, H. (2015) Proposal for a local electricity-sharing system: A case study of Yokohama city, Japan. *IET Intell Transp Sy*, 9, 38–49.
- 5) Yamagata, Y., Murakami, D., Minami, K., Arizumi, N., Kuroda, S., Tanjo, T. and Maruyama, H. (2015) A comparative study of clustering algorithms for electricity self-sufficient community extraction. *Energy Proc*, 75, 2934–2939.
- 6) Itagaki, A., Okamura, H. and Yamada, M. (2003) Preparation of meteorological data set throughout Japan for suitable design of PV systems. *Third World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 2, 2074–2077.
- 7) Lu, G.Y. and Wong, D.W. (2008) An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Comput Geosci*, 34, 1044–1055.
- 8) 日本エネルギー学会 (2008) 「天然ガス・コージェネレーション計画・設計マニュアル」. 日本工業出版.
- 9) Yamagata, Y., Murakami, D., Minami, K., Arizumi, N., Kuroda, S., Tanjo, T., and Maruyama, H. (2016) Electricity Self-Sufficient Community Clustering for Energy Resilience. *Energies*, 9 (7), 543.