衛星夜間光を用いた停電地域と期間の特定

杉本賢二*・奥岡桂次郎**・秋山祐樹***

Estimation of the power outages area and period using nighttime light data

Kenji Sugimoto*, Keijiro Okuoka**, Yuki Akiyama***

Abstracts: In recent years, we have experienced a number of large-scale natural disasters in Japan, which cased widespread and prolonged power outages and greatly affected our convenient urban services. Early restoration of power outage areas due to disasters requires accurate information on power outages using remotely and passively obtained data to reduce the risk of secondary disasters. The purpose of this study is to develop a method to identify the area and period of power outages by using the nighttime light data observed by satellites. We used VIIRS as nighttime light, which is observed by the sensor onboard the satellite Suomi-NPP and the Power Outage Information taken from TEPCO HP. Comparing the spatial distribution of nighttime light and power outages, it was found that it is possible to detect power outages in the case of widespread power outages, but it is difficult to do so when the power is restored in the forest and surrounding areas because of the characteristics of light.

Keywords: 夜間光 (nighttime light data), 停電 (power outage), 早期復旧 (early disaster recovery)

1. はじめに

1.1. 背景

近年,日本では大規模な自然災害が続発し,各地 に甚大な被害をもたらしている.加えて,都市部が 被災した 2018 年の台風 21 号及び 24 号,北海道胆 振東部地震,2019 年の台風 15 号及び 19 号では,災 害により広範囲で長期間にわたり停電が発生し,都 市生活に大きな影響を及ぼした.とりわけ,2019 年 9 月の台風 15 号では,千葉県を中心に関東地方で約 90 万軒が停電し,完全復旧には長時間を要した(総 務省,2019).それにより,クーラーが使用できずに 高齢者が熱中症で亡くなる人的被害に加え,養鶏・ 養豚場など,畜産業への経済被害も大きくなった.

こうした災害による電力インフラ被害の迅速な復 旧に向けて,自治体や電力会社が取るべき初動対応 として,インフラの被害情報を正確に把握すること が挙げられる.それに基づき適切な復旧見通しを行 うとともに,関係機関と協力して支援体制を構築す る必要がある.しかし,当事者が被災する状況では, 発災直後に被災状況を速やかに把握することは非常 に困難であり、過小に見積もった被害情報に基づい て復旧対応を行っているのが現状である。例えば、 先述の台風 15 号では、東京電力は大規模停電が発 生した9月9日には「2日以内に復旧する」と発表 したが、2日後の11日には「2週間以内におおむね 復旧する」と訂正した(日本経済新聞、2019年10月 9日朝刊).しかし、最終的に全面復旧したのは発生 から18日後の9月27日であった。復旧見通しが 徐々にずれ込んだ要因として、強風により電柱や鉄 塔などの電力設備が損傷したことに加え、倒木や土 砂崩れなどで調査員が現場に到達できず、被災状況 の全容を把握できなかったことが挙げられる。

頻発する災害による停電に対し,電力会社では早 期の停電復旧に向けた対策を検討している.具体的 には,2018年の台風21号により延べ220万軒が停 電した関西電力では,停電情報を収集するシステム の強化として,現地写真の撮影・アップロード・共 有,ドローンによる空撮などの情報収集網の整備を 検討している(関西電力,2018).しかし,現地での撮 影は災害現場近くに調査員や操縦者を派遣しなけれ

 * 正会員 大阪工業大学 工学部 (Osaka Institute of Technology) 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 E-mail:kenji.sugimoto@oit.ac.jp
** 非会員 岐阜大学 新学部設置準備室 (Gifu University)
*** 工会員 東京邦本古堂 建築邦本京斯 (A) (第2) (第4) (第4)

^{***} 正会員 東京都市大学 建築都市デザイン学部 (Tokyo City University)

ばならず,土砂災害によりアクセスが制限されてい たり,二次被害に巻き込まれたりする可能性もある. すなわち,早期復旧に向けた状況把握は,不確実性 や被災リスクを増大させることになる.また,電力 会社では,停電情報は契約者からの通知により調査・ 把握しているが,インフラ被害により通信が途絶し た状況では,そもそも停電情報を発信することはで きない.したがって,遠隔から受動的に停電状況を 把握する手法が求められている.

1.2. 既往研究

遠隔からの情報収集として、人工衛星による観測 がある.人工衛星の打ち上げ以降、全球を対象とし た観測データが蓄積され、時系列かつ高解像度の膨 大なデータが利用可能となっている.衛星観測デー タは電磁波により地表面の物理状況を直接観測して いるため、データ収集網の整備状況に依存せず、一 度に広範囲の情報を得ることができる.また、災害 によりアクセスが難しい地域であっても観測できる という特徴もある.

衛星観測データのなかでも、夜間における地表面 の光強度(輝度)を観測した夜間光データがある. Henderson et al. (2012)により、夜間光の輝度と経済活 動とは密接な関係があり、発展途上国の過大に計上 された GDP を補正するのに有効であることが示さ れている.また、杉本(2019)は、夜間光輝度を用いて 建築物面積の空間分布を推計するモデル構築を行う など、人間活動の時空間把握にも用いられている. 災害時の分析として、高島・林(2001)は地震被害地域 を、Miller et al. (2018)はハリケーン被害地域を対象 として、それぞれ夜間光を用いて長期の復旧状況の 把握を行っている.

以上のように、これまでのところ、夜間光を用い て停電が発生した地域や期間の特定を行っている既 往研究はない.その理由として、利用可能な夜間光 データが月や年単位に限られ、短期的な現象である 停電に適用することが難しかった.しかし、2019年 5月に、NASAにより日別の夜間光データ(VNP46A1) が公開され、停電把握を検討するための環境が整っ てきた. 1.3. 目的

以上のように、災害による停電地域の早期復旧に は、二次災害リスクを軽減するために、遠隔で受動 的に得られるデータを用いて停電情報を正確に把握 する必要がある.そこで、本研究では、人工衛星に より観測された夜間光を用いて、停電地域と期間を 特定する手法を構築することを目的とする.

2. 手法

2.1. 推計フロー

本研究において構築する,夜間光を用いた停電地 域及び期間の推計フローを図1に示す.まず,夜間 光データを用いて平常時及び災害時における輝度の 変化を算出する.次に,電力会社が公開している停 電情報を,国勢調査等の統計値の地域区分に合わせ て空間データに変換する.最後に,停電地域及び期 間の実測値として,夜間光に基づく推定結果と比較・ 検証を行う.

2.2. 夜間光データ

夜間光データとして、地球観測衛星 Suomi-NPP に 搭載された可視赤外放射計群 VIIRS(Visible Infrared Imager and Radio meter Suite)により観測された、夜間 における地表面の輝度を用いた. Suomi-NPP は、通 常であれば夜間に日本上空を2回飛来しており、地 表から発せられた光を観測している.本研究では、 VIIRS の観測データセットをもとに作成された 「VNP46A1(VIIRS/NPP Daily Gridded Day Night Band 500m Linear Lat Lon Grid Night)」を用いた. VNP46A1



図1 停電地域及び期間の推計フロー

は、空間解像度が15 arc-second (約 500m)と高解像度 であり、観測した翌日には NASA の HP において処 理後のデータが準リアルタイムで公開されている. したがって、高解像度かつ迅速に観測データを得ら れる特徴があり、発災直後における被災状況の把握 には有益である.

2.3. 停電情報

災害のみならず,落雷や電力施設の支障などによ り停電が発生した場合には,電力会社 HP において 停電地域や復旧時間が公開されている.分析対象と する台風15号の被災地域(千葉県)を管轄する東京電 力では,HP で直近90日間の停電情報が掲載されて いる.本研究では,2019年10月中旬時点でHP に アクセスし,アーカイブした停電情報をもとに,停 電地域及び期間の実データを作成した.

ただし, HP 上で公開されている停電情報は, 既存 の境界 GIS データと同じ地区区分とはなっていない ため,以下のような加工を行った.表1に, HP で公 開されている停電情報の例を示す.ここで,停電地 区は,電力施設の供給範囲の関係や,電力が重要イ ンフラであるため秘匿性があり,ある程度まとまっ た地区として,複数の町丁目が合計された軒数とな る場合がある.例えば,表1に示した例の場合,5つ の地区で約800 軒が停電したが,各地区における停 電軒数の内訳は不明である.そのため,停電軒数を, 国勢調査を用いて当該町丁目の世帯数により按分し て算出した.国勢調査(平成27年度)の世帯数及び境 界データは,総務省の e-stat を用いた.ただし,千葉 県では人口増加に伴い宅地開発により住所変更が多

公 序电用和07例		
項目	内容	
発生日時	2019/09/09 01:14	
復旧日時	2019/09/09 08:12	
停電地域	都道府県	神奈川県
	市町村	小田原市
	地区	飯泉
		鴨宮
		酒匂
		中里
		前川
停電軒数	約 800 軒	
停電理由	台風の影響	
更新日時	2019/09/10 18:10	

表1 停電情報の例

数行われている.中には、国勢調査時から住所変更 が行われている場合があり、それらは適宜修正した.

なお、停電理由として、台風による影響のほか、 設備トラブルや落雷、調査中、調査の結果特定でき ず、などが掲載されている.本研究で使用した停電 情報は、台風15号の上陸から1ヶ月後にアクセス して得たものを使用したが、それでも調査中のもの もある.あるいは、電力施設の故障など、直接的に は台風による影響であるとは限らない停電もデータ 作成の対象とした.これは、台風の影響によるか判 別が困難であり、や観光から得られる輝度の変化は、 停電した理由は無関係であるため、停電理由は考慮 しなかった.

3. 結果

3.1. 停電地域及び期間

図2に、台風上陸後の最も停電数の多かった9月 10日における、町丁目別の停電世帯数を示す.なお、 本研究により作成した停電軒数は、千葉県全体で 52.2万軒であるが、前述の世帯数による按分が含む 誤差や時刻が異なり、公表された数値(10日午前8時 に64万軒)とは乖離がある.図より台風による停電 は、野田市や我孫子市などの北西部を除く全県で発 生しており、とりわけ香取市や旭市といった北東部



図2 町丁目別の停電世帯数(9月10日)



(a) 9月10日



(b) 9 月 17 日

図3 町丁目別停電率の推移



(a) 9月10日

(b) 9月17日 図4 町丁目別夜間光輝度の推移

(c) 9月24日

(c) 9月24日

- 40 - 60 - 80

や,木更津市,君津市,鴨川市といった南部での停 電率が大きい.

また、図3に町丁目別の停電率の推移を示す.こ こで、停電率は、停電軒数を国勢調査による町丁目 の世帯数で除した割合である.停電軒数が最も多か った9月10日では、停電率が80%を超える地域が 多く見られたが、1週間後の17日時点では、旭市や 銚子市などで復旧したが、山間部や南部において停 電率は変化がない.さらに2週間後の24日でも、千 原市や富津市、君津市、南房総市において停電地域 が残っており、最終的には10月2日まで復旧しな かった.

3.2. 夜間光輝度の変化

町丁目別の夜間光は、ArcGIS の Spatial Analyst ツ ールのゾーン統計を用いて、町丁目ポリゴンに該当 する VNP46A1の輝度を平均化することで算出した. ただし、この処理により「飛び地」などの極端に面 積の小さい町丁目はゾーン統計において除外されて いる.

図4に、町丁目別の夜間光輝度の変化を示す.こ こで、図中では図3と同日の輝度を示しているが、 停電率の傾向とは異なり、必ずしも時間経過ととも に輝度が増加傾向にあるわけではない.その理由と して、本研究で用いた VNP46A1 が大気上(TOA; top of atmosphere)の輝度を計測しているため、地上から 発せられる定常光だけでなく、月の光を地表で反射 したものも含まれている.そのため、9月17日は満 月からやや欠けた状態(月齢 17.7)のため輝度が大き くなり、10日(月齢 10.7)や24日(月齢 24.7)は月によ る影響が小さくなったと考えられる.

3.3. 停電率と輝度の比較

町丁目単位で,停電率と夜間光輝度との比較を行った.図5に,3地区の町丁目別停電率と輝度の推移を示す.以下では,面積や世帯数,停電の程度が異なるいくつかの町丁目を取り上げて考察を行う.

(A) 野田市山崎 (世帯数: 8,659)

野田市山崎は、東武野田線沿線の地区で、面積が 広く、世帯数も多い. 台風 15 号では停電しなかった 地区であり、夜間光の輝度変化の傾向を示すため掲 載した. 輝度は 16 日まで増加し、それ以降は減少し ているが、23 日や 26 日のように気象条件によって は上下がみられる.

(B) 一宮町一宮 (世帯数: 2,205)

一宮町一宮は、九十九里浜の南部に位置し、地区 には沿岸部の市街地と山間部が含まれている.9月 10日に4割弱が停電となったが、翌日には復旧した. (A)と比較すると9月10日の延びがやや鈍いが、明 確な違いがわかるほどではない.その理由として、 隣接する船頭給や東野では停電が起きていないこと が推測される.すなわち、当該地区が停電していて も、光の特性により近接地域からの光も含めて観測 される可能性が考えられる.

(C) 南房総市富浦町福澤 (世帯数:87)

福澤地区は、館山市市街地に近い山間部の地区で ある.9月9日より停電が発生し、一時は全域が停 電した.9月19日以降も1割弱が停電したままであ り、完全復旧したのは10月1日であった.しかし、 輝度の変化は停電率とさほど連動しておらず、(B)の 一宮と同じような形状となっている.この地区も森 林部が多いことから、建物の停電が復旧したとして も輝度が大きく影響しなかったことで、明確な変化 が見られなかったと考えられる.



図5 停電率と輝度の推移

以上から,市街地など建物が多く立地している場 所では,停電復旧により輝度が大きく変化し,復旧 がある程度把握可能であると考えられる.その一方 で,山間部など非居住地が多い地区では,復旧によ る輝度変化への寄与が小さく,判別が難しくなる. 加えて,気象条件により輝度が変化することもあり, 数日間の推移を見ながら特定する必要がある.

3.4. 制約·誤差要因

本研究での推計結果には,以下のような制約や誤 差が含まれている.1 点目は,公開されている停電 情報によるものである.停電情報は複数の町丁目が 含まれる地区ごとに集計された軒数となっている. 本研究では,町丁目の世帯数により按分したが,実 際には世帯の多寡に依存していないと考えられる. 電力は生活に欠かせない重要インフラであり,安全・ 防犯において問題になるため,空間詳細な軒数は公 開されない可能性が高いため,情報を地図化する際 の誤差は解消が難しい.

2点目は、夜間光データである. VNP46A1 はデー タ生成において雲率や大気中のエアロゾルによる影響を考慮した日別の夜間光データではあるが、月齢 や雲による影響を受けやすい. NOAA ではこれらの 影響を加味した(Roman et al., 2018),新たなデータセ ット VNP46A2 を公開し始めたが、現時点(2020 年 8 月)では 2012~2015 年までしか利用可能とはなって いない. 処理が進めば VNP46A1 と同様にリアルタ イムで利用できることから、こちらのデータを用い た場合も考慮する必要がある.

3 点目に、町丁目の大きさに関する制約である. 夜間光の解像度により、極端に小さい地区ではソフ トウェアの制約によりゾーン集計を行うことができ ない.あるいは、地区と重なる夜間光データが少な ければ、推定におけるサンプル数が少なくなり、誤 差を生みやすくなる.特に、光の特性から周辺地域 の影響を受けやすいと考えられる.今後は、これら の地区の面積を考慮した検討が必要である.

4. おわりに

本研究では、人工衛星により観測された夜間光を 用いて、停電地域と期間を特定する手法を構築する ことを目的に、2019年台風15号で大規模停電が発 生した千葉県を対象に検証を行った。今後の課題と して、地震などの災害や、covid-19による自粛要請 など人為的要因により、停電あるいは経済活動が停 止したケースを対象に検討することが挙げられる。

謝辞

本研究は,日本学術振興会科学研究費助成事業 基盤 研究(C) (19K12434)の助成を受けて実施された.

参考文献

- 関西電力 (2018) 台風 21 号対応検証委員会報告.
- 杉本賢二 (2019) 「衛星夜間光データを用いた建物 延床面積の推計」中山裕則,杉村俊郎監修『リモー トセンシングの応用・解析技術』NTS 出版,371-378.
- 総務省 (2019) 令和元年台風第15号による被害状況 等について(第37報).
- 総務省,政府統計の総合窓口 (e-stat), https://www.estat.go.jp
- 高島正典・林春男 (2001) 地震被害ポテンシャル推 定のための DMSP 夜間可視画像を用いた都市光分 布の測定論モデル作成手法の提案,地域安全学会 論文集, 3, 101-108.
- 東京電力,停電履歴情報,https://teideninfo.tepco.co.jp /day/teiden/index-j.html
- Henderson, J. V., A. Storeygard and D. N. Weil (2012) Measuring economic growth from outer space. *American Economic Review*, **102**(2), 994-1028.
- Miller, S. D., W. Straka, J. Yue and C. J. Seaman (2018) The dark side of Hurricane Matthew: unique perspectives from the VIIRS day/night band. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **99**(12), 2561-2574.
- NASA, LAADS DAAC, https://ladsweb.modaps.eosdis. nasa.gov
- Roman M.O., et al. (2018) NASA's Black Marble nighttime lights product suite. *Remote Sensing of Environment*, **210**(1), 113-143.