

## 電力供給リスク低減効果を考慮した分散型電源導入への自然災害の影響評価

中央大学 学生会員 ○佐貫 亮太  
中央大学 正会員 佐藤 尚次

## 1. はじめに

2050年に向け大量導入が見込まれる再生可能エネルギーには、分散型電源に適しているといった特徴がある。我が国は災害大国であり、自然災害による電力設備の被害事例が多くある。分散型電源は地域規模で電力を供給するため、火力発電などの大規模電源の事故による電力供給リスクを低減できると考えられる。

自然災害には様々あり、発電方式によってもそれぞれの災害に対する脆弱性が異なる。そこで本研究では、ベストミックスを構築するための脆弱性分析を災害ごと、発電方式ごとに行い、その結果を用いて災害時の電力リスクをモンテカルロシミュレーションを用いて算出することを目的とする。

## 2. 研究の対象

## 2.1 対象とする自然災害

本研究にて対象とする自然災害は、地震、台風、落雷とする。2011年の東日本大震災<sup>1)</sup>、2018年の北海道地震<sup>2)</sup>のように、地震は発生頻度が低いが、大規模電源に被害をもたらし、広域に影響を及ぼす可能性がある。台風や落雷は、頻度が比較的高く、送変電設備に被害を及ぼし、停電に至るケースが多い。

## 2.2 対象とする再生可能エネルギー

本研究で分散型電源として考える再生可能エネルギーは、太陽光と風力とする。どちらも場所を限らず、分散型電源に適していると考えられるため、対象とした。また、2種類の電源を導入することにより、災害発生時に分散型電源が同時に被害を受ける確率を軽減できると期待できる。

## 3. 研究手法

本研究ではまず、過去の対象とした災害の事例を調べ、比較的被害事例の多い電力系統設備について、災害強さと被害の有無から被害率曲線を作成する。次に、被害があった設備について停止期間を調べ、停止期間にばらつきのあるものに関して、運転再開までにかかった日数を関数として算出する。

## 4. 被害率曲線の作成

過去の災害発生事例から、設備の被害率曲線を作成した。ここでは、災害による運転停止など電力供給に支障があったものを被害ありとする。設備の被害率は対数正規分布に従うと仮定し、被害率曲線は、最尤法を用いてパラメーターを推定する湯山らの方法<sup>3)</sup>を参考に作成した。災害強さが $x_i$ のときに、設備が被害を生じる確率 $P_1(x_i)$ は、式(1)で表される。

$$P_1(x_i) = \int_0^{x_i} f(x) dx \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2)$$

また、設備に被害が生じない確率 $P_0(x_i)$ は、

表-1 パラメーター推定結果

地震	$\mu$	$\sigma$	強風	$\mu$	$\sigma$
火力	1.71	0.099	送電	13.55	3.26
水力	2.09	0.26	太陽光	4.32	0.82
送電	2.29	0.19	風力	5.1	0.81
変電	2.26	0.24	大雨	$\mu$	$\sigma$
太陽光	2.22	0.24	水力	4.27	0.92
			変電	4.86	0.43
			太陽光	8.49	2.32

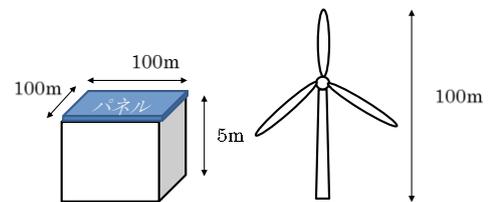


図-1 太陽光発電と風力発電のサイズ

$$P_0(x_i) = 1 - P_1(x_i) \quad (3)$$

ここから、尤度関数は、式(1)と(3)を用いて、次のように表される。

$$L(\mu, \sigma) = \prod_{i=1}^N P_0(x_i)^{\delta_{i0}} P_1(x_i)^{\delta_{i1}} \quad (4)$$

ただし、被害ありのとき $\delta_{i0} = 0, \delta_{i1} = 1$ であり、被害なしのとき $\delta_{i0} = 1, \delta_{i1} = 0$ である。また、 $N$ はサンプル数を表す。

この尤度関数の対数値が最大となるように式(2)のパラメーター $\mu$ と $\sigma$ を推定する。

被害率曲線を作成した項目は、地震、台風における強風と大雨である。過去の災害には地震は2011年東日本大震災や2018年北海道地震などを調べた。なお、東日本大震災に関しては津波による被害を除いて集計した。強風は2019年台風15号や2018年台風21号などを調べ、大雨の事例として2018年7月豪雨も参照した。

災害強さを表す指標は地震では計測震度、強風では最大風速、浸水では1時間降水量の最大値とした。

なお変電所については、地震に対しては変圧器の被害、大雨に対しては変電所が全停止する確率を求める。

以上のことから、推定した電力系統設備とパラメーターを表-1に示す。

## 5. 落雷による被害

落雷の被害を考える電力設備は、太陽光発電、風力発電とする。落雷による年間設備被害回数 $N$ (回)を、式(5)に表す。

$$N = N_g A P \quad (5)$$

ここで、 $N_g$ (回/年 $\cdot$ km<sup>2</sup>)は大地雷撃密度、 $A$ (km<sup>2</sup>)は設備の等価受雷面積、 $P$ は設備の落雷被害確率を表す。

等価受雷面積は、構造物の形状によって決まる落雷の収容面積のことである。落雷被害確率は日本工業規

格で定められる保護レベルに基づいて求める。保護レベルは構造物を落雷から保護する確率を示す保護効率に応じて分類されており、発電所は保護効率 98%の保護レベルIが推奨されているため、落雷被害確率は 2%とする。

年間雷雨日数 20 日、発電容量が近い値である図-1 に示す太陽光発電と風力発電の等価受雷面積と年間設備被害回数を表-2 に示す。

## 6. 電力設備の停止期間の検討

本節では、電力設備の運転停止期間を復旧関数として求めていく。発電所の停止期間を  $T$  とし、 $T$  がある時点  $t$  以下となる確率、つまり時点  $t$  における運転開始確率を  $F(t)$  とすると、 $F(t)$  は式(6)で表される。

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx \quad (6)$$

$f(x)$  によく使われる確率分布には、指数分布、ワイブル分布、対数正規分布がある。過去の電力設備の停止期間の実績から、最尤法を用いてこれら 3 つの分布へあてはめを行い、AIC を用いてそれぞれ適合度を比較し、最も適合度の高い確率分布を  $f(x)$  とする。

なお、災害の強さによって停止期間が変化することも考えられるが、ここでは簡単のため、災害強さにかかわらず被害を受けた設備はこの確率分布に従うものとする。また送電設備については、地震と強風による被害から復旧までの流れが似ているため、同一の関数とした。

表-3 に各災害、設備の停止期間について、適合度の高かった確率分布とパラメーターを示す。なお、これらの結果を図示したものは発表当日にお示しする予定である。

## 7. 仮定の災害の設定

本節では、シミュレーションで使用するための仮定の災害特性を設定する。地震については地震ハザードステーションの地震動予測地図<sup>5)</sup>、大雨については土木学会が定める確率降雨量マップ<sup>6)</sup>を参考にする。強風については気象庁ベストトラックデータを元に強風の各種パラメーターを推定した。ここではその推定方法と算出した数値を示す。

### 7.1 対象地域

シミュレーションの対象とする地域は東北地方とする。東北地方は電力系統が広大で、需要家まで長距離送電となっている地域が多く存在するため、自然災害による電力リスクが大きいと考えられる。さらに、太陽光、風力共に導入ポテンシャルが高いため対象地域とした。

### 7.2 仮想台風のパラメーター推定

仮想台風のパラメーターは、気象庁ベストトラックデータをもとに推定した。仮想台風の特性として、中心気圧深度、最大風速半径、進行速度、進行方向を考え、これらが対数正規分布に従うものとしてパラメーターを推定した。最大風速半径  $r_m$  (km) は式(7)に示す河合らの提案式<sup>7)</sup>により算出した。

$$r_m = 94.89 \exp\left(\frac{p_c - 967}{61.5}\right) \quad (7)$$

ここで、 $p_c$  (hPa) は台風の中心気圧を表す。推定に使用したデータは、ベストトラックデータから東北地方に接近したものを抽出した。また、進行速度や進行方向

表-2 等価受雷面積と年間落雷被害回数

	等価受雷面積(km <sup>2</sup> )	年間落雷被害回数(回)
太陽光発電	0.017	$6.68 \times 10^{-5}$
風力発電	0.28	$1.13 \times 10^{-3}$

表-3 停止日数の確率分布とパラメーター

災害	設備	確率分布	パラメーター	
			$\mu$	$\sigma$
地震	火力	対数正規	$\mu = 1.83$	$\sigma = 1.86$
	水力	指数	$\lambda = 0.0054$	
	送電	指数	$\lambda = 0.014$	
強風	風力	指数	$\lambda = 0.0045$	
浸水	水力	指数	$\lambda = 0.0019$	
落雷	風力	対数正規	$\mu = 3.19$	$\sigma = 1.20$

表-4 仮想台風のパラメーター

	$\mu$		$\sigma$			
	陸地		太平洋		日本海	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
中心気圧深度(hPa)	3.4		0.34			
最大風速半径(km)	4.79		0.17			
進行速度(km/h)	3.93	0.41	3.94	0.42	3.92	0.34
進行方向(西を基準)	4.84	0.22	4.84	0.16	4.83	0.2

は陸地と海で異なると考えられるため、区別して推定した。さらに、接近位置が太平洋か日本海かによっても区別した。

表-4 に推定したパラメーターの一覧を示す。なお、この仮想台風がもたらす電力リスクについては発表にて示す予定である。

## 8. おわりに

過去の災害事例と電力系統設備の被害状況から、最尤法を用いて設備の被害率曲線を推計し、被害を受けた際の停止期間についての確率分布に当てはめ、関数として算出した。さらに、シミュレーションのための仮定の災害として台風のパラメーターを推定した。

今後は、これらの電力設備の自然災害に対する被害率等のデータや仮想台風を用いて、電力系統の災害発生時における供給不能電力量などの信頼性指標を算出し、分散型電源を導入することによる電力供給リスクを求めることを目標とする。

## 参考文献・出典

- 1) 土木学会エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会 報告書 (最終報告) 東日本大震災におけるエネルギー施設 (火力・水力・送変配電・ガス) の被害状況と今後への展開について
- 2) 電力広域的運営推進機関 平成 30 年度北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証院解最終報告
- 3) 湯山安由美, 梶谷義雄 2011 年東日本大震災のデータに基づく火力発電所の被害・復旧関数の推計 土木学会論文集 A1, Vol. 70, No.4, I\_664-I677, 2014
- 5) J-SHIS 地震ハザードステーション J-SHIS Map
- 6) 土木学会 2016 年制定 土木構造物共通示方書 性能・作用編
- 7) 河合弘泰, 本多和彦, 富田孝史, 柿沼太郎 2004 年に発生した台風の特徴と高潮の予測・再現計算