

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 年に向け導入が進む再生可能エネルギーは分散型電源に適していると考えられている。我が国は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、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。

しかし自然災害には様々あり、設備や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ため、分散型電源の導入による電力リスク低減効果を知るのは容易ではない。そこで本研究では、自然災害発生時の電力リスクを算出するために、災害ごと、電力設備ごとに脆弱性分析を行い、設備によって異なる災害耐性を明らかに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。台風は風と雨による影響をそれぞれ考える。

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ため対象とした。

3. 研究方法

地震と台風による被害は過去の災害事例を調べ、被害事例の多い電力設備について、災害強さと被害の有無から被害率曲線を作成する。落雷については発生頻度を設定して太陽光発電と風力発電で被害確率を比較した。次に、被害があった設備について停止期間を調べ、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¹⁾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、

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

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

表-1 パラメーター推定結果

地震	μ	σ	強風	μ	σ
火力	1.71	0.099	送電	8.38	1.46
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	μ	σ
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

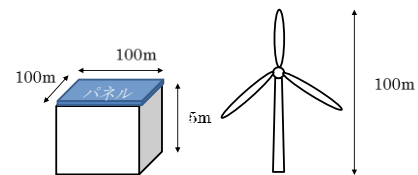


図-1 太陽光発電と風力発電のサイズ

表-2 等価受雷面積と年間落雷被害回数

	等価受雷面積(km ²)	年間被害回数(回)
太陽光	0.017	1.13×10^{-3}
風力	0.28	6.68×10^{-5}

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 μ と σ を推定する。

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。

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、風力発電である。落雷による年間設備被害回数 N (回)を、式(5)に表す。

$$N = N_g AP \quad (5)$$

ここで、 N_g (回/年・km²)は大地雷撃密度、 A (km²)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に区分されているため、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

電力設備の停止日数を関数として推定する。停止した設備の時点 t における運転開始確率 $F(t)$ は式(6)で表される。

キーワード 地震、台風、落雷、分散型電源、電力設備被害率、運転停止期間推定

連絡先 〒東京都文京区春日 1-13-27 TEL: 03-3817-1816 E-mail: a17.tc5b@g.chuo-u.ac.jp

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

$f(x)$ は指数分布, ワイブル分布, 対数正規分布のいずれかとする. 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の分布へあてはめ, AIC を用いて適合度を比較し, 最も適合度の高い確率分布を $f(x)$ とする.

なお, 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.

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	
地震	火力	対数正規	$\mu=1.83$	$\sigma=1.86$
	水力	指数	$\mu=0.0054$	
強風	送電	指数	$\mu=0.0014$	
	風力	指数	$\mu=0.0045$	
大雨	水力	指数	$\mu=0.0019$	
落雷	風力	対数正規	$\mu=3.19$	$\sigma=1.20$

7. 仮想災害による被害の試算

本節では仮想の災害特性を設定し, それを用いてシミュレーションした結果を示す. 仮想の台風のパラメーターを推定し, 台風の強風による被害について実系統にてシミュレーションを行った.

7.1 対象地域

シミュレーションの対象地域は東北地方とした. 東北地方は電力系統が広大で, 需要家まで長距離送電する地域が多いため, 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に選定した.

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から東北地方に接近した台風を抽出し, これをもとに推定した. 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, これらに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. 台風の接近確率は, ポアソン分布に従うものとして月ごとに推定した.

これらのパラメーターを持つ仮想台風を発生させ, 各電力設備立地地点の最大風速を計算し, これを被害率曲線に代入することで被害率を算出する. 最大風速 V_m (m/s)は以下の式で計算する²⁾³⁾.

$$V_m = 0.9G(x)V_{gr} \quad (7)$$

$$G(x) = G(\infty) + [G(x_p) - G(\infty)] \left(\frac{x}{x_p}\right)^{k-1} \times \exp \left[\left(1 - \frac{1}{k}\right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{x_p}\right)^k \right\} \right] \quad (8)$$

$$\frac{V_{gr}}{r} (V_{gr} - C \sin \theta + f) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (9)$$

ここで, V_{gr} (m/s)は傾度風速, $G(x)$ は台風の最大風速半径に対する中心からの距離の比である x における傾度風速と地表風速の比を表す. $G(\infty)$ は台風周辺での風速比で陸地では0.5である. x_p は $G(x)$ が最大となる x で, ここでは0.5としている. k は形状を表すパラメーターで, ここでは2.5とした. さらに r (m)は台風中心からの距離, C (m/s)は台風の進行速度, f はコリオリパラメーター, ρ は空気の密度, $\frac{\partial p}{\partial r}$ は気圧勾配を表す.

7.3 仮想台風による被害のシミュレーション結果

推定したパラメーターをもとに仮想台風を発生させ, 東北地方の実系統での被害をシミュレーションした. 対象の設備は基幹系統の送電鉄塔とし, 1年間のシミュレーションを1000回行った. 結果を図-2に示す. 被害回数の多い送電線は比較的太平洋側に偏っていた. 特

表-4 仮想台風のパラメーター

対数正規分布	μ		σ			
中心気圧深度(hPa)	2.9		0.51			
最大風速半径(km)	4.79		0.17			
対数正規分布	陸地		太平洋		日本海	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
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

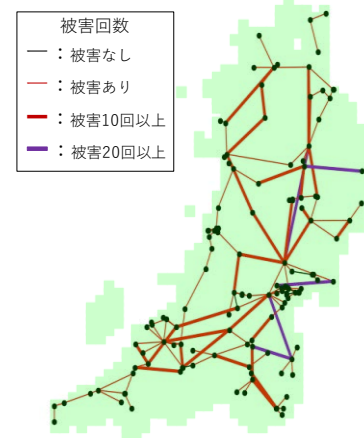


図-2 仮想台風による送電設備被害の試算結果(東北地方)

に宮古市付近へ向かう送電線は被害確率が高いうえにこの1本しかなく, 台風による電力リスクが高い地域になることが予想できる.

8. おわりに

本稿では, 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作成した. また, 被害を受けた際の停止日数を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想の災害として台風のパラメーターを推定し, 仮想台風による送電設備の被害を試算した.

今後は, 地震や大雨などでも同様に被害の試算を行い, 電力リスクを算出する. さらに, 電力リスクの高い地域にて分散型電源を導入することによるリスク低減効果を求めることを目標とする.

参考文献・出典

- 1) 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 664-1677, 2014
- 2) 藤井健, 光田寧 台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレーション 京都大学防災研究所年報 第29号 B-1 昭和61年4月
- 3) 光田寧 台風による風災害の予測について 京都大学防災研究所年報 第40号 A 平成9年4月