

# 電力供給リスク低減効果を考慮した分散型電源導入量の最適化

佐貫亮太\* 佐藤尚次\*\*

## Optimizing the Amount of Distributed Power Sources to be Introduced Considering the Power Supply Risk Reduction Effect

by

Ryota SANUKI\* and Naotsugu SATO\*\*

Renewable energy, which has been increasingly introduced in recent years, not only emits less carbon dioxide, but can also be expected to have the effect of reducing the risk of power supply in the event of a natural disaster as a distributed power source. In this study, after estimating the damage probability of power facilities in the event of a natural disaster, a simulation of the power supply risk in the event of a disaster was performed for the power system in the Tohoku region. As a result of the simulation, the risk for Miyako City in Iwate Prefecture was high, so we assumed that Miyako City would introduce solar power generation and wind power generation as renewable energy, and calculated the risk reduction effect according to the amount of introduction. In addition to the risk reduction effect, we also considered the cost of introducing power sources, conducted an economic evaluation, and calculated the optimal amount of renewable energy to be introduced. As a result of the calculation, the economic evaluation was the highest when 70 MW of solar power generation and 20 MW of wind power generation were introduced.

**Key Words** : Power system, Distributed power supply, Fragility curve, Power risk, Economic evaluation

### 1 序論

重要な環境問題の1つである、地球温暖化の主な要因に温室効果ガスの排出が挙げられるが、そのうちエネルギー起源の二酸化炭素の排出量は9割を占める。現在我が国の電源構成比率の7割以上を火力発電所が担っているが、二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーを利用した発電が注目され、導入が進んでいる。

再生可能エネルギーは分散型電源に適しているといった特徴もある。我が国は災害大国であり、地震や台風による建造物の被害が相次いでいる。電力系統設備も例外ではなく、被害を受けると我々の生活に必要な電気の供給不足に陥ってしまう。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、原子力発電所や火力発電所などの大規模電源が被害を受け停止したことにより、広い範囲で停電が発生した。

このことから、大規模電源は、広範囲に電力を供給できる一方で、事故で停止した際の影響も大きくなるといった脆弱性を持っていることが分かる。分散型電源は小規模ながらも地域規模で電力を供給するため、大規模電源が事故を受け停止した際も電力系統からの電力不足を緩和することができると考えられている。

### 2 研究目的

本研究の目的は大きく分けて3つある。まずは地域ご

とに自然災害発生時の電力リスクの大きさを調べることで、次に再生可能エネルギーの導入による電力リスク低減効果を推定すること、最後に分散型電源として最適な再生可能エネルギー導入量を導出することである。

電力リスクの算出に当たり、災害発生時における電力系統設備の故障のしやすさを、災害の種類、設備の種類に応じ、脆弱性分析を行う。また再生可能エネルギーによる電力リスク低減効果の推定では、電源の導入量の変化とともにリスク低減効果がどのように変化するかを求めていく。さらに最適な再生可能エネルギー導入量の導出では、リスク低減効果に加え、経済性も考慮した上で最適導入量を決定する。

以上をふまえ、本研究の流れを Fig.1 に示す。

### 3 研究対象

本研究で電力リスクを引き起こす災害として、地震、台風、落雷を対象として考える。地震は、発生頻度は低いものの、2011年の東北地方太平洋沖地震や2018年の北海道胆振東部地震のように、大規模電源に被害をもたらす、広域に影響を及ぼす可能性がある。台風や落雷は比較的頻度が高く、送変電設備などに大きな影響を与える。

+ 原稿採択 2023年6月20日 Accepted

\* 中央大学大学院理工学研究科都市人間環境学専攻 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27  
Dept. of Urban Human Environment, Chuo Univ., 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo

\*\* 中央大学理工学部都市環境学科 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27  
Dept. of Urban Environment, Chuo Univ., 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo

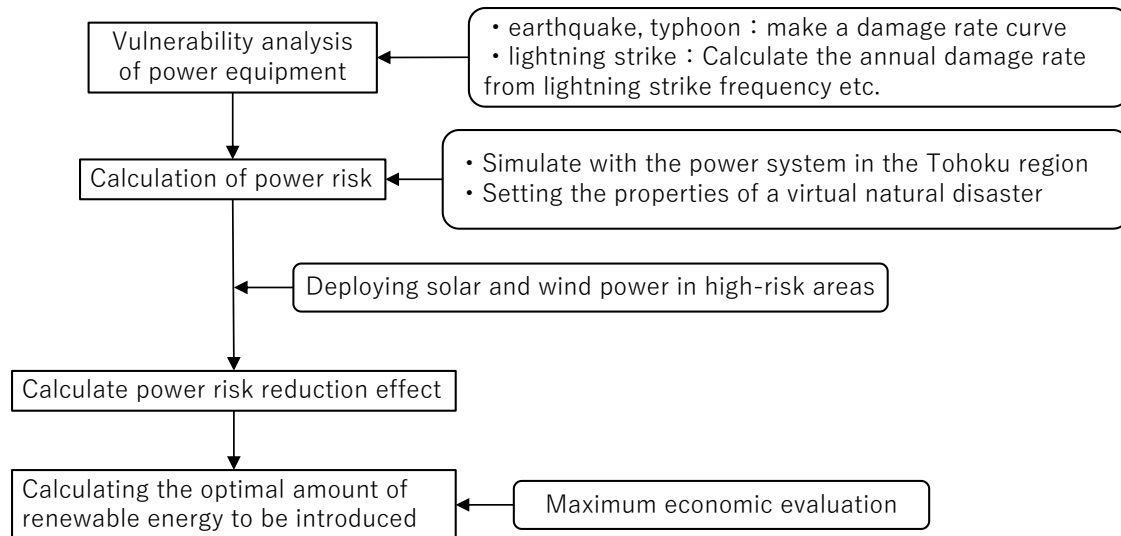


Fig.1 Research flow.

なお、本研究では地震により発生する津波の影響は考えないものとして被害率を算出した。また、台風に関しては、強風と大雨の2つの被害を考えた。

分散型電源として導入を想定する再生可能エネルギーは事業用太陽光発電と陸上風力発電の2種類とする。どちらの電源もカーボンニュートラルの達成に向けてさらなる導入量が望まれるほか、日射や風をエネルギー源とするため様々な地域で導入が可能であることから対象とした。

#### 4 電力設備の脆弱性分析

自然災害、電力設備ごとに脆弱性分析を行う。いずれの災害も過去の被害事例が多い設備について分析を行った。地震と台風の強風・大雨については過去に発生した災害時における災害強さや被害のデータをもとに被害率曲線を作成した。落雷については被害率曲線を作成せず、落雷頻度などから年間被害確率を計算する。また、災害の影響で設備が停止する期間を確率分布に従う関数として推定する。

##### 4.1 地震・台風の被害

地震と台風に関しては過去の災害における災害強さ、設備の被害状況を考慮して被害率曲線を作成した。ここでは、災害の影響で設備が運転停止したものを被害ありとする。

被害率曲線は対数正規分布に従うものと仮定した。作成方法としては、最尤法を用いて対数正規分布のパラメーターを推定し、被害率曲線を決定する湯山らの方法を参考にした。

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。

災害強さの指標は地震では計測震度、強風では10分間平均風速の日最大値、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Table 1に、被害率曲線をFig.2に示す。

##### 4.2 落雷の被害

落雷の被害を考えるのは送電鉄塔と風力発電である。本研究では、直撃雷の被害のみを対象とする。設備の落雷に対する被害確率を次のように定義する<sup>2)</sup>。

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

ここで $N$ (回)は年間設備被害回数、 $N_g$ (回/年・ $\text{km}^2$ )は大地雷撃密度、 $A$ ( $\text{km}^2$ )は設備の等価受雷面積、 $P$ は設備の落雷被害確率である。大地雷撃密度とは、年間の $1\text{km}^2$ あたりの落雷数を指し、次の式で表す。

$$N_g = 0.1 \times IKL \quad (6)$$

ここで、 $IKL$ は年間雷雨日数を表す。

等価受雷面積は、対象構造物の落雷収容領域のことを指し、Fig.3のような構造物の場合次の式で表される。

$$A = L \times W + 6H(L + W) + 9\pi H^2 \quad (7)$$

今回対象とする送電鉄塔及び風力発電は、構造物高さに比べ面積が小さいため、以下の式で定義する。

Table I Parameter estimation result.

earthquake	$\mu$	$\sigma$	strong wind	$\mu$	$\sigma$
thermal power plant	1.71	0.099	transmission tower	8.38	1.46
hydroelectric power plant	2.09	0.26	solar power station	4.32	0.82
transmission tower	2.29	0.19	windmill	5.1	0.81
substation	2.26	0.24	heavy rain	$\mu$	$\sigma$
solar power station	2.22	0.24	hydroelectric power plant	4.27	0.92
			substation	4.86	0.43
			solar power station	8.49	2.32

Table II Equipment protection level.

protection level	protection efficiency(%)
I	98
II	95
III	90
IV	80

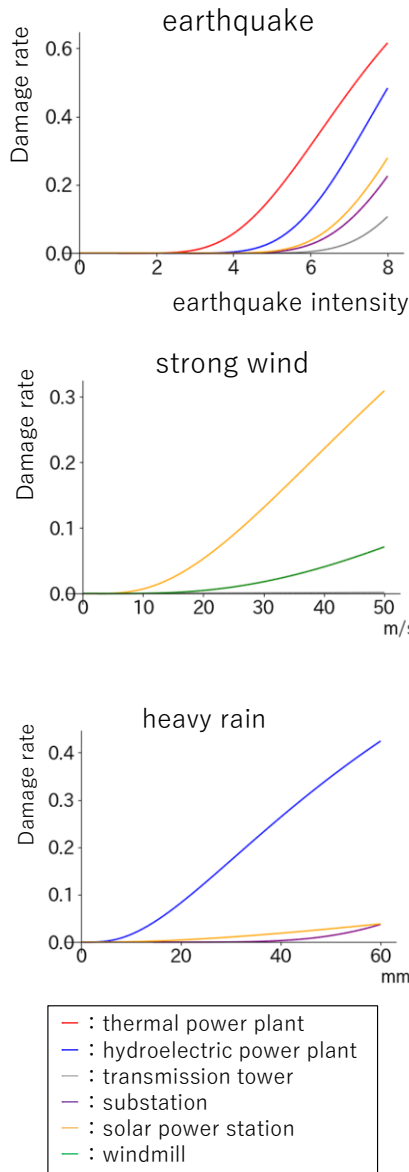


Fig.2 Damage rate curve.

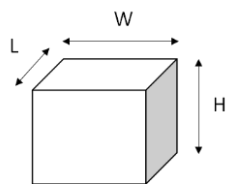


Fig.3 Structure example.

$$A = 9\pi H^2 \quad (8)$$

本研究では、送電鉄塔、風力発電風車の高さはともに70mとして計算を行った。落雷被害確率は送電鉄塔と風力発電で異なる方法を用いて求める。送電鉄塔の落雷事故確率は送電線耐雷設計ガイド<sup>3)</sup>による過去の落雷供給支障確率の実績値を用いる。送電線の落雷供給支障確率は電圧ごとに統計データがまとめられており、500kVでは0.2%、275kVでは1.3%、154kVでは4.7%である。等価受雷面積内に落雷があった場合、この確率で故障が生じるものとした。風力発電の落雷被害確率は雷保護システムが雷の影響から構造物を保護する確率を示す保護効率(保護レベル)に応じて日本工業規格でTable IIのように分類されている。発電所は保護レベルIが推奨されているため、本研究では風力発電が被雷した場合の被害確率を2%とする。

### 4.3 停止期間の推定

設備の復旧にかかる日数を確率分布に従う関数として算出する。過去の停止日数のデータがあり、比較的停止期間のばらつきが大きかった設備を対象とした。

関数の推定には生存時間解析の考え方を用いる。電力設備の停止期間をTが、ある時点t以下となる確率、つまりある時点tにおける運転再開確率を $F(t)$ とすると、次の式で表される<sup>1)</sup>。

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad (9)$$

確率分布 $f(x)$ は生存時間解析のパラメトリック・モデルとしてよく用いられる指数分布、ワイブル分布、対数正規分布を考える。それぞれの分布形を以下に示す。

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (10)$$

$$f(x) = \lambda p(\lambda x)^{p-1} e^{-(\lambda x)^p} \quad (11)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (12)$$

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つの分布への当てはめを行い、それぞれの適合度を比較し、最も適合度の高い確率分布を $f(x)$ として関数を算出する。適合度の比較にはAICを用いる。

$$AIC = -2\ln L + 2m \quad (13)$$

Table III Probability distribution followed by downtime days.

disaster	equipment	probability distribution	parameter	
earthquake	thermal power plant	lognormal distribution	$\mu=1.83$	$\sigma=1.86$
	hydroelectric power plant	exponential distribution	$\mu=0.0054$	
strong wind	windmill	exponential distribution	$\mu=0.0045$	
heavy rain	hydroelectric power plant	exponential distribution	$\mu=0.0019$	
lightning strike	windmill	lognormal distribution	$\mu=3.19$	$\sigma=1.20$

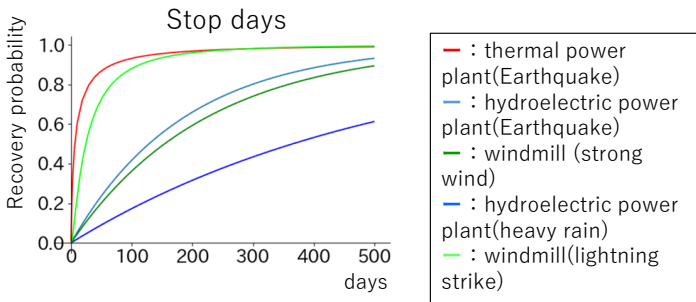


Fig.4 Number of days that power equipment is out of service.

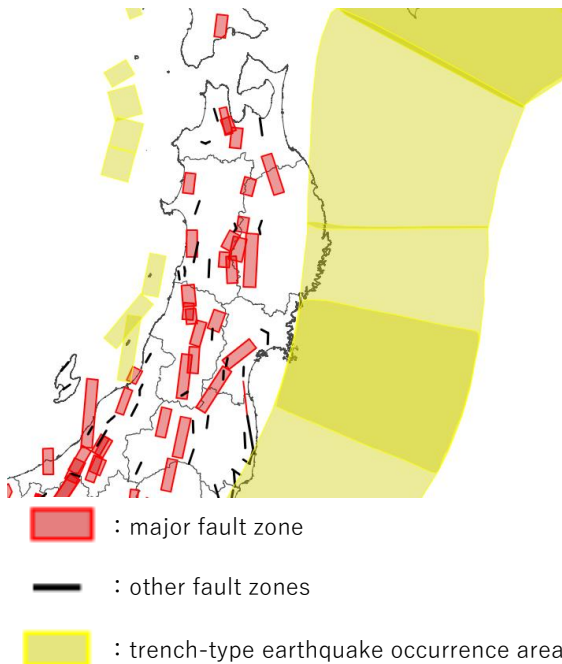


Fig.5 Assumed earthquake used in the simulation.

ただし  $L$  は最大対数尤度,  $m$  はパラメーター数を示し, このAICが小さいほど確率分布の適合度は高い.

Table III 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し, Fig.4 に停止日数の期待値の関数を示す.

### 5 仮想災害による電力リスクの算出

電力設備の脆弱性分析を行った結果得られた被害率を利用して, 実際の電力系統に自然災害が発生した際の設備の故障をシミュレーションし, 電力供給リスクを算出する. 系統に発生させる自然災害は過去の事例などが

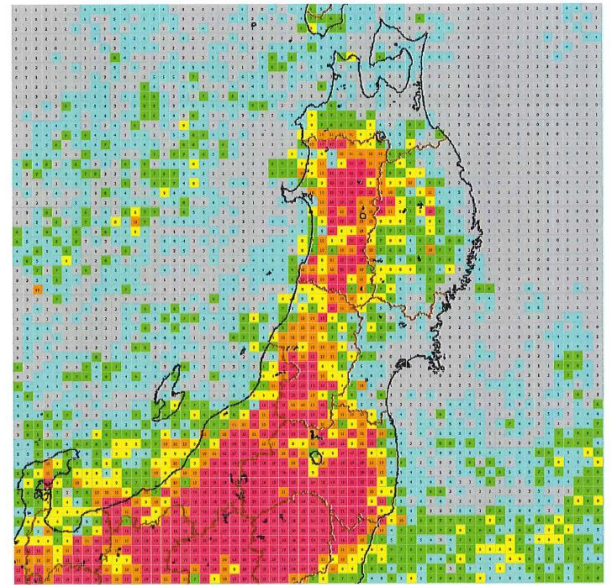


Fig.6 2021 lightning strike days map (summer).

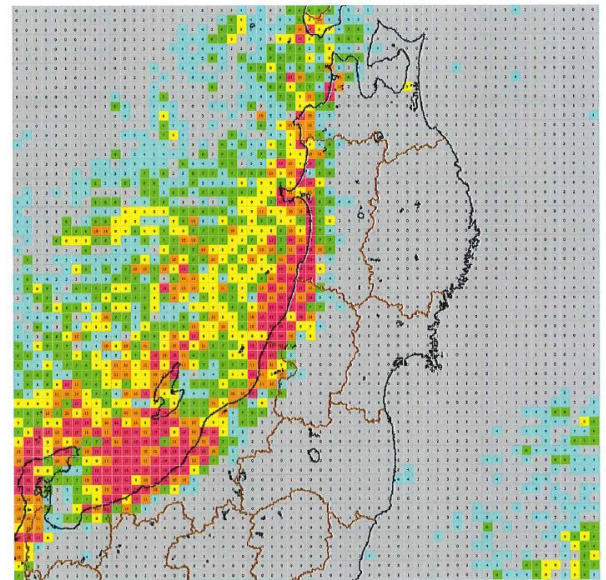


Fig.7 2021 lightning strike days map (winter).

ら発生頻度や災害強さを確率的に求める. シミュレーションでは災害強さを決定した後, 被害率曲線等に代入し, 被害率を算出する. 被害率に応じて設備の被害を反映させ, それにより電力供給支障が発生した場合, 電力リスクとして計算する.

対象地域である東北電力株式会社の電力基幹系統にてモンテカルロ法によりシミュレーションを行う.

#### 5.1 仮想の自然災害の設定

シミュレーションに用いる仮想の自然災害について,

発生頻度や災害強さの特性を求める。災害強さは東北地方を10kmメッシュに分けて、メッシュごとに求めた。なお以下の記述においてハザードは年超過確率で定義している。

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>4)</sup>から、想定地震の発生確率と各メッシュの想定震度のデータを使用した。想定地震をFig.5に示す。

落雷はFig.6, 7に示す2021年度落雷日数マップ<sup>5)</sup>から、各メッシュの大地雷撃密度を夏季・冬季ごとに求めた。なお、夏季は4~9月、冬季は10~3月である。

仮想の台風については、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、これをもとに台風の特性を決定するための式を作成した。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、最尤法を用いて各分布のパラメーターを推定した。結果をTable IVに示す。また、台風の発生確率は、ポアソン分布に従うものとして月ごとに算出した。

台風発生時の各地点の最大風速 $V_m$ (m/s)は以下の式で計算する<sup>6)</sup>。

$$V_m = 0.9G(x)V_{gr} \quad (14)$$

$$G(x) = G(\infty) + [G(x_p) - G(\infty)] \left( \frac{x}{x_p} \right)^{k-1} \times \exp \left[ \left( 1 - \frac{1}{k} \right) \left\{ 1 - \left( \frac{x}{x_p} \right)^k \right\} \right] \quad (15)$$

$$\frac{V_{gr}}{r} (V_{gr} - C \sin \theta + f) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (16)$$

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、 $\rho$ は空気の密度、 $\frac{\partial p}{\partial r}$ は気圧勾配を表す。

仮想台風による雨は、気象庁の過去の台風発生時の雨量データから、東北地方の複数の観測所を選出し、それぞれにおける過去の台風時の1時間当りの降雨量の最大値を調べ、Gumbel分布、一般化極値分布(GEV)に当てはめを行ってSLSC<sup>8)</sup>が小さい分布に従うものとした。Gumbel分布、GEV、一般化極値分布、SLSCはそれぞれ以下の式で表される。

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp \left\{ - \left( \frac{x-c}{a} \right) \right\} \times \exp \left[ - \exp \left\{ - \left( \frac{x-c}{a} \right) \right\} \right] \quad (17)$$

$$f(x) = \frac{1}{a} \left( 1 - k \frac{x-c}{a} \right)^{\frac{1}{k}-1} \times \exp \left\{ - \left( 1 - k \frac{x-c}{a} \right)^{\frac{1}{k}} \right\} \quad (18)$$

$$SLSC = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (s_i - s_i^*)^2}}{N |s_{0.99} - s_{0.01}|} \quad (19)$$

ここで $s_i^*$ は $N$ 年間のデータのうち大きい方から $i$ 番目の値、 $s_i$ はその関数値に対応する標準変量である。

推定を行った観測所と降雨量が従う分布、及びSLSC

Table IV Parameters of virtual typhoon.

lognormal distribution	$\mu$		$\sigma$			
central pressure depth(hPa)	2.9		0.51			
maximum wind radius(km)	4.79		0.17			
lognormal distribution	land		pacific ocean		sea of Japan	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
speed of progress(km/h)	3.93	0.41	3.94	0.42	3.92	0.34
Direction of progress (based on west)	4.84	0.22	4.84	0.16	4.83	0.2

Table V Precipitation estimation results at each station.

observatory	probability distribution	c	a	k	SLSC
Hachinohe	GEV	4.51	4.87	0.43	0.036
Aomori	GEV	3.49	3.97	0.33	0.035
Fukaura	GEV	4.09	4.35	0.28	0.036
Morioka	GEV	6.00	5.62	0.15	0.037
Miyako	GEV	8.06	7.85	0.33	0.039
Ofunato	GEV	9.24	8.05	0.19	0.039
Akita	GEV	4.18	4.53	0.36	0.036
Ishinomaki	GEV	6.53	5.87	0.21	0.037
Sendai	GEV	7.97	7.43	0.28	0.038
Sakata	GEV	4.56	4.67	0.21	0.036
Shinjo	GEV	4.97	4.87	0.12	0.036
Yamagata	GEV	4.50	4.85	0.42	0.036
Fukushima	GEV	6.46	6.36	0.25	0.038
Wakamatu	GEV	4.41	4.79	0.33	0.036
Shirakawa	GEV	9.21	7.57	0.04	0.038
Onahama	GEV	8.34	8.19	0.11	0.039
Niigata	GEV	3.86	4.21	0.31	0.036
Takada	GEV	3.86	4.49	0.53	0.036

の値をTable Vに示す。

シミュレーションにおいて仮想台風時の各地点の降雨量は最も距離の近い観測所を参照するものとする。なお、強風と降雨は台風という共通の原因から生じるものであるため、これらの極値現象の相関性への考察は重要な視点であるが、今回の解析では独立性を仮定して評価を実施した。

## 5.2 電力リスクの算出結果

実系統でシミュレーションを行い、仮想の自然災害によって系統設備が被害を受けた際の電力供給支障量を電力リスクとして算出する。

シミュレーションでは電力系統を、発電所をノード、送電線をリンクとしたネットワークとして考え、電力系統被害時には最小費用流量問題を解くことで電力の流れを決定する。

まず東北電力株式会社の2020年度電力潮流実績から、

各発電所の正常時発電量と各送電線を通る正常時電力量を設定した。電力潮流は一日中一定とし、月ごとに1時間当たりの潮流の平均値をとり、この値を各送電線に通る正常時の電力量とした。また各変電所に流入する電力量と流出する電力量を比べ、流出量の方が大きい変電所を便宜的に需要ノードとし、電力量の差を正常時の需要量とした。

シミュレーションにおいて仮想の自然災害により系統設備が停止した際は、各リンクの容量に送電線の容量を対応させ、コストに正常時電力量に反比例する値を対応させた最小費用流量問題を解く。その際の式を以下に示す。

・目的関数：

$$\min \sum_l^L C_l X_l$$

・制約条件：

$$\begin{aligned} X_{in,n} &= X_{out,n} \quad (n = 1, 2, \dots, N) \\ -U_l &\leq X_l \leq U_l \quad (l = 1, 2, \dots, L) \end{aligned}$$

ここで $L$ はリンクの数、 $N$ はノードの数を表している。また $C_l$ 、 $U_l$ 、 $X_l$ はそれぞれリンク $l$ のコスト、容量、送電量を表しており、 $X_{in,n}$ 、 $X_{out,n}$ はそれぞれノード $n$ への流入量、流出量を表している。

以上の式により各リンクにおける $X_l$ を計算した結果、需要ノードにおいて正常時の需要電力量を満たせなかった場合、その不足量を電力リスクとして計算する。

シミュレーションを行う期間は分散型電源の運用期間を考慮して2020年からの20年間とし、これを50回繰り返して電力リスクの平均値を算出する。期間中の東北電力株式会社の発電所運転・廃止計画や電力需要の変化も考慮してシミュレーションを行った。結果をFig.8に示す。電力リスクが大きい場所は、比較的発電所から送電距離が遠く、基幹送電線の接続が少ない場合が多く見受けられた。

## 6 分散型電源による電力リスク低減効果

5章では東北地方における様々な地点の電力リスクを算出した。この結果からリスクが高く、日射量・風況が比較的良好な岩手県宮古市を本研究での分散型電源導入地として考えてみることにする。宮古市の宮古変電所付近に太陽光発電、風力発電を導入した場合の電力リスク低減効果を算出していく。それぞれの電源の1時間あたりの発電量をそれぞれ以下の式に示す。

$$E_{ph} = \frac{0.73PH}{24} \quad (20)$$

$$E_{wh} = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{\pi R^2}{4} \right) V^3 \quad (21)$$

$E_{ph}$ (kWh)は太陽光発電の1時間あたりの発電量、 $P$ (kW)は太陽光発電出力、 $H$ (kWh/m<sup>2</sup>/日)は平均日射量を表す。 $E_{wh}$ (Wh)は風車1基の1時間あたりの発電量、 $\rho$ (kg/m<sup>3</sup>)は空気密度、 $R$ (m)は風車直径、 $V$ (m/s)は風速を

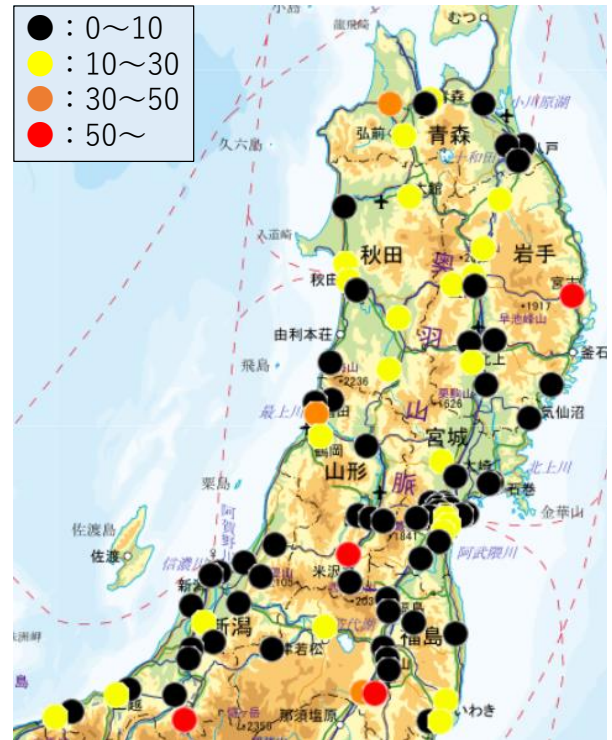


Fig.8 Average annual power shortage in the Tohoku region(MW/year).

Table VI Natural conditions of the target area

Monthly average solar radiation(kWh/m <sup>2</sup> /day)(facing south, Panel angle 30°)												
Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	
4.87	4.71	4.47	4.14	4.31	3.62	3.71	3.4	3.2	3.58	4.07	4.53	

Wind conditions around 70m above the ground			
Annual average wind speed(m/s)		6.1	
Parameters of the Weibull Distribution			
c	6.91	k	1.64

表す。ある地点の出現風速の度数分布関数は以下に示すワイブル分布に従う。

$$f(x) = \frac{k}{c} \left( \frac{x}{c} \right)^{k-1} \times \exp \left\{ - \left( \frac{x}{c} \right)^k \right\} \quad (22)$$

対象地である宮古市の日射量・風況データをTable VIに示す。

対象地点に分散型電源を導入した際の電力リスク低減効果をFig.9に示す。Fig.9の横軸は太陽光発電の導入量を表しており、10MWから国内最大級の200MWまで、10MW幅で導入量を変化させている。同様に横軸は風力発電の導入量を表しており、10MWから国内最大級の100MWまで導入量を変化させている。

この結果にはそれぞれの電源の災害種類別の被害率や災害の頻度、また日射量・風況による発電量の差などの要素が反映されている。風力発電のリスク低減効果がより大きいことが分かるが、当然いずれの電源も導入量を増やすだけリスク低減効果が大きくなるため、これだけでは最適な導入量の目安は決定できない。

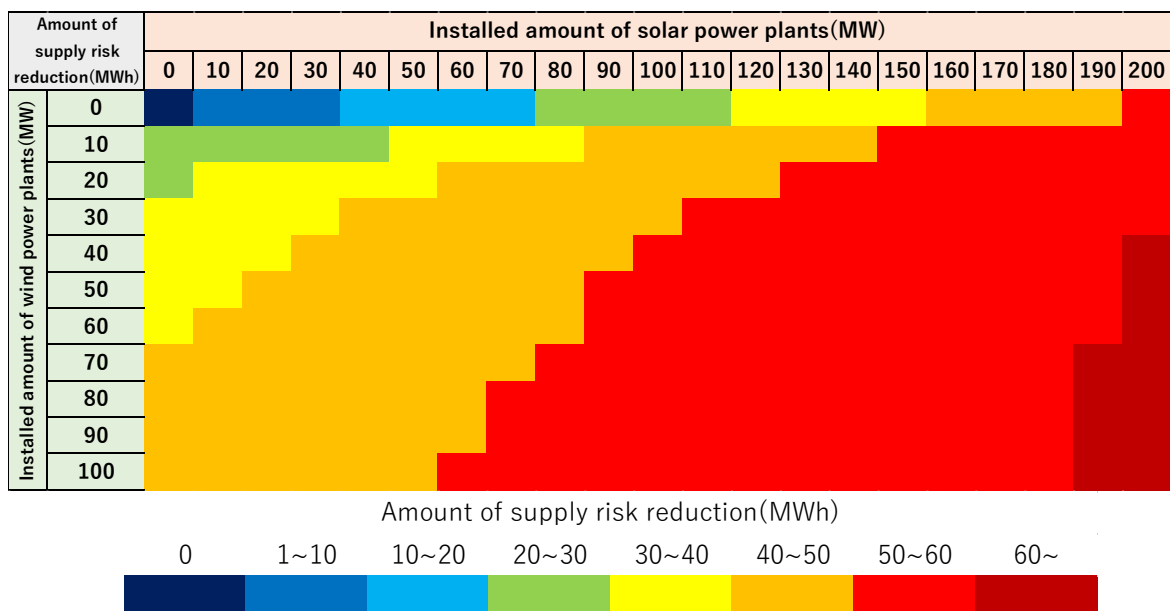


Fig.9 Power risk reduction amount (MWh/year).

## 7 経済性を考慮した分散型電源の最適導入量

ここでは太陽光発電，風力発電の導入にかかるコストを算出し，電力リスク・経済性の2つの側面から見て最適な分散型電源導入量を試算してみる。

### 7.1 分散型電源の導入コスト

太陽光発電，風力発電の導入にかかるコストを導入量ごとに計算する．導入コストは以下の式から求める。

$$C = C_C X + \sum_t^{20} \frac{C_{OM} X}{(1+r)^t} \quad (23)$$

$C_C$ (円/kW)は電源を1kW導入した際の資本コスト， $C_{OM}$ (円/kW/年)は電源1kWあたりの年間の維持管理コストであり， $X$ (kW)は電源導入量を表す．資本コストや維持管理コストは調達価格算定委員会による2023年度の想定値<sup>9)</sup>を用いた。 $r$ は割引率であり，今回は3%とした。

### 7.2 電力リスク低減による経済的価値

6章で求めた電力リスク低減効果を経済的な価値に換算する．換算には，停電コストに関する指標であるVOLL(円/kWh)を用いた．VOLLは1kWhの電力不足が発生したときの需要家の経済的損失額を表しており，停電の事前予告がない場合，大口事業所(延生面積3万 $m^2$ 以上)では平均で84,100(円/kWh)，中小事業所(延生面積3万 $m^2$ 以下)では平均で13,600(円/kWh)になるとされている<sup>10)</sup>．本研究では平成24年度の工業統計調査<sup>11)</sup>における岩手県の事業所数・事業所規模のデータを用いて，対象地におけるVOLLを設定した．岩手県の事業所数，事業所規模をTable VIIに示す．事業所の延生面積は不明だったため，本研究では敷地面積で代用する．事業所規模は複数の階級に分けられているため，各階級の中央値をその階級の代表値とした．階級の敷地面積の合計を求め，事業所総敷地面積に対する比率と各階級のVOLLの積の

Table VII Business site area in Iwate Prefecture.

Total office site area( $m^2$ )	17549100		
Office site area( $m^2$ )	Number of offices	site area( $m^2$ )	VOLL
<500	13	3250	13600
500~1000	9	6750	13600
1000~3000	81	162000	13600
3000~5000	72	324000	13600
5000~10000	110	825000	13600
10000~30000	181	3620000	13600
30000~100000	120	7800000	84100
100000 $\leq$	29	4808100	84100

総和を本研究におけるVOLLとした．表からVOLLは64,251(円/kWh)と設定した。

電力リスク低減価値 $B_{P,W}$ (円)は以下の式から算出する。

$$B_{P,W} = VOLL \times R_{P,W} \quad (24)$$

$R_{P,W}$ (kWh)は太陽光発電を $P$ ，風力発電を $W$ 導入したときの電力リスク低減量を表す。

### 7.3 最適分散型電源導入量の算出

分散型電源を導入することによるコスト及び電力リスク低減効果を含めた総合的な経済性は式(25)で評価する。

$$E = B_{P,W} - (C_P + C_W) \quad (25)$$

$B_{P,W}$ (円)は太陽光発電を $P$ ，風力発電を $W$ 導入したときの電力リスク低減価値， $C_P$ (円)， $C_W$ (円)はそれぞれの際の太陽光発電，風力発電の導入コストを表している．総合的な経済性 $E$ (円)が最大となるときの導入量を最適な分散型電源導入量とする。

結果をFig.10に示す．ここから太陽光発電を70MW，風力発電を20MW導入した際の経済性評価が最も高いことが分かった．これはあくまでもひとつの試算に過ぎないが，風力発電はFig.9からも分かるように，導入量

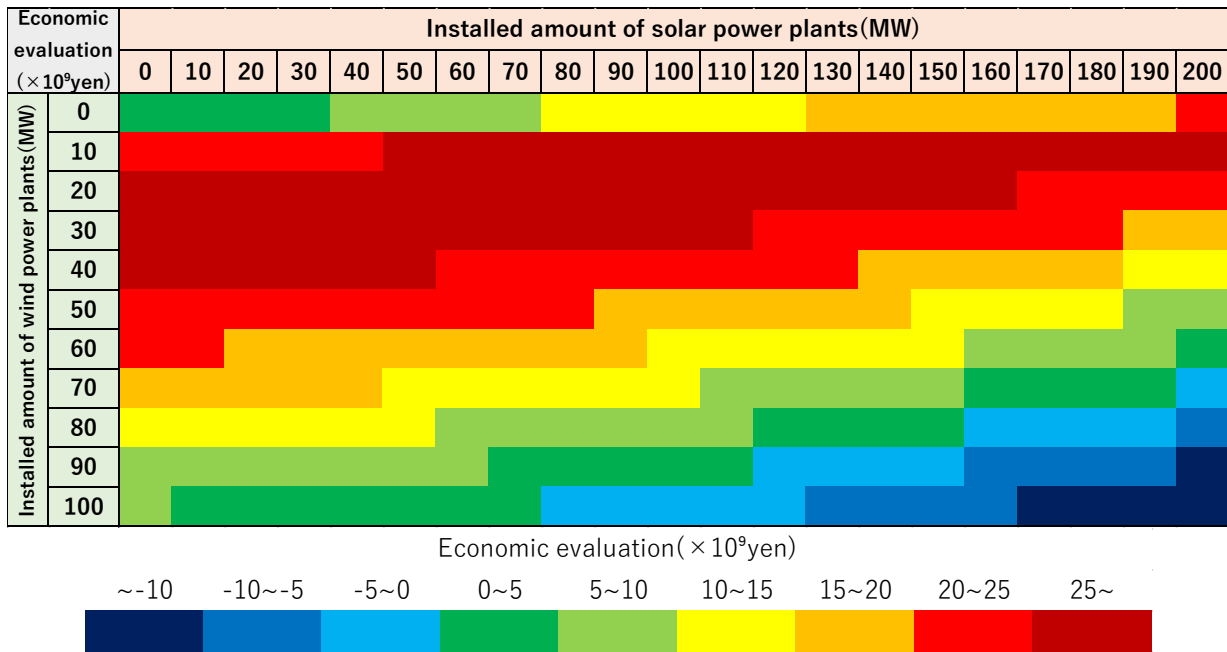


Fig.10 Economic evaluation of renewable energy introduction.

の単価は比較的大きい一方、少ない導入量である程度  
のリスク低減効果を見込めることから、一定の導入量を超  
えると経済的評価が下がると考えられる。一方で太陽光  
発電は導入コストが比較的小さいため、一定の経済効果  
を得られる導入量の幅が広いという評価を得られている。

## 8 結論

本研究では、自然災害発生時の電力リスクを把握する  
ため、地震、台風、落雷による電力系統各設備の被害率  
を推定した。また災害により設備が停止した際の停止期  
間も推定した。本研究では再生可能エネルギーの中でも  
事業用太陽光発電と陸上風力発電を対象にし、これらの  
電源の被害率や停止期間も同様に推定した。

推定した被害率を用いて、東北地方の実系統に仮想の  
自然災害を発生させてシミュレーションを行い、電力供  
給支障量を電力リスクとして算出した。その結果、電力  
リスクの大きくなる箇所をいくつか抽出できた。

この結果と日射量と風況の条件を併せ、岩手県宮古市  
に分散型電源として太陽光・風力発電を導入することを  
想定して、同市の電力リスク低減量を計算した。その結  
果から、比較的風力発電のリスク低減効果が大きいこと  
が分かった。

再生可能エネルギーによる電力リスク低減効果の経  
済的な価値と、導入にかかるコストを考慮し、経済性評  
価が最大となる導入量を最適導入量として算出した。こ  
れはあくまでも試算であるが、太陽光発電の、経済効果  
を得られる導入量の幅が広いという評価など、示唆に富む  
結果を得られた。

再生可能エネルギーの導入地決定方法は、現在では日  
射量や風況などの自然条件、土地の広さや環境影響な

どの周辺環境などから決定することが一般的であるが、  
これらに加えて本研究のように、分散型電源としての電  
力リスク低減効果も導入地決定の一要素になり得るの  
ではないかと考えている。なお、第4章での被害率や復  
旧日数の算定に当たっては、経済産業省・各電力会社の  
公表する資料を活用しており、参考文献として十ほどの  
追加が必要であるが、紙幅の関係で省かせていただい  
ている。口頭発表の場で提示させていただきたい。

## 参考文献

- 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
- 電力中央研究所 雷リスクマネージメントの基本的  
考え方 平成19年8月
- 電力中央研究所 送電線耐雷設計ガイド 平成15  
年2月
- 地震ハザードステーション J-SHIS MAP
- フランクリン・ジャパン 落雷日数マップ 2021年  
度 10km メッシュ
- 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
- 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
- 藤部文昭 極値分布関数の適合度評価に関する検  
討 日本気象学会 2011年9月
- 調達価格等算定委員会 令和4年度以降の調達価格  
等に関する意見 令和4年2月4日(金)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/20220204\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/20220204_1.pdf) (アクセス日 2023.2.2)
- 国土交通省 都市局; 国際競争業務継続拠点整備事  
業の費用便益分析マニュアル  
<https://www.mlit.go.jp/common/001239083.pdf>  
(アクセス日 2023.2.2)
- 経済産業省 工業統計調査 平成24年確報