

# GISによる落雷頻度・地形マップと風力発電機の関係

○横川 勲和 長井 浩  
日大生産工(学部) 日大生産工

## 1. はじめに

近年、風力発電は著しい伸びを果し2005年末の導入実績は104.9万kW、2006年末で131.1万kW、2006年度末時点で149.1万kWに達して、導入促進が着実に進展している。その中で注目するのは、風車規模が大型化し平均1MW以上機導入やウィンドファームの複数機導入である。これに伴い、故障原因として注視されるものに落雷、台風、風の乱れ等があげられる。その中で落雷被害を受けると、ブレードの高額な修復費用と修復に時間費やすため長期間の風車運転停止により逸失利益の損害は大きくなる。このことから、風力発電事業の利益採算性の低下が懸念されている。そこで、風力発電の利用率向上を図るための1つとして、被雷低減のため落雷マップを考える必要がある。2006年度の風力発電機導入補助より資源エネルギー庁やNEDOでは耐雷性能の高い風車は、補助率が優遇されている。

本研究では、気象庁落雷データ2002年から2004年と北陸電力(株)落雷位置標定システムの落雷データ2002年から2004年を使用してラスタ解析による落雷頻度マップを作成し、地形や風車設置地点の関係を調べている。

## 2. 2002～2004年の年別落雷頻度マップ

気象庁から提供されている雷標定システムLIDENのデータを、GISではイベント発生地点の緯度、経度に特性データを付加しポイントで表示するが、日本気象協会に既に緯度15分、経度10分メッシュで電流値別の落

雷数データをカウントして取り纏めた結果を許可を得て入手し、後述するように20×20kmメッシュの落雷頻度マップを作成した。

2002年の全落雷頻度マップを図2.1に示した。東京・北関東から福島県二本松周辺地域は400km<sup>2</sup>当たり年間2000回以上と高い落雷頻度で出現している。次いで九州の五島列島から甌島列島海域、さらに飛騨山地、石川県金沢海岸付近で多くの落雷が出現している。

2003年の全落雷頻度マップを図2.2に示した。2002年落雷マップの北関東地域は2000回以上の頻度が手中していたが、2003年は2000回以上の多頻度地域は激減している。次いで九州内陸部に多頻度地域が多くなっている。同地域は九州山地があり図2.4に示すように標高が高い。この年は他年度に比べ土佐湾や中国山地で落雷頻度回数が増加している。

2004年の全落雷頻度マップを、図2.3に示した。全体的に沿岸部でなく内陸地域に落雷が集中し、特に岐阜市周辺、東京・北関東地域で落雷頻度が高いことが分かる。一方、各年共通して発生頻度の少ない地域は北海道東部で、風況に恵まれ落雷頻度からも風力発電適地の要素が備わっている。

以上のことから、東京・北関東地域の落雷発生頻度は毎年が高く、他地域は多頻度地点が年により変化し、落雷発生頻度も異なる。風力発電事業期間は20年と長期であり、10年以上の長期間の累積頻度マップで調査・検討が必要である。

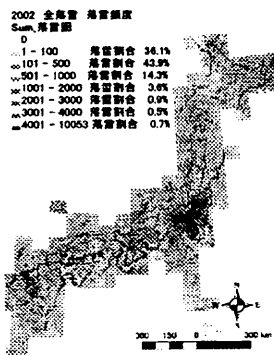


図 2.1 2002 年全落雷 落雷頻度マップ

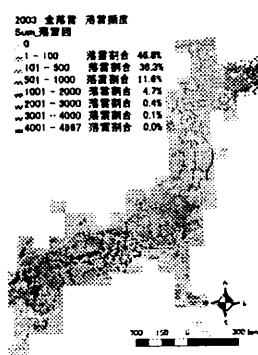


図 2.2 2003 年全落雷 落雷頻度マップ

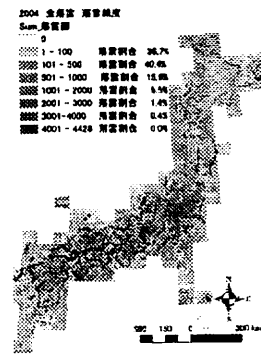


図 2.3 2004 年全落雷 落雷頻度マップ

The relation between wind turbine and lightning frequency - geographical map using GIS.

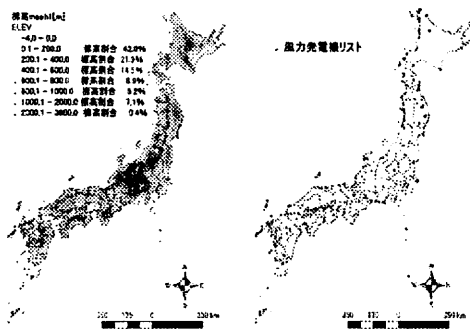


図 2.4 わが国の標高 [m]

図 2.5 風力発電機導入位置マップ

### 3. 3年間の夏季と冬季別落雷頻度マップ

#### 3.1 夏季雷と冬季雷の特性

落雷の特性は夏季雷と冬季雷では、表 3.1.1 に示すように特性が異なる。夏季雷は極端に高い構造物への落雷を除いて下向きに雷が発生し放電するが、冬季雷は雷放電が地上の構造物（草木、柵、建物の先端などいたるところ）から発生・発展し、上向きに発生し放電する。また、冬季雷の放電方向と電荷量が風力発電機に悪影響を及ぼし、電荷量が 300C 以上の雷が数多く観測され、夏季雷の電荷量の 100 倍以上に達している。

表 3.1.1 夏季雷と冬季雷の特性の違い

分類	過程	項目	単位	夏季雷	冬季雷
雷雲の特性		雲高(キヤップ長)	m	(1.2~2) × 10 <sup>4</sup>	(300~)
		電荷	C	0.2~[2.5]~2.0*	0.1~[3.5]~3 × 10 <sup>4</sup>
		電圧	MV	約 10 <sup>6</sup>	約 10 <sup>7</sup>
		静電エネルギー	kJ	約 10 <sup>6</sup>	約 10 <sup>7</sup>
放電特性		速度	107m/sec	2~[5.0]~14	(12~23)
		電流密度	kA	~[24]~	<2~[24]~150<
		電流傾度	kA/μsec	<1~[10]~80	0.01~[0.63]~100
		極性		殆ど負極性(95%)	正極性 1/3
放電の進展方向		放電の進展方向		殆ど下向き	殆ど上向き(98%~99%)
		放電時間	sec	10~2~[0.2]~2	10~5~0.5

注 1) \*連続電流を含まず  
 2) a~[b]~c とは、a~c の範囲で [b] が代表値  
 3) 電荷は雷撃電流(リターンストロークが主)からの値  
 4) 雷雲の電圧、静電エネルギーは推定値  
 5) 冬季雷の( )内の数値は他所の観測値  
 夏季雷に3~[2.5]~数100 のデータあり



図 3.1.2 夏季雷(下向き雷)



図 3.1.3 冬季雷(トリガー雷(上向き雷))

出典: 文献 3 より引用

#### 3.2 2002~2004 年の全落雷頻度

夏季雷と冬季雷の性質が異なることから、2002 年~2004 年の 3 年間の全落雷を夏季(4 月~10 月)と冬季(11 月~3 月)に分け、落雷頻度マップを作成した。

夏季雷の全落雷頻度を図 3.2.1 に示すが、東京から北関東、福島県二本松周辺地域で落雷頻度が高く 2000

回以上が多く出現している。次いで岐阜市、中国山地、九州山地、九州の五島列島から甌島列島海域にかけて多く、1000~2000 回の頻度回数で沿岸に比べ内陸地域で多く出現している。

冬季(11 月~3 月)の全落雷頻度を図 3.2.2 に示している。高頻度で落雷が出現するのは駿河湾沖、遠州灘海域周辺で 500~1000 回で集中している。同様に津軽半島から石川県の日本海側の沿岸付近で落雷頻度の回数が多いことがわかる。

02-04 全落雷 夏季雷 落雷頻度  
Sum. 落雷回数  
0  
● 1~100 落雷割合 20.8%

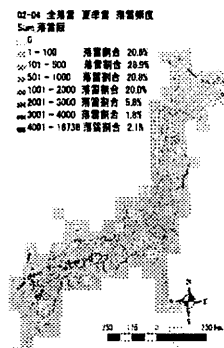


図 3.2.1 夏季雷(4 月~10 月)

02-04 全落雷 冬季雷 落雷頻度  
Sum. 落雷回数  
0  
● 1~100 落雷割合 81.8%

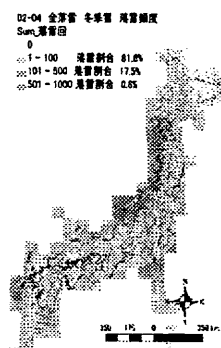


図 3.2.2 冬季雷(11 月~3 月)

#### 3.3 2002~2004 年の雷電流 50kA 以上の落雷頻度

季節別全落雷から雷電流 50 k A 以上の落雷を抽出し、夏季 50kA 以上落雷頻度マップを図 3.3.1 に示した。夏季雷発生回数(図 3.2.1)に比べ落雷頻度は 2000 回以内に激減し、五島列島から甌島列島海域、前橋市周辺、福島県羽鳥湖周辺の地域である。他地域の 50kA 以上の雷は、101~500 回と全夏季雷の発生頻度に比べ僅かで、高出力の夏季雷の出現回数は僅かである。

冬季の 50kA 以上落雷頻度マップを図 3.3.2 に示した。冬季雷発生回数(図 3.2.2)で落雷頻度が高かった駿河湾沖、遠州灘周辺は頻度が減少し、津軽半島日本海沖沿岸で高出力の冬季落雷が多数発生している。

02-04 50kA 夏季雷 落雷頻度  
Sum. 落雷回数  
0  
● 1~100 落雷割合 42.4%

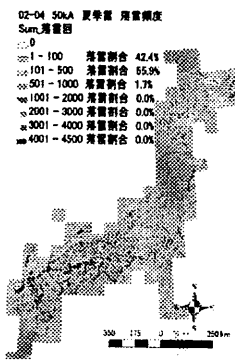


図 3.3.1 夏季雷(4 月~10 月)

02-04 50kA 冬季雷 落雷頻度  
Sum. 落雷回数  
0  
● 1~100 落雷割合 94.2%

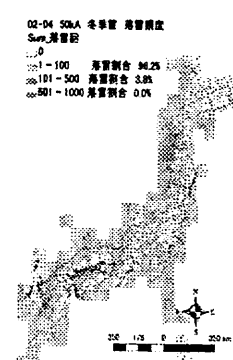


図 3.3.2 冬季雷(11 月~3 月)

## 4. 風車設置場所の落雷頻度マップ

### 4.1 2002年～2004年の全落雷頻度と雷電流50kA以上落雷頻度

3.2の3ヶ年季節別全落雷頻度から、わが国で導入された風力発電機設置場所の緯度、経度が既知な960機が位置するメッシュを抽出し、その中の北海道を検討するため夏季雷発生頻度を図4.1.1に、同様に冬季雷発生頻度を図4.1.2に示している。3.3の雷電流50kA以上の落雷頻度マップから北海道風力発電機設置メッシュを抽出し、夏季雷を図4.1.3に冬季雷を図4.1.4に示している。夏季と冬季の落雷頻度の変化を図4.1.5に示している。

夏季雷発生最頻度メッシュは函館周辺で300～1000回、留萌地域の100～300回が突出し、他は50回未満の頻度である。雷電流50kA以上の夏季雷マップ図4.1.3では、落雷発生頻度が函館周辺で150～700回と減少しているが、その他の場所では僅かに変わっている。

冬季雷マップの図4.1.4を対比すると、北海道の沿岸の日本海側で50kA以上の頻度回数の割合に変化が見られない。冬季雷は発生回数少ないが強い雷電流の出現頻度は多いことがわかった。

全落雷と50kA以上の出現頻度は同程度で、年間を通して高強度雷電流の出現回数は同程度となっている。また、津軽海峡～日本海側の沿岸に落雷が多く風力発電設置場所の多い北海道では、耐雷性の高い風力発電機を導入していく必要がある。抽出メッシュ地点は960機の導入地点で、被害との関連は明確ではない。

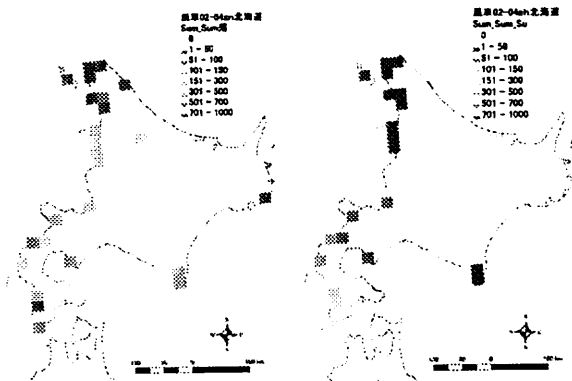


図4.1.1 北海道風車地点の夏季雷 (4月～10月)



図4.1.2 北海道風車地点の冬季雷 (11月～3月)

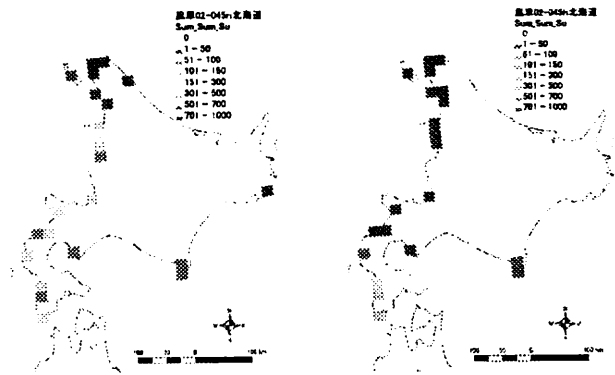


図4.1.3 北海道風車地点50kA以上の夏季雷 (4月～10月) 図4.1.4 北海道風車地点50kA以上の冬季雷 (11月～3月)

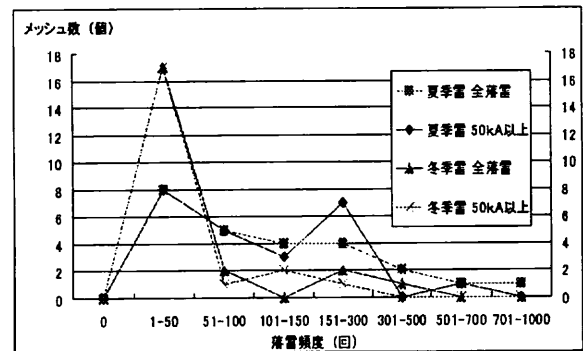


図4.1.5 夏季と冬季の落雷頻度の変化

### 4.2 NEDO 落雷調査結果

平成18年度「風力発電設備への落雷対策に関する調査」によると2004～2007年に落雷被害は198件報告され、季節別の部位別被害を表4.2.1、ブレード・制御系被害を表4.2.2、制御装置被害を表4.2.3に示した。夏季雷に比べ冬季雷による落雷被害回数が約15%程度高いことがわかる。ブレード・制御系の被害は北海道を除く地域で、冬季雷が夏季雷より50%程度発生頻度が高く、北海道は夏季・冬季の季節的な相違が見られない。一方、制御系は北海道では冬季雷が夏季雷に比べ40%高く、その他の地域では夏季雷が冬季雷に比べて10～30%程度被害件数が高くなっている。北海道とその他地域では落雷被害の多発する季節が異なることがわかった。抽出メッシュ地点は960機の導入地点で、NEDO調査では、地方は匿名で記述されているため被害との関連は明確ではない。

表4.1.1 被害部位別発生件数

	[件]		
	ブレード・制御系	制御装置	合計
夏季雷	38	49	86
冬季雷	60	52	112
通年	98	100	198

表4.1.2 ブレード・制御系被害

	[件]		
	地方	北海道	東北
夏季雷	23	10	5
冬季雷	21	27	12
通年	44	37	17

表4.1.3 制御装置被害

	[件]		
	地方	北海道	東北
夏季雷	14	7	27
冬季雷	33	6	13
通年	47	13	40



図 5.1.1 富山県西部標高 [m]



図 5.1.2 富山県西部落雷位置



図 5.1.3 富山県西部落雷頻度

## 5. 富山県西部2kmメッシュの冬季落雷頻度

### 5.1 落雷発生頻度と標高の関係

北陸電力㈱落雷データ落雷位置標定システムの冬季の落雷データ地図(2002~2004)を入手し、3年間の緯度経度を付加したポイントデータを図5.1.2に示し、地理情報システム(GIS)で作成した2kmメッシュの落雷頻度マップを図5.1.3に示している。

また(財)日本地図センター発行の国土数値地図50mメッシュ標高のポイントをラスタ変換し、濃淡で表現して図5.1.1に示している。

4章節までは落雷地点の緯度経度が分からず20kmメッシュで作成した落雷頻度マップで検討を実施してきた。雷電流等の落雷特性が入手できず緯度経度を付加した富山県西部の落雷地点の位置が明確になっている。細密な2kmメッシュの表示では20kmメッシュに比べ、よりメッシュ地域標高や風力発電機設置点との関係性を調べることが可能となる。

冬季雷は富山県と石川県境の石動から砥波山の尾根沿い多数発生していることが、図5.1.3から明らかにわかり、海岸線に沿った尾根と落雷頻度の因果関係が想定できる。頻度マップ内には小矢部風力発電所があるが、文献2の調査期間後の建設のため落雷と被害関係は不明である。

このことから、落雷位置情報(緯度、経度)や前章で述べた雷特性が分かることでGIS細密な落雷頻度マップと標高ならび風力発電機設置場所と落雷被害のデータから複合的な要因の関連性を解明が可能と考えている。

### 6. まとめ

2002年から2004年の加工した気象庁雷データならび北陸電力㈱の落雷地図を使用して各種落雷頻度マップを作成し、地形や風車設置地点の関係から以下のことが云える。

(1) 3年間の集計結果より、東京・北関東地域は毎年落雷頻度が頻発していることがわかった。また、年によって落雷地点が変化し異なるため、風力発電事業の検討には少なくとも10年以上の累積マップで検討が必要である。

(2) 夏季雷は、東京・北関東、福島県二本松周辺に及ぶ地域で落雷頻度が高く、次いで岐阜市、中国山地、九州山地などの沿岸に比べ内陸に出現している。九州の五島列島から甌島列島海域にかけても高い頻度で落雷がある。

冬季雷は、駿河湾沖から遠州灘周辺と、風車設置場所の多い津軽半島から石川県の日本海側の海岸線に多い。

(3) 夏季雷は冬季雷に比べ落雷頻度が僅かに高いが、風車の落雷被害件数は夏季と冬季では同程度で変わらない。よって、夏季雷に比べ冬季雷の落雷被害が受けやすい。北海道とその他地域では落雷被害の多発する部位が季節で異なるので、地方別の検討が必要である。

(4) 落雷位置(緯度、経度)と雷強度等の基本情報から地理情報システムで落雷頻度マップ整理することで、標高等の地形的要因や既存の風力発電機設置場所ならび落雷被害データから複合的な調査と検討を可能とし、落雷被害の減少に結びつく定量的な指針を得ることが可能になると考えている。

### 参考文献

- (1) 出野 勝, 牛山 泉, 関 和 市: 風力発電システムの雷被害に関する研究, 2005. 11. 25, PP191-195, 第27回風力エネ率ギ一利用シンポジウムテキスト
- (2) NEDO 技術開発機構: 平成18年度風力発電設備への落雷対策に関する成果報告書, NEDO ハーコート・100010292, 2007
- (3) 横山 茂: 落雷と風力発電設備, 日本風力エネルギー協会第2回風力発電システム技術講習会資料, 2007