

地形因子解析による送電鉄塔への落雷頻度と地形との関係

若杉 誠晃¹⁾・本田 親久²⁾・大坪 昌久²⁾・竹之内 修³⁾・村田 康弘⁴⁾

Relation between Lightning Strokes to Transmission Tower and Topography by a Topographical Factor Analysis

Seikou WAKASUGI, Chikahisa HONDA, Masahisa OTSUBO

Osamu TAKENOUCI, Yasuhiro MURATA

Abstract

In info-communication society, dependence on electricity rises more and more. Therefore, good quality and stable electric power are being demanded by the society. However, many of accidents in the electric power system are caused by lightning and efficient lightning damage measures based on the lightning stroke forecast are necessary. Then, this research aims to make clear the relation between lightning strokes and topographies based on the data observed with LPATS (Lightning Positioning And Tracking System) owned by Kyusyu Electric Power Co., Inc. .

In this paper, we paid attention to three transmission lines newly established in Miyazaki Prefecture, and analyzed the topographical factor by a statistical technique. As a result, it seemed that the lightning frequency to the transmission tower rises after constructing the transmission tower, and lightning strokes and topographies have the correlation.

Key Words :

Lightning Strokes, Transmission Tower, Lightning Location System, Lightning frequency map, Topographical Factor Analysis

1. はじめに

高度情報化社会である現在、電気への依存度はますます高くなっている。これに伴い社会から良質かつ安定な電力が求められている。しかし、電力系統における事故の多くが雷によるものであり、効果的な雷害対策を行うために落雷予測を基盤とした局所集中型の耐雷技術の向上が望まれている¹⁾。そこで、本研究では九州電力(株)が所有する落雷位置標定システム

(LPATS : Lightning Positioning And Tracking System) による観測データ (以下、LPATS データ) を基に、落雷の多い地域の予測情報として、落雷と地形との関係を送電鉄塔への落雷頻度の分析から明らかにした。

本稿では 1995 年以降に新設された宮崎県内の 3 つの送電線の鉄塔地点に着目した。まず、鉄塔建設前における鉄塔地点の落雷頻度と鉄塔建設後における鉄塔地点の落雷頻度の比較を行った。次に、鉄塔建設後における地形因子解析を行い、どのような地形特性に位置する鉄塔に落雷の影響が大きくなるのか検討を行った。また、鉄塔建設前についても同様に解析を行い、落雷頻度の予測式に鉄塔建設後の地形因子を代入することにより、鉄塔建設を想定した落雷頻度の予測を行

1) 宮崎大学 電気電子工学専攻大学院生

2) 宮崎大学 電気電子工学科教授

3) 航空大学校 助教授

4) 九州電力株式会社宮崎支店

ったので報告する。

2. 観測概要

表1に宮崎県内に1995年以降に新設された3つの送電線の概要、図1に予測地域を示す。A送電線は宮崎平野に面し海岸線から約7km内陸に位置し、北西約12kmに九州山地、南約15kmに鰐塚山地が広がっている。H送電線は九州山地の南東斜面から宮崎平野に面し、海岸線から約6~23km内陸に位置している。F送電線は鰐塚山地の南部の平野に面し、海岸線から約3~10km内陸に位置している。

表1 新設送電線概要

項目	A送電線	H送電線	F送電線
電圧階級[kV]	66	220	66
観測区間	No.1-13	No.1-88	No.1-100
線路長[km]	3	27	23
鉄塔数[基]	13	88	100
鉄塔高[m]	27-53.5	44.2-89.9	25.5-57
標高[m]	48-114	24-630	7-417

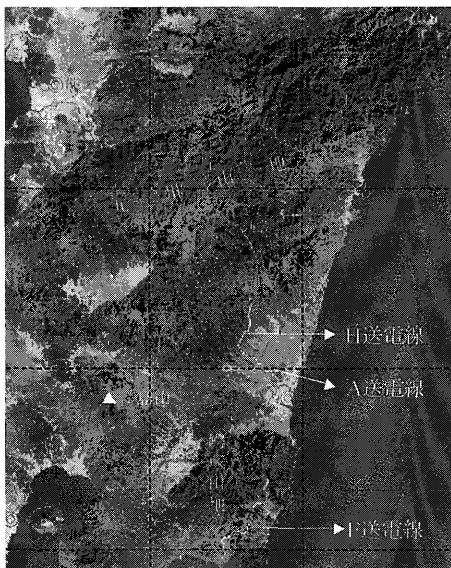


図1 予測地域

3. 鉄塔建設による落雷の影響

3.1 解析手法

観測データとして1994年度から2001年度までの8年間分のLPATSデータを使用した。まず、落雷の分布を比較するためにLPATSデータを用いて50mメッシュ

の落雷頻度マップを作成した。その際LPATSデータから雲間放電、多重雷の除去を行った。また、LPATSによる位置標定誤差約1kmを考慮した。次に、送電線の周囲1kmにおける落雷頻度を5段階に分けた場合と送電線上の落雷頻度を5段階に分けた場合についてヒストグラムにより建設前後の各鉄塔地点の頻度レベルの推移を検証した。その際、山岳部などで局地的に発生しやすい熱雷の除去を行った場合についても検討した。

3.1.1 多重雷、熱雷の除去

観測データのうち、同じ場所に短時間に何度も落ちる多重雷や山岳部などで局地的に発生しやすい熱雷の除去を行った。まず多重雷除去は、50mメッシュ内の落雷において極性が等しく、1秒以内に発生したものとした。次に熱雷の除去は、図2の落雷分類のフローチャートに従って行った。放電ハンドブック²⁾によると雷雲の最小単位である1つの細胞(セル)は、直径5km~10kmで、その寿命は30分~60分程度といわれている。そこで、本研究では、LPATSデータによる落雷点の移動を調べることで落雷の分類を行った。分類は、ある落雷データとその前後に記録されている落雷データの発生時刻と発生地点とを比較して行った。熱雷の生存時間を30分、そのスケールを緯度及び経度がそれぞれ0.13度(およそ14km)以内とした。

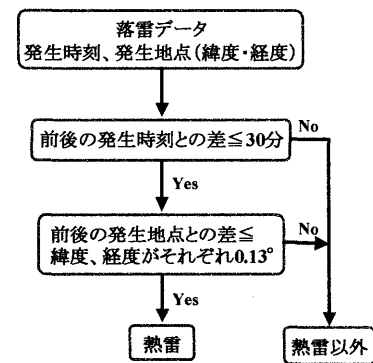


図2 落雷分類フローチャート

3.2 解析結果

3つの送電線について周囲1kmの落雷頻度マップを作成した。その際、多重雷処理はすべての場合で行っており、熱雷については除去していない場合と除去した場合について作成した。送電線の周囲1kmとは送電線の上端、下端、左端、右端から1kmである。送電

線の周囲 1km の落雷頻度を 5 段階に分けた場合の各鉄塔地点の落雷頻度のヒストグラム，送電線上における落雷頻度を 5 段階に分けた場合の各鉄塔地点のヒストグラムについてそれぞれ比較を行った。なお今回，A 送電線上における落雷頻度の比較は各鉄塔地点の落雷数が非常に少なかったために省略した。

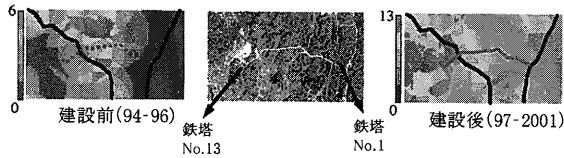


図 3 A 送電線の周囲 1km の落雷頻度マップ

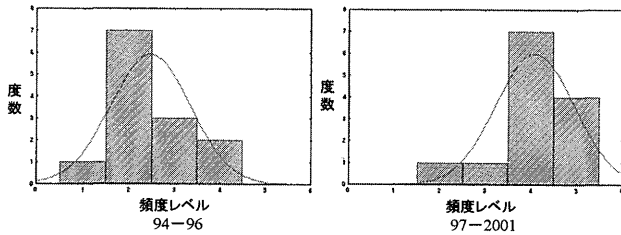


図 4 A 送電線のヒストグラム

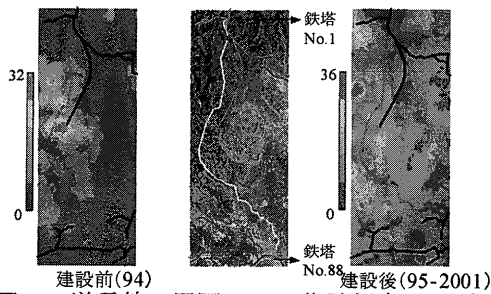


図 5 H 送電線の周囲 1km の落雷頻度マップ

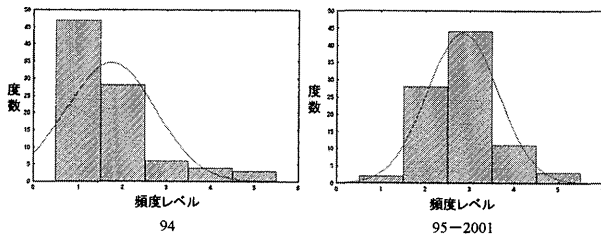


図 6 H 送電線のヒストグラム

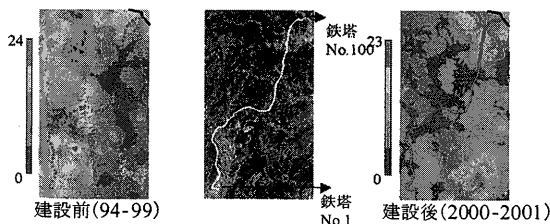


図 7 F 送電線の周囲 1km の落雷頻度マップ

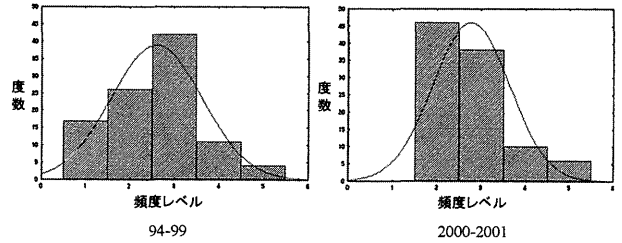


図 8 F 送電線のヒストグラム

3.3 考察

(1) A 送電線

この地域は宮崎平野に面し，標高 100m 前後の小高い丘に位置している。東西に A 送電線が走っていて，その両端に南北へ 2 本の既設送電線が走っている。落雷頻度マップより A 送電線の鉄塔建設前は，西側の既設送電線のすぐ東に多く分布していて，A 送電線上では周囲に比べると落雷頻度は少なくなっている。これに対し，鉄塔建設後は西側の既設送電線を中心に分布していて，A 送電線上にも頻度が多くなっていることがわかる。また，熱雷を除去した場合についても同様の結果が見られた。

ヒストグラムにおいては，図 4 より鉄塔建設前は段階 2 が高かったのに対し，鉄塔建設後は段階 4，5 が高くなっているのが見られ，正規曲線のピークも右にシフトし，頻度レベルが高くなっていることがわかる。

(2) H 送電線

この地域は北部に九州山地，南部に宮崎平野があり，H 送電線は中心を南北に走っている。落雷頻度マップより H 送電線の鉄塔建設前は，山の東側斜面や山間部と平野部との境界地域に多く分布している。H 送電線上では山の東側斜面の一部で多くなっている。これに対し，鉄塔建設後は落雷分布が一様になっているが，特に山の東斜面や山間部と平野部との境界地域に加え，山間部の標高の高い所に多く分布している。H 送電線上では山の東斜面に位置する鉄塔に落雷が多く分布している。

ヒストグラムにおいては，図 6 では鉄塔建設前は段階 1 が高かったのに対し，鉄塔建設後は段階 2，3 が高くなっていて，正規曲線のピークも右にシフトしていることがわかる。

(3) F送電線

この地域は南西部に平地があるが北部の鰐塚山地を中心に周囲は山で覆われている。また、南側と東側がすぐ海に面していて、海岸から内陸約3~10kmに位置している。F送電線は南西から北東に走っていて、その中心付近では標高の高い山の東側斜面に鉄塔が建設されている。落雷頻度マップよりF送電線の鉄塔建設前は、中央の高い山を中心に、この地域の西側に広く分布しているのに対し、F送電線の鉄塔建設後は南東部の山間部を中心にこの地域の東側に分布していることがわかる。このように建設の前後で落雷の分布が大きく異なるため、図8のヒストグラムでも建設後の頻度レベルが高くなるという傾向は顕著に表れなかった。

4. 地形因子解析

4.1 解析手法

3つの送電線の各鉄塔地点への落雷頻度を目的変数(従属変数)、鉄塔の位置する地形特性などを表す地形因子を説明変数(独立変数)として重回帰分析を行った。そして、重回帰分析によって得られた説明変数に基づいて落雷頻度と地形特性との関係や落雷に影響を与える地形因子について検討を行った。説明変数には落雷に寄与すると思われる基本的な地形因子のほか、雷撃と密接な関係があると思われる鉄塔の高さを取り入れた。

4.1.1 地形因子

地形因子は、鉄塔の地理的位置を表す因子、地表の凹凸を表す因子、周囲の3次元的地形状況を表す因子、地形の傾斜などを表す因子である。解析に用いた地形因子を表2に示す。起伏度は、指定した方位に高い山があるかないかを表し、曲率は東西、南北など鉄塔地点を通る直線での山谷の地形を表す。これらの地形因子は、鉄塔地点からの方向と小スケールから大スケールまでの影響を包含出来るよう配慮した。そのため、表2のスケール値Rの値として100m~8000mとした。また、方向は東、西、南、北、北東、北西、南東、南西の8方向を考慮した³⁾。

表2 解析に用いた地形因子 (R:100m~8000m)⁴⁾

項目	定義
標高	鉄塔地点の標高
塔頂標高	鉄塔頂の標高
鉄塔高	鉄塔の高さ
海からの距離	鉄塔から海岸までの最短距離
起伏度(8方位)	鉄塔地点を中心とした半径Rの円内の最高標高地点と鉄塔地点の標高差
傾斜(8方位)	鉄塔地点を中心とした±Rの地点の標高差
曲率(8方位)	鉄塔地点を中心とした±Rの地点の傾斜の差。東西、南北など鉄塔地点を通る直線での山谷の地形を表現する因子

4.2 解析結果

4.2.1 鉄塔への落雷頻度と地形との関係

表3~表5は送電鉄塔への落雷の影響が大きい地形因子の上位5つを示している、正負の符号によりどちらに効いているかを表している。図9~図11は、それぞれの送電線の解析で得られた落雷(総合)に影響が大きい地形因子を基に、落雷の影響を受けやすい鉄塔地点の地形特性をイメージ化したものである。鉄塔は縦10km、横10kmの中心に位置し、落雷への影響が大きい上位から順に地形因子の定義に基づいて作成を行った。なお、高さは実測値と異なり、イメージ化していく中での地形因子の定義に沿うものとなっている。

表3 落雷への影響が大きい地形因子(A送電線)

	総合	熱雷	熱雷以外
1	海からの距離	+ 北西から南東への傾斜(R=3km)	- 海からの距離
2	北から南への傾斜(R=4km)	- 南側の起伏度(R=3km)	+ 北から南への傾斜(R=3km)
3	南北断面の曲率(R=500m)	+ 北西から南東への傾斜(R=1km)	- 東から西の傾斜(R=5km)
4	東から西の傾斜(R=5km)	- 北西から南東への傾斜(R=4km)	+ 北東南西断面の曲率(R=100m)
5	北西から南東への傾斜(R=3km)	- 北から南への傾斜(R=100m)	- 東から西の傾斜(R=2km)

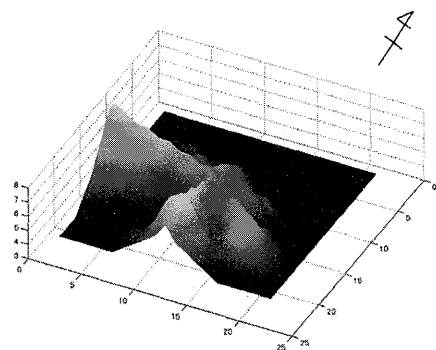


図9 落雷の影響が大きい地形のイメージ(A送電線)

表 4 落雷への影響が大きい地形因子(H送電線)

総合		熱雷		熱雷以外	
1	北東南西断面の曲率(R=5km)	-	北東南西断面の曲率(R=5km)	-	北東南西断面の曲率(R=5km)
2	北東側の起伏度(R=4km)	-	西側の起伏度(R=500m)	-	南北断面の曲率(R=3km)
3	南北断面の曲率(R=3km)	+	北東側の起伏度(R=500m)	-	東から西への傾斜(R=3km)
4	東から西への傾斜(R=3km)	-	北西側の起伏度(R=500m)	+	北から南への傾斜(R=5km)
5	北西から南東への傾斜(R=5km)	+	北東から南西への傾斜(R=4km)	-	北東から南西への傾斜(R=3km)

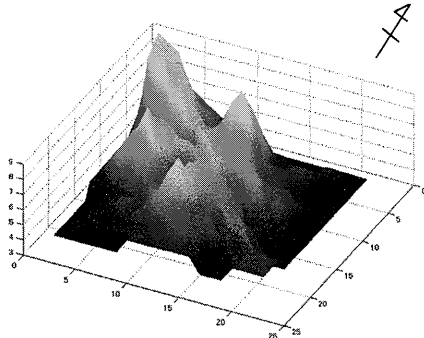


図 10 落雷の影響が大きい地形のイメージ(H送電線)

表 6 重回帰分析の結果(H送電線)

説明変数		標準回帰係数	回帰係数
係数	切片		14.249
A ₁	北東南西断面の曲率(R=3km)	-1.450	-0.015
A ₂	北西側の起伏度(R=5km)	1.111	0.023
A ₃	東から西への傾斜(R=5km)	0.810	0.015
A ₄	北東側の起伏度(R=2km)	-0.763	-0.046
A ₅	北から南への傾斜(R=5km)	-0.688	-0.016
⋮	⋮	⋮	⋮

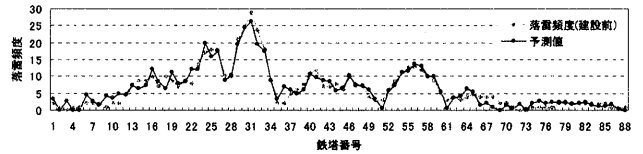


図 12 鉄塔建設前の落雷頻度と落雷予測値(H送電線)

表 5 落雷への影響が大きい地形因子(F送電線)

総合		熱雷		熱雷以外	
1	合成曲率(R=2km)	+	8方位合成曲率(R=3km)	+	合成曲率(R=2km)
2	南北断面の曲率(R=3km)	+	南西側の起伏度(R=3km)	-	海からの距離
3	北東南西断面の曲率(R=500m)	-	南西側の起伏度(R=1km)	+	南北断面の曲率(R=3km)
4	南西側の起伏度(R=3km)	-	南北断面の曲率(R=5km)	-	南西側の起伏度(R=2km)
5	北西南東断面の曲率(R=3km)	-	北東南西断面の曲率(R=5km)	-	北東側の起伏度(R=3km)

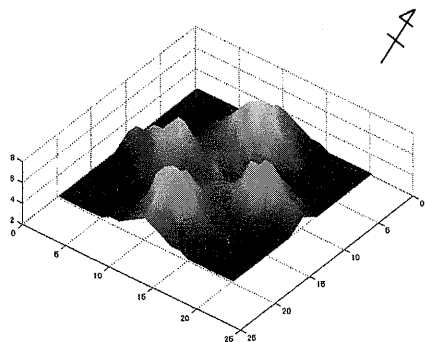


図 11 落雷の影響が大きい地形のイメージ(F送電線)

表 7 重回帰分析の結果(F送電線)

説明変数		標準回帰係数	回帰係数
係数	切片		14.711
B ₁	西側の起伏度(R=3km)	-0.589	-0.020
B ₂	北西側の起伏度(R=5km)	0.489	0.021
B ₃	北西南東断面の曲率(R=3km)	-0.408	-0.007
B ₄	西側の起伏度(R=1km)	0.386	0.021
B ₅	南北断面の曲率(R=4km)	-0.376	-0.009
⋮	⋮	⋮	⋮

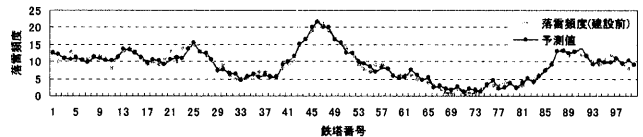


図 13 鉄塔建設前の落雷頻度と落雷予測値(F送電線)

4.2.2 鉄塔建設を想定した落雷頻度の予測

鉄塔建設前の落雷頻度, 地形因子, 鉄塔データを用いて重回帰分析を行った。なお A 送電線については, 落雷数が非常に少なかったため解析対象から除外した。表 6, 表 7 は落雷頻度の予測に必要な説明変数を標準回帰係数の絶対値が大きい順に示す。式(4.1), (4.2) は鉄塔建設前の解析結果から得られた落雷頻度の予測式である。また図 12, 図 13 は各鉄塔地点における鉄塔建設前の落雷頻度と建設を想定した場合の予測値を示す。この予測値は(4.1), (4.2)に鉄塔建設後の地形因子を代入して得られた値である。

$$Y = 14.249 - 0.015 \times A_1 + 0.023 \times A_2 + 0.015 \times A_3 - 0.046 \times A_4 - 0.016 \times A_5 \dots \quad (4.1)$$

$$Y = 14.711 - 0.02 \times B_1 + 0.021 \times B_2 - 0.007 \times B_3 + 0.021 \times B_4 - 0.009 \times B_5 \dots \quad (4.2)$$

4.3 考察

4.3.1 鉄塔への落雷頻度と地形との関係

(1) A 送電線

重相関係数は総合, 熱雷, 熱雷以外ともに 0.99 と非常に高い精度で落雷頻度を予測することができた。表 3 の落雷頻度を予測する際に用いられる説明変数(地形因子)より, 総合では海岸から距離が近く, 山の北西, 北, 東, 斜面に位置する鉄塔に落雷が多くなる。熱雷では, 山の北西斜面に位置し, 南方向に高い山が

ある鉄塔に落雷が多くなる。また、熱雷以外では海岸からの距離があり、山の北や東の斜面に位置する鉄塔に落雷が多くなることがわかった。

(2) H送電線

重相関係数は総合 0.92, 熱雷 0.87, 熱雷以外 0.88 と非常に高い精度で落雷頻度を予測することができた。表 4 より、総合では北東-南西断面で凸, 南-北断面で凹になっていて山の東, 南東斜面に位置する鉄塔に落雷が多くなる。熱雷では, 北西 500m に高い山があり, 北東-南西断面で凸になっていて北東斜面に位置する鉄塔に落雷が多くなる。また, 熱雷以外では北東-南西断面で凸になっていて山の南, 東, 北東斜面に位置する鉄塔に落雷が多くなることがわかった。

(3) F送電線

重相関係数は総合 0.95, 熱雷 0.94, 熱雷以外 0.95 と非常に高い精度で落雷頻度を予測することができた。表 5 より、総合では南-北, 東-西断面で凹になっていて南西に高い山がない谷に位置する鉄塔に落雷が多くなる。熱雷では, 南-北, 北東-南西断面で凸になっていて, 南西 1km に高い山がある谷に位置する鉄塔に落雷が多くなる。また, 熱雷以外では海岸からの距離があり, 南西と北東に高い山がない谷に位置する鉄塔に落雷が多くなることがわかった。

4.3.2 鉄塔建設を想定した落雷頻度の予測

(1) H送電線

重回帰分析の結果, 重相関係数が 0.96 と非常に高く, 鉄塔建設前の落雷頻度の予測は精度が高いといえる。この結果から得られた落雷頻度の予測式(4.1)に鉄塔建設後の地形因子を代入した結果, 図 12 に示すように鉄塔建設前の落雷頻度と鉄塔建設を想定した場合の予測値に大きな差がみられなかった。

(2) F送電線

重回帰分析の結果, 重相関係数が 0.97 と非常に高く, 鉄塔建設前の落雷頻度の予測は精度が高いといえる。この結果から得られた落雷頻度の予測式(4.2)に鉄塔建設後の地形因子を代入した結果, 図 13 に示すように大きな差がみられなかった。

5. まとめ

本稿では, 九州電力(株)が所有する落雷位置標定システムによる観測データに基づき, 宮崎県内に新設された3つの送電線に着目し, 地形因子解析を行った。その結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 鉄塔建設前後での鉄塔地点の落雷頻度を5段階に分け比較した結果, 建設前後で落雷分布の傾向が大きく異なるF送電線を除いては, 建設前よりも建設後の落雷頻度レベルの方が高い地点が多いことが確認できた。また, 建設後は落雷頻度の正規曲線のピークが建設前に比べて高い頻度レベル側にシフトしていることが確認できた。これらより, 全体的に見ると鉄塔を建設することで鉄塔地点への落雷頻度が高くなっていることがわかった。
- (2) 鉄塔建設後のデータによる重回帰分析の結果, 地形因子により落雷頻度を予測することができた。そして落雷に影響が大きい地形因子より, 海岸からの距離があり, 山の東斜面や谷に位置している鉄塔に落雷が多くなることがわかった。

参考文献

- 1) 青山孝宏ほか:「LLPシステムデータを用いた耐雷設計用データベースの検討(その2)」, 電気学会研究会資料, ED-95-201, HV-95-72
- 2) 電気学会放電ハンドブック出版委員会:「放電ハンドブック」上巻, 気体・プラズマ; 電気学会
- 3) 板本直樹ほか:「統計的手法による送電線雷撃頻度の地域特性に関する検討」, 電気設備学会誌, 平成12年12月, pp.977~982
- 4) 板本直樹ほか:「地形因子解析による送電線への落雷頻度の推定」平成14年電気学会電力・エネルギー部門大会, pp.406~407