

S7-1-1.

落雷予測システムの開発

〔電〕 ○竹内 寛人 〔電〕 所沢 鉄正 〔電〕 安藤 聡 〔電〕 石津 成一

(東海旅客鉄道株式会社)

Development of a Lightning Hazard Prediction System

Hiroto Takeuchi, Tetsuyoshi Shozawa, Satoshi Ando, Seiichi Ishizu, Member

(Central Japan Railway Company)

This paper investigates the prediction of severe lightning discharges that might cause a serious traffic disturbance, by using computers based on the Japanese Lightning Detection Network (JLDN), in order to support dispatchers to make an effective decision about arranging maintenance engineers for quick recovery. A real-time Lightning Hazard Prediction (LHP) system is proposed and its principal estimation techniques are investigated by applying them to the real lightning data. Strategic ways of finding the equipment, which might be damaged by lightning, are also discussed.

キーワード：鉄道，落雷，落雷検知，落雷予測

Keywords：Railway, Lightning, Lightning detection, Lightning prediction

1. はじめに

近年、電子連動装置、電子踏切制御装置、列車無線等の信号通信システムには多くの高性能電子部品が使用され、鉄道の安全・安定輸送に貢献している。

こうした重要設備には、保安器の設置や接地の確保をはじめとする様々な雷害対策が施されている。しかし、一旦雷害が発生すると、鉄道輸送や踏切における道路交通に直接影響を及ぼす恐れがある。そこで、①落雷が発生する可能性がある場合には、電気設備が故障した場合に備えて、予め早期復旧の準備を整えておくこと、②落雷発生後には、設備の損傷の有無を確実に確認すること、が重要となる。

本研究は、落雷の危険性が高まる正確な時刻と位置を予測することにより、設備が故障した場合でも迅速な復旧を行えるよう、予め保守作業員を効率的に配置する等、鉄道事業者の意思決定を支援するほか、落雷発生後に設備点検を要する箇所を精度良く絞り込むことによって損傷を受けた設備を迅速かつ確実に発見することを目的としている。

2. 落雷位置標定と落雷予測

鉄道への応用に限らず、これまで様々な落雷位置の標定・予測手法が研究されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。また、電力会社においては、落雷位置標定と気象データが実際の雷雨予報や設備管理に利用されている⁽⁴⁾。

全国雷観測ネットワーク(JLDN)は、雲と大地との間に発

生する雷放電に関する情報を全国の産業界や学術団体に提供している⁽⁵⁾。

JLDNは、17基のLPATS-IV(到達時間差法=TOA)センサーと12基のIMPACT(交会法= MDF・到達時間差法=TOA併用)センサーによって構成されている。これらのセンサーは、地上に設置され、VLF/LFの広帯域の電磁波を検知する。各センサーは、個々の雷放電に関する情報をネットワーク・センター(NCC)に送信する。遠隔地のセンサーから送られたデータは、NCCで蓄積・処理され、雲・大地間の雷放電の時刻、場所、ピーク電流の推定値を配信する。JLDNの平均的な落雷位置標定精度は、約500mである。

本研究は、JLDNによって提供されるリアルタイムな落雷情報を用いて、短期的に激しい落雷が予想される「危険地域」を予測することにより、設備の故障発生に備え、鉄道事業者の意思決定を支援することを目的としている。

図1に、本研究で提案する「落雷予測(LHP)システム」の構成を示す。落雷の危険が大きい「危険地域」は、JLDNから時々刻々提供される実際の落雷位置・時刻の情報を用いて、周期的に生成・更新される。そして、落雷現象の推定寿命を考慮しながら、危険地域が移動する進路と時刻を推定する。危険地域が鉄道網に接近することが予想される場合、鉄道会社の指令員は、LHPシステムが提供する情報を参考にしながら、保守作業員の事前配置等の意思決定を行う。

3. 落雷予測 (LHP) システム

<3.1>危険地域の記述

図 1 に示すように、LHP システムは、「危険地域記述部」と「予測部」から構成される。

「危険地域記述部」は、JLDN から得られる落雷の位置・時刻の情報に基づいて、危険地域を定義・更新する。

観測地域内の個々の落雷データは、2次元マッピング手法を用いてまとめた落雷群としてグループ分けされ、各々のグループが危険地域として認識される。平成 15 年 8 月 21 日に観測された落雷現象について、2次元マッピングを行った結果を図 2 に示す。

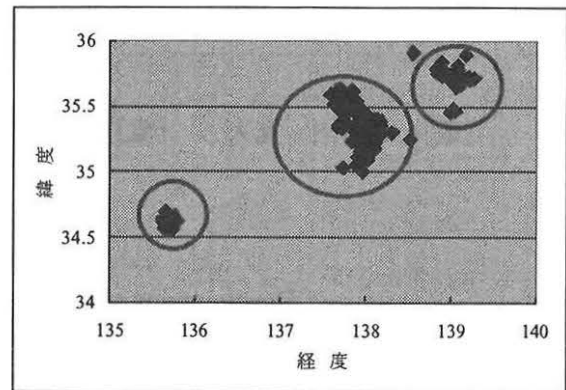


図 2 2次元マッピング

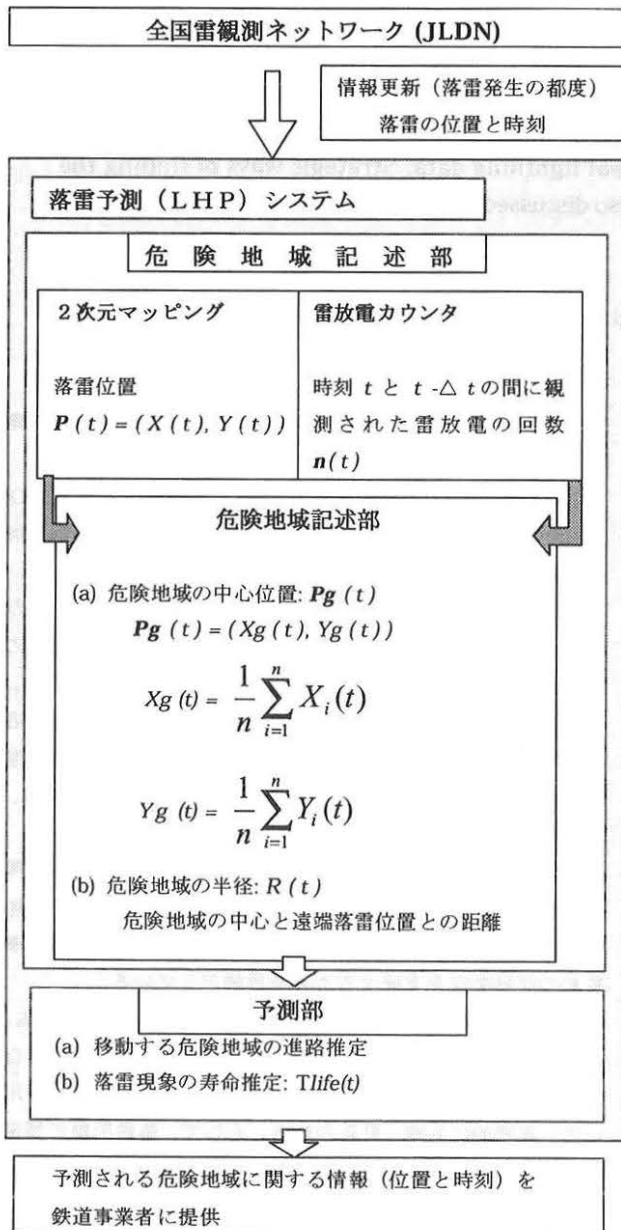


図 1 落雷予測システムの構成

次に、2次元マッピングの結果決定される危険地域ごとに、雷放電の回数をカウントする。図 2 の 2次元マッピングで得られた 3 つの危険地域 (平成 15 年 8 月 21 日観測) について、それぞれ雷放電回数の時間変化を図 3 に示す。ここで、 $n(t)$ は、時刻 t と $t - \Delta t$ の間に観測された雷放電の回数を表しており、 Δt を 10 分として算出している。ここで、3 つの危険地域の落雷現象をみると、それぞれ 30 分から 100 分にわたり、多い時には 10 分間に数十回から百回程度の落雷が発生していることがわかる。過去に発生した雷害事例を調べると、落雷回数と雷害発生状況には相関関係がみられることから、 $n(t)$ は落雷規模を表すひとつの指標になると考えられる。図 2 及び図 3 の落雷現象は、比較的小規模である。

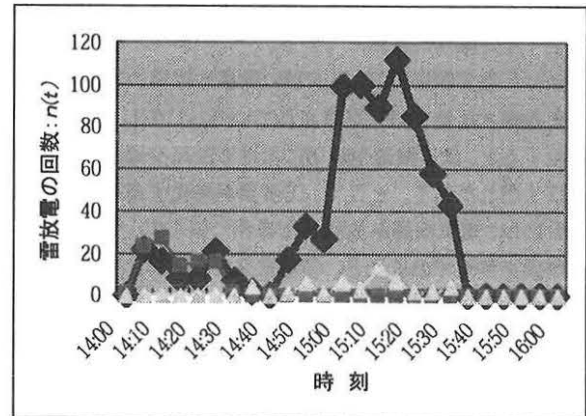


図 3 雷放電回数の時間変化: $n(t)$

時刻 t と $t - \Delta t$ の間に発生した落雷位置を過不足なく包含するような危険地域を定義することは、落雷予測の精度を高めるうえで重要である。危険地域を地図上で記述するには、円、楕円、メッシュの組み合わせ等で表現することが考えられる。ここでは、最も簡易な手法として、図 4 に示すように、時刻 t における危険地域を円で記述することとし、その中心位置 $P_g(t)$ と半径 $R(t)$ とで定義する。ここで、半径 $R(t)$ は、中心 $P_g(t)$ と遠端落雷位置 $P_f(t)$ の距離とする。

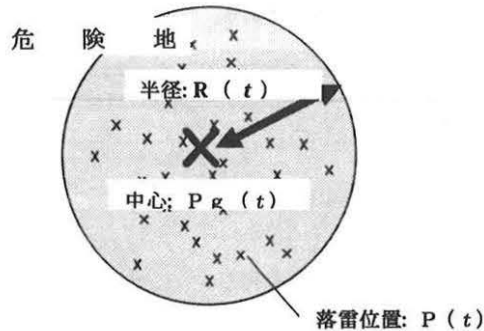


図4 危険地域の定義（円形近似の場合）

<3.2>予測手法

図1に示すように、LHPシステムの「予測部」は、危険地域の進路推定と寿命推定によって構成される。

図5に示すとおり、移動する危険地域の中心位置 $P_g(t)$ と半径 $R(t)$ を時刻 t における各々のパラメータの変化率に基づく外挿によって推定する（進路推定）。

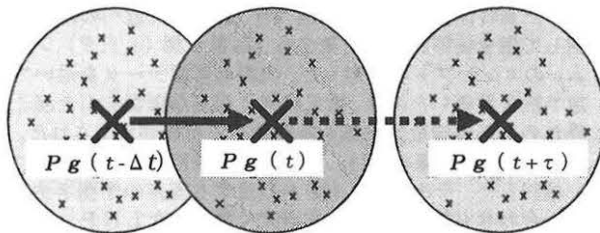


図5 危険地域の進路推定

図6と図7は、図2の2次元マッピングの結果得られた危険地域について、実際の落雷位置の時間変化を 14:00 から 15:30 までプロットしたものである。図6及び図7より、30分から90分の時間範囲において、実際の落雷位置が緯度・経度の各々の方向成分について、予測可能な一定の傾向を示しながら移動（または、停滞）している様子がわかる。

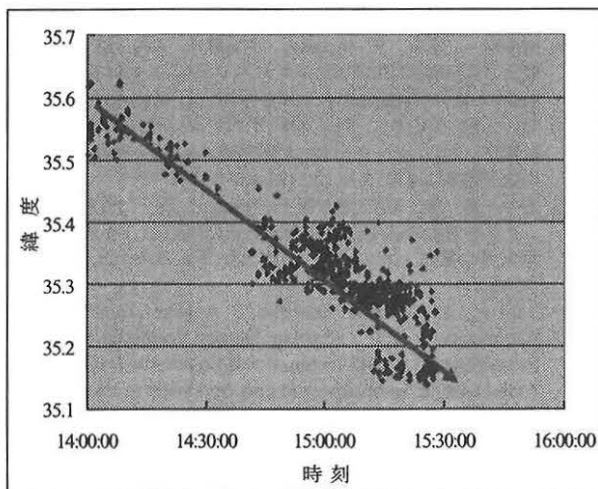


図6 小規模な危険地域の動き（緯度）

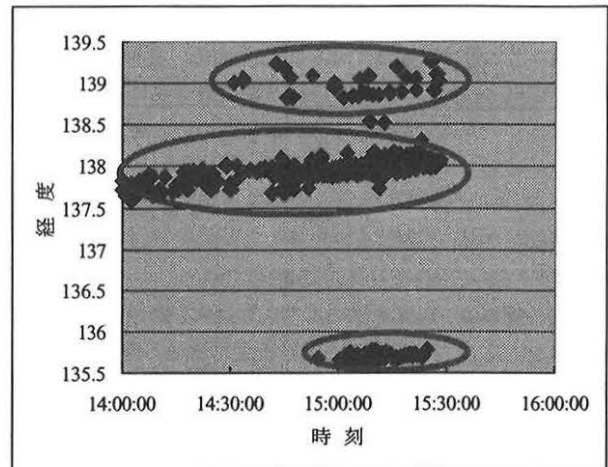


図7 小規模な危険地域の動き（経度）

落雷予測においては、進路推定に加え、雷放電の寿命 $T_{life}(t)$ を推定すること（寿命推定）が重要である。ここで、寿命 $T_{life}(t)$ を、落雷現象が継続する時間として定義する。危険地域の進路推定結果は、寿命 $T_{life}(t)$ より短い推定時間 τ の範囲でのみ有効となる。図3に示した比較的小規模な落雷現象では、各々の危険地域の寿命は、30分から100分程度であった。

4. 落雷の規模

ここでは、鉄道システムの電気設備に影響を与える可能性の高い落雷について、範囲の広さと落雷頻度という2つの観点からみた落雷の規模について検討する。

図6及び図7は、平成15年8月21日の14時から15時30分までに観測された比較的小規模な落雷であるが、危険地域の大きさが、緯度で $0.1 \sim 0.2$ 度、経度で 0.5 度の範囲内であることがわかる。

これに対し、平成15年9月10日の4時から8時までの4時間にわたって観測された大規模な落雷現象（図8）の場合、危険地域は経度で2度に及ぶ広範囲なものであった。

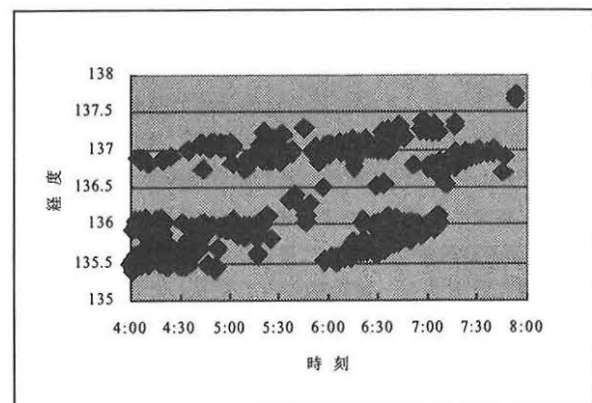


図8 広範囲な落雷における危険地域の動き

このように、広範囲にわたる落雷(暖気団が冷氣団との境界に沿って上昇することによって発生する「界雷」であり、数十キロ以上にわたる)では継続時間が数時間に及ぶ傾向がみられることから、危険地域の広さに基づいて寿命推定を行うことが有効である。広範囲にわたる大規模な落雷の場合、予測に基づいて保守作業員が待機箇所等に参集した後も落雷が継続しており、設備故障が発生した場合に迅速に現場まで移動して復旧作業を行える可能性が高い。

落雷の規模は、危険地域の広さ以外にも、図3で示した落雷頻度を考慮して判断することが重要である。例えば、夏季雷(湿度の高い夏に東南斜面が熱せられて上昇気流が生じることが原因で発生し、20~50km/hで移動する場合もある)は、危険地域が直径5~10km程度と比較的小さいにも関わらず、鉄道の電気設備に被害を与えることが多く、注意が必要である。こうした落雷についても、図6と図7が示すとおり、進路と寿命を推定することにより、1時間以上前に予測できる可能性がある。

図9は、平成15年8月21日に東海道線付近で発生した落雷について、危険地域の時間変化を示したものである。落雷予測システムの実用化により、危険地域がいつどこに到達するかを正確に予測できれば、設備故障に備えて予め復旧体制を効率よく確保することが可能となる。

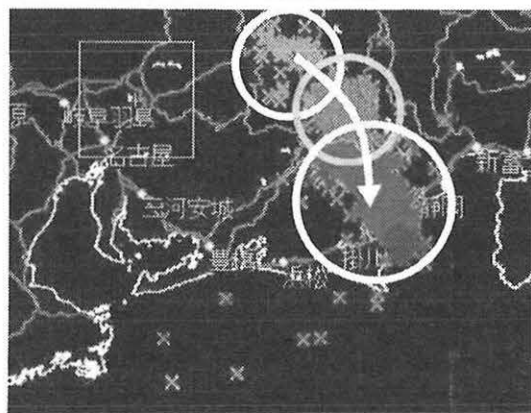


図9 東海道線付近における危険地域の軌跡

5. 落雷発生後の意思決定支援

LHPシステムから得られる危険地域の移動情報を参照すれば、落雷の危険性が去ったことを迅速に知得できるようになることから、保守作業員に対する待機指示を遅滞なく解除でき、待機に要するコスト低減を期待できる。

また、JLDNから取得した落雷位置情報を利用して鉄道沿線の電気設備から一定距離以内で発生した雷放電を漏れなく抽出することにより、落雷で損傷した可能性のある設備を効率的に絞り込み、迅速かつ確実な事後点検を行えるようになる。図10は、平成16年8月6日の20時から24時までの間に飯田線の門島・唐笠間で発生した落雷を抽出し、地

図上にプロットしたものである。

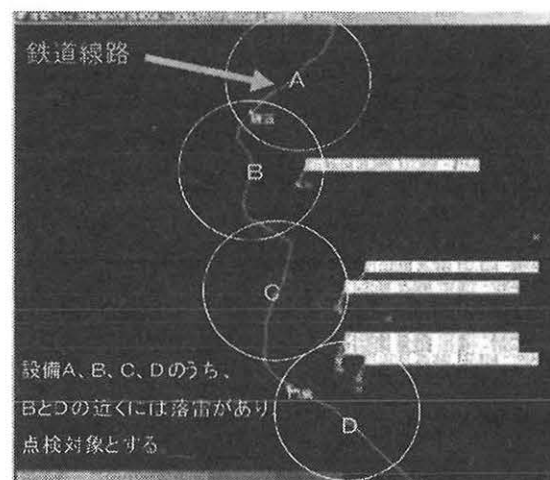


図10 鉄道沿線の落雷履歴の抽出

6. おわりに

本研究では、全国雷観測ネットワーク(JLDN)から取得した実時間落雷データに基づき、鉄道網付近への落雷を予測して指令員等に警報を発する「落雷予測(LHP)システム」のコンセプトを提案した。実際の落雷データを用いて推定手法を評価した結果、電気設備に深刻な影響を引き起こす恐れのある落雷危険地域を予測できる可能性が示された。また、落雷位置情報を活用した効率的な設備の事後点検について検討した。今後、気象情報を利用する既存の予測手法との組み合わせも視野に入れ、本研究で提案したLHPシステムの有効性を高めたい。

文 献

- (1) Cummins, K. L.: "Continental-Scale Detection of Cloud-to-Ground Lightning", 電気学会論文誌 B, 120 巻, 1 号, pp.2-5 (2000)
- (2) Hidayat, S. & Ishii, M.: "Error in lightning location by time-difference and direction (TDD) technique-theory", 電気学会論文誌 B, 116 巻, 4 号, pp. 410-416 (1996)
- (3) 財満英一、望月 東、吹山直樹、北條準一、石井 勝:「到来時間差方式の雷放電位置標定システム(LPATS)による雷放電の観測」, 電気学会論文誌 B, 116 巻, 9 号, pp. 1003-1038 (1996)
- (4) 黒沢公雄、青山孝広、滝谷克幸:「オンライン気象情報と落雷位置標定システムデータを用いた雷予測システムの開発」, 電気学会論文誌 B, 116 巻, 4 号, pp. 424-430 (1996)
- (5) 石井 勝、藤居文行、杉田明子、Hidayat, S.:「JLDNで観測した夏季雷放電電流分布の地域特性及び年変化」, 平成15年度電気学会電力・エネルギー部門大会, No. 377, pp. 423-424 (2003)
- (6) Takeuchi, H., Okai, M., Shozawa, T., Amano, T. and Miki, H.: "Development of a Lightning Hazard Prediction System", Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and other Advanced Mass Transit Systems (CompRail2004), Dresden, Germany, 17-19 May 2004, pp.263-272 (2004)
- (7) 竹内寛人、所沢鉄正、天野岳彦、三木寛:「落雷予測手法の研究」, 平成16年度電気学会産業応用部門大会, No.3-3, III 153-156 (2004)