



落雷の位置やエネルギーを推定し、 送変電設備の巡視・点検の省力化に 大きく貢献

— 標定誤差が50m以下の高精度落雷標定システムの開発 —



送電用避雷装置の普及に伴い、雷による送変電設備の被害は減少しているものの、完全になくすには至っておらず、落雷に伴う設備の巡視・点検に多大な労力を要しています。設備被害を把握するには、落雷位置と雷エネルギーに関する情報が必要となりますが、現行の落雷位置標定システム(LLS:Lightning Location System[※])では位置標定精度が十分ではなく、また雷エネルギーを推定することはできませんでした。このため当研究所では、落雷による被害設備の巡視・点検の省力化に向け、落雷位置を高精度で特定し、さらに雷エネルギーの推定も可能とする新しい落雷位置標定システム(新型LLS)の開発に取り組み、今後の導入を目指します。

新型LLSの開発のためには、実際の落雷における電流・電磁界等のデータも必要となります。そこで東京スカイツリーへの落雷を観測してデータを取得しています。



東京スカイツリー への落雷の光学観測例

※ LLS: Lightning Location System 落雷から放射される電磁波を複数のセンサーで捉え、データ解析により落雷の位置、時刻、強さなどをリアルタイムで推定するシステムのことで、現行のシステムは海外のメーカーが共同で開発したものである

新型落雷位置標定システム(新型LLS)の開発

新型LLSと現行LLSとの比較－新型LLSの特徴－

現在、各電力会社では効果的な送変電設備保守を目的として落雷位置標定システム(LLS)を運用しています。送電線の保守のためには、LLSで正確な落雷と事故点の標定ができるのが望ましいですが、現行のLLSでは、位置標定結果の誤差が数百m程度もあり、誤差範囲内に複数の鉄塔や配電柱が含まれることになるため、保守対象を一つに絞り込むことができません。また、架空地線の損傷点を知るためには、電荷量(雷エネルギー)を推定することも必要ですが、現行LLSには、その機能は付加されておらず、送電線の保守の大幅な軽減には至っていませんでした。

この問題に対処するため、現在、当研究所では位置標定誤差が数十mと小さく、電荷量などの設備被害に関連する雷パラメータも推定可能な新型LLSを開発しています。

LLSでは、落雷に伴い放射された電磁波を観測することによって位置標定を行います(図-1)。電磁波は大地導電率の影響を受けて変歪しますが、現行LLSでは、その影響を取り除いて位置標定が求められるほど十分な精度には到達していませんでした。

新型LLS^{*}では、位置標定誤差を小さくするために、電磁波の波形変歪補正機能を考慮しました。さらに、落雷によるエネルギー(電荷量)を始めとする雷パラメータ(表-1)の推定も可能としています。これらのパラメータの推定を行うことで、地域毎に保守手段を最適化したり、耐雷設備を的確に選択し適切な地点に設置するといったことが可能となります。

※ 現行の位置標定の誤差要因は、主に電磁波に対する大地導電率の影響、雲内の放電の電磁波の重量(幾重も重なりあう現象)による電荷位置推定の不確かさの影響、機器の性能、の3つの要因がある。新型では、これに対して誤差の影響を小さくする数値解析法、誤差を回避する計算アルゴリズムを加え、さらに、高性能センサ配置の決定方法を合理的に確立している。

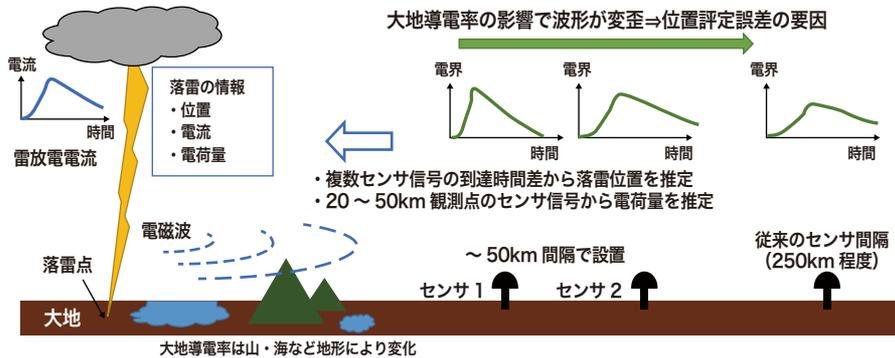


図-1 新型LLSによる落雷位置標定と電荷量推定のイメージ

表-1 LLSの性能・コスト比較

		現行 LLS	新型 LLS
落雷点の標定精度		250m 以上	50m 以下
雷パラメータ	雷撃電流波高値 [kA]	誤差 20%以上	誤差 10% 以内
	電荷量 [C] (エネルギー)	測定機能なし	推定可能
	波頭峻度 [kA/ms]		
コスト (相対値)		1	0.5 ~ 0.1 以下

2

雷放電に伴う電磁界波形の信号処理方法の改良

到達時間推定アルゴリズムの向上

大地導電率の影響を受けて電磁界波形が変歪することにより、現行LLSの各センサで計測している電磁波の観測時刻(GPS時計を使用して、1千万分の1秒の差を観測)に誤差が発生します。現行LLSは各センサの観測時刻の差を用いて落雷位置を推定するシステムであるため、この観測時刻の誤差の増大は位置標定誤差の増大に直結します。

新型LLSでは、現行LLSによる変歪を数値解析(主にアンテナの電磁界解析に使用されている)で補正した電磁波(図-2)を用いて到達時刻を推定することで、誤差を小さくします。さらに伝搬距離が100 km以内に合理的に決定して配置されたセンサで観測された電磁界信号(図-3)を用いるため、現行では数 μ s程度あった到達時刻の誤差を1 μ s程度に抑えます。その結果、落雷位置の誤差数十mを実現します。

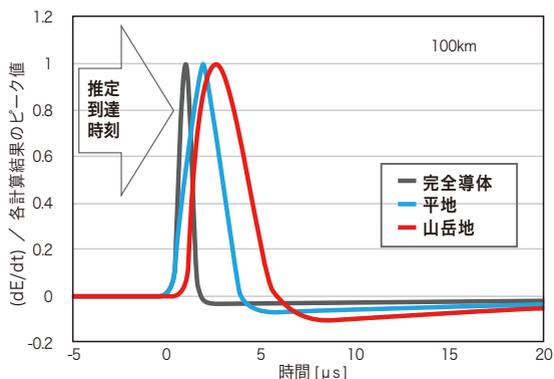


図-2 新型LLSにおける到達時刻の推定の様相
(伝搬距離100km 後続雷撃の例)

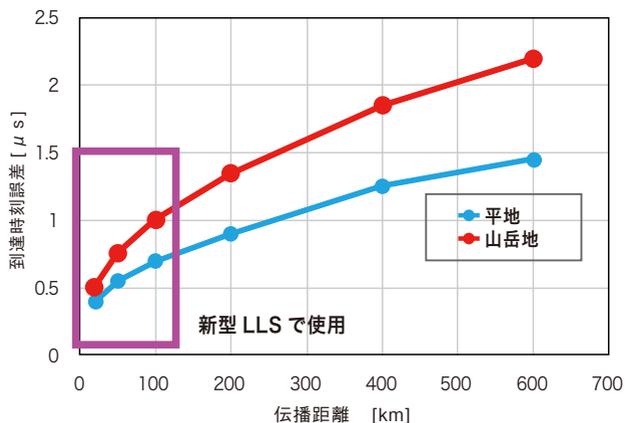


図-3 新型LLSにおける電磁波伝搬距離と到達時刻の誤差の関係
(新型LLSでは伝搬距離100km以内の信号を使用) (後続雷撃の例)

電荷量推定方法の改良

落雷に伴う電荷量は、地上での電界観測と雷雲中の電荷位置を基に推定されますが、雷雲中の電荷位置推定には不確かさを伴います。この不確かさは、落雷から25km以上離れた遠方の電界観測データ(図-4)を用いることで、電荷量推定への影響が小さくなることを計算により明らかにしました(図-5)。また、新型LLSではエネルギーの大きい落雷のみに観測対象を絞り、電荷量推定に必要な信号の観測範囲を広げ遠方から電荷量を推定します。50km程度のセンサ間隔を想定しており、遠方での落雷を観測することにより電荷の正確な位置によらず推定誤差が小さくなることに着目して、信頼性の高い電荷量を推定することが可能となります。

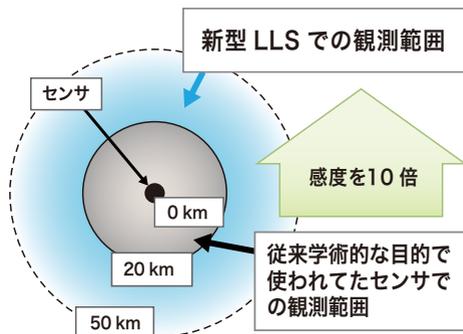


図-4 新型LLSのセンサにおける電荷量推定可能範囲
(冬季雷の電荷高度が低い状況を想定)

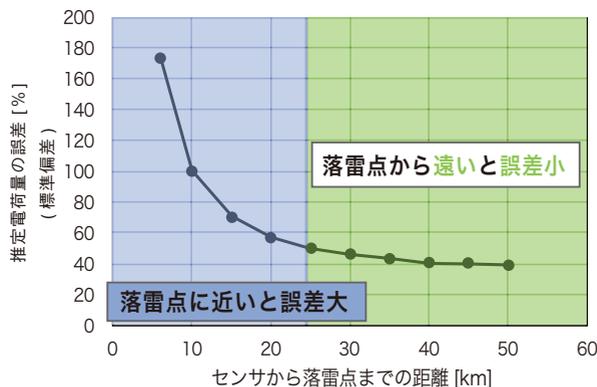


図-5 新型LLSにおける落雷点と線様での距離と誤差の関係
(冬季雷において電荷高度が低い状況を想定)

落雷の観測による雷パラメータ推定精度の向上

東京スカイツリーでの雷観測結果との比較

新型LLSの開発で一番難しいのは、得られるデータの精度の検証です。雷はいつどこに落ちるか判らないため、実際の落雷の電流の観測が大変難しく、観測と解析との比較自体が困難です。このため、当研究所では、東京スカイツリーで測定した落雷を分析しています。具体的には高さ497mで落雷電流を測定し、落雷時の電磁波および高速度カメラによる雷放電路の光学観測を同時に行っており、これらのデータを用いて新型LLSの推定精度を検証しています。

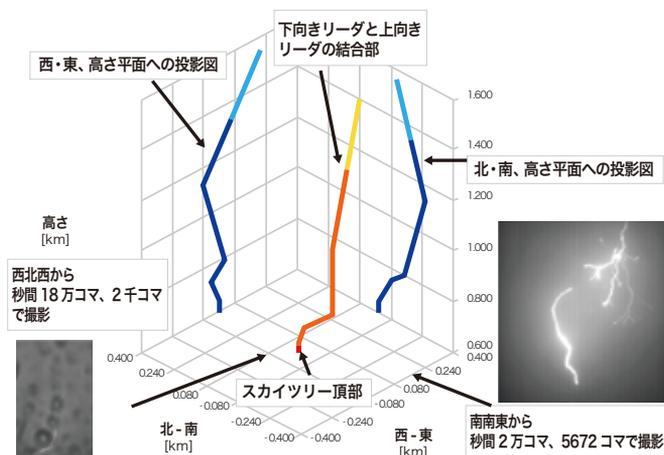


図-6 2方向からの光学観測結果による雷放電路の2次元的な構造の推定

この観測で、高速度カメラによる2方向からの光学観測結果を用いて3次元的な雷放電路を推定しました(図-6)。さらに、同時に観測された電流から電磁波を推定しています。その結果、観測された電磁波を精度良く再現できました(図-7)。このことから、新型LLSのシステムに3次元的な雷放電路を考慮した落雷位置の標定や各雷パラメータを用いて電磁波を推定することが可能となり、新型LLSの推定精度を向上させます。

今後はこの結果を用いて、詳細な雷パラメータの推定精度をさらに向上させて、効果的な雷害対策の実現に役立てます。

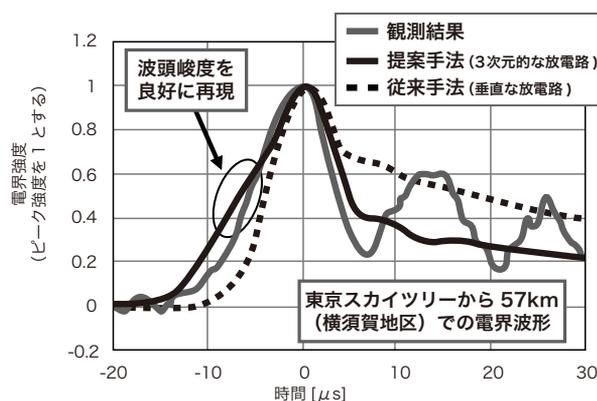


図-7 数値電磁界解析によって再現された電磁界波形

ひとこと

本研究は、従来より問題視されていた架空地線などの電力設備の保守の合理化を達成するために、東京スカイツリーでの雷観測結果を用いて、様々な雷パラメータの推定が可能な新しい落雷位置標定システムを構築する試みです。このシステムが完成することにより、従来は明らかでなかった、地域別の雷エネルギーなどのデータが得られ、一層の雷害対策の合理化が行えるようになり、今後広がっていくスマートグリッドなどの新規設備の耐雷設計も迅速に行なうことが可能です。

電力技術研究所 主任研究員 齋藤 幹久



- [1] 齋藤幹久, 三木貴, 三木恵「新型落雷位置標定システム(新型LLS)開発のための基礎検討(1)ー位置標定誤差の要因分析ー」電力中央研究所 研究報告 H14007, 2015
- [2] 齋藤幹久「新型落雷位置標定システム(新型LLS)開発のための基礎検討(2)ー落雷に伴う電荷量の推定手法の提案ー」電力中央研究所 研究報告 H15009, 2016
- [3] 齋藤幹久「新型落雷位置標定システム(新型LLS)開発のための基礎検討(3)ー雷電流のピーク値と峻度の推定手法の提案」電力中央研究所 研究報告 H15010, 2016
- [4] 齋藤幹久, 三木貴, 三木恵「新型落雷位置標定システム(新型LLS)開発のための基礎検討(4)-東京スカイツリーへの落雷の光学観測結果を用いた解析手法の確立-」電力中央研究所 研究報告 H16007, 2017

報告書は当所ホームページよりダウンロードできます