

鉄道既設の漏洩同軸ケーブルによる雨量計測に関する基礎的研究

東日本旅客鉄道株式会社

正会員 ○長谷川信幸

三菱電機

猪又 憲治

三菱電機

平位 隆史

東京大学

藤野 陽三

東京大学

長山 智則

1. 目的

漏洩同軸ケーブル (LCX =Leaky CoaXial cable : 以下 LCX ケーブル) とは同軸ケーブルにスロットを開けたもので、電波を送受信するアンテナの働きをする。数 100m~km の線形領域に通信サービスを提供するアンテナとして新幹線や高速道路沿いに設置されている。近年では送受信信号を解析することで LCX ケーブルをセンサーとして用いることが試みられ、人物検知[1]などに応用されている。



図1 LCX ケーブル設置状況

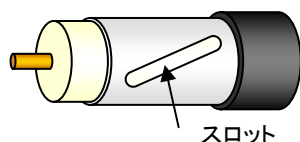


図2 LCX ケーブルの模式図

本研究では、この LCX ケーブルを用いた雨量計測に向けて、基礎的な性質を実験的に解明することを目的とする。線路沿いに敷設された LCX ケーブルによる線状の降雨計測システムは、10m オーダの解像度が期待され、降雨時の列車運行停止、再開の迅速な判断を可能にすると考えられる。

2. 計測原理

LCX は、スロットの空け方によって放射特性が決まり、その性能については広く研究[2]がなされている。解析機については、人物検知用の PTC 解析機を用いる。受信電界 E は、時刻 t 、位置 x 、強度 a 、位相差 ϕ を用いて以下のように表される。

$$E(t, x) = a(t, x) \sin(\omega t + \phi(x)) \dots\dots\dots (1)$$

これを複素振幅 A を用いて表示すると

$$E(t, x) = \text{Re}(A(t, x)e^{i\omega t}) \dots\dots\dots (2)$$

となる。この受信電界は直接波および地面で反射する波を主な成分としており、複素振幅 A はこれらの

成分とともに変動する。

3. 実験装置

LCX ケーブルが実際に設置された状況を模し、定量的に計測可能な降雨を再現できる実験装置を設計、製作し、東京大学工学部 1 号館屋上に設置した。

実験装置は大きく構造システム・散水システム・計測システムの 3 つに分かれる。構造システムは実験装置全体を支える $9\text{m} \times 2.4\text{m} \times 2.4\text{m}$ の金属製フレームで LCX ケーブルはフレームとの絶縁を考慮し、PP バンドを用いて高さ 0.9m の位置に吊っている。散水システムは、水供給源からポンプ、ノズルを経て、層雨を再現するのに適した農業用散水チューブにいたる。計測システムは、LCX ケーブルを中心とした電磁計測装置と、供給水量計測用の流量計からなる。なお、用いた電磁波の周波数帯域は実際の使用状況を考慮して 300MHz とした。

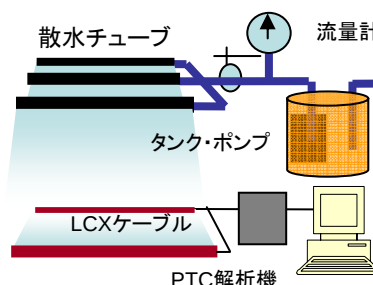


図3 システムの概要



図4 設置状況

3. 人工降水実験

降水時の受信信号の変化を実験的に解明する。信号変化の要因として、降水による直接波および反射波の変化、LCX ケーブルに直接かかる水滴の影響が挙げられる。これらの影響をひとつずつ検証する実験を行った。散水チューブの懸垂方法とその本数を変え、降水量と降水状況の異なる実験を行った。表 1 に散水ケースを、図 5 には実験の模式図を示す。

キーワード 雨量計測, 鉄道

連絡先 〒114-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻橋梁研究室 TEL 03-5841-6099

表 1 散水ケースの特徴

ケース	A	B	C
実験日(2007年1月)	11日	16日	18日
散水チューブ設置高(m)	1.5	0.5	0(吹上)
降雨強度散水本数	0,2,4,6本		
直接波への干渉	○	—	—
反射波への干渉	○	○	—
LCXにかかる雨滴	—	—	○

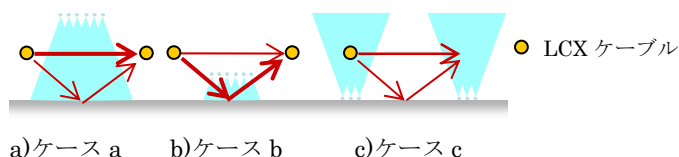


図 5 散水の模式図

定常的な降水条件下でも、受信信号は安定せず、複素振幅が緩やかに変化したり、時折大きく変化したりする現象が観察された。また、同じ実験条件下で計測を繰り返しても複素振幅の複素平面上での動きに明確な類似性を見出すことはできなかった。

定常的な変動成分をより詳細に調べるため、次のようなデータ解析を行った。複素振幅 A について 5 次近似曲線 $X(k)$ を定め、 A との差、 $\hat{A}$ を求める。

$$X = \sum_{k=0}^n A(k)t^k \dots\dots\dots (3)$$

$$\hat{A}(t) = A(t) - X(t) \dots\dots\dots (4)$$

次に、 $\hat{A}$ の変化速度成分をとる。

$$d(t) = |\hat{A}(t + \Delta t) - \hat{A}(t)| / \Delta t \dots\dots\dots (5)$$

なお、突然大きく変化する現象を取り除くために、 $d(t)$ がある閾値を越えた前後については解析対象から除外する。 $d(t)$ の分布は、同条件下での実験で再現性があることが確認された。

ケース A, B における $d(t)$ の分布を図 6, 7 にそれぞれ示す。散水の有無や本数に関わらず形状が一致しており、2 本の LCX ケーブル間に存在する雨滴や地表面滞水は影響をおよぼさないことが分かった。本研究で用いた 300MHz 帯では波長が 1m 程度で雨滴に対して 1000 倍以上のオーダとなり、雨滴による反射や拡散はほとんど起きない[3]ことが原因として考えられる。

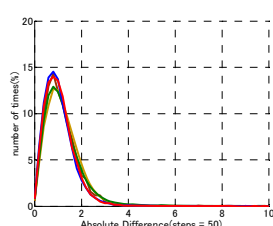


図 6 ケース a

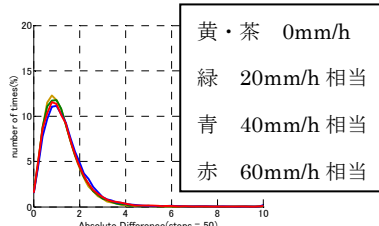


図 7 ケース b

他方でケース C においては図 8 のようになり分布形状が散水量に応じて変化する。図 9 に平均速さを降水量に対して示す。正の相関が観察される。

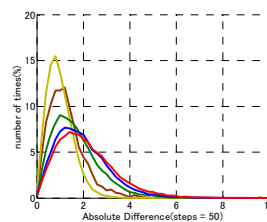


図 8 ケース c

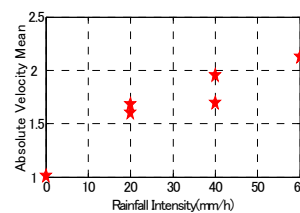


図 9 降水量と平均速さ

4. 自然降水実験

平均速さを一つの指標として 2006 年 12 月 26 日の自然降水時データを同様の手法で解析したところ、人工降水実験による結果と必ずしも一致しなかった。しかし、計測時間中の風速データをあわせてみると[4]、風速が 4.5m/s 以下の時間帯においては人工降水実験結果によく一致することが明らかとなった。

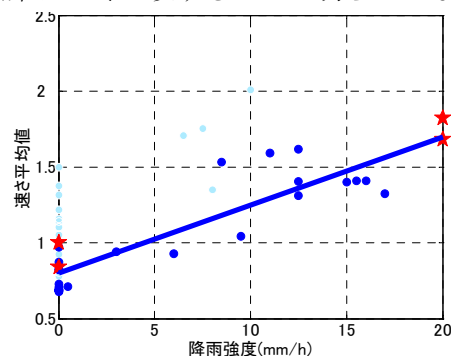


図 9 自然降水計測結果

5. 結論と今後の課題

水滴が LCX ケーブルに直接あたる場合、降雨量と移動速さ平均との間に正の相関が確認された。この関係を利用すれば鉄道などに沿って連続的に高解像度で降雨量計測が可能になると考えられる。相関関係の背景となる物理現象としては水滴が衝突あるいは滴下することによるケーブル振動、ケーブル表面の水幕の変化による電磁界への影響などが考えられるが、その解明および、風などによると考えられる指標地のばらつき要因の解明が今後の課題である。

6. 参考文献

- [1]猪又 憲治, 平位 隆史:漏洩同軸ケーブルによる広域周辺監視センサー測距方式の検討. 信学技法 2006-2. pp.29
- [2]岸本 利彦, 佐々木 伸, 電子通信学会編: LCX 通信システム. コロナ社. 1992-8
- [3]吉野 文雄: レーダ水文学. 森北出版. 2002-10
- [4]気象庁ウェブサイト: <http://www.jma.go.jp/>