

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656101

研究課題名（和文）鉄道沿線既設の無線通信漏洩同軸ケーブルによる新しい広域降雨センシング手法の開発

研究課題名（英文）Trial of Real Rainfall Detection by Digital Signal Processing from Turbulence of Electric Field Around Leaky Coaxial Cable

研究代表者：

藤野陽三（FUJINO YOZO）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：20111560

研究成果の概要（和文）：新幹線軌道沿線などに既設の移動体通信用アンテナである漏洩同軸ケーブル(LCX)の実降雨時の電界の乱れに伴う受信信号のゆらぎからの豪雨検知を目的に屋外で実降雨実験を行った。受信信号には高レベルの高周波雑音が重畳されていたため、まず、離散ウェーブレット変換により高周波成分を除去し、低周波領域に残った豪雨由来の不連続点を抽出した。ただし、雑音由来の不連続点も同時に抽出されたため、「信号のゆらぎの大きさの閾値判定による大きな衝撃性雑音の検出」、「Lipschitz-Hölder 指数による連続性雑音のエッジの検出」、「パーセンタイルを用いた外れ値判定による小さな衝撃性雑音の検出」の3段階で構成される不要不連続点排除アルゴリズムを構築した。アルゴリズムを信号に適用した結果、1分間降雨強度約30mm/h以上の豪雨をリアルタイムに検知できることを示した。

研究成果の概要（英文）：Outdoor experiments were conducted to detect the torrential rain from the signal of LCX(Leaky Coaxial Cables). The received signal was contaminated by high-frequency and high-intensity noise, thus, we removed the high frequency components using discrete wavelet transform, and could extract the low frequency components of the discontinuous points due to the heavy rain. Because the discontinuous points originating in external noise were also extracted simultaneously, we built an algorithm which eliminates unnecessary discontinuous points. The algorithm(Unnecessary Discontinuous Point Exclusion Algorithm) consists of three steps; 1) "Detection of the large impulsive noise by the threshold-judge of the signal-fluctuation", 2) "Detection of the edges of the continuous noise by the Lipschitz-Hölder index", and 3) "Detection of the small impulsive noise by the test of outliers using percentile". As a result of applying the algorithm to the signal-fluctuation, it was shown that heavy rain with 1 min rainfall intensity greater than 30mm/h is detectable.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,200,000	0	1,200,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	0	3,100,000

研究分野：構造工学・地震工学・維持管理工学

科研費の分科・細目：土木工学

キーワード：漏洩同軸ケーブル (LCX), 豪雨モニタリング, 実降雨実験, 時間周波数解析,

### 1. 研究開始当初の背景

局地的大雨を起因とする水災害が度々報告されているため, 的確に大雨をモニタリングすることが重要である. そこで, 本研究では漏洩同軸ケーブル (LCX: Leaky Coaxial cable) という同軸スロットアレーアンテナを用いた降雨モニタリングを検討している. LCX は VHF・UHF 帯域用アンテナで, 移動体通信媒体として日本国内で広く設置されている. このアンテナを使った降雨センシング技術を確立できれば, 既設の LCX ネットワークで局地的大雨をリアルタイムにモニタリングできる可能性がある.

### 2. 研究の目的

既に著者らは, 京都大学防災研究所所有の「雨水流出実験装置」を用いて人工降雨実験を行い, 一分間降雨強度と LCX の受信信号との間に高い相関があることを確認している. そこで, 本研究ではこの技術を実降雨への適用し, 実用性を実証することを本研究の目的とする.

### 3. 研究の方法

送受信個別の LCX で構成されるバイスタティックレーダー方式で遅延プロファイルをモニタリングすれば, LCX 各点での電界変動を把握することができる. ただし, 空間分解能は入力帯域幅に依存する. また電界変動を評価するために, 通常電界強度の一次差分値が使われる. この原理を使って, 降雨に伴う電界変動を観測し, 降雨量の推定を試みる.

東京大学本郷キャンパスにある建物の屋上に送受信それぞれ約 10m の LCX を 1.0m の一定間隔で設置し, 2009 年 6 月 15 日~30 日までの約 2 週間実降雨実験を行った. 計測条件は, 入力周波数:  $70\text{MHz} \leq f \leq 130\text{MHz}$  (空間分解能=2.5m), 受信信号の標準化周波数: 約 1Hz, 送信電力レベル: 10dBm とする. グランドクラッタの影響を軽減するために, LCX を地面から約 0.3m 浮かせて設置した. 地上雨量は LCX から約 20m の位置に設置した転倒樹型雨量計 (分解能 0.2mm) の値を参考にする.

### 4. 研究成果

受信信号とそのデジタル信号処理転倒樹型雨量計で計測された一分間降雨強度と LCX 中央部の受信強度の一次差分値を図 1, 図 2 にそれぞれ示す. 信号は不規則に変動し, 降雨との相関がみられないことが分かる. 信号が不規則に変動する主要原因として, TV や FM 放送などの VHF 帯域の外來高周波ノイズ, LCX の外部導体の接触不良に伴う信号の急峻な変化 (ジャンプ現象), 周辺の道路を走る車が出すパルス状ノイズが考えられる.

デジタル信号処理 (DSP) により, 降雨に関する情報を図 2 から抽出することを試みる. 降雨が LCX 表面に付着することで, 信号が不連続に変化する (特異点が発生する) ことが既に人工降雨試験から示唆されている. 不連続点は全ての周波数成分を含むので, 高周波成分を除去しても不連続点に関わる情報は低周波領域に残ると考えられる. 従って, まず図 2 から 0.05Hz 以上の高周波ノイズを Daubechies ウェーブレット (消失モーメント  $N=5$ ) の有限インパルス応答フィルタにより除去し, 不連続点の情報のみを強調した. 図 3(a)には高周波ノイズ除去後の一分間局所二乗平均を示している. このままではまだ降雨由来以外の不連続点が存在しているために, 降雨由来のものと区別できない. 前者の不連続点は, 上述した①ジャンプ現象に伴う大きいもの, ②放送ノイズのノイズレベルが急峻に変化すること (エッジ) によるもの, ③車両からのパルス波由来の小さいものの 3 つに区別することができる. 以下では, これらを段階的に除去していくことにする. まず①については, 図 3(a)の明らかな異常値を閾値判定により排除した. この結果を図 3(b)に示す. 次に, ②については, 特異性強度を計算することで判別した. 具体的には, 差分値の絶対値について連続ウェーブレット変換を計算し, 時間-スケール平面のデータに拡張する. 各時間のウェーブレットスペクトルの傾きを回帰分析により計算し, Pointwise Lipschitz-Hölder 指数 (特異性強度) を評価する. そして②に特有の特異性強度を見出し, それが発生している時間については, 図 3(b)から②由来の不要特異点として除去する. 結果を図 3(c)に示す. 最後③については図 2 の一分毎のデータをボックスプロットにより “とびはなれ (farout)” の外れ値検定を行った. ここで “とびはなれ” は, 25 百分位数と 75 百分位数をそれぞれ  $a, b$  と定義すれば,  $a+2|a-b|$  以上の値あるいは,  $b-2|a-b|$  以下の点と定義される. この “とびはなれ” が発生している時間について図 3(c) から②由来の不要特異点を除去する. その結果図 3(d)に示す. この結果と図 1 の一分間降雨強度を比較すると, 約 20mm/h~30mm/h 以上の豪雨 (気象庁定義で “強い雨”, “激しい雨”) についてはほぼ検知できていることが分かる.

まとめ.

漏洩同軸ケーブルを用いて実降雨実験を行った. 外來ノイズの中から降雨による受信信号内の不連続点のみを抽出するため, 高周波ノイズの除去および不要特異点の排除を段階的に行った結果, 約 20mm/h~30mm/h

の豪雨の大半を検出することができた。従って、実フィールドに設置された LCX の受信信号に本研究で開発されたアルゴリズムを適用することで、豪雨を広範囲かつ高密度にリアルタイムにモニタリングできる可能性が高いと考えられる。

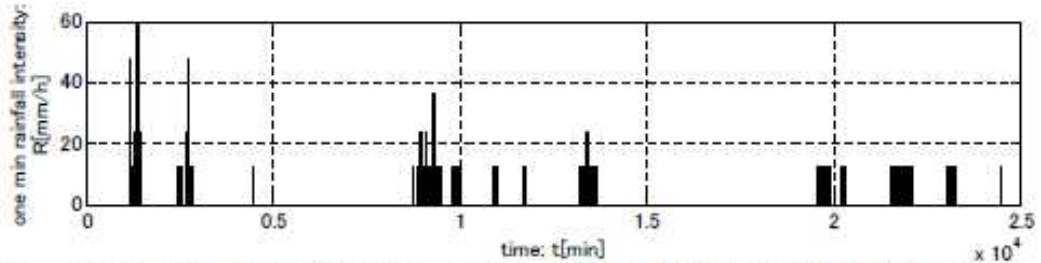


図 1：一分間降雨強度。東京大学本郷キャンパス内で、2009 年 6 月 15 日から 30 日まで計測した結果。分解能 0.2mm の転倒樹型雨量計を使用。

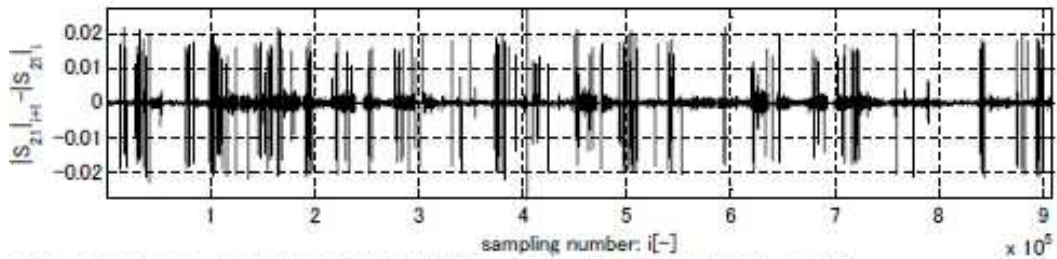


図 2：受信強度の一次差分値。図 1 と計測期間は同様。標本化周波数約 1Hz で計測。

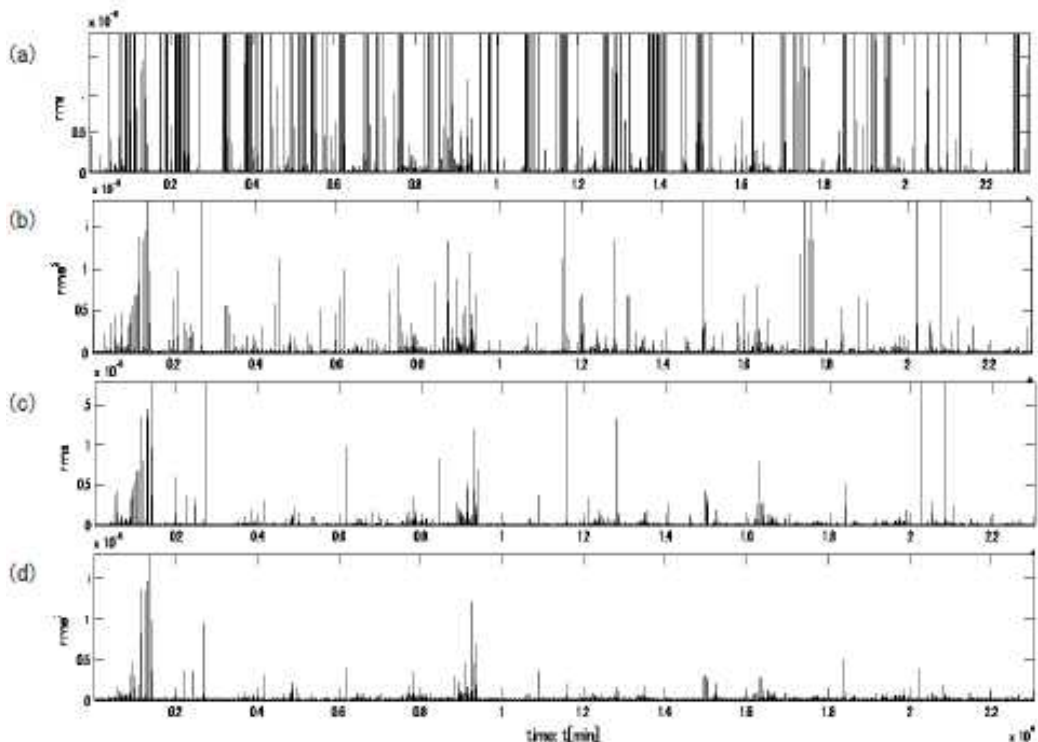


図 3：不要特異点排除結果の段階的表示。(a)：図 2 から 0.05Hz 以上の高周波ノイズを除去した結果。FIR フィルタとして、Daubechies (消失モーメント N=5) を使用。(b)：閾値判定により (a) から LCX のジャンプ現象に伴う不連続点排除。(c)：(b) から Pointwise Lipschitz-Holder 指数によりノイズのエッジ由来の不連続点排除。(d)：(c) からボックスプロットにより“とびはなれ”外れ値を判定し、それに伴う不連続点をを除去。この結果と図 1 を比較すれば、豪雨情報を抽出できていることが分かる。

は下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 水谷司, 藤野陽三, 長山智則, 猪又憲治, 辻田亘, 鹿井正博, 漏洩同軸ケーブルによる豪雨の線状モニタリング, 京都大学防災研究所年報, vol.54, 2011, pp.587-591.  
(査読無)
2. 猪又憲治, 辻田亘, 水谷司, 鹿井正博, 鷺見和彦, 藤野陽三, LCX の表面波崩れを利用した降雨量の計測, Technical report of IEICE. SANE, 141, pp.13-18, 2010.  
(査読有)

[学会発表] (計 3 件)

1. 水谷司, 小林將志, 水野光一郎, 藤野陽三: 内巻きスパイラルRC柱を有する高架橋の耐震性能の動的非線形解析による評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.67, 2012. (to appear) (査読無)
2. 水谷司, 藤野陽三, 猪又憲治, 辻田亘, 長山智則, 鹿井正博, “漏洩同軸ケーブルを用いた実降雨実験とそのデジタル信号処理,” 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.66, pp.293-294, 2011. (査読無)
3. 水谷司, 藤野陽三, 猪又憲治, 辻田亘, 長山智則, 西川貴文, 鹿井正博, 鷺見和彦: 漏洩同軸ケーブルを用いたリアルタイム豪雨検知のための人工降雨実験,” 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.65, pp.559-560, 2010. (査読無)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤野陽三 (FUJINO YOZO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号 : 20111560

(2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

( )

研究者番号 :