

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560360

研究課題名（和文） 地域気候パラメータを考慮した降雨時伝搬特性の世界的推定法の研究

研究課題名（英文） A study on worldwide propagation prediction method during rainy conditions by using regional climatic parameters

研究代表者

細矢 良雄（Hosoya Yoshio）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：20241424

研究成果の概要：電波伝搬の研究は、無線通信回線設計の基本である。信頼性がありかつ経済的な無線通信回線を設計するには、事前に当該地域の気候などを考慮して伝搬特性を推定する必要がある。本研究では、特に降雨時の伝搬特性につき、全世界的に入手可能な地域気候パラメータを用い世界的に適用できる精度良い推定法の作成を目指し、熱帯降雨観測衛星(TRMM)搭載降雨レーダデータを用いた解析を行い、全世界的に入手可能な雷雨率が、降雨時伝搬特性推定法に用いる有望なパラメータであることを明確にした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,900,000	0	2,900,000
2007年度	500,000	150,000	650,000
2008年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	210,000	3,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式（無線，有線，衛星，光，移動）

1. 研究開始当初の背景

無線通信回線において、降雨による影響は避けられず、時として回線断などの深刻な問題を引き起こす。都市開発などで年々気象の変化が取り沙汰され、一方無線通信サービスが多様化する昨今、回線設計者には、より信頼性が高く経済的な回線設計が求められており、そのためには伝搬特性推定法が必須である。降雨が無線回線に及ぼす影響は地域気候に大きく依存し、そのために全世界に適用する降雨時伝搬特性推定には、この地域気候パ

ラメータを考慮する必要があった。この研究項目については、研究開始当初、以下の準備的研究を行っており、研究成果を平成14年8月にオランダで開催された国際電波科学連合(URSI)総会で招待論文として発表し、高く評価され、論文文化も進めていた。

(1) 世界的な1分間降雨強度分布推定法の開発：降雨減衰推定に必要とされる1分間降雨強度分布を精度良く推定することを目的とし、年総降雨量と雷雨率のみから求める

ことができる 1 分間降雨強度推定法を開発。従来の 3 つの推定法との比較検討を行い、最も良い推定精度を得ることを確認。従来には無い任意の累積時間率に対応した 1 分間降雨強度分布推定を達成。

(2) 世界的な地上回線降雨減衰推定法の開発：日本で広く用いられているガンマ分布と降雨強度空間相関を用いる地上回線降雨減衰推定法の全世界規模へ拡張した推定法を開発。従来最も推定精度が良いとされている ITU-R Rec.530-7 法と比較し、大幅に精度が上がることを確認。地域気候パラメータとして雷雨率を使用することで全世界規模への拡張を達成。

(3) 異積分時間降雨強度分布から 1 分間降雨強度分布への世界的な変換法の開発(その 1)：AMeDAS(日本)の 60 分間雨量のように、世界各地で観測されている気象データを最大限活用することを目的とし、M 分布と地域気候パラメータを用いた 1 分間降雨強度変換法を開発。雷雨率の導入により、変換精度が大幅に向上することを確認。従来に無い、任意の地域、任意の累積時間率、任意の積分時間に対応し、かつ精度良い変換を達成。

(4) 異積分時間降雨強度分布から 1 分間降雨強度分布への世界的な変換法の開発(その 2)：ヨーロッパで提案されていた任意の積分時間に対応している Lavergnat-Gole 法の全世界規模への拡張を検討し、雷雨率などの地域気候パラメータを導入した Lavergnat-Gole 法を開発。任意の地域に対応でき、上記(3)で開発した変換法と同程度かそれ以上の精度を持つことを確認。上記(3)の変換法よりも単純な変換公式であるため、拡張性が高い。

(5) 衛星回線降雨減衰救済のためのサイトダイバーシチ改善効果推定法の開発：従来の推定法では全く考慮されていなかった地域気候パラメータを取り込むことを目的とし、地域気候パラメータを考慮した、ITU-R 勧告推定法の改善法を導出。従来の ITU-R 勧告推定法の大幅な推定精度向上を確認。

(6) 雷雨率などの地域気候パラメータを考慮した降雨時交差偏波識別度(XPD)推定法の開発：従来の推定法では全く考慮されていなかった地域気候パラメータを取り込むことを目的とし、雷雨率を考慮することで、既存の ITU-R 推定法よりも推定精度の向上が図れることを確認。

(7) 年間～最悪月変換係数に対する地域気候パラメータの影響の検討：世界各地で安

定して得られている「年間雨量と最悪月雨量の比」を地域気候パラメータとして取り込むことを目的とし、年間～最悪月変換係数に対して、雷雨率よりも大きな相関を示すことを確認。

2. 研究の目的

降雨時の伝搬特性につき、全世界的に入手可能な地域気候パラメータを用いて世界的に適用できる精度良い推定法の作成を目的とし、3 年間の研究期間で明らかにすることを目指す内容は以下の通りである。

- (1) 降雨の地域特性(特に相関特性)に影響する地域気候パラメータの検討
- (2) 現在のところ最も有望な地域気候パラメータと考えられる雷雨率の特性の解明
- (3) 雷雨率の計算法として提案されている Rice-Holmberg 法, Dutton-Dougherty 法, Baptista-Salonen 法の比較検討
- (4) TRMM 衛星データから雷雨率を算出する方法の導出
- (5) 雷雨率と降雨強度自己相関/空間相関特性の定量的関係の明確化
- (6) 降雨による電波の減衰, 交差偏波識別度劣化等と降雨強度自己相関/空間相関特性の関係の明確化
- (7) 雷雨率を用いた世界的に適用できる降雨時伝搬特性推定法の導出
- (8) 雷雨率以外の地域気候パラメータとして、「年間雨量と最悪月雨量の比」の検討

3. 研究の方法

雷雨率を用いた伝搬特性推定法は, Rice et al, Dutton et al, Baptista and Salonen など極めて限られており、またそれらも単に実験式的なものである。それに対し、本研究の目指す雷雨率と降雨強度の自己相関/空間相関特性を結びつける手法は、物理的にも十分根拠のある方法であり、従ってそれを用いることにより推定精度の向上が十分期待できる。本研究の手法は大きく分けて以下の通りである。

(1) TRMM の降雨レーダデータ(2A23 : 降雨タイプ分類, 2A25 / 降雨強度プロファイルなど)を用いて、熱帯地域には限定されるが、雷雨率が直接求められるため、上述の方法と組み合わせることで世界的な正しい雷雨率を検討した。本検討の前段として、文献調査により、既に保有している関連の北見工業大学データバンクを更新した。また、TRMM 降雨レーダデータから入手可能な降雨時伝搬データベースを新たに作成した。

(2) 降雨時伝搬は地域気候の影響が大きいため、従来の研究の殆どは国内・地域内に限

定されているが、全世界的に適用できる推定法の開発は、ITU-R(国際電気通信連合無線通信部門)で行われている。ITU-Rは1993年に地域気候パラメータの研究の重要性を指摘し、関連の研究課題(Question)を修正したが、具体的研究進展はあまり見られていない。このことから、雷雨率が降雨時伝搬研究に対して有望なパラメータとなり得るか検討した。

4. 研究成果

TRMM 衛星データなど全世界的に入手可能な地域気候パラメータを用い世界的に適用できる精度良い推定法の作成を目的として、3年間における主な研究成果は以下の通りである。

(1) 降雨の地域特性に影響する地域気候パラメータの検討による研究成果

① TRMM 衛星降雨レーダデータを用いた雷雨率に関する検討による研究成果： 年間の対流性降雨総降雨量を M_1 [mm], 同じく層状性降雨総降雨量を M_2 [mm] とすると、年総降雨量は M [mm] = $M_1 + M_2$ であり、雷雨率は $\tau = M_1 / (M_1 + M_2)$ で定義される。この雷雨率値の算出方法としては、以下に示す3種の方法が提案されていたが、世界的に対流性降雨と層状性降雨に分けた観測は一般的ではなく、これらの値の実測データとの比較については検討の余地が残されていた。

- ・ Rice の雷雨率： Rice が提案する世界地図より読み取る雷雨率。この雷雨率は任意の地域に対して入手可能だが、分解能は低い。

- ・ Dutton の雷雨率： Dutton らによって提案された式より得られる雷雨率。入力パラメータとして、年総降雨量、年間平均雷日数、月総降雨量の30年間最大値が必要だが、Riceの雷雨率よりも降雨強度の空間相関および自己相関に大きく影響し、伝搬特性推定法への導入に有望なパラメータであることが報告されている。

- ・ Baptista の雷雨率(後述のITU-R P.837-3(ERA-15)による雷雨率と同一)： ECMWF (European Center of Medium-Range Weather Forecast)が保有する15年間の6時間雨量数値予報データに基づく空間分解能、緯度1.5度×経度1.5度の対流性降雨年総降雨量と層状性降雨年総降雨量が入手可能であり、全球の雷雨率が得られる。

- ・ TRMM 雷雨率： 降雨レーダ(PR)によって1998年～2006年(9年間)まで観測された降雨パラメータの月間統計値(3A25 ver6, Estimated surface rain)に基づいて空間分解能緯度0.5度×経度0.5度の対流性および層状性の年総降雨量が得られ、これにより雷雨率を得ることができる。ただし、TRMM 衛星

の観測範囲は、熱帯地域(緯度:-37~+37度, 経度:-180~+180度)に限定される。

検討の結果、図1に示すように、熱帯地域において、Baptistaの雷雨率が実測データに基づいたTRMM雷雨率とほぼ同じ傾向を持つことが確認された。Baptistaの雷雨率は全球に対して入手できるため、本分野の研究において貴重なデータとなることが期待できる。

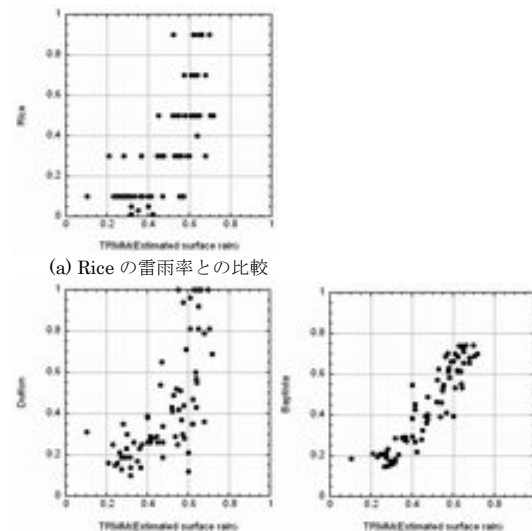
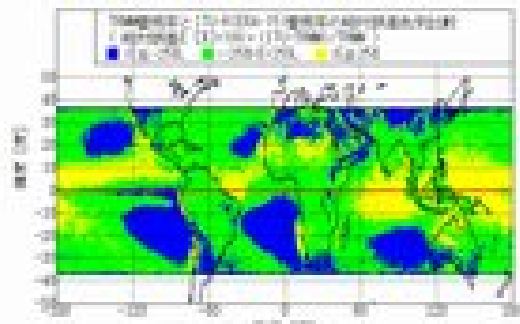


図1 TRMM 雷雨率と3種の雷雨率との比較結果

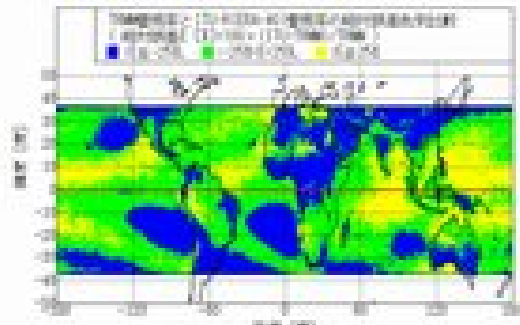
② TRMM 衛星降雨レーダデータとITU-R P.837 データを用いた雷雨率に関する検討による研究成果： ITU-R P.837-3 (ERA-15)による雷雨率は、全球に対して入手可能な貴重なデータではあるが、①で述べたように、雨量数値予報データに基づいて作成されているため、実測値との地域的比較が必要である。TRMM データとITU-R データを用いて求めた雷雨率について地域的検討を行ったところ、少なくとも熱帯地域に関しては、ITU-R データは観測値との間に差があることが確認された。

一方、この勧告はITU-R P.837-5 (ERA-40)に改訂されており、40年間の雨量数値予報値に基づいたものに更新されているため、実測値との比較が必要であり、ERA-15 データよりも数値予報年数が増加していることから、観測値との傾向にも差が増している可能性が考えられる。二つのITU-R データ(ERA-15とERA-40)と実測データであるTRMMデータの雷雨率に対する地域的検討結果をそれぞれ図2(a)と図2(b)に示した。±25%の相対誤差を境界として熱帯地域を色別に表示した結果、ERA-15 データは実測値よりも、

赤道付近の特に海洋上で過大となり、北緯・南緯共に高緯度地域の特に海洋上および一部陸上で過小となることが分かった。これは、数値予報に基づく誤差が含まれている結果と考えられる。一方、ERA-40 データは、一部海洋上の誤差は改善されているものの陸上での誤差が拡大していることが分かった。最新の Rec. P.837-5 で使用される 40 年間の雨量数値予報に基づくデータには、Rec. P.837-3 で使用される 15 年間データよりも大きな予報誤差が含まれることを示し、伝搬特性推定法の検討には Rec. P.837-3 におけるデータが適していることを明らかにした。



(a) TRMM データと ITU(ERA-15) データとの比較



(b) TRMM データと ITU(ERA-40) データとの比較
図 2 相対誤差による雷雨率比較結果

(2) 降雨時伝搬特性推定法のための世界的な降雨強度分布形に関する検討による研究成果： 降雨時伝搬特性推定法には、降雨強度と降雨減衰データを精度良く近似できる統計分布を用いる必要がある。一般に、ガンマ分布は累積時間率の小さな領域に対して、対数正規分布は累積時間率の大きな領域に対して降雨強度と降雨減衰分布の良い近似を与えることで知られている。また、降雨減衰推定法に要求される広い累積時間率領域で良い近似を与える分布形として Moupfouma 分布が考えられたが、降雨減衰推定に必要な変量の和の分布を求めるには計算が非常に複雑となることが分かっている。これに近い近似精度を持ち減衰推定計算の簡略化を可能にしたのが、Moupfouma 分

布を簡略化した M 分布である。一方、広い確率領域において良い近似を与えるとして Weibull 分布が報告され、この分布を用いた降雨減衰推定法も提案されている。しかしながら、これらの分布形に対する世界的な近似精度の評価は行われていなかった。

図 3 に、絶対誤差（降雨強度近似値－降雨強度値）の rms 値が最小となる統計分布を色別に示した。これより、全球にわたり Moupfouma 分布が良い近似を与えることが確認できるが、この分布形を推定法に用いるには計算が複雑になり困難であることが分かっている。そこで、図 4 に Moupfouma 分布を除く 3 種の分布形による誤差が最小となる分布を色別に示した。これより、降雨減衰の影響が大きな熱帯から温帯地域にかけては M 分布の近似精度が高く、降雨強度の低い高緯度地域になるほど Weibull 分布から対数正規分布へと近似精度が高くなることが分かる。

これらの結果より、減衰推定計算の簡略化を可能にし、かつ降雨強度分布の近似精度の高さから、M 分布が世界的な降雨時伝搬特性推定法に最も適した分布形であることを明らかにした。

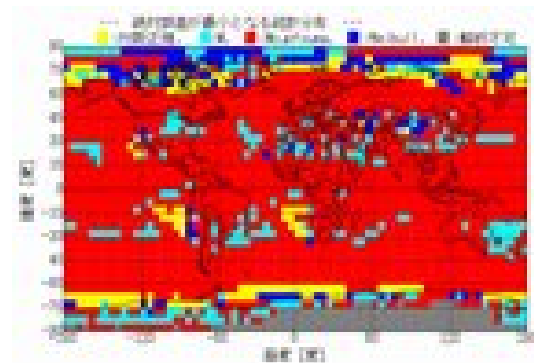


図 3 4 種の統計分布による降雨強度近似結果

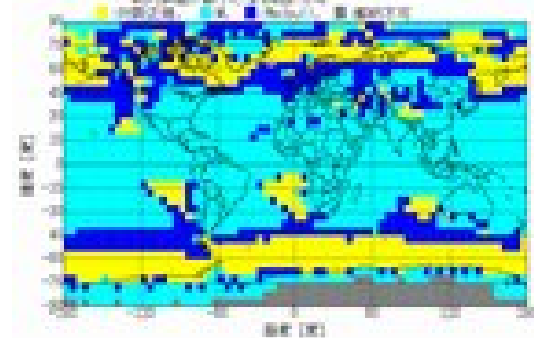


図 4 3 種の統計分布による降雨強度近似結果

(3) 雷雨率を用いた世界的に適用できる降雨時伝搬特性推定法導出の検討による研究成果

① 異積分時間降雨強度変換に関する

ITU-R 勧告 837 の一検討と改善による研究成果： 降雨減衰分布推定には、積分時間 1 分間の 1 分間降雨強度分布が要求されるが、世界的には積分時間 1 分の測定は少なく、日本の AMeDAS の 60 分間のように長い積分時間の測定がまだ多い。そのため、長い積分時間の降雨強度分布から、1 分間降雨強度分布を推定する異積分時間降雨強度変換法の確立が必要である。電波伝搬推定法の国際標準化を担当している、国際電気通信連合無線通信部門第 3 研究委員会（略称 ITU-R SG-3）でもこの研究が行われ、2007 年 4 月の SG-3 会合において、関連の勧告 837 を改訂し、世界的な異積分時間降雨強度変換法を初めて採択した。この変換法は韓国提案に基づいており、対応可能な積分時間が限定されている。この適用地域を拡張できるかを、異積分時間降雨強度に関する北見工業大学データバンクを用いて検証し、 τ 分間降雨強度 ($\tau = 5, 10, 20, 30$ 分) から 1 分間降雨強度への変換結果を図 5 に示す。これより、世界的にみると、勧告 837 による変換結果は、実測値とかなり異なる場合もあることが確認できる。

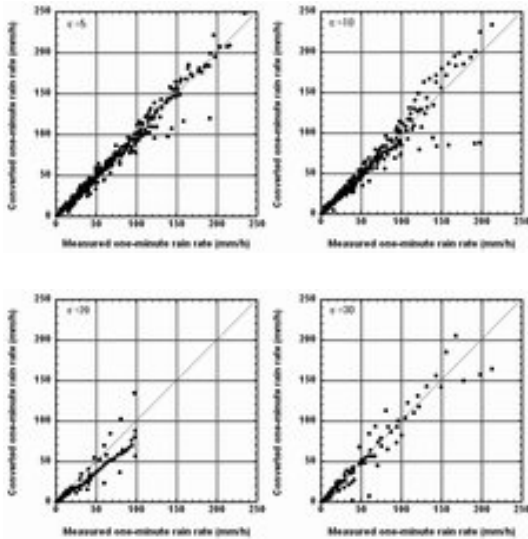


図 5 ITU-R 勧告 837 による変換値と実測値の比較

更なる解析として、重回帰分析を行いどのようなパラメータがこの変換法に影響しているのかを検討し、地域特性を考慮した変換法を新たに導出した。その結果、勧告 837 変換法で用いるパラメータを、地域特性を持つ局緯度、局経度、年総降水量、雷日数、最大月雨量、Dutton の雷雨率で表すことができることが分かった。この新たに導出した変換法と勧告 837 変換法による結果と実測値を比較した結果が図 6 であり、表 1 には変換誤差の定量的な評価結果を示している。これより、地域特性を考慮して新たに導出した変換法により、全ての積分時間に対して平方誤差が

かなり減少することを確認した。

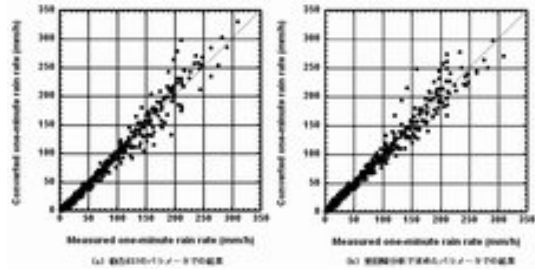
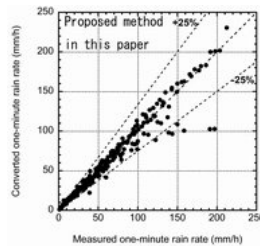


図 6 5 分間降雨強度に対する変換値と実測値との比較

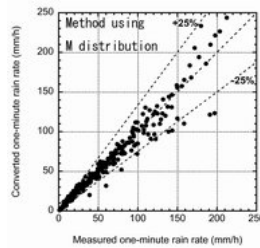
表 1 変換値と実測値の平方誤差

方法	τ 分間降雨強度(mm/h)			
	5	10	20	30
勧告837の方法(%)	57.45	27.41	35.92	34.48
本報告の方法(%)	28.00	23.86	5.75	10.30

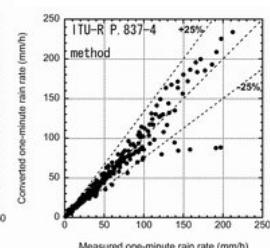
② Lavergnat-Gole 法を用いた世界的に適用できる異積分時間降雨強度分布変換の検討による研究成果： 降雨時伝搬の研究に必要とされる異積分時間降雨強度分布変換法に関して、任意の積分時間に適用できる Lavergnat-Gole 法のパラメータ a に地域気候パラメータを考慮すると任意の地域に拡張可能であり変換精度も良いことを既に報告しているが、このとき用いる地域気候パラメータについては改善の余地が残されていた。改善した方法を新たに導出し、既存の変換法との比較結果を図 6 に示す。この結果より、本変換法が、積分時間に対する変換の自由度が高く、さらに特定分布近似が必要ない点から従来の方法よりも簡単で一般的な方法であることが分かった。



(a) 本変換法の結果



(b) M 分布法の結果



(c) ITU-R 勧告 837 法の結果

図 6 1 分間降雨強度実測値と変換結果との比較

③ 雷雨率を用いた世界的に適用できる衛星回線サイトダイバーシチ改善効果の検討における研究成果： 衛星通信回線において、

大きな問題となる降雨減衰に対する対改善法として、地球局を二局離して設置し、回線上の降雨減衰が小さい地球局に切り替えながら通信を行うサイトダイバーシチ方式が研究され、実用化に至っている。この方式には、局間距離をどの程度とるかなど様々な条件を考慮し、サイトダイバーシチ効果がどれだけ得られるか推定する必要がある。しかしながら、現在までに報告されている推定法には、サイトダイバーシチ効果に影響を与えそうな地域気候パラメータの考慮はなされていない。そこで、12ヶ国 108 データセットからなる北見工業大学衛星回線サイトダイバーシチデータバンクを使用し、現在 ITU-R が勧告している Boithias 法および Hodge 法に関して、雷雨率を考慮することで両推定法の改善を行った。図 7 は、両推定法と改善した推定法との推定精度を、単一局受信時の減衰値の相対誤差 E_{AR} を用いて比較したものである。この結果より、改善 Boithias 法と改善 Hodge 法が、従来の推定法よりも推定精度が向上することを確認した。また、時間率の小さな領域では改善 Boithias 法が、大きな領域では改善 Hodge 法の推定精度が良いことを示し、各推定法の適用範囲も明らかにした。

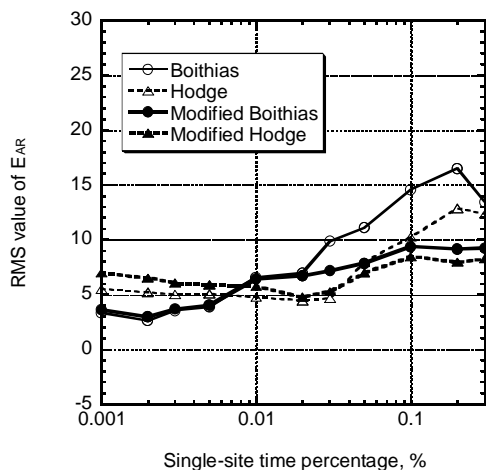


図 7 4 種の変換法に対する相対誤差 E_{AR} の rms 値比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① Chieko Ito, Yoshio Hosoya, A Proposal of Modified Lavergnat-Gole Model for Global Conversion of Different Integration Time Rain Rates, Progress In Electromagnetics Research Symposium 2006, p.193, 2006 年 8 月, 査読有.

② Chieko Ito, Takahisa Ishikawa, Yoshio Hosoya, A study on global prediction

method for site diversity improvement using thunderstorm ratio as a regional climatic parameter, European Conference on Antennas and Propagation 2006, p.70, 2006 年 11 月, 査読有.

[学会発表] (計 7 件)

① 伊藤知恵子, TRMM 衛星降雨レーダデータを用いた雷雨率に関する検討, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2007 年 10 月 28 日, 北海道工業大学.

② 浅田真仁, 異積分時間降雨強度変換に関する ITU-R 勧告 837 の一検討, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2007 年 10 月 28 日, 北海道工業大学.

③ 伊藤知恵子, TRMM 衛星降雨レーダデータと ITU-R P.837-4 データを用いた雷雨率に関する比較検討, 電子情報通信学会総合大会, 2008 年 3 月 20 日, 北九州市立大学.

④ 伊藤知恵子, Lavergnat-Gole 法を用いた世界的に適用できる異積分時間降雨強度分布について (II), 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2008 年 10 月 25 日, 東海大学札幌キャンパス.

⑤ 浅田真仁, 異積分時間降雨強度変換に関する ITU-R 勧告 837 の改善, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2008 年 10 月 25 日, 東海大学札幌キャンパス.

⑥ 細矢良雄, 降雨時伝搬特性推定法のための世界的な降雨強度分布形に関する検討, 電子情報通信学会総合大会, 2009 年 3 月 19 日, 愛媛大学.

⑦ 伊藤知恵子, TRMM 衛星降雨レーダデータと ITU-R 勧告 837 の世界的降雨特性との比較検討, 電子情報通信学会総合大会, 2009 年 3 月 19 日, 愛媛大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細矢 良雄 (Hosoya Yoshio)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号：20241424

(2) 連携研究者

伊藤 知恵子 (Ito Chieko)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号：70301976