

## 1 時間降雨中の降雨減衰分布及び 1 分間降雨強度分布に関する検討

峯松 史明

鈴木 陽一

正源 和義

NHK 放送技術研究所  
〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

### 1. はじめに

現在、NHK は従来のハイビジョンの 16 倍の情報量を持ち、圧倒的な臨場感を視聴者に提供できる、走査線数 4000 本のスーパーハイビジョン放送の研究を行っている。このスーパーハイビジョン放送の実現に向けて、広帯域な伝送路の確保が可能である 21GHz 帯衛星放送が一つの伝送メディアとして期待されている<sup>[1]</sup>。しかし、21GHz 帯は降雨による電波減衰が大きく、安定な衛星放送の実現には、降雨減衰補償が必須である。そこで現在筆者等は 21GHz 帯降雨減衰補償技術の一つとして、フェーズドアレイ送信アンテナを用いて降雨減衰の発生している降雨域に対してより強い衛星送信電力を照射する可変 EIRP 衛星放送システムを検討している<sup>[2]</sup>。

本論文では、可変 EIRP 衛星放送システムの実現に向けて、1 時間雨量値から雨域に対する必要な衛星送信電力を推定する手法の確立を目指し、1 時間雨量で規定される 1 時間降雨中の降雨減衰分布と 1 分間降雨強度分布の検討を行う。そして同一超過確率値における、降雨減衰値と 1 分間降雨強度の中央値の確率分布が、対数正規分布で近似できることを示す。また、この中央値

による 1 分間降雨強度分布が、同じ 1 時間降雨中の 10 分間降雨強度の中央値分布から推定できることも合わせて示す。さらに、この結果を利用し、過去 8 年間の気象庁アメダス 10 分雨量データを用いた全国の 1 時間降雨中の 1 分間降雨強度推定を行い、同じ 1 時間雨量であっても、その 1 時間降雨中の 1 分間降雨強度分布が地域によって異なることを示す<sup>[3][4]</sup>。

### 2. 21 GHz 帯衛星放送システムの降雨減衰補償手法

雨が降っている地域に対して大きな送信電力を照射する場合、リアルタイムで広範囲に降雨減衰を実際に測定し、送信電力制御量を決定することは困難であるため、降雨地域で発生する降雨減衰を予め推定することが有効である。日本上空の降雨状況を地理的に細かく予測するものとして、気象庁の短時間降水予報値がある。これは 30 分毎に日本国土上の 5km 四方毎の 1 時間雨量値をその先 6 時間分予測するものである。この降雨予報値から降雨減衰を推定できれば、最短で 30 分間隔で送信電力制御量を定めることができる。図 1 に可変 EIRP 衛星放送システムによる、降雨減衰補償の流れを示す。1 時間の降雨期間中に降雨強度の変化と共に、降雨減衰は時々

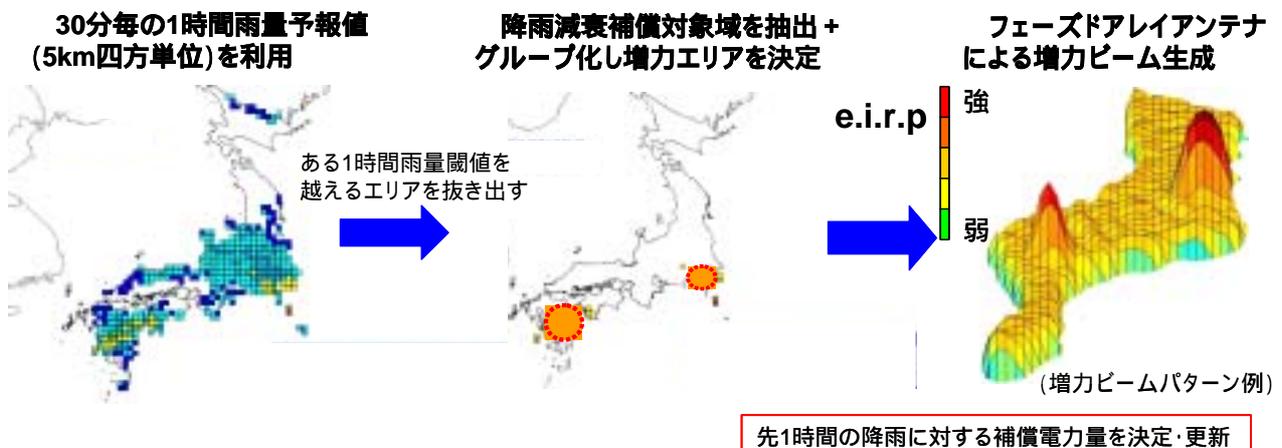


図 1 可変 EIRP 衛星放送システムによる降雨減衰補償の流れ

刻々と変化するため、1時間の降雨期間中のトータルの放送遮断時間がある値以下に抑えるために必要な送信電力制御量を決定するためには、1時間降雨中の降雨減衰分布を知る必要がある。そこで、1時間降雨中の降雨減衰分布と1分間降雨強度分布の調査を行った。

### 3. 検討に用いた降雨減衰及び降雨強度データ及びその観測緒元

本検討に用いた降雨減衰及び、降雨強度データは、筆者等が2000年から独自に観測している12GHz帯放送衛星電波の降雨減衰データと1分間降雨強度データである。観測緒元を表1に示す。また屋外観測機器の様子(東京・世田谷)を図2に示す。

#### a) 降雨減衰の観測

降雨減衰データは、BSアナログ放送(7ch)の受信電界

表1 観測緒元

電波元となる放送衛星	BSAT-1a
観測電波の周波数	11.84 GHz
受信アンテナ	65cm 径 パラボラアンテナ
測定ダイナミックレンジ	約 20 dB
降雨強度計	光学式降雨強度計及び雨滴計数型降雨強度計
光学式降雨強度計測定ダイナミックレンジ	500 mm/h
サンプリング周波数	1 秒
降雨減衰抽出用 LPF 遮断周波数	0.025 Hz
観測地点	東京、川崎、鹿児島、沖縄
観測期間(継続)	~2000年



図2 屋外観測機器(受信アンテナと降雨強度計)

強度を1秒間隔で常時観測し、降雨減衰が発生した日のデータと、その日を挟む晴天日受信電界強度を用いて推定さ

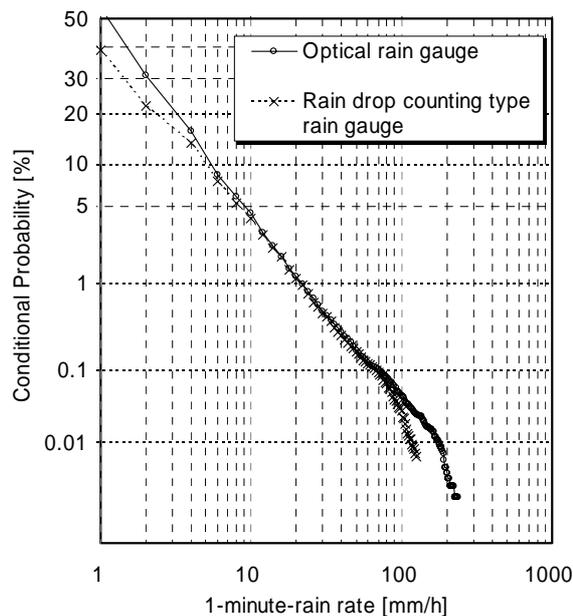


図3 1分間降雨強度の条件付確率分布  
(東京 2000-2003)

れる晴天日受信電界強度との差を求めることで、降雨減衰データを求めている。さらに大気シンチレーションによる影響を取り除くために、LPFによるスムージング処理も同時に行っている。観測誤差は約0.5dB程度である。

#### b) 1分間降雨強度の観測

1分間降雨強度の測定には筆者等は、従来から良く用いられている雨滴計数型の降雨強度計(RRG)以外に、メンテナンス性の良い光学式降雨強度計(ORG)<sup>5)</sup>を用いている。図3に光学式降雨強度計と雨滴計数型降雨強度計によって観測された東京(世田谷)の1分間降雨強度分布(条件付時間率分布)を示す。両者の結果は良く一致しており、対数正規分布で良好に近似できる。また利用している雨滴計数型降雨強度計では1分間降雨強度100mm/h程度までしか対応できていないのに対し、光学式降雨強度計では、更に強い降雨強度の降雨まで対応できていることもわかる。

本検討では、1分間降雨強度については東京、鹿児島で観測された2000年4月から2003年12月までの約4年間の観測値を用いた。降雨減衰量については、同期間に東京での観測値を用いた。

#### 4. 1時間降雨中の降雨減衰分布と1分間降雨強度分布

##### a) 1時間降雨中の降雨減衰分布

図4に、東京における1時間雨量10mmとなった1時間降雨毎に得られた降雨減衰分布を対数正規確率紙にプロットした結果を示す。同観測期間中に、

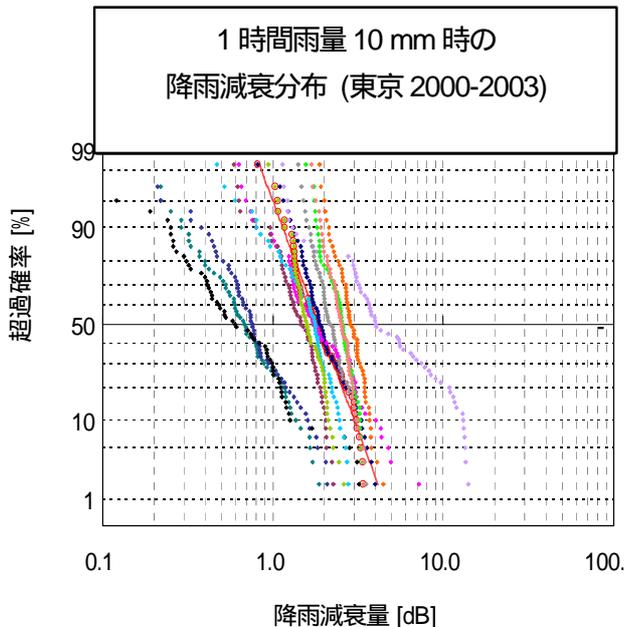


図4 1時間雨量10mm時の降雨減衰分布(東京)

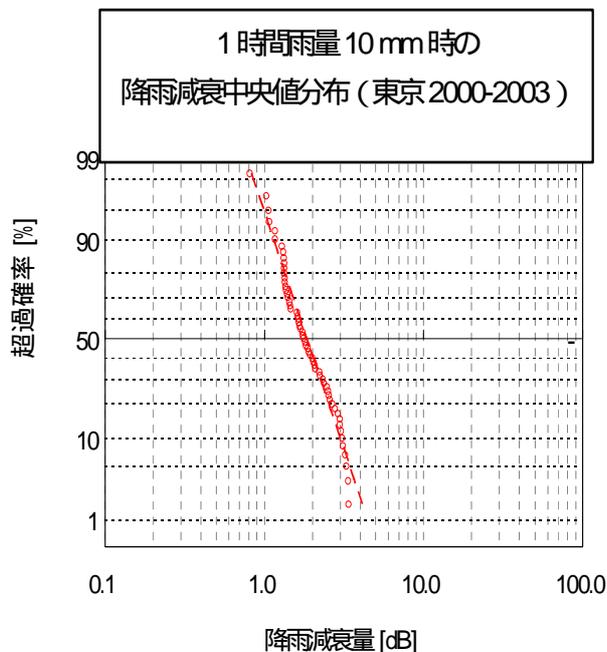


図5 1時間雨量10mm時の降雨減衰分布(東京 中央値計算処理後)

東京では1時間雨量10mmとなった降雨事象数は13回であった。同図からわかるように、同じ1時間雨量10mmの降雨であっても、その降雨中の降雨減衰分布は降雨事象毎に異なっている。そこでこれらの様々な分布から、その平均的な分布形を求めるために、各超過確率値に対して存在する複数の降雨減衰値に対して、その中央値となる降雨減衰値を同超過確率値に対応させ、これを1時間雨量10mmとなった降雨時の平均的な降雨減衰分布(降雨減衰中央値分布)とした。図5にその結果を示す。超過確率値毎に求められた降雨減衰中央値の分布は、対数正規確率紙上でほぼ直線上に並んでおり、対数正規分布で近似できると考えられる。

##### b) 1時間降雨中の1分間降雨強度分布

図6に、東京における1時間雨量10mmとなった1時間降雨毎に得られた1分間降雨強度分布を対数正規確率紙にプロットした結果を示す。また、降雨減衰分布の時と同様に超過確率毎に複数の1分間降雨強度から、その中央値を求め、平均的な1分間降雨強度分布(1分間降雨強度中央値分布)としたものを図7に示す。図6より、降雨減衰の時と同様に、同じ1時間雨量であっても降雨事象毎に1分間降雨強度分布は異なるが、超過確率毎の1分間降雨強度の中央値は対数正規確率紙上でほぼ直線上に並んでおり、対数正規分布で近似できると考えられる。また図7には、1時間雨量10mmとなった1時間降雨毎に得られた10分間降雨強度分布の中央値も同時にプロットした。同図よりわかるように、10分間降雨強度の中央値分布と1分間降雨強度分布の中央値分布は良く似ており、10分間降雨強度を対数正規分布直線で近似した場合、その直線で1分間降雨強度中央値分布が良く近似できることもわかる。

図8は、鹿児島で観測された1時間雨量10mmとなった1時間降雨に対する1分間降雨強度中央値分布と10分間降雨強度中央値分布を示したものである。鹿児島の場合も東京の場合と同様に、1時間降雨中の1分間降雨強度中央値分布が、同降雨中の10分間降雨強度中央値分布で良好に近似できていることがわかる。

この他1時間雨量5mmの場合においても、同様な検討を行い、東京、鹿児島共、同様に1分間降雨強度中央値分布が、同降雨の10分間降雨強度中央値分布で良好に近似できることを確認した。

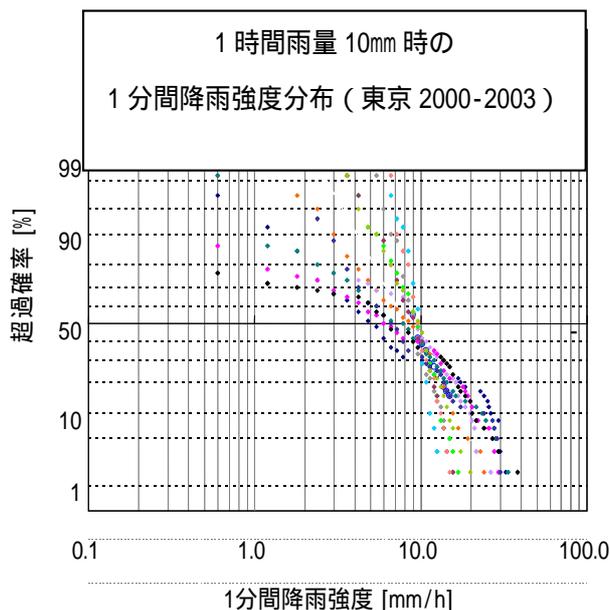


図6 1時間雨量10mm時の1分間降強度分布(東京)

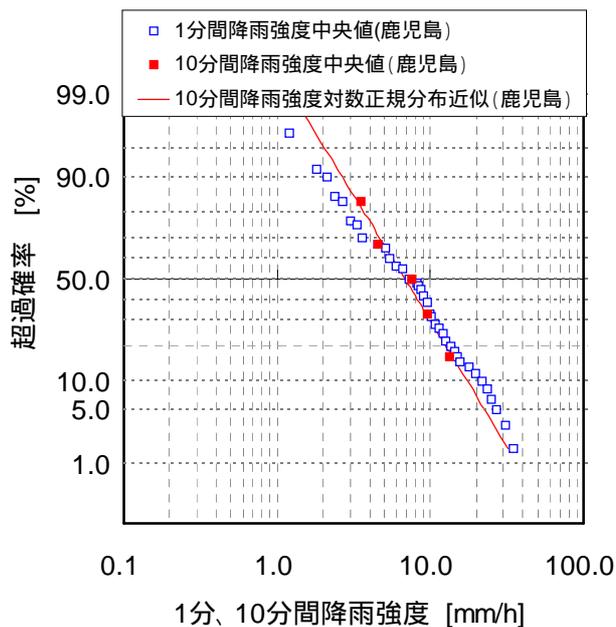


図8 1時間雨量10mm時の1分間降強度分布  
(鹿児島 中央値計算処理後)

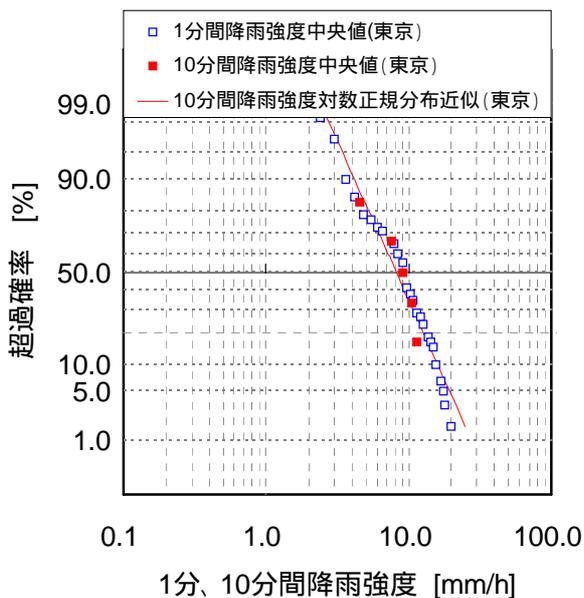


図7 1時間雨量10mm時の1分間降強度分布  
(東京 中央値計算処理後)

東京、鹿児島異なる地点で同様な結果が得られたことから、1時間降雨中の降雨減衰及び、1分間降雨強度の超過確率毎の中央値分布は対数正規分布で近似でき、さらに同1時間降雨中の10分間降雨強度中央値分布直線を1分間降雨強度中央値分布として利用できると思われる。

#### 5. アメダス10分雨量を用いた全国の1時間降雨中の1分間降雨強度推定

これまでの検討により、1時間降雨中の1分間降雨強度中央値分布が、同降雨中の10分間降雨強度中央値分布から推定できることがわかったので、全国に多数点在する気象庁アメダスの10分雨量データを用いて、各地点の1時間降雨中の1分間降雨強度中央値分布を推定することが可能になる。そこで、ここでは、1994年4月から2001年12月までの約8年間の全国約1200ヶ所の気象庁アメダス10分雨量データを用いて1時間降雨中の1分間降雨強度推定を行った。ただし、冬季の降雪による影響を考慮し、実際に処理したデータは各年の4月から10月までの7ヶ月間である。10分雨量から1時間雨量を求め、1時間雨量毎に求まる10分間降雨強度中央値分布から1分間降雨強度の中央値分布を推定した。1時間雨量を求める際、10

分雨量の1時間の雨量積算結果がR-0.5 mm以上, R mm以下のものを1時間雨量R mmの降雨と判定した。

図9から図11に札幌、東京（世田谷）、長崎、南大東島における1時間雨量5mmから20mmまでの各1時間降雨に対し、1分間降雨強度中央値分布を推定し、超過確率16.3%値（10分値）、超過確率8.3%値（5分値）、超過確率1.63%値（1分値）を求めたものを示す。ここで例えば超過確率16.3%値（10分値）とは、その1分間降雨強度を超える降雨強度の降雨が発生した時間が1時間降雨中、10分間存在したことを意味する。

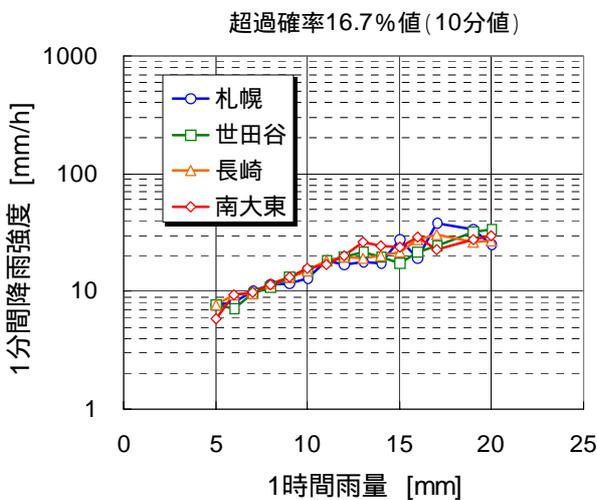


図9 1時間降雨中の1分間降雨強度超過確率16.7%値（10分値）

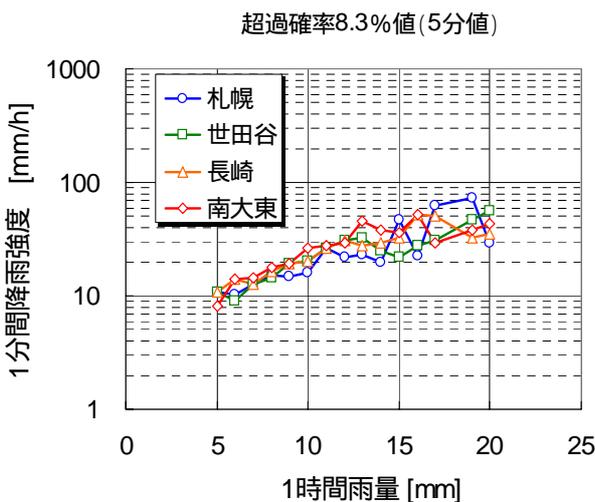


図10 1時間降雨中の1分間降雨強度超過確率8.3%値（5分値）

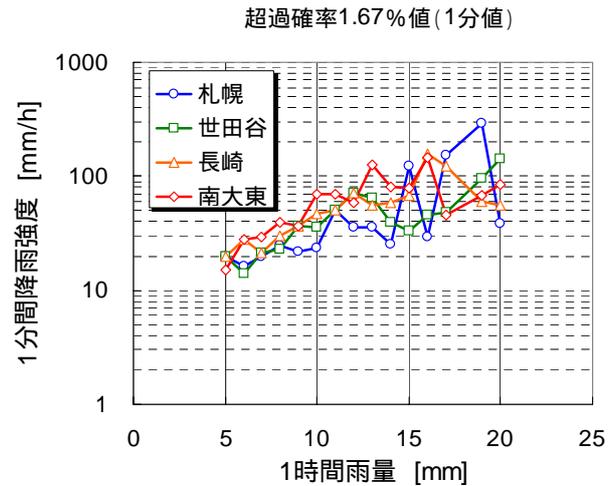


図11 1時間降雨中の1分間降雨強度超過確率1.67%値（1分値）

図より、超過確率値が小さくなるほど、1分間降雨強度の地点間のバラつきが大きくなるのがわかる。また、1時間雨量15mm程度までは、日本を南下した地点程、おおよその他の地点より強い1分間降雨強度を示す傾向を示していることもわかる。

次に、利用した約1200ヶ所のアメダス観測点の10分雨量データを用いて、1時間雨量5mm、10mmの場合の1分間降雨強度超過確率1.67%値（1分値）を推定し、その全国分布図を描いた。その結果を図12と図13に示す。図12からわかるように、1時間雨量5mmの場合は、1分間降雨強度超過確率1.67%値は、全国的に大きな違いは無く、ほぼ同じ値である。これに対し、1時間雨量10mmの場合は、明らかに地域差があり、日本を南下するに従い、大きな1分間降雨強度になる傾向が強いことがわかる。この一因として、日本の南部での対流性降雨の発生頻度の増加が予想される。さらに、東北地方や中国地方の日本海側で比較的強い1分間降雨強度が推定されていることもわかる。気象庁による日本の降水量分布データによれば、夏（7月）は、東北地方、中国地方の日本海側は関東地方よりも雨量が多いことが報告されていることから、東北地方、中部地方の日本海側における、1分間降雨強度超過確率1.67%値にもなんらかの気候的特徴が現れたと考えられるが、関東地方と比較して7月期の雨量の少ない北海道でも強い1分間降雨強度値が推定されていることから、別途詳細に各地点における気候の特徴を調べる必要がある。

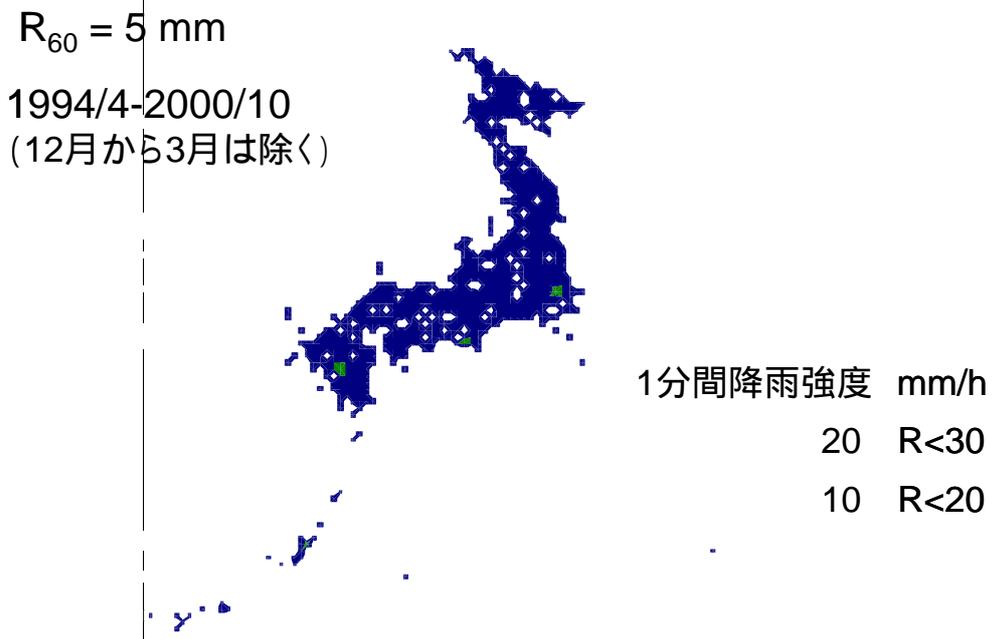


図 12 1時間雨量 5mm の場合の 1分間降雨強度 1.67%値 (1分値)

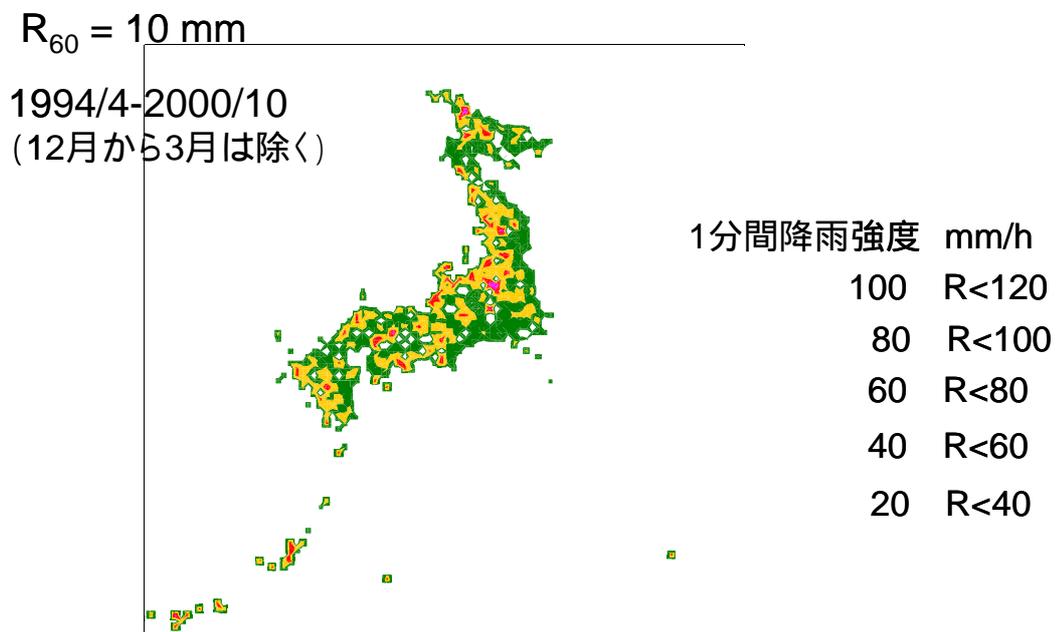


図 12 1時間雨量 10mm の場合の 1分間降雨強度 1.67%値 (1分値)

## 6. 1 時間降雨中の 1 分間降雨強度分布から降雨減衰分布の推定

1 時間降雨中の 1 分間降雨強度中央値分布、及び降雨減衰中央値分布が共に対数正規分布で近似できたことから、文献[6]で紹介されている、1 分間降雨強度対数正規パラメーターを降雨減衰対数正規パラメーターへ変換する手法の応用が期待できる。本手法の応用、さらに変換結果の評価は今後の課題である。

## 7. まとめ

過去 4 年間に観測された降雨減衰データ、1 分間降雨強度データを用いて 1 時間降雨中の降雨減衰分布、1 分間降雨強度分布について検討した。その結果次のことがわかった。

- 1) 同じ 1 時間雨量であっても、1 時間降雨事象毎に降雨減衰分布、1 分間降雨強度分布は異なるが、同一超過確率値に対する降雨減衰、及び 1 分間降雨強度の中央値(それぞれ降雨減衰中央値分布、1 分間降雨強度中央値分布と呼ぶ)の分布は対数正規分布で近似できる。
- 2) 1) で求まる 1 時間降雨中の 1 分間降雨強度中央値分布は同降雨中の 10 分間降雨強度中央値の対数正規近似直線を用いて推定することが可能である。
- 3) 全国約 1200 ヶ所の過去 8 年間のアメダス 10 分雨量データを用いて 1 時間降雨中の 1 分間降雨強度分布を調べた結果、超過確率値が小さくなるほど、地点間の 1 分間降雨強度値のバラつきが目立つことがわかった。また日本を南下するに従い、1 分間降雨強度が大きくなる傾向があること、また南下していなくても地域別の気候特性の影響を受けている可能性がある。

同じ 1 時間雨量値であっても地点によって同じ超過確率値における 1 分間降雨強度値が異なるということは、1 時間雨量の予測値が同じだからといって同じ大きさの降雨減衰補償電力を照射しても同一の降雨減衰補償効果を得ることは難しいということの意味していると考えられる。今後は、さらに他の 1 時間雨量の降雨についても、同様の検討を行い、地域性の有無等の評価を行う予定である。さらに得られた 1 分間降雨強度分布を降雨減衰分布に精度良く変換する手法の検討を行い、21GHz 帯

衛星放送システムのための 1 時間雨量予測値から所要降雨減衰補償電力量を推定する手法の確立に取り組んで行く。

## 参考文献

- [1] 野本、正源、村田、中川、田中、峯松、橋本、横畑、亀井、中澤、山崎、鈴木：“高度衛星放送システム特集号、”NHK 技研 R&D、85、pp.2～61(2004)
- [2] 田中、中澤、亀井、正源：“21 GHz 帯放送衛星搭載アレー給電反射鏡アンテナの検討、”信学技報、A・P2004-216、200
- [3] 鈴木、峯松、正源：“1 時間雨量中の 1 分間降雨強度分布と降雨減衰量分布の検討、”信学会全国大会、B-1-2、2005
- [4] 峯松、鈴木、正源：“アメダス 10 分雨量データを用いた全国の 1 時間降雨中の 1 分間降雨強度推定、”信学会全国大会、B-1-1、2005
- [5] ORG-815DA <http://www.opticalscientific.com>
- [6] 森田：“衛星通信回線における伝搬特性の推定法(準ミリ～ミリ波帯の場合)、”NTT 研究実用化報告、28,8,pp.1661～1676