

## 2 周波衛星電波利用による 区間雨量・等価通路長の推定

金田 直樹\*・高辻 祐輔\*・中村 晋也\*・安田 茂\*\*・林 理三雄\*\*

Estimating rain intensity and equivalent path length in wireless path  
using two frequencies of a satellite broadcasting wave

Naoki KANADA and Yusuke TAKATSUJI and Shinya NAKAMURA  
and Shigeru YASUDA and Risao HAYASHI

This paper is described a method for measuring of rain intensity in wireless path and equivalent rain path length using two frequencies of a satellites signal. In this two frequencies measuring method, in order to estimate the rain intensity and equivalent path length in wireless path, rain attenuation has different characteristic with the frequency. We analyzed the observed data with this method and obtained satisfactory results.

### 1. はじめに

周波数が 10GHz を超えるような無線通信回線では、降雨による減衰が顕著になり、この降雨減衰のより良い推定法の確立は通信回線の設計には非常に重要である。このような回線設計をする際には、実際に使用する無線区間の伝搬特性を実測することが

望ましいが、統計的に安定したデータを得るには数年の観測を要し、また、必要とするデータが存在することはごくまれである。更に、地上回線の場合とは異なり、衛星通信の場合は伝搬路が斜めとなり、地球局設置の 1 地点での降雨強度から降雨減衰を推定する必要がある。以上のことを踏まえて、我々は衛星放送波を受信しその減衰を観測するシステム (NBM 方式) を提案し、鹿児島地方の降雨における伝搬特性の解析や、実測データや過去数十年の降雨統計データによる鹿児島地方の降雨特性の抽出などを行ってきた<sup>1)2)3)</sup>。更に、この方式より高精度に伝

---

2000 年 7 月 15 日受理

\* 博士前期課程電気電子工学専攻

\*\* 電気電子工学科

搬特性を観測する CLM 方式や BCLM 方式などの観測装置を提案し、実験を行ってきた<sup>4)5)6)</sup>。これらによる結果、鹿児島地方の降雨特性は降雨強度が短時間で散発的に起こり易く、また、他の地域より降雨が強くなる確率が高くなることが分かってきた。このような降雨の場合、アナログ通信においては通信回線の瞬断で済むが、今後通信において主流となるデジタル通信においては、通信回線が正常に戻るのにかなりの時間がかかる。このことは、通信への大きな障害となる。よって、今後、鹿児島地方のように瞬時に強い降雨となるような地域では、降雨の特性を知ることはますます重要になってくる。

そこで我々は、新しく 2 周波衛星電波利用による観測システムを提案し、システムの構築とシステムから得られたデータを基に、より詳細な降雨伝搬特性の解析を目指している<sup>7)8)9)</sup>。

## 2. 2 周波観測原理

### 2.1 2 周波観測による区間雨量・等価通路長の測定原理

2 周波観測では、伝搬媒質である降雨の周波数特性を利用し、伝搬路の平均降雨強度や等価通路長を推定することができる。

通路長  $l(km)$  の区間で一様降雨  $R(mm/h)$  が降っている場合の降雨減衰量  $\Gamma_R(dB)$  は次式(2.1)で計算される。

$$\Gamma = aR^b d \quad (dB) \quad (2.1)$$

我々の観測では、2 つの異なる周波数の電波を受信するので、それぞれ以下のように示す。

$$\Gamma_1 = a_1 R_1^{b_1} l_1 \quad (dB) \quad (2.2)$$

$$\Gamma_2 = a_2 R_2^{b_2} l_2 \quad (dB) \quad (2.3)$$

ここで、添え字は使用する周波数を表している我々は、今回の観測において 2 つの異なる周波数を 1 つ

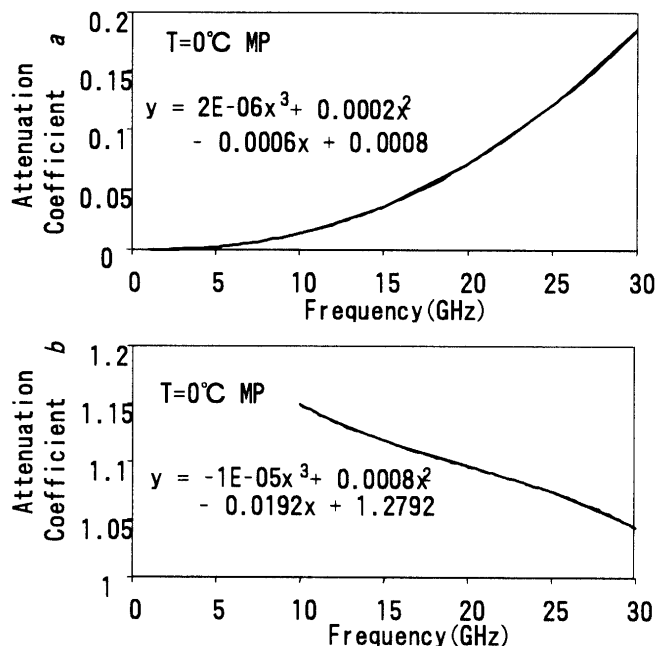


図1. 雨滴粒形分布の減衰係数図

のアンテナで同時に受信するので、伝搬路は同一と考えて良い。つまり、 $R(mm/h)$  と  $l(km)$  は同一として、(2.2)式と(2.3)式との比をとると

$$\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} = \frac{a_1}{a_2} R^{b_1-b_2} \quad (2.4)$$

で表され降雨強度  $R(mm/h)$  のみの関数となる。よって、これを  $R(mm/h)$  について解くと

$$R = \left( \frac{a_2 \Gamma_1}{a_1 \Gamma_2} \right)^{\frac{1}{b_1-b_2}} \quad (2.5)$$

となる。ここで算出した  $R$  は 2 周波の減衰差の関数に相当し、一様降雨中  $R$  を電波が  $l(km)$  通過することを示している。

### 2.2 雨滴粒径分布による減衰係数の算出

減衰係数  $a, b$  は受信周波数 BS-5 (11.8042GHz) と BS-11 (11.91928GHz) チャンネルにおける周波数のときの値を図 1 に示すグラフの近似曲線から求めた。

このグラフは 参考文献[10]のパラメータをもとに作成したものであり、また、グラフ中の MP は Marshall と Palmer 等によって求められた雨滴粒径分布を意味する。今回、降雨タイプ別で J-T (Joss 等による雷雨型の雨滴粒径分布)、MP (Marshall と Palmer 等による中雨型の雨滴粒径分布)、J-D (Joss 等による霧雨型の雨滴粒径分布) の 3 種類から同様に減衰係数  $a, b$  を求めた。

この計算結果を基に等価通路長の推定を行う。等価通路長の算出については、上記の式(2.1)に、降雨と降雨の種類に対応した減衰係数のパラメータを代入することで行っていく。

### 3. 2 周波観測システム

我々が受信できる 2 つの衛星放送波の減衰差は僅かである。そこで、観測システムによって生じるばらつきを出来るだけ少なくするため装置の特性を検討したところ、ほとんどの機器については、解析に影響を及ぼすことがない事が分かっている<sup>8)</sup>。そこで、ここでは観測システムの大まかな概略を述べることにする。

#### 3.1 2 周波観測システムの構成

図 2 に 2 周波回路図を示す。まず、1 基の BS アンテナで異なる周波数の衛星放送波を同時に受信する。受信した電波を BS コンバータで 1 GHz の中間周波数 IF にダウンコンバートし、2 つの周波数の電波を測定するために 2 分岐を行い、それぞれの BS チューナに入力する。そしてキード AGC 電圧値をパソコンに 1 秒間隔で記録している。

#### 3.2 キード AGC 電圧-IF 電力特性

我々は降雨減衰の測定においては、まず BS チューナのキード AGC 電圧値を参照し、BS チューナに入力される IF 信号を任意に減衰させたときのキード AGC

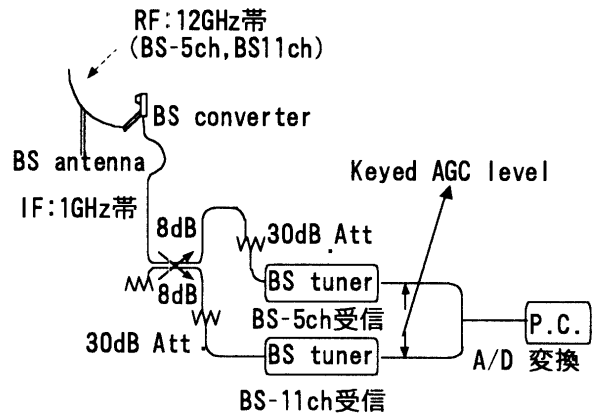


図2. 2周波観測システム回路図

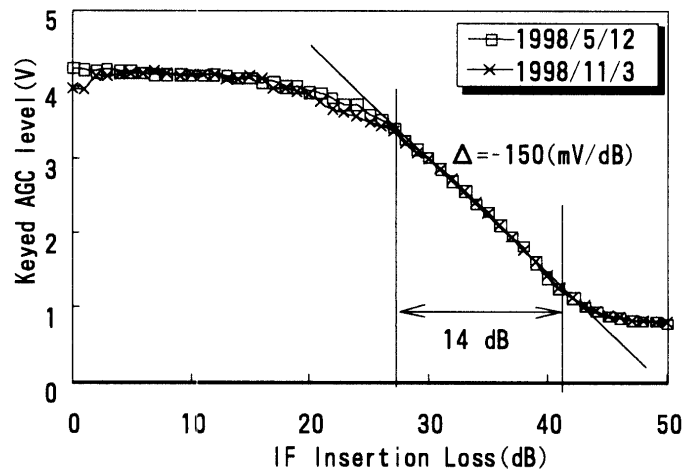


図3. BSチューナIF入力損失-BSチューナキードAGC電圧特性

電圧値と IF 入力の損失値の関係から降雨減衰値を得ている。その結果を図 3 に示す。観測には、IF 入力損失に対するキード AGC 電圧値の変化が大きい部分、つまり、この図では直線部分の領域を使用するので図 2 のように分配器と BS チューナの間に 30 dB の減衰器を挿入して一定のバイアスを与えている。この受信機での測定ダイナミックレンジは約 14 dB である。

### 4. データ解析

ここでは、文献[8]を基に推定した区間降雨強度か

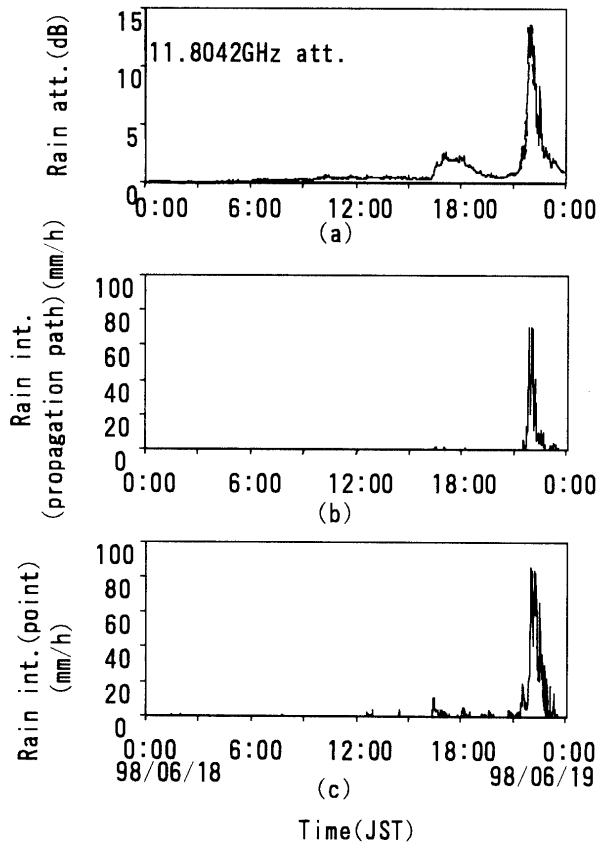


図4. 2周波観測装置で測定した時系列データ

ら等価通路長を式(2.1)から求め、区間降雨強度と等価通路長との関係について検討を行う。この章では、等価通路長のことを主に話を進めて行く。

図4に鹿児島大学工学部電気電子棟で観測された降雨強度、受信周波数11.8042GHzの降雨減衰特性、解析によって推定した区間降雨強度を示す。区間降雨強度において、比較的強い雨については降雨減衰・地点降雨強度と同様に強く降っている特性を表しているが、弱い降雨、ここでは10mm/h以下の降雨については、上手く再現されていないようである。これは、受信している2つの衛星電波の周波数差が少ないため、その僅かな周波数差では観測システムの測定誤差等に混在してしまうためであると考えられる。今後は、弱い降雨強度について検討する必要がある。

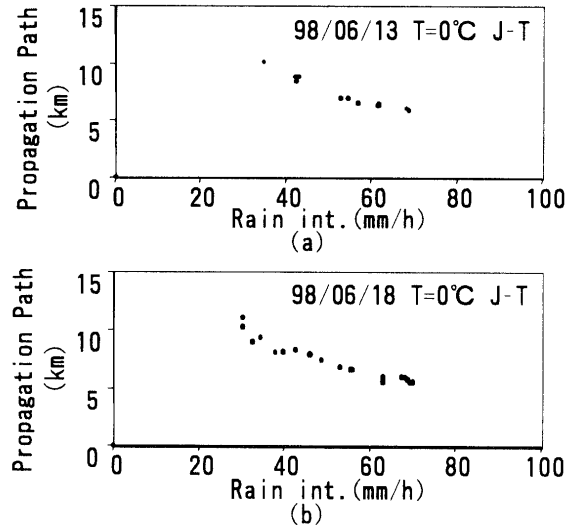


図5. 区間降雨強度-等価通路長特性 (雨滴粒径分布 J-T)

しかし、強い降雨強度については区間降雨強度の推定は良好であると判断し、今回は、このような区間降雨強度特性と、同時に観測した降雨減衰特性を基に等価通路長の推定、そして検討を行った。

図5.(a)に上の区間降雨強度、同日に観測された周波数が11.8042GHzの降雨減衰、また、雨滴粒径分布から求めたa、bより等価通路長を定め、区間降雨強度とその関係について表したものである。図5.(b)は違う日に同様の解析をおこなったものである。雨滴粒径分布の特性によるaとbは、温度が0°CのときのJ-T(Joss等による雷雨のときの雨滴粒径分布)を使用している。ここでは、雨滴粒径分布の定義にそぐわない20mm/h付近の降雨を省いてある。

そもそも等価通路長とは、雨域の高さによって決まるものであり、その高さは層状性降雨でおよそ数km、対流性の降雨で十数kmあり、また、衛星放送波の到来角は約47°であることから、その長さは多く見積もったとしても、それぞれ約10km前後と20km前後であると考えられる。

そこで、図5について検討を行うと、等価通路長はおよそ5kmから10km付近の範で精度の良い結果が得られている。これは、参考文献[10]による区間降

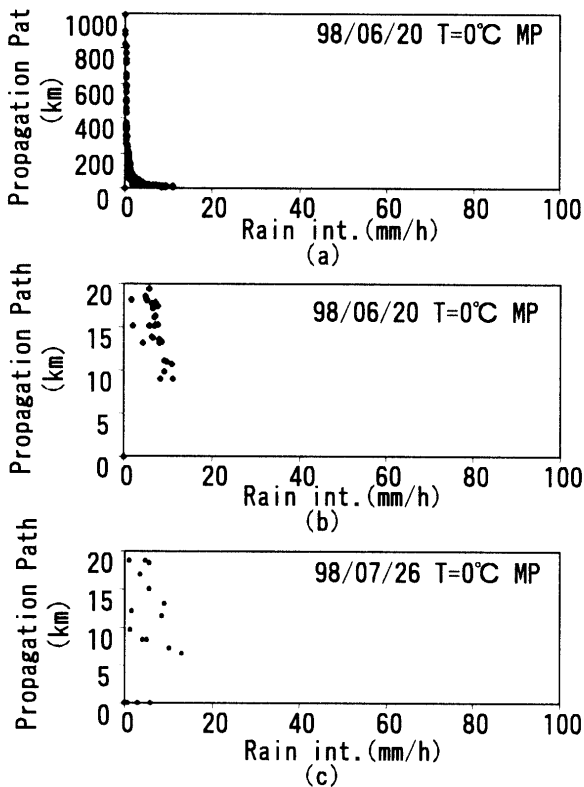


図6. 区間降雨強度-等価通路長特性  
(雨滴粒径分布 MP)

降雨強度の推定法は、降雨強度が強いときには推定精度が良いことと、減衰係数のパラメータ  $a$ 、 $b$  を降雨の状態によって使い分けたことがその要因であると考えられる。図 6 に温度  $0^{\circ}\text{C}$  のときの MP (Marshall と Palmer による中雨のときの雨滴粒径分布) を使用した等価通路長と区間降雨強度との関係を示す。図 6.(a) において、降雨強度  $10\text{mm/h}$  のときの等価通路長は現実的には考えにくい値となっている。そこで、図 6.(b) のようにレンジを狭くして検討を行うと、 $10\text{mm/h}$  以上の区間降雨強度に対する等価通路長は、やや大きめの値となっているようではあるが、現実的なものとなっているであろうと思われる。別の日の観測における解析結果 (図 6.(c)) でも同様であることが分かる。

図 7 に温度  $0^{\circ}\text{C}$  のときの J-D (Joss 等による霧雨状降雨のときの雨滴粒径分布) を使用した等価通路

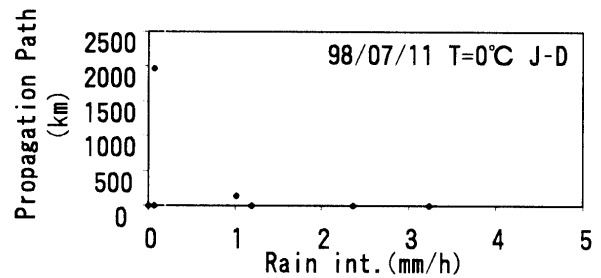


図7. 区間降雨強度 - 等価通路長特性  
(雨滴粒径分布 J-D)

長を区間降雨強度との関係を示す。この図において、 $10\text{mm/h}$  以下の降雨が主流となるこの特性では、等価通路長は上記のように見積もった値から考えても、現実にはあり得ない結果であると考えられる。

## 5. 終わりに

本論分は、 $12\text{GHz}$  帯衛星電波を利用した、降雨域の等価通路長を測定する 2 周波観測を提案し実験を行った。今回の等価通路長の推定において、区間降雨強度が  $20\text{mm/h}$  を超えるような場合には、 $5\text{km} \sim 10\text{km}$  付近にデータが収まっているので、信頼性があるが、それ以下で特に  $10\text{mm/h}$  以下の降雨では、等価通路長の推定は非現実的なものとなった。その原因として、2 周波の周波数差が  $100\text{MHz}$  程度しか開いていないので、弱い降雨における微妙な変化は測定誤差等のなかに埋もれてしまうことが考えられる。今後はシステムの改善や理論的な所から考察する必要がある。また、減衰係数  $a$ 、 $b$  においても、今回は近似式から求めたので、今後はより正確な値を求める必要がある。

## 謝辞

本論文の作成にあたり、郵政省通信総合研究所 (山川電波観測所) の西牟田一三氏に心から感謝します。また、2 周波観測の実験等にご協力いただきました

研究室の皆さんに心から感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 林理三雄,内野誠,木原芳一,牛ノ濱和仁,吉留忠大,安田茂,西牟田一三,“鹿児島における 12GHz 伝搬特性”,平成7年度電気関係学会九州支部連大 916
- 2) 林理三雄,木原芳一,内野誠,牛ノ濱和仁,向井康,池主寿朗,西牟田一三,安田茂,“鹿児島における降雨の特徴と伝搬特性と伝搬特性への影響”,平成7年度電気関係学会九州支部連合大会 918
- 3) 内野誠,“鹿児島での降雨の特徴と 10GHz 帯斜め伝搬特性の研究”,平成9年修士論文,鹿児島大学大学院工学研究科電気電子工学専攻
- 4) 木原芳一,石原秀泰,安田茂,林理三雄,“共通ローカル方式(CLM方式)による大気環境測定に関する研究”,鹿児島大学工学部研究報告 第39号,平成9年
- 5) 張宰赫,石原秀泰,安田茂,林理三雄,“ビーム伝送による共通ローカル高精度大気環境測定システム”,鹿児島大学工学部研究報告 第40号,平成10年
- 6) 林理三雄,石原秀泰,張宰赫,尾長谷正和,安田茂,“CLM方式による簡易衛星軌道測定システム”,平成9年度電気関係学会九州支部連合大会 732
- 7) 石原秀泰,安田茂,金田直樹,高辻祐輔,林理三雄,“2周波衛星電波利用による区間雨量の推定”,平成10年度電気関係学会吸収支部連合大会 947
- 8) 石原秀泰,“2周波衛星電波利用による区間雨量の推定”平成11年修士論文,鹿児島大学大学院工学研究科電気電子工学専攻
- 9) 金田直樹,林理三雄,高辻祐輔,中村晋也,安田茂,“2周波衛星電波利用による区間雨量の推定”,平成10年度電気関係学会吸収支部連合大会 947
- 10) Roderic L.Olsen, David V.Rogers, and Daniel

B.Hodge, “The  $aR^b$  Relation in the Calculation of Rain Attenuation”, IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-26(2),pp.318-329, (1978)