

## 2 周波衛星電波利用による区間雨量の測定

石原 秀泰\*・金田 直樹\*\*・高辻 祐輔\*\*・  
安田 茂\*\*\*・林 理三雄\*\*\*

Measurement of rain using two Satellite Broadcasting waves

Hideyasu ISHIHARA, Naoki KANADA, Yusuke TAKATSUJI,  
Shigeru YASUDA, Risao HAYASHI

This paper describes a method of measurement of a rain fall of propagation path using two Satellite Broadcasting waves. We observe rain attenuation of different Satellite Broadcasting waves passing through the same rainfall. The frequency characteristic of rain attenuation is used, and the rain characteristic of the propagation path. A system was composed and observed at that point. We compare our results rain intensity.

**Keyword:** rainfall, rain attenuation, propagation path, rain intensity, Satellite Broadcasting wave

### 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電波の減衰が顕著になり、通信回線の設計には降雨減衰のより精度よい推定法の確立が非常に重要である。

この様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が必要であるとされており、希望する無線区間のそのようなデータを得ることは一般に困難である。更に衛星通信の場合は地上回線と異なり伝搬路が斜めとなる。現在、この様な斜め伝搬路の回線設計は、地球局設置点での地上の降雨特性を基に斜め伝搬路の降雨特性を統計的に推定し、斜め伝搬路の回線設計を行っている。

以上のことを踏まえ、我々は衛星放送波を用いた観測装置（NBM方式）を提案し鹿児島地方の降雨環境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を試みてきた<sup>1) 2) 3)</sup>。更にNBM方式よりも更に高精度に伝搬特性を測定するCLM方式やBCLM方式観測装置を提案

し実験を行ってきた<sup>4) 5) 6)</sup>。その結果、鹿児島地方では短時間に散発的な降雨となることが多く、他の地域より強い降雨となる確率が高いこと等が判明した。このような瞬間的に強い降雨は、アナログ通信の場合は通信回線の瞬断で済むが、今後はデジタル通信が主流となり、PCM通信等ではBER (bit error ratio) において、バースト誤りが頻繁に起こることを意味し、通信回線が正常に戻るのにしばらく時間がかかる。これは通信への重大な障害となる。この様なBERを評価するためには、長時間の平均誤り率だけでなく、バースト誤り率をも統計的に考察する必要がある。従って、鹿児島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とは今後ますます重要となってくる。そのため我々は、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)</sup>。

### 2 2周波観測の測定原理

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、その等価通路長や伝搬路の平均降雨量を測定することができる。降雨強度 $R$ (mm/h)の一樣降雨中を周波数 $f$ の電波が $d$ (km)通過する際に受ける減衰 $\Gamma_R$ (dB)は経験的に次式<sup>8)</sup>となる。

$$\Gamma_R = \alpha R^\beta d \quad (\text{dB}) \quad (2.1)$$

ここで、 $\alpha\beta$ は周波数や雨滴粒径分布などによって決ま

平成11年5月31日受理

\*博士前期課程電気電子工学専攻（現、三菱電気株）

\*\*博士前期課程電気電子工学専攻

\*\*\*電気電子工学科

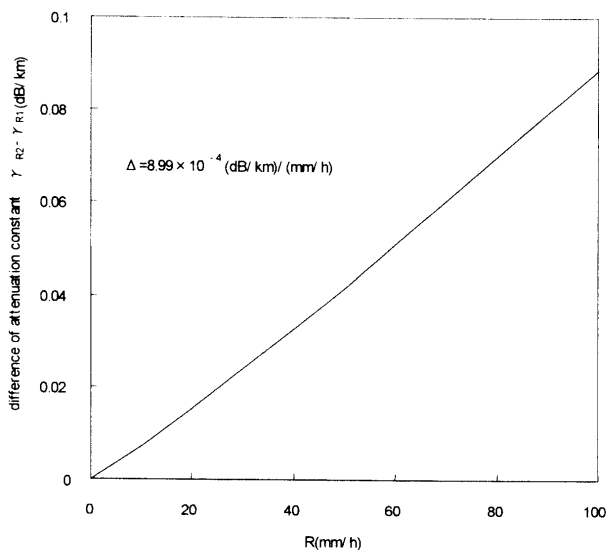


Fig. 1 estimated value of 2 frequency differential attenuation

図1 2周波減衰差の計算値

る定数である。我々の2周波観測では同一方向から到来する衛星電波を利用するので、 $\alpha\beta$ は周波数のみの関数として扱うものとするとし、式(2.2)のように表す。

$$\Gamma_R(f) = \alpha(f)R^{\beta(f)}d \quad (\text{dB}) \quad (2.2)$$

式(2.2)を周波数 $f$ について微分して、式を変形すると式(2.3)となる。

$$\log R = \frac{1}{\Delta\beta} \left\{ \frac{\Gamma_{R2}}{\Gamma_{R1}} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right\} \quad (2.3)$$

$$\Delta\beta \equiv \beta_2 - \beta_1$$

ここで $\Gamma$ は観測で得られる降雨減衰量を表し、式中の添え字は周波数が異なる事を示している。等価通路長 $d$ (km)は式(2.3)を $R$ について解き、式(2.1)に代入して求める事が出来る。今回我々が行った観測では、衛星放送波BS-5とBS-11チャンネル(それぞれのチャンネルの中心周波数は11.80420GHz, 11.91928GHz)を利用した。Fig. 1に2周波観測で生じる減衰差の計算値を示す。Fig. 1は横軸の降雨強度に対し電波が1km通過する際に受ける減衰差の計算値を示している。

### 3 2周波観測システム回路構成

我々が2周波観測に使用する周波数差が僅かしかないため2周波の減衰差は僅かである。従って出来るだけ精度良く降雨減衰を測定する必要がある。そこで、使用する観測装置の個々のばらつきによる測定誤差をできるだけ少なくするため、1基のアンテナで2周波を同時に受

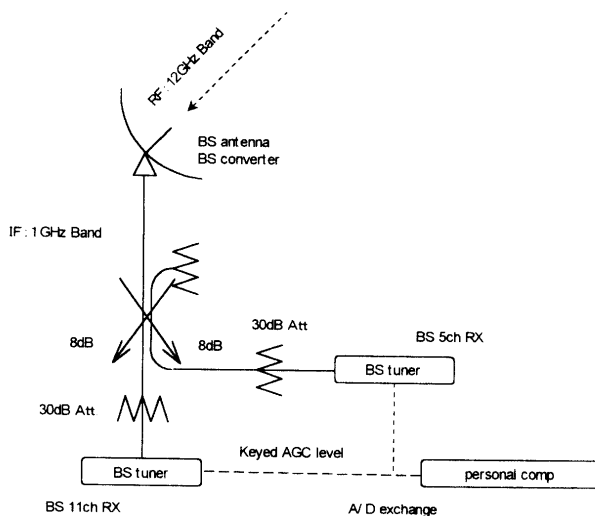


Fig. 2 block diagram of 2 frequency measurement

図2 2周波観測回路図

信し、それを2分岐してそれぞれの周波数による減衰量を測定する回路構成にした。Fig. 2に我々が観測に使用した回路構成図を示す。

#### 3-1 受信信号電力の測定

我々の2周波観測装置は、1基のアンテナで衛星放送波を受信しBSコンバータでIF帯にダウンコンバートしている。そして、そのIF信号をBSチューナ内の帯域通過フィルタによって被測定周波数帯の信号を周波数分離し、受信信号電力の変化は改良した市販のBSチューナ(Sony製SAT-770SP)のキードAGC電圧を参照することで得ている。測定データは12ビットでAD変換しパソコンに1秒間隔で記録している。Fig. 3にBSチューナ内のIF帯域通過フィルタの特性を示す。Fig. 3はBS5チャンネルを受信するように設定した時の実験結果である。図には2周波観測で使用する衛星放送波がIF帯にダウンコンバートされた時のBSチャンネルの中心周波数を一点鎖線で、その帯域幅27MHzを点線で示している。この実験結果から、同時に受信した信号は帯域通過フィルタにより受信したい周波数帯以外は14dB以上の減衰を受け、被測定周波数以外の信号は十分に除去されていると考えられる。

衛星放送波の受信信号電力の測定はBSチューナに入力するIF信号電力とBSチューナのキードAGC電圧の関係をj利用して得ている。Fig. 4にBSチューナに入力するIF信号電力とBSチューナのキードAGC電圧の関係を示す。信号源としては実際に観測を行う衛星放送波を使用した。図中の日付はこの特性の測定を行った日付である。また、観測には電力変化に対するAGC電圧の変化が大きく直線部分の領域を用いるため観測時は方向

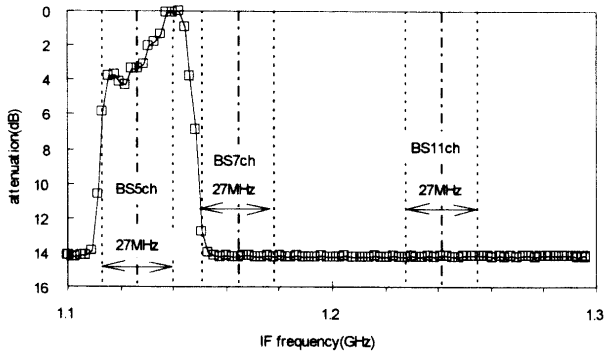


Fig. 3 IF filter characteristic of tuner

図3 BSチューナIFフィルタ特性(SAT-770SP)

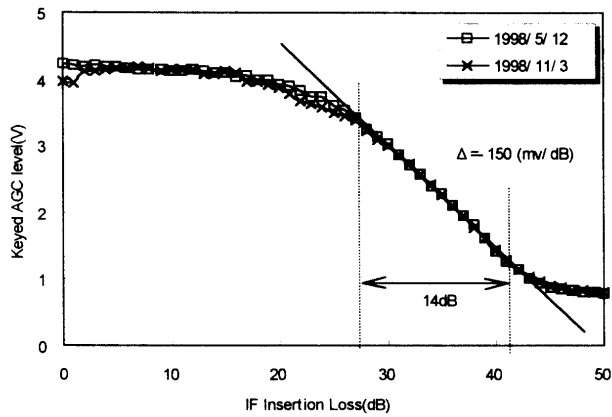


Fig. 4 IF input-output characteristic for BS tuner output level is Keyed AGC level (V)

図4 BSチューナIF入力損失BSチューナキードAGC電圧特性 (BS SAT-750SP)

性結合器とBSチューナ間に固定減衰器30dBを挿入し一定のバイアスを与えている。この受信機においては測定ダイナミックレンジ14dBの直線部分の範囲で受信信号電力の変化に対するキードAGC電圧の感度は $150 \pm 2$  (mV/dB)である。

#### 4 取得データと解析結果

##### 4-1 取得データ

Fig. 5に2周波観測で取得したデータとアンテナ設置点における降雨強度特性の時系列データを示す。Fig. 5の(a)(b)はそれぞれ周波数11.8042GHzと11.91928GHzの降雨減衰データ、(c)は11.91928GHzの減衰量から11.8042GHzの減衰量を引いたもの(以下2周波の減衰差)、(d)が衛星電波受信点における1分降雨強度データである(以下地上降雨)。図5(c)より観測した2周波の減衰差は地上降雨の時系列データと良く似た特性を示している。しかし1998年6月13日の17時頃、2周波の減衰差は生じているが、地上では降雨がほとんど観測されていない。

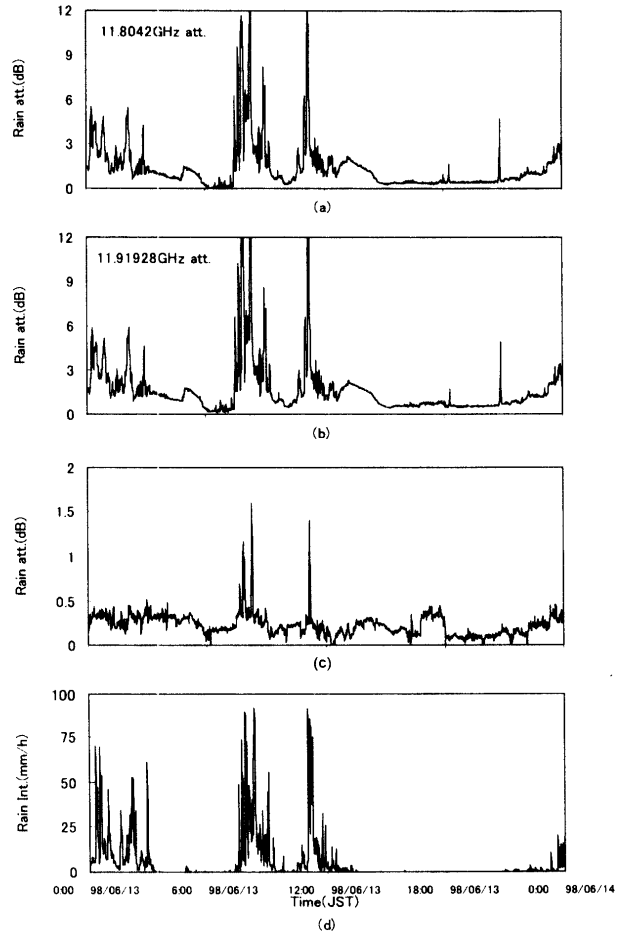


Fig. 5 Time sequence data which are measured By using 2 frequency observation system

図5 2周波観測装置で測定した時系列データ (98/6/13)

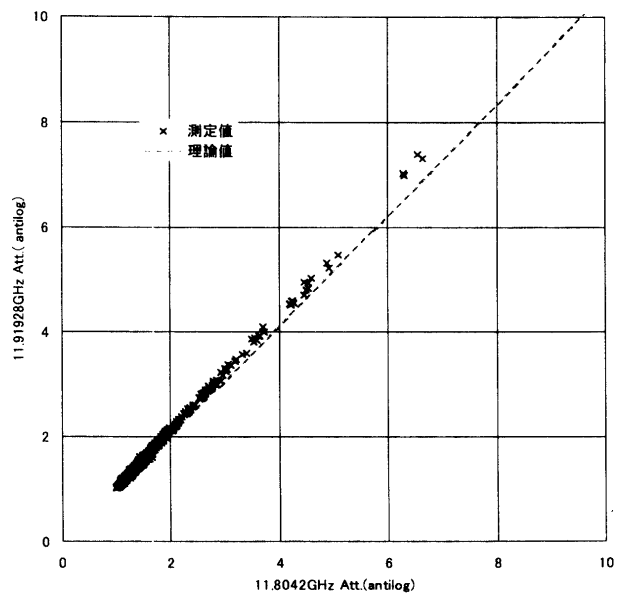


Fig. 6 Scattergram for rain attenuation

図6 減衰散布図 (1998/6/13)

この様に2周波観測では地上で観測出来ない降雨特性が観測できる。Fig. 6に縦軸と横軸にそれぞれの周波数における減衰をプロットした散布図を示す。同図には、式(2.3)を $\Gamma_{R2}$ について解き降雨強度 $R$ と $\Gamma_{R1}$ を変数として求めた理論値を点線で示している。この結果より、実験した2周波の減衰比は計算値より1.07倍程度大きく、計算値と実験値は共にほぼ直線上に分布している。

#### 4-2 取得データの処理

計算値と実験値の差は、式(2.3)のパラメータ $\alpha\beta$ がこれまでに報告されている値<sup>9)</sup>と観測地点における値が異なるためである。従って、 $\alpha\beta$ を実験値より算出する必要がある。12GHz帯の電波においては式(2.1)の $\beta$ はほぼ1であり、Fig. 6における計算値の直線の傾きを決定しているのはそれぞれの周波数における $\alpha$ の値である。そこで実験値より $\alpha$ を決定し実験値を補正し、無線区間の降雨量を計算した結果をFig. 7に示す。Fig. 7の縦軸は対数で表しており、目盛りはそれぞれの図で異なる。Fig. 7(a)の地上で測定した地点降雨と同図(b)の2周波観測によって得られた区間雨量を比較すると、地点雨量の大きい6月13日の8時や11時は区間降雨量も大きく良く一致している。しかし、Fig. 7(b)より17時頃は2周

波観測では区間雨量が観測されており、伝搬区間のどこかで降雨があったことを示している。Fig. 7において、測定した区間雨量の降雨強度 $R$ の値が地上で観測した値よりも50倍程度大きく算出されている原因として、式(2.3)の $\alpha\beta$ のうち $\alpha$ のみを実験値より求め補正を行った事が考えられる。今回の解析ではMarshallとPalmer<sup>9)</sup>によって与えられた $\alpha\beta$ を用いており、式(2.3)の $\alpha_2/\alpha_1$ はほぼ1であり計算結果にはあまり影響を与えない。しかし、我々の2周波観測のように2周波の周波数差が少ない場合、式(2.3)の $1/\beta$ は非常に大きな値をとる。この $1/\beta$ は計算に使用する雨滴粒径分よって300~1000までの範囲の値をとり、どの雨滴粒径分布を計算に使用するのが適当であるかを決める必要がある。また、この様に雨滴粒径分布によって差が生じる事から、地域によって式(2.3)の $\alpha\beta$ は様々な値をとり、これまでに報告されている主な $\alpha\beta$ の値は、鹿児島のような特異な気象条件における伝搬特性には適用できないことも考えられる。従って、観測点における適切な $\alpha\beta$ を決定し、区間雨量の計算を行う必要がある。

#### 5 終わりに

本論文は12GHz帯の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。2周波観測で得られた区間雨量は地上で測定したものよりも50倍程度大きく算出されたが、地上で測定した地点降雨との時間的な相関は良く、地上で観測できない降雨などが測定できる。今後は式(2.3)の $\alpha\beta$ の値を決定し、現実的な区間雨量の値を算出することが必要である。この $\alpha\beta$ は定数であるため、一度決定すれば、2周波観測は無線区間の区間雨量の測定を非常に簡単に行える利点がある。

しかし、比較するデータが地上降雨とだけの比較であるためデータ検証が困難である。データの検証は実測値と行うことが最も望ましいが、本研究の目的のように等価通路長を求めるようなものは実測値を得ることが困難であるため、他の観測方法で観測された結果との比較が重要となる。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、日頃から多くのご指導、ご助言等を頂きました林理三雄教授を始めとした研究室の方々に心から感謝します。また、実験の際にご助言を頂いた郵政省通信総合研究所の山川電波観測所の西牟田一三氏、貴重な統計データを提供して下さった岡山理科大学の入江浩一氏に心から感謝いたします。

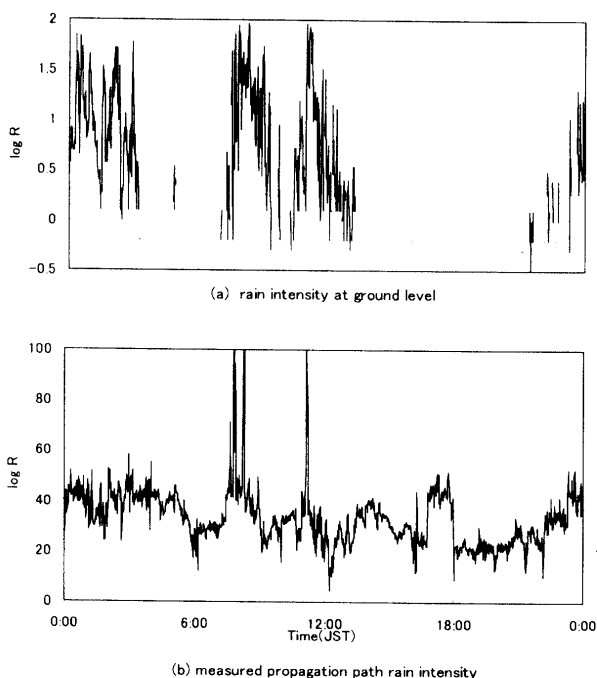


Fig. 7 point rain intensity at ground level and propagation path rain intensity obtained by the use of 2 frequency observation system (note: value of ordinate axis are differ)

図7 地上の地点降雨と2周波観測で得られた区間雨量の比較 (縦軸の目盛りが異なる事に注意)

## 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, 高辻裕輔, 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) Roderic L. Olsen, David V. Rogers, and Daniel B. Hodge, “The aRb Relation in the Calculation of Rain Attenuation”, IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-26(2), pp. 318-329, (1978)
- 9) 飯田尚志 編, “ウェーブサミット講座衛星通信”, オーム社, (平成9年)