

# オフセットビーム方式（OBM方式）による 高精度大気環境センシングシステムに関する研究

牛ノ濱 和人\*・張 宰赫\*\*・安田 茂\*\*\*・林 理三雄\*\*\*

## Research on a High Precision Sensing System of Atmospheric Environment with OBM Method

Kazuhito USHINOHAMA, JANG Jae Hyuk, Shigeru YASUDA and Risao HAYASHI

As one efficient use of frequency, we have proposed a system for observing the atmospheric environment with Broadcasting Satellite(BS) waves that are transmitted for mostly 24 hours.

In this paper, first, we describe an Offset Beam Measurement(OBM) method with two offset parabola antennae which are shifted a little from the maximum beam axis, and show it effective for high precision sensing of the atmospheric environment.

Next, for more precise sensing, we apply a beam transfer method to OBM. We show experimental results with a flat metal plate reflector and discuss an application of it to other precise sensing systems.

### 1. はじめに

衛星放送波は、12GHzの信号がほぼ24時間送信され、宇宙から大気圏を通り、地上に達している。これまで、我々は、BS放送波を1基のアンテナで受信し、その受信電力の変化を測定、解析することにより、衛星放送波の降雨減衰特性及び大気環境を把握してきた（Normal Beam Measurement: 以下 NBM 方式<sup>(1)</sup>）。今回、更に高精度に大気環境特性を検出することを目的とし、2基のアンテナをそれぞれ一定角度、ビームを互いに反対方向にオフセットする方式（Offset Beam Measurement: 以下 OBM 方式）を検討した<sup>(2)</sup>。この方式は、開口面アンテナによる衛星電波追尾等で用いられる、振幅比較モノパルス方式<sup>(3)</sup>、又は0点法としてよく知られた方法である。これを利用することにより、衛星の姿勢変動はもとより電波の通路上の変化が高精度に検出できることを明らかにした。ここで、基礎実験の結果を受信システムとともに報告する。また、OBM方式よりも高精度な大気環境センシングを目指して、これまで得ることのできなかった信号の位相情報に注目した共通ローカル

(Common Local oscillator Measurement: 以下 CLM 方式)方式を提案している<sup>(4)</sup>。そのシステム確立の上で問題となる、ローカル信号の伝送損失を、極力低く抑える方法として、金属反射板により衛星電波を直接ビーム伝送し、ローカル信号源の近くで、受信するビーム伝送の基礎実験を行い、反射板の面積、方向（方位角、仰角）および反射板と受信アンテナ間の距離における利得の変化を測定し良好な結果を得た。これにより、CLM方式を構築する上で重要な、低損失なビーム伝送が可能なが実証できた。また、ビーム伝送を用いて、NBM方式又はOBM方式においてスペースダイバーシティ効果の観測への活用も可能となった。

### 2. OBM方式を用いた大気環境センシングシステム

#### 2.1 原理と受信システム

まず、NBM方式について説明する。このNBM方式は、1基のアンテナのビームを電波到来方向に向けて受信信号のレベル変動を測定するものである（図1参照）。しかし、この測定方式では、アンテナのビームパターンの最大感度付近（角度による利得変化が小さい）で測定しているため、我々が測定しようとしている電波到来角の変化による受信信号レベルの変化が小さくなり、測定感度が低くなってしまふ。また、その受信信号のレベル変動が降雨減衰によるものか、衛星の位置変化による電

平成9年5月31日受理

\*日本ヒューレット・パッカード(株)

\*\*博士前期課程電気電子工学専攻

\*\*\*電気電子工学科

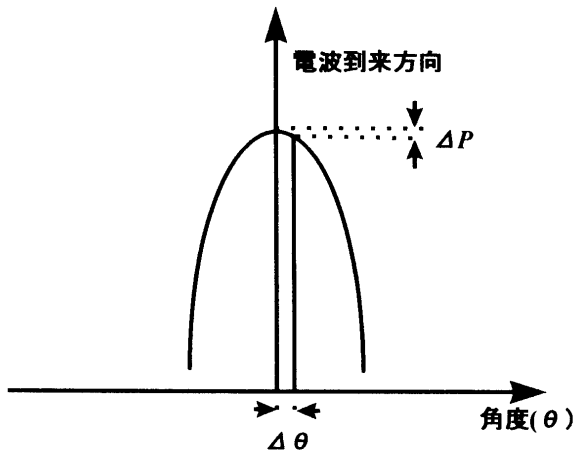


図1 NBM方式原理

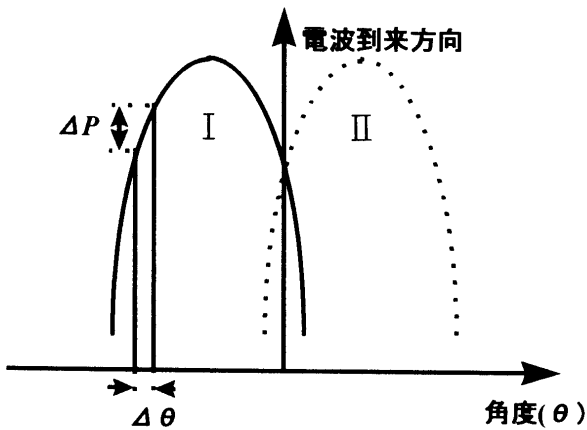


図2 OBM方式原理

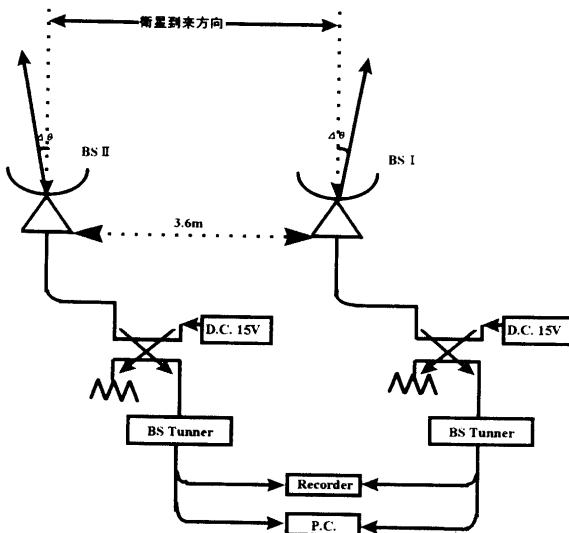


図3 OBM方式受信システム図

波到来方向の変化、または大気の運動に起因する伝搬路の変化によるのか、区別がつかない。これらの、問題点を解決するため、指向性の等しいアンテナを2基用いた

表1 受信システム諸元

パラボラアンテナ	SAN 50HD2
チューナ	SONY 750SP
パソコン	NEC PC-9801RX
ペンレコーダ	横河北辰電気3057-23
オフセット角	4.5deg
到来角の測定感度	5.42dB/deg
	2.7deg/V

OBM方式を考えた。この方法は、指向特性の等しい近接した2基のアンテナI、IIを利得最大方向から異なる方向にある角度だけ傾ける(図2参照)。そうすることにより、メインローブのスロープで受信するので電波到来角変化に対する指向利得の変化が大きくなり、変動測定感度を高くすることができる。また、2基のアンテナI、IIの指向特性曲線の交点方向から、電波が到来する場合は、両アンテナの出力は、等しくなる。したがって、出力信号の差をとれば、降雨・大気起因した減衰による受信レベルの変化は、キャンセルされ、差信号のレベルは、電波到来方向の変化に対応する。

OBM方式では、衛星-受信アンテナ間の伝搬条件が同一であることが必要である。そのために、2基のアンテナの距離はできるだけ近づけた方が良い。工学部電気電子棟の屋上に指向性の等しいアンテナを2基設置し、受信電力の最大値から3dB減衰するように、一方のアンテナは衛星方向に対して西方向に、もう一方のアンテナは、東方向にビームをずらして受信している(図3参照)。これらによって得られたデータは、計算機に取り込まれ、同時にペンレコーダに記録される。得られる生データは、AGC回路の制御電圧であるが別に測定したAGC電圧-減衰量の入出力特性によって受信電力の変化に変換される。理想的には、ビームをずらすパラメータとして角度を用いたいのであるが、我々の実験では、2つのアンテナおよびコンバータの特性が若干違うため、受信レベルが3dB落ちる方向にアンテナを向けている。図3、表1に実験に用いた、受信システムのブロック図および受信システムの諸元を示す。

## 2.2 取得されたデータ及びその解析

図4に96年2月5日の1分間隔でサンプリングした減衰データのグラフを示す。この時はアンテナIのみ、OBM方式によりビームを最大方向からずらしており、アンテナIIは、NBM方式のままでビームの最大方向に向けている。(NBM方式)この2つのグラフから、BS Iの受信レベルの振幅の変動がBS IIのそれより、大きく変化していることが確認できる。つまり、OBM方式により測定感度が高くなったといえる。

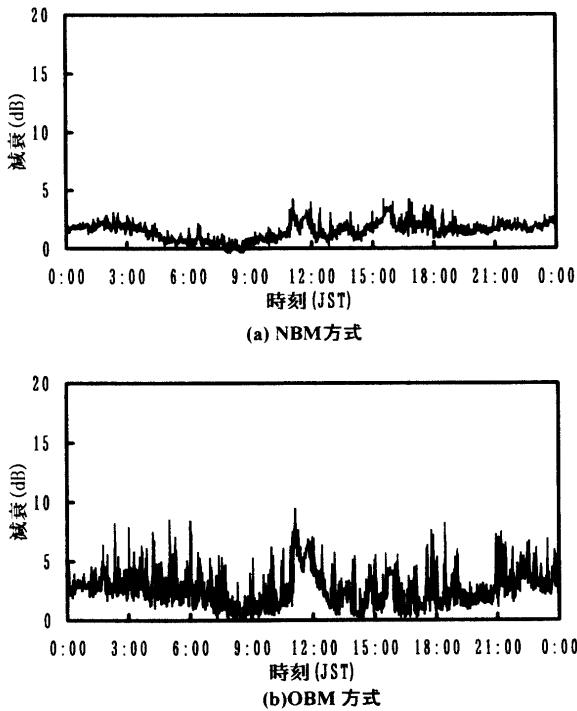


図4 96年2月5日 NBM 方式および OBM 方式で得られたデータ

図5に95年12月21日から、96年1月10日までのOBM方式で測定した到来角変動のグラフを示す。このグラフから、到来角変動には、大きな変動とそれに重畳したように生じる変動があることがわかる。この大きな変動は、ほぼ1日周期で繰り返している。大きい変動は、衛星の姿勢変動により、生じたものと考えられる。細かく小さな変動は、衛星放送波が、対流圏を通過する際に、大気屈折率の空間的・時間的変化による変動のために生じたものと考えられる。次に、到来角変動のグラフにおいて、小さな変動、つまり大気の影響と考えられる変動について、その変動のばらつきを調べるために、1時間ごとに角度の標準偏差を取ったグラフを図6に示す。このグラフから、角度の変化が、正午前に増加し、朝方と夕方減少していることがわかる。

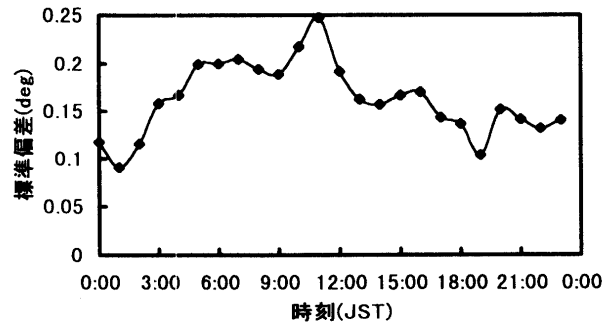


図6 96年12月23日の OBM 方式によって得られたデータ

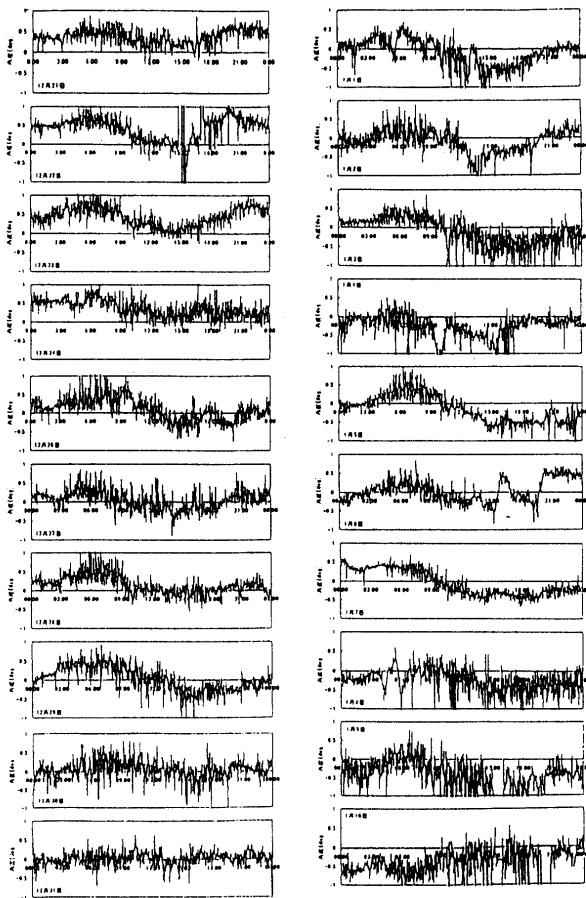


図5 1995年12月21日から1996年1月11日までの到来角変動  
横軸：時刻0:00~24:00 縦軸：角度 (deg)

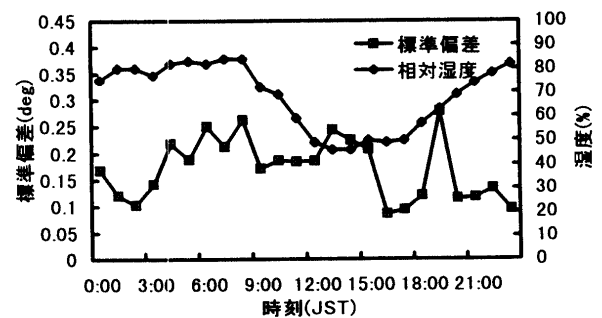
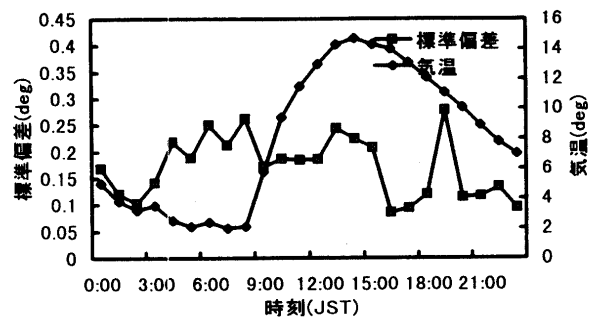


図7 96年1月2日における標準偏差と気温及び湿度の関係

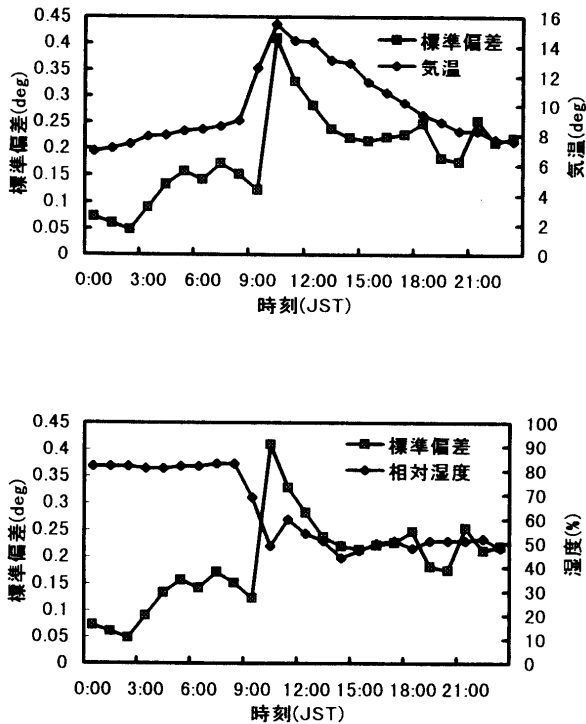


図8 96年1月3日における標準偏差と気温及び湿度の関係

また、大気屈折率は、気温や湿度の影響を受けるといことから、到来角の標準偏差と気温・湿度の関係を調べてみた。図7、8に96年1月2、3日における標準偏差と気温・湿度の関係を表すグラフを示す。気温もしくは、湿度が急に変化するところでは、標準偏差が大きくなるという傾向が見られる<sup>(5)</sup>。ここで、気温と湿度のデータは鹿児島地方気象台からいただいた「地上気象観測原簿」に基づいている。

### 3. 反射板を用いたビーム伝送基礎実験

#### 3.1 CLM方式の原理及び問題点

CLM方式(共通ローカル方式)は、電波干渉計の原理を応用し、局部発振信号が同じ発振器から供給される2基のアンテナと受信機を使用して、各アンテナで受信した信号の位相差の刻々の変化を見ることで、高精度な大気環境変動等の測定を可能にする。

いま2基のアンテナ間距離、基線長を $r(m)$ 、基線が電波の到来方向の垂線に対し角度 $\alpha(rad)$ になるように2基のアンテナの配置を取ったとする。伝搬路差を $P(m)$ とすると、

$$P = r \sin \alpha \quad (4.1)$$

と表わすことができる。衛星の位置変動や、大気中での屈折などの影響による電波到来方向の変化 $\Delta\alpha$ は、式(4.1)の両辺を $\alpha$ で微分して、

$$\Delta P = r \cos \alpha \cdot \Delta \alpha$$

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta P}{r} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (rad) \quad (4.2)$$

と表わすことができる。また、2基のアンテナで受信された信号の位相差を $\Delta\phi$ 、波長を $\lambda$ とすると、

$$\Delta \phi = \frac{\Delta P}{\lambda} 2\pi \quad (4.3)$$

となる。(4.3)式は、(4.2)式を用いることによって

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} r \cos \alpha \cdot \Delta \alpha \quad (rad) \quad (4.4)$$

(4.2)式より、角度分解能を上げるためには基線を長くとればよいことがわかる。鹿児島の場合、仰角 $47^\circ$ で $\pm 1.5mdeg$ 程度と見積もられる。このとき、基線長20mでは位相差 $\theta$ は約 $2.6 \times 10^{-2} rad$ の変化となって測定される<sup>(4)</sup>。しかし、2基のアンテナを離すと、共通ローカル信号(約10GHz)を伝送するケーブルの長さが長くなり、共通ローカル信号の減衰が大きくなる。

実際、CLM方式で使用しているコンバータのローカル信号標準レベルは約8dBmであり、20mの基線長で観測システムを構成し、その中心に局部発振器を設置するものとする、共通ローカル信号発振器には21.5dBmの高出力が要求される。そこで、2基のアンテナを近づけ、反射板を20mの位置に設置し、等価的に20mの基線長となるようにする。そうすることでケーブルの長さを短くでき、ローカル信号のケーブルによる減衰を軽減できる。

#### 3.2 実験目的および実験方法

反射板の大きさや伝送距離による損失の評価を行うための実験を行った。図9、表2にビーム伝送実験システム及びシステム諸元を示す。まず衛星を簡単にとらえられることから、図のように衛星到来方向にアンテナ、反射板が直線状になるように配置し、反射板の大きさを25cm $\times$ 25cm、50cm $\times$ 50cm、100cm $\times$ 100cmとし、それぞれの大きさの反射板で反射板と受信アンテナの距離を3m $\sim$ 15mと変化させた。反射波を受信アンテナで受信し、BSチューナのAGC端子から出力レベルの変化を記録した。しかし、屋上の構造上、受信アンテナと反射板の距離を15mまでしか移動させることができない。そこで、アンテナと反射板の距離を15m以上とるため、反射板を西側に設置して、衛星放送波を斜めに反射させ受信した。受信アンテナと反射板の距離を3 $\sim$ 40mまで変化させた。反射板の大きさは実験結果(後述3.3節)をもとに50cm

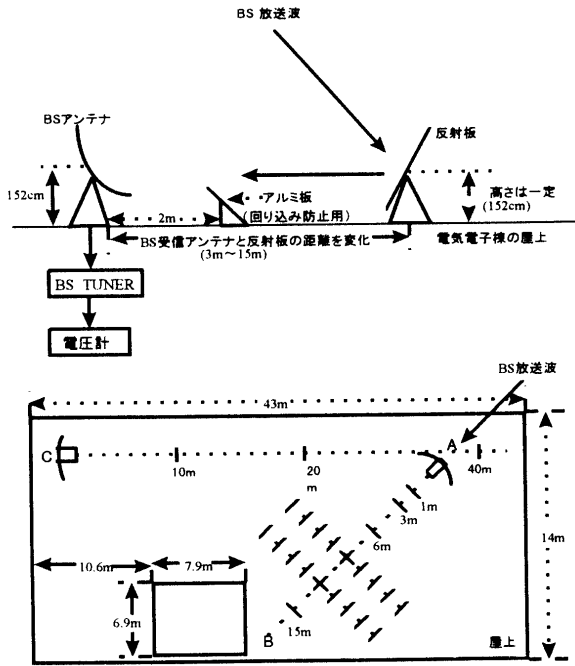


図9 ビーム伝送実験システム図

表2 基礎実システム諸元

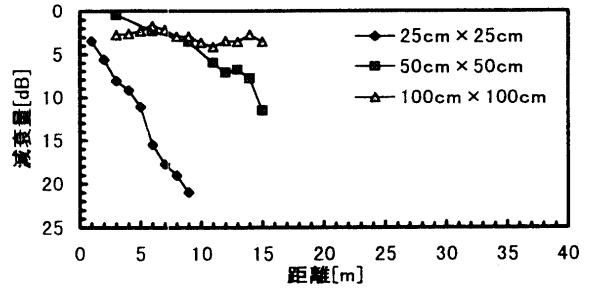
チューナ	SONY 770SP
電圧計	MICRONIX MHS550SP
受信アンテナ	SONY SHF SAN-505
反射板アンテナ	50cm×50cm 厚さ3mm
	100cm×100cm 厚さ3mm

×50cm, 100cm×100cmとした。いずれの場合もBSチューナのAGC電圧を取り出し、それを換算して、受信電力の変化とした。さらに、屋上面からの反射波による干渉波を防ぐために、受信アンテナから約2mの位置に1m四方のアルミ板を設置した。

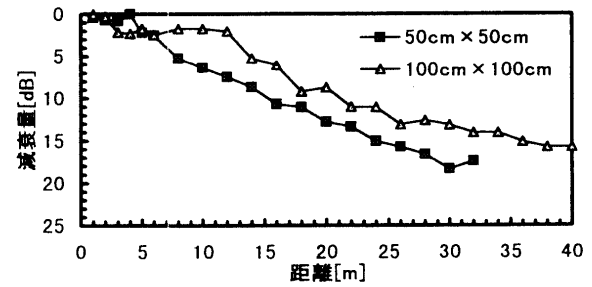
### 3.3 実験結果

図10(a), (b)に、反射板を動かしたときの、距離と受信レベル減衰量の関係を示す。図10(a)より、50cm×50cmの反射板は、10m離して設置すると3mの場合の受信電力に対して約6dB受信レベルが落ち、100cm×100cmの反射板は、約5.5dB受信レベルが落ちることがわかった。また、25cmの反射板を用いた場合では、9m以上の距離になると受信不可能となった。斜め伝送では、図10(b)より、20mの位置で50cm×50cmの反射板の場合、約12dB、100cm×100cmの反射板では約9dB受信レベルが落ちることがわかった。

また、50cm×50cmの反射板では32m以上の距離では受信不可能となった。



(a) 直線伝送での距離と減衰量の関係



(b) 斜め伝送での距離と減衰量の関係

図10 直線、および斜め伝送における反射板と受信アンテナの距離と減衰量の関係

## 4. まとめと今後の課題

### 4.1 OBM方式のまとめと今後の課題

OBM方式により、NBM方式で測定する受信信号レベル変動の感度を約2倍あげることができた。到来角変動のデータから、衛星の姿勢変動と思われるほぼ1日周期の大きな変動とそれに重畳した小さな変動のあることがわかった。大きな変動の日変化には、この期間を通して全体的に到来角変動の1日平均が下がっている傾向がつかめた。また、衛星は2週間に1度、軌道修正をするといわれているが、96年1月6日の観測データにそれらしきものが現れた。小さな変動は、正午前に増加し、朝方と夕方には減少することが見受けられた。気温もしくは、湿度が急に変化するところでは、到来角変動の標準偏差が大きくなることがわかった。また、到来角変動の標準偏差と気温、もしくは湿度との相関がある日とない日があったが、相関がある日でも、雲量および雲の種類の変化がほとんどない日が多かった。今後、小さく細かい変動の特徴を明らかにするために、長期的なデータの取得を行っていく予定である。

### 4.2 ビーム伝送方式による基礎実験のまとめと今後の課題

CLM方式およびサイトダイバーシティ観測システムへ応用するため反射板を用いたビーム伝送方式の基礎実

験を行った。

現在、NBM および CLM 方式で用いている受信システムの入出力特性の直線特性部分を用いるためにチューナーの入力部に20dBの減衰器を挿入しているが、3.3の結果より50cm×50cm, 100cm×100cmのいずれの反射板を用いても、20mの位置において、NBM方式におけるサイトダイバーシチ受信システムへ活用できることがわかった。また、CLM方式においては、反射板をもちいて、基線長20mと等価の受信システムが構築可能であることがわかった。

### 参考文献

(1) 林, 内野他「鹿児島における降雨特性及び衛星回

線への影響について」平成8年度 電気関係学会九州支部連大1206

(2) 林, 牛ノ濱他「OBM方式による12GHz斜め伝搬特性」平成8年度 電気関係学会九州支部連大1204

(3) 例えば, 電子通信学会編「アンテナ工学ハンドブック」pp184-185, オーム社, 昭和55年

(4) 林, 木原他「電波干渉計を用いた大気環境測定装置の開発」平成8年度 電気関係学会九州支部連大1203

(5) 林, 張他「反射板を用いたビーム伝送実験」平成8年度 電気関係学会九州支部連大1202