

## 2周波のファンビームレーダを用いた 簡易雨量測定に関する研究

白坂 知彦\* 浦野 和也\*\* 上園 剛\*\*\*  
伊藤 博雅\*\*\* 安田 茂\*\* 林 理三雄\*\*

A STUDY ON MEASUREMENT OF RAINFALL WITH FAN BEAM RADAR  
BY THE USE OF 2 FREQUENCIES

Tomohiko SHIRASAKA, Kazuya URANO, Tuyoshi UEZONO\*  
Hiromasa ITO\*, Shigeru YASUDA and Risao HAYASHI

Rainfall measurement method with fan beam radar by the use of 2 frequencies which are X band (9GHz band) and S-band (3GHz band) is proposed in order to obtain accurate rain area information in narrow area, and new rainfall measurement system is developed. At present, the measurement system has been completed. However, the radar echo data from the rainfall are included the gland clutter that is superimposed on the rain echo data. It is necessary to remove the gland clutter from radar echo data in the rainfall observation. Then, gland clutter removal method is established using features of 2 frequencies radar, and the theoretical formula was deduced. By the use of this deduced theory, we could estimate rain intensity from actual obtainable radar data.

### 1. はじめに

鹿児島地方は、降雨時において強い降雨になる割合が高く、雨域が局所的であるという特徴がある<sup>1)</sup>。

---

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

\*\*\* 鹿児島県工業技術センター

これらの特徴は、他の地域ではあまり見られない現象であり、また高降雨強度の降雨の継続時間も他の地域に比べて長く、降雨のある地域に甚大な被害を及ぼす豪雨災害が発生しており、狭い地域での精度の良い雨域情報が必要とされている。

このような、鹿児島の特徴的な降雨の形態について、より詳細に広範囲に降雨の特徴を把握するため、Xバンド(9GHz帯)とSバンド(3GHz帯)の2周波の船舶用レーダ(ファンビームレーダ)を利用した新雨量測定

システムを提案し、高精度で安価なシステムの開発に取り組んでいる。

現在、雨量観測システムが完成し、半径30kmの範囲を観測することが可能であり、取得したレーダエコーと、降雨強度の間に良好な相関関係があることが確認できている。本システムで観測に用いている船舶用レーダは、もともと船舶や海岸線など固定物標探知用であるため、このレーダエコーデータには、グラウンドクラッタが多く含まれている。降雨観測においては、グラウンドクラッタは不要な反射波であり、降雨と見誤らないために除去する必要がある。

そこで、XバンドとSバンドの2周波のレーダを用いて観測を行い、両レーダの特徴を利用し、グラウンドクラッタの除去、および推定雨量の導出を行い、雨量観測レーダとしての確立を目的としている。

## 2. 2周波のレーダを用いた雨量観測方法

### 2.1 2周波の特徴

降水粒子を観測するためのレーダには、Sバンド(2.9GHz帯、波長約10.3cm)、Cバンド(5.3GHz帯、波長約5.6cm)、Xバンド(9.3GHz帯または9.7GHz帯、波長3.2cmまたは3.1cm)の周波数が割り当てられている。

Sバンドレーダは、降水粒子による減衰が小さいため、強雨時でも遠距離まで探知することが可能である。このため少ない台数で広範囲をカバーすることが可能であり経済的であるが、ビームを絞って感度を上げるためには、全体的に装置が大型となる。Xバンドレーダは分解能がよく、雨滴に対する感度がよい。また、降水粒子による電波の減衰が大きいため、特に強降雨時には近距離であっても探知不能となることがある。探知距離は一般的に100km以下であり、降雨範囲をカバーするためには多くのレーダを必要とする。Cバンドレーダは、XバンドとSバンドの間の特徴を持っている。そこで、XバンドとSバンドのそれぞれの特徴を利用し、グラウンドクラッタ除去方法および推定雨量の導出のための理論を導き出した。

### 2.2 SバンドとXバンドの受信電力の関係

ファンビームレーダにおいてビーム内に一様に分布した気象粒子があり、このとき $r$ 地点に分布した気象粒子からのエコーの受信電力 $P_r$ は次式で表される<sup>2),3)</sup>。

$$P_r = \frac{P_t G_0^2 h \theta_0^2 \pi^3}{2^{10} (\ln 2) \lambda^2 r^2} \left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right|^2 BR^\beta 10^{-0.2a_r r} F$$

$$= CZ\Gamma F \quad (1)$$

$$\text{ここで、} C = \frac{P_t G_0^2 h \theta_0^2 \pi^3}{2^{10} (\ln 2) \lambda^2 r^2} \left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right|^2 \quad (2)$$

$$Z = BR^\beta \quad (3)$$

$$\Gamma = 10^{-0.2a_r r} \quad (4)$$

$P_t$  : 送信電力

$G_0$  : アンテナ利得

$h$  : 空間パルス幅

$\theta_0$  : アンテナビームの半値幅

$\lambda$  : 波長

$r$  : レーダサイトからの距離

$\epsilon$  : 水の複素誘電率

$Z$  : Z因子またはレーダ因子

$$Z = BR^\beta \quad (B = 200, \beta = 1.6)$$

$R$  : 降雨強度

$\Gamma$  : 反射点までの往復の減衰量

$F$  : ビーム内雨滴充滿率などに起因する補正係数

$a_r$  : 降雨減衰係数

$$(a_r = aR^b, \quad a, b \text{ は定数})$$

今、同時運用されているXバンドレーダ、Sバンドレーダがあり、同一物標を見ているとする。Xバンド、Sバンドに関連するパラメータにサフィックスを付け、両者の受信電力の比をとると、

$$\left( \frac{P_{rx}}{P_{rs}} \right) = \left( \frac{P_{tx}}{P_{ts}} \right) \left( \frac{G_{0x}}{G_{0s}} \right)^2 \left( \frac{h_x}{h_s} \right) \left( \frac{\theta_{0x}}{\theta_{0s}} \right)^2 \left( \frac{\lambda_s}{\lambda_x} \right)^2$$

$$\cdot \frac{\left| \frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2} \right|^2}{\left| \frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2} \right|^2} \cdot \frac{10^{-0.2a_{rx}r}}{10^{-0.2a_{rs}r}} \quad (5)$$

となる<sup>3)</sup>。本システムにおいて、送信電力と送信パルス幅は等しいので、 $P_{tx} = P_{ts}$ 、 $h_x = h_s$  とすると式(5)は、次式で表すことができる。

$$\left(\frac{P_{rx}}{P_{rs}}\right) = \left(\frac{G_{0x}}{G_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\theta_{0x}}{\theta_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \frac{\left|\frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2}\right|^2}{\left|\frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2}\right|^2} \cdot 10^{-0.2(a_{Rx} - a_{Rs})r} \quad (6)$$

ここで、右辺を  $k_1$  とすると

$$P_{rx} = k_1 P_{rs} \quad (7)$$

$$k_1 = \left(\frac{G_{0x}}{G_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\theta_{0x}}{\theta_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \frac{\left|\frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2}\right|^2}{\left|\frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2}\right|^2} \cdot 10^{-0.2(a_{Rx} - a_{Rs})r} \quad (8)$$

となる。Xバンドの受信電力  $P_{rx}$  は、Sバンドの受信電力  $P_{rs}$  の  $k_1$  倍になって受信される。即ち、Sバンドの受信電力  $P_{rs}$  を  $k_1$  倍すれば、Xバンドの受信電力  $P_{rx}$  に換算できることになる。

ここで、 $k_1$  において降雨に関するパラメータである、 $a_{Rx}$  および  $a_{Rs}$  について検討する。 $a_{Rx}$ 、 $a_{Rs}$  はそれぞれ、次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} a_{Rx} &= a_x R^{b_x} \\ a_{Rs} &= a_s R^{b_s} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

よって、 $(a_{Rx} - a_{Rs})$  は、式(10)となる。

$$\begin{aligned} (a_{Rx} - a_{Rs}) &= (a_x R^{b_x} - a_s R^{b_s}) \\ &= a_x R^{b_x} \left\{ 1 - \left( \frac{a_s}{a_x} R^{b_s - b_x} \right) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 $R = 0 \sim 200$  (mm/h) としても、 $\left\{ \right\} = 1 \sim 0.973 \approx 1$  であるので、

$$(a_{Rx} - a_{Rs}) \approx a_x R^{b_x} \quad (\text{dB/km})$$

よって、 $k_1$  は式(11)で表される。

$$k_1 = \left(\frac{G_{0x}}{G_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\theta_{0x}}{\theta_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_x}\right)^2 \frac{\left|\frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2}\right|^2}{\left|\frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2}\right|^2} \cdot 10^{-0.2 a_x R^{b_x} r} \quad (11)$$

また、 $a_x R^{b_x} r$  は (dB) で表した値である。

### 2.3 晴天時における固定物標除去方法

晴天時においては、降雨がないので、 $R = 0$ 、

$$\left|\frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2}\right|^2 \left/ \left|\frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2}\right|^2 \right. = 1 \text{ であり、このときの } k_1 \text{ を } k_{10} \text{ と}$$

すれば、式(11)より、

$$k_{10} = \left(\frac{G_{0x}}{G_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\theta_{0x}}{\theta_{0s}}\right)^2 \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_x}\right)^2 \quad (12)$$

となる。したがって、式(7)より、

$$P_{rx} = k_{10} P_{rs} \quad (13)$$

となる。これより、晴天時において、Sバンドの受信電力  $P_{rs}$  を  $k_{10}$  倍すれば、Xバンドの受信電力  $P_{rx}$  に換算することができ、固定物標は、

$$P_{rx} - k_{10} P_{rs} \quad (14)$$

することで除去できる。

### 2.4 降雨時における固定物標除去方法

降雨が一樣にビーム内を満たしているとする、式(7)、式(12)より、

$$\begin{aligned} P_{rx} &= k_{10} P_{rs} = k_{10} \frac{\left|\frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2}\right|^2}{\left|\frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2}\right|^2} \cdot 10^{-0.2 a_x R^{b_x} r} \cdot P_{rs} \\ &= k_{10} k_2 P_{rs} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{ここで、} k_2 = \frac{\left|\frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2}\right|^2}{\left|\frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2}\right|^2} \cdot 10^{-0.2 a_x R^{b_x} r} \quad (16)$$

である。また、 $k_1$ 、 $k_{10}$ 、 $k_2$  の関係は、

$$k_1 = k_{10} k_2 \quad (17)$$

である。降雨時において、固定物標は式(15)より、

$$P_{rx} - k_{10}k_2P_{rs} \quad (18)$$

とすることで除去できる。但し、 $k_2$ において、距離 $r$ はレーダにより決定できるが、ビーム内の平均的な降雨強度 $R$  (mm/h)を求めることはできない。

そこで、式(15)において、降雨強度に関する項、即ち、 $10^{-0.2a_xR^{b_x}r}$ の項について検討し、降雨強度 $R$ を求

める。 $10^{-0.2a_xR^{b_x}r}$ の項はdBで表した減衰量を真数に直した値であり、真の減衰量 $\Gamma_x$ である。 $r$ 地点での、両レーダの受信電力 $P_{rx}$ 、 $P_{rs}$ は観測できる値であるので、式(15)より、 $\Gamma_x$ は、

$$\Gamma_x = \left( \frac{P_{rx}}{P_{rs}} \right) \frac{1}{k_{10}} \frac{\left| \frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2} \right|^2}{\left| \frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2} \right|^2} = 10^{-0.2a_xR^{b_x}r} \quad (19)$$

となる。 $\Gamma_x$ は、 $r$ 地点までの減衰係数(真数値)であ

る。ここで、 $\left| \frac{\epsilon_s - 1}{\epsilon_s + 2} \right|^2 / \left| \frac{\epsilon_x - 1}{\epsilon_x + 2} \right|^2 = \epsilon_{sx}$ とする。

$\left| \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right|^2$ は波長3cm以上の場合、ほとんど変わらず、約

0.93である。したがって、 $\epsilon_{sx} = 1$ である。よって、式(19)は、

$$\Gamma_x = \left( \frac{P_{rx}}{P_{rs}} \right) \frac{1}{k_{10}} = 10^{-0.2a_xR^{b_x}r} \quad (20)$$

となる。これは、 $r$ 地点までの減衰係数(真数値)であるので、両辺のlogをとり、降雨強度 $R$ を求めると、次式が得られる。

$$R = \left[ -\frac{1}{0.2a_x r} \log \left\{ \left( \frac{P_{rx}}{P_{rs}} \right) \frac{1}{k_{10}} \epsilon_{sx} \right\} \right]^{\frac{1}{b_x}} \quad (21)$$

式(21)は、電波の $r$ 地点までの間の平均的な降雨強度 $R$ が求められる。式(21)より、 $R$ を求めれば、式(16)より $k_2$ を決定できる。

## 2.5 地点雨量の導出

$r$ 地点までの伝搬距離間での平均的な降雨強度 $R$ は、式(21)により求められるが、雨量観測レーダとしてシ

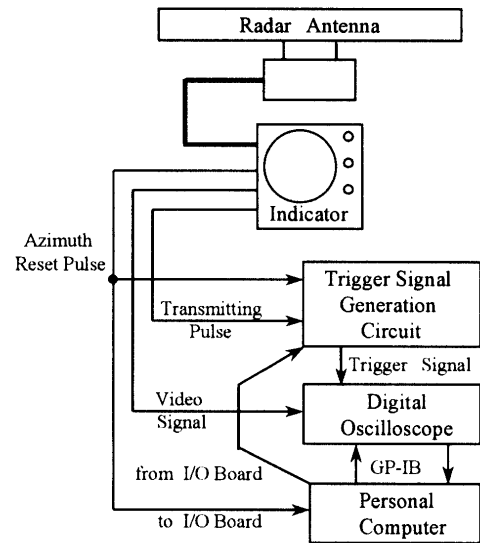


図-1 降雨観測システムのブロック図

ステムを確立させるためには、 $r$ 地点近傍の降雨強度を求める必要がある。そこで、式(21)を用いて $r$ 地点近傍の降雨強度を求める。ここで、

$$k_3 \equiv \left[ \frac{1}{0.2a_x} \log \left\{ \left( \frac{P_{rs}}{P_{rx}} \right) k_{10} \frac{1}{\epsilon_{sx}} \right\} \right]^{\frac{1}{b_x}} \quad (22)$$

とすると、式(21)より、式(23)が得られる。

$$R = k_3 r^{-\frac{1}{b_x}} \quad (23)$$

ここで、 $R$ は距離 $r$ の関数であるので、上式を $r$ で微分する。

$$\frac{dR}{dr} = k_3 \frac{d}{dr} \left( r^{-\frac{1}{b_x}} \right) = -\frac{k_3}{b_x} r^{-\left(1+\frac{1}{b_x}\right)} \quad (24)$$

したがって、 $\Delta R = -\left( \frac{k_3}{b_x} \right) r^{-\left(1+\frac{1}{b_x}\right)} \Delta r$  (25)

$r$  : ある地点までの距離

$\Delta r$  : ある地点 $r$ の近傍の微小区間

$\Delta R$  : ある地点 $r$ の近傍の降雨強度

となり、 $r$ 地点近傍の $\Delta r$ 区間の降雨強度 $\Delta R$ が求められる。

## 3. 観測システム

### 3.1 データ取得システム

図-1に雨量観測システムのブロック図を示す。また、

表-1 レーダ諸元

	Sバンドレーダ (JMA-777)	Xバンドレーダ (JMA-3810)
偏波面	水平偏波	水平偏波
指向特性		
水平ビーム幅	2.6°	1.2°
垂直ビーム幅	30°	25°
回転数	約24回転/分	約24回転/分
送信周波数 (波長)	3050±25MHz (9.8cm)	9410±30MHz (3.2cm)
送信尖頭電力	10kw	10kw
送信管	マグネトロン	マグネトロン
送信パルス幅	0.08~1.2μsec	0.08~1.2μsec
距離範囲	0.125~72 哩	0.125~72 哩
最短探知距離	30m 以内	20m 以内

表-1にレーダ諸元を示す。本システムは、レーダ指示器を改良し、方位リセットパルス、送信パルス、ビデオ信号を取り出している<sup>4)</sup>。空中線は、1分間に24回転、即ち、2.5秒で1回転する。空中線が1回転する度に、同じ方向で方位リセットパルスを1個発生する。また、本システムでは、Xバンド、Sバンドの両レーダの送信パルス幅を0.4μsecに設定しているため、空中線が1回転する間に、3750個の送信パルスを発生させている。方位リセットパルスは、I/O (Input-Output) ボードに入力され、ボードに入力され、データ取得のスタートタイミング信号として使用している。また、方位リセットパルスと送信パルスは、自作のトリガ信号発生回路に取り込まれ、トリガ信号を作り、デジタルオシロスコープにトリガをかけている。ビデオ信号は、デジタルオシロスコープに取り込まれ、デジタルオシロスコープのA-D変換器を用いて8ビットでサンプリングされ、GP-IBを通してパソコンに記録される。

### 3.2 データ取得方法

レーダの空中線が1回転する間に、90度で1方向、合計4個のレーダエコーをデジタルオシロスコープでサンプリング、捕捉しパソコンに取り込んでいる。1回転目では、1度、91度、181度、271度、2回転目では2度、92度、182度、272度のデータ取り込み、このように1回転毎に1度ずつ取得方向をずらし、空中線が約90周する間

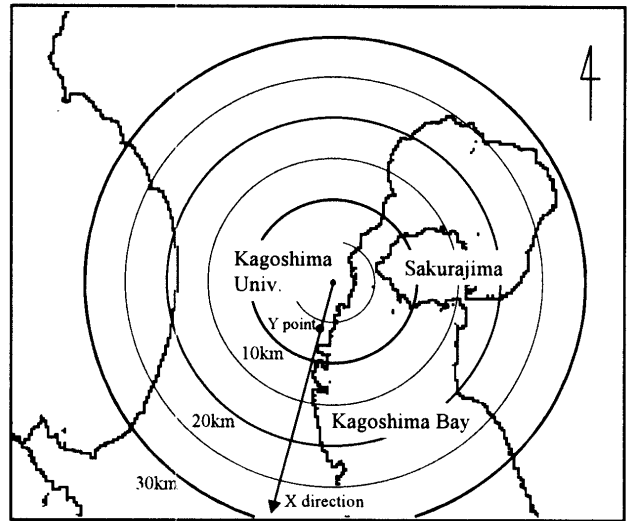


図-2 観測領域

に全方向からのエコーを取得する。取得したデータはひとつのファイルとしてパソコンに保存され、全方向からのデータ取得に約4分を要する。またプログラムにより、連続でのデータ取得が可能であり、降雨時には随時観測できる。

### 3.3 観測範囲

本システムでは鹿児島大学工学部を中心として、最大半径30kmの範囲を観測している。観測範囲の半径は、プログラムの設定により、15kmと30kmの2種類を選択することができる。どちらの観測においても、1方向のデータは、1000ポイントでサンプリングしているため、15km観測においては15m間隔、30km観測では30m間隔でサンプリングしている。図-2には、鹿児島大学を中心とした測定範囲を示す。

## 4. 解析結果

### 4.1 XバンドとSバンドの比較

本システムで半径30kmで観測したとき、晴天時と降雨時のエコーデータをPPIスコープ表示したものを図-3に示す。Xバンド、Sバンドともに同時刻に取得したデータである。鹿児島市街地、桜島、鹿児島湾の海岸線からのエコーを捕らえていることが確認できる。また、降雨時のPPIスコープでは降雨を捕らえていることが確認できるが、グランドクラッタに重畳して降雨を捕らえている。また、中心部の強いエコーは、レーダ空中線のサイドローブレベルである。このため、

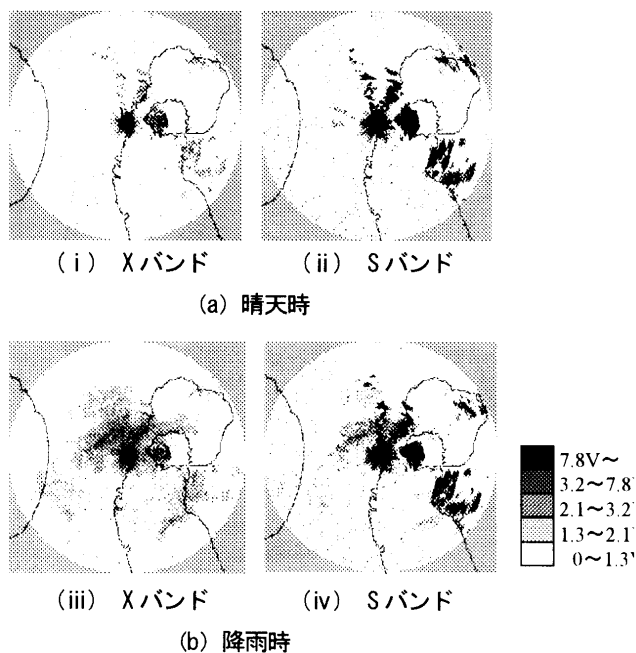
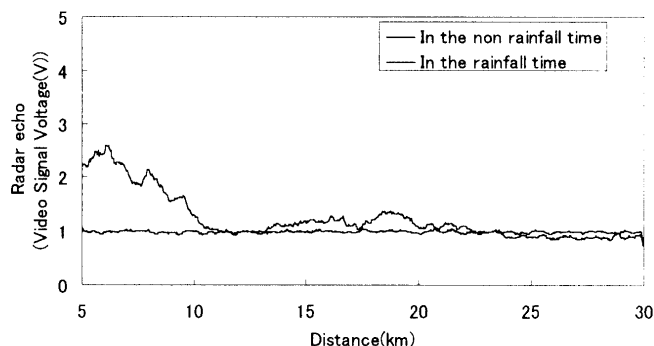


図-3 PPI スコープの比較

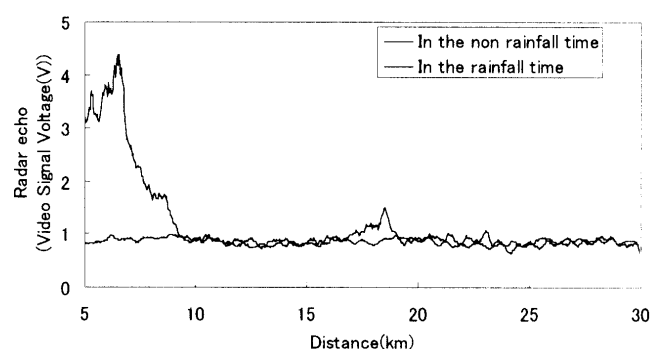
解析においては、中心部のデータは破棄している。この範囲は、Xバンドで約3km、Sバンドで約4kmである。

図-4に真北から185度方向(X方向)のXバンドとSバンドの晴天時と降雨時のAスコープデータを示す。晴天時のデータは1999年7月6日、降雨時のデータは1999年6月18日に観測したものである。また、レーダエコーのふらつきを抑えるためにエコーデータは平均化を行っている<sup>5)</sup>。以下に示すレーダエコーはすべて平均化を行ったものである。晴天時ではビデオ信号電圧のレベルは、Xバンドで約1V、Sバンドでは約0.9Vで一定である。晴天時と降雨時を比較すると、Xバンドでは、5kmから11km、13kmから22kmの範囲、Sバンドでは、5kmから9km、15kmから23kmの範囲で降雨からのエコーを捕らえており、どの地点において、降雨があるのか確認することができる。

また、降雨観測時において、レーダは降雨の反射波を捕らえているので、晴天時よりレーダエコーは強くなると予想されるが、Xバンドにおいて、23km地点で晴天時のレーダエコーより降雨時のレーダエコーが弱くなっている。これは、23km地点以降からの反射波は、5mから10km、また、15kmから20kmでの途中降雨により減衰され、反射波の強度より、減衰量が大きくなったと考えられる。Sバンドにおいては、24km地点で晴天時と同じレベルになり、Xバンドと同様の関係が現れ



(a) Xバンドレーダ



(b) Sバンドレーダ

図-4 晴天時と降雨時のAスコープの比較

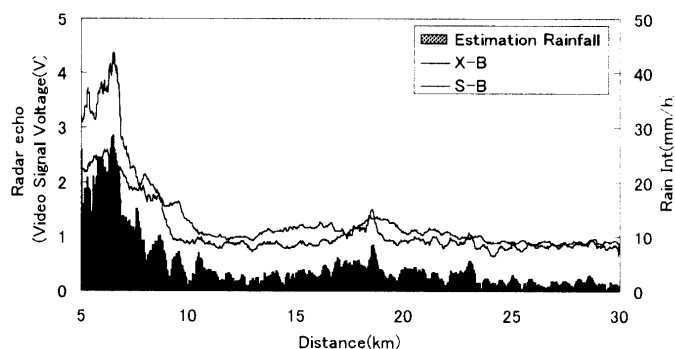


図-5 推定雨量の導出結果

ている。この現象は、他の方向においても現れることが確認できている。

#### 4.2 推定雨量の導出結果

図-5に1999年6月18日の17:00に観測したX方向のAスコープデータと、このデータをもとに求めた推定雨量の結果を示す。XバンドとSバンドのレーダエコーを比較すると、波形が異なっていることがわかる。

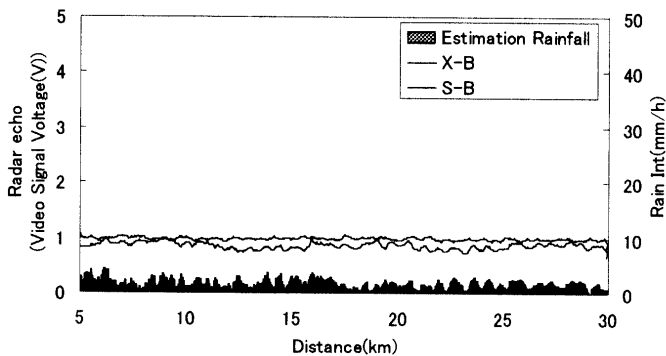


図-6 晴天時における解析結果

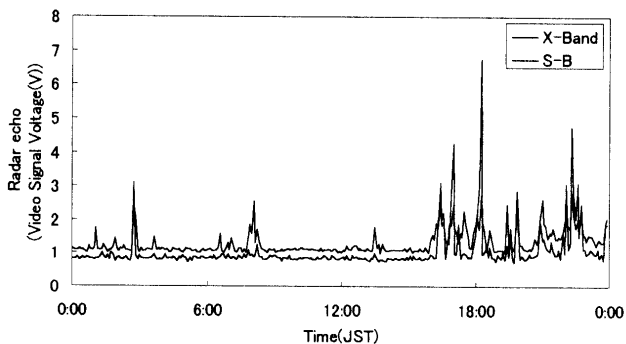


図-7 降雨時のレーダエコーの比較

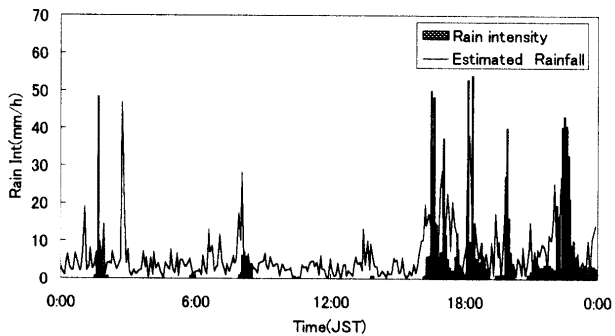
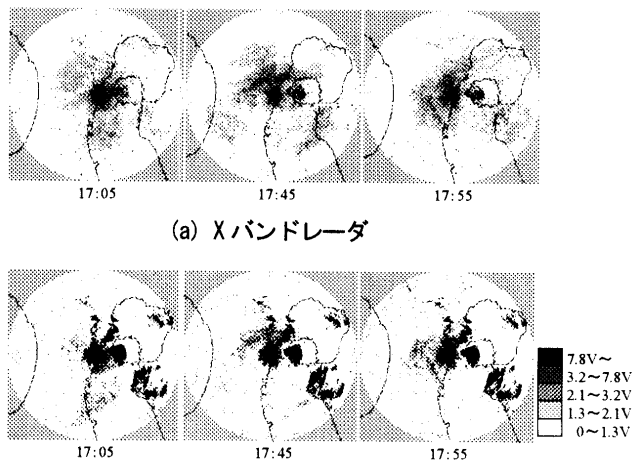


図-8 推定雨量と実雨量の比較

これは、2.1節で述べたように周波数の違いによるものと考えられる。Xバンドは降雨に対する感度が良いため、弱い降雨に対しても降雨からのエコーを捕らえることができ、Sバンドは比較的強い降雨からのみエコーを得ることができる。このような特徴を考慮すると、5kmから7.8kmの範囲、また18km付近で比較的強い降雨があったと考えられる。推定雨量とレーダエコーを比較すると、降雨によるエコーがある場所で雨量を求めることができている。また、18km地点付近の強い降



(a) Xバンドレーダ  
(b) Sバンドレーダ  
図-9 PPI スコープ

雨に対しても推定雨量を求めることができた。しかし、降雨によるエコーがない場所でも、降雨があったような結果が得られた。

そこで、1999年7月6日の晴天時のデータで同様の解析を行った結果を図-6に示す。晴天時であるため、理論的には推定雨量は、0mm/hになるはずである。しかし、どの距離においても、弱い降雨があったような結果が得られた。ここで、推定雨量の最大値は、4.3mm/hであり、平均値は1.4mm/hである。降雨観測において、一概に降雨時から晴天時のデータを差し引くことはできないので、ここでは、これを誤差と考えることとした。誤差は最大値でも5mm/h以下であり、本システムでは、どの地点においても2mm/hの誤差があるとした。

次に図-7にY地点(X方向、6km地点)のレーダエコーの時系列データ、図-8にそのデータをもとに求めた推定雨量と実際の降雨強度との比較のグラフを示す。実際の降雨強度と推定雨量を比較すると、グラフの波形は似ているが、多少のずれが生じている。これは、実際の降雨強度の観測場所と推定雨量を導出した場所が異なっていることが原因だと考えられる。しかし、図-7のレーダエコーと比較すると、降雨によるエコーがある場所で推定雨量を求めることができた。また、16:00以降に見られる強い降雨に対しても推定雨量を求めることができ、7:00、14:00頃の弱いエコーに対しても推定雨量を求めることができた。他の地点においても同様にして推定雨量の導出を行い、雨量マップの作成を行った。本解析では、レーダエコーより降雨強度を求めている。雨量マップには、推定した降雨強

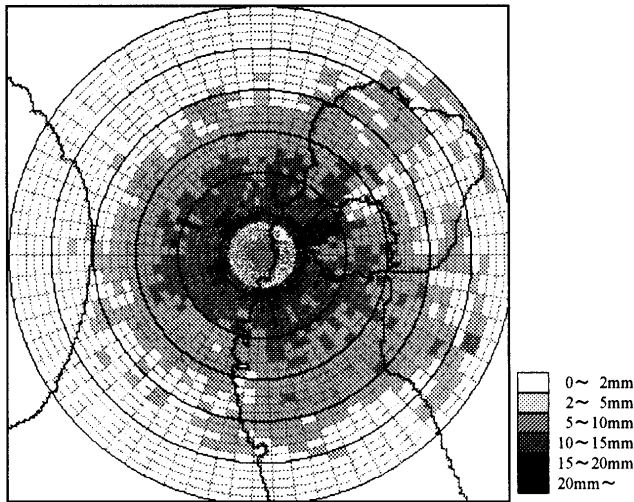


図-10 雨量マップ

度を1時間の降雨推量に換算しプロットした。ここでの降水量は、1時間の間に直径20cmの範囲に降った雨の量と定義した。

図-9に1999年6月18日の17:00から18:00の両レーダのPPIスコープを示す。また、図-10に同日の17:00から18:00の1時間の雨量マップを示す。XバンドのPPIスコープより、雨域が南西方向から北東方向に移動していることがわかる。雨量マップでは、この雨域が通過した範囲に降水量を求めることができ、また、SバンドのPPIに現れている降雨からのエコーがある場所は、雨量マップでは降水量が多く現れており、雨域の分布や降雨が多かった地域を確認することができる。

## 5. まとめ

本研究では、XバンドとSバンドの2周波の船舶用レーダを用いた雨量観測方法について検討を行った。それぞれ2周波のレーダの特徴を利用した、グラウンドクラッタ除去方法、および推定雨量の導出の理論を確立させ、理論式を導き出した。実際に本システムにより取得したデータを用いて、理論式より推定雨量を求め、実際の降雨強度との比較を行い、良好な結果を得ることができた。これにより、今回提案した理論、及び実験システムが有効なものであることを確認できた。また、レーダエコーデータから導出した結果をもとに雨量マップを作成することにより、雨域情報を得ることができた。しかし、今回の解析では、推定雨量に約2mm/hの誤差があるため、今後は、理論の再検討を行い、シ

ステムの精度を向上させていく予定である。また、リアルタイムで雨量を得ることができるようにシステムの改良およびプログラムの作成する予定である。

## 謝辞

本研究の推進にあたりいろいろと御尽力、御助言頂いた田口一夫鹿児島大学名誉教授に感謝します。また、いろいろな相談にのっていただき、貴重な御助言を頂いた鹿児島県工業技術センターの仮屋一昭氏をはじめ電子部の方々に感謝いたします。貴重な助言を頂いた鹿児島大学水産学部の西隆昭講師に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 林 理三雄、安田 茂、牧瀬 哲夫、“鹿児島における降雨の特徴”、平成8年度日本気象学会九州支部講演会講演論要旨集、17、61-64(1996)
- 2) 吉田 孝、“改訂 レーダ技術”、社団法人電子情報通信学会、pp238 - 244(1996)
- 3) 白坂 知彦、林 理三雄、安田 茂、浦野 和也、伊藤 博雅、上園 剛、“2周波ファンビームレーダを用いた簡易雨量測定に関する研究”、平成11年度電気関係学会九州支部連合大会論文集、953、487(1999)
- 4) 吉留 忠太、白坂 知彦、上園 剛、安田 茂、林 理三雄、“船舶用レーダを用いた簡易雨量測定システムの開発”、鹿児島大学工学部研究報告 第40号、3、19-24(1998)
- 5) 林 理三雄、安田 茂、白坂 知彦、浦野 和也、石原 秀泰、金田 直樹、西 隆昭、上園 剛、仮屋 一昭、伊藤 博雅、“ファンビームレーダを用いた簡易雨量観測システムの開発—その2—”、平成11年度電気関係学会九州支部連合大会論文集、950、530(1998)