

ファンビームレーダを用いた雨量測定システム

電子部 上蘭 剛, 仮屋一昭, 久保 敦, 尾前 宏, 伊藤博雅,
林 理三雄*, 安田 茂*, 吉留忠大*, 牧瀬哲夫*,
白坂知彦*, 浦野和也*, 田口一夫**, 西 隆昭**

The Precipitation Measurement System with Fan Beam Radar

Tsuyoshi UEZONO, Kazuaki KARIYA, Atsushi KUBO, Hiroshi ONOMAE, Hiromasa ITO,
Risao HAYASHI, Shigeru YASUDA, Tadahiro YOSHIDOME, Tetsuo MAKISE,
Tomohiko SHIRASAKA, Kazuya URANO, Kazuo TAGUCHI and Takaaki NISHI

気象庁の気象情報は、気象レーダや気象衛星等のシステムにより、日本全土について提供されているが、約4km四方を1つのデータで表現するため、広域情報としては有用である反面、市町村単位での細かい情報はあまり期待できない。そこで、船舶用に広く使われているファンビームレーダを利用して、より地域に密着した細かい降雨情報を得ることができる雨量測定技術について研究を行った。

ファンビームレーダを国分上野原テクノパークに、降雨強度計を工業技術センター方向に2カ所設置し、データの収集、分析を行った。その結果、雨による反射の大きさと、実雨量との間にある相関関係が導き出され、雨量を推定することが可能となった。

1. 緒 言

鹿児島は本州最南端に位置し、亜熱帯域に属する。6月に降雨強度1mm/h以上の降雨があると、そのうちの約40%は30mm/hの強雨となり、50mm/hを越えることも珍しくない。また、雨域が非常に局所的であるという他の地域ではあまり見られない特徴があり、降雨の継続時間も他地域に比べて長い。一般に50mm/hを越えるような降雨が長時間続くと豪雨災害の発生する割合が高くなると言われている。1993年8月6日の豪雨災害に代表されるような災害が毎年のように発生しており、狭い地域での精度の良い雨域情報が必要とされている。

現在行われている雨量観測としては、地上に設置した雨量計や全国約1300箇所に配置された地域雨量観測網アメダス(AMeDAS:Automated Meteorological Data Acquisition System)によるものや、気象レーダによるものなどがあげられる。また宇宙空間では、静止気象衛星「ひまわり」などの気象観測衛星が地球の気象環境を観測しており、雲画像などのプロファイリングを1日に数度、地球に送信してきている。

アメダスは、平均17kmの網目状に全国約1300箇所に設置され、気象観測が行われている。雨量計による観測では、雨量計設置地点のみのデータしかないので、きめ細かな情報を得るためには、多地点での観測が必要になってくる。

気象レーダは、降雨範囲の降水を瞬時に観測することができ、雨量観測には非常に有効である。気象庁では、全国約20箇所に気象レーダを設置し、気象レーダ網を整備している。しかし、1つのレーダで400~500kmの範囲をカバーしているため、どうしても得られる情報は粗くなってしまふ。更に、地球が丸みを持っているため遠距離になればなるほど地表面からかなり離れた上空を観測することになってしまふ、実際の地上雨量とはかけ離れた観測値になってしまうことが考えられる。例えば鹿児島地方を観測している種子島レーダは、桜島上空約4kmの地点を約4km四方で1データとして観測していることになる。精度を上げるためには、ビーム幅の狭い大型アンテナにするか、気象レーダの設置点を増やすことが考えられるが、コストが膨大になってしまう。また気象観測衛星の利用においてもどうしてもシステムが大規模なものになってしまふ、コストが膨大になってしまう。

そこで、船舶用に広く使われているファンビームレーダを利用して、より地域に密着した細かい降雨情報を得ることができる雨量測定技術について研究を行った。ファンビームレーダのアンテナ(以下空中線)を図1に示す。ファンビームレーダとは、送信する電波の断面がペンシルビームレーダのように円形でなく、電波が扇のように一方向に広がっているものをいう。船舶用のファンビームレーダは、一般的に垂直方向に電波が広がっている^{1)~3)}。

* 鹿児島大学工学部 ** 鹿児島大学水産学部

2. 測定システム

本研究は、ファンビームレーダの受信データと、降雨強度計による実雨量データを解析することにより、その相関関係を導き出すことを目的としている。そこで、データ収集のために、降雨強度測定部とレーダデータ収集部からなる測定システムを構築した。システムのイメージ図を図2に示す。

降雨強度測定部は、実雨量のデータを収集するものである。短時間の雨量を把握するため、通常の転倒弁式の雨量計ではなく、水滴計数型降雨強度計を使用した。これは、分解能が非常に高く、0.0083mm単位で計測が可能である。

レーダデータ収集部は、ファンビームレーダからの信号を収集するものである。オシロスコープでサンプリングし、PCに取り込む仕様にした。レーダ本体より方位リセットパルス、ビデオ信号、送信パルスの3本の信号を取り出す。方位リセットパルスは、空中線が1周する間に特定の方位で1回発生するパルスで、システムの基準パルスとしている。ビデオ信号は、反射してきた電波の受信レベルを表すものである。送信パルスは、レーダが送信を行う際に同じタイミングで発生するパルスで、これをトリガとしてビデオ信号を取り込む。

今回対象地域を国分平野としたことから、半径15km以内についてのみデータ収集することとした。(降雨強度計を設置してある工業技術センターまで約8.5km) この時の送信パルスの周波数は1500Hzに、オシロスコープのサンプリング周波数は10MHzとした。レーダの空中線は、1回転あたり約2.5秒かかるため、1周あたり3750回程度の電波を送受信する事になる。この膨大なデータを全て収集するには、時間もかかり実用的ではないため、ある程度間引いて(約10回に1回)、かつ分割して(90度づつ4回に分ける)収集することとした。この機能を実現するのがトリガ発生回路である。

オシロスコープはメモリを1MB搭載しており、なおかつ100回までの分割取り込み(1kB*100個)が可能である。

このため1/4周分のデータは一度に取り込む事が可能であり、これを4回繰り返すことで1周分のデータが収集できる。PCの処理時間、GPIBによる転送時間、全て含めて約1分で完了する。

なお、データ収集プログラムは Borland C++ Builder を用いて作成した。使用機器及び諸元を表1に、レーダデータ収集部のブロック図を図3に、トリガ回路のブロック図を図4に示す。

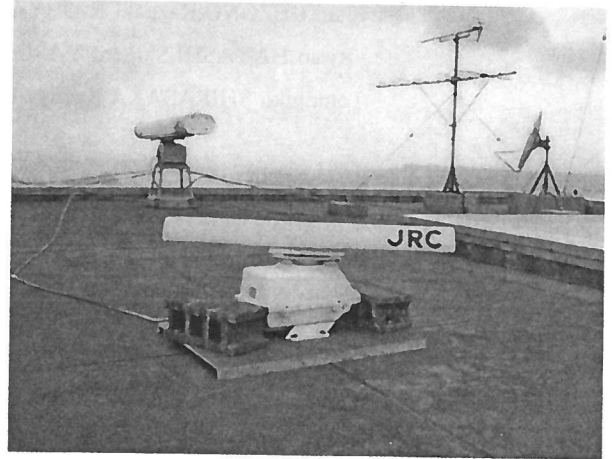


図1 ファンビームレーダのアンテナ

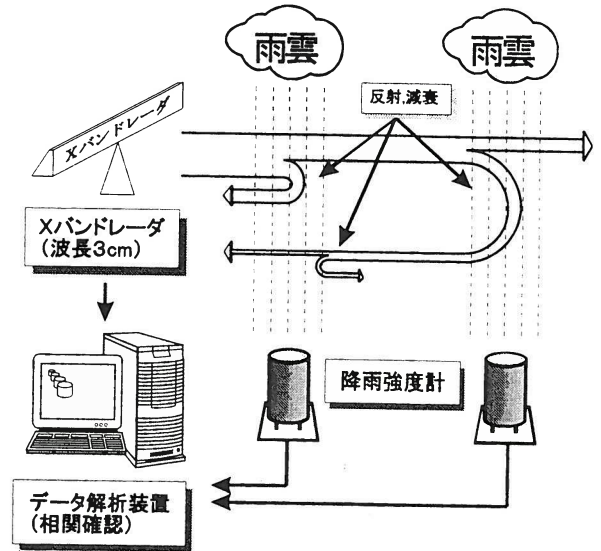


図2 システムイメージ図

表1 使用機器の諸元表

レーダ本体 JRC		オシロスコープ 横河電機		パソコン ソーテック		降雨強度計 (株)日本エレクトリック インスルメント	
型番	JMA-777	DL1520L		DOSVノート		N-81型	
送信周波数	9410±30MHz	チャンネル数	2ch	CPU	MMXPentium166	方式	水滴光電スイッチ式
水平ビーム幅	1.2°	最高サンプレート	200MHz	メモリ	32MB	口径	200mm
垂直ビーム幅	25°	周波数帯域	80MHz	HD	2GB	分解能	0.0083mm/パルス
空中線回転直径	1.9m	ストアメモリ	1MB			精度	±10%
距離範囲	0.23~133km	分割取り込み	可能				
空中線回転数	約24回転/分						
送信パルス幅	0.08µs~1.2µs						
送信周波数	500~3000Hz						

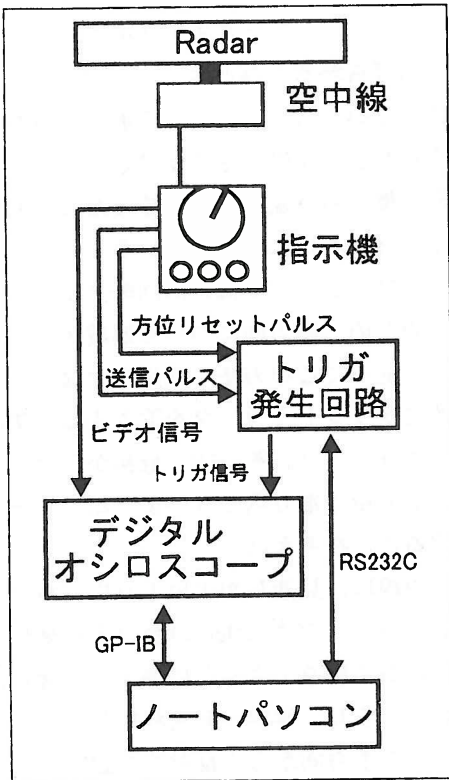


図3 レーダデータ収集部ブロック図

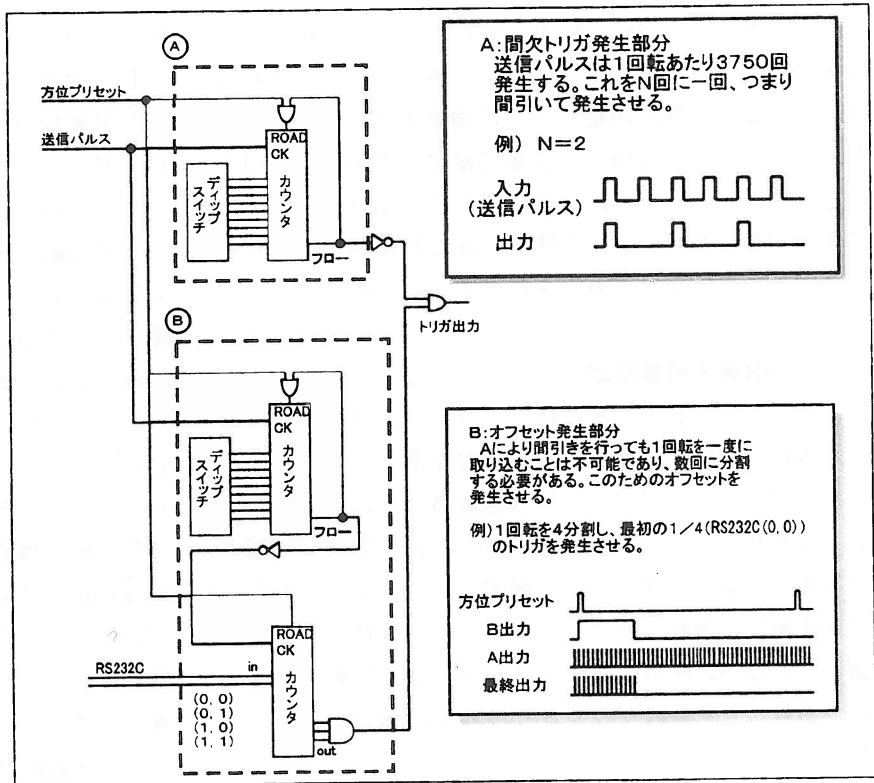


図4 トリガ発生回路ブロック図

3. 設置場所

レーダ及び降雨強度計の設置場所を図5に示す

ファンビームレーダ設置場所

- ・ 鹿児島県国分市上野原テクノパーク内
国分ハイテク展望台

降雨強度計設置場所

- ・ 県工業技術センター
- ・ 隼人町住吉

4. 収集データ

収集したレーダデータを白黒256階調で視覚化し、地図と重ね合わせたものを図6に示す。海岸線が重なることから、正確にデータが収集できていることがわかる。

これは晴れたときのデータであり、黒いところが反射の強いところで、主に国分平野部からと山岳地帯からの反射が大きいことがわかる。

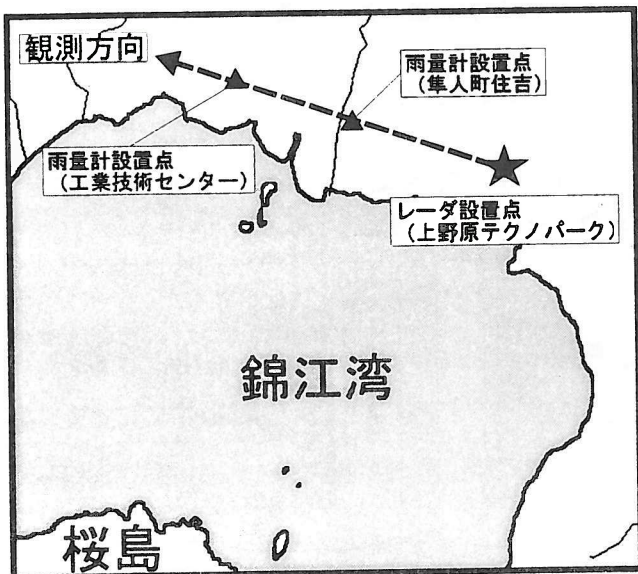


図5 レーダ及び雨量計の設置場所

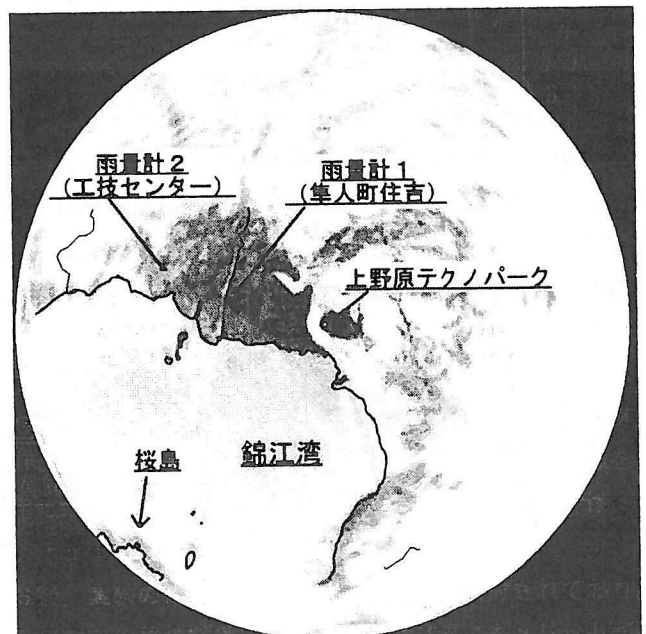


図6 収集したレーダデータ

晴れた日に収集したデータを解析してみると、かなり受信データがふらついていることがわかった。送信出力、受信感度の不安定が主な原因として考えられる。これは、元々の用途が位置の測定（そこに物体があることがわかればよい）であるため、そこまで精密、高精度なものを要求していないことを考えれば当然であるといえる。そこで、収集したデータを空間的、かつ時間的にアベレーシングし、データの平滑化を行うこととした。

5. 解析と雨量推定

収集したレーダデータには、グラウンドクラッタと呼ばれる地面、海面、建物等からの反射を多分に含んでいる。これらは、ファンビームという垂直方向に広がりを持つレーダを利用しているために避けることのできない現象である。気象レーダなどは一般的にペンシルビームレーダを使用しており、グラウンドクラッタはさほど大きな問題にならない。所望のデータは、雨による反射の成分だけであり、これらのグラウンドクラッタは除去しなければならない。

最初の案として、晴れた日のグラウンドクラッタ分の反射強度を把握しておき、雨の日のデータから差し引くことで、雨による反射強度が求められると単純に考えられる。しかし、雨が降るとグラウンドクラッタの存在する任意地点での反射強度は、雨が降った分だけ増えるどころか、逆に減少する。この理由として、途中経路上での降雨により、その地点まで到達する電波が減衰することや、グラウンドクラッタを引き起こす対象物が雨に濡れることで、反射係数が変化することなどが考えられる。従ってこの方法は採用できない。

次に考えられるのは、実際の気象レーダで用いられている方法である。気象目標からの受信信号は、目標体積内における個々の粒子からの反射波の合成であり、個々の粒子は絶えず動いているので、受信信号となるそれらの反射波の合成振幅は時々刻々大きく変動している。一方、グラウンドクラッタからの反射波の振幅変動は気象目標に比べると格段に小さい。従って反射波の変動成分すなわち交流成分を高域通過フィルタによって抽出すると、

グラウンドクラッタを除去できる。これはMTIと呼ばれる信号処理技術である^{4)~6)}。この方法が適用できる条件として大きく2つあげられる。ひとつは、グラウンドクラッタの変動が小さいということ。前述のとおり、晴れた日のグラウンドクラッタレベルは大きく変動している。

もう一つは、気象目標からの変動を把握するため、同じ方向を連続で測定しなければならないということ。本研究で使用したファンビームレーダは、24回転/1分と高速に回転する。このため、同方向について連続データ収集は不可能である。従ってこの方法も採用できない。このほかにソフト的にグラウンドクラッタを除去する方法は見いだすことができなかった。そこで、最初からグラウンドクラッタをデータの中に取り込まないように、レーダの空中線を移設することを考えた。

当初レーダの空中線は、見通しがよいようにとハイテク展望台屋上の最突端に、高さ120cmの台の上に乗せて設置していた。この空中線をできるだけ奥まった低い位置に設置し直した。つまり、建物の縁を利用して、下方向への送信波を、また下方向からの反射波を遮断してしまおうと考えたわけである。この方法により、約1kmの地点から取り込まれていたグラウンドクラッタが、約4km地点まで入らなくなった。この状況で雨量計をグラウンドクラッタの入らない1km、2km、4km地点に設置してデータ収集を行った。

1km、2km、4km地点における、雨量と反射強度の関係を図7にそれぞれ示す。図中の曲線は近似曲線であり、その式を(1)式に、式1の係数をa、bとしたものを(2)式に示す。

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ km} : Y &= 18.5 * \text{Ln}(X) + 49.3 \\ 2 \text{ km} : Y &= 16.0 * \text{Ln}(X) + 29.0 \\ 4 \text{ km} : Y &= 5.5 * \text{Ln}(X) + 21.0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(Y : 反射強度, X : 雨量)

$$Y = a * \text{Ln}(X) + b \quad (2)$$

a, bについて、距離毎にプロットしたものを図8に、近似式を(3)式に示す。

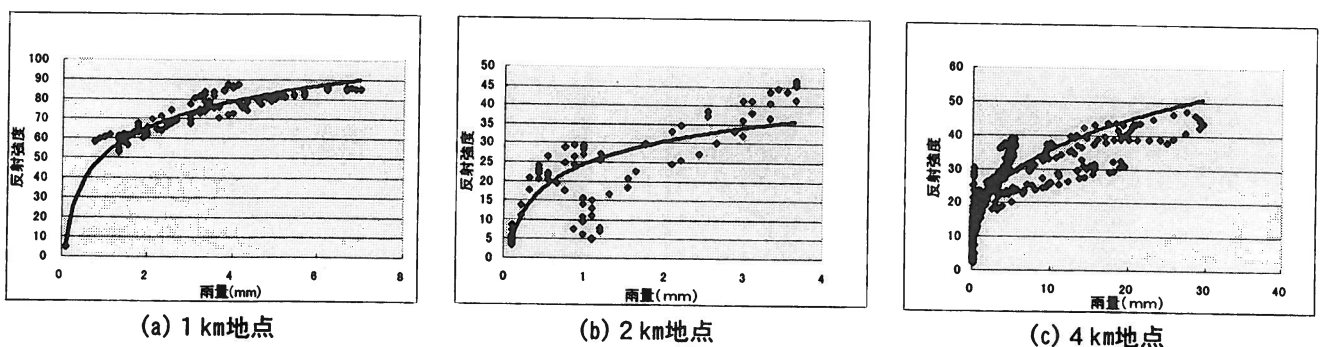


図7 雨量と反射強度の関係

$$\left. \begin{aligned} a &= -4.49 \cdot d + 23.8 \\ b &= 48.1 \cdot d - 0.6163 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(d: 距離 (km))

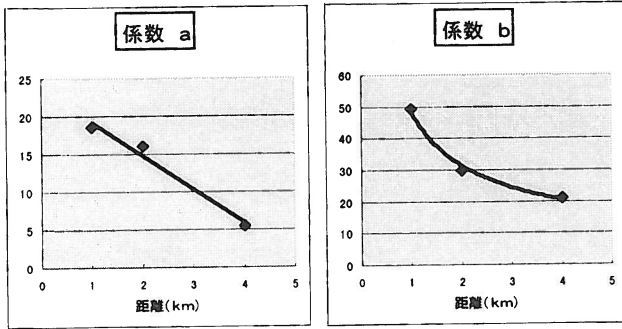
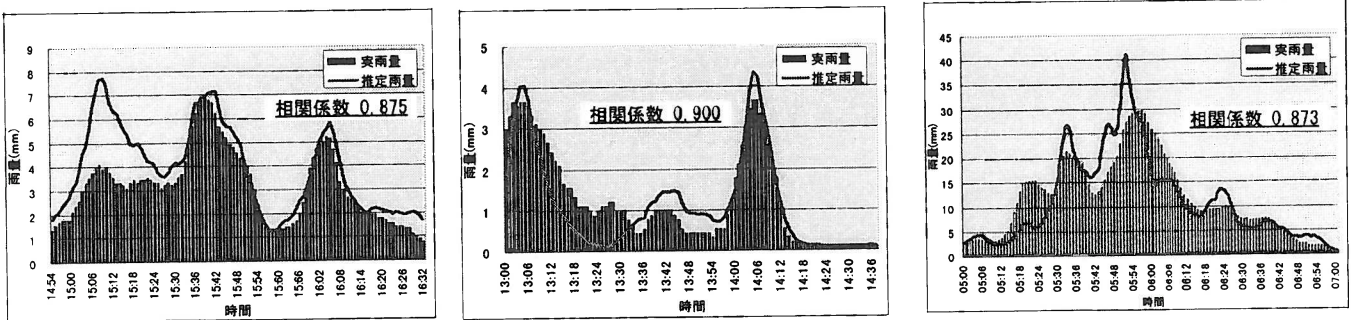


図8 係数 a, b の分布

(2)式及び(3)式より, 雨量推定式を求めると(4)式のようになる。

$$X = \text{EXP}((Y - (48.1 \cdot d - 0.6163)) / (-4.49 \cdot d + 23.8)) \quad (4)$$

導き出した式を基に, 雨量の推定を行った結果を図9にそれぞれ示す。完全に一致しないまでも実雨量と似た値を得ることができた。



(a) 1 km地点

(b) 2 km地点

(c) 4 km地点

図9 雨量の推定

6. 結 言

ファンビームレーダを利用して雨量推定を行った結果, 実雨量と似た値を得ることができた。ただし, 今回の実験ではグランドクラッタのソフト的な除去についての問題が解決されておらず, 空中線を低い位置に移設するという設置条件の検討で対応している。そのため, 測定範囲は4 km以内とかなり狭い範囲でしか利用できないという欠点がある。

また, 1 km, 2 km地点における実雨量のデータ収集においては, 常設が不可能であったため, 雨量計を車載仕様に改造し, 雨が降っている時にその場に向向いてデータを取るという非効率的な方法を探らざるを得なかった。したがって, 解析のためのデータ量が不十分であることは否めない。

7. 謝 辞

最後に, 研究用として船舶用レーダを提供して下さった(株)日本無線と, レーダ設置のために施設を提供して下さった国分市に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 林 理三雄: "超広帯域通信における亜熱帯気候環境の与える影響", 大川情報通信基金助成研究報告(1996)
- 2) 田口 一夫, 田畑 雅洋: "海洋計測工学概論", 成山堂書店(1997)
- 3) 吉留忠大: "船舶用レーダを用いた大気環境センシングに関する研究", 鹿児島大学大学院修士論文(1998)
- 4) 関根 松夫: "レーダ信号処理技術", 社団法人電子情報通信学会(1991)
- 5) 吉田 孝: "改訂 レーダ技術", 社団法人電子情報通信学会(1996)
- 4) 石川 忠晴: "低廉な小型三次元降雨観測レーダの開発研究", 平成4年度科学研究費補助金研究成果報告書(1993)

