

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3720848号
(P3720848)

(45) 発行日 平成17年11月30日(2005.11.30)

(24) 登録日 平成17年9月16日(2005.9.16)

(51) Int.C1.⁷

F 1

G O 1 S 13/95

G O 1 S 13/95

請求項の数 15 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-524054
 (86) (22) 出願日 平成8年12月13日(1996.12.13)
 (65) 公表番号 特表2000-502794 (P2000-502794A)
 (43) 公表日 平成12年3月7日(2000.3.7)
 (86) 國際出願番号 PCT/FR1996/002006
 (87) 國際公開番号 WO1997/024629
 (87) 國際公開日 平成9年7月10日(1997.7.10)
 審査請求日 平成15年12月5日(2003.12.5)
 (31) 優先権主張番号 95/15483
 (32) 優先日 平成7年12月26日(1995.12.26)
 (33) 優先権主張国 フランス(FR)

(73) 特許権者 トムソン—セーエスエフ
 フランス国、エフ—75008・パリ、ブルバール・オースマン、173
 (74) 代理人 弁理士 川口 義雄
 (74) 代理人 弁理士 伏見 直哉
 (72) 発明者 ソバジエオ、アンリ
 フランス国、31800・ラバルト—イナール、リュ・ドウ・ラ・プーシュ、3
 (72) 発明者 ベガン、ダニエル
 フランス国、95320・サン・レウ・ラ・フォレ、リュ・エディス・カウエル、1
 7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】二偏波レーダを使用する降水率を決定する方法およびそれを利用する気象レーダ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

大気水象によって減衰される波長で作動するパルスレーダを使用して大気水象の降水率および反射率を測定する方法であって、前記レーダは、偏波の各々に従つていろいろな距離ゲートに対する減衰反射率($Z_{H_a}(r)$, $Z_{V_a}(r)$)の対の一連の測定値を供給する二偏波レーダであり、この方法において、降水率(R)が1つの偏波(Z_H)に対する反射率および非減衰反射率(Z_{DR})に基づいて推定され、前記方法は、

A) レーダの各距離ゲートにおいて、反射率 Z を式 $Z = R$ (ここで、 R はパラメータである)の降水率 R と、および単一の偏波に対する減衰率を降水率とに連結する式の組合せによって、単一の偏波に対して測定された反射率に基づいて第1の降水率(R_s)の推定値を決定するステップ、

B) 前記降水率の第1の推定に基づいて、非減衰反射率(Z_{DR_s})の推定値を得るステップ、

C) 前記非減衰反射率(Z_{DR_s})の推定値および減衰反射率(Z_{DR_s})のレーダ測定値から、示差偏波減衰(A_{DP})の推定値を導くステップ、

D) 非減衰反射率($Z_{H_s}(r)$)および降水率($R_s(r)$)の補正值を抽出することができるよう、反射率を降水率を連結する式のパラメータの中の一方()を反復調整によって、他方のパラメータ()を所定の定数に保持して、レーダの単一の偏波に対するステップAで推定された降水率の積分($I_1(r, R)$)と前記示差偏光減衰(A_{DP})から導き出された降水率の積分($I_2(r, R)$)とが等しくなるように試みるステップ、

を備えていることを特徴とする方法。

【請求項 2】

ステップ A) が

a) 第 1 の前記一連の測定値 ($Z_{Ha}(r)$) に対して、任意の一定のパラメータ (,) に基づいていろいろな距離ゲート (1 ~ n - 1) に対する降水率 (R_i) の推定値を計算するステップ、

b) 前記降水率 (R_i) の推定値から、降水による減衰に固有な第 1 の推定値 ($I_1(r, R)$) を導くステップであって、前記第 1 の推定値は、単一の偏波に対する推定された降水率の積分であり、

c) 前記第 1 の推定値 ($I_1(r, R)$) および第 1 の一連の測定値 ($Z_{Ha}(r)$) に基づいて、非減衰反射率 ($Z_{Hs}(r)$) および補正された降水率 (R_s) の推定値を決定するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記ステップ B) が、

d) 前記補正された降水率 (R_s) の推定値および所与の粒径分布 (DSD) に基づいて、非減衰示差反射率 ($Z_{DRs}(r)$) の推定値を計算するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 1 および 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4】

前記ステップ C) が

e) 前記減衰反射率 ($Z_{Ha}(r)$, $Z_{Va}(r)$) の対の一連の測定値に基づいて、減衰示差反射率 ($Z_{DRa}(r)$) の測定値を計算するステップ、

f) 減衰示差反射率 ($Z_{DRa}(r)$) の測定値およびステップ d) 中に得られた非減衰示差反射率 ($Z_{DRs}(r)$) の推定値から、示差偏波減衰 (A_{DP}) の推定値を導くステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記ステップ D) が、

g) 前記示差偏波減衰 (A_{DP}) の推定値から、降水による減衰に固有な第 2 の推定値 ($I_2(r, R)$) 、すなわち降水率の積分を導くステップ、

h) 前記降水による減衰に固有な前記第 1 の推定値 ($I_1(r, R)$) および第 2 の推定値 ($I_2(r, R)$) を比較するステップ、

i) ステップ h) による前記比較が、前記第 1 および第 2 の推定値が異なっていることを示しているならば、ステップ a) の前記パラメータ (,) の少なくとも 1 つを変え、かつステップ a) ~ h) を繰り返すステップ、

j) ステップ h) による前記比較が、前記第 1 および第 2 の推定値が等しいことを示しているならば、非減衰反射率 ($Z_{Hs}(r)$) および補正降水速度 (R_s) の前記推定値を抽出するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

ステップ a) が、

a . 1) レーダの N 個のパルスにわたって前記第 1 の一連の前記測定値 ($Z_{Ha}(r)$) を平均化すること、

a . 2) 各距離ゲート (i) に対して、式

$$\bar{R}_i = \left(\frac{\bar{Z}_{Ha}(r)}{\alpha} \right)^{1/\beta}$$

により、任意の一定のパラメータ (,) に基づいて降水率の推定値

$$(\bar{R}_i)$$

10

20

30

40

50

を計算すること、

を含むことを特徴とする請求項 2 ~ 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

ステップ b) が、

b . 1) 降水率の推定値

$$(\bar{R}_i)$$

に基づいて、下記の式により各距離ゲートで減衰率

$$(\bar{a}_i)$$

10

を計算すること、

$$a_i / k_H = \bar{R}_i^{H}$$

ここで、 k_H および H は、所与の温度および所与の粒径分布に対する所定のパラメータである、及び

b . 2) これらの減衰率

$$(\bar{a}_i)$$

から、下記の式により前記第 1 の推定値

$$(\bar{I}_1(r, R))$$

20

を導くこと、

$$\bar{I}_1(r, R) = \sum_{i=1}^{n-1} \bar{a}_i / k_H$$

ここで、 n はレーダからの距離 r に対する距離ゲートの数である、

を含むことを特徴とする請求項 2 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

ステップ c) が、

c . 1) 前記第 1 の推定値

$$(\bar{I}_1(r, R))$$

30

に基づいて、

$$A = 2\Delta r k_H \bar{I}_1(r, R)$$

であるような減衰値

$$A$$

を計算すること、

ここで、 r は距離ゲートの幅である、

c . 2) レーダの N 個のパルスにわたって前記第 1 の一連の前記測定値 ($Z_{H_z}(r)$) を平均化すること、

40

c . 3) 前記非減衰反射率推定値

$$Z_{H_s}(r)$$

を得るために前記減衰

$$A$$

と前記減衰反射率の平均値

$$Z_{H_a}(r)$$

との和をとること、

c . 4)

50

式

$$\bar{R}_s = \left(\frac{\bar{Z}_{Ra}(r)}{\alpha} \right)^{1/\beta}$$

により補正された降水率の推定値

R_s

を計算すること、

を含むことを特徴とする請求項 2 ~ 7 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

ステップ e) が、

e . 1) レーダの減衰示差反射率 ($Z_{DRa}(r)$) の値を得るために前記一連の対の系列 ($Z_{Ha}(r)$, $Z_{Va}(r)$) における測定値の比をとること、

e . 2) レーダの N 個のパルスにわたって前記減衰示差反射率の前記値を平均化すること、

を含むことを特徴とする請求項 4 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

ステップ f) が、 レーダ経路のための前記示差偏波減衰

$$(\bar{A}_{DR}(r))$$

の推定値を得るために、ステップ d) より得られた非減衰示差反射率

$$(\bar{Z}_{DRa}(r))$$

の前記推定値と減衰示差反射率

$$(\bar{Z}_{DRa}(r))$$

の前記平均値との差をとることを含むことを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 11】

ステップ g) が、 示差偏波減衰

$$(\bar{A}_{DP}(r))$$

の前記推定値に基づいて、下記の式により前記第 2 の推定値

$$I_2(r, R)$$

を計算することを含むことを特徴とする請求項 5 ~ 10 のいずれか一項に記載の方法であつて、

$$\bar{I}_2(r, R) = \frac{\bar{A}_{DP}(r)}{\Delta r(k_H - k_V)}$$

ここで、 k_V は、第 2 の一連の測定値 ($Z_{Va}(r)$) に対して k_H と同様に予め決められたパラメータである。

【請求項 12】

大気水象によって減衰される波長のパルスで作動し、降水率および反射率を測定する二偏波気象レーダにおいて、前記レーダは、

手段 (2, 3, 4) に結合し、2つの直交偏波チャネル
 H および V

に対応するモードを抽出する二偏波アンテナ (1) と、

前記アンテナの2つのチャネルにパルスを供給する送信機 (5, 6) と、

前記2つの直交偏波チャネルによって出力される信号を処理する少なくとも1つの受信チャネル (7, 9, 11, 13, 15, 17, 19; 10, 12, 13, 16, 18, 20) とを有し、

10

20

30

40

50

前記レーダは、請求項1～11のいずれか一項による方法を実施するたるに設計されたデジタル信号処理装置(21)を有することを特徴とする二偏波気象レーダ。

【請求項13】

前記受信チャネルの出力において、前記レーダがダイナミックレンジを増加させる対数増幅器(17、18)を備え、前記デジタル信号処理装置(21)が受信信号の値を取り出すためにその入力で変換手段(30、36、40)を有することを特徴とする請求項12に記載のレーダ。

【請求項14】

2つの偏波のための受信チャネルの出力とそれぞれ結合された2つのドップラー受信チャネル(22～24；25～27)をさらに備えていることを特徴とする請求項12および13のいずれか一項に記載のレーダ。

10

【請求項15】

2つの偏波を交互に処理するために同時に制御される入出力スイッチング手段と結合された単一の受信チャネルを有し、スイッチング速度が、2つの偏波で受信された信号がスイッチング時間中に互いに関連しないようなものであることを特徴とする請求項12～14のいずれか一項に記載のレーダ。

【発明の詳細な説明】

本発明は、降水率および大気水象によって減衰された波長で作動するパルスレーダを使用して大気水象の反射率を決定する方法およびこの方法を実施する二偏波気象レーダに関するものである。

20

気象学では、特に短期予報の問題のために降水量および他の大気水象を観測する必要がある。この目的のために、これらの現象に特有なパラメータである降水率を定量的に測定するレーダを使用することに対して検討が何年間もなされている。これを行うために、レーダビームで照射されるとき、雨あるいは大気水象の反射率を測定することに基づいて方法が使用される。しかしながら、これらの方法の大部分に関しては、大気水象による減衰は測定を偏らせ、したがって、できるだけ減衰が小さく、比較的長い波長で作動する必要がある。このことは実用的な難点および高いコストをもたらす。

他のより魅力的な方法、すなわち、2つの波長および単一の偏波のための減衰の方法が提案されている。これは、レーダの較正とは無関係である利点を有する。しかしながら、この方法は、所望の精度の測定値を得る際にある種の技術的な困難をもたらす。これは、問題点が2つの波長のビームを一致させる際および同時測定の際に見られるためである。

30

実施されている全ての研究は、より短い波長でレーダを使用する利点を実証し、よりコンパクトで、あまり高価でない装置を選択するのを可能にした。しかしながら、これは、特に大量の降水がある場合、解決するのが非常に困難である減衰を補正する問題を引き起こす。

示差反射率を使用することによって降水率を決定する二偏波レーダを使用することにある改良が提案されている。この種の解決策は、例えば、E. GORGUCCIら著の論文「A Robust Estimator of Rainfall Rate Using Differential Reflectivity」(Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 11, April 1994, pages 586-592)あるいはC. W. ULBRICHら著の論文「Assessment of the contribution of differential polarization to improved rainfall measurement」(Radio Science, vol. 19, No. 1, January-February 1984, pages 49-57)に記載されている。これらの解決策は、適度の減衰に対して得られた結果を改良するが、大量の降水が直面する全ての問題点を解決しない。

40

本発明は、大気水象(雨、あられ、雲)が作る吸湿性媒体を通るリターン経路の電磁波の比較的高い減衰をもたらす短い波長の使用にもかかわらずこれらの欠点を解決する方法に関するものである。

50

本発明は、2つの偏波成分
 \vec{H} および \vec{V}

の反射率を測定し、一方で得られる値への減衰の影響を行われる示差測定によって補正するため二偏波レーダの使用に基づいている。

したがって、本発明は、大気水象によって減衰される波長で作動するパルスレーダを使用して大気水象の降水率および反射率を測定する方法を提供し、前記レーダが、偏波の各々によるいろいろな距離ゲートに対する減衰反射率 ($Z_{H_a}(r)$, $Z_{V_a}(r)$) の対の一連の測定値を供給する二偏波レーダであり、この方法において、降水率 (R) が1つの偏波 (Z_H) に対する反射率および非減衰示差反射率 (Z_{DR}) に基づいて推定され、前記方法は、

10

A) レーダの各距離ゲートにおいて、反射率 Z を式 $Z = R$ (ここで、 R および Z はパラメータである) の降水率 R と、および単一の偏波に対する減衰率を降水率とに連結する式の組合せによって、単一の偏波に対して測定された反射率に基づいて降水率 (R_s) の第1の推定を決定するステップ、

B) 前記降水率の第1の推定に基づいて、非減衰示差反射率 (Z_{DR_s}) の推定値を得るステップ、

C) 前記非減衰示差反射率 (Z_{DR_s}) の推定値および減衰示差反射率 (Z_{DR_a}) のレーダ測定値から、示差偏光減衰 (A_{DP}) の推定値を導くステップ、及び

D) 非減衰反射率 ($Z_{H_s}(r)$) および降水率 ($R_s(r)$) の補正值を抽出することができるよう、反射率を降水率を連結する式のパラメータ () の中の一方を反復調整によって、他方のパラメータ () を所定の一定の値に保持して、レーダの単一の偏波に対するステップ A で推定された降水率の積分 ($I_1(r, R)$) と前記示差偏光減衰 (A_{DP}) から導かれた降水率の積分 ($I_2(r, R)$) とが等しくなるように試みるステップ、を備えていることを特徴とする。

20

この方法の最大の利点は、この方法が示差測定に基づいているためにレーダの較正および可能な未検出の雲による減衰とは無関係であるということである。

本発明の他の態様は、降水率及び反射率を決定するために、大気水象によって減衰される波長のパルスで作動する二偏波気象レーダを提供し、前記レーダが、

2つの直交する偏波チャネル

\vec{H} および \vec{V}

30

チャネルに対応するモードを抽出する手段に結合する二偏波アンテナ (1) と、

前記アンテナの2つのチャネルにパルスを送る送信機と、

2つの直交偏波チャネルによって出力される信号を処理する少なくとも1つの受信チャネルとを有し、

前記レーダは、前述の方法を利用するため設計されたデジタル信号処理装置を有することを特徴としている。

本発明は、下記の説明および添付図面によって、より明らかに理解され、他の特徴および利点は、明らかになる。

図1は、本発明による気象レーダの図である。

図2は、本発明による方法を利用するデジタル信号処理のブロック図である。

40

図1は、対の偏波気象レーダの図を表している。このレーダは、反射器 (図示せず) を照明する二偏波主発生源1を備える二偏波アンテナを有する。この発生源は、2つの偏波チャネル

\vec{H} および \vec{V}

を有するモード (直交モード) 抽出器2と結合されている。この主発生源は、所望の距離 (例えば、150 kmの距離に対して $F_r = 1 \text{ kHz}$) に一致する反復周波数を有するパルスを送出するパルス送信機 (6) によって供給される。送信電力は、水平に対して45°に向けられた偏波を得るためにマジックTを介して、すなわち円形偏波を得るために3dBの結合器5によってアンテナの2つのチャネルに分配される。この目的は、直交偏波を有する2つの信号を送受信し、その振幅に基づいてこの2つの信号を処理することにある。

50

るため、これらの2つの送信モードは同等である。円形偏波は、アンテナによって送信機に反射された定在波比によって二次的な利点を有する。

2つの電力サーチュレータ3および4によって得られる信号を処理する2つの同一受信チャネルが備えられている。従来のように各チャネルは、リミッタ7、8と、増幅器9、10と、中間周波数に変えるミキサ11、12と、中間周波数増幅器15、16、そのとき大きなダイナミックレンジを得る対数増幅器17、18と、アナログ/デジタルコーダ19、20とを備えている。符号化信号は、下記に詳述され、この符号化信号が補正された後その出力として反射率Zおよび降水率Rを供給する、本発明によるデジタル処理装置21に送られる。ミキサ11および12は、さらに、自動周波数制御回路14によって制御されるローカル発振器13から信号を受信する。

大気水象の特徴に関する補助的な情報を得ることが望ましいある種の気象上の応用では、付加的ドップラー受信チャネルを使用して受信信号の位相を測定することは有利である。

これらのチャネルは、チャネル

\underline{H}

の場合、直角符号化信号 I_H 、 Q_H を、またチャネル

\underline{V}

の場合、 I_V 、 Q_V を供給するために、一方は2つのアナログ/デジタルコーダ23、24、および他方は2つのアナログ/デジタルコーダ26、28が続くベクトル復調回路22、25を備えている。

本発明による方法の原理は下記のとおりである。単一の偏波、例えば

\underline{H}

チャネルに基づいて、距離rで雨（あるいは他の大気水象）の中で測定された減衰反射率 $Z_{Ha}(r)$ を減衰率に関係付ける式は下記のように記述することができる。

$$Z_{Ha}(r) = Z_o(r) - 2\Delta r \sum_{i=1}^{n-1} a_i \quad (1)$$

ここで、 $Z_o(r)$ は非減衰反射率であり、 r は距離ゲートの幅であり、 a_i は階数iの距離ゲートに属する減衰率であり、単位長当たりdBで表され、ここで、 $Z_{Ha}(r)$ および $Z_o(r)$ は、dBで、つまり、 $mm^6 m^{-3}$ の $10 \cdot \log Z$ で表され、かつここで、 $r = n \cdot r$ である。

減衰率は、下記の既知の式によって降水率Rと連結される。

$$a = k_H R^{\frac{m}{H}} \quad (2)$$

ここで、 k_H および H は、温度および粒径分布（DSD）に若干依存し、各波長に対して計算することができる偏波

\underline{H}

に関するパラメータである。

式(1)および(2)を結合すると、下記の式となる。

$$Z_o(r) = Z_{Ha}(r) + 2 \cdot r k_H I_1(r, R) \quad (3)$$

ここで、

$$I_1(r, R) = \sum_{i=1}^{n-1} R_i^{\frac{m}{H}} \quad (4)$$

である。

I_1 は、選択された

\underline{H}

偏波に対するレーダのビームに沿った降水率の積分を表す。つまり、 I_1 は、ゲートnの前のn-1の距離ゲートの累積減衰を表している。

ところで、雨による反射率Zと降水率Rとの間に既知の関係がある。すなわち、

$$Z = R \quad (5)$$

ここで、 Z および R はパラメータである。したがって、式(4)は下記の等式で記述でき

10

20

30

40

50

る。

$$I_1(r, R) = \alpha^{-n\beta} \sum_{i=1}^{n-1} Z_i^{n\beta} \quad (4')$$

パラメータ α および β は DSD に強く依存する。式 (3) および (5) の 4 つのパラメータ k_H 、 k_V および γ に対する近似値を使用することによって、補正された推定値 $Z(r)$ は、「雨の中で 5 cm のレーダの減衰の反復的補正 (Iterative correction for attenuation of 5 cm radar in rain)」(J. Appl. Meteor., 17, 508 ~ 514 ページ) において、1978 年に P. H. Hildebrand によって提案された反復方法を使用することによって、 n 個の一連の測定値 $Z_a(r)$ に基づいて計算することができる。この論文で示されるように、推定される DSD の誤差および温度は、これらの減衰推定値をひどく劣化させるが、これらの劣化は、レーダを較正する際の誤差から生じる劣化と比較して小さい。レーダ較正誤差によって影響が及ぼされるパラメータは Z を R に関係付ける式のパラメータであるので、 $I_1(r, R)$ に関する本質的な不確実性はパラメータ α および β に関する不確実性から生じる。

したがって、これらの不確実性を解決するために、レーダの両方の偏波を使用する示差測定が使用される。示差反射率 Z_{DR} は下記の式によって定義される。

$$Z_{DR} = Z_H - Z_V \quad (6)$$

ここで、 Z は dBZ で表され、ここで、添え字 H および V は、レーダの 2 つの偏波、例えば水平および垂直に対応する。

減衰波長の場合、H 偏波および V 偏波に対して式 (1) を使用して、H 項から V 項を減算すると下記の式が与られる。

$$Z_{DRa}(r) = Z_{DRs}(r) - 2A_{DP}(r) \quad (7)$$

ここで、 Z_{DRa} は減衰偏波レーダ測定値であり、 $Z_{DRs} = Z_{0H} - Z_{0V}$ は、単に滴の形状による非減衰示差反射率であり、 A_{DP} は、電磁波の経路に対する示差偏波減衰であり、すなわち、

$$A_{DP}(r) = \Delta r \sum_{i=1}^{n-1} (a_{iH} - a_{iV}) \quad (8)$$

である。

仮定された DSD の場合、滴の形状による示差反射率 Z_{DRs} は降水率の関数として計算することができる。すなわち、

$$Z_{DRs} = f(R) \quad (9)$$

式 (8) の減衰率 a_{iH} および a_{iV} は、H 偏波および V 偏波に対する式 (2) によって表される。DSD が仮定されている場合、パラメータ k_H 、 k_V 、 γ_H および γ_V を計算することができる。計算は、差 $a_H - a_V$ が DSD には著しく依存しないことを示している。所与の波長に関しては、 k_H および k_V はまったく異なるが、
 $\gamma_H \approx \gamma_V \approx \gamma$

である。

したがって、式 (2) および (8) を結合することにより、下記の式が与えられる。

$$A_{DP}(r) = r(k_H - k_V) I_2(r, R) \quad (10)$$

ここで、

$$I_2(r, R) = \sum_{i=1}^{n-1} R_i^r \quad (11)$$

式 (11) は、式 (4') として、つまり、 Z の関数として同様に記述することができる。

$I_2(r, R)$ は、正確に既知と仮定される示差減衰 A_{DP} 、 $k_H - k_V$ から推定される降水率の積分を表す。 $I_2(r, R)$ は示差測定から生じるので、 A_{DP} はレーダの較正に依存

しない。

これは I_1 および I_2 の推定における場合であり、パラメータ および だけは、雨および較正の誤差における DSD の自然の変動性のために可変である。

本発明による方法において、観察される降雨の種類と波長に対応する気候学上の平均値に等しい一定値に を保持し、示差減衰 A_{DP} を使用してパラメータ を調整することが提案されている。

この に関する仮定は文献で利用可能な多数の測定値によって確認されている。

したがって、この原理は、偏波の中の単一の偏波に対する一連の測定値に基づいて I_1 を決定する一方、 の任意の中間値を選択し、示差レーダ測定値および非示差反射率を推定するための I_1 を使用する計算に基づいて I_2 を推定し、そのとき非減衰反射率 $Z_i(r)$ および降水率 $R_i(r)$ の補正推定値を抽出することができる を

$$I_1 \approx I_2$$

まで変えるのに適当であるかのように I_1 および I_2 を比較することにある。

図 2 は、この方法を利用することができるディジタル処理装置を示している。この図の左側の部分は単一の偏波、すなわち H 偏波の処理に関するものであるのに対して、右側の部分は示差処理に関するものである。

H チャンネルのコード 19 によって供給された対数信号は、変換され、ステップ 30 の線形信号 $Z_{Ha}(r)$ に戻される。これらの信号はレーダの N 個のパルスにわたって平均化され (ステップ 31)、それから、推定降水率

$$R_a$$

10

は、 の場合には任意に式 (5) により予め決定されるパラメータ および に基づいて計算され (ステップ 32)、これは各距離ゲート i に対して行われる。

ステップ 33 は、式 (2) に基づいて減衰率 a_i を計算することにある。

それから、値

$$\bar{I}_1(r, R)$$

20

の推定は、そこから式 (2) および (4) により導かれる (ステップ 34)。

さらに、単一の偏波 H に対する一連の測定値から導かれる減衰反射率 $Z_{Ha}(r)$

はステップ 36 および 37 によって計算され、式 (3) の減衰項

$$A_H$$

30

はステップ 35 で推定される。足し算からなるステップ 38 によってこの式 (3) を利用することによって、H 偏波に対する非減衰反射率の推定 $Z_{HS}(r)$ を提供し、それから、ステップ 47 によって、既に選択されたパラメータ および を有する式 (5) 利用することによって補正された降水率

$$R_s(r)$$

の推定値を提供する。

この推定値に基づいて、ステップ 48 によって、式 (9) により非減衰示差反射率 Z_{DRs} の推定値を計算できる。

さらに、30 および 40 によって供給される H チャンネルおよび V チャンネルに対する符号化信号で開始し、比率 $Z_{Ha}(r) / Z_{Va}(r)$ がとられ (ステップ 41)、それからステップ 42 の N 個のパルスにわたって平均化される減衰偏波レーダ測定値 $Z_{DRA}(r)$ を提供する。この平均値と 48 によって供給された非減衰示差反射率の推定値との差 (ステップ 43) は、示差偏波減衰

$$A_{DP}(r)$$

40

の推定を構成する。値 r および $k_H - k_V$ に基づいて、ステップ 44 は、式 (10) により

$$\bar{I}_2(r, R)$$

の推定値を供給する。それから

50

\bar{I}_1 および \bar{I}_2

がステップ 4 5 で比較される。

$\bar{I}_1 \neq \bar{I}_2$

であるならば、ステップ 4 6 は、適当な方向に増分量 だけパラメータ を変え、計算を再開するためにステップ 3 2 および 4 7 に新しい を適用することにある。これらの演算は、 に与えられる正しい値に相当する

$\bar{I}_1 = \bar{I}_2$

が得られるまで繰り返される。したがって、非減衰反射率

$$Z_i(r) = Z_{Hs}(r)$$

10

および降水率

$$R_i(r) = R_s(r)$$

の補正值を導くことができる。

本発明による方法の原理の説明において、 Z_{DRs} 、 ならびに式 (10) に対する k_H および k_V が単一の仮定された DSD に対して計算されたことが、 式 (9) に対して仮定された。このことは、 所与の気候条件に対して平均 DSD は安定したパラメータであるので、 受け入れられる。したがって、 気候学上の考慮すべき問題に基づいて特定の DSD を選択できる。

さらに、 反射率が低い場合、 距離 r の距離ゲートを選択することが好ましい。何故ならば 20 、 そのとき Z_{DRs} は低く、 式 (9) による推定の誤差はその一部に対しても低いためである。距離 r のゲートは著しく変更される係数 I_1 、 I_2 および なしの異なる反射率を有する、 r の周りの他の距離ゲートと取り換えることができるので、 この特定のゲートの選択は、 いっそう正当化され、 容易になる。

したがって、 2 あるいは 3 つの隣接するゲートに基づいて を計算し、 DSD の分散の影響を減らすために平均値を使用することができる。

観測された半径方向が、 本発明による方法が同時に利用できるいくつかのセグメントに細分できることにも注目できる。

前述の方法は、 1 つの偏波に対するレーダで測定された反射率に影響を及ぼすかあるいは示差値に影響を及ぼすランダムサンプリング誤差にあまり影響を受けない。

30

本発明による方法の主な利点の 1 つが既に述べられている。すなわち、 これは、 レーダの較正および未検出の雲による減衰とは無関係である。

他の可能な使用があられの定性的な検出であることを加えることができる。このための説明は、 あられが雨のセルの中にあるとき、 あられはほぼ球状であるので、 あられは、 両方の偏波に対して高い反射率を生じ、 その結果、

$$Z_H \approx Z_V$$

であり、 したがってほぼゼロの示差反射率を生じることである。一方、 偏波とは無関係な強烈な減衰があり、 そしてそのゆえに示差減衰 A_{DP} にゼロ寄与である。したがって、 あられの存在は I_1 を修正するが、 均一の雨の場合とは著しく違って、 同様に I_2 を修正しない。したがって、 のかなりの変化が観測され、 これはあられの表示として使用することができる。

40

前述の説明は示差偏波減衰 A_{DP} を使用することで示されているが、 本発明による方法は、 伝搬の程度 $\times k m$ で示される示差移相 $K_{DP} = K_H - K_V$ で作動するように行うこともできる。

明らかに、 記載されている例はどの方法でも本発明を限定しない。特に、 記載されている気象レーダは、 記載されている 2 つのチャネルの代わりに単一の受信チャネルを使用でき、 2 つの偏波に対する信号は、 時分割でチャネルを使用するために入力でスイッチされ、 出力で “スイッチされない”。スイッチング速度は、 偏波 H および偏波 V に対して受信された信号がスイッチング時間中に互いに関連しないように単に選択される必要がある。

さらに、 ドップラーチャネルの出力の使用可能な信号 I および Q によって、 チャネル H お

50

より V の各々の信号振幅
 $\sqrt{I_2 + Q_2}$

を計算でき、この振幅は、チャネル 17、19 および 18、20 を使用することを避けるためにコード 19 および 20 による信号出力の代わりに使用できる。しかしながら、これに関する欠点は、この振幅が対数増幅器の使用から生じるダイナミックレンジを与えないということである。

最後に、図 2 の本発明による処理装置において、変換して線形信号に戻す代わりに対数信号を使用し続けることは考えられる。

【図 1】

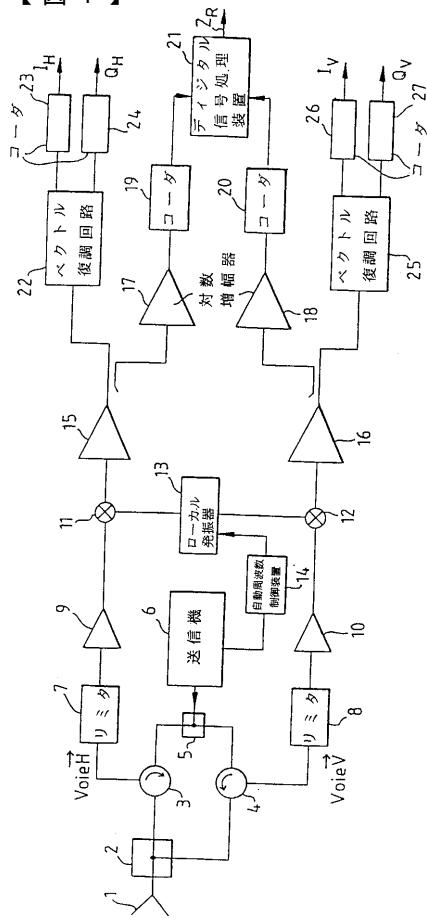


FIG.1

【図 2】

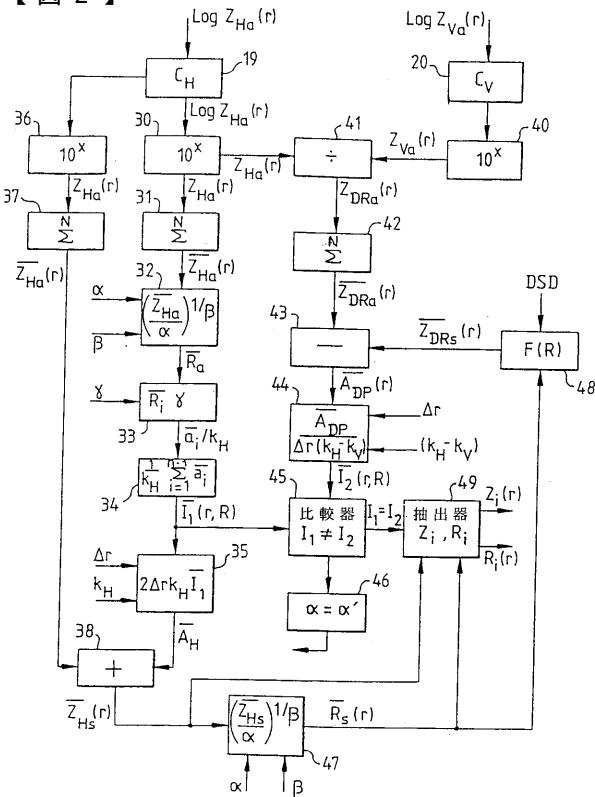


FIG.2

フロントページの続き

(72)発明者 ドウビエンヌ, レジ
フランス国、95250・ボーシヤン、アブニユ・ビクトール・ユゴ、53

審査官 宮川 哲伸

(56)参考文献 米国特許第6061013(US, A)
特開平1-282487(JP, A)
特開平4-269685(JP, A)
実開昭60-100676(JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01S 7/00 ~ 7/42
G01S 13/00 ~ 13/95
G01W 1/00 ~ 1/18