法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-16

レーダ受信電力値と地上雨量によるレーダ常数B, βに関する基礎的研究

潮田, 雄一 / USHIODA, Yuichi / 西谷, 隆亘 / NISHIYA, Takanobu

(出版者 / Publisher)
法政大学計算センター
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
Bulletin of Computer Center, Hosei University / 法政大学計算センター研究報告
(巻 / Volume)
2
(開始ページ / Start Page)
39
(終了ページ / End Page)
47
(発行年 / Year)
1988-10-01
(URL)
https://doi.org/10.15002/00024631

レーダ受信電力値と地上雨量によるレーダ常数B，βに関する基礎的研究

西谷　隆亘・潮田　雄一

法政大学工学部土木工学科†

レーダ雨量計の精度はレーダ常数B，βの推定の良否如何に懸かっている。このB，βはレーダ画面内で一様ではなく，地形や雨の降り方に影響を受ける。建設省管理の赤城山レーダでは，B，βの検討が進み，降雨強度別に値を変えて運用しているが，三ツ峠レーダは，統計的な値より一様にB＝200，β＝1.6としている。本論は，まず地点ごとに基本的なレーダ受信電力値（P_r）と地上雨量（R_G）の対応を再チェックし，地上雨量との対応の特徴を明らかにする。またグランドクラッターについても検討する。基本的な対応の検討は，単に統計的なB，β値でなく，物理的な意味で，設定しなければならないということを裏付ける結果を得た。

1.　まえがき

現在レーダ雨量計は全国で13基運用されており，関東地方では赤城山と三ツ峠の2箇所である[1]。レーダ雨量計によるレーダ雨量が地方雨量とよく対応するか否かはレーダ方程式の常数B，βの推定の良否如何に懸かっている。このB，βはレーダ画面内で一様ではなく，地形や雨の降り方に影響を受ける。建設省管理の赤城山レーダでは，B，βの検討が進み，降雨強度別に値を変えて運用しているが，三ツ峠レーダは統計的な値より一様に$B=200$，$\beta=1.6$としている[2]。したがって，三ツ峠のレーダ雨量と地上雨量が平均的には適合しているが，個々には一致しない地点も存在する。本論は，まず地点ごとに基本的なレーダ受信電力値（P_r）と地上雨量（R_G）の対応を再チェックし，地上雨量との対応の特徴を明らかにする。それによって，良い対応が得られた地点ではそれを基にB，βを求め，レーダ雨量を算定し精度評価する。

2.　レーダ方程式

レーダ受信電力を雨量値に換算するために次のレーダ方程式が必要である。

$$P_r=\frac{FCBR_G^{\beta}}{r^2} \qquad (1)$$

ここに，P_r：レーダ受信電力（mw），F：総合的な補正係数，
C：レーダ装置により決まる定数，
B,β：雨量換算係数，R：降雨強度（mm／hr）
r：目標空間までの距離（km），
B,β：雨量換算係数，R：降雨強度（mm／hr）

本論文は，式(1)の定数項を1つにまとめ，RにR_G（地上雨量）を用いて，式(2)に示すとおりとした。この式ではR_GとP_rの直接対応とする。

$$R_G=B'\ P_r^{1/\beta} \qquad (2)$$

ここに，

$$B'=(r_2/FCB)^{1/\beta}$$

3.　対象データ

レーダ受信電力は，三ツ峠レーダ雨量計では5分間間隔で観測され記録されている。図1は，レーダ定量範囲（半径120kmの円）を40トラック，128セクターの5120メッシュに分割した*PPI*図である。地上雨量に対するレーダデータのメッシュは，ここでは，地上観測所の直上メッシュをとる。地上雨量観測所は，三ツ峠レーダ定量範囲内に存在するものを対象にする。さらにレーダの影の部分に位置するものを除く。またレーダサイトにあまりにも近いところも除く。レーダの影部分の観測所を除く理由は，レーダ受信電力との対応が不可能であるからである。レーダサイトに近いところを除く理由は，サイドロブの影響が強いためである。以上により，地上雨量計の配置は，この図の●印のところに示す52点である。対象降雨は1979年から1984年間で降雨が大きいものを選んだ。すなわち，台風10，低気圧7，前線4，雷雨1の計22降雨である。この降雨データは，東京中央気象台による観測日雨量が12mm～216mmの間にある。

4.　データベース

前節で説明したレーダデータの1降雨の継続時間は，2日程度であり，22降雨分になるとレーダデータは約6500万個になる。このデータ全部を一遍に取り扱うことは大変なので，本論は，データを取り扱い易くするために，データベースを作成した。データベースの構造は**図2**のようにした。データ項目は時間と空間の2つである。まず，時間的には各降雨毎（1降雨は2，3日分のデータ）にまとめる。空間的にはデータ数は一定であるが，時間的には今後も増えるので降雨毎に空間のデータを整理した。空間の整理は全部5120メッシュであるのでこれを128個のブロック（1ブロックは5トラック；16セクターの40メッシュ）に分けた。つまり1降雨をディレクトリとし，空間の各ブロックのファイルを整理した。データの書式は**図3**に示すように，ブロック番号，地点コード，時刻，レーダデータとする。このシステムは，データの項目情報（流域名，地点名，降雨名）を入力すれば，自動的に読んだり新ファイルに格納したりできる。例えば鶴川地点の台風のみを抽出する場合は，

† 〒184 東京都小金井市梶野町3-7-2

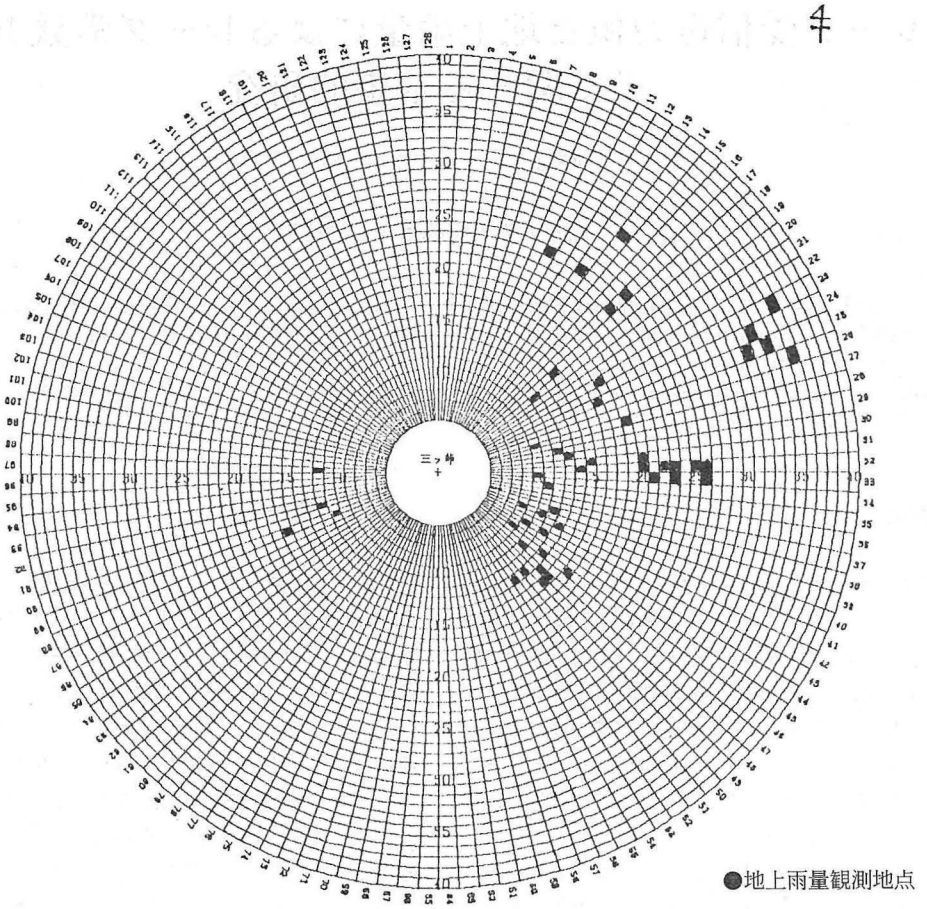


図1　三ツ峠レーダサイトと地上雨量観測所配置

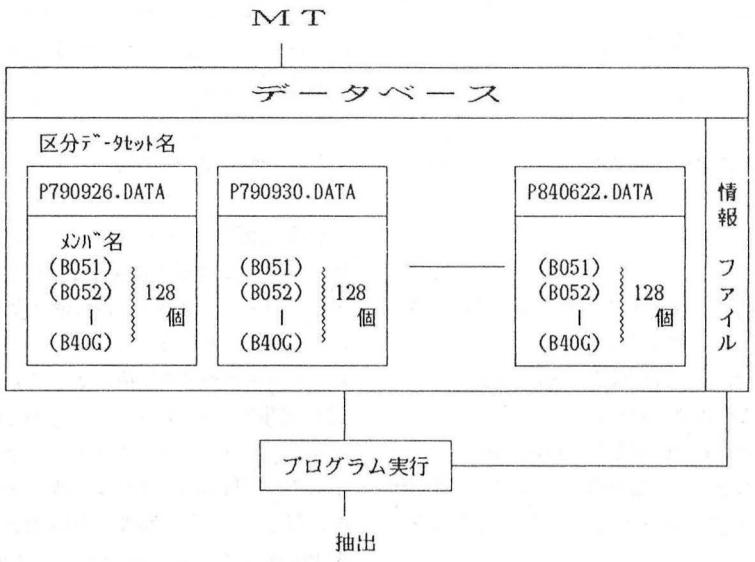


図2　データベース構成図

```
M051 1  2          RADAR ECHO (MITUTOGE) <DB>                    LC65
 ISC=00, ISF=23, ISD=1, IPRS= -9
 JF=12, IP=0, LF=10, FORMAT(5A2,A1,I4,3I2,12I3)&
M051 1  2  1982 41412 58 59 63 61 66 66 64 64 65 68 57 56
M051 1  2  1982 41413 56 59 60 61 60 59 58 58 58 58 56 57
M051 1  2  1982 41414 60 62 62 62 63 60 58 57 56 57 57 57
M051 1  2  1982 41415 58 60 63 61 57 56 56 53 55 56 54 56
M051 1  2  1982 41416 56 55 55 55 56 57 57 55 56 57 56 57
M051 1  2  1982 41417 56 57 56 57 57 57 56 57 57 56 57 62
M051 1  2  1982 41418 58 54 54 55 54 53 54 52 53 53 55 55
M051 1  2  1982 41419 53 52 53 53 54 52 53 53 52 53 52 53
M051 1  2  1982 41420 52 54 52 54 55 53 54 54 53 53 54 56
M051 1  2  1982 41421 55 56 55 54 56 56 55 56 54 55 54 52
M051 1  2  1982 41422 53 54 53 53 55 55 54 54 53 53 54 55
M051 1  2  1982 41423 55 56 56 56 61 59 53 53 57 55 57 56
M051 1  2  1982 415 0 58 61 61 65 72 74 72 64 59 56 59 66
M051 1  2  1982 415 1 63 63 61 65 64 61 63 60 67 73 65 75
M051 1  2  1982 415 2 58 65 67 70 67 65 66 71 72 67 68 70
M051 1  2  1982 415 3 73 73 67 65 62 62 72 69 67 60 63 70
M051 1  2  1982 415 4 73 74 72 71 58 54 55 54 55 56 54 55
M051 1  2  1982 415 5 55 61 67 60 63 65 62 59 60 64 71 68
M051 1  2  1982 415 6 67 66 69 77 74 73 77 68 68 75 73 72
M051 1  2  1982 415 7 71 86 81 80 75 72 70 74 77 81 82 83
M051 1  2  1982 415 8 85 79 71 79 74 84 76 72 82 86 79 73
```

図3　データベース入力書式

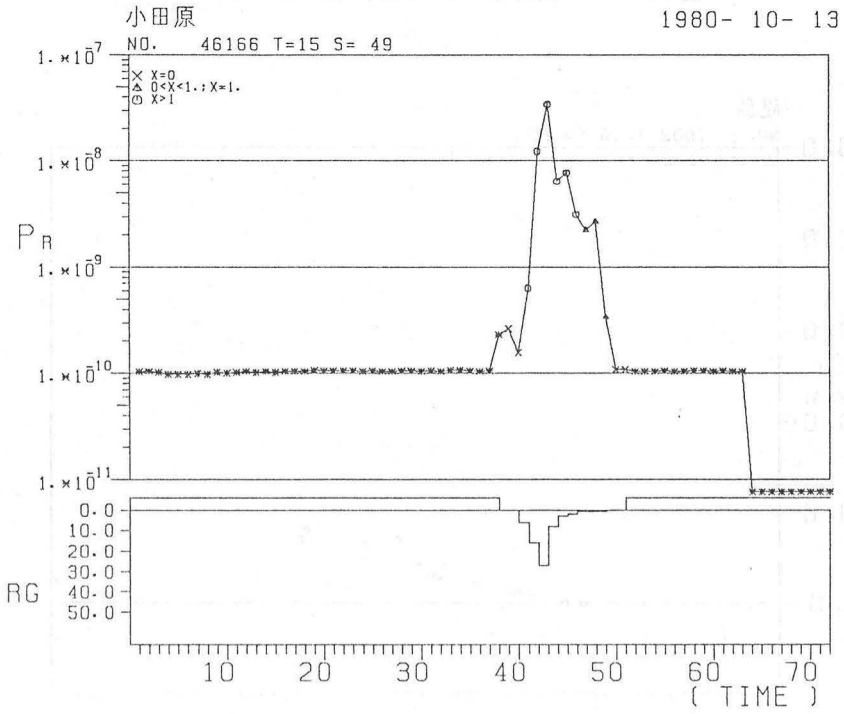


図4-1　レーダ受信電力値と地上雨量の対比の一例

地点コードと降雨原因コードの2項目を入力すればよい。

5.　データの降雨継続時間の対応

図 4-1 は，降雨を時間経過で示したものであるが，雨がないときのレーダはある一定の値になっている。この値は後で説明するがグランドクラッタ（以後，本稿では GC と略す）と呼ばれている。この図は，P_r と R_G の対応がよい例である。降雨終了後も，P_r は GC になっている。

直上メッシュの P_r が R_G に正確に反映していない主な特徴を2例紹介する。まず1つは，地上雨量が 0.0 なのに P_r が大きくなっている。これは，実際の降雨が小さいために地上雨量が測れないためであろう。2つ目は，図 4-2 に示すように，地上雨量が 50mm 以上もあるにもかかわらず P_r は，地上雨量

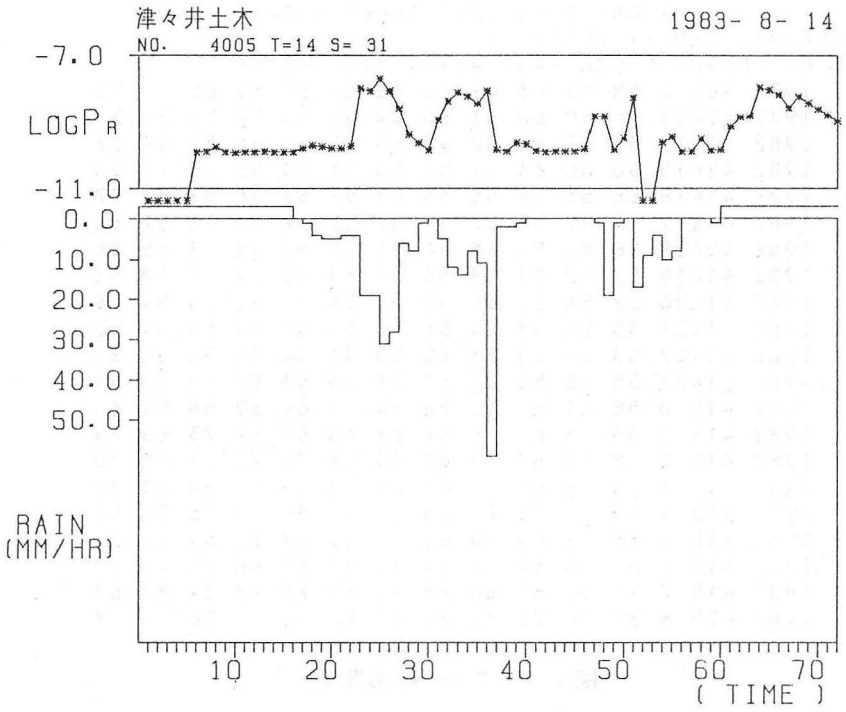


図4-2　レーダ受信電力値と地上雨量の対比の一例

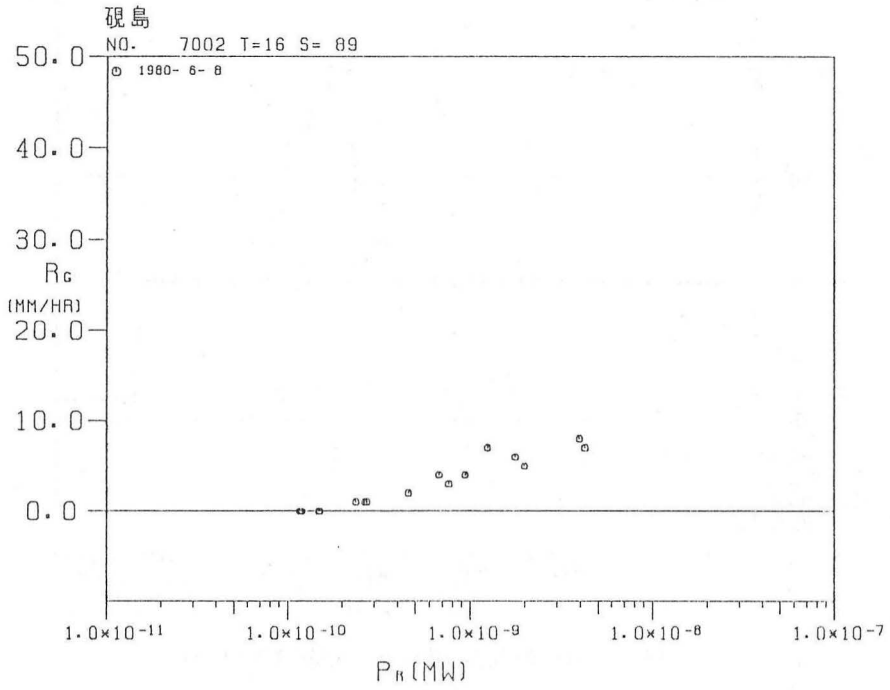


図5-1　レーダ受信電力値と地上雨量の相関図の一例

の30mmあるいは20mmのときのものと同じ程度である。この場合，降雨強度が大きいために，エコーが途中の雨によって遮られ，減衰を受けていると思われる。次節では，このことを，相関図によって検討する。

6.　データの個々の相関の対応

本節では個々のデータの相関について検討する。この対応はP_rとR_Gの関係を明らかにする上で基本的かつ重要なことである。レーダ方程式の対応関係よりP_rとR_Gの対応は指数型

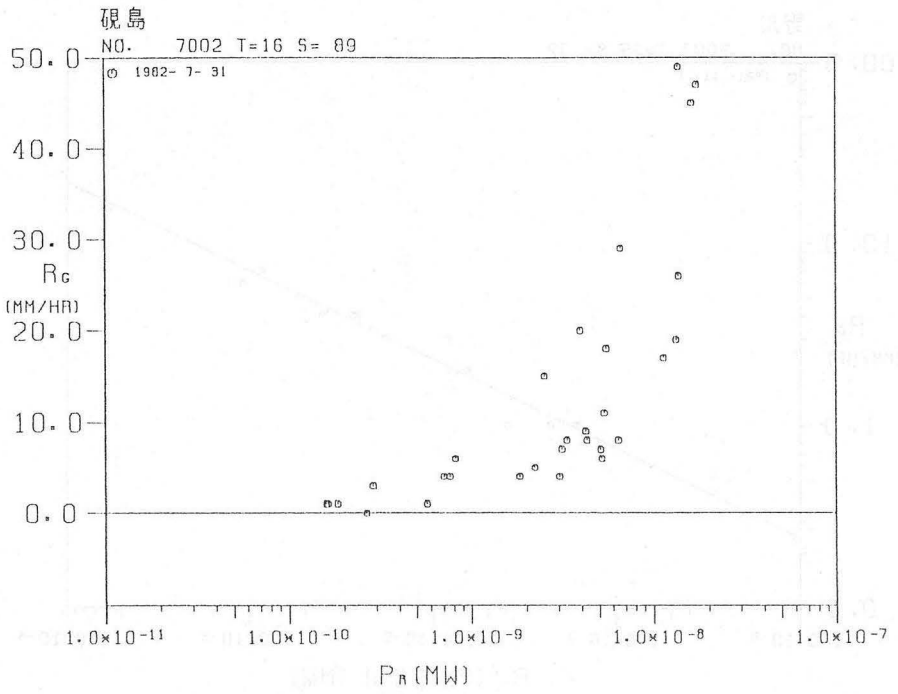


図5-2　レーダ受信電力値と地上雨量の相関図の一例

となる。その対応関係をプロットする場合，$logP_r$ 対 $logR_G$ の両対数グラフとなる。しかしながら前節の検討は $R_G=0.0$ 時の P_r が大きくなるデータもあることを示している。両対数グラフにプロットする場合，データが0.0の時は表現できないので $R_G=0.0$ 時の P_r はすべて除外される。このことは大きな問題である。本節は以上のことについて検討するため P_r と R_G を両対数グラフ（$logR_G$ 対 $logP_r$）及び，片対数（R_G 対 $logP_r$）のグラフを作成し検討を行った。結果の一例を図**5-1**に挙げる。この場合 R_G はすべて10mm以下である。$R_G=0.0$ 時の P_r は，ほとんど $1.0*10^{-10}$ 当りで同じ値になっている。この図から，目視によって回帰線は直線（すなわち $R_G=a\ logP_r+b$；但し a，b は定数）でよいと考える。図**5-1**に対し，同じ地点で異なる降雨の場合でよい結果が得られている図を挙げる（**図5-2**）。この降雨は，大きい雨であることは，図より明らかである。前述の図5-1は線形の関係にあったが，この図は，確かに10mm以下までであったら線形関係ともみえなくはないが，全体に指数型関数をよく表している。10mmあたりで対応関係が変わるのであろうか。次に2つの図を比べてみると図5-2の方が図5-1より P_r がより過大評価されている。例えば図5-1の場合 R_r が 10^{-8} あたりでも10mm以下のデータが対応しているのに対し，図5-2の場合は，20mmにも60mmにもなっている。このことは降雨減衰による影響がでているのであろうと思われる。一方，他の図を見た場合でも，最大 R_G 10mmを越えた降雨は，図5-1のパターン，10mm以下なら図5-2のパターンに，ほぼあてはまることが確認できた。最大雨量強度がかなり大きく影響している。R_G と P_r の関係は $R_G<$10mmで，$R_G=a\ logP_r+b$（ただし a，b は定数），$R_G>$10mmで $R_G=a\ P_r^b$（但し a，b は定数），なる関係が成り立つようである。

表1　本論のGCと現行値の比較
凡例　811001→1981年10月1日降雨

	現行GC値に対し		
	ほぼ一致	小さい	大きい
降雨名	811001 811008	790926 791110 801014 811102 831008	800609 800927 820707 810702 820731 820910 830815

7.　*GC*値と現行値の比較

観測された P_r は降雨からの反射波と，大地や建造物からの反射波 GC の混合されたものである。三ツ峠レーダ雨量計は，登録 GC 値（開設当初の晴天日のエコー）を減算方式で処理しているが，GC は空気中の浸潤度によっても異なるので，理論的には一定値にならない。本論の GC 値は，現行値を用いず降雨前の P_r の変動が少ない6時間の平均とした。6時間としたのは限定された収集データの制約のためである。また同様の理由で対象降雨も14降雨に選定した。このGCと現行値との比較をした。降雨毎の GC を，現行値との大小関係を整理した（**表1**）。この表より，6～9月の GC が大きく，10，11月のそれが小さくなる。つまり，GC は，季節によって変わることを示しているようである。大気中の浸潤度の相違によるものであろう。

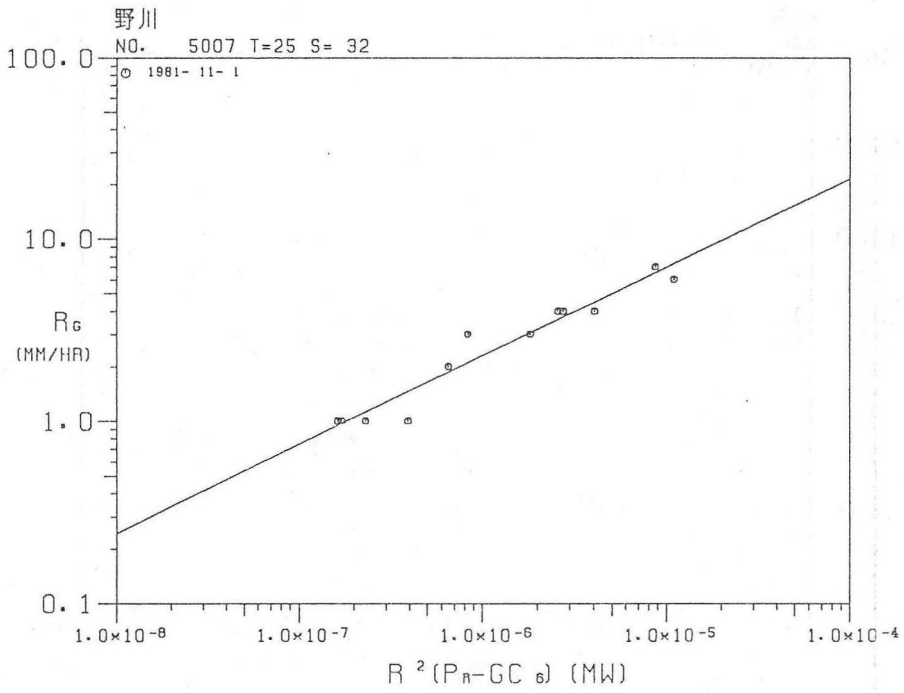


図6 P_r と R_G の相関図のよい例

表2 相関関数の評価

流域	降雨 地点	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
鶴	鶴川	1 4 4 4 2 5 3 2 5 3 4 3 5 1
	寺屋橋	1 4 4 3 2 5 4 5 4 2 3 3 5 1
見	本町田	1 5 5 3 2 5 3 5 5 3 4 3 5 1
	長津田	1 5 5 3 3 5 4 5 5 2 2 3 5 1
川	荏田	1 5 3 2 2 5 2 4 5 2 4 3 5 1
	野川	1 5 2 3 3 5 5 4 5 2 3 4 4 1
	都田	1 3 1 3 4 5 5 4 5 2 3 3 5 1
	川崎	1 4 4 3 3 4 5 4 5 2 2 3 3 1
	日吉	1 5 5 3 3 4 5 4 5 2 3 4 4 1
	綱島	1 4 3 3 3 5 2 4 5 2 2 5 4 1
富	下部	3 0 2 5 4 5 4 5 0 0 5 5 5 5
士	硯島	2 0 5 5 4 5 4 5 0 5 5 5 5 5
川	八町山	4 0 5 5 5 5 5 4 5 5 5 5 0 5
	中富	4 5 5 5 4 4 5 5 4 5 5 5 5 5

凡例
0 ; データなし
1 ; 相関係数＜0.1，またはデータが少ない。
2 ; 0.1 ≦相関係数＜0.3
3 ; 0.3 ≦相関係数＜0.5
4 ; 0.5 ≦相関係数＜0.7
5 ; 0.7 ≦相関係数

8. *GC* 除去後の対比の検討

レーダ方程式の R_G と P_r の関係は指数型なので図6のような相関図で検討した。このグラフに全部のデータをプロットしてみると，ばらつきが大きくはっきりしていない。これを各地点各降雨毎にプロットすると，対応の良くなるような場合，ばらつきが多くなるような場合の傾向がある。図6をよい状態とした場合，それは全体の4割程度であった。他は，ばらつきが大きいケースの中で R_G に対し P_r が小さくなっているケースは，降雨強度が平均で10mm以上の降雨にあり，このことは降雨原因別の対応を考える必要性を示唆している。

さらに客観的に評価するため最少自乗法による計算値と実測値の相関係数を用いた。これは計算値と実測値個々の関連をみたものである。相関係数が大きい順に5段階に点数付けした結果の1例を**表2**に示す。この点数を地点項目（流域；距離；方位）と降雨項目（季節；降雨原因）毎に検討した。その結果，全部の降雨を通じて，相関が常によいのは，富士川流域に位置する地点であった。同じ降雨では鶴見川流域の地点のように相関の良否は流域の各地点で同程度となる傾向もみられる。

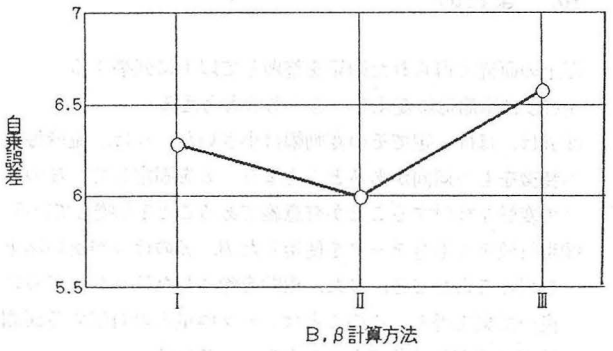
9. *B*, β の検討及びレーダ雨量の評価

9.1 全データの適用

相関が良かったデータのみを用いて得たB，βを相関が悪いデータに適用してレーダ雨量を求め，その*B*，βの良否を判定する。この場合の*B*，βの決定方法は，次の3種類を考えた。

方法Ⅰ）全部のデータを用いて計算した*B*，β

方法Ⅱ）全部のデータの内，相関が5点の場合のみのデータ



凡例
Ⅰ）全部のデータを用いて計算したB，β
Ⅱ）全部のデータの内，相関が5点の場合のみのデータを用いて計算したB，β
Ⅲ）現行値のB，β

図7　レーダ雨量換算値の方法別の評価

を用いて計算したB，β

方法Ⅲ）現行値のB，β

である。回帰分析より計算したB，βの結果，Bは，どちらのデータの場合も，現行値より小さくなり，βは大きくなっている。このB，βを全データに適用してレーダ雨量を算定し，地上雨量との自乗誤差を計算した（図7）。図7より，明らかに現行値が大きくなっている。また，方法Ⅰ）より方法Ⅱ）が低く，全データを使用したB，βを用いるよりも，相関性を吟味して計算したB，βのほうが，良い結果を得た。

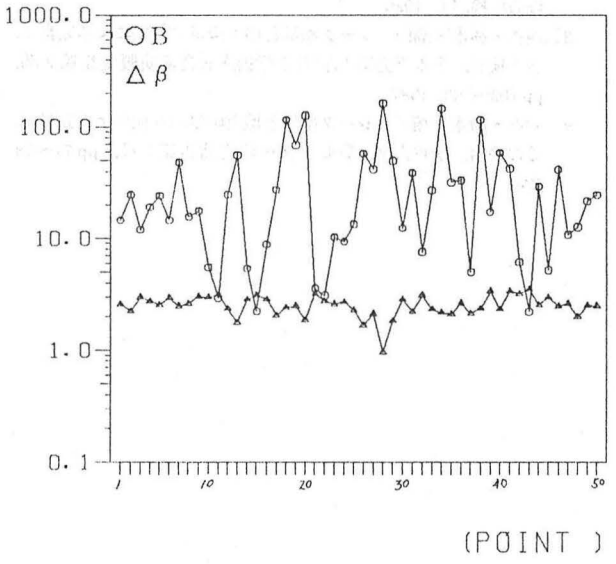


図8　全降雨データを使用した各地点B，β

9.2　地点毎データの適用

次に地点毎に全部の降雨を対象に検討する。この場合全降雨データのうち相関が5点の場合のみのデータ（表2）を用いて地点毎にB，βを計算した（図8）。全体のβ値は1.0～3.5の間であるがB値は2.2～160の間となる。B値に比べて，βはほぼ一定である。この図を流域別，距離別，方位別に検討した。表3は流域別にB，βの範囲を表したものである。βは流域によってもさ程の差異は見られない。一方Bについてみると酒匂川流域と荒川流域は大きく分布しているが，他の5つの流域はBの範囲が，せばまっている。このことは，Bが流域毎に特徴をもつ傾向があるといえる。距離別，方位別でははっきりとした特徴はないようである。

表3　方法Ⅱ）により求められた流域別B，βの範囲

流域	B	β
相模川	2～38	2.0～3.2
多摩川	2～49	1.8～3.5
鶴見川	12～48	2.2～3.0
富士川	21～55	1.8～2.5
江戸川	42～162	1.0～3.4
荒川	3～115	2.3～3.3
酒匂川	3～145	1.7～3.2
全体	2～162	1.0～3.5

次に，地点毎に得られたB，βを地点毎のデータに適用して，レーダ雨量を算定して地上雨量との自乗誤差を計算した。その結果，各地点とも現行値より1.0程度下がり，よい結果を得ている。

9.3　各地点各降雨のB，βについて

各地点各降雨ごとのβの範囲は，0.6～6.77である。その比は11倍である。平均値は2.29であり，登録値より大きい。標準偏差は0.99である。それに対しBの範囲は0.14～505.6で，その比は，3，611，428倍にも及ぶ。平均値は73.67であり，標準偏差は89.052，である。Bはβに比べて，かなりの変動になる。このB，βの変動は，どういう項目で，特徴があるのか，あるいはまったくないのかどうか検討する。

表4　βの変動の様子に基づく降雨の分類
凡例　791110→1979年11月10日降雨

	ア	イ	ウ
降雨名	791110 811102	820707	790926 820910 820731

凡例
ア）変動係数，絶対値とも大きいもの，
イ）絶対値が現行値より小さい降雨，
ウ）変動係数が小さい降雨。

9.3.1　βの変動の検討

β値の各降雨の平均値，及び標準偏差により，特徴を挙げるとすれば次の3つである（表4）。

ア）絶対値および変動が共に大きいもの，
イ）絶対値が現行値より小さい降雨，
ウ）変動が小さい降雨。

この表では月別に特徴があるようである。各降雨を，降雨項目

毎（降雨原因，年，月，季節，累加雨量）にまとめて検討すると，月別と累加雨量の項目に影響がある傾向があった。

βは夏（7月〜9月）に小さくなり，秋（10月〜11月）に大きくなる。7〜9月の降雨データは降雨強度が大きくなり，相関図の勾配が大きくなるゆえんであろう。逆のことが10月〜11月のβに言える。

表5　βの変動の様子に基づく降雨の分類

	A	B	C
地点名	硯島 野田 曽我山 松田 小田原 足柄	小川 三保 山北 菩提 日吉	箒沢 小沢 相模湖

凡例
A）変動，大きさとも小さいもの，
B）変動が小さく平均値が2.0以上の地点
C）変動，大きさとも大きい地点

次に位置におけるβの変動について同様に検討した。52地点について行った基本統計結果と作成した図をもとに定性的な特徴があるものを考えれば，次の3つである（表5）。

A）絶対値および変動が共に小さいもの，
B）変動が小さく絶対値が2.0以上の地点，
C）変動，絶対値とも大きい地点。

これより，A），B）の場合，酒匂川流域が多く（曽我山，三保，山北，菩提，松田土木，小田原土木，足柄），C）の場合はトラックが9〜14に位置する地点（箒沢，小沢，相模原）が多い。

9.3.2 B変動の検討

前検討と同様にBについて行った。その結果Bが全地点で小さくなる降雨が見つかった。その降雨及び降雨項目を列挙すると表6のようである。Bは，地点平均累加雨量，台風，11月の降雨の時に，小さくなる傾向がある。

表6　Bが現行値のものより小さくなった降雨と降雨項目

NO	降雨名	月	降雨原因	地点平均累加(mm)
1	791110	11	低気圧	68.
2	801014	10	台風	48.
3	811001	10	台風	24.
4	820910	9	台風	300.
5	811102	11	低気圧	50.
6	820731	7	台風	200.
7	830815	8	台風	227.
8	831008	10	前線	25.

10. まとめ

以上の研究で得られた知見を整理して以下に列挙する。

①GCは季節毎に変えるべきであると考える。

②βは，ほぼ一定でその変動幅は小さいが，Bは，流域毎に特徴をもつ傾向があると言えよう。βを固定して，Bのみの変動を検討することが有意義であることを示唆している。

③現行値よりも全データを使用したB，βのほうが良い結果を得ることができ，また，相関を吟味したほうが，さらに良い結果を得る。このことはレーダ雨量との対応する観測地点の選定が重要であることを示している。

謝　辞

本研究を遂行するに当たり多大なる便宜をお計り頂き，ご指導賜った河川情報センター山口高志部長，及び研究を支援して頂いた法政大学工学部土木工学科牧野立平助手に感謝の意を表します。またデータの取り扱いなどで有益な御助言をいただいた61年度修士（現在はパシフックコンサルタンツ）勝木隆昌氏に対し厚く御礼申し上げます。最後に図表の作成に協力してくれた矢島尚君に感謝します。

参考文献

1）(財)河川情報センター，河川情報センターパンフレット，1987
2）建設省関東地方建設局利根川ダム統合管理事務所・(財)河川情報センター：レーダ雨量計の精度向上に関する検討業務報告書（その2三ツ峠レーダB，β等の検討およびレーダ重複域合成処理方法検討），1986
3）西谷・勝木・潮田：レーダ雨量と地上雨量の対比による定数B，βの検討，土木学会第42回年次学術講演会講演概要集第2部，pp 102〜103，1987
4）西谷・勝木・潮田：レーダ雨量と地上雨量の対比による定数B，βの検討，法政大学計算センター研究報告第1号，pp 71〜78，1987

キーワード

三ッ峠レーダ雨量計システム，雨量観測網，地上雨量，レーダ常数B，β

Summary

ON THE CONSTANT VALUES (B, β) OF THE RADAR EQUATION BY RELATION BETWEEN RADAR ECHO AND PRECIPITATION RATE

Takanobu NISHIYA, Yuichi USHIODA

Department of Civil Engineering, Hosei University†

Accuracy on the radar raingauge depends on the coefficients B and β in the radar equation. These values (B, β) are not constant, affectd by meteorological and topographical conditions. The Akagi radar measurement system of the ministry of construction have divided the constant values into three categories according to rainfall intensity. The Mitsutoge radar measurement system adopts the constant values (B=200, β=1.6). In this paper the author discussed the ralations between received power, the characteristics of ground clutter variation and precipitation rate at points, and the characteristics of constant values variation. The authors found that the values estimated directly at a gaging point would be expected to yieled good results for spatial rainfall estimation.

Key Words

mitsutoge radar station, radar constant (B, β), ground rainfall, rain gauge network

† 3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo 184, Japan