

東南アジア地域でのGMS-IR - 地上降雨量関係における「年降雨量効果」について

On the Annual Rainfall Effect Governing the Relation between
GMS-IR and Rainfall on the Ground in Southeast Asia

竹内邦良* 小泉栄一** 池田元栄** 村上勝人***

By Kuniyoshi Takeuchi, Ei-ichi Koizumi, Motoei Ikeda, Masato Murakami

It was found that the daily and 10-daily rainfall at a station corresponding to a given level of cold cloud cover fraction $F_c=0.3$ depend on the annual rainfall at the station. This dependence will be called as "Annual rainfall effect". The effect indicates that the rainfall phenomena strongly reflects the local geographical, meteorological and other conditions that determine the amount of annual rainfall. The precision of regional as well as global estimates of precipitation would be improved by including the average annual rainfall in the estimation formulae.

Keyword : GMS, IR, Rainfall estimates, Southeast Asia, Annual rainfall effect

1. はじめに

全球の降雨観測を目的として、定点観測衛星の赤外情報から地上降雨量の推定を行うため、地域別IR輝度温度-降雨量関係式の検討を行っている。Arkin(1979)はアフリカ・セネガル沖800kmの洋上で行われたGATE実験の結果を用いて、のちArkin and Meisner(1987)らにより変形されて、

$$GPI = 3 F_c \cdot t$$

となる関係式を提案した。ここにGPIはt時間(hr)の総雨量(mm)、 F_c は当該メッシュ領域内IR放射輝度温度の閾値 T_c 以下の部分の占める割合(冷たい雲の占める割合)である。これに対し竹内・海老沢・池本(1992)は、タイ国チャオプラヤ流域での検討により、陸上では同一の F_c でも、洋上に比べずっと少ない、10日平均 2.5° メッシュで1/3程度の降雨しかないことを示した。このことは、全球に同一の推定式を適用することは出来ないことを意味しており、地域別の推定式の整備が必要であることを示している。

本論文はこの結論を踏まえて、東南アジアの広い領域、タイ、ヴェトナム、マレーシア、インドネシア各地域での、GMS-IR輝度温度と地上降雨量の関係を検討したものである。この地域は海洋大陸と呼ばれる地域であり、海洋や大陸とは異なった、また地形・気候的に変化に富んだ地域の特性を具えており、その多様性から多くの知見が得られるものと考えられる。

2. 解析対象領域とデータ

図4に解析対象とした地上降雨量観測地点の分布を示す。タイ121地点、ヴェトナム23地点、マレーシア33

* 正会員 山梨大学工学部土木環境工学科

** 学生員 山梨大学大学院博士前期課程土木環境工学専攻

(〒400 甲府市武田4-3-11)

*** 気象庁気象研究所台風研究部

(〒305 つくば市長峰1-1)

地点（半島部23、カリマンタン部10）、インドネシア23地点（スマトラ3、カリマンタン2、ジャワ5、小スンダ6、スラベシ4、西イリアン3）である。解析対象期間は1985.1.1-12.31である。各地点のこの期間の日雨量データは、各国での観測値を提供頂いた。GMS-IR データは、気象衛星センターの作成した、3時間単位の0.25°メッシュ基本ヒストグラムを用いた。

3. 冷雲判定の閾値と降雨量推定式の関係

はじめに冷雲量 F_c と降雨量の関係が、冷雲判定の閾値温度 T_c によっていかに異なるかを図1-1、2で見てみたい。図1-1はベトナム山岳部第13地点、図1-2はマレーシア西海岸第39地点である。第13地点では、最適閾値は日平均、10日平均とも $T_c=265K$ である。第39地点では215Kである。山岳部で閾値が高く、海岸部で低い傾向は小泉・竹内(1993)の報告通り、ベトナムで顕著であるが、今回の検討ではマレーシア、インドネシアについては必ずしもはっきりした傾向として特定できなかった。

閾値が異なった場合、回帰式の係数、決定係数ともに違ってくるが、低閾値になるほど F_c が小さくなることが明瞭に見られる。以下に235Kを共通の閾値とし、その場合の $F_c=0.3$ に対応する推定降雨量を検討するが、日、10日ともその領域には現実の点が分布していることを確認いただきたい。

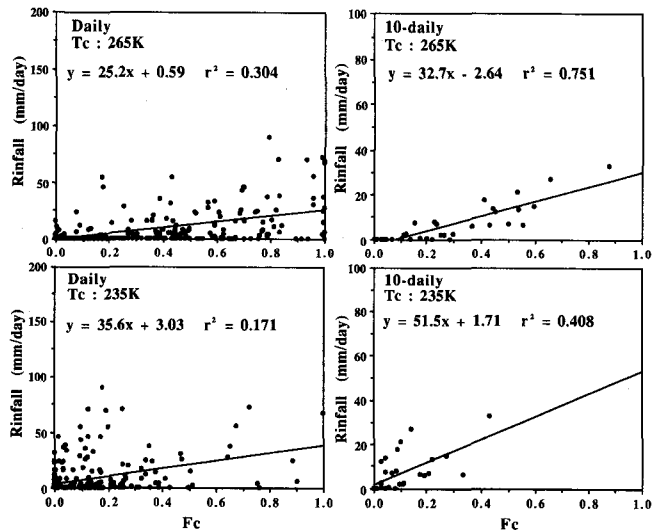


図1-1 実測 F_c - R 関係 (ベトナム第13地点)

4. 閾値を235Kとしたときの降雨量推定式と推定値の地域的ばらつき

竹内・海老沢・池本(1992)により明らかにされたように、冷雲量 F_c と降雨量 R との関係は強い地域性を持っている。ここでは地域的違いを対象領域全体について明らかにするため、同一の $F_c=0.3$ に対する、推定降雨量 $\hat{R}$ の地域分布を見ることとする。ここに $\hat{R}$ は、閾値を235Kとして各地点で、最小二乗法により求めた一次回帰式

$$\hat{R} = a F_c + b$$

による推定降雨量である。ここに $T_c=235K$ を選んだのは、この値が Arkin(1979)以来広く使われており、竹内・海老沢・池本(1992)でも、この値をレファレンス値として用いて

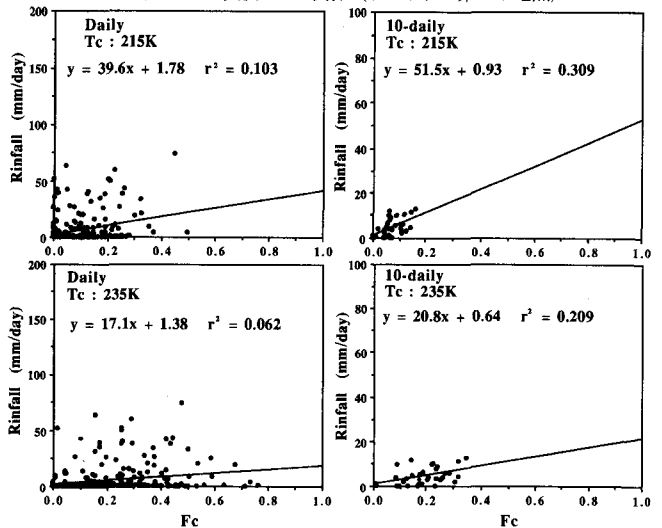


図1-2 実測 F_c - R 関係 (マレーシア第39地点)

1985.1.1-12.31 閾値、時間スケールによる回帰式、決定係数の違いを示す

表1-1 地点別降雨量推定式および $F_c=0.3$ に対する推定降雨量 $\hat{R}_1$ 、 $\hat{R}_{10}$ (Tc:235K)

	地点	年雨量(mm)	日雨量推定式			$\hat{R}_1$ (mm)	決定係数	10日雨量推定式			$\hat{R}_{10}$ (mm)	決定係数
ヴェトナム	5	1604.2	PI = 42.41 F_c + 1.41			14.1	0.222	PI = 40.92 F_c + 1.47			137.5	0.456
	12	2309.8	37.31			3.31	0.190	53.49			1.78	0.558
	13	2173.1	35.62			3.03	0.171	51.47			1.71	0.408
	20	2625.7	33.38			2.02	0.202	43.99			0.10	0.704
	21	1941.1	30.81			1.27	0.212	39.28			0.44	0.658
	22	1963.0	47.35			0.70	0.214	72.23			-1.94	0.646
半島マレーシア	32	2069.0	33.68			-0.17	0.167	30.02			0.41	0.299
	36	2379.0	30.40			1.68	0.188	36.86			0.36	0.307
	38	2597.3	23.89			2.83	0.136	27.47			2.18	0.189
カリマンタン島	54	2012.1	39.80			1.29	0.154	36.72			1.45	0.194
	56	3051.9	39.03			1.74	0.155	45.13			0.40	0.305
	65	3198.6	36.39			3.02	0.128	52.23			0.19	0.301
スマトラジャワ	62	3301.7	32.85			4.43	0.107	34.52			4.49	0.180
	66	1925.9	27.29			1.19	0.114	27.95			1.01	0.317
東部インドネシア	72	975.7	22.78			1.16	0.112	26.98			0.91	0.319
	77	896.5	32.02			0.83	0.171	38.99			0.40	0.722
	78	761.3	25.85			0.36	0.175	47.76			-0.78	0.578
	81	2703.0	53.63			2.10	0.170	44.99			3.34	0.198
	83	2575.3	49.66			2.48	0.231	69.77			1.89	0.314

表1-2 地域平均降雨推定式および $F_c=0.3$ に対する推定降雨量 $\hat{R}_1$ 、 $\hat{R}_{10}$ (Tc:235K)

地域	地点	年雨量(mm)	日雨量推定式			$\hat{R}_1$ (mm)	決定係数	10日雨量推定式			$\hat{R}_{10}$ (mm)	決定係数
タイ (チャオプラーヤ流域)	121点	1162.5	PI = 22.15 F_c + 1.21			7.9	0.125	PI = 24.42 F_c + 1.02			83.5	0.365
ヴェトナム (全国)	1~22	2020.1	36.97			2.48	0.121	39.87			2.18	0.299
ヴェトナム沿岸	(内陸以外)	1944.3	41.05			1.96	0.126	40.67			1.91	0.281
ヴェトナム内陸	(1, 2, 4, 12, 13, 15, 17, 20)	2093.7	29.02			3.51	0.114	38.14			2.69	0.345
半島マレーシア	31~46	2276.1	25.41			2.03	0.094	24.02			2.19	0.142
半島東部	(33, 34, 36, 40, 41, 42, 44)	2443.3	29.71			2.06	0.114	26.37			2.46	0.143
半島西部	(31, 32, 35, 37, 38, 39, 43, 45)	2204.5	22.00			2.14	0.077	23.24			1.77	0.163
カリマンタン・マレーシア	49~58	2796.1	37.47			1.90	0.133	36.88			1.76	0.216
インドネシア西部	61~70	2767.9	24.32			3.97	0.061	28.71			3.27	0.207
インドネシア中部	71~79	1164.7	22.21			1.69	0.070	35.21			0.84	0.330
インドネシア東部	80~83	2750.8	34.97			3.66	0.087	47.38			2.77	0.198

インドネシア西部：スマトラ、ジャワ、中部：小スンダ列島、スラベシ、東部：西イリアン

いるからである。

時空間スケールとしては、日および10日平均、0.25°メッシュを用いた。0.25°メッシュについては、図-4に示すとおり解析対象とした地上降雨量観測地点がまばらであり、広域の平均降雨量を求めることが出来ないこと、また GMS-IR については、地上降雨量の観測地点が増えない限り、衛星データのみ広域平均しても、地上降雨量との対応は改善も改悪もされないとの、小泉・竹内(1993)の結論に基づくものである。

表1-1に降雨推定式の係数、 $F_c=0.3$ に対する推定降雨量 $\hat{R}$ 、決定係数 r^2 、当該地点の年降雨量(1985年)を示す。ここには日単位で $r^2 \geq 0.1$ 、10日単位で $r^2 \geq 0.2$ のものの中から、地域別に任意の数地点ずつを選んである。日単位で0.1未満、10日単位で0.2未満として棄却されたものはそれぞれタイ20/87、2/87、ヴェトナム5/22、3/22、半島マレーシア12/18、13/18、カリマンタン島3/12、9/12、スマトラ・ジャワ6/8、2/8、バリ島以东インドネシア8/13、3/13である。特にマレーシアで相関の悪い地点が目立つ。また、スマトラ・ジャワでは、日単位では相関が低いものの10日単位では高くなっている地点が多い。

0.1、0.2以上でも、回帰式の係数 a 、 b 、決定係数 r^2 とも地点毎に大いにばらついている。 r^2 の最大値は、日単位で0.23、10日単位では0.72であるが、平均ではそれぞれ0.17、0.40程度である。同一の冷雲量 $F_c=0.3$ に対するばらつきも日推定降雨量 $\hat{R}_1$ で8.0~18.2mm、10日推定降雨量 $\hat{R}_{10}$ で90.1~228.2mmとかなり

大きい。この大小は、各地点の年降雨量と関係しているように見える。

表1-2に各地域毎の平均推定式を示す。ここでは r^2 が0.1、0.2以下のものもすべて含めた。地域平均としても回帰式の係数、決定係数は大きくばらついており、 $F_c=0.3$ に対する推定降雨量も日雨量で7.9~14.3mm、10日雨量で83.5~169.9mmと約2倍の開きがある。ここでもやはり $F_c=0.3$ 推定降雨量と地域平均年降雨量の多寡は連動しているように見られた。

5. 冷雲量・降雨量関係における「年降雨量効果」

この年降雨量と推定降雨量の関係をより詳細に把握するため図2-1を描いた。年降雨量を横軸に、 $F_c=0.3$ に対する推定降雨量 $\hat{R}_1$ 、 $\hat{R}_{10}$ を縦軸に描いてある。ただし r^2 がそれぞれ0.1、0.2未満のものは省いてある。両図とも年降雨量が多い場合にこれに比例して推定降雨量が多くなることを示している。これを冷雲量・降雨量関係の「年降雨量効果」と呼ぶことにする。この効果の度合いについては日雨量、10日雨量とも二

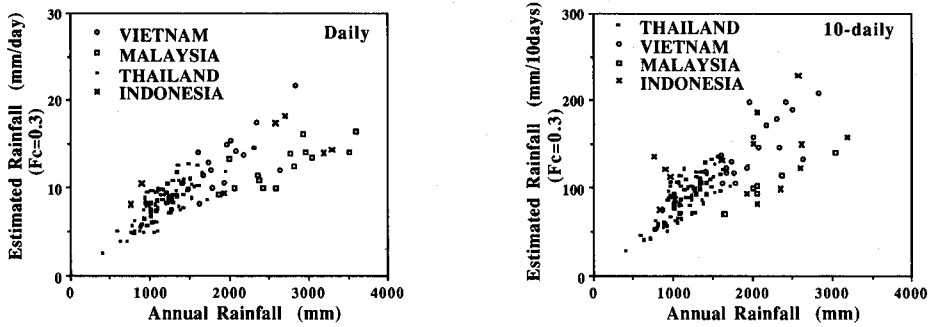


図2-1 年降雨量と $F_c=0.3$ に対する推定降雨量の関係(国別)
年降雨量の多いところほど、同じ F_c で多量の雨が降る

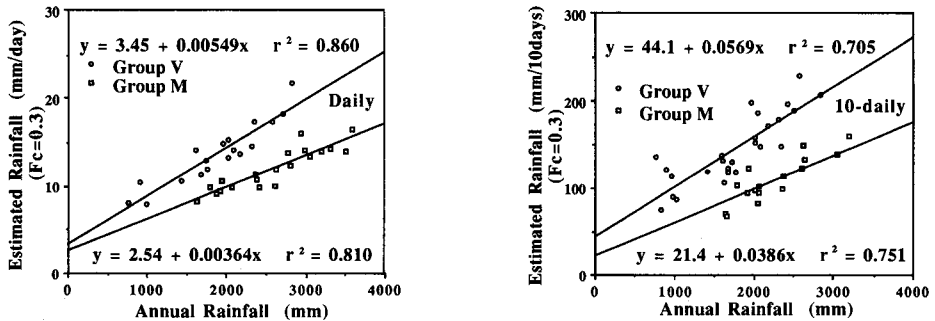


図2-2 年降雨量と $F_c=0.3$ に対する推定降雨量の直線回帰(グループ別、タイを除く)

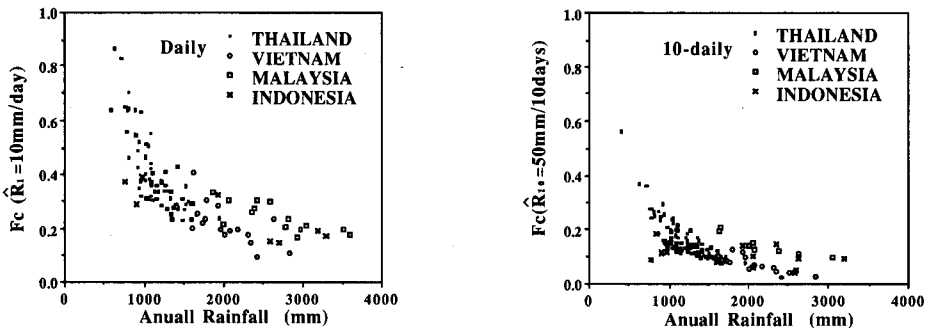


図3 年降雨量と推定降雨量 $R_1=10\text{mm}$ および $R_{10}=50\text{mm}$ に対する F_c の関係(国別)
年降雨量の多いところほど、小さい F_c で同量の雨が降る

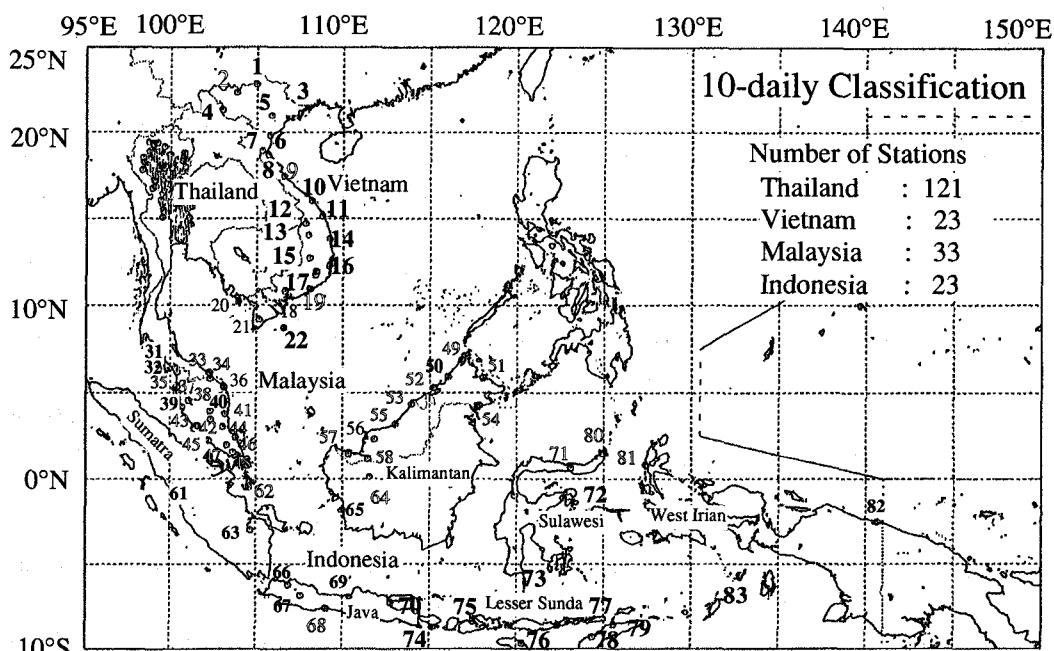
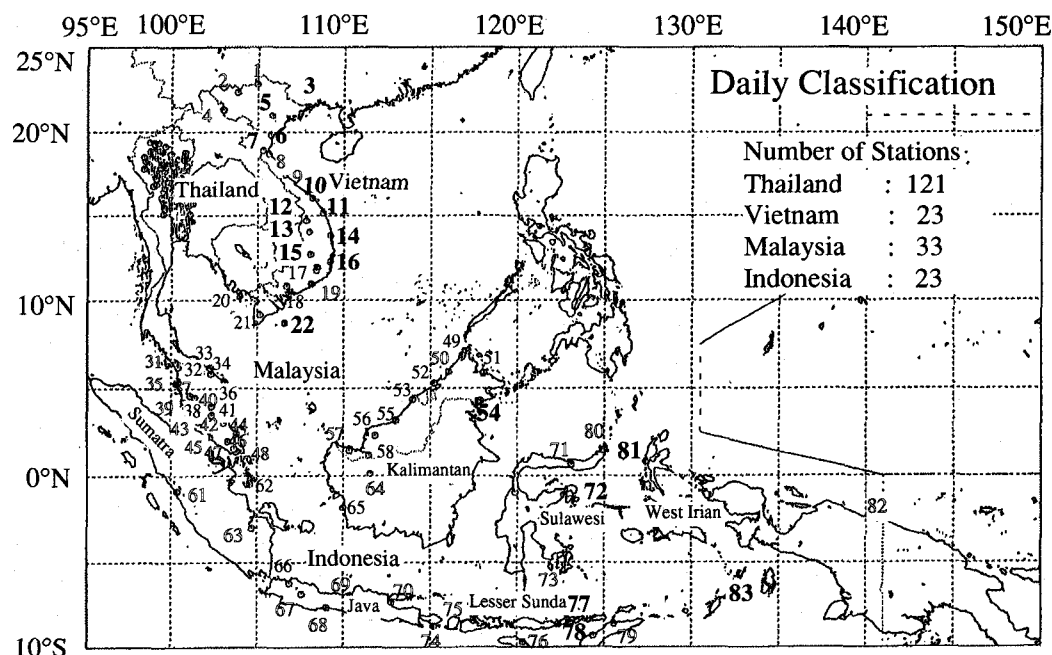


図-4 解析対象地域と観測所の分布 数字は観測点、太文字はグループV、小文字はグループMに属する地点、白ぬきはどちらにも分類できない地点を表す(上図は日単位、下図は10日単位)

つのグループに分かれるように見える。タイ・ヴェトナムが上位グループ、マレーシアが下位グループ、インドネシアは両グループに亘って分布している。上位グループは下位グループに比べ、同一 F_c に対し大きな降雨量を示すグループであり、少しの雲で多くの雨をもたらす地点と考えてよい。ここで上位グループをV型、下位グループをM型として各グループに属する点をそれぞれ回帰直線で近似したのが図2-2であり、これを地図上に落としたのが図4である。この際タイの諸地点はVグループに属すると考えられるが、両図中では省いた。図2-2よりV、M両グループ各々の直線近似による決定係数は日単位で0.86、0.81、10日単位で0.70、0.75に達している。これは短時間（日及び10日単位）、小空間スケール（ 0.25° メッシュ）でみた結果としては極めて大きな値であり、強い物理性が背景にあるものと推測される。

次に図4におけるVグループ、Mグループの分布にも著しい地域性がみられる。日及び10日雨量ともVグループはタイ、ヴェトナム及び東部インドネシアに分布し、Mグループはヴェトナム南部から半島マレーシア、カリマンタン北東部（10日ではスマトラ、ジャワを含む）地域のマレーシア海周辺一帯である。

図3は、図2とは逆に、日雨量 $\bar{R}_{10}=10\text{mm}$ 、10日雨量 $\bar{R}_{10}=50\text{mm}$ をもたらす冷雲量 F_c を各地点の年降雨量と対比させたものである。全体として右下がりになっているのは、同一降雨量をもたらす冷雲量は、年降雨量の多いところほど少ないこと、すなわち多雨地帯ではわずかな雲でも多くの雨が降るという「年降雨量効果」、図2と同一の関係を示している。図3の日単位では、やはり図2-1に見られたような二つのグループに分かれる傾向がうかがえる。両グループの地理的分布は図4に示すV、Mグループの地域割りと必ずしも一致しないが、主としてヴェトナムとマレーシアに分かれる点は同じである。。図3の10日雨量では、この効果の地域特性はあまり顕著ではない。

6. 結 論

①年降雨量の多い地点では同一冷雲量であっても年降雨量の少ない地点に比べ、より多くの降雨がある。

これを冷雲量・降雨量関係における「年降雨量効果」と呼ぶ。

② $F_c=0.3$ の場合の「年降雨量効果」の度合いには二つのグループが存在する。一つはより降りやすいVグループ、もう一つは同一の雨にやや多くの雲が必要なMグループである。前者はタイ、ヴェトナム、中央インドネシア、後者はマレーシア海周辺（ヴェトナム南部、半島マレーシア、北西カリマンタン、スマトラ、ジャワ）に多く見られる。

この事実は冷雲量・降雨量関係が地形など気象特性を生じる種々の地域的、平均的要因を強く反映していることを示している。竹内・海老澤・池本(1992)が指摘した、セネガル沖で同定した Arkin の式とタイにおける竹内らの式の違いは、両地域の年降雨量の差を反映しているものと考えられ、これをパラメータに組み込むことにより両者の差は縮まるものと思われる。

以上全球の降雨監視には地域性を取り入れる必要があることが改めて確認された。今後は年平均降雨量を説明変数に加えた冷雲量・降雨量式を検討し、その地域別推定式を作成していきたい。

引用文献

1. Arkin, P. A. (1979) : The Relationship between Fractional Coverage of High Cloud and Rainfall Accumulations during GATE over the B-scale Array, Monthly Weather Review, 107, 1382-1387.
2. Arkin, P. A. and B. N. Meisner(1987) : The relation between large-scale convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982-84, Monthly Weather Review, 115, 54-74
3. 竹内・海老澤・池本(1992) : タイ国チャオプラヤ川流域での衛星による降雨量推定式の同定、水文・水資源学会誌、5(3)、33-41
4. 小泉・竹内(1993) : ヴェトナムにおける地上降雨量とGMS-IRの関係について、土木学会年講概要集、II、178-179