

東南アジアの気候の特性について (2)

——ラオス・タイ・マレーシア・シンガポールの大雨——

中 島 暢 太 郎*

The Climate of Southeast Asia (2)

——Heavy Rainfall in Laos, Thailand, Malaysia and Singapore——

by

Chotaro NAKAJIMA

The variable rainy seasons in these countries are discussed in relation to the wind-field. NE trade winds, SE trade winds, equatorial westerlies, ITCZ, NE monsoons, SW monsoons are important for the analysis of heavy rainfall in the low latitudes. For the area north of 10° N, tropical disturbances are also important. Most of these disturbances move through Thailand in autumn. Their season is later than in the case of Japan.

The concentration of heavy rainfall in a small area is also interesting. There is an area of about 100 km×100 km on the eastern coast of Malaysia with over 100 mm rainfall per day in the winter monsoon season.

Five years moving means of monthly rainfall for many places are calculated. The amplitudes and phases of climatic change are very variable from place to place. The standard deviations of monthly rainfall are also calculated. These values are much larger than in the case of Japan, and vary according to the place and the season.

ま え が き

1972年12月から翌年1月までの東南アジア各国の旅行において著者が集めた資料の解析結果はフィリピンの大雨については既に発表した¹⁾が、今回はラオス、タイ、マレーシア、シンガポールの資料について解析した結果を報告する。

この地方は、南北両半球の貿易風とその間の収束帯 (ITCZ) および赤道偏西風の相互関係とモンスーン、熱帯低気圧および複雑な地形が、空間的にも時間的にも変化の激しい天気状況をもたらすことで特色づけられている。

* 京都大学防災研究所

この地方の気候特性については地理学者や気候学者によって早くから記述されていたが、日本で総合的にかつ気象力学的見方を強めて論じたのは小笠原和夫の「南方気候論」²⁾がはじめてであろう。ビャークネスらによって開かれた近代気象学の方法論を吸収したフィリピンのデッパーマンに師事した著者が詳しく論じており、また豊富な図表が示されている。資料の少ないこの時代によくまとめたものだと感心させられる。ただ、その中で気にかかるのは熱帯低気圧がインドシナ半島を横切って西進することはほとんど不可能としていることである。最近の資料では秋から初冬にかけてのかなりの熱帯低気圧が南シナ海からこの半島を横切ってベンガル湾に抜けており、またその雨がタイやラオスにとって貴重な水資源となっている。もう一つはモンスーンによる雨が広域持続的で台風による雨だけが集中的であるというような印象を受けることである。日本でも近年集中豪雨のメカニズムがはっきりしてきたが、この地方でもモンスーン中にメソ気象現象による集中豪雨が頻発している。

比較的最近では畠山久尚監修の「アジアの気候」があり、外国でもラメージなどのモンスーンに関する成書が刊行されている。インドではモンスーンといえば夏のモンスーンのことであり、タイでも夏のモンスーンが主体であるが、マレー半島にくと特にその東岸では冬のモンスーンが主役となっている。マレー半島付近は赤道に近い地球回転によるコリオリカが小さくなり、等圧線によって風を知ることができず、また運動を支配する力が高緯度と異なるため気象力学の適用がむづかしく、現在でも雷雨予報や大雨予報にかなり苦労している。しかし気象衛星写真が得られるようになって天気解析がかなり楽になってきた。近くこの付近に静止衛星が打ち上げられると、この付近の著しい天気の日変化の様子がさらに詳しくわかるようになるであろう。この地方は農業や林業の占める割合が多く、気象学的研究も水資源や水収支の問題と組み合わせて考えることが早くからなされていた。東南アジア研究センターでも1966年にモンスーンアジアの水資源に関するシンポジウム³⁾が開かれ、土木、農業など多方面から集中的に論じられた。また久馬は降水と蒸発の相対関係を水収支の立場から数値的に表現する方法を開発して新しい気候区分について論じた。⁴⁾ さらに関口⁵⁾は植物に対する水収支の影響を論ずるためには降水や蒸発だけではなく、日射や気温が植物の水分消費に及ぼす影響を無視するわけに行かないことを指摘し、降水が多く、日射が大であれば植物は生育するとは簡単にいえないことを量的に示した。

近年、地球の寒冷化、異常気象の増加などが強調され、それに呼応して世界の水資源・食料の不足や人口問題がクローズアップされてきた。このような見地からのモンスーンアジアの気候の総合的な研究の一つとして吉野⁶⁾らの研究グループの成果がある。

この報告では次の第Ⅱ節で降雨特性を明らかにし、第Ⅲ節でこれらの降雨特性の生ずるメカニズムについての今までの研究成果を総合的批判的に論じ、第Ⅳ節ではこの報告の主目的である、この地方の降雨の変動についての解析結果を述べる。

表1 各地月降水量標準偏差/

No.	Station	No. of years	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
1	Chiang Rai	60	20.9/ 9.7 215%	14.0/ 9.2 152%	21.8/ 17.7 123%	44.9/ 66.7 67%	86.7/195.6 44%
3	Chiang Mai	60	16.1/ 7.0 230%	14.4/ 6.5 221%	22.6/ 15.6 144%	34.7/ 45.0 77%	87.9/149.4 58%
4	Uttardit	56	12.1/ 5.3 228%	18.1/ 9.6 188%	35.6/ 40.4 88%	54.7/ 66.3 82%	87.8/182.5 48%
6	Udon Thani	60	18.5/ 7.8 237%	23.9/ 18.7 127%	41.8/ 46.4 90%	62.7/ 88.8 70%	76.0/212.5 35%
7	Phitsanulok	59	15.1/ 7.0 215%	25.4/ 20.5 123%	37.2/ 35.0 106%	67.9/ 77.3 87%	96.7/167.4 57%
8	Nakhon Sawan	59	12.6/ 6.5 193%	38.1/ 23.8 160%	31.2/ 32.9 94%	43.5/ 65.0 66%	68.7/127.4 53%
9	Khon Kaen	60	22.3/ 8.8 253%	24.8/ 18.4 134%	35.3/ 35.2 100%	61.8/ 81.6 75%	127.1/191.4 66%
10	Ubon Ratchathani	60	5.7/ 1.8 316%	17.8/ 9.5 187%	50.0/ 37.6 132%	51.3/ 74.9 68%	104.0/183.2 56%
11	Nakhon Ratchasima		16.2/ 7.5 216%	49.9/ 36.0 138%	31.4/ 45.3 69%	53.7/ 85.3 62%	74.1/172.4 42%
14	Chanthaburi	60	25.1/ 18.8 133%	47.1/ 39.7 118%	51.8/ 67.8 76%	68.2/119.4 57%	145.6/326.8 44%
15	Bangkok	60	18.4/ 9.4 195%	37.4/ 29.5 126%	39.2/ 33.4 117%	70.0/ 81.8 85%	92.8/153.8 60%
16	Prachuap Khiri Khan	39	65.6/ 44.2 148%	53.5/ 53.2 100%	57.6/ 49.1 117%	52.9/ 55.7 94%	59.4/114.8 51%
17	Ranong	60	28.8/ 17.5 164%	31.6/ 18.7 168%	50.5/ 53.9 93%	130.5/178.7 73%	206.6/513.0 40%
18	Phuket	60	36.7/ 37.9 96%	35.3/ 29.0 121%	57.9/ 63.6 91%	79.3/139.6 56%	125.0/302.7 41%
19	Nakhon Si Thammarat	59	133.1/201.6 66%	94.9/ 75.2 126%	130.9/ 94.1 139%	87.7/132.3 66%	79.5/177.7 44%
20	Songkhla	60	120.7/147.5 81%	55.7/ 50.1 111%	68.3/ 63.7 106%	60.1/ 76.3 78%	58.6/104.3 56%
21	Kota Bharu Aerodrome	24	280.1/206.7 135%	75.7/ 84.2 89%	82.4/ 97.9 84%	76.5/ 79.2 78%	64.6/119.9 53%
22	Kuala Lumpur Airport	24	88.6/170.6 51%	106.0/169.0 62%	62.6/244.7 25%	82.4/299.4 27%	95.3/213.3 44%
23	Singapore	102	156.0/251.5 62%	112.9/177.4 63%	107.9/195.8 55%	82.8/189.1 43%	68.9/172.2 40%

中島：東南アジアの気候の特性について（２）

平 年 月 降 水 量 / 降 水 量 変 化 率 %

Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year
90.2/219.6 41%	85.8/289.8 29%	128.0/362.0 35%	113.1/271.7 41%	81.4/123.9 65%	43.3/ 49.7 87%	57.9/ 20.8 278%	353.3/1633.4 21%
65.7/138.5 47%	72.4/167.3 43%	77.9/228.7 34%	122.9/262.6 46%	81.0/138.7 58%	37.5/ 38.8 96%	18.9/ 12.8 147%	283.8/1201.4 23%
107.3/208.2 51%	76.7/208.2 36%	98.1/271.3 36%	126.6/300.3 42%	71.5/126.6 56%	23.4/ 18.2 128%	9.4/ 4.3 218%	265.3/1437.5 18%
95.5/219.7 43%	84.0/209.9 40%	114.2/247.0 46%	115.0/255.1 45%	76.6/ 77.8 98%	29.6/ 18.2 162%	19.9/ 5.5 361%	258.2/1406.6 18%
72.9/185.2 39%	96.7/216.5 44%	100.0/243.0 41%	123.0/287.0 42%	82.0/140.8 58%	42.5/ 32.4 131%	10.3/ 5.4 190%	295.2/1418.0 20%
52.3/125.1 41%	79.3/171.4 46%	64.6/169.3 38%	82.8/250.5 33%	92.2/156.2 59%	35.0/ 26.6 131%	12.0/ 4.4 272%	191.0/1131.1 16%
125.7/184.9 67%	91.9/155.9 58%	88.1/178.7 49%	129.4/276.2 46%	92.6/100.6 92%	37.2/ 16.6 224%	11.6/ 3.1 374%	451.0/1250.1 36%
86.6/210.1 41%	100.0/259.1 38%	111.5/294.5 37%	123.5/303.0 40%	91.0/113.2 80%	30.3/ 20.3 149%	7.7/ 2.6 296%	263.8/1520.7 17%
55.2/118.1 46%	60.7/119.7 50%	95.0/147.3 64%	89.1/241.7 36%	109.9/165.8 66%	40.4/ 33.7 119%	7.2/ 3.1 232%	264.7/1155.3 22%
184.2/492.3 37%	226.3/488.9 46%	185.0/470.6 39%	161.2/501.7 32%	153.9/252.5 60%	60.7/ 67.0 90%	22.1/ 14.0 157%	558.9/2786.8 20%
65.8/156.9 41%	71.2/166.4 42%	69.6/180.7 38%	94.0/305.4 30%	100.8/231.1 43%	45.0/ 54.0 83%	19.3/ 9.8 196%	245.4/1425.7 17%
50.1/100.0 50%	43.9/ 96.8 45%	40.5/ 89.7 45%	56.9/108.1 52%	130.3/243.7 53%	127.1/179.0 71%	62.1/ 37.4 166%	263.6/1141.8 23%
236.2/792.9 29%	269.5/766.8 35%	318.6/811.4 39%	295.1/817.5 36%	219.7/434.6 50%	102.0/179.6 56%	67.7/ 58.1 116%	876.4/4643.3 18%
109.0/281.7 38%	137.6/255.6 53%	110.3/271.6 40%	120.0/350.9 34%	148.4/333.4 44%	101.9/195.5 52%	42.0/ 71.2 58%	315.2/2329.0 13%
78.9/110.6 71%	83.2/101.5 81%	62.7/116.0 54%	81.8/153.4 53%	147.4/338.1 43%	318.8/591.3 53%	234.6/472.1 49%	583.5/2567.9 22%
77.8/102.0 76%	50.7/ 87.0 58%	55.0/ 89.1 61%	46.1/104.4 44%	152.7/307.2 49%	258.0/527.4 48%	217.9/411.0 53%	613.1/1984.5 30%
71.3/138.3 51%	72.6/139.3 52%	61.0/157.5 38%	82.8/191.6 43%	110.3/312.1 35%	310.1/677.3 45%	280.3/542.1 51%	495.2/2769.2 17%
59.5/132.9 44%	60.6/130.4 46%	69.8/161.5 43%	75.8/189.4 40%	92.4/266.9 34%	97.4/277.6 35%	104.8/241.3 43%	243.2/2498.7 9%
65.8/168.4 39%	81.9/160.3 51%	89.9/182.7 49%	68.5/167.5 40%	86.8/201.5 43%	91.9/252.6 36%	123.4/279.4 44%	392.6/2389.3 16%

I 降 雨 状 況

タイのマレー半島部を除く大部分は西、北、東の三方を山にかこまれていて、南方だけがシャム湾に向けて開いている。したがって南から暖湿気流の入りやすい夏季が雨季となっており、表1に示されるように大部分のところでは9月に最多雨月となっている。しかし図1によるとタイの最北部の山岳地域の Chiang Rai では8月が最多雨月となっている。図2のラオスの月降水量の年変化を示す図でも、山岳部近くのはほとんどのが8月に最大が現われている。いずれにしてもタイの大部分では乾季の月降水量は10 mm 以下のところが多く、最少雨月は12月の場合がもっとも多く一部では1月または2月となっている。このような乾季にかなりの降水があるのは熱帯低気圧が南シナ海から西進して入って来る場合である。タイの大部分の年降水量は1100~1500 mm で、北部の山岳地域とシャム湾の北東岸でやや多い。

タイ南部のマレー半島が細くなっている部分は南シナ海とベンガル湾、もっと大規模にみれば太平洋と印度洋を結ぶ地峡部となっていて変化に富んだ降雨状況を示している。表1にみられる通り、シャム湾西北部の半島の東岸にある Prachuap Khiri Khan (16) では冬のモンスーンの初期の10, 11月だけがいく分多雨で、北東モンスーンの最盛期の12月に最少月であるという面白い降雨状況を示している。北緯10°線上の西岸にある Ranong (17) は8月の月降水量が800 mm, 年降水量4500 mm 以上という多雨地点である。その南わずか150 km ぐらいの島にある Phuket (18) では年降水量がRanongの約半分、最多雨月も9月におくれている。それとほとんど同じ緯度の東岸にある Nakhon Si Thammarat (19) では両者の距離も100 km あ

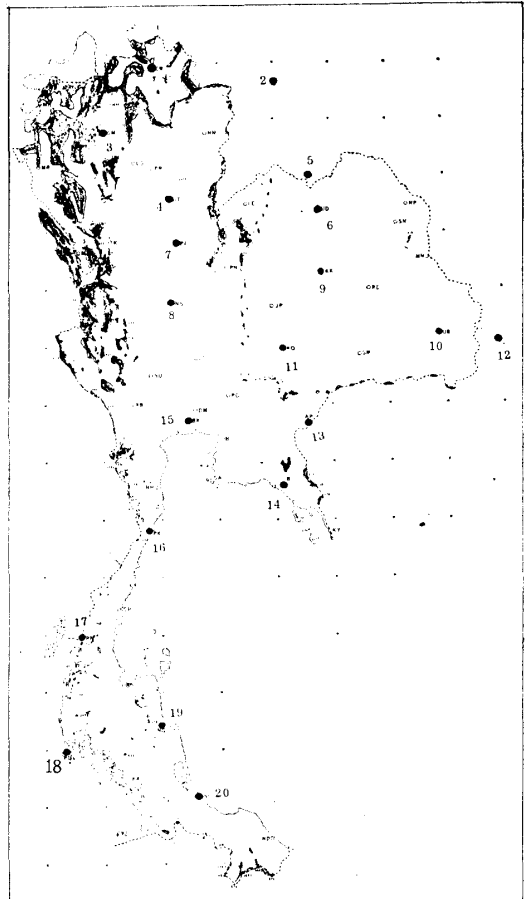


図1 タイの地図(影を施した部分は標高500 feet 以上)。図中番号は表1の地名の番号

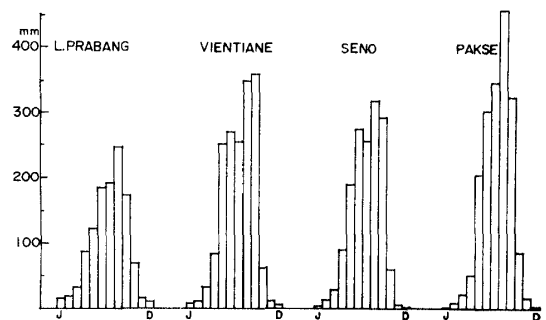


図2 ラオス各地の月降水量の年変化

まりで、間には標高 600 m ぐらいの孤立峯があるだけで降雨状況はすっかり異なっている。すなわち、最多雨月は北東モンスーンの11月であり、最少雨月の2月も 75 mm もの降雨がある。この年降水量は 2500 mm をこえているが、そのわずか 100 km ほど南の同じ東岸にある Songkhla (20) では年降水量が約 2000 mm で、年変化の傾向はだいたいおなじであるが、各月ともすこしずつ少雨となっている。

しかし、マレーシアに入って北東岸の Kota Bharu になると年降水量は再び増えて 2800 mm に近くなる。年変化の様子は上の2カ所とだいたい同じであるが、各月とも多雨で特に11月は

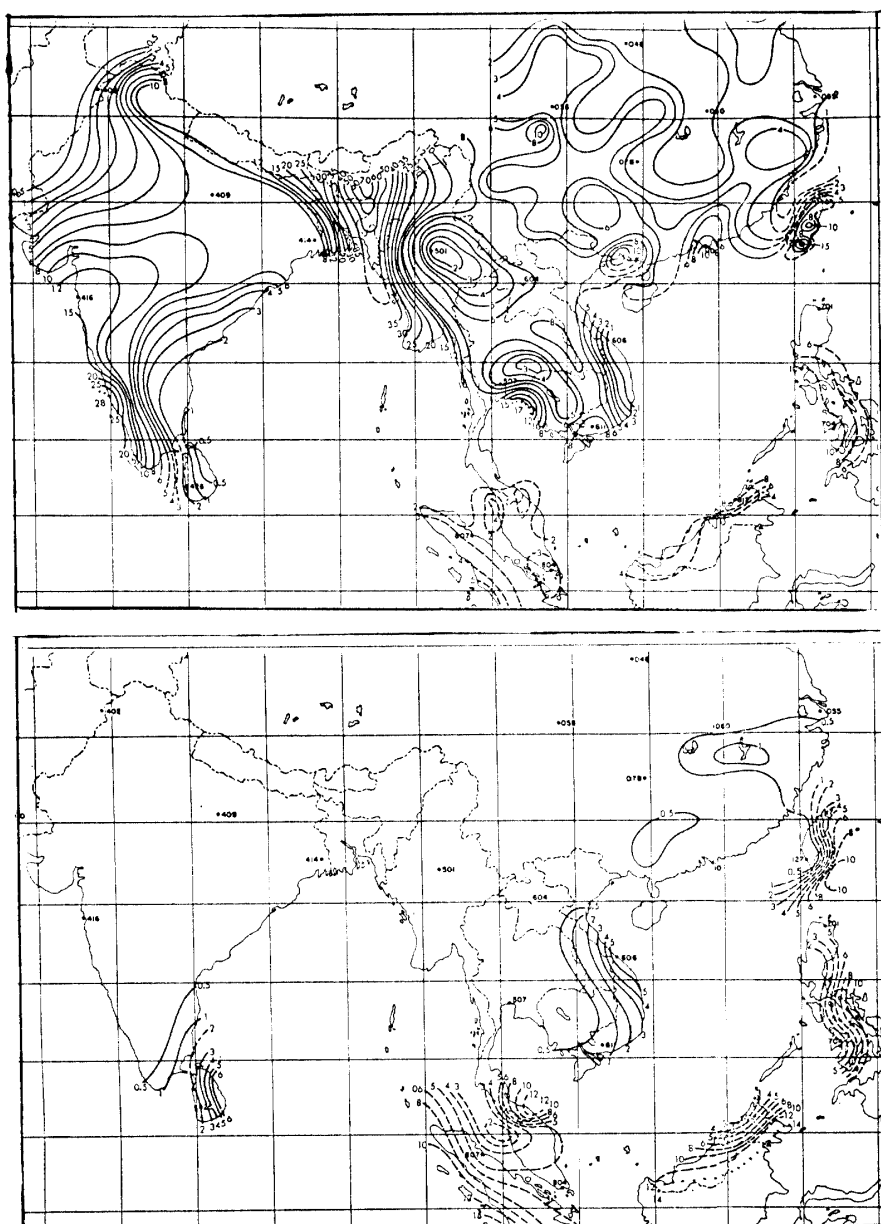


図3 7月（上）と12月（下）の80%確率雨量分布図（NOAA 原図）

650 mm をこえ、タイ西岸の Ranong の8月の 800 mm に近づいている。Singapore では年降水量は 2400 mm 近くまで減少し、最多雨月は1か月おくれの12月 (280 mm) となり1月から8月までは Kota Bharu より多雨である。月降水量の年変化がきわめて少なく最少雨月も7月ですっかり様子が異なっている。マレーシア南西部の首都 Kuala Lumpur は二山型の年変化をしており、最多雨月は4月 (299.4 mm) と11月 (277.6 mm) にあり、最少雨月は7月 (130.4 mm) と2月 (169.7 mm) にある。Singapore にも多少は二山型の傾向があるが北東モンスーンの影響が強く出ている。Kuala Lumpur は赤道地方特有の二山型がよりはっきり出ているとあってよからう。表1からもわかるように、この地方では降水量の年による変動が激しいため、平年降水量を計算する際に算術平均をすると、とび抜けて多雨の年の影響が大きく出る。したがって表1に示した平年降水量より多雨の年のほうが少雨の年よりも少なくなる。このためこの付近の降水量の目安を得るためには確率雨量を用いるほうが便利だと考えられるようになりいろいろの計算がなされている。

アメリカの NOAA⁷⁾ ではこの種の統計を広域にわたって行なっているが図3にはその報告書から7月と12月の80%確率の月降水量分布図を示した。これは、100年のうち80年はこの図に示されている降水量より多く降らないという値である。この統計では長さの単位として 1 inch = 25.4 mm が用いられているので原図のままの単位を用いてある。夏のモンスーン期にあたる7月の分布図を見ると、シャム湾北東部のタイとカンボジア国境付近が 17 inch (432 mm) と多く、タイとビルマの国境やラオス北部付近もやや多い値が示されている。マレーシア北西部には 4 inch (102 mm) ぐらいの極大値がみられる。この図の計算の基になった地点数が少ないため、上述のタイ、マレー国境付近の細かい状況はあまり表現されていない。一方、12月の分

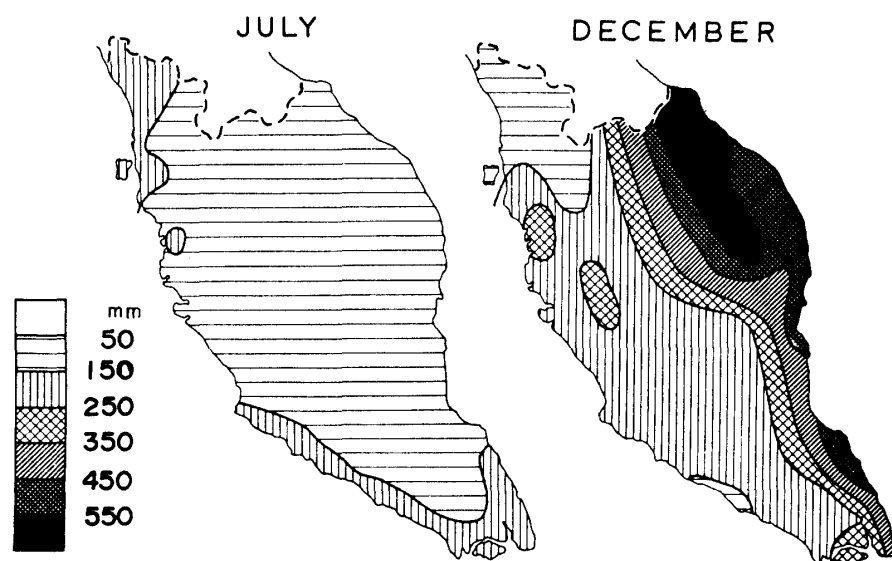


図4 マレー半島の7月と12月の50%確率雨量分布図 (S. Nieuwolt 原図)

布図では、マレーシアの北東部に 12 inch (305 mm) ぐらいの極大値が現わされているが、この場合もマレー半島各地の分布の細かい点はよく表現されてはいない。しかしマレー半島については、さらに多く41地点の資料を用いて計算された確率雨量布図⁸⁾がマレー気象台とシンガポール大学の共同で計算されている。ここにはその中から12月と7月の50%確率の図だけを図4に転載する。月降水量がこの値より多い年と少ない年が同数になる値の分布図である。表1の Kota Bharu, Singapore, Kuala Lumpur の月降水量の値と比較するとそれほど大きな差はないように思われる。しかし表1で標準偏差が 100 mm をこえているような地点と月では算術平均のほうがこの分布図より低く出てくる。

以上で年降水量や月降水量について概観したので、次に日降水量の様子について述べる。まず、図5は1971年の1年間の日降水量の変化をラオスの Vientiane とマレーシアの Kota Bharu と Kuala Lumpur および Singapore についてグラフにしたものである。表1を用いて説明した平年の年変化の状況と大差はないが、かならずしも平年の年変化と一致していない。各地点について共通にいえることは、雨季にはほとんど連日降雨があることである。しかしこの雨は日本の梅雨のような雨ではなく、「夕立三日」という感じの雨であって降雨日数が多いのに日射量も大である。

マレー半島については多くの地点について、15, 30, 45分間、1, 2, 3, 4, 5, 6, 12時間および1, 2, 3, 4日間の降水量の過去30年間の極値が発表されている。⁹⁾表2にはこの資料を mm 単位に直して一部を転載した。原文にはその出現年月日も記入されているがここでは月のみにと

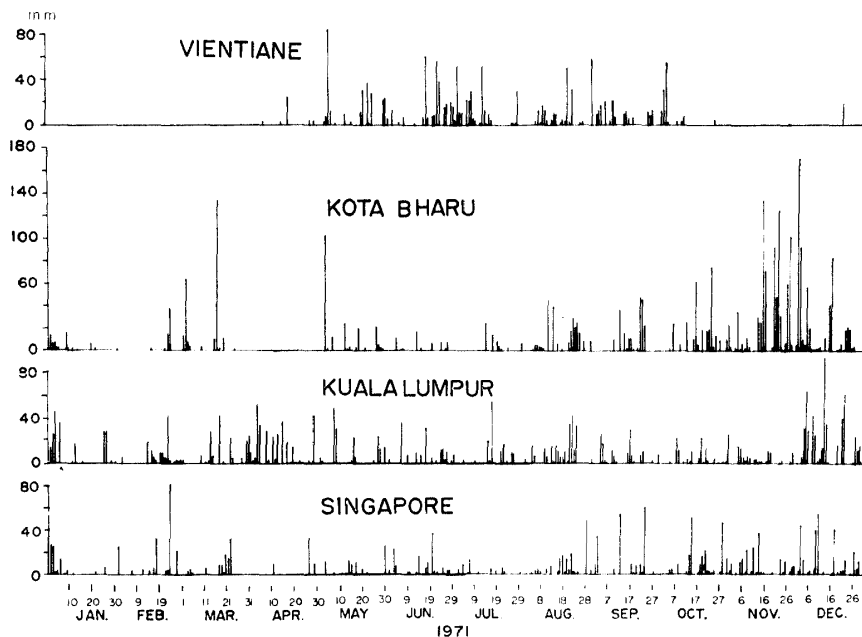


図5 ビエンチャン（ラオス），コタバル，クアラルンプール（マレーシア），シンガポールの1971年の日降水量変化

表2 マレー半島各地 15分～96時間降雨

No.	Location	No. of years	Duration (Hours)	1/4	1/2	3/4	1
1	Alor Star	32	Amount	38.1	58.4	77.7	87.1
			Month	Apr	May	May	June
2	Bayan Lepas	25	Amount	41.9	54.1	70.6	97.5
			Month	Nov.	Nov.	May	May
3	Ipoh Aerodrome	21	Amount	48.3	75.7	92.5	101.6
			Month	Jan.	May	May	Feb.
4	Sitiawan	31	Amount	50.8	63.8	77.7	84.3
			Month	Nov.	Mar.	Nov.	Aug.
5	Kuala Lumpur	29	Amount	50.8	76.2	91.4	111.8
			Month	Feb.	Nov.	Feb.	Feb.
6	Port Swettenham	9	Amount	38.6	58.2	71.1	75.7
			Month	Mar.	Mar.	Mar.	May
7	Malacca	32	Amount	44.2	81.3	101.6	115.6
			Month	Nov.	June	June	June
8	Kuala Lipis	21	Amount	33.5	50.8	68.1	88.1
			Month	Aug.	Sep.	Sep.	Sep.
9	Fraser's Hill	21	Amount	25.7	49.0	68.8	73.2
			Month	May	May	May	May
10	Temerloh	19	Amount	30.5	58.4	83.8	103.4
			Month	May	May	May	May
11	Kota Bharu	30	Amount	43.2	66.5	84.3	99.6
			Month	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.
12	Kuala Trengganu	30	Amount	45.2	66.5	75.9	98.6
			Month	Oct.	Sep.	Sep.	Sep.
13	Kuantan	17	Amount	42.9	67.1	94.0	106.7
			Month	Dec.	Apr.	Sep.	Sep.
14	Kuala Pahang	13	Amount	46.0	63.0	70.6	87.4
			Month	Mar.	Mar.	Mar.	Oct.
15	Mersing	31	Amount	45.7	58.7	74.9	87.4
			Month	Sep.	June	Sep.	Dec.
16	Kluang	12	Amount	35.6	56.9	68.1	68.9
			Month	Mar.	Mar.	Mar.	Nov.
17	Old Kalang Airport and Paya Lebar Airport	24	Amount	48.3	65.5	99.8	120.1
			Month	Oct.	July	July	July
18	R.A.F Changi	6	Amount	31.8	63.2	94.7	126.5
			Month		Apr.	Apr.	Apr.
19	R.A.F. Tengah	6	Amount	27.7	55.1	68.8	71.9
			Month		Apr.	Apr.	Apr.

中島：東南アジアの気候の特性について（２）

強度極値およびその出現月（単位mm）

2	3	4	5	6	12	24	48	72	96
105.4	110.7	118.9	131.6	147.1	165.6	166.1	175.5	212.3	243.3
Sep.	Sep.	Nov.	Nov.	Nov.	Mar.	June	Nov.	June	June
130.8	158.2	160.5	163.3	167.1	229.1	294.6	358.1	395.7	432.8
Apr.	Apr.	Apr.	Apr.	Apr.	May	Oct.	Oct.	Oct.	Oct.
106.7	115.3	120.1	120.7	120.7	120.7	131.1	167.6	182.1	224.0
Feb.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Mar.	Oct.	Apr.	Apr.
119.4	142.5	151.1	155.2	156.2	168.7	200.2	227.8	248.4	254.8
Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Oct.	May	May	May	May
125.0	128.0	129.5	129.5	129.5	129.5	130.3	166.9	178.3	227.8
Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Oct.	Feb.	Oct.	May
89.2	119.1	126.5	126.5	126.5	126.5	126.5	158.5	158.8	159.8
June	June	June	June	June	June	June	July	July	July
132.1	154.4	156.2	163.3	166.4	171.2	181.6	216.4	239.5	264.7
June	Aug.	Aug.	Oct.	Oct.	Oct.	Dec.	Oct.	Dec.	Oct.
94.7	105.7	105.7	105.7	105.7	112.5	159.3	215.9	244.6	267.7
Sep.	Sep.	Sep.	Sep.	Sep.	May	Dec.	Dec.	Dec.	Nov.
90.2	99.1	106.2	108.7	108.7	110.5	172.0	205.0	257.0	294.1
Nov.	Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Feb.	Oct.	Jan.	Oct.	Jan.
134.4	174.2	194.6	201.9	202.7	218.4	229.6	257.8	267.0	276.6
Oct.	Oct.	Oct.	Oct.	Oct.	Oct.	Oct.	Mar.	Mar.	Mar.
142.2	195.1	245.9	270.5	293.4	320.8	358.4	567.2	653.0	718.6
Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.
139.2	170.2	194.3	235.7	251.0	343.2	481.3	658.6	829.8	934.7
Jan.	Jan.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Jan.	Nov.	Nov.	Nov.
131.6	142.5	162.1	198.9	206.0	232.4	295.4	430.0	491.0	500.4
Sep.	Sep.	Jan.	Jan.	Jan.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.
133.1	160.5	175.8	185.7	212.6	250.2	348.0	485.1	635.5	703.3
Oct.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.
140.7	186.9	227.3	263.7	287.8	353.8	433.1	505.7	547.1	549.9
Dec.	Jan.	Jan.	Jan.	Jan.	Jan.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.
91.4	104.6	109.7	110.2	110.5	164.1	218.7	277.1	283.0	298.7
Mar.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Mar.	Mar.	Mar.	Mar.	Jan.
147.1	148.3	148.3	148.3	158.2	225.8	278.9	297.9	353.1	364.7
July	July	July	July	Feb.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.
148.6	149.1	149.1	150.1	160.0	270.0	327.7	350.0	386.1	399.0
Apr.	Apr.	Apr.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.
97.5	103.4	115.1	121.7	125.2	159.5	221.0	243.1	288.0	299.0
Nov.	Nov.	Feb.	Feb.	Feb.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.

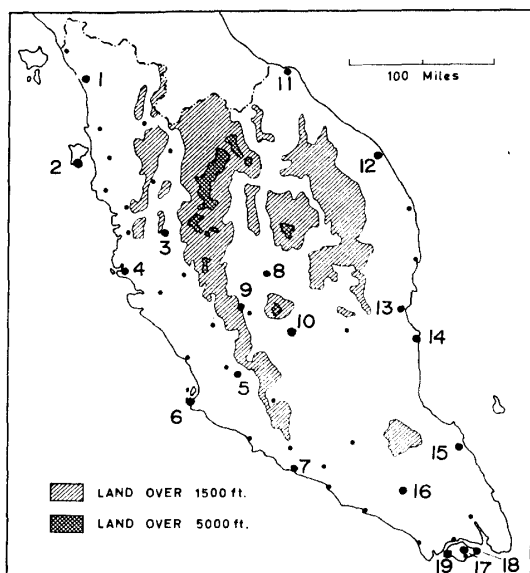


図6 マレー半島の地図，図中番号は表2中の各地点の番号

どめた。図6はマレー半島の地形図であり表2中の各地点の番号がだいたい西岸を北から南へ，ついで東岸を北から南へつけてある。

表2で15分間降水量の極値をみると，50.8 mm とかなり大きい値であるが，これは雷雨性の強い雨によるものである。この値が45 mm以上の地点の日降水量の極値をみると必ずしも多いとは限らない。日降水量の極値が出現する月は最多雨月とだいたい一致するが，15分間降水量の極値が出現する月は地点によって異なり，ほとんど一年中にばらついている。時間降水量の極値はSingapore 付近の126.5 mmであり，日本の記録と大差ない。この値が100 mmをこえている地点をしらべてみると，ほぼ15分

間降水量の極値の発現地と一致しているが，日降水量の大きいところとの一致の度合はそれほど大きくない。3時間降水量の極値は195.1 mmであるが，その極値の比較的高いところをみるとまだ必ずしも日降水量の極値との相関は大きくなく，その発現月も最多雨月とは限らない。

6時間降水量の極値の最大は293.7 mmで，5～6時間降水量になるとはじめて極値の出現季節が冬季に限られてくる。最多雨月が春にあるマレー半島南西部でも，6時間降水量の極値が冬季に現われるのは興味深い。日降水量の極値の最大は481.3 mm，3日降水量のそれは934.7 mmである。ここで注意すべきは，Singapore 付近では数時間から日降水量までの極値はなかり高いのに，3～4日の降水量となると下位に落ちてしまうことである。これは，このような南のほうまで北東モンスーンの軸が南下して定着することが少ないためであろう。

以上は降雨の集中性について統計的に論じたが，次に具体例を示そう。図7はG. T. Liang¹⁰⁾の解析による1955年11月から12月にかけての毎日マレー半島東岸のKota BharuとKuantanの日降水量の変化グラフである。両者の南北の距離は約250 kmである。降水日はだいたい対応しているが，両者の日降水量の相関はきわめて低い。例えば，11月25日頃にKota Bharuで150 mm

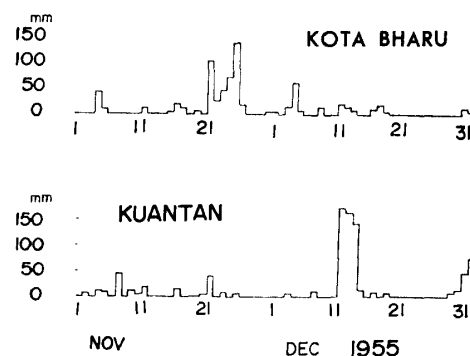


図7 マレー半島東岸のKota BharuとKuantanとの1955年11月から12月へかけての日降水量の変化 (G.T. Liang 原図)

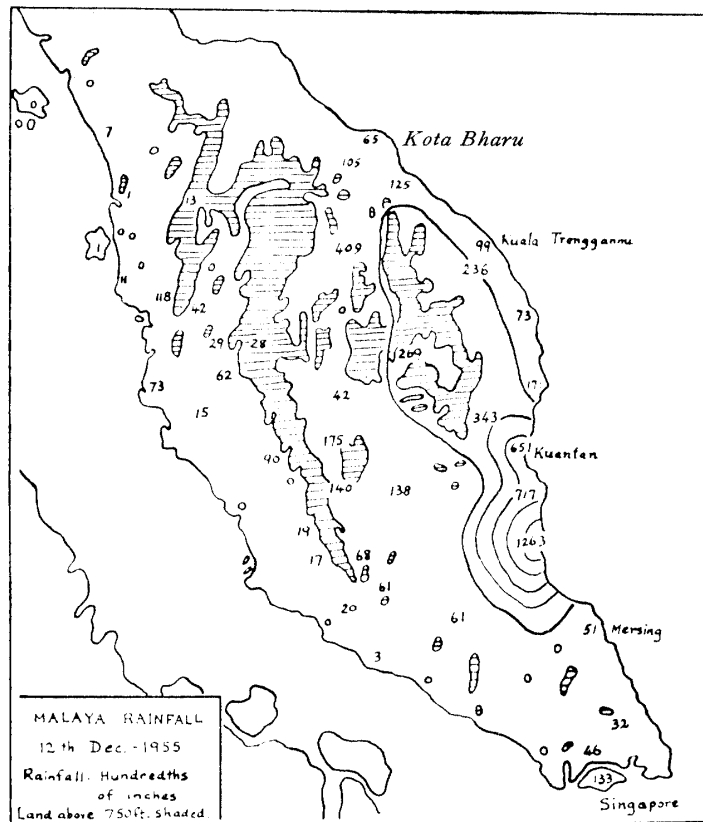


図8 1955年12月12日マレー半島日降水量分布図（G.T. Liang 原図）

程度の日降水量があったが、Kuantan では 10 mm にもみたくない。逆に、12月の12日頃には Kuantan で 150 mm 程度の日降水量が3日間つづいたが、その日の Kota Bharu の日降水量はその10%程度である。図8はこの後者の12月12日の日降水量分布図をこの論文から転載したもので降水量は 1/100 inch の単位で記入されている。この図を見ると、12日の大雨の中心は Kuantan よりさらに 50 km ほど南にあり、最大日降水量は 321 mm (12.63 inch) に達し、Kuantan の値の約2倍である。この図で、日降水量 100 mm 以上の範囲は 100 km×50 km ぐらいときわめてせまいことがわかる。

次に、北東モンスーンによる大雨が長時間集中した例を示す。既に表2で、Kota Bharu で

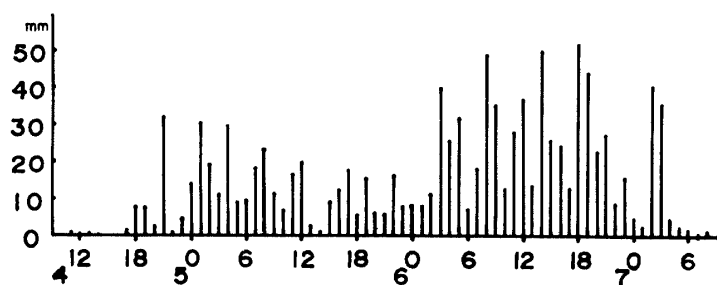


図9 1967年1月4～7日の Kota Bharu の毎時降水量の変化

は3～4日の総降水量もきわめて大であることを述べたが、表2の統計期間より後の1967年1月4日午後から7日の朝にかけての3日間の総降水量は1083 mm という驚くべき値となった。表2では653.0 mm であったことを考えるといかに大きい値であるかがわかる。あるいは世界的な異常気象の一つのあらわれかもしれない。6日7時から7日7時までの日降水量も553 mm に達し、表2の358.4 mm をはるかに抜いている。図9は4日から7日にかけての毎時降水量をグラフにしたものである。この図から時間降水量の最大値は約50 mm で、表2中の過去の極値99.6 mm の約半分であることがわかる。したがってこの大雨は時間的の集中性よりもその持続性に特色があるといえる。

II 大雨のメカニズム

大雨のメカニズムを考える前にまず地理的な条件を考えなければならない。タイの北部は20°N 付近にあり、インドシナ半島の南部とマレー半島のもっともくびれたところがだいたい10°N ぐらいに相当し、マレー半島の最南端は赤道に近い。南北10°以内の赤道地方では地球回転の影響がすくなく渦度が発達しないので降雨は、主として気流の収束、対流不安定、地形の影響による。しかし10°N より北のタイではこれらのほかに低気圧の発達による大雨が問題となる。

また、この付近の複雑な海岸線の形状も降雨分布に大きな影響を与えている。スマトラ島とインドシナ半島の存在は夏冬両方のモンスーンにとって遮断効果が著しい。タイ南部からマレー半島にかけての降水量の年変化にその影響が大きく出ていることは前節で既に述べた通りである。また既述のようにタイ北部では山岳性降雨が見られるが、低緯度では山より海岸線の存在がなかり大きな役割を果たしている。すなわち潜在不安定の解消に役立っているといえよう。また、周囲が海洋に恵まれていることから、海洋上での気団変質が今後研究されるべき重要な課題である。

上にも述べたように、低緯度では気流の収束と不安定および地形効果が大雨の主原因である。気流の収束は一種類の気流中でも起こり得るが、異なった気流系の境界に生ずることが多い。低緯度で考えられる主要な気流として、北半球からの北東貿易風と南半球からの南東貿易風があり、これらは多少その方向を曲げることはあるが、両者の合流するところがITCZといわれている。これは夏は北半球側に冬は南半球側に移動し、したがってこれに伴う降雨帯も南北に移動する。さらにこの間に赤道偏西風帯が割りこんできて、これと貿易風との間に収束帯が生ずる場合がある。いま問題にしている地域では、冬はこの北東貿易風と北東モンスーンが、また夏は赤道偏西風と南西モンスーンが合流する。

前節で1955年12月12日のKuantan 付近の大雨の例を示したが、ここに同じ著者の解析によ

る12日12時の 7000 ft の流線図を図10に示す。Singapore 付近を東西に走る破線を界にして、北側の偏東風と南側の偏西風とがわかたれている。彼は1953～1958の年の6年間にマレー半島東岸のいずれかの地点で日降水量が 150 mm 以上になった日の流線解析を行なった結果、このような大雨の起こる条件として次の2条件をあげている。

- (a) 北東貿易風がグアム島からセイロン島まで帯状に延びていて、その幅はだいたい 10° 、最大風速は 15 kts 以上。
- (b) 赤道偏西風が南側にはっきり現われて、前者との境界線が大雨地域の上か少し南に存在する。

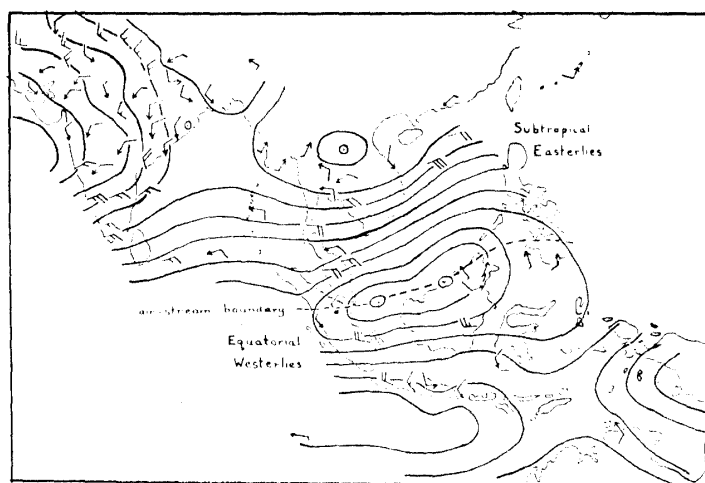


図10 1955年12月12日の 7000 feet 流線図 (G.T. Liang 原図)

このように北東モンスーンの発達と北東貿易風の発達とは相まって起こるもので、マレー半島東岸の大雨時は雲の帯がはるか太平洋のグアム島付近まで延びていることが知られた。Depperman (1936)¹¹⁾ は北東気流の大雨に関連した急激な発達をシベリア大陸での高気圧の発達と結びつけて“Surge of the trades”と呼んだ。Surge ということばは夏のモンスーンの場合にも用いられている。G. T. Liang はこのような大雨の予報則として Hong Kong の地上気圧が 1020 mb 以上でかつ過去24時間の気圧上昇がみられることを提唱し、また北東気流自身は Saigon の 7000 ft の気流がよい目安となるといっている。また、南シナ海の $9^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ と $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ の間に熱帯低気圧がある時はこの北東気流が妨げられて大雨とはならないという予報則も示している。

マレー半島東岸の雨が最大になる月は 10°N 付近では10月頃であるがマレー半島南端では12月と次第に南へ遅れていくことは既に述べた。陳¹²⁾ は Singapore が大雨になる時は北東気流軸が南下するだけでなく北北東に転ずる場合であることを統計的に示した。

1969年の12月9～10日にかけてシンガポール島の北部を中心として48時間降水量が約 500 mm という、表2に示された極値をはるかに上まわる大雨があり、特に9日15時から10日3時

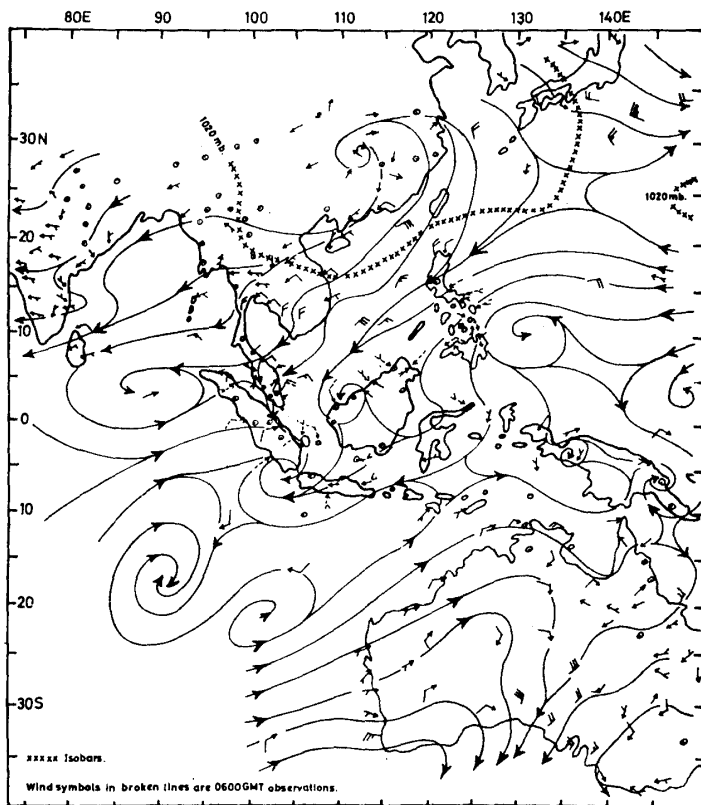


図11 1969年12月9日0001 GMT
の地表流線図 (T. Suan-
foon 原図)

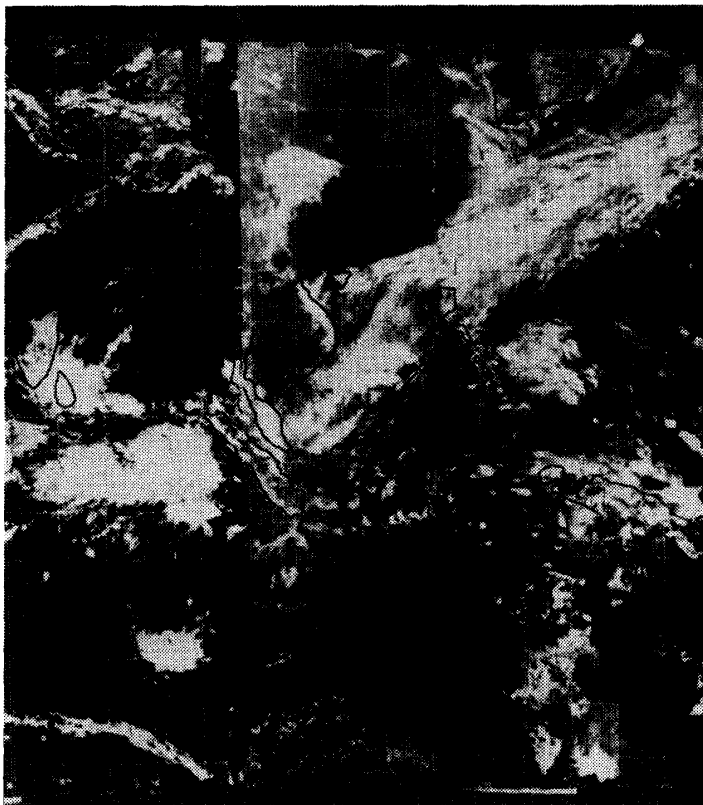


図12 図11と同じ日の気象衛星
ESSAのAPT受画写真の
モザイク(同じ著者による)

頃までの夕方から夜に降雨が集中し、日降水量は Gumbel 確率で 3000 年に一度という記録的な大雨となった。シンガポール気象台の T. Suan-Foon¹³⁾はこの時の状態を解析して上層には発散が、地表付近にはせまいが強い収束のあったことを示した。ここには彼の解析した図のうち 12 月 9 日 0001 GMT の地表流線図と気象衛星 ESSA 9APT 写真のモザイクだけを図 11 と図 12 に示す。図 11 の上部には中国大陸の高気圧の周辺が 1020 mb の等圧線で示されているが、彼の解析によれば 9 日から 10 日にかけてこの高気圧はもっとも南へ張り出し、またベンガル湾南部にある低気圧の南側の西風が赤道偏西風の強化に役立ち、したがってマレー半島部の収束にも役立っていると述べている。気象衛星写真は南シナ海の帯状の雲がはるか北東海上から延びていることを示している。

タイやラオスでは熱帯低気圧も降雨に密接な関係を持っていることは先にも述べた通りである。図 13 は 1947 年から 19 年間の熱帯低気圧の経路を 3 カ月ごとにまとめて示したものである。12 月から 2 月までは数は少ないが、乾季にあたっている地方では貴重な雨となる一方、タイ南部では被害が発生することもある。3 月から 5 月にかけても発生数はきわめて少ない。日本付近では台風発生数は 8 月がもっとも多いが、このようにインドシナ半島付近を西進する熱帯低気圧の最盛期はさらに遅れて 9 月以降となる。タイの大部分で月降水量の最大となるのが 9 月であることは既に述べたが、これにはモンスーン以外に熱帯低気圧も関係していることがわかる。しかし低気圧の中心が大雨というよりはむしろ低気圧の存在がモンスーンの風向を変えたり、強めたりする効果が大きいことに注意しなければならない。また西進する熱帯低気圧は日本へ来るものと異なって主として南シナ海で発生することが注目される。

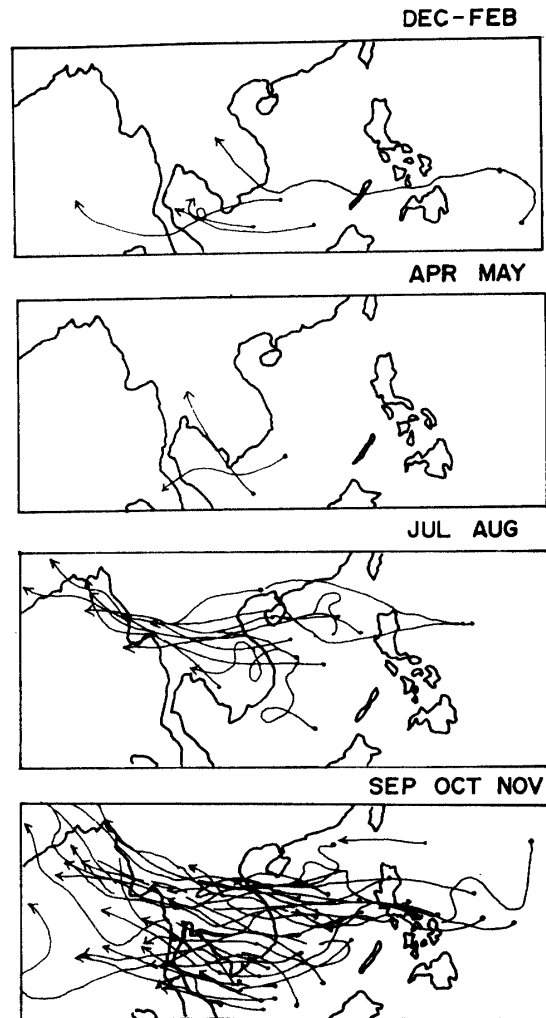


図 13 東南アジアを西進する熱帯低気圧の進路図(上から 12～2 月, 3～5 月, 6～8 月, 9～11 月, 黒丸は発生地点) 1947 年から 19 年間の資料による

III 降 雨 の 変 動

この地域は年から年への降雨量の変動が大変大きい、まず一例を図14に示す。図は1910年から1970年までの8月と12月の月降水量を示しているが、雨季にあたる8月の変動は驚くべきものがある。8月の平均値は812mmであるが最多年と最少年との差は1500mmにも達し、標準偏差にしても300mmをこえている。特に1930年から10年ほどの間の変動は著しい。ではこのような変動はこの地域で互いに相関を持て起こっているのかという決してそうではない。図15は Kota Bharu と Singapore の約20年間の12月の月降水量をグラフにしたものであるが、だいたいにおいてその変化は逆相関を持っている。これは、北東モンスーンによる雨が北にかたよれば南は降らず、南にかたよれば北は降らないということで説明できる。

このように東南アジアでは降水量の年から年への変動が激しいので米作その他の産業にとっ

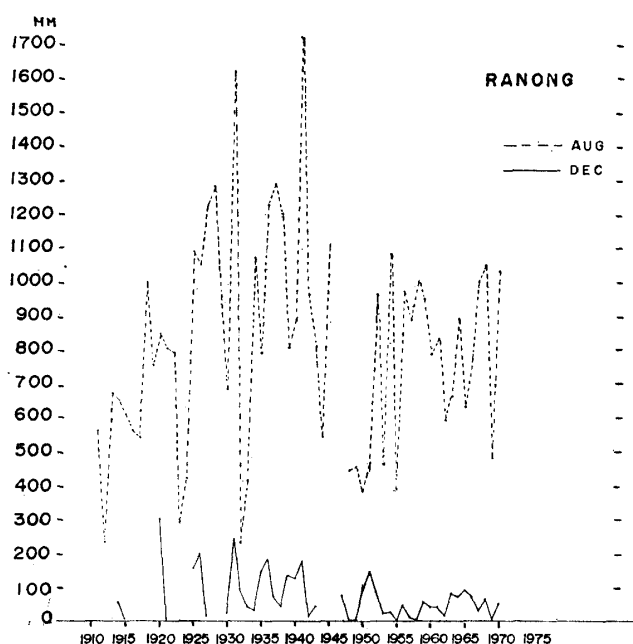


図14 Ranong の8月(点線)と12月(実線)の月降水量の経年変化

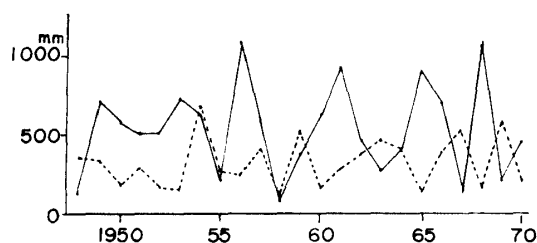
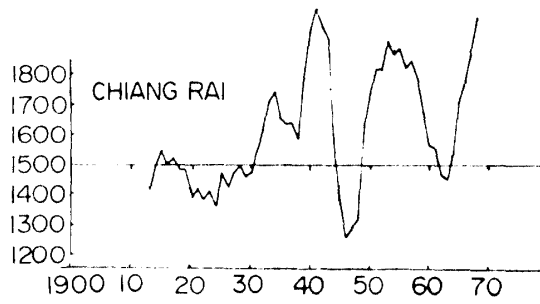


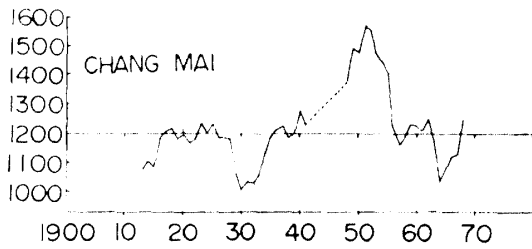
図15 1948~70年の Kota Bharu (実線)と Singapore (点線)の12月の月降水量の経年変化

て重大な関係を生ずる。そこでその変動の度合を示す方法がいろいろ考えられ、最大と最小の差をとったり比をとったり、標準偏差をとったりして多くの研究者が表現に努力している。しかし実際にはなかなかむづかしい。その原因の一つは年々の降水量の分布が正規分布をしていないことである。特に乾燥地方では下限は0mmでおさえられているのでその付近に資料が密集し、大きい値のほうはかなりの値が時々発生するから困る。そのために降水量の三乗根をとったりしてその分布の正規化をまずはかることなども考えられている。三重大学の水越は吉野編集の本⁶⁾の中で「モンスーンアジアにおける降水量の変動率」という報告を書いている。そこでは1931~1960年の30年間の資料を用いて東南アジアから南アジアにかけての1, 4, 7, 10月の月降水量と年降水量の標準偏差を計算し、それを年平均降水量で割って%であらわし、これを

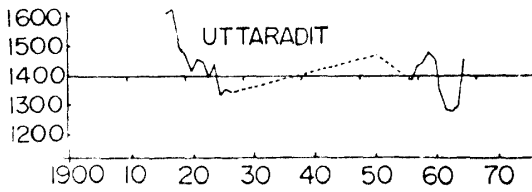
中島：東南アジアの気候の特性について（2）



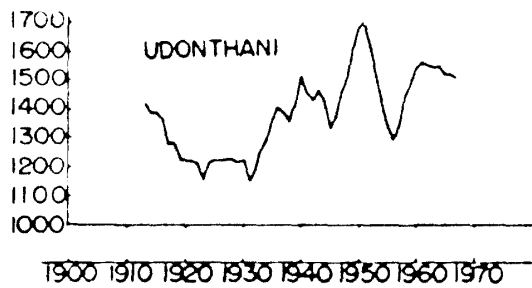
1



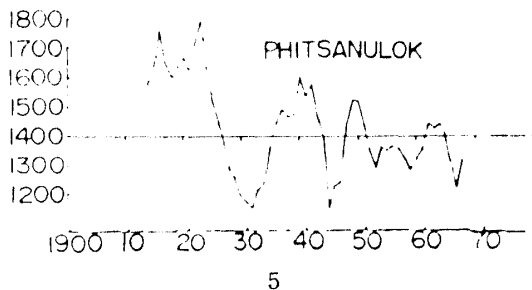
2



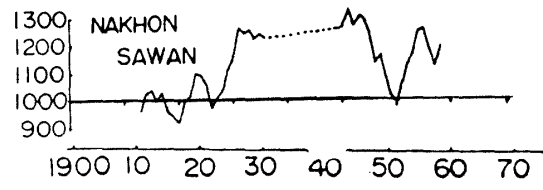
3



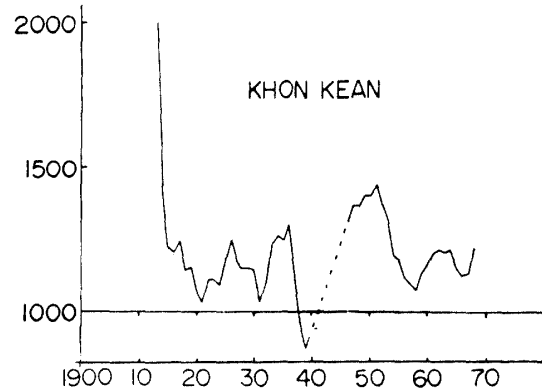
4



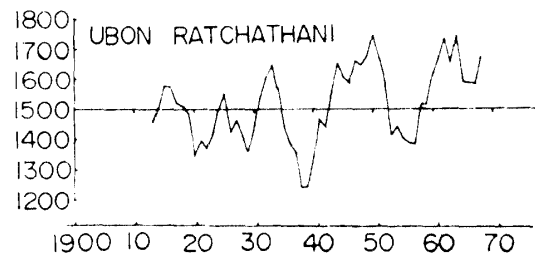
5



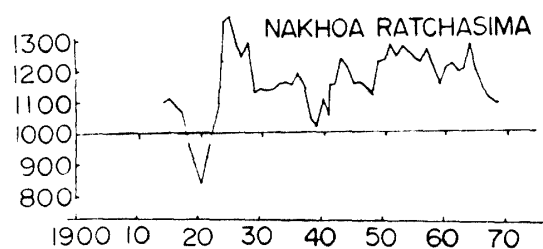
6



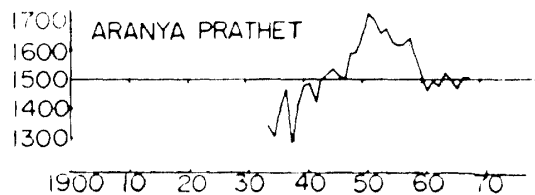
7



8



9



10

図16-1～10 各地年降水量の経年変化（5年移動平均，地点の位置は図1，表1参照）

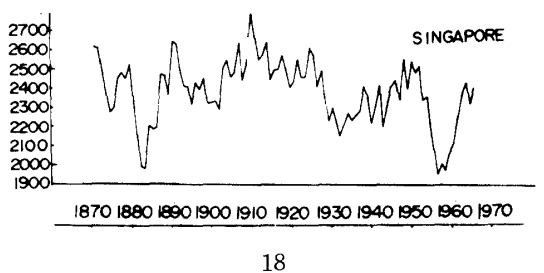
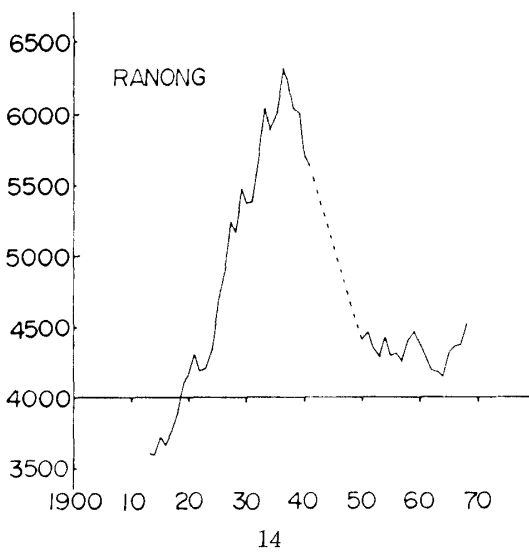
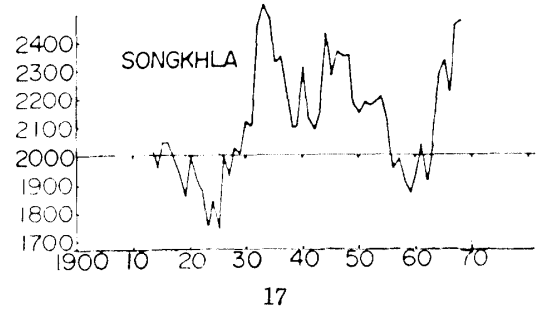
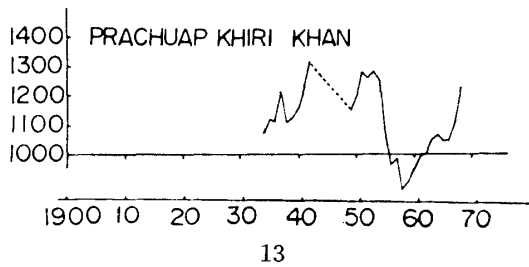
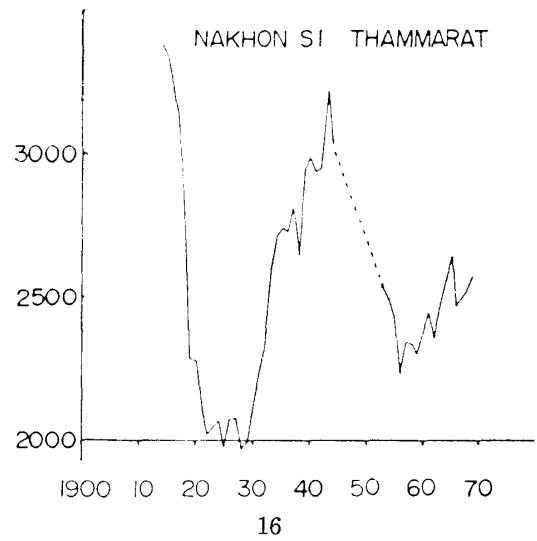
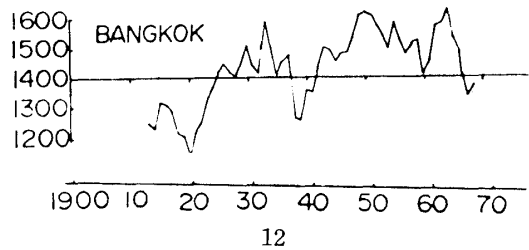
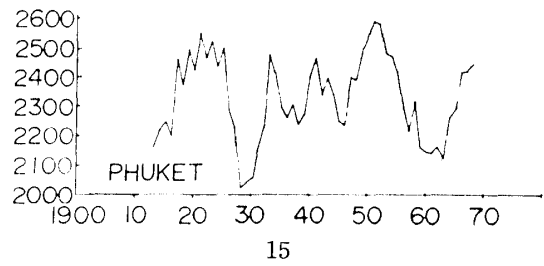
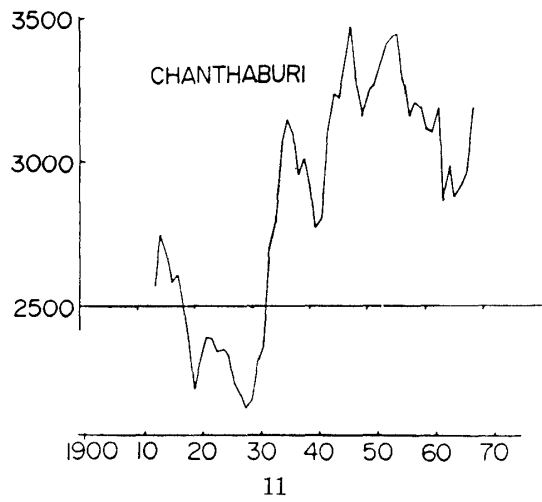
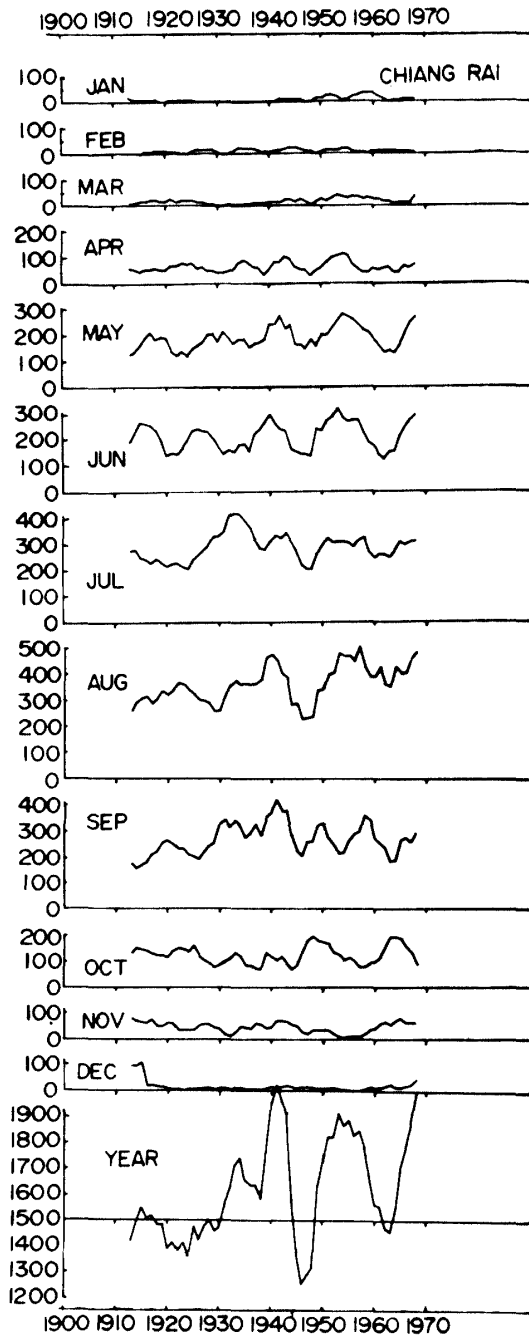


図16-11~18 各地年降水量の経年変化（5年移動平均，地点の位置は図1，表1参照）

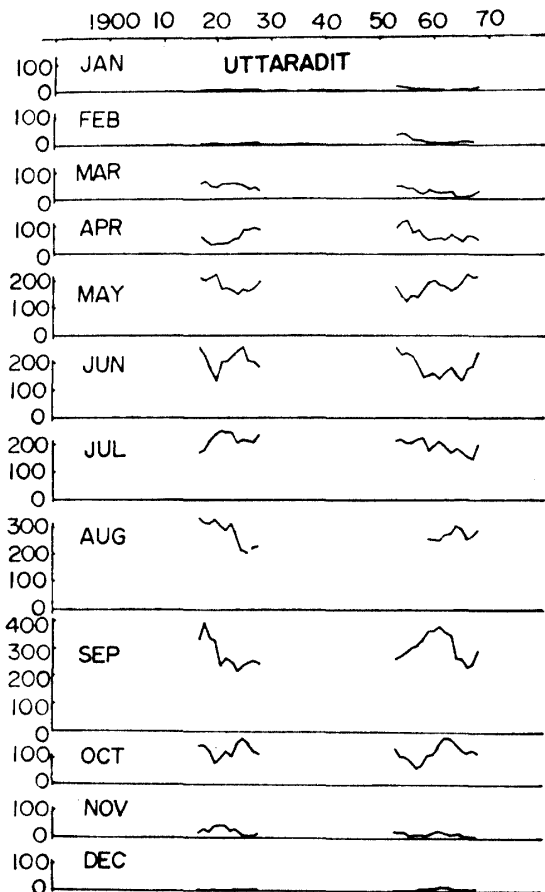
降水量の変動率と名付けてその分布図を画いている。標準偏差そのものであれば多雨地帯で大きな値となり、また平均降水量で割るとこんどは乾燥地帯で値が大きくなりすぎるような欠点はあるが、比較の意味もあり、この報告でも、より多くの年数と地点についておなじ計算を行った結果を表1に示した。

図16には各地の年降水量の5年移動平均値をグラフで比較して示した。マレー半島だけでな



1

図17-1 ~16 各地月降水量の経年変化
(5年移動平均)

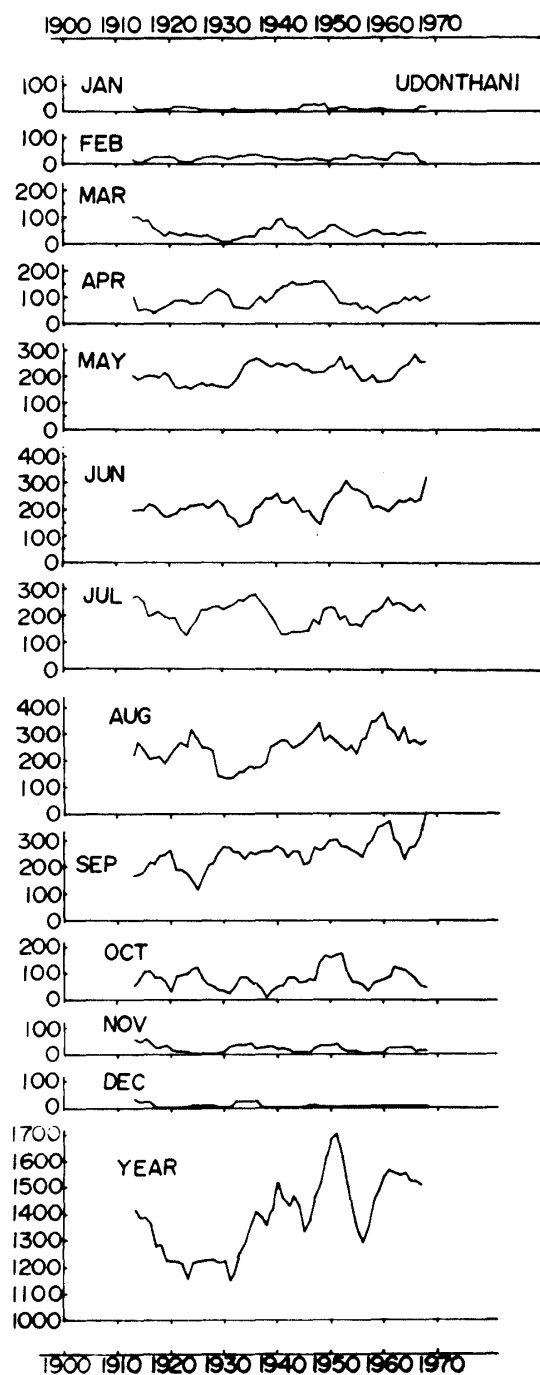


2

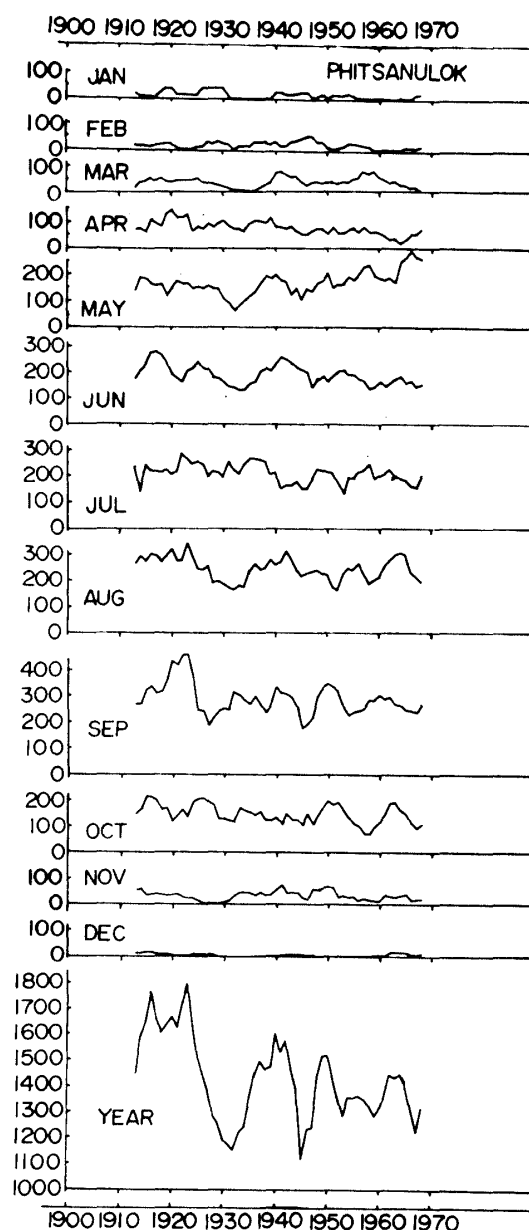
く、タイの北部でも 100 km も離るとすっかり異なった変動を示す場合が多いことがみられる。

既に述べたように、この地方では夏に雨の多いところと冬に雨の多いところとがあるので、図17には月ごとの値についてやはり5年移動平均値の変化の推移をグラフにした。以上の表や図から見られる二、三の特色について北のほうから順に簡単なコメントを述べてみる。

1. Chiang Rai タイの最北部に近い観測点で、年降水量は平野部よりやや多く、最多雨月



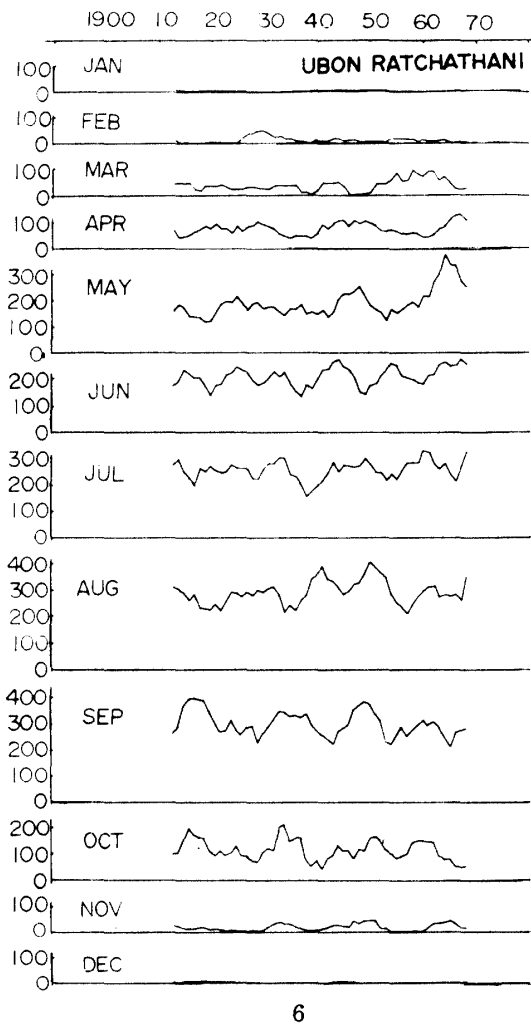
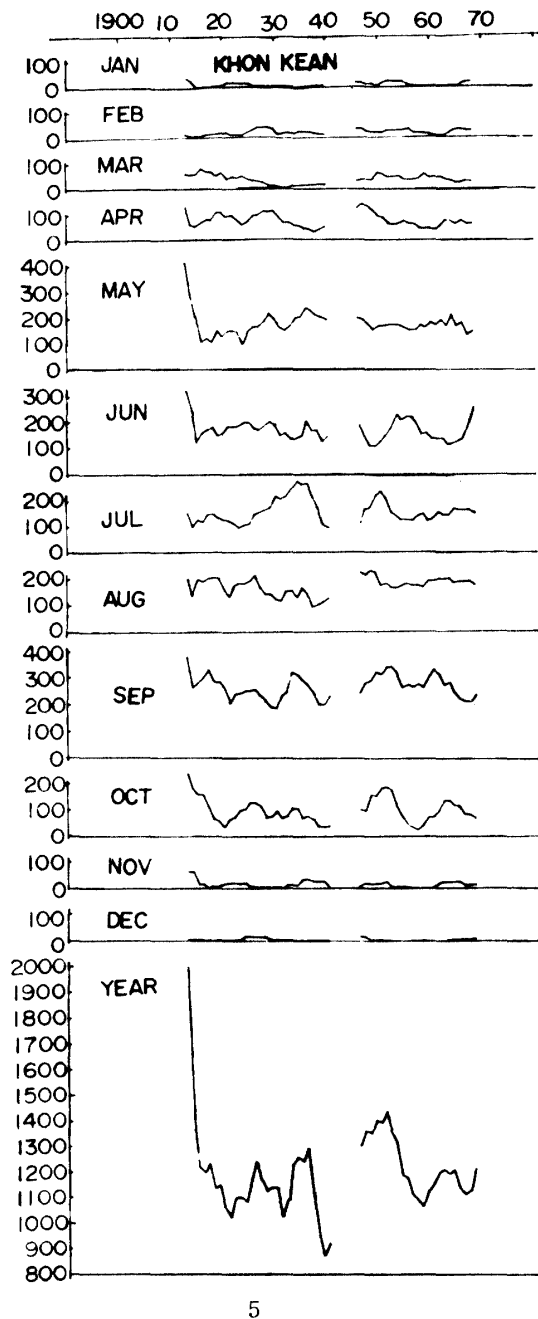
3



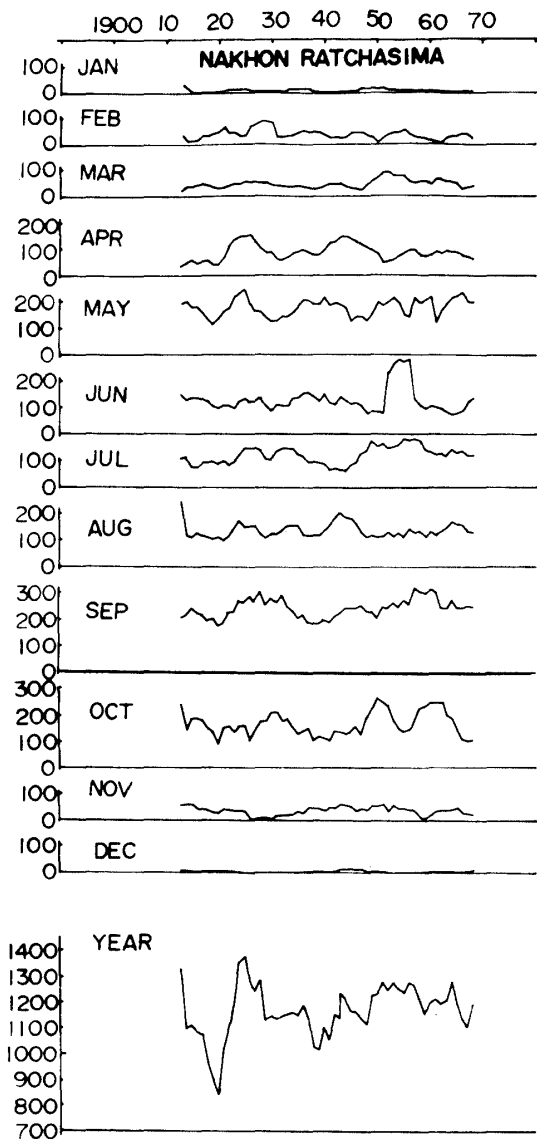
4

の8月の変動率は35%で最少雨月の2月の変動率は152%である。年降水量は変動しながらも全体として最近70年間増加の傾向にある。

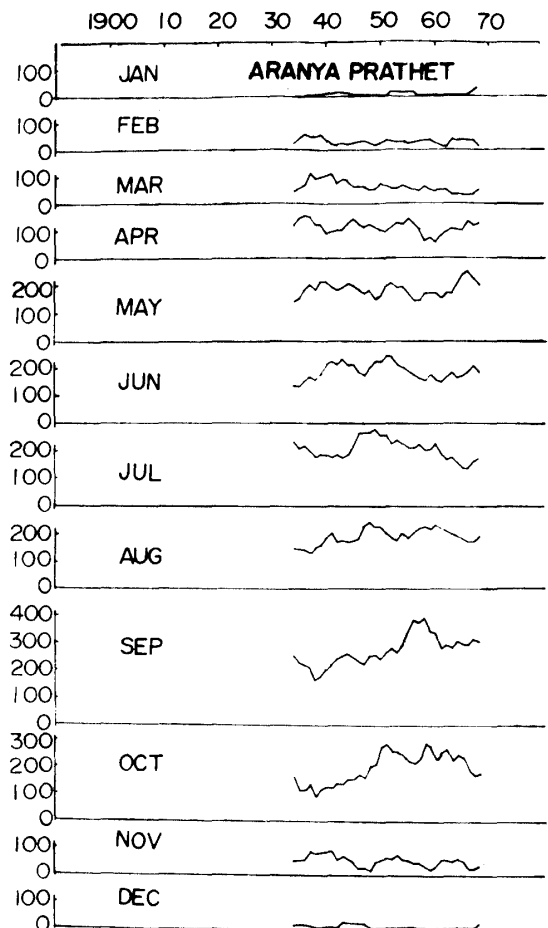
3. Chiang Mai きわめて前者の近くにあるのに年降水量はかなり少ない。最多雨月の変動率は46%，最少雨月のそれは221%といずれも前者より大である。年較差は前者より小である。
4. Uttardit 年降水量は前二者の中間で，変動の様子や，一般的な雨量の増加傾向がないことは Chiang Mai とよく似ている。



6. Udon Thani 年降水量は前二者とだいたいおなじであるが最多雨月の変動率が45%, 最少雨月が361%と著しく大である。1930年頃から1950年頃への雨量増加は前二者と似ている。
7. Phitsanulok 年降水量は前三者とだいたいおなじで, 変動率は比較的大である。1920年代から現在まで雨量減少に向かっているのが今まで述べた地点と著しく異なるところである。
8. Nakhon Sawan 欠測年が多いが, きわめて近くにある前者と降雨の変動の相関がきわめて悪いのが目立つ。
9. Khon Kaen ここは年降水量が比較的小さいのに 標準偏差値が大きいのが目立つ。全般的に短周期の変動が目立つが長周期の変動の傾向ははっきりしない。
10. Ubon Ratchathani ラオスに近く山脈に近いのか夏の雨量が多く, したがって年降水



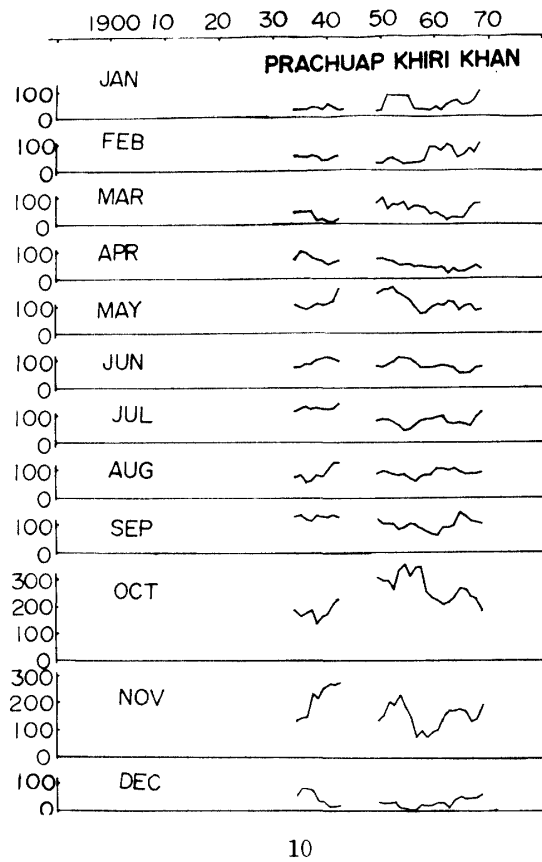
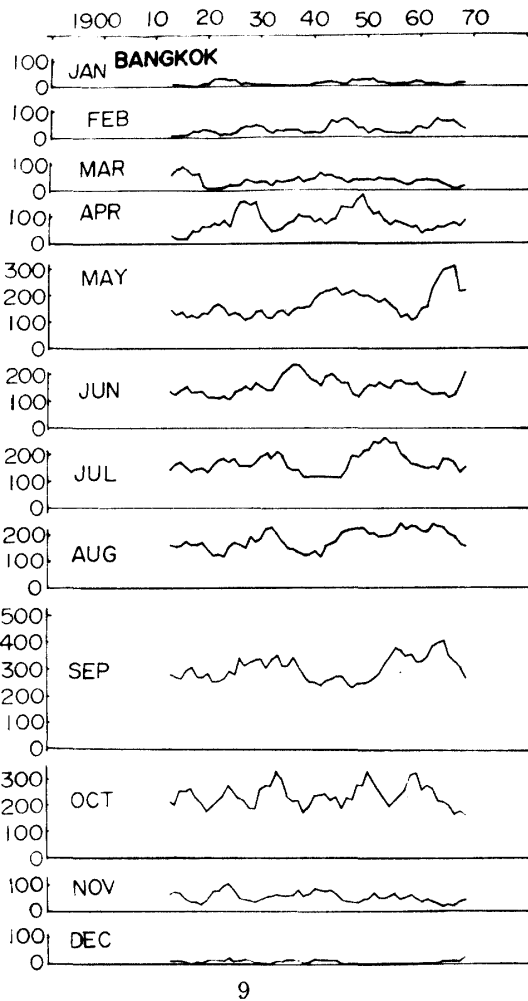
7



8

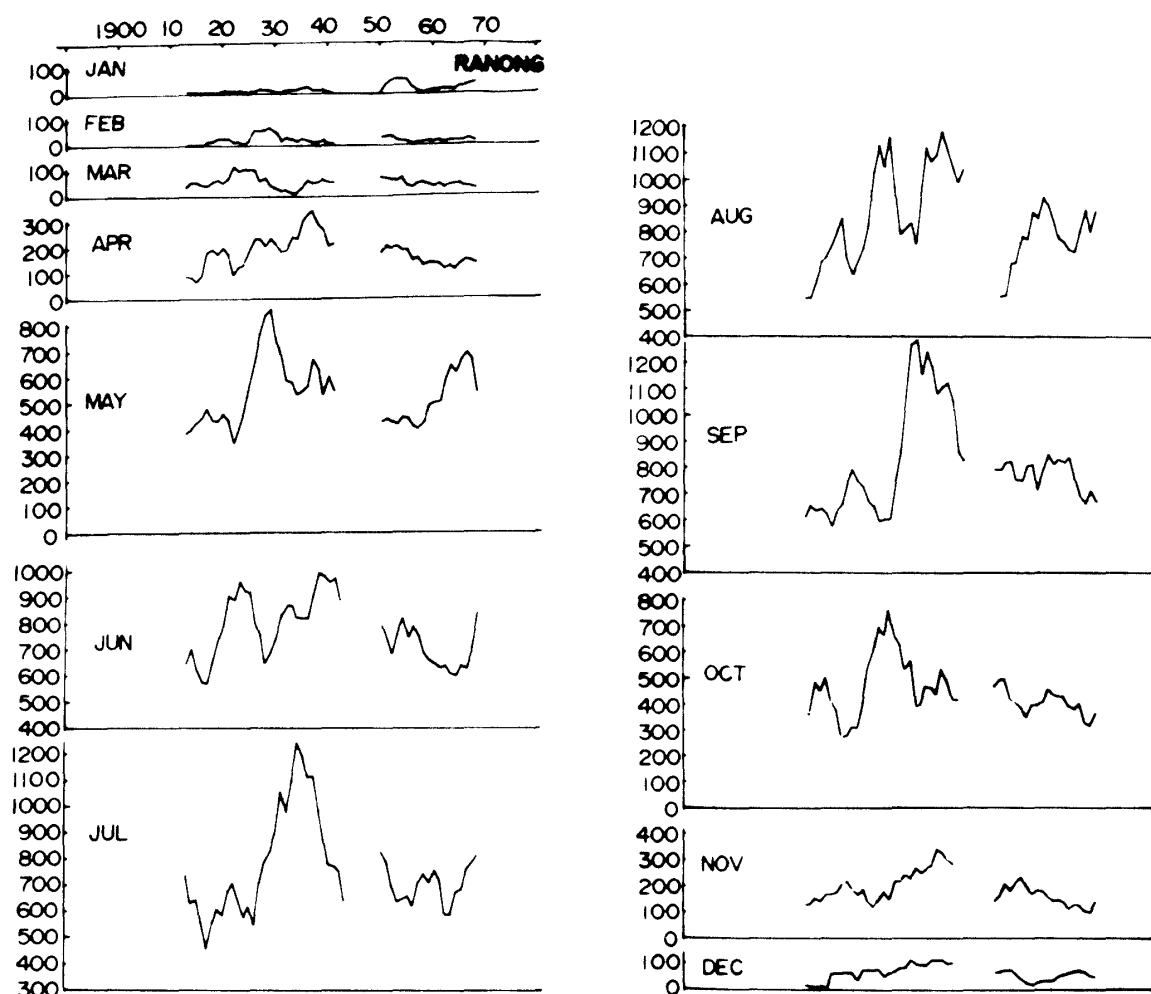
量も大である。年降水量は短周期の変動が目立つが全体としては Chiang Rai などとおなじようにこの50年間に降水量はゆっくり増大している。

11. Nakhon Ratchasima 中央部にあり、年降水量は少なく長期的な変動傾向はみられない。
13. Aranya Prathet 東によっており、かつシャム湾に近くなってきた、年降水量は大である。Chiang Mai などとおなじように1950年頃のピークが目立つ。
14. Chanthaburi 前者の特長がさらにはっきりしてきて、年降水量は飛躍的に多くなり、9月のほかに6月にも二次的な多雨月がある。前者と同じように1920年頃から1950年頃への雨量増大傾向がはっきりしている。
15. Bangkok 前者とおなじくシャム湾の海岸にあるが、南西気流の正面にならないためもあって年降水量は約半分である。ここも雨量は全体としてゆるやかな増大傾向が見られる。5月の変動が著しいのが目立つ。
16. Prachuap Khiri Khan ここは欠測年が多いが、シャム湾の北西岸にあたり、Bangkok とは距離が近いが降雨変化の様相はすっかり異なり、最多雨月は10月、最少雨月は6月であ



るが年変化の振幅も年降水量も小さい。10月と11月だけしか多雨がない。経年変化の様子も異なっている。冬のモンスーンと熱帯低気圧の影響が大きいのではなかろうか。

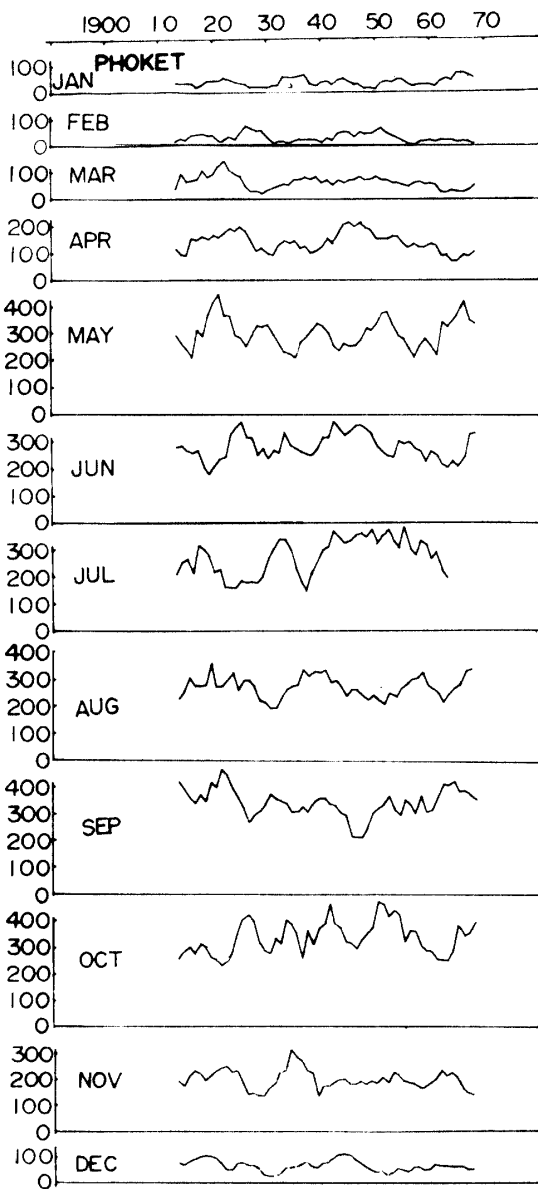
17. Ranong マレー半島のくびれた部分の西岸にあり、年降水量はきわめて多く、5月から10月まで月降水量が 400 mm をこえ、しかもその経年変化の傾向が各月とも非常にそろっている。すなわち、1930年から40年にかけての多雨が非常に目立っている。
18. Phuket 前者とおなじ西岸にあり、距離もわずかだが、島にあるためだけではすまされないほど両者の差は大きい。年降水量は前者の約半分で年変化は小さい。しかしもっとも特徴的なのは経年変化の様相がまったく異なっていることである。
19. Nakhon Si Thammarat 前者とほとんどおなじ緯度の東岸にあり、最多雨月は前者が9月に対し11月である。北にある Prachuap Khiri Khan と似たところもあるが、最多雨月がおくれている。ここでは5～6月頃に弱い第二のピークがみられる。
20. Songkhla 前者とおなじ東海岸でわずか南であるが、なぜか年降水量も少なく、経年変



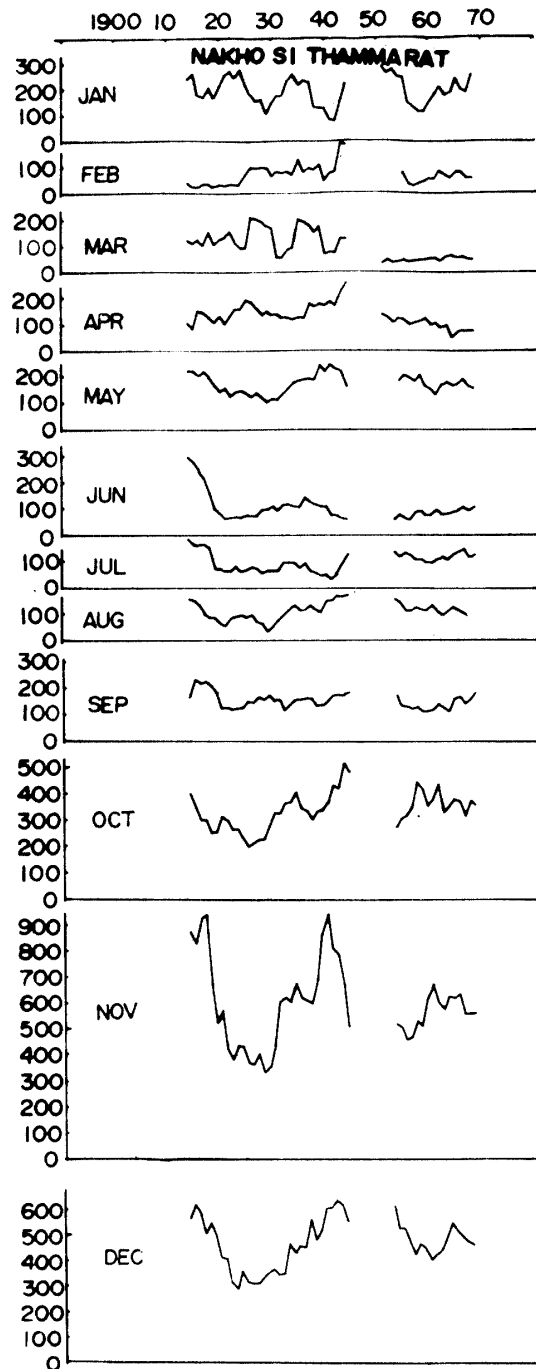
化は細かい振動がはげしいが大きな変化は前者より小である。

Kota Bharu 統計年数が他にくらべて短いが、おなじ東岸でも前者より11月の降水量がはるかに多い。シンドシナ半島と NE モンスーンの相対関係の影響があると思われる。

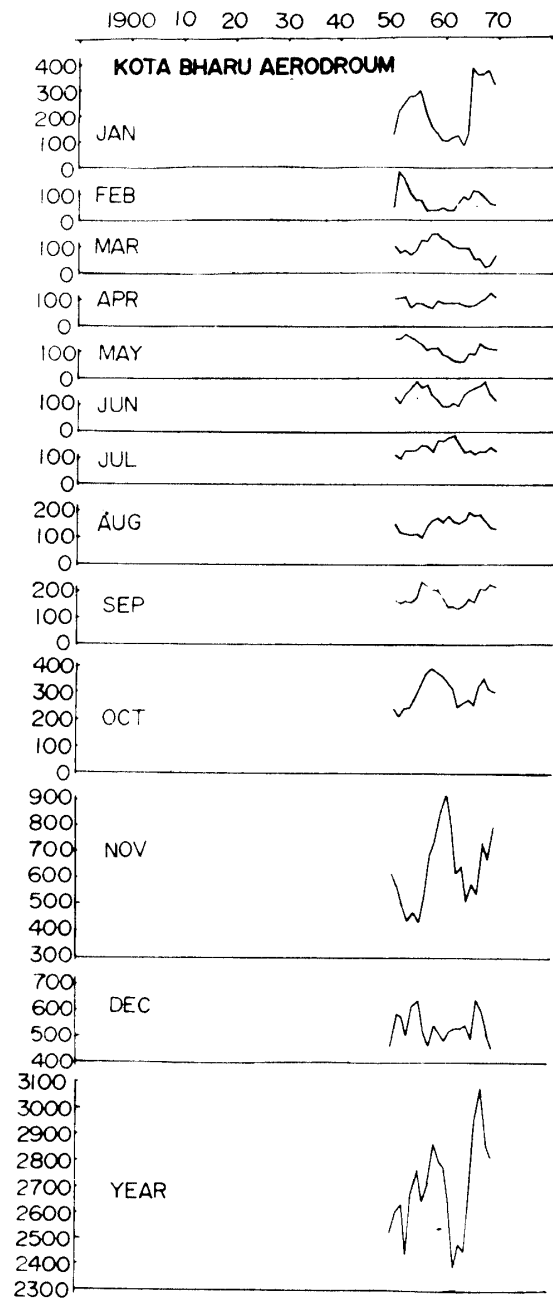
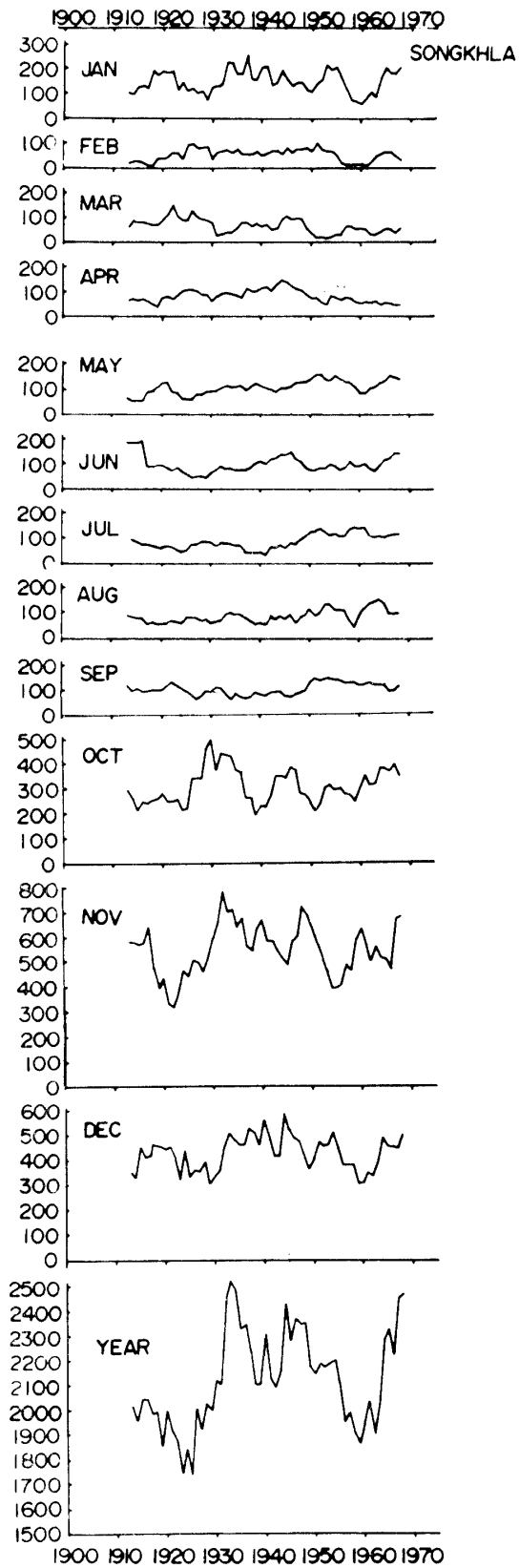
Singapore ここは100年もの統計資料がととのっている。最多雨月は12月におくれ、最少雨月は7月であり、他の地点で最少雨月（近くの Kota Bharu でも）である2月がまだ多雨であ



12



13



るのも興味深い。ここでは他にみられたような1920年頃から1960年頃へかけての増加傾向とはむしろ反対に近い傾向が見られる。

Kuala Lumpur 最多雨月が4月，最少雨月が7月と，マラッカ海峡に面したここでは東岸とは全く異なった様相を示している。統計資料の年数が短い，経年変化も目立たない。

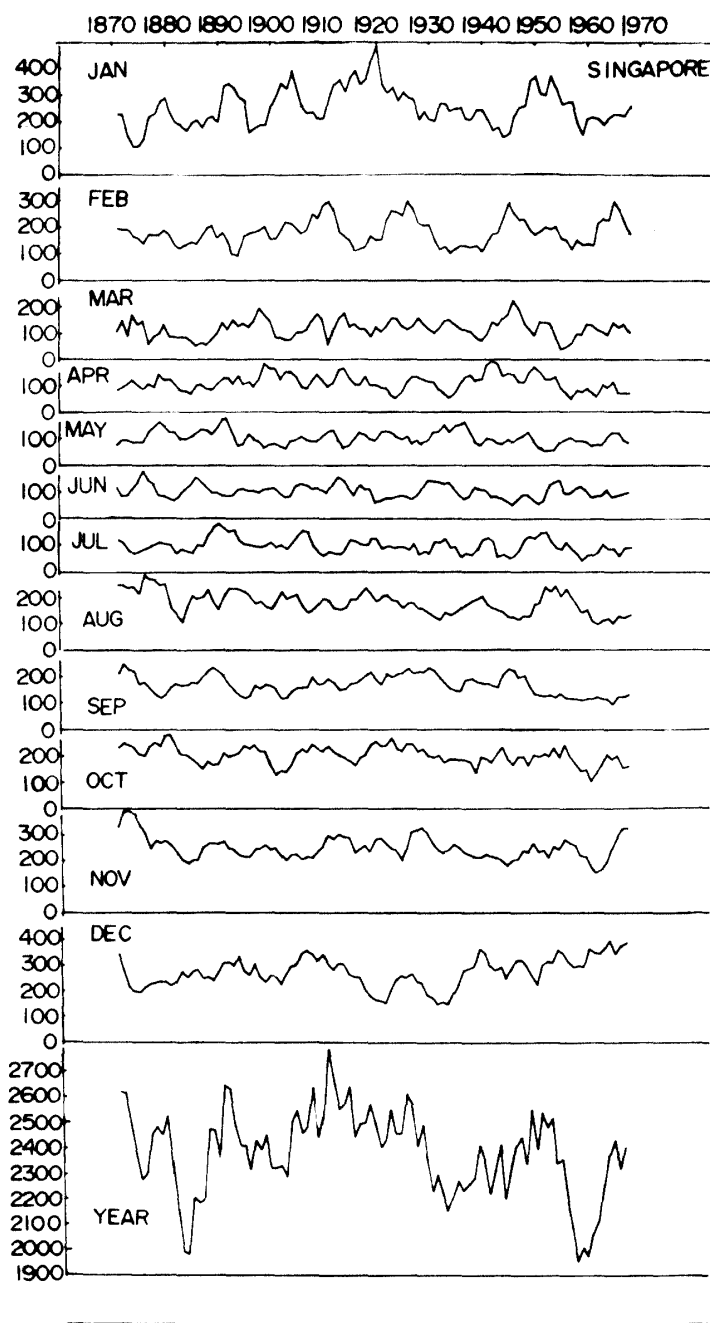
以上各地の月降水量や年降水量の傾向を概観してきたが，経年変化の様相はおなじ気候区の中でもかなり変化が大きい。しかしまったくでたらめではなくて，複雑な地形と変化しやすい

気流系が互いに干渉あってこのような結果になると考えるほうが正しい。したがって気候変動を考える場合，この地方では数値そのものより，気流系の変動をパターンとして示したほうがよいのではないかと思われ，今後このような方針で研究を進めたい。

あ と が き

この報告は限られた国々を旅行して集めた資料を解析したものであり，東南アジアの一部を南北に細長くとりあげたことでまとまりが悪い面もある一方，南北の比較がはっきりした面もあった。現在インドやネパールなどの資料も収集中であるので，大気大循環という立場からの総合的な解析は次の機会にゆずりたい。

この報告を終わるにあたり，この資料収集を可能にしていた東南アジア研究センターの諸氏，ラオス，タイ，マレーシア，シンガポールの気象台の職員，南



洋大学の陳国彦博士に感謝の意を表したい。また過去数年間にわたってこれらの国々から京都大学へ洪水予報の研修に来た方々からも多くの知識を得た。彼らが自国の洪水予報について記した報告書は建設省や国立防災センターなどから印刷されている。なお、この研究の一部には文部省科学研究費の助成金を活用した。最後にこの資料の整理を手伝っていただいた多河英雄、二宮すが子、中野八江の諸氏に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 中島暢太郎 1973. 「東南アジアの気候の特性について (1)——フィリピンの大雨」『東南アジア研究』11巻1号, pp. 130-147.
- 2) 小笠原和夫 1941. 『南方気候論』三省堂, 396 p.
- 3) 京都大学東南アジア研究センター 1966. 『東南アジア研究』3巻4号 (水資源利用に関するシンポジウム特集号), 220 p.
- 4) Kyuma, K. 1972. "Numerical Classification of the Climate of South and Southeast Asia," 『東南アジア研究』9巻2号, pp. 502-521.
- 5) 関口 武 n.d. 『東南アジアの気候環境』科学技術庁資料, 50 p.
- 6) 吉野正敏編 1973. 『モンスーンアジアの水資源』古今書院, 259 p.
- 7) Augustin, Y.M. and others 1971, "Precipitation Probability for Eastern Asia," NOAA ATLAS, 1.
- 8) Nieuwolt, S. 1966. "Rainfall Probability in Malaya," *Meteorological memoir*, No. 7, Malayan Meteorological Service.
- 9) Meteorological Service, Singapore. 1965. *Climatological Summaries Part II—Rain fall, Malaysia and Singapore*, 97 p.
- 10) Gan Tong Liang. 1960. "A Study of Some Heavy Rainspells on the East Coast of Malaya during North East Monsoon Season," *Memoir of the Malayan Meteorological Service*, No. 6.
- 11) Deppermann, C. E. 1936. *Outlines of Philippine Frontology*. Manila: Bureau of Printing.
- 12) 陳國彦 1971. 「新加坡の降水変化」『南洋大学学報』第5期, pp. 101-111.
- 13) Tan Suan-Foon 1970. "Torrential Rain in Singapore 9-10 December 1969," *Meteorological Memoir*, No. 9.
- 14) Ramage, C. S. 1969. *Proceeding of the Conference on the Summer Monsoon of Southeast Asia*, Navy Weather Research Facility.
- 15) タイ気象台定期刊行物
 年刊 Annual Meteorological Bulletin
 月刊 (1) Monthly Meteorological Bulletin
 (2) Monthly and Annual Rainfall
 (3) Monthly Rawinsonde Data
 (4) Monthly Agrometeorological Report
 週刊 Weekly Weather Report and Weather Outlook
 日刊 Daily Weather Map and Meteorological Information
- 16) マレーシア気象台定期刊行物
 年刊 Summary of Observations
 月刊 (1) Monthly Abstract of Meteorological Observations
 (2) Pilot-balloon and Radar Wind Data
 (3) Upper-air Data
- 17) シンガポール気象台定期刊行物
 年刊 (1) Annual Summary of Observations
 (2) Upper Air Data
 月刊 (1) Monthly Abstract of Observations
 (2) Pilot Balloon and Radar Wind Data