

GMS-5 赤外チャンネルから得られる推定降雨データセットを用いた熱帯域対流活動モニターについての検討

小山 朋子*

On the Availability of Accumulated Rainfall Amount estimated from GMS-5 IR data for Monitoring Convective Activities over the Tropics

Tomoko Koyama

Abstract

The Meteorological Satellite Center (MSC) has estimated "Daily accumulated rainfall amount" as an experimental product since January 1st, 1999. This document describes comparisons made between monthly estimated rainfall from GMS-5 IR data and monthly precipitation amounts reported in the CLIMAT data format over a period from January 1999 to April 1999. A positive correlation was found between the CLIMAT monthly precipitation and the estimated rainfall data from GMS-5 IR channels. Diurnal variation was examined by using TBB (equivalent black-body temperature) and the total accumulated rainfall derived from GMS-5 IR channels on the base of 4-months averages at each 3 hourly observation times (from 00UTC to 21UTC). By this comparison between both data, it is found that the estimated rainfall data exhibits more obvious diurnal variation than the TBB data and would be useful in the monitoring of convective activities over the tropical region.

要 旨

気象衛星センターでは1999年1月1日よりGMS-5の赤外チャンネル観測データを用いて「日積算降水量」の算出を試験的に開始した。本調査では、「日積算降水量」を1999年1月～4月まで月別に積算し、CLIMAT報による月別積算降水量と比較した。また「日積算降水量」を作成する際に使用する3時間毎(00～21UTC)の時別降雨強度を観測時刻別に積算したデータセットを作成し、それと同様に処理したTBB(相当黒体放射温度)データセットと比較した。その結果、地上観測による降水量と推定した降水量の間にはある程度の正の相関関係が見られた。また、時刻別に一定期間積算した推定降水量のデータセットではTBBデータセットより降雨の日変化が明瞭に現れた。本調査により、GMSからの推定降雨量のデータセットは熱帯域の対流活動の調査に有効なことが分かった。

1. はじめに

海水や地表の水は、地球上に入射しそこで吸収された太陽放射エネルギーによって蒸発し、これが上昇し

て雨や雲などに変わる際に凝結熱を発生し大気を暖めている。こうしたことから巨視的には降水量分布は熱エネルギーの分布を表していることになる。特に、熱

*気象衛星センター 解析課

(1999年11月9日受領、2000年1月17日受理)

帯域・亜熱帯域の降水量は全地球上の降水の2/3を占め、大気循環を引き起こす原動力となっていることから、その分布を把握することは気候系の監視や診断の上で非常に重要である。しかしこうした地域は海洋域が多く地上雨量観測点も疎らであるため、リモートセンシングによる降雨推定は非常に有効な資料となると期待されている。世界気象機関 (World Meteorological Organization; WMO) では、世界気候研究計画 (World Climate Research Programme; WCRP) の一環として全球降水気候計画 (Global Precipitation Climatology Project; GPCP) が策定され、1987年から気象衛星センターでは静止衛星降水データセンター (Geostationary Satellite Precipitation Data Center; GSPDC) にGMSの赤外輝度温度のヒストグラムデータの提供を行っている。このヒストグラムデータから「GOES Precipitation Index; GPI」と呼ばれるアルゴリズムによって降水量が推定され、他の衛星からの推定降雨データ、陸上の雨量観測データとともに全球降水データセットが作成されている (操野, 1996)。また日米共同プロジェクトとして熱帯・亜熱帯地域の降雨状況を宇宙から観測し、降水量、降雨分布等に関する各種データを直接取得して、そのメカニズムの解明に資することを目的として熱帯降雨観測衛星 (TRMM) が1997年11月に打ち上げられている。

こうした中で気象衛星センターでは平成11年1月1日から地上雨量観測点の疎らな東アジア地域のSYNOPデータを補間・補外する参考資料として、また熱帯域の対流活動のモニタリング資料として赤外データを用いた「日積算降水量」の算出を試験的に開始した。このデータの月積算値、3ヶ月積算値は東アジア地域の気候系監視・診断のための参考資料として利用することが可能である。

衛星データから推定した降水量を検証するための観測データとして、比較的広範囲を観測することの出来るレーダーデータが良く利用される。気象庁気候・海洋気象部気候情報課がTRMM搭載の降雨レーダー (TRMM/PR) 観測データ (1999年1月～3月分) の

月別積算値 (level 3A-25) データセットを用いてこの試験的データセットの精度評価を行った結果では、GMS-5データから推定した「3ヶ月 (1月～3月) 積算降水量」は、冬季の高緯度 (北緯30～45度の範囲) の「冷たい」陸面を「雨域」として誤判別してしまい、偽りの降雨域が推定されるとしている (Personal Communication)。本稿では地上月気候値気象通報式 (CLIMAT報) により通報された7地点における月別降水量とGMS-5データから推定した月別積算降水量との比較を行った。また、「日積算降水量」を作成する際の中間プロダクトを用いて熱帯地域の降水量分布に見られる対流活動の日変化や月毎の変化についても調査を行ったのであわせて報告する。

2. 降水量の推定方法

GMS-5データから一定時間の降水量を推定するために、GMS-5データからその時刻の降雨強度を求めその値を積算する。今回は3時間毎のデータを利用しているので、基本的にはこれら1日8回分の降雨強度データを足し上げ、さらに3倍した値を日積算降水量とした。

降雨強度を求める方法は操野 (1996) により開発されたもので、あらかじめ九州、沖縄、石垣島の気象レーダーにより観測された合成エコー強度から換算した降雨強度とGMS-5の同時刻の (観測時間差として実際は10～15分のずれがある) 「赤外2と赤外1チャンネルの輝度温度差」及び「水蒸気チャンネルの輝度温度」との関係性を記述した3次元参照テーブル (3D Look-Up-Table) を作成しておく。次に、このテーブルを逆に参照することにより、観測されたGMS-5の3つの赤外チャンネル輝度温度から1時間あたりの降水量を推定するというものである。今回使用した3次元参照テーブルは領域や季節あるいは観測時刻にかかわらず、同じテーブルを採用している。

この様にして時別の降雨強度が算出できれば、それを積算することにより容易に月別積算降水量、季節別積算降水量また一定期間の時刻別積算降水量を算出することが出来る。なお、積算降水量は、次のような計

算式を用いて求めた。

$$\text{積算降水量} = [(3 \text{ 時間毎の } 1 \text{ 時間降水量の合計}) / (\text{観測可能回数} - \text{欠測回数})] \times \text{観測可能回数} \times 3$$

今回の調査で使用した3次元参照テーブルは、1997年と1998年の6月～9月、1996年12月～1997年2月、及び1997年12月～1998年2月の6時間毎の沖縄諸島とその周辺海域のGMS-5データとレーダーデータから作成した。GMS-5データの空間分解能は緯度・経度ともに0.05度で、領域は東経120～135°、北緯20°～35°（緯度15°×経度15°）である。レーダーデータは1時間降雨強度値を使用した。

GMS-5データから推定した降雨強度データの諸元を表1に示す。

表1. 推定降雨強度データの諸元

| | |
|-------|--|
| 出力範囲 | 東経80°～東経160° / 北緯45°～南緯35° (80°×80°) |
| 空間分解能 | 0.25°×0.25° |
| 時間分解能 | 3-hourly (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 and 21 UTC) |

3. 地上観測データとの比較

GMS-5データによる推定降雨強度から算出した月別積算降水量を地上観測データと比較するために、東アジア・オーストラリア地域の7地点（図1参照）； Chengdu, Shanghai（以上中国）、Nadzab W. O.（パプアニューギニア）、Darwin airport（オーストラリア）、Sandakan（マレーシア）、Ujung Pandang/Hasanuddin（インドネシア）、Bangkok（タイ）のCLIMAT報で報じられた月別降水量を使用した。比較した期間は1999年1～4月の4ヶ月である。（CLIMAT報データのうち、Shanghai, Ujung Pandang / Hasanuddin, Bangkokでの5データ分は未入電もしくは欠測である。）この期間におけるGMS-5データの月別欠測率は3月が約17%と多いものの、他の月はいずれも約7%と少ないことから、前節で示した算出方法を使用して欠測回数を補正すればほぼ月別積算降水量と見なすことができる。なお、2月26日から4月12日までは食により15UTCの観測は

毎日欠測となっている。また、1月6日00UTCから7日21UTCまでの2日間が連続で欠測となっている他に、この期間中では3時間以上連続した欠測は無い。

地上観測による月別降水量（CLIMAT報）とGMS-5データから推定した月別積算降水量を表2に示す。同じく図2は、横軸に各地点で観測された月別降水量を、縦軸にGMS-5データから推定した月別積算降水量をとり、プロットしたものである。全体的には、衛星による月別積算降水量がやや過大に推定しているが、正の相関が見られる。しかし、×印で示したChengduにおける月降水量はいずれの月もほとんど0に近いが、衛星による月別積算降水量はかなり多い。これは、この時期Chengdu付近で観測される雲の多くが巻雲などの上層雲で、熱帯・亜熱帯域の対流性の雲システムと構造が異なっているにもかかわらず、沖縄付近のデータを元に作成された3次元参照テーブルを用いて降雨を推定していることが原因の一つと考えられる。また、Ujung Pandang/Hasanuddinにおける2月の降水量は915mmもあるが、衛星から推定される値は

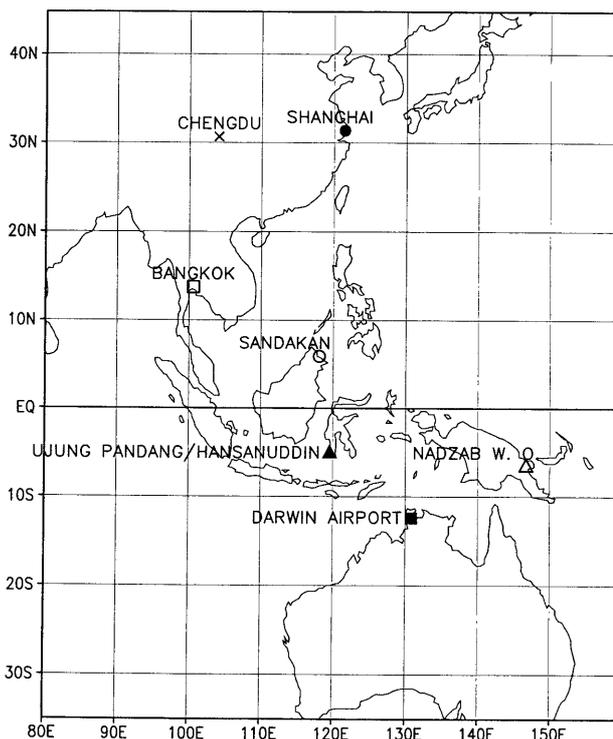


図1 比較に用いた地上観測データ（CLIMAT報）の観測地点

129mmと非常に少ない。参考までに全データから求めた相関係数は0.29とかなり低いが、調査対象地域を熱帯・亜熱帯地域に限定しなかったため、これらの「偽りの降雨域」のデータが大きく影響していると考えられる。

が小さいため不明である。一方地点別に見ると、Darwin airportとSandakanは、概ね比例関係にあるが、Chengdu、Shanghai、Nadzab W. O.では、衛星データの過大評価が非常に大きく、Ujung Pandang/Hasanuddinは非常に分散が大きい。

月によるデータのばらつきは比較するための母集団

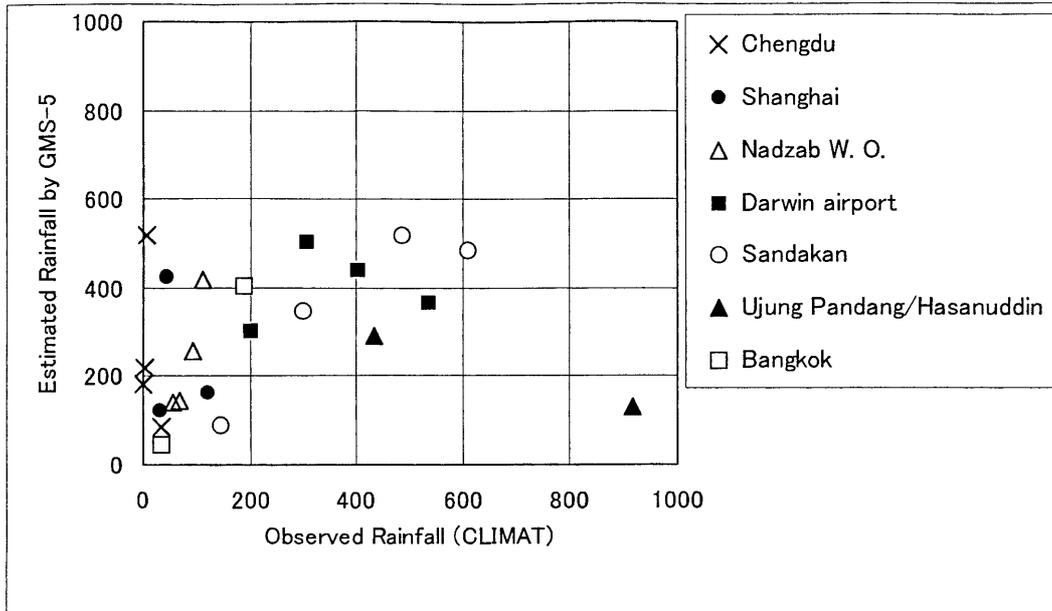


図2 地上観測による月別降水量とGMS-5データから推定した月別積算降雨量の散布図

表2 地上観測による月別降水量（CLIMAT報）とGMS-5データから推定した月別積算降水量（データの期間は1999年1～4月）

| 地点 (国名) | | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 |
|--------------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
| Chengdu (中国) | CLIMAT報 | 6 | 0 | 4 | 35 |
| | 積算降雨量 | 518 | 184 | 222 | 84 |
| Shanghai (中国) | CLIMAT報 | 44 | 32 | 121 | — |
| | 積算降雨量 | 424 | 123 | 164 | 45 |
| Nadzab W. O. (パプアニューギニア) | CLIMAT報 | 57 | 112 | 68 | 93 |
| | 積算降雨量 | 142 | 417 | 146 | 258 |
| Darwin airport (オーストラリア) | CLIMAT報 | 307 | 536 | 402 | 202 |
| | 積算降雨量 | 505 | 365 | 441 | 303 |
| Sandakan (マレーシア) | CLIMAT報 | 487 | 610 | 299 | 147 |
| | 積算降雨量 | 518 | 485 | 346 | 90 |
| Ujung Pandang/Hasanuddin (インドネシア) | CLIMAT報 | — | 915 | 434 | — |
| | 積算降雨量 | 129 | 129 | 292 | 145 |
| Bangkok (タイ) | CLIMAT報 | 35 | — | — | 190 |
| | 積算降雨量 | 45 | 0 | 219 | 404 |

4. 対流活動の日変化および月別変化

衛星を用いて得られるTBB（相当黒体放射温度）は雲の雲頂高度を示しており、対流活動の指標となっていることから、これを利用し熱帯海洋域の対流活動の日変化や季節変化について研究がなされてきた（Murakami, 1983）。また太平洋上の小さな島での降水量から海洋域では朝に雨が降ることが示されている（Gray and Jacobson, 1977）。今回の手法により作成される推定降水量データの精度評価に課題は残るが、赤外チャンネルを用いて推定した降水量は衛星が観測する雲の輝度温度から降雨強度を推定しているもので、ある1回の観測の際に誤差が大きいたとしても一定領域・一定期間の時間積分をすることでその誤差の値は最終的に小さくなることが知られている（Kidder and Vonder Haar, 1995）。そこで3時間毎の観測時間別にGMS-5データから推定した降水量（日積算降水量の中間プロダクト）を1999年1～4月の4ヶ月にわたって特別に積算し、対流活動の日変化について調べた。この4ヶ月間の特別積算降水量として03, 09, 15, 21UTCの分布図を示す（図3）。およそ北緯30度以北にあたる「偽りの降雨域」を除いた陸域では03UTCの降水域が非常に狭く、40mm以上の降水量が見られるのはマレー半島・スマトラ島・ボルネオ島・フィリピン諸島・オーストラリアなどの海岸付近一部に限られている。それに対して09UTCではジャワ島・オーストラリア北部など最大200mm以上降水量が見られ降雨域が広範囲に及んでいることを示している。またその12時間後の21UTCには海洋域において80mm以上の降雨域が広範囲に及んでいることを示している。

同じくGMS-5の観測により3時間毎に得られるTBBデータの半旬特別平均値から作成した6時間毎（03, 09, 15, 21UTC）の3ヶ月平均値（1月～3月、実際には第1半旬～第18半旬）を示す（図4）。前述のようにこのデータはこれまで対流活動の指標としてよく利用されている。データ範囲は降雨推定域と一致するよう東経80°～東経160°、北緯45°～南緯35°（80°×80°）、グリッド2.5°格子である。これらの図から対流

活動の活発な地域（スマトラ島の南西海域）では雲頂高度として10°C以上の日変化があることが読み取れる。

また、GMS-5データから推定した降水量を1ヶ月毎に積算し、00UTCにおける月別積算降水量の月変化を調べた（図5）。（これは今回の降雨推定領域で雨が降ると思われる朝の時間帯にあたる）。データの期間は、日変化と同様1999年1～4月の4ヶ月間である。その結果、これらの図から2月の積算降水量がインド洋西部・フィリピン諸島南部では他の月と比較して少ないことが読み取れる。また4月には降雨域がマレー半島の周囲へと北上していることが読み取れる。なお、1998年9月以降熱帯の対流活動はインド洋東部から海洋大陸付近では平年よりも活発だったが、2月は活発な部分が全体として東に移動し3月以降再び活発となったこと、また2月以降はオーストラリア北部でも平年より活発だったことが報告されている（気候系監視報告 平成11年1月～4月）。

5. まとめ

赤外チャンネルによる降水推定手法は衛星の観測によって得られる雲の輝度温度から間接的に降水を推定しているため、水滴を直接観測するマイクロ波による降水推定手法に比べ精度的に劣り、従来言われているようにそれぞれの推定手法を適応するに当たっては注意が必要である（Kidder and Vonder Haar, 1995）。まず、極軌道衛星搭載のセンサーは極軌道衛星の軌道に関連した制約のため、その観測頻度が限られ日変化を捕らえることは難しい。一方、静止気象衛星による推定値は一定の領域で長時間平均を行った場合に推定精度が向上し、有効な手法となる（Richards and Arkin, 1981）。今回の調査では低緯度帯の地上観測データと推定降水量との間には正の相関が認められ、また、地点による差異がある程度明瞭である。積算降水量の特別平均処理により推定された降雨パターンを見ると、「陸域」と「海域」では全く異なる日変化をしていることが分かり、TBBデータを用いた熱帯の対流活動の調査に比べ日変化が顕著に現れることが確認で

きた。今後の課題としては、地域的气候を考慮した上でいくつかの観測点を選び、地点毎に3時間毎の降水量から具体的な日変化パターンを調査することが挙げられる。

推定降水量とCLIMAT報によるデータの比較だが、地上観測データはある1地点の代表値に過ぎないため、衛星を利用したある程度の地域にわたる推定降水量と直接比較することは雨量計の空間代表性から考えて問題が残る。しかしGMSの観測範囲内の熱帯域・亜熱帯域では、高密度の地上雨量計ネットワーク地域が現在存在しないため、降雨パターンの日変化を考慮した場合に評価方法が限られているのが現状である。この状況を踏まえるとGMSによる推定降水量の評価方法として次に考えられるものは空間・時間分解能の向上した第II期(1996-) GPCPデータセットとの比較である。これまで衛星による降水推定を行う上で問題点とされていた幾つかの観測上の制限が取り除くものとして、1997年11月に打ち上げられた熱帯降雨観測衛星(TRMM)搭載の降雨レーダ(PR)データの更なる検証・研究が待たれる。今回用いた手法の精度向上に向けて、

- 季節・地域に関係していると考えられる雲形や日変化のパターンを考慮した新たな3次元参照テーブルの作成
- SSM/I等、他の衛星データとの重ね合せ
- 現在3時間毎に算出された中間データから作成される日別データセットを毎時間毎に算出されるデータから作成

等が今後の課題として考えられる。

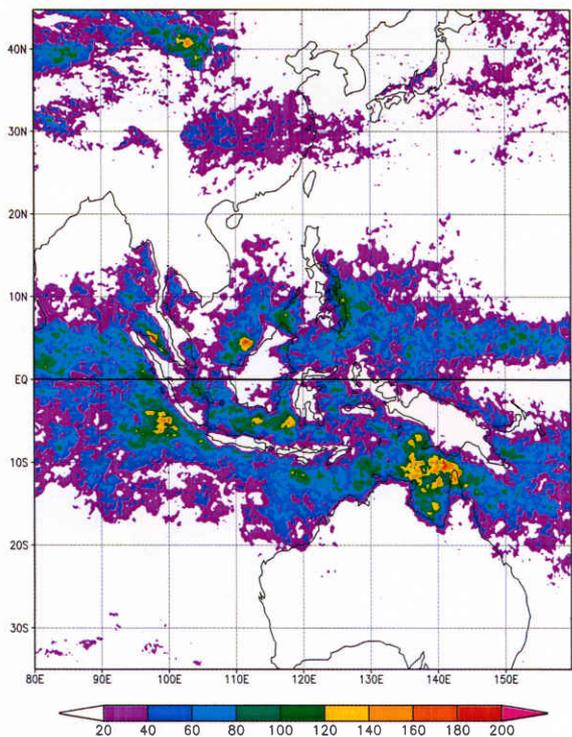
謝辞

今回の調査にあたり、気象庁気候情報課操野調査官に助言いただき感謝いたします。TBBデータを作成に協力頂いた衛星センターシステム管理課大和田技官にお礼申し上げます。

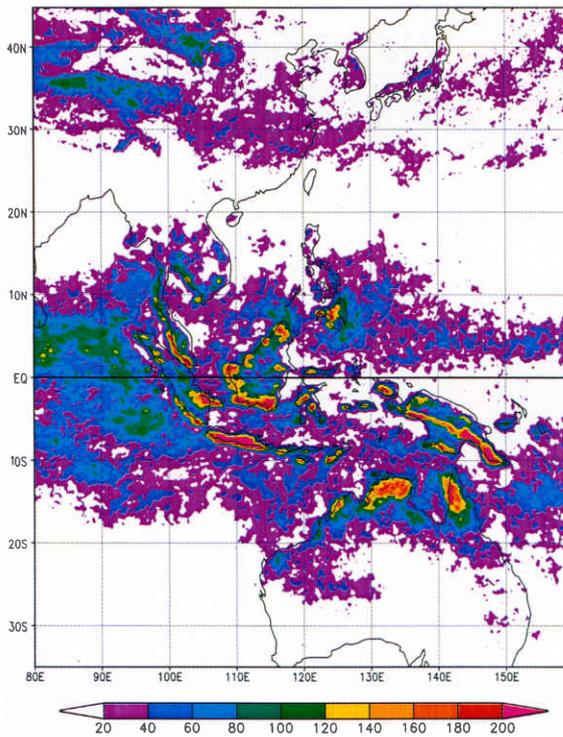
参考文献

- Gray, W.M. and R.W.Jacobson, Jr., 1977: Diurnal variation of deep cumulus convection, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1171-1188
- Kidder and Vonder Haar, 1995: *Satellite Meteorology An Introduction*, Chapter 9 Precipitation, 307-361
- Toshiyuki Kurino, 1996: A Rainfall Estimation with the GMS-5 Infrared Split-Window and Water Vapour Measurements, 気象衛星センター技術報告第33号、91-101
- 操野年之, 1996: 全球降水気候計画(GPCP)第I期(1986-1995)の成果及び第II期(1996-2000)の計画、気象衛星センター技術報告第32号、43-52
- Murakami, M., 1983: Analysis of the deep convective activity over the Western Pacific and Southeast Asia Part I: Diurnal variation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 61, 60-76
- Richards, F. and P. Arkin, 1981: On the relationship between satellite-observed cloud cover and precipitation, *Mon. Wea. Rev.*, 109, 1081-1093

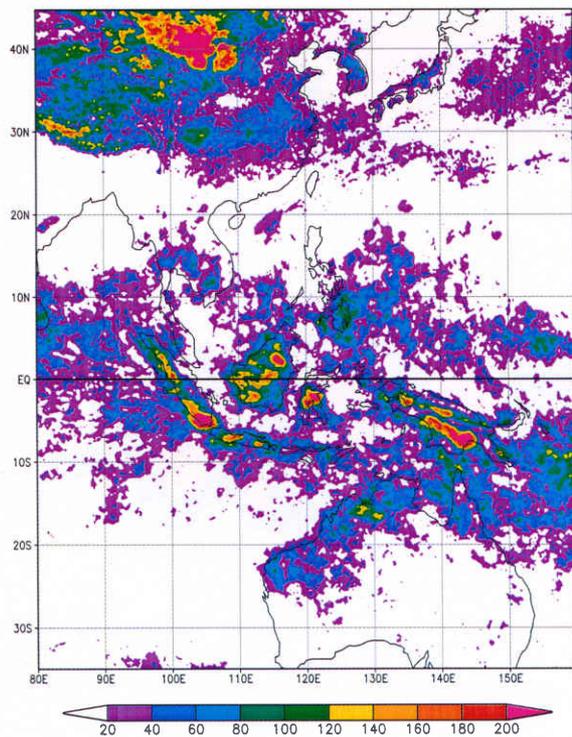
Accumulated Rainfall 03UTC(Jan.-Apr.)



Accumulated Rainfall 09UTC(Jan.-Apr.)



Accumulated Rainfall 15UTC(Jan.-Apr.)



Accumulated Rainfall 21UTC(Jan.-Apr.)

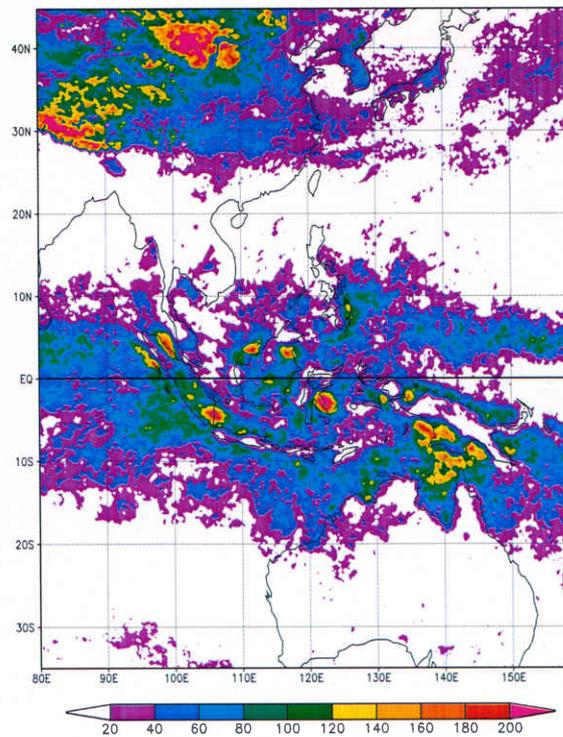
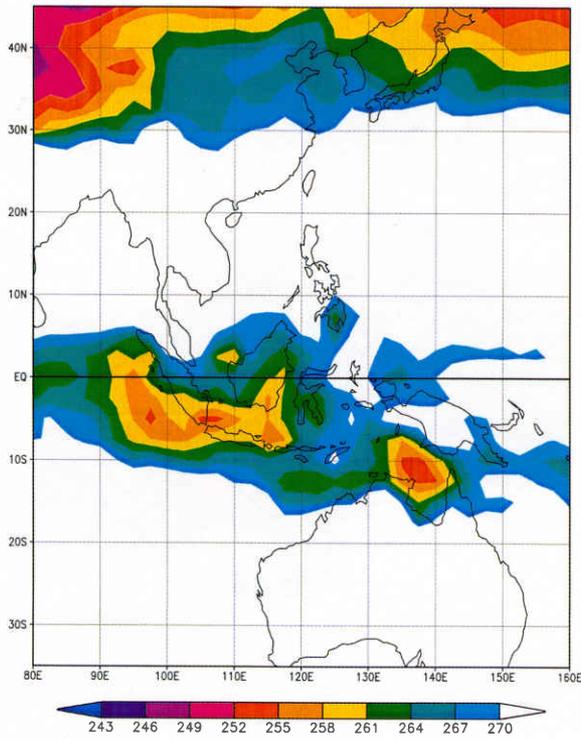
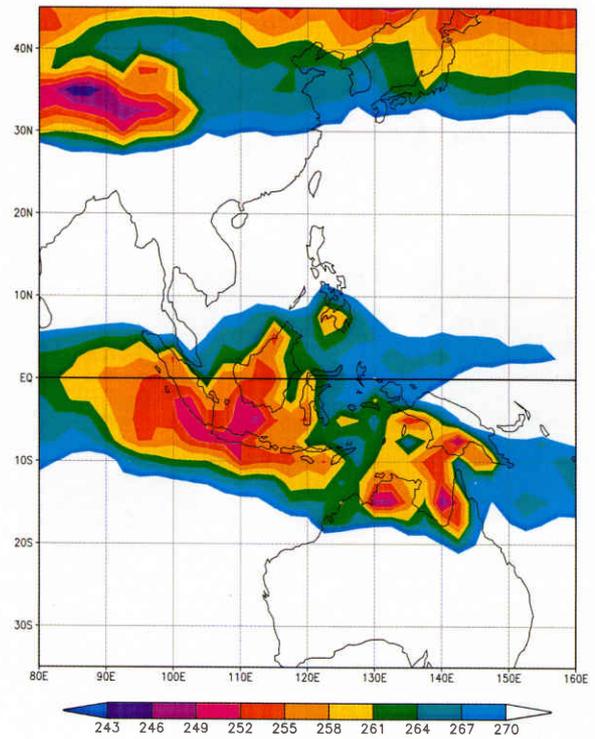


図3 時別積算降雨量分布図 (03, 09, 15, 21UTC、1999年1~4月)

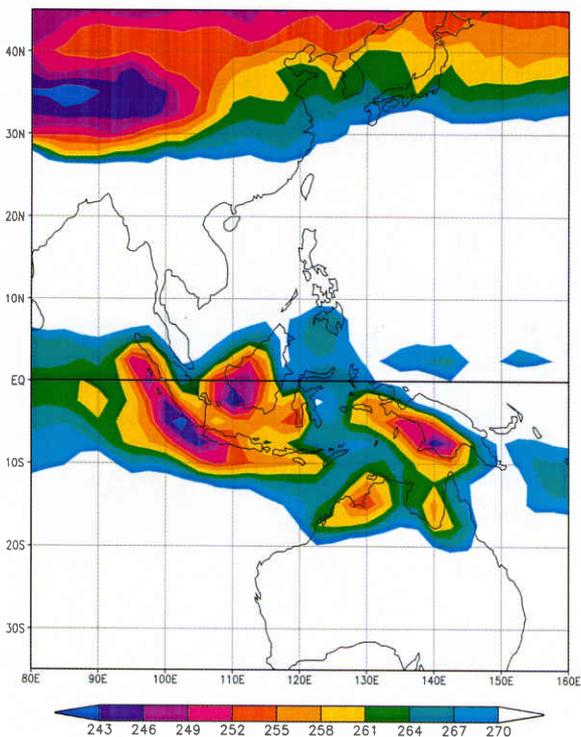
Mean TBB 03UTC(Jan.-Mar.)



Mean TBB 09UTC(Jan.-Mar.)



Mean TBB 15UTC(Jan.-Mar.)



Mean TBB 21UTC(Jan.-Mar.)

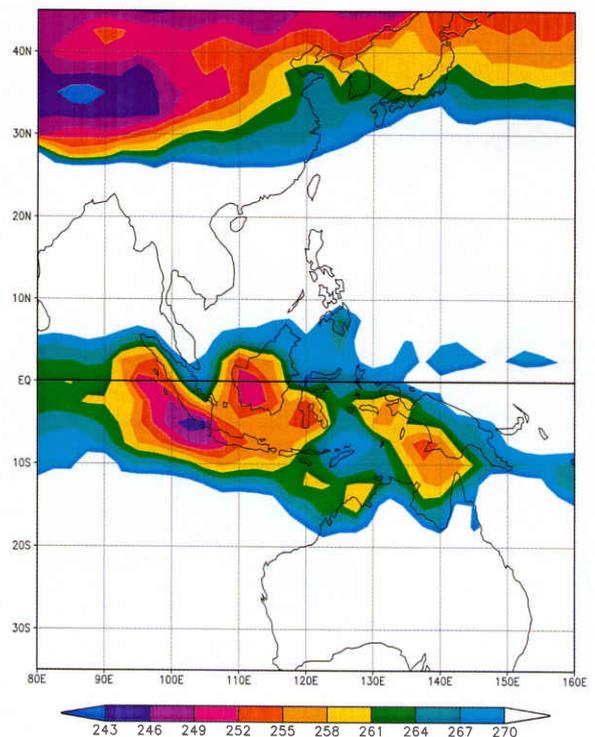
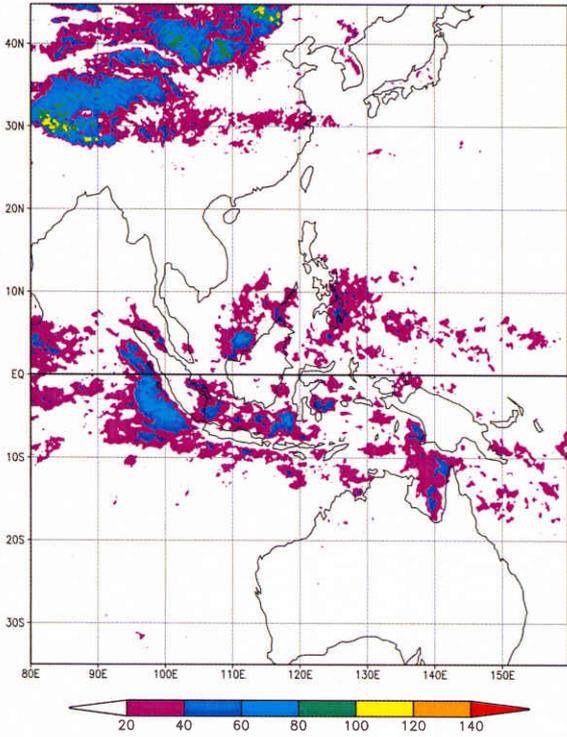
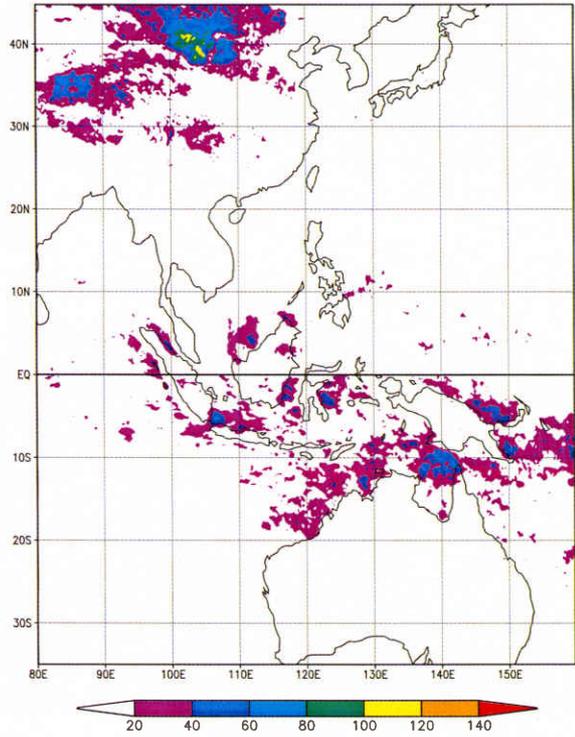


図4 3ヶ月平均TBB (03, 09, 15, 21UTC、1999年1～3月)

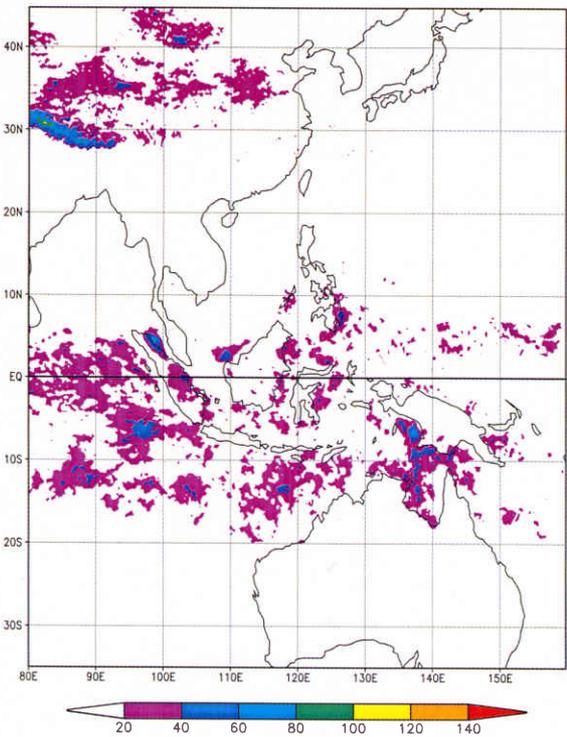
Accumulated Rainfall 00UTC(Jan.)



Accumulated Rainfall 00UTC(Feb.)



Accumulated Rainfall 00UTC(Mar.)



Accumulated Rainfall 00UTC(Apr.)

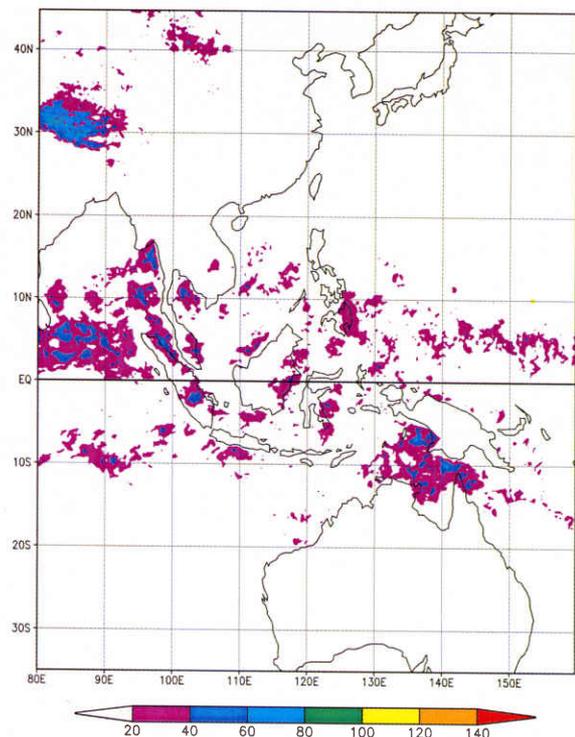


図5 00UTCの月別積算降雨量分布図 (1999年1~4月)