

熱帯大気の季節内変動*

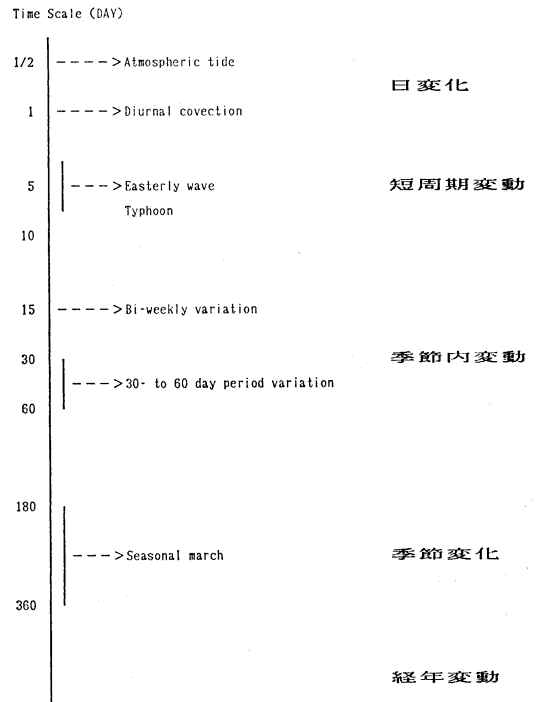
—昭和61年度日本気象学会賞受賞記念講演—

村上 勝人**

今回は、多くのすぐれた先輩方が名を連ねる気象学会賞に御指名をいただきましたことを、大変光栄に思っております。さらに今年は共に学会賞・藤原賞を受賞された方々がいずれも熱帯気象やモンスーン研究の分野で大きな貢献をされた方々であり、そのような方々とシンポジウムの形で話題を共有できましたことを大変喜ばしいことと考えています。今回の私の講演ではこのシンポジウムのテーマ（「熱帯の大気と海洋」）を意識しつつ、熱帯やモンスーン域の季節内変動について、現在までにどのような様相が分かってきたのか、またこれからの興味は、といった事を中心に自分の仕事以外の結果も含めてお話ししてみようと思います。最近私が「天気」誌上において試みました解説（村上，1985）と重複する点もありますが、そのダイジェスト版として御参考になれば幸いです。

1. 季節内変動とは

まず最初にいわゆる「季節内変動」なるものが時間軸上でどのような位置を占めているのかを眺めてみます。第1図は熱帯対流圏における主要な変動を、その特徴的な周期をtime scaleとして配列したものです。御覧のように季節内変動と呼ばれるものは、周期4～5日から1週間のいわゆる「短周期変動」と、周期にして1年、場所によって半年の「季節変化」の間の周期帯を指して使われています。さらに具体的にみますと、今大きな関心を集めているのが30～60日周期の変動です。それに、今は少し影が薄くなっていますが、周期2週間程度のBi-weekly variationと呼ばれる変動も存在します。この変動は夏のインド・モンスーンの強弱のサイクルとしても現れますし、冬の東アジアの寒波の強弱、それに伴う熱帯域の積雲活動の変動としても認めることができま



第1図 熱帯対流圏の変動

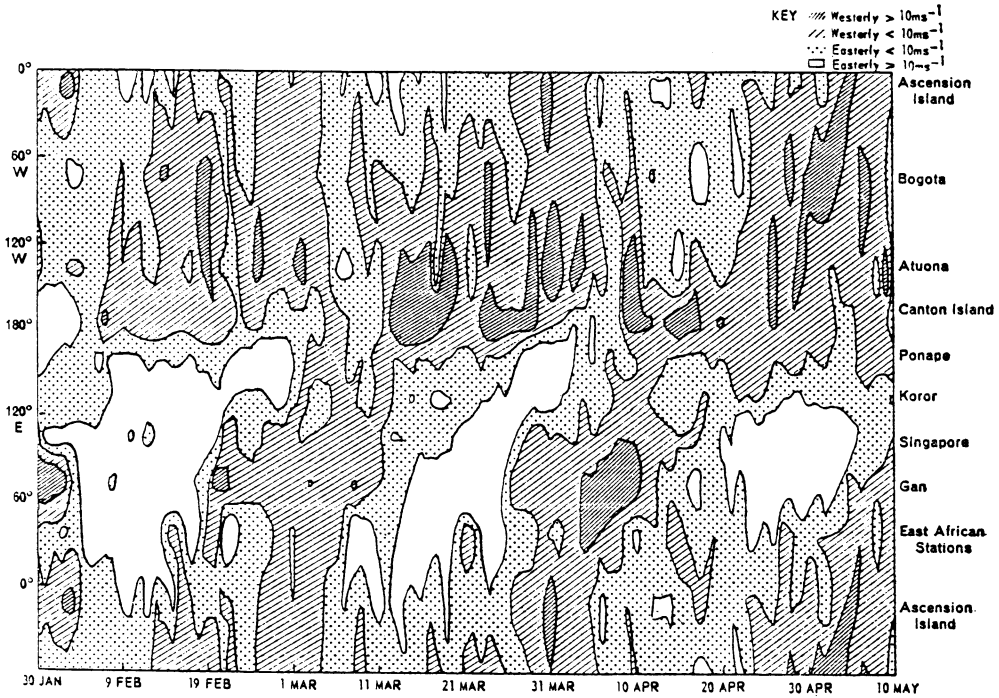
す。今回のシンポジウムでは専ら30～60日周期変動についてお話することになりますが、Bi-weekly variationの方もまだ十分に解明されているわけではなく、私自身も今後さらに取り組んでみたい課題の1つであります。

2. 熱帯赤道域の変動 —東西変動—

熱帯における30～60日周期の季節内変動がよく現れる要素としてまず赤道付近の風の東西成分があります。第2図はその状況を示した1つの解析例で、赤道に沿った高度100 mb面の風の東西成分のdailyの変動を経度と時間の断面で示したものです。100 mb面といえば熱帯

* Intraseasonal variations in the tropical atmosphere.

** Masato Murakami, 気象研究所台風研究部.



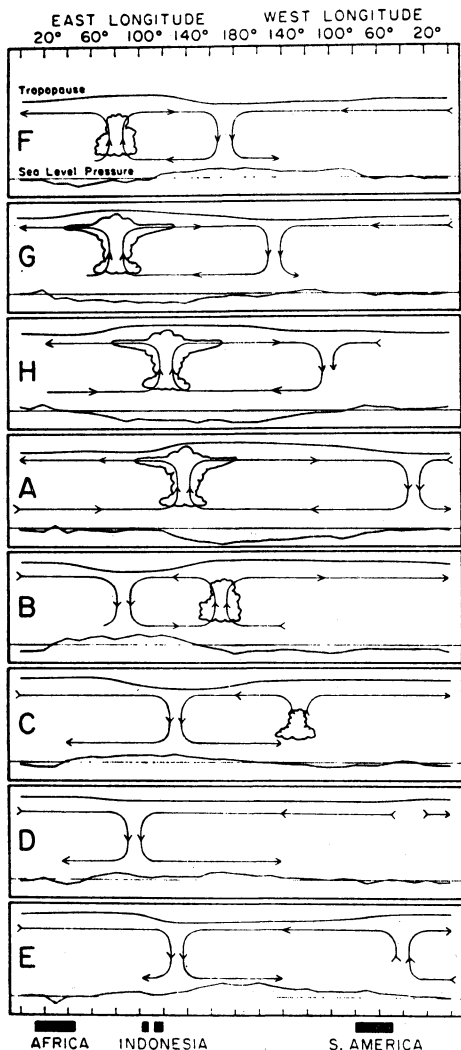
第2図 赤道に沿った地点における100 mb面での風の東西成分の変動を示した緯度-時間分布。期間は1966年。(Parker, 1973)

ではほぼ圏界面高度にあたりますが、この図における東西風の時間変化は約1カ月程度の周期の変動を明瞭に示しています。また東西風の分布を経度方向に見ますと、全球を取り巻いておおまかに1つの西風領域と東風領域が存在し、東西波数1の特徴的なスケールを示しています。さらに経度と時間を結合して見るならば、東風と西風の分布パターンは右上がりの様相を示し、時間とともに東進する振舞を示すことが分かります。もっともこの東進を通じて東西風の pair の振幅はかなり変化しており、西風/東風の境界が西太平洋上に位置するとき最も振幅が強くなり、遠ざかるにつれて弱くなっています。この様相は見方を変えて言うならば、変動の中に東進する進行波成分と西太平洋上に節を持つような standing な成分が存在する、と見ることもできるでしょう。

話が前後するかもしれませんが、上に述べたような特徴、つまり周期が1カ月程度、東西波数1で東進、西太平洋上で風の東西成分に節を持つ傾向がある、といった点はすべて最近の理論的研究やシミュレーションが target としている特徴です。現にいくつかの研究は熱帯における大規模な積雲対流活動の効果を取り入れることによ

り、これらの特徴の再現に成功しつつあります。積雲対流活動といえば対流圏上層のみならず下層の大気運動とも密接な関連を持っています。次に御紹介する Madden と Julian は国際地球観測年 (IGY) の資料を解析して上に述べたような特徴を持つ変動が熱帯対流圏全層にわたる垂直構造を持っていることを示しました。

第3図に示したのが彼らが高層観測資料のスペクトル解析の結果を基に描いた垂直構造の模式図です。この図は赤道上における大気の東西断面を現し、30~60日周期の季節内変動の1サイクルをAからHまでの8つの stage に分けて示しています。彼らの描くところによりますと、赤道地域の季節内変動は対流圏の上層と下層で反転する東西風を伴う大規模な東西循環として特徴づけられます。その循環の水平規模は地球上で時計回りのセルが1つ、反時計回りのセルが1つという東西波数1の卓越スケールを示しています。ところで、このような循環は当然それに伴う大規模な収束/発散場の存在を予想させます。彼らは海面気圧や湿度場の変動なども考慮して、東西循環に伴う大規模な収束場では熱帯の積雲活動も活発化しているものと予想しました。この図ではそれ



第3図 赤道地域における30~50日周期変動に伴う東西循環の変動の様相を模式的に示したものの。(Madden and Julian, 1972)

が巨大な積乱雲のシンボルで現されています。この積乱雲の移動をみますと、東西循環のセルが時間とともに東に進行することが分かります。

第3図はさらに東西循環に伴う積雲対流活動の活発化が赤道上で一様に起こっているのではないことを示しています。積雲活動の活発化はまずインド洋上においてみられ (Stage F)、循環セルの移動と共に西太平洋上に移ります。東西循環の強さと積雲対流活動はセルの上昇領域が西太平洋上に位置する時に最も強く (Stage H)、

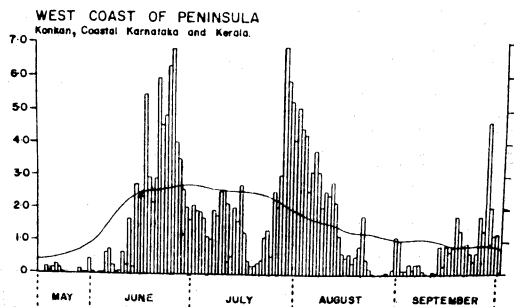
この時点での対流圏上層での東風/西風の pair の強まりは前の第2図で見た解析結果と符合するものです。

このように熱帯の赤道域における季節内変動については、大規模な積雲活動と密接に関連した東進する波数1の東西循環として捉えることができるようです。しかしながら、その後の研究は30~60日周期の季節内変動が赤道付近に局限されたものでもなければ、東進する東西循環のみがその構成要素でもないことを示しました。次にその様相を夏のインド・モンスーンの変動を出発点としてお話してみたいと思います。

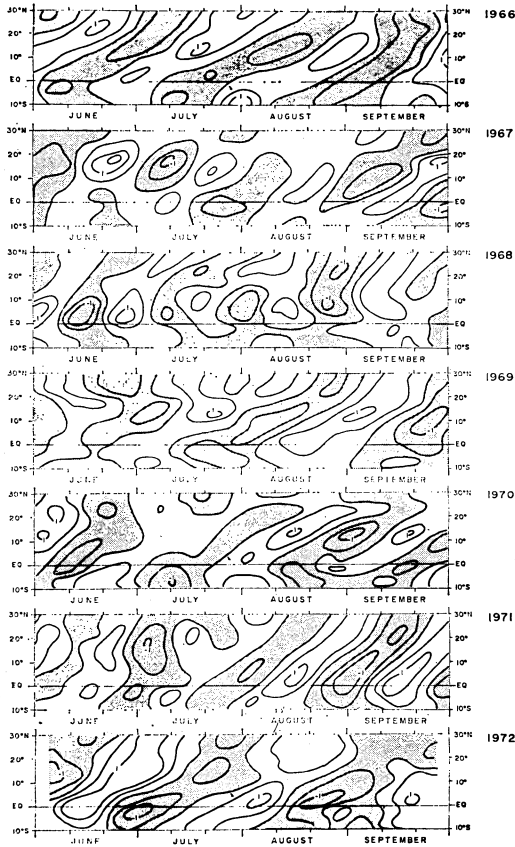
3. モンスーン域の変動 —南北変動—

第4図は1979年5月から9月におけるインド西海岸部での平均の日雨量の変動を示したものです。インドのモンスーン期間中には active/break cycle と呼ばれる変動があることは以前から知られています。この図でもモンスーン期間中の雨は実線で示された平年値の推移をおとなく迎るのではなく、その上下に大きく振れていることがお分かりいただけることと思います。雨量の多い期間がいわゆる active period であり、少ない期間が break period にあたります。この図に現れた4か月あまりの期間中の変動を見ると、active/break の起こり方は単発的なものではなく、約1か月程度の間隔をおいて繰り返して起こっていることも分かります。

今回学会賞を受賞されました安成哲三会員はこの時間スケールの変動をまず雲量分布で解析され、インドにおける約1か月程度の active/break の変動が赤道からの大規模な雲領域の北進を伴っていることを示されました。第5図は1966年から1972年までの夏の期間インド付近の経度帯における雲の30~60日周期変動の振舞を緯度と時間の断面で示したものです。この断面に現れた30~60日



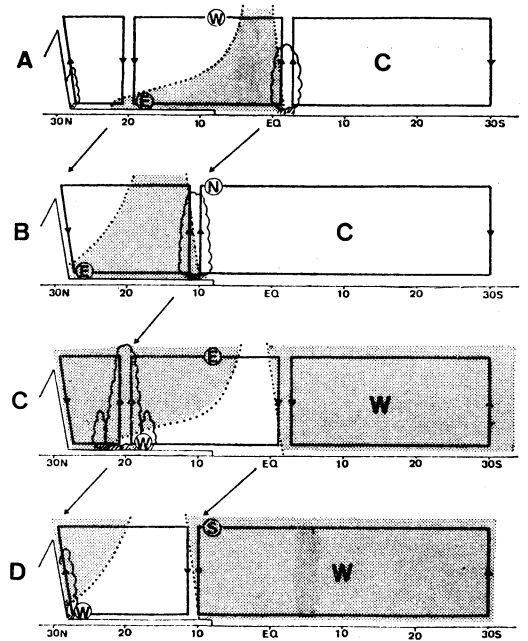
第4図 1979年夏のインド西岸部における平均日雨量の変化。実線は平年値。(インド気象局 Indian Daily Weather Report, 1979)



第5図 時間フィルターにより取り出された雲量の30~50日周期変動の緯度-時間分布図。雲量の値は東経70度-90度で平均された偏差を示す。陰影部は負の領域。(Yasunari, 1980)

周期の雲の季節内変動は各年を通じて共通の振舞をしていることが分かります。すなわち雲量の増大および減少域は緯度幅にして10~15度程度の特徴的な南北スケールを示しており、これが赤道付近から北緯30度にかけて繰り返して北上していきます。北上の速度は緯度にして約1度/日。この北上に伴う雲量の増大域が北緯20度付近に到達した時期が、インド・モンスーンの active period にあたるわけです。

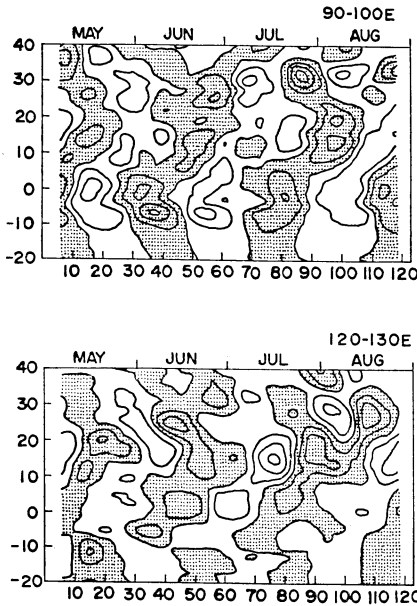
安成会員は更に他の気象要素に現れた季節内変動も解析され、第6図に示すような変動の構造を提唱されました。この図はインド付近の経度での大気循環の構造を南緯30度から北緯30度までの南北断面で示したものです。30~60日周期変動の1サイクルを4つの stage に分け、各 stage における循環の状況、雲量増大域および大



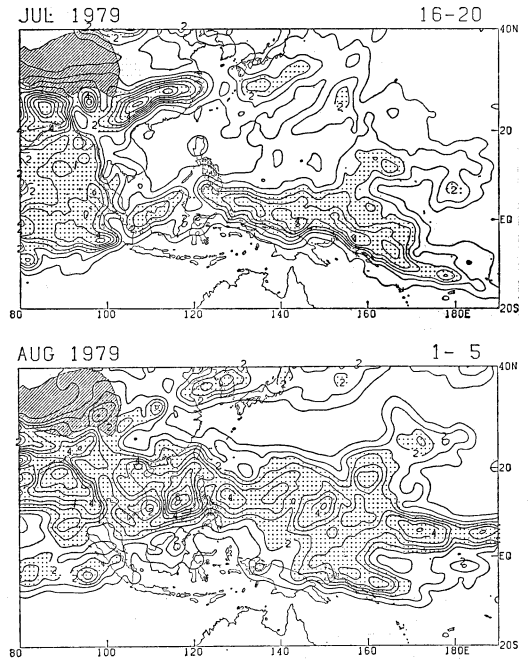
第6図 インドおよびインド洋方面における30~50日周期変動に伴う南北循環の様相を模式的に示したもの。陰影部は相対的に高温の領域をあらわす。(Yasunari, 1981)

気の温度アノミーの分布を模式的に示しています。Stage A がいわゆる break monsoon, Stage C が active monsoon の状態に対応します。この図の示すところによれば、break monsoon から active monsoon に向かっての雲量増大域の北上は大規模な上昇流を伴い、この上昇域と下降域とで形成される循環セルがヒマラヤ・チベット高原に向かって北進して行きます。さらにこの図は同じ時期に南半球では大規模な低温のアノミーが現れることを示しており、夏半球のモンスーン変動に対する冬半球の影響を示唆する極めて興味ある様相です。

ところで、このような大気循環の南北変動は、前に紹介しました赤道地域での東西循環の変動とは極めて対照的な様相です。この南北変動は緯度にして少なくとも30度に及ぶ大きな変位でありますし、しかも単にインド付近の経度に限定されたものでもありません。安成会員や、今回藤原賞を受賞された村上多喜雄会員も相関解析などの結果から、インド付近の雲量変動は東南アジア・西太平洋方面の変動と強い相関を持っていることを指摘されていますが、私も最近 GMS「ひまわり」の赤外資料の解析のなかでこのことを端的に示す結果を得まし



第7図 30~50日周期のバンドパス・フィルターで処理した積雲強度示数の偏差の緯度-時間分布。上段は東経90度-100度で平均したものを示す。下段は東経120度-130度で平均したものを示す。等値線の間隔は0.4、陰影部は正の偏差をあらわす。横軸の数字は1979年5月1日からの日数。(Murakami, 1984)



第8図 1979年7月中旬(上段)および8月上旬(下段)における積雲強度示数の半月平均値の分布。等値線は1.0から始めて0.5間隔ごと。陰影部は2.0以上の領域を示す。

た。次にそれを御紹介してみたいと思います。

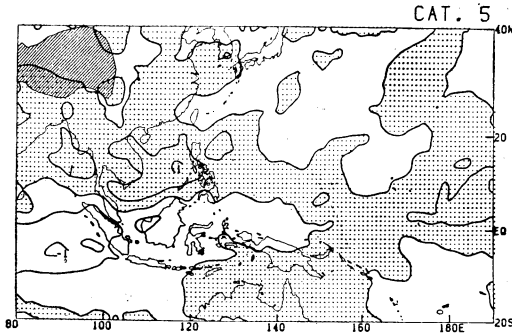
4. 「ひまわり」赤外資料の解析から

私が「ひまわり」の赤外資料を解析に用いた目的は、静止気象衛星の持つ利点の1つである、「広い」範囲を「頻繁に」観測できる、という特性を生かして、熱帯における積雲活動の大規模な様相を、日変化から長周期変動にわたる時間スケールで調べてみようというものでした。そのために赤外資料によって得られる温度情報の中から積雲の雲頂高度によるもの以外の、例えば地面温度の変動や大規模な網雲の影響、といった要素をできるだけ取り除く必要があり、緯度・経度1度四方の領域毎の積雲の強度示数というものを考えてみたわけです。より詳しい内容に興味をお持ちの方は気象集誌(Murakami, 1983; 1984)や気象研究ノート(村上, 1982)を参照していただくことにして、ここではそうして取り出した積雲群の振舞いに見られる季節内変動を御紹介します。

第7図は、1979年夏に見られた積雲活動の30~50日周期変動を緯度と時間の断面で示したものです。上の図は

ベンガル湾を通る経度帯で平均したもの、下の図はフィリピンの東、太平洋上を通る経度帯で平均したものです。この両図における積雲活動アノマリーの緯度方向の振舞いを比較してみると、ベンガル湾方面で繰り返して起こる積雲領域の北上と極めて類似した状況が、ずっと東に離れ地理的環境も異なった西太平洋上にも現れていることが分かります。両方の経度帯とも、赤道付近から出発して北緯約20度までの間を約1度/日の速さで北上する変動が顕著であり、しかも両地域での北上は殆ど時を同じくして起こっていることが分かります。もっともこの図は時間フィルターを通したアノマリーについてのもので、積雲活動に現れたこの周期の変動はかなり顕著なものであり、より生に近い半月平均程度の分布にも認めることができます。次にそれを7月中旬と8月上旬を例にとって御紹介してみたいと思います。

第8図は今お話しした2つの期間での半月平均の積雲の強度示数の分布です。陰影をつけた領域は、相対的に積雲対流活動の活発な地域を示します。当時実施中でした Summer MONEX の Field Phase Report によりま

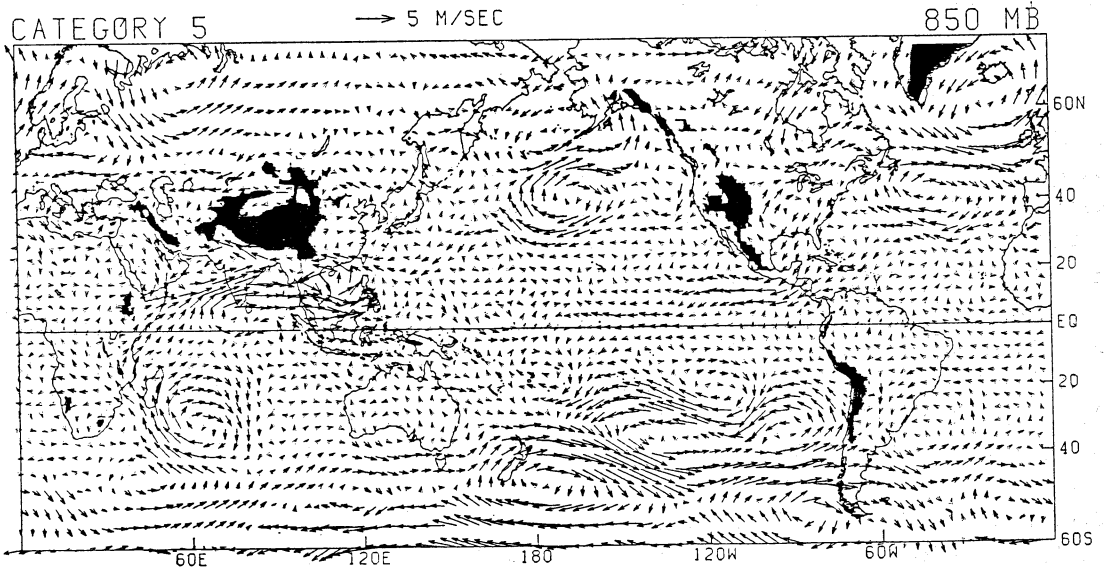


第9図 アラビア海におけるモンスーン西風の極大期でコンポジットされた積雲強度示数の偏差分布. 等値線の間隔は0.5, 陰影部は正の偏差をあらわす. (Murakami, 1984)

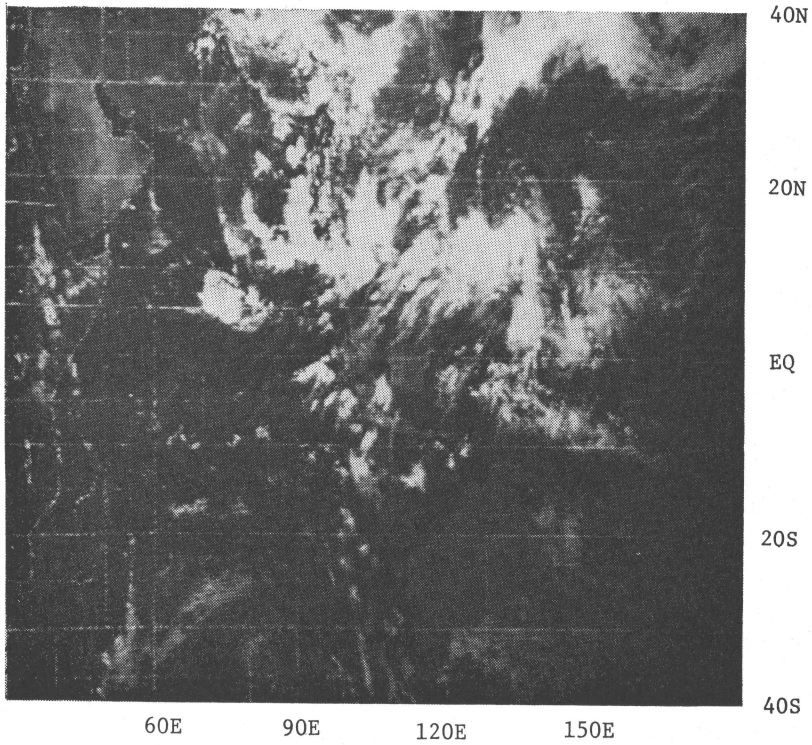
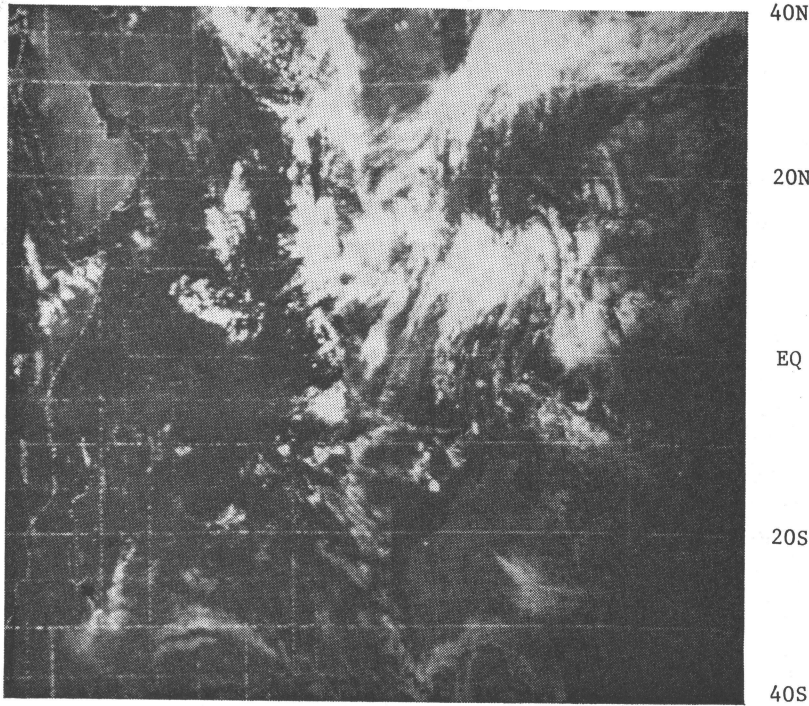
すと、7月の17日にはインドでは break monsoon の状態になったことが報告されておりますし、8月の第1半月は典型的な active monsoon の時期として報告されております。さてこの両図を見ますと、7月中旬にはベンガル湾方面の積雲活動の極大域はチベット高原の南に沿った緯度帯と、赤道のやや南のスマトラ島の沖合に分かれて存在しているのがわかります。西太平洋方面の積雲域もこれとほぼ同じ緯度帯にあり、南シナ海からフィリッピンの南部を通り赤道に沿ってのびています。一方8

月上旬にはこれらの積雲域は大きく北に変位し、ベンガル湾方面では北緯20度付近のベンガル湾頭、西太平洋方面でもルソン島を横切る緯度にまで北上しているのがお分かりいただけると思います。この時期には中部太平洋方面でも積雲対流活動が活発になり、ベンガル湾から西太平洋にかけては積雲域の北上、西太平洋から中部太平洋にかけては積雲域の東進という状況を呈しています。先程この8月上旬が active monsoon にあたると申しましたが、この図のような状況が実は1シーズン中に何回か起こる active/break の季節内変動に伴って繰り返されているわけで、そのことを active monsoon 時についてのコンポジットで示したのが次に御紹介する図です。

第9図および第10図は30～50日周期の季節内変動によるインド・モンスーンの極大期、具体的にはアラビア海上の西風の極大期についてコンポジットした、積雲活動のアノマリー（第9図）と850 mb 面の風のアノマリー・ベクトル（第10図）の分布です。第9図では積雲活動が平均よりも活発な正のアノマリーに陰影をつけてありますが、先程8月上旬の半月平均で見たのと同様の状況が実現しているのがお分かりいただけると思います。第10図にみられる風のアノマリーにはアラビア海から南シナ海にかけて強い西風の強化が現れ、チベット高原の南に沿って存在する東風アノマリーとの間で大規模なトラフの強化を示しています。一方、目を赤道に沿って東に



第10図 30～50日周期変動によるモンスーン西風極大期についてコンポジットされた850 mb 面における風の偏差ベクトルの分布. (Murakami, 1984)



第11図 1985年6月18日(上段) および19日(下段)06Z における INSAT・GMS 合成可視画像。

転じますと、中米から東太平洋上にかけては東風アンモリーが存在し、これとアジア・モンスーン域の西風が西部～中部太平洋上で収束する状況です。そして第9図にみるような積雲活動の活発な領域は、まさにこの収束域に現れているわけです。

さてここに掲げました風と積雲活動の分布は、先に紹介してきました季節内変動の東西と南北の変動の有様を同時に示しています。中部太平洋の積雲域を中心とする一対の東西風の分布は赤道に沿った東西循環の現れであり、一方インドからチベット高原南部・南シナ海にかけての東西風の分布は大規模な南北変動に伴うものです。赤道上の東西循環に伴う風は、発散風で代表されるようないわゆる divergent circulation の特徴を持つものに対して、インド～チベット高原の南北変動には風の cyclonic/anticyclonic な水平シア、または rotational な成分を強く伴っているのが特徴です。この南北変動にとっては赤道を遠く離れた緯度にまで変位する積雲対流活動の振舞が essential であり、おそらくインド・アジア大陸とりわけチベット高原の存在をぬぎには語れないと思います。この変動はアジア・西太平洋の長期予報にとっても重要な意味を持つ現象であります。理論的な取り組みについてはまだ東西変動に比べて立ち遅れているようです。チベット高原の熱的・運動学的な効果、より一般的には南北の熱的非対称性を考慮したものが、これからの課題だと考えています。

さて最後になりましたが、このようにアジア・モンスーンの季節内変動を雲と風で議論しようとする時、風の資料の方はほぼ同時刻の観測を広い範囲にわたって解析できるのに対し、GMS「ひまわり」のみの資料ではどうしても経度範囲が限られてしまいます。特に積雲活動の主要領域の1つであるインド～インドシナ半島方面が、いわば舞台の端の方になってしまうのが不満の種でした。その意味でしばらく前に打ち上げられたインドの静止気象衛星 INSAT に大いに期待していたのですが、最近私たちは昨年夏の期間中の INSAT の全球画像を手に入れ、気象研究所の衛星資料解析装置を使って同時刻の GMS の観測と一体化した画像を作り出すことができるようになりました。今回はこの中から、インド～西太平洋の季節内変動に伴う雲の連なりを端的示しているものを、一二御紹介してみたいと思います。

第11図に示したのは、1985年6月18日および19日06Zの合成した可視画像です。画像の左半分は INSAT、右半分は GMS からのもので、メルカトル投影を基にし

て、北緯40度から南緯40度、西はアフリカ東岸の東経30度から東は西経175度までを一望にしています。経度範囲が広いものですから、正規のメルカトル投影に対して経度方向の巾を約1/2に圧縮してあります。この写真は前にお話しした大規模な積雲活動域の北上が起こりつつある時で、西太平洋上の東経150度付近からベンガル湾まで連なる長大な積雲域を、いわば舞台の中央に捉えることが出来ました。18、19日の両日もインドから西太平洋に至る積雲活動域は顕著であり、しかもこの大きな活動域の中で雲の塊がいくつかの cluster に組織化されているのがお分かりいただけるかと思えます。衛星資料解析装置により何日か分をまとめてアニメーション化してみますと、この長大な積雲活動域全体はゆっくり北上し、その中を今述べた cluster が西進して行くことが分かりました。ちなみにこの積雲域の帯の東の方、西太平洋上にある cluster はこの後1985年の台風5号になります。

ここに御紹介したのは単に1例にすぎませんが、将来の衛星資料の利用についての1つの可能性を示すものと考えています。GMS「ひまわり」の打ち上げ以来、私たちは極東域や西太平洋上の気象の調査・研究にあたって大きな恩恵を蒙ってきました。しかし個々の静止気象衛星の観測範囲は地理的に固定されたものであり、広いとはいえ現象の種類によっては必ずしも最適な領域をカバーしていないことがあります。幸いな事に、現在赤道上空には既に5つの静止気象衛星が打ち上げられており、これらの観測範囲を合わせれば、両極地方を除く地球上をカバーしています。これらは軌道衛星と違って、ほぼ同時刻に一齐に観測を行なうことができます。将来 GTS のようなデータ通信体系が強化され、個々の衛星の範囲にとらわれずに、地球上の好きな地域を好きな広さだけ取り出して検討することができたら、また私たちにとって新しい視野が開けるのではないのでしょうか。今御紹介した、INSAT と GMS の併用によるアジア・モンスーンの季節内変動の研究などは、期待の持てる分野の1つではないかと考えているわけです。

5. おわりに

30～60日の季節内変動についてお話ししたいことはまだ色々ありますが、時間の制約もありますし、あれもこれもと総花的に羅列するよりも焦点を絞った方がシンポジウムの introduction としては良いかもしれません。今回お話しなかった主な項目としては、中・高緯度の循環

への影響、帯状平均流に見られるような大気大循環の変化、さらには Southern Oscillation のような経年変動との関連などがあり、いずれも現在研究が進行中のものばかりです。最初に時間スケールで見ましたように、30～60日の季節内変動は長期予報の守備範囲と重なっています。今述べましたような問題に関する理解がすすみ、季節内変動の力学が確立されるならば、いわゆる力学的長期予報の前進にも大いに貢献するものと期待しております。

講演の終わりにあたりまして、今日まで数々の御指導を頂きました学会員の方々、また良好な研究環境を与えて下さいました気象庁の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- Madden, R.A. and P.R. Julian, 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1109-1123.
- Murakami, M., 1983: Analysis of the deep con-

vective activity over the western Pacific and Southeast Asia, Part I: Diurnal variation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 60-76.

———, 1984: Analysis of the deep convective activity over the western Pacific and Southeast Asia, part II: Seasonal and intraseasonal variations during northern summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 88-108.

村上勝人, 1982: 衛星資料の利用—熱帯気象への利用—, *気象研究ノート*, 第145号, 41-60.

———, 1985: 大気循環の30～50日周期変動, *天気*, **32**, 459-482.

Parker, D.E., 1973: Equatorial Kelvin waves at 100 milibars, *Quart. J. Roy Meteor. Soc.*, **99**, 116-129.

Yasunari, T., 1980: A quasi-stationary appearance of 30 to 40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India, *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 225-229.

———, 1981: Structure of an Indian summer monsoon system with around 40-day period, *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 336-354.

NEWS

世界の異常天候とその影響評価 (30)

(Climate Impact Assessment, August, 1986, NOAA/NESDIS)

1. 合衆国 (南東部)—干ばつの解消

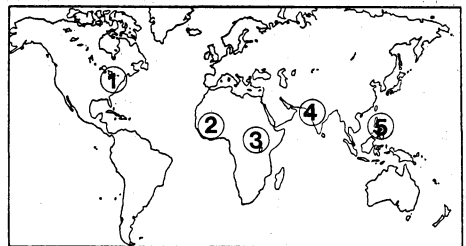
8月の中程度の雨ないしは豪雨と低温が南東部の大部分を支配し、長期間続いた干ばつ状態を解消した。多くの地域では昨年の11月以来久しぶりに平年値を越える月降水量を記録した。

2. セネガル及びモーリタニア—少雨

モーリタニアとセネガルの中部及び北部では、穀物収穫の見通しは良くない。8月はじめに豪雨があったが、生育期間にはいつてからであったので豊かな収穫をもたらすためには遅すぎた。少雨乾燥は、マリ北部やガンビア西部にも影響している。

3. スーダン (南部)—干ばつ

今のところの生育期間の天気は、スーダン南部の深刻な食料欠乏をほとんど軽減しないだろう。8月の乾燥状態は、農作物と放牧に被害を与えた。5月の平年値以下の雨量は、早期に植えつけられた農作物に、既に被害を与えている。



4. インドとパキスタン—干ばつ

インドとパキスタンの大部分では、月降水量は引続き平年値に達せず、農作物収穫の見込みを減少させた。

5. フィリピン—台風

台風 Wayne (14号) は、8月の最後の週、ルソン島西部に、多量の雨 (150 から 300 mm 以上) をもたらし、広範囲の洪水を引き起こした。

注：上記各項目の番号は図中の番号に対応している。

(気候変動対策室 田宮兵衛)