



夏季モンスーン実験計画観測センター での活動*

新田 勅**

1. はじめに

筆者は、1979年7月3日～31日の約1ヶ月間、カルカッタに設置された夏季モンスーン実験計画観測センター (Summer MONEX Operation Center) の一員として MONEX に参加する機会を得た。今回の私の参加は、国際協力事業ということで文部省からの旅費を得て可能となった。日本からは、他に気象研究所の村上勝人氏が、私より半月早くアメリカ MONEX グループの一員として参加されていた。

MONEX の背景、目的、観測網等については、既に MONEX 作業委員会の報告 (天気, 1978年8月号) があるので、ここでは私が滞在していた約1ヶ月間の観測センターでの体験を主にして、実験計画の実施状況と簡単な解析結果をご報告したい。ただし、今回の報告は、現地観測センターで得られた、限られた資料にのみ基づいているため、かなり筆者の主観が入っていること、また、中には筆者の記憶違いの個所もあるかも知れないことをあらかじめお断わりしておきたい。

2. 夏季モンスーン実験計画の概略

実際に実施された Summer MONEX の日程を第1図に示す。Summer MONEX は、大きく分けて二つの観測からなり、一つは5月1日から6月30日までの「アラビア海観測実験」であり、もう一つは7月1日から8月31日までの「ベンガル湾観測実験」である。前者の期間はちょうど第1回地球大気開発計画全球実験 (FGGE) の特別観測期間に対応している。

観測手段としては、(1) 通常の地上観測、高層観測、放射観測が強化され、特別観測として、(2) 放射ゾンデ観測、(3) 船 (約9隻) による地上および高層観測、(4) 飛行機 (4機) による飛行高度およびドロップゾ

ンドの観測、(5) 一定低高度気球による観測、(6) レーダ観測、(7) 境界層観測、(8) ロケット観測、(9) 移流プイ観測 が行なわれた。その他、FGGE の一環として行なわれた全球5個の静止気象衛星のうち3個により、モンスーン領域の気象現象は常時上空からも監視されていた。以上の種々の観測の中でも、今回特別威力を発揮したと思われるものに飛行機からのドロップゾンデ観測がある。これには、アメリカから3機が第1図の日程に沿って参加し、特にじょう乱の詳細な立体観測に多大の貢献を行なった。

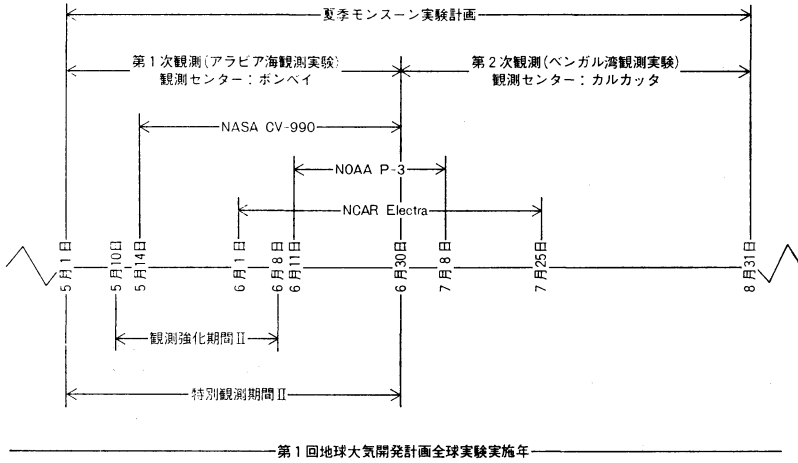
3. MONEX 期間中の気象状況

筆者がインドに滞在していた7月末までの状況では、1979年夏のモンスーン活動は、例年に比べて全体としては弱いということが言える。まず、モンスーン入り前期にあたる4月、5月においてアラビア海の水温が通常より約1.5°C 高かったことがソ連の観測船により報告されており、このことは、アフリカ東岸に沿って吹くソマリージェット流の強さが弱かったこととも対応している。

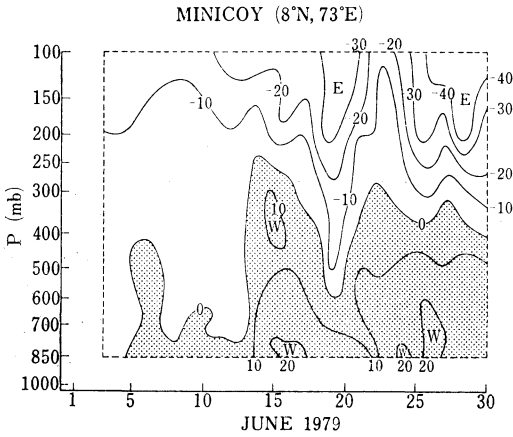
第2図に、インド大陸南端近くの島 MINICOY (N 08°18', E73°00') の風の時間-垂直断面を示す。6月13日に対流圏中層にまで達する西風が出現し、モンスーン入りをもたらした。この西風の到来以来雨は連続的に降り、上層の東風も下層の強い西風の出現に対応して強まっている。通常、この地域のモンスーン入りは5月末～6月初めであるが、1979年は約2週間近く遅れている。このモンスーン入りをもたらした西風は、第3図の経度73°Eに沿う850mbの風の時間-緯度分布より、赤道地方から北上 (約0.7°/day) してきたことがわかる。6月15日頃、緯度15°N付近に現われた東風は、ちょうどモンスーン入りに際し、インド大陸南端付近に発生・発達したじょう乱に伴うものであり、一見このじょう乱の発生によりインド大陸上のモンスーン入りをもたらされ

* Activities at the Summer MONEX Operation Center.

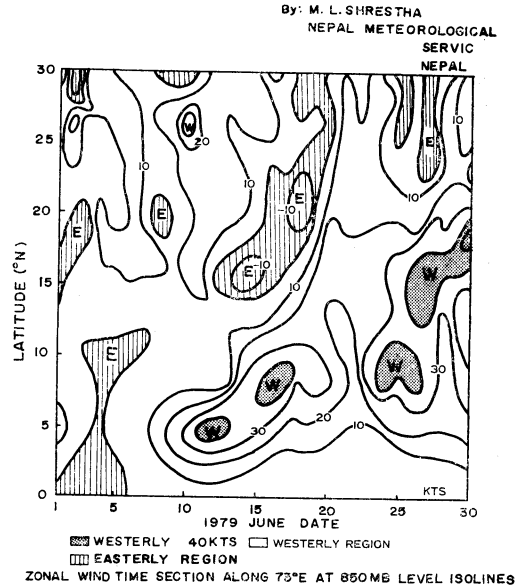
** Tsuyoshi Nitta, 東京大学理学部地球物理学教室.



第1図 夏季モンスーン実験計画の日程と飛行機観測計画。



第2図 MINICOY (N 08°18', E 73°00') の風の東西成分の時間-垂直断面。影の部分は西風。単位は m/sec (ネパール気象台 Mr. M.L. Sherstha による)。



第3図 経度 73° E に沿う 850 mb の風の東西成分の時間-緯度分布。単位は kt. (ネパール気象台 Mr. M.L. Shrestha による)。

たかのような印象を与える。実際、インドの研究者の中でこのじょう乱の発生・発達、モンスーン入りやモンスーンの不活発な状態から活発な状態へ移行させるのに、重要な役割を果たしていると主張する人は多い。しかし逆に、赤道地方から活発な熱帯収束帯が北上し、それに伴う水平シアーによりこのじょう乱が発生したとも考えられ、両者の因果関係については今後詳しく調べ直すことが必要であろう。このじょう乱は、対流圏下層にも大きな振幅を有し、夏季モンスーン期にしばしば観測

される中部対流圏じょう乱とは異なった構造をしていたとのことである (イリノイ大学の Mak 教授の話)。7月に入ると、観測センターはボンベイからカルカッタに移され、ベンガル湾を中心とした観測実験が始まった。この時期、モンスーン低圧部は通常より北のヒマラヤ山麓まで北上し、インド大陸上は比較的降雨量が少な

い状態であった。しかし、この時期の気象現象も、ベンガル湾を中心に細かく見ると、(1)ベンガル湾上にモンスーン低気圧が発生・発達した時期(7月3日~10日)(2)対流活動が不活発な時期(7月15日~22日)(3)赤道方向から大規模な cloud band が北上してきた時期(7月23日~31日) とに分けることができる。

4. 観測センター(カルカッタ)での活動

観測センターをカルカッタに移して行なわれたベンガル湾観測実験の主要な目的は、モンスーン最盛期の大規模場の実態およびその変化を把握することと、モンスーン低気圧の発生から消滅までの詳しいデータを得ることにあつた。そのため観測網として、通常の地上・高層観測網を充実させるとともに、飛行機によるドロップゾンデの観測、海上での船による高層観測が特別に計画された。

アメリカから MONEX に参加した3機の観測機のうち Electra と P3 の2機が、このベンガル湾の観測に参加した。Electra は、10日間、計約70時間飛び120余のドロップゾンデを落とし、P3 は、6日間、計約40時間の飛行時間で約80コのドロップゾンデを使用した。特にモンスーン低気圧が発生・発達した7月3日~10日には2機で集中的に観測を行ない、地上からのデータと合わせて低気圧の構造、発生機構を探る上でたいへん貴重なデータが得られた。

船による高層観測は、第4図のような配置で、ソ連の船4隻、インドの船4隻により7月11日~23日の期間行なわれた。前章で述べたように、この時期は、全体とし

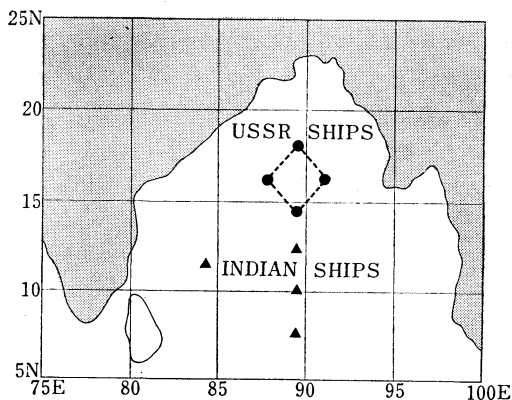
てベンガル湾、インド大陸とも少雨で対流活動は弱く、いわゆる“break monsoon”に対応していると思われるが、この船による特別観測のデータは、“break monsoon”期の特徴を解明する上で貴重な資料となるであろう。

観測センターはカルカッタの国際空港からほど近い Airport Hotel 内に置かれ、観測機の乗務員も含めて世界各国から約100名余の関係者が参加していた。この中には、WMO から派遣された中国2名、アフガニスタン3名、パキスタン2名、アフリカ諸国2名、スリランカ2名、ネパール1名の参加者も含まれていた。

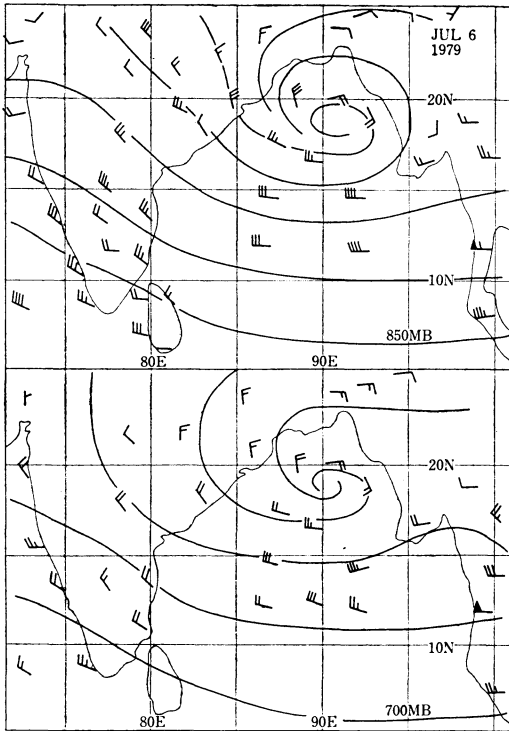
観測センターの主要な任務は、毎日毎日の気象状況を把握し、効果的な飛行計画をたてることであつた。そのためアジア地域の高層天気図は、インド気象局の職員の手により作成され、また、ホテル屋上に設置された受信装置により軌道衛星からの写真が得られた。一方、観測船との連絡も密に行なわれ、観測網の配置やスケジュール等について適宜センターから船に指示が行なわれた。

毎日夕方5時から全員出席による会議が開かれ、地上天気図、高層天気図、衛星写真によるその日の天気概況の説明があり、また当日の飛行機観測の結果が報告される。その後それらの資料を基に、明日のフライトの目的、飛行コース、観測内容についての討論がなされ、最後にその飛行観測に乗り込む研究者の人数が行なわれる。会議の時間、討論の白熱度は当然その時の気象現象に左右され、おもしろそうな現象が起きた時は、討論も白熱化し、2時間を越す会議にもなるが、連日変わりばえのしない天気状況が続くと発言もほとんどなく、1時間足らずでお開きとなることもある。当然そういう時は明日のフライトは中止しようという結論になる。

センターでの共通の会議はこれだけで、日中は飛行機観測に乗り組む人以外特別にこれといった仕事の分担はなく、各自適当に時間を過ごせばよいことになっていた。以前、AMTEX の観測センターに参加した経験から、一応きちんとした仕事の分担と毎日のスケジュールは決まっているだろうと予想して出かけたわけだが、センターに着いてしばらくは何もすることがなくて面くらった。電子計算機はもちろん卓上の計算機もなく、日本から持って行った収支解析用のプログラムも使う機会がなく、最初の数日はただ高層天気図を漠然と眺めているだけであつた。しかし毎日ぶらぶらしているのもったいないということで、村上勝人さんと相談して二人で手分けしてドロップゾンデのおもしろそうなデータを筆写



第4図 7月11日~23日にベンガル湾上で行なわれた船による高層観測網。



第5図 7月6日の850mbと700mbの風分布. 海上のデータはほとんどドロップゾンデによる.

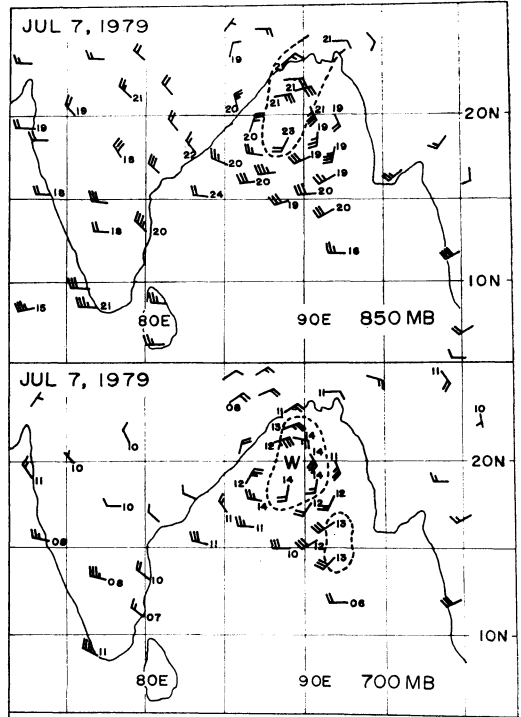
するとともに、簡単な解析を行なうことにした。また、船のデータは空港近くのカルカッタ気象台に出かけ入電してきたデータを借りて筆写した。しかし、電信の不都合や、データ管理の不備で不完全なデータしか得られなかった。

以上のように、観測センターの機能は当初予想していたのに比べ大幅に低く、非能率ではあったが、その後何か飛行機にも乗る機会を得、また多数の研究者たちと議論する機会にも恵まれ、結構楽しく過ごすことができた。そして、観測が一段落した7月26日、27日の両日には、上陸してきたソ連の観測船研究者も含めて、セミナーが行なわれ、各自のこの間の解析結果や今後の研究計画等について交流が行なわれた。

以下の章では、観測センター滞在中および帰国後に行なった解析例を紹介したい。なお、モンスーン低気圧の解析は村上勝人氏との共同で行なったものである。

5. モンスーン低気圧の構造とその発生機構

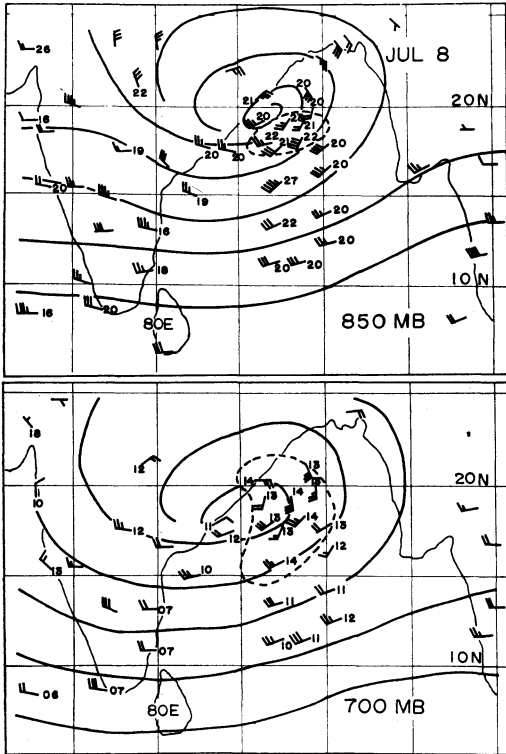
第5図に示されるように、7月6日ベンガル湾上に低



第6図 7月7日の850mbと700mbの風分布. 矢羽の横の数字は温度を示し、点線で囲まれた領域は温暖域を表わす.

気圧性じょう乱が発生した。この発生前の状況を眺めてみると、発生前数日間ベンガル湾の500mbより上層には低圧部が存在しており、この上層の低気圧性循環と下層のじょう乱の発生との間に何らかの関係があるのではないかという疑念が持たれる。実際、これまでのモンスーン低気圧の統計的研究でも、上層の低気圧性渦が下層に降りてきてモンスーン低気圧が発生したという例が数多く報告されているようである。しかし、上層の渦がどのような過程を経て下層に降りてくるのかは、これまでのところ明確ではない。一方、発生1日前の7月5日には、ベンガル湾最北端付近(～22°N)に停滞しているモンスーン低圧部に沿って弱い渦状の循環が認められ、6日の低気圧は、一見モンスーン低圧部の先端の渦が南下して発生したかのような印象を与える。しかし、モンスーン低圧部には常時この種の弱い低気圧性渦が存在し、通常1～2日で生成・消滅を繰り返しており、6日に見られるような組織化された大きな低気圧として発達するには、また別のメカニズムが必要のように思われる。

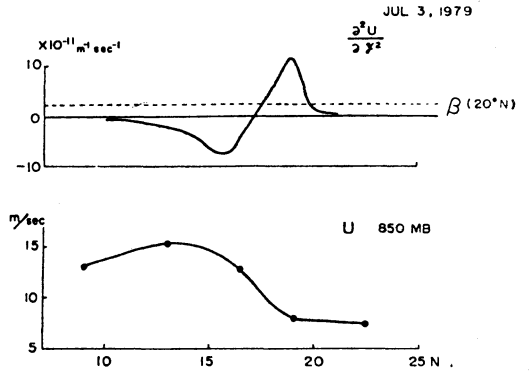
その後、この低気圧は発達しながらゆっくりと西進



第7図 第6図と同じ。ただし7月8日のもの。

し(第6図, 第7図), インド大陸に上陸後はやや速度を早め衰退していった。低気圧が最盛期であった7月7日, 8日の構造から, この低気圧の特徴は, (1) 水平軸が北東から南西に傾いていること (2) 暖域(点線で囲まれた領域)が中心のやや東側に存在すること (3) 活発な対流群は低気圧の中心の南西側にあり, 北側および東側では対流活動は非常に弱いこと といえることがわかる。以上の構造上の特徴から低気圧のエネルギー循環を推測してみると, この低気圧は一般流の運動エネルギーからエネルギーをもらっており, 位置エネルギーからの変換量は小さいかむしろ逆向きになっているらしいことがわかる。

そこで, じょう乱が発生する以前の7月3日のデータを用いてベンガル湾のほぼ中心を通る $88^\circ E$ に沿って 850 mb の風の東西成分の緯度変化を調べたのが, 第8図である。すると, $15^\circ N$ から $20^\circ N$ にかけて東西風の南北変化の大きい領域があり, 南北方向の2階微分はその途中で符号を変えており, $20^\circ N$ の β (コリオリ・パラメータの南北微分) を考慮しても順圧不安定の必要条



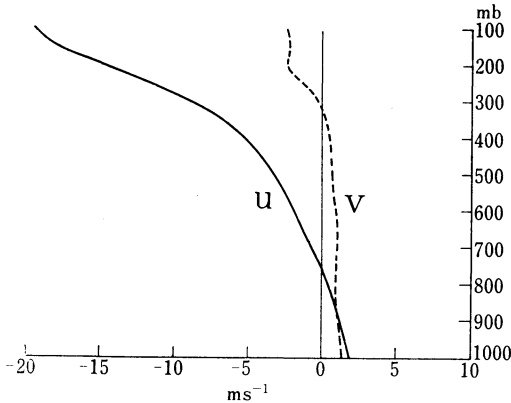
第8図 モンスーン低気圧発生前の7月3日における 850 mb の東西風の南北分布と, その2階微分. β はコリオリ・パラメータの南北変化率(気象研究所の村上勝人氏による)。

件を満たしていることがわかる。 $\beta - \partial^2 U / \partial y^2$ が符号を変える所は緯度約 $18^\circ N$ で, 発生時の低気圧の中心(第5図)にほぼ対応している。

以上のような簡単な解析から, 今回発生した低気圧は順圧不安定によって発生した可能性が強いと言えるが, これらの解析は断片的な一部分の資料のみに基づいたものであり, 今後品質管理を受けた最終データで定量的に解析し直される必要がある。また, 前述したような上層の低気圧性循環や定常的に存在するモンスーン低気圧とモンスーン低気圧との関係等についても, 今後詰めた考察が要求されるであろう。ともあれ, ドロップゾンデを主としたベンガル湾での観測は, モンスーン低気圧の力学を解明する上で非常に貴重なデータを提供してくれたと言えよう。

6. ベンガル湾上の熱・水蒸気収支

モンスーン期のベンガル湾上の熱・水蒸気収支を調べるために, 第4図で示されるような4角形観測網をなすソ連の観測船によって得られた高層データを用い, 収支計算を行なった。ただし, センターで入手したデータの不揃いのため, 比較的揃っている7月21日~23日の3日間の計算の平均分布を示す。この時期, ベンガル湾南部 $10^\circ N$ 付近には北上してきた顕著な ITCZ があり, 観測網の置かれた中部ベンガル湾はその cloud band の北側にあたり, 下層の西風が急速に弱まってきている(第9図)。この弱まった西風に対応してインド大陸中央部の降雨量は少なく, いわゆる“break monsoon”の状態であった。

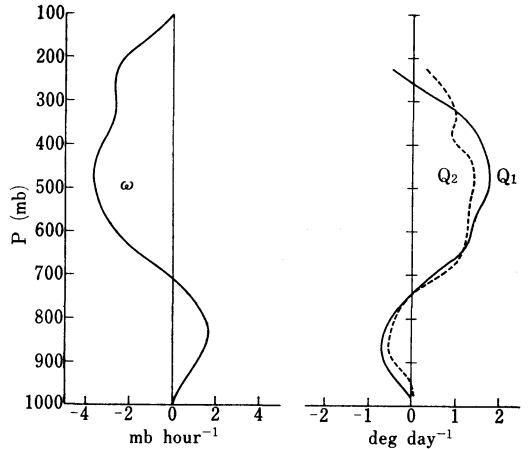


第9図 第4図に示される4角形観測領域の7月21日～23日の平均風分布。

このような時期における4角形領域で計算された、上昇流、非断熱効果 Q_1 、水蒸気のシンク Q_2 の分布を第10図に示す。対流圏下層に弱い下降流があり、中層から上層にわたって上昇流が存在するが、その値は -3mb/hr 以下であり、通常熱帯収束帯で観測される上昇流に比べると極めて小さい。同様に、 Q_1 と Q_2 の値も小さく、積雲対流の活動による非断熱効果や水蒸気場に及ぼす影響が弱いことを示している。また、 Q_1 と Q_2 の垂直分布がほぼ一致していることは、積雲対流による垂直方向の全熱輸送量が小さいことを示している。以上の結果は、衛星写真から得られたこの領域において積雲対流の活動が弱かったこととよく対応している。

7. おわりに

筆者が参加したカルカッタに置かれた観測センターの活動を中心に報告し、簡単な解析例を紹介したが、WMOでは観測期間中に為された簡単な研究結果を速報的に知らせるために“Field Phase Research During Summer MONEX”を1979年末までに出版の予定であり、Summer MONEXの概況を知るのに都合よいであろう。また、MONEX関係の最初のデータとしては、MONEX Quick-look Dataが、1980年1月末にWDC (World Data Center)-A (USA) および WDC-B (USSR) から出る予定である。品質管理された Level II-b と呼ばれるデータが入手可能になるのは、1981年の予定で



第10図 7月21日～23日のベンガル湾上の平均鉛直P-速度、非断熱熱源 Q_1 および水蒸気のシンク Q_2 。

ある。Summer MONEXの観測計画の内容、データ処理程については、WMO発行の“Volumes of the FGGE Implementation/Operations Plan”の第6巻 Part Bに詳しく述べられている。

これまで私自身熱帯気象の研究では、そのほとんどは東西にほぼ一様と考えられるような海洋上での現象を扱ったものであり、今回大陸の影響をもろに受けた現地の観測センターに参加することにより、熱帯に突出した大陸の及ぼす影響の大きさといったものを改めて認識させられた。また、観測期間中、現地で直接実際の気象現象に触れる機会を得たことはたいへん貴重なことであり、今後の研究に大いに生かしていきたいと思う。特に、モンスーン低気圧が発達した7月7日、8日の2日間、Electraに乗って眼下の低気圧の存在を感じながら機内で行なった解析は、たいへん印象深いものがあった。また、時々息抜きのため出かけたカルカッタの街中のすさまじい雑踏、カルカッタ空港の観測機のすぐ側で起きたハイジャック事件、観測中上空で操縦席の窓にヒビが入りあわてて引き返した経験等、1ヶ月間のインド滞在は私の脳裏に強烈な印象を残してくれた。

最後に、共に観測センターに参加し、今回の報告をまとめるにあたり、貴重な資料を提供して下さいました気象研究所の村上勝人氏に感謝します。