

MONEX 第3回計画会議に出席して*

新 田

尚**

1. はじめに

1971年にインドが正式にモンスーン実験 (Monsoon Experiment, MONEX) を提案してから6年の年月が経過した。その間、1973年のエレバン (ソ連) での第1回研究会議における問題点の整理、1974年のプリンストンとキャンベラでの非公式な討論を経て、同年秋シンガポールで開催された第2回研究会議で MONEX によって解かれるべき科学的目的と取上げる問題の優先順位が正式に承認された。その内容の詳細は後節で述べることにするが、ここで注意したいのはこの優先順位ということ、それは必ずしも学問的重要度の順位ではなく、当面参加者の関心が高いものの順位である。しかも関心というあいまいなものを対象にしているの、不変というわけでもないが、限られた資源を有効に活用する上でとりあえずつけた便宜的なものである。

さて、こうして基本目標が明確にされた MONEX は、ハワイ大の村上多喜雄博士とフロリダ州立大の Krishnamurti 博士を中心に具体的な実験観測計画案の作成に入り、さらに Keshavamurty (インド)、Chuchkalov (ソ連)、Lisogurski (ソ連)、Findlater (イギリス、ナイロビ駐在)、Das (インド)、Stommel (アメリカ) といった専門家の参加を得てジュネーブの GARP 活動本部 (GAO) がまとめることになった。MONEX の科学的目的、解決されるべき問題、実験観測への要請、資料処理、海洋研究プログラム、数値実験プログラム、観測実施時期といった諸点についての一応の案が、1976年暮れにまとめ、GARP Publications Series No. 18 として刊行された (文献参照)。

今回の計画会議は、この案に基づいて具体的な観測実施計画を検討するために開かれたもので、計画会議とし

ては最初だが前2回の研究会議を受けた形で第3回計画会議と命名された。

会議は1977年2月28日から3月4日まで、インドの首都ニューデリーで開かれ、17ヶ国2国際機関の45名 (オブザーバーを含む) が出席した。出席国の分布も東アフリカ、ソマリア、サウディ・アラビアからインド亜大陸の諸国、インドネシア、香港、日本とモンスーン圏をほぼ網羅しており、さらにモンスーンに高い関心を示す米ソ両国も参加した。特にアメリカは豊富なルビー積立資金を持つため大型代表団を派遣し、またアラビア海で低層定高度面気球を打上げる予定のフランスの参加も注目された。翌週に予定されたモンスーンの国際シンポジウムの開催 (別途報告) も参加者増加に寄与していたと思う。

2. 第3回計画会議の意義

前節で述べたように、本計画会議の最大の目標は、参加予定諸国が MONEX のために貢献する観測網・観測手段と FGGE の観測網・観測手段を正確に見積もり、両者を統合した総合的観測体系をつくり上げることである。

ところで、GARP の全体計画の中での MONEX の位置づけはどんなものであろうか。周知のように、GARP の中で全地球プログラムの FGGE が中心となっていて最優先されており、その周辺に地域プログラムとして各種副計画 (サブ・プログラム) が位置づけられている。両者はお互いに相補い合って、限られた資源を有効に利用すべく義務づけられている。MONEX は、モンスーン副計画の一部である。

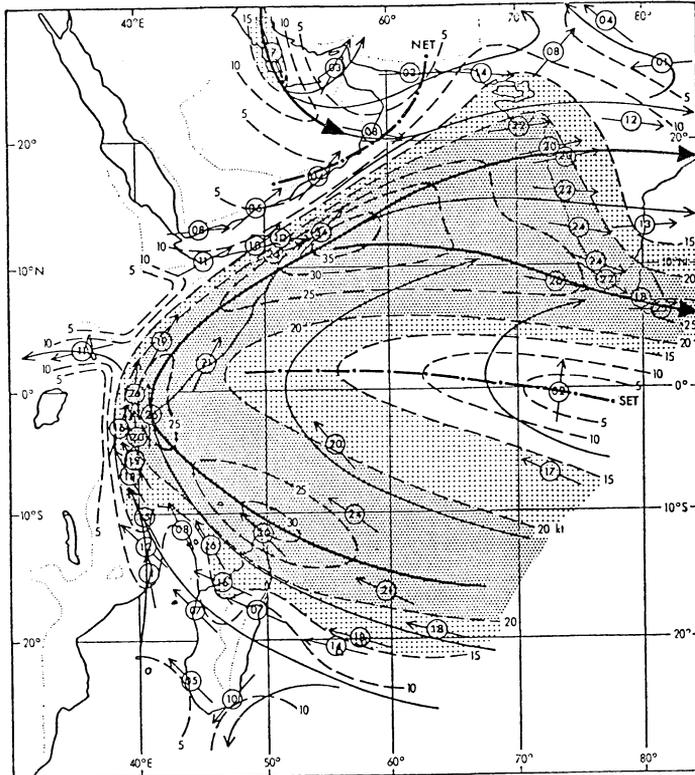
モンスーン副計画は、次の観測実験から成り立っている。

- Indo-Soviet Monsoon Experiment (ISMEX-73)
- Monsoon-77 Experiment
- Monsoon Experiment (MONEX)
- West African Monsoon Experiment (WAMEX)

ISMEX-73 は、1973年夏にインドとソ連が中心にな

* Report of the Third Planning Meeting for MONEX.

** T. Nitta, 気象庁電子計算室.



第1図 高度1kmでの月平均(7月)の気流 (Findlater, 1971による)。

ってアラビア海の特別観測を実施したものである。Monsoon-77は、1977年夏と冬に実施を予定されている観測計画で、夏はアラビア海とベンガル湾、冬は南シナ海を中心に特別観測を行なう予定である。これはMONEXを小型にしたようなもので、いわばリハーサルともいえよう。WAMEXは西アフリカ大陸を舞台にした、主として夏のモンスーンの観測実験計画で、1979年FGGEの夏の特別観測期間(SOP-II)と一致して施行される予定である。

MONEXは、WAMEXと同様1979年にFGGEと軌を一にして実施される予定だが、冬のモンスーンの観測実験はSOP-I、夏のそれはSOP-IIとそれぞれ一致させ、さらに独自の観測を追加しようとしている。そして空間的には東のMONEX、西のWAMEXが一体となってFGGEを支え、またFGGEの恩恵を受ける形をとっている。

FGGEの全観測体系については、JOC(主として総括と科学的助言を担当)とWMOの政府間パネル(主として観測実施面を担当)が煮つめを行なっているが、

各副計画についてはそれぞれ計画会議を開いてつめていくことになっている。MONEXについての計画会議も、こうした背景の下に開催されることになった。

3. MONEXの概要

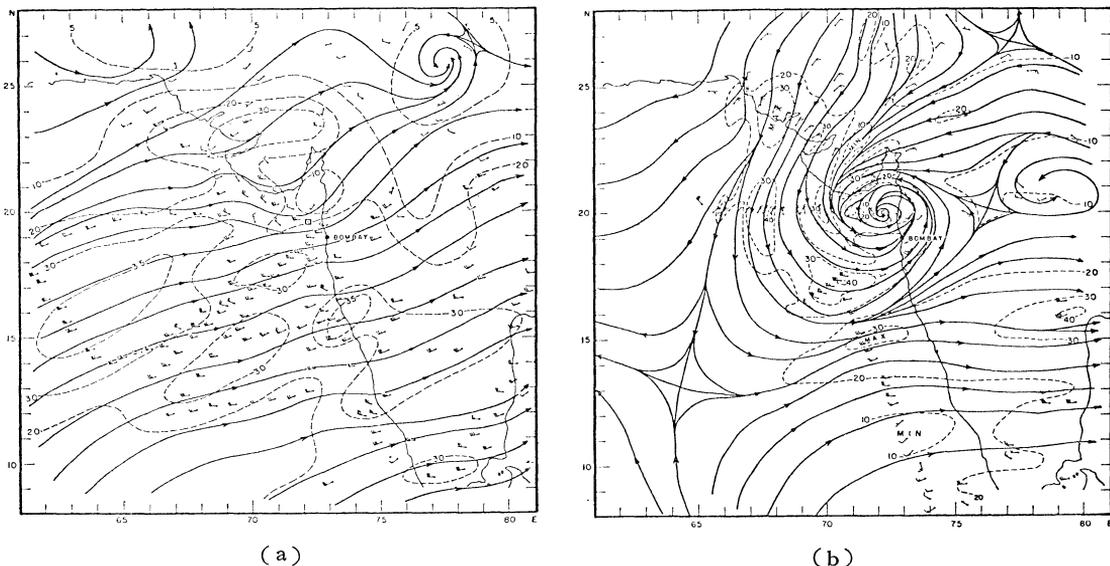
ここでGARPが提案しているMONEX¹⁾について、その概要を述べておこう。

3-1 MONEXの科学的目的

MONEXの科学的目的は、一口にいうとモンスーンという古くからの課題に近代気象学の光をあてて、その全体の物理像を理解し予報精度の向上にも資そうとするものである。モンスーンを全地球的な大気大循環の一部としてとらえるアプローチと地域的な特性の研究をめざすアプローチの両方を柱としており、前者は主としてFGGEの観測網、後者はFGGEとMONEX独自の総合的観測網に頼ることになっている。

3-2 MONEXで取り扱う問題点

MONEXは夏季、冬季の両モンスーンを取り上げるが、以下それぞれに含まれている問題点を概観しよう。



第2図 (a) 対流圏下層(500m~900m)での運動学的合成解析図。解析に用いた風データをプロットしてある(長い矢羽10ノット, 短い矢羽5ノット)。太線は流線, 破線は等風速線(Miller・Keshavamurthy, 1968による)。
(b) 600mb面の運動学的合成解析図。他は(a)と同様(Miller・Keshavamurthy, 1968による)。

3-2-1 夏季モンスーン

(a) アラビア海と西インド洋上での観測実験

この領域では、海気相互作用、逆転層と下層ジェットの2つが主要な問題点である(第1図)。前者についてはインド亜大陸のモンスーン性降雨の水蒸気源を調査することが中心であり、後者に関しては逆転層の構造や下層ジェットの変動およびアラビア海との相互作用などが主題である。これらの調査研究のためには、かなり細かい観測網が必要であるが、MONEXではGATEのような小規模現象の観測を行わない。GATEとMONEXの大きな違いはGATEが積雲対流のパラメタリゼーションを目指したきめ細かい観測を実施したのに対して、MONEXではあくまで大規模現象が主であり、上述の中規模現象も大規模現象のための情報を得るために観測するものである。したがって、海気相互作用や境界層のための高解像度の観測網を展開することはない。

(b) モンスーンじょう乱

モンスーンに伴うじょう乱は、解析的にも理論的にも未解明の部分が多い。現在のところ知られているのは、ベンガル湾に発生して西北西進する台風に類似したモンスーン低気圧と対流圏中層に最大振幅をもつ中部対流圏じょう乱(下層と上層ではごく弱い)があるのみ:第

2図)の2つであるが、これらの詳細な3次元構造、発生・発達・維持の機構(不安定性)、モンスーン循環との関連等の問題がある。

(c) モンスーンの開始、活発なモンスーンと不活発なモンスーン

これらの問題は、地域的な視点と全地球的な視点の両方に関連している。モンスーン降雨の開始は赤道付近の降雨帯の北上に伴って起こるといわれているが、その詳細な過程についてはよくわかっていない問題が多い。また、モンスーン活動の活発・不活発の期間が、それぞれどのような機構で生起するのか、不明の点が多い。こうしたモンスーン活動の本質にかかわる問題は、昔からいろいろ取り上げられてきたが、まだ表面的な議論に終始している。

(d) モンスーン循環と他の循環との相互作用

上にみた観点をさらにひろげると、全地球をめぐる大循環の一環としての夏季モンスーンが、周辺の循環すなわち南半球の循環、太平洋上の循環、中緯度波動、成層圏循環などくりひろげる相互作用が重要となる。これらの相互作用がモンスーンに及ぼす影響の程度を、きちんと見積もることもMONEXの大切な目的となっている。

第1表 FGGEの実施年(1978-79)における主要観測手段.

観測手段	観測要素
1. WWW	
高層観測点	風, 気温, 気圧(高度), 湿度
地上観測点	地上風, 地上気温, 地上気圧, 地上湿度, 雲量等
極軌道衛星	気温鉛直分布, 雲写真等
静止衛星(5)	風, 雲写真等
商業航空機, 商船	風, 気温, 気圧(高度)
2. 特別観測手段	
熱帯観測船	風, 気温, 気圧(高度), 湿度
ドロップ・ウィンドゾンデ航空機	風, 湿度, 気圧(高度)
実験衛星(ニンパス-G, タイロス-N, メテオー等)	(a) 海水分布, 降雨率, 土壌水分 (b) 放射収支, 地表面アルベード (c) 赤外放射, アルベード
浮遊型パイ	地上気圧, 海水表面温度(25°S-65°S)
定高度面気球	風, 気温(赤道上200mb面) 風, 気圧, (気温)(アラビア海上1000m)
海洋観測船	海水温度, 流速, 塩分等

(e) 熱冷源

ヒマラヤ山系が力学的のみならず熱力学的にも重要な役割を果たし, それがモンスーンに大きく影響することはよくいわれているが, その効果を定量的に吟味することはまだなされていない。その意味で放射の直接測定が望まれている。いっぽう, モンスーン領域での降雨量のきちんとした全域的な測定もまだなされていないので, 熱収支の正確な見積りもできない現状である。モンスーンに関連した熱冷源の問題では, 平均状態と長期変動の両方について理解していく必要がある。

3-2-2 冬季モンスーン

これまでモンスーンというインド亜大陸の夏季モンスーンが主として語られてきたが, 東南アジア諸国(特にシンガポール, マレーシア, インドネシア, オーストラリア)にとっては11月頃から始まる雨季, 南シナ海のじょう乱, 赤道付近の谷といったものの存在が冬季の気象状態を左右する重要な要素である。また年間を通じて著しい気象活動がみられるという意味でも注目されてい

る。しかし, これらのどの現象をとってみても正確な動静が把握されていない。

当初の計画では,

(1) 寒冷モンスーン・サージ

(2) 豪雨期につづく干天期の出現

(3) 冬のモンスーン循環と他の循環との相互作用の3つのテーマが取り上げられたが, 後述のように最近さらに新しい観点が加えられてきた。

3-2-3 地形の効果

大規模・中規模の山岳系の力学的効果は, モンスーンに限らず重要な問題で, まだすっきりと解決されたとは到底いえない状態だが, この問題は MONEX でも扱われると共にさらに長期間・広範囲にわたって取り上げようという方向にある。

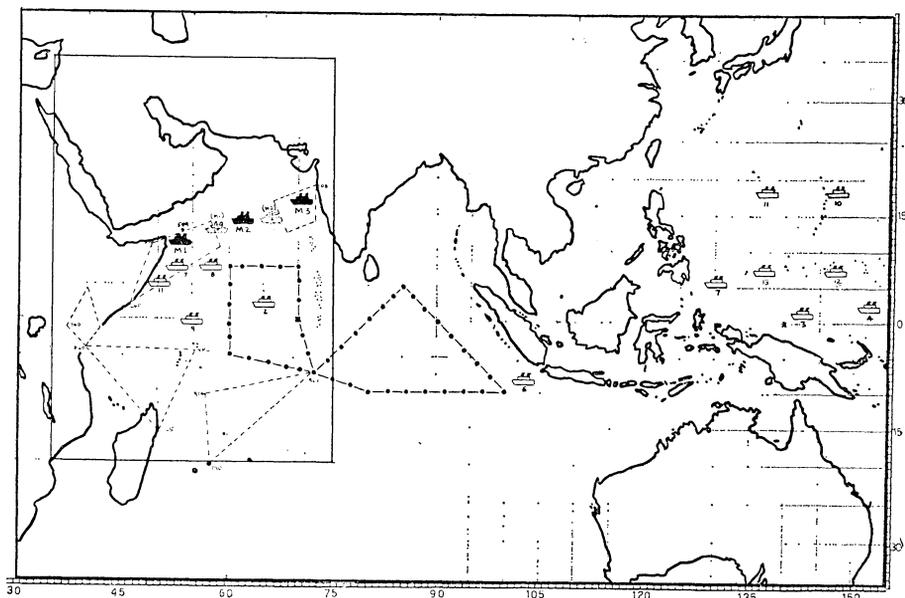
3-3 MONEX に対する観測網

MONEX はかなりの部分 FGGE の観測網に依存するが, モンスーンの地域的特性の研究にはそれだけでは不十分で, どうしても MONEX 特別観測網が必要である。それゆえ, 限られた資源を FGGE と競合しないように考慮しつつ特別観測網が立案された。以下簡単に紹介するが, これはあくまで科学的な見地からの提案であって, 後述するように今回の計画会議でこの提案に対する各国の参加の状況が議論された。

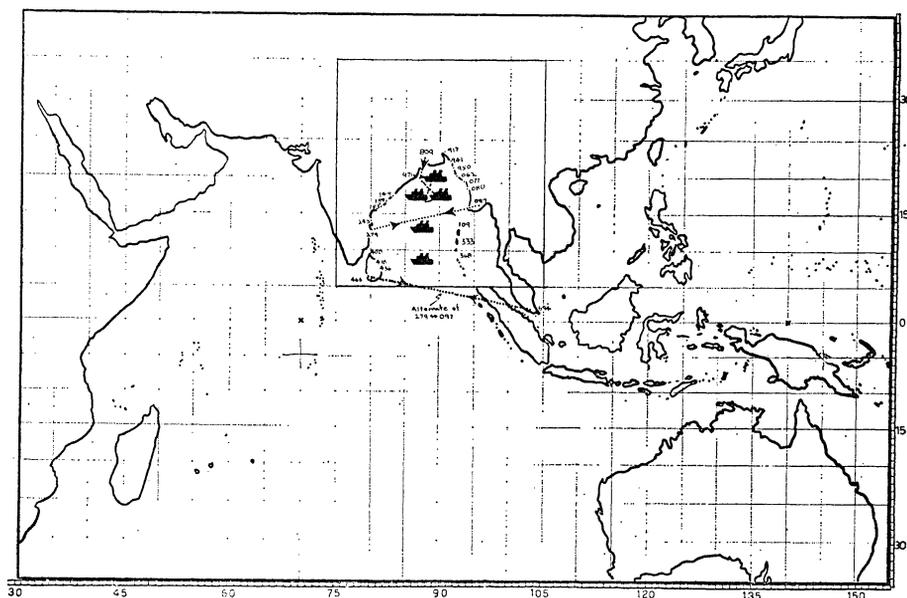
まず復習を兼ねて, 第1表に FGGE の本番で展開される観測網・観測手段を掲げる。MONEX 特別観測網は, これらに付加して, 気象・海洋観測船, 研究用航空機, 移動式高層観測所, 地上・高層観測点の臨時増設, レーダの設置, 商業航空機と商船のデータの特別収集等を予定している。つぎに主な地域プログラムについて, MONEX 特別観測網をみていこう。ここでは観測船, ドロップ・ウィンドゾンデ航空機, 研究用航空機の配置, 経路を検討したい。

3-3-1 アラビア海と西インド洋上での特別観測網

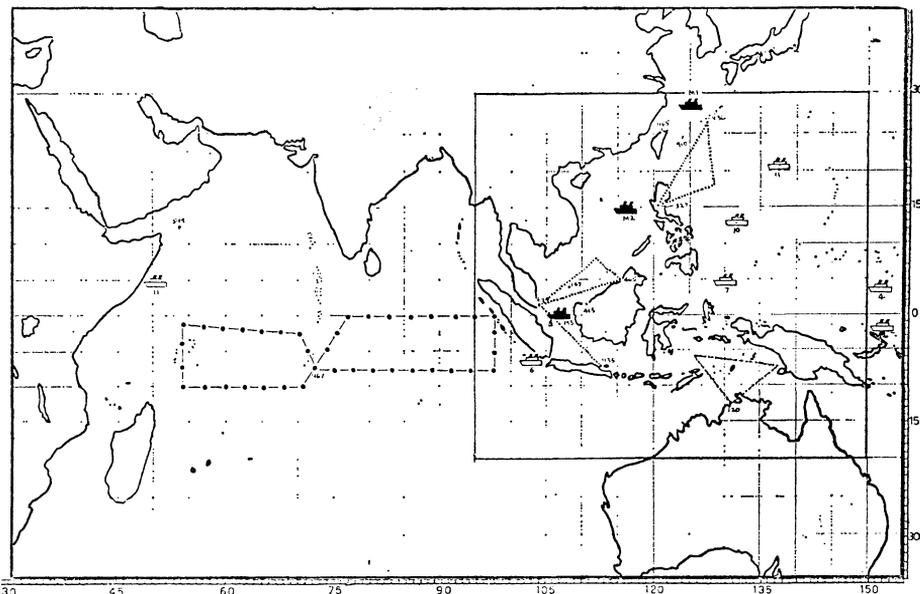
第3図に示した MONEX の観測船・観測機の配置・経路は, 南半球からアラビア海西部と東アフリカ上を通過してインド亜大陸に流入する下層ジェットおよびそれに伴って発達している逆転層の観測を対象としている。また, MONEX 期間中この図に示していない海洋観測船も出て, 海気相互作用の観測が行なわれる予定である。さらに, フランスが低層定高度面気球を放球して風等の特別観測を行なうよう計画している。この観測網はモンスーンの開始の研究観測も兼ねている。



第3図 アラビア海と西インド洋上での観測網。黒塗りの船は MONEX 特別観測船の位置。白抜き
の船は FGGE 熱帯観測船の位置。破線の船は MONEX 特別観測船の代替位置。太線
はドロップ・ウィンドゾンデ航空機の経路、破線は研究用航空機の経路。いずれも提案さ
れたもので1979年5月-6月に実施予定(主として SOP-II と一致)。



第4図 ベンガル湾上での観測網。記号の説明は第3図参照。いずれも提案されたもので1979年7月-
8月に実施予定。



第5図 冬季モンスーン研究のための観測網。記号の説明は第3図参照。いずれも提案されたもので1978年12月—79年2月に実施予定（主として SOP-I と一致）。

3-3-2 ベンガル湾上での特別観測網

上記の観測船をアラビア海からまわして、ベンガル湾上に発生するモンスーン低気圧や中部対流圏じょう乱を観測しようとするものである（第4図）。この観測網は、上記の観測網と共に、活発および不活発なモンスーンの研究観測も兼ねている。

3-3-3 冬季モンスーン研究のための観測網

冬季モンスーンの研究観測は南シナ海の高層観測とフィリピン、インドネシア、オーストラリア等陸上での地上・高層観測を重視している。また、これらの地域の降水量観測にも重点を置いている。さらに、北からの寒気団流入に伴う気団変質観測のために、研究用航空機も欠かせないものである（第5図）。

3-4 MONEX の時期と優先順位

既述の通り MONEX の主要部分は FGGE の SOP-I および II に一致させて実施の予定である（第6図）。元来、SOP-I は冬の北半球の循環や極ジェットや中緯度じょう乱の研究観測を、SOP-II はモンスーンの研究観測を主要なテーマとして計画された全地球実験のための特別観測期間である。しかし、冬季モンスーンの研究観測には12月も欠かせない期間なので、これは地域的な努力で補うことになっている。いっぽう、夏季モンスーンの方は5月から8月にかけて現象が展開するため、前

半を特別観測期間とした。後半は地域的な努力で補う予定である。いずれにせよ、1978年12月から79年11月までの1年間は、FGGE の実施年であるため普段の年よりも強化された観測の施行が期待されている。

限られた資源を有効に利用するために、MONEX でも地域プログラムに優先順位をつけて、順位の高いものから観測網を実現させていくことにしている（MONEX 中で全地球的な視点にたつプログラムは FGGE 自体が GARP の中で最優先されているため、特に MONEX での順位は与えない）。はじめにも述べたように、これらの順位はあくまで便宜的なもので、学問的価値の順位を意味しない。

第1順位：(a) アラビア海と西インド洋上での研究観測、(b) 冬季モンスーンの研究観測。

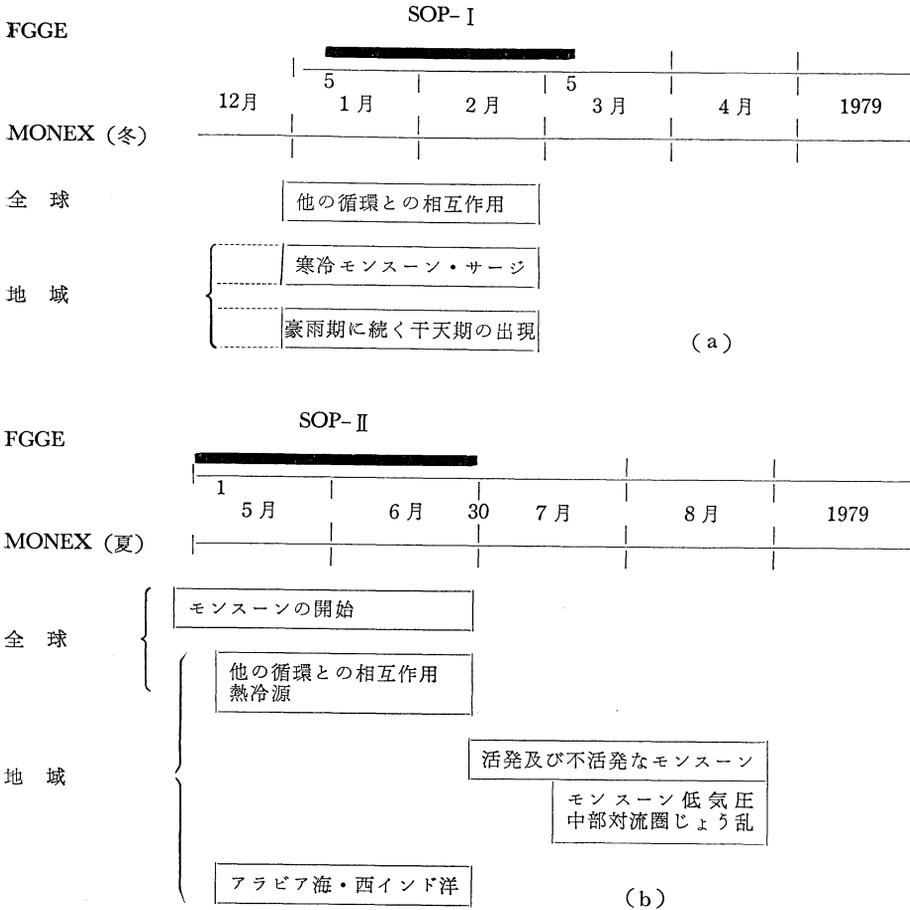
第2順位：ベンガル湾のモンスーン低気圧。

第3順位：(a) モンスーンの開始、(b) 活発および不活発なモンスーン。

4. 第3回計画会議の討論と結論

4-1 科学的目的

MONEX の提案（GARP Publications Series No. 18—文献参照）の内容が必ずしもすべての参加者に引きわたっていなかったこと、最近の研究の進展と諸情勢の変化を考慮すべきだという意見があったことによ



第6図 (a) 冬季モンスーン研究観測のスケジュール, (b) 夏季モンスーン研究観測のスケジュール。

て、MONEX の科学的目的に関して熱心な討論がくりひろげられた。作業委員会を設けて検討した結果、JOC が承認した科学的目的を大きく変更することは好ましくないが、提案の内容を一段と深める形での追加修正は必要であるとの結論に達し、つぎの諸点が指摘された。

(1) 放射：MONEX において放射観測は、重要な位置をしめるので、放射ゾンデ観測所の増設等を含めた観測網の拡充に基づいた研究観測計画をつくる必要がある。

(2) 境界層：アラビア海の下層ジェットと逆転層の研究観測計画を整備し、各種観測手段の有機的活用をはかる必要がある。

(3) 風観測：MONEX の観測網に動員される各種観測手段を総括的に利用して、最も信頼度の高い風観測のデータ・セットをつくる必要がある。

(4) 冬季モンスーン研究：寒冷モンスーン・サージと豪雨期間のより厳密な科学的定義が必要である。

(5) 東アフリカ冬季モンスーン：東アフリカ諸国にとっても冬季モンスーンは重要な現象なので、資源と MONEX の科学目的の許す範囲内でこの問題も取り上げていきたい。

4-2 モンスーン副計画の現状

MONEX 以外の研究プログラムの現状はつぎの通りである。

(1) Monsoon-77 Experiment：夏の研究観測は予定通り実施される予定で、インドとソ連は観測船、アメリカと東アフリカ共同体は研究用航空機を出す計画である。ソ連はさらに1隻追加して合計5隻派遣すると発表した。また、この実験観測期間中モンスーン領域の地上・高層観測点の増加も行なわれることになっている。冬

の研究観測については、これまで立遅れていたが、ソ連が南シナ海に観測船を1隻派遣することになり、大きく前進した。計画会議では、Monsoon-77のデータがなるべく早く研究者に行きわたることとその成果をMONEXの企画に活用していくことが要望された。

(2) WAMEX: WAMEXも昨年暮れの第1回計画会議を経て本格化してきたが、間もなく最終的な科学的計画案が提案される運びとなった。WAMEXとMONEXの科学的目的には共通の点が多いので、なるべく両者を関連づけてすすめていくことが要請された。

4-3 MONEX への各国の寄与

今回の計画会議の最大の焦点は、提案された計画書が要請している観測網の展開に対して、参加各国がどの程度寄与する予定かを明らかにする点にあった。

まず大雑把な印象から述べると、要請に対してほぼその80%ぐらいは満される見込みがたつたように筆者には思われる。以下、主要なものについて検討してみよう。

観測船: モンスーン領域の半分以上は海洋であるため気象・海洋観測船はどうしても欠かせない。幸いFGGEのSOPと重なる期間が多いので、第3, 4, 5図に示した白い船のかなりの部分はFGGE観測網として配置される予定である(ただし、現状では実現率は60%ぐらい)。MONEX独自の船としては、これらの図に黒く塗った船が提案されているが、第3, 4図の夏季モンスーン研究用の観測船は一応全部見通しがついている。ただし、インドが派遣する船は高層観測の装備を持たないので、この点の改善が望まれる。東大海洋研の白鳳丸も、夏季モンスーンと西太平洋循環の相互作用等の研究観測も兼ねて西太平洋域に配置される予定である。冬季モンスーン研究用の観測船(第5図)については、ソ連が1隻南シナ海への派遣を約束している。

観測機: アメリカと東アフリカ共同体が研究用航空機の派遣を考慮中で、特にアメリカはNCARの観測機を持って来る予定である。なお、会議の席上、香港から英海軍の船舶と航空機の利用可能性が報告された。観測々器と観測員の確保が今後の課題だが、明るいニュースであった。

高層観測点: インドをはじめモンスーン領域内の各国でMONEX期間中の観測点の増設と観測回数の増加を図ることになっている。詳しい地点名については、本計画会議の報告書を参照されたい。さらに、アメリカは夏、冬ともに各6~12箇の移動式高層観測所を寄与する予定である。これは飲料水の入手できる土地ならどこに

でも設置できるそうで、学生の手によって運営されるらしい。すでに予算の見通しはついているとのことであった。

レーダ観測網と降雨観測網: ビルマがレーダを設置して、現在空白となっている観測網を少しでも埋めようとしているほか、2~3の国でも増設が検討されている。また、降雨量の資料も重要なので、特にインドネシア、マレーシアなどでの観測網の展開が望まれている。

気象衛星: 特に夏のインド洋(ソ連の静止衛星)、冬の南シナ海域(日本の静止衛星)にとって、静止衛星からの風のデータは欠かせないものである。したがって、日ソの静止衛星に対する期待は大きい。日本はすでにアウトプットの情報を公表し、本計画会議の報告書にも付録としてつけられている。しかし、ソ連は全く情報を発表せず、打ち上げも1979年以降にずれ込むのではないかと危ぶまれている。

低層定高度面気球: フランスがすでにテストを繰り返しているものだが、1979年夏にもアラビア海で放球して、下層ジェットの観測を予定している。

今回の計画会議では、要請とそれに対する各国の寄与の差を検討し、今後そのギャップを埋める努力をすることが確認された。

4-4 MONEX 実施のための管理体系

MONEXの運営に当たっては、

GARP活動本部(GAO): 全体的なまとめと連絡

夏季モンスーンのセンター: インドのニューデリーに設置の予定

冬季モンスーンのセンター: マレーシアのクアラルンプールが候補にのぼっている

の3者が担当することになっている。夏・冬の両センターは、実験観測施行前はプランニング・センター、実施中は管理センター、観測終了後は資料処理センターの役割をそれぞれ果たすことになっている。

MONEXが国際協力事業である以上、これらのセンターも国際的なスタッフの構成で運営される必要がある。すでにアメリカは長期のセンター駐在員の派遣を決めているし、ソ連も同様の方針ときいている。また、インドをはじめとして東南アジア諸国もセンターへの駐在員の派遣を考慮している。

5. MONEX と最近のモンスーン研究

インドがMONEXを提案した頃のモンスーンについてのわれわれの理解と現在の学問的知識の水準とでは、すでに大きいひらきがある。MONEXは、この新しい

知識水準を一層確実なものとしながら前進させようとするものである。最近のモンスーン研究での著しい傾向は、

(1) 全地球的大循環の一環として理解しようとしていること

(2) 現象の理論的理解(たとえば CISK-barotropic-baroclinic 不安定性としてとらえる)の方向がはっきりしてきたこと、

(3) 数値シミュレーションがかなり実際の現象に近づいてきたこと

である。従来の天気図解析だけの形態学や観測事実の羅列から、内部機構の解明へと一歩ずつ進んでいるようである。

モンスーンについては門外漢だった筆者も、2年間におよぶ GAO での MONEX 担当の経験から多くのことが学べて、この大きいテーマをこれからの仕事の中で意識していけることを喜んでいる。また、対流圏の中にもまだ正体のはっきりしない現象がいくつかあることがわかったのも、ひとつの収穫であったと思う。

文 献

JOC (ICSU/WMO), 1976: The Monsoon Experiment, GARP Publications Series No. 18, WMO, 124 pp.

JOC (ICSU/WMO), 1977: Report of the Third Planning Meeting for MONEX, GARP Special Report として WMO から発行予定。