

47年度 春季大会シンポジウム

「AMTEX の観測計画」

1. 日時 47年5月16日(火) 10時~14時30分
2. 会場 気象庁講堂
3. 司会 曲田光夫, 窪田正八, 浅井富雄
4. 話題提供
 - 1) 山本義一(東北大理) 経過報告
 - 2) 片山 昭(気研予報) AMTEX の意義と目的
 - 3) 光田 寧(京大防災研) Core Experiment の内容
5. 自由討論

1) AMTEX 経過報告

山 本 義 一*

1961年12月, 国連は「外圏大気の平和利用に関する決議1721」に基き, WMO に対し, 「気候変動および天気調節の可能性をたしかめるための大気科学の確立」についての勧告を行った。1962年6月, WMO はその具体策として WWW 計画を国連に提案した。1962年12月, 国連は ICSU に対して, WMO と協力して大気科学の研究を発展させることを要請した。ICSU は, 1964年6月, ICSU/IUGG Committee on Atmospheric Sciences (CAS と略称) を設け, その問題の検討を開始した。CAS は, 1965年1月, 国際的な協力体制のもとに, 30 km 以下の大気の大循環を研究するための具体案を作成した。これが地球大気開発計画 (Global Atmospheric Research Program, 略称 GARP) と呼ばれるものである。

なお, この研究計画に対し WMO は強い関心を示し, ICSU と密接な協力をする事になり, 1967年10月, CAS は発展的に解消し, 代って WMO/ICSU Joint Organizing Committee for GARP, 略称 JOC, が発足した。

国内では, 1966年5月日本学会議の地球物理研究連絡委員会内に GARP 小委員会が設けられ, ついで1967年5月, 日本学会議は, わが国が GARP に協力, 参加することを政府に勧告した。この勧告に基づき, 1968年7月, 測地学審議会がわが国の GARP 計画を審議す

ることとなり, 同審議会内に GARP 部会が設けられた。このようにして, わが国における GARP に対する協力体制は, 地物関係の他の国際協力事業と同様に, 学会議に属する GARP 小委員会で原案が作成され, 測地学審議会で審議の上, 政府機関にその実施が勧告されるという方式をとることになった。

その後, 1970年4月, ブラッセルで開催された GARP Planing Conference において, Air Mass Transformation Experiment, 略称 AMTEX, が日本より提案された。その際インド, ソ連からもそれぞれ national interest を基調とする提案があり, 同会議はそれらの提案の重要性を認め, JOC にそれらの検討を行わせることにした。1970年6月開催の第4回 JOC はこれらを GARP 地空相互作用副計画の中で検討することとし, この問題に対する Ad Hoc Study Group を作って, 検討をゆだねた。

一方国内 GARP 小委員会もさきの提案を具体化するため, 特別観測部会を設け, 「南西諸島海域における気団変質に関する特別観測計画」—AMTEX 第1次案 (1971年1月)—を作成した。

1971年2月ボンベイで開催された第5回 JOC 会議は, 前記 Ad Hoc Study Group の報告書および日本の計画に基づいて, Air Mass Transformation Experiment を GARP の Sub-program として採り上げることを母

* G. Yamamoto 東北大学

体機関に勧告すると共に、日本が initiative をとって早急に国際的な AMTEX の Study Conference を開くことを要望した。つづいて AMTEX を GARP の Sub-program とすることは、1971年5月ジュネーブで開催された ICSU 執行委員会および1971年9月トロントで開催された ICSU 執行委員会でそれぞれ正式に承認された。

以上の経過をへて、1971年11月東京で AMTEX の Study Conference が測地学審議会 GARP 部会および GARP 小委員会の共催のもとに、国内の関係者、米国、カナダ、オーストラリアの GARP 国内委員会代表および JOC 代表の参加のもとに開催され、AMTEX 計画の具体案が討論された、その内容は AMTEX 研究会議報告に示された通りであるが、日本の原案が、若干の希望条件を付して承認された、また AMTEX の実施のために国際的なメンバーからなる Steering Committee

(企画委員会)と日本人のみからなる Management Committee (実行委員会)とを設けることが決定された。

この会議の結果は、1971年11月に開かれた測地学審議会および GARP 小委員会に報告され、それぞれ了承された。

その後実行委員会において、この研究会議に提案された気団変質モデルの確立、実験の中核となる重点実験計画 (Core Experiment) の選定方針について検討する小委員会が作られ、AMTEX 改訂版が作られ、1972年2月 GARP 小委員会および地球物理研究連絡委員総会の了承を得た。

さらにこの計画実施に要する費用は関係各機関より、個別に GARP 特別事業費として昭和48年より概算要求されると共に、測地学審議会 GARP 部会および同総会の審議を経て、同審議会から政府に一括勧告されることになる。

2) AMTEX の研究目的とその意義

片 山 昭*

1. AMTEX の背景

地球大気開発計画 (GARP) の目的は、大気大循環の機構を明らかにし、長期予報の物理的・数学的基礎を確立する事にある。GARP の第一次の総合実験観測計画として FGGE が、1977年実施をめざして企画されつつあるが、それを効率よく遂行するために解決されるべき多くの問題が残されている。これらを重点的に解明しようとする pre-experiment としての目的を、GARP 副計画である AMTEX は持っている。

大循環の立場から、どのような問題を予め探求する必要が有るであろうか。大気大循環を維持する原動力は日射エネルギーである事は明白であるが、その大部分は海洋を媒体として、間接的に大循環に影響を及ぼす。いったん、地球表面で吸収された日射エネルギーは、顕熱・潜熱の形で大気にヒート・バックされ、さらに大気の大循環系との相互作用のもとで空間に再分配されて得られる熱源分布が、直接的な効果は大循環に及ぼす。そのため、地空相互作用による大気境界層へのエネルギーの供給と自由大気への輸送の機構は本質的に重要である。

大気中の熱源の冬季における南北分布をみると、熱帯に強い熱源が存在し、また中緯度に2次の極大が現れて

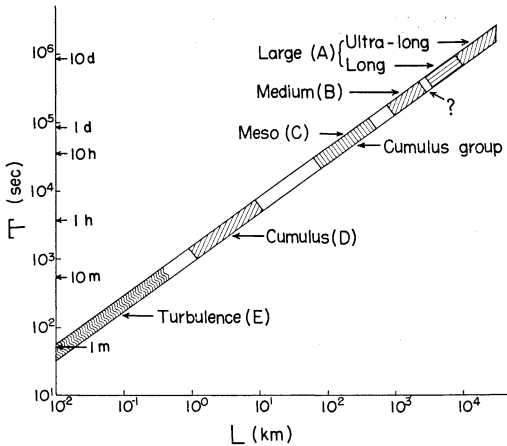
いる。熱帯の熱源の殆んどが凝結熱によってまかなわれており、しかも、その降水の殆んどが積雲対流活動によるものである。そのため、熱帯を含めた大循環の記述には、どうしても積雲対流効果を導入しなければならない。GFDL は簡単な対流調節方式を、UCLA は CISK の概念を考慮した塔状積雲モデルを用いているが、十分な観測によって定量的に裏づけられてはいない。1974年に大西の熱帯領域で実施される GATE 観測の第一の目的はこの解明に置かれている。

さて、中緯度の2次の熱源に眼を展じよう。熱源の北半球分布から、それは冬季における大陸西海岸沖の強い熱源により支えられており、その内容は海面から供給される顕熱と潜熱の解放による。すなわち、表面海水温の水平傾度が極めて強い海域での著しい気団変質によるものである。

ここで、大気中のじょう乱のスケールについて考える事が必要になる。AMTEX に関連した議論において、次のような分類が行なわれた。

Large-scale (A, 大規模)	{ Ultra-long (超長波) $\geq 10,000$ km Long (長波) $\sim 5,000$ km
Medium-scale (B, 中間規模)	
Meso-scale (C, メソ)	100 km \sim 500 km

* A. Katayama, 気象研究所



第1図 大気中の各種じょう乱の空間スケールと時間スケール(寿命)との関係

Cumulus-scale (D, 積雲対流) 1 km ~ 10 km
 Turbulence-scale (E, 乱流) ≲ 1 km

であり、その空間スケールに時間スケール(寿命)を対応させ、模式的に示したのが第1図である。両軸を対数スケールにした時、大体直線上にのっている。何故このような分類が行なわれたか、その根拠につき簡単に述べて置く。

大規模じょう乱は、長波と超長波に分かれるが、いずれも地衡風バランスと静力学平衡がよい近似で成り立つ特性を持っている。長波は、中緯度を次々と東進する高低気圧の群で代表され、そのじょう乱の構造とか、何故それらが5,000 km 前後の波長を持つかは、傾圧不安定の理論から充分説明できる。超長波は、東西方向に10,000 km 以上の波長をもち、その発達移動は非常にゆっくりしており、その波の構造は、長波と明らかに異っている。

中間規模じょう乱は、対流圏中層以下に顕著に現れるじょう乱で、その構造は長波とよく似ている。現象面では、前線の上に1,000 km 前後の間隔でならぶ低気圧家族とか、孤立した小低気圧として観測される。従来長波との区別はなされていなかったが、これらがしばしば急激に発達して、台風級のじょう乱になったり、強い豪雨を伴う事実は知られていた。最近の時岡(1971)の理論的研究によれば、地衡風バランスの制限をはずし、リチャードソン数が1よりやや小さい安定性の弱い大気で、積雲対流的な加熱効果を導入すると、1,000 km 前後のスケールのじょう乱が最も発達しやすくなるという結果を得た。これらのことから、中間規模じょう乱を一つの固

有のじょう乱と見做すこととなった。

メソじょう乱は、発達した積雲対流群として、レーダ観測などで把らえられ、現象的にはこのスケールの存在は認められる。しかし、そのじょう乱の3次元構造が解析的に不明確であるため、他のスケールのじょう乱との差異は確かめられておらず、また不安定理論から、このスケールの存在を証明することには成功していない。

積雲スケールの存在は、観測および理論から比較的明確であり、数100 m の晴天積雲からの10 km 程度の積乱雲におよび、湿潤対流として把握できる。一方、大気境界層で卓越する乱流スケールの現象は、主として等方向性を持った渦として記述できる領域である。

今までの大気大循環の数値実験や短期の数値予報は、300~500 km の格子間隔が用いられていたため、中間規模じょう乱は不十分にしか記述されていなかった。それでも、大循環の第一次的な特徴の殆んどを定性的にシミュレートすることができたので、中間規模じょう乱を記述可能にすることは、それ程本質的であるとは考えられていなかった。1970年代にはいり、格子間隔が100~250 km という fine mesh による数値実験が行なわれるようになったが、それを見ると、前線帯や降雨帯の分布がより realistic に再現されているのみならず、何の効果も及ぼさないとされた超長波のエネルギーを著しく増大させている。このことは、大規模運動を予報するためだけでも、中間規模じょう乱の動向を無視してはならぬ事を示している。さらに、その数値実験の結果は、単に格子間隔を短かくして、中間規模じょう乱を記述可能にするだけで、結果や予報が改善されるわけではなく、それと同時に、少くとも中間規模じょう乱により支配される集中化した積雲対流群の活動の効果を導入することが不可欠であることを示している。

積雲対流群の効果を考える時、われわれは中間・メソおよび積雲スケールのじょう乱の間の相互作用、さらに乱流により規定される大気境界層の性質との関連の問題に立ち入らざるを得ない。中間またはメソ・スケールのじょう乱に伴う水蒸気の大気下層(主として大気境界層)での収束が積雲対流群の発達を規定することは定性的には知られており、また積雲がメソ・スケールの群に組織化されていることも観測事実である。しかし、この3種のスケール間の相互作用の過程のどの部分が最も本質的であるかは明らかでないのが現状である。

現実の問題として、広い領域を対象とした数値モデルで、メソ・スケールまでを記述する(格子間隔~10 km)

企ては当然実現するとは考えられない。中間規模までを記述する格子網を用いるのがせいぜい一歩である。そのためには、メソじょう乱やそれに伴う対流活動効果、積雲対流と境界層との関係などのいわゆる subgrid スケールの現象を、中間規模以上で記述可能な量で表現するという、パラメタリゼーションの方式を開発することが是非必要となる。

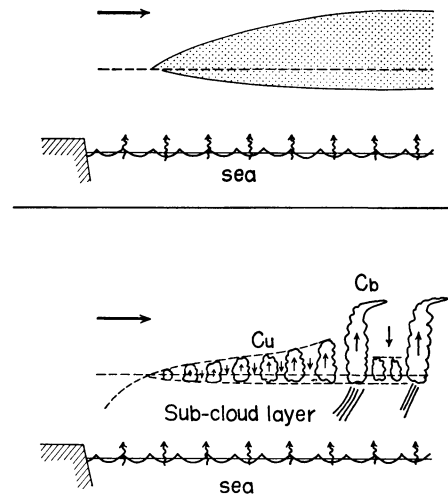
大気境界層はすでに述べたように、大気のエネルギー循環の立場からみて基本的に重要である。このうち、接地層に関しては、今までに膨大な研究や観測がなされており、一応確立したかに見える分野である。しかし、海洋上の接地層については、波との複雑な相互作用、動揺するプラットフォームからの観測の困難性から多くの不明確な点が残されている。最近行なわれた BOMEX の観測結果はそれらの問題点を浮彫りにしている。たとえば、30分～50分の記録から covariance を計算し、垂直フラックスを求める現在のやり方では、かなりの過小評価に導くという事実は、今まで測定していなかった長周期変動をも考慮すべきことを示している。また、広い海域からの平均的な熱供給量を知るためには、バルク法に頼る必要がある、その中に含まれる輸送係数の値をどう与えるか、また風速、気温や湿度はどのように観測され処理されるべきかが問題となる。異った測器による上記の気象要素のそれぞれの測定値を用いバルク法で熱フラックスを求める時、30%～50%のバラッキを生ずる事を、BOMEX の結果は示している。

大気境界層上部における垂直輸送の機構については、殆んど未解決の分野といってよい。いままで、この領域、すなわちエクマン層は、単にエクマン・スパイラルの問題、換言すれば運動量輸送の問題として研究されているに過ぎなかった。エクマン層は、熱エネルギーを接地層から自由大気へ輸送する中継的な役割を果しており、その機構の解明が重要な課題となってきた。かかる研究は、最近開始されたが、それを検討し発展させるには、余りにも観測が少な過ぎる。Deardorff (1972) は数値実験によりエクマン層の構造を把握しようという試みを行っているが、観測によって実体を解明する努力が是非必要である。

2. AMTEX の研究目的

以上のような背景において、AMTEX 研究計画の目的は、気団変質の著しい地域において、地表面（海面）から大気境界層を通して自由大気中に種々の形でエネルギーや運動量が供給される過程を明らかにし、これを適

Air - Mass Transformation



第2図 気団変質に対する2種の模式図

当な数値モデルに導入し、大気じょう乱の生成（たとえば、冬期の台湾附近の小低気圧）などの過程を物理的に正しく表現することである。

従来、気団変質の過程は、乾冷な大陸気団が暖かい海面上に流入し、多量の顕熱と水蒸気を海面から供給され、垂直乱流交換により、下層から上層に運ばれてゆき、温暖化・湿潤化の度合と高さが時間と共に増加し、相対湿度が100%に達すると雲が形成されるという静的な立場で扱われており、拡散方程式の典型的な応用問題として取り扱われてきた。

しかし、北陸地方の豪雪などに関連した多くの観測からも明らかのように、気団変質に伴ないおこる現象はそのような静的なものでない。下層の湿潤化と不安定化に伴い、大気境界層上部に薄い細かい積雲が形成され、それは厚さとスケールを増してゆく。それと同時に雲層下に温位・比湿が一様に近い混合層が形成される。さらに変質が進むにつれ、積雲群の一部は強い降水をもたらす積乱雲に発達し、また中間規模じょう乱による下層収束があれば、組織化された積乱雲が出現し、その加熱効果はヒード・バックして中間規模じょう乱の異常な発達を促進する。このような動的な立場から気団変質の現象を把らえようとするのが AMTEX であると考えてよい。第2図に、静的な立場を上図、動的な立場を下図に模式的に示したが、その差異は明らかであろう。

ここで、AMTEX 計画の目的をより明確にすれば、

次の4つにしばられる。

- 1) 中間規模現象の発生・発達 の 解明
- 2) 積雲対流効果の解明 (パラメタリゼーション方式の開発)
- 3) 大気境界層上部での輸送機構の解明
- 4) 広い海面からの平均的なエネルギー供給量の推定そして、この問題の解明に帰与する観測として、次に光田氏によりのべられる重点実験計画 (Core Experiment) が実施される。ここで1), 2) についてもう少し具体的に問題点を指摘して置く。

i) 積雲対流効果のパラメタリゼーション

今までの観測や研究により、積雲対流群を発生させ維持する定性的条件として、

- (a) 大気成層が条件付不安定である事
- (b) 大気規な場での下層の水平収束があること
- (c) 大気 (特に下層) が充分湿潤であることが考えられている。そして、積雲対流群の持つ直接的な効果として、

- (a) 凝結熱の放出: $-L\rho\sigma W_c \frac{dq_e^*}{dz}$
- (b) 顕熱の上向き輸送: $\rho C_p \bar{T}' \bar{W}' \approx \rho C_p \sigma W_c \Delta T$
- (c) 水蒸気の上向き輸送: $\rho \bar{q}' \bar{W}' \approx \rho \sigma W_c \Delta q$
- (d) 運動量の垂直混合: $\rho \bar{u}' \bar{W}' \infty - \rho \sigma W_c \frac{\partial u}{\partial z}$
- (e) 雲中水滴の放出蒸発による冷却: $Ll \frac{\partial}{\partial z} (\rho \sigma W_c)$
- (f) 放射効果

が考えられる。間接的なものとして、積雲対流の活発な領域はそうでない処より暖かく、また上昇域であろうから、メソまたは中間規模での有効位置エネルギーを生成しそれを運動エネルギーに変換する役割りをもっている。また簡単のため、対象領域に同じ性質の積雲が散在するとする。σを積雲によって占められる面積比、W_cを積雲内の上昇流、ΔTとΔqをそれぞれ積雲内外の気温と比湿の差、lを雲水量とし、q_e*を雲内の飽和比湿、Lを単位質量あたりの水蒸気の凝結熱とするならば、放射効果をのぞいたすべての効果は、上記の右に示したように形式的に表現できる。これを見ると、ρσW_c、ΔT、Δqおよびlが積雲対流効果を求める基本量であり、またすべての項に含まれているρσW_c (積雲対流群による質量輸送の総量) が特に重要な事がわかる。もし、これらが、対象領域での平均的な安定度、水平収束、湿潤度などに関係づけられれば、積雲対流効果をパラメタライズすることが可能になる。そのため、上記基本量ρσW_c、

ΔT、Δqおよびl、特にρσW_cの直接測定あるいは間接的に推定し得るような観測が望まれる。

ii) 中間規模のじょう乱

冬季の南西諸島周辺での海域では、2種の気象じょう乱が検出されている。一つは、周期4~5日で、波長4,000~5,000 kmで通常の長波に対応し、他は周期1.5~2日、波長2,000 kmの比較的下層のじょう乱である。AMTEXの対象は後者の中間規模じょう乱に置かれる。

この中間規模じょう乱は、低気圧波動と同じ傾圧性をもつ事がわかっている。すなわち両者ともその運動エネルギー(K')をじょう乱の有効位置エネルギー(P')の変換により得ている。この地域の中間規模じょう乱の発達が積雲対流活動と密接に結び付いている事は明らかで、しかも暖域でより激しい積雲活動が予想されるので、加熱効果により多量のP'の生成が考えられる。一方、低気圧波動は主として一般場の有効位置エネルギー(P)の変換によりP'を得ている。すなわち、P'の主な補給機構に基本的な違いがあると見るべきであろう。しかし、この事は定性的に推論されているに過ぎず、数値解析から定量的に確かめられる必要がある。

冬季の南西諸島周辺の小低気圧の発達について、気団変質過程において湿潤化し不安定化した下層大気存在を前提条件とすることは受け入れてよからう。しかし、発生きっかけをつくるものは何であるか。下層大気のみ要因があるのか、また上層のトラフが重要であるかははっきりしていない。また小低気圧の発達について、上層の長波のトラフとの関連が深い事は種々の解析から指摘され通説化しよとしている。この場合トラフの前面の下層収束と湿潤で条件付不安定な下層大気存在との結び付きによる積雲対流活動の活発化がその発達の主機構であることは確かであろう。一方、熱帯性低気圧に見られる自己発達の過程が有効に働けば、上層のトラフがなくとも、じょう乱は急激に発達する可能性があるが、現実にはまだ確かめられていない。

以上の他にも種々の問題が提起されているが、それらを明確にするには、まず中規模じょう乱に附随する気温、高度、垂直流、水蒸気や加熱場などの垂直構造が解析される必要があり、それに答え得る高層観測が要請される。

3. AMTEXの意義

ここには、昭和47年2月、GARP小委員会によりまとめられた「気団変質観測計画 (AMTEX)」に示され

たものをそのまま掲げる。

この計画は、大気現象の理解を深め、大気大循環の仕組みを明らかにし、天気予報の精度向上のために必要な物理的基礎を進展させようとする GARP の全体的な目的の中で、現在、その知識が不十分なため、数値モデルにおいて不満足な形でしか表現されていない海洋上における海面と大気の輸送機構、積雲対流と大気運動との関係、放射の吸収伝達などを明らかにするため特に大気と海洋の間の相互作用の著しい中緯度のアジア大陸の東岸沖で研究観測を行ない、その知識の増加を計るという純粋に学問的な意義の他に、日本にとって次のような重要な意味を持っている。

すなわち、この海域は日本の西方に位置し、西から東に進んでゆく中緯度の気象現象の特色からして、日本の天気に関連の深い場所である。しかも、冬から春に

かけての期間には、この海域の黒潮の流れの近くで孤立した弱い小低気圧がしばしば形成される。これら小低気圧は台風にも匹敵する程強烈な低気圧まで早く、かつ深く発達するので、大きな被害を、海上・陸上に生じめる事がしばしばある。そして、今日一般に行なわれている数値予報モデルではその予測は殆んどできない。そのため、そのような現象の発生する時期にこの海域で、観測を実施し、現象をシミュレートのための方式を確立することは、日本の気象災害の減少のために大きな意義がある。さらに南西諸島を中心とする領域は永く米軍の管理下にあり、自由に日本の学者が調査研究できない状態であった。そのため、この海域の気象現象の充分な調査は行なわれておらず、現時点で詳細な調査研究を行なうことは、この地域を含めた日本の気象予測の精度向上のため重要なことである。

3) Core Experiment について

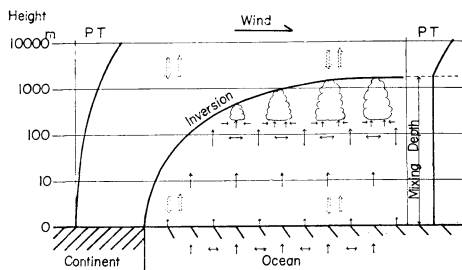
光 田 寧*

1. はしがき

Core Experiment (重点実験計画) は AMTEX の中核をなすもので、この計画の目的をはたすために、各研究機関は協力してこれに当たることになる。この重点実験計画は気団変質の現地観測と、それによって得られた結果を理論的モデルで表現するための方策を確立することからなっている。この他に AMTEX の目的に直接関連がなくてもこの時同時に行なうことによって非常に有効に研究が進められることの期待できるものは AMTEX 関連研究として各研究者によって独自に進められることになる。

AMTEX の研究目的は、気団変質の大きい黒潮領域において、海洋表面から大気境界層を通じてエネルギーが大気に伝達され、中間規模の気象じょう乱の発生、発達に寄与する全ての過程を明らかにすることである。従って、重点実験計画における観測は、次のような各段階に寄与するものに重点をおく。

- 1) 中間規模現象の発生、発達の解明。
- 2) 積雲対流効果の解明。
- 3) 大気境界層上部での輸送機構の解明。
- 4) 広い海面からの平均的なエネルギー供給量の推定。



第1図

この気団変質の様相を模式的に示したのが第1図である。寒冷な大陸上では安定した成層を示し乾燥した気団が、温暖な海洋上に流出すると接地気層を通して海面から熱と水蒸気の供給を受け、それが境界層上部において再配分され、凝結高度より上では雲が発生して積雲対流による熱エネルギーの輸送が始まる。このようにして海岸から次第に逆転面は下流に行くに従って高くなり、下層の混合層は深くなって行くが、この過程も一樣には進まなくなり、中間規模じょう乱が生じ、大規模なエネルギー交換が生じる。

2. Core Experiment の観測網

上に述べたような気団変質の過程を観測するために、海上および海上の小さな島において種々の観測が計画さ

* Y. Mitsuta 京都大学 防災研究所

れている。第2図は観測法を概念的に示したもので、高空からは人工衛星あるいは定期航空路を飛ぶ飛行機から雲の分布などの情報を得、さらに計測装置を取り付けた飛行機によって風、気温、湿度の空間分布、乱流輸送量、海面温度分布その他雲の性質などの測定を行う。また、洋上の観測船上ではラジオゾンデ、けい留気球、レーダー、放射計、一般気象観測装置、乱流輸送測定装置、海洋観測装置などで大気中から海中までの物理量の分布の測定を行う。海面近くの精密測定にはブイを用い、さらに一般の船からの情報をも収集する。島の上でも船上と同様な観測を行う。

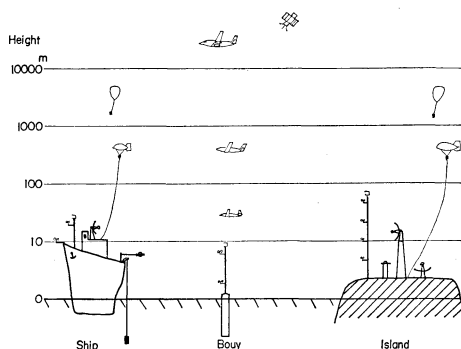
実際に AMTEX においてはこのような観測点を沖縄本島を中心に、主要観測点の間隔が 300 km ぐらいになるよう、第3図のように配列させることが考えられている。

3. 観測領域の気候学的特性

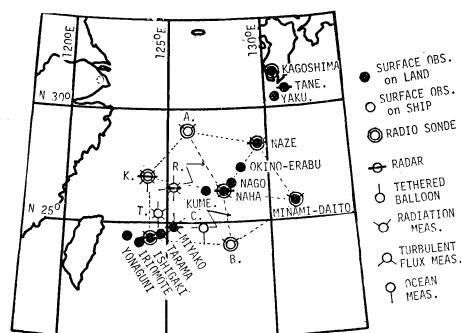
この観測は後にも述べるように冬期、2月頃に観測を行うことになるが、その季節に今回の観測の行われる領域での気候条件がどのようなものであるかを気象庁による船舶観測の統計に基づいて示したのが第4図である。図中 a) b) および c) に記入した小数字は各気象観測点での平均値である。図はいずれも1962年から1965年までの間の2月の平均値である。平均に用いた資料の数は f) に示しただけあり、その領域内の船舶の観測値を全て集め、単純に平均したものである。これによって AMTEX の観測の行われる海域の気候条件をおよそ知ることができよう。海水温度は 20°C 前後で比較的高く、気温はそれよりおよそ 4°C ほど低い。平均風速は 8 m/sec ぐらいでかなり強く、波高の平均値も 2 m 近い。

4. Core Experiment の実施

AMTEX の本観測は1974年2月と1975年2月の2回が予定されており、その間に特に集中的に観測を行う強化観測期間がもうけられることになる。この間、現地に実験センターを置いて、簡単な実時間解析を行って、実験の計画の実行の参考にできるようにすると共に、東京においては数値シミュレーションが行なわれることになる予定であるが、詳細については目下検討中である。い



第2図



第3図

ずれにしても、Core Experiment に関連した観測の全ての記録は1ヶ所に後日集められ、詳細な研究のための資料として提供されることになる。

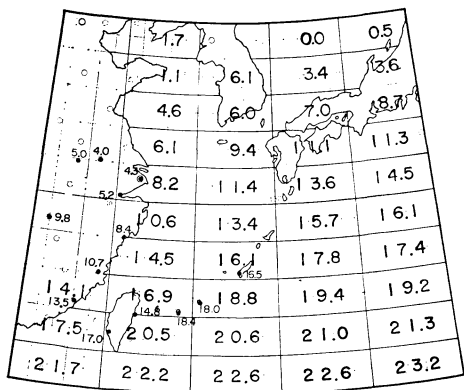
この観測は国際協力事業であり、諸外国よりの参加が期待されている。特に米国からは大型観測用飛行機の参加が予定されており、日本側研究者の塔乗も可能になりそうである。

一方、この研究のための準備作業に既に始まっており、観測に関連した面では、1972年11月に接地気層観測用測器の相互比較観測がびわ湖で行われる予定であり、1973年5月には白鳳丸を実際にこの海域にもって行って、船舶の観測のテストが行われる予定である。

自由討論

窪田(司会): AMTEX は世界的には小さい計画だが、日本としては大きい計画である。今までの計画に

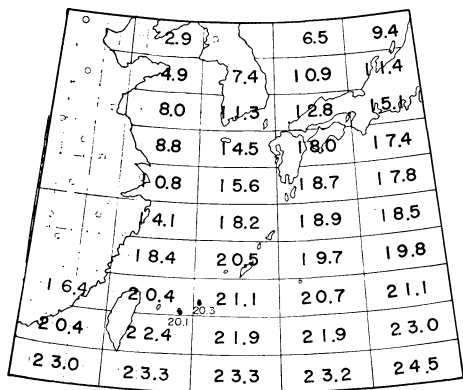
加わっている人も、実行の段階で参加したい人も、大いに発言して欲しい。この席には、実行委員長の山本



Mean Air Temperature, °C

Feb. 1962 - 1965

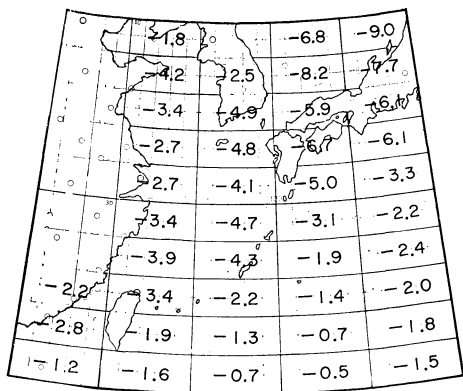
第4图 (a)



Mean Sea Surface Temperature, °C

Feb. 1962 - 1965

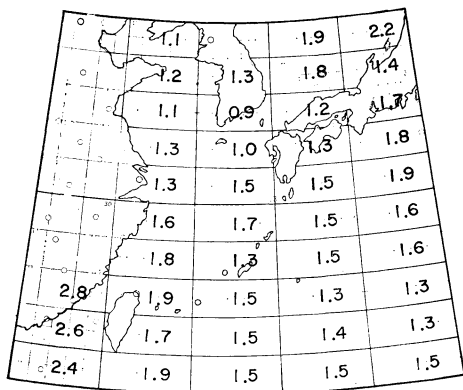
第4图 (b)



Air Sea Temperature Difference, °C

Feb. 1962 - 1965

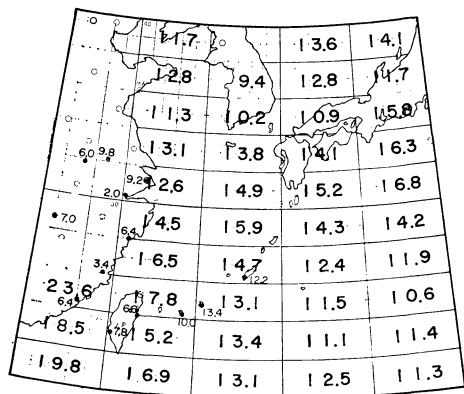
第4图 (c)



Mean Wave Height, m

Feb. 1962 - 1965

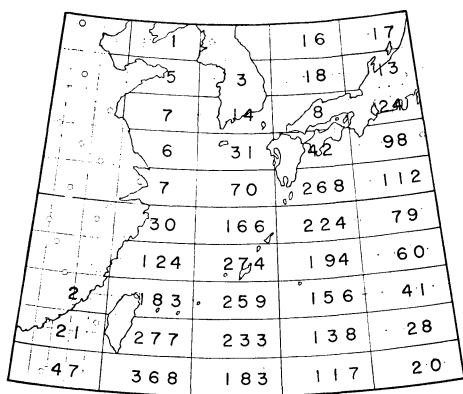
第4图 (d)



Mean Surface Wind Speed, knots

Feb. 1962 - 1965

第4图 (e)



Numbers of Ship Data per Month

Feb. 1962 - 1965

第4图 (f)

さん、JOC の岸保さんも出席されているので、討論の内容を具体的実施の中に積極的にとり入れてゆく。

順序として、接地境界層、プラネタリー境界層、積雲対流、中間規模じょう乱の4つの問題を順に討論して欲しい。

藤原滋水 (気象庁) : 山本さんの講演に出たリアルタイム・アナリシスについて私のイメージと光田さんの講演にあるリアル・システムとは違う。私のイメージではリアルタイム・アナリシスとはマップタイムに合わせてアナリシスするもので、データが集ってからするのと違って非常に有効である。光田さんはデータがはいる時刻にアナリシスして何が起きているかを知りながら観測したいと言われたが、その目的ならばマップタイムアナリシスで充分で、現地にミニコンピュータを持って行く必要はないと思う。

片山 (気研) : 藤原さんの解釈で良いと思う。光田さんはミニコン程度でやれるものを考えておられる。ミニコンでは本当のリアルタイムアナリシスはむずかしいが、簡単な収支解析とか、積雲対流についての各種のフラックスを推定して、観測の参考にするこゝろいはできる。予報的なことについては、2年後、電計のファインメッシュモデルによる予報を参照することができるだろう。ただルーチン観測のデータにもとづく予報だから、AMTEX の観測船をとり入れた予報ができるかどうかは49年現在ではわからない。

藤原滋水 (気象庁) : 現地でミニコンを使う必要がどこにあるか。私の意見ではデータが全部集った時点で大幅にリアルタイムアナリシスをして、そのときコンピュータを充分に使う。飛行機、船のデータがはいったとき、ファインメッシュで計算をやり直す。

片山 (気研) : 藤原さんの発言の意味がわかりにくいですが、リアルタイムアナリシスとは、あとからやることですか。

藤原滋水 (気象庁) : リアルタイムアナリシスとは観測データがはいった時点についての解析でオペレーションナルという意味ではないから、データをとっておけばよい。

片山 (気研) : そうすると一種の4次元解析の問題ですか。それなら私が言ったフラックスの推定などよりむずかしい。49年に実現できるかどうかわからない。かりに4次元解析ができたとしても、現地に FAX で送れるかどうか。

藤原滋水 (気象庁) : 私のリアルタイムアナリシスはあとでやるので、FAX で送る必要はない。

窪田 (司会) : 議論が少し混乱しているが、計画を立てている人の間でも、まだ考えがまとまっていないので、計画を煮つめる段階でまた出していただきたい。議論を次へ進めたい。

小沢 (気研) : AMTEX の研究計画に対して国際的にはどのような協力問題があるか、GARP 全体の目的とそれぞれの地域での観測とのつながりはどうなっているか。

山本 (東北大) : AMTEX の国際協力としては、まずアメリカから4発の大型観測機を持ってくる。オーストラリアから乱流の専門家である Dyer が air-sea interaction の観測をやりにくる。カナダでは、ブリティッシュ・コロンビア大学のミヤケ教授がカナダの National GARP Committee の委員長になり、同時に AMTEX の Steering Committee の委員になっているが、光田さんあての私信によると飛行機を持ってくる計画をねっていると聞いている。Steering Committee ではソ連の協力をたのむことになり、浅井さん(京大)がソ連に先日行ったとき、Steering Committee にメンバーを出してくれるよう要請した私の手紙を持って行ってもらった。

GARP 全体の問題として、次の大きい計画は FGGE (First GARP Global Experiment) で、1976年を目途に実現を努力中である。日本も静止衛星を1個あげ、海洋上にブイを何個かもうけるなど強力的に参加する。9月には Planning Conference of FGGE がジュネーブで開かれる。そのとき各国の具体的な計画がひろうされるだろう。

ほかに幾つかのサブプログラムが進行中あるいは計画中である。たとえば GATE はもっとも大きなもので、1974年の夏を目途にヨーロッパ間の国々で計画が着々と進んでいる。その他、モンスーン、極の気団のエネルギー収支、ソ連がやっている放射エネルギー収支の問題 (KAINEX) がある。

これらは国際協力または一国で進行しており、終局的には GLOMEX を目指している。AMTEX としては、気団変質それ自体興味ある問題であるが、GLOMEX までに気団変質に関連したパラメタリゼーションができることよい。

窪田 (司会) : 接地境界層の問題にはいます。

竹田 (東大海洋研) : 学問的に弱いように思われるの

は、エクマン層における現象、すなわちフラックスに関連した現象を、どういふようにとらえ、どう定量的にとり入れるか、きのうも精密化モデルの会で話題にでたのだが、その辺が弱い。地表の問題はほぼはっきりしていて、field で実験がおこなわれてきた。日本でも外国でもかなりの経験があって、その辺の議論の準備はできている。気団変質のような大きいスケールの現象とむすびつけることは、単に実験式的には問題がないが、途中の段階の問題、途中の物理的メカニズムを少し AMTEX を通じて明らかにするために、その辺の討論が強力におこなわれてほしい。

光田 (京大防災研) : 問題が2つあって、1つは理論的によくわからないことと、2つ目はかりにアイデアがあっても実測がない。従来、地表では時間変化を無視して理論が立てられているが、上の層では時間変化を考えなければならぬ。地表層でも時間変化を無視できないかもしれない。下でそのような理論をつくって、上へもって行くことができるかも知れない。プラネタリー境界層は自由大気との関連があるので対流の研究からおろしてくる必要がある。塔を立てた観測では500mより上はむずかしい。けいりゅう気球や飛行機がある。けいりゅう気球は BOMEX 以来アメリカで発達してきたが、変動の成分を測ることができない。横山さんの方式が唯一の実用的方法である。飛行機をプラットフォームとする乱流の測定は精度が良くなっており、来年、測器のインターコンパリゾンカナダかオーストラリアでおこなう。当面観測の主流は飛行機へ行くだろうが、充分なデータをえるには何らかの方法で、上と関連のある地上の現象を地上でつかまえるか、下からエレクトロ・アコースティック方式かレーザー・レーダーで上を直接に測ることが必要になるだろう。AMTEX では間に合わないが、試みだけでもしてみたいと思っている。

孫野 (北大) : 地面付近の乱流をレーザーで測ったり、晴天乱流をレーダーで測る試みがあるが、そのようなことはできないか。

光田 (京大防災研) : 強い光のビームをもつレーザー・ドップラー・レーダー、あるいは音波を使うレーダーで可能性はあるが、field で使うところまで信頼性が行っていない。

孫野 (北大) : 光田さんのスライドでミシガン湖の上の逆転で、大気を3層にわけているし、それが普通のようなのであるが、私の観測によると、たとえば日本海でパ

ンド状の雲があるとき、その下を自動車で横切ると風が強く、その強弱が周期的に空間的に分布しているので、風に関する限り、地上から2000mまで突き抜けた構造がある。光田さんの話で、アメリカで雲が通るとき地表の水蒸気フラックスとが対応することに気が付いたとあったが、日本では数年前に気が付いている。

PRがたりなくて徹底しなかったことは残念だ(一同笑う)。

浅井 (京大) : 境界層は比較的よく知られていると言われたが、広い海面からの平均的エネルギー供給量が重要である。eddy correlation method で1点でフラックスを測るのは精度が良いが、広い領域の平均的フラックスを1点の観測結果から、如何に換算するか。たとえばサブグリッドスケール以下の運動があるとき、1点の観測によるフラックスは過小評価するおそれがある。この点理論的ならびに観測面の両方からどのようなアプローチがなされているか。

山本 (東北大) : 広い海面からのフラックスの平均値および、広い海面ももっと広い海面からみると regional であるが、regional なフラックスの差異を出したいと考えている。たとえば風上と風下とでどう違うかなど知りたい。その意味では、船の上におけるバルク法が主体となって、陸上の精密観測は多くの観測の相互比較のスタンダードになることになろう。光田さんの説明にもあったように、できるだけ精密な intercomparison を、琵琶湖あたりで、今年の冬におこないたい。バルク法がその地点にどの程度の代表性があるかはむずかしい問題である。観測値が時間変動しているとき、空間平均値を考えるためには、時間平均値をとらなければならないが、浅井さんの言うようなグリッドスケールの空間的平均値や時間的な平均値の代表性は、乱流の性質として、大きい渦をとればとるほど、大きい値が出るはずなので、どの位の平均をとれば、そこでの代表値としてゆるされるかを、理論家から討論してもらって、そのフラックスをとるべきである。一方光田さんが言うように、変動そのものもとれるから、材料としてそれも資料になる。観測側は両方わかるように配慮しなければならない。

光田 (京大防災研) : 1点で測って、過小評価になるとは限らない。過大評価になることもありうるだろう。たまたまそのときおこった現象に支配される。たとえば長周期の鉛直流があると効く。バルク法は理論的に長周期のものでない。違った立場から別のパラメータ

を入れてバルク法を見直す必要がある。時間変化と空間変化の変換は、広い領域ではむずかしいので、実際に測ってみなければならない。

小沢(気研)：片山さんが収支計算の限界について述べたが、それとの関係はどうか。

片山(気研)：あまり関係がない。私の言ったのは、海面からの顕熱と潜熱をわけるには降水量がいるが、それが測れない限り限界があると言う意味で、積雲対流があったとき、熱と水蒸気の垂直輸送を別々に評価する必要がある場合があり、ああいうものでは限界がある。

窪田(司会)：エクマン層の討論にはいります。重要だと言われているが、はっきりしたフィロソフィーができていない。今度の計画でも一番の穴になりそうである。

竹内(大阪管区)：現地は風が強く、波が高く、地形がわるい。接地層では観測が簡単なようなお話でしたが、ひよわなセンサーでは島の絶壁などでは観測がやさしくない。エクマン層になるとさらに高度が高くなってますますむずかしくなり、カイツーンでも日本のものは、ひよわで、地上で 10 m/s の風があるとあぶなくなる。けいりゅう気球でも開発すべきところが多い。では飛行機はと言うと、飛行機の観測は日本ではそうやられていない。ただし、横山さんは良い観測を最近やった。理論的にも、下からと上からの条件があって、まだまだ問題がある。

窪田(司会)：むずかしいと言う指摘であったが、エクマン層については計画が不十分で再検討の余地がある。

休憩、司会交代

浅井(司会)：積雲対流について発言されたい。

片山(気研)：CISK について、先ほど大山さんからコメントがあった。CISK とは、第2種条件付不安定と言う性質であって、パラメタリゼーションの方式ではない。対流調節にも CISK の性質を入れることができるのとこと、私もそう思う。

大山(ニューヨーク大)：日本語で中間規模と言ったとき、medium を指しているのか meso を指しているのか。と言うのは、片山さんの話はメソの観測網についてであると思うが、そのデータをどうやって medium の目的に使うのかわからない。

片山(気研)：1000~3000 km を中間規模と呼び、100

~数 100km をメソと呼んでいる。観測網で1辺が200 km で1日4回と言うのは、これではメソがとらえられず、波長 2000 km 周期2日から1.5日の中間規模がとらえられると考えている。

メソをとばして中間規模をいきなりパラメタリゼーションしようとしているのは、もしメソを入れようとすると単に格子間隔をちぢめるだけではだめで、方程式系を変えとか、山の影響を入れるとかしなければならぬからである。

大山(ニューヨーク大)：今メソとは100~300 km と答えたが、藤田さんが雷セルでメソと言ったのは 50 km ていどの大きさである。あなたがたの言っている雲の集団が、衛星からみた Cloud Cluster と同じものなら、50 km のメッシュはいらない。

浅井(司会)：中間規模の話が出てきたので、積雲対流と合わせて討論して下さい。

二宮(気研)：下層は、ことはシンプルだが解析は大変で、まして少し上へ昇ると、たとえば放射冷却の垂直分布を知るため、また熱と水蒸気の輸送を分離するには、凝結量の鉛直分布がいる。これをとるだけでも大変で、今まで完全なデータがない。今回の観測でこれがえられるかどうか。ラジオゾンデのデータからは誤差は別として、東シナ海を粗くつかむことはできても、convergence scale のじょう乱を出すのはむずかしい。簡単に見えるもの1つをとっても、スケールが各種かさなっているから、その中から自分の欲しいものをとり出す方法を完成しなければならない。たとえ原理的に簡単なことでも、具体的に明らかにすることは大問題なのであって、データをとること、オーガナイズすること、解析することのいずれの点についても真剣にとりくむ必要がある。

岸保(東大)：定点の冬のアメリカのデータをみると、6時間おきにガタガタふるえている。たとえ4時間おきに測ってもガタガタふるえるだろう。われわれの所の新田勲さんが考案したバンド・フィルターをかけて扱うとよい。そのまま扱うのは問題がある。昨年のこのシンポジウムでは、「私はこれをやりたい、全体としては何をやるのだろうか」と言うシンポジウムであったが、今日のシンポジウムはずっとリファインされている。今後は目的をしぼって、確実にどれができるかをたしかめつつ、steady に fast に進むべきである。個人的希望としては、プラネタリー境界層の観測の問題、そのテクニックの問題、その理論を大いに

進めて欲しい。光田さんの話で、constant flux layer でオーガナイズされて上へ運ばれるものを下で上手に測る試みがあったが、その線が少しでも出るよう、またその努力がエンカレッジされるよう希望する。飛行機観測は低空を飛ぶことになるだろうから、くれぐれも注意されたい。

浅井（司会）：司会の結論を岸保さんが言ってくれたが、積雲対流の観測にはレーダーが強力と思うが、レーダー関係の方のコメントをいただきたい。

藤原美幸（気研）：我々観測の側から言うと、観測できるものには色々のやり方がある。レーダーで何を測ったら一番よいか、何が要求されているか。たとえば岸保さんなど理論家は対流調節などのテスト用数値モデルをどう考えているか。積雲対流以下の小さいスケールについては何が重要だと考えているか。観測家と理論家の間で、ギャップをうめる委員会をもうけて、ドロップゾンデ、飛行機の使い方、雲水量、上昇流などの重要性や、変動が必要か平均が必要かなど煮つめる必要がある。

広田（気研）：積雲の activity をはじめとして、ここで議論された一連の問題は長い観測の積みかさねが必要であって一朝一夕にはできないものである。この計画がこの先どのようなプランをもっているかが大事である。

山本（東北大）：サブプログラムを、76年の FGGE のときにも同時にやるべきだと JOC の話題になっていると聞いているが、いかんせんマン・パワーと予算が不足だし、気象庁も忙しくてできない。しかし何らかの形で今後のアフター・ケアが必要であって、広田さんの考えに同感である。科学の進歩が単なる AMTEX と言う行事だけで終わったらおかしい。AMTEX 計画を本日ここで聞いて、不十分な点があるが、気象学会の今日の現状がこれである。みなさま方の今後の進歩と努力に期待して、AMTEX は予期以上の成果を上げると期待している。日本気象学会が、今後ますます発展して、AMTEX はもとより、GLOMEX について、活躍することを期待したい。

（文責：駒林 誠，菊池幸雄）