

日本の地球大気開発計画*

窪 田 正 八**

地球大気開発計画 (GARP) の背景と意義についての説明は、天気13巻7号225~230に小倉義光氏のものがある。ついで秋の臨時総会で「GARP計画の推進を日本学術会議に申し入れる件」が全員一致で決議された(天気13巻11号表紙3)。

これをうけて大気科学小委員会が作製した「地球大気開発計画」の第一次案の骨子は、CASの勧告をほぼそのまま写したものであつた。これに対し学術会議側から、

(1) この計画と気象学会の採択した長期計画(大気物理研究所設立要望を含む)との関係

(2) GARPとWWWとの関係

を明確にしてほしい旨の要望があり、ただちに第2次案の作製にとりかかった。

12月10日に熱帯気象部会から、土佐沖海域特別気象観測計画案が提出され、更に具体化されたものが本年1月6日に検討された。これまでの国内GARP計画は、1970年までだけを考へてきたが、この時から1970年までを第一期とし、土佐沖海域(のちに日本南方海域に変更)特別気象観測を中核とし、関連する調査研究、測器開発を配し、1971年以降第二期においては出来れば同種の観測網を国際協力の下に熱帯海域に展開することになった。地球大気開発計画の修正案は、これに基づき小倉、岸保、柳井、窪田の4名からなる作業委員が作製した原案を、2月8日の小委員会において修正したものである。

その後、この案は1月10日の地物研連幹事会(岸保)、長期計画委員会(神山)、第4部会(山本)を通り、学術会議春季総会に第4部会から、重要研究であるから予算措置を購ぜられたい旨の勧告案を議題として提出することがきめられた。現在、第5、6部会の協力を求め、IBP(International Biological Programme)に準ずる勧告にするよう三宅、神山委員が努力している。これが今後どう処置されるかはわからないとしても、気象学会秋季総会における決議案に沿い一歩前進することが出来た

ことは誠に喜ばしい。しかし、これらの成果を学会員一人一人のものにするにはどうしたらよいか?大変なことだと思ふ。以下に修正案の内容をしるした、春の熱帯気象のシンポジウムの記事と併読していただければ幸である。

I 地球大気開発計画 (GARP) の背景と目的

最近、熱流体力学にもとづく気象力学理論、大気放射学、数値的時間積分法の進歩と、大型電子計算機の発達により、地球大気の大循環に関する龐大な数値計算が可能となってきた。すなわち、地球大気を太陽から受けるエネルギーに基づく熱機関と考え、その組成、地球の回転速度、地形分布等の基本的パラメーターを与えることにより全く理論的に地球上の大規模な風系を計算し、気候を説明することが可能となりつつある。現在までモデル大気に対して行なわれている天気循環の数値的計算は、遠からず現実の大気の長期予報に適用されようとしている。長期の理論的天気予報が可能となれば、ひいては気候の制御の方策もたてられるわけである。すでに幾つかの国で行われている予備研究によれば、大気の運動の決定論的予報の可能性は約15日間まで、また高低気圧の振幅等統計量予報は数ヶ月まで延長され得る見通しが得られつつある。

現在では、このように発達した大気大循環の数値モデルに比し、その初期条件および検証として用いられるべき気象観測の不備が問題となりつつある。従来、経験的天気予報業務のために展開されてきた気象観測網は、特に海洋上および南半球において著しく不充分である。天気予報の画期的改善のために、すでにWMOは数年前から各国の気象機関と協力してWorld Weather Watch(世界気象監視)を計画中である。このWWW計画の主な点は

- (1) 人工気象衛星による観測
- (2) 多数の定高度気球から人工衛星を中継とする観測送信
- (3) 海上のブイによる観測
- (4) 大型商船・漁船等による高層気象観測

等の手段により、気象観測および通信網を飛躍的に改革しようとするものである。人工気象衛星は現在のところ

* On the Global Atmospheric Research Programme (GARP) of Japan.

** S. Kubota. 気象研究所
—1967年3月6日受理—

TV カメラによる雲の観測を行うにとどまっているが、近い将来に赤外放射の観測により垂直温度分布および水蒸気分布を求めることが企画されている。定高度気球や海上ブイによる観測を通信衛星により中継する準備研究も既に行なわれている。

このような WMO の計画に対し、世界の気象学者も全面的にこれを支持するのみならず、将来の恒久的気象観測網の設定に学術的基礎づけを与え、長期天気予報への強力な協力体制をとるため、ICUS/IUGG のもとに Committee on Atmospheric Sciences (略称 CAS) を設け、昨年来その協力方法が国際的に協議されてきた。本年4月24日より25日にかけて、この CAS 委員会の第2回会合がジュネーブにおいて開かれ(我国からは山本が出席した)、1972年および1976年を国際的な大気研究観測年とし、地上から高さ約30Kmまでの大気を global に観測すること、およびそれに先立って、次の項目に関する研究を強力に推進することが決議された。

1. 熱帯気象、特に積雲対流と大規模な大気運動との相互作用の研究
2. 地表・海面と大気の相互作用の研究
3. 全球的な大気放射の分布に関する研究
4. 大気大循環、特にその力学的モデルの改良のための研究
5. 新しい観測測器の開発

そして、この一連の予備研究と特別観測計画を Global Atmospheric Research Programme (略称 GARP) と呼ぶことになった。

GARP 計画は、WWW 計画が1971年以降の順次実現を目標として恒久的観測網の整備展開を企画していることに対応し、1972年および1976年に特別密な研究的観測を実施して、それに基礎づけを与えようとするものである。また上記の研究項目は、それに先立って解決されなければならぬ現在の気象学および観測、予報技術上の重要問題を特に指定したものである。

GARP 計画の推進のために CAS 委員会は各国にそれぞれ National Committee on Atmospheric Sciences を設立することを要望し、1967、1968、1969年においては各国において、それぞれ準備研究を行うこと、1970年には、それらに基づいて国際的に意見の調整を行い、1972年の第一次観測計画を決定することを勧告している。

本研究計画の我国における意義を考えると、従来、経験的に行なわれてきた長期予報法に理論的基礎づけが与えられ、これをもとに天気変動の予知への新しい道がひ

らかれることは勿論、特にヒマラヤ山系とモンスーンに影響される梅雨の予想、また台風の発生予知への可能性等、我国の立地条件による特別な利点があげられる。また国際協力においてアジア地域の研究中心として、我国の果たすべき役割は極めて大きい。

このため我国の積極的参加が強く要望され、これに対して地球物理学研究連絡委員会内に地球大気科学小委員会が設けられ、約十次にわたる会合を開いて、我国が GARP 計画に対してなし得る寄与について検討した。

その結果1968年から1970年までを第一期、1971年から1976年までを第二期とし、

(i) 第一期においては、日本南方海域において特別気象観測並びにそれに直接関連した調査研究を行うと共に、第二期事業に必要な測器の開発と準備研究を行い、その上にたつて

(ii) 第二期においては国際協力の下に熱帯海域特別気象観測を積極的に実施することを立案した。

以下述べるものはこの第一期事業の年次計画である。

II 我国における 1970 年までの事業計画

[1] 日本南方海域特別気象観測 (東大海洋研究所、鹿児島大学、気象庁、気象研究所)

(1) 目的 大気大循環の数値モデルの積分の初期条件および検証として用いられる気象要素の観測値は平均300Kmの格子間隔におけるものを期待している。WWW 計画が進み、船舶を利用した高層観測、定圧バルーン、ブイなどの利用が可能になり、海上においてもこの程度の観測網の展開がみられるとしても、これらの観測網にかからない物理過程の処理の問題は残される。積雲対流による凝結熱の放出、垂直輸送が大規模じょう乱に及ぼす効果はその典型であって、とくに観測網の乏しい熱帯地方で大きい。標記特別観測は積雲対流群の活動と、大規模じょう乱との相互作用を解明し、これらの効果をルーチン観測から期待される観測値を用いて表現することを目的としている。

なお上記の効果の測定が可能になれば台風の主要なエネルギー源(潜熱の放出)、台風の盛衰の鍵をなすエネルギー変換(熱の垂直輸送)が求められるので、台風の発生発達維持のメカニズムが明らかになる。

(2) 計画内容

上記目的を達成するため、各年度のある期間(後述)下記(a)、(b)、(c)三項目の同時観測を行う。

(a) 大規模な大気運動にともなう気圧、気温、湿度、風の分布を測定するために

(i) 鹿児島, 名瀬, 南大東島における高層気象観測を強化するとともに, 大型観測船 (1500トン程度) 2隻を配し, 約 300Km 程度の間隔をもつ高層観測網を展開する (付図参照)

さらに小規模な対流活動が, どの程度のスケールの大規模運動と最も密接に関連するかを見るために

(ii) 中之島に臨時観測所を設定するとともに, 観測船の配置を変えて, 約 150Km の間隔で高層気象観測を行う。

この観測に必要な不可欠なものは船上で行なう高層風観測であって, 1500トン程度の船舶に搭載可能でかつ十分な精度をもつ測風装置を開発する必要がある。

(b) 所定海域の海面における熱量, 運動量, エネルギーなどの鉛直輸送量を知るために精密測定用ブイを作り, 海面に接した接地境界層内において

(i) 平均風速, 平均気温, 平均湿度

(ii) 風速の三成分及び気温, 湿度, 波高の変動量を測定する。変動量測定装置はジャイロを用いて, ブイの振動による影響をできるだけ除き, またブイは常にケーブルによって海洋研究船と連絡して用いるものとする。

さらに小型観測船 (300トン前後) 5隻を用いて

(iii) 海水温度, 海水流速, 海面での放射量, 蒸発量を測定し海面における熱収支について詳細に調べる。すなわち海面における鉛直輸送量について, (i) による平均気象要素の高度分布からの間接的な方法と (ii) の直接的な方法と (iii) によるものと, 三つの測定方法を併用することによって精度の高いデータを得る。

ルーチンの気象観測で測り得る諸量から海面における鉛直輸送量をできるだけ正確に推定する実験的理論的関係性を求めることが, 本計画の付随的な目的の一つである。そのためには, 単に海面上の接地気層内のみならず, 高さ 1~2 Km までの層内における鉛直輸送量や気象要素の高度分布を測定する必要がある。しかしこの測定方法が確立していない現在では, 本計画のわく外で各大学, 関係官署が, この測定方法の開発に努め, その進捗状況に応じて順次本計画にくりいれていくものとする。

(c) 積雲対流群に対して, 小型観測船 5隻と離島上に自記測器を設置し, 雨量観測や全天カメラ撮映を行う。これに沖縄向定期旅客機を用いた雲の写真撮映, 気象衛星からの観測, レーダーによる観測を加えて, 所定海域における雲のスケール, 分布など対流活動度の測定を行う。

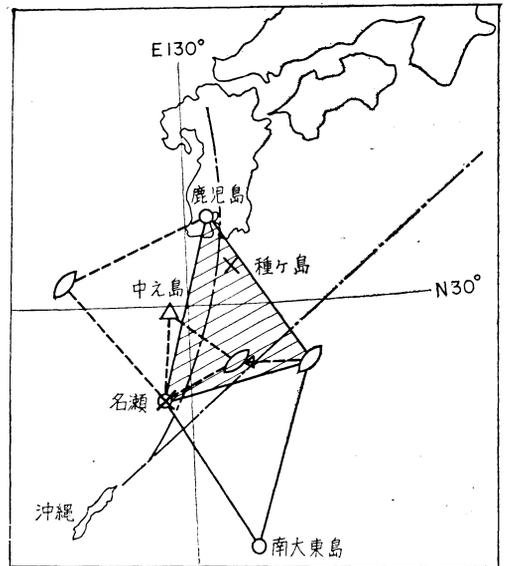
(3) 観測計画

昭和45年度を上記の本観測を行う年度とし, それに備えて

(a) 第1年度 (昭和43年度) においては船上の高層風観測, 雨量観測の検定, 島上観測のための予備調査, 観測時期決定のための予備の調査, 観測を行い, APT 受面装置を改造し, 解像度を高める。

(b) 第2年度 (昭和44年度) においては観測網, 測器の検討を兼ね適当な時期に約5日間, 島2, 船4 (大型船1, 小型船3) による予備観測を行う。

(c) 第3年度 (昭和45年度) 適当な時期に約15日間本観測を実施する。



付図 日本南方海域 特別気象観測網 (300 km 網)

- 陸上ルーチン高層観測点
- △ 陸上臨時高層観測点
- 臨時高層観測船
- × レーダー観測点
- 航空路

日本南方海域での特別気象観測網

(必要に応じて観測船の移動により中之島を中心とする 150km 網を展開することがある)

[2] 第二期事業のための予備調査

1. 熱帯収束帯と台風調査 (東京大学, 気象研究所)

地球大気開発計画において, 現在, 観測網が極めて不備である熱帯地方の気象観測の研究強化と具体的観測計画の立案が要望されている。最近における若干の特別観測, 大気大循環や熱帯低気圧の数値実験によって, 熱帯

大気中では積雲対流による凝結熱の放出、垂直輸送が大規模な気象擾乱の発生、発達にとって本質的に重要であることが認識されつつある。また、気象衛星による雲の写真、赤外放射観測により全球的な熱帯収束帯 (ITCZ) が存在することが再認識され、その大気大循環、熱帯低気圧発生における役割の究明が望まれている。また赤道地方成層圏には従来知られなかった特異な東風、西風の26月周期や短周期擾乱が存在することが判明しつつある。我国においては、特に台風の発生、発達機構を基礎的に解明するためにも熱帯気象学の研究は飛躍的に強化されなければならない。このため特に西太平洋熱帯地方における既存の気象資料、気象衛星による写真、赤外放射資料等により台風等熱帯擾乱の発生、発達機構を解明し、これらの擾乱内の積雲対流の効果を推定、モデル化を図る。また熱帯における大規模擾乱と熱帯収束帯との関連について研究し、第二期における国際協力による熱帯海域特別気象観測計画を立案するための準備を行う。

2. 地表面における運動量・熱量・エネルギーの鉛直輸送 (京大防災研究所)

地球表面における運動量、顕熱、エネルギーなどの鉛直輸送量は、いわば大気の下における境界条件を与える。したがって、これらの量を正確に知ることなしには、大気大循環を量的に扱うことも、理論的な長期予報をすることもできないことは明白である。

これらの輸送量を知るために、陸上に固定された観測点において、地上約30メートルまでの接地気層内の気温、風速、湿度、及び地面温度、蒸発量、放射量などの平均値の測定を行う。これにより、地表面における熱収支を詳細に調査すると共に、平均量の鉛直分布から、上記物理量の鉛直輸送量を推定する。

さらに、風の三成分、気温、湿度の変動量を同時に測定し、鉛直輸送量の直接測定を行う。特に大気中の水蒸気量の変動測定のための赤外線放射計を新たに開発する。直接測定の結果を上記推定値と比較し、簡便な間接測定の信頼性を検討し、将来各地に観測点を配置するための予備調査とする。膨大な観測データを迅速に処理するために、変動量測定装置は、相関計算回路、シグマメーターなど簡単な計算回路、記録装置を含むものとする。

3. 海面における運動量エネルギー鉛直輸送 (東大海洋研究所, 気象研究所)

海面は地球表面の約70%を占めるので、運動量、熱量、エネルギーなどの海面における鉛直輸送量を知ることが極めて重要である。それにもかかわらず、現在までに充

分なデータは得られていないのみならず、測定結果は研究者により必ずしも一致していない。

ここでは既存の海洋観測塔を用いて、上記項目と同種の測定を行い、海面上における鉛直輸送量を直接的及び間接的に測定する。特に波浪計により風波の同時観測を行い、海面という容易に変形する境界面上での鉛直輸送の物理的機構を明確にする。これは、将来広い海域に簡便な測器による海面観測網が展開されるとき、学術的基礎づけを与えるものである。

また海洋観測塔による測定は、[I]の特別観測計画におけるブイによる観測結果と比較検討する役目を持つ。担当は東大海洋研究所である。

また特に、放射温度計、サーミスタ水温計などを作製して、海面表層の熱構造を調査し、海表面へ向う熱量の測定を行う。この項目の担当は気象研究所である。

4. 雲及び地球表面の分光放射特性 (東北大学, 気象研究所)

大気大循環の解明や長期予報の精度向上のような大規模現象においては、放射伝達に伴う熱効果を正確に導入した理論の展開が要求される。このためには放射伝達理論の改良を計ることも必要であるが同時に、従来殆んどわかっていない雲の可視光や赤外線に対する反射率、透過率、射出率や地球表面の反射率、射出率等放射伝達方程式の境界条件を正確に知ることが必要である。又、実験室では得られない弱い吸収帯や窓領域の吸収特性を定量的に研究してとり入れることも必要となる。ここでは、太陽放射、大気放射の精密分光観測によって、上記諸量を明らかにすると同時に、理論的計算によって雲粒(氷晶粒を含む)の電磁波論的散乱特性を求め、これらの基礎資料を導入した上で地球大気放射伝達機構を明らかにする。又、大気大循環に関する数値実験への放射伝達過程の合理的導入法の確立を計る。

5. 気球塔載用放射計 (radiometer sonde) の改良と検定装置の開発 (気象庁)

自由大気中での大気放射のネット・フラックスの観測は大気の熱的構造、熱収支の研究の基礎資料を与えるものとして、又放射伝達理論の正しさを検証するものとして重要であるがこの方面における測器は現在最もおこなわれている。ちなみに、この種の観測は国際太陽活動極小年(IQSY)の項目にとり上げられ日本、米国、ソ連、西独において観測が行われた。この際四ヶ国の測器の比較観測が行われたが、その結果、それぞれの測器の絶対精度を決定することが急務との結論が得られている。一方放

射計開発の問題は又検定装置開発の問題であって、信頼に足る放射計がないということは信頼に足る検定装置がないことによるといっても過言でない。ここでは大気上層の状況を再現出来る低温低圧槽を持つ高性能の標準黒体を開発し、これを用いて現用 radiometer sonde の精能検査及びその改良を行う。

6. 地表面における放射観測のための放射計の改良と検定装置の開発 (気象庁, 気象研究所)

地表における放射観測, 特に全波長域の放射のネット・フラックスの観測は, 2, 3の地空相互作用に関する研究が大気大循環の大気下面での境界条件を与えるものとして重要であるのと同じ意味で極めて重要である。このことは赤外放射として地表から放出されるエネルギーが顕熱, 潜熱のそれよりはるかに大きいという事実によっても理解される。このため第二期においては少なくとも国内数ヶ所で放射収支の精密観測を展開する必要がある, その準備作業として第一期には観測網で使用するに便利で且つ必要な性能を有する測器を開発する。5と同様, この場合も良い検定装置特に受感部に自然の風の当たっている状態で検定の可能な大型装置の開発が中心的課題となる。

7. 大気大循環の力学的モデルの開発 (東京大学, 京都大学, 九州大学, 気象庁, 気象研究所)

GARPの中心的課題である大気大循環及びその変動に関する研究を実施して, 1972年に行なわれる予定のGARP観測の計画に基礎的知見を与え, 更に, 同観測実施後は, これ得られた資料に基づいて日本における大循環の長期変動に関する数値モデルを確立すべく, その基礎的研究を行う。この目的を遂行するために, 各大学, 気象庁, 気象研究所などで下記の如き総合研究を

施する。

(1) 小規模じょう乱による熱源の大規模運動への導入
中緯度地帯では土佐沖, 東支那海付近に発生する小さな低気圧の発生問題とからませて, この種の小規模じょう乱の影響を大規模運動に如何に導入すべきかを明らかにする。また大気大循環の立場からは熱帯収束帯における積乱雲との関係を数値実験で明らかにする。

(2) ヒマラヤ山脈等地形の特別研究

アジアの大気変動はヒマラヤ山脈によつて大きな影響を受ける。どの位影響を受けるかを電子計算機を用いた数値実験によって明らかにする。

(3) 成層圏循環の解析

長期間の南北両半球にわたる資料を蒐集して成層圏を中心とした大気大循環の解析を実施する。またその変動に関する理論的研究も行う。

8. 成層圏内における水蒸気循環 (名古屋大学)

成層圏内の水蒸気量は大気大循環に関する数値実験の精度を検証するための端的な目安であり, 又成層圏の熱的構造解明のための不可欠の要素であるなど, これを明らかにすることはそれ自体気象学上重要なことはいうまでもないが, 特に成層圏における水蒸気循環は熱帯地方における積雲対流活動及びその対流圏, 成層圏を通じての大気循環に果す役割を明らかにする上での極めて重要な手掛かりを与える。成層圏内の水蒸気量の測定はこれまでもラジオ・ゾンデ等で試みられて来たがその精度に大きな問題が残されている。ここでは成層圏の低温低圧の条件の下で, 精度の高い測定を行う方法を開発し, その測定結果に基づいて成層圏の水蒸気循環を明らかにする。

訪中学術代表募金簿 (その5)

佐藤信輝, 木村幸夫, 奥村重作, 服部昭美, 恩地義澄, 小川泰平, 塩見幸生, 藤井基宏, 三浦英二, 谷博美, 高島正直, 山下繁鶴, 古川信夫, 榎並利行, 吉増礼次郎, 仁志出政男, 末岡博, 岸下清, 山本正見, 大野昭雄, 有馬辰義, 花沢正策, 堀田英男, 児玉良三, 小野俊行, 川村清城, 福永伝一, 西村昭二, 田沢清一, 中村忠八, 滝野一郎, 山中稔, 伊賀上寿雄, 堀又兵衛, 大石伊兵衛, 長門敬太郎, 田中秀保

5口 来海徹一, 根山芳晴, 吉浪良一

3口 福村幸男, 加藤晃, 古都正雄

2口 北勲, 福田彦和, 山崎正博, 水姓勝敏, 大田盛三, 浜田周作, 吉良清, 扇谷紀代夫, 田口八雲, 渡辺憲雄

1口 篠崎猛夫, 小上多三勇, 市川清美, 古橋重利, 久保明弘, 白濁茂, 高塚博, 井沢益一, 野津菊一, 渋谷勝一郎, 高梨幸雄, 北村進, 荻谷長男, 青木博吉, 吉田伸夫, 新納忠寿, 金丸健, 川上護, 新藻三, 斎藤保政, 千葉為利, 岸田和博, 三谷功, 林芳三, 定成勇, 木戸岩之助, 住森繁喜, 井出恒夫, 高杉正明, 丸本一雄, 寺岡良三, 杉田秀史, 新谷大治郎, 丸本毅, 吉持清子, 田辺寿夫, 笹原秀夫, 池田浩, 柿本八千代, 木村勲, 嶋村泰正, 堤幸雄, 鹿角忠男, 佐藤敬治, 永橋正幸, 金城盛毅, 竹内勤, 後藤恒男, 川口博, 田岡享, 坂中道明, 山本二郎, 平本光男, 西尾清重, 能戸時男, 坂本寛, 篠宮弘, 植田利政, 足羽栄之進, 田村信之, 稲葉優, 斎藤卓己, 菱谷敏郎, 難波林造 (以下次号)