

GARP 組織委員会熱帯擾乱研究グループ報告*

柳 井 迪 雄**

1. 会合の目的と経過

すでにいくつかの報告(文献参照)に述べられているように、来るべき地球気象開発計画(GARP)の一環として熱帯地方で特別な研究観測を行なうことが提案されて来た。具体的には1966年にWMOの大気科学委員会の作業委員会が、西太平洋の15°Sから25°N, 120°Eから180°Eまでの海域に高層観測所を増設することを勧告している。この勧告は主として数値予報の観点から出されたものである。1967年夏にStockholmで開かれたGARP研究会議では、熱帯気象学の諸問題がかなり綿密に討議され、CASの勧告を変形した。さらに詳細な観測計画が提案された。特にこの会議では、熱帯気象学の当面の主要問題は積雲対流とメソ・スケールおよびシノプティック・スケールの運動との相互作用であるということが強く打出され、そのためシノプティック観測網の中に稠密なサブ・シノプティック観測網を設けるという二段構えの観測計画が提案された。またこれとは別に熱帯成層圏観測の重要性も強調された。同研究会議では熱帯特別観測を実施するのに最適な地域としてMarshall-Caroline群島を考えた。最近アメリカのNCARが中心となってまとめたいわゆるTROMEX計画でもMarshall群島を中心とする西太平洋域での特別観測網が提案されている。

昨年から、これまでWMOとICSUとが独立に進めて来た諸計画はGARP組織委員会(JOC)において統一的に推進されることとなり、昨年4月Genevaでその第1回会合が開かれ、我国からは小倉博士が出席された。この会合で熱帯地方の特別観測計画はGARP副計画の一つとしてはっきり位置づけられた。しかしこれまでの提案が、熱帯地方の擾乱について未だ不十分な知識に基づくものであることと、最近の気象衛星の雲写真に

よって熱帯擾乱に関する情報はもっと得られるのではないかという二つの観点から再検討されるべきであるとされ、JOCは特別研究グループを委嘱して必要な調査をすることとなった。

この特別研究グループはPisharoty(インド)、Fujita(アメリカ)および柳井の3名から成り、第1に気象衛星による雲写真その他の資料により熱帯地方の擾乱についての調査(census)から得られる情報を調べること、第2にその結果と、WMO-CAS作業委員会および、GARP研究会議の提案に基づいて、熱帯GARP副計画に対する学術的な要求をまとめる、との二つの任務が与えられた。

私達3名はこの目的のため昨年10月21日から11月8日までアメリカMadisonのWisconsin大学へ集まり、JOCへの答申をまとめたわけである。

MadisonはChicagoの北西、飛行機で約40分のところである。Wisconsin大学は州立大学としては歴史も古く、仲々趣きのあるキャンパスであった。ここの宇宙科学技術センターのV.E. Suomi教授はこれまでも放射ゾンデなどの気象測器の権威として名高く、最近ではATS静止衛星のカメラで有名である。あいにく気象学教室の人達は新築成った建物への移転の最中で、Suomi教授も時折り我々の会合に顔を出しただけであったが、私達3人はWisconsinセンターという会議専用の建物で毎日仕事をした。毎日のESSA衛星のモザイク写真とATS-I, II, III静止衛星の写真を自由に使用できるよう配慮されていた。

我々が予めJOCから与えられていた会合の目的はやや漠然としたものであったし、3週間という短期間に気象衛星写真の研究等による熱帯擾乱のスケールやライフ・タイムについての知識をまとめ、従来の勧告書を検討してJOCへ答申するというのはずいぶん忙しい話だと思われた。特に私などはもとと気象衛星写真の研究

* Report of the JOC Study Group on Tropical Disturbances.

** M. Yanai 東京大学理学部地球物理学教室
—1969年2月10日受理—

をしたこともなく、いささか不安でもあったが、とにかく自分の研究にもプラスになることと考えお引受けした次第であった。

会合には予め用意された agenda もなく、Pisharoty 委員長は私達だけで毎日雲写真を眺めたり討論したりして、次第に熱帯擾乱についてのイメージをつかみ、その上でどの地域で観測をすべきかというアイデアに到達しようという計画であったようだが、それはいささか悠長な話であり、すでに雲写真による統計調査があればそれをまとめるのに越したことはないので、相談の上各所へ連絡を取り、気象衛星資料による熱帯擾乱の統計をしていそうな人達を1日か2日ずつ招くこととした。この求めに応じて Gray (Colorado 州立大学), Hayden (ES SA), Martin (Wisconsin 大学) をはじめ、Charney (MIT), Reed (Washington 大学), Krishnamurti (Florida 州立大学), Ooyama (New York 大学), Rosenthal (ESSA), Van de Boogaard (NCAR), Wallace (Washington 大学) などの熱帯気象専門家が加わり、資料の提供や討論によって有効に会議に貢献してもらうことができた。

第1週、第2週は主として委員会メンバー各自のこれまでの研究に基く意見の交換と上記諸専門家からの統計資料の提供、熱帯で重点的にやるべき観測案の討論にあて、その合間に各自が自分で雲写真を観察して過した。第2週の間から報告書の下書きを始め、3人が分担或いは共同して少しずつ原稿を作りタイピストに渡す。タイプされて来た原稿をまた3人で読み合せて更に訂正して行くといった仕事を繰返し、最終日の11月8日朝に最後の報告部分までを完成することができた。英米人は1人もいない委員会では3人が英文法の論議をするといったこともあったが、とにかくよく協力して予想外のスピードで報告書をまとめることができた。多忙な Fujita 教授は毎週 Chicago 大学との間を車で往復し、大学での仕事を片付け、時には会議で出た疑問点の宿題を自分の研究室でやって来るといった超人ぶりを発揮された。

以下2, 3, 4, 5章で私達のまとめた報告書の概要をやや解説を加えながら紹介し、そのあとで若干の補足をしたい。

2. 熱帯地方の雲のシステムの census

気象衛星による雲写真が我々の目に触れるようになってから久しいが、毎日地球上を絶間なく写真でカバーできるようになったのは1967年からである。熱帯の擾乱はたいいて凝結過程を伴っていると考えられるから、写真でみる雲の様子からだけでも擾乱の地域的特性、スケー

ル、ライフ・タイムなどを統計的に調べることができるといえる。これをまとめることが私達の研究グループの主な目的の一つであったわけだが、案外にこの種の研究は進んでおらず、結局報告書のかなりの部分は私達が会合の間に直接1年分の写真を眺めた上での結論に依存せざるを得なかった。調査資料は1967年1か年を通しての毎日の ESSA 衛星のメルカトル投影のモザイク写真、それに補助に ATS-I および III の写真、その半月および1月合成写真などを用いた。

第一に印象づけられたことは、熱帯の洋上に現れる雲は多くの場合グループとして組織化されているということである。この雲のグループを“cloud clusters”と呼ぶことにした。一つの cluster の水平の拡がりは2~12°位である。cloud clusters はまた多くの場合数千 km におよぶバンド状に並んでいる。ATS-I の写真で俄然注目されたいたわゆる ITC 雲列はその例である。しかしこの雲列が本当に今まで風系の収束線として考えられて来た ITC に伴うものかどうかは判らないので、私達は単に“equatorial bands”と呼ぶことにする。よく注意して写真を観察するとこれらのバンドは一つずつ同定できる cloud clusters から成っており、更に毎日の写真を比較すると clusters が移動して行くことも判る。更に南半球には北西から南東に弧状に走る“convex bands”が存在する。

海洋上の特徴である cloud clusters と対照的に熱帯大陸上殊にアマゾン盆地には、さし渡し1°位までの比較的小さい細胞状の雲のグループが現れている。ATS-III による写真をよく調べると、これらの雲は午後極めて急速に発達することが判る。藤田博士の提案でこの極めて特徴のある雲のグループを“popcorn cumulonimbi”と名付けることにした。Pisharoty 博士はこの名前はアメリカ人と日本人には通用するかも知れないが、ヨーロッパ人には判らないし、まして WMO で公式用語として採用されるかどうか心配だと言っていた。

モンスーンの子供になると、極めて大きな雲のかたまりがインド洋から東南アジアにかけて現れる。これらは南北に数度ないし10°、東西には5~20°もの拡がりを持ち、他の洋上にバンドを成して現れる cloud clusters とは一見して異なる特徴を持っているので特に“monsoon clusters”と命名した。

結局熱帯地方の組織化された雲のシステムは“(1) popcorn cumulonimbi, (2) cloud clusters, (3) monsoon clusters”の三つのカテゴリーに分類できる。私達は更に熱帯地方を太平洋、大西洋、インド洋、南アメリ

カおよびアフリカの五つの地域に分け、夫々の地域について雲のシステムの調査を行なった。

この“地域研究”では3人の主要受持地域が自づと分れ、私はベンガル湾やアラビア海は専ら Pisharoty 博士にお任せして太平洋地域の写真ばかり眺めていたので“pacifist”という渾名を頂戴した。

2.1 太平洋

熱帯太平洋では雲の多くがさし渡し7~8°位の“clusters”に組織されている。北太平洋の西部では時に12°もの大きな cluster が現れる。これらの“cloud clusters”が赤道の両側の特定の緯度に沿って多く現れるので、その結果月平均の雲分布では南北両半球に同時に equatorial bands が現れる。equatorial bands の強さは季節に伴う変化を示す。

赤道の北側にある equatorial band は北太平洋中部で最も赤道に近く、西部および東部では赤道から遠ざかる。南半球側の equatorial band は北半球の冬の終りから3月位にははっきり見られるが、夏にははっきりしない。

一方北半球側のものは1年を通して存在する。北太平洋西部の clusters はしばしば良く発達した渦を成し、特に北半球の夏の終りには台風であることが多い。これと対照的に中部太平洋では clusters は渦構造を示すことは稀である。しかし北太平洋東部(メキシコ、カリフォルニア西沖)の clusters はしばしば渦を成しており、時にハリケーンである。中部太平洋の clusters は波動に伴うもののように見え、しばしば赤道の両側に対をなして出現する。

南半球の Solomon 群島(10°S, 160°E) から Easter 島(30°S, 120°W) 付近にかけて斜めに伸びる belt 状の cloud clusters が列をなして現れる。これを我々は“convex band”と名付けたが、これは南半球の equatorial band とは別のシステムであり、南半球の低気圧に伴う雲であるようだ。

Wisconsin 大学の Martin 博士は熱帯太平洋の 25°N から 25°S, 160°E から 100°W の海域について ESSA III のモザイクに基づいて詳しい雲のシステムの統計調査を行なった。彼は cloud clusters をその外観から OVAL, LINE, WAVE, SPIRAL VORTEX の四つの型に分け、夫々についてその各季節毎の地域別頻度、出現し易い緯度、cluster の平均サイズ、ライフ・タイムを調べ、更に clusters の移動速度を求めている。その結果 cloud clusters は殆ど全ての季節に 10°N と 10°S の二つの緯度に沿って最も頻繁に現れることが判った。しか

し clusters の出現頻度は北半球側の方がずっと多い。1年間で OVAL の総数は約500, LINE, WAVE, VORTEX は夫々約100~200個現れる。

VORTEX と OVAL の平均サイズは大体 7°, 一方 WAVE, LINE は 9° 位の水平の拡がりを持つ。WAVE, VORTEX のライフ・タイムは約6日, OVAL のそれは1~2日である。LINE 型のライフ・タイムは場所によって異なるが、大体2日ぐらい、但し南太平洋中部では約7日である。

以上の Martin 博士の調査は大変貴重なものであったが、160°E 以東に限られていたので、太平洋全域の clusters の統計としてはやや不十分であった。そこで9月と10月に限定して、110°~160°E, 0~25°N の西太平洋の調査を会議中に追加してもらった。西太平洋でも雲の現れ方は大体同様であるが、WAVE型はやや少く、VORTEX が多い。またすべての型についてしばしばさし渡し 12° に達する大きな clusters が現れる。

これらの組織化された cloud clusters は平均して1日に約 5° long. の速度で西進している。つまり貿易風に流されているとみられる。

ESSA の Hayden 氏は北太平洋全域にわたる digital 化された ESSA 衛星による雲写真の輝度(brightness)資料をフーリエ解析することにより、雲のシステムの平均サイズ、間隔を求めようとしているが、その方法は未だ完成されておらず、あまりはっきりした結論は得られなかった。ただ平均して約 4° の拡がりを持つ cloud clusters が、それより大きい、或いは小さい clusters にくらべて雲量に最も貢献しているという興味ある結果が出ていた。

バンド内での cloud clusters の平均間隔についてはそれほどはっきりした定量的結論は得られなかった。大体 clusters の大きさの2~3倍というところのようだ。

太平洋以外の地域については参考になるような系統的調査は未だなく、全く私達自身の観察結果をまとめる他なかった。

2.2 大西洋

大西洋での雲のシステムは太平洋のものによく似た組織を持っている。但し equatorial band は1本しかはっきりせず、北半球の夏には 10°N に、冬には赤道近くに現れる。この equatorial band は中央アメリカを横切り、北太平洋東部の band につながっている。ハリケーンの季節には大西洋の equatorial band の位置は北に寄り、cloud clusters の或るものはハリケーンになる。ま

た南大西洋西部の 20°S, 40°W 付近からは南太平洋西部と同様の convex bands が南東に伸びている。

2.3 熱帯南アメリカ

南アメリカは大陸性熱帯地方の代表で, Andes 山脈を除いては殆ど平坦地である。ここでの雲のシステムは大西洋や太平洋で見られるような clusters には組織化されておらず, 個々の雲のシステムは高々10個程度の積乱雲から成り, その水平サイズは 50km 以下である。これらのシステムは明瞭な日変化を示すので “popcorn cumulonimbi” と呼ぶ。5°S より南では南半球の冬には地形性でない雲は殆ど出現しない。しかし他の季節には, 熱帯南アメリカは平地といわず山岳地帯といわず午後になると小規模な積雲, 積乱雲でおおわれる。

2.4 熱帯アフリカ

熱帯アフリカは大陸であるのに雲の特性は南アメリカとは極めて異なり, むしろ海洋に似ている。即ちここではさし渡し 7~10° の cloud clusters に雲が組織化されており, 個々の cluster の間隔は 10~15° である。これら clusters は東部山岳で発生し, 1日に経度にして 5°位の速度で西進する。北半球の夏には clusters は大体 5° ないし 10° の緯度に沿って移動する。この clusters のバンドは大西洋の equatorial band につながっている。clusters の中の或るものは Guinea 湾に入ると低気圧性の渦に発達するが, ふつう東大西洋に出ると 1日か 2日で弱くなってしまふ。しかしこれらの弱い渦が西大西洋に達するとハリケーンに再び発達することもある。南半球の夏では赤道以北のアフリカには大きな cloud clusters は現れない。この期間に 5°S~10°S に南側の equatorial band が出来る。時にはこのバンドは赤道に達し, 稀には赤道を横切ることもある。

2.5 インド洋と東南アジア

インド洋と東南アジアには今まで述べたどの地域とも異なった特徴ある雲の組織が見られる。

先ず南インド洋の雲のシステムは大体太平洋のものと同様の cloud clusters に組織されている。南インド洋の cloud clusters は, 北半球の夏にも見られるが, このことは気象衛星出現以前には余りよく認識されていなかった。北半球の夏には cloud clusters は赤道に近く 5°S に, 南半球の夏には 10°~12°S に沿って出現している。

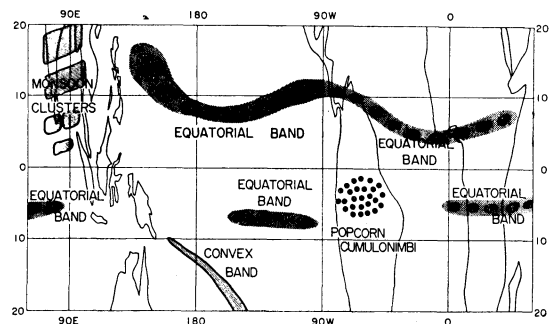
赤道以北のインド洋でも北半球の冬では 5~10°N に沿って cloud clusters が発生し西進する。このことも気象衛星以前にはよく知られていなかった。

北インド洋での最も特徴ある差違は, 北半球の夏に下

層に西寄りのモンスーンが吹く時期に現れる。5月の終りから6月の初めにかけては赤道の両側に cloud clusters が存在し, 時には赤道をまたいで存在することもある。ところが6月の中旬までに 70°E から 90°E, 時には 100°E まで, 10°N から 20°N までの広大な領域をカバーして1個か2個の大きな雲の領域が爆発的に発達する。このようなとりわけて大きな cloud cluster を “monsoon cluster” と呼ぶ。時にはさしわたし 7°位の比較的小さな monsoon clusters がアラビア海の 50°E から, 70°E, 5°S から 15°N にかけて現れる。

10°N~20°N の monsoon clusters は時に 110°E にまで達する。これらの monsoon clusters の中には多数の積乱雲が存在し, 衛星写真では極めて輝いた斑点として検出できる。6月, 7月には monsoon clusters と西太平洋の雲のシステムとはつながっていないが, 8月になると monsoon clusters の出現位置はしばしば 20°~30°N に移る。この時 monsoon clusters は小さくなり, サイズや間隔が太平洋の equatorial band 中の cloud clusters と似て来る。

以上述べた熱帯地方各地域での雲の組織を模式的に図示してみると第1図のようになる。会合の席で藤田さんがスケッチされたものをもとにした。



第1図 熱帯地方の雲の組織の模式図

3. 熱帯太平洋上の風のスペクトル解析のまとめ

熱帯擾乱のスケールを論ずるには勿論風の資料も活用されるべきである。熱帯に存在する上層風観測所が極めて少いため, 通常の総観解析から擾乱の平均波長を求めることは仲々難しい。最近東京大学の私のグループと, Washington 大学の Wallace のグループとが独立にタイム・シリーズ資料のスペクトル解析から熱帯擾乱の特性を調べる研究をしているのでそれらをまとめた。

3.1 卓越周期

先ず1962年の4月から7月までの150°Wから150°Eまでの太平洋上の観測点の12時間毎の上層風資料をスペクトル解析した Yanai *et al.* の研究では風の南北成分のパワースペクトルに対流圏でも下部成層圏でも4~5日周期に顕著なピークのあることが示された。この4~5日周期でのスペクトル密度は、赤道に沿って大気の下層に弱い極大値、圏界面付近に極めて顕著な最大値をもつ。下部成層圏での顕著なスペクトル密度は赤道をはさんだせまい帯にのみみられる。補助的な総観解析により、下層のピークは昔 Palmer によって研究された赤道波動の通過に伴うものとみられ、上層のピークは Yanai と Maruyama によって発見された移動性の大規模な擾乱に関係している。

この4~5日周期の他に最近 Wallace は下部対流圏に約12~13日の周期を見出した。この12~13日周期は風の東西成分によく現れ、さきに Wallace と Kousky によって注目されている成層圏帯状風の15日周期に近いが、一応別の起源のものと思われる。

3.2 伝播方向と波長

東西方向に離れた2個以上の観測所での風の位相差を解析することにより、擾乱の水平伝播と平均波長を統計的に求めることができる。柳井、丸山それに Wallace と Kousky による成層圏風のこれまでの研究により、成層圏には2種の擾乱があることが分っている。即ち4~5日周期に対応する西進波(混合 Rossby—重力波)は約10,000kmの波長を持つ。15日周期に対応する東進波(Kelvin 波)の波長はよく分っていないが、地球をとり巻いて波数1であるようだ。Yanai *et al.* は上部対流圏から下部成層圏にかけての混合 Rossby—重力波の波長が約10,000kmであることを確めた。

対流圏における4~5日周期の波動については波長はそれより小さい。しかし東西方向の波動のコヒーレンスが小さいため、正確な波長の測定は難しい。只、西進することは確かである。Wallace は同一緯度上の観測点のみから位相差を求め、約2,000~3,000kmを得ている*。これは以前に Riehl や Palmer により述べられて来た偏東風波動の波長と一致している。Wallace によれば12~13日周期の波も西進する。

3.3 赤道上空での波動の垂直伝播

* 東大グループが得た値は約6,000kmで、両者間の差の原因は未だよく分らない。対流圏擾乱の波長には東、西太平洋で差があるようだ。

Wallace と Kousky は熱帯成層圏で Kelvin 波による西風運動量の上向き輸送があることを示した。帯状風と温度との間の quadrature—スペクトルの研究により、Maruyama は混合 Rossby—重力波も西風運動量を上方に運ぶことを示している。Yanai *et al.* の研究で、上部対流圏から下部成層圏にかけての西進する大規模擾乱は位相線が高さと共に西に傾いていることが分っている。風の南北成分、東西成分、それに温度の co—スペクトル、quadrature—スペクトルから Yanai と Hayashi は4~5日周期の波に伴う顕熱の水平輸送、波動エネルギーの垂直輸送を計算した。この波動は熱を赤道から極へ向けて、またエネルギーを対流圏から成層圏へ向けて上方に運ぶことが分った。

3.4 まとめ

以上の研究から熱帯太平洋上での擾乱に伴う運動エネルギーの大部分はシノプティック・スケール或いはそれ以上(プラネタリー・スケール)の運動に伴っており、周期3日以下の小規模なシステムに顕著な運動エネルギーが含まれているとは考えられない。

これまでに判っている4種類の擾乱を表にすると次のようになる。

表 1

種類	現れる層	周期	伝播方向	波長	備考
I	下部対流圏	4~5日	西進	2,000 ~3,000km	偏東風波
II	下部対流圏	12~13日	西進	?	
III	上部対流圏 ~下部成層圏	4~5日	西進	10,000km	混合Rossby—重力波
IV	成層圏	15日	東進	40,000km	Kelvin 波

なお、下部対流圏の擾乱に伴う風の東西成分、南北成分の間、或いは南北成分と温度との間の co—スペクトルなども現在 Wallace および東大の新田によって研究されている。

4. 風のシステムと cloud clusters

さてこれまで雲の分布、風のスペクトルという二つの独立な観点から熱帯擾乱についての展望を試みて来た。ではそれらはお互いにどう関係しているか? これが分って始めて本当の意味での擾乱のイメージができる訳であるが、残念ながら研究は未だそれを明らかにする段階に進んでいない。風のスペクトル解析から案外に大きい波長を持つ擾乱の存在が目立つが、一方衛星写真で見る clusters の大きさ、あるいはその間隔はもっと小さい。この間の謎を明らかにすることが今後数年間の熱帯気象

学の一つの主要目標になるであろう。

4.1 cloud clusters に関係した風の場の統計的研究

cloud clusters に伴う風の場を統計的に調べた唯一の研究は Gray 博士のものである。彼は 1967 年 4 月から 11 月までの期間、赤道以北の 120°E から 150°W までの cloud clusters についての研究を行っている。先ず clusters の平均サイズは約 5° である。毎日の ESSA モザイクで個々の cloud clusters を追跡し、その多くが時間的に発達、或いは衰弱することを示した。彼は rawin wind の資料から clusters に相対的な風の分布を合成した。注目されたことは、発達する clusters と衰弱するものとは、それを横切つての風の緯度方向のシャーが異なることである。発達する場合は cloud cluster を横切つて強い低気圧性のシャーがあり、衰弱する場合は高気圧性か、只弱いシャーがある。

4.2 綜観的研究

その他熱帯の風のシステムと cloud clusters との関係を示唆するいくつかの綜観解析が検討された。

藤田博士は ATS の写真系列から雲の速度を計算する技術を開発し、下層雲の速度から太平洋上の下層風を求めた。個々の積乱雲細胞の移動も求められた。絹雲の尾 (trail) の方向と積乱雲の根 (trunk) の速度とから絹雲のレベルでの風を求めることもできる。このようにして下層と、絹雲高度の 2 層で風を求め、雲のシステムと結び付けた解析が若干の例について行われた。

その中でも興味深いものとして、1967 年 9 月の東太平洋の解析がある。北太平洋東部の equatorial band はチリー・ペルー沖での、南半球からの下層風の吹出しによって活発となり、かつ北へ押しやられる。赤道を越える南半球からの気流は負渦度を伴って来るので高気圧性の細胞を作り、その西側と北側に cloud clusters を伴う。北側の clusters は時に渦やハリケーンに発達する。時間がたつとこの高気圧は cloud clusters と共に西進する。約 5～7 日後には、次の吹出しが太平洋の東端で起り、全過程が繰返される。その結果、北太平洋には西に進む 2 ないし 3 個の高気圧が存在することになる。これらの高気圧は中心付近に雲の無い静穏な領域を持ち、西と北側に cloud clusters を伴う。この clusters のあるものは渦となり更に台風に発達することがある。

藤田博士は更に 1968 年 6 月に南太平洋の Fiji 諸島上で見られた擾乱の研究を示した。この擾乱は一個の大きな cloud cluster によって特徴付けられていた。雲の運動と絹雲の尾 (trail) とから、この cloud cluster 中の

絹雲の canopy からの吹出しが求められた。強い高気圧性の吹出しは cloud cluster の面積の数倍の拡がりを持っている。cloud cluster 領域の発散と渦度は約 $6 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ に達する。明らかに、この上空の outflow は雲頂から大量の熱エネルギーを極と赤道に向けて輸送している。

藤田博士は 1967 年 9 月の雲と上層風を組合せた綜観解析によって次のような興味ある事実を明らかにした。

(i) 両半球の上空の吹出しの中心の東西方向の間隔は平均約 6,000km である。(ii) この期間赤道以北の吹出しの中心は西進したが、約 15°S にあった南半球側のもは東進した。南半球のもは亜熱帯ジェット流の影響を受けていた可能性がある。

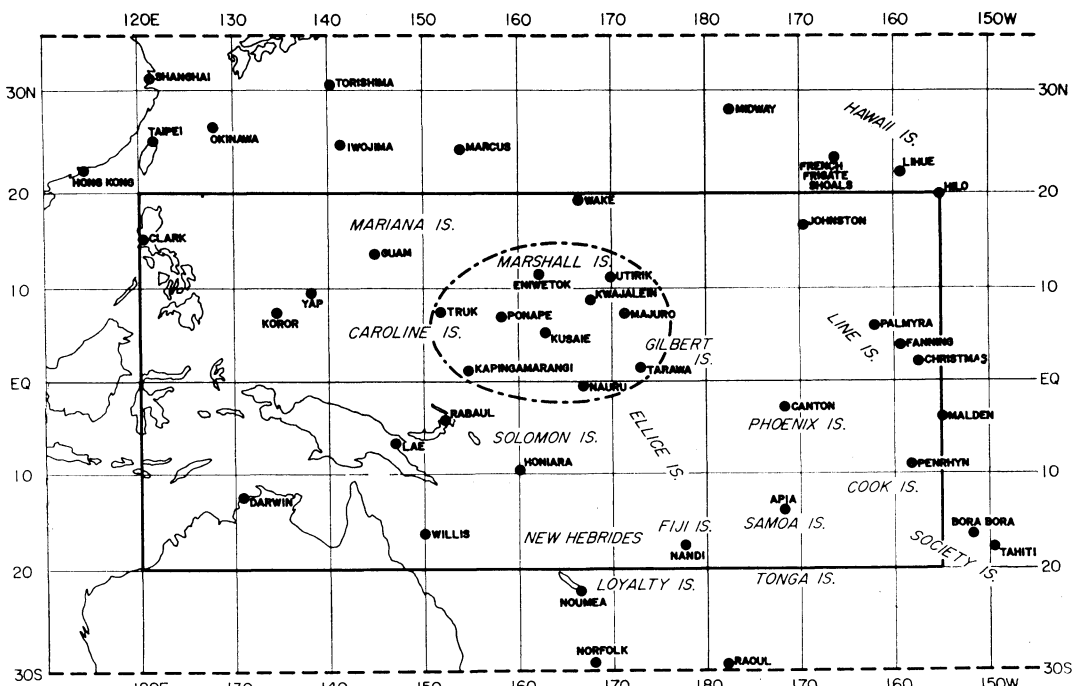
4.3 その他の研究

Suomi-Fujita より提供された ATS-III の映画によると、メキシコ沖の東太平洋上の熱帯雲のシステムに起源を持つ絹雲の細い筋 (stream) が 100 ノットに達する高速度で北東に向かって流れるのが分る。このような筋はかなりの量の熱エネルギーを中緯度に輸送できそうであるが、粗い観測網を用いた通常の熱収支計算では見落されてしまうだろう。

日々の ESSA モザイクや ATS 写真を調べていると、特に冬半球において、寒冷前線が低緯度に侵入すると equatorial cloud band が活発になるのが見られる。太平洋上では幾つも例が見られた。寒冷前線系が 15°N から 10°N 位まで南下すると、低緯度の cloud clusters がプロミネンスのようにぱつと拡がるのが分る。低緯度大気と中緯度擾乱との相互作用も今後興味ある問題の一つである。

ESSA モザイクと高層資料を調べた結果、北半球の夏に北太平洋西部を西進する雲のシステムと南シナ海上を東へ向って吹送するモンスーンとの間に強い相互作用のあることが示唆される。インドシナ半島上の雲の形状から、しばしばこの辺は西風の範囲に入ることが判る。このような時には、太平洋の偏東貿易風と、インドシナと南シナ海を越える西風との境目は Mariana 群島西方のフィリピン海上に生ずる。この境目は安定せず東に移ったり西に移ったりする。この境目の位置が、フィリピン海に到達するまでにその多くが渦構造を示す cloud clusters の西進にとって重要な役割を果しているようである。

この他にも若干の話題があるが、さほど重要でないので省略する。結局、気象衛星写真で見える熱帯雲のシステムと風その他の気象要素との対応は未だよく判らないの



第2図 勧告された GARP 熱帯観測網。Marshall 群島にメソ・ネットワークを、それをとり囲んで中間観測網、更に 20°S~20°N, 120°E~155°W にシノプティック観測網をおく。黒丸は現存する高層観測点、或いは過去の特別観測などで設置された地点を示したもので地名を見る便宜のためである。この図も公式のものではない。

が実状である。この対応を見出すことが、熱帯気象学の一つの重要な課題であり、GARP 熱帯副計画も先ずそれを目標とすべきであろう。

5. 勧告*

5.1 一般

我々の雲写真の調査は、熱帯地方の雲が一般的に cloud clusters, monsoon clusters, および popcorn cumulonimbi の三つのカテゴリーに組織されていることを示した。雲のシステムのこれら3種のカテゴリーが熱帯地方でのエネルギー放出にとって最も重要な貢献をしていると思われる。これらの雲に伴う現象を理解するために、これらのカテゴリーについて強力な研究を行なうことを勧告する。

5.2 我々の調査は、cloud clusters は殆どすべての季節に、3大海洋上に生ずることを示した。それ故、これら cloud clusters の内部構造、それらの周囲および大循環との関係を優先的に研究することを勧告する。

5.3 cloud clusters は北太平洋上に最も多く現われ、

* 正確を期するため本章は報告書の訳文のみ記す。

中部で比較的少く、西部および東部北太平洋にはほぼ同数出現する。しかし西部北太平洋上では cloud clusters はいろいろな発達段階を示す。研究グループはそれ故、西部北太平洋を第1次 GARP 副計画の観測地域として選ぶよう勧告する。この勧告は一般的に、WMO-CAS 作業委員会 (1966), Stockholm GARP 研究会議 (1967), および NCAR TROMEX 報告 (1968) による諸提案と一致する。

5.4 5.2 に述べられた目的を達成するため、

- (a) 平均的な cloud cluster の面積をカバーする Marshall 群島上のメソ・スケール観測網、
- (b) このメソ・スケール観測網を取囲み、その約10倍の面積を持つ中間 (intermediate) 観測網、
- (c) 20°S から 20°N まで、また 120°E から 155°W までをカバーするシノプティック・スケール観測網、
- (d) 30°S, 35°N; 90°E, 90°W で囲まれる地域内の、船舶、航空機を含む既存の観測所から成る資料収集用の観測網

から資料を集めることが必要である*。

5.5 上記観測網について、観測期間を次のように勧告する。

- (i) メソ・スケール観測網 ー7, 8, 9月
- (ii) 中間観測網 ー7, 8, 9月
- (iii) シノプティック・スケール観測網 ー同年1月から12月までの1年間
- (iv) 資料収集用観測網 ー前年12月から、翌年1月までの14月。

5.6 メソ・スケール観測網の密度、観測の頻度、タイプは GARP 研究会議報告の第3. 2. 4. 2節に述べられているものと同様とする。中間観測網については約 250km×250km の格子間隔を NCAR の勧告にならって勧告する。シノプティック・スケール観測網については、500km×500km の格子間隔を勧告する。資料収集用観測網に関しては、5.4 で指定された観測網の域内のすべての陸上観測所、船舶、航空機からの、通常には報告されないものも含む全資料を得るように手がなされなければならない。

5.7 5.5 に指定された14日間、160°E 付近の赤道上に ATS 宇宙船を配置することを勧告する。

5.8 研究グループはまた、提案された GARP 副計画に先立って更に調査を行なうことを勧告する。このような調査は、(a) 雲の census, (b) 雲と風のシステムとの間の相互作用、(c) 熱帯地方の異なる地域での様々な雲のシステムのライフ・サイクルに関する一層の研究を含むべきである。

6. 付記

以上2, 3, 4, 5章で紹介したような報告書を JOC に提出して我々の任務は終り、研究グループは解散したのであるが、この後の扱い等について少し触れておく。本年1月末からプリンストンで開かれている JOC の第2回会議では、本報告をもとにして GARP 熱帯副計画の進め方が重要な議題の一つになる筈である。

第1次の GARP 熱帯観測は1972年実施を目標として、JOC から WMO の執行委員会と ICSU とに対し勧告されることになると期待している。しかしその規模が我々の報告にあるようなものとなるか、或いはメソ・スケールに重点をおいた比較的小規模のものを先ず第1次計画とするか等は今後の討議にまつことにならう。後者の場合は、次の GARP 本観測 (1974年頃?) の際、併せ

て第2次熱帯観測を実施するということになるかも知れない。

最近、熱帯地方の擾乱、積雲対流と一般流の相互作用、低緯度での摩擦層の役割、また熱帯成層圏の諸現象などに対する関心は国際的にも急速に高まって来ている。我国でもすでに九州西方海域での特別観測が始まっているが、アメリカでも NCAR が中心となって1967年に Line 諸島での観測を行い、更に昨年はカリブ海東端の Barbados 島周辺で、大気と海洋、地表の相互作用解明を主目標とした特別観測が行なわれた。

私達が考えた GARP 熱帯観測計画は、積雲スケール、メソ・スケール、シノプティック・スケールから更に大循環に及ぶ種々のスケールの現象間の相互作用の解明を目的としたかなり大がかりなものである。これは勿論国際協力によらなければ達成できない。熱帯気象の研究は、台風の発生機構とも関連して、我国の気象研究者にとっては身近な問題である。今後の計画の推進に当たって、WMO, ICSU を仲介として国際的な協議、具体的には専門委員会や、科学顧問などの形で我国の研究者、観測当事者の発言が求められて来るであろう。この際、基礎研究者、業務上の責任者を問わず、数年先に迫りつつある南方海域での熱帯観測計画に積極的な関心と発言とをして行こうではないか。その裏付けとなるふだんの研究ももっと充実したいものである。

参 考 文 献

ICSU/IUGG Committee on Atmospheric Sciences, 1967: Global Atmospheric Research Programme (GARP). Report of the Study Conference, Stockholm, 28 June-11 July, 1967.

(報告「地球大気開発計画研究会議」として日本学術会議地球物理学研究連絡委員会大気科学小委員会から日本語訳が出ている)

ICSU-WMO Joint GARP Organizing Committee, 1968: Report of the First Session, Geneva, 16-20 April 1968.

ICSU-WMO Joint GARP Organizing Committee, 1968: Report of the First Session of the Study Group on Tropical Disturbances (Madison, October 21-November 8, 1968).

National Center for Atmospheric Research, 1968: TROMEX: A Research Plan for a Tropical Meteorology Experiment. 62 pp.

WMO, 1966: Report of the Session of the CAE Working Group on Tropical Meteorology, Geneva 14-18 November 1966.

Charney, J.G., 1966: The feasibility of a global observation and analysis experiment. Bull.

* 参考図を第2図に示した。これは公式のものではない。

- Amer. meteor. Soc., 47, 200-220.
 小倉義光, 1966: 地球大気研究計画について. 天気, 13, 225-230.
 小倉義光, 1967: 「地球大気開発計画 (GARP) 研究会議」印象記. 天気, 14, 379-388.
 小倉義光, 1968: GARP 組織委員会 第1回会合報告. 天気, 15, 473-476.

- 柳井迪雄, 1967: 熱帯気象学の展望. 天気, 14, 73-91.
 National Center for Atmospheric Research, 1966: The Line Islands Experiment. 13pp.
 Garstang, M., and N.E. La Seur, 1968: The 1968 Barbados Experiment. Bull. Amer. Meteor. Soc., 49, 627-635.

北海道支部だより

昭和43年度北海道支部研究発表会開催

昭和43年度北海道支部研究発表会が北部管区気象研究会と共催で、さる12月10日札幌管区気象台会議室で開催された。午前中は一般研究7編が発表され、午後は北海道大学井上力太教授の特別講演のあと、集中豪雨と豪雪に関するシンポジウムが行なわれ内容の充実した発表会であった。

出席者は気象台職員のほか北海道大学、開発建設局の関係者等約100名を越え、活発な質疑が行なわれた。

各発表題目と氏名は次のとおり。

一般研究発表

1. 村松照男 (札幌高層): 気球の地形の影響による異常上昇
2. 八木正允 (札幌予報): 札幌におけるオゾン量の変動と大気平均流の相関について
3. 大浦流文・小林大二・小林俊一 (北大低温): 地ぶきについての二・三の観察
4. 山本 晃 (旭川地台): 工場雪 (旭川特産の雪)
5. 李 柁雨 (北大 理): ステレオ写真解析方法によるレーダーエコーの微細構造の研究

6. 石岡武徳 (根 室 測): VFR帯の異常伝播について
7. 山崎 武・孫野長治 (北大 理): 季節風の地形効果に関するモデル実験

特別講演

井上力太 (北大 工): 米国の大気汚染全国センターの研究について

集中豪雨と豪雪に関するシンポジウム

座 長 粕谷光雄

話題提供

1. 集中豪雨
 - (1) 松本誠一 (気 研): 昭和42年西日本豪雨のメソ解析
 - (2) 小倉士郎 (札幌予報): 北海道の集中豪雨
 - (3) 高橋浩一郎 (札幌 幌): 強雨強度の統計的構造
2. 大 雪
 - (1) 孫野長治 (北大 理): 米国の臨湖の降雪
 - (2) 松本誠一 (気 研): 北陸豪雪についての二・三の話題

西穂高岳落雷遭難事故調査報告書

1969年3月刊

長野県松本深志高等学校

非売品であるが、希望者には実費で頒布している。

1. 実費1,000円+送料100円=計1,100円
2. 申込先

〒390 松本市蟻ヶ崎 3-8-1 松本深志高等学校
 電話松本 (02634) —2—0003, 0922

3. 体 裁 B5版 370頁 (図表写真500余枚)

昭和42年8月1日、同校教官生徒46名他一般登山者が西穂高岳の通称「独標」で電撃を受け、死亡11名、重軽傷13名をだした事故の徹底した調査報告書である。

同校教官7名で組織された委員会が1年半の歳月を費して調査報告したもので、このときの落雷の実態および

これに関連する諸問題をもうこれ以上は、調べようがないところまで調べあげ、今後の研究資料として同校から出版されたものである。

全部で5編あるが、IV資料編のなかには本誌第14巻第12号に載った井村宇一郎氏の論文も加筆の上再録されており、その他関係資料のほとんどが網羅されていて落雷問題に関心をもつものは是非備えるべきであろう。

Ⅲ寄稿編は、畠山久尚氏が序を書き、気象、電気、医学、登山等の専門家多数の寄稿が含まれている。

(久米庸孝)

1969年3月