

## 熱帯気象学に関するシンポジウム

1 会期： 昭和42年5月17日 15.30—18.30 2 会場： 東北大学松下会館 3 座長： 岸保勘三郎

### 4 話題提供

(1) 熱帯気象学の展望

柳井迪雄 (東大理学部)

(2) 積雲対流及び大規模運動に対するその役割

浅井富雄 (気象研究所)

(3) 日本南方海域気象特別観測計画

渡辺和夫 (気象研究所)

講演内容は「天気」14巻3号に収められているので、併せて参照していただきたい。なお本稿を取りまとめたいただいた、安田延寿氏 (東北大) および当日シンポジウムの世話をいただいた多くの方々に厚く御礼申し上げる。(講演企画委員会)

### (1) 熱帯気象学の展望 柳井迪雄

#### (討 論)

北岡 (気象庁)： 26ヶ月周期の原因をどう考えているか。

柳井： 26ヶ月周期の本当の意味での原因論には幾つかの仮説がある。たとえば太陽にその様な周期の活動があり、大気上層がそれにレスポンスして起こるという説もあるが、本当の意味での明快な答えはない。しかし私達の狙いはその様な意味での原因論ではない。全球的に東風になったり西風になったりしているが、運動方程式の積分からわかる様に東西方向の平均気圧傾度はあり得ない。従つて原因が何であろうと、帯状流の維持のためには eddy による水平方向か垂直方向の運動量輸送の収束、発散の交代がなければならぬ。eddy による輸送を計算して2年周期が出たという人もいるが、どの様な擾乱によって輸送されているかという事については全然わかっていない。先に紹介した東大での研究はそれをねらったものである。

駒林 (名大)： ①hot-tower の面積が数%というのは意外に少ないという印象を持った。いつでもその様に少ないのか、あるいは弱いけれどももっと拡がる時期があるのか。

②hot-tower が6万フィートに達するとすると気圧が120~130mb に下るので、われわれが従来野外で観測していた降水機構になる現象と違う現象が起こる。この点についての室内実験や飛行機観測が必要になるのではないか。

③hot-tower の様に高い雲が低緯度地帯以外に出来た場合、電気現象も含めて何か変わった現象が起こらないか。

エアロゾル収支を北半球全体で考えた場合、オゾン層

のすぐ下に硫黄層があって地球全体を取り巻いているという説が最近あり、その様な観測事実もある。熱帯からの亜硫酸ガスが光化学的に反応したり、オゾンと反応するなどして硫黄層を形成すると考えられているが、ちょうど硫黄層が形成される源の所に hot-tower があるかもしれないと考えられる。そうであるとすると、その様な物質は酸化還元反応が激しいので、電荷の収支に関しても特別な性質を持つかもしれない。熱帯気象学をやる場合には、単に綜観的な、あるいは力学的な観点以外にもきわめて重要な点がたくさんある事を強調する必要があると思う。

柳井： お話したのは hot-tower が多い例で、ハリケーンの中心部で数%、それ以外ではもっと少ない。これは浅井さんの御専門なので浅井さんをお願いしたい。

座長： この点については浅井さんの講演の後に討論したい。

寺田 (防災センター)： 台風は日本にとって最も重要なものである。科学技術庁でもっと研究を強化したい。

土屋 (気象庁)： ①柳井さんの先程の御説明では、ITCZ についての説明は逃られた感じがする。「天気」の原稿には、日本付近で ITCZ が「顕著である」と書いてるが、「顕著」とはどういう事か。

② ITCZ の位置は年を通じてかなり変動があるが、1957~58年の IGY のデータを Hamburg 海洋気象台で整理した。それによると、ITCZ が地球をぐるっと廻っている例もある。ITCZ 途切れているのかどうか。

③また、ITCZ の南北の変動の幅も非常に大きい。常に夏半球にあるという先程の柳井さんの説明に対し、東太平洋の ITCZ は夏冬ほぼ同じ位置にある。ITCZ につ

いて柳井さん流の考え方をもう少し説明していただきたい。

柳井：①文献を色々調べて見たが、そもそも ITCZ とは何かという定義が人によって違う。ある人は赤道地方の低圧部の位置を結んだものを ITCZ とし、ある人は風を解析し、平均的に北東貿易風と南東貿易風のぶつかる所を ITCZ としている。

② Hamburg 気象台で出した図は海面気圧の解析結果に過ぎない。したがってそれは ICTZ といいて良いかどうか。正確に言えば赤道低圧帯の解析である。一方風系の境——たとえば、西太平洋で夏に見られるモンスーンと貿易風のぶつかる線の様に——が全球的に存在するかどうかはわからない。

③ ITCZ が夏半球にあるといったのは、簡単にそういっただけである。太平洋で非常に顕著だといった事と関連するが、東太平洋と西太平洋では非常に ITCZ の性質が違う。東太平洋ではモンスーンの影響がないので、純粋な意味で北半球、南半球の貿易風の境界が ITCZ を作っていると考えられる。西太平洋ではモンスーンが強く、はっきりした南西風が入って来るので、貿易風と貿易風の境界というより貿易風とモンスーン境界である。大西洋の場合はデータも余りないが、気候学的に北東貿易風と南東貿易風の収束帯を ITCZ としている。西太平洋の様にはっきり逆の風が吹いている所は珍しいので、日本附近で“顕著”であるといった訳である。とにかく ITCZ の実体はまだよく研究されていないので今後の研究を期待したい。

磯野(名大)：台風の中の鉛直方向の熱の輸送の問題に関連して質問したい。台風の中では上層まで液相の水のままであるという話を聞いた事がある。この様な問題に相当大きな影響を及ぼすもの——たとえば、氷晶核など——の問題と関連して、氷晶化がどの高さで起こるかという事が熱輸送、あるいは台風の発達に関係するかどうか。

柳井：Malkus や Simpson は非常に高い所まで液相の水が多いと主張する。たとえば、hurricane modification の実験の根拠は、そこに氷晶核を撒いて熱を出させて over shooting させようという思想である。台風内の rain band で降っている雨は対流性なのか地雨性なのか、bright band があるので対流性ではないとあるレーダーの専門家は主張するがこの点についてレーダーの専門家に御聞きしたい。

(意見なし)

## (2) 熱帯循環における積雲対流 浅井富雄

講演内容については「天気」14巻3号を参照していただきたいが、積雲モデルについては更に詳しく述べられているので、以下その部分についての要旨を記す。

積雲対流及びその集合と大規模運動の相互作用の機構を明らかにするために、一つの簡単な考え方を紹介する。

多くの積雲対流セルが含まれている 100km 平方、1 時間程度の単位領域、単位時間を考える。その領域内の積雲のスケールは 1km 平方、10分間位で、考えている領域の大きさより小さい。また、その領域は一つのモードの対流セルで満され、その対流セルは最も効率よく熱を上方に輸送するであろうという撰択律を採用する。そのセルの性質を、その領域の平均量で表現できるならば、積雲対流の全体の効果を小さな格子を用いずに大規模運動の数値計算に取り入れる事ができるであろう。

単位積雲対流セルとして、中心部で上昇し周囲で下降するような同心円の垂直円柱を考える。セルの平均量に対する方程式は次の様になる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle w_a \rangle = k_1 \langle \Delta \theta \rangle - k_2 \langle w_a^2 \rangle$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \Delta \theta \rangle = k_3 \langle w_a \rangle - k_4 \langle w_a \rangle \langle \Delta \theta \rangle$$

ここで  $k_1, k_2, k_3, k_4$  は次の様に考えられる。

$$k_1 \equiv \frac{g}{\theta} (1 - \sigma^2) \left\{ 1 - \frac{\ln \sigma}{\mu(1-\mu)} \left( \frac{a}{d} \right)^2 \right\}^{-1}$$

$$k_2 \equiv \frac{2\alpha^2}{a(1-\sigma^2)^2} \left\{ 1 + \frac{(1-\sigma^2)^3}{2\mu^3(1-\mu)^3\sigma} \left( \frac{\sigma \ln \sigma}{1-\sigma^2} \right)^2 \left( \frac{a}{d} \right)^4 \right\} \\ \times \left\{ 1 - \frac{\ln \sigma}{\mu(1-\mu)} \left( \frac{a}{d} \right)^2 \right\}^{-1}$$

$$k_3 \equiv S b \left( \zeta - \frac{\sigma^2}{1-\sigma^2} \right)$$

$$k_4 \equiv \frac{2\alpha^2}{a(1-\alpha^2)^2} \left\{ 1 + \frac{1-\sigma^2}{\alpha^2} \left( \frac{a}{d} \right) \right\}$$

$w_a$  : 上昇域の上昇流速度

$\Delta \theta$  : 上昇域と下降域の温位差

$\sigma^2$  : 上昇域の広さの、全体に対する比

$\alpha$  : 混合を表わす定数

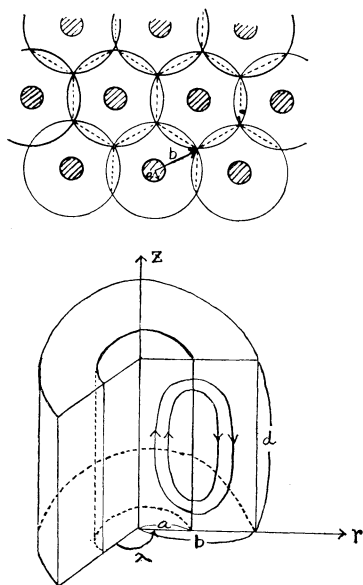
主として上昇域、下降域の水平混合を表わし、室内実験では Plume に対し  $\alpha^2 = 0.1$  が考えられている。

$a$  : 上昇域の半径

$d$  : セルの高さ

$\mu$  : セルの下層にある流入域の厚さの、 $d$  に対する

比  
 $\zeta$ : 安定度  
 $\zeta = \frac{Sa}{Sb}$   
 $Sa \equiv -\frac{\partial \theta_{eo}}{\partial z}$   
 $Sb \equiv \frac{\partial \theta_o}{\partial z}$   
 $\theta_{eo}$ : 相当温位  
 $\theta_o$ : 温位



第1図 単位積雲セルのモデル

このモデルは今までの Plume モデル, Bubble モデルを特別な場合として含む, より一般的なモデルである。ここで対流が起こるためには  $k_3 > 0$  でなければならないので, 上昇域の大きさには上限が与えられる。

定常解は次の様になる。

$$\langle w_a \rangle = \left( \frac{k_1 k_3}{k_2 k_4} \right)^{1/2}$$

$$\langle \Delta \theta \rangle = \frac{k_3}{k_4}$$

$$\frac{H\theta}{C_p \rho_o} = \sigma^2 \left( \frac{k_1}{k^2} \right)^{1/2} \left( \frac{k^3}{k^4} \right)^{3/2}$$

前述の撰択律により,  $H\theta/C_p \rho_o$  が最大の時の  $\sigma^2$  を決定する事が出来る。  $\alpha^2 = 0.1$  の時, 安定度の良い場合  $\sigma^2 = 0.03 \sim 0.04$  で, 安定度が悪くなると  $\sigma^2$  の値は大きくなる。  $a/d$  の値は安定度に関係なくほぼ 0.5 であ

る。ここで, 安定度は対流によって変化しないと仮定してあるが, 対流活動が維持されるためには外部, すなわち平均場からのエネルギー供給がなければならない。その効果は次式の様に, 付加項  $F_1, F_2$  によつて与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle w_a \rangle = k_1 \langle \Delta \theta \rangle - k_2 \langle w_a \rangle^2 + F_1$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \Delta \theta \rangle = k_3 \langle w_a \rangle - k_4 \langle w_a \rangle \langle \Delta \theta \rangle + F_2$$

数値計算の結果によると,  $F_1 = F_2 = 0$  の場合, 対流の運動エネルギーは10~20分で最大になり, 以後急速に減衰する。  $F_1, F_2$  に  $1\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$  の平均場の上昇速度を与えても前と余り変わらないが, 下層における  $10^{-4} \text{sec}^{-1}$  位の収束量に対応する  $10\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$  の上昇速度を与えると対流はほぼ定常的に維持される。ハリケーンの中心から半径 100km 以内位の所では  $10^{-4} \text{sec}^{-1}$  位の収束量が得られるが, この事はどの様なスケールの大規模運動が対流群活動と関係しているかを考える鍵になる。

(討論)

樋口 (名大): 台風の中で積乱雲が大事だという話は良くわかつた。そのモデルとして, 浅井さんの取り扱つた様な対流性のモデルと, スコールラインの様に孤立した積乱雲のモデルといずれが台風内において真実に近いか。

浅井: 真実が良くわかつていない事が弱点である。私の説明したモデルは台風内の背の高い積乱雲に適用出来る様なものではなく, 比較的背の低い細胞状の対流に適用すべきものである。背の高い hot-tower に適用するにはまだ問題がある。

樋口: 柳井さんのお話では, hot-tower が細いと死んでしまうのである程度大きくなければならないという事であった。大きくなる以外に, 雲列になる事により吸いこみが小さくなってかなり能率良く熱を上へ輸送するという事は考えられないか。

柳井: それは充分考えられる。大規模な擾乱と積雲対流の直接の相互作用を考えれば良いのか, 間にもう一つ中間の規模の現象があるのか力学的に良くわかつていない。台風内に Spiral band があり, そのSpiral band の中に hot-tower があるという三段階の様に見える。浅井さんのお話にあった  $10^{-4} \text{sec}^{-1}$  の収束量を出すためには, 台風の中心部では最大スケールの運動だけ考えれば良いが, 偏東風波動では  $10^{-4} \text{sec}^{-1}$  の収束量を出せない。そこでもう一段階, 中間の規模の現象が介在し

ているのかもしれない。

高橋（気象研）： 台風内では水平風速が非常に大きいので hot-tower はどんな形になるのか、地面に固着した人が見た場合、倒れているのか、横へ流されながら真すぐ立っているのか。

柳井： その事は私も前から疑問に思っていた。非常に強いハリケーンの中でも、強いシャワーにかかわらず垂直に立っているらしい。ある人の観測によると、上層のレーダーエコーは一般流と明らかに異り、下層と一緒に動いている。積雲の中では、運動量輸送も考えねばならない、つまり積雲の中では風速差はないはずだという人もあり、そのような事で説明されるかもしれない。しかし、雲を剛体の様には考えにくい。完全な意味での説明はない。

孫野： 雲の観測に興味を持っているが、理論の方から何を観測して欲しいか注文をいただきたい。

浅井： 困難な事かもしれないが、積雲内の上昇速度、積雲と周囲の温度差、混合比差、ある領域に存在する雲の空間的スケールと分布密度が分れば非常に有難い。

孫野： 孤立した雲なら見込みがあるが、台風の様なものなら見込みはない。どちらか。

浅井： 孤立した場合で良い。

### (3) 南方海域特別気象観測計画

#### (討論)

寺田： ①防災センターとしても積雲、積乱雲を取り上げたい。科学技術庁としても出来れば側面から援助したい。

②漁船を活用される事を考えたらどうか。データも非常に多く、可能性もあると思う。

松野（九大）： ①大変良い観測計画なので是非実行していただきたい。積雲についての新しい知識が得られる事を非常に期待している。

②浅井さんのお話では積雲の種類を区別していたが、この観測ではどの様なものが観測される可能性があるのか、またどの様なものを狙っているのか。

渡辺： 巨大積雲や積乱雲でなく scattered cumulus convection の様なものを狙っている。

松本（気象研）： ①北陸豪雪特別観測でも今回問題になった事とほとんど同様な問題があった。

②観測網に関して。最終目標はもっと多くの熱源を持つ全球的な熱帯であるが、実際に観測を経営するという事になると、一番実り多く、安心して精度の高い観測を行なえる地点を選ぶ必要がある。

われわれも多少意見を持っているので、今後の討論で協力して行きたい。

山本（東北大）： ①今年の3月 Geneva で Committee on Atmospheric Science があった。大気大循環の研究で一番わかってないのは、熱帯における積雲対流によるエネルギー輸送の問題と、渡辺さんから指摘されたエクマン層内部のエネルギー輸送の問題であった。エクマン層の問題は熱帯にも共通する問題である。この問題には乱流の研究者にも協力をお願いしたい。

②Geneva 会議の時の Smagorinsky の講演を次に紹介したい。

「長期予報のモデル実験として、初期条件を同じにして放射の影響を全然入れないものと、入れたものを毎日の天気図について比較してみた。大体4日後には、骨組みは同じだが肉付けの部分になると非常に違って来る。4日程度以上の予報を正確にやるにはどうしても放射の影響を考慮に入れる必要がある。」

③大気大循環の研究については国際的に非常に関心が高まっている。WMO は WWW の計画を立て、GARF はむしろ ICUS, IUGG の方で立てたものだが、WMO と ICUS IUGG の Committee on Atmospheric Science との Joint committee を作って WMO でも積極的な態勢を取っている。宇宙関係の委員会である COSPAR でも非常に関心を示している。日本でも学術会議においても、気象学以外の分野の方々からも関心と御援助をいただいている。今後も気象関係に閉じたものとせず、近縁の科学の関係者からもぜひ関心と御援助を続けていただくよう、われわれもやって行きたい。