

梅雨期の熱帯気流と亜熱帯気流の 相互作用について*

矢花 和 一**

1. まえがき

梅雨は日本の気象のなかでもっとも特徴的なものの一つであり、その研究の歴史も古く、奥田 (1951)・倉島 (1959)・高橋 (1969) らによって、その時々々に展望がなされている。

梅雨を大規模な立場から取り扱う研究は、現在も気候学・長期予報に関係する人々によって精力的に続けられているが、1960年ごろからは梅雨現象のなかの集中豪雨が重視され、中間規模以下のじょう乱の解析に重点が置かれている。ことにここ数年の松本・二宮らによる梅雨末期集中豪雨特別観測を中心とした集中豪雨の機構解明についての解析面での研究は大きな成果をあげており、すでに中間規模じょう乱の発生と発達については、新田 (1971) により適切な解説が行なわれている。

一方気象庁の予報・解析の現場では社会の要請により、集中豪雨発生の可能性の予報 (集中豪雨のポテンシャル予報) が重視され、最近の全国予報技術検討会でも集中豪雨がどのような総観規模の状態にあるときに発生するかが検討されている。これは集中豪雨の機構はともかくとして、それを内蔵している総観規模の特徴を求めて予報精度の向上を図ろうとするもので、島田 (1972) の報告にもその一端がうかがわれる。

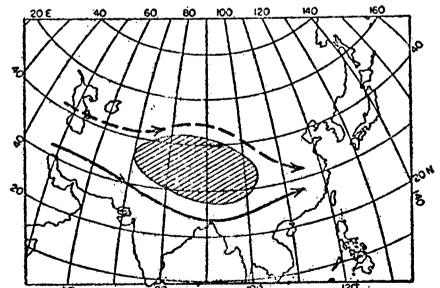
集中豪雨に関連する中間規模以下のじょう乱の構造が明らかにされていない現在では、中間規模じょう乱と総観規模じょう乱との相互関係を論ずるのは困難なことである。しかしこの二つの規模の現象は何らかの形で関連があるはずであり、大雨に関する総観解析の研究の大部分は多少なりともこの相互関係に触れている。

この解説では、これらの研究を基礎に亜熱帯気流・熱帯気流といった梅雨期の大きな規模の気流系が、集中豪雨とどのような関係にあるかを天気図解析面から検討してみよう。

2. 極東における梅雨期の平均的な流れ

高層観測の充実とともに第2次大戦後、日本の梅雨を含めて東南アジアの雨期が、ヒマラヤ山系による上層の流れの変化と密接な関係をもつことが明らかにされてきた。すなわち Yin (1949) はインドの雨期のはじまりが第1図のように、5月までヒマラヤ山系の南縁を流れていた対流圏上層の偏西風ジェット流が、突然山系の北側に移動するために起ることを明らかにしている。この解析事実について Flohn (1957) はヒマラヤ山系が大気上層における熱源として作用するためであることを論じ、ヒマラヤ山系の重要性を指摘している。一方ヒマラヤ山系による対流圏上層の偏西風ジェット流のこのような変動が、その下流にあたる日本の梅雨現象にも影響を及ぼすことは、村上 (1951) によって述べられている。

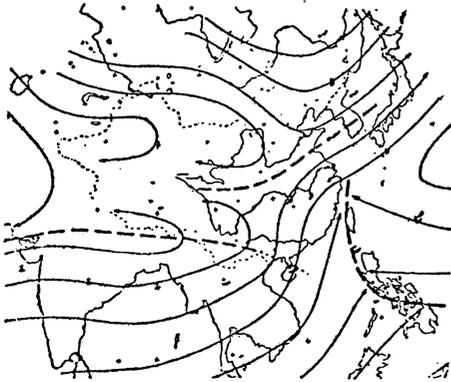
ところで対流圏下層の平均的な流れは、Dao と Chen (1957) によって第2図に示されている。この平均気流図には三つの収束帯が存在する。第1の収束帯は日本海



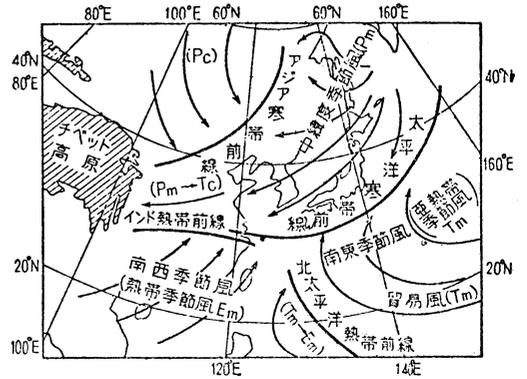
第1図 ヒマラヤ山系による偏西風ジェットの変化 (Yin)

* On the Interactions of the Tropical and Subtropical Flow in the "Bai-u" Season.

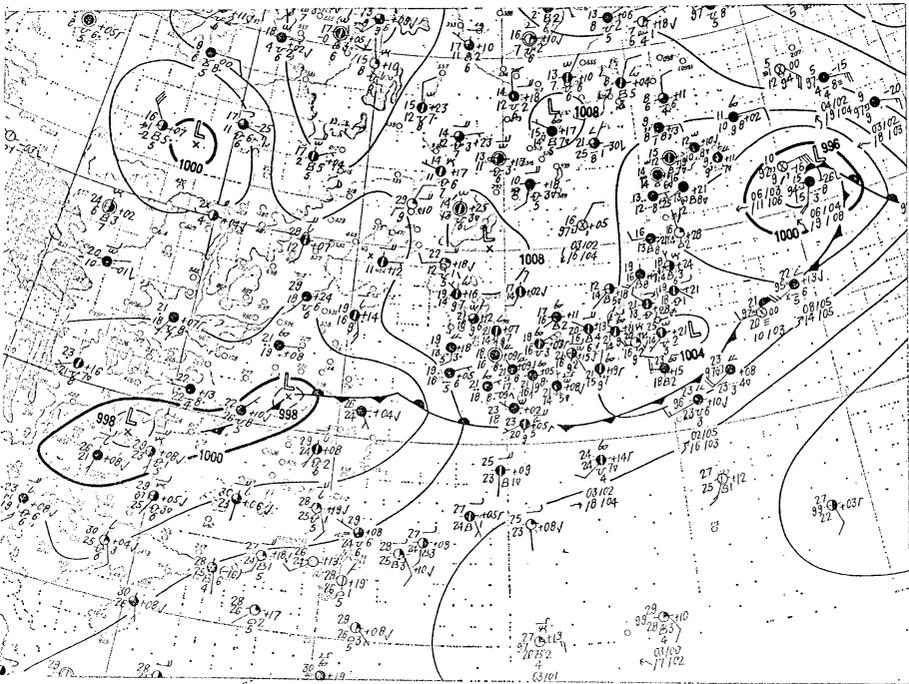
** W. Yabana 気象大学校
—1973年8月8日受理—



第2図 10,000フィートにおける7月の平均流線図 (Dao と Chen)
実線：流線，破線：収束線



第3図 梅雨期の地上における流線と気団，前線 (倉島)



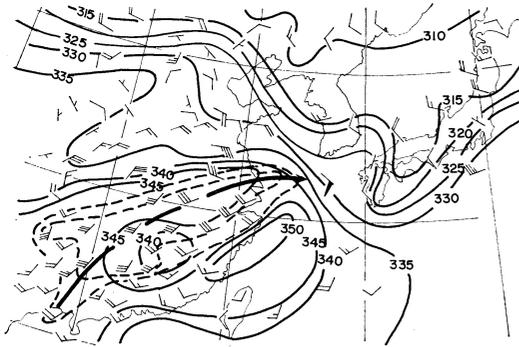
第4図 昭和47年6月21日21時地上天気図 (気象庁印刷天気図)

南部から華北に達するもの、第2の収束帯はインド北部から海南島付近に達するモンスーントラフと呼ばれるもの、第2の収束帯はフィリピンから台湾にのびるいわゆる太平洋高気圧に伴う熱帯内収束帯である。これら三つの収束帯のうち第2のモンスーントラフは、ヒマラヤ山系の影響を大きく受けており、山系の東側では偏西風は乱れて東風域が存在している。

第3図は倉島 (1958) によって示された極東における

梅雨期の地上気流系と気団分布のモデル図である。このモデルでは、日本の東海上から南岸を経て揚子江流域にまで延々数千km にのびるいわゆる梅雨前線が、第2図の収束帯に対応して日本付近では太平洋寒帯前線、揚子江流域ではインド熱帯前線の二つに分かれているのが特徴である。

日本では梅雨前線を寒帯前線とみるか、熱帯前線とみるかは予報・解析の現場でしばしば話題となるところで



第5図 850 mb 天気図 (昭和47年6月21日21時)
 実線: 相当温位 (°K)
 破線: 等風速線 (ノット)
 太実線: 強風軸

ある。倉島・平沼 (1970) はこの点について短評を加え、年により、期間により日本の東方の寒帯前線が西にのびて中国大陸に達する場合もあれば、中国の熱帯前線が東方にのびて日本にまで達し、梅雨前線豪雨を起すこともあることを述べている。

梅雨前線に対する倉島のこの考え方は、梅雨前線豪雨に熱帯気団が関連するという点で重要である。村上 (1959) は日本の梅雨期に湿潤な熱帯気団を輸送する気流系は、前半は中国大陸の熱帯前線に付随する南西季節風系であり、後半は北太平洋熱帯前線に付随する南東季節風 (高緯度では南西になることもある) であることを指摘している。

今まで述べてきた梅雨期の平均の流れが日々の天気図上ではどのようにになっているだろうか。実例として昭和47年6月21日21時の天気図をとりあげて検討するとともに、気流系の相互関係について解説していこう。

3. 前線系と熱帯前線上的の中間規模じょう乱

第4図の地上天気図において、いわゆる梅雨前線は北海道の東海上の低気圧から南西にのび、日本の南海上を経て揚子江河口付近の低気圧を通り、さらに上流域に達している。この梅雨前線は九州の南海上で弱まってはいるが、地上天気図上では一連の前線として解析しても無理ではない。

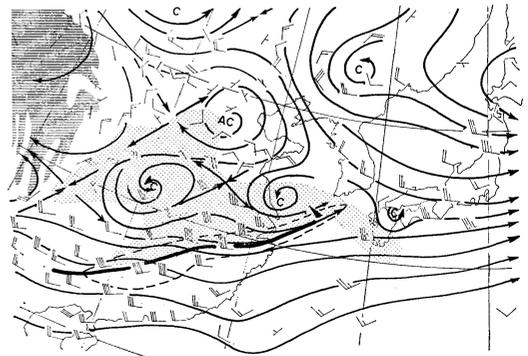
ところが第5図の850 mb 天気図上の相当温位の分布を検討すると、この一連の梅雨前線は、気団的にみて九州付近を境にその西と東で全く異質なものであることがわかる。すなわち日本の南海上の前線帯の北側では θ_e (相当温位) $\approx 315^\circ\text{K}$ 、太平洋側ではほぼ 335°K であ

る。一方揚子江流域にそう前線帯ではその北側で $\theta_e \approx 335^\circ\text{K}$ 、南側ではほぼ 345°K である。いま $\theta_e \approx 315^\circ\text{K}$ を寒帯気団、 $\theta_e \approx 335^\circ\text{K}$ を中緯度気団、 $\theta_e \approx 345^\circ\text{K}$ を熱帯気団を代表する相当温位と考えれば、第3図の倉島のモデルのように日本の南海上から九州にかけての前線帯は寒帯前線であり、揚子江流域の前線帯は熱帯前線である。また850 mb 面では黄河上流から山東半島にかけては別の前線帯が存在しており、この北側は $\theta_e \approx 315^\circ\text{K}$ 、南側ではほぼ 335°K の気団におおわれている。したがってこの前線帯は寒帯前線で日本の南海上の前線と同質のものであり、華北の気団は日本の南海上にある太平洋高気圧と同様中緯度気団である。

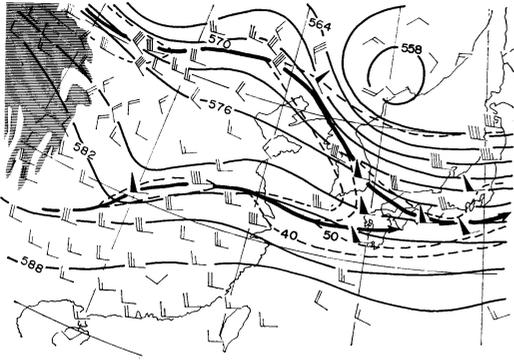
この例では揚子江流域の熱帯前線は、相当温位の大きい水平傾度をもつと同時に南西流と北東流の顕著なシアを伴っている。しかし一般には風向の変化はなく風速差だけの場合や、気温の水平傾度は小さく露点温度の大きい水平傾度だけをもつ場合もしばしばある。

第6図は対流圏下層を代表する700 mb 面の流線図で、第2図の平均気流図とよい類似を示している。地上の熱帯前線に対応して北東流と南西流との間に顕著なシアラインが存在し、この線上にはおよそ1,000 km の波長をもつ低気圧性循環が解析される。

いまこれらの低気圧性循環を第7図の500 mb 高度場と対比してみよう。31°N 100°E 付近の循環に対応して500 mb 面では35°N 112°E から29°N 107°E に達する気圧の谷が存在しており、このじょう乱は背が高



第6図 700 mb 流線図 (昭和47年6月21日21時)
 実線: 流線, 破線: 等風速線 (ノット)
 斜線部: ヒマラヤ山系 (3,000 m 以上)
 点々部: 気温-露点温度差 $< 3^\circ\text{C}$



第7図 500 mb 天気図 (昭和47年6月21日21時)

実線：等高線 (10g.p.m.)
 破線：等風速線 (ノット)
 太字線：強風軸
 斜線部：ヒマラヤ山系 (3,000m 以上)

い、ところが $33^{\circ}\text{N } 122^{\circ}\text{E}$ 付近の低気圧性循環は、500 mb 面では気圧の尾根の前面である西北西流の中にあり、すでに多くの人によって指摘されているように、対流圏下層だけのきわめて背の低い中間規模の性格をもつじょう乱である。

4. 中間規模じょう乱に寄与する亜熱帯気流

中間規模じょう乱の成因については現在まだ明らかではないが、現象的にみた場合 700 mb 流線図における華北の高気圧性循環は、その前面の北東気流が揚子江下流にある低気圧性循環の形成に寄与しているという点で重要である。さらにこの高気圧性循環は、前にも述べたように亜熱帯高気圧と同じ性質をもつ中緯度気団からなり立っており、その前面の北東流は乾燥している亜熱帯気流で、後で述べる湿舌形成の一因となっているという点でも重視しなければならない。

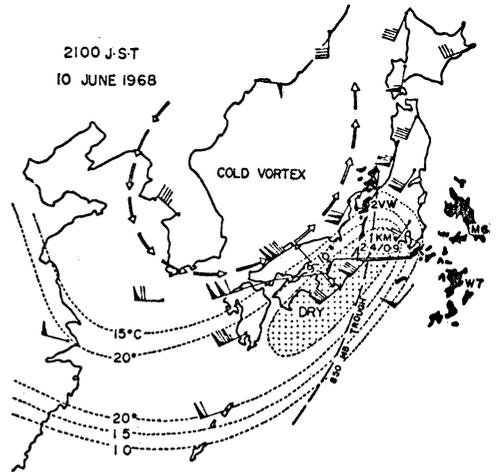
この高気圧性循環は第7図の500 mb 面高度場では $43^{\circ}\text{N } 115^{\circ}\text{E}$ 付近の気圧の尾根に対応するもので、梅雨期の集中豪雨が500 mb 面天気図上のほぼ同一経度において、高緯度尾根・低緯度谷といった、いわゆる波動の位相が逆になっている時に発生するという、総観規模の流れの特徴をとらえた経験則と一致している。

では500 mb 面でのこの特徴的な逆位相の流れの場はなぜ起るのだろうか。ここには図示していないが、対流圏上層300 mb 面での偏西風ジェット軸はヒマラヤ山系の北縁を通過して日本に達するものだけである。しかし第7図の500 mb 面では、300 mb 面のジェット軸に対応し

てヒマラヤ山系の北縁から、華北・朝鮮半島を経て日本に達する強風軸のほかに、ヒマラヤ山系の南縁から揚子江流域を経て九州付近でさきに述べた強風軸と合流する別の強風軸が存在している。高緯度を流れる強風軸は、第4図の華北から黄海を経て日本の南岸を通る寒帯前線に対応しているが、低緯度の強風軸は対流圏下層の熱帯前線に平行であり、熱帯気団が下層で華南に流入したために生じたもので、対流圏中層500 mb 面の流れの逆位相はヒマラヤ山系の影響を大きく受けていると考えることができる。

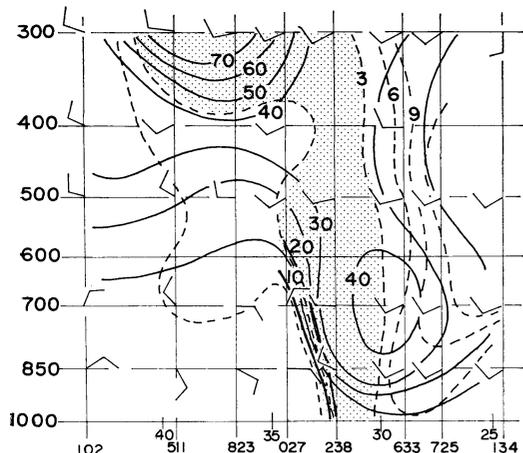
この例のような典型的な総観規模での逆位相の流れの場は、梅雨期ことにその前半に中国大陸にしばしば現われて変動が少なく、数日の間定常状態を続ける場合が多い。また梅雨期には黄海から日本海の対流圏上部に寒冷うずが出現して上層の流れの場が逆位相となることもある。

この実例と違って500 mb での二本の強風軸がほとんど平行して流れる時や合流点付近、あるいは寒冷うずをとりまく強風軸の南東側では、対流圏下層の華北にみられるような高気圧性循環は出現しない。しかしこのような場合にも第8図の中山 (1972) の解析例に見られるように、寒帯前線に対応する強風軸の南側に強い下降流を

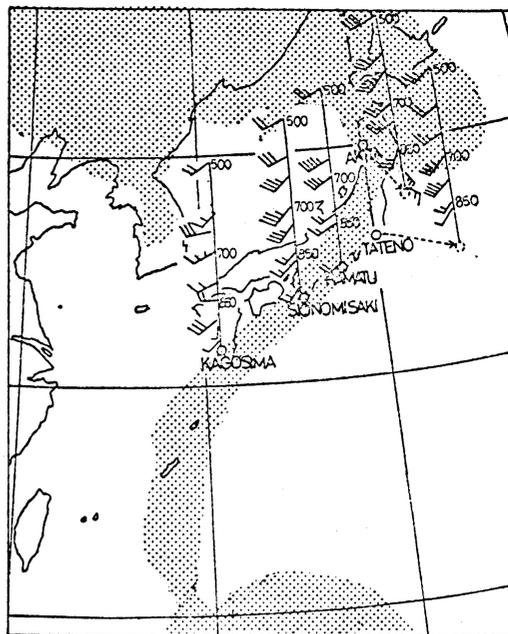


第8図 昭和43年6月10日21時天気図 (中山)

二重矢印：300 mb ジェット流
 風速は300 mb
 破線：500 mb の気温-露点温度差 ($^{\circ}\text{C}$)
 点々部：500 mb 気温-露点温度差 $> 20^{\circ}\text{C}$
 黒い部：レーダーエコー域



第9図 118° E を通る南北鉛直断面図 (昭和47年6月21日21時)
 実線：等風速線(カット) (西風成分)
 破線：気温-露点温度差(°C)
 太実線：前線
 点々部：気温-露点温度差<3°C



第10図 昭和43年8月17日09時の気象衛星による雲域(点々部)と各地点の上層風(安井)

伴う幅せまい乾燥域が出現する。安田(1970)や来海(1970)もこのような乾燥域が集中豪雨に重要な役割を果たすことを解析している。

5. 中間規模じょう乱をとりまく気流系の相互作用

揚子江流域の熱帯前線の立体構造をみるために東経118度付近を通る南北の鉛直断面図を第9図に示す。この図は指定等圧面以外の資料はないので不正確ではあるがおおよその傾向はみられる。

対流圏下層の北東流と南西流のシアーの大きい所では気温差も大きく、熱帯前線が地上から600 mb 付近にまでびてその北側は乾燥しており、熱帯前線と下層の強風核の北側との間には湿舌といわれる幅のせまい湿潤域が存在している。前線の北側の乾燥域は第6図の700 mb 面における華北の高圧性循環に伴う中緯度気団であり、対流圏上層の偏西風ジェットの前側に存在するこの高気圧性循環は、熱帯気団内にある下層強風軸とともに湿舌形成上重要である。

一方風速の場では北緯38度付近にある300 mb の強風域とは別の、いわゆる下層ジェットに相当する熱帯気団内の下層強風核が北緯30度の700 mb 付近に存在する。この下層強風核の周りの飽和度を気温・露点温度差でみると北側で飽和、南側で相対的に乾燥している。このことは第5図の850 mb 面天気図で下層強風軸の北西側と

南東側での相当温位のちがいや、第6図での700 mb 面における気温・露点温度差の分布をみても明らかであり、松本(1972)の集中豪雨時における下層強風核付近の鉛直循環モデルと一致している。熱帯気団内の下層強風核をとりまくこのような鉛直循環は湿舌を形成する上で、熱帯前線北側の高気圧性循環とともに大きな役割を果たしている。

実例で扱った南西季節風が卓越する場合は別に、第3図の倉島のモデルにみられる北太平洋熱帯前線が、太平洋高気圧の西側における対流圏下層の南東季節風にもなって日本に達することがしばしばある。この代表的な例は第10図の飛騨川豪雨時の気象衛星による雲域である。安井・前田(1969)はこの带状の雲域は太平洋高気圧縁辺の南東季節風(高緯度では南西風となる)の相対的な強風軸と結びついていることを解析している。さらに彼らは同じ論文で36・6豪雨の時の下層強風軸を解析し、ショワルターの安定度示数が強風軸の左側で不安定、右側で安定であり、強雨域が強風軸の左側の先端に発生していることを述べている。このことはここで扱っている実例の場合と同じで、南西季節風、南東季節風いずれの場合にも対流圏下層の強風軸の存在と、それをと

りまく特徴的な鉛直循環は熱帯気団内の特徴である。

熱帯気団内における下層の強風域について松本・二宮は積雲対流の結果生ずる温度場につり合うかたちで出現するという考えを出している。一方来海(1972)は下層強風域は、強雨発生に先立って存在することを解析しており、西日本における予報の現場でも梅雨期に華南で強い南西風が出現しはじめた時に低気圧発生と、その接近による大雨を経験的に予測している。ここで扱っている事例でも下層強風軸は熱帯気団の中に1,000 km以上の長さで存在している。この強風軸についてはそれが積雲対流の結果であるとしてもなぞ1,000 kmの長さにも及んで、流れにはほぼ平行に対流雲が並ぶのかまだ不明の部分が多い。

湿舌が存在していても、その中のどこでも強雨が降るわけではない。杉山(1973)は東西にのびる前線に伴う幅広い中層雲帯と、下層強風軸に伴う細長い積雲系の帯とが交わる場所に強雨が発生することを述べている。この特徴的な雲分布は梅雨期の気象衛星の雲写真でしばしば経験するところである。また来海(1972)は西日本における梅雨期のいくつかの強雨を解析し、強雨域は下層強風軸と中層強風軸の交点付近に発生することを明らかにしている。ここで扱っている事例でも500 mb面と850 mb面の強風軸が交叉している付近の南京では21時までに100ミリの強雨が降っている。また安井ら(1969)は昭和36年6月豪雨850 mbにおける下層強風域が急速に減速しているところで発生していることを指摘している。

熱帯気団内の下層強風軸が中層の強風軸と交叉している所や、急速に減速する所に強雨域が出現するという事実は、前線の南側の南西または南東の熱帯気流が、前線の北側にある高気圧性循環からの下降する亜熱帯気流の影響を受けて上昇速度を急速に増大していることを意味している。

6. むすび

梅雨期の日本付近の気流系について、いままでの諸研究と現場での経験を基礎に、事例をあげて解説を試みた。すなわち

ヒマラヤ山系の影響を受けて、対流圏上層の偏西風ジェットが山系の北縁を流れるようになると、華南の対流圏下層は南西季節風と呼ばれる熱帯気流の流入により高温多湿な熱帯気団におおわれる。

この熱帯気団の流入によって対流圏中層の流れは、ヒマラヤ山系の東側で逆位相となり日本付近で合流する。

合流点上流のデルタ地域には亜熱帯高気圧と同じ性質の中緯度気団からなる高気圧性循環があらわれ、この循環前面からの乾燥した北東の亜熱帯気流と華南の高温多湿な熱帯気流との間には熱帯前線が出現する。

熱帯気流のなかには、まだその成因は十分明らかでない下層ジェット軸と呼ばれる強風軸が存在し、この軸の南西側は下降、北東側は上昇域となっており、下層強風軸と熱帯前線との間に湿舌ができる。

この湿舌の先端では、前線北側の下降する亜熱帯気流が、熱帯気流のなかの強風軸北側の上昇を強め強雨を降らせる。

最初にも述べたように、梅雨期の気流系の相互作用については、まだ十分その機構が解明されていない中間規模じょう乱を含んでいることもあって、独断的な記述が多いにちがいない。遠慮のない御批判をいただきたい。

文 献

- 1) Dao, S.-y. and L.-s. Chen, 1957: The Structure of General Circulation over Continent of Asia in Summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, 75 th Anniversary. 215-229.
- 2) Flohn, H.: 1959: Large Scale Aspects of the Summer Monsoon in South and East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 75 th Anniversary. 180-186.
- 3) 倉島 厚, 1958: 季節風, 天文と気象 第24巻 5, 6, 7号
- 4) 来海徹一, 1970: 1967年7月8日の西日本豪雨(昭和42年7月豪雨)の総観解析, 研究時報, 22. 353-364.
- 5) 来海徹一, 1972: 中国地方における梅雨期の強雨の総観解析, 研究時報, 24. 209-219.
- 6) 村上多喜雄, 1951: 梅雨明けの機構, 気象集誌, 29.
- 7) Murakami, T.: 1959: The General Circulation and Water-vapour Balance over the Far East during the Rainy Season. *Geophys., Mag.*, 29. 131-171.
- 8) Matsumoto, S.: 1972: Unbalanced Low-level Jet and Solenoidal Circulation Associated with Heavy Rainfalls. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50. 194-203.
- 9) 根本順吉・倉島厚・吉野正敏・沼田 真, 季節風, 地人書館, 294 pp
- 10) 新田 尚, 1971: 中小規模じょう乱の発生と発達, 天気, 18. 273-289.
- 11) 中山 章, 1972: 組織化された積乱雲の発達する環境の破究, 研究時報, 24. 353-404.
- 12) 奥田 穰, 1951: 梅雨, 気象研究ノート, 2. 27-64.

- 13) 島田守家, 1972: 日本における集中豪雨の三つの型について, 天気, **19**, 244-248.
- 14) 杉山清春, 1973: 梅雨前線の特徴と大雨との関係, 気象学会春季大会講演予稿集.
- 15) 高橋浩一郎, 1969: 総観気象. 岩波書店, 385 pp.
- 16) Yin, M.T., 1949: A Synoptic-aerological Study of the Onset of the Summer Monsoon over India and Burma. *J. Met.*, **6**, 394-400.
- 17) 安井春雄, 前田伊三男, 1969: 大雨に対する下層ジェットの役割, 天気, **16**, 174-180.
- 18) 安田清美, 1970: 昭和41年10月12日愛知県渥美半島付近に発生した集中豪雨に関する解析, 天気, **17**, 181-187.

〔通信欄〕

本誌に対する会員の希望

「天気」のアンケート(本誌20巻6号綴込)は毎日、会員から送られてきておりますが、とりあえず、8月20日までに到着した分のうち「本誌に対するご希望」欄に書かれた会員の声を原文のまま収録しました。編集委員会からの答えは、暫く先の号に載せることにします。まだこのほかにもご希望のある会員も多かろうと存じます。会員のご希望にそった編集をするようにしたいので、これからでも結構ですから、アンケートにお答えいただくようお願いいたします。(天気編集委員会)

ミスプリントを少なくしてもらいたい(なくしてもらいたい)。本日到着した Vol. 20 No. 6 をちよっと頁をめぐつただけでも、次の3個所に気がついた。p. 46上から16行目、取田三夫は牧田三夫ではないか。p. 46下から17行目一第関東大地震の発生…の第は?。表紙4東北支部の…の渡辺偉夫は、渡辺偉夫ではないか。(62歳)

地方は、情報に乏しいので隅から隅まで、読んでいる。バラエティに富んだ総合的情報源として満足している。多謝。(58歳)

一方に気象集誌があるのだから、天気では解説記事などうんと取入れること。そして、各面のこれから勉強する人の参考になるよう乱流でも微気象などの解析・研究をするのに役立つ基礎面の解説を望む。(56歳)

論文の中に、生気象や大気汚染を取り上げて頂きたい。ページ数も70頁位には、無理でしょうか?(55歳)

上の内容(雲物理、環境問題)を互に関連させた論文総合的な論文をたくさんのもててほしい。(54歳)

WMO活動の概要が知りたい。(54歳)

新しい外国論文の抄訳などを望みます。(50歳)

解説は読者の専門外の事項を知るのに有益であるので、なるべく、専門外の者に理解しやすいように書いて頂きたい。(49歳)

学会だよりは、天気に本印刷にしないで、謄写刷でよろしいから別で作って各機関または個人に送付したらどうですか。速報性をもたすため。ただし、経費の点で天

気に載せるより安上りでなければなりません。(48歳)

天気の発行が遅れがちなのは、編集事務主任(定年退職者を Arbeit の形で)をおいてやればさげられるのでは?(48歳)

定期大会の論文発表はものすごく多いのに地方の会員はお目にかかれません。出席する人には有料で予稿集が行っていますので、アブストラクトの天気掲さいは必要ないと存じます。そこで、論文は学会誌にできるだけ多く印刷されてしかるべきでしょう。天気 Vol. 1 No. 1の発刊の主旨、初心に帰って考えてみませんか?。700字の短文ですが…。天気20までの文献目録を気象研究ノートにまとめて下さい。このようなアンケートが必要なものは、学会の大会が会員の意志を代表していない結果のひとつだと思いますが……。学会の理事にも大いにはんせいしていただかなくては……。 (47歳)

内容の構成が一見、雑然としているので(余白、活用といった点でやむを得ないが)編集にあたって各パート、パート纏めることもよいではないでしょうか。(47歳)

地方会員に対する啓蒙に努力をはらわれておられる様子が目に見え、敬意を表します。この傾向を今後とも継続されるよう希望します。(47歳)

今後10年—20年後の気象観測の方法、予報の出し方など現在と比較して述べていただければ幸いです。それぞれ識者の話を、特集号として、多数比較して載せればより