

# 前線の研究 (Frontogenesis について)

山本常男\*

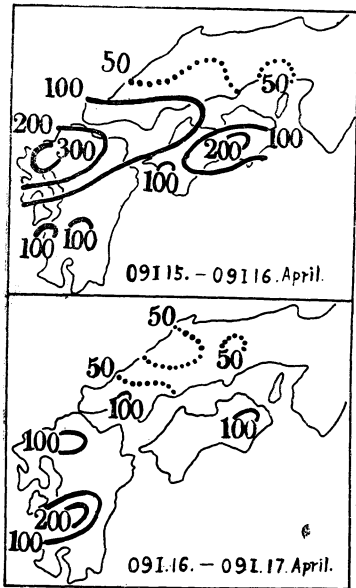
前線は対流圏下層で明白で中層以上でははっきりしないものと、その逆に中層以上で明白で下層でははっきりしないものがある。その発達は下層では収斂(変形)が、また中層では垂直運動が重要であることが知られている。このため frontogenesis を対流圏下層と中層とに分け、さらにそのおのおのを暖気移流によるものと寒気移流によるものとに分けてその実例を示した。

また上下に二つの前線があり、これが重なって frontogenesis が行われることがあるが、この種の前線の強化は大雨の発生と密接に関連しているようである。

## 1. はしがき

前線(前線帯)の強さが悪化することは早くから知られており、前線が形成されるために必要な運動学的条件を Bergeron, Bjerknes および Petterssen は前線自体の研究とともに調べている。これらの研究は水平運動の立場から論じており、地表面附近のように垂直運動の小さい所では成立するが、垂直運動の大きい対流圏中層ではじゅうぶんには適用されない(Newton [1954])。このため最近では水平方向の frontogenetical function と渦度方程式の垂直成分とを組合せたもの、あるいは前線は水平気温傾度とともに垂直方向の気温通減率でも定義され

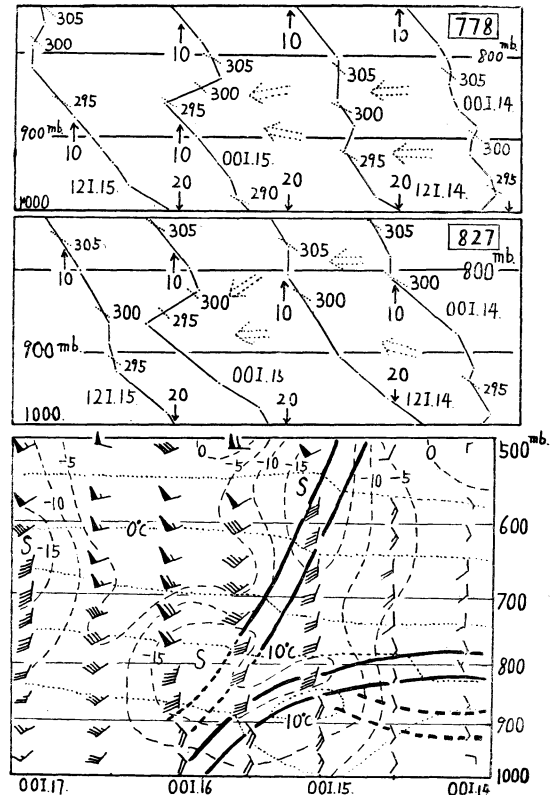
では垂直運動であることが明らかになった。しかしこの方法をとると空気素分自体を追跡しながらその変化を調査しなければならないので、広範囲の高層資料を必要とする。このため対流圏下層としては主として 850mb を、中層としては 500mb をとり、前線の局所的な変化を綜観的立場から考察した。対流圏下層として 850mb を考えているのは、地表付近で最も重要な水平収斂の効果



第1図 雨量分布図(単位 mm)

るため、さらに垂直方向の frontogenetical function と渦度方程式の水平成分をも加えて frontogenesis が取り扱われるようになった (R. J. Reed and F. Sanders [1953], C. W. Newton [1954], R. J. Reed [1955], F. Sanders [1955])。

これらの研究の結果、frontogenesis の主要な原因は対流圏下層では水平収斂あるいは変形の場合であり、中層



第2図 潮岬(778)と鹿児島(827)の状態曲線(上段)と児鹿島上空の状態変化(下段)太東線は前線の境界、点線は等温線(°C)、破線は風の南北成分(ノット)である。

地表から数千フィート以上になると急速に衰えるためである。

また前線概念のはじめ気団の境界として提出された

\* 広島地方気象台

—1957年7月12日受理—

が、最近は大層の広範囲の天気図が作成されるようになり解析的な立場から等温線の集中域(渦度の集中域)とも考えられるようになってきている。このような観点からみると、垂直方向についても「大雨の時には状態曲線が立ってくる(大谷 [1946, 1954])」ということも frontogenesis の結果と考えることができよう。ここにはこのような立場から前線の変化を取り扱っている。資料は1955年、1956年の高層資料で国内のものは Aerological Data により、外国のものは放送されたものを用いている。

2. 1955年4月15日下層の Frontogenesis

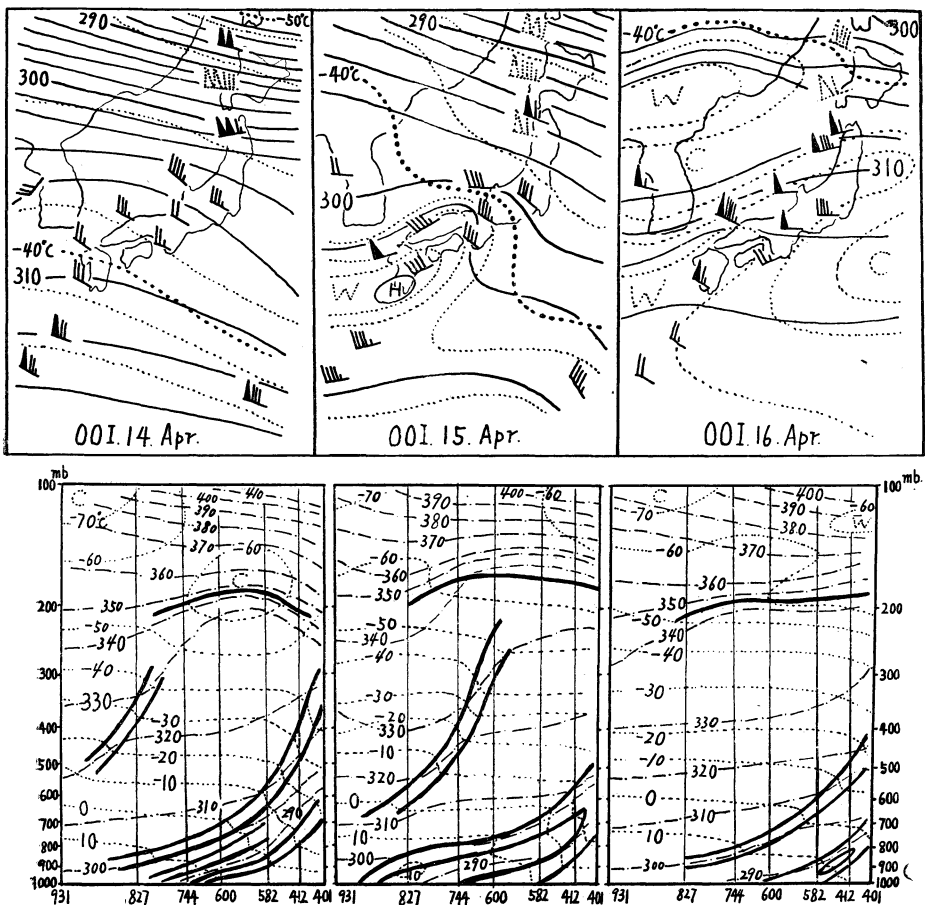
1955年4月15日から16日にかけて前線帯が北上し、ついで16日から17日にかけて再び南下し西日本では第21図に示すような大雨が降った。このとき鹿児島(827)および潮岬(778)の状態曲線は第22図のように変化し、15日0時850mb 附近で気温の遞減率が小さくなっている(frontogenesis)。この時上側(14日に800mb 附近)の安定層は第52図からわかるように polar front であ

り、下側(14日に900mb 附近)の安定層は寒気内の沈降面であり、frontogenesis はこの二つの安定層が重なったような形で行われている。

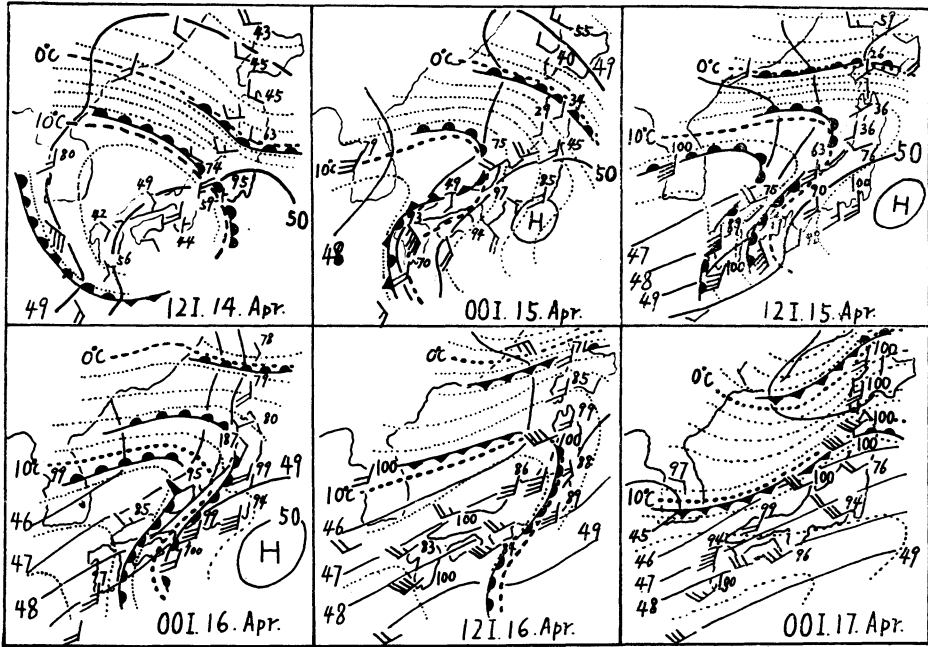
このときの前線面および沈降面の変化は第23図に見られるとおりである。すなわち14日12時 polar front は本邦の南海上から黄海方面にのびており、高気圧が西日本にあって沈降面が朝鮮の北部から東海道方面にのびている(この沈降面は下層では九州にまで拡がっている)。西日本の高気圧が東進するに従い沈降面は急速に弱まり、西日本では南の風が強まり frontogenesis が行われている。通常の意味の寒気移流(cold advection)による前線の強化は次節の例に現われるが、ここで述べたものもその特殊なものと考えられることができるであろう。

3. 1956年4月9日から10日にかけての Frontogenesis

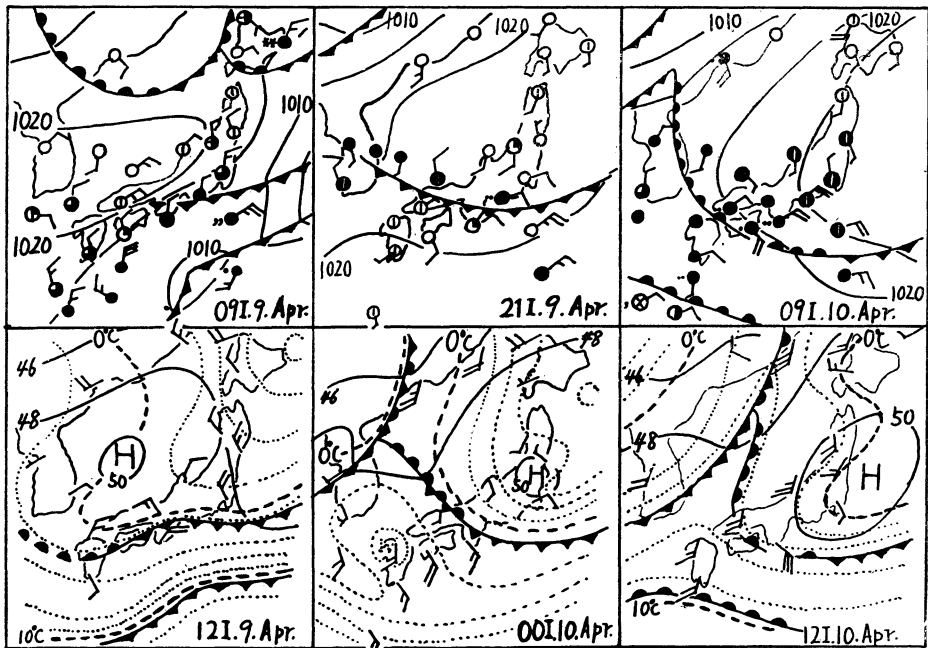
4月9日から10日にかけての地表天気図を第31図の上側に示す。9日9時本邦の南岸ぞいと南海上とに二本の前線があり、北側の前線は寒冷前線となっているがその



第52図 300mb 天気図とその時の断面図。細実線は等高線(100フィート単位)、点線は等温線(°C)、鎖線は等温位線である。



第 23 図 850mb 天気図。観測所に付した数字は湿度 (%), 実線は等高線 (100 フィート単位), 点線は等温線 (°C) である。



第 31 図 地上天気図 (上段) と 850mb 天気図 (下段)。実線は等圧線 (mb) あるいは等高線 (100 フィート単位), 点線は等温線 (°C) である。

後面で東海道方面では 9 日夜雨が降り出している。さらに 10 日朝にはこの前線は西日本で温暖前線となり北上し

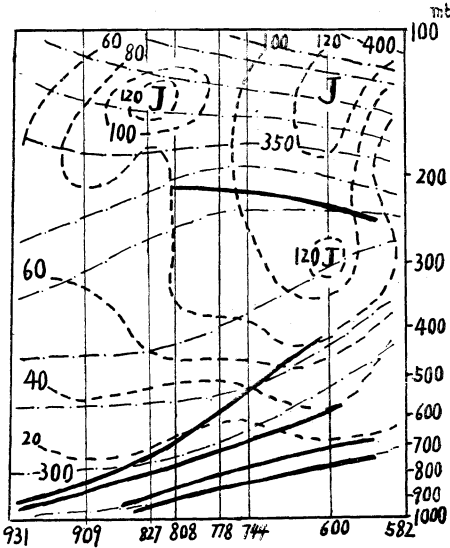
て雨を降らせている。南側の前線は 9 日に南下したが、10 日には温暖前線となって北上しこの上に東支那海で低

気圧が発生して東進し、このため10日夜西日本で雨が降った。第32図はこの時の断面図であり、南側の前線が polar front である。第31図の下側はこの時の 850mb 天

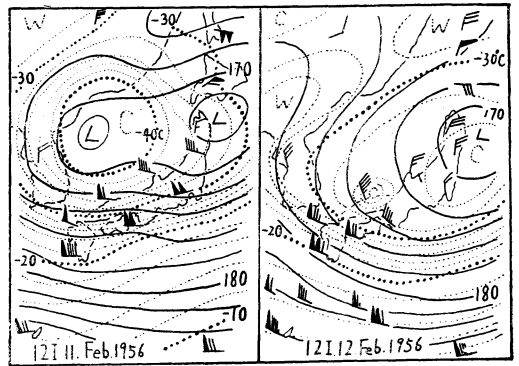
genesis は最もよく経験するもので詳細には述べないが、polar front 上での低気圧の発生は温暖前線の上の南分を持つ風の層が厚いほど発生しやすいようである。

§ 4. 1956年2月12日の Frontogenesis

2月11日から12日にかけて中国地方で大雪が降った(広島では28.5cmで昭和20年2月15日以来の大雪となった)。このときの地表の気圧配置を第41図に示したが、冬季によく見られるものである。この上層では polar front がはっきりしていた。この種の前線は一般に 500 mb 付近で最も明瞭であるため第42図に 500mb 天気図を示す。これによると11日から12日にかけて寒気が朝鮮の



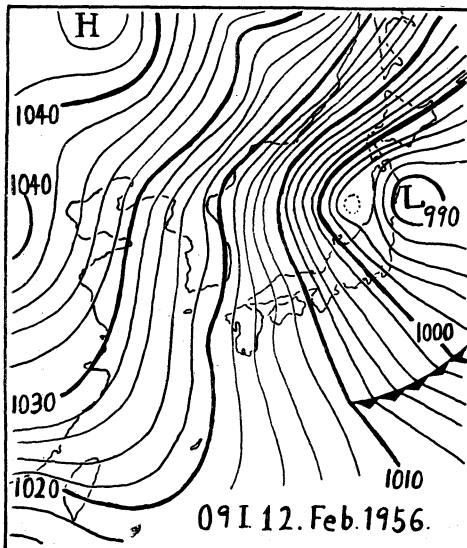
第 32 図 1956年4月10日00時の断面図  
破線は等風速線(ノット)、鎖線は等温位線(°K)である。



第 42 図 500mb 天気図。実線は等高線(100フット単位) 点線は等温線(°C)である

気図である。9日夜の東海道の雨は9日12時に日本海にあった高気圧が東進し、雨の降るころにはその北方にあって太平洋方面から寒気移流が活潑となったため(Cold advectionによる前線の強化)であり、10日日中の西日本の雨は気圧の谷が接近して暖気が北上したため(warm advectionによる前線の強化)である。この種の fronto-

北東部から南東進しており、西日本付近に等温線の集中域(前線帯)および強風域(jet)があり、ともに南下している。統計的にみて低緯度の上空の気温の変動は小さく、このため北方から寒気が南下すると気温傾度が大きくなる(Frontogenesis)。この大雪の場合について米子と鹿児島との 500mb における気温差を求めると、第41表のとおりである。すなわち鹿児島では10日気温が昇り



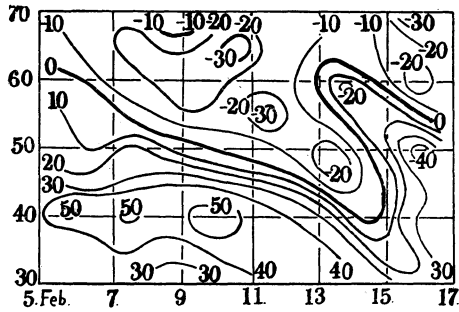
第 41 図 地表気圧配置

第 41 表 米子と鹿児島との気温およびその差

時刻 場所	10日	10日	11日	11日	12日	12日	13日	13日12時
	0時	12時	0時	12時	0時	12時	0時	
米子	-32.5	-32.7	-30.7	-36.0	-40.1	-38.5	-32.8	-25.2°C
鹿児島	-26.5	-21.2	-21.2	-20.5	-22.2	-20.2	-20.2	-19.5°C
差	6.0	10.5	9.5	15.5	17.9	18.3	12.6	5.7°C

その後 -20°C ないし -22°C 位の気温を保っているが、米子では11日に気温が下り12日には昇り始めている。その気温差は11日12時ころから12日12時ころにかけて大きい。広島の降雪は11日17時ころから始まり12日17時ころに止んでおり、この大雪は polar front の強化発達と密接な関係があることがわかる。

第43図はこの前後の風の東西成分の time-isopleth である。風の東分と西分との境界は低気圧の中心の緯度であり、図はこの位置がこの期間に南下したことを示して



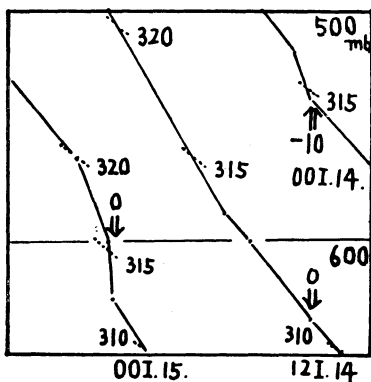
第 43 図 带状風のタイムインプレット (700 mb) 実線は等風速線 (ノット) で、正は風の西分を負は東分を示す。この風速は東経 125 度, 135 度, 145 度の平均値である。

いる。高層に現われる低気圧は一般にその中心付近およびその西側に寒気を伴っており、大雪を降らせた寒気は北緯60度以北から南下したことがわかる。なお大雪の降った11日以後も南下しているが、第43図は 125°E, 135°E, 145°Eの平均値であり、寒気が東日本で南下したためである。

以上でこの大雪は西日本の南岸の気温が変わらず、寒気が北緯60度以北から南下したため気温傾度が大きくなり (frontogenesis), polar front が発達したことに基くことがわかる。山陰地方の大雪は cold dome の中心が最も近づいた時に降ることが示されているが (三沢 [1953]), これはこのような事実に基づくものと考えられる。したがってまたこのような frontogenesis は冬季しばしば現われると思われる。さらに梅雨期にも満州に寒気が現われることが多いが、この場合にもこのような frontogenesis が重要な役割をもつものと推察される。

5. 1955年4月15日上層の Frontogenesis

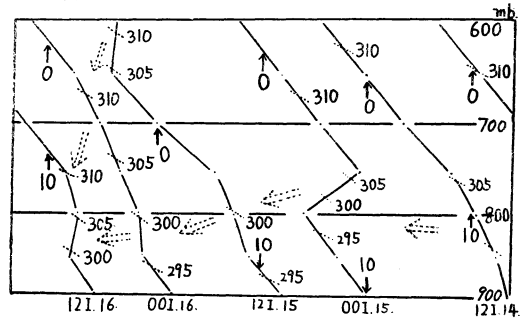
§ 2 で4月15日下層での前線の強化を述べたが、この時上層においても気温遞減率が小さくなった。第51図はこの時の鹿児島県の対流圏中部の状態曲線の変化を示したもので、14日から15日にかけて frontogenesis が行われ



第 51 図 鹿児島の状態曲線の変化

たことがわかる。第61図を見ると小牧ではこの前線に対応する安定層が15日12時に 600mb 付近に現われ、しかも鹿児島の場合よりさらに発達している。

この前線の経過を知るために第52図に 300mb 天気図を稚内から沖縄を結ぶ線にそう断面図を示す。14日0時に二つの強風域が北海道上空と沖縄からマーカス方面にかけて西北西から東南東にのびており、前者は polar jet stream, 後者は subtropical jet stream である。また後者に対しては鹿児島付近に前線が現われている。15日0時には西日本上空に高温域が現われて北東進し、これとともに前線も移動した (この高温域は14日12時九州南部に現われ始めた。またこの高温域が現われると沖縄からマーカスにかけてのびていた強風帯は急速に弱まって行った)。この前線は先に述べた第51図および第61図の前線に相当するが、第53図の 500mb 天気図と比較すればさらに明らかになるであろう。

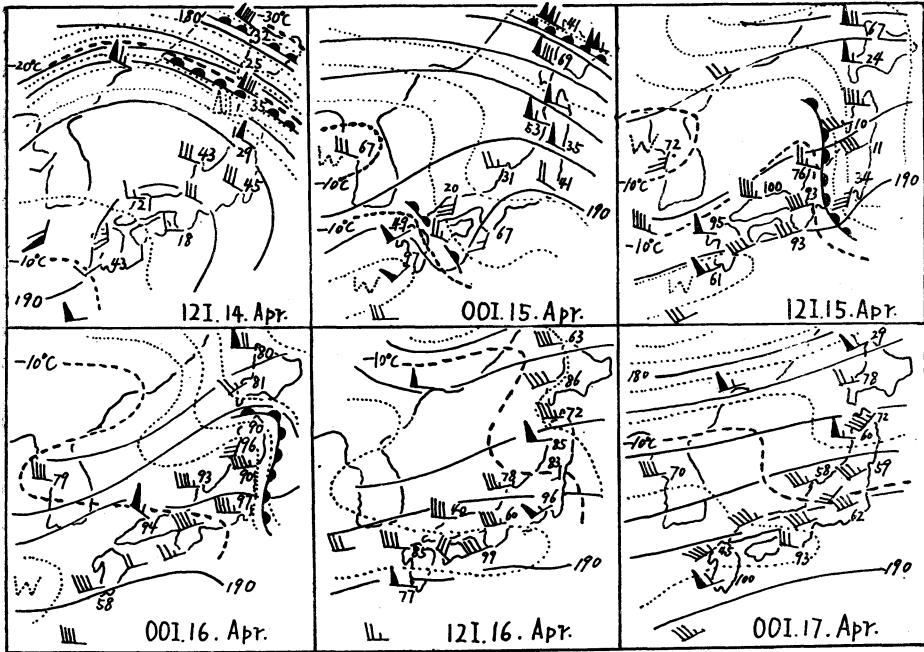


第 61 図 小牧の状態曲線の変化

この前線が強化発達し始めた15日0時の 500mb 天気図 (第53図) を見ると暖気が急速に北東進しており、前線は東に移動するにしがい発達している様子がわかる。この frontogenesis は暖気の移流に基くことは前線の東側では乾燥しているが西側では非常に湿っていることから明らかである。かつて高橋博士その他の諸氏 [1954] は上層の強風域の南側の暖気によって雨域がのび、これが山脈でさえぎられる所で大雨が降ることを示されたが、この場合の雨量分布 (第21図) を見ると、その傾向が認められる。

6. 1955年4月15日の上下2層の前線の結合

1955年4月15日の frontogenesis について § 2 において下層の前線が寒気移流によって強化されたこと、また § 5 において上層の前線が暖気移流によって強化されたことを示した。第61図は小牧の状態曲線の変化で、14日に 800mb 付近に現われた前線が15日12時に 600mb 付近に現われた前線と16日12時ころ重なったことを示している。この現象は鹿児島においても見られ、第22図を見ると鹿児島においては小牧よりも約12時間早く、16日0時ころ重なっている。これは下層の前線は大きくみて温暖前線でありその強化は寒気移流にもとづくため東進速度が小さく、これに反して上層の前線は暖気移流に

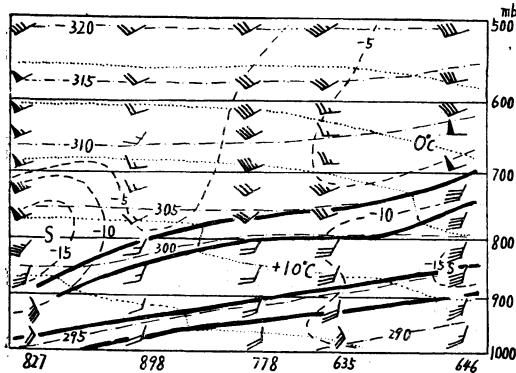


第 53 図 500mb 天気図。実線は等高線 (100フィート単位), 点線は等温線 (°C), 図中の数字は湿度である。

よるもので東進速度が大きかったためである。Newton [1954] は対流圏上部の frontal zone と下層の frontal zone とが重なり対流圏の上層から下層にのびる frontal zone が形成されることのあることを示しているが、この場合にも同様の現象が現われたものと考えられる。

第23図の15日12時の 850mb, 天気図では上下二つの前線が接近して存在し、このため西日本では等温線が集中し九州では南の風が非常に強くなっている。Means [1954] は温暖前線による大雨の場合を解析し, southerly jet の現われることを示しているが、鹿児島から館野を結ぶ線の断面図を作り風の南分を求めると第62図の

とおりで、この場合にも southerly jet が現われている。また鹿児島の状態変化を示した第22図にも見られ、第23図の15日12時に板付に現われている南の強い風はこの southerly jet の一部と考えられる。Means は温暖前線の両側の暖気と寒気との温度差が大きいつきに southerly jet が現われることを示したが、4月15日から16日に現われた風の大きな南風は上下二つの前線が重なり、15日12時の 850mb 天気図に見られるように等温線が集中した結果である。またこの時の西日本の大雨はこの前線帯が東進したためと推察される。かつて大谷博士 [1946, 1954] は大雨の機構として集風線という概念を提出され一線に対し風が収斂しているのを集風線と定義され、またこの時に対流圏下層は気温の遞減率が小さいことを示されている。この解析例では上下二つの前線が重なって対流圏下層は気温傾度が大きくなり寒暖両気流のため風が強まっている点から見て集風線が形成されたとみてよいであろう。したがってこの例からみると southerly jet は集風線と同じ概念のものと推察される。さらに吉野氏 [1949] は subtropical frontal zone の延長上に梅雨前線があると述べられているが、梅雨前線の活動は日本海に寒気が流入したとき活潑になることを考えると、ここで述べた上下二つの前線が連なり対流圏上部から下層にのびる前線帯が形成されることが重要な役割を持つものと思われる。



第 62 図 1955年 4月16日00時の断面図。点線は等温線 (°C), 破線は風の南北成分 (ノット), 鎖線は等温位線 (°K) である

7. 結 び

§ 2 および 3 において下層の前線の強化の例を示し、

4 および 5 において上層の前線の強化の例を示した。また 6 は上下二つの前線が重なって前線帯が強化発達する例であり、これは大雨の機構について提出されたいろいろの概念がほぼ同一の概念であることを示している。

最後に本調査に当って御便宜を与えていただいた藤本予報課長並びに援助をいただいた諸氏に感謝します。

### 文 献

- 1) Means, L. L., 1954: On Thunderstorms Forecasting in the Central United States, Month. W. Rev. **80**, 162—189.
- 2) Means, L. L., 1954: A Study of the Mean Southerly Wind-maximum in Low Levels associated with a Period of Summer Precipitation in the Middle West, Bull. Amer. M. S. **35**, 166—170.
- 3) 三沢甚一, 1953: 鳥根県の大雨について, 昭和 28 年度大阪管区研究会.
- 4) Newton, C. W., 1954: Frontogenesis and Frontolysis as a Three Dimensional Process, J. Met. **11**, 449—461.
- 5) 大谷東平, 1946: 集風線の研究について, 広島予報時報, **5**, 1—4.
- 6) // 1954: Converging Line of the North Trade Wind and Converging Belt of the Tropical air Current, Geoph. Mag. 251—122.
- 7) Reed, R. J. and F. Sanders, 1953: An Investigation of the Development of a Mid-tropospheric Frontal Zone and its associated Vorticity Field, J. Met. **10**, 338—349.
- 8) Reed, R. J., 1955: A Study of Characteristic Type of Upper-level Frontogenesis, J. Met., **12**, 226—237.
- 9) Sanders, F., 1955: An Investigation of the Structure and Dynamics of an Intense Surface Frontalzone, J. Met., **12**, 542—552.
- 10) 高橋浩一郎その他, 1954: 梅雨末期の豪雨の解析, 気象集誌, **I**, **32**, 281—289.
- 11) 吉野格, 1954: 昭和 27 年 7 月のコールドトラフと大雨について, 昭和 29 年大阪管区気象研究会.

### 国際地理学会議開かる。

1957 年 8 月 29 日～9 月 3 日, 国際地理学会議が東京と天理において, 日本学術会議と国際地理学連合の共催で開かれ, 外国の学者数十名, 国内の学者約 400 名が連日討論を重ねた。日程は以下の通りである。

8 月 29 日 (木) 午前—東大講堂にて開会式・特別講演。午後—学士会館にて部会 (地形学・総合開発・産業構造・土地利用)。8 月 30 日 (金) 午前—学士会館にて部会 (気候学・工業化・地誌・その他)。午後—東京の現地討議。8 月 31 日 (土) 午前—学士会館にて東南アジアシンポジウム。午後—川崎の現地討議。9 月 2 日 (月) 午前—天理大学にて部会 (地形学・集落・土地利用・人口)。午後—奈良と大和盆地の現地討議。3 日 (火) 午前—部会 (気候学・陸水学・地誌とその他), 閉会式。この間, 別室では地図の展示が行われていた。

提出された論文の数は 130 編余りに達したが, そのうち気象学・気候学関係のものは次の通りである。

- 前モンスーン季のインドと最近の天気変化 (S. B. Chatterjee)
- 中国の農業気候地域 (陳正祥)
- 台湾における台風と米作 (覚民謝)
- 中国本部の自由大気気候研究 (蘇福堃)
- 台湾における気候型に関する研究 (王鐘麒)
- 古記録よりみたる極東の気候変動 (荒川秀俊)

- 気候的にみた中緯度地帯の農業の有利性 (福井英一郎)
- 蒙古における有史以来の気候変化 (保柳睦美)
- 都市内の温度分布におよぼす緑地の影響 (中原孫吉)
- 北半球における 8 月平均気圧, 気温の 7 年週期変動 (小沢正・藤田敏夫)

- 日本の気候と気象災害 (斎藤鍊一とその協力者)
- いわゆる東岸気候について—第 2 報 (佐々倉航三)
- 局地気候と都市気候 (関口武)
- 日本における気候景観 (矢沢大二)
- 小地形の影響を受けた地表風の微気候学的研究 (吉野正敏)

会議の前には 5 班に分れてそれぞれ約 1 週間の見学旅行があった。このほか, 東南アジアシンポジウムで発表された 5 編の論文は,

- 東南アジアの地理学的諸問題 (飯塚浩二)
- 東南アジアと熱帯 (P. Gourou)
- モンスーンとその東南アジアの人々におよぼす影響 (S. B. Chatterjee)
- 東南アジアの米作の諸問題 (F. H. G. Dobby)
- 東南アジアの諸国の経済発展に関する二三の考察 (安芸峻一)

以上の通りで, 会議は極めて盛会, 国際地理学連合ばかりでなく, 日本の地理学界にとって多大の成果を収めた。(なお会議の詳しい報告は別に掲載する予定)