

九州における大気の構造と雲の性質*

山 田 三 朗**

要旨：航空予報に必要な雲底、雲頂高度や雲厚などについての予報資料ははなはだ少ない。そこで福岡と鹿児島における3～6年間の高層資料を活用して九州上における(1)雲のできやすい高度、(2)雲のできにくい高度、(3)異常乾燥しやすい高度、(4)雲底と雲頂の高度別出現度数分布、(5)雲厚、(6)沈降性逆転と雲頂および前線性逆転と前線の傾き、(7)層別気温通減率による不安定層と雲厚、(8)0°C高度の度数分布の差異と局地的異常気象との関係等について調べた。

その結果九州上では4～5月に4000m以上の厚い雲が一番多く、前線の傾きが一番急で、700～300mb層間の不安定度が一番大きく、0°C高度傾度も一番急となりやすいこと等がわかった。したがって、九州上では4～5月に不安定で、対流性の厚い雲ができてやすく、雷や強雨、乱気流、ひょう等の局地的異常気象が比較的多くできやすい。

1. ま え が き

航空予報では雲底、雲頂高度あるいは乱気流や着氷高度等についての量的予報が要求されているが、その客観予報のための基礎となる雲や不安定層の高度、着氷高度等の調査資料があまりない。すなわち、雲底についてのシーロメーターの資料もまだ少ないし、航空機からの観測報告等もこの種のメソ的気候的調査のためには余りにも少なすぎる。したがって、雲についての立体的気候的な諸性質についてあまり知られないまま予報がなされている。そこで、Aerological Dataの3～6年間の資料により、九州上の北と南を代表する福岡と鹿児島 の地点について、ラジオゾンデの湿度と気温の観測資料を活用し、高度は気圧高度をそのまま用いて、客観的な資料による雲の立体的気候的性質ならびに九州上における地形および季節の特徴と雲の特質との関係等について調べた。

2. 雲のできやすい高度

福岡と鹿児島 の3年間のゾンデ資料によって、湿度が91%以上の部分は雲が存在したか、できやすい高度として、月別・高度別(気圧で表現)における91%以上の出現率分布図を作ると第1図のようになり、雲のできやすい高度がわかる。

(1) 福岡の真冬は800mb高度、5～8月には900mb

高度付近に下層雲ができてやすく、40%前後の出現率を示し、冬の600mb以上には雲ができてにくく、500mb以上では5%以下の出現率しかない。

一方、鹿児島も傾向としては福岡と同様であるが、一般に下層雲の出現高度が福岡より低く、特に6～9月は940mbが40%以上の出現率を示す。また、鹿児島は7～8月を除く他の月の500mb以上の高度における雲の出現率が福岡より大きい傾向にある。

(2) 季節のvarietyの3、4月や9、10月および鹿児島 の2月や11月には各種機構の雲ができてやすいので、各高度の出現率がおおむね20%前後で、真冬のような特に下層雲が出現しやすい特定高度というのがあまり顕著に出ていない。ただし、両地とも春秋にはおおむね夏冬の中間の850mb高度付近に下層雲が出来やすい傾向はあり、下層雲の出現高度は地上湿度の年変化と逆位相の年変化を示している。

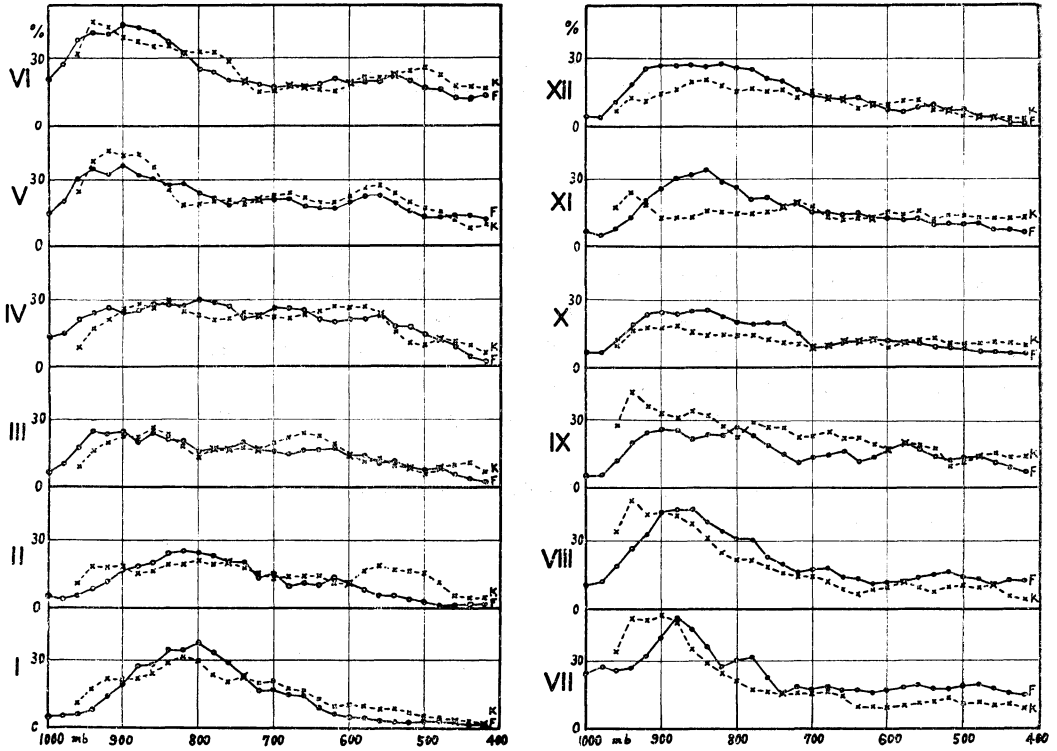
(3) 中層雲は、4～6月と8～9月ごろ500～600mb高度に出現しやすく20%前後の出現率を示し、真夏ほど高い所に出来やすい傾向がある。なお、鹿児島では2月と3月にも中層雲のやや目立つた出現高度がある。

(4) 福岡は下層雲の出現高度が比較的一定しているが、鹿児島は成雲機構の種類が多いらしく、出現高度の幅が広く、雲の厚さも厚い傾向にある。

(5) 西新は平地にあるので地形上昇による雲の影響があまり目立たないが、吉野は海拔280mの台地の上にあるので、その台地の地形上昇による雲と推定される940mb高度の雲が全年を通じて出来やすい傾向を示す。

* Character of Cloud and Structure of Atmosphere in Kyushu

** S. Yamada, 福岡航空測候所
—1968年4月8日受理—



第1図 福岡と鹿児島における雲のできやすい高度の高度別出現率(%)分布 実線は福岡・破線は鹿児島

第1表 異常乾燥, 雲のできにくい高度, 雲のできやすい高度の季節別高度別出現率

湿度		冬			春			夏			秋		
		≤50	≤80	≥91	≤50	≤80	≥91	≤50	≤80	≥91	≤50	≤80	≥91
900mb	F	12	54	22	28	56	29	5	30	43	12	51	27
	K	18	60	21	21	82	30	5	30	43	16	56	21
	m	15	57	22	25	54	30	5	30	43	14	54	24
800mb	F	36	57	29	46	66	26	18	53	29	56	61	24
	K	49	65	30	49	69	19	21	54	26	43	68	17
	m	43	61	30	48	68	23	20	54	28	50	65	21
700mb	F	59	76	16	53	69	21	36	68	17	57	73	13
	K	63	76	16	55	70	22	31	70	16	52	76	17
	m	61	76	16	54	70	22	34	69	17	55	75	15
600mb	F	70	87	10	58	71	18	42	71	16	61	79	14
	K	65	80	13	52	69	21	38	73	13	50	80	14
	m	68	84	12	55	70	20	40	72	15	56	80	14
500mb	F	75	90	5	64	79	12	47	73	17	57	83	11
	K	74	86	9	57	77	11	38	76	17	56	79	12
	m	75	88	7	61	78	12	43	75	17	57	81	12

F: 福岡, K: 鹿児島, m: 両地の平均

(6) 700mb と 600mb 高度における雲のできやすい確率としては福岡・鹿児島とも4月が最も大きく、次いで5月であり、500mb 高度では鹿児島が6月、福岡が7月に最大である。すなわち、6,000m くらいに達する雲は梅雨期に多いが、3,000~4,000m の高さの雲は春に多いという特徴がある。

(7) 要約すると、九州上では冬は2,000m、夏は1,000m 付近の雲が多く、中層雲は4~9月ごろ5,000m 付近に出ることが多く、それらの高度も年変化している。

3. 雲のできやすい高度と雲のできにくい高度および異常乾燥高度の高度別出現率

福岡と鹿児島島の3年間のゾンデ資料から、湿度91%以上を雲のできやすい高度、80%以下を雲のできにくい高度、50%以下を異常乾燥の高度として出現率を季節別・定圧面高度別に求めると、第1表ようになる。

(1) 雲のできやすい高度では、冬は800mb が多く30%前後も出現し、500mb では10%以下の出現率となる。その他の季節では900mb が最も雲が出来やすく、夏は

40%以上も出現するが、春は30%、秋は24%程度となる。冬以外では各季節とも高度とともに出現率は減少し、500mb では10%近くになり、気温の低い季節ほど中上層での出現率は少ない。ただし春は600~700mb 高度の出現が一年中でいちばん多い。

(2) 雲のできにくい高度では、900mb は夏が30%くらいしかないのに対し、その他の季節は50%台で半分以上は雲ができていないとみなされ、高度とともにその確率は増加して、700mb 高度以上では暖候期で70%以上、寒候期には80~90%は雲がないといえる。

(3) 異常乾燥の出現率では900mb の低層においては当然夏に少なく5%で、春には25%ぐらいになるが、800mb では夏が20%、他の季節は40~50%となり、高度とともに出現率を増し、600mb 以上では夏で40%以上、冬では70%前後の出現率となる。そして、第2図に示すように、春秋特に秋において800mb 高度付近からの異常乾燥の急増が顕著で、移動性高気圧や中緯度高圧帯中での沈降による乾燥が800mb 高度付近まで及ぶことが多いことを示す。すなわち、夏以外3,000m 以上では半分以上が異常乾燥の湿度50%以下のときである。

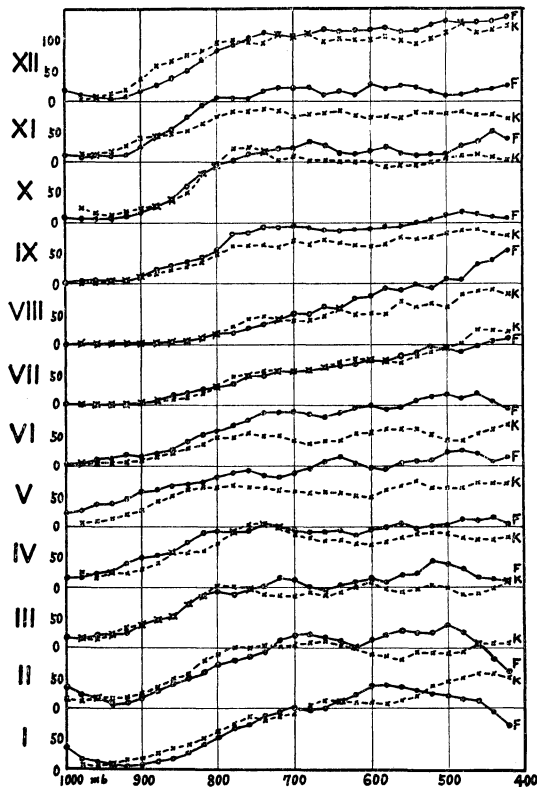
4. 福岡における雲底高度と雲頂高度の特徴

湿度が90%以上になった高度を雲底高度とし湿度が81%以上から急に30%以上乾燥したか、または沈降性逆転層を伴った高度を雲頂高度として、それぞれの月別出現高度の度数分布図を作ると第3図のようになる。いずれも、おおむね孤立した度数の山を作り、各月ごとに雲底、雲頂の特にできやすい高度があり、その両者の山の間隔をとれば雲の平均的な厚さも推定できる。

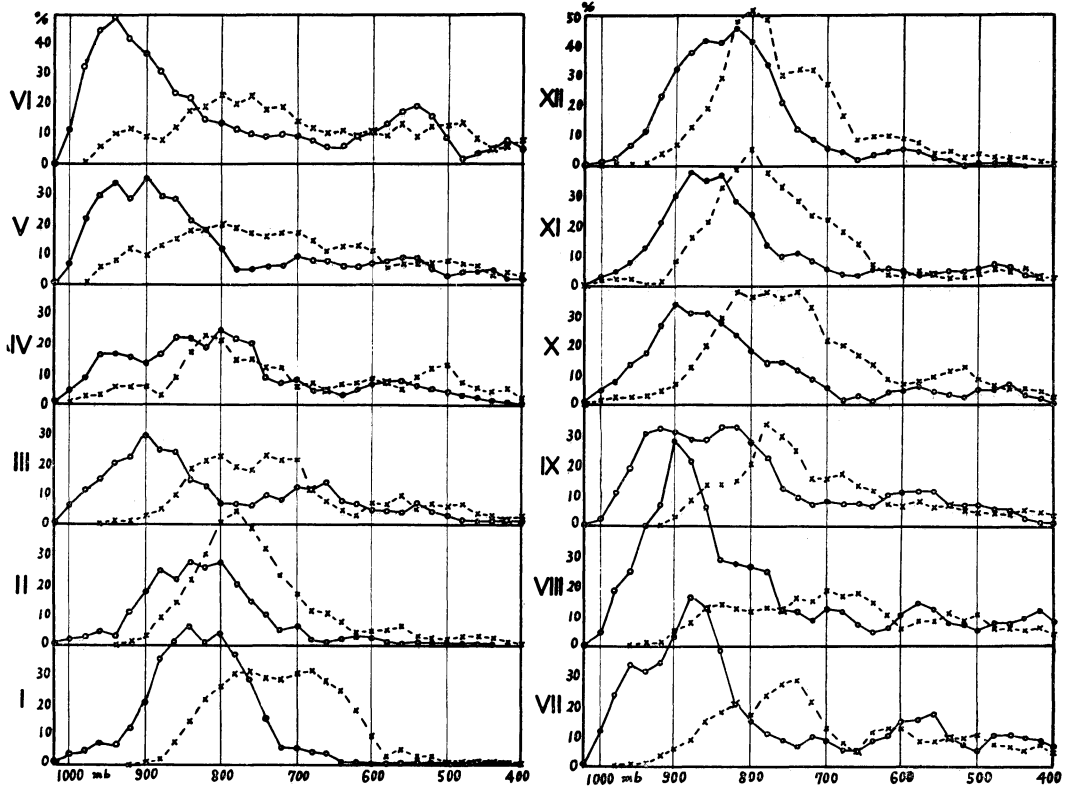
(1) すなわち、福岡の冬の雲底は1,500m くらいが多く、夏は600m くらいが多い。

(2) 雲頂は真冬と真夏以外は2,000m くらいが顕著で、1月と8月は3,000m くらいが多く、春から夏は対流性の雲が出来やすいので、出現高度の度数の山が相対的に低く幅広い山を作るが、その山は820mb から700mb の間である。

(3) 3月から10月の間には中層雲の雲底高度と雲頂高度の山が認められ、その高度も太陽高度の高い6月を最高とする年変化をしている傾向を示し、その雲厚は600m くらいが多いことを示す。ただし、雲頂のとり方からして、この雲頂高度や雲厚は大き目となっているかも知れない。しかし、航空で必要なのは雲頂面の凸凹における平均高度ではなく、その最高の高度の方が要求される場合が多いから、ここでは大き目のとりかたをした。



第2図 湿度50%以下の高度別出現度数分布
実線は福岡・破線は鹿児島



第3図 福岡における雲底・雲頂高度の高度別出現率(%)分布 実線は雲底・破線は雲頂

5. 雲厚の季節による特性

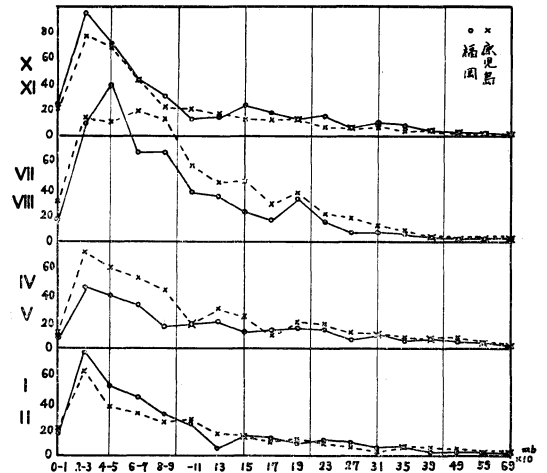
年のくせを少なくするために6年間のゾンデの湿度資料を用いて福岡と鹿児島における700mb以下に雲底をもつと推定される場合の雲厚(湿度90%以上の層の上限と下限の気圧差で表現)について月別雲厚別出現度数を求めると第4図のようになる。

(1) 両地とも夏以外は200~300mの薄い雲の出現が圧倒的に多く、夏は400~900mの雲が多く、春の鹿児島も900mくらいまでの雲厚が比較的多い。ただし、夏はやはり2,000mくらいの厚さの雲もやや多くなっている。

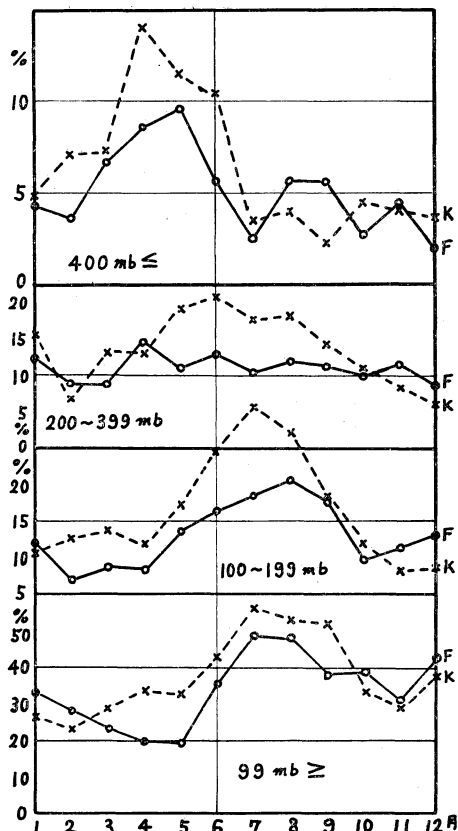
(2) これを雲厚別の出現率で比較すると第5図のように夏の7, 8月は両地とも1,000m以下の雲が約50%出現し、1,000~2,000mの雲が約20%, 2,000~4,000mの雲は約10%となり、4,000m以上の厚さの雲は約5%しかない。ただし、鹿児島は1,000~4,000mの厚さの雲が福岡より出現率で約10%多い。

(3) 7月以降2月までは、4,000m以上の厚い雲は両地とも2~6%くらいしか出現しないが、3~6月は10

%前後の出現率となり、特に鹿児島では4月、福岡では5月が4,000m以上の厚い雲の出現のいちばん多い月となる。このことは当管内の名瀬を除く26官署がすべてそ



第4図 雲の厚さ別出現度数分布 実線は福岡・破線は鹿児島



第5図 700mb以下に雲底をもつ雲の厚さの福岡と鹿児島における出現率比較
実線は福岡・破線は鹿児島

の累年統計による雷日数において、4月が5月の2倍くらい多く、4月の27か所の合計雷日数が45.9日に対し、5月は19.4日で、3月が20.6日であることなど一致し、春には対流不安定になることが多く、界雷やひょう等の強い対流雲の発達も予想以上に多いことと関連する。

(4) また、4,000m以上の厚い雲が4月・5月には7月・8月の福岡では2倍以上、鹿児島では3倍くらい出現している。すなわち、4・5月は真夏よりも厚い雲ができやすい。ただし、1,000~2,000mの厚さの雲は7~8月に最多で、冬の2倍くらい、2,000~4,000mの厚さの雲も鹿児島では5~8月の暖候期に11・12・2月の2~3倍の出現率である。(ただし、ゾンデ観測は9hと21hだけであるから日中の資料は含まれていない)

(5) この雲厚と日降水量との関係では、やはり雲厚の厚いほど降水量も多い傾向にあり、日降水量50mm以上の場合にはほとんど雲厚が4,000m以上であった。

(6) 雲層数と日降水量との関係では、19mm以下の小雨のときと60mm以上の大雨のときに単層の雲である場合が多く、中間の並雨では数層の雲の場合のことがやや多い。すなわち、弱い雨は一般に比較的薄い単層の雲から、また強い雨は鉛直に発達した厚い単層の雲から降り、中強度の雨は数層に重なった雲から降ることが相対的に多いようである。

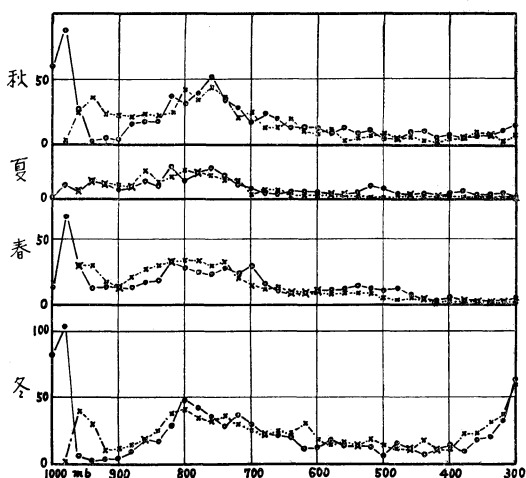
6. 沈降性逆転と雲頂および前線性逆転と前線の傾斜

前線性逆転による雨の寒冷気内における降下は悪視程と低シーリングを伴い、沈降性逆転層には薄い雲層やヘイズ層を伴いやすい。また逆転層の高さや前線の傾きは雲底・雲頂の高さを予想する資料等となる。

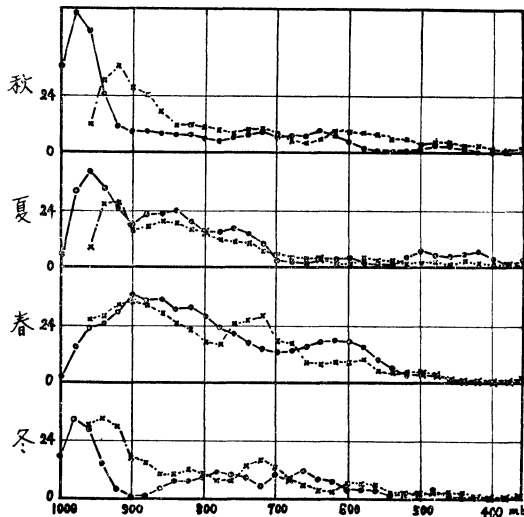
そこで、福岡と鹿児島の子ンデ資料から気温が高さと共に上昇するか、等温の場合の上限を逆転層高度とし、その高度における湿度が80%以上の場合を前線性逆転、80%未満の場合を沈降性逆転と区別して300mb高度までについて調べ、両者の季節別高度別出現度数分布図を両地について図示すると、第6図と第7図のようになる。

(1) 第6図の沈降性逆転では、西新と吉野の海拔高度が違うので(吉野=280m)、接地逆転の出現高度や季節別出現度数分布に両地間の差異がかなりある。たとえば、接地逆転は西新が吉野の2倍以上出現する。

(2) 900mb高度以上では両地間にあまり大きな差異はなく、冬は800mb高度、秋には760mb高度、春は700~820mb付近、夏は760~860mb高度くらいに沈降性逆転が現われやすく、冬と秋はその特性が顕著であるが、春と夏はその出現高度がそれほど一定しない。



第6図 福岡(実線)と鹿児島(破線)における沈降性逆転層の高度分布



第7図 福岡(実線)と鹿児島(破線)における前線性逆転層の高度分布

(3) このため沈降性逆転のできているときの雲頂高度は冬は 800mb, 春は 800mb と 700mb, 秋は 750mb くらいの高度となりやすいことになり, 第3節の(3)の異常乾燥高度や第4節の雲頂高度の結果と符合する。

(4) 第7図の前線性逆転においても, 接地逆転はやはり福岡に多い傾向にあるが, 沈降性ほど大きな差異はなく, 冬は同じくらいで両地点の海拔高度よりやや大きい高度差がでているだけであり, 夏と秋には福岡の方に多い。ただし, 春は福岡の前線性最下層逆転の高度がやや高く, 秋には鹿児島の高度がかなり高い傾向がある。

(5) 冬には鹿児島が 820mb と 720mb に出現度数の山があるのに対し, 福岡は 780mb と 660mb にあり, 両地間に 400~600m くらいの高度差がある。

(6) 春は両地とも接地逆転が不明瞭であるが, 900mb 高度では大きな出現の山があり, 次の山は鹿児島が 720mb に対し, 福岡が 620mb で両地ともその第2の山も顕著で, 両地間の高度差は 1,200m くらいある。

(7) 夏も本邦南岸沿いの梅雨前線の傾きとしてとると, 鹿児島の 860mb に対して福岡は 760mb 高度の山となり, 両地間の高度差は 1,000m となる。

(8) 秋は目立った山はないが強いてとると, 鹿児島の 740mb に対し福岡の 640mb, および鹿児島の 600mb に対し福岡の 480mb となり, それぞれ 1,000m と 1,200m くらいの高度差ということになる。

(9) 以上の高度差は 100mb が 1,000m としての概算であるが, 夏以外の季節では, 鹿児島は 720~740mb 高

度と 580~600mb 高度にそれぞれ出現が多く, それに対して福岡は 620~660mb 高度と 480~500mb 高度くらいに山がある。

(10) この鹿児島における第1の前線性逆転の高度が年間を通じて同じ 3,000m 付近に現われやすいということは, 年間を通じて本邦南岸沿いの前線がほぼ同じ位置にでき, 冬から春にその傾向が顕著で, 鹿児島までの前線の傾斜は年間を通じて余り変化しないことを示す。

(11) 一方, 福岡の前線性逆転も春にいちばん顕著で高度が高く, 冬と秋はやや低いことから, 一般には九州本土上での前線の傾きは 1/200 くらいのゆるいものであるが, 冬はなおゆるやかで 6/2,000 くらいとなり, 春の傾きがいちばん大きく強くなりやすいことを推定させる。

(12) また, 鹿児島の第2の逆転層が各季節とも 600~400mb 高度に認められるのは, 名瀬付近に南下し停滞することの多い前線の場合の前線面と推定される。

(13) 以上前線の傾きを前線が九州南岸沖に東西に伸びている場合の経度方向だけの傾斜について論じたが, 実際は低気圧が東シナ海から近づくときなどの温暖前線が五島方面から南東に向けて九州南岸沖に伸びている場合もあるから, そのような場合が結果的に福岡・鹿児島間の前線面高度の差を小さくしている影響もあることを考慮しなければならない。

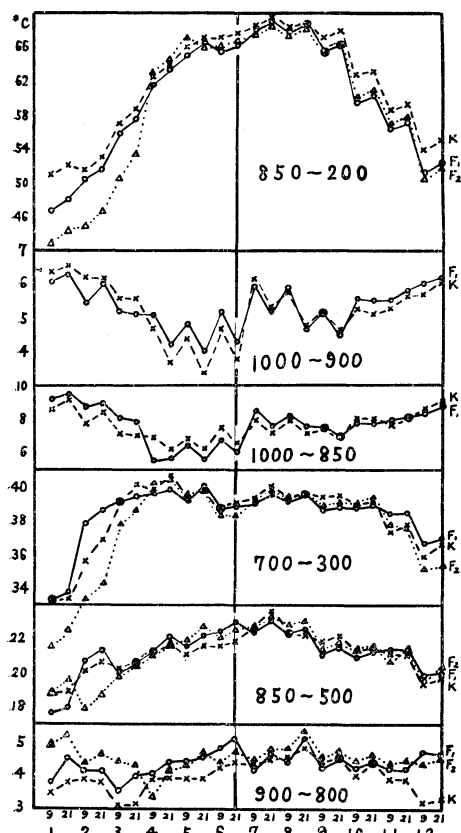
7. 層別気温遞減率による不安定層と雲厚

Aerological Data の 1956~60 年における福岡と鹿児島の 5 年平均, および比較のための 1961~65 年における福岡の 5 年平均によって月別時別の 3 層間 (900~800mb, 850~500mb, 700~300mb) の気温差を图示すると第8図下半のようになる。この図により気温遞減率の日変化は鹿児島より福岡に大きい傾向があり, 特に 900~800mb 層において鹿児島が年の半分は日変化をほとんど示さないのに対し, 福岡は 11月と 12月を除くすべての月にかかなりの日変化を示し, 特に気温の高い 6~9月には 0.5°~1.4°C も 21h の方が大きい。

また, 850~500mb と 700~300mb 間においても 21h は 9h より 0.5°C 前後大きい場合が多い。すなわち, これらの層では 9h より 21h の方が不安定になりやすい。

この第8図で目立った特徴は 2 か月週期がきれいに出現していることであり, 特に 850~500mb の福岡の遞減率に顕著である。

なお, この層別気温遞減率の年変化は 900~800mb 間では小さく, その振幅は 2°C 以下であるが, 850~500mb 間では 5°C くらいとなり, 700~300mb 間では 7~



第8図 各層別5年平均気温逡減率の年と日の変化
 実線は福岡・破線は鹿児島・点線は1961～65年の福岡

8°Cで、1961～65年の福岡では1～4月間に10°C近くも大きくなっている。この700～300mb間で1月の真冬から4月の春にかけて急速に気温逡減率が増大し、福岡・鹿児島とも年間でこの4月に逡減率が最大となることには大きな関心を持たれる。しかも900～800mb層間では3～4月が年間でいちばん逡減率が小さい。すなわち、4月ごろは下層はいちばん安定化するが、中上層は最も不安定化する時期ということになる。このことは九州での雷雲の特性等と一致し、4月ごろ中上層の寒気移流により特に強い鉛直不安定となることが多く、厚い高い雲の発生が多くなり、熱雷以外の発雷や集中豪雨等がこの時期に比較的に多いことをよく説明する。

これらの変化が1956～60年だけの現象であるかもしれないという疑念に対して1961～65年の福岡の資料を加えた。また、比較のため1,000～900mb, 1,000～850mb,

および850～200mbの3層間についても年変化と日変化を図示したものが第8図の上半である。

これによると、接地気層である1,000～900mb層の気温差では1956～60年間および1961～65年間とも4月～10月の高温期間は21hの方が逡減率は小さく、11月～3月の低温期間は21hの方が大きい。すなわち、日出のおそい冬は9hの接地気温がまだ低いために9hは21hより安定であるが、暖候期の9hには日射によって気温が上昇しているところとなるので逆に9hの方が不安定になることを示し、その傾向は1,000～850mb層をとってもその両5年間とも同様である。

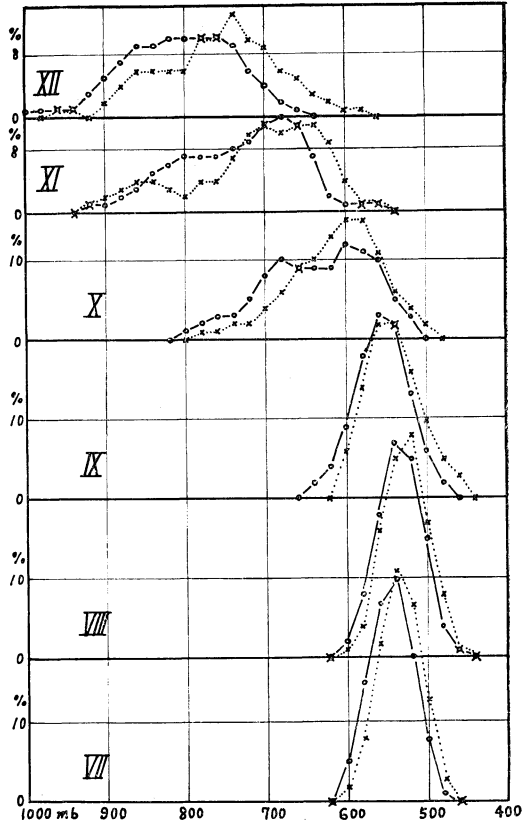
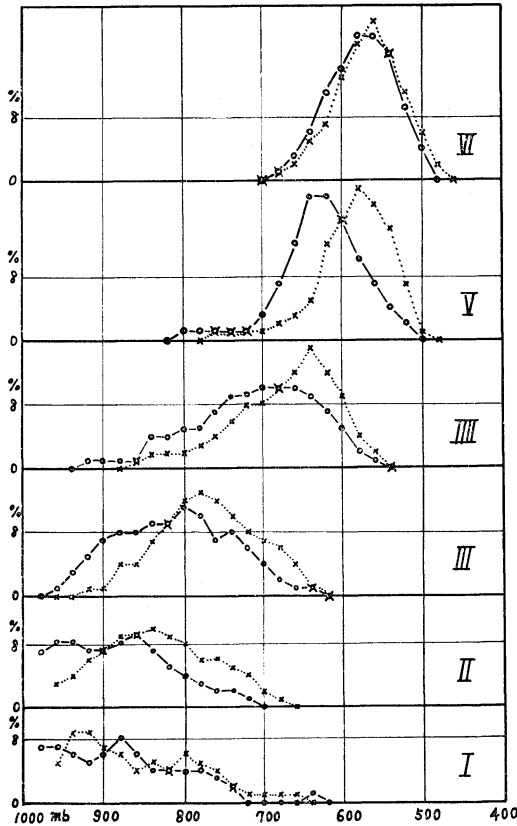
しかし、850mb以上の層では(850～500mbと700～300mbおよび850～200mbの各層間とも)年間を通じてすべて21hの方が9hより逡減率大きい。これはゾンデの気温測器における日射の影響も多少あるのかもしれないが、850mb以下の暖候期には21hの方がかなり大幅に小さい逡減率を示す事実からして現実の日変化もあると考えられ、850mb以上では21hの方が不安定になると考えられる。すなわち、21hは下層が安定、中上層が不安定であり、中上層の寒気移流による大規模な対流が起こりやすいことを示し、九州本土上での強雨が21hごろ出やすいこと等と符合する。

一方、最下層の1,000～900mb層および1,000～850mb層においては両5年間とも4～6月に逡減率が小さく、特に21hに小さく安定である。このことは4～6月の夜間から朝にかけて九州各地とも特に悪視程・低シーリングの多いこととも一致し、この季節の大気最下層が逆転層等も形成しやすい安定な成層条件にあり、夜から朝にかけて強くなることと符合する。

8. 福岡と鹿児島島の0°C高度の比較

着氷は0°C層に近い過冷却水滴の雲中を飛ぶときが、含水量多く水滴は大きいから多量に付着しやすい。このため、その0°C層の高度を高い精度で予報することが、着氷予報上必要となる。そこで、基礎資料として福岡と鹿児島における0°C層の出現高度の月別高度別出現率分布図を求めると、第9図のようになる。

この図から5～9月の暖候期は両地ともおおむね正規分布をなし、6～9月は福岡の方が鹿児島より20mbくらい低い高度に0°C層が現われやすいことなどがわかる。5月にはその差が最大となって50mbくらいとなる。一方、10月～4月の寒候期には正規分布がくずれ、第1の出現率(%)の山より80～140mb低い低層に第2の山が現われやすく、特に福岡においてその傾向が顕



第9図 福岡(実線)と鹿児島(点線)における 0°C 層の月別高度別出現率 (%) 分布

著である。すなわち、寒気移流がきいたとき福岡では約 1,000m 低い層に 0°C が現われやすいのに対し、鹿児島の方は11月のように 500m くらい低い 2,000m も低かったりしやすい傾向がある。また、この資料は春秋の候に寒気移流による 0°C 高度変化の顕著なことが多く、その影響は北部九州に顕著で、それに伴う 0°C 層の高度変化も季節によりおおむね一定しやすい傾向にあることを暗示する。一方、暖気移流による 0°C 層の上昇は1月と3月の冬期に現われている程度で寒気移流ほど顕著でない。

かつ、福岡・鹿児島の高差が4~5月に最も大きくなりやすいことは第5節での雲厚の最大月や第6節(11)の前線の傾き、および第7節の 700~300mb 層における最大の不安定と一致し、4~5月の九州上空に気温傾度・高度傾度の急な場合が現われやすいことを物語り、強い不連続・強いシャー・強い不安定層の存在が多く、雷や乱気流を始め局地的異常気象等を発生しやすい不安定エネルギーの大きい場合が多いことを示すものと考え

られる。

9. あとがき

以上から九州では冬は 2,000m、夏は 1,000m 高度付近に雲ができやすく、冬には 5,000m 以上に雲のできることは10%以下しかないが、3~4,000m の雲は夏よりも春に多い。雲厚は冬や秋に薄く 2~500m くらいのもが多く、4,000m 以上の厚い雲は(9時と21時のゾンデ資料では)福岡・鹿児島とも4~5月に最も多い。また、4~5月は 700~300mb の中上層が一番不安定で、900~800mb の下層が一番安定である。前線性逆転の高さの差からする九州上の前線の傾きも春に一番大きく、0°C 高度の福岡・鹿児島間の高差も4~5月に顕著で大きい。これらは九州各地で4月の雷日数が3月や5月の2倍あり、このころ強雨や乱気流・ひょう等の対流性の局地的異常気象が比較的多く、地上では各空港とも悪視程や低シーリングが多いことの原因となっている。

この調査には中尾陽子嬢の大きな協力を受けた。記して謝意を表す。