

# 板付における悪視程の発生機構\*

山 田 三 朗\*\*

## 要 旨

飛行場予報において重要な視程の量的予報を少しでも高精度のものとするためには、その悪視程の原因別に発生機構を明らかにしておく必要がある。

そこで板付飛行場および西新高層観測所における5年間の観測資料ならびに海陸風特別観測や大気汚染観測の資料等も用いて、雪、雨、霧、低い霧、煙霧の各視程障害現象別に、メンスケールでの発生機構を雲物理的に検討し、視程予報のための基礎資料を作った。

### 1. はしがき

飛行場予報においては視程の量的予報が特に重要である。そこで、板付における5年間の資料により悪視程の場合の障害現象別、強度別(3 mile>, 2 mile>, 1 mile>)にその出現度数の日変化を調べてみると第1図のようになる。

すなわち、どの障害現象による悪視程も大きな日変化をしており、その出現しやすい時刻にそれぞれ特徴があって、それぞれの発生機構に差異のあることを示している。

### 2. 視程障害現象別風配図の鉛直変化

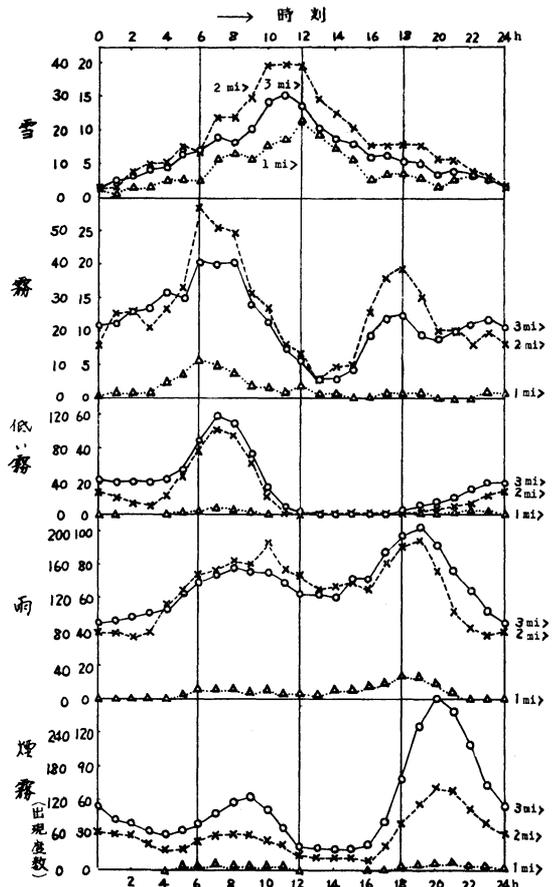
福岡における5年間の高層風観測原簿を用い、悪視程のときの下層風向を現象別高度別に調べると第2図のように、1,000 m 以上ではおおむね南西風であり、地面近くでは雨と霧の場合は北西象限の風、低い霧と煙霧の場合は南東象限の風のときが多く、接地気層の数十メートルの層と数百メートルの層に風向シャワーが明瞭に出ている。

すなわち、雪のときは冬の季節風のときのしゅう雪による場合が多いので、下層の風のシャワーは顕著でないが、雨や霧による悪視程のときは接地気層に北西の海上からの湿った寒冷氣が入った前線面下であり、低い霧や煙霧のときは一般に高気圧の後面内での夜間放射による接地逆転層下で、地上では南よりの陸風のときであることを示す。

### 3. 視程障害現象別下層風速の鉛直シャワー

視程が3哩未満になったときについて5年間の高層風

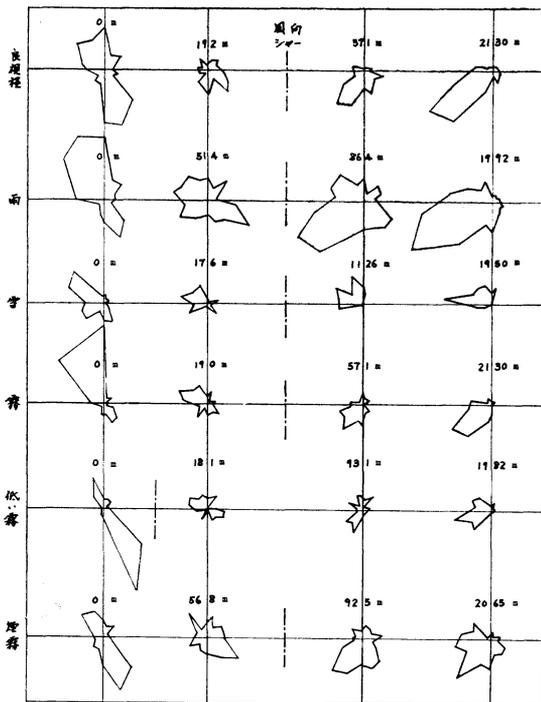
観測原簿から障害現象別に下層風速を調べると、その平均風速でも第3図のように各現象とも接地気層と500~



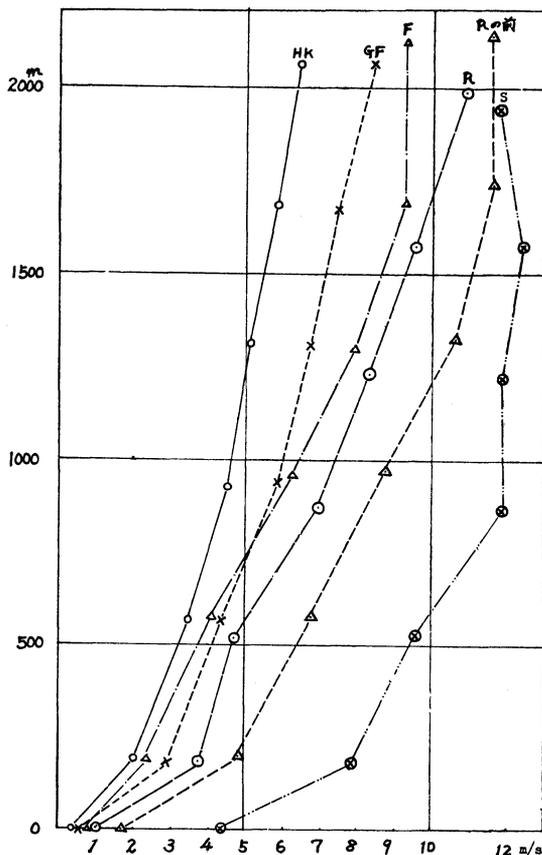
第1図 板付における3哩未満の視程障害現象別強度別日変化(縦軸の左側の目盛は3 mile>, 右側の目盛は2 mile>と1 mile>)

\* On the Genetic Mechanism of Poor Visibility at Itazuke Airbase

\*\* S. Yamada 福岡航空測候所  
1969年4月1日受理



第2図 板付における3哩未満の視程障害現象別高度別風配図の変化



第3図 3哩未満の視程障害現象別平均風速の鉛直シヤー

1000m 層に風速の鉛直シヤーが大きい。

#### 4. 悪視程のときの接地気層の安定度

6年間の高層気象観測原簿から全観測時について接地気層の気温遞減率を求め、その遞減率別における視程障害現象別悪視程の出現率分布を求めると第4図のように煙霧の場合は年間を通じて安定なほど、接地逆転が強いほど悪視程になりやすい。

雨は0~3°C/100mbの比較的安定なときに悪視程が多く、雪はしゅう雪の場合が多いので相対的に不安定なときに悪視程になりやすい。ただし、低い霧では5~6月の6~7時ごろに多いから9時のゾンデ観測に対応させると、すでに気温が上昇しているため9時では不安定になるようなときの早朝に多いことを示すことになる。

#### 5. 接地逆転および下層の前線性逆転と障害現象別悪視程

第5図のように安定度関係の年変化図と障害現象別悪視程の6~12h間と18~24hの間に分けた発現回数の年変化図を比較すると、煙霧、煙は晩秋に多く、接地逆転発現数の年変化に対応するが、雨や霧などの悪視程は4

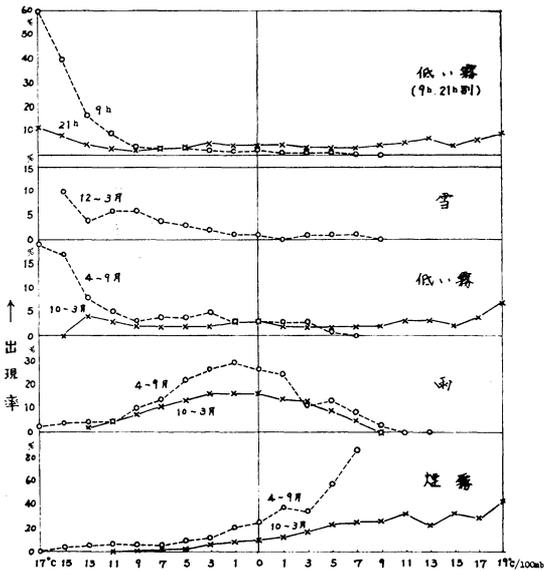
~6月に多く、左欄最上段の前線性逆転の出現日数年変化との相関が大きい。なお、煙霧、煙はその4~6月にも多い。すなわち、どの悪視程も下層の前線性逆転に伴うことが多いと推定される。

また、悪視程になりにくい日中の9~15時の間に4時間以上3哩未満であった日について調べると、雨による悪視程は前線が板付のすぐ南の北部九州にあるとき、霧は前線が南九州付近にあるとき、煙霧は前線が九州南方海上の名瀬付近にあるときに多い傾向があり、前線面の高さや障害現象の種類との関係が推定される。

#### 6. 雪による悪視程の発生機構

##### (1) 冬の雪と雨による悪視程の日変化

第6-1図のように3哩未満の出現率と降水現象の出現回数の日変化図を作ると、雨は朝と晩に降りやすいが、雨による悪視程は第6-2図に示されるひる近くの朝なご時<sup>2)</sup>と夕なご時<sup>2)</sup>に多く、雪は未明と朝なご時に多く降



第4図 3哩未満の視程障害現象別季節別接地気層の気温通減率別出現率分布

るが、雪による悪視程は正午ごろ出やすい。特に1哩未満は雨、雪とも正午ごろに目立って出現しやすい。

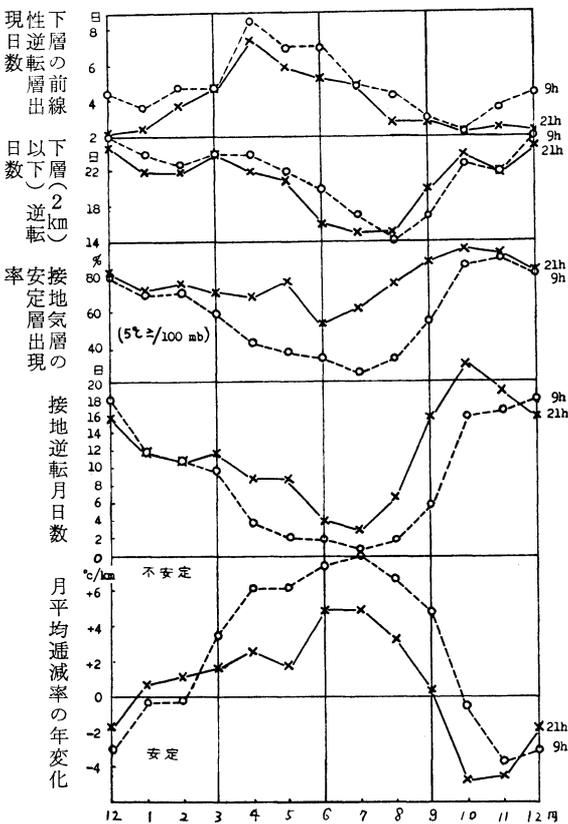
(2) 降水現象の種類別、強度別による悪視程の出現率比較

冬の降水現象をしゅう雪、あられ、雪、しゅう雨、雨、霧雨、氷霧の種類別に、また雪および雨の強度を極く弱い、弱い、並または強の3階級に分けて、それぞれの時刻別出現度数と3哩未満および1哩未満の出現率の日変化を比較すると、冬は各強度の雨および弱い雪、あられ、しゅう雪において正午ごろの悪視程出現率が高い。

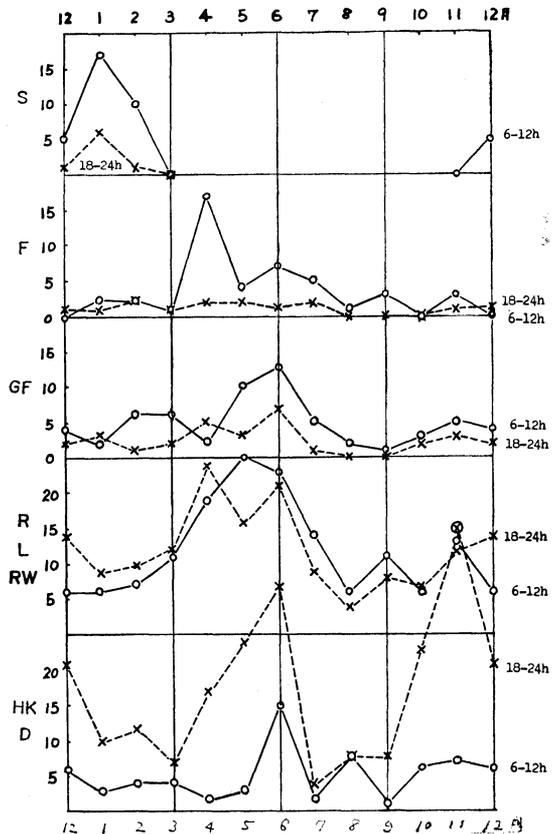
(3) 雪による悪視程のときの気温と露点

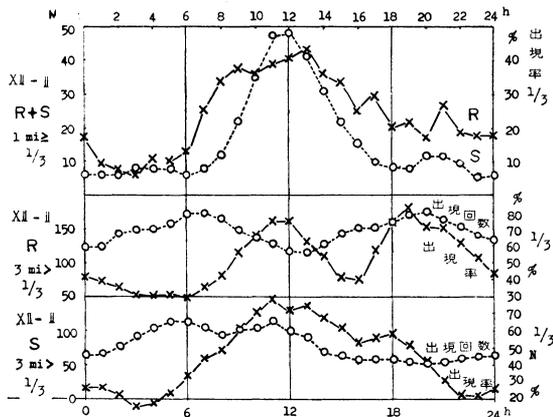
板付の雪は33~37°Fのときに多く降り、3哩未満の出現率は33°Fを中心に31~35°Fの間に高い。また、露点差では12~16°Fくらいるとき降ることが多いが、悪視程は露点差が小さいほど多く、露点差1°F以下だと3哩未満の出現率は75%にもなる。

(4) 地上の風向、風速および降雪の種類と悪視程



第5図 福岡における6年間の高層資料による下層の安定度関係要素の年変化および朝と晩における障害現象別出現度数の年変化図



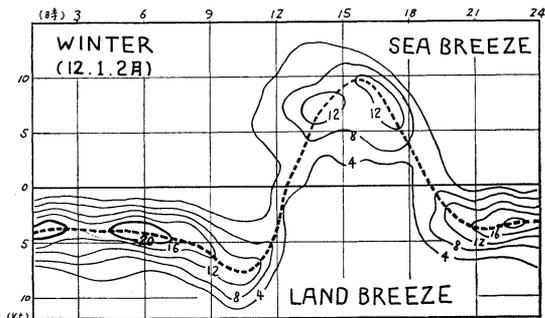


第6-1図 冬の雨(R)と雪(S)の3個の移動平均による出現回数(N) (左の縦軸) および 視程3哩未満と1哩未満の出現率(右の縦軸)の日変化(縦軸の目盛はいずれも3倍になっている)

雪の種類を対流性のしゅう雪やあられと相対的に安定な成層のときに多い雪や霧雪とに分け、風向は北よりと南よりに大別し、かつ風速を6階級に分けて、それぞれの組合せにおける視程階級別の出現率を求めて表にする<sup>1)</sup>、南よりの風が0~1 KTS で雪が降れば100% 2哩未満となり、風速が増大するにつれ、その出現率は減ずる。一方北よりの季節風におけるしゅう雪では風速を増すほど悪視程の出現率を増し、20KTS では24%の確率で3哩未満になる。

(5) 正午ごろに雪が降りやすく悪視程になりやすい機構

以上の資料等により板付では朝なごの10~13時ごろ<sup>3)</sup>雪が多く、悪視程になりやすいが、夕なごごろには雪の回数もそれによる悪視程も比較的少ない。この朝なごのころにのみ多い発生機構を考究すると、冬の海陸風のみ第6-2図\*のように朝なごの直前の9~10時ごろ陸風が最も強くなり\*\*、平均で6~8 KTS で、10 KTS をこえることも10%以上ある。一方、冬は陸風の原因となる内陸の最低気温と対馬暖流の表面水温間に10~15°C ぐ



第6-2図 板付における冬の海陸風の時刻別風速別出現率(%)分布図(椎葉盛澄<sup>2)</sup>) (海陸風の発達した時の板付の毎時資料による)

第6-2図 板付における冬の海陸風の時刻別風速別出現率(%)分布図(椎葉盛澄<sup>2)</sup>) (海陸風の発達した時の板付の毎時資料による)

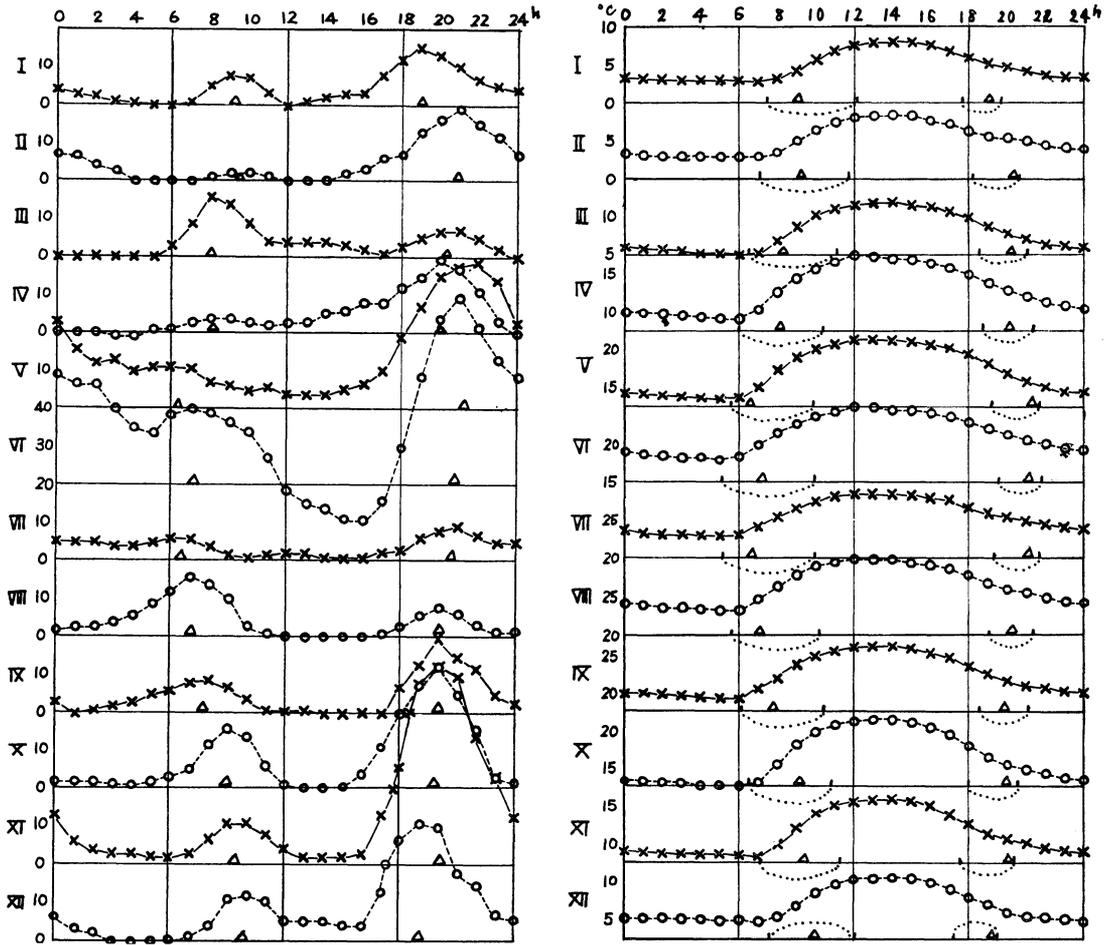
らの温度差がある。そこで陸風の一番強いころには板付から40~60km 沖の壱岐海峡付近では北西季節風と陸風との間に風向シャープ線ができる。また、陸風にならないときも、そのころ北西季節風は(40~100km くらい沖の)対馬暖流上で速度収束しやすい。このため水平風速が弱まった対馬海峡や壱岐海峡の暖流上では暖化と水分の供給による不安定化も最も強く、水平収束や速度収束と重なって他地域より上昇気流が強く、高い対流性の雲を作るか層積雲系の雲をな厚くして、相対的に強い降水現象を伴いやすくなる。

一方高層観測資料から調査した所では冬の雲頂は3000 m くらいが多く<sup>4)</sup>、降雪時の850mb 高度の平均風速は12 m/s であったから、降雪のときの雲頂を3600m その雲頂までの平均の上昇速度を1m/s とすると3.6 km に上昇するまでに1時間かかり、その間の平均水平風速を10 m/s とすると、1時間に約36km 風下に流される。

その雲頂近くから初めは小さい氷晶等の雲粒として落下する筈であるが、その落下速度は0.2~0.5m/s くらいと考えられるから、1800m 落下するのに1~2時間くらいかかることになる。その後大きな雪片に成長すれば落下速度が速くなるので、20分前後で地上に到着するとしても、対馬暖流上で上昇気流となってから3 km 以上の雲頂に上昇し、氷晶を作り、雪片に生長して地上に落下するまでには2時間前後かかり、9~10時ごろの対馬海峡における収束による雲からの降雪が11~12時ごろ板付上で降りやすいことになる。このため雪による悪視程は丁度板付における朝なご時に当る10~13時ごろに条件

\* 海陸風の発達したときについて季節別に板付の毎時資料を用いて作った時刻別風速別の出現率(%)分布図で、なごの時刻が他の地よりおそい傾向にあるが、北九州市での特別観測等でもみられる観測事実である。

\*\* 内陸と海上間の気温差は6~7時の最低気温時に最大となるが、板付での陸風として最強になるのはそれから約3時間のおくれがある。



第7-1図 煙霧、煙による視程3哩未満の月別日変化と日出没時刻、海陸風の吹き始め時刻および気温の日変化

がそろっているので多く現われやすいものと考えられる。

なお、冬季における福岡一釜山便のDC-6Bによるデブリーフィング資料によれば、朝鮮海峡から対馬海峡、壱岐海峡、北部九州沿岸と南下するにつれ、雲量が多くなり雲頂は高くなり、特に雲底が低くなる傾向がある。

7. 煙霧、煙による悪視程の発生機構

(1) 煙霧、煙による3哩未満の出現回数月別日変化は第7-1図左のとおりで、△印で示したように朝なぎ時と夕なぎ時に各月とも出現の山を示している。この変化を日出入時刻および海陸風の吹き始め時刻ならびに気温の日変化と比較してみると、各月とも日出時と海風の吹き始めとの間の4～5時間および日入時と陸風の吹き始めとの間の2～3時間内に多く出現している。そして、その時刻での出現が多い月ほど最多出現時刻がその範囲の

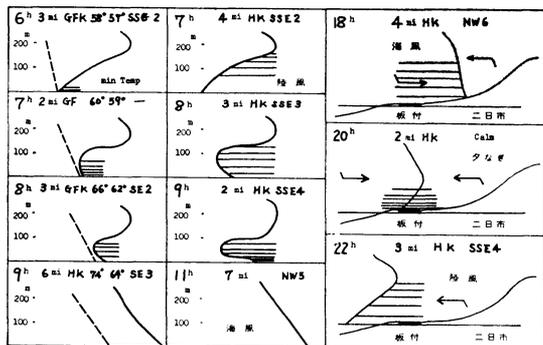
終りに近い時刻となっている。

(2) 悪視程の発生時刻と海陸風

海風が夕なぎになった時刻を中心にして、その前後の時刻における煙霧、煙による悪視程の階級別出現率を求めると、海風が吹いている間はほとんど悪視程にならないが、夕なぎになって1～2時間後には3哩未満の出現率が60%をこえ、その後は急速に減少する。

(3) 陸風と地形との関係

北九州市における大気汚染のための年間16回の下層風特別観測により、観測地点5点での30分ごとの100m高度別24層における日中12回の流線図解析をしてみると、板付のように南向に谷があって夜間冷却の強い内陸につながっている所では、おそくまで陸風が吹きやすく、福岡市大濠の福岡管区气象台等ではすでに海風が吹き始め



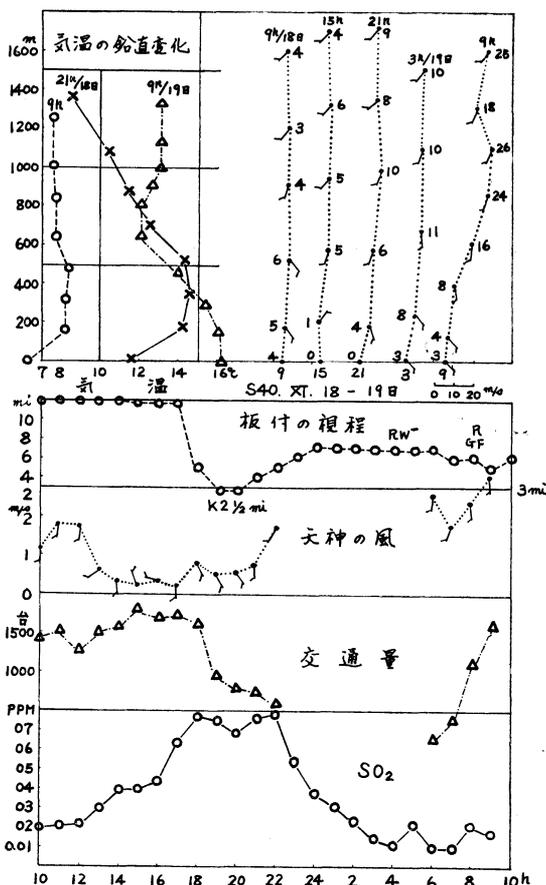
第7-2図 朝の低い霧(左列, 例6月)朝の煙霧(中列, 例11月)夕なぎ時の煙霧(右列, 例11月)のそれぞれの発生機構と時刻別接地逆転層の構造等の模図(風速はノット単位)

たころでもまだ福岡市板付では陸風が吹き続けている傾向にある。このため板付は第6-2図等での朝なぎの時刻が他の地に比べておそい傾向にある。

(4) 煙霧, 煙による朝の悪視程の発生機構

第7-1図右の月別気温日変化図のように年間を通じて日出時の直前が最低気温時であり, 4で述べた調査資料によればそのころ接地逆転は最も大きく, 春夏で2~5°C, 秋冬で5~9°Cくらいの逆転が多い。一方, 悪視程は最低気温時から春夏で2時間後の2°Cくらい気温が上昇したところに多く, 秋冬では2~3時間後の気温が3~4°C上昇したところに多い。

このことは第7-2図中列のように真夜から未明までは汚染物質の発生は少ないので煙霧等は相対的に高い逆転層の下に蓄積して煙霧層を作り, 地面近くはそれほど悪視程にならないが, 日出後地上気温が少し上昇した8~9時ごろになると接地気層が不安定になり, 煙霧層が地上まで降りてきやすくなるとともに, 工場や自動車等からの汚染粒子の排出もそのころ急増してくるので, Hewson のいう Fumigation Theory の作用も働き, いぶし型的に地面近くは最も悪視程になりやすい。このことは大牟田市における大気汚染対策の特別観測でも同様であった。そのころ板付ではまだ弱い陸風が吹いていることもあるが, これは前述したように地形的に収束した陸風の力が板付付近では長く働くので, すでに海風になっている福岡市の西部や北東部地域との間に風向のシャー線ができたり, 板付上にごく低い逆転層もできやすい。したがって, 実況によればこのようなとき板付の北や西の都心方面での視程が最悪になっている。その後接地逆転の強さをこえる地上気温の上昇があるようになると不



第7-3図 昭和40年11月18~19日の福岡市天神交差点における自動車等排気ガスのSO<sub>2</sub>量の日変化と福岡市西新の高層気象値の日変化

安定となるので対流を起し汚染粒子は上空へ拡散されるようになる。特に夏は早く不安定になるので最低気温からの時間差が短く, 小さな気温上昇のうちに最悪視程となって, その後上空へ薄れてゆき, 海風が吹くようになると水平拡散も強まるから急速に回復する。したがって暖候期は海風の3時間くらい前に山が出る。一方10~12月の候などは接地逆転が大きいから最悪視程は地上気温が5°C近くも上昇したところの海風の吹き始めの2時間くらい前に出現することが多い。

(5) 煙霧, 煙による晩の悪視程の発生機構

第7-1図における晩の悪視程は出現度数の山が高いほど陸風の吹き始めの時刻に近いときに現われている。また, 福岡市内中心部での自動車等の交通量とSO<sub>2</sub>量等の測定結果について調べてみると第7-3図等のように,

市中の交通量は18時すぎから急速に減少するがSO<sub>2</sub>はそのころから急増し、板付の視程もSO<sub>2</sub>の最高時ごろに最も悪くなる。そして、22時ごろから陸風が吹き始め、特に上空の風が強まり始めるとともにSO<sub>2</sub>量も急速に減少している。

したがって、第7-2図右列のように日没ごろには気温が急速に低下するが、海風が吹いている間はそれによる水平拡散が働く。夕なぎになると水平拡散はきかなくなり、そのころ低い接地逆転層もでき始めるから地表近くの汚染は急速に進行する。そして、陸風が吹き始めるまでの静穏時間が長いほど汚染粒子は多量に蓄積し、視程はそれだけ悪くなるので、悪視程ほど夕なぎが長いときの陸風吹き始めの直前に出やすい結果となる。ついで陸風が吹き始めると、それによる水平拡散等のために視程は回復しやすく、第7-1図のように夜半から未明になるにつれ悪視程は減少するものと考えられる。

### 8. 低い霧による悪視程の発生機構

第1図と第5図および発生時刻等の統計<sup>1)</sup>によれば低い霧は5～6月の好天の日における朝の最低気温時の1～2時間後で、朝なぎになる2～3時間前のまだ陸風が弱く吹いているところに多い。そして、当然のことながら露点差の小さいときほど出現率が高い<sup>1)</sup>。すなわち、弱い陸風のころにはごく低い接地逆転があり、その上は沈降性で乾燥しているので、第7-2図左列の特性曲線のようにごく地面近くだけが飽和に達しやすい。したがって、低い霧は最低気温の直後の陸風系の風が弱いときに現われやすく、地上気温の上昇とともに急速に薄れていく。このため、低い霧は朝の煙霧による悪視程よりも1～2時間早く現われやすく、気温上昇とともに薄れ、海風とともに消える<sup>1)</sup>から長続きしない。

### 9. 霧による悪視程の発生機構

#### (1) 霧による悪視程と地上の風向、風速

霧による悪視程の階級別にその時の風配図を作り、平均風速と静穏の出現率を求めると<sup>1)</sup>、3～5哩では圧倒的に北西象限の風の時に多く、その平均風速は3.7KTで静穏の時が31%ある。2～2½哩と1～1¼哩および1哩未満ではおおむね北西象限の風と南東象限の風の度数が同じくらいあるが、その平均風速はそれぞれ2.0KT, 2.0KT, 1.3KTと弱くなり、静穏の出現率もそれぞれ43%, 44%, 61%と悪視程のときほど多くなる。すなわち、地面近くで北西の風の時霧が発生し視程が悪くなり始め、その風が弱まって静穏ぐらいになるとともに最悪視程になっていき、その後北西風が強まって

くと薄れていく機構が推定させる。

#### (2) 下層風向の鉛直シャーとの関係

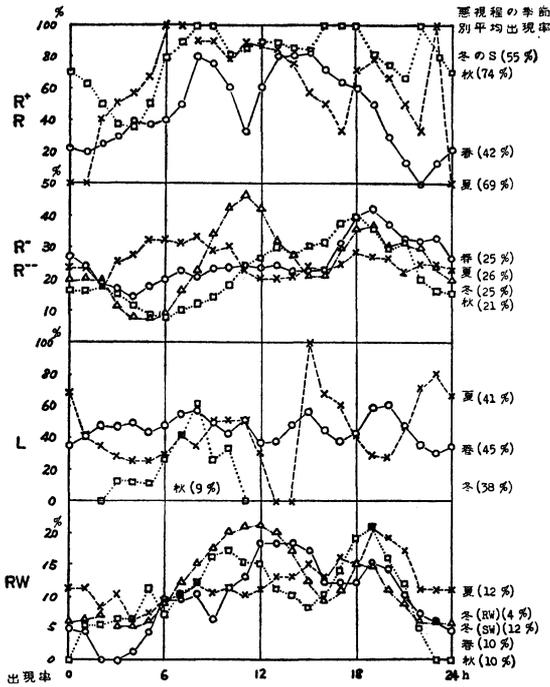
福岡の5年間の高層風観測原簿から約2000mまでの下層の約6層における風向をとり、おおむね500mを境としてその下層と上層の代表風向を4象限別に分類して組合せを作り、どのような風向の鉛直シャーのとき霧または雨に霧を伴った悪視程が発生しやすいかを検討した<sup>1)</sup>。すると下層が北より、その上が南よりの前線面的風向シャー層のとき雨と霧による悪視程が69%発生し、霧のみによる悪視程が59%、下層もその上も北よりの場合が雨と霧による場合の8%のみであった。一方下も上も南の場合および下だけ南の場合も雨と霧で24%、霧だけの場合で41%あるが、その南風は前述のようにおおむね1m/s以下であるから、ごく弱い陸風傾向のときに低い霧と同様な機構が働いて霧が発生するか、または低い霧の背が高くなって霧になる場合もかなりあることを示す。

#### (3) 霧の発生機構

上記の外、第1図から霧による悪視程の日変化は雨のそれに類似し、雨より1～2時間早く、朝の方が多い。第2図から地上風が北西象限のとき多く、上層は南西象限の風で前線面的シャーがあるときに多い。第3図から風速の鉛直シャーが500～1000m層で大きい。日中の霧による悪視程の場合は前線が南九州付近にある場合が多い<sup>1)</sup>。第5図から霧も下層の前線性逆転も4～6月に多い。

以上の資料等から霧の発生は低気圧の接近に伴う温暖前線面か九州南岸の停滞前線による前線面が板付上空の低層にできているときで、下層には対馬暖流上を吹送してきた湿潤にして海塩粒子等の吸湿性凝結核の多い相対的寒冷気が入り、その上には気圧の谷の前面での南西流による暖湿気が滑走上昇して暖かい雨を作り、その相対的に暖い雨が下層の湿潤にして冷い気層中を落下するときの蒸発冷却による場合が多いと考察される。

したがって、霧による悪視程は一般に前線面の傾斜がゆるいので、相対的に弱い雨に伴うことが多く、また、雨足は地上に達しえないが接地気層はかなり高湿になっているような降雨の前後に発生しやすい。すなわち、地上湿度の高いこと風の弱いことも条件であるから朝の気温が最も下ったころの陸風の弱いときに発生しやすく、気温上昇とともに消失しやすい。このため、板付は放射霧か雨霧が多く、南西方向には東西に伸びる脊振山脈があるから移流霧は少なく、日中も霧が存続することは少



第8-1図 季節別、降水現象別、強度別、視程3哩未満の出現率の年変化

ない。

### 10. 雨による悪視程の発生機構

(1) 第8-1図のようにしゅう雨、霧雨、弱い雨、強い雨に分けて季節別の3哩未満の出現率日変化を比較すると、出現度数の多いしゅう雨や弱い雨では日変化が顕著で各季節とも19時ごろの山が目立ち、少ない時刻の5倍くらいの出現率である。平均的には各季節ともしゅう雨が10~12%、弱い雨で25%前後、霧雨で40%前後、強い雨で50~70%も3哩未満の悪視程が出現する。

(2) 気温、風速、降雨強度、降雨回数、降水量の日変化と3哩未満の出現回数および出現率の日変化比較

第8-2図のように雨による悪視程はどの気象要素との関係が深いかを累年統計値により検討すると、各季節とも雨による3哩未満は19時ごろに発生しやすい。それに対して地上気温は13~14時に最高が現われ、最大風速は14~15時に現われる。そして降水量は各季節とも最高気温の3時間後の17時ごろが午後の最大で、降雨強度は春は16時、夏は17時、秋と冬は15時ごろに最強となっている。このことを強い雨は対流性の厚い雲からのみ降り、その雲頂気温が氷点下20°Cくらいになっているか、または過冷却水滴の雲層が3000m以上の厚さをもつ必要が

あるためだと仮定すると、福岡での5年平均高度別気温により冬で雲頂が4000m、春は5~7000m、夏は8000m以上に成長すれば強雨が降ることになる。そうすると、夏の雲は冬の雲の約2倍の高さがあるから、その上昇および降水粒子落下に要する時間も約2倍かかり、最も不安定となる13時ころに上昇気流となってできた雲から冬は15時ごろ、夏は17時ごろに最強雨が降りやすいことになって、第8-2図の降雨強度の季節別最強時刻の差異が説明できる。

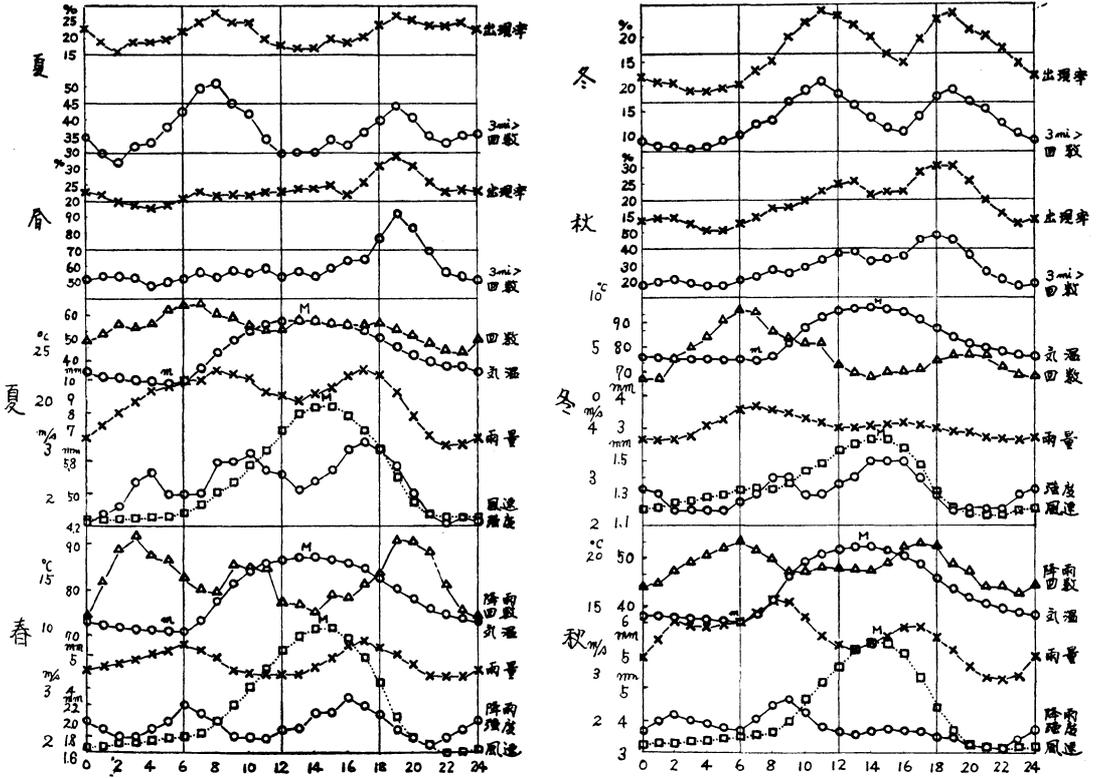
一方降雨回数は春が19時、夏は18時、秋は17時、冬は20時ごろに最も多い。そして第5図から雨による3哩未満は4~6月と冬に多い。

(3) 夕刻ごろに雨による悪視程が起りやすい機構

第8-2図から雨による3哩未満は降雨回数の多い19時ごろに各季節とも出現率が高く、その出現の多い春にその傾向が特に顕著である。

これらのことから下層大気は地上気温が最高となる13~14時ごろに最も不安定となり、上昇気流はそのころ最も強まる。それらによる海風としてはそれより約1時間おくれて14~15時ごろ最強となり、海陸風特別観測の結果によればそのころその海風の厚さもおおむね最高となる。これらによる対流雲での平均上昇速度が2m/sだとすると夏の8km以上の雲頂まで上昇するのに1時間以上かかる。その雲頂から氷晶が0.5m/sで落下するとして4km落下するのに約2時間かかり、その後雨滴に成長してからは30分前後で落下するとしても全体では3~4時間かかり、13~14時ごろの強い上昇気流が16~17時ごろ強い対流性の雨を降らせやすいことになる。(なお、強い雨ほどその最強時刻がおそくなる傾向があるので、強雨ほど雲頂が高いか、成長に時間がかかると考えられる。)冬は雲頂が4kmくらいなので、同じ速度として上昇と降水粒子の落下の合計で2時間前後で済むから冬の降雨強度の最大は第8-2図のように15時前後になることになる。

しかし、その15~17時ごろの強雨の降りやすいころは地上気温がまだかなり高く、したがって湿度はかなり低いから、大雨滴でない地上に到達しにくい。すなわち、雨滴が小さいと地上まで到達せず、雨足程度で蒸発するから、降雨回数としては地上から雲下までの湿度が十分高くなった夕刻になってからの方が多くなりやすいことになる。ただし、余りおそくなると午後不安定によってできた雲の含水量は減少し、陸風が吹き始めるとそれによる接地気層の相対的発散に伴って、その上空で



第8-2図 福岡における季節別による累年平均雨量，降雨強度，降雨回数，気温，風速の各日変化と板付における3哩未満の悪視程出現回数，出現率の日変化との比較

は沈降作用も働くから，雨雲は薄くなるか消失しやすい。このため，午後の上昇気流による雲からの降水回数は夕刻から夕なぎごろに多いこととなり，そのころ地上風は弱く湿度は高くなっているから，雨による悪視程もそのころ多くなりやすいものと考えられる。なお冬の11時ごろの高い悪視程出現率は雪の節で述べた発生機構が考えられ，夏の朝の3哩未満の高い出現率は霧の節で述べたと同じ機構が雨についても推定される。

これらの調査には中尾陽子嬢の多くの協力を受けた。記して謝意を表する。

文献

- 1) 山田三朗，1969；悪視程の量的予報法と解説方法並びに一般予報における時系列予報に対する検討，福岡管区技術通信，15—1，1—33。
- 2) 椎葉盛澄，1967；板付飛行場における海陸風について，福岡管区研究会誌，28，194—198。
- 3) 福岡航空測候所，1967；福岡空港の気象特性，福岡管区要報，23，53—94。
- 4) 山田三朗，1968；九州における大気構造と雲の性質，天気，15，383—390。