

# 日本の空の星のまたたき

下 保 茂\*

## 1. はじめに

星のまたたきは大気に原因する星の光の強さの短時間の消長の意であるが、天文学上のシンチレーションと同じ意味に使われることが多い。シンチレーションには、星の光の消長のほかに、高い周波数のシンチレーションの重なりによる星像のふくらみや、位置の変動(dancing)もふくまれるが、ここではそれらをふくめたものとして話を進める。

シンチレーションは空の透明度とともに、天体観測の成否を左右する重要な条件である。殊に長焦点望遠鏡や高倍率を使う観測では、それだけシンチレーションが拡大されるので、観測者のなやみの種である。本文は日本の空のシンチレーションに関する問題の中で、第一次的の広域での大勢の調査についての予備的な報告である。

## 2. 星像の大きさとシンチレーション

写真乾板上での星像の大きさは、光学器械に関する回折、屈折、散乱、写真乾板、乳剤層の散乱や現像核の生長などのいわゆる光滲とよばれる効果などの総合であるが、特に長焦点写真望遠鏡における、暗い星の像の大きさは、シンチレーションの影響が大きい。

星像の直径と星の等級との関係式としてよく知られる。

$$m = m_0 + c\sqrt{d}$$

はグリニジの写真天図カタログから導いたものである。この中で  $m_0$  および  $c$  は、与えられた乾板では一定、 $d$  は星像直径である。F. E. Ross はこの式をしらべて、淡い星像ではこの式はあてはまらない。最小の直径はゼロにはならず、30~50 ミクロンになる。そして

$$m = m_0 + c\sqrt{d+h}$$

の式がより実情にあうとした。この式の  $h$  は、長焦点カメラ特に焦点距離3m以上の場合には、ほとんどシンチレーションによるものと考えられる。以下に述べるのは、長焦点カメラの写真乾板上で、極限等級よりわずかに明るい星像、主としてシンチレーションによって大きさのきまる程度の濃さの星像(以下これをシンチレーション像とよぶ)の直径を測定して、各地のシンチレーションの相対的変化を統計的に知ろうと試みた。

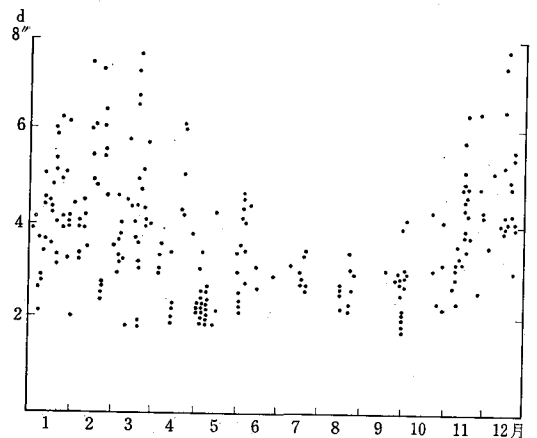
## 3. 堂平・三鷹・岡山におけるシンチレーションの季節的变化

堂平観測所の91cm反射鏡の主焦点(焦点距離  $f=4.6$  m)、三鷹の東京天文台の65cm屈折( $f=10.2$  m)、岡山天体物理観測所の188cm反射( $f=9.1$  m)で得られたシンチレーション像を多数の乾板について測定した。

測定は手軽にかつ迅速にできる便宜上、三鷹のプリンクコンパレーターの接眼鏡付属のマイクロメーターで読みとった。原板のスケールは91cmが45"/mm、65cmが20"/mm、188cmが23"/mmで、マイクロメーターの読みによる長さをこれにより角度の秒に直した。使用した乾板は筆者の得た乾板の外に、堂平91cmは冨田氏、三鷹65cmは1930~40年撮影のエロスの乾板および畑中至純氏のもの、岡山188cmは松波、清川、冨田氏ら撮影の乾板を使用させてもらった。

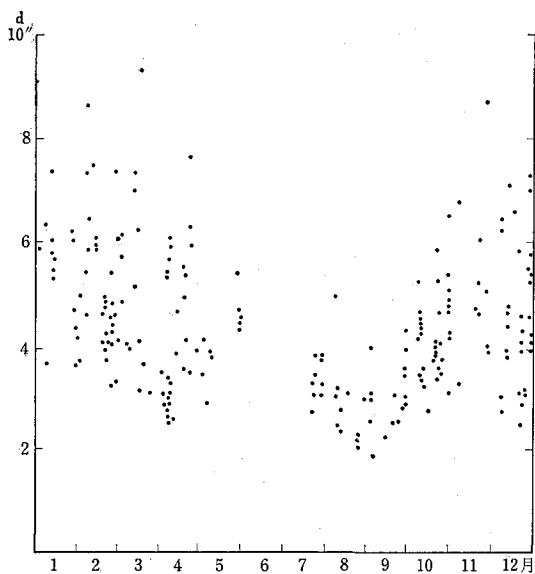
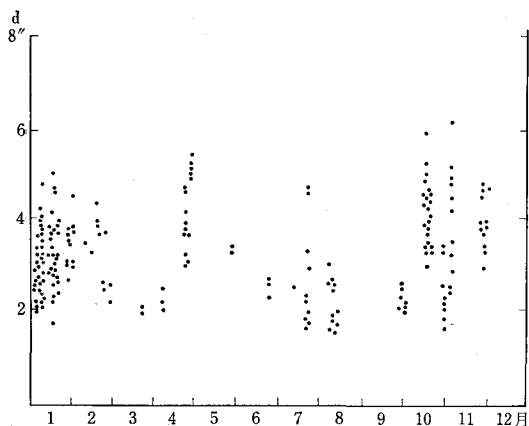
1枚の乾板上の中央付近に、濃度の適当なシンチレーション星像を5~6個選び、その直径を測定して平均したものを一つの点として、その直径  $d$  を各月に対してプロットしたものが第1、2、3図である。第1図は堂平、第2図は三鷹、第3図は岡山に関するもので、乾板の撮影年代は堂平(1963~67年)、三鷹(1930~68年)、岡山(1961~68年)である。乾板にはあまり長い露出時間のもの、および天頂距離65°以上のものはふくまれていない。これらの星像はガイディングエラーや、大気差や地平近くの拡散によって、星像が大きくなると考えられるからである。

これら3枚の図は、三個所におけるシンチレーションの大勢を示しているものと考えられるが、くらべて見てすぐ気がつくことは、堂平と三鷹は傾向がよく似ている



第1図 堂平における星像直径( $d$ )の季節変化

\* 東京天文台

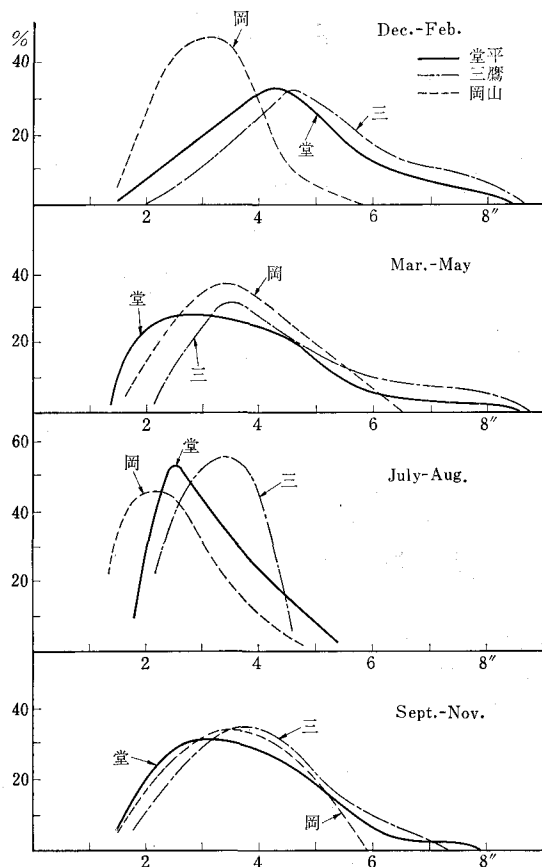
第2図 三鷹における星像直径 ( $d$ ) の季節変化第3図 岡山における星像直径 ( $d$ ) の季節変化

が、岡山は全然ちがうということである。堂平、三鷹ともに冬期はシンチレーション大、夏期は小、春秋はその中間である。なおよく見ると堂平、三鷹の二箇所では、12、2、3月は大で、1月はそれより幾分シンチレーションが小さい傾向がある。

堂平と三鷹でちがっている点では、堂平の方が、ここでの星像最良の $2''$ の日が、四季を通じて見られるのに反し、三鷹では夏期には $2''$ の日があるのに、冬期は全然ないことである。また堂平の結果について、各年ごとに別々の図を書いて見たが、年による特別な傾向の違いは認められなかった。

一方岡山では季節的变化はほとんど見られない。夏冬を通じて星像は $1''5$ から $6''$ の間に入る。

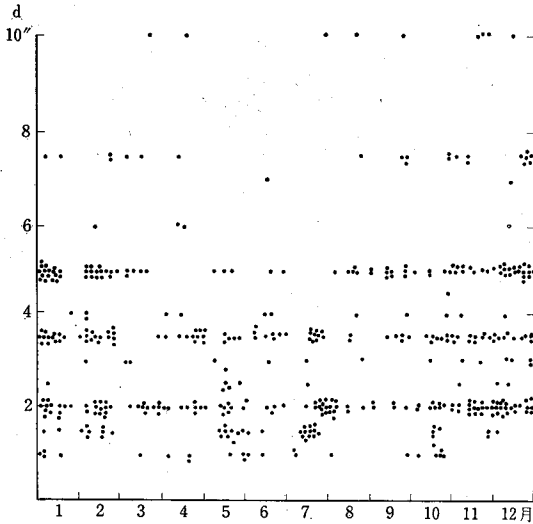
これら三箇所各月の星像の大きさについて、季節ご



第4図 堂平、三鷹、岡山の季節ごとの星像直径の頻度とにまとめて頻度 (%) を求めたものが第4図である。この図の上は12、1、2月の冬季、中は3、4、5月の春季、下は7、8月の夏季についてである。この季節区分は実際はあまりよくない。3月はむしろシンチレーションとしては冬に入れた方がよいのだが、以前に行なった188 cm 試験観測結果(第6図)との比較のために、同じ区分を採用したのである。

#### 4. クーデ分光器スリットでの星像

岡山では1966年6月以降クーデ分光器(合成焦点距離54 m)の観測者がスリット上での星像の大きさを目測し、何秒というような記録を残している。これらの記録のうち、別に記録してある天気項の快晴とある日のものに限り、ぬき出して第1—3図と同じ形式でプロットしたものが第5図である。第5図と第1—3図とをくらべて見ると、第5図の方が直径の分散が $1''\sim 10''$ と大きい。これはクーデスリットが実視であるため、星像の詳細、dancing などを見ているためと思われる。一方写真はこまかい動揺を平均するために $d$ が小さく出るものと思われる。また第5図では、5~7月に幾分 $d$ が小さいような季節的变化が見られなくはないが、全般として



第5図 岡山クーデスリットの星像直径 (d)

第3図同様季節的变化は小さい。

別に晴天が3夜以上中断されることなく続いた場合について、星像が次第に小さくなるか、または大きくなるかの傾向を調査した。17回のうち、

星像がしだいに减小	8
星像不変か傾向わからぬ	9
星像しだいに増大	0

これはわれわれが今まで漠然と感じていた、シンチレーションはお天気の良いはじめに悪く、曇る前に良いという観測経験を裏書きするものである。

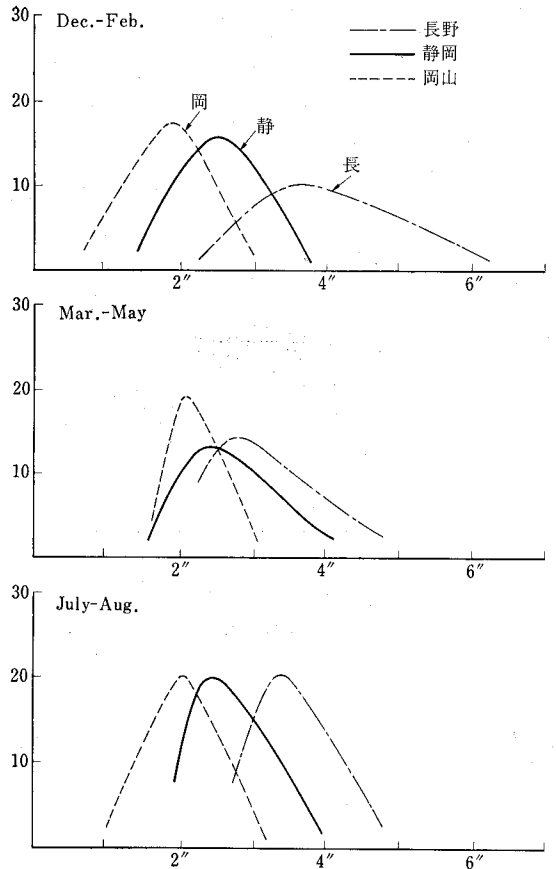
5. 188 センチ試験観測結果との比較

188 センチ設置場所選定のための試験観測は1954年12月より、約1カ年間、長野、静岡、岡山の三県下で行なわれた(本誌第49巻8月号参照)。使用器械は口径10cm、焦点距離1.5mの屈折望遠鏡を北極にむけて固定し、焦点面で乾板を一定方向に1分間80mmの速さで動かして、北極星を撮影した。シンチレーションのために星の像はジグザグの線状にうつる。このジグザグの線の直線からのずれを測定し、これを角度の秒に直したものを、三個所について三つの季節の頻度(回数)で示したものが第6図である。

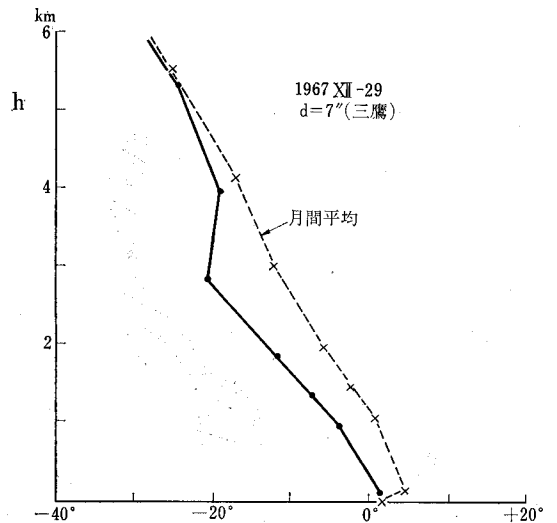
第4図と第6図とでは測定方法も異なり、測定年代もちがうので、そのままではくらべることはできないが、シンチレーションに関する一つのデータにはなるであろう。

6. シンチレーションと上層大気

このように星像が極度にふくらんで、シンチレーションが大きい時、大気中では何が起っているのだろうか。第7図は三鷹で星像が7"と大きな値のときの1967年12月29日に、三鷹の北東約70kmの地点にある茨城県館野の高層気象台での21時観測の高層の気温である。



第6図 188 センチ試験観測の星像の頻度

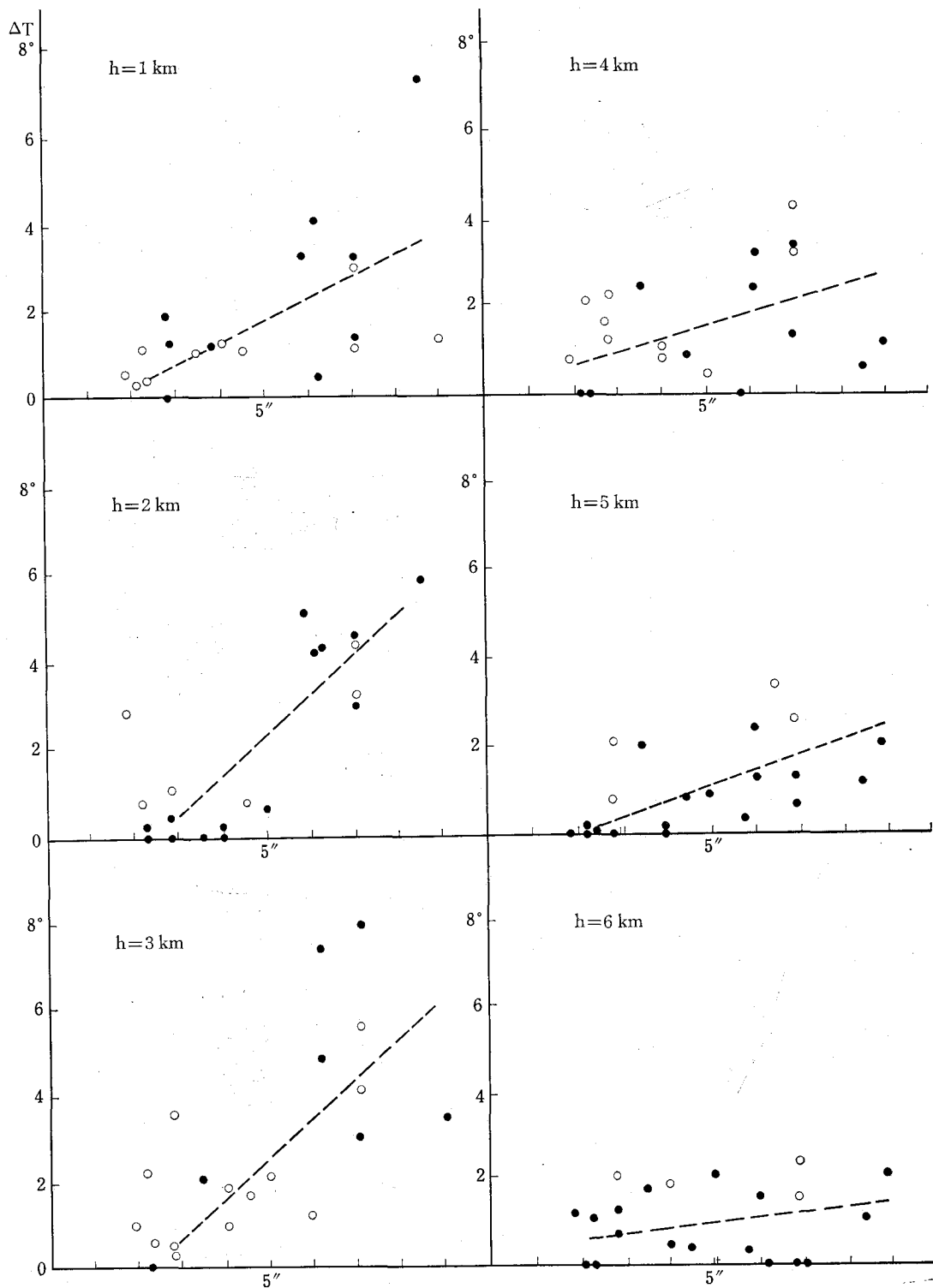


第7図 1967年12月29日館野の高層温度

縦軸に地上よりの高さ、横軸に気温をとって実線で示したのがそれで、点線はこの年の12月の21時の月間の平均値である。

この図で 6 km はより上は省いてあるが、この日の観測値は 6~10 km の間は月間平均とよく合っている。4 km 以下では月間平均よりずっと冷たくなっており、殊

に 3 km の辺にはふだんよりも  $10^\circ$  以上も寒冷な空気層が入りこんで、逆転層を形成していることが、一見してわかる。他のシンチレーションの大きい日についても、



第8図 堂平一館野の星像と  $\Delta T$  の相関

高層の温度を調べて見ると、このような逆転層が見られることが多い。

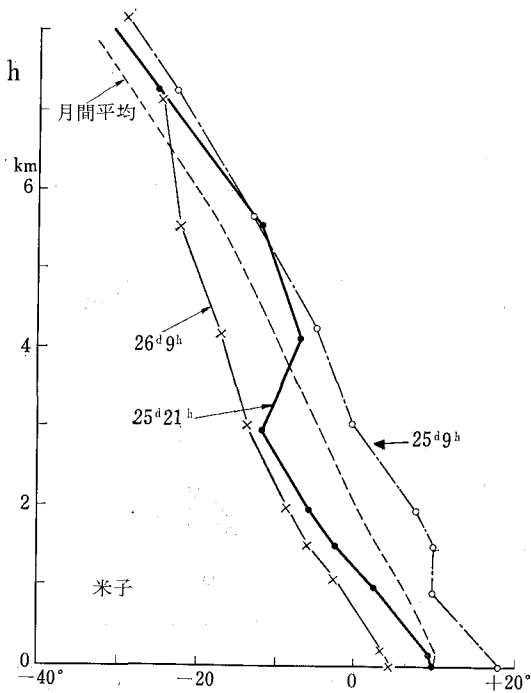
一方シンチレーションの小さい日には、このような逆転層は見られず、月間平均のカーブに沿うような、なめらかな曲線をえがくことが多い。

7. 大気異常層の高さ

このようなシンチレーションの原因となる大気逆転層乃至異常層の高さを知るために、高層のデータと星像直径との関係をしらべた。第8図は横軸に堂平における星像直径を角度の秒で、縦軸に館野での高層の気温を1kmおきに  $h=1\text{km}$  より  $6\text{km}$  まで、月間平均値との平行の、なめらかな曲線よりのずれ  $\Delta T$  を読みとってプロットした。この図で明かなように  $d$  と  $\Delta T$  の関連性は、 $2\sim 3\text{km}$  のあたりで最大となっている。図の黒丸は、気温が平均より低すぎ、白丸は高すぎであることを示す。

このような図を三鷹—館野、岡山—米子に関して描いても、ほとんど堂平—館野と同様な傾向が見られる。

このことからシンチレーションの大きい日は、上空  $2\sim 3\text{km}$  あたりに温度異常層がある場合が多いことがわかる。気象的に見ると、このような異常層、逆転層は比較的安定しており、その上端および下端の境界面付近で乱流がおり、そこがシンチレーションの原因となると考えた方がよいであろう。



第9図 米子における1966年11月25日前後の上層気温

シンチレーションの大きい日について第7図と同様な図を描き、その曲線の上で、温度異常の最大値をとる高さを読みとり、これを平均したものは、

- 三鷹, 7日の平均                    3 km
- 堂平, 8日の平均                    2.6 km
- 岡山, 11日の平均                   2.6 km

シンチレーションの原因となる気温異常層の平均の高さとして、上の値をその一つとして採用してよいと思う。

実際は採用した高層気象の観測地と星像観測地との間には、三鷹—館野は  $70\text{ km}$ 、堂平—館野は  $85\text{ km}$ 、岡山—米子は  $95\text{ km}$  とそれぞれ  $100\text{ km}$  近い距離があるので、それらの地域差がきいてくるものと思われる。また  $1\text{ km}$  以下の空気層の異常もシンチレーションの原因となり得ると思われる。低高度の気温の垂直分布の観測は、近時非常にくわしく調べられるようになったが、このあたりの異常はローカルなるものが多く入りこみ、われわれの観測と関連づけるのは無理が多いので、統計資料としては使わなかった。

上層  $8\sim 10\text{ km}$  のあたりにも、寒冷または温暖な空気層が形成されることがあり、これらはシンチレーションの大きいときにも、小さい時にも見られる。この辺には  $2\sim 3\text{ km}$  にあるような逆転層を作ることはない。

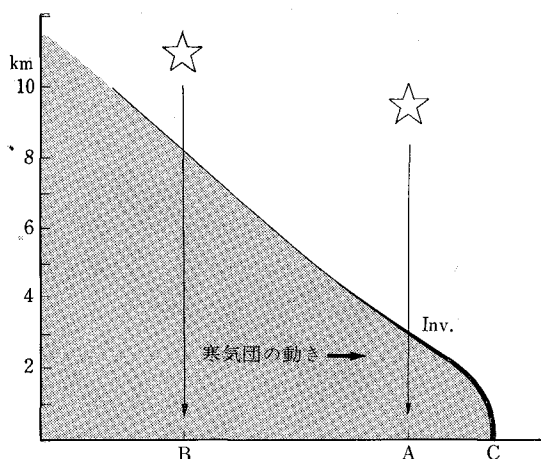
8. 大気異常層の変遷とひろがり

ここに一つの例として、シンチレーションの極めて大きかった 1966年11月25日の、大気異常層の時間的変化、および地上でのひろがりをたどって見よう。第9図のふい実線は同日 21時 (J.S.T.)、米子での上層気温の観測である。この時の岡山でのクレーの星像の大きさは  $10''$  であった。この前後のクレーの星像の大きさは第1表の通りである。この表と第9図とを見くらべて見ると、 $3\text{ km}$  あたりの大気逆転層と、シンチレーションの関係が大変よくわかる。

25日 9時、米子上層の気温は、地上より  $10\text{ km}$  以上まで、月間平均より数度高い状態である。前日の 24日 21時も同様であった。この時はシンチレーションは幾分大きい、 $5''$  のていどであった。25日のうちに  $3\text{ km}$  以下に今までより  $10$  数度も低い寒気流が流れこみ、 $3\sim$

第1表 クレー焦点の星像の大きさ

1966 年		星像の大きさ
XI 月 24 日	20 時	$5''$
	25	10
	23—27	10
	29	5
26	21—24	3.5
	25—30	2



第10図 大気異常層とシンチレーションの関係の説明図

4 km の間に逆転層ができて、25日20時、岡山の星像は10" にふくらんだ。やがて29時、星像は5" に回復したが、これは4 km 以上にも寒気流が入ってきて、3 km 付近の逆転層がかなり解消したことを物語っている。事実26日9時の米子の観測では、6 km ぐらいまで冷えた状態で、かなり平滑化されている。

26日21時の高層気温の曲線は、26日9時にかなり近いが、より平滑化され、かつ月間平均に近づいている。この26日夜のクーデ星像は3'5より2" と、きわめてよくなっている。これは25日を中心として逆転層の時間的経過であるが、他の場合もほぼ似たような経過をたどるものが多い。

この日日本の他の場所での寒気団襲来の様子を見ると、秋田では地上から7 km までが、25日21時より26日9時までの間に10° 以上下った。逆転層は見られないが、この間の時間に起ったものと思われる。輪島では25日21時、4 km 辺に小規模の逆転層が見られ、下関では米子より12時間おくれ、26日9時1.5 km に逆転層が見られる。館野では26日9時4 km 層と1.5 km 層の二個所に逆転層が見られ、関東地方の空の複雑さを暗示している。

このようなシベリア寒気団の張出しによる高層の気温逆転層は、数百 km のひろがりを持ち、若干の時間的ずれをもって日本各地の上空に到達する。

### 9. 広域的なシンチレーションと地域性

この日11月25日夜の地上の天気図を見ると、日本列島孤にはほぼ平行して走っていた不連続線が東に移動し、西から高気圧が張り出してきて、初冬の季節風が吹き出してきた時である。3 km 上空の等温線図では、シベリア寒気団から舌状に日本列島に等温線が下ってきている。このような時の立体的な断面を模型的に描いたもの

が第10図で、寒気団の動きをふとい矢印とすると、Inv. の付近に逆転層が形成され、それを通ってくるA点でのシンチレーションはきわめて大きい。B点になると逆転層はかきまぜられてなくなり、シンチレーションもかなり小さくなる。C点付近は不連続線の部分で、天候不良のため星は見えない。

このことは先に述べた快晴が3日以上つづいた時、後になるほど星像が良くなる観測事実の説明になると考えられる。寒気団の先頭が、ひとしく日本全域を蔽うような形してくるのに、関東地方の冬季に特にシンチレーションが大きいのは、一つは寒気団がきた時、日本海側は曇って観測がないのに、太平洋側は晴れていることと、関東地方が西北方に高い山をひかえて谷間のようになり、一たん逆転層とそれに伴う乱流ができると、かきまぜられることなく長時間残っていること、あるいは地域的な乱流ができやすい、という地域性のためと思われる。

高山の大気上層に及ぼす影響は、孤立した山ではさほどではないが、山脈の場合は高さの10倍近くまでにも及ぶとのことである。

### 10. シンチレーション予測の可能性

シンチレーションの予測は、ここでは地域的な特性を知ることと、時間的な変動の予知との二つをわけて考えよう。ある土地での時間的な変動の予測のためには、一つの材料は、前の章でのべた上層大気異常層の存在であり、もう一つの材料は地域的な特性である。

地域的な特性は少なくとも三つの段階にわけて考える必要がある。一つは数百 km のひろがりのシンチレーションの大勢で、これは、地上2~3 km の大気異常層に着目すれば、高層観測所の近傍では少なくとも季節的な変化までではつかまえられる。

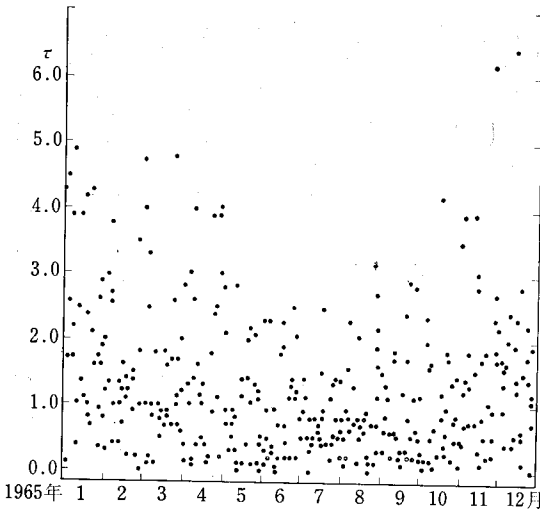
最もせまい地域性、観測点のごく近くの地物に原因するシンチレーションも、ばかにならないが、これは測定や実験から大略のオーダーの推定は可能である。

筆者に次のような経験がある。188センチ試験観測のため、静岡県の高さ1000 m の山の中で夜半望遠鏡で星像を見ていて、天頂付近では良い星像なのに、ちょっと高度を下げると、ものすごいシンチレーションである。気がつくとはこれは杉の木立の梢から立のぼるかげろうのためであった。日没後5、6時間もたったのに、こんなことがあるとは、予想外であった。

これら広域と、狭い地域性との中間、数10 km ていどの範囲の地形によるシンチレーションの特殊性は、もっともつかまえにくいものとして残るであろう。

いまここに最初にのべたシンチレーションの広域特殊性を知る手段として次のような一つの試みを行なった。

異常層の一つの目安として、ここに3 km と4 km との温度差を使った。これは第8図でもわかるように、シン



第 11 図 1965年館野の τ のばらつき

チレーションと温度差の相関は、3 km と 4 km を境に、ぐっとわるくなる。それで毎日 21 時の 3 km 上空の気温  $T_{3km}$  と 4 km の気温  $T_{4km}$  の差

$$\Delta t = T_{3km} - T_{4km}$$

$\overline{\Delta t}$  を  $\Delta t$  の月間平均値として

$$\tau = \Delta t - \overline{\Delta t}$$

のような  $\tau$  を求める。τ は 3 km と 4 km での温度差の月間平均値からのばらつきで、このあたりに気温異常層があれば、τ は大きな値をとる。

第 11 図は 1965年の館野の 21 時の τ の絶対値の各月の値である。ばらつきであるから小さい値のところは考えないで、大きな値だけに目をつけると、これは三鷹或いは堂平の星像の大きさの季節変化(第 1, 2 図)とほとんど相似のものが得られた。これをもって館野のシンチレーションの傾向を知る一つの目安と考えることができる。これは 1 年間についてであるが、3~4 年をとればなおよいであろう。

日本には現在高層のデータを利用できるのは、稚内、根室、札幌、秋田、仙台、輪島、館野、八丈島、米子、下関、福岡、鹿児島、名瀬などがある。それらの地点について τ の傾向をしらべて、日本におけるシンチレーションの、広域的な特殊性をつかみたいと思っている。

また星像によるシンチレーションから、大気逆転層存在の推定という逆の使いかたもあり得るということを付言しておこう。

最後に貴重な御教示をいただき、また資料閲覧の便宜をはかっていただいた気象庁の根本順吉氏と、本稿の資料となった多くの写真乾板をお貸しいただいた東京天文台の諸氏に感謝の意を表する。

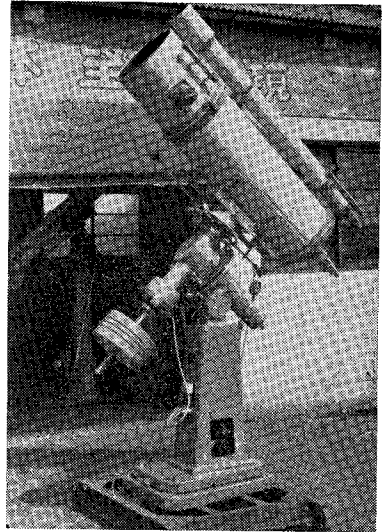
## 西村製の反射望遠鏡

- 30cm “A” カセグレン・ニュートン兼用  
10cm 屈折望遠鏡 (f/15)
- “B” カセグレン焦点  
15cm 屈折望遠鏡 (f/12)
- 40cm “A” カセグレン・ニュートン兼用  
15cm 屈折望遠鏡 (f/15)
- “B” カセグレン焦点  
20cm 屈折望遠鏡 (f/12)

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27  
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用