

日射量に及ぼす大気汚染の影響 (第1報)*

藤 本 文 彦**

まえがき

大都会の大気汚染は大気をつき抜けて地表に達する日射に影響を与える。東京では冬の風の弱い晴れた日に淡い色調の青空を背景に太陽が橙色を帯びて見えることがよくあるがそのような時日射計の記録を見ると、値が小さいのみでなく複雑な変動を示す。一方風が相当強い良く晴れた日は空の青さも濃く、体感する日射も強い。郊外に出ると空の色が都心と違うことはよく経験するところである。都会の人工的影響の少ない茨城県館野の高層気象台にはエプリー日射計があるが、冬のよく晴れた日の記録は東京のものと違って変動がごく小さいなだらかな曲線を書く。

館野は東京に近いので比較観測によって日射に対する人工的大気汚染の影響を調べるのに都合がよい。ここで使われる資料は IGY 中の1957年10月—12月の館野と東京のエプリー日射計による水平面日射量のほか直達日射量より算出した大気透過率と1962年の冬東京で記録した天空散乱光を参考にした。観測に使用した測器は次のようなものである。

観測種目	測器名	註
水平面日射量	エプリー日射計	米国エプリー社製。
直達日射量	銀盤日射計	記録計は横河電機の記録直流電位差計
天空散乱光	ゴルチンスキー日射計と遮蔽環	計

エプリー日射計は IGY 以来日本の気象界に持込まれたが、入射角特性、温度特性、感度とも従来用いて来たロビッチ日射計より遥かに優れている¹⁾。本論で扱うように特別積算量を問題にするときはロビッチ日射計の資料は不適當である。館野のエプリー日射計は IGY の初まる直前に東京のと同時に比較観測により器械常数を決定

* Solar Radiation under the Influence of Atmospheric Pollution.

** Fujimoto Fumihiko. 気象庁測候課
—1963年8月10日受理—

した。両方ともエプリー社で製造されたものであるから測器の諸特性はほぼ等しいと考えてよい。

東京と館野の水平面日射量の比較

問題にするのは人工的汚染による日射の減衰量であるから両地とも一日中日射が雲に遮ぎられない時を選らぶ必要がある。このような日は10月に5日、11月に8日、12月に5日計18日あった。

東京の水平面日射量の人工的減衰を示すものとして次のような数値を用いる。

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Q_1 は館野の水平面日射量日総量であり、 Q_2 は東京のものである。

館野の値は人工的影響が少ないので、自然の気象状態で示される値とみてよいので上の数値は東京の値の人工的減衰の割合を示すと考えられる。上に述べた18日の資料をこの指数に従って分類する。

- A: 指数0.02程度 3回 B: 0.05程度 2回
C: 0.1—0.2 8回 D: 0.2< 2回
E: 3回

Eは大気の混濁が甚だしく、正常な日変化をしないものである。

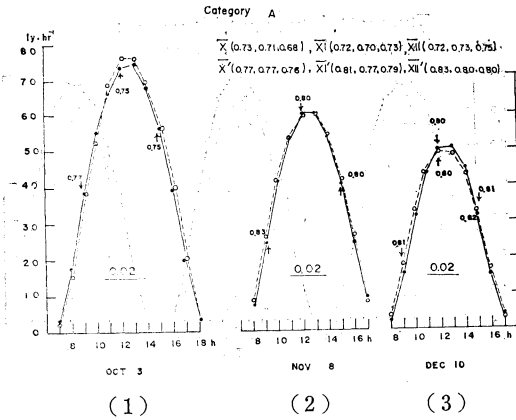
分類に使った数値の区切方は便宜上のもので重要な意味はないが、0.02なる値は日射計の器械常数を決めるときの誤差とはほぼ同じ程度のものである。0.2程度は一見して両者の差が大きいと認められるほどのものである。

Aの場合

10月3日、11月8日、12月3日の3例がある。第1図1—3に両地の毎1時間積算量を示す。

実線は東京、破線は館野のものである。縦軸は ly/hr, 横軸に地方真太陽時による毎時を示してある。これらの図を見るといずれも両者の差は少なく、ある時刻には東京の値が大きいこともある。同じ図の中に直達日射量より算出される大気透過率を書き入れてある。大気の透過率は次のようなものである。

- Z: 太陽の天頂距離, I: 直達日射量
 I_0 : 大気外日射量



第 1 図

とすると $I = I_0 \cdot A \sec Z$ なる関係がありこの場合の A を大気の透過率という。 A は 1 より小で日本の地上の観測所では 0.85 になることは少ない。 直達日射量の観測は地方真太陽時の 9, 12, 15h ころ太陽面およびその付近に雲が無い時に行なうことになっている。 東京はずっと以前から観測が行なわれて来たが、 館野では IGY になって 1957 年 12 月より行なわれたので 10 月, 11 月のものは東京観測値のみを記入してある。

以下本文の記述の簡単化のため、 10 月 3 日の 9h が 0.77, 12h が 0.75, 15h が 0.75 を X^3 (0.77, 0.75, 0.75) のようにあらわす。 欠測した場合は線をひいておく。 A の 3 例は、

- X^3 (0.77, 0.75, 0.75), XI^8 (0.83, 0.80, 0.80)
- XII^{10} (0.81, 0.80, 0.81)

である。

1954—57 年の東京における各月の透過率の平均値を月をあらわす記号の上に — を引くことにすると

- \bar{X} (0.73, 0.71, 0.68), \bar{X}^I (0.72, 0.70, 0.73)
- \bar{X}^{II} (0.72, 0.73, 0.75)

である。 また 1958—61 年の館野の各月の透過率の平均値を同様にあらわす。 ただし区別のため月の記号に ' を付する。

- \bar{X}' (0.77, 0.73, 0.76), \bar{X}'^I (0.81, 0.77, 0.79)
- \bar{X}'^{II} (0.83, 0.80, 0.81)

である。

A に属する 3 例はいずれも東京の平均透過率よりかなり大きく館野のものに近い。

館野の 12 月 10 日の透過率は、

- XII'^{10} (—, 0.80, 0.82)

で同日の東京の値とほとんど変わらない。

10 月 3 日の透過率が他の 2 例よりやや小さいが、これは大気中に含まれる水蒸気が多く、吸収された日射が多いためとして説明できる。 すなわち、館野の 9h の高層観測資料よりプレミグラムを使って可降水量を求めると

10 月 3 日: 1.38gr/cm², 11 月 8 日: 0.88

12 月 10 日: 0.60

であった。

この可降水量が東京上空に適用できるとして水蒸気量の違いによる日射の吸収の差を計算する。

Müge—Möller の式⁽²⁾

$$a(u \sec \theta) = 0.172 (u \sec \theta)^{0.303}$$

を用いる。

a は吸収された Energy で $ly \cdot min^{-1}$ であらわしたもの、 u は垂直気柱内に含まれる水蒸気を gr/cm^2 であらわしたもの。 θ は太陽の天頂距離である。 その結果は次のようになる。

sec θ	可降水量	日射の減衰量	可降水量 1.38 gr/cm ² との差
	g·cm ⁻²	ly·min ⁻¹	ly·min ⁻¹
1.68 (9h)	1.38	0.222	—
	0.88	0.194	0.028
	0.60	0.172	0.050
1.32 (12h)	1.38	0.206	—
	0.88	0.180	0.026
	0.60	0.160	0.046
2.19 (15h)	1.38	0.241	—
	0.88	0.210	0.031
	0.60	0.187	0.054

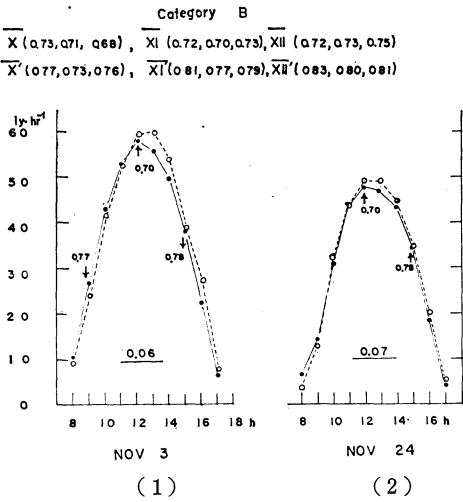
10 月 3 日の可降水量が 0.88gr/cm² のとき直達日射量に補正を施して透過率を算出すると X^3 (0.78, 0.77, 0.76) 同様に 0.60gr/cm² の場合は X^3 (0.79, 0.78, 0.76) となり他の 2 例に近い値となる。

このように銀盤日射計による直達日射量の観測より求めた大気透過率がそのまま大気汚染の程度をあらわすものではなくその月の平均値と比較して見ねばならない。 A に属する 3 例は、後述のように日射量の瞬間値は大気混濁による変動があるが、適当な時間についての積算値をとれば、その影響はあらわれない。

B の場合

11 月 3 日と 24 日がこれに当る。 第 2 図に毎 1 時間量を示す。

A の場合に比して両者の差が大きいが、差の時間的変化を見ると一日のうち相当長い間両者の差は小さくなっ



第 2 図

ている。11月3日は午前中は両者の差はごく僅かであるが、南中時少し前よりそれが大きくなり、以後両者の間に数パーセントの開きがあった。15h ころ再びその差が小さくなっている。12月24日は午前中から南中時後1時間にかけて館野の方が1割から0.5割程大きい、午後は差がちちまり15h ころ一時東京の方が少し大きくなっている。大気透過率を調べると

$\bar{X}13 (0.77, 0.70, 0.78)$, $\bar{X}124 (0.66, 0.72, 0.77)$ である。

東京における11月の平均透過率、 $\bar{X}I (0.72, 0.70, 0.73)$ に比らべると24日の9hを除いて、これより大きい、館野の平均値より数パーセント小さい。ただし透過率が0.77, 0.78と東京としては月の平均値よりかなり大きい場合に対応した日射量は館野に近い。

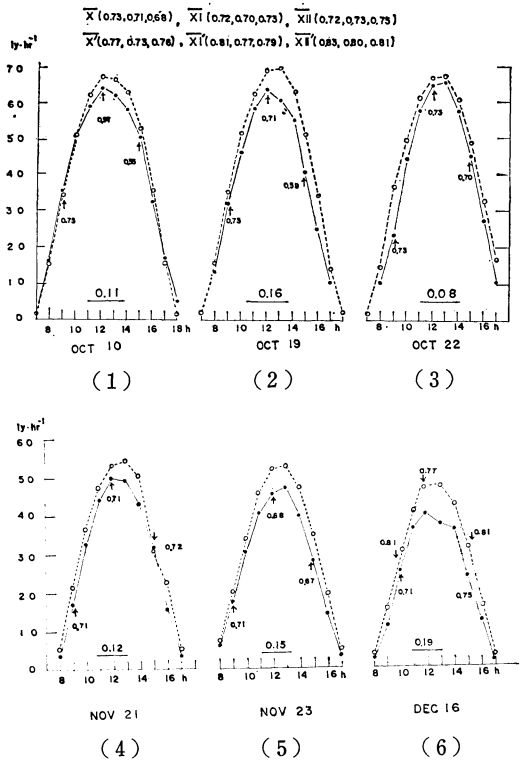
Cの場合

第3図1-6に毎1時間量を示すが、指数が0.1に近いものはBに似ている。10月10日の午前、12月24日の南中時以後共にある時間両者は等しいか、差がごく僅かである。それを除くとBに比して差が大きい。

透過率は、

$\bar{X} 10 (0.75, 0.57, 0.55)$, $\bar{X}II 24 (0.74, 0.79, 0.76)$

である。12月24日は前述の東京の12月の平均透過率に比らべるとやや大きい、館野の同日の透過率は $\bar{X}II' 24 (0.85, 0.78, 0.81)$ で9hの透過率が日本の平地の値としては最大に近いと考えられるので、午前中比較的大きな差となったが、南中時近く両地の透過率が近づくと



第 3 図

日射量の差もほとんど無くなった。

10月10日 9hの東京の透過率0.75はこの季節としては大きく10h ころまでの差はある時は東京の方が大きい、12, 15hの透過率は東京の10月の平均値より、かなり小さいのに対応して日射量の差も大きくなった。東京の午後の透過率が小さい割に、指数が比較的小さいのは午前中の差がほとんど無かったことと、気象条件により午後は館野の日射量も小さくなったためと思われるがこのことは後に触れる。

11月21, 22, 23日と10月19日, 12月16日は指数が0.12-0.19程度でいずれの例も一日中館野の日射量が多い。

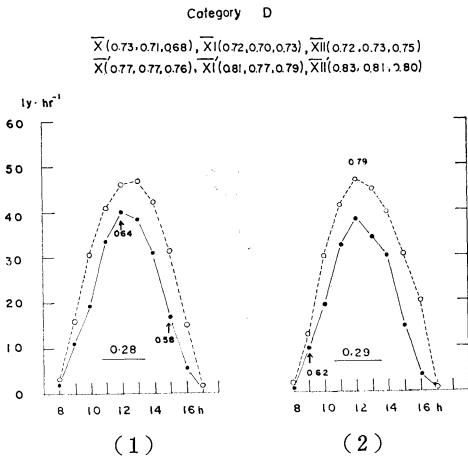
透過率は

$\bar{X}19 (0.73, 0.71, 0.59)$, $\bar{X}121 (0.71, 0.71, 0.72)$
 $\bar{X}122 (0.72, 0.73, \text{---})$, $\bar{X}123 (0.71, 0.68, 0.67)$
 $\bar{X}II 16 (0.71, \text{---}, 0.75)$

である。これらを東京の各月の平均透過率と比らべると近い値である。

平均透過率の状態で東京の日射量は館野より12~19%小さいということになる。

Dの場合



第 4 図

1日中、毎1時間積算量の相当大きな差が見られる。

透過率は

XII21 (—, 0.64, 0.58), XII27(0.62, —, —)

で平均の透過率に比べてかなり小さい。

透過率の点からいえばCの10月10日午後の方が12月21日より小さいにも拘らず、ずっと大きい指数をもつのは、冬季に入って水蒸気が少なくなり館野の日射量は吸収を受けず、相対的に大きい値を示すためであろう。東京は暖房用の燃料をたく季節で、ある気象条件で煤煙が滞留して、減光作用を起こすものらしいが、気象との関係は後にふれる。

Eの場合

雲が太陽面をおおわない時の水平面日射量は南中時を頂点として午前、午後がほぼ対称な正弦曲線に近いものを書くはずである。然しながら雲がないにもかかわらずある気象状態のもとで、大気混濁のため日射の減衰が甚だしく、正常な日変化の形がくずれることがある。第5図にそれを示す。館野の記録は、11月28日のものが13hごろ多少形がくずれていて、平常に比べると変動が大きい。他の2例はふつうの日変化をしている。東京の記録は10月14日は南中前1時間ころ、11月25日は南中時前後約2時間、11月28日は午前中がいずれも異常な減少をしている。透過率の求められたものを示すと、

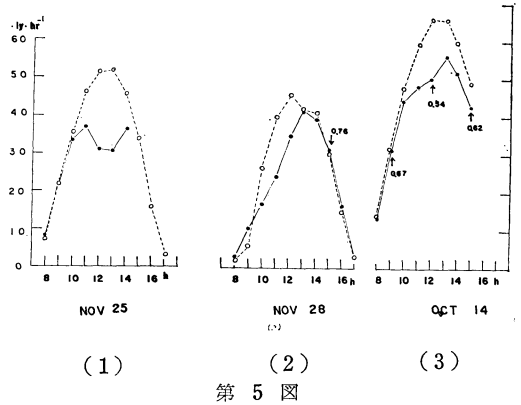
X14 (0.67, 0.54, 0.62), X128 (—, —, 0.76)

で11月25日、28日の異常減少を示している時の観測は行なわれていない。

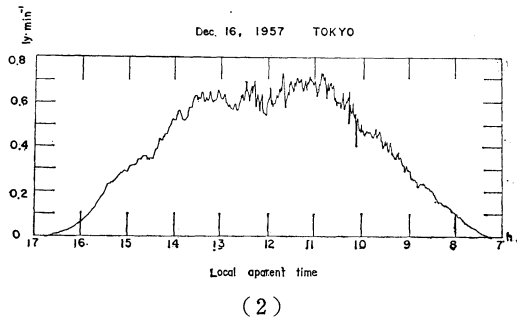
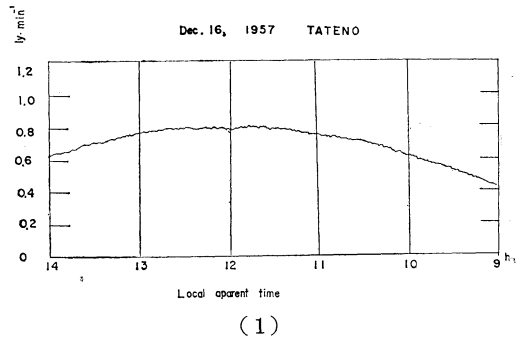
水平面日射量の変動について

12月16日の館野と東京の日射の記録を示す。

1963年10月



第 5 図



第 6 図

記録の送りの速さが東京のは 2.6cm/hr、館野のは 5cm/hr であり、またエネルギー目盛の間隔も異なるため東京の変動が鋭く、過大に見えるが、それを考慮しても東京の日射量は甚だしく変動することがわかる。

1. 変動の解析

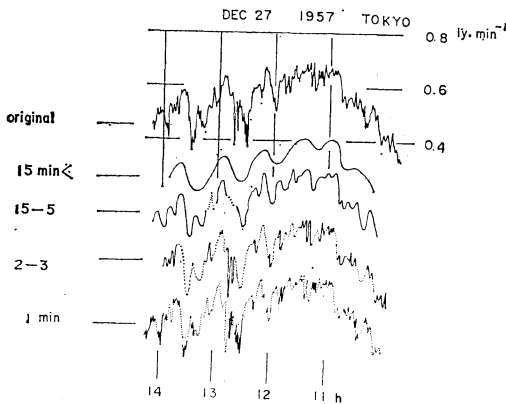
これらの変動の性質を調べるために変動を異なる週期と振巾をもった“波”の重なりと考え、個々の“波”に分けて週期と振巾を測かる。記録はいろいろの変動が重なって複雑な様相を示すが、そのうちから目測により週期性をもつものを選び出して、地震記象の検測のよ

うにして全振巾と週期を読取った。

変動が複雑で全週期を判読し難いが、半週期を辛うじて読みうる場合は2倍して週期とした。これらの変動は地震のように一定の週期をもった波の重なりではないが、外見上の類似性から、読取ったものを、

- (i) 1分程度
- (ii) 2分程度
- (iii) 5分程度
- (iv) 10分程度
- (v) 15分程度
- (vi) 15分以上

というように粗らい週期に分類して処理する。5分以上のものは±2.5分のはばがある。個々の“波”への分解は目測で行なうので多少主観的になるが、12月16日の10h—14hについて分解を行なった実例を示す。



第 7 図

日射計の入射角特性を考慮して太陽高度が余り低くない、南中時を狭んだ前後2時間を選らんで分解を行なった。10時—14時の毎1時間ごとに、読取を行なって上記(i)–(vi)の週期別に分けて読取った“波”の振巾の最大値を末尾の別表に示しておく。

空欄になっている部分はそれに該当する週期の変動が認められなかった時で振巾が $0.005\text{ly}\cdot\text{min}^{-1}$ にならぬときは 0.000 とした。

$0.005\text{ly}\cdot\text{min}^{-1}$ は採用した記録計で判別し得る最小量である。

2. 変動の性質

変動の性質を調らべるために、別表より、1時間ごとの各週期の振巾の算術平均を求めて第1表に示す。

これより変動にある規則性が認められる。

東京

	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	平均
	ly				
1 min	0.02	0.015	0.01	0.005	0.015
2-3	0.045	0.035	0.025	0.02	0.3
5	0.04	0.05	0.035	0.025	0.04
10	0.035	0.04	0.035	0.025	0.035
15	0.03	0.05	0.035	0.025	0.035
15<	0.015	0.035	0.04	0.015	0.025

館野

	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	平均
	ly				
1 min	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
2-3	0.015	0.015	0.01	0.01	0.015
5	0.015	0.015	0.01	0.015	0.015
10	0.015	0.015	0.015	0.01	0.015
15	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01
15<					

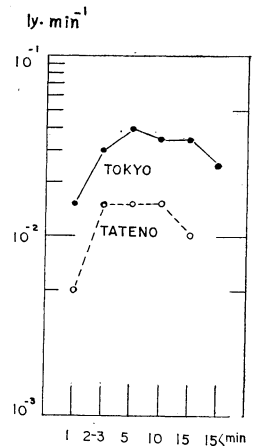
(1) 週期の性質

(i) 東京の変動の振巾は館野のものより平均して数倍大きい。

(ii) 東京では5—15分程度の変動が、館野では5—10分程度の変動が2—3分以下の短週期のものより大きい。

(iii) 1分以下の短週期の変動は両地とも長週期のものに比して1/2~1/3の大きさである。

個々の場合には東京の変動振巾が館野に比べて一桁



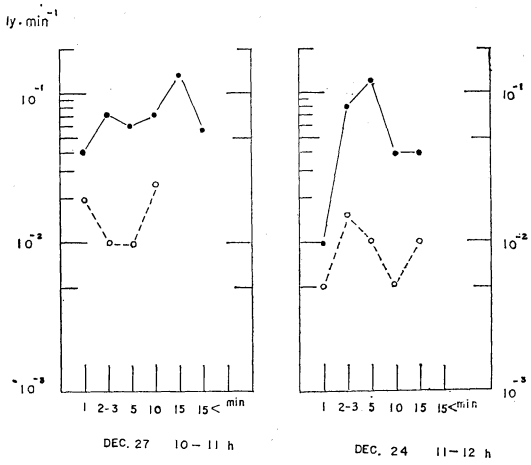
第 8 図

大きい場合がある。また長週期の変動は日によって大差があり10月14日、12月27日のように10分以上の週期で、 $0.1\sim 0.2\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 程度の変動を示すこともあるが、また11月8日のように、その程度の長い週期が認められない場合もかなりある。

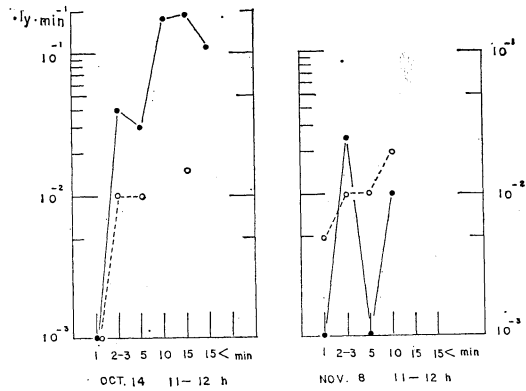
(2) 変動の日変化

変動の日変化を調らべるため、別表より1時間ごとの各週期の振巾の平均を求めて第11図に示す。

東京の場合1分、2~3分の短週期と5分以上の長週



第 9 図



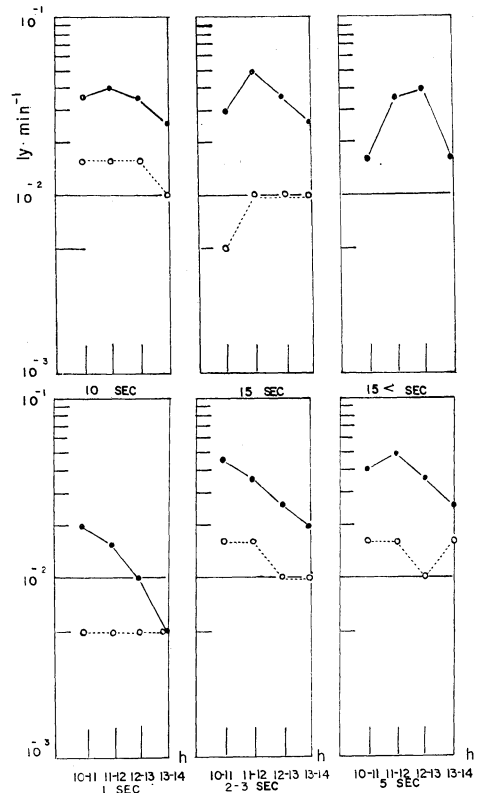
第 10 図

期の変動としては日変化の様相は著しく異なっていることに気が付く。

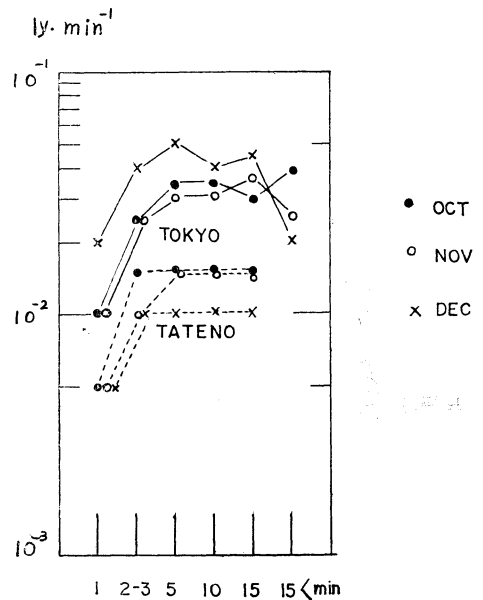
短週期的変動は午前中に大きく、午後には小さいという傾向を明らかに示している。長週期的のは概ね南中時近くが峯となる。ただし、15分以上のごく長いものは南中時後に峯が現われるが、10-11時、13-14時の値はこの峯に比べてずっと小さい。

神奈川県工業試験場がロ紙式空気汚染計で浮遊煤塵を連続して測ったところでは、寒候期には、9h、21h頃に極大、夜半すぎと正午ごろに極少をもつような顕著な日変化を示すことが判明した⁽³⁾。煤塵が日射に影響するとすれば地表付近の煤塵を多量に含んだ小さな空気の塊りが短週期的変動の原因であり、対流によって上空に搬ばれた煤塵が複雑な分布をして、長い週期的変動をひき起すのかも知れない。

館野では変動の値が小さくて東京におけるような傾向



第 11 図



第 12 図

は見られない。

(3) 変動の時期的相異

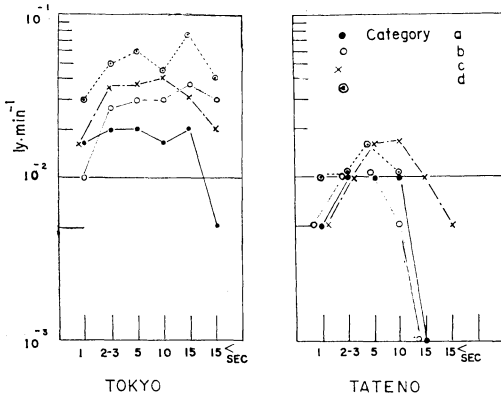
冬季の東京の大気の混濁の一部は暖房のための煤煙によるものと思われるが、暖房の影響による大気の汚染が、日射に影響するかどうか調らべるために、「週期」ごとに各月の平均値を求めて第12図に示す。

この場合資料の数が月により異なるが、簡単のため算術平均を求めた。東京では10、11月は15分以上の週期を除いてごく近い値であるが、12月になると15分以下の週期の変動は前2月に比らべかなり大きな値になる。館野では10、11月はほとんど変わらずしかも東京よりずっと小さいが、12月は更に小さく東京と逆である。太平洋岸では大気の透過率の大きさは、12月、11月、10月の順になっているが、次に示すように変動量は透過率と逆になるので、本来ならば館野のような変化をするのが自然と考えられる。

東京の場合は明らかに暖房の影響であろう。神奈川県工業試験所の調査も煤塵濃度は12月が多いことを示している。

(4) 日射量の減衰と日射量の変動の関係

これまで述べた日射の複雑な変動が大気の混濁の不均一によるとすれば2に示した日射の減衰と関係があるはずである。前述の「減衰指数」によってA、B、C、Dに分類したものについて週期ごとの平均値を求め第13図に示す。この場合も分類された群に含まれる資料の数は同じではないが単純な平均値である。



第 13 図

東京で減衰の少なかったAの場合は減衰の甚だしかっ

たDに比して変動量も著るしく少ないことがわかる。B、Cを見て変動量は大体減衰の大きさに関係があることが認められる。館野で同様のことを調らべて見ると、ABの場合の変動量はCDのものより小さい傾向が認められるが東京のような差はない。

次に分類ABCDEに属するものから各週期の最大変動量を選び出して次表に示す。

東京

分類	A	B	C	D	E
週期	分	分	分	分	分
1	0.045	0.025	0.035	0.06	0.03
2-3	0.03	0.04	0.08	0.07	0.065
5	0.04	0.06	0.12	0.16	0.11
10	0.035	0.06	0.07	0.09	0.18
15	0.09	0.09	0.09	0.13	0.19
15<	0.02	0.06	0.08	0.145	0.19

館野

分類	A	B	C	D	E
週期	分	分	分	分	分
1	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02
2-3	0.02	0.02	0.055	0.02	0.045
5	0.015	0.02	0.035	0.02	0.045
10	0.02	0.02	0.045	0.025	0.065
15	0.01	0.04	0.035	0.02	0.045
15<			0.05		0.03

この表を見ると東京の場合、

(i) 2-3分以下の短週期の変動は各分類とも比較的小さく1分のもので最大0.06、2-3分のもので0.08 $ly \cdot min^{-1}$ である。また分類相互間の差も小さい。

(ii) 5分以上の長週期変動は非常に大きなものがある。Eでは0.19 $ly \cdot min^{-1}$ に達することがある。A、Bに属するものと、DEのものとの差が目立つ。館野の場合短週期の方が長週期の変動より小さい傾向が見られるがその差は東京の場合ほど著るしくはない。

全体的に見て変動の値は小さい。C、Eの変動値が他に比して大きいのは10月10日と11月28日の値であるが、この日は後に示すように、南風に乗って東京の煤煙が搬ばれて来たためであろう。以下変動の原因と気象状態について考える。(未完)