

東京国際空港における視程と汚染濃度*

伊 藤 昭 三**

1. はしがき

航空機の離着陸に視程が重要な気象要素であることはよく知られている。一方、近時航空機の利用はきわめて盛んになり、各空港とも離着陸の回数は年毎に増加の方向にある。しかしながら、視程の観測は航空管制からの強い要望にもかかわらず、観測の方法は確立されていない。このような状況にあって、気象観測者は高度の技術をもって観測を続けているが、目視観測のため、かなり不正確なものであると云われ、時によると航空管制機関が見える距離に重点をおくため意見の相違がおきる。しかしながら筆者は昼間の視程については気象観測者の観測値が高度の技術と方法によって観測している値でかなり精確な報告であることを2. で述べる。3. 4. では最も困難な観測と云われる夜間の視程について2, 3の問題を提出する。

2. 昼間の視程の観測結果

近來都市の産業活動が盛んになり、工場からの汚染物が多量に放出され、大気中に浮遊する。このためにも東京空港などはしばしば汚染物による視程障害のため航空機の運行を中止することがある。

そこで東京航空地方気象台観測課では1960~1961年にわたり、浮遊媒塵濃度計によって濃度示数を求め、毎時観測の月平均の特別視程の観測値と濃度示数の相関を求め(橋本, 鈴木 1961), 冬季は濃度示数と視程の相関は大きく、春季や夏季においては霧や雨などの視程障害現象が多いため濃度示数と視程の相関は小さいと結論している。そこで、この資料を利用して、濃度示数と視程の相関の大きい期間(1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12月)について視程の観測を吟味した。

さて上にのべたように、冬季では視程に影響するのは媒塵と考えられるので、濃度示数と視程の関係にある仮定を試みる。濃度示数は浮遊媒塵濃度に比例すると考えられるから“Koshmider”の式の導き方から濃度示数

I_c と消散係数 σ は比例すると仮定してみる。

上の仮定により、昼間での視程と濃度示数の積は一定値になる筈である。すなわち、視程 V と濃度示数 I_c は、

$$VI_c = \text{const}_1 \quad (2.1)$$

とかける。

一方、消散係数 σ と濃度示数 I_c は仮定により次の関係にかける。

$$\sigma = \beta I_c \quad (2.2)$$

(2.2) 式で β は比例定数である。また、Koshmider の式より、

$$V\sigma = I_n \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) = \text{const}_2 \quad (2.3)$$

ここに ε は定数で、現在多くの研究から 0.05 が採用されている。

(2.1) 式を満足する const_1 は、視程 V と濃度示数 I_c の観測値から求められる。(2.1) と (2.2) から濃度示数 I_c を消去し (2.3) 式を用いると β が求められる。すなわち

$$V\sigma = \beta \cdot \text{const}_1 = \text{const}_2$$

$$\therefore \beta = \frac{\text{const}_2}{\text{const}_1} = \frac{I_n \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)}{\text{const}_1} \quad (2.4)$$

まづ観測値から const_1 を求めてみると、

表1 視程と濃度示数

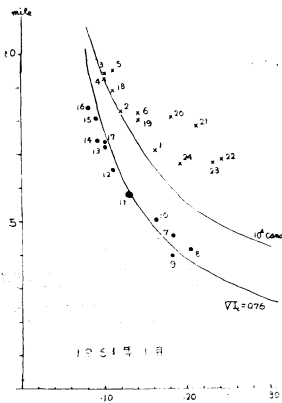
1961年1月, 2月	$VI_c = 0.76 \pm 0.10$
1960年11月, 12月	$VI_c = 0.58 \pm 0.03$
〃 9月, 10月	$VI_c = 0.44 \pm 0.03$
〃 3月, 4月	$VI_c = 0.63 \pm 0.09$

上に求めた結果により、 $VI_c = \text{const}_1$ の曲線を示したのが第1図から第8図である。

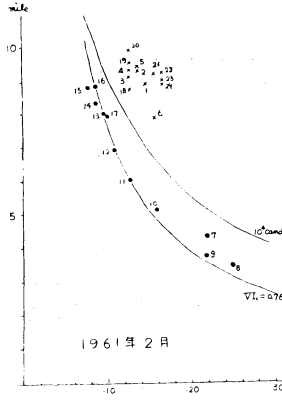
図は従軸に視程 V mile, 横軸に濃度示数を取り、昼間の観測値は●印で示し、脚数字に観測時刻を示してある。表1で±で示した値は標準偏差であり、かなりばらつきは少ない。このことは第1図~第8図によってもはっきりしている。このように昼間の視程の観測は卓越視程ではあるが半理論的考察によりうまく整理され、かなり昼間視程は信頼がおける。このように濃度示数あるいは

* On the Visibility and Contamination at the Tokyo International Airport.

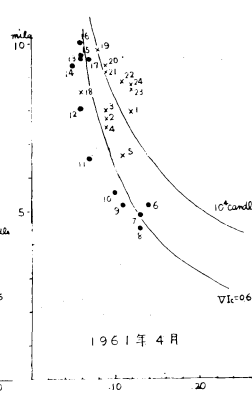
** Shōzo Itō. 気象庁測候課
—1963年7月19日受理—



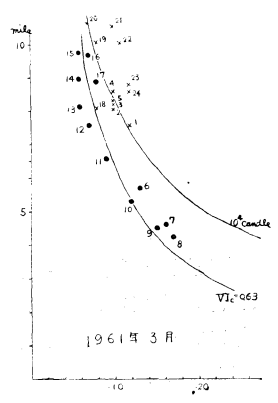
第1図



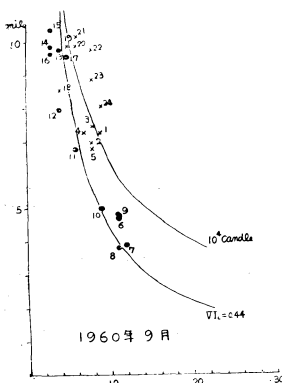
第2図



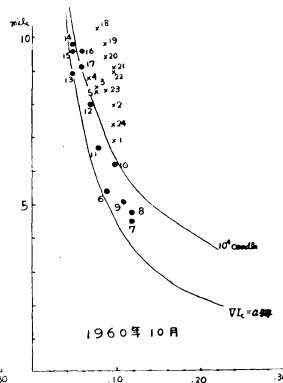
第3図



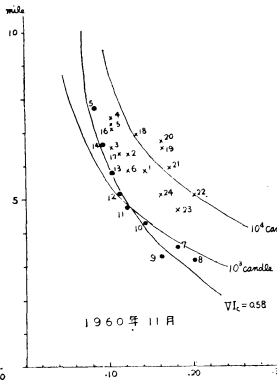
第4図



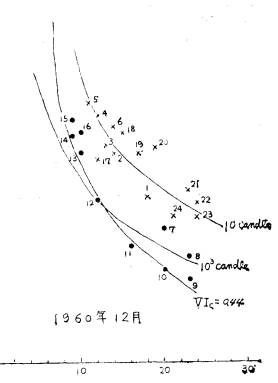
第5図



第6図



第7図



第8図

第1図～第8図 視程と濃度示数の関係

● 印昼間 × 印夜間 脚数字は観測時刻を示す

消散係数のような、今一つの parameter を利用して視程を吟味できるという点では東京航空地方気象台の観測結果は特筆すべきものであり、過去に蓄積された多くの資料は目視観測によってはいるが、かなり信頼されるべき値であろう。こゝで筆者が強調したいことは、局地的な一点で濃度示数を観測しても、周辺の数 mile 内の状況が充分わかると云うことで、このことは、透過率計によって基線内の状況あるいはわずかの範囲の大気のこんだく度のみしかあらわさないと云う議論も代表性の見地から、如何なる場合には代表性が悪いか等、視程の代表性についても明らかにする段階であると考え、このためにも更に多くの濃度示数と視程の観測結果が利用させて載ければ幸いに思う1人である。

東京航空地方気象台では透過率計が設置されているので、こゝに導いた $const_1$ を用いて、(2.4) 式によって

β を求めてみると、

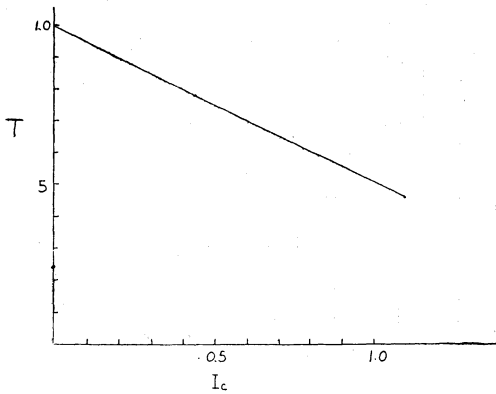
1961年 1, 2月	$\beta = 2.62 \times 10^{-3} m^{-1}$
1960年 11, 12月	$= 3.23 \times 10^{-3} m^{-1}$
9, 10月	$= 4.26 \times 10^{-3} m^{-1}$
1961年 3, 4月	$= 2.98 \times 10^{-3} m^{-1}$
	$\bar{\beta} = 3.27 \times 10^{-3} m^{-1}$

$$A = \bar{\beta} R = 4.90 \times 10^{-1}$$

(たゞし $R=150m$)

したがって消散係数は $\sigma = \bar{\beta} I_0$ より容易に求められるから透過率計によって透過率 T を求め、こゝに得た β を吟味するため、第9図に透過率と濃度示数の実験式を求めた、残念ながら濃度示数の観測期間中の透過率の資料がないので、今後この実験式を東京航空の資料により調査したい。

第9図は次の関係から求めたものである。透過率を T



第9図 濃度示数と透過率の関係

とすれば、

$$T = e^{-\sigma R} = e^{-\beta I_c R} = e^{-AI_c} \approx 1 - AI_c \quad (2.5)$$

ただし R は基線の長さである。ここでは東京航空地方気象台の150mを選んである。

β が各月によって変動するのは、視程障害の原因が、浮遊煤塵のみによる場合を選び出せばなくなると考えられるが、これは将来資料の蓄積を待つより致し方ない。

3. 夜間の視程の観測結果について

夜間の視程の観測は昼間にくらべてかなりむづかしい。第1図～第8図に×印で示したのが観測値であり、時刻も付してある。橋本・鈴木(1961, Vol. 12, No. 2. 研究ノート)によると、“夜間視程は昼間より大きく、これは、光源を目標とするためであり、また、アメリカ式航空気象観測では、特に集光されていない光であれば、夜の視程目標は中程度の光度をもった光源で差支えないことになっていること、大都会やその周辺では、夜の灯火が明る過ぎることにあるかも知れないと云っている。

アメリカ式航空気象観測で夜間視程の観測目標に中程度の光度をもったものを利用するのは視程観測の便宜的手段で、各距離に応じて適当な光源の明るさを選べば、昼間視程と夜間視程は一致する筈である。たとえば、W.M.O. No. 8. TP. 3 (Guide to Meteorological instrument and Observing practices, Second edition) によれば、昼間と同じ視程を観測するには、次のような光源の明るさを距離に応じて選ぶ必要がある。

第2表から明らかなように、中程度の光をかりに100燭光としても、Bの場合視程が5kmならば、その光源を利用することにより全く昼間の視程と同じになるが、視

第2表 視程に対応する目標光源の明るさ

V(km)	A	B	C
0.1	0.2燭光	0.04燭光	0.006燭光
0.2	0.8	0.16	0.025
0.5	5	1	0.16
1.0	20	4	0.63
2.0	80	16	2.5
5.0	500	100	16
10.0	2,000	400	63
20.0	8,000	1,600	253
50.0	50,000	10,000	1,580

A: 薄明時または人工光源での明るさがある背景の場合

B: 月夜または暗夜でない背景の場合

C: 暗夜で星の光り以外ない背景の場合

程が5km以下では100燭光の光源を視程目標とすれば、夜間の視程が大きくなる。また5km以上の視程では夜間視程は小さくなる筈である。第1図～第8図によると東京航空地方気象台の観測結果は5km以上の場合が多いから、かりに背景の明るさを東京空港の円辺を考えると、背景はAの場合としても中程度の光源(100燭光)を選んで観測しているとすれば、夜間の視程は小さくなる筈である。仮に星の光以外ないような暗夜と考えれば、ある程度東京航空の観測結果は昼間より大きいことを説明できるが、東京周辺の明るさから見てそのような状態とは考えられない。

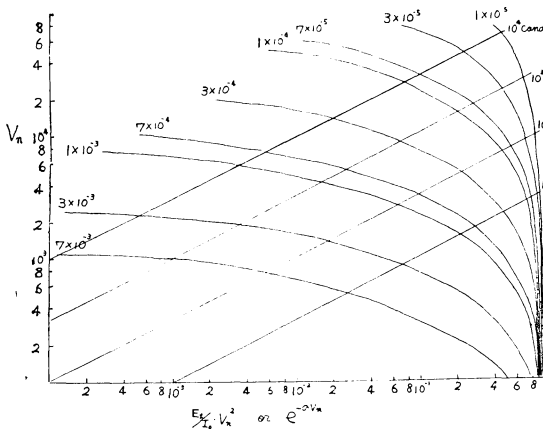
したがって、かなり明るい光源を眺めていることになる。

しかし、現在の視程の理論式にも多くの問題点がある。たとえば、いくつかの光源が視野の中にある場合、あるいは点光源とみなせない程度に光源が拡がっている等、多くの欠点があり、これらの問題点は今後解決されなければならないが、まづ今迄にとり扱っている理論によって検討してみよう。

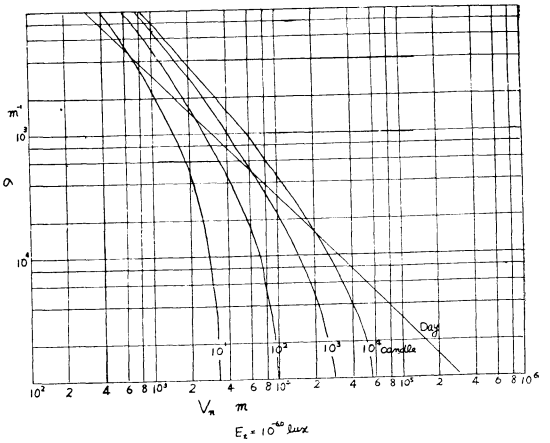
夜間の光源の見える距離は次のように考えられる。今 I_0 燭光の光度をもった光は、距離の2乗に逆比例して減衰し、また途中の夾雑物の濃度に応じて指数的に減衰する。この2つの減衰を受けて、ある限界の明るさに達すると、我々の目に感ずる最小の明るさとなる。これを式であらゆせば、

$$E_l = \frac{I_0 e^{-\sigma V_n}}{V_n^2} \quad (3.1)$$

ここに V_n は I_0 の光度の光源が丁度見えなくなる距離で、気象学的視程とことなるので特に夜間視程 V_n と



第10図



第11図 σ と V_n の関係

する。 σ は消散係数で、すでに昼間視程から $\sigma = \beta I_c$ の関係で濃度示数との関係を求めたので既知の量である。

今、限界の明るさ E_l を東京空港および周囲の明るさがかなり明るいことを考慮して薄明または人工光源のある状態と考え $10^{-6.0} \text{lux}$ としてみる。

この条件で σ と夜間視程 V_n の関係を求めてみよう。

4. 夜間視程の図式解法

(3.1) 式で示される夜間視程を解くことは、超越方程式で一般には解けない、こゝでは図式に解いてみる。

まづ (3.1) 式を変形し、

$$\frac{E_l V_n^2}{I_0} = e^{-\sigma V_n} \quad (4.1)$$

とかけば、この式を満足する σ と V_n の関係は、 V_n 対 $\frac{E_l V_n^2}{I_0}$ および V_n 対 $e^{-\sigma V_n}$ を選んだ E_l について I_0 および σ について画く、この図が第10図である。

各曲線に付した数値は I_0 および σ である。この図から2つの曲線の交点を読みとれば、(3.1) 式を満足する σ と V_n の関係が求められる。

これを図にしたのが第11図である。

なお参考のために昼間の視程をも示してある。この図からも明らかなように光源の明るさを適当に選んでも、一般には視程が小さいときは夜間視程の方が大きく、東京航空で観測されているような5~10mileの範囲では夜間視程が大きくなることはかなり明るい光源を眺めていることになる。

さて、この結果を利用して東京航空で観測された夜間の視程をしらべてみると、第1図~第8図に示したような×印による夜間観測に近い曲線は 10^4 燭光と云うような相当に明るい光源を眺めていることになるが、11月、

12月にみられるように傾向はかなり合っている。

次に I_0 を更に小さく考えてみる。たとえば 10^3 燭光とすると約5 mile 以上では昼間の視程より小さくならなければならない。この事をはっきりさせるために 10^3 燭光についての視程を考えて理論的な夜間視程を同じように第7図と第8図に示してある。これで、かなり明るい光源を眺めているならば東京航空の観測値が大きくなることはしごく当然のことに考えられる。

さて次は全く立場を変えて、仮に今この視程の観測値が中程度(100 燭光程度)の光源を眺めているとすると 10^{-8}lux ぐらいの限界の明るさを感じることになり、これは暗夜のコントラストの最もよい状態で我々の目が感ずる限界の明るさ $10^{-7.5} \text{lux}$ より小さく、我々の目はすこぶる感度が良くなる。以上2つの原因が考えられるが、視程理論の中にも不備な点があるのでまだかなりの基礎的考察を必要とする。

5. 結論

以上の解析から東京航空地方気象台の視程の観測値および観測方法についてまとめると

- (1) 昼間の視程観測は目視観測によってもかなり信頼できる値である。
- (2) 日没時の観測の困難な場合は、透過率計によって透過率から求めたいいわゆる気象学的視程を求める。
- (3) 夜間の場合は昼間にくらべてかなり変動が大きいのので透過率計によって透過率から求めた、いわゆる気象学的視程を重視する方が東京空港では有効であり、この気象学的視程または透過率から逆にどのぐらいの燭光の光はどの距離から見えるかの情報を与えることが望ましい。

- (4) 限界の明るさについての基礎的な実験および、単に一つの光源でなく、大都会のような無数の光のある場合の視程の理論および観測方法などについて航空の安全からは是非とも開発しなければならない。
- (5) 夜間の視程観測は昼間より大きいと報告(橋本・鈴木 1961)されているが、この原因について更にはっきりすべきである。光源の明るいものを選んでいるか、または E_v が今迄に考えられているより小さいか、視程の理論の不完全な影響(視野の中の他の光源の存在の影響)がどの程度になるかを明らかにするため(4)にのべた基礎実験をどうしても行う必要があることを指摘したい。
- (6) 夜間観測は透過率計などの計器により、気象学的視程つまり日中と同じ視程を観測することが最も混乱がないと考える。アメリカ式の航空気象観測で採用されている25燭光の光源の見える距離を夜間視程として透過率と視程の関係を示しているものを利用することに

ついては、特別な対象距離たとえば 1 mile 付近の視程をのみ対象とする場合をのぞき、一般に使用するのは混乱をまねく恐れがある。

謝 辞

この草稿を御一読下され、多くの不備の点を指摘いただいた測候課長 木村博士と滝沢補佐官に厚くお礼申し上げます。なお貴重な資料に便宜をいただいた東京航空地方気象台観測課長、橋本梅治氏および観測課、調査係長鈴木義夫氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 橋本梅治 (1961) 大気汚染と視程, 気象研究ノート, Vol 12, No. 2.
- 2) Guide to Meteorological Instrument and observing Practices, second edition 1961, WMO No. 8, TP 3.
- 3) R. Dickson (1961) Computation of visual range in fog and low clouds, AF 19 (604)-7333 Project No. 8641.

昭和38年度第2回日本気象学会九州支部講演会および西部管区気象研究会

期 日 昭和38年10月10日~11日

会 場 福岡市草香江2丁目 那の津荘

講 演 題 目

第1日 午前

1. レーダーエコーによる台風の種類
名 瀬 今門 宗夫
2. 亜熱帯逆転の解析
〃 今門 宗夫
3. 季節風に伴う線状エコーの解析
〃 井田秀治, 田尻直信
4. レーダーによる離島の降雨予報
〃 レーダー係
5. 九州南部地方の岬の風
鹿児島 長田英二, 堤 良造
6. オゾン量とジェット気流との関係
〃 児玉 正利
7. 桜島火山の爆発活動と火山性微動
〃 東谷 幸男
8. 阿蘇火山の地盤傾斜と噴出予知(第2報)
阿蘇山 野田義男, 高橋 計
9. 南九州の有感地震の一調査 宮 崎 安井 豊
10. 屋久島における有感地震の一調査
屋久島 長友 久雄

第1日 午後

11. レーダーの天気予報への利用法(第2報)
長 崎 植木九州男
12. 昭和36, 37年の諫早付近の大雨(第2報)
〃 尾崎 康一
13. 強雷と集中豪雨の予報および観測資料
福 岡 山田 三朗

14. 大雨エコーの盛衰
〃 山中 陸男
15. 豪雨による植林地の崩壊について
佐 賀 内田 英俊
16. 日射計の係数変化について 福 岡 鹿谷 健一
17. 長崎県における異常乾燥注意報の基準
長 崎 尾崎 康一
18. 阿蘇山の気象資料の天気予報への利用
熊 本 中西 弘
19. 昭和38年7月の集中豪雨
〃 古閑 賢一
20. 大分県における暖候期の大雨
大 分 笠村 幸夫
21. 薄暮およびやみ夜の明るさについて
宮 崎 鷓木 稔
22. 東海における植物プランクトンの分布と海況との関係
長 崎 朝岡 治

第2日 午前

23. 桜島火山の開口期における微動と爆発
鹿児島 志賀 正信
24. 山口県西部における朝風の観測
豊北高校 高橋 茂
25. 九州の降雨量と太陽黒点数
西日本協会 毎熊 安市
26. 沖永良部における不安定線
沖永良部 木ノ脇勝哉, 村山武夫
27. 山口県の高潮
下 関 服部 徳一
28. 山口県の大雪と災害
〃 久永八州夫
29. 山口県の異常低温と災害
〃 兼田 豊
30. 有明の霧について
熊 本 岡部 正徳