

成田空港の滑走路に沿った霧の分布*

藤部文昭**

要旨

成田空港の滑走路付近にある3台の透過率計の測定記録を使って霧の分布を調べた。滑走路は台地上にあり、霧の現れる時間数が多いのは台地の風上側または端に近い地点である。特に、風向が滑走路にはぼ平行である場合には、霧は風上側の地点に最初に現れることが多く、風下へ広がる速さは地上風速と正の相関を持つ。このことから、滑走路付近の霧の発現には移流が寄与すると推測される。

1. はじめに

成田空港に現れる霧は、しばしば数十m～数kmスケールの非一様な分布をする。Mason (1982) は、放射霧に関する解説の中で、「霧は数百km²の範囲にほぼ同時に発生してしかもかなり非一様な水平構造を持つのが普通であり、非一様さの原因の少なくとも一部は地表面の種類や傾きの非一様さにある」という内容の見解を述べている。事実、陸上で行われたいくつかの観測調査(佐々倉, 1951; 水越・奥, 1974)では、数km離れただけで霧の現れる日数に2倍以上の差のある例が見出されており、霧の分布が局地的な因子に強く影響されることが示唆される。しかしながら、霧の非一様さの中には内部重力波(Roach, 1976)やセル状対流(Choulatonら, 1981)など地表面の状態と直接関係のない原因によると考えられるものもあるので、各瞬間に見られる霧の分布の非一様さをすべて地表面の非一様さに結びつけることはできない。

この研究は、成田空港の滑走路に沿って設置された3台の透過率計の測定記録を使って、数kmスケールで見た霧の統計的な分布を調べたものである。研究のねらいは霧に影響を与える局地的因子を探り出すことにある。空港付近の霧と局地的因子との関連は過去の文献(山田, 1978; 岩崎, 1978)でも取り上げられているが、議

論の根拠となるべき事実の確認はまだ不十分であり、客観的な解析結果を積み重ねる必要がある。これまでの文献の記述の中では、霧の発現を侵入と捉え、霧の発生源を周辺の低地など空港の外に求める見方が(しばしば暗黙に)なされている。この見方は目視観測における経験を反映したものであり、霧の発現に対する移流の重要性を示唆していると思われる。そこで、霧の分布と風、特に風向との関係に解析の重点を置いた。

2. 空港の立地条件と観測施設

第1図は空港付近の地形図である。大きく見れば、空港周辺の地形は南西から北東へ延びる帯状のなだらかな台地とその両側の低地とから成る。空港は台地の上であり、敷地はほぼ水平である。滑走路は敷地の西寄りの部分に149.5°から329.5°の方向に作られている(方位は北を0として時計回りに測った角度で表す)。滑走路の長さは4kmで、その両端は台地のへりに近い所にある。

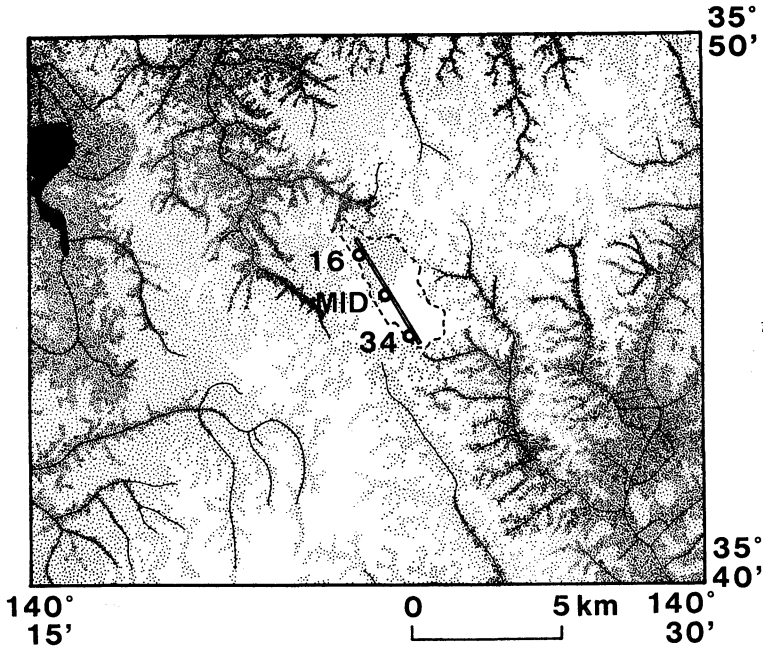
気象観測施設の詳細は山田(1978)が紹介している。透過率計は、滑走路から約120m離れた所に約1.6km間隔で3地点に設置されている。以後、これらの地点を北から順に16点、MID点、34点と呼ぶ。透過率計は、地上約3mの高さに取り付けられた投光器と受光器を使って75mの光路における光の透過率を測るものである。測定値は15秒毎に自記紙に記録される。測器は1983年3月に取り替えられ、光の波長と一部の測器の高さに変更された。16点と34点の付近には風向風速計があり、測定値は自記紙に連続的に記録される。

* Distribution of fog along the runway of the New Tokyo International Airport.

** Fumiaki Fujibe, 新東京航空地方気象台.

——1985年1月21日受領——

——1985年6月11日受理——



第1図 空港付近の地形図。白い部分は海拔40m以上、薄い影は20~40m、濃い影は20m未満の地域。実線は川、左端の黒い部分は印旛沼。空港の敷地、滑走路および透過率計の位置を中央に示す。

3. 解析方法

1977年10月~1984年9月の7年間の資料を用いた。

(a) 霧発現の定義

3地点のうちどこかで透過率が0.8未満である状態を、滑走路付近に霧が発現した状態と定義した。光路長75mに対して透過率0.8という値は、日本の航空気象観測で用いられる方式に従って昼間(灯火を用いないとき)の滑走路視距離に換算すると1007mとなり、地上気象観測における霧の基準値(視程1km)とほぼ一致する。視程と滑走路視距離の定義と求め方は伊藤(1971)が解説している。昼間の滑走路視距離の定義は視程の定義と事実上同じである。

例外として、霧の発現が途切れた期間の長さが1時間未満であるときは、その期間も霧発現期間に含めた。なぜなら、霧の短時間の変動は移流による可能性が大きい(Mason, 1982) ことと、測定点の間隔とを考えると、霧発現が途切れた期間が短ければ、その期間中も滑走路付近のどこかに霧が存在していたと推測されるからである。1時間というのは、霧発現期間の風速が 1 m s^{-1} のオーダーなので、空気が滑走路付近を吹き過ぎるのに要

する時間が数十分のオーダーであるという考察に基づく値である。

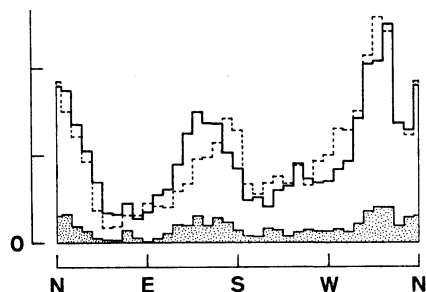
(b) 気象条件に対する制限

解析の対象を、晴れた状態またはこれに近い状態の下で発現した霧に限ることにした。これは、相異なる気象条件の下で発現した霧は成因が異なるかも知れず、従ってその分布にも違いがある可能性があり、区別して解析しないと結果の解釈がしにくくなると思われたからである。しかし、霧の成因と気象条件との関係はよく分からないので、資料数を多くするよう配慮して制限条件をゆるくした。対象から除かれたのは、霧発現前の2時間に、降水があるかシーリングが1000 ft ($\approx 300\text{ m}$) 未満である状態が1時間以上ある場合である。霧発現中に降水があったときは、降水が始まるまでの期間だけを対象にした。

対象期間の長さは、霧発現期間全体の約3分の2に当たる1300時間余りである。対象期間の約75%は0時~6時の間に含まれる。風速は 6 kt ($\approx 3\text{ m s}^{-1}$) 以下であることがほとんどである。

(c) 自記記録の読み取り

霧発現期間を30分ごとの区間に分け、区間別に自記記録を読み取った。読み取りを区間別にしたのは、風向が変化する場合でも変化が急激である場合を除いて代表的な風向が定義できるようにするためである。区間の長さ



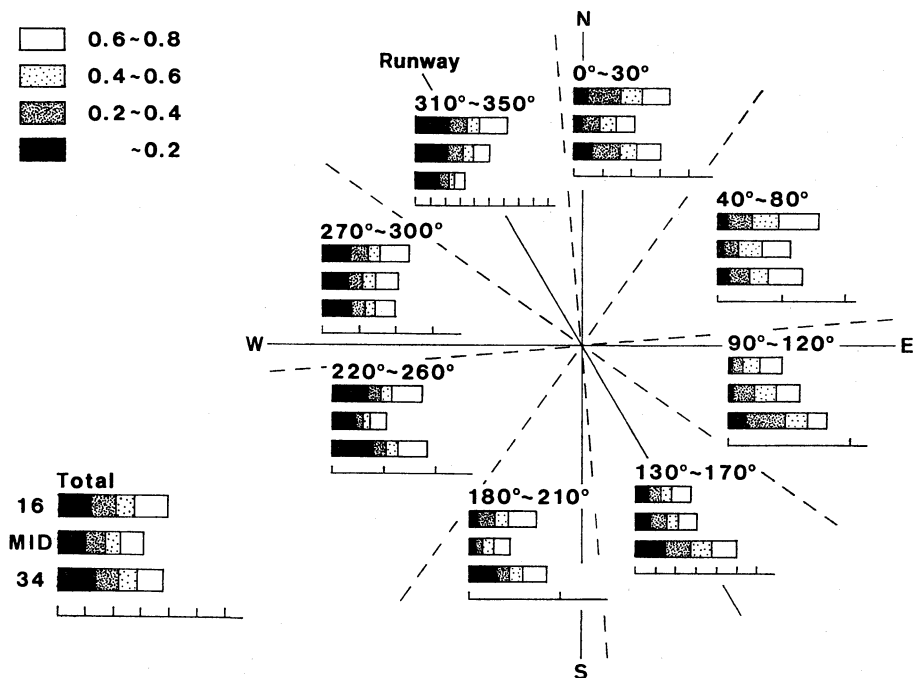
第2図 霧発現期間中(実線)と暗夜一般(破線)の風向分布。縦軸の1目盛は平均値を表す。影の部分は、霧発現期間のうち最初の30分間の占める分を表す。

を30分にしたのは、風向変化に伴って霧の分布が変化する時間スケールを考えてのことである。

透過率については、0.8, 0.6, 0.4, 0.2の各値未満である時間の長さを地点別に5分単位で読み取った。透過率の後ろの3つの値は、昼間の滑走路視距離に換算すると、それぞれ、440m, 245m, 140mになる。以後、透過率が0.8未満である時間の長さを霧時間数と言う。風については、30分間の平均風向と平均風速を10°単位と1kt(≒0.5 m s⁻¹)単位で読み取った。ただし、風向が30分間に90°以上変動した場合には風向は不定とした。

4. 霧発現期間中の風向分布

霧の分布と風向との関係を議論する前に、霧の発現そのものと風向との関係を予備的な解析に基づいて簡単に見ておく。第2図の実線は、霧発現期間中の34点における風向分布を示したもので、無風と不定の場合は除かれている。比較のため、晴れた風の弱い夜の一般的な風向分布を破線で示す。後者は、1982年4月～1984年3月の0時～6時を対象として、30分ごとの定時観測で得られ



第3図 風向範囲別(右の8つ)および霧発現期間全体(左下)の霧時間数分布。横軸の1目盛は、風向範囲別のグラフでは20時間、全期間のグラフでは200時間であり、フルスケールは対象期間の長さである。破線は風向範囲の境界を表す。

た10分間平均風向を、上層雲を除いてシーリングがなく風速が 5 kt 以下である場合について集計したものである。2つの分布は大まかな点で一致する。第2図には、霧発現期間の最初の30分間についての風向分布も示されているが、霧発現期間全体の風向分布と特に異なる特徴は見られない。

第2図の結果は、霧の発現と風向との関連が小さいことを表している。このことは、霧の分布が巨視的には一様に近いことを暗示する。より詳しい解析をすれば、これらの結論や解釈に多少の補正が加わるであろうが、詳細に立ち入ることは研究の主題から外れるので差し控える。

5. 滑走路に沿った霧時間数分布

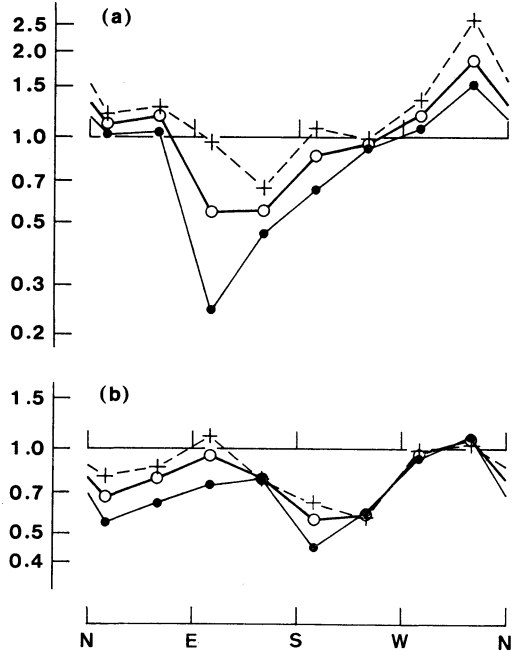
第3図の右側は、霧時間数分布を8つの風向範囲別に表示したもので、16点と34点の風向が同じ風向範囲にある場合を対象として集計した結果である。グラフ毎に、3地点の霧時間数を透過率の段階別に塗り分けたいものを並べて示す。霧時間数分布の形は3種類に分けられる。すなわち霧時間数は、北西象限の風向に対しては $16 > MID > 34$ 、北東象限と南西象限の風向に対しては $16 \approx 34 > MID$ 、南東象限の風向に対しては $34 > MID > 16$ である。第3図の左下は、霧発現期間全体についての結果で、霧時間数の比はほぼ 5:4:5 である。

透過率の段階別に時間数分布の特徴を検討するには、第3図は不便である。第4図は、次の2つの量を、透過率 0.8 未満、0.4 未満 および 0.4~0.8 の3段階（すなわち霧全体、濃い霧、薄い霧）についてグラフにしたものである。

(a) 16点と34点の比 = $\frac{16\text{点における時間数}}{34\text{点における時間数}}$

(b) MID 点と両端の比
 = $\frac{MID\text{点における時間数}}{16\text{点と34点における時間数の平均}}$

3本のグラフとも、(a)では北西象限に山を持ち南東象限に谷を持つ1山型を、(b)では北東象限と南西象限に谷を持つ2山型をしている。この特徴は、第3図で指摘された霧時間数分布の特徴に対応する。霧の分布と風向との間には、霧の濃さにかかわらず似た関係があると結論される（ただし、(a)の図では0.4未満のグラフが0.4~0.8のグラフの下側に来ている。このことは、16点では34点よりも薄い霧が多く濃い霧が少ないことを表しているが、これは風向に関係のある特徴ではない）。



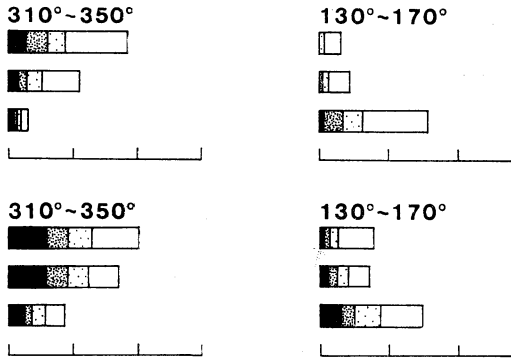
第4図 16点と34点の時間数比 (a) および MID 点と両端の時間数比 (b)。白丸と太い実線は透過率 0.8 未満、黒丸と細い実線は 0.4 未満、+と破線は 0.4~0.8 のグラフ。

第3~4図の霧時間数分布は、風向が台地に対して直角に近い場合には風上側で多く、平行に近い場合には両端で多い形をしている。どちらの場合も、霧時間数が多い所は見掛け上低地からの風を受けやすいと思われる場所である。

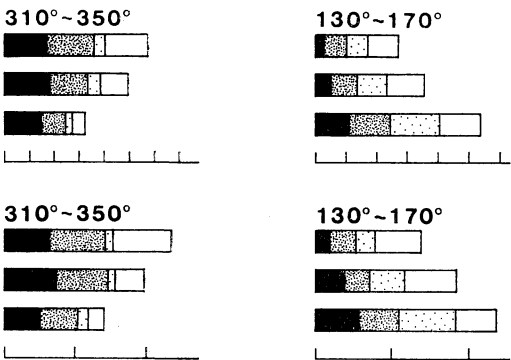
透過率計の測器が取り替えられた1983年3月以前とそれ以後の期間の霧時間数分布を比べた結果、議論に影響する違いは見られなかった。

6. 滑走路にほぼ平行な風向の下における霧の振舞

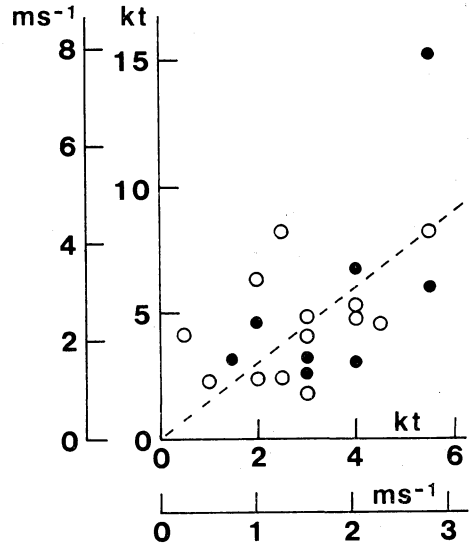
風向が滑走路にはほぼ平行 ($310^\circ \sim 350^\circ$, $130^\circ \sim 170^\circ$) である場合を対象とした詳しい解析結果を見ながら、霧の振舞を考える。まず、霧が始まる時に注目する。第5図は、霧発現期間の長さが1時間以上あった場合の中から、最初の30分間と次の30分間の風向がともに上記の範囲にある58例を選び、各30分間の霧時間数分布を示したものである。最初の30分間には、風下側の地点の霧時間数が風上側の2割程度しかなく、霧は著しく風上側に偏在している。次の30分間には、霧時間数分布は第3図のものに近くなる。



第5図 霧発現期間の最初の30分間(上)と次の30分間(下)の霧時間数分布. 横軸の1目盛は5時間.



第7図 前1時間の平均風速が2kt以上(上)および前2時間の平均風速が2kt以上(下)である場合の霧時間数分布. 横軸の1目盛は5時間.



第6図 地上風速(横軸)と霧の見掛けの伝播速度(縦軸)のプロット. 白丸は風向範囲310°~350°, 黒丸は130°~170°のもの. 破線は最小2乗法で求めた回帰直線.

上の58例について、地点ごとの霧発現時刻として、透過率が最初に0.8未滿となった時刻を調べた(風向が滑走路にはほぼ平行であるという条件が損われないように、初期の1時間だけを対象とした)。その結果によると、霧が最初に風上側の地点に発現する例が全体の約8割を占める。風下へ行くほど発現が遅れる傾向があり、初期の1時間に風下側の地点で全く発現しない例が約4割ある。第6図は、霧の発現が風上→MID→風下という順序で起こった21例について、風上側の地点と風下側の地点との発現時刻差から計算された霧の見掛けの伝播速度と風速との関係を示したものである。風速は最初の30分間の16点と34点の平均値である。霧の伝播速度と風速との間には正の相関があり、相関係数は0.55である。2

つの量が比例すると仮定して最小2乗法で比例定数を計算すると、霧の伝播速度は風速の約1.5倍であるという結果(第6図の破線)になる。初期の1時間に風上側以外の地点で霧が発現しなかった11例を伝播速度=0として計算に含めれば、比例定数は約1.1になる。

以上の結果から、滑走路付近に現れる霧の中に風上から移流されて来たものが多く含まれると推測される。しかし、伝播速度と風速との関係にかなりのばらつきがあることから見て、滑走路付近の霧が移流だけに支配されるとは思われない。

移流の役割を見定めるには、霧発現中に滑走路にはほぼ平行な風向が長時間持続し、風上側の地点から風下側の地点への空気の移流が完了したと考えられる場合の霧の分布が参考になる。第7図の上段は、各風向範囲の風が1時間半続き、そのうちの前の1時間の平均風速(16点と34点の平均値)が2kt以上である場合について、あとの30分間の霧時間数分布を示したものである。1時間の平均風速が2kt以上であるという条件は、風程が約3.7km以上であること、すなわち風程が両端の透過率計間の距離(約3.2km)を超えることを意味する。確認のため、同様にして前2時間の平均風速が2kt以上、すなわち風程が約7.4km以上である場合について集計し

た結果を下段に示す。どちらの図にも、風上側ほど霧時間数の多い分布が現れている。上下の図の分布にほとんど違いがないことから、これらの非一様な分布が統計的な定常状態を表すと考えられる。この結果から、霧が滑走路に沿って移流される際に消散して薄くなることが推測される。

図は省略するが、霧時間数分布の形は風速にはあまりよらない。このことは、風が強ければ、移流が強くとともに消散も大きいことを示唆する。しかし、消散の具体的な機構を考察できるだけの材料はまだない。

7. まとめと問題点

成田空港の滑走路付近に現れる霧について、主に霧の分布と風向との関係を調べた。対象は、晴れた状態またはこれに近い状態の下で、主として夜半から明け方にかけて発現した霧である。結果と解釈を以下にまとめる。

(1) 霧の発現と風向との関連は小さい。従って、巨視的には、霧の分布は比較的一様であろうと思われる。

(2) 霧時間数分布の形は風向によって異なる。霧の濃さにかかわらず、滑走路の風上側または両端で霧時間数が多い。これらの場所は、地形と風向から見て低地からの風を受けやすいと思われる場所である。

(3) 風向が滑走路にはほぼ平行である場合には、霧はまず風上側の地点に現れることが多く、風下へ広がる場合の速さは地上風速と正の相関を持つ。この事実から、滑走路付近では霧の発現に風上からの移流が寄与すると推測される。一方、霧発現中に滑走路にはほぼ平行な風が十分長い時間吹き続いたあとになっても、霧時間数分布の非一様さは解消されない。このことは、滑走路付近で消散が起こることを示唆している。

以上の結果と解釈は、成田空港における霧の発現を低地からの侵入と捉える見方が少なくともある程度は妥当であることを意味している。盆地や凹地など低い所に霧ができやすいことは、多くの文献(例えば吉野, 1978)に一般論として述べられており、これらの場所が夜間に冷えやすいことがその主な理由であるとされている。

しかしながら、空港に現れる霧の発生源や非一様さの原因についての確実な知識が得られていない今の段階

で、地面の起伏の重要性を強調し過ぎるべきではない。伊知地(1978)は、見掛け上太平洋からの海霧の侵入という形をとって発現した霧の実例を示している。このような霧の性質や発現条件・発現頻度は今後調べていく必要がある。また、霧の分布に数 km スケールの非一様さができる原因としては、地形以外に地表面の種類の違いも考えられる。舗装された部分の多い空港内と田畑や林の多い空港外とで地表面の熱収支や水収支の違いがあっても不思議ではなく、実際に空港内でヒートアイランドが観測された例(浅見, 1980)がある。空港そのものが霧に与える影響の検証は、将来の興味深い研究課題になると思われる。

謝 辞

この研究を行うに当たって御指導と御協力を頂いた落合盛夫前会長、真野鶴彦前観測課長はじめ職員の皆様に深く感謝します。

文 献

- 浅見泰造, 1980: 成田空港におけるある夏の日の気温分布, 東管技術 = ユース, No. 58, 45-48.
- Choullarton, T.W., G. Fullarton, J. Latham, C.S. Mill, M.H. Smith and I.M. Stromberg, 1981: A field study of radiation fog in Meppen, West Germany, Quart. J. Roy. Met. Soc., **107**, 381-394.
- 伊知地公彦, 1978: 昭和53年6月14日の成田の濃霧について, 研究時報, **30**, 別冊, 90-91.
- 伊藤 博編, 1971: 航空気象, 東京堂出版, pp. 539.
- 岩崎 功, 1978: 8 ミリで見た成田空港の視程障害現象, 東京管区地方気象研究会誌, **11**, 275-276.
- Mason, J., Sir, 1982: The physics of radiation fog, J. Met. Soc. Japan, **60**, 486-499.
- 水越允治, 奥 友親, 1974: 上野盆地における霧の局地気候学的研究, 地理学評論, **47**, 313-325.
- Roach, W.T., 1976: On some quasi-periodic oscillations observed during a field investigation of radiation fog, Quart. J. Roy. Met. Soc., **102**, 355-359.
- 佐々倉航三, 1951: 小気候学, 古今書院, pp. 167.
- 山田直勝, 1978: 新東京国際空港(成田)の気象特性と問題点について, 天気, **25**, 475-492.
- 吉野正敏, 1978: 気候学, 大明堂, pp. 350.