

## 日本地域における大気混濁係数の推移

北海道大学工学部    〇太田幸雄・村尾直人・深沢達矢・溝口 勲

### 1. はじめに

大気中に浮遊する微粒子（大気エアロゾル）は、太陽放射（日射）を散乱・吸収し、その結果、地表に到達する太陽放射量を変化させて、気候の変化を引き起こす。これを大気エアロゾルのアルベド効果と呼ぶ。この効果として有名なものが大規模な火山の噴火にともなう気温の低下であり、たとえば過去100年間で起きた世界中の5回の大火山爆発でも、爆発後2～3年間北半球で平均0.3℃の気温の低下があったと言われている。しかし、この火山爆発のような自然現象によるものだけではなく、燃焼や耕作などの人間活動によってもまた大量のエアロゾルが大気中に放出されている。とくにバスやトラック、船舶などのディーゼルエンジンからは多量の煤粒子や硫酸粒子およびSO<sub>2</sub>ガス（大気中で硫酸粒子に変わる）が排出され、また石炭火力や重油火力発電所からもやはり多量の煤粒子や硫酸粒子およびSO<sub>2</sub>ガスが排出される。これらの人間活動の結果もし大気中のエアロゾルが増加すればやはりそのアルベド効果により気候変動を引き起こすことが考えられる。

人間活動の活発化にともない大気中の二酸化炭素を始めとする温室効果気体の濃度が増加していることが観測により確認され、その結果それらの気体の温室効果による地球の温暖化が危惧されているが、それでは同じように気候変動を引き起こす可能性のあるエアロゾルの大気中濃度は実際どの程度増加しているのだろうか。この点を明らかにするために、我々は、大気中に含まれるエアロゾル総量を表わす指標である大気混濁係数に着目し、これまで荒生（1981）によって行われてきた研究を引継いで、1950年代から1989年までの日本地域における大気混濁係数の推移について考察した。

### 2. 大気混濁係数

エアロゾルの存在する大気を考えると、太陽放射はこのエアロゾルによる散乱・吸収および空気分子による散乱と水蒸気による吸収を受けて減衰する。すなわち、大気の上端に天頂からの角度 $\theta$ で入射する波長 $\lambda$ の太陽放射の強さを $I_{0\lambda}$ とすると、地表面での太陽放射の直達光成分の強さ（直達日射） $I_{\lambda}$ は次の式で表される。

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \exp(-\tau_{\lambda} / \cos \theta_0). \quad (1)$$

ここで $\tau_{\lambda}$ は大気の光学的厚さ（Optical thickness）と呼ばれ、大気エアロゾルによるMie散乱の消散係数 $\sigma_{M\lambda}$ 、空気分子によるRayleigh散乱の消散係数 $\sigma_{R\lambda}$ および水蒸気による吸収係数 $k_{w\lambda}$ を、大気の上端から地表面まで積分したものである。

$$\begin{aligned} \tau_{\lambda} &= \int_0^{\infty} (\sigma_{M\lambda} + \sigma_{R\lambda} + k_{w\lambda}) dz \\ &= \tau_{M\lambda} + \tau_{R\lambda} + K_{w\lambda}. \end{aligned} \quad (2)$$

なお、上式中の $\tau_{M\lambda}$ 、 $\tau_{R\lambda}$ および $K_{w\lambda}$ は、おのおのMie散乱による光学的厚さ、Rayleigh散乱による光学的厚さおよび水蒸気の吸収による光学的厚さと呼ばれ、次式で表される。

$$\tau_{M\lambda} = \int_0^{\infty} \sigma_{M\lambda}(z) dz, \quad (3)$$

$$\tau_{R\lambda} = \int_0^{\infty} \sigma_{R\lambda}(z) dz, \quad (4)$$

$$K_{w\lambda} = \int_0^{\infty} k_{w\lambda}(z) dz. \quad (5)$$

いま、大気エアロゾルの粒径分布 $n(r)$ がJunge分布

$$n(r) = Cr^{-4} \quad (6)$$

で表されると仮定すると、Mie 散乱による光学的厚さ  $\tau_{M\lambda}$  は、次のように表される。

$$\tau_{M\lambda} = \beta / \lambda \quad (7)$$

この場合の  $\beta$  を大気混濁係数と呼ぶ。大気混濁係数は、垂直気柱（単位断面積を持つ、大気上端から地表面までの仮想的な空気の柱）の内部に含まれる大気エアロゾルの総量に比例するものであり、大気の汚染度を示す指標となるものである。

もし、気柱内の大気エアロゾルの平均の複素屈折率が与えられれば、大気混濁係数の値から、気柱内に含まれるエアロゾルの総量を求めることができる。

### 3) 大気混濁係数の算出

大気混濁係数  $\beta$  を求めるには、まず直達日射の減衰量を測定して (1) 式より全光学的厚さ  $\tau_{\lambda}$  を求め、次に (2) 式よりエアロゾルの Mie 散乱による光学的厚さ  $\tau_{M\lambda}$  を求める。空気分子の Rayleigh 散乱による光学的厚さ  $\tau_{R\lambda}$  についてはあらかじめ計算により求めることができる。また、大気中には多くの水蒸気が含まれており、この水蒸気は波長が  $0.8 \mu\text{m} \sim 4.0 \mu\text{m}$  の近赤外領域において太陽放射を吸収するため直達日射を減衰させるが、この吸収による光学的厚さ  $K_{w\lambda}$  についても、水蒸気量データが入手できれば、計算により求めることができる。

これまで荒生 (1981) により、札幌、根室、秋田、潮岬、土佐清水、福岡の各地での 1957 年から 1979 年までの大気混濁係数が算出されて来た。そこで我々は、この荒生の研究を引継ぎ、直達日射データと水蒸気データを用いて、1989 年までの札幌、根室、潮岬、土佐清水および石垣島での大気混濁係数の算出を行った。

### (4) 結果

図 1～2 に札幌および潮岬における 1980 年から 1989 年までの大気混濁係数  $\beta$  の算出結果を示す。直達日射データはいうまでもなく快晴かまたは晴れの日でなければ得られないため、得られた  $\beta$  の値は各地点とも月に 4～10 個程度である。各地点とも  $\beta$  の値が 0.03 から 0.35 の間に散在しているが、特に札幌の場合にそのばらつきの程度が大きかった（すなわち  $\beta$  の平均値が大きい）。それに対して、根室、潮岬、土佐清水においては、0.05 から 0.15 の間に集中している傾向が見られた。また、1982 年から 1984 年にかけて各地域で  $\beta$  の値が増加している。これは、1982 年の 3 月から 5 月にかけてメキシコのエルチヨン火山が大噴火し、大量の  $\text{SO}_2$  ガスが成層圏に注入され、太陽光による酸化を受けて硫酸エアロゾルに変わり、その硫酸エアロゾルが 2～3 年間程度成層圏内に浮遊していたためである。

図 3 に、荒生 (1981) により行われた 1952 年から 1979 年までの大気混濁係数の算出結果に、今回の我々の結果を加えた、1989 年までの過去約 35 年間の札幌、根室、潮岬、土佐清水、石垣島における大気混濁係数  $\beta$  の経年変化（3 年移動平均値）を示す。なお石垣島では、1970 年から測定が行われているが、欠測が多く、まとまったデータが得られているのは 1984 年以降であったため、1985 年以降の 3 年移動平均値を示してある。

図 3 より、いずれの地点も 1960 年代中頃から 1970 年にかけて  $\beta$  が大きく増加している。これはこの時期が大気汚染のひどいいわゆる公害問題の多発した時期であったためで、札幌ではとくに  $\beta$  が 0.20 という大きい値を示している。なお、東京では、この時期は  $\beta$  が 0.25 を越えるひどい大気汚染状態を示していたが、そのため日射の正確な測定が不可能になり、以後東京都心では日射の測定が行われておらず、大気混濁係数は得られていない。各種規制が行われたことにより大気汚染状態が改善され、そのため 1970 年代中頃にかけて札幌では大気混濁係数  $\beta$  の値は低下した。根室の  $\beta$  値も 1970 年代中頃にかけてある程度低下しているが、一方、潮岬および土佐清水ではほぼ同程度の値で推移している。

1970 年代後半から 1980 年代前半にかけて、各地域で  $\beta$  値は再び増加している。これは一つには上

述したように、1982年にメキシコのエルチジョン火山が大噴火したためであり、3年移動平均値での1982年から1984年の $\beta$ 値は大きく増加している。ただし、その噴火の影響のない1980年にも、すでに札幌、根室および潮岬では $\beta$ 値が増加し始めており、火山噴火以外の原因が考えられる。エルチジョン火山の噴火の影響は1985年には治まったものと思われ、1985年以降、根室では $\beta$ 値は1970年代後半の値に落ち着いているが、一方、潮岬および土佐清水では $\beta$ 値は再び増加する傾向を示している。

日本における代表的な清浄地域と思われる潮岬と土佐清水について、1950年代からの推移を見てみると、潮岬では1950年代では $\beta$ は0.09程度であったが最近では0.13程度にまで増加しており、土佐清水においても1950年代に0.08程度であったものが最近0.11程度にまで増加してきている。今後、とくに清浄地域と考えられる根室、潮岬、土佐清水、石垣島の4地点の大気混濁係数の変動について注目して行く必要がある。

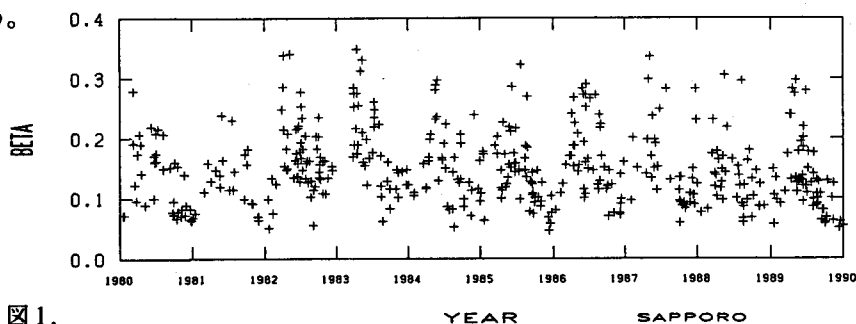


図 1.

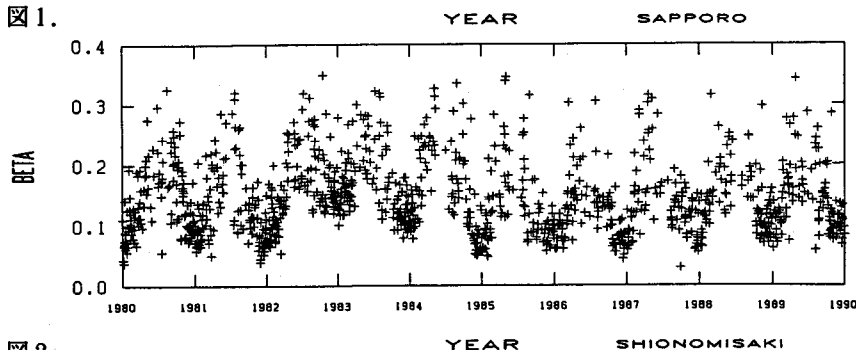


図 2.

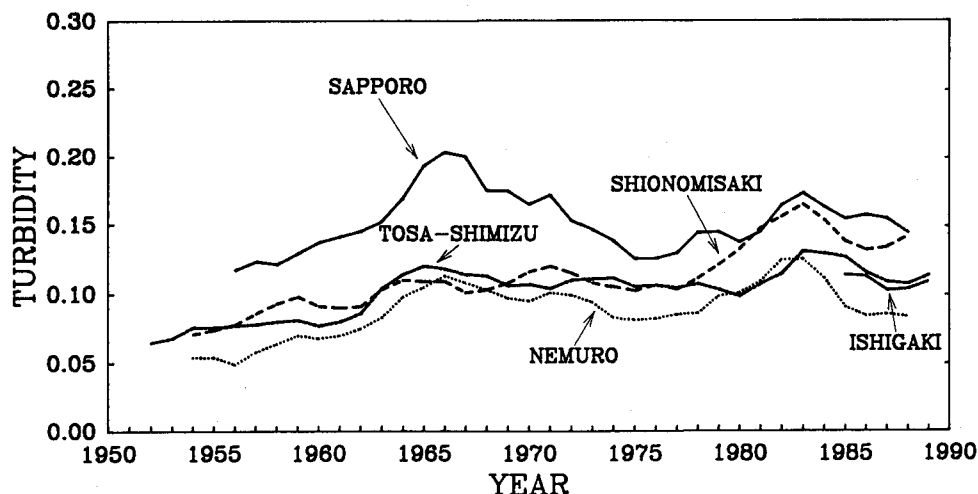


図 3. 札幌、根室、潮岬、土佐清水および石垣島における大気混濁係数の3年移動平均値の経年変化