

# 日本各地におけるエルチヨン火山噴火に伴う 山本の混濁係数の変動

荒生 公雄・川口美奈子\*・松本 弘子\*\*

長崎大学教育学部地学教室  
(平成3年2月28日受理)

Variations of Yamamoto's Turbidity Coefficient over Japan  
due to the El Chichon Volcanic Cloud

Kimio ARAO, Minako KAWAGUCHI and Hiroko MATSUMOTO

Department of Earth Sciences, Faculty of Education  
Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan  
(Received February 28, 1991)

## Abstract

Variations of Yamamoto's turbidity coefficient were studied in the period of the El Chichon volcanic dust veil for 14 stations in Japan. The most violent eruption of this mountain occurred on 4 April 1982. The results can be summarized as follows:

- (1) Compared with the levels of the year 1981, the maximum values of the anomalous positive deviation of the turbidity coefficient in 1982-83 ranged from 0.063 to 0.115 with the mean value of 0.090 for 14 stations.
- (2) These maximums were observed in summer 1982 at Okinawa islands and in winter at Hokkaido, which indicating that the main dense dust cloud in the lower stratosphere moved northward with the averaged velocity of 286km/month (9.4km/day).
- (3) At the Japanese stations, the effect of Mt. El Chichon on the atmospheric turbidity was strong and enduring compared with that of Mt. Agung (1963).

---

\* 現在 東京都国立市東2-27-23 (旧姓：島本)

\*\* 現在 長崎県生月町立生月中学校

## 1. は し が き

1982年3～4月に大爆発を起こしたエルチチョン火山(メキシコ; 17°20'N, 93°12'W)は、大量の火山灰を成層圏に注入し、全球的な規模で大気混濁度を増加させた。最も大規模な噴火は1982年4月4日であったが、生起された成層圏の顕著な混濁状態から、今世紀最大の火山爆発とみなされるとともに、日射の減衰による気温低下が憂慮され、多くの研究者の注目を浴びた。日本においても直接日射量の減衰、全天日射量の増加が観測され、山内・志村(1894)、Asano et al.(1985)および毛利(1990)などによって、日射量と大気混濁度の観点から研究が行なわれている。

本報告では、大気混濁度の一つの指標である山本の混濁係数(Yamamoto et al., 1968)を用いて、エルチチョン火山噴火の影響を考察する。気象庁では大気混濁度を伝統的にホイスナー・デュボアの混濁係数( $\tau_0$ )を用いて整理されているが(気象庁地上気象観測法, 1988)、この係数は直達日射の減衰がレーリー大気の減衰の何倍に相当するかを示すものであり、水蒸気吸収の影響も係数のなかに含まれ、厳密には気柱のエアロゾル量とは比例しない。一方、山本の混濁係数( $\beta$ )は、エアロゾルの粒径分布が仮定されているものの、水蒸気の影響を除去しており、エアロゾル量と比例するという利点がある。従って、上空に存在する火山灰の量的な推定や比較を行なう場合には十分有用な指標である。

## 2. データと解析の方法

本研究に用いたデータは、気象庁が恒常的に直達日射を観測している14地点のもので、気象庁が作表している直達日射観測月表に基づき、1981年1月から1983年9月までを対象とした。気象庁では各地点の地方真太陽時の09時、12時および15時の1日3回の観測値を整理しているが、その時刻を含む1時間以内が曇天であれば、記録としては記載されない。また、大都市の官署でまれに発生する程度であるが、大気透過率が0.5以下の著しい混濁状態も記録から除去されることに定められている。直達日射観測は晴天の場合に限られるから、その地点の季節によって観測回数にはかなりのバラツキがある。なお、1981年のデータは火山噴火の影響を受けていない期間であり、バックグラウンド的な混濁状態とみなしうるから、これを比較のための基準として解析に加えた。

解析はYamamoto et al.(1968)の方法に従った。ただし、個々の観測に対して高層気象観測のデータを用いて気柱の水蒸気量を計算することは膨大な作業量となることから、全地点について、水蒸気量の計算はYamamoto et al.(1971)が提示した地上水蒸気圧から推定する方法を用いた。その資料となる地上水蒸気圧のデータは「気象庁月報」の日平均水蒸気圧を用いた。

エアロゾルのみによる波長 $\lambda$ における光学的厚さを $\tau_M(\lambda)$ とすると、山本の混濁係数 $\beta$ は次の式で定義される。

$$\tau_M(\lambda) = \beta \lambda^{-1} \quad (1)$$

この係数 $\beta$ は、Ångström(1964)の定義した2つの混濁パラメーター( $\alpha, \beta$ )において $\alpha=1$ とした場合の $\beta$ と一致する。また、エアロゾルの個数基準の粒径分布が、広く受け入

れられている Junge の指数法則, すなわち

$$dN/dr = C \cdot r^{-4} \quad (C: \text{定数}, r: \text{半径}) \quad (2)$$

に従う場合には, 山本の混濁係数  $\beta$  は気柱に存在するエアロゾルの総量に比例する。

ところで, Asano et al. (1985) による直達日射の分光観測の解析によれば, エルチヨン火山灰の影響下におけるエアロゾルの粒径分布は, 茨城県つくば市において,

$$dN/dr = C \cdot r^{-3.8} \quad (3)$$

であったと報告されており, 通常の粒径分布とそれほど大きな差異は認められていない。従って, 山本の混濁係数は, エルチヨンの影響下においても, 近似的に上空のエアロゾル量とかなり良好な比例関係にあるとみなすことができる。

### 3. 解析の結果

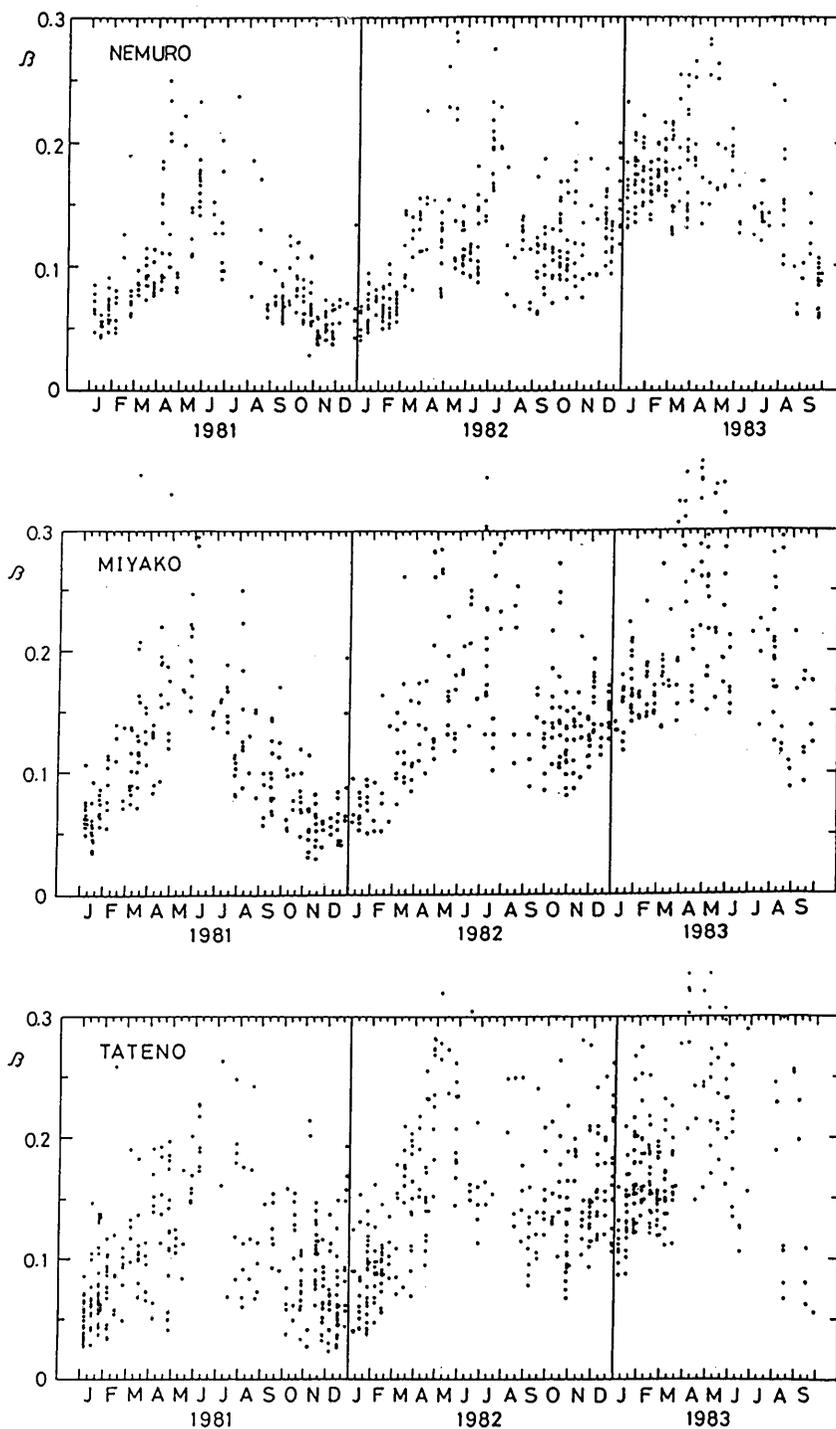
気象庁で直達日射観測を行なっている14官署の地点名は, 最後の2ページに掲げた附表(14地点の1981年1月から1983年9月までの $\beta$ の月平均値表)に示した。このうち高知県の清水測候所については, その正式名称にもかかわらず, 本稿では都市名である土佐清水と呼ぶことにする。

第1図と第2図に, 14地点のうちでも比較的代表性の高い, 根室, 宮古, 館野(第1図), および, 米子, 土佐清水, 那覇(第2図)の合計6地点における1981年1月から1983年9月までの $\beta$ の経日変化を示す。これらの6地点は, 緯度別の地域性が偏らないこと, 四季を通じて観測データが十分に得られていること, および, 都市大気の影響の少ない比較的清澄な地域であることの3点を考慮して選んだ。那覇は都市域の官署に属するが, 石垣島の観測データがやや少なかったために, 沖縄地方の代表として加えた。

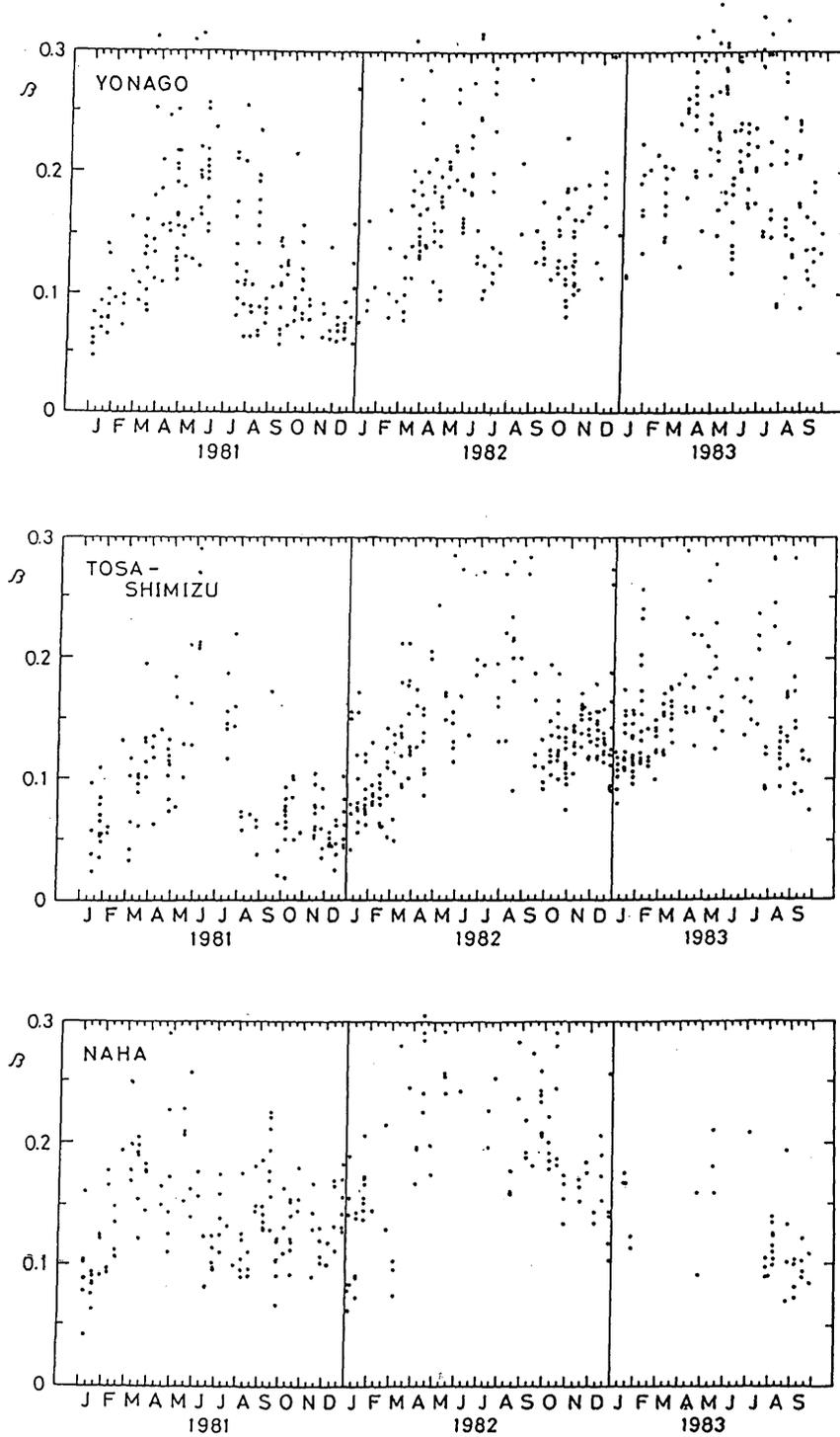
これらの地点の $\beta$ の経日変化により, 1981年の年変化と比べて, 1982年の秋以降のレベルが全体としてかなり高いことは一目瞭然である。特に, 1982年末から1983年春における清澄時のレベルの「かさあげ状態」がはっきりと認められる。

第3図は, 全地点の3か月移動平均法による, 1981年に対する月ごとの偏差図である。この場合, 基準になる1981年の月ごとの値も3か月移動平均値を用いた。勿論, 各月の単純平均値で比較することも可能であるが, それぞれの月における局地的な変動も相互に影響しあうので, 月ごとにかかなり振幅の大きい偏差となる。ここでは, エルチヨンによる比較的長い期間の $\beta$ の変化に注目するのであるから, 3か月移動平均値で比較することは十分妥当である。なお, 附表からわかるように, 那覇および石垣島では1983年に欠測の月が多いので, この年の偏差は除去されている。

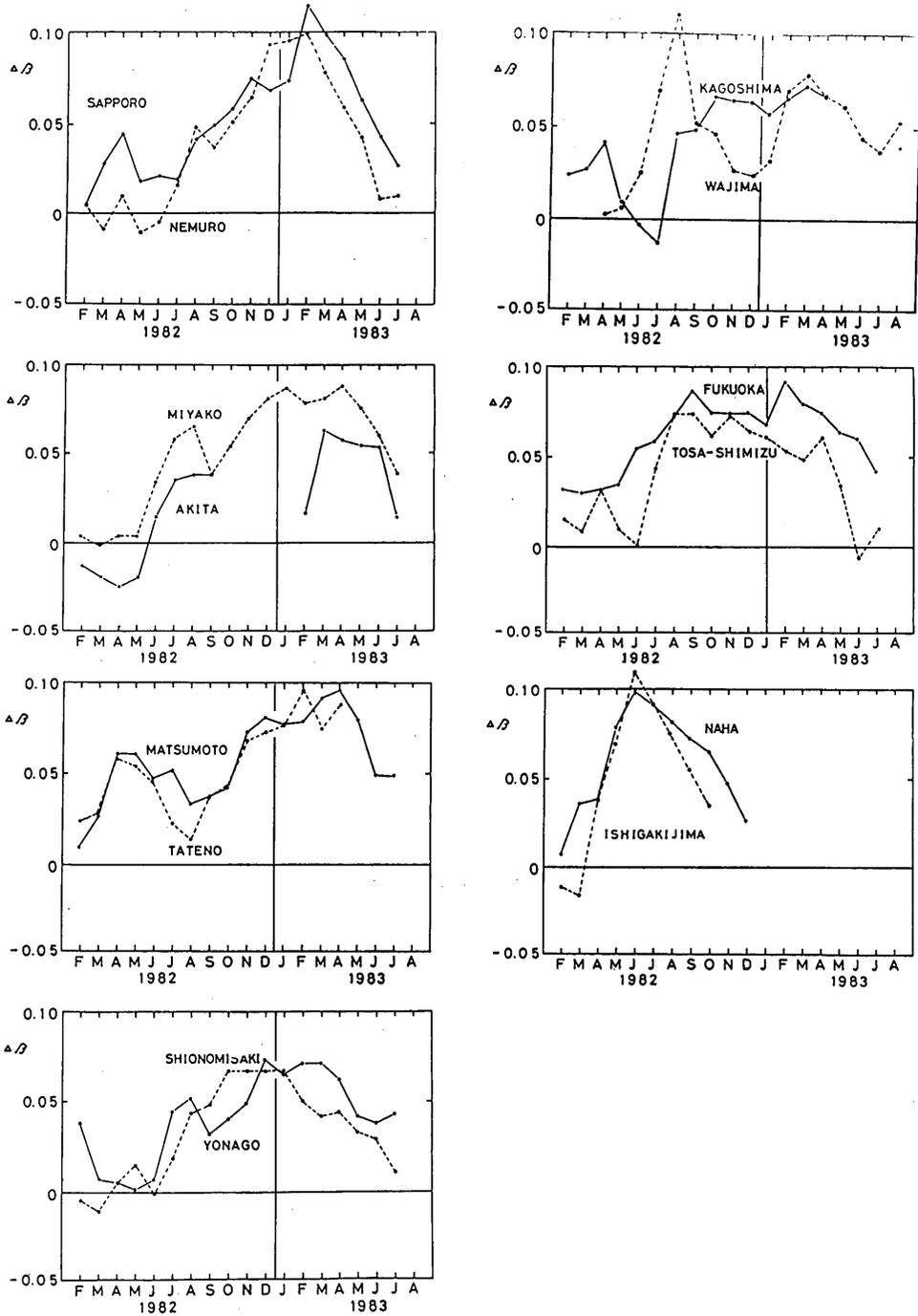
第3図より, 沖縄県地方では1982年6~7月に顕著な偏差のピークを示し, 北海道では1983年1~2月頃になっていて, およそ6~7か月のタイムラグがある。各地点における偏差の最大値は第1表に示すが, これらの最大値を単純に平均すれば, 0.090という値が得られる。ところで, 最大偏差の起時にはかなりバラツキがある。たとえば, 宮古, 松本, 福岡, 鹿児島では北海道よりもおそい。しかし, これらの地点でも1982年の秋から冬にかけて, 最大偏差に非常に近い値がすでに出現しており, それ以前からエルチヨンの影響が強く現れていたと考えることができる。春季は黄砂のシーズンでもあり, 日々の混濁状態の変化が激しく, 従って, 年ごとの変動もほかの季節よりも不安定である。このこと



第1図 山本の混濁係数の経日変化 (1981年1月~1983年9月)  
地点:上から順に,根室,宮古,館野



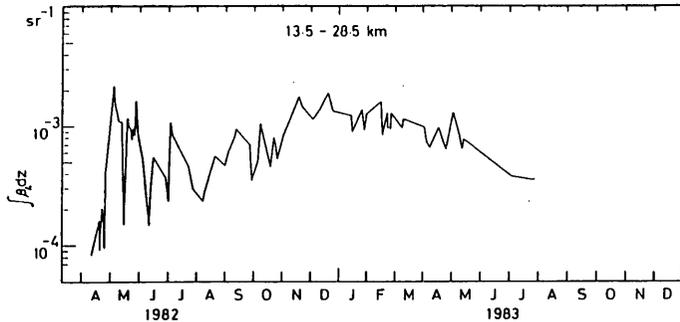
第2図 山本の混濁係数の経日変化 (1981年1月~1983年9月)  
 地点: 上から順に, 米子, 土佐清水, 那覇



第3図 14地点における  $\beta$  の3か月移動平均値の1981年に対する偏差 (1982年2月~1983年8月)

第1表 3か月移動平均法による山本の混濁係数の偏差の最大値と起時(1981年基準)

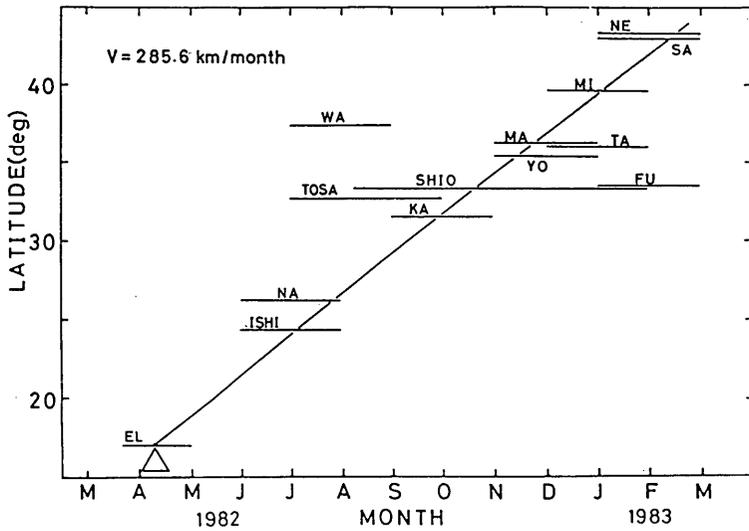
地点	$\Delta\beta$	起時(年・月)	地点	$\Delta\beta$	起時(年・月)
根室	0.100	1983・02	潮岬	0.068	1982・10—1983・01
札幌	0.115	1983・02	米子	0.074	1982・12
秋田	0.063	1983・03	土佐清水	0.074	1982・08—09
宮古	0.088	1983・04	福岡	0.092	1983・02
館野	0.096	1983・02	鹿児島	0.072	1983・03
松本	0.096	1983・04	那覇	0.098	1982・06
輪島	0.111	1982・08	石垣島	0.110	1982・06



第4図 福岡上空13.5~28.5kmのライダー観測で得られた後方散乱係数の経日変化(1982年4月~1983年7月; Hirono et al.による)

を考慮すれば、これらの地点のピークのおくれに、あまり執着する必要はないと考えられる。実際に、第3図において1983年春にピークを示した地点では、エルチジョンの影響が現れるはずのない、1982年の春(3~4月)の偏差も大きく、基準となっている1981年春の混濁度がやや低めであったことを示唆している。それゆえ、第1表の数値はこのような地点において $\Delta\beta$ がやや過大評価の傾向をもつと考えられるから、14地点における最大偏差の平均値0.090もやや大きめの値であろう。しかし、第3図および第1表から、ひかえめに見積もっても、潮岬や土佐清水の示す0.070程度の最大偏差があった、と結論づけることは十分妥当である。第1図や第2図の1981年の日々の混濁係数の分布からわかるように、 $\Delta\beta=0.070$ は比較的清澄な地点における寒候期の平均的な値であり、エルチジョン火山はこれに匹敵する量のエアロゾルを日本上空の成層圏にもたらしたことになる。あるいは、山内・志村(1984)がすでに指摘しているように、レーリー大気が約2倍になった場合と等価な減衰を引き起こしていたことになる。

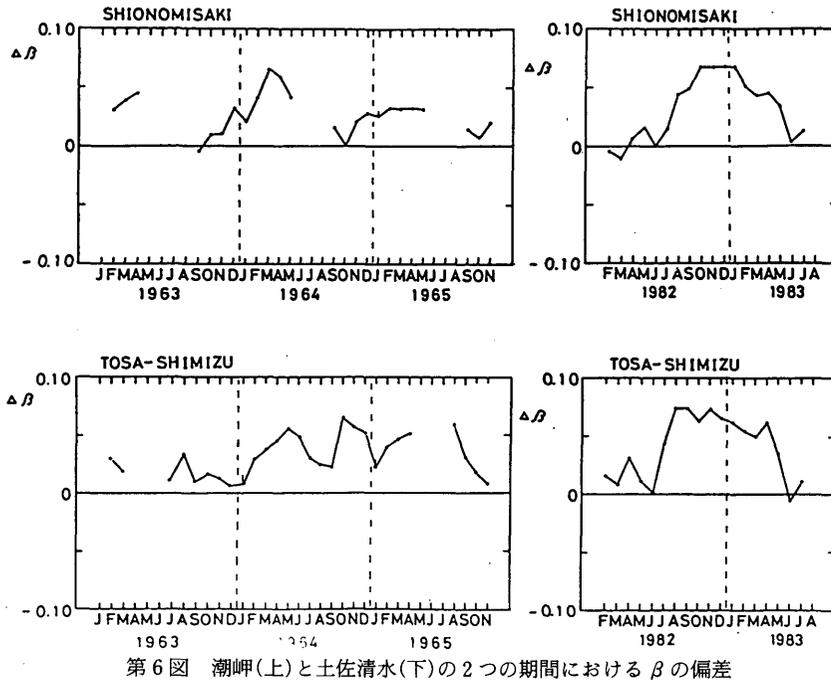
ここで、国内で得られた、ほかの研究者の結果と比較しておくことにする。山内・志村(1984)が示した、ホイスナー・デュボアの混濁係数の変化は、同じ直達日射のデータを用いているから、ここに示したものとをほぼ同じ傾向を示す。この混濁係数の場合には、水蒸気の吸収の影響も取り込まれるので、暖候期の値が山本の混濁係数に比べて大きめに評価されるが、平年値との偏差を示す図では季節の影響が除去され、今回の結果とよく一

第5図 各地点における $\beta$ の偏差最大期と緯度との関係

致している。彼らの示したエルチヨン最盛期のホイスナー・デュボアの混濁係数の年平均偏差は+1.0~+1.3程度であり、ここに示したと $\Delta\beta=0.090$ とほぼ対応する。

さらに、日射観測とは別に、レーザーレーダーによる成層圏エアロゾルの観測も、気象研究所(つくば)、名古屋大学、九州大学で行なわれていた。第4図に福岡上空の成層圏エアロゾルによる後方散乱係数の経日変化である(Hirono et al., 1984)。これによれば、1982年5月に最初の高濃度を出現させたのち、しばらくは小康を保っていたが、11月から1983年3月にかけて最盛期となっている。つくば(Uchino et al., 1984)および名古屋(Hayashida et al., 1984)の観測結果も福岡の場合とよく一致していた。第4図と第3図とを比べると、レーザーレーダーで得られた結果に最も近いものは、潮岬や鹿児島であり、ついで米子、福岡、土佐清水も良好であるが、福岡と土佐清水では混濁の急増時期がやや早い。ただし、第3図は3か月移動平均の推移であるから、第4図ほどの時間分解能をもたないことに留意が必要である。

第5図は混濁の偏差の最大期と緯度との関係である。ここでは2か月あるいはそれ以上の期間において継続して最も偏差が大きかった時期を示している。ただし、秋田については、1981年冬の欠測およびデータ不足を考慮して、ここには示していない。すでに述べた理由などから、必ずしも対応が良好であるとは言えないが、大局的な北上傾向は十分把握できる。この図からも、日本本土に最も強い影響を与えた時期は1982年10月~1983年2月頃であることがわかり、レーザーレーダー観測とほぼ一致する。さらに、日本上空を北上する火山性エアロゾルの速度は、図示したように、ひと月あたり286kmと推定でき、1日あたり9.4kmとなる(ひと月を30.5日とした計算値)。

第6図 潮岬(上)と土佐清水(下)の2つの期間における $\beta$ の偏差

#### 4. アグン火山の場合との比較

1963年3月に噴火を起こしたアグン火山(8°25'S, 115°30'E; インドネシア・バリ島)も成層圏に大量の火山灰を注入し、今回と同様の注目を浴びた。アグンは南半球に著しい影響を与えたが、北半球にもその影響は及んでいた(たとえば, Dyer and Hicks, 1968)。そこで、潮岬および土佐清水のデータを用いて、アグンとエルチヨンの比較を試みる。1960年代の基礎資料としては、Yamamoto et al. (1971) および Arao (1974) が整理したものを、1961~62年の2年間平均で各月の3か月移動平均を求め、これを基準値として、1963~65年について3か月移動平均との偏差を算出した。第6図にその結果を示す。1964年の上半期に両地点において $\Delta\beta=0.050\sim0.060$ 程度の上昇が見られ、エルチヨンよりわずかに小さいものの、アグンの影響と認められるピークが出現している。しかし、偏差の十分に大きい期間はエルチヨンよりも短く、両地点での位相の同調性もそれほど良好ではない。このように、エルチヨンはその規模と継続期間において、アグンよりもはるかに顕著な影響を与えたと言える。また、すでに Arao (1974) が指摘したように、アグン期は日本全域で混濁度が上昇した時期と重なり、1985年までの正の偏差のすべてをアグン火山に帰すことには無理があると考えられる。1984年の偏差はともかく、1965年の偏差には下層大気の広域汚染による効果も加わっている可能性がある。

ところで、Dyer and Hicks (1968) の解析によれば、アグンの火山灰は、北半球では噴火後6か月を経てようやく日射の低下が現われ、その後、冬から春にかけて緯度30~60°(北

緯)の移動に約4か月を要しているに過ぎない。第5図では緯度 $10^{\circ}$ に4か月を要しているから、アグンの場合には約3倍の北上速度をもっていたことになる。ただし、速度の評価は何を相手にするかによって、かなり異なってくる。たとえば、国内のライダー群は、上に示したように、こぞって1982年5月初めに第1波をとらえており、アラスカのフェアバンクス( $64^{\circ}49'N$ )では、1982年11月15日に最初の日射の激減を観測している(Wendler, 1984)。これを対象にすれば、福岡-フェアバンクスの緯度差 $31^{\circ}$ を約6か月半で北上したことになり、第5図に示した速度の約2倍になるとともに、アグンの3分の2程度にまで近づく。

## 謝 辞

本研究の基礎資料は気象庁直達日射量観測月表であり、本資料の入手に際して、気象庁観測部測候課と日本気象協会長崎支部に多大のご援助をいただいた。また、水蒸気圧のデータは気象庁月報によったが、その閲覧にあたり、長崎大学附属図書館医学分館にお世話になった。上記の機関および担当職員に深甚なる謝意を表します。

## 参 考 文 献

- Ångström, A., 1964: The parameters of atmospheric turbidity. *Tellus*, **16**, 64-75.
- Asano, S., M. Sekine, M. Kobayashi and K. Murai, 1985: Atmospheric turbidity and aerosol size distribution in winter at Tsukuba: Effects of the eruption of El Chichon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 453-463.
- Arao, K., 1974: Recent change of atmospheric turbidity over Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **52**, 506-508.
- Dyer, A.J. and B.B. Hicks, 1968: Global spread of volcanic dust from the Bali eruption of 1963. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **94**, 545-554.
- Hayashida, S., Y. Iwasaka, A. Kobayashi and A. Ono, 1984: Laser radar measurements of the stratospheric aerosol (II). WRI MAP Research Note-3, Water Research Institute, Nagoya University. pp. 36.
- Hirono, M., T. Shibata, M. Fujiwara and N. Fujiwara: Enormous increase of volcanic clouds in the stratosphere over Fukuoka after April 1982. *Geofisica Internacional*, **23-2**, 259-276.
- 毛利英明, 1990: エルチチオン噴火と日射の経年変化, *天気*, **37**, 261-263.
- Uchino, O., K. Takahashi, I. Tabata, I. Akita, Y. Okada and K. Naito, 1984: Ruby lidar observations of the El Chichon dust clouds at Tsukuba ( $36.1^{\circ}N$ ) and comparisons with UV lidar measurements at Fukuoka ( $33.6^{\circ}N$ ). *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 679-687.
- Wendler, G., 1984: Effects of the El Chichon volcanic cloud on solar radiation received at Fairbanks, Alaska. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **65**, 216-218.
- 山内豊太郎, 志村英洋, 1984: エルチチオン噴火と大気混濁の変動, *天気* **31**, 533-544.
- Yamamoto, G., M. Tanaka and K. Arao, 1968: Hemispherical distribution of turbidity coefficient as estimated from direct solar radiation measurements. *J. Meteor. Soc. Japan*, **46**, 287-300.
- Yamamoto, G., M. Tanaka and K. Arao, 1971: Secular variation of atmospheric turbidity over Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **49**, 859-865.

附表（その1） 山本の混濁係数( $\beta$ )の月平均値（1981年1月～1983年9月）

\*印：観測回数4個未満の平均値

地点	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
根室 北海道	1981	0.062	0.074	0.090	0.134	0.164	0.132	0.238*	0.104	0.076	0.075	0.051	0.071
	1982	0.066	0.067	0.119	0.126	0.153	0.117	0.195	0.109	0.107	0.124	0.118	0.136
	1983	0.175	0.174	0.175	0.202	0.194	0.140	0.142	0.129	0.092	—	—	—
札幌 北海道	1981	0.062	0.105	0.132	0.135	0.146	0.189*	0.138	0.121	0.100	0.089	0.061	0.077*
	1982	0.079	0.086	0.181*	0.182	0.184	0.147	0.185	0.143	0.131	0.160	0.127	0.146*
	1983	0.159*	0.171*	0.219	0.233	0.231	0.156	0.200	0.150	0.111	—	—	—
秋田 秋田県	1981	0.068*	0.115	0.176	0.191	0.193	0.178	0.158	0.119	0.132	0.093	0.121*	—
	1982	0.071*	0.085*	0.153	0.157	0.181	0.183	0.191	0.171	0.137	0.158	0.129	0.231
	1983	0.143*	0.148*	0.199	0.261	0.238	0.230	0.167	0.149	0.132	—	—	—
宮古 岩手県	1981	0.064	0.090	0.127	0.158	0.187	0.203	0.135	0.139	0.104	0.083	0.059	0.071
	1982	0.070	0.088	0.126	0.154	0.187	0.194	0.211	0.187	0.130	0.143	0.128	0.151
	1983	0.162	0.165	0.190	0.270	0.243	0.165	0.197	0.186	0.143	—	—	—
館野 茨城県	1981	0.063	0.089	0.110	0.132	0.151	0.200	0.168	0.109	0.143	0.089	0.095	0.079
	1982	0.082	0.095	0.148	0.187	0.243	0.172	0.156*	0.177	0.135	0.136	0.155	0.168
	1983	0.149	0.170	0.171	0.261	0.239	0.181	—	0.183	0.120	—	—	—
松本 長野県	1981	0.101	0.127	0.125	0.150	0.187	0.227	0.194	0.138	0.193	0.111	0.105	0.098
	1982	0.094	0.122	0.164	0.207	0.262	0.225	0.239	0.229	0.151	0.172	0.190	0.175
	1983	0.177	0.203	0.215	0.267	0.260	0.253	0.220	0.203	0.206	—	—	—
輪島 石川県	1981	—	—	0.170	0.160	0.202	0.190	0.125*	0.105	0.103	0.106	0.108	0.160
	1982	0.073	0.122	0.138	0.184	0.211	0.170	0.247	0.182	0.169	0.150	0.132	0.143*
	1983	0.143*	0.175*	0.209	0.246	0.245	0.216	0.146*	0.162	0.151	—	—	—

附表（その2） 山本の混濁係数( $\beta$ )の月平均値（1981年1月～1983年9月）

\*印：観測回数4個未満の平均値

地点	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
潮岬 和歌山県	1981	0.078	0.109	0.135	0.158	0.185	0.250	0.186	0.146	0.094	0.106	0.077	0.069
	1982	0.085	0.088	0.123	0.182	0.218	0.181	0.181	0.190	0.186	0.142	0.155	0.152
	1983	0.132	0.160	0.174	0.244	0.205	0.200	0.192	0.165	0.178	—	—	—
米子 鳥取県	1981	0.087	0.108	0.146	0.170	0.185	0.215	0.148	0.122	0.105	0.101	0.075	0.101
	1982	0.107	0.143	0.163	0.167	0.202	0.196	0.197	0.212*	0.138	0.139	0.154	0.182
	1983	0.172	0.181	0.216	0.247	0.221	0.217	0.204	0.199	0.140	—	—	—
土佐清水 高知県	1981	0.062	0.083*	0.108	0.112	0.145	0.241	0.158	0.063	0.075	0.072	0.069	0.057
	1982	0.084	0.088	0.131	0.145	0.164	0.191	0.185	0.202	0.156	0.122	0.141	0.152
	1983	0.122	0.147	0.155	0.183	0.186	0.160*	0.153	0.166	0.111	—	—	—
福岡 福岡県	1981	0.073	0.098	0.125	0.173	0.197	0.202	0.156	0.116	0.125	0.116	0.085	0.108
	1982	0.111	0.113	0.153	0.212	0.233	0.231	0.261	0.196	0.197	0.179	0.188	0.175
	1983	0.169	0.199	0.221	0.252	0.253	0.233*	0.224	0.195	0.203	—	—	—
鹿児島 鹿児島県	1981	0.072	0.078	0.105	0.122	0.201	0.260	0.089*	0.119	0.096*	0.088	0.091	0.094
	1982	0.094	0.098	0.135	0.170	0.225	0.232	0.142*	0.143	0.172	0.136	0.181	0.162
	1983	0.141	0.161	0.174*	0.238*	0.191*	—	0.166*	0.173	0.124	—	—	—
那覇 沖縄県	1981	0.094	0.136	0.180	0.172	0.192	0.118	0.133	0.118	0.146	0.136	0.121	0.141
	1982	0.131	0.161*	0.180	0.226	0.255	0.241*	0.224*	0.202	0.221	0.201	0.169	0.160
	1983	0.148	—	—	0.125*	0.182*	—	0.116	0.119	0.094	—	—	—
石垣島 沖縄県	1981	0.095	0.141	0.255	0.180	0.131	0.136	0.086	0.095	0.129	0.120	0.104	0.086
	1982	0.084	0.108*	0.153	0.177*	0.233	0.208*	0.195	0.157	0.204*	0.146	0.372*	—
	1983	—	0.175*	—	0.117	—	0.088*	0.097	0.093	0.084	—	—	—