

# 日本各地におけるピナツボ火山噴火に伴う 山本の混濁係数の変動

荒生 公雄・古賀かすみ\*・碓 由紀子

長崎大学教育学部地学教室  
(平成5年10月29日受理)

## Variations of Yamamoto's Turbidity Coefficient over Japan before and after the Eruption of Mt. Pinatubo 1991

Kimio ARAO, Kasumi KOGA and Yukiko IKARI

Department of Earth Sciences, Faculty of Education  
Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan  
(Received October. 29, 1993)

### Abstract

Atmospheric turbidity anomalies over Japan due to the volcanic eruption of Mt. Pinatubo occurred on June 1991 were studied by the use of the pyr heliometric data of Japan Meteorological Agency. The turbidity coefficient ( $\beta$ ) defined by Yamamoto et al. (1968) was evaluated for 14 stations and for 3 years from 1990 to 1992. In addition to the monthly mean value of  $\beta$ , the low mode value of  $\beta$  which is defined as the moderate value between the minimum and the median, and the high mode value as the moderate value between the maximum and the median were taken into account for estimating the monthly anomalies of atmospheric turbidity. The results can be summarized as follows.

- (1) The most severe influence of the stratospheric volcanic dust appeared in spring 1992 at almost all stations in Japan.
- (2) The extremes of the monthly anomalies were as high as the level of  $\Delta\beta=0.12\sim 0.15$ , which are significantly greater than those estimated at the El Chichon event during the years 1982-1983 ( $\Delta\beta=0.08\sim 0.11$ ).
- (3) Since the maximums were observed almost in the same months both at southern stations and northern stations, it is suggested that the stratospheric dust cloud spread meridionally at a high velocity.

---

\*現在 佐賀県伊万里市立山代中学校

## 1. は し が き

フィリピンのルソン島中部に位置するピナツボ火山 (Pinatubo; ピナトゥボとも表記される; 標高1745m) が、1991年6月15日に大爆発を起こした。山元 (1992) の記事によると、アメリカ地質調査所の示した火山爆発指数 (VEI) は5~6と推定され、1982年のメキシコ・エルチチョン火山の指数4を上回り、「今世紀最大級の火山噴火」という表現がしばしば用いられている。放出された大量のダストとガスによって、成層圏エアロゾルの著しい増加をもたらし、エアロゾル科学や気候学の観点から大きな注目を浴びている。

この火山噴火の成層圏への影響は、さまざまな現象や観測によって確認されており、全体としてはエルチチョン火山の場合よりも大規模な影響を与えているとする報告が多い。たとえば、徳野 (1991) は、気象衛星「ひまわり」が捉えた濃密な火山雲の画像を紹介するとともに、大噴火直後の噴煙は高さ18~21kmに達したと推定している。里田 (1992) は1991年11月の時点での気象庁気象研究所 (つくば市) のレーザーレーダー観測の結果を用いて、高さ22~24kmを中心に18~28kmに高濃度のエアロゾル層があることを示すとともに、山元 (1992) と同様に、火山噴火による気候の寒冷化の可能性を解説している。内野ほか (1993) は気象研究所ライダーで得られた1993年2月まで成層圏ダストの後方散乱係数の変化を図示し、1992年2月後半を最大期にしてその後減少傾向であったが、1992年秋に再び増加したことを示した。本研究と密接に関連する気象庁の観測による直達日射量の減少および大気混濁度 (フォイスナー・デュボアの混濁係数) の大幅増加の概要については大堀 (1992)、山内 (1993) によって報告されている。また、浅野 (1992) はピナツボの成層圏エアロゾルによるビショップリングの出現を報告している。さらに、ピナツボの成層圏ダストは、異様なほど明るく赤紫色に輝く夕焼け空をつくり出し、一般市民にまで日常的话题の種を提供した。天文ファンには人気のある冬空の Canopus (南の地平線付近に現れる竜骨座の輝星) も、1991年冬から1992年春にかけては肉眼による確認がほとんどできない大気状態となり、星仲間を落胆させた。

本研究では、大気混濁度の重要な指標の一つである山本の混濁係数 (Yamamoto et al., 1968) を用いて、ピナツボ火山噴火の日本上空への影響を考察する。解析の原理および基本的な手続きは、Yamamoto et al. (1971) および荒生ほか (1991) と同じであるから、それに関する説明は省略する。

## 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量観測月表の1990年1月から1992年12月までの3年間を対象とした。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することに定められている。直達日射観測は明瞭な晴天の日に限られるから、観測地の天候によって観測日数にはかなりのバラツキがある。このことが直達日射量や混濁係数を統計的に処理する際にかなり苦慮するところとなる。そこで、これま

第1表 Low mode および High mode の算出基準

月別観測日数	用いるデータ	備 考
1～5	——	mode 値は算出しない
6～8	2位の値	単独値を mode 値とする
9～12	2位+3位値	両者の平均値
13～16	3位+4位値	〃
17～20	4位+5位値	〃
21～24	5位+6位値	〃
25～28	6位+7位値	〃
28～31	7位+8位値	〃

での経験をふまえて、今回は次のような原則を設定して、山本の混濁係数（ここでは  $\beta$  と記す）を整理した。

- (1) 月別のデータを基礎的な統計的指標とし、月平均値 (Mean) を第1の指標とする。
- (2) 月ごとに混濁係数の Low mode (下位中間値) と High mode (上位中間値) を求め、それらを第2の指標とする。

ここで、第1表に Low mode および High mode を求める際に使用した基準表を示す。Low mode は、月単位で日混濁係数 (2～3回の観測があった日はその日の平均値) の小さい値から順位づけを行ない、小さい方から観測日数全体の (1/4) 位に相当する値と定めた。また、高い方から (1/4) 位に相当する値を High mode として定義した。その値は月別の観測日数によって第1表に示すような順位値もしくはそれらの平均値から導いた。たとえば、観測日数が10日の場合、10個の単純平均値を Mean、日混濁係数の小さい方から2位と3位の2つの値を平均した値を Low mode、大きい方から2位と3位を平均した値を High mode とした。

このようなやや特殊な指標を設けた理由は次の通りである。

- (1) 月平均値は十分意義のある指標であるが、極端な場合を除けば、成層圏ダストの寄与は大気混濁度全体の数分の1程度と推定されるから、年や季節による対流圏の通常の変動によって、成層圏の影響が隠される可能性がある。
- (2) そのような意味で、最も注目したいのは各月ごとの混濁係数の最低値である。しかしながら、最低値もまたその月のやや特殊な気象状態と密接に関係するから、毎年同じような値になるとは限らない。
- (3) そこで、その代用として下位中間値 (Low mode) を導入し、清澄な状態の平均値と位置づけた。同様の趣旨から上位中間値 (High mode) を混濁した状態の平均値とした。
- (4) このような3種の指標を総合的に用いれば、混濁係数の偏差について比較的信頼性の高い情報が得られる。少なくとも平均値だけや最低値だけよりも豊かな情報に基づいて変動傾向を考察できる利点がある。

第2表 各官署における月別の観測日数

官 署	年度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年計
根 室	1990	14	5	15	5	6	5	5	4	3	12	7	6	87
	1991	10	9	10	11	15	5	9	7	15	13	21	18	143
	1992	25	20	19	12	11	6	11	10	13	13	18	11	169
札 幌	1990	13	4	19	10	11	7	11	7	10	14	8	4	118
	1991	6	7	10	12	13	10	7	14	11	11	9	2	112
	1992	7	7	13	8	10	6	8	7	11	12	8	10	107
秋 田	1990	4	2	8	14	8	5	9	16	8	14	9	2	99
	1991	1	1	4	12	12	3	3	13	9	3	6	2	69
	1992	—	1	3	7	10	10	8	9	8	10	8	2	76
宮 古	1990	12	5	14	11	9	4	7	8	5	13	8	10	106
	1991	15	12	8	17	13	7	4	12	4	5	11	16	124
	1992	17	18	14	13	7	5	6	10	11	11	19	11	142
館 野	1990	17	6	16	9	7	4	3	12	9	10	12	18	123
	1991	21	20	12	12	11	5	1	10	4	5	13	14	128
	1992	21	16	8	13	9	6	4	11	16	11	10	18	143
松 本	1990	12	12	17	9	11	8	10	13	10	17	14	17	150
	1991	19	10	14	14	10	7	3	12	11	10	13	12	135
	1992	20	12	7	16	7	8	6	12	11	14	15	11	139
輪 島	1990	1	3	5	5	9	5	2	11	5	9	6	3	64
	1991	4	3	8	17	11	3	4	11	5	5	9	10	90
	1992	4	3	7	11	13	7	2	12	10	8	9	4	90
潮 岬	1990	21	11	14	13	10	8	2	8	15	17	19	25	163
	1991	26	21	15	17	8	7	7	12	14	11	22	20	180
	1992	19	22	10	20	13	6	10	13	18	19	15	21	186
米 子	1990	—	3	12	10	14	16	11	19	8	13	8	7	121
	1991	2	3	5	13	6	3	5	7	7	11	12	4	78
	1992	2	1	7	9	13	7	7	6	10	12	9	4	87
土佐清水	1990	16	9	10	11	10	6	9	12	10	13	19	22	147
	1991	20	10	8	13	8	3	7	8	11	11	20	11	130
	1992	15	12	6	10	11	1	5	5	15	20	17	19	136
福 岡	1990	8	6	5	11	10	8	9	13	9	11	15	9	114
	1991	10	7	9	10	7	1	3	10	10	17	20	12	116
	1992	—	11	3	11	12	7	5	5	13	18	10	10	105
鹿 児 島	1990	9	5	10	9	5	2	10	3	9	12	15	11	100
	1991	9	7	10	7	3	1	10	9	5	8	18	11	98
	1992	11	11	5	11	8	3	10	11	15	18	13	11	127
那 覇	1990	3	3	4	—	2	—	2	—	—	13	8	7	42
	1991	1	5	2	1	6	3	7	4	2	11	7	11	60
	1992	7	3	1	3	4	3	9	17	8	7	8	6	76
石 垣 島	1990	3	6	12	4	10	14	18	4	8	3	6	11	99
	1991	4	1	5	3	10	6	5	7	2	2	2	4	51
	1992	3	7	5	2	4	2	10	7	3	2	8	4	57

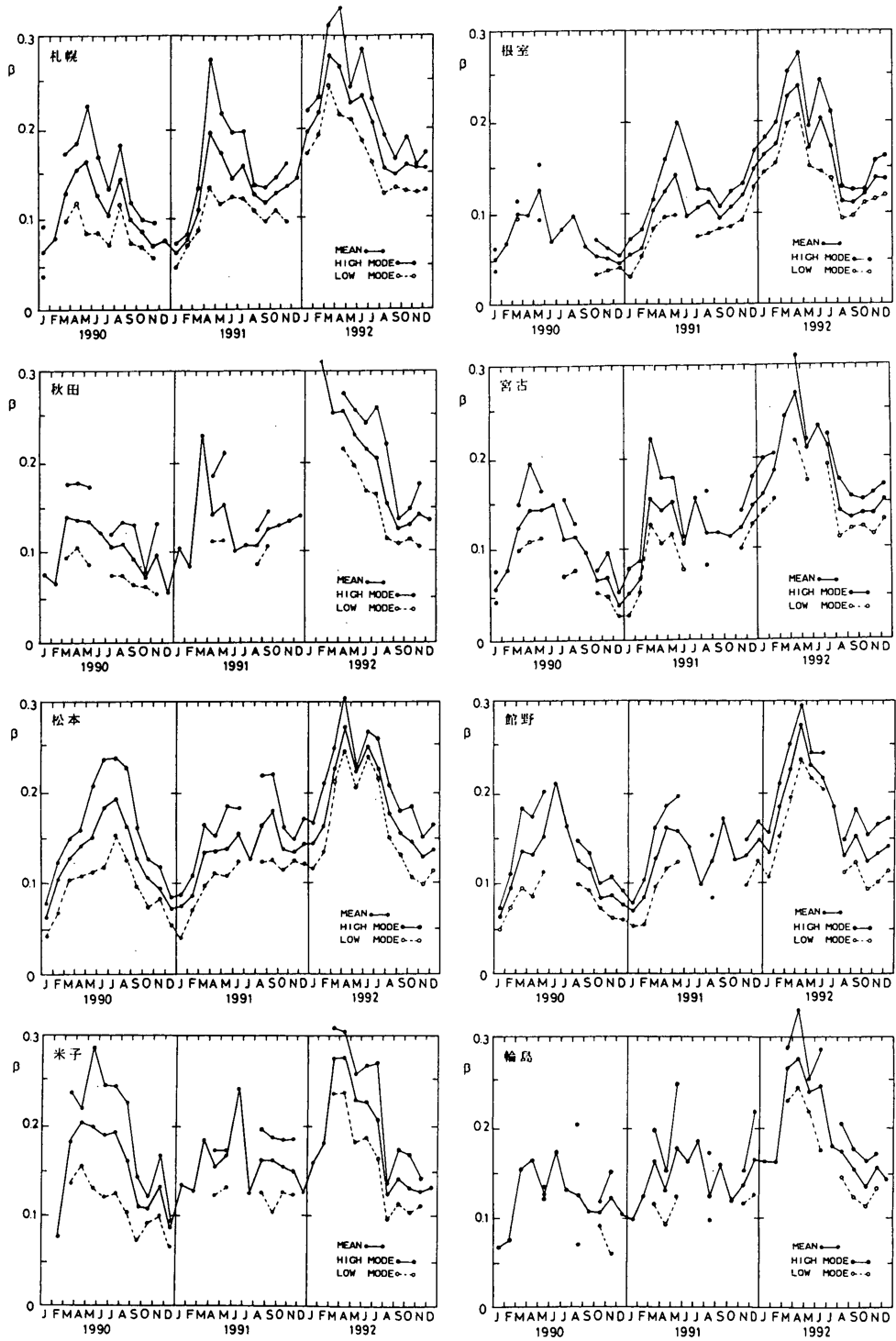
### 3. 解析の結果

まず、第2表に14官署における3年間の月別観測日数を示す。上で述べたような理由により、日数が重要な意味をもつからである。この表により、日数が最も多いのは潮岬であり、次いで松本、土佐清水、館野で多い。また、根室も1992年は非常に多い。しかし、偏差の基準年を1990年としたから、根室では1990年の日数が少ないために、1992年の豊富なデータが十分には生かされない欠点がある。そのような理由から、今回の解析において3年間を通じて最も豊富なデータを提供している地点は潮岬である。それでも、観測日数が10日に満たない月が3年間で7か月あることに留意されたい。

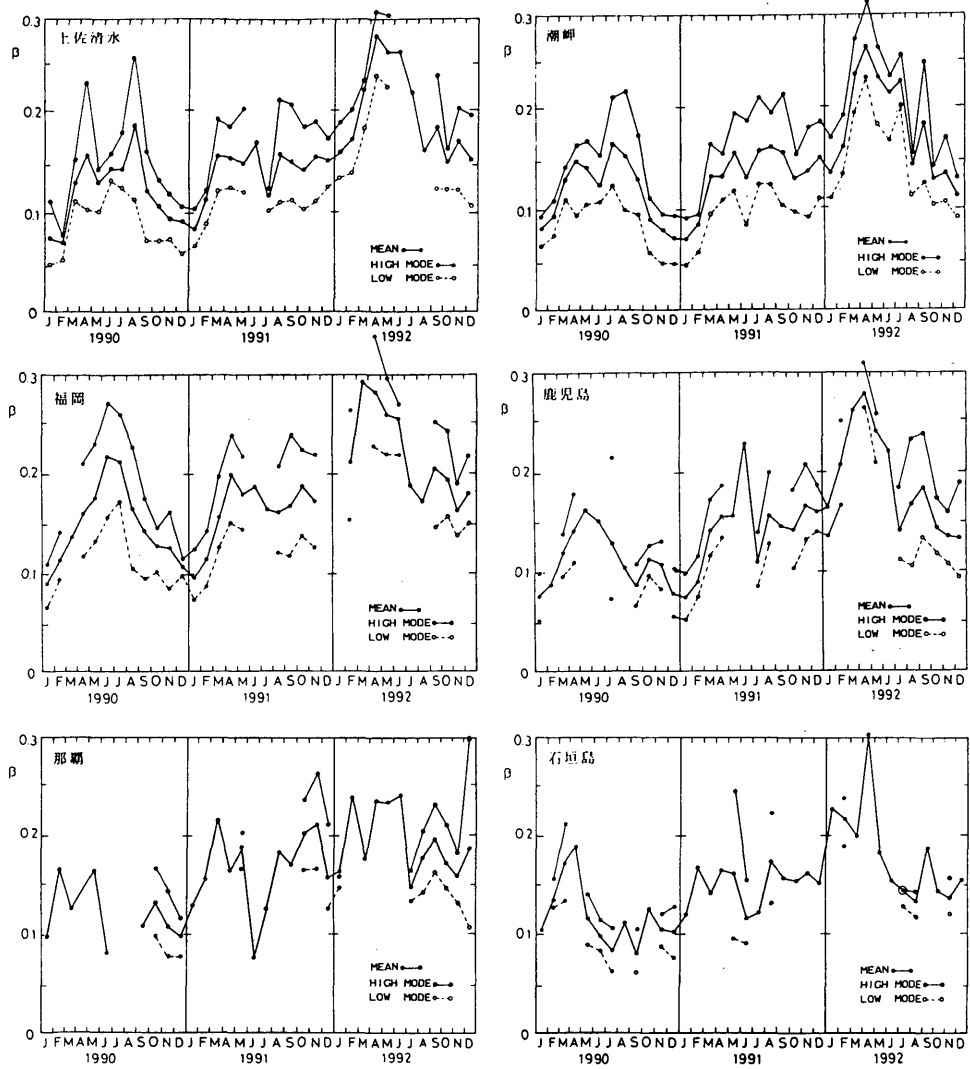
第1図に各官署における混濁係数の3種の指標の3年間の変化の様子を示す。1991年の秋から異常な変化となり、成層圏ダストの影響が明らかになっている。ただし、月観測日数が5日以下の場合にはLow modeおよびHigh modeは与えられないから、これらの月ごとの変化傾向が示せない部分も少なくない。なお、偏差を求める基準とした1990年の混濁係数の季節変化は、Yamamoto et al. (1971) や荒生ほか (1991) の従来の結果と比較して、十分に平穏的な変化傾向であったと判断される。

第2図には、全地点の1990年に対する1991~92年の月ごとの3種の指標の偏差( $\Delta\beta$ )を示す。それぞれの月における年ごとの微妙な変化や局地的な変動のためにより振幅の大きい偏差となるが、成層圏ダストの影響は明瞭に現れている。さらに、第3表(最終ページに掲載)に3種の指標の偏差の上位3位までの値とその発生月を示す。第3表では、基準年と対象年の月観測日数がともに9日以上ある場合の偏差を太字で表示した。太字の数字の方が信頼性が高いことは説明するまでもない。第2図および第3表から、混濁係数の偏差の特徴は次のようにまとめられる。

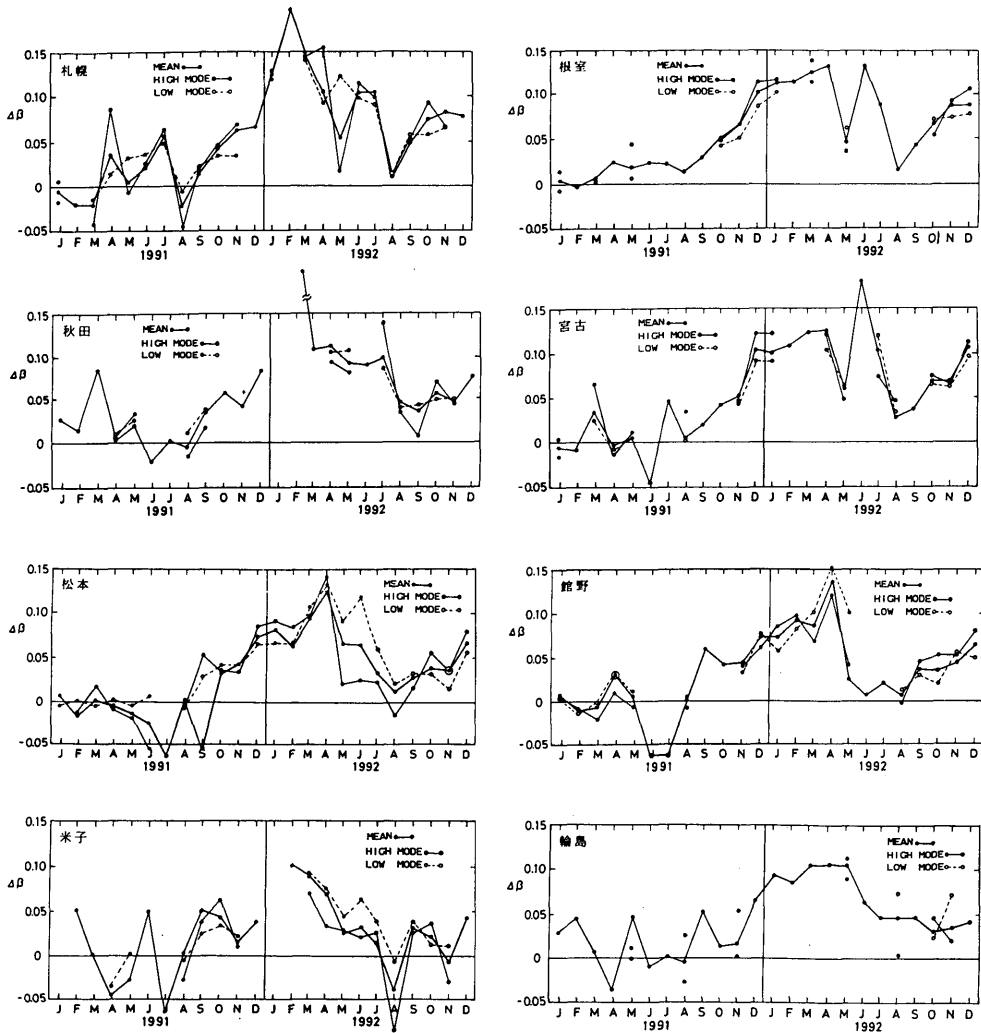
- (1) ピナツボ噴煙の影響は1991年9月頃から現れ始め、1992年3~5月にピークに達した。その後6~8月に急速に低下したが、1992年の秋~冬には前年の同じ季節と同程度の正の偏差にまで上昇した。このような変化傾向は内野ほか (1993) の示したライダーからの結果と非常によく一致している。
- (2) 1992年3~5月のピーク時の偏差は、一部の官署を除いて(米子、那覇、石垣島ではやや小さい)、 $\Delta\beta=0.12\sim 0.15$ となっている。この値はエルチチョン最盛期の偏差 $\Delta\beta=0.08\sim 0.11$ (荒生ほか, 1991) よりもかなり大きい。
- (3) ピナツボ噴煙の日本上空への流入にあたっては、観測地点の緯度による時間的なずれは月別の偏差からほとんど検出できない。すなわち、日本上空をかなり早く北上したことを示唆する。
- (4) 観測日数の多い地点では、ピーク時の平均値、Low modeおよびHigh modeの偏差は比較的良好にそろっている。これは月平均値だけでもかなりよく偏差を表すことを意味する。しかし、Low modeとHigh modeの導入によって、より豊かな情報が得られたことは間違いないところである。



第1図 (その1) 山本の混濁係数の経月変化 (1990年1月~1992年12月)  
 地点：札幌，根室／秋田，宮古／松本，館野／米子，輪島



第1図 (その2) 山本の混濁係数の経月変化 (1990年1月~1992年12月)  
 地点：土佐清水，潮岬／福岡，鹿児島／那覇，石垣島



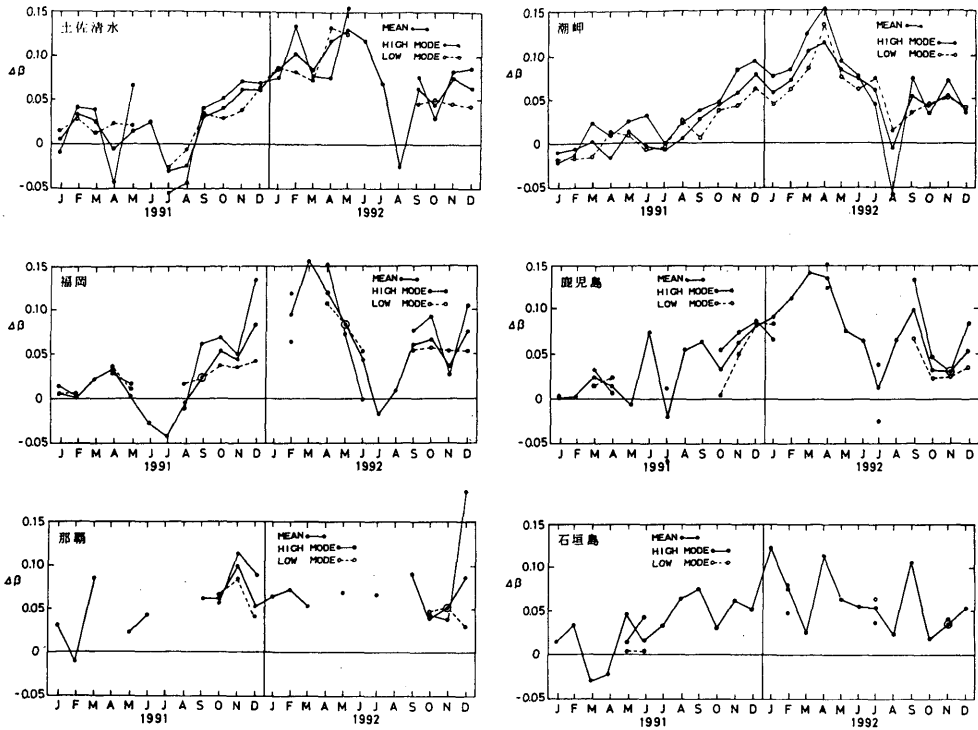
第2図(その1) 混濁係数の1990年に対する月別偏差(1991年1月～1992年12月)

地点：札幌，根室／秋田，宮古／松本，館野／米子，輪島

## 謝 辞

本研究には平成3・4年度文部省科学研究費(総合A/研究代表者：田中浩・名古屋大学大気水圏科学研究所教授)から御援助をいただいた。基礎資料である気象庁直達日射量観測月表の写しの入手に際して、日本気象協会中央本部にお世話になった。また、気象庁月報(地上水蒸気圧)の閲覧にあたっては長崎海洋気象台海上気象課に何度もお世話になった。さらに、気象庁高層気象台(館野)、潮岬測候所および清水測候所には個別に観測資料をご提供いただいた。上記の機関および担当職員に深甚なる謝意を表します。





第2図(その2) 混濁係数の1990年に対する月別偏差(1991年1月~1992年12月)  
 地点:土佐清水, 潮岬/福岡, 鹿児島/那覇, 石垣島

### 参 考 文 献

- 浅野正二, 1992: ピナトゥボ火山ダストによる光学現象, 天気, 39, No.3, カラーページ.
- 荒生公雄, 川口美奈子, 松本弘子, 1991: 日本におけるエルチチョン火山噴火に伴う山本の混濁係数の変動, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, No.45, 15-26.
- 内野修, 永井智広, 藤本敏文: ライダーによるピナトゥボ火山起源成層圏エアロゾルの観測一つくば(その2)一, 日本気象学会1993年春季大会講演予稿集, 127.
- 大堀新太郎, 1992: ピナトゥボ噴火による日射量への影響について, 気象, 1992年7月号, 8-11.
- 里田弘志, 1992: 火山活動と気候, 気象, 1992年7月号, 32-33.
- 徳野正己, 1991: ピナツボ山噴火の火山雲, 気象, 1991年8月号, 12-15.
- 山内豊太郎, 1993: 火山噴火に伴う大気混濁度の増加, 日本気象学会1993年春季大会講演予稿集, 69.
- 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.
- 山元龍三郎, 1992: ピナトゥボ山爆発は地球を冷やすか?, Newton, 1992年2月号, 82-89.

第3表 混濁係数の月別偏差 ( $\Delta\beta$ ) の上位3位までの値

太字は基準年(1990)と対比年(1991~92)の日数がともに9日以上あるもの

官 署	種 別	1位(年・月)	2位(年・月)	3位(年・月)
根 室	Mean	0.142 (92・4)	0.131 (92・6)	<b>0.126</b> (92・3)
	Low mode	0.119 (92・1)	<b>0.116</b> (92・3)	0.089 (91・12)
	High mode	<b>0.140</b> (92・3)	0.116 (91・12)	0.107 (92・12)
札 幌	Mean	0.206 (92・2)	<b>0.150</b> (92・3)	0.127 (92・1)
	Low mode	<b>0.144</b> (92・3)	0.130 (92・1)	<b>0.123</b> (92・5)
	High mode	0.158 (92・4)	<b>0.145</b> (92・3)	0.126 (92・1)
秋 田	Mean	0.245 (92・2)	0.114 (92・4)	0.111 (92・3)
	Low mode	0.110 (92・5)	0.108 (92・4)	0.087 (92・7)
	High mode	0.140 (92・7)	0.094 (92・4)	0.081 (92・5)
宮 古	Mean	0.182 (92・6)	<b>0.126</b> (92・4)	<b>0.123</b> (92・3)
	Low mode	0.120 (92・7)	<b>0.108</b> (92・4)	<b>0.097</b> (92・12)
	High mode	<b>0.124</b> (92・1/4)	<b>0.123</b> (91・12)	<b>0.114</b> (92・12)
館 野	Mean	<b>0.139</b> (92・4)	0.092 (92・2)	0.086 (92・3)
	Low mode	<b>0.152</b> (92・4)	0.101 (92・3/5)	0.082 (92・2)
	High mode	<b>0.122</b> (92・4)	0.098 (92・2)	<b>0.087</b> (92・1)
松 本	Mean	<b>0.127</b> (92・4)	0.097 (92・3)	<b>0.082</b> (92・1)
	Low mode	<b>0.134</b> (92・4)	0.120 (92・6)	0.108 (92・3)
	High mode	<b>0.142</b> (92・4)	0.098 (92・3)	<b>0.091</b> (92・1)
輪 島	Mean	<b>0.109</b> (92・4/5)	0.108 (92・3)	0.095 (92・1)
	Low mode	<b>0.113</b> (91・5)	<b>0.091</b> (92・5)	<b>0.075</b> (92・8)
	High mode	<b>0.116</b> (92・5)	0.046 (92・10)	0.020 (92・11)
潮 岬	Mean	<b>0.115</b> (92・4)	<b>0.106</b> (92・3)	<b>0.085</b> (92・5)
	Low mode	<b>0.135</b> (92・4)	<b>0.086</b> (92・3)	<b>0.079</b> (92・5)
	High mode	<b>0.151</b> (92・4)	<b>0.127</b> (92・3)	<b>0.094</b> (91・12/92・5)
米 子	Mean	0.104 (92・2)	0.094 (92・3)	<b>0.071</b> (92・4)
	Low mode	0.095 (92・3)	<b>0.079</b> (92・4)	0.067 (92・6)
	High mode	0.072 (92・3)	<b>0.063</b> (92・10)	<b>0.048</b> (92・10)
土佐清水	Mean	<b>0.131</b> (92・5)	<b>0.120</b> (92・4/6)	<b>0.104</b> (92・2)
	Low mode	<b>0.133</b> (92・4)	<b>0.127</b> (92・5)	<b>0.087</b> (92・1)
	High mode	<b>0.157</b> (92・5)	<b>0.136</b> (92・2)	<b>0.088</b> (92・12)
福 岡	Mean	0.157 (92・3)	<b>0.120</b> (92・4)	0.097 (92・2)
	Low mode	<b>0.108</b> (92・4)	<b>0.082</b> (92・5)	0.064 (92・2)
	High mode	<b>0.153</b> (92・4)	<b>0.138</b> (91・12)	0.120 (92・2)
鹿 児 島	Mean	0.142 (92・3)	<b>0.137</b> (92・4)	0.115 (92・2)
	Low mode	<b>0.152</b> (92・4)	<b>0.086</b> (92・1)	<b>0.084</b> (91・12)
	High mode	<b>0.135</b> (92・9)	<b>0.134</b> (92・4)	<b>0.084</b> (91・12)
那 覇	Mean	0.102 (91・11)	0.091 (92・9)	0.088 (91・3/92・12)
	Low mode	0.090 (91・11)	<b>0.069</b> (91・10)	0.051 (92・11)
	High mode	0.187 (92・12)	0.118 (91・11)	0.094 (91・12)
石 垣 島	Mean	0.123 (92・1)	0.116 (92・4)	0.106 (92・9)
	Low mode	0.063 (92・7)	0.050 (92・2)	0.032 (92・11)
	High mode	0.105 (91・5)	0.081 (92・2)	0.043 (91・6)