

東京都における浮遊粒子状物質の粒径分布とその特徴

秋山 薫 吉岡 秀俊 泉川 碩雄
鎌滝 裕輝 渡邊 武春 古明地 哲人
芳住 邦雄
(共立女子大学)

要 旨

浮遊粒子状物質の粒径分布の把握は発生源に関する知見を与えてくれることから、都内の数地点で粒径分布を調査し、地域的特徴や季節特性について検討した。その結果、浮遊粒子状物質の粒径分布は海洋上の小笠原を含めて二山型と認められた。都心部から山間部にかけては微小側のピークが大きいが、小笠原ではわずかであり、人為起源の粒子の影響の差が窺われた。浮遊粒子状物質濃度は都心部から遠ざかるにつれて減少する傾向にあるが、夏期の微小側では都心部よりも郊外や山間部で高くなる例もあるなど、その変化例は多様であった。次に、季節変化について見ると、都心部や郊外での測定例では粒径分布はいずれの季節も二山型と考えられた。この濃度は、郊外の粗大側では都心部よりも低いが、その季節変化の傾向は極めて類似しており、浮遊粒子状物質の汚染が広範囲であることの一端が覗かれた。また、早春期や年始期を除けば、夏期が低くて冬期が高いが、この傾向は微小粒子ほど顕著であり、人為起源の粒子が浮遊粒子状物質濃度の増減に大きく関与していることが認められた。

英文要旨

Characteristics of Size Distribution of Ambient Particulate Matter in the Tokyo Metropolitan Area

Kaoru Akiyama, Hidetoshi Yoshioka, Sekio Izumikawa,
Hiroki Kamataki, Takeharu Watanabe, Tetsuhito Komeiji
and Kunio Yoshizumi

(Kyoritsu Women's University)

Seasonal and local characteristics of size distribution of ambient particulate matter were examined by investigation on it in a few place of the Tokyo metropolitan area so as to acquire a knowledge of the sources. Consequently, it was considered that size distribution of ambient particulate matter was bi-modal in the Tokyo metropolitan area inclusive of Ogasawara. A peak in the side of fine particles was big in a center of Tokyo, the suburbs and the mountains, but it was a little in Ogasawara. Accordingly, it was recognized that influence of anthropogenic particles was different from the latter and the former. Concentrations of each size particle decreased as far as a center of Tokyo, but in summer, concentrations of fine particles were sometimes higher in the suburbs and the mountains than in a center of Tokyo. In this way, illustrations of the change were various. Next, looking over seasonal variations, it was considered that size distribution of ambient particulate matter was bi-modal in all season, too. Though concentrations of coarse particles were lower in the suburbs than in a center of Tokyo, trends of seasonal variations were very similar. It was suggested that pollution of ambient particulate matter covered a wide range of Tokyo. And except of early spring and a period of the beginning of the year, concentration of ambient particulate matter was high in winter and low in summer. As this trend was conspicuous in the side of fine particles, it was recognized that anthropogenic particles greatly took part in a variation of concentration of ambient particulate matter.

1 はじめに

浮遊粒子状物質は、人の健康への影響ばかりでなく、初冬から晩秋にかけて特に顕著な視程障害や酸性雨現象の原因物質としても着目されているが、東京都にあっては、この環境基準達成率は厳しい状況で推移し、ここ3年では環境基準を達成した測定局が一つもないという事態に到っており、早急な改善が望まれている。しかし、この浮遊粒子状物質は、その発生源が人為起源ばかりでなく、土壌や海塩などの自然起源やガス状物質が大気中で光化学反応などを経て粒子化する二次生成を含めて多岐にわたることから、低減対策を講ずる上で極めて困難な対象の一つとなっている。このように、その発生源が多岐にわたることから、化学的には極めて多様な組成からなり、また物理的には粒径分布という特性を有している。人為起源の粒子や二次生成粒子は微小側に、一方自然起源の粒子は粗大側に多いと考えられており、粒径分布の把握は発生源に関する知見を与えてくれる。

筆者らは、浮遊粒子状物質の主要な成分である元素状炭素や有機炭素の粒径分布とその特徴については既に報告したり²⁾³⁾。同様に、東京都における例として、アルミニウムなどの金属成分については吉岡らが報告している⁴⁾。硝酸イオンや硫酸イオンなどの水溶性成分については芳住らの報告がある⁵⁾。また、各種発生源粒子の粒径分布については、筆者らが推定結果を報告したところである³⁾。しかし、これらの組成あるいは発生源粒子によって構成される浮遊粒子状物質そのものの粒径分布についての、まとまった報告例は見あたらない。そこで、ここでは、この粒径分布の地域的な特徴及び季節特性につ

て検討し、若干の知見を得たので報告する。

2 調査

(1) 調査地点及び期間

1) 地域的特徴の把握

調査は、1988年から1992年にかけて、地域的な特徴を把握する目的で、都心部の環境科学研究所(江東区新砂)、郊外に位置し、都心部からは南よりの西へ約30kmの多摩測定局(多摩市愛宕)及び北よりの西へ約40kmの福生測定局(福生市本町)、山間部にあって、都心部からは北よりの西へ約65kmの小河内貯水池管理事務所(奥多摩町原)並びに東京から南に約1000km離れた、海洋上の小笠原諸島父島の亜熱帯農業センター(小笠原村父島)の5地点で行った。各調査地点については図1に図示した。この調査は小笠原が秋期に行ったのを除いて、原則として夏期と冬期に実施した。ただし、1990年の冬期については実施していない。また、郊外の2地点については調査をしていない年もある。各調査期間は表のとおりである。なお、これらの5地点とは別に道路沿道の柿ノ木坂測定局(目黒区柿の木坂)と豊玉測定局(練馬区豊玉北)についても前者は1991年、後者は1992年の夏期と冬期に調査をした。これらの調査地点についても図1に図示しておいた。各調査期間は図4に示してある。

2) 季節特性の把握

都心部の環境科学研究所と郊外の多摩測定局については、季節特性を把握する目的で、1989年から1990年にかけての1年間に概ね2ヵ月おきに調査をした。調査期間は図6に示してある。

表 各地点における調査期間

調査地点	環境科学研究所	多摩測定局	福生測定局	小河内貯水池	小笠原父島 (秋期)
1988年	夏期	7月29日～8月5日	7月29日～8月5日	8月23日～9月9日	10月7日～10月27日
	冬期	12月5日～12月9日	12月5日～12月9日	12月12日～12月28日	
1989年	夏期	7月28日～8月4日	7月28日～8月4日	7月28日～8月10日	9月12日～10月3日
	冬期	12月8日～12月15日	12月8日～12月15日	12月8日～12月22日	
1990年	夏期	7月30日～8月6日	7月31日～8月6日	7月31日～8月13日	10月17日～11月7日
	冬期				
1991年	夏期	7月30日～8月6日	7月30日～8月6日	7月30日～8月6日	10月4日～10月25日
	冬期	12月6日～12月13日	12月6日～12月13日	12月6日～12月24日	
1992年	夏期	7月20日～7月27日	7月20日～7月27日	7月13日～7月26日	10月6日～10月27日
	冬期	12月18日～12月25日	12月18日～12月25日	12月18日～12月25日	

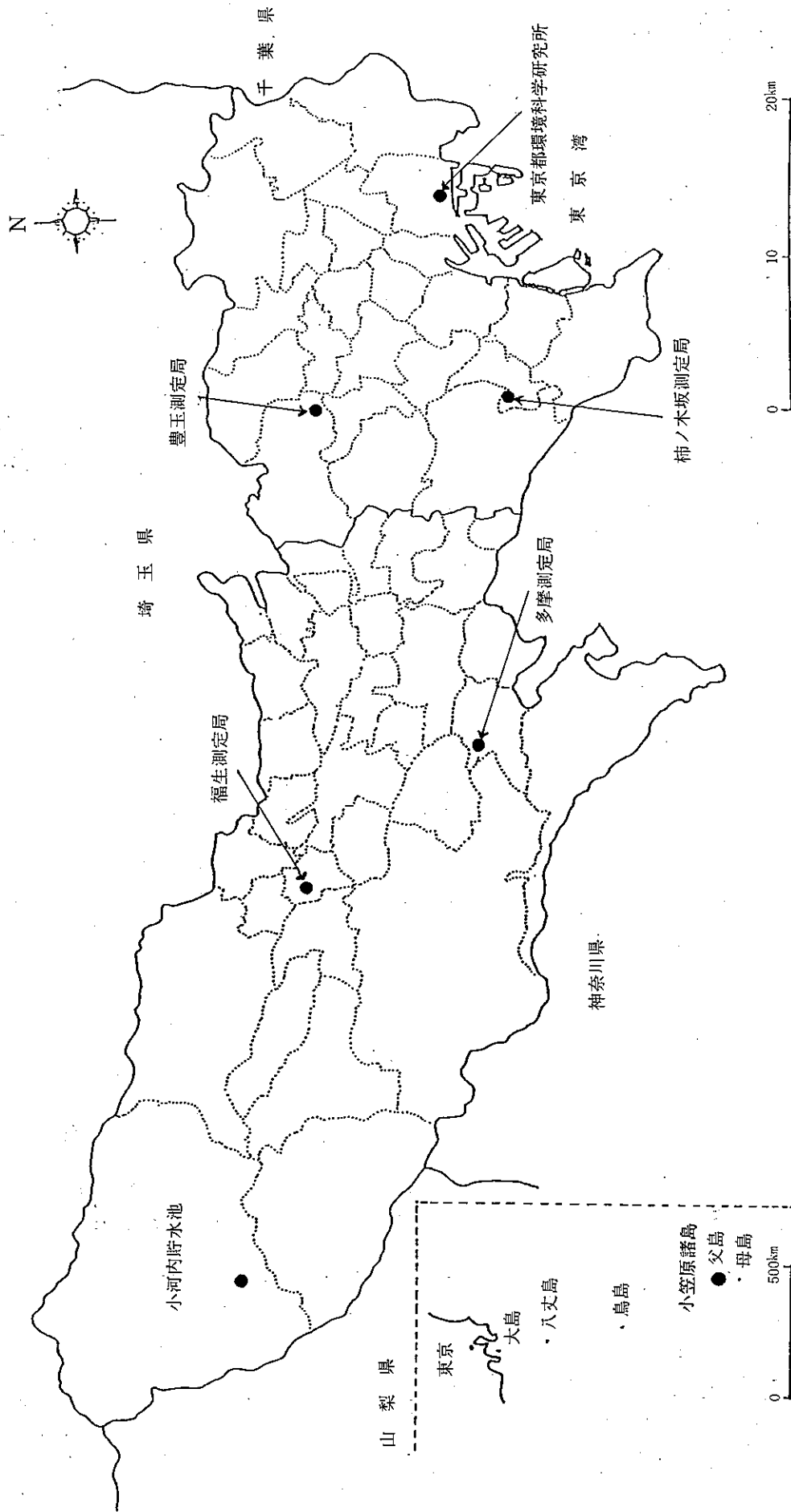


図1 粒径分布の調査地点

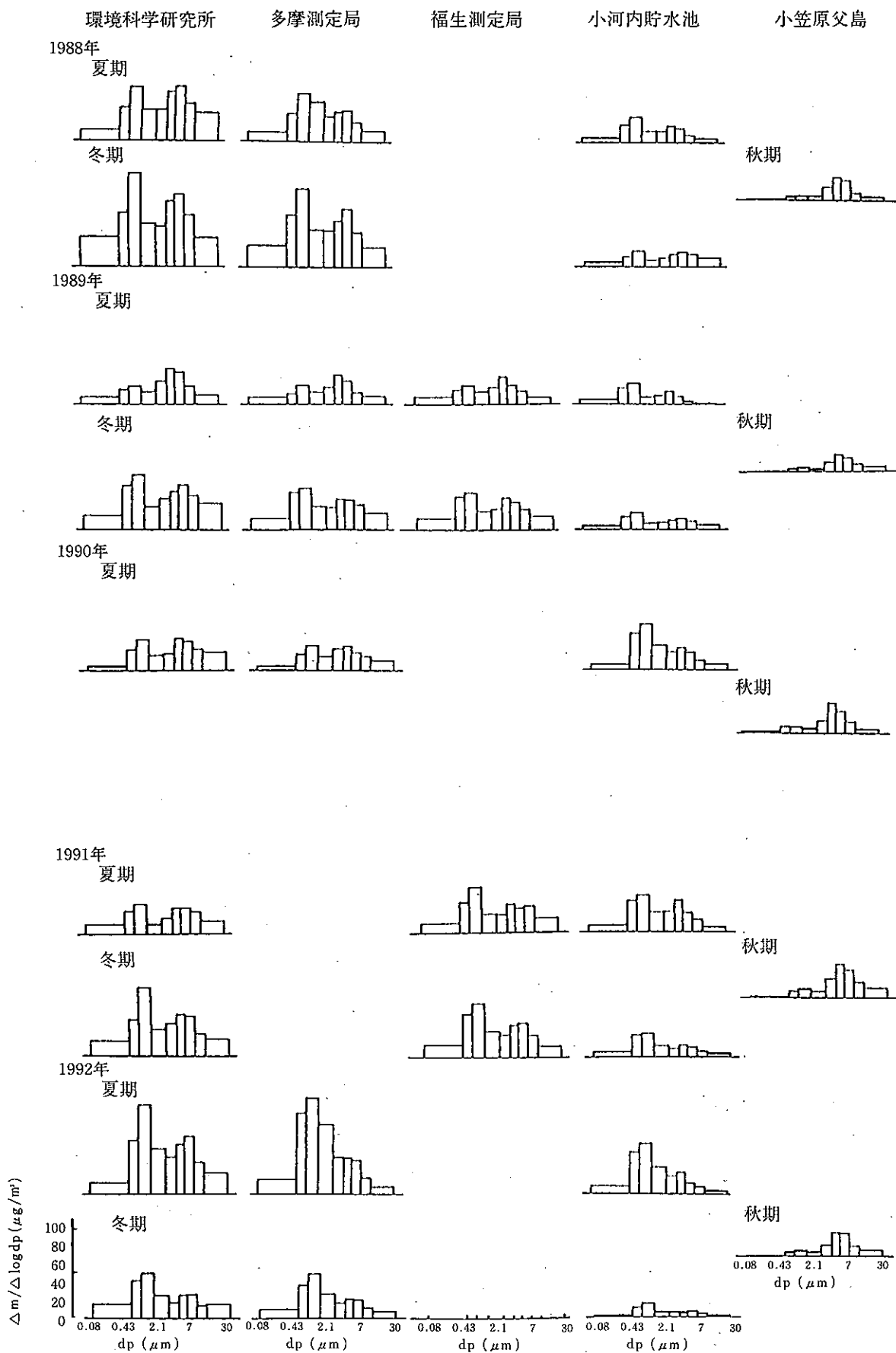


図2 各地点における浮遊粒子状物質の粒径分布

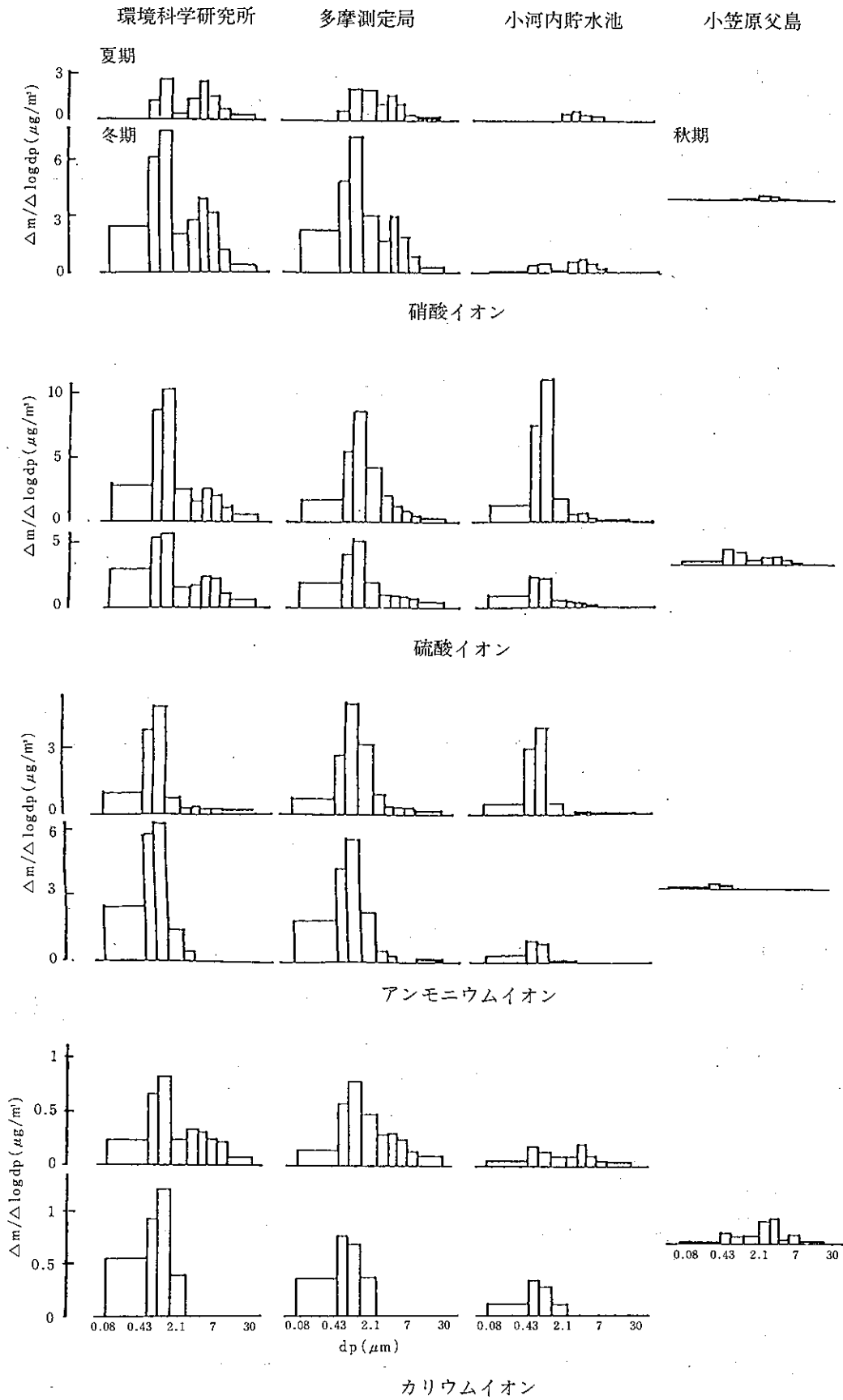


図3 水溶性成分の粒径分布

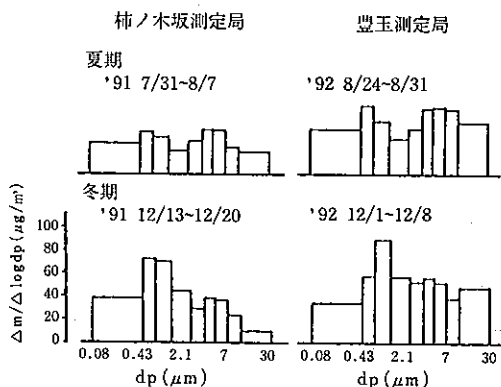


図4 道路沿道における浮遊粒子状物質の粒径分布

(2) 採取方法

浮遊粒子状物質の捕集は、アンダーセン・ローボリウムサンプラーで行った。装置の捕集段数を9段に設定し、概ね1週間（都心部や郊外）から3週間（小笠原）捕集した。捕集ろ紙は石英繊維ろ紙（Pallflex 2500 QAT-UP）である。このろ紙の捕集前後の重量差から各粒径範囲の浮遊粒子状物質濃度を求めた。

3 結果と考察

(1) 地域的特徴

1) 粒径分布

東京都内の各調査地点の5年間における浮遊粒子状物質の粒径分布の調査結果を図2に示した。この図から浮遊粒子状物質の粒径分布は二山型と考えられた。粗大側のピークは自然起源の粒子で、微小側のピークは人為起源の粒子や二次生成粒子と考えられているが、実際に筆者らのこれまでの調査からもそのことが確認されている。ここで、文献^{1), 4)及5)}の炭素成分と金属成分の粒径分布の調査、また各種発生源粒子の粒径分布の推定は1988年の例であることから、図3には同年の水溶性成分の粒径分布例を示した。これらから、粗大側のピークは組成的にはアルミニウムやナトリウムで、発生源粒子としては土壌や海塩に代表される自然起源の粒子で主として形成されていることが認められる。これに対して、微小側のピークは組成的には元素状炭素や有機炭素、マンガ、バナジウム、塩素、カリウム、硝酸イオン、硫酸イオン、それにアンモニウムイオンで、発生源粒子としては重油燃焼、鉄鋼工業、廃棄物焼却及び自動車などの人為起源の粒子と二次生成粒子とで構成されていることが認めら

れる。これらの結果は、溝畑ら⁶⁾や西川ら⁷⁾の報告例と概ね一致する。

都心部や郊外での二山型の分布は微小側のピークの高い例が多く、人為起源の影響が大きいことが認められた。特に、1992年夏期の多摩測定局の例では微小側のピークが粗大側のピークを覆い隠すような、一山型に近い分布すら確認された。この二山型の粒径分布は山間部の小河内でも現れ、山間部にあっても人為起源の影響が大きいことが認められた。一般に、粒径分布の山の高さは都心部や郊外では夏期よりも冬期の方が高いが、小河内では反対に夏期の方が高く、しかも微小側が顕著であることは、この時期は自動車の走行台数が増大すること、また南風が卓越することの反映と考えられる。一方、人為発生源から遠く離れた、海洋上の小笠原では二山型ではあるが、微小側のピークは極めて小さな、一山型に近い粒径分布であり、このことから小笠原では移流に伴う人為起源の粒子や島内の人為発生源からの影響は少なく、概ね自然起源の粒子から成り立っていることが窺える。

浮遊粒子状物質の主要な人為発生源と考えられ、筆者ら²⁾の発生源寄与率の推定結果によれば3～4割を占める自動車の影響を把握する目的で、道路沿道の2地点における粒径分布を求め、図4に示した。粒径分布は二山型と考えられるが、都心部や郊外などの例に比較して粒径が0.43 μm以下の微小粒子や、反対に11 μm以上の粗大粒子のピークが際立つ。これらは共に発生源としての自動車の特徴の端的な現れと考えられ、前者は燃料の不均一燃焼に伴って排気される自動車排出粒子であり、後者は自動車の走行に伴う自動車巻き上げ粉塵であると推測される。柿ノ木坂測定局に比べて豊玉測定局の例が特に顕著なのは、柿ノ木坂測定局は目黒通りとの交差点からは約300 m離れた、環状7号線の外回り側に面してあるが、豊玉測定局は環状7号線が目白通りを跨ぐ陸橋下にあることが大きな要因と考えられる。

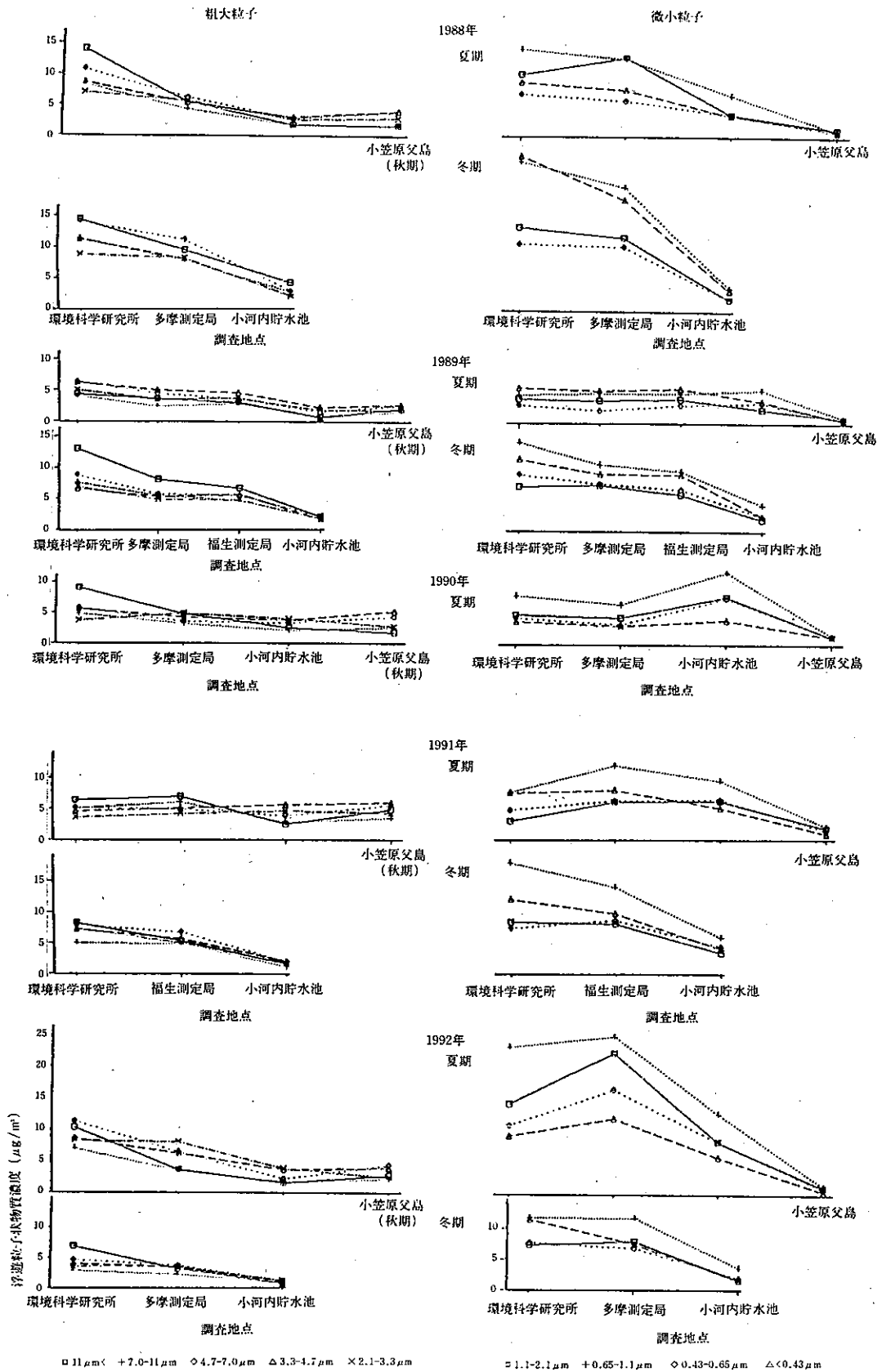


図5 各地点における粒径別の浮遊粒子状物質濃度

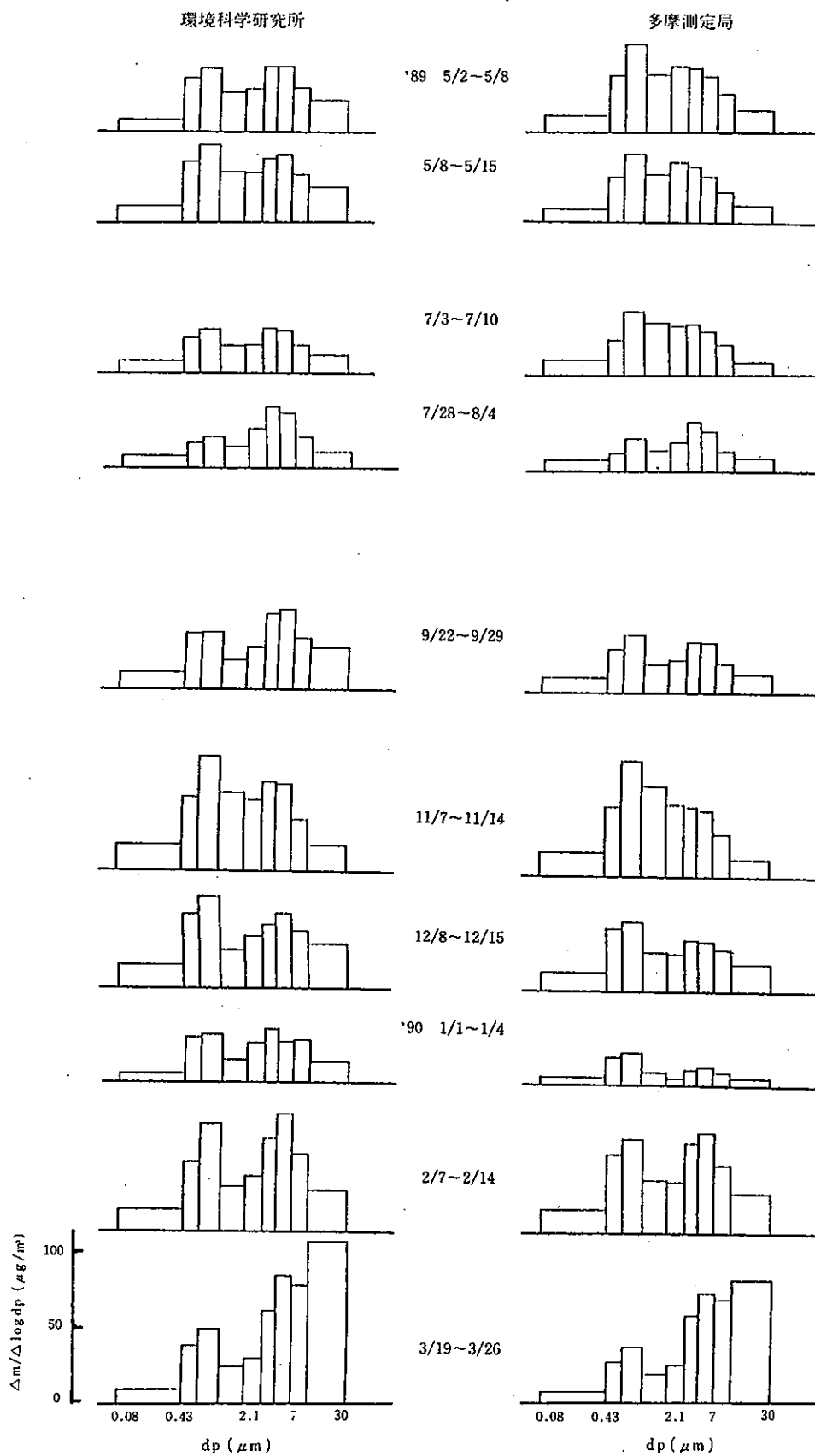


図6 浮遊粒子状物質の粒径分布と季節変化

2) 粒径別の濃度

各調査地点における粒径別の浮遊粒子状物質濃度を図5に示した。浮遊粒子状物質濃度の変化例が多様であることが窺われる。一般に、浮遊粒子状物質濃度は都心部から遠ざかるに従って低下する傾向にあるが、夏期の微小側ではそうとはならない例が目立った。それは、都心部から郊外にかけてその濃度がほとんど変化しない例や、郊外あるいは山間部が都心部よりも高くなる例である。後者の例では0.65 μm から1.1 μm 前後の粒径範囲の粒子が顕著であった。この領域は硫酸塩などの多い領域でもあり、二次生成粒子の影響が可能性として考えられる。また、粗大側でも1991年の夏期は濃度変化の見られない例であった。粒径が2.1 μm から7.0 μm の範囲の粗大粒子でその傾向が強いが、これは、現象としては都心部でやや低めの、山間部でやや高めの濃度となったことによるが、微小側での変化例を考慮すると、硝酸塩などの二次生成粒子に由来する可能性が考えられる。

次に、夏期と冬期とを比較すると、一般には大気安定する冬期の方が浮遊粒子状物質濃度は高いが、1992年のように夏期の方が高くなる例も認められた。この年は東京都の常時監視データでも7月の浮遊粒子状物質濃度の平均値は冬期を上回る値となっており⁸⁾、また南関東の各地で冬期よりも夏期の調査例が高濃度となった年でもある⁹⁾ことから、比較的広範囲な地域で生じた現象と考えられる。このことは、二次生成粒子も活発に生成されたものと予想されるが、これを含めて、気象的な要因が大きく影響しているものと考えられる。

(2) 季節特性

1) 粒径分布

都心部の環境科学研究所と郊外の多摩測定局における浮遊粒子状物質の粒径分布と季節変化を図6に示した。浮遊粒子状物質の粒径分布は二山型と考えられた。しかし、晩秋の郊外では粗大側のピークが、微小側の大きなピークに隠れてしまうような、一山型に近い分布が見られた。これは、この時期にあっては自動車排出粒子をはじめとする人為起源の粒子の影響の大きさを反映しているものと考えられる。早春の季節に粗大側の、特に11 μm 以上の粒子が著しく高くなるのは、この調査期間中に瞬間風速が20 m/sを超える日があったことも一因と思われるが、黄砂の飛来期でもあり、この影響も考えられる。その場合にも、粗大側のピークを引き上げるが、

微小側のピークには影響を及ぼさないことが認められ、このことから、それは概ね粗大粒子と考えられる^{10), 11)}。

次に、自動車走行台数が著しく減少する年始期について見ると、前後の調査時期に比較して小さな山となり、それは郊外で特に顕著であったが、粒径分布は二山型であり、微小側の粒子のみが減少する訳ではなかった。このことは、粗大側での自動車巻き上げ粉塵の影響も少なからぬことを反映しているものと考えられる。

2) 粒径別の濃度

粒径別の浮遊粒子状物質濃度の季節変化を図7に示した。都心部と郊外とにおける粒径別の浮遊粒子状物質濃度は、微小側ではほとんど差が認められず、粗大側では郊外の多摩測定局の方が低い値となっているが、その季節変化は極めて類似していた。これは、粗大側の粒子では比較的近い地域の影響も受けるのであろうが、浮遊粒子状物質の汚染が広範囲であることの現れと考えられる。また、この季節変化はいずれの粒径範囲の粒子も早春期や年始期を除けば、夏期が低くて晩秋から冬期にかけてが高くなる傾向を示した。この傾向は2.1 μm 以下の微小粒子ほど顕著であり、自動車排出粒子をはじめとする人為起源の粒子が冬期の高濃度現象など、浮遊粒子状物質濃度の増減に大きく関与していることが明らかになった。

4 まとめ

浮遊粒子状物質の粒径分布は、都心部や郊外、山間部、それに海洋上の小笠原を含めて、二山型と考えられた。郊外では粗大側のピークが微小側のピークに覆い隠されてしまうような、一山型に近い分布が見られるように、山間部までは微小側のピークは大きく、人為起源の影響が大きいことが認められた。しかし、小笠原では微小側のピークは小さく、多くは自然起源の粒子から成り立っていることが窺われた。この浮遊粒子状物質濃度は各粒径範囲とも、都心部から郊外、山間部へと減少する傾向と考えられるが、夏期の微小側では郊外や山間部の方が高くなる場合もあり、その変化例は多様であった。これは、二次生成粒子を含めて、気象的な要因に負うところが大きいと考えられる。

都心部と郊外の多摩測定局で求めた季節変化からも、浮遊粒子状物質の粒径分布は二山型と考えられた。しかし、冬期の高濃度時には郊外で粗大側のピークが微小側

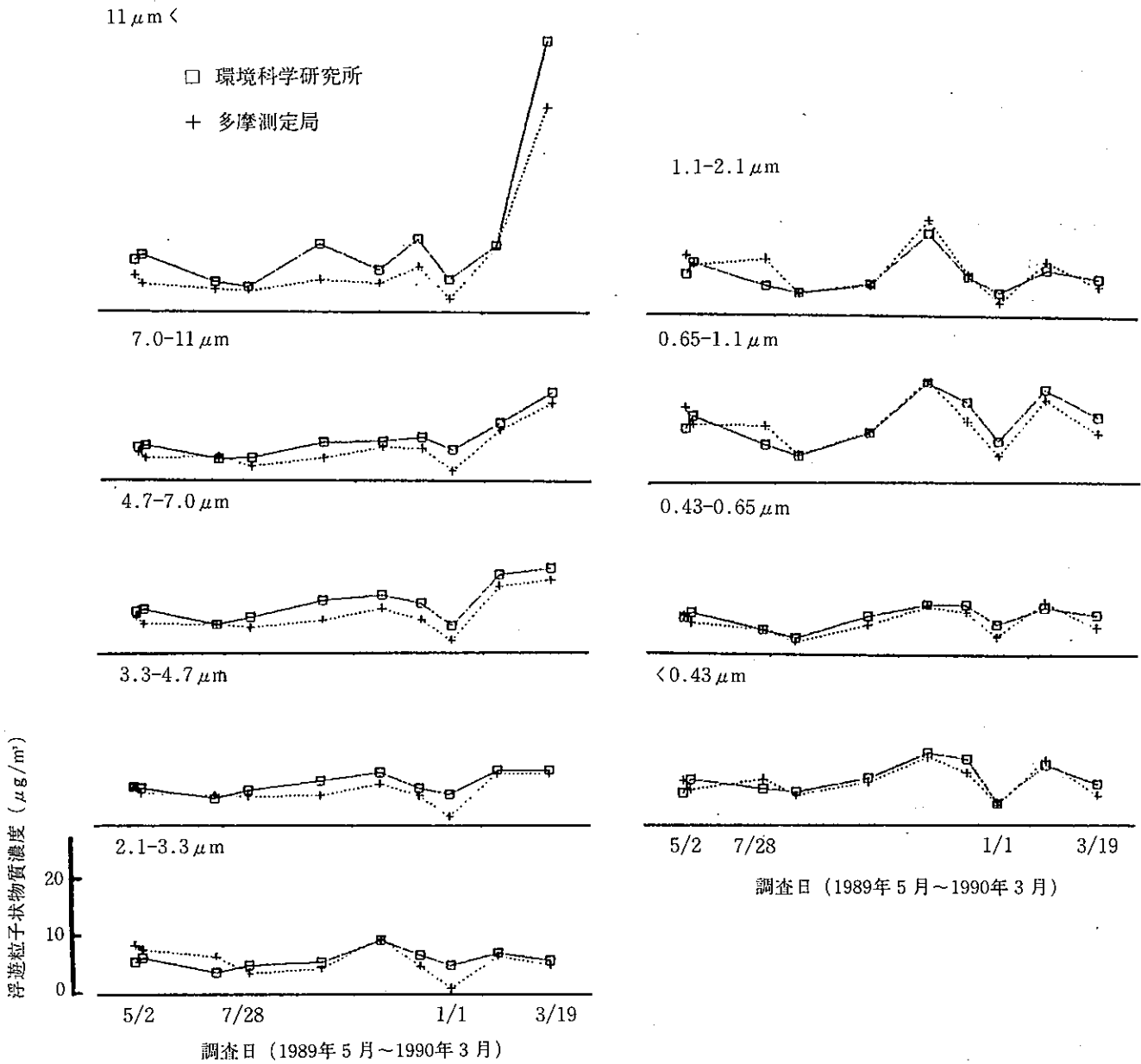


図7 粒径別の浮遊粒子状物質濃度の季節変化

のピークに覆われてしまうような、一山型に近い分布も見られた。また、早春の時期には $11\mu\text{m}$ 以上の粒子が特に増大する例も見られた。この粒径別の濃度は、粗大側の粒子では都心部よりも郊外の方が低いが、その季節変化の傾向は極めて類似しており、これは浮遊粒子状物質の汚染が広範囲であることの現れと考えられる。また、早春期や年始期を除けば、この季節変化は夏期が低くて冬期が高くなる傾向だが、その傾向は $2.1\mu\text{m}$ 以下の微小粒子ほど顕著であり、人為起源の粒子が浮遊粒子状物質濃度の増減に大きく関与していることが確認された。

参考文献

- 1) 秋山薫ら：東京都内における浮遊粒子状物質中の炭素成分の粒径分布、東京都環境科学研究所年報 1990、P.63-66.
- 2) 秋山薫ら：東京都における浮遊粒子状物質中の炭素成分の粒径分布と発生源寄与の推定、東京都環境科学研究所年報 1991、p.71-77.
- 3) 秋山薫ら：東京都における浮遊粒子状物質中の炭素成分の粒径分布と季節特性、及び各種発生源粒子の粒径分布の推定、東京都環境科学研究所年報 1992、p.44-53.

- 4) 吉岡秀俊ら：東京都における粒子状物質中の Al, Mn, V, Na 及び Cl の粒径分布、東京都環境科学研究所年報 1990、p.59-62.
- 5) 芳住邦雄ら：大気環境中における硫酸塩および硝酸塩の動態、及び同左、第 2 報、東京都公害研究所年報 1985、p.78-84、及び東京都環境科学研究所年報 1986、p.44-51.
- 6) 溝畑朗ら：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定 (II)、大気汚染学会誌、15、6、P. 225-233(1980).
- 7) 西川雅高ら：大気エアロゾル中の水溶性成分と不溶性成分の粒径別濃度分布とその化学組成、エアロゾル研究、2、4、P.294-303 (1987).
- 8) 東京都環境保全局大気保全部大気監視課：平成 4 年度大気汚染常時測定結果概要 (平成 6 年 3 月).
- 9) 一都三県公害防止協議会：平成 4 年度南関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告書 (平成 5 年 12 月).
- 10) 大気汚染研究協会：黄砂エアロゾルに関する調査研究、平成元年 3 月.
- 11) 名古屋大学水圏科学研究所編：大気水圏の科学—黄砂、古今書院 (1991).