

日本と米国の微小粒子状物質の大気中濃度の相違について

1. はじめに

微小粒子状物質の定量的リスク評価手法では、微小粒子状物質の長期及び短期曝露影響に関する定量的解析を行うに当たって、低濃度領域曝露における量-反応関係に関して、疾病構造や大気汚染状況の国内外の差異等による不確実性が大きいことに十分に考慮すべきであるとされている。

大気汚染状況に関しては、日本と米国では、発生源、バックグラウンド濃度、都市構造の違い等により、差異が生じていると考えられる。これら日米間における大気汚染状況の相違について検討するため、日本と米国における微小粒子状物質の大気中濃度について、特に成分濃度に着目して入手可能な直近のデータにより整理を行った。なお、米国の測定局は交通量の多い道路から一定の距離を置いて設置することが規則として定まっていることから、両国のデータを比較するため、この資料において日本の都市部のデータは一般環境大気測定局（一般局）のデータを用いた。

我が国における微小粒子状物質（PM_{2.5}）濃度については、平成 13 年度から 19 年度にかけて、環境省が実施する微小粒子状物質曝露影響調査等において、一般環境大気測定局（一般局）及び自動車排出ガス測定局（自排局）において測定を実施している。参考 1 に 50℃加熱方式 TEOM^{※1}による連続自動測定、SASS^{※2}による年 4 回（2 週間）の試料採取により得られた試料を用いた質量濃度及び成分濃度の測定結果を示した（参考 1 - P4）。

我が国における人為発生源由来粒子の影響が少ないと考えられる地域の微小粒子状物質（PM_{2.5}）濃度については、平成 15 年度から 19 年度にかけて環境省が 50℃加熱方式 TEOM により測定したデータ及び平成 20 年度に、環境省が、内陸、離島、岬といった地理的特徴を有する地点において、SASS による年 4 回（2 週間）の試料採取により得られた試料を用いた質量濃度及び成分濃度を測定したデータがある。参考 1 にこれらの測定結果を示した（参考 1 - P7）。

米国における PM_{2.5}濃度については、米国 EPA が WEB 上で提供している Air Quality System (AQS)において公表されたデータから主に直近のデータとして 2006 年度のデータを用い、自然的条件、社会的条件が異なると考えられる東部、中部、山岳部及び太平洋地域に分類して、それぞれの地域において人口規模、地域的広がり等の観点から 22 の主要都市の測定局を抽出し、質量濃度や成分濃度に関するデータを整理した（参考 2 - P15）。また、米国のバックグラウンド濃度は米国 EPA のスタッフレポートを整理して示した（参考 3 - P19）。

※1 TEOM :

Tapered Element Oscillating Microbalance の略。自動測定の一つで、固有の振動数で振動している円錐状の秤量素子の先端にフィルタが取り付けられ、フィルタ上に捕集された粒子状物質の質量の増加に伴い、素子の振動周波数が減少する原理を用いた測定法。

※2 SASS :

Speciation Air Sampling System の略。フィルタ採取法の一つで、同時に多チャンネルで試料採取を行うことができるため、成分分析試料採取用に用いられることが多い大気サンプラであり、各成分（質量、イオン成分、炭素成分）の測定が可能である。

※3 PM_{2.5} のバックグラウンド濃度 :

PM_{2.5} の発生源は、人為起源と自然起源に大別され、人為起源には固定発生源（工場・事業場等）と移動発生源（自動車、船舶、航空機等）がある。バックグラウンド濃度とは、人為起源以外の発生源に由来する濃度をいう。

2. 都市部における PM_{2.5} 濃度について

日本では、平成 19 年度に一般局において測定した 14 地点におけるデータからみると、地域によってばらつきはあるものの、有機炭素の占める割合が約 20% (3.5~4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、元素状炭素は 6~13% 程度 (1~2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、硫酸イオンは 21%~36% (3~8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、硝酸イオンは 5~18% 程度 (1~4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) である (参考 1-P5)。

米国においては、主要な都市の測定局データからみると、地域によってばらつきはあるものの、有機炭素の占める割合が 14~35% (2~5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) と高い一方で、元素状炭素は 3~12% 程度 (0.4~1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) と低い傾向にある。硫酸イオンは東部では 19%~30% (2.6~4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) に対し、西部では 7%~17% (1~2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) と西部では低い傾向にある (参考 2. P.15)。硝酸イオンやその他成分は都市によって異なり、低濃度の都市も存在する。なお、米国における大気環境測定局の設置基準では、測定局は道路から交通量ごとに定められた距離を離して設置することとされている (参考 2-P17)。

3. 人為起源粒子の発生の少ない地域における PM_{2.5} 濃度について

日本のバックグラウンドに近い人為起源粒子の発生が少ない地域において TEOM により利尻、隠岐、落石岬の 3 地点で PM_{2.5} 質量濃度を測定した結果によると 8~16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (参考 1-P7) の範囲内で推移している (利尻、隠岐は平成 15 年から測定開始、落石岬は平成 18 年から測定開始)。

SASS により、人為起源粒子の発生が少ない地域 8 地域において測定した結果によると、質量濃度は 3~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年平均値では 6~12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で推移している。また、成分濃度は、夏季・秋季の限られた情報ではあるが、硫酸イオンは約 24%~44% (1~5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、有機炭素 (4%~26%、0.1~2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、アンモニウムイオン (6%~13%、0.2~1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、その他の土壌粒子や水分等で構成されるその他の成分 (10%~41%、0.6~4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) が主要な成分として構成されている (参考 1-P9~11)。

硫酸イオンは、火山や大陸起因からの輸送など長距離輸送によるものも存在すると考えられる。その他の成分の濃度は土壌成分や水分等によって一定量存在するとともに、黄砂による自然現象によっても濃度はさらに高くなるとも考えられる。

一方、米国における PM_{2.5} の政策関連バックグラウンド濃度は、西部で 1~4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、東部で 2~5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定されている (参考 3-P19)。

4. 日本と米国の大気中濃度の相違について

日本と米国の PM_{2.5} の成分を比較すると、硫酸イオンに関しては寄与度・濃度ともに日本の方が地域にかかわらず高い傾向にある。日本のバックグラウンドに近い人為起源粒子の発生が少ない地域においても、夏季・秋季の限られた情報ではあるが、24～44% (1～5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) と比較的高い割合を占めており、火山や大陸起因からの輸送など長距離輸送によるものも存在すると考えられる。

都市地域における元素状炭素濃度も米国の都市に比べ日本の方が高い。有機炭素濃度や硝酸イオンは日本、米国ともに、それぞれ都市によって違いがあり、一概に比較することはできない。その他の成分の濃度については土壌成分や水分等によって一定量存在するとともに、黄砂による自然現象によっても濃度はさらに高くなるとも考えられる。

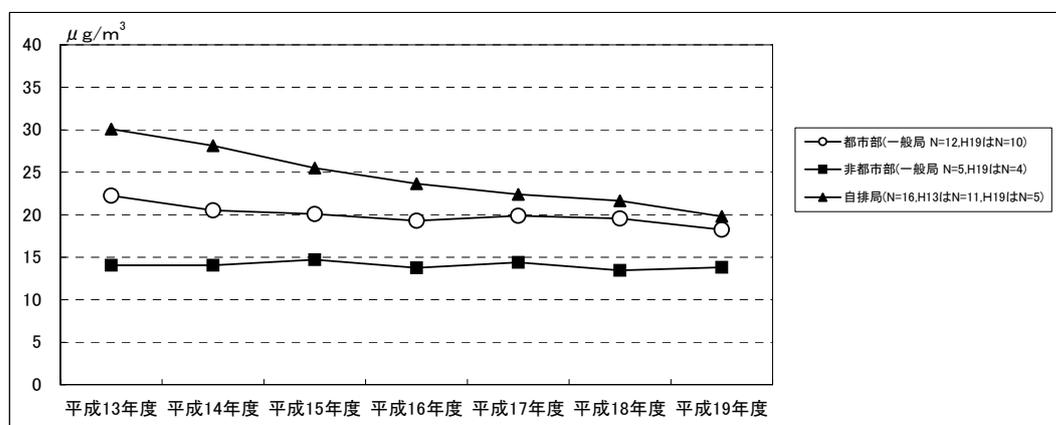
我が国における微小粒子状物質の大気中濃度について

1. 微小粒子状物質曝露影響調査等による測定結果

我が国における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 濃度については、平成 13 年度から 19 年度にかけて、環境省が実施する微小粒子状物質曝露影響調査等において、一般環境大気測定局 (一般局) 及び自動車排出ガス測定局 (自排局) において、測定を実施している。

(1) 質量濃度

PM_{2.5} の質量濃度の連続測定は 50℃加熱方式 TEOM を用いて行った。質量濃度の年平均値の経年変化 (平成 13~19 年) 結果を図 1 に示す。



※N=調査地点数

図1 PM_{2.5}(50℃加熱方式TEOM)質量濃度の年平均値の経年変化

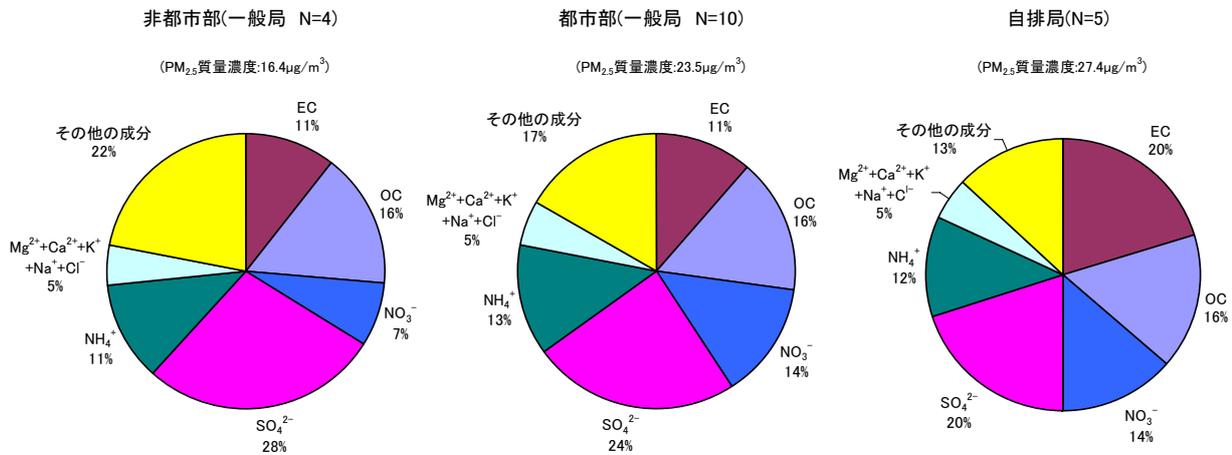
PM_{2.5} 濃度は自排局で顕著な濃度低下がみられ、都市部一般局では初期に減少したが最近では横ばい傾向、非都市部一般局では全体にわたって横ばいであった。

(2) 成分濃度

PM_{2.5} の主要な成分は元素状炭素 (EC)、有機炭素 (OC)、硝酸イオン (NO₃⁻)、硫酸イオン (SO₄²⁻)、アンモニウムイオン (NH₄⁺) 等である。

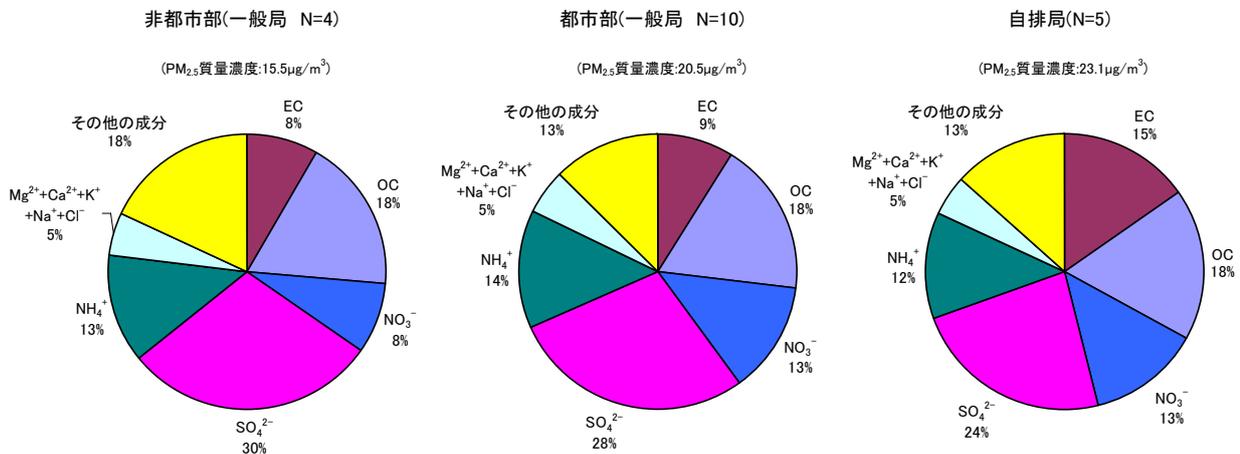
PM_{2.5} 中に含まれる炭素・イオン成分等の積み上げ結果に関して、平成 16 年度から平成 19 年度にかけての成分濃度の経年変化の結果 (図 4) によると、年々元素状炭素濃度が減少しており、図 2、図 3 を比較すると、粒子成分の中で元素状炭素濃度の占める割合が減少している。この傾向は、SPM 環境基準達成のための自動車排出ガス対策等各種施策の実施により燃焼由来粒子の排出削減が進んだことにより元素状炭素濃度が顕著に減少したためと言える。一方、硫酸イオン濃度等が横ばいのため、これらの成分の占める割合が増加している傾向にある。

また、平成 19 年度の各地点の成分濃度 (図 5) によると、硫酸イオン濃度は倉敷市、福岡市、日向市等の西日本地域で比較的高くなっている。



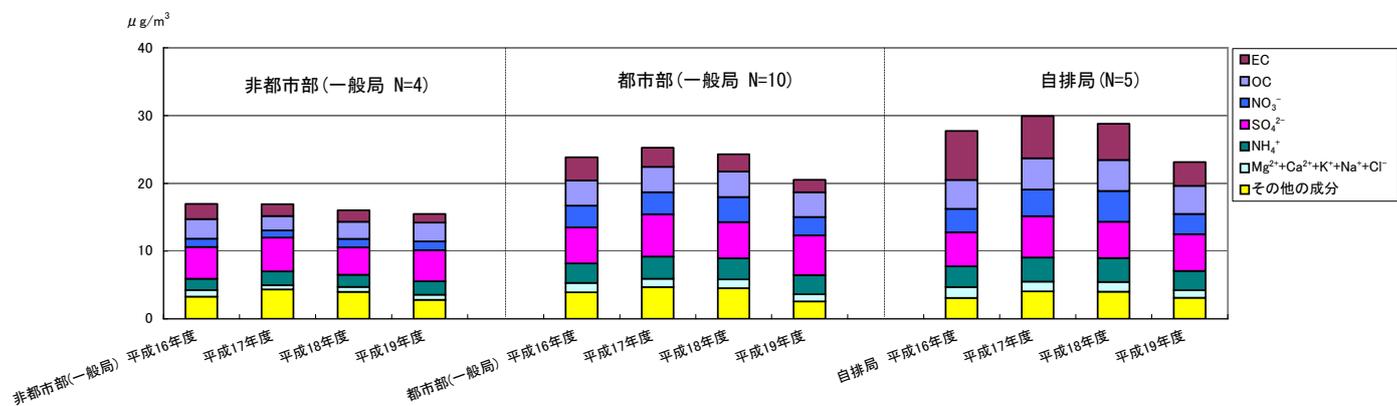
※その他の成分：質量濃度から炭素及びイオン成分濃度を引いたもの
 ※N=調査地点数
 ※炭素成分濃度は熱分離熱分解補正法 (Thermal Optical Reflectance method) による
 ※定量下限値未満の値も使用した

図2 PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分等の割合 (平成16~19年度の平均値：一般局・自排局)



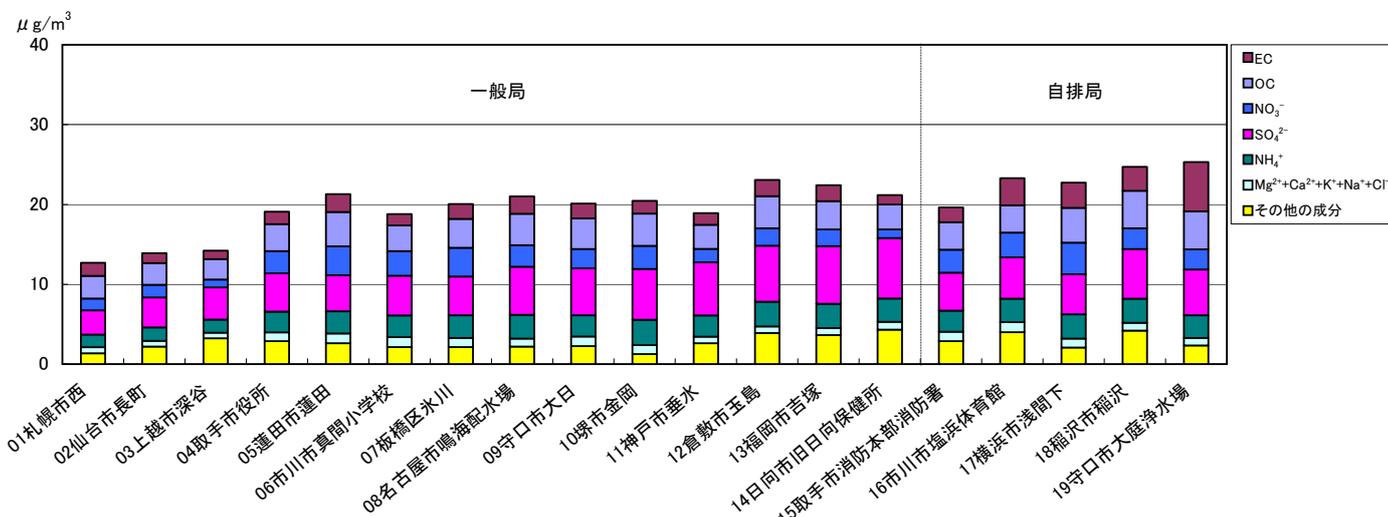
※その他の成分：質量濃度から炭素及びイオン成分濃度を引いたもの
 ※N=調査地点数
 ※炭素成分濃度は熱分離熱分解補正法 (Thermal Optical Reflectance method) による
 ※定量下限値未満の値も使用した

図3 PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分等の割合 (平成19年度の平均値：一般局・自排局)



※その他の成分：質量濃度から炭素及びイオン成分濃度を引いたもの
 ※N=調査地点数
 ※炭素成分濃度は熱分離熱分解補正法 (Thermal Optical Reflectance method) による
 ※定量下限値未満の値も使用した

図4 PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分等の積み上げ結果
 (平成16~19年度の年変動：一般局・自排局)



※その他の成分：質量濃度から炭素及びイオン成分濃度を引いたもの
 ※炭素成分濃度は熱分離熱分解補正法 (Thermal Optical Reflectance method) による
 ※定量下限値未満の値も使用した

図5 PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分等の積み上げ結果
 (平成19年度年平均値：一般局・自排局)

2. 国設酸性雨局等における調査結果

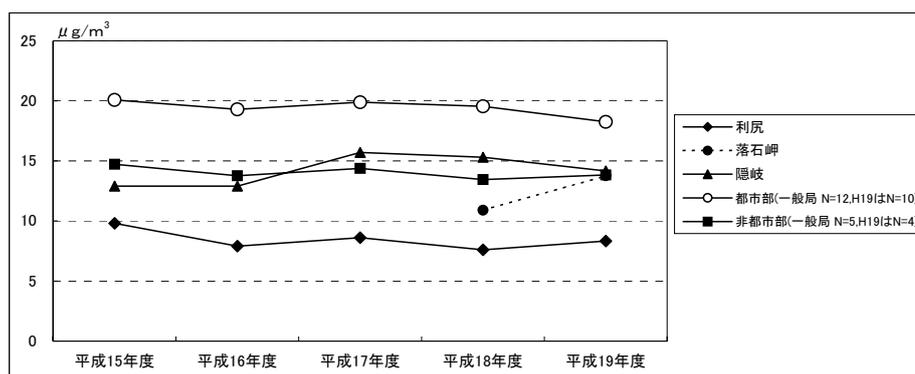
環境省が実施する酸性雨調査の一環として、平成15年度から利尻、隠岐の2地点、平成18年度から落石岬の1地点を加えて3地点でTEOMによりPM_{2.5}濃度を測定している。

平成20年度から、環境省が、PM_{2.5}濃度に人為発生源由来粒子の影響が少ないと考えられる地域について、内陸、離島、岬といった地理的特徴を有する計8地点を選定し、成分濃度を含めた測定を行うことを目的としてSASS法により測定を実施している(年4回2週間の四季観測・現時点で判明している夏・秋の結果を掲載)。

これら人為発生源由来粒子の影響が少ないと考えられる地域において測定したものを、バックグラウンド濃度に近い数値として示した。

(1) 質量濃度

TEOMによるPM_{2.5}質量濃度は、隠岐では13~16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲内で推移し、非都市部一般局と概ね同等の濃度となっている。利尻では非都市部一般局よりも濃度は低く、8~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲内で推移している。落石岬では2年分のデータによると、11~14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲内で推移している。



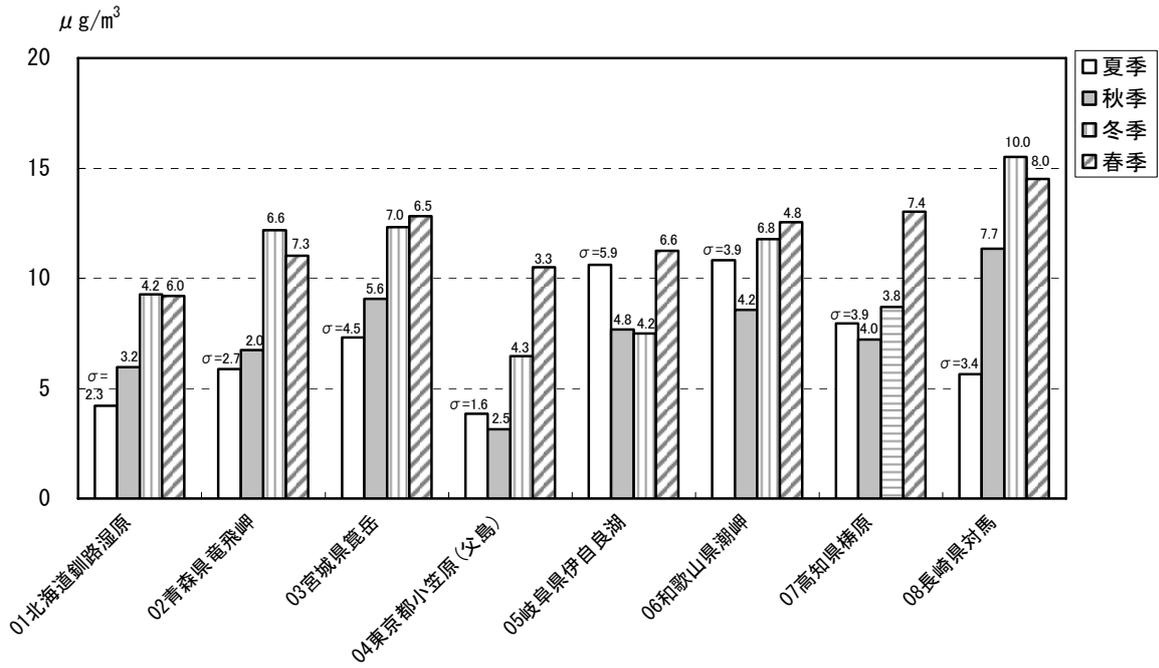
※N=調査地点数

※落石岬は独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センターによる測定

図6 PM_{2.5}(50℃加熱式TEOM)質量濃度の年変動
(平成15~19年度:利尻、隠岐、落石岬)

また、SASSによる平成20年度におけるPM_{2.5}質量濃度(四季)の結果を図7に示す。

この結果によると、4季による各地点の質量濃度は3~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年平均値では6~12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で推移している。ほとんどの地域で地域も夏季・秋季に比べ、春季・冬季に高濃度がみられる傾向がある。



※SASS秤量条件：温度20～23℃(24時間にわたり±2℃、設定21℃)、相対湿度30～40%(24時間にわたり±5%、設定35%)
 ※グラフ上の値は $\sigma=14$ 日間の測定結果による標準偏差

図7 PM_{2.5}(SASS)質量濃度(平成20年度夏季・秋季・冬季・春季の平均値)

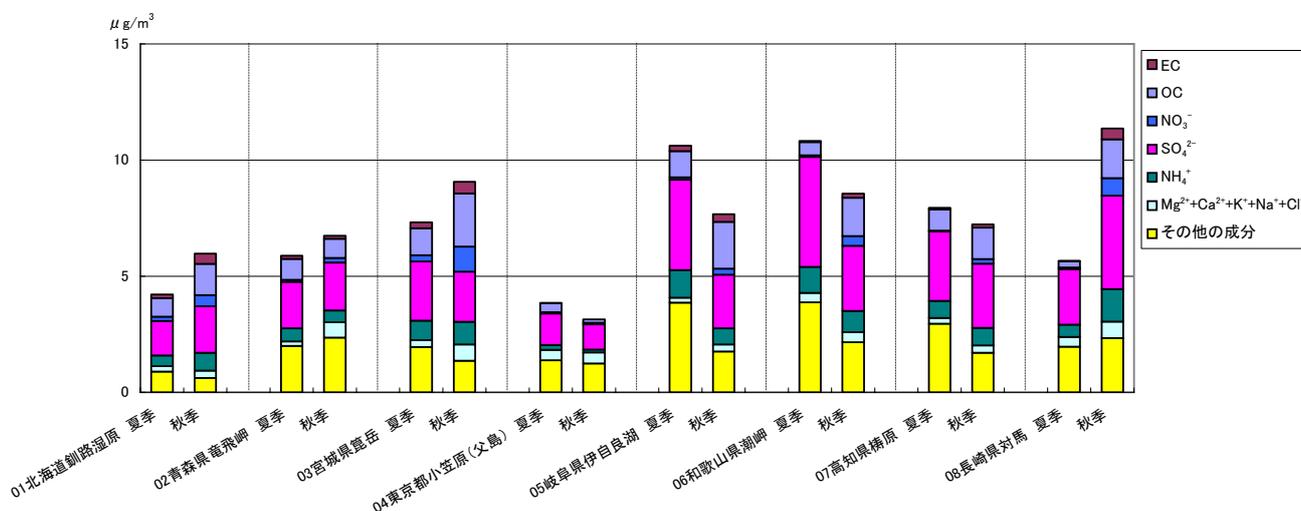
(2) 成分濃度

人為起源由来粒子の影響が少ないと考えられる地域における成分濃度は、現時点では、平成20年度夏季及び秋季の調査結果のみであり当該地点の年間の測定結果の特徴を示すには不足しているものの、炭素・イオン成分等の濃度の積み上げ結果を図8に示す。地域別の成分割合の結果を図9に示す。

成分の割合について、各地点の結果を概観すると、2季ともに硫酸イオンの占める割合が24~44% (1~5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) と最も多く、次に土壌粒子や水分等で構成されるその他の成分、有機炭素、アンモニウムイオンが多くなっている。また、人為発生源由来の粒子と考えられる元素状炭素及び硝酸イオンの割合は少ない。

夏季と秋季を比較すると、夏季の方が硫酸イオンの割合が若干多く、硝酸イオン及び塩化物イオンの割合が少ない。この点は、日射量が強く光化学反応が活発に行われるため、二次生成粒子である硫酸塩が多く生成され、揮発性の高い硝酸アンモニウムや塩化アンモニウム等はガス化することに由来すると考えられる。秋季には、有機炭素及び元素状炭素が増加する傾向にある。

北日本の3地点(北海道釧路湿原、青森県竜飛岬、宮城県籠岳)では秋季にPM_{2.5}質量濃度が高くなり、東京都小笠原(父島)、岐阜県伊自良湖、和歌山県潮岬、高知県梼原では秋季に低くなっている。長崎県対馬の秋季は夏季の約2倍の濃度であり、硫酸イオン、アンモニウムイオン、有機炭素、硝酸イオン等の成分濃度も増加した。小笠原(父島)の濃度は他の地点よりも低いものの、海塩由来のナトリウムイオン(Na⁺)が他地点と比較して割合が多くなっている特徴を有する。



※その他の成分：質量濃度から炭素及びイオン成分濃度を引いたもの
 ※炭素成分濃度は熱分離熱分解補正法 (Thermal Optical Reflectance method) による
 ※定量下限値未満の値も使用した

図8 PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分の積み上げ結果
 (平成20年度夏季・秋季の平均値)

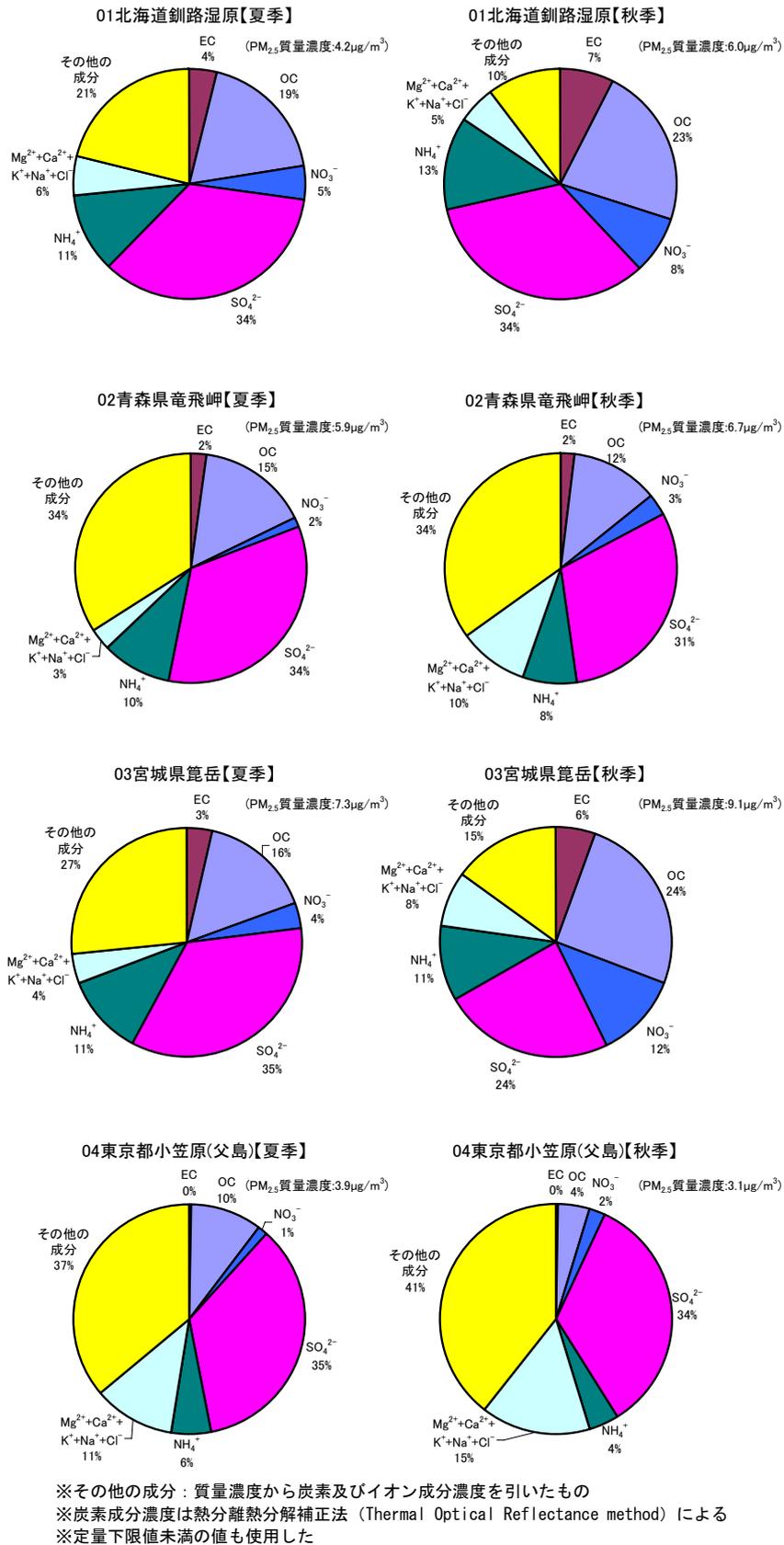
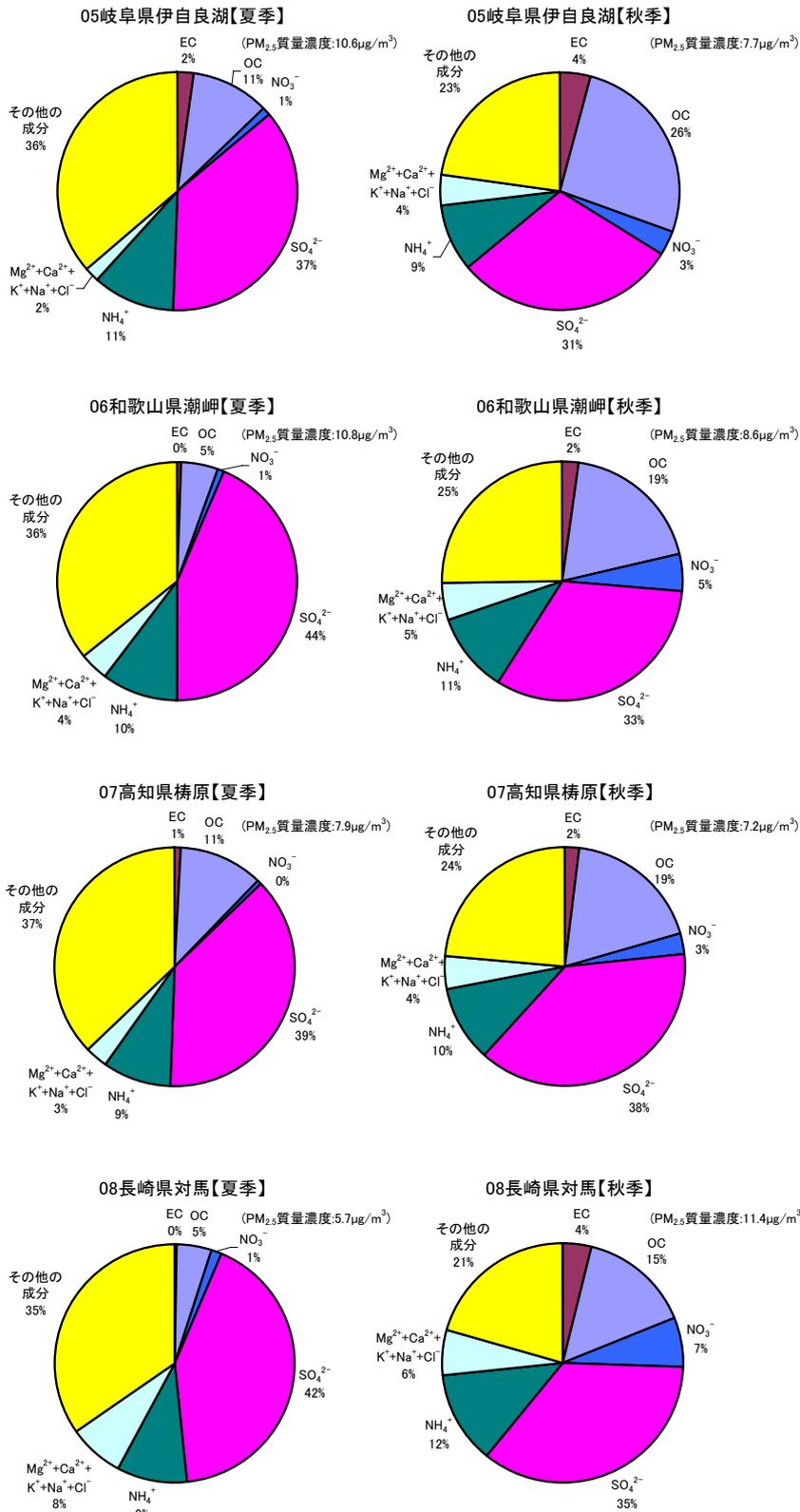


図9(1) PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分等の割合
(平成20年度夏季・秋季の平均値)



※その他の成分：質量濃度から炭素及びイオン成分濃度を引いたもの
 ※炭素成分濃度は熱分離熱分解補正法 (Thermal Optical Reflectance method) による
 ※定量下限値未満の値も使用した

図9(2) PM_{2.5}(SASS)炭素・イオン成分等の割合
 (平成20年度夏季・秋季の平均値)

<参考1：微小粒子状物質曝露調査 調査地点の分類>

地理的な分類	都市・非都市による分類
<p>(一般局)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 北海道 2. 東北地方(宮城県) 3. 甲信越地方(新潟県) 4. 関東地方(茨城県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県) 5. 東海地方(愛知県) 6. 近畿・中国地方(大阪府、兵庫県、岡山県) 7. 九州地方(福岡県、宮崎県) <p>(自排局)</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. 関東地方(茨城県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県) 9. 東海地方(愛知県) 近畿地方(大阪府、兵庫県) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 都市部 (一般局) <u>取手市取手市役所測定局(茨城県)</u>、<u>蓮田市蓮田測定局(埼玉県)</u>、<u>市川市真間小学校(千葉県)</u>、<u>板橋区水川測定局測定局(東京都)</u>、<u>川崎市国設川崎測定局(神奈川県)</u>、<u>名古屋市鳴海配水場測定局(愛知県)</u>、<u>守口市大日測定局(大阪府)</u>、<u>堺市金岡測定局(大阪府)</u>、<u>大阪市国設大阪測定局(大阪府)</u>、<u>神戸市垂水測定局(兵庫県)</u>、<u>倉敷市玉島測定局(岡山県)</u>、<u>福岡市吉塚測定局(福岡県)</u> 2. 非都市部 (一般局) <u>札幌市西測定局(北海道)</u>、<u>仙台市長町測定局(宮城県)</u>、<u>涌谷町国設箕岳測定局(宮城県)</u>、<u>上越市深谷測定局(新潟県)</u>、<u>日向市旧日向保健所測定局(宮崎県)</u> 3. 自排局 <u>取手市消防本部消防署(茨城県)</u>、<u>入間市国設入間自排測定局(埼玉県)</u>、<u>市川市塩浜体育館(千葉県)</u>、<u>野田市国設野田測定局(千葉県)</u>、<u>千代田区国設霞ヶ関測定局(東京都)</u>、<u>横浜市浅間下測定局(神奈川県)</u>、<u>川崎市池上新田公園前測定局(神奈川県)</u>、<u>厚木市国設厚木測定局(神奈川県)</u>、<u>稲沢市稲沢測定局(愛知県)</u>、<u>名古屋市元塩公園測定局(愛知県)</u>、<u>飛島村国設飛島測定局(愛知県)</u>、<u>守口市大庭浄水場(大阪府)</u>、<u>大阪市出来島小学校測定局(大阪府)</u>、<u>四條畷市国設四條畷測定局(大阪府)</u>、<u>尼崎市武庫川測定局(兵庫県)</u>、<u>尼崎市国設尼崎自排局(兵庫県)</u>

※1 都市部・非都市部による分類はPM_{2.5}濃度の程度により便宜上分類した。比較的濃度の高い地点を都市部とし、濃度の低い地点を非都市部とした。

※2 全測定局において、TEOMにより測定を実施。また、測定局のうち下線を付したものは、さらにSASSによる測定も実施した測定局である。

(環境省(2007)微小粒子状物質曝露影響調査報告書に基づき作成)



図9 微小粒子状物質曝露調査 調査地点 (位置図)

<参考2：国設酸性雨局等における測定状況>

調査場所		海浜地域		離 島		山地・森林・原野地域	
		調査地点 (PM _{2.5} 質量濃度[μg/m ³])	調査期間	調査地点 (PM _{2.5} 質量濃度[μg/m ³])	調査期間	調査地点 (PM _{2.5} 質量濃度[μg/m ³])	調査期間
PM _{2.5} 質量濃度	SASS	2 青森県竜飛岬 (4季平均：9.0) (夏季：5.9) (秋季：6.7) (冬季：12.2) (春季：11.0)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月11日 ～ 11月25日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 1月31日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月31日	4 東京都小笠原(父島) (4季平均：6.0) (夏季：3.9) (秋季：3.1) (冬季：6.5) (春季：10.5)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月21日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 1月31日 春季：平成21年 3月16日 ～ 4月 4日	1 北海道釧路湿原 (4季平均：7.2) (夏季：4.2) (秋季：6.0) (冬季：9.3) (春季：9.2)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月22日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 1月31日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月30日
		6 和歌山県潮岬 (4季平均：10.9) (夏季：10.8) (秋季：8.6) (冬季：11.8) (春季：12.5)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月21日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 1月31日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月30日	8 長崎県対馬 (4季平均：11.8) (夏季：5.7) (秋季：11.4) (冬季：15.5) (春季：14.5)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月24日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 2月 1日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月30日	3 宮城県籠岳 (4季平均：10.4) (夏季：7.3) (秋季：9.1) (冬季：12.3) (春季：12.8)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月21日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 1月31日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月30日
						5 岐阜県伊自良湖 (4季平均：9.3) (夏季：10.6) (秋季：7.7) (冬季：7.5) (春季：11.2)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月21日 冬季：平成21年 1月17日 ～ 1月31日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月30日
						7 高知県梶原 (4季平均：9.2) (夏季：7.9) (秋季：7.2) (冬季：8.7) (春季：13.0)	夏季：平成20年 8月27日 ～ 9月10日 秋季：平成20年11月 7日 ～ 11月21日 冬季：平成21年 1月19日 ～ 2月 2日 春季：平成21年 3月16日 ～ 3月30日
備考 (地点の選定)		各種発生源から離れた海浜地域を対象とした。		大規模発生源から離れており、海に囲まれている離島を対象とした。		大規模発生源から離れ、火山、温泉等の特別な自然発生源の影響も少ないと考えられる山地・森林・原野地域を対象とした。	

※SASS調査期間のうち14日間で測定を行った

※SASS秤量条件：温度20～23℃(24時間にわたり±2℃、設定21℃)、相対湿度30～40%(24時間にわたり±5%、設定35%)

米国の都市地域における微小粒子状物質の大気中濃度の特徴

1. 概要

米国 EPA が WEB 上で提供している Air Quality System (AQS)において公表されたデータより 2001～2006 年度のデータを用い、自然的条件、社会的条件が異なると考えられる東部、中部、山岳部及び太平洋地域に分類して、日本の測定局における成分濃度のデータと比較できるように、それぞれの地域において人口規模、地域的広がり等の観点から 22 の主要都市の測定局 (図 1) を抽出し、質量濃度や成分濃度に関するデータを整理した。

なお、米国においては、別紙に示すとおり、測定局の設置位置について、交通量の多い道路から一定の距離を置いて設置することが規則として定まっている。このため、米国の測定局は日本の自動車排出ガス測定局よりも一般大気環境測定局に近い性質を有すること、日本では道路近傍にも住宅が存在するため、道路近傍での測定も必要であること等、両国の状況の違いにも留意する必要がある。

2. 米国の都市における PM_{2.5} 濃度

直近の AQS のデータ (2006 年度)によると、米国における本調査の対象とした主要都市における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の大気環境濃度は、東部地域では 11～19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、中部地域では 11～20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、山岳部地域では 11～13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、太平洋地域では 11～21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲となっている (図 2)。

成分別にみると (図 2) いずれの地域においても元素状炭素 (EC) が 0.4～1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3～12%) であるのに対し、有機炭素 (OC) が 2～5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (14～35%) と多くの割合を占めている。硝酸イオン (NO_3^-) は 0.4～7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で都市による濃度の差が大きく、特にカリフォルニア州リバーサイド、ロサンゼルスで高いが、全国的に一定の傾向はみられない。硫酸イオン (SO_4^{2-}) の濃度は、東部では 2.6～4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (19%～30%) といずれの都市も一定の割合を占めている。一方で山岳部及び太平洋地域などの西部では 1～2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7%～17%) と濃度が低い傾向があり、地域差が存在する。アンモニウムイオンは主に硝酸イオン、硫酸イオンと結合した粒子として空気中に存在することから、硝酸イオンや硫酸イオンの存在に応じて一定の割合で各都市に存在する。

カリウムイオン (K^+)、ナトリウムイオン (Na^+) の濃度は、多くの地点で低濃度である。土壌粒子や水分で構成されるその他の成分については、2.5～7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と地域や都市に応じて異なり、主に南東部で高く太平洋地域で低い傾向が見て取れる (図 2)。



図1 米国の都市域におけるPM_{2.5}測定地点

注：都市名ラベルのうち、中部及び山岳部のみ色付けをした。地図出典：google map (<http://maps.google.co.jp/>)

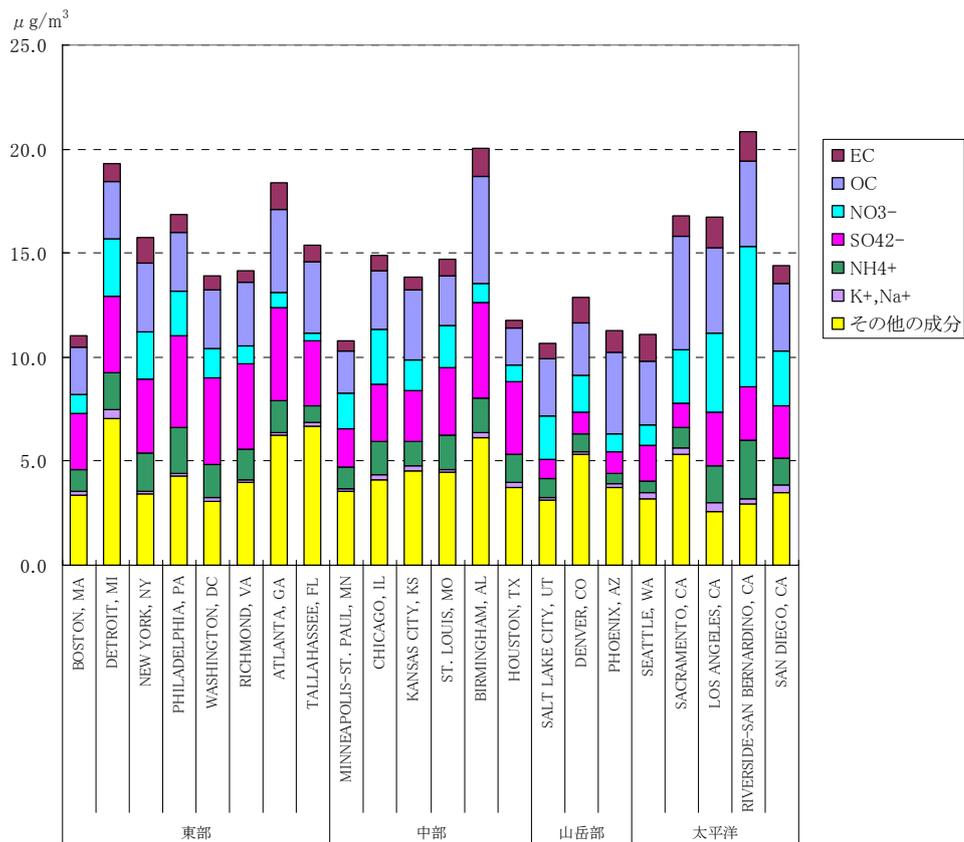


図2 米国の都市におけるPM_{2.5}成分データ(2006年度通年)

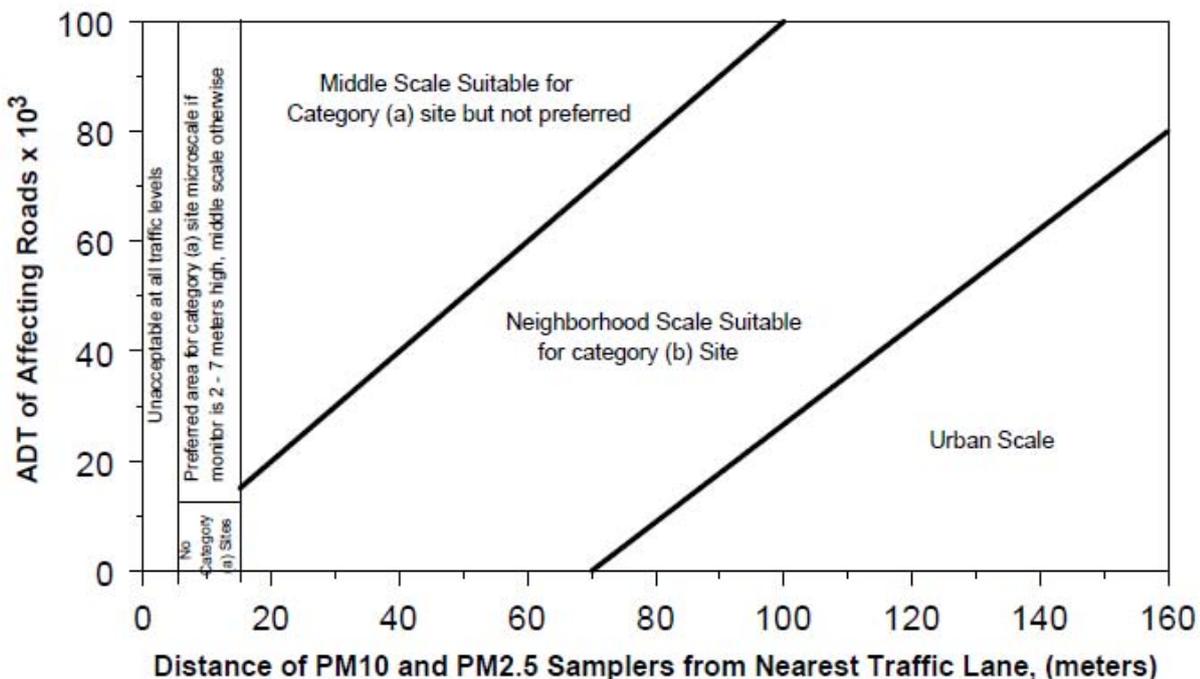
米国における PM_{2.5} のモニタリングサイトについて

米国 40 CFR Parts 53 and 58 では PM_{2.5} のモニタリング設置基準が示されている。

- ・ PM_{2.5} のモニタリングは、地域指向モニター（Community oriented monitor）とすることから、コミュニティ全体を代表する場所にモニターを設置する必要がある。このため、モニタリングサイトは、通常、Neighborhood scale または Urban scale のスケールに設置されている。
- ・ 都市部におけるモニタリングサイトは Neighborhood scale が一般的である。

PM_{2.5} モニタリングサイトの設置条件を以下のように規定している。

- ・ 試料大気導入口の高さ
 - Neighborhood scale (0.5~4km) : 地上から 2m から 15m の間
 - Micro scale (~100m) : 地上から 2m から 7m の間
- ・ 周辺の障害物（建築物、樹木など）からの距離
 - 建築物からは 2m 以上離すこと
 - 樹木からは 10m 以上離すこと
 - 道路からは測定局のスケールと交通量ごとに決められた距離を離すこと（下図参照）



ADT = Average Daily Traffic (1日当たりの平均通過交通量)

(参考1) Sites の分類

- (a) Sites に種別されるモニタリングサイトは、モニタリングネットワークによって網羅される地域において、発生しうる最高濃度を特定することが求められる。試料大気導入口の高さに応じて **Micro scale** か **Middle scale** が適用される。
- (b) Sites に種別されるモニタリングサイトは、沿道部の住民地域の平均的な濃度を測定するためのサイトであり、**Neighborhood scale** が適用される。

(参考2) 空間スケールの考え方

- **Micro scale** : 移動発生源による最大濃度を公衆が曝露する可能性がある都市中心部の街路や主要道路の沿道地域を代表するスケール。数m~100mの面積地域における濃度を示す。
- **Middle scale** : 都市部で向かう人や主要道路の沿道住民への曝露の濃度を特定する場合に適用するスケール。100~500mの面積地域における濃度を示す。
- **Neighborhood scale** : 概ね均一な特徴をもつ市街地で、数キロ面積を持つ地域に適用するスケール。0.5km から 4km の面積地域における濃度を示す。
- **Urban scale** : 大都市圏や地方全体等の範囲 (4~50km) における粒子状物質濃度を計測するためのスケール。

米国における政策関連バックグラウンドの推定値について

1. 政策関連バックグラウンドの定義

米国 EPA のスタッフレポート (2005 PM SP) では、政策関連バックグラウンド (policy-relevant background) とは、米国の規制でコントロールできる汚染による寄与を除いた濃度、つまりバックグラウンドと定義している。この政策バックグラウンドには、米国の自然由来のものと、米国以外の地域の自然由来と人為発生のもが含まれる。

自然発生由来は以下のとおりである。

- (1) 粗粒子 (地殻物質、海塩) の飛来の物理過程
- (2) 火山噴火
- (3) 野火のような自然火災 (炭素や有機炭素、無機および有機の先駆物質)
- (4) 動植物、微生物等の生物由来のもの

2. 政策関連バックグラウンドの推定値

PM2.5 の政策バックグラウンドは、西部で $1\sim 4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、東部で $2\sim 5\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定されている。

西部および東部での政策関連バックグラウンドの上限値は、IMPROVE データから推測した PM2.5 濃度に基づいている。

一方、西部および東部での政策関連バックグラウンドの下限値は、Trijonis (1991) が推定した”自然(natural)”バックグラウンド濃度を採用している。

2.1 上限値の推定

上限値は、IMPROVE サイトの 1988 年 3 月～1991 年 2 月の測定値(Malm et al., 1994) によって推定された。PM2.5 濃度は、測定された化学組成 (硫酸塩、硝酸塩、有機炭素、元素状炭素、微粒子状土壌) の合計値として求めている。

米国西部では 9 つの地域 (表 6.2 の Northwest と Southwest)、米国東部では、人為的発生源によって影響されているサイトが多いため、それらの影響の少ない 3 つの”transitional to east”地域における IMPROVE サイトの PM2.5 濃度を使用している。これらの 3 つの地域は、West Texas(2)、South Dakota(1)、boundary Waters(2) (; () 内はサイト数) である。これらの地域の PM2.5 の年間平均値の平均値を東部、西部の各政策関連バックグラウンドの上限値として採用した。これらの地域の測定値を表 1 に示す。

表 1 IMPROVE モニタリングサイトで測定された年間平均濃度とその成分濃度

地域名	地域区分	地域数	サイト数	年間平均濃度の地域平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
				PM _{2.5}	(NH ₄) ₂ SO ₄	Organics	PM _{2.5-10}	PM ₁₀
Northwest ^{a)}	西部	7	15	<u>3.55</u>	0.88	1.63	4.46	8
Southwest ^{b)}	西部	2	5	<u>3.91</u>	1.28	1.38	5.62	9.5
Transitional to East Region ^{c)}	東部	3	5	<u>5.15</u>	1.97	2.01	6.54	11.7

注 a) は、Cascades (1), central Rocky Mt. (5), Grate Basin (1), N. Rocky Mt. (1), Sierra Nevada (1), Sierra Humboldt (2), Colorado Plateau (4)が対象
 b) は、Colorado Plateau (3), Sonora Desert (2)が対象
 c) は、West Texas(2), South Dakota(1), boundary Waters(2)が対象
 () は各地域の測定局の数を示す。

2.2 下限値の推定

Trijonis は、米国東部の”自然”バックグラウンド濃度が $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、水分を除いた濃度が $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、有機炭素が $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定した。一方、米国西部の山岳、砂漠地域での”自然”バックグラウンド濃度が $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、水分を除いた濃度が $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、有機炭素が $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定している。