

[報告]

# 微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)シミュレーションモデルの作成と 将来濃度予測

石井 康一郎 伊藤 雄一\* 上野 広行 横田 久司 秋山 薫  
内田 悠太 西沢 利治\*\* 尾形 和彦\*\* 樋口 幸弘

(\*東京都環境局都市地球環境部 \*\*株式会社数理計画)

## 1 はじめに

2009年9月に、中央環境審議会から答申を受け、微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)に対し『1年平均値が15 μg/m<sup>3</sup>以下であり、かつ1日平均値が35 μg/m<sup>3</sup>以下であること』と、環境基準が告示された。

これに先立ち、2008年4月に東京都では専門的な見地から学識経験者の意見を聞くため、微小粒子状物質検討会(座長:坂本和彦埼玉大学大学院教授)を設置し、削減対策等について、検討を開始した。

これまでの東京都の連続測定結果(TEOM法)では環境基準値を超過していることが明らかとなり、削減対策の必要性が認識される中、検討会では、PM<sub>2.5</sub>に関する環境濃度や発生源調査等の実施、シミュレーションモデル及びレセプターモデル等による解析・検討が進められた。

2011年7月に検討会から、PM<sub>2.5</sub>汚染の実態、発生源寄与等を明らかにし、対策の方向性を打ち出した報告書が提出された。

本稿では、この検討の過程で作成したシミュレーションモデルについて、その内容、PM<sub>2.5</sub>濃度現況再現結果及びその評価、PM<sub>2.5</sub>発生源感度解析並びに将来濃度予測結果について述べる。

## 2 シミュレーションモデル

PM<sub>2.5</sub>の予測に用いた数値シミュレーションモデルは、図1のように気象データから気象計算をする局地気象

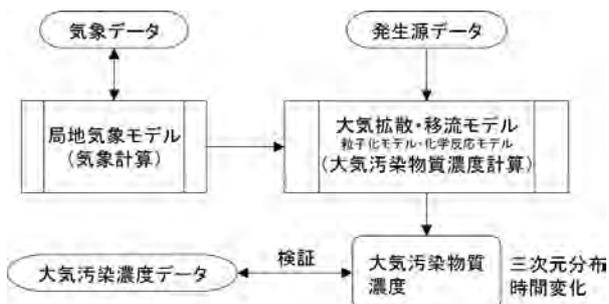


図1 シミュレーションモデルの構成

モデルと発生源データ(インベントリ)及び気象計算結果から大気汚染物質濃度を計算する大気拡散・移流モデルとから構成される。気象モデルは米国大気科学センター(NCAR)とペンシルバニア州立大学(PSU)とが共同で開発したMM5(The fifth-generation Penn State / NCAR Mesoscale Model)を、大気移流・拡散モデルは米国環境保護局(USEPA)が1990年頃から開発を続けてきたCMAQ(Community Multi-scale Air Quality)モデル<sup>1)</sup>V.4.6を使用した。CMAQにおける粒子化モデルはAERO4、化学反応モデルはSAPRC-99をそれぞれ使用した。計算結果は三次元空間内の時間ごとに変化する大気汚染物質の濃度として出力される。

### (1) 予測対象期間

2008年度に実施した東京都内でのPM<sub>2.5</sub>環境調査期間の四季各14日間(春季:2008年5月19日~6月1日、夏季:同年7月28日~8月10日、秋季:同年11月4日~17日、冬季:2009年2月2日~15日)を予測対象期間とした。この期間中、一般環境大気測定局9局、自動車排出ガス測定局8局でPM<sub>2.5</sub>を24時間連続採取し、質量濃度、成分濃度(炭素、水溶性イオン、金属類)を測定・分析した。また前駆物質濃度は、東京都内については大気常時監視データを、関東地方については国立環境研究所の環境数値データベースから大気環境時間値データファイルの提供を受け、使用した。都外のPM<sub>2.5</sub>成分データについては川崎市公害研究所、埼玉県環境科学国際センターから提供を受け、使用した。以上のデータは結果の検証にも使用した。

### (2) 対象領域及びメッシュサイズ

図2に示す関東域を5kmメッシュで区切り(青四角内)、その地域を囲む中部日本地域を15kmで区切り(赤四角

内) 予測対象地域として設定した。

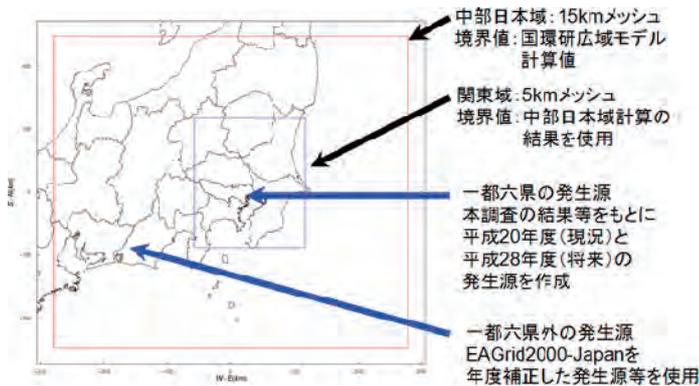


図2 シミュレーションモデルの予測対象領域

### (3) 発生源インベントリ (2008年度現況)

関東地方一都六県の人為的発生源及び非人為的発生源から排出される大気汚染物質 (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>2.5</sub> (PM, PM<sub>2.5</sub>の一部発生源からの凝縮性ダストを含む。), HCl, NMVOC, NH<sub>3</sub>) について 2008 年度の排出量を作成した。

#### ア 東京都内の排出量

東京都現況発生源の算出基礎として用いた発生源データ及び排出量算出方法の概要は以下の通りである。

##### ① 産業・業務

工場・事業場は、平成 20 年度東京都ばい煙排出量調査のデータを用いて作成した。大気汚染防止法対象未満の中小事業所は東京都調査<sup>2)</sup>の値を基に作成した。小型焼却炉のうち、ダイオキシン類対策特別措置法に基づく届出施設は、実測値を基に、それ以外は平成 14 年度調査<sup>3)</sup>の焼却量及び排出係数から作成した。なお、多くの発生源からの粒子状物質排出量調査は、ばいじんとして測定されているため、文献<sup>4,5)</sup>を参考に (PM<sub>2.5</sub>/ばいじん) 比率を設定して PM<sub>2.5</sub> 排出量を算出した。

調理 (飲食店) は、東京都環境科学研究所の未把握発生源の排出量調査<sup>6)</sup>および東京都の成分調査<sup>7)</sup>の値を基に推計した。

粉じん発生施設は、東京都調査<sup>2)</sup> (平成 17 年度) を基に施設数を補正して排出量を作成した。

農作物の残渣等の焼却からの排出量は、作物統計及び東京都<sup>7)</sup>並びに財団法人石油産業活性化センター (JCAP)<sup>4)</sup>で設定した排出係数を使用して作成した。

建設機械等については、東京都調査<sup>8)</sup>を基に、建設機械、産業機械及び農業機械の区分で作成した。

VOC 発生施設については、東京都調査<sup>2)</sup>及び環境省 VOC インベントリ調査<sup>9)</sup>を基に作成した。

##### ② 家庭

家庭で使用されるファンヒーター、ストーブ等の暖房機器、ガスコンロ等の厨房機器、風呂釜等の給湯機器等からの東京都で算出した排出量<sup>2)</sup>を補正して作成した。調理及びたばこについては東京都環境科学研究所の調査<sup>6)</sup>を基に作成した。生活用品から発生する VOC については東京都の調査<sup>10)</sup>を基に作成した。

##### ③ 運輸

自動車の走行量は、東京都調査<sup>11,12)</sup>の走行量 (合計走行量: 51,953 百万台 km/年) を用い、暖機後排出量については、設定した排出係数<sup>12)</sup>により算出した。さらに、温湿度補正、スタート時、ランニングロス (RL)、ホットソークロス (HSL)、ダイアナルロス (DBL) 及び 2 輪暖機後排出量については、東京都調査<sup>8)</sup>の排出量を基に推計した。タイヤ・ブレーキ摩耗による排出量についても、同様に作成した。自動車排出 PM を全量 PM<sub>2.5</sub> とし、その 51% を EC 成分、19% を OC 成分、30% をその他の成分と設定<sup>13)</sup>した。

船舶は、航行中については海洋政策研究財団の調査報告<sup>14)</sup>を基に停泊中及びタグボートについては、東京都調査<sup>15)</sup>を基に排出量を作成した。

航空機については、東京都調査<sup>2)</sup>及び東京都航空機騒音調査結果<sup>16)</sup> (平成 20 年度) を基に作成した。

鉄道については、東京都環境科学研究所調査<sup>6)</sup>及び東京都調査<sup>7)</sup>を基に線路、車輪、ブレーキ、トロリ線の摩耗に伴い発生する粉じんについて作成した。

#### イ 関東地方 6 県の排出量

関東 6 県現況発生源の作成方法及び算出基礎として用いた発生源データの概要は以下の通りである。

##### ① 産業・業務

工場・事業場は、環境省の大気汚染物質排出量総合調査 (平成 20 年度実績) データを用いて算出した。中小事業所は各自自治体の調査及び環境省調査結果<sup>17)</sup>を基に作成した。小型焼却炉についてはダイオキシン類対策特別措置法施行状況調査及びダイオキシン排出インベントリ施設数並びに東京都排出係数等を基に作成した。

調理 (飲食店) は、東京都の調査<sup>6,7)</sup>及び人口統計を基に作成した。粉じん発生施設は、各自自治体調査 (平成

17年度)を基に施設数を補正して排出量を作成した。

農作物の残渣等の焼却からの排出量は、東京都内と同様の方法で作成した。建設機械等については、各自自治体調査(平成17年度)および環境省調査<sup>17)</sup>を基に排出量を作成した。

VOC発生施設については、環境省VOCインベントリ調査<sup>9)</sup>を基に作成した。

② 家庭

各自自治体調査(平成17年度)および環境省調査<sup>17)</sup>を基に排出量を作成した。調理及びたばこについては、東京都内の調査<sup>6)</sup>と人口統計、たばこ販売本数等から作成した。生活用品から発生するVOCについては東京都の調査<sup>10)</sup>と人口統計を基に作成した。

③ 運輸

自動車の暖機後排出量は、南関東3県(神奈川県、千葉県、埼玉県)については、各自自治体の総量削減計画進行管理調査報告書(平成19年度実績)を2008年に補

正して算出した。北関東3県(群馬県、栃木県、茨城県)については、環境省調査<sup>17)</sup>を基に南関東3県の規制対象内地域のデータを使い補正し、作成した。

温湿度補正、スタート時、ランニングロス(RL)、ホットソークロス(HSL)、ダイアナルロス(DBL)及び2輪暖機後排出量は、南関東3県については、石油産業活性化センターから提供を受けたJCAP II広域自動車排出量(平成17年度)<sup>18)</sup>を基に東京都内の排出量変化比率で補正・作成した。北関東3県については、暖機後排出量と同様にして算出した。タイヤ・ブレーキ摩耗による排出量については、暖機後排出量算出時の走行量とEPAの排出係数を基に算出した。船舶は、航行中、停泊中、タグボートについて全て、海洋政策研究財団報告書<sup>14)</sup>を基礎に年次補正して作成した。航空機は千葉県調査排出量(平成17年度)を2008年度に年次補正して作成した。鉄道は東京都内の結果を使い推計した。

表1 東京都内の大気汚染物質発生源別排出量(2008年度)(ton/年)

発生源種類	汚染物質									
	SOx	NOx	PM	粉じん	HCl	THC	NMVOc	NH3	PM2.5	
東京都	2,084	7,914	254		280			38	189	
大規模固定煙源										
自動車(4輪・2輪)	50	29,040	638	1,221		18,363	16,069	731	848	
4輪暖機後	43	20,373	437			3,185	2,797		437	
2輪暖機後	1	437				4,442	3,554			
気温湿度補正	1	1,621	-1			-78	-65		-1	
スタート時排出	5	6,609	201			6,326	5,296		201	
RL						435	435			
DBL						2,956	2,956			
HSL						1,096	1,096			
タイヤ・ブレーキ粉じん				1,221					210	
船舶	5,792	9,743	722			403	379		722	
停泊時	1,840	2,450	214			143	135			
航行時	3,929	7,184	505			250	236			
タグボート	24	109	3			10	9			
航空機	26	4,371	157			1,011	914		140	
民生	96	9,222	616			2,899	1,322		416	
都市ガス合計	0	5,289	154			2,196	966		0	
LPG合計	0	1,164	38			621	273		0	
灯油合計	96	2,769	424			83	83		0	
家庭用										
都市ガス	0	3,406	31						24	
LPG	0	585	3						2	
灯油	77	2,077	343						264	
業務用										
都市ガス	0	1,883	124			2,196	966		65	
LPG	0	579	35			621	273		18	
灯油	19	692	81			83	83		43	
粉じん発生施設				114					0	
小型焼却炉	4	16	12		4	49	10		8	
DXN対象	3	14	7		3	36	7		5	
DXN対象外	1	2	5		1	13	3		3	
建設機械等	1	8,395	392			897	711		392	
建設機械	1	5,725	291			518	488		291	
産業機械	0	2,641	99			376	220		99	
農業機械	0	29	1			3	3		1	
VOC発生施設						68,228	68,228			
民生VOC						12,818	12,818			
農作物の残渣等の焼却	0.1	1	4					0.3	2	
鉄道			158						72	
タバコ	4	62	352			339	305		235	
調理			297						204	
NH3発生源(農業)								297		
NH3発生源(人ペット)								4,809		
NH3発生源(その他施設)								212		
合計	8,057	68,763	3,603	1,335	284	105,010	100,759	6,086	3,230	

網掛け部分は、モデルの入力に用いていない。  
東京都環境科学研究所年報 2011

表2 関東地方6県の大気汚染物質発生源別排出量(2008年度)(ton/年)

発生源種類	汚染物質									
	SOx	NOx	PM	粉じん	HCl	THC	NMVOc	NH3	PM2.5	
関東合計	72,929	136,073	6,357		1,114			1,033	4,320	
大規模固定煙源	240	130,643	4,527	3,164		67,395	58,338	3,404	5,071	
自動車(4輪・2輪)	24,133	41,797	2,994			1,844	1,737		2,994	
船舶	10,027	14,695	1,199			799	752			
停泊時	13,907	25,747	1,767			992	934			
航行時	199	1,355	29			54	51			
タグボート	41	7,254	356			2,015	1,822		318	
航空機	2,342	23,104	1,821			2,899	1,322		1,214	
民生	367	15,575	1,045						805	
家庭用	1,975	7,529	776			2,899	1,322		409	
業務用				4,496					13	
粉じん発生施設	59	217	207		74	715	140		143	
小型焼却炉	33	150	55		18	396	78		38	
DXN対象	26	67	152		56	319	63		105	
DXN対象外	24	45,180	1,895			6,099	4,875		1,895	
建設機械等						284,717	284,717			
VOC発生施設						48,003	48,003			
民生VOC	37.4	279	1,506			660	595	120	961	
農作物の残滓等の焼却			489						223	
鉄道	12	180	1,026			985	889		685	
タバコ			990						679	
調理										
NH3発生源(農業)								48,521		
NH3発生源(人ペット)								29,796		
NH3発生源(その他施設)								3,643		
合計	99,819	384,727	22,169	7,660	1,188	415,334	402,438	86,517	18,517	
外洋航路	40,890	72,816	5,211			2,428	2,287		5,211	
火山	1,208,514									
植物NMVOC						227,059	227,059			

網掛け部分は、モデルの入力に用いていない。 ※外洋航路、火山、植物VOCは関東地方全域の合計値である。

ウ アンモニア、火山、植物由来等自然起源の排出量

① アンモニア

EA-Grid2000-Japan<sup>19)</sup>の排出量を基に農業、人・ペット、その他の区分で2008年度に年次補正して推計した。

② 火山三宅島雄山及び浅間山からのSOx排出量は、気象庁ホームページ<sup>20)</sup>掲載2008年度データを使用した。

③ 植物由来

植物由来のVOCについては、EA-Grid2000-Japan<sup>19)</sup>の

排出量を産業技術総合研究所リスク評価書<sup>21,22)</sup>に記載された方法で補正した。

東京都内の発生源種類別排出量を表1に、関東6県内の発生源別排出量の概要を表2に示す。なお、関東域(1都6県)以外で中部日本域の計算領域に入る地域の発生源のデータは、提供を受けたEA Grid-2000-Japan<sup>19)</sup>の排出量を必要に応じて適宜補正して作成した(表3)。

表3 中部日本地域(関東地方を除く)の発生源別排出量(2008年度)(ton/年)

発生源種類	CO	HCL	NH3	NMVOc	NOX	PM10	PM2.5	SOX
大規模固定源	0	888	0	0	220,991	14,912	11,344	140,820
自動車排気	889,531	0	3,160	51,426	111,746	4,845	4,845	166
航空機	0	0	0	0	0	0	0	0
自動車蒸発	0	0	0	12,484	0	0	0	0
家庭・業務施設燃焼施設	0	0	0	0	12,060	974	678	3,016
建設・産業・農業機械	0	0	0	6,261	54,852	2,224	2,224	38
小規模焼却炉	0	0	0	1,552	320	665	404	127
農業廃棄物野焼き	0	0	480	1,585	691	1,645	1,490	112
燃料蒸発	0	0	0	29,389	0	0	0	0
塗装	0	0	0	143,266	0	0	0	0
印刷	0	0	0	22,907	0	0	0	0
その他の固定蒸発	0	0	0	45,863	0	0	0	0
植物起源	0	0	0	348,240	0	0	0	0
自動車タイヤ磨耗	0	0	0	0	0	2,193	472	0
民生VOC	0	0	0	22,533	0	0	0	0
アンモニア発生源農業	0	0	52,641	0	0	0	0	0
アンモニア発生源人ペット	0	0	29,703	0	0	0	0	0
アンモニア発生源その他施設	0	0	9,901	0	0	0	0	0
合計	889,531	888	95,886	685,506	400,660	27,457	21,458	144,278

(4) 発生源インベントリ (将来：2016年度)

将来インベントリは、2016年度の予測値や排出係数のある項目はそれらを使用して作成し、将来予測値が設定されていない項目については、入手した統計値(推計値)から設定した2016年度における活動量の伸び率を使用して2008年度のインベントリを補正した上で作成した。

将来(2016年度)の関東地方発生源別排出量を表4に示した。

個別インベントリ作成方法の概要は以下の通りである。

ア 産業・業務

工場・事業場については、東京都内のエネルギー消費量<sup>23)</sup>(産業部門と業務部門の合計値)の2008年実績値及び2016年補間値から伸び率を設定し、2008年度の排出量に乗じて作成した。埼玉県<sup>24)</sup>及び神奈川県<sup>25)</sup>は各県の部門別二酸化炭素排出量の推移を基に、その他関東4県は国の温室効果ガス排出量<sup>26)</sup>の推移を基に、東京都と同様に作成した。中小事業所については工場・事業場と同様に作成した。小型焼却炉については全地域、2008年度と同様とした。調理(飲食店)は全地域、2008年度の排出係数を用い、2016年度将来人口推計から作成した。

粉じん発生施設については、工場・事業場と同様に作成した。農作物の残渣等の焼却については、2008年度と同様とした。

建設機械・産業機械・農業機械については、東京都内分は2005年度の活動量を使用し、2016年度の排出規制年別車両構成から作成した排出係数<sup>12)</sup>により作成した。

その他の地域も東京都内と同様に作成した。

VOC発生施設については、全地域、石油製品需要想定<sup>27)</sup>のトレンドを延長し、2008年度に対する補正係数を設定した。補正係数は燃料(蒸発ガス)で0.733、その他で1.012である。

イ 家庭

家庭用燃焼機器については、家庭部門のエネルギー消費量の伸び(東京都)及び家庭部門の二酸化炭素排出量の伸び(埼玉県及び神奈川県並びに関東4県)で2008年度排出量を補正し作成した。

調理(家庭)及びタバコについては、全地域、2008年度の排出係数及び2016年度人口推計から作成した。

生活用品については、2008年度と同様とした。

ウ 運輸

都内道路網は、2005年度の道路網に2008年度までに供

用された道路を追加した。

①自動車(4輪)

暖機後排出量のうち、都内については、2016年度予測走行量にポスト新長期規制までを見込んだ排出係数

(2016年度)から算出した。都外については、東京都の排出量比(2016年度/2008年度)により算出した。ただし、SOxについては、2008年度と同様とした。

温湿度補正は、都内については2005年度の補正係数<sup>12)</sup>を用いて補正した。都外については、温湿度補正後の東京都排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

スタート時の排出量は、都内については、都内車種・燃料種別保有台数(2016年度)に見直し後の排出係数

(2016年度)を乗じて算出した。都外については、スタート時排出補正後の東京都排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

ランニングロス(RL)、ホットソークロス(HSL)、ダイアナルロス(DBL)は、都内については、2016年度都内予測走行量及び2016年度の各見直し後の排出係数から算出した。都外については、各々排出補正後の東京都排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

タイヤ・ブレーキ摩耗は、都内については、2016年度都内予測走行量及びEPAの各排出係数から算出した。都外については、各排出補正後の東京都排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

②自動2輪車

東京都内については、暖機後の排出量は2016年度走行量<sup>8)</sup>及び2016年度排出係数<sup>8)</sup>から算出した。温湿度補正は、2016年度走行量及び2005年度補正係数を用いて算出した。スタート時排出は都内車種・燃料種別保有台数

(2016年度)及び見直し後の排出係数(2016年度)を用いて算出した。ホットソークロス(HSL)及びダイアナルロス(DBL)は、2016年度都内予測走行量及び2016年度の各見直し後の排出係数から算出した。

都外については、各項目補正後の都内排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

都外については、各項目補正後の都内排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

③船舶

東京港(停泊中船舶)については、2016年度予測排出量<sup>14)</sup>を東京都港湾計画値で補正(外貿：400万/460万

(TEU単位)した。(この排出量はIMOのNOx Tier規制までを考慮している。)

表4 将来(2016年度)関東地方発生源別排出量 (ton/年)

汚染物質		SOx	NOx	PM	粉じん	HCl	THC	NMVOC	NH3	PM2.5	
発生源種類											
東京都	大規模固定燃源	2,119	8,049	258		285			39	192	
	自動車(4輪・2輪)	50	12,927	137	1,186		7,039	6,544	731	341	
	4輪暖機後	43	9,198	94			898	905		94	
	2輪暖機後	1	339				429	533			
	気温湿度補正	1	618	0			1,417	-8		0	
	スタート時排出	5	2,772	43			22	1,221		43	
	RL						234	192			
	DBL						250	2,614			
	HSL						0	1,087			
	タイヤ・ブレーキ粉じん					1,186					204
	船舶	6,423	9,781	801			447	421		801	
	停泊時	2,040	2,459	237			171	149		237	
	航行時	4,357	7,213	560			300	261		560	
	タグボート	26	109	4			11	10		4	
	航空機	35	5,870	211			1,357	1,227		188	
	民生	97	9,333	625			3,013	1,374		421	
	都市ガス合計	0	5,356	159			2,281	1,004		91	
	LPG合計	0	1,185	39			645	284		21	
	灯油合計	97	2,792	427			86	86		308	
	家庭用	0	3,399	31			0	0		24	
	LPG	0	584	3			0	0		2	
	灯油	77	2,073	343			0	0		264	
	業務用	0	1,957	128			2,281	1,004		68	
	LPG	0	601	36			645	284		19	
	灯油	20	719	84			86	86		44	
	粉じん発生施設					107					0
	小型焼却炉	4	16	12			4	49	10		8
	DXN対象	3	14	7			3	36	7		5
	DXN対象外	1	2	5			1	13	3		3
	建設機械等	0	2,690	117			387	284		117	
	建設機械	0	1,810	84			161	152		84	
	産業機械	0	865	32			224	131		32	
	農業機械	0	15	1			2	2		1	
VOC発生施設						65,772	65,772				
民生VOC						12,818	12,818				
農作物の残滓等の焼却	0.1	1	4			3	3	0.3		2	
鉄道			159							72	
タバコ	3	44	250			241	217			167	
調理			315							216	
NH3発生源(農業)									297		
NH3発生源(人ベット)									4,809		
NH3発生源(その他施設)									212		
合計		8,732	48,711	2,889	1,293	289	91,125	88,669	6,087	2,526	
関東6県	大規模固定燃源	75,101	139,985	6,541		1,143			1,058	4,445	
	自動車(4輪・2輪)	241	58,155	972	3,072		25,834	22,747	3,404	1,501	
	船舶	25,636	40,365	3,179			1,966	1,852		3,179	
	停泊時	10,566	14,050	1,260			452	797		1,260	
	航行時	14,854	24,981	1,888			596	1,000		1,888	
	タグボート	216	1,334	31			25	55		31	
	航空機	51	9,042	430			2,462	2,226		383	
	民生	2,531	23,793	1,887			3,013	1,374		1,252	
	家庭用	376	15,786	1,059			0	0		816	
	業務用	2,154	8,007	827			3,013	1,374		436	
	粉じん発生施設					4,454					13
	小型焼却炉	59	217	207			74	715	140		143
	DXN対象	33	150	55			18	396	78		38
	DXN対象外	26	67	152			56	319	63		105
	建設機械等	0	9,778	427			1,492	1,168		427	
	VOC発生施設						274,467	274,467			
	民生VOC						48,003	48,003			
	農作物の残滓等の焼却	37.4	279	1,506			660	596	120		961
	鉄道			491							223
	タバコ	8	123	704			676	610			470
	調理			1,013							696
	NH3発生源(農業)									48,521	
	NH3発生源(人ベット)									29,796	
	NH3発生源(その他施設)									3,643	
	合計		103,664	281,737	17,358	7,527	1,217	359,289	353,183	86,541	13,693
	外洋航路		45,348	73,107	5,779			2,693	2,537		5,779
	火山		1,208,514								
	植物NMVOC							227,059	227,059		

網掛け部分は、モデルの入力に用いていない。

表5 中部日本域(関東地方を除く)の発生源別排出量(2016年度) (ton/年)

発生源種類	CO	HCL	NH3	NMVOG	NOX	PM10	PM2.5	SOX
大規模固定源	0	915	0	0	227,777	15,370	11,693	145,144
自動車排気	889,531	0	3,160	19,713	49,744	1,041	1,041	166
航空機	0	0	0	0	0	0	0	0
自動車蒸発	0	0	0	4,786	0	0	0	0
家庭・業務施設燃焼施設	0	0	0	0	12,523	1,011	704	3,132
建設・産業・農業機械	0	0	0	1,200	10,905	503	503	0
小規模焼却炉	0	0	0	1,552	320	665	404	127
農業廃棄物野焼き	0	0	480	1,585	691	1,645	1,490	112
燃料蒸発	0	0	0	28,331	0	0	0	0
塗装	0	0	0	138,110	0	0	0	0
印刷	0	0	0	22,083	0	0	0	0
その他の固定蒸発	0	0	0	44,212	0	0	0	0
植物起源	0	0	0	348,240	0	0	0	0
自動車タイヤ摩耗	0	0	0	0	0	2,130	459	0
民生VOC	0	0	0	22,533	0	0	0	0
アンモニア発生源農業	0	0	52,641	0	0	0	0	0
アンモニア発生源人ベット	0	0	29,703	0	0	0	0	0
アンモニア発生源その他施設	0	0	9,901	0	0	0	0	0
合計	889,531	915	95,886	632,346	301,960	22,364	16,293	148,680

その他の港湾については、取扱貨物量と入港船舶総トン数の実績から港湾毎の回帰式を作成し、港湾計画値を総トン数に換算して補正した。

航行中及びタグボートについては、停泊中船舶の排出量比(2016年度/2008年度)を用いて補正した。

④航空機

羽田空港については、拡張後の計画離着陸回数(40.7万回)/2008年度現況(30.3万回)で補正した。成田空港については、空港整備計画整備後の離着陸回数(22万回)/2008年度現況(20万回)で補正した。

⑤鉄道

2008年度の排出量を使用した。なお、成田新高速鉄道を追加した。

⑥その他

2008年度の排出量を使用した。

また、関東域外で中部日本域の計算領域に入る地域の発生源データは、2008年度の当該地域データ(表3)を、発生源種別・汚染物質別伸び率(表6)により補正して作成した(表5)。この伸び率は主に関東地方排出量の伸び率を基に設定した。

なお、発生源インベントリ作成は、東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集3<sup>28)</sup>に詳述した。

表6 中部日本域の排出量伸び率の設定値

発生源	汚染物質				
	NOx	SOx	NMHC	PM	NH3
大規模固定	1.031	1.031	1.031	1.031	—
自動車排気・蒸発	0.445	1.000	0.383	0.215	1.000
自動車タイヤ摩耗	—	—	—	0.971	—
民生家庭	1.006	1.006	1.006	1.006	—
民生業務	1.062	1.062	1.062	1.062	—
小型焼却炉	1.000	1.000	1.000	1.000	—
建設機械	0.199	—	0.192	0.226	—
VOC発生施設	—	—	0.964	—	—
民生VOC	—	—	1.000	—	—
農作物の残渣焼却	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
アンモニア	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(5) 境界条件及び初期条件

中部日本域の境界条件は、国立環境研究所・大気汚染予測システム(RAMS+CMAQ)から計算結果の提供を受け、そのデータを用いて設定した。関東域の境界条件は、中部日本域からネスティングした。

シミュレーション計算は計算対象日の48時間前から助走計算を行い、対象日の初期条件を生成させた。助走計算の初期条件には、国立環境研究所の広域モデルによる計算値データを入力した。

(6) 評価項目

東京都内でのPM<sub>2.5</sub>(質量濃度及びその成分濃度)観測期間(四季各14日間)のデータ並びにその前駆物質の日平均濃度(一般環境大気測定局)とした。

### 3 結果

#### (1) 現況再現結果

##### ア PM<sub>2.5</sub>濃度及び成分濃度

成分別の実測濃度と計算濃度（年平均値）の散布図は、図3に示すとおりである。全体的に計算値が過小評価となる傾向があり、特に有機炭素成分（PM\_ORG\_TOT：中段左）でその傾向が著しい。それに対して、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（PM\_NITR：中段右）は過大評価となっている。

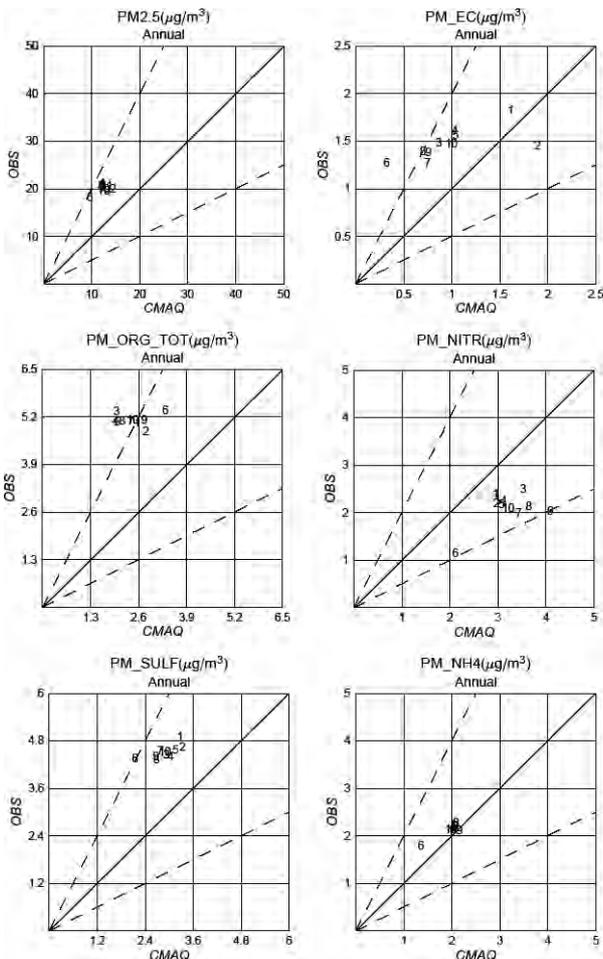


図3 PM<sub>2.5</sub>濃度及び成分の実測値と計算値の散布図

（縦軸OBSは実測値、横軸CMAQは計算値を表す。）

上段：（左：PM<sub>2.5</sub>、右：EC）

中段：（左：有機炭素成分（ORG\_TOT）、右：NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（NITR））

下段：（左：SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（SULF）、右：NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）

図中の数字は測定地点に対応したプロットを表す

図中の点線は±50%を示している。

季節別・成分別実測濃度と計算濃度の比較を図4に示した。四季及び年平均値でみると、PM<sub>2.5</sub>計算値(右側)は

全体的に実測値に対して過小評価となっている。

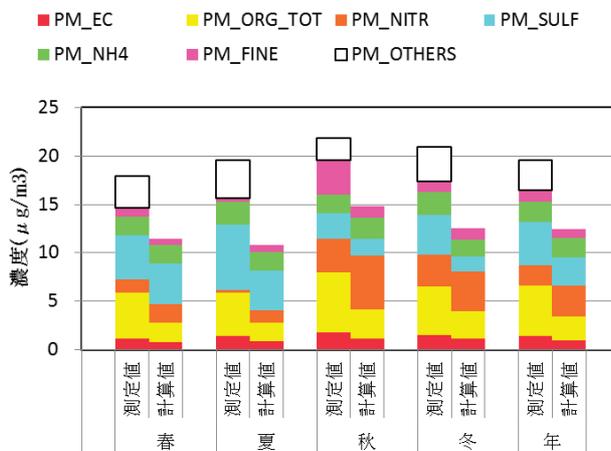


図4 PM<sub>2.5</sub>濃度及び成分の実測値と計算値の比較

成分別にみると、PM\_NITR (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)濃度は過大評価であるが、表7に示したように、季節別濃度変化は夏季に低く冬季に高くなっており、観測結果と同様の傾向が認められる。また、ORG\_TOT（有機炭素成分）濃度は過小評価であり、PM\_SULF (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)濃度はやや過小評価であるが、後者の季節別濃度変化は夏季に高く冬季に低く表れており、観測結果と同様の傾向が認められる。

表7 主な成分濃度の測定値と計算値の季節変化

	(µg/m <sup>3</sup> )					
	PM_NITR		PM_SULF		PM_ORG_TOT	
	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値
春	1.31	1.92	4.57	4.14	4.80	2.07
夏	0.36	1.25	6.74	4.15	4.39	1.90
秋	3.41	5.56	2.65	1.68	6.22	3.02
冬	3.29	4.10	4.08	1.56	5.04	2.80
年	2.09	3.21	4.51	2.88	5.11	2.45

これらに加え、大気中で反応のないEC濃度が過小評価であること、PM<sub>2.5</sub>実測値の25%程度を占める有機炭素成分の再現性が50%弱と最も低く、PM<sub>2.5</sub>濃度の再現性低下に大きく影響している。これらの点はシミュレーションモデル上の改善が必要な課題<sup>29)</sup>である。しかし、近年の我が国でのCMAQシミュレーション結果においても同様な傾向が報告<sup>30,31)</sup>されており、本結果は現状でのこのモデルを使った濃度再現性の到達点に近いと思われる。

なお、図4の実測値のFINE成分はPM<sub>2.5</sub>濃度からEC、ORG\_TOT、NITR、SULF、NH<sub>4</sub>濃度を差し引き、さらにOTHERS（海塩・土壌成分及び水分）濃度を差し引いた

濃度である。この場合、海塩・土壌成分濃度としては、CMBモデルによる計算値<sup>32)</sup>を、水分としては紙秤量条件の規定変更（湿度50%から35%）による減少分<sup>33)</sup>及びE-AIMモデル<sup>34)</sup>のModel IIにより計算した硝酸、硫酸、アンモニウム共存時の平衡水分を使用した。

イ 濃度分布の再現性

PM<sub>2.5</sub>の関東域における年平均濃度分布の再現状況は、図5に示すとおりである。図中の○印が9連続測定地点の濃度を表している。測定点は東京都を中心とした地域に限られているが、その実測濃度は15~20 μg/m<sup>3</sup>であった。それに対して計算濃度は東京都周辺で10~15 μg/m<sup>3</sup>の分布となっており再現性は過小である。しかし、計算濃度は関東地方全域に広域的かつ均一な分布となっており、関東地方を中心に同時に実施された広域調査に見られたPM<sub>2.5</sub>濃度の分布特性に近いと思われる<sup>35)</sup>。

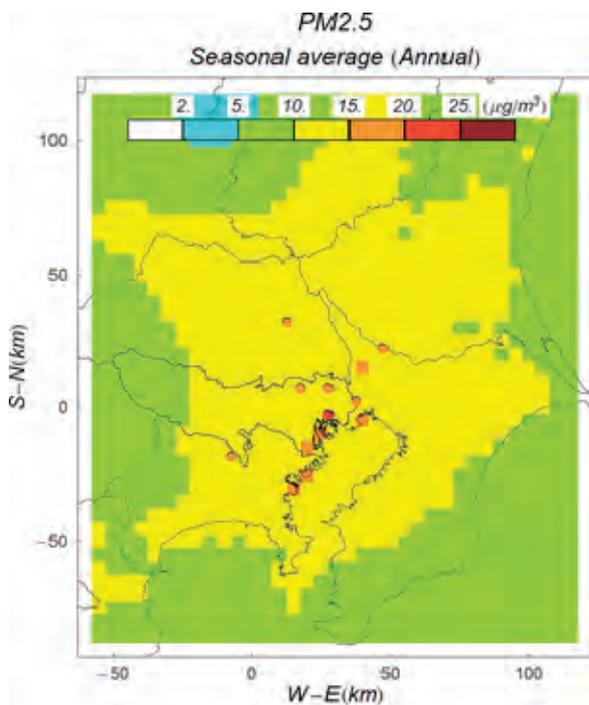


図5 関東地方のPM<sub>2.5</sub>年平均濃度分布図

ウ 関東地方発生源別寄与推定

① 排出量削減感度計算結果

発生源別の寄与濃度を推定するために、関東地方の8種類の発生源（自動車、船舶、大規模固定発生源、民生、建設機械、VOC発生施設、その他の人為発生源、アンモニア発生源・自然発生源）のゼロアウト感度計算を行った。ここで、ゼロアウト感度計算とは、数値型のシミュレーションモデルで、特定の発生源からの寄与濃度を推

定する手法の一つである。濃度計算は前述の都内調査地点で行った。なお、9番目の発生源カテゴリーである「関東以外の寄与（越境輸送を含む）」については、本モデルでは全部の排出量を発生源として扱っていないため、感度計算の対象から除いた。今回予測計算を行っているPM<sub>2.5</sub>粒子には、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、二次有機エアロゾル(SOA)等の二次生成粒子が含まれており、前駆物質排出量とPM<sub>2.5</sub>環境濃度との間には線形性が成り立たないと考えられる。そのため、現況とゼロアウト2ケースの濃度差を以て当該発生源の寄与濃度とすることは正しくない。この濃度差は発生源排出量の変化（削減）に対する感度であり、あくまで寄与濃度（寄与率）に類似する「目安の量」と考えるべきである。ゼロアウト計算結果を表8に示した。年平均値に対する感度及びその内訳を成分別に示したが、第2列がCMAQの計算値（現況）、第3列以降が掲げた発生源の排出量をゼロとした場合のCMAQの計算値(CMAQ\_Zero\_Out)である。

② 発生源別感度解析結果

関東地方の人為発生源に対する応答は、表8から、自動車（12.42-10.33=2.09 μg/m<sup>3</sup>）が最も大きく、次いで船舶（12.42-11.39=1.03 μg/m<sup>3</sup>）、大規模固定発生源（12.42-11.41=1.01 μg/m<sup>3</sup>）、その他の人為発生源（12.42-11.62=0.80 μg/m<sup>3</sup>）であった。最右列の「アンモニア発生源及び自然発生源」は排出量ゼロに対する応答が最も大きい。これは、既に述べたように非線形性の影響も加わったためと考えられる。ここで、感度計算を行わなかった9番目の発生源カテゴリー（表8中には表示されていない）の寄与については、現況濃度から自動車～アンモニア発生施設・自然までの寄与の総和をさし引いた残差として推定する方法が考えられる。しかし、茶谷らの感度解析結果<sup>30,36)</sup>では、越境輸送の寄与に対してもゼロアウト感度計算を行っており、各種発生源の削減に対する感度を全発生源種類分積み上げた結果は、寄与率にして100%を超えている。従って、上述の方法で9番目のカテゴリーの寄与を残差から推定すると、そこにかなり大きなマイナスの非線形効果の補正が含まれる可能性がある。また、VOC発生施設の応答が0.13 μg/m<sup>3</sup>ときわめて小さいことは現実には考えにくいことである。これは、CMAQによる(SOA)の再現精度が十分でない<sup>31)</sup>ことも原因として考えられる。

表8 関東地方の発生源に対するゼロアウト感度解析結果（2008年度）

	現況	自動車out	船舶out	大規模固定out	民生out	建機out	その他人為out	VOC施設out	アンモ自然out
PM2.5	12.42	10.33	11.39	11.41	11.84	11.80	11.62	12.29	8.03
EC（元素状炭素）	1.00	0.61	0.84	0.96	0.94	0.73	0.96	1.00	1.01
ORG_TOT（有機炭素）	2.45	2.21	2.22	2.39	2.15	2.28	2.07	2.37	1.73
NITR（硝酸イオン）	3.21	2.32	2.94	2.84	3.16	3.06	3.09	3.16	0.71
SULF（硫酸イオン）	2.88	2.90	2.71	2.72	2.82	2.89	2.87	2.89	2.66
NH4（アンモニウムイオン）	1.97	1.72	1.83	1.81	1.94	1.93	1.93	1.96	1.00
FINE（その他の粒子）	0.91	0.58	0.85	0.69	0.84	0.91	0.70	0.91	0.92

③ 成分別感度解析結果

表8の成分濃度の感度から作成したPM<sub>2.5</sub>成分別の発生源別寄与濃度（年平均値）を図6に示した。

非線形効果により、寄与濃度が負になる成分・発生源があるが、特に大きいのは、NITR(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)のケース(左から3番目の棒グラフ)である。これは、表8に示したようにアンモニア発生源の削除に対するNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の減少の応答が過大であり、その補償分が9番目のカテゴリー（関東以外の寄与）に割り振られた結果である。

そのためこの結果からNO<sub>3</sub><sup>-</sup>に関する発生源対策効果を判断することは適切ではないと考えられる。

表4の排出量及び2008年度の気象条件により、将来濃度を予測した。都内の平均計算濃度を表9に示したが、2008年度の12.42μg/m<sup>3</sup>に対して10.77μg/m<sup>3</sup>と1.65μg/m<sup>3</sup>低減すると予測された。低減濃度の大きい成分はNITR（0.56μg/m<sup>3</sup>）、EC（0.48μg/m<sup>3</sup>）及びORG\_TOT（0.31μg/m<sup>3</sup>）であるが、EC以外の結果については、非線形効果が大きいことや発生源感度の応答が小さいため、取扱いに留意する必要がある。

表9 将来（2016年度）成分別濃度予測結果

（年平均値：μg/m<sup>3</sup>）

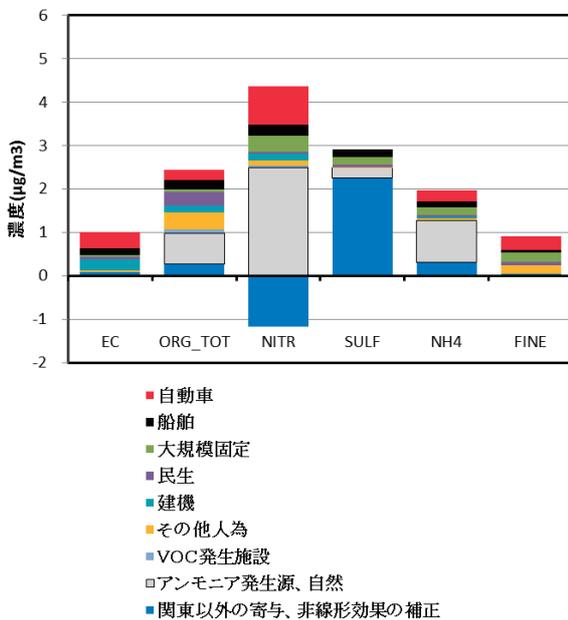


図6 ゼロアウト計算結果に基づく関東地方の発生源別・成分別寄与濃度の推定結果(2008年度)

(2) 将来予測結果

ア 将来（2016年度）濃度予測結果

	2016年度	2008年度
PM <sub>2.5</sub>	10.77	12.42
EC（元素状炭素）	0.52	1.00
ORG_TOT（有機炭素）	2.14	2.45
NITR（硝酸イオン）	2.65	3.21
SULF（硫酸イオン）	2.92	2.88
NH <sub>4</sub> （アンモニウムイオン）	1.82	1.97
FINE（その他の粒子）	0.72	0.91

イ 発生源別感度解析結果

関東地方発生源の排出量削減感度計算に対する応答を表10に示した。

人為発生源に対しては、大規模固定発生源の応答が最大で（1.37μg/m<sup>3</sup>）、次いで自動車（1.16μg/m<sup>3</sup>）、船舶（1.14μg/m<sup>3</sup>）、その他の人為発生源（0.74μg/m<sup>3</sup>）であった。2008年度との違いは、自動車の応答が半減し、大規模固定発生源の応答が36%増加していることが大きい。船舶や民生の応答はやや増加、その他の人為発生源と建設機械は低下している。アンモニア発生源及び自

然発生源の削除に対する応答が過大であること、VOC発生施設の応答が低いことは2008年度の結果と同様である。

表 10 関東地方の発生源ゼロアウト計算に対する応答 (2016年度予測結果) (年平均値:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	PM <sub>2.5</sub>	基準と out の差
基準 out なし	10.77	—
①自動車 out	9.61	1.16
②船舶 out	9.62	1.14
③大規模固定 out	9.40	1.37
④民生 out	10.03	0.73
⑤建設機械 out	10.58	0.19
⑥その他人為 out	10.03	0.74
⑦VOC 施設 out	10.67	0.10
⑧アンモニア・自然 out	6.98	3.78

ウ 成分別感度解析結果

2016年度の成分濃度計算値を基にPM<sub>2.5</sub>成分別に発生源別寄与濃度(年平均値)を推定し、図7に示した。NITRは2008年度と同様に、関東以外の寄与・非線

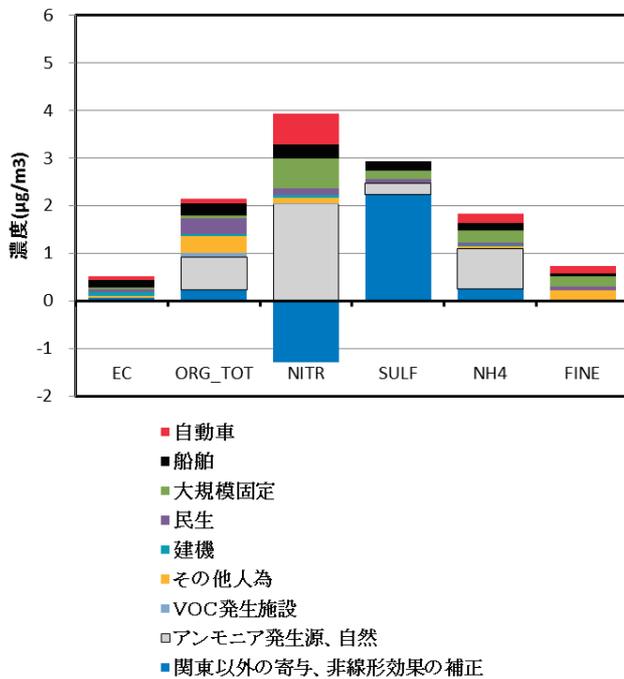


図 7 ゼロアウト計算結果に基づく関東地方の発生源別・成分別寄与濃度の推定結果 (2016年度)

形効果の補正の寄与がマイナス側に大きくなっているが、これはアンモニア発生源削除に対するNITRの減少が過大であり、それを補償した結果と思われる。2008年度と同様に、この結果からNO<sub>3</sub><sup>-</sup>に関する発生源対策効果を判断することは適切ではないと考えられる。

4 まとめ

PM<sub>2.5</sub>粒子の環境濃度を予測する数値型シミュレーションモデルを作成し、濃度の再現を試みた。モデルによる計算結果は年平均値で12.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり実測値19.07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と比較して過小と評価された。また、ゼロアウト法感度解析による発生源寄与推定結果は、自動車寄与が2.09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と最も大きく、次いで船舶1.03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、大規模固定発生源1.01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、その他の人為発生源0.80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。将来(2016年度)における予測濃度は年平均値で10.77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、発生源寄与は大きい順に大規模固定発生源、自動車、船舶となり、現況に比べ自動車が半減し、大規模固定発生源が36%増加する解析結果となった。

シミュレーションモデルによる予測結果が汚染現況に対して必ずしも十分な説明力を持たなかったことについては次の課題が挙げられる。

濃度の再現性が十分でない原因の一つは、排出量(インベントリ)算定上の不正確さにあると考えられる。

インベントリ作成上の課題は、例えば、近年大規模発生源や自動車からの排出量が低減し、今回対象に加えたような家庭部門など群小発生源の寄与が相対的に大きくなっているが、これらの排出や活動の精度の良い情報が不足していることが挙げられる。

再現性が十分でない別の原因と考えられる二次生成粒子の予測精度については、作成した予測モデルでは、これ以上の精度の改善は望めないが、予測モデルのバージョンアップによる性能向上に期待する。また、感度解析による発生源寄与からは、二次生成有機粒子に対する感度が低いことが指摘されたが、これもモデルの性能の限界と考えられ、バージョンアップされたモデルによる改善を待つこととしたい。

注) 本稿では、本モデル計算結果の現況再現性を考慮し、計算結果から行政施策へは言及せず、発生源寄与推

計や将来濃度予測の結果を示すにとどめた。しかし、検討会では本モデルの現況再現結果をレセプターモデル<sup>32)</sup>、レボグルコサン<sup>37)</sup>、放射性炭素同位体<sup>38)</sup>及びJATOP 大気観測<sup>39)</sup>等の一連の調査結果と併せて総合的に解析し、都内 PM<sub>2.5</sub> 粒子の発生源寄与推定結果<sup>40)</sup>としてまとめている。その結果をもとに行政施策の定量的な検討を行うため、PM<sub>2.5</sub> 成分の計算濃度を補正し、計算結果を実測値と整合させることによって、将来濃度予測や対策効果の評価<sup>40)</sup>を行っている。

## 謝 辞

本モデル作成に当たっては、シミュレーション手法に関するワーキンググループ(座長:大原利真国立環境研究所地域環境センター長、委員:速水洋財団法人電力中央研究所環境科学研究所上席研究員、委員:森川多津子財団法人日本自動車研究所主任研究員)の助言と指導を受けた。各委員に深く感謝いたします。本モデルの作成に当たっては、環境省、関東地方の自治体、財団法人石油産業活性化センター(現 一般財団法人石油エネルギー技術センター)及び EA-Grid-Japan-2000 の事務局である神成容陽氏から電子データ及び資料の提供を受けた。また、埼玉県環境科学国際センター及び川崎市公害研究所からは PM<sub>2.5</sub> の測定データの提供を受けた。中部日本域の境界条件は、国立環境研究所・大気汚染予測システム(RAMS+CMAQ) の計算結果の提供を受け、使用した。関東地方の大気常時監視データは国立環境研究所の環境数値データベース、大気環境時間値データファイルの提供を受けた。関係者各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Byun, D., and K.L. Schere, Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. EPA/600/R-99/030, March 1999
- 2) 東京都環境局:窒素酸化物等排出量調査(固定発生源)報告書(平成19年3月)財団法人計量計画研究所
- 3) 東京都環境局:小型焼却炉等の実態調査報告書(平成15年3月)株式会社ダイナックス都市環境研究
- 4) 財団法人石油産業活性化センター:JCAP 技術報告書(PEC-2004-AQ-09)
- 5) 環境省:平成19年度揮発性有機化合物(VOC)の浮遊粒子状物質及び光化学オキシダントの生成に係る調査報告書(平成20年3月)財団法人日本気象協会
- 6) 財団法人東京都環境整備公社東京都環境科学研究所:未把握発生源からの微小粒子状物質等大気汚染物質排出量算出調査(平成22年6月)財団法人計量計画研究所
- 7) 東京都環境局:発生源からのPM<sub>2.5</sub>等の採取及び成分分析調査委託報告書(平成21年3月)財団法人日本環境衛生センター
- 8) 東京都環境局:「都内建設機械等からの大気汚染物質排出量推計調査報告書」(平成19年3月)株式会社現代企画社
- 9) 環境省:揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ報告書平成(22年3月)
- 10) 東京都環境局:民生部門からのVOC排出量調査報告書(平成22年3月)財団法人計量計画研究所
- 11) 東京都環境局:平成21年総量削減計画進行管理調査報告書(平成22年3月)
- 12) 東京都環境局:平成17年度及び平成22年度における都内自動車排出ガス量等算出調査委託報告書(平成19年3月)
- 13) 財団法人東京都環境整備公社東京都環境科学研究所:自動車排出微小粒子状物質中の炭素成分等排出係数算出調査委託報告書(平成22年3月)株式会社現代企画社
- 14) 海洋政策研究財団:平成19年度船舶起源の粒子状物質(PM)の環境影響に関する調査研究報告書(平成20年)
- 15) 東京都環境局:平成19年度船舶排ガス対策効果の解析調査報告書(平成20年3月)いであ株式会社
- 16) 東京都環境局:平成20年度航空機騒音調査結果報告書(平成22年3月) p.8
- 17) 環境省:平成13年度浮遊粒子状物質総合対策検討に係る調査報告書(平成14年3月)株式会社数理計画
- 18) 石油産業活性化センター JCAP推進部:大気改善研究 公開モデル報告、JATOP技術報告書、PEC-2007AQ-03(2008)
- 19) Kannari A., Tonooka Y., Baba T., and Murano K.: Development of multiple-species 1 km × 1km resolution

- hourly basis emission inventory for Japan, Atmos. Environ., 41, pp.3428-3439 (2007)
- 20) 気象庁HP  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/Tokyo/320\\_Miyakejima/320\\_So2emission.htm](http://www.seisvol.kishou.go.jp/Tokyo/320_Miyakejima/320_So2emission.htm)  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/Tokyo/306\\_Asamayama/306\\_So2emission.htm](http://www.seisvol.kishou.go.jp/Tokyo/306_Asamayama/306_So2emission.htm)
- 21) 中西準子、篠崎裕哉、井上和也、詳細リスク評価書シリーズ24 オゾン—光化学オキシダント— 丸善
- 22) 井上和也：植物起源排出量の影響について、第49回大気環境学会年会発表要旨集 p.258
- 23) 東京都環境局HP  
[http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kikaku/singikai/kikaku/080212bukai/siryoushou2\\_kikaku\\_080212.pdf](http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kikaku/singikai/kikaku/080212bukai/siryoushou2_kikaku_080212.pdf)
- 24) ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション2050  
<http://www.pref.saitama.lg.jp/uploaded/attachment/52020.pdf>
- 25) 神奈川県における地球温暖化対策のあり方について 神奈川県地球温暖化推進方策検討委員会（平成20年9月）  
[http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/05/0514/ondanka/jourei/houkoku\\_all.pdf](http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/05/0514/ondanka/jourei/houkoku_all.pdf)
- 26) 日本温室効果ガス排出量 2020年 25%削減目標達成に向けたAIMモデルによる分析結果（中間報告）（H21.11.19）
- 27) 経済産業省：H22石油製品需要想定検討会資料
- 28) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集\_3 微小粒子状物質排出インベントリ報告書（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/013\\_inbentori.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/013_inbentori.pdf)
- 29) 伏見暁洋、森野悠、高見昭憲、大原利眞、田辺潔：PM2.5の実態解明に向けて—最近の研究と今後の課題—、大気環境学会誌, 46(2), pp.84-100 (2011)
- 30) 茶谷聡、森川多津子、中塚誠次、松永壮：3次元大気シミュレーションによる2005年度日本三大都市圏PM<sub>2.5</sub>濃度に対する国内発生源・越境輸送の感度解析、大気環境学会誌, 45(2), pp.101-110 (2011)
- 31) 森野悠、茶谷聡、速水洋、佐々木寛介、森康彰、森川多津子、大原利眞、長谷川就一、小林伸治：大気質モデルの相互比較実験によるO<sub>3</sub>、PM<sub>2.5</sub>予測性能の評価—2007年夏季、関東の事例、大気環境学会誌, 45(5), pp.212-225 (2010)
- 32) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集\_9 東京都微小粒子状物質検討会レセプターワーキング報告書（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/09\\_receptor.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/09_receptor.pdf)
- 33) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集\_1 微小粒子状物質大気環境調査結果報告書（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/02\\_hassei.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/02_hassei.pdf)
- 34) <http://aim.env.uea.ac.uk/aim/aim.php>
- 35) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会浮遊粒子状物質調査会議：平成20年度浮遊粒子状物質合同調査報告書(平成22年3月)
- 36) 茶谷聡、森川多津子、芦崎翠、平井洋、國見均：我が国の汚染物質濃度に対する発生源・越境輸送の感度解析、大気環境学会誌 43(2), pp.79-91 (2008)
- 37) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集 5\_PM2.5等のレボグルコサン分析に関する研究（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/05\\_levo.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/05_levo.pdf)
- 38) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集 6\_放射線炭素同位体測定に基づく微小粒子状物質の起源に関する研究（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/06\\_C14.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/06_C14.pdf)
- 39) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集 8\_JATOP大気観測について（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/018\\_jatop.pdf](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/018_jatop.pdf)
- 40) 東京都微小粒子状物質検討会：東京都微小粒子状物質検討会報告書（平成23年7月）  
[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/conference/particulate\\_matter/study\\_committee\\_07.html](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/conference/particulate_matter/study_committee_07.html)