

更なる大気環境の改善に向けて —PM2.5対策の現状と課題—

調査研究科 横田 久司



財団法人東京都環境整備公社
東京都環境科学研究所

更なる大気環境の改善に向けて —PM2.5対策の現状と課題—

1. 「大気汚染」は改善したか？

2. 今なぜPM2.5か？

3. PM2.5の環境濃度は？

4. PM2.5対策は進んでいるか？

5. 今後何をすべきか？



1. 「大気汚染」は改善したか？

「大気汚染」とは何か？

大気汚染の評価指標としての環境基準

東京都の大気汚染の状況



公害としての大気汚染

- 「事業活動その他の人の活動により、人の健康等に係る被害が生ずること」として定義(環境基本法第2条3号)されている。
- 法の対象となる公害としての大気汚染を定義し、規制等の対策を講じる対象・範囲を明確にしている。

注) 環境基本法は、公害以外の人々の健康又は生活環境の保全上の支障にも対処しようとするものである。

事業活動その他の人の活動＝「人為」

現象としての大気汚染

- 大気中に排出された物質が、自然の浄化機能を上回って大気中に存在し、これらが人を含む生態系や物などに直接的、間接的に影響を及ぼす場合には大気汚染
- 自然起源や地域外からの大気汚染の影響が無視できなくなっている。

大気汚染の評価指標 「環境基準」

大気汚染の改善度合いをみる場合には、環境基準の達成状況で評価

- 環境基準の定義(環境基本法第16条)

「政府は、大気の汚染に係る環境上の条件について、人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準を定めるものとする。」

とされており、行政上の政策目標として解釈されている。

- 環境基準が設定されている大気汚染物質

二酸化窒素(NO_2)、二酸化硫黄(SO_2)、一酸化炭素(CO)

浮遊粒子状物質(SPM)、光化学オキシダント(Ox)

ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン

ダイオキシン類

大気汚染に係る環境基準

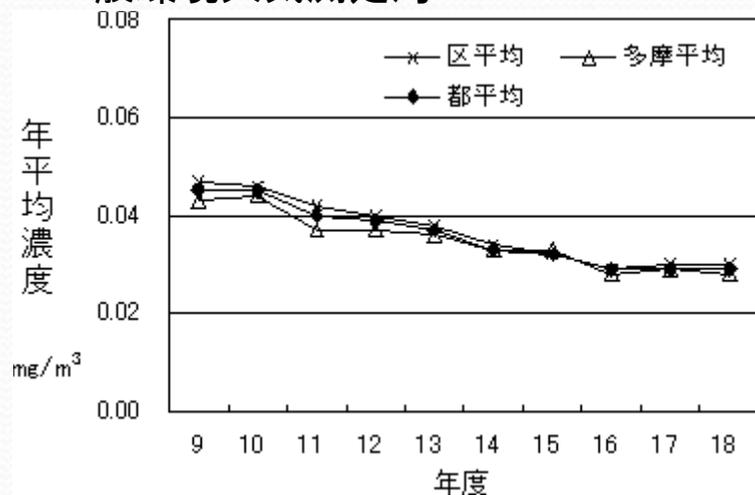
物質	環境基準値	告示日
一酸化炭素(CO)	1日平均値 10 ppm 以下 かつ、1時間値 8時間平均値 20 ppm 以下	S48.5.8
浮遊粒子状物質 (SPM)	1日平均値 0.10 mg/m ³ 以下 かつ、1時間値 0.20 mg/m ³ 以下	S48. 5.8
光化学オキシダント (Ox)	1時間値 0.06 ppm 以下	S48.5.8
二酸化硫黄(SO ₂)	1日平均値 0.04 ppm 以下 かつ、1時間値 0.1ppm 以下	S48. 5.16
二酸化窒素(NO ₂)	1日平均値 0.04 ppm ~ 0.06 ppm のゾーン内 又はそれ以下	S53. 7.11
ベンゼン	1年平均値 0.003 mg/m ³ 以下	H9.2.4
トリクロロエチレン	1年平均値 0.2 mg/m ³ 以下	H9.2.4
テトラクロロエチレン	1年平均値 0.2 mg/m ³ 以下	H9.2.4
ダイオキシン類	1年平均値 0.6 pg-TEQ/m ³ 以下	H11.12.27
ジクロロメタン	1年平均値 0.15 mg/m ³ 以下	H13.4.20

光化学オキシダントの生成防止のための大気中炭化水素濃度の指針
 日最高1時間値 0.06 ppmに対応する午前6時～9時の非メタン炭化水素の3時間平均値
 0.20 ppmC ~ 0.31 ppmC の範囲 (S51.8.13通知)

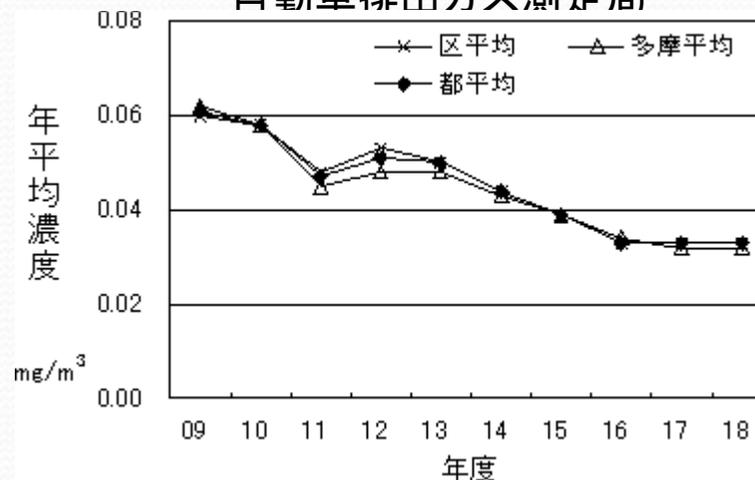
東京都の大気汚染の状況

浮遊粒子状物質 (SPM)

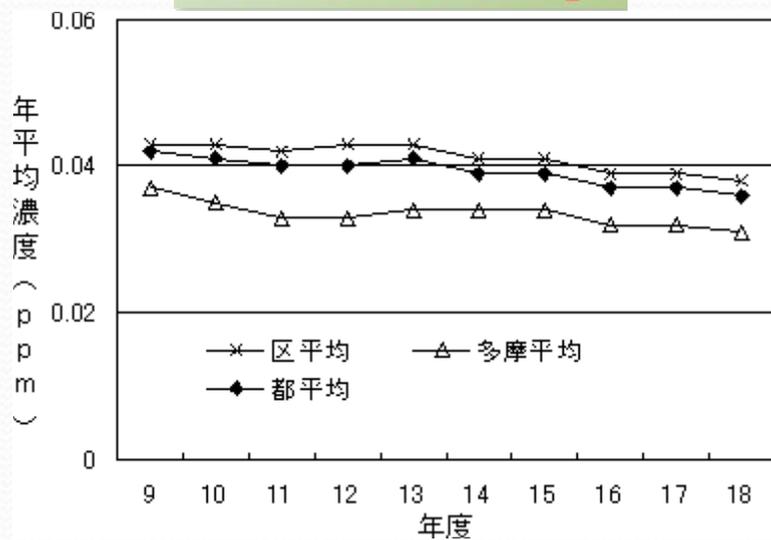
一般環境大気測定局



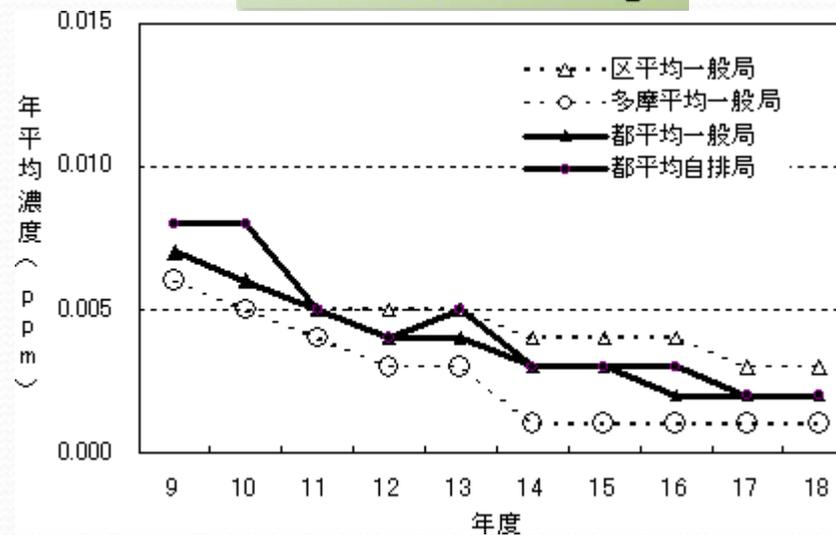
自動車排出ガス測定局



二酸化窒素 (NO₂)



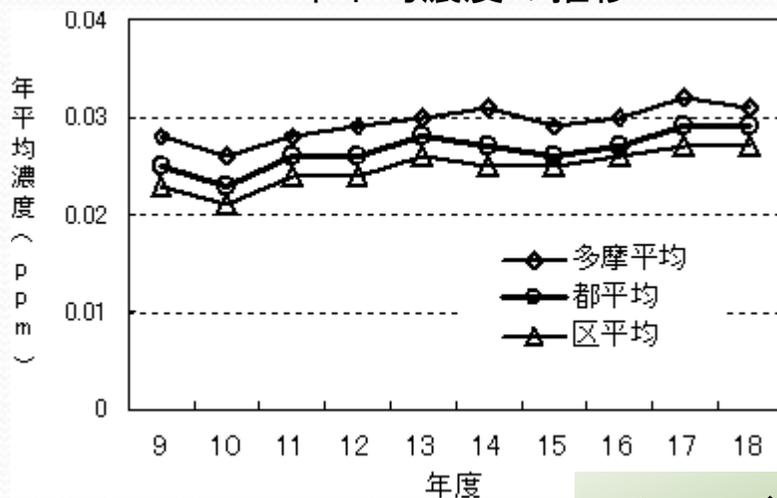
二酸化硫黄 (SO₂)



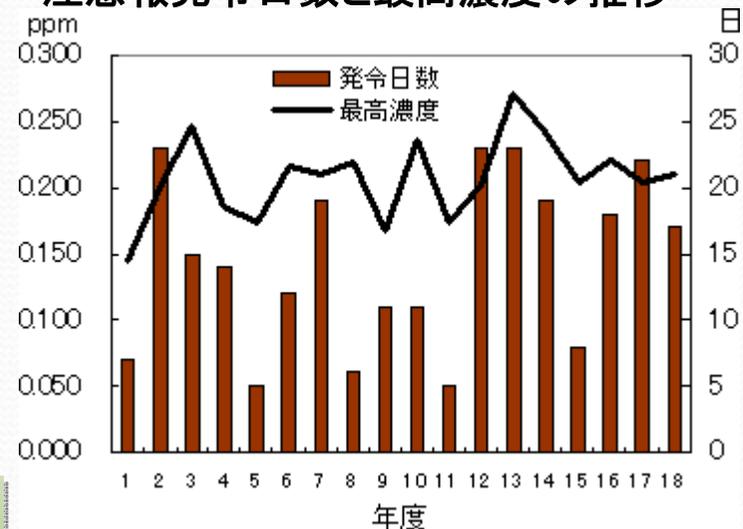
東京都の大気汚染の状況

光化学オキシダント(Ox)

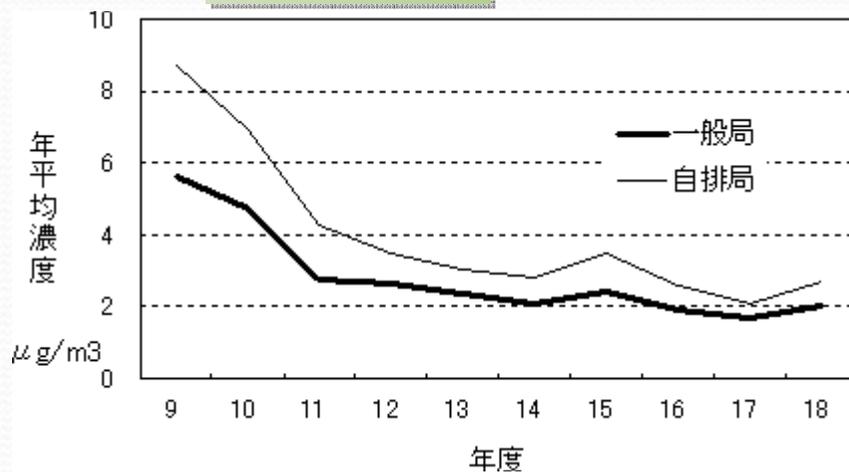
年平均濃度の推移



注意報発令日数と最高濃度の推移



ベンゼン



自然起源や地域外からの大気汚染の影響事例

従来想定していた「人為」の範囲を超えて影響が現れてきた。

スギ花粉

戦後、木材用途に植林され、成熟して花粉を盛んに飛散している。

広葉樹等への植替えが試行されている。

花粉の粒径は10～35 μm の範囲とされているので、PM2.5とは重ならない。

植物由来 VOC

農作物および森林などの植物から、反応性に富むVOCが排出されることはよく知られている。

イソプレンとモノテルペンが主要な排出物質であり、イソプレンは主に落葉樹林から排出される。

VOCの成分毎の光化学反応性を考えた場合に、夏場においてはイソプレンの寄与が大きくなることが報告されている。

越境 大気汚染

最近我が国でOx濃度が増加し続け、その原因としてアジア大陸からの越境汚染の影響が考えられている。

北アメリカやヨーロッパで生成されたO₃が、対流圏に上昇して半球的な輸送により日本に到達するという研究も報告されている。

黄砂

黄砂は、大陸のタクラマカン砂漠やゴビ砂漠で吹き上げられた多量の砂の粒子が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象であり、日本においては3～4月に多く見られる。

黄砂観測時にはSPMの濃度が大きく増加し、PM2.5の濃度も増加傾向にある。

スギから広葉樹への植替えの事例

(広葉樹周辺のスギを伐採)



(現在の状況)

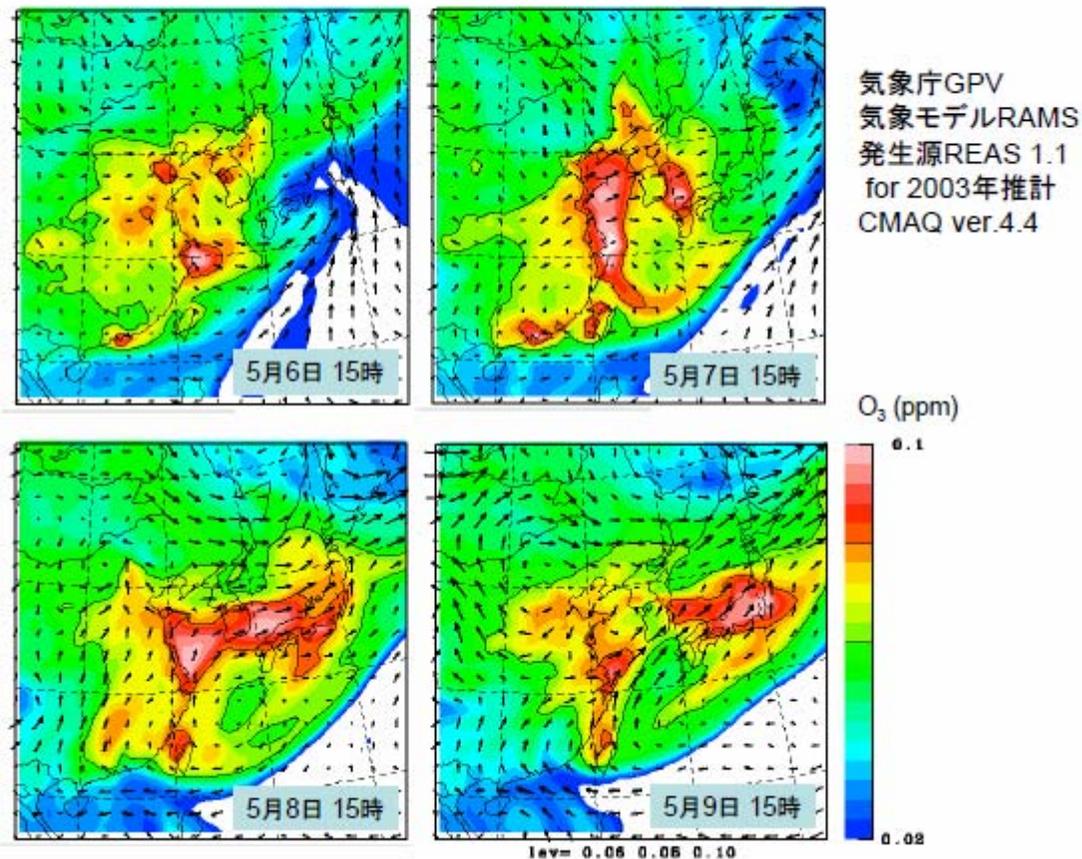


(東京都あきる野市入野樽)

水問題研究家 飯田輝男氏提供

越境大気汚染（東アジアからの影響）

シミュレーションモデルで計算された地上付近のO₃の平均濃度

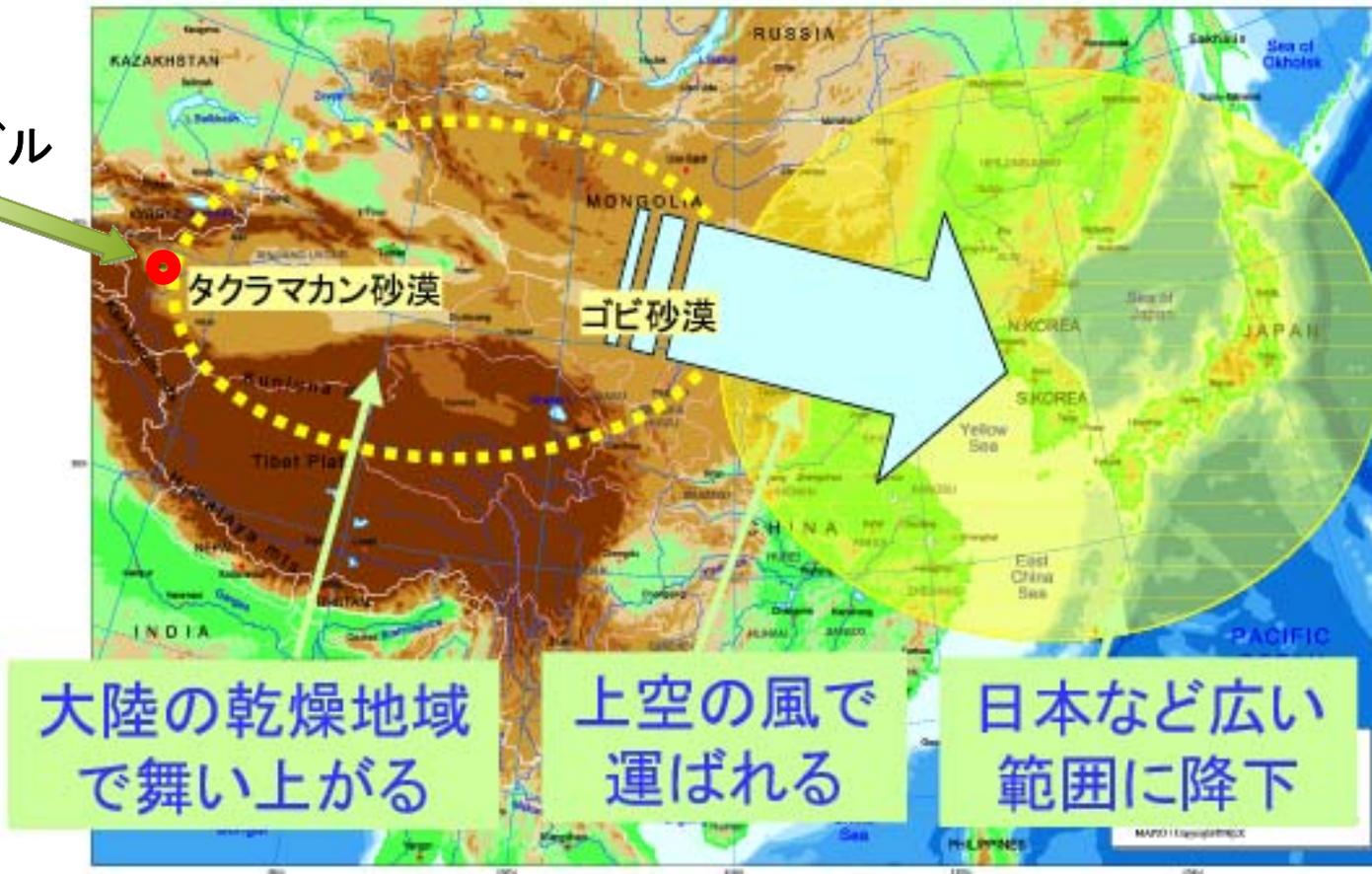


国立環境研究所の報道発表資料より

黄砂

気象庁ホームページから引用

カシュガル



- 黄砂は、大陸のタクラマカン砂漠やゴビ砂漠等で吹き上げられた多量の砂の粒子が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象であり、日本においては3～4月に多く見られる。
- 黄砂観測時にはSPMの濃度が大きく増加し、PM2.5の濃度も増加傾向にある。

原料

大気空間

PM2.5

地域からの排出

自然起源

東アジアからの流入

大陸間輸送

植物VOC

三宅島噴煙

海塩粒子

黄砂

VOC

NO_x

SO₂

光化学スモッグ

O₃

O₃などとの反応

一次生成

PM

二次粒子

有機粒子

二次生成

二次粒子

硝酸塩

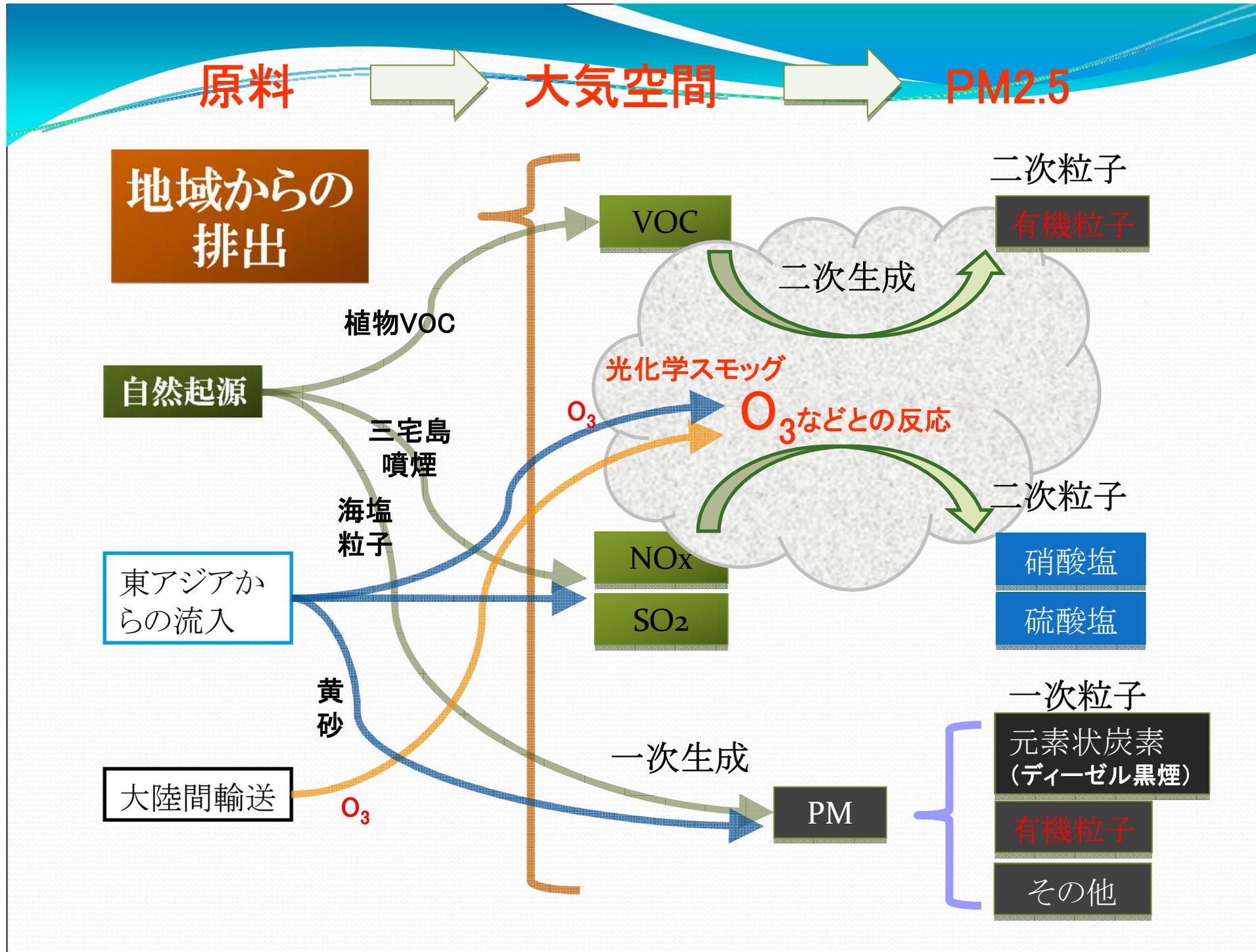
硫酸塩

一次粒子

元素状炭素
(ディーゼル黒煙)

有機粒子

その他



2. 今なぜPM2.5か？

PM2.5とは何か？

健康影響に関する研究の進展と環境基準の設定

米国等の環境基準設定の動き

日本の調査研究

PM2.5に関する研究の課題



PM2.5とは何か？

粒子の大きさ(粒径)

PM2.5の特徴

種々の成分の混合物

一次生成と二次生成

人為起源と自然起源



PM2.5の大きさ(粒径)

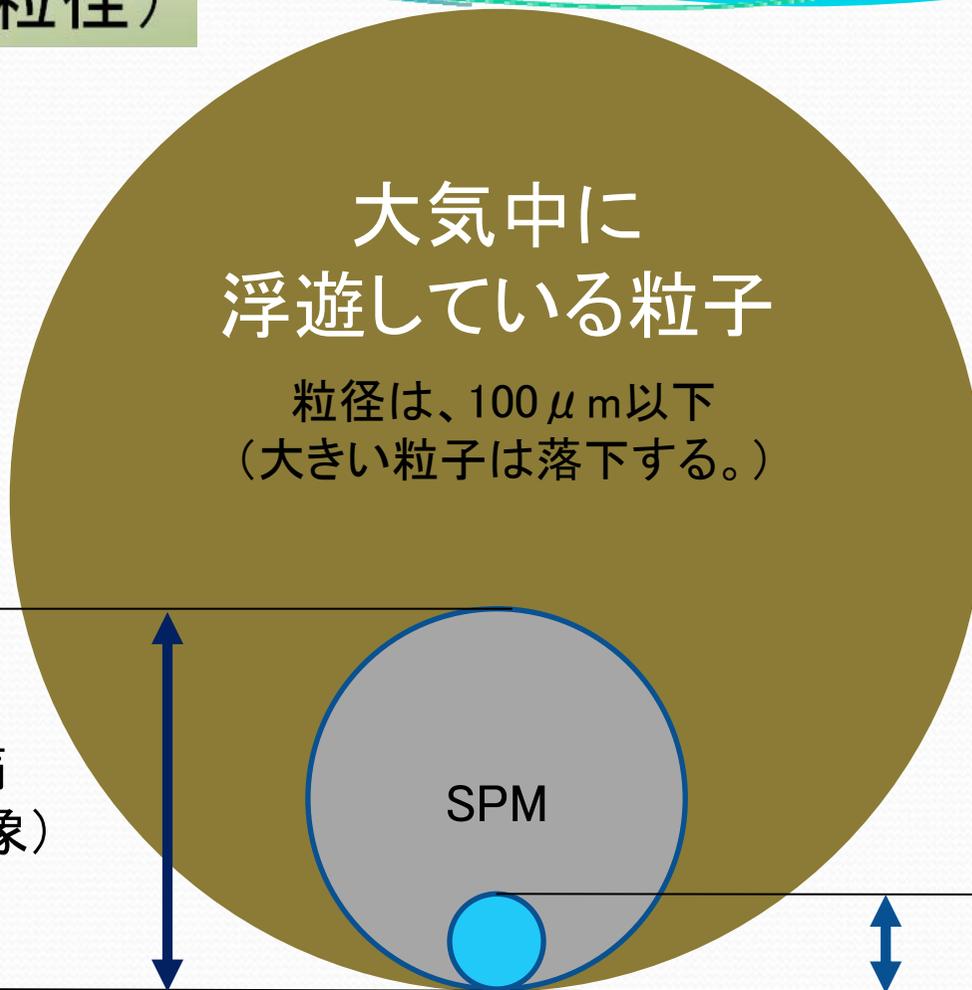
大気中に
浮遊している粒子

粒径は、 $100\mu\text{m}$ 以下
(大きい粒子は落下する。)

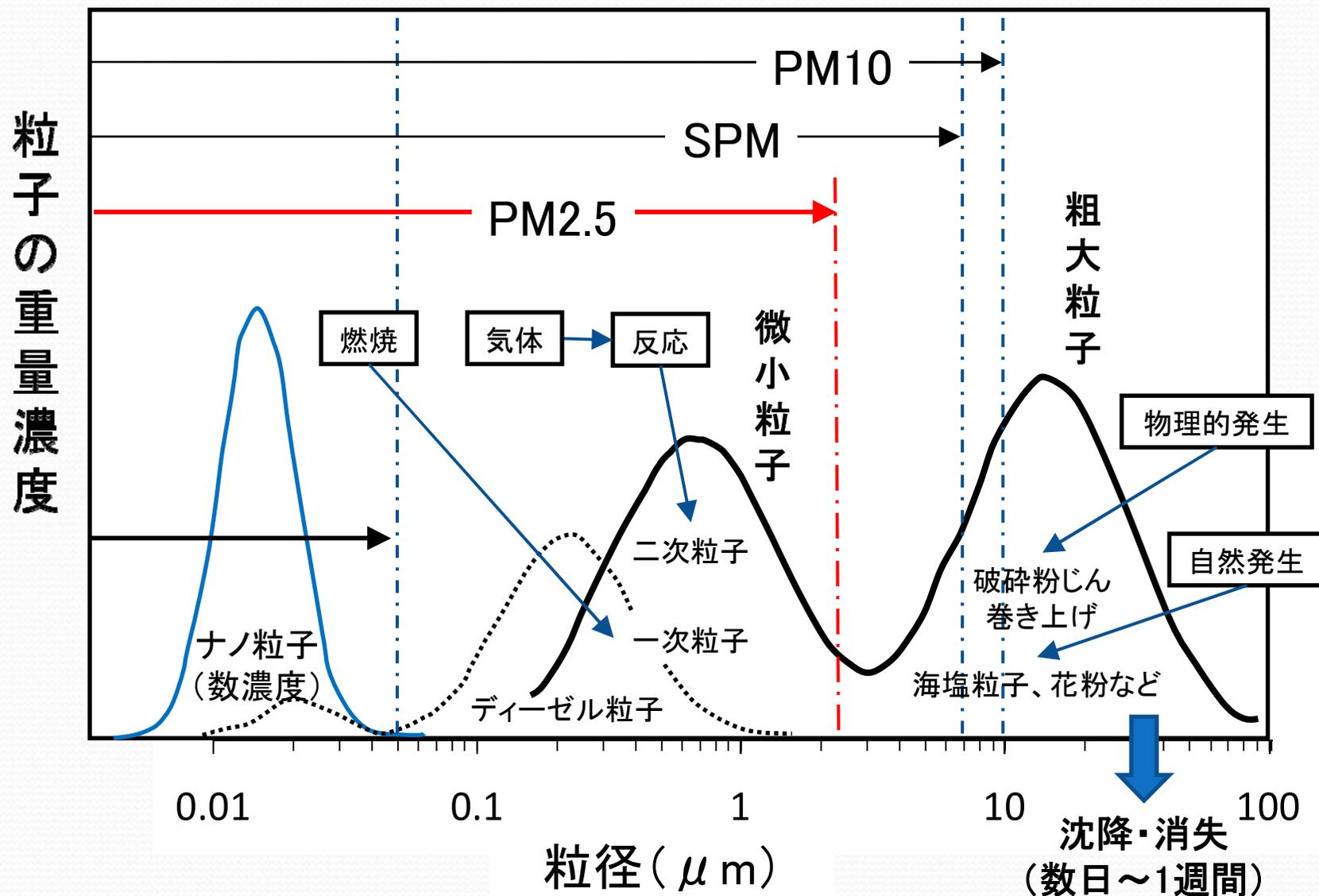
SPM: 粒径 $10\mu\text{m}$ 未満
(日本の環境基準の対象)

SPM

PM2.5(微小粒子): 粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下



PM2.5の大きさ(粒径分布)



健康影響に関する研究の進展と環境基準の設定

米国の環境基準設定の経緯

(国立環境研究所新田先生作成資料を改作)

1971年 全浮遊粒子(TSP)の環境基準を設定

1987年 第1次改定：PM₁₀ (粒径10 μm以下)の環境基準を設定

1993年 「ハーバード6都市研究」等

健康影響との関連は、PM2.5に”より”顕著

1997年 第2次改定、PM10の基準値にPM2.5の基準値を新たに追加

2006年 第3次改定：PM2.5の基準値

24時間平均：100 μg/m³、年平均：15 μg/m³

米国でのPM2.5環境基準の根拠

- PM2.5濃度と死亡の短期影響：北米での三つの研究で有意な関係
- PM2.5濃度と死亡の長期影響：6都市調査等で強固な関係
- 南カリフォルニア小児調査：PM2.5濃度と肺機能と成長との関係

* 2006年 WHOによる指針値 年平均値 PM2.5 : 10 μg/m³

米国と日本のPM環境基準

米国 2006年 最終規則	PM10	24時間平均	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	年1回を越えない
	PM10	年平均	廃止	
	PM2.5	24時間平均	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24時間値の年間98パーセントの3年平均が越えないこと
	PM2.5	年平均	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3年平均
日本	SPM	1日平均	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	① 24時間値の年間2パーセント除外値が越えない ② 2日連続して越えない
		1時間平均	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

粒径 PM2.5 < SPM(約PM7) < PM10

日本の調査研究

平成11～19年度「微小粒子状物質曝露影響調査検討会」曝露、疫学、毒性学の3つの分野について調査研究

● 短期影響調査

- ①呼吸器系の健康影響指標ではPM2.5濃度との関連性が認められるものがあり、従来の諸外国での疫学的知見とほぼ整合する。
- ② 日死亡との関連については、全体としては諸外国における知見と概ね一致する。
- ③循環器系死因についてはやや異なるとみられる。

● 長期影響調査

- ①PM2.5濃度が3歳～7歳に至る小児の呼吸器症状等の有症状況及び喘息様症状の発症と関連していることを示す疫学的知見は得られず。
- ② 保護者における断面調査による持続性の咳や痰症状の有症状況にPM2.5をはじめとした大気汚染物質への曝露が関連している可能性が示唆された。
今回の調査上の様々な制約の上での結果であることに留意する必要がある。

平成19年度から「微小粒子物質健康影響評価検討会」

- 国内外における科学的知見を集積
- PM2.5の健康影響に関する総合的な検討

PM2.5に関する研究の課題

健康影響を示唆する結果が報告されている。
米国の環境基準 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも大幅に高い水準

日本独自の知見はどこまで必要か？

「微小粒子状物質曝露影響調査検討会」報告から

- ① 曝露濃度の変動要因や発生源別影響度の適切な評価
(発生源、環境動態、粒径分布、PM2.5成分の外国との違い)
- ② 測定法の更なる確立
- ③ 疫学研究(短期曝露調査)
循環器の諸指標とPM2.5濃度の関連性に関する調査研究
- ④ 疫学研究(長期曝露調査)
呼吸器疾患や循環器系疾患の発症や死亡とPM2.5濃度の関連性に関する知見の集積

3. PM2.5の環境濃度は？

粒子状物質濃度の経年変化

一次生成と二次生成の割合

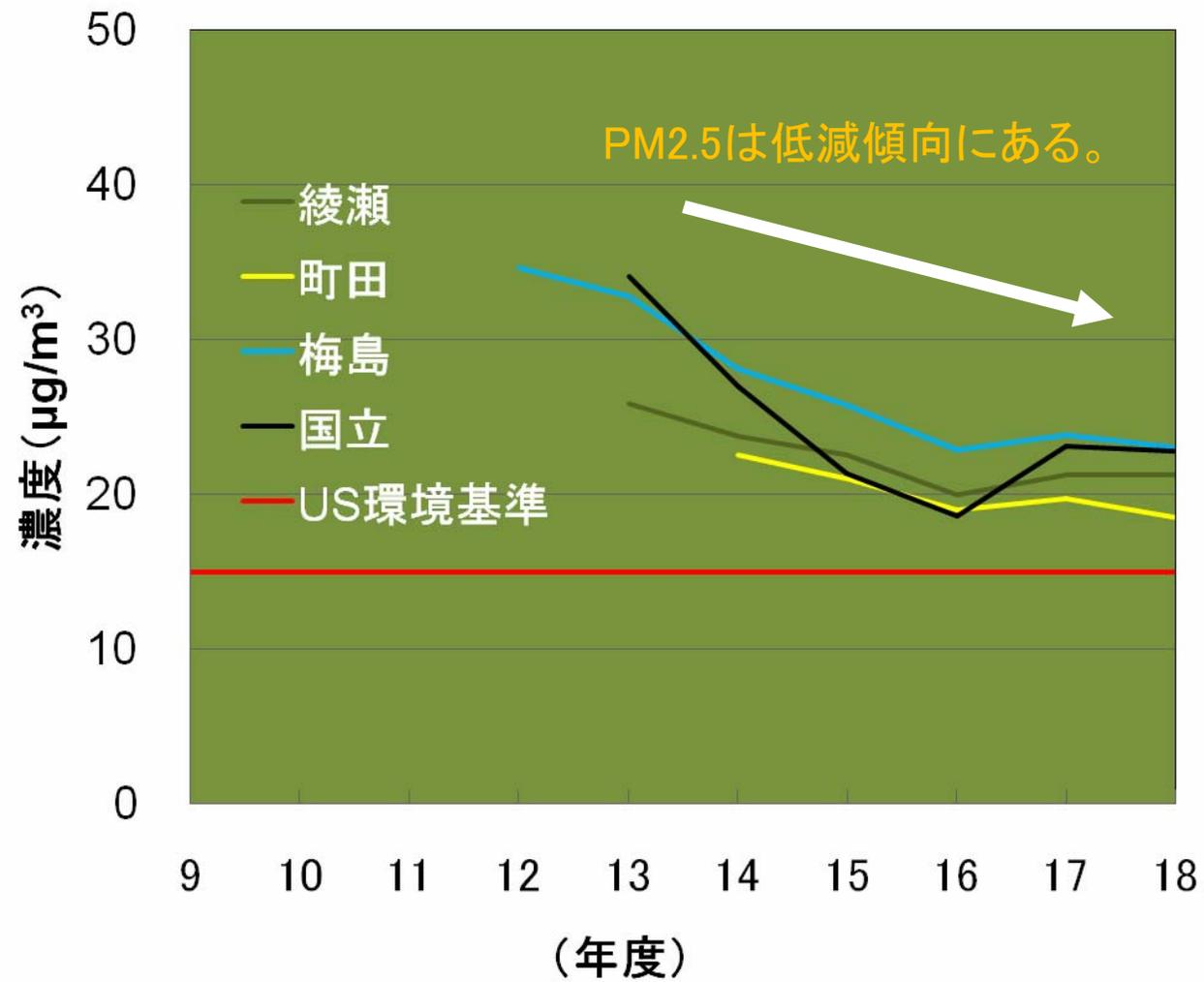
人為起源と自然起源

大きな特徴

PM2.5の濃度が低減し、しかも、二次生成の粒子の相対的割合が増加している。

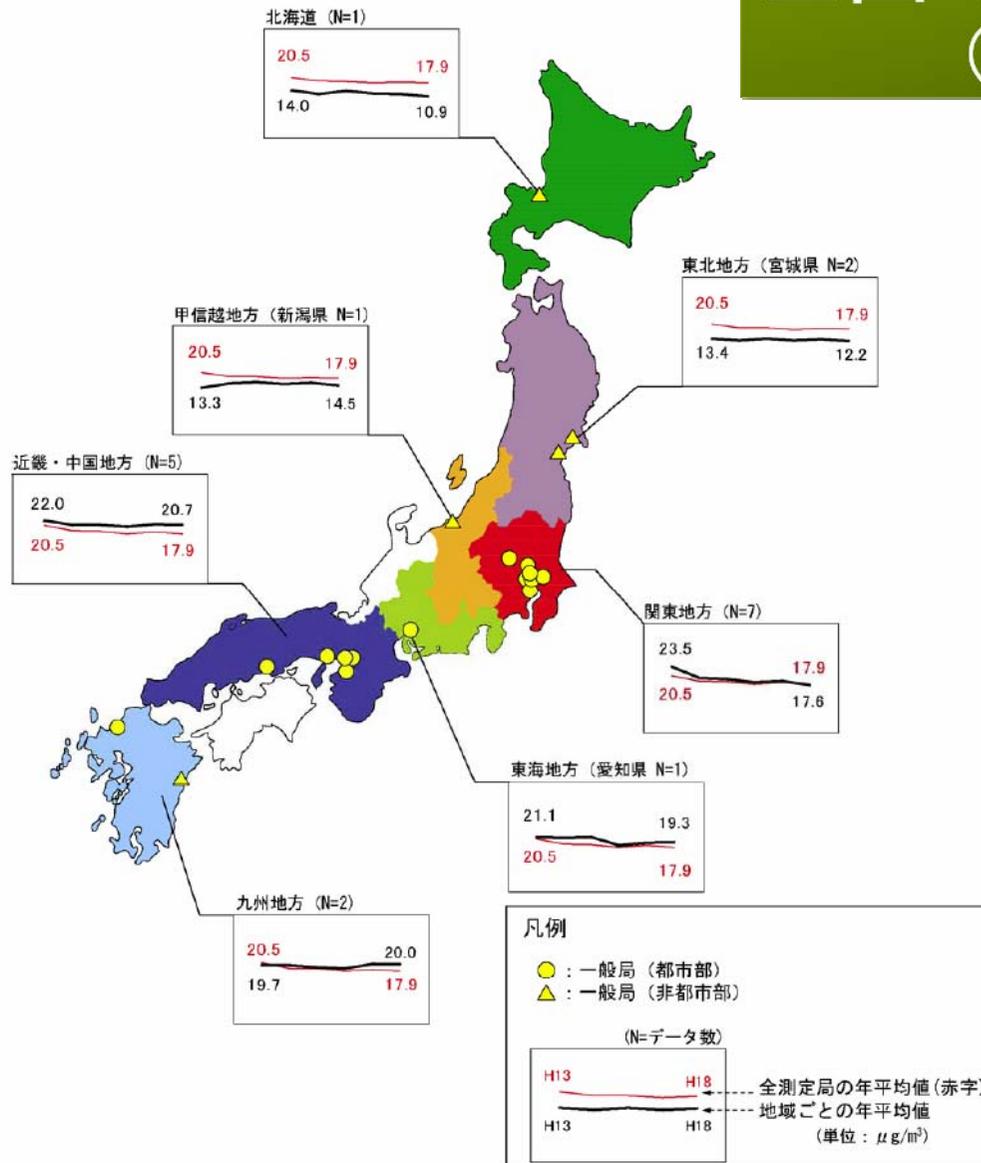


粒子状物質濃度の経年変化



都内4測定局のPM2.5の経年変化

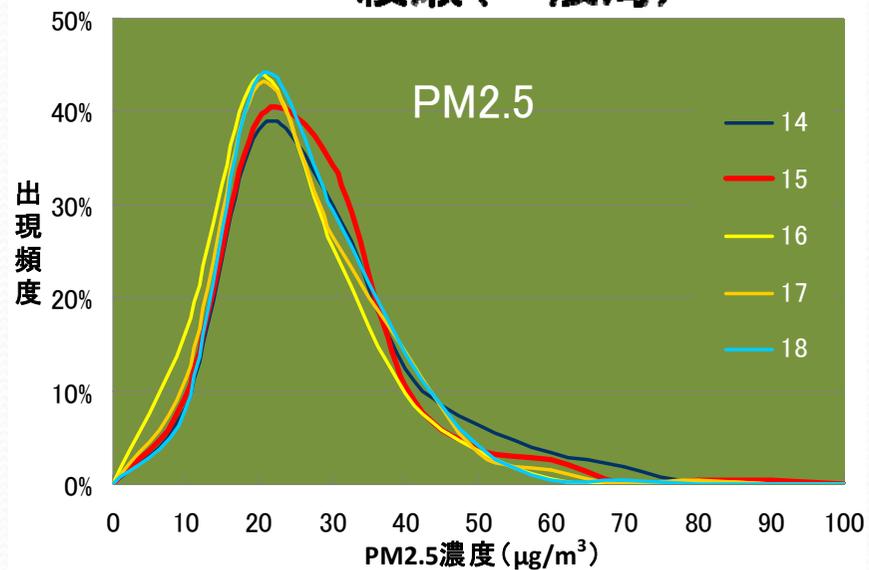
全国のPM2.5の経年変化 (平成13～18年度)



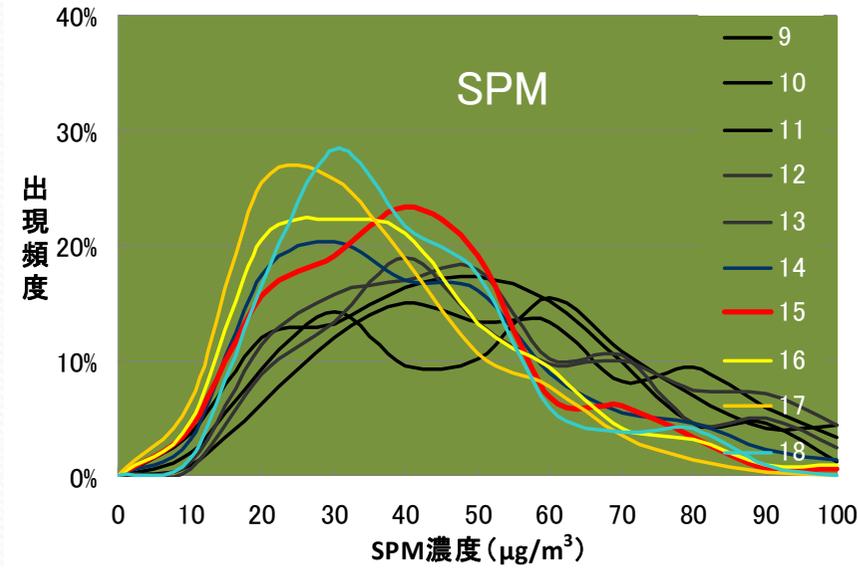
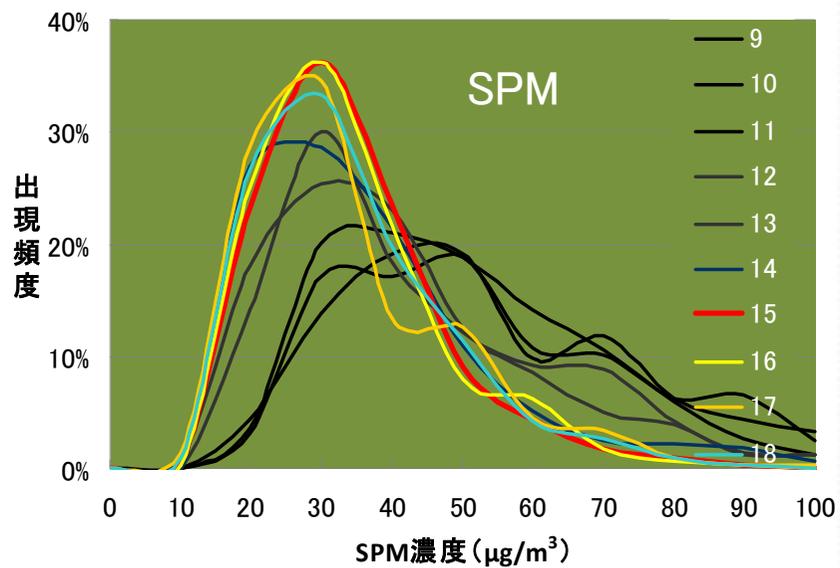
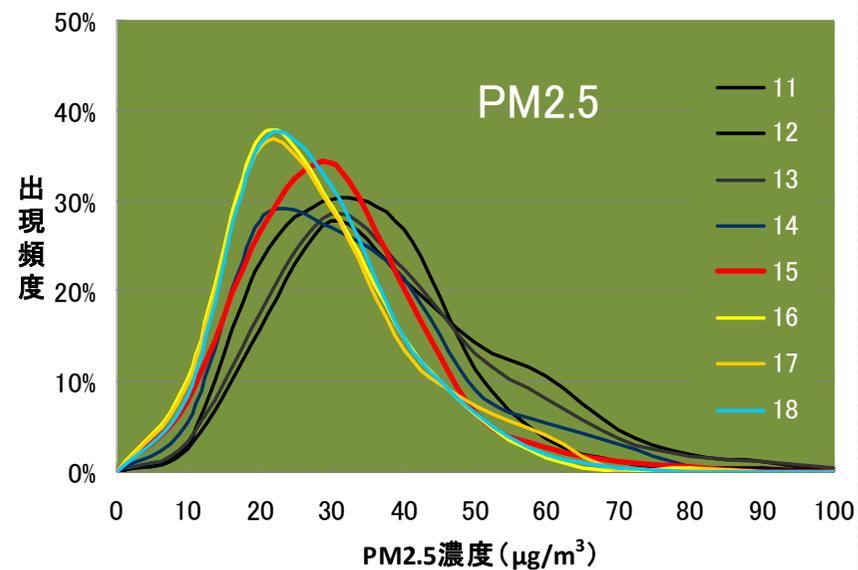
- 自排局
経年的には、年々減少
- 都市部の一般局
平成13～14年度にかけて減少しているが、その後は横ばい
- 非都市部の一般局
この6年間でほぼ横ばい

PM2.5濃度分布の経年変化

綾瀬(一般局)



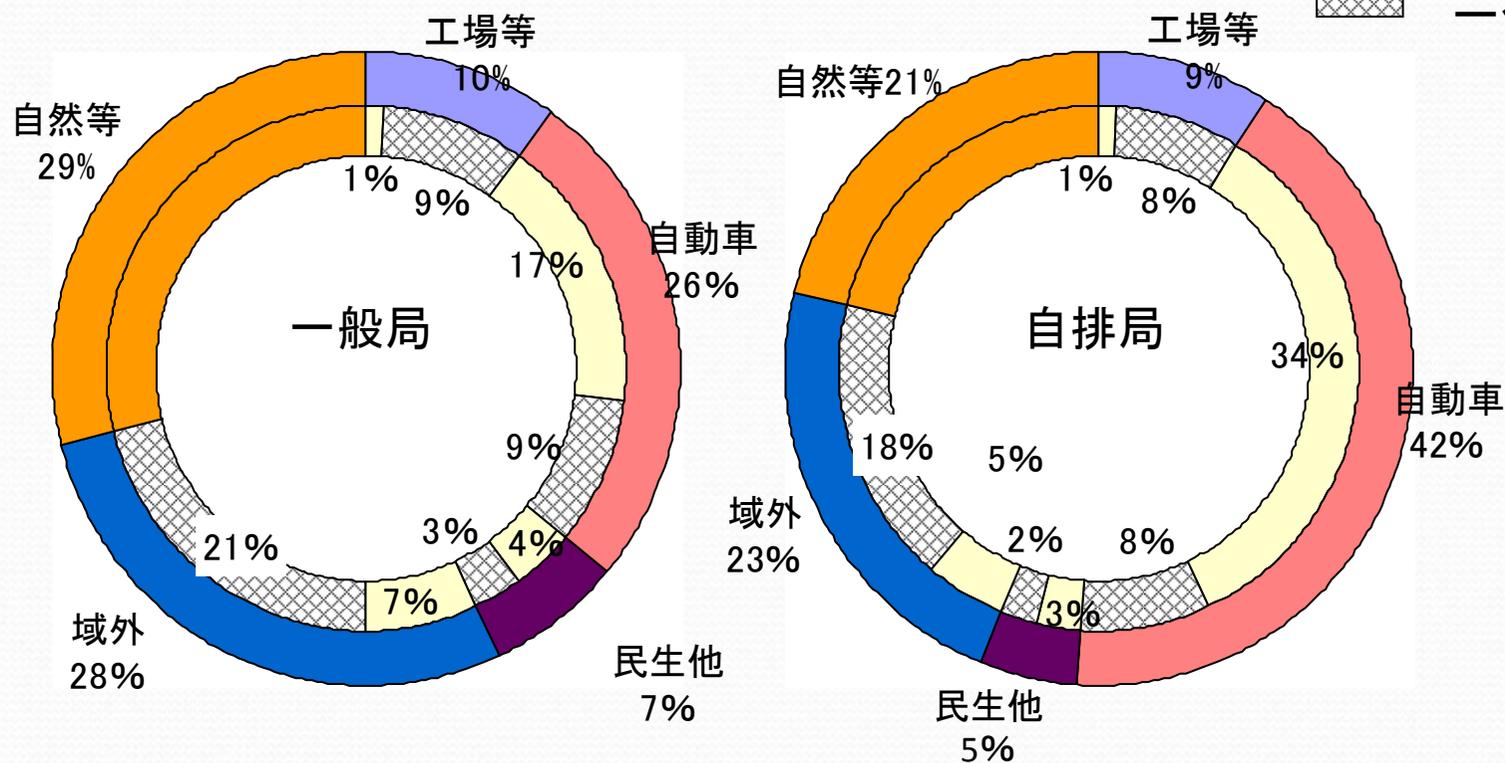
梅島(自排局)



一次生成と二次生成

東京のPM2.5発生源別寄与割合 (H12年度)

□ 一次生成
 ▨ 二次生成



東京都浮遊粒子状物質削減対策検討会 (H15.3)

PM2.5の大きな特徴

- ディーゼル車規制により、PM2.5の濃度が低減しているが、米国環境基準 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ よりも大幅に高い水準
- しかし、二次粒子の低減は少ない(大気環境学会報告)ため、二次粒子の相対的割合が増加してきた。
- そのため、より広域的な影響や様々な排出源を考慮する必要が生じてきた。

- 人為的な原因

直接的に「事業活動その他の人の活動による」もの

「公害」としての大気汚染→低減してきた。

越境大気汚染→アジア諸国の産業活動の活発化

大陸間輸送→新たな研究で明らかに

- 自然現象による大気汚染

三宅島噴煙による SO_2 高濃度現象

黄砂によるSPM高濃度現象

植物からのVOCによる光化学スモッグの発生→新たな研究

4. PM2.5対策は進んでいるか？

「PM2.5対策」としては実施されていないが、低減に効果のある対策は以前から進められている。

一都三県の条例によるディーゼル車走行規制
法による自動車排出ガス規制

ダイオキシン類特別措置法による焼却炉規制

ベストミックス方式によるVOC排出抑制

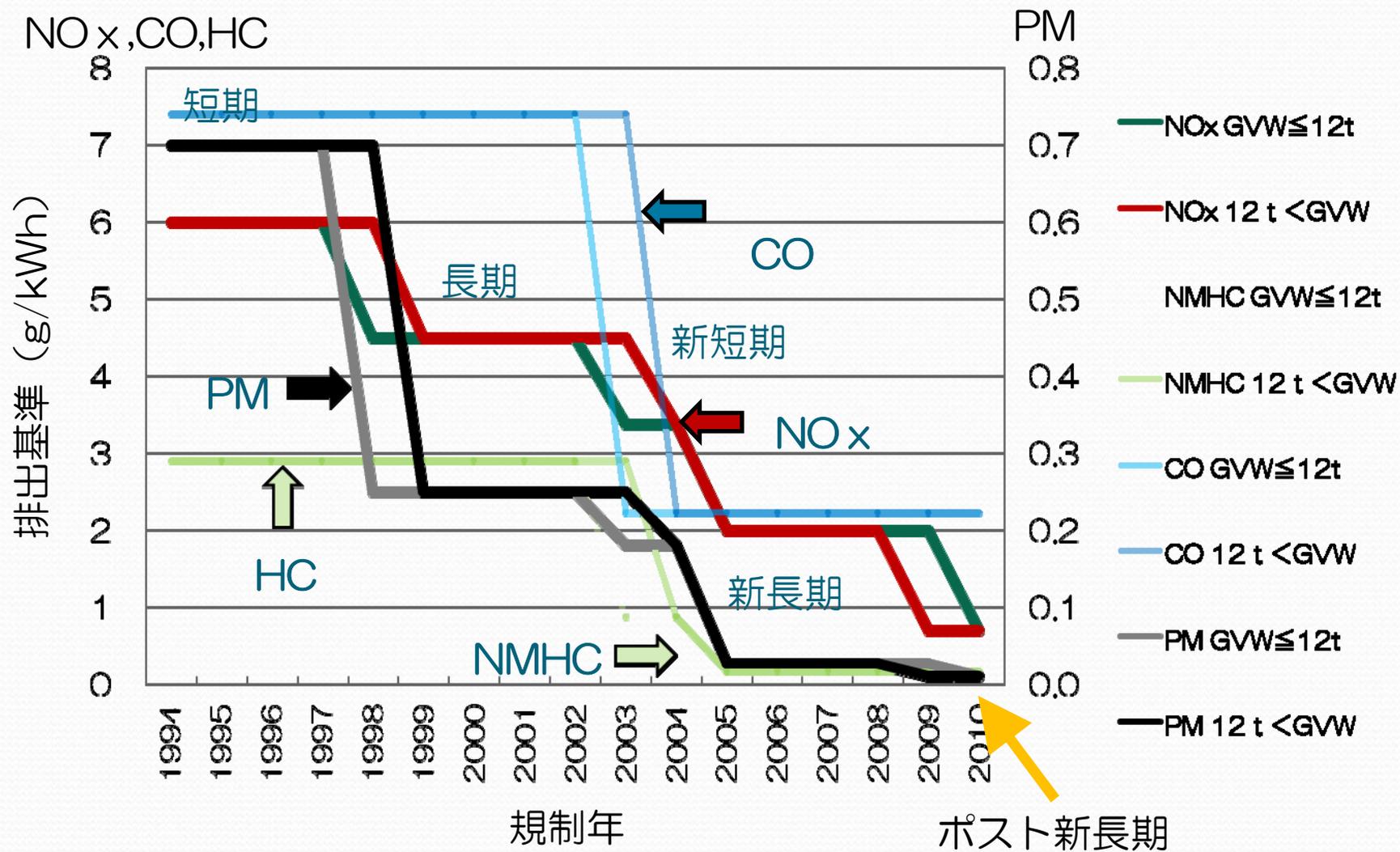


一都三県の条例によるディーゼル車走行規制

2003年10月から、PM排出基準を満たさないディーゼル車の走行禁止

- ① 首都圏八都県市の連帯で、国に先駆け「ディーゼル車走行規制」を実現
- ② 石油連盟とともに、「低硫黄軽油」の早期供給を実現
- ③ 「粒子状物質減少装置(DPF、酸化触媒)」の実用化と大量普及

自動車排出ガス規制の推移(大型ディーゼル車)



* 2005年に、HCからNMHCに変更

ダイオキシン類対策特別措置法(平成12年1月15日施行) による焼却炉規制

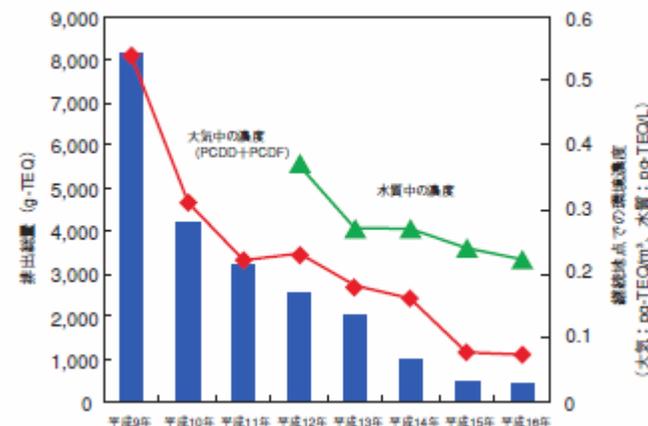
1. 排出ガス及び排出水に関する規制

- ① 特定施設
- ② 排出基準
- ③ 大気総量規制基準
- ④ 特定施設の設置の届出、計画変更命令
- ⑤ 排出の制限、改善命令

2. 廃棄物焼却炉に係るばいじん・焼却灰等の処理等

- ① ばいじん・焼却灰中の濃度基準
- ② 廃棄物最終処分場の維持管理基準

日本全国の排出総量と大気、水質中の ダイオキシン類濃度の推移



焼却炉からのばいじん排出量が低減

ベストミックス方式によるVOC排出抑制

VOCを減らすための新たな仕組み(平成18年4月から)

確実かつ公平に
排出削減が可能!

ばい煙発生施設対策等で実績

法による直接規制

事業者の創意工夫に基づき
柔軟な対応が可能!

有害大気汚染物質対策で実績

自主的取組

ベスト・ミックス

自主的取組を評価・促進しつつ、
大気環境への影響の大きな施設は
社会的責任の大きいことから法規制

法により規制



大規模施設

自主的取組



中・小規模施設

VOC(Volatile Organic Compounds)

- 蒸発しやすく、大気中で気体となる有機化合物の総称
- 塗料、接着剤、インク等の溶剤
- 代表的な物質:トルエン、キシレン、酢酸エチルなど
- SPMや光化学オキシダントの原因物質

5. 今後何をすべきか？

総合的な 対策・研究

個別物質の対策や研究を独立的に進めるのではなく、それらを統合し、連携して進めることが必要

光化学オキシダント、VOC浄化技術開発、そらプロジェクト

環境 モニタリング

大気の質の変化を適切に把握し、より早く健康への影響を判断する手段としてモニタリングは重要である。

単なる環境基準の適合度だけでなく、発生源の拡がりや二次的生成も考慮した大気の質の変化を読みとれるモニタリングが必要

広域的 連携

大都市東京としては、半球的なO₃の輸送問題までには踏み込めないにしても、近隣自治体だけでなく、東アジアまで含めた広域的な対応策を検討する段階に来たのかもしれない。

予防的 対応

環境基準は設定されていないが、対策を進めるためには暫定的でも目標が必要である。

そのためには、十分な調査研究を行い、国民的合意が可能な根拠を明らかにする必要がある。



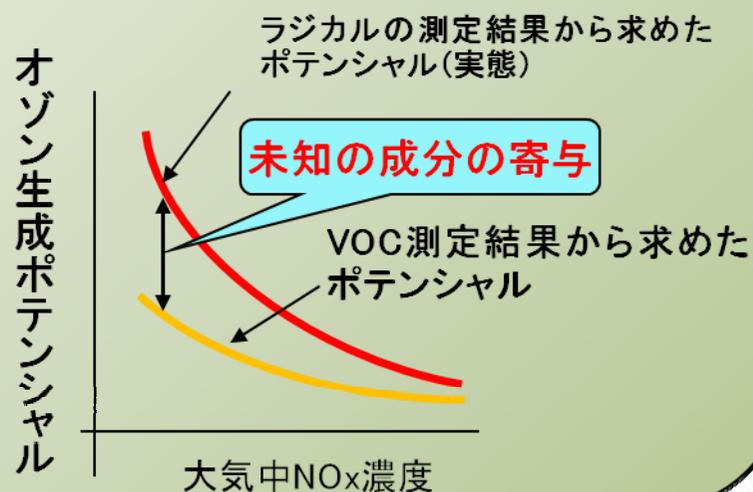
光化学オキシダント対策に関する研究

—首都大学東京との共同研究— (H19~21)

光化学スモッグを特に発生させる有機物の解明に着手

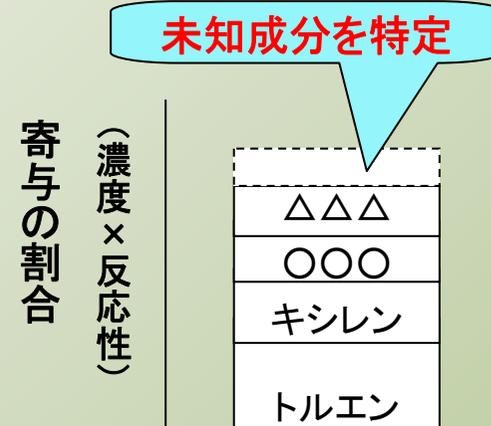
首都大学東京

- レーザー誘起蛍光法によるラジカルの測定
新技術の開発・実用化
- OHラジカルの寿命測定による大気のおゾン生成ポテンシャルの評価



環境科学研究所

- 含酸素化合物の分析方法の開発
- 100成分以上のモニタリング
- 大気中濃度と光化学反応性からの成分ごとの寄与の推定



光化学オキシダントの制御戦略の提案

JSTによるVOC浄化技術開発研究

都市の安全・安心を支える環境浄化技術開発

地域結集型研究開発プログラム((独) 科学技術振興機構)

大風量、低濃度のVOC排出を安価で処理できる技術を開発する。

研究内容

(1) 環境浄化材料の開発

吸着材料、浄化用触媒の開発

(2) 有害ガス・塵埃処理装置の開発

捕集・分解、計測技術

・環境局と産業労働局の連携による推進研究体制

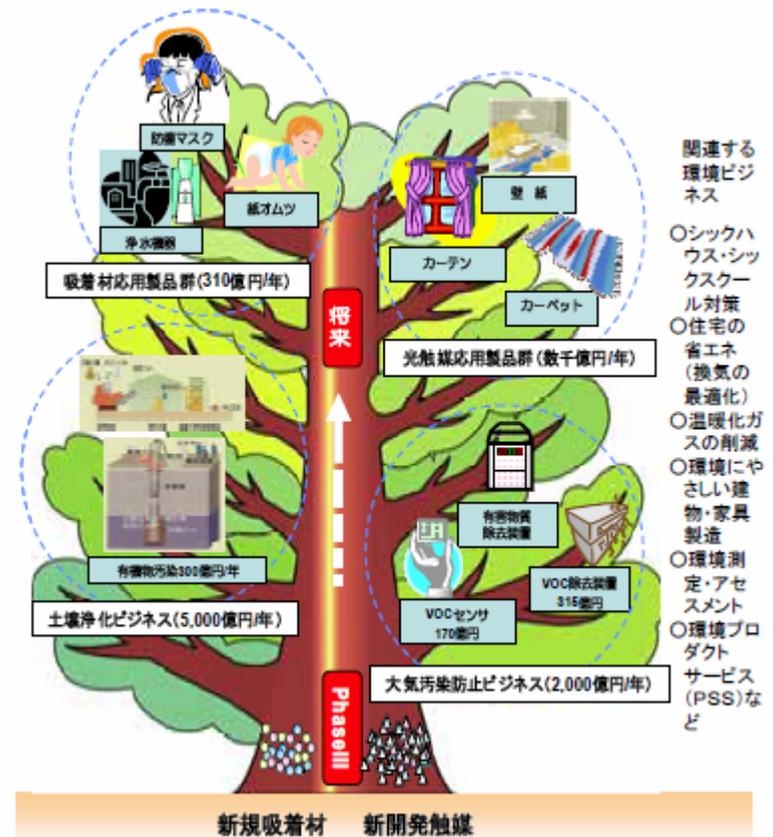
・中核機関: 都立産業技術研究センター

・参加: 塗装協同組合, VOC処理関連企業
環境研究者, 危機管理研究者

研究期間

平成18年度～23年度

<http://create.iri-tokyo.jp/index.html>



「10年後の東京」への実行プログラム2008 (平成19年12月21日発表)

大気環境の実態解明とPM2.5・VOC対策の確立 【新規事業】

- PM2.5 及びVOCについて
 - ①大気中濃度や成分を測定し、都内における実態解明
 - ②PM2.5 の発生源や生成の仕組みなどの調査研究
 - ③VOCと光化学オキシダント発生の関係を研究
 - ④目標値の設定と都独自の対策を確立
- 今後の汚染物質の発生源・削減対策につなげていく。

