

よりよい大気をめざして
自動車と燃料のさらなる挑戦

日本及びJCAPにおける
大気モデル開発の現状と
将来動向について

2002.2.21

大気モデルWG

内 容

研究の背景

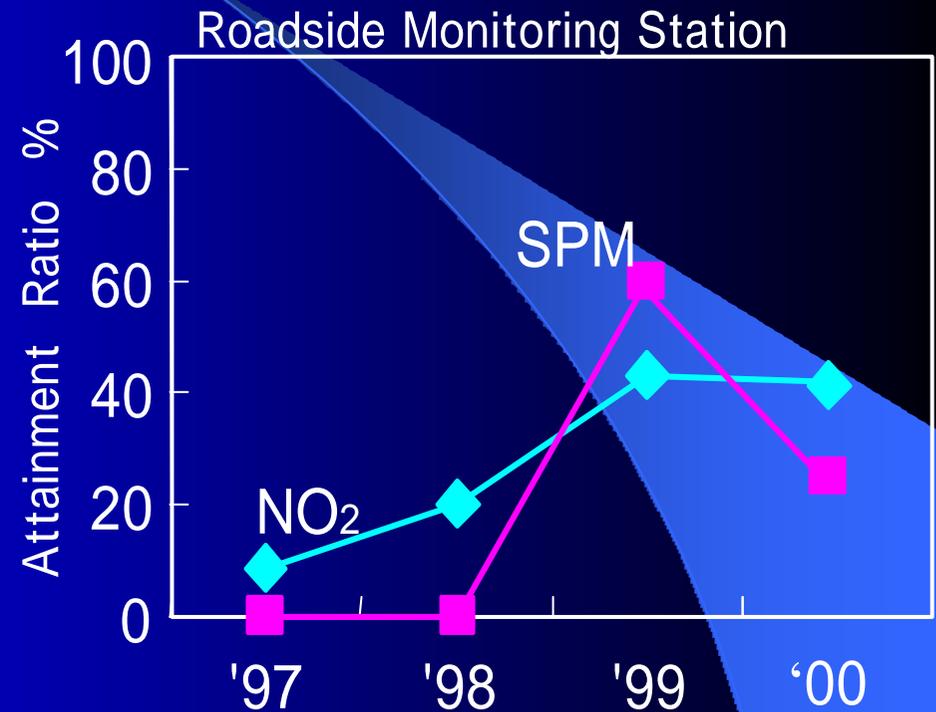
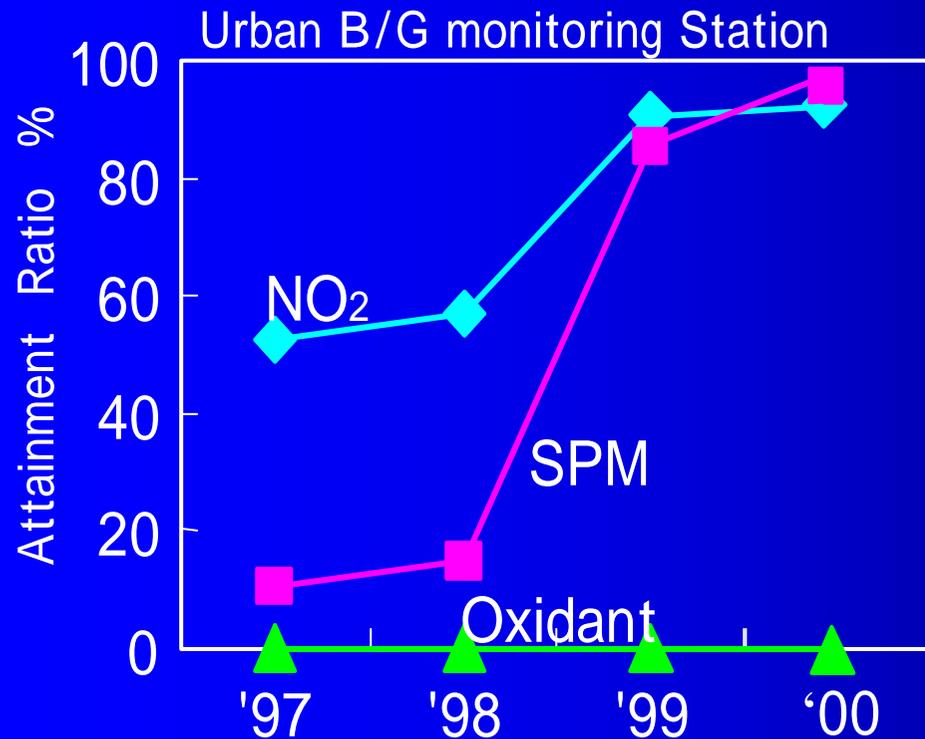
研究の目的

大気モデル研究の5年間の成果概要

次世代大気モデル開発に向けて

日本の大気環境の状況

- 都内における環境基準達成率 -



出典 :東京都調査データ

都内の大気質は改善される傾向にあるが、沿道大気を中心にさらなる改善が望まれる

JCAP大気モデル研究の目的

自動車及び自動車以外の排出源からの総排出量の推計をベースに、大気モデルシミュレーションにより、排出ガス低減が大気環境におよぼす影響を解析し、各種大気環境改善施策の一助とする。

これまでの大気質予測モデル

これまでの大気環境評価のための主たるモデル、

- レセプターモデル・観測値を基に発生源の寄与率を推定する。
- プルーム、パフモデル・発生源からの排出量と濃度を拡散式により推定
- ボックスモデル・化学反応を伴う平均的な大気濃度予測

上記3手法では、

- ✧ 反応を伴う大気汚染物質の移流拡散を精度よく扱うことができない
- ✧ 二次生成物に対する各種発生源の寄与を推定できない
- ✧ 二次生成を含む大気汚染物質の将来予測が困難

3次元大気シミュレーションモデルの 開発状況

1980年代 :光化学スモッグに関する予測モデル・UAM(国環研)

1995年 :冬季NO₂予測モデル(IBS)

1994 ~ 1997 :「東京湾NO_x調査」、「東京湾SPM調査」(関東通産局)

1998年 :梅雨期におけるオゾン濃度予測(大原、鵜野)

発生源の寄与率把握、将来予測を行うためには、排出量推計の精度向上、二次粒子生成モデルの開発と3次元モデルへの組込、という課題が残っていた

JCAP大気モデルの開発項目

高精度な排出量推計法

- ◆自動車エミッションの高精度推計法の開発
- ◆自動車以外のエミッションインベントリの見直し

二次粒子モデルの開発と3次元モデルへの組込

- ◆UAM-AEROの導入と改良
- ◆スモッグチャンバー実験による有機二次粒子生成モデルの改良
- ◆広域実態観測による広域モデルの精度検証と改良

沿道大気質予測モデルの開発

- ◆交通流モデルと過渡排出モデルによる、沿道の排出量推計
- ◆LESを用いた拡散シミュレーションの開発

JCAPにおける大気研究の体制

JCAP 大気モデルWG

大気モデル研究グループ

- ・ (財) 日本自動車研究所
- ・ (株) 豊田中央研究所
- ・ 日産自動車 (株)
- ・ PEC基盤技術研究所

⇕ 協力・支援

- ・ 国立環境研究所
- ・ 産業技術総合研究所
- ・ 大学

⇕ 協力・支援

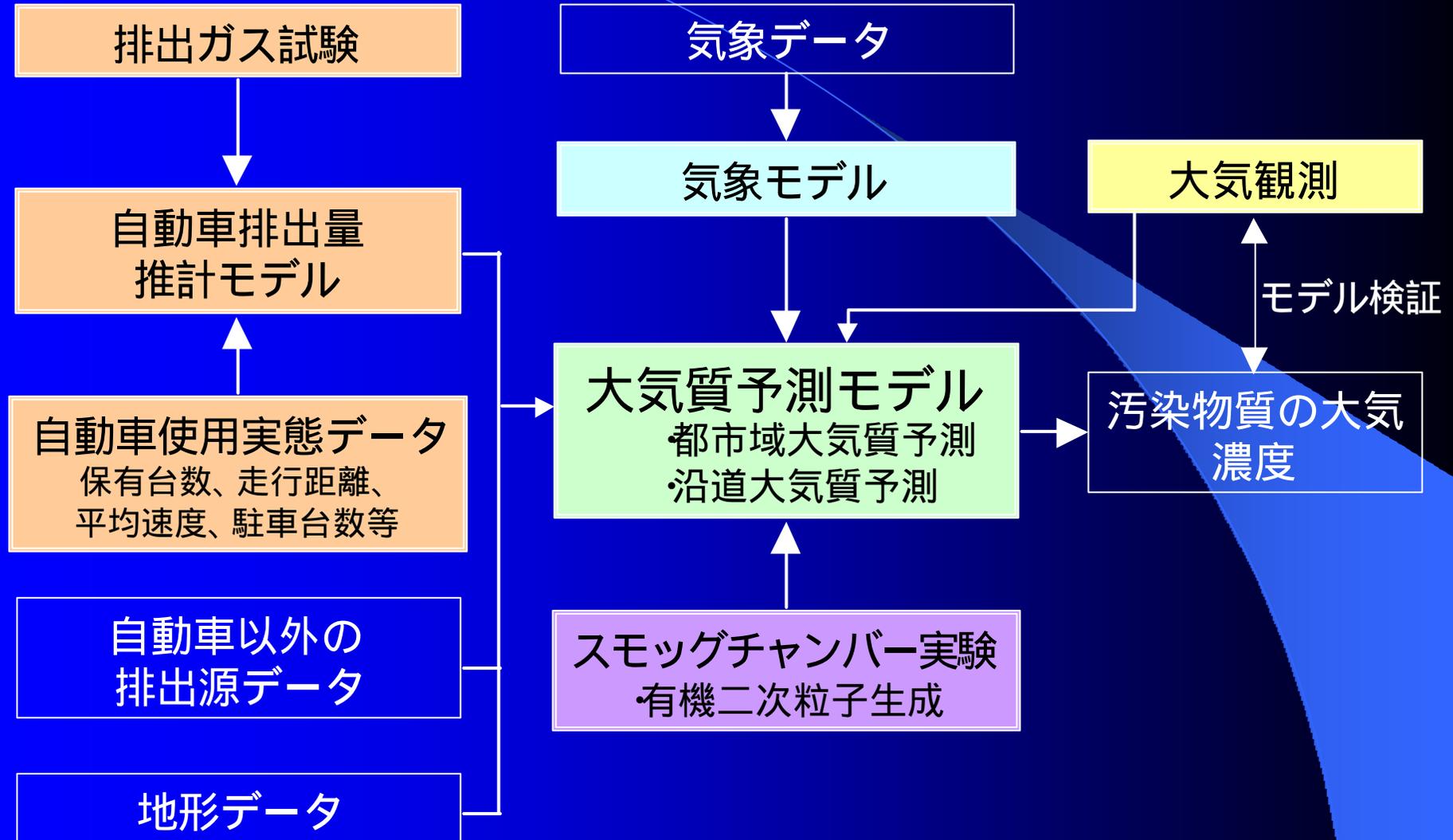
自治体の研究機関等

⇕ 委託・外注

協力会社

- 自動車以外の排出量推計
- 使用実態調査
- 将来予測 (交通量、保有台数)
- 大気観測

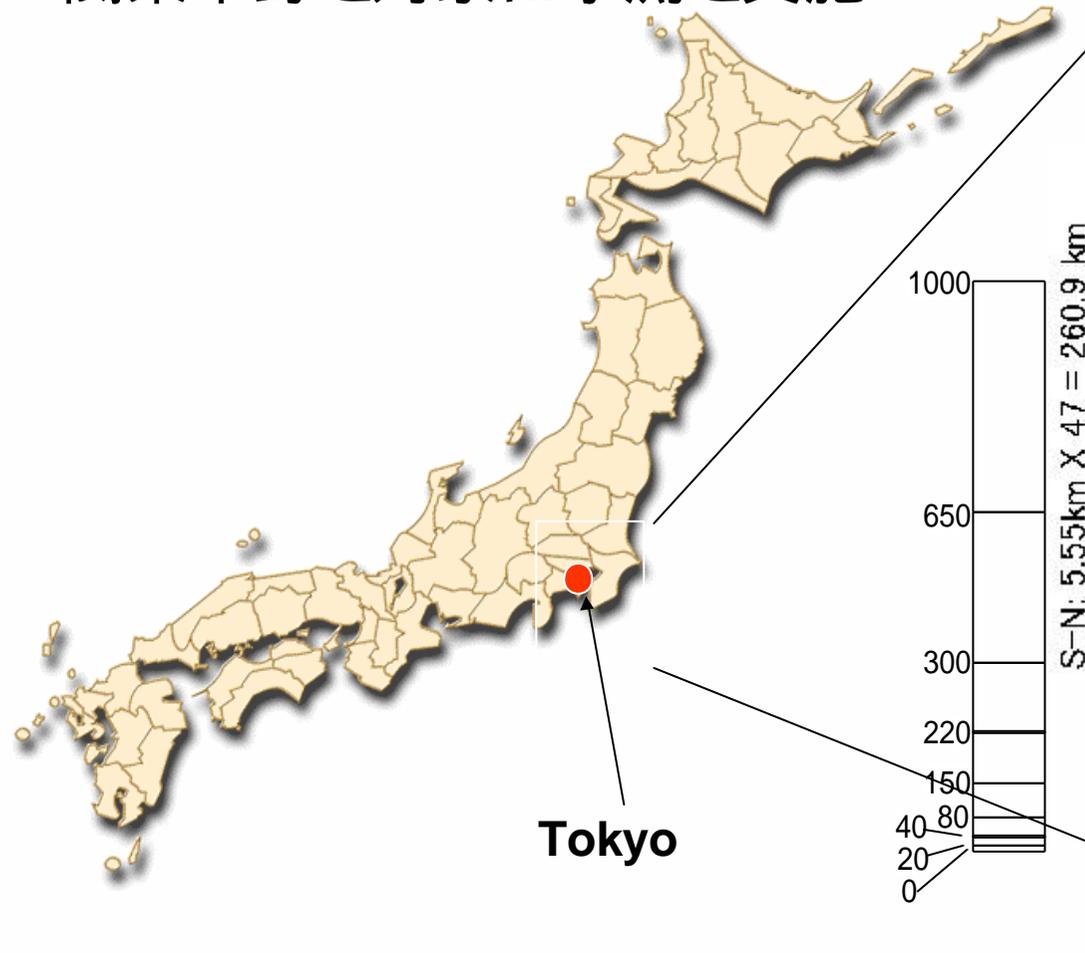
主な研究項目



 :JCAPにおける主な研究項目

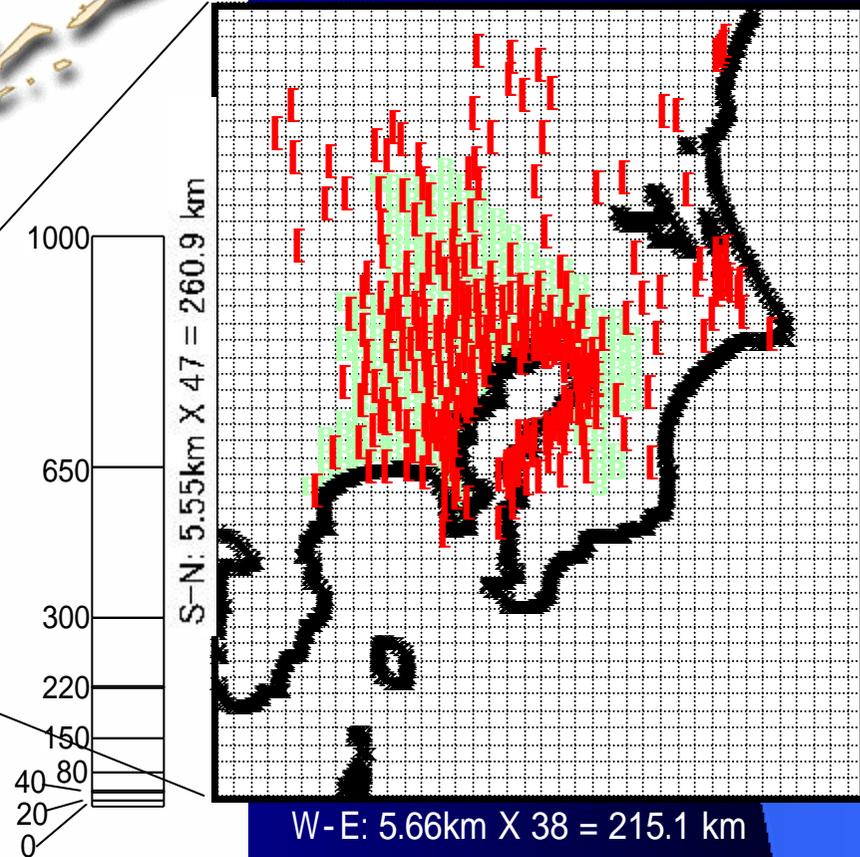
評価対象領域

関東平野を対象に予測を実施



Tokyo

計算格子の例
(CITモデル、冬期)



W-E: 5.66km X 38 = 215.1 km

■ :大気汚染常時監視測定局

自動車からの排出量推計

JCAP推計モデルの特徴

- これまで考慮されていなかった排出要因を考慮
 - 始動時排出ガス (ソーク時間による補正を考慮)
 - 燃料蒸発ガス
 - 排出量補正 (燃料、環境温度、湿度、触媒劣化等)

* 推計に必要な活動データ (始動回数、駐車時間等)、蒸発ガス排出係数、補正係数等は、JCAPにて独自調査、実験を実施

- 大気質予測モデルへの入力データを直接出力可能
 - 計算格子毎、時間毎の排出量を推計
 - 約5.5km四方、1時間毎

自動車排出量推計の前提条件-1-

1. Running Exhaust

排出量 = 車種別年式別排出係数 × 車種別年式別走行量

排出係数 (g/km/台) の設定

- 平成元年規制以前の車両及び短期規制車の一部
 - 環境省排出原単位を採用
- 平成元年以降の車両
 - シャシベース規制車両 :劣化係数を考慮し、耐久要件距離後、規制値の0.8倍の排出係数となる初期排出係数を設定
 - エンジンベース規制車両 :元年規制車の排出係数 × 規制値の低減率
- 新長期規制車の低減率
 - CO,THC,NO_x 新短期規制の50%減
 - PM 新短期規制の70%減 と仮定

走行量 (台・km)

- JCAP将来交通流予測調査データ(1988年,2020年)と交通センサスデータ(1999年)を用いて2000年,2015年を推定

自動車排出量推計の前提条件-2-

4. 蒸発エミッション

・Diurnal Breathing Loss

- GM式を利用してタンクからの発生量を推定し、キャニスタ容量、駐車アクティビティを考慮してキャニスタからの漏れ発生量を求める。二輪車は、キャニスタ容量0として推定。

・Hot Soak Loss

- 排出量 = 排出係数 × 車種別エンジン停止回数 × 保有車両数
 - 排出係数
 - 四輪車はJCAP測定データをもとに0.068g/testに設定
 - 二輪車は自工会データをもとに0.26 ~ 0.17g/testに設定

・Running Loss

- 排出量 = 車種別年式別排出係数 × 車種別年式別走行量
 - 排出係数 (四輪車のみ)
 - JCAP測定データをもとに、0.76g/km ~ 0.01g/km*に設定
 - 走行量
 - Running Exhaustの走行量と同じ値を使用

将来における走行量・車両保有数の予測

- 将来における走行量の予測

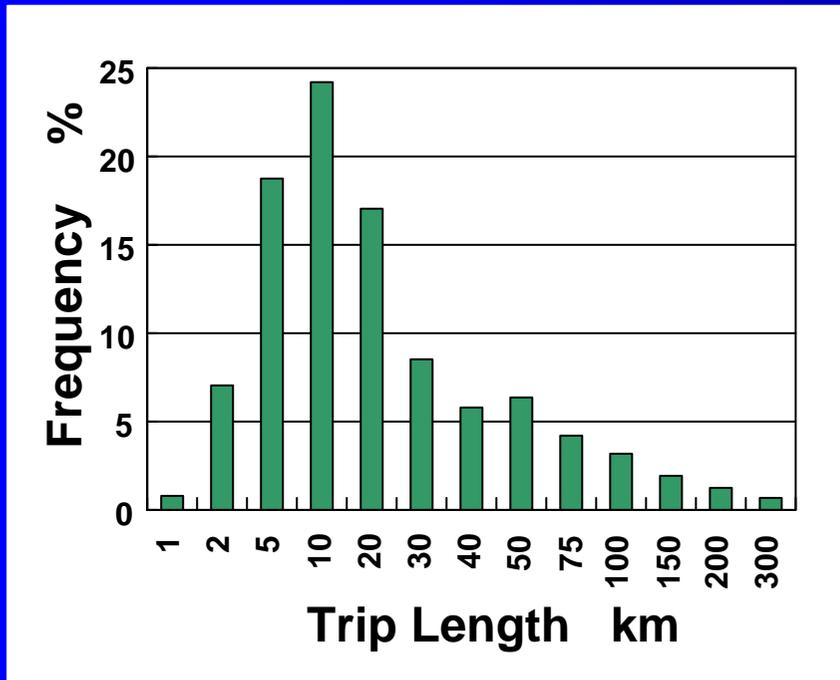
1988年の東京PT調査をもとに自動車ODを推計
推計されたODデータをもとに、経済成長率、社会構造
変化、道路ネットワークなどを考慮し、交通需要予測
モデル(4段階推定法)により、1988年と2020年におけ
る路線別の交通量を予測
交通需要予測モデルにより得られた1988年と2020年
の交通量データと最新の交通センサスデータを用いて、
2000年及び2015年の交通量を推計

- 車両保有数の予測

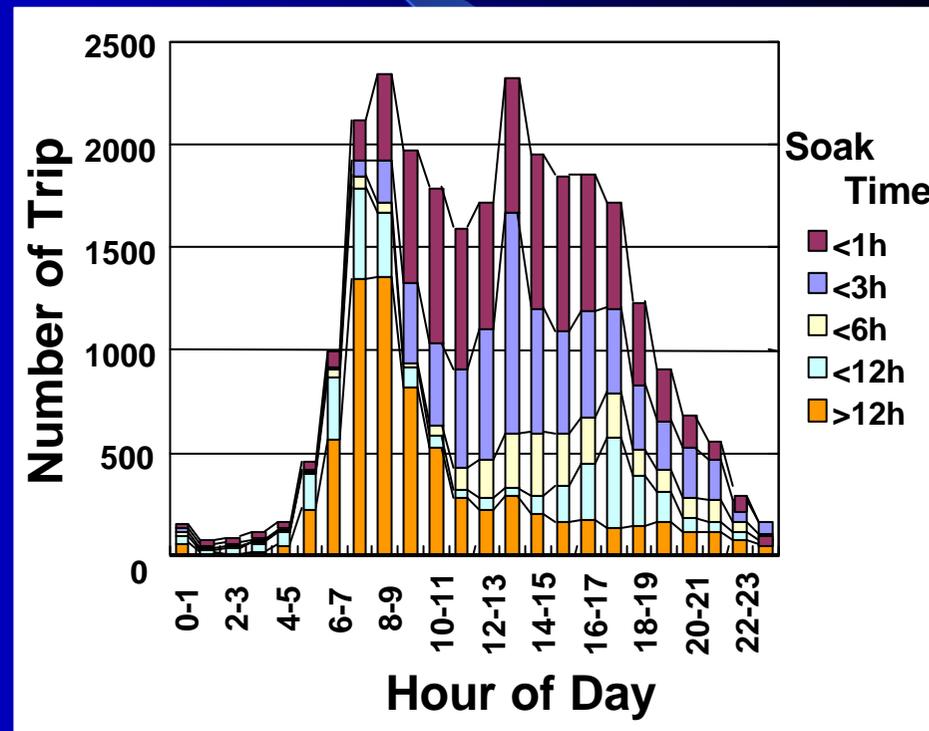
- 将来車両保有台数は、経済成長率、燃費規制、保有
台数トレンド、社会構造変化等をもとに予測した。

自動車の使用実態調査結果の例

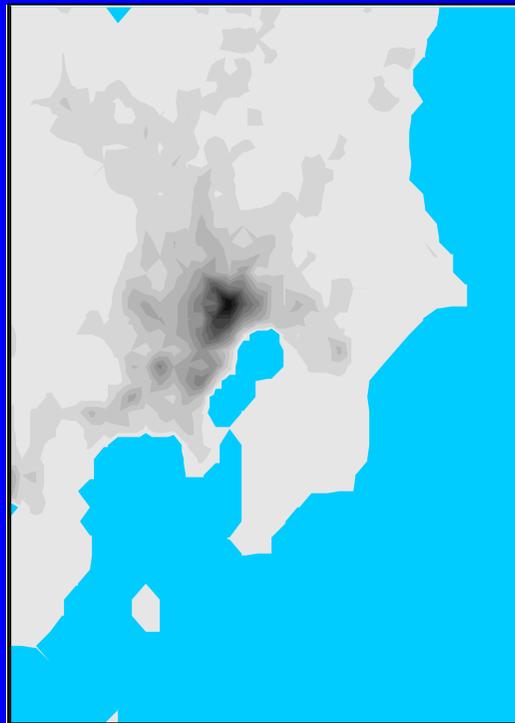
トリップ長の分布



始動、ソーク時間の分布

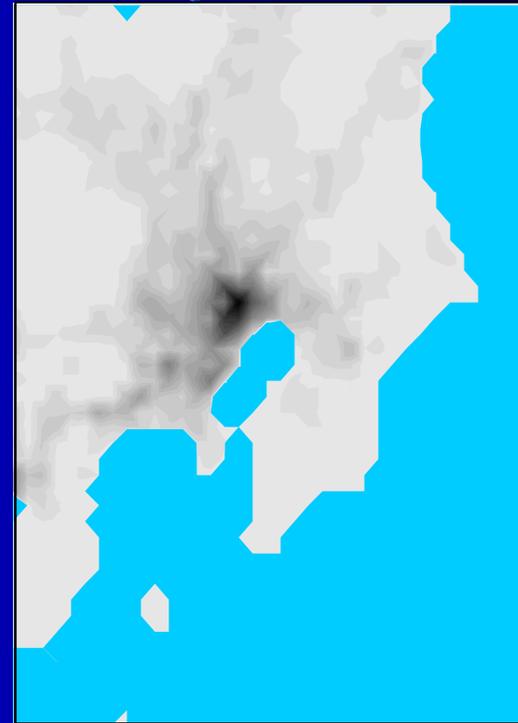
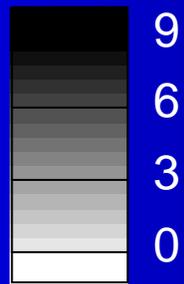


排出量推計結果の例



NOx

(Ton/Day/Grid)



PM

(Ton/Day/Grid)

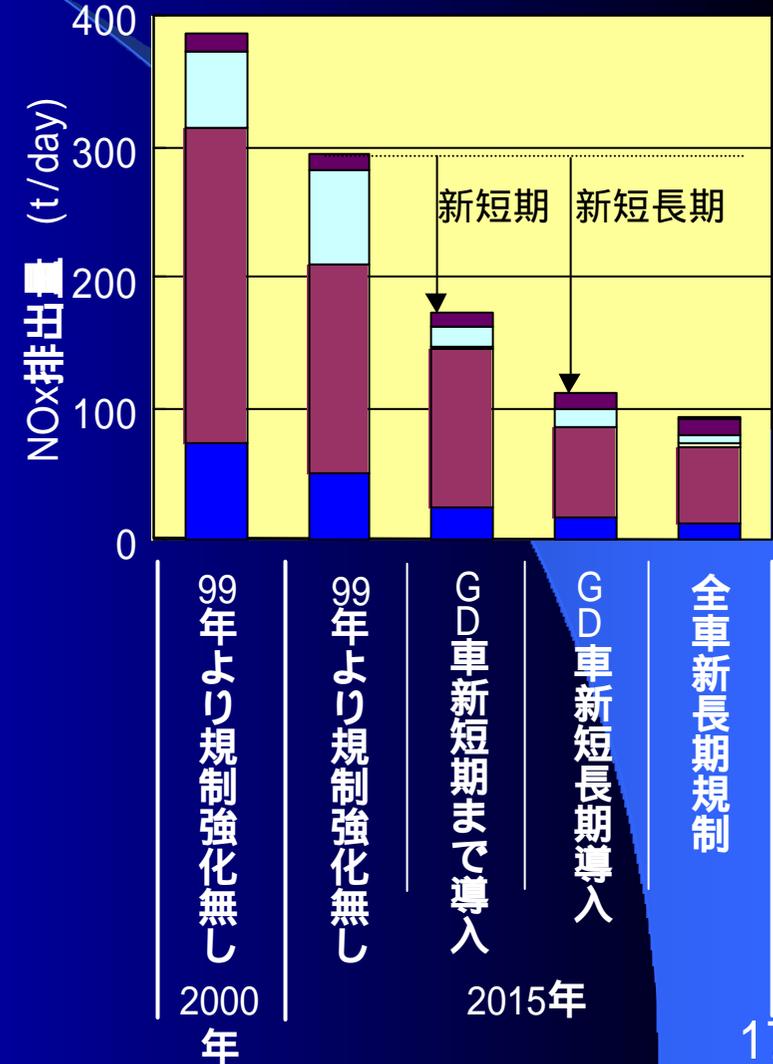
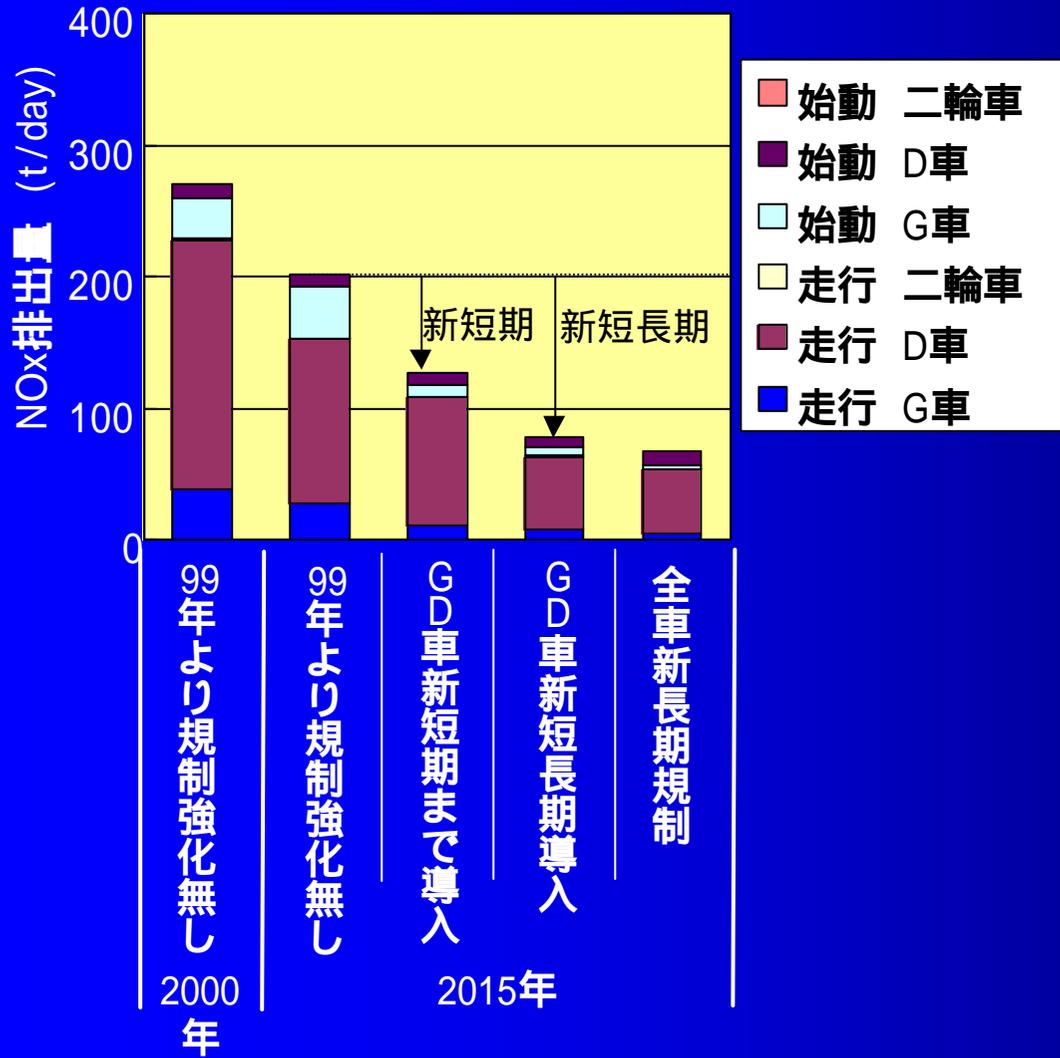


自動車からのNOx排出量

自動車NOx法規制地域

夏期

冬期



自動車以外の排出量推計

現況 (1994年)における排出量の推計

排出カテゴリー (船舶, 航空機, 発電所, 工場等18分類) 毎に, 大気汚染物質排出量総合調査等の資料より推計

将来 (2010年)における排出量の推計

➤ 移動発生源

- 船舶については, 海上貨物輸送量の伸びを考慮、航空機については, 旅客, 貨物輸送量の伸びと域内空港の離発着能力を考慮

➤ 固定発生源

- 長期エネルギー需給見通しを基にエネルギー消費の伸びを推定し, 民生部門 (家庭・業務) と産業部門 (重化学・軽工業・機械金属) および発電所に分割して排出量を推計

➤ HC蒸発発生源

- 生産量、製造業エネルギー消費量等の変化を考慮し, 排出カテゴリー (製油所, 油槽所, 石油化学工場, 給油所, 塗装, 印刷, 接着剤, ゴム用溶剤, クリーニング用溶剤, その他溶剤等) 毎に推計

2000、2015年における排出量の推計

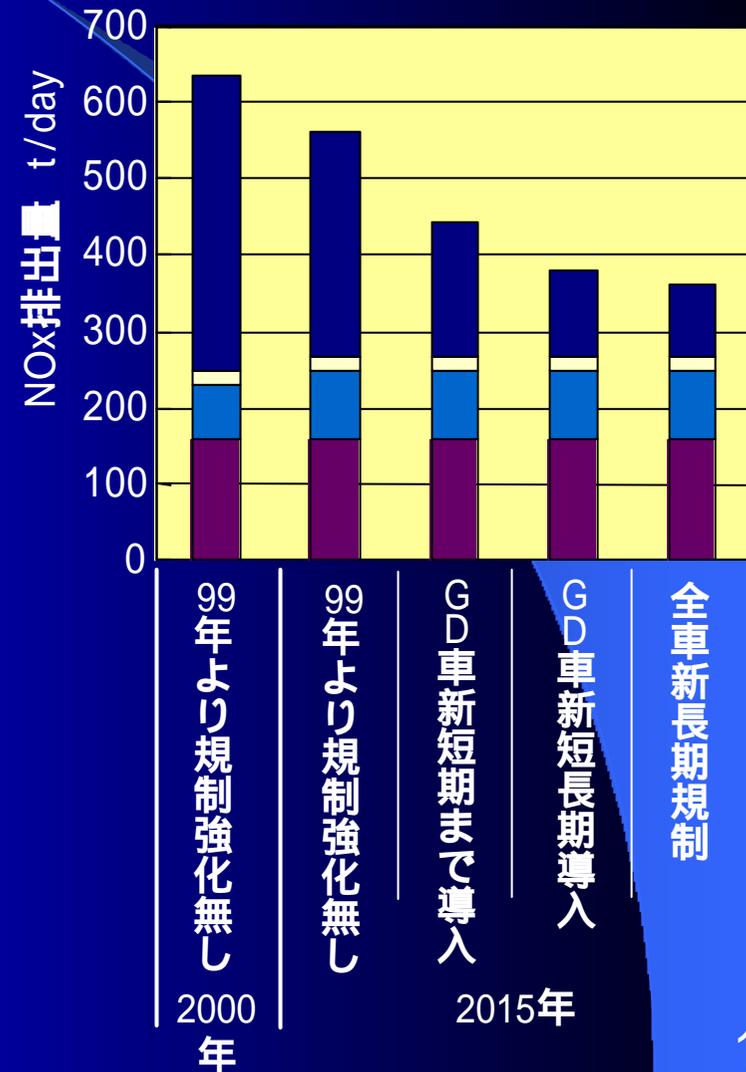
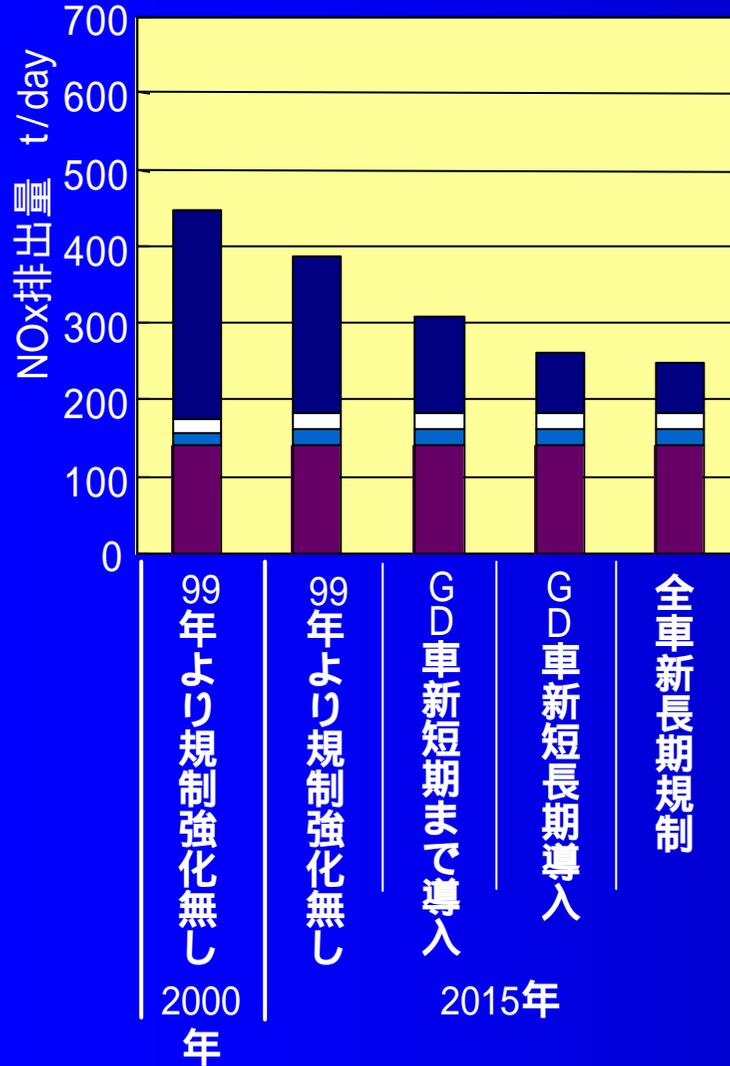
- 1994と2010年の推計値から2000、2015年を内外挿

各種発生源からのNOx排出量

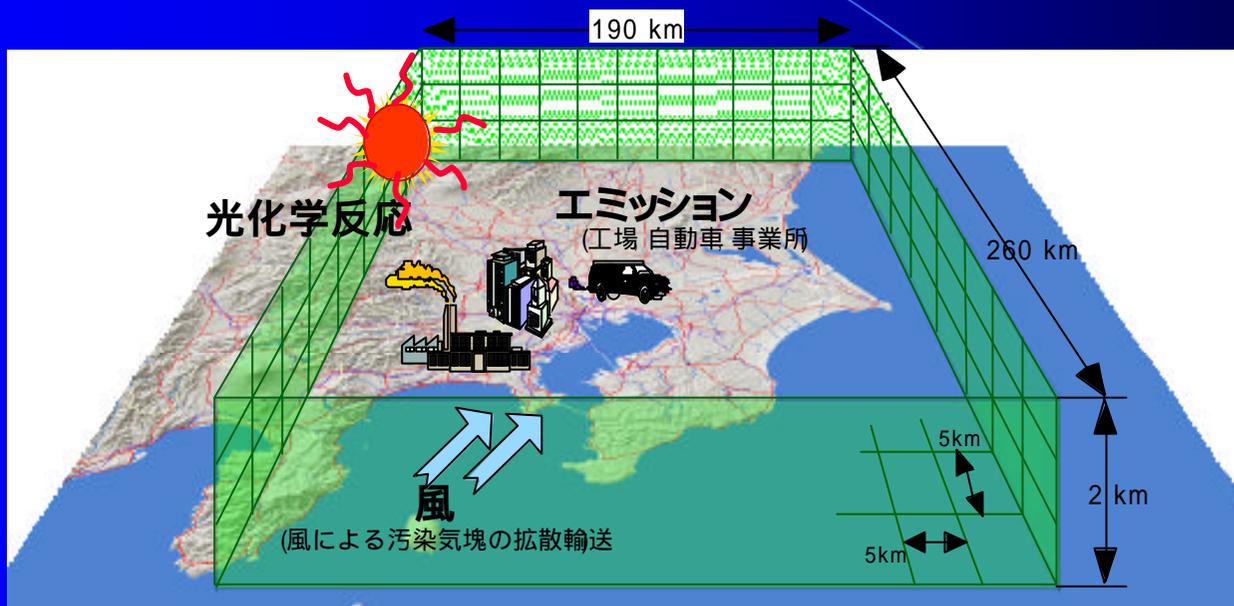
自動車NOx法規制地域

夏期

冬期



都市域大気質予測モデルの全体像

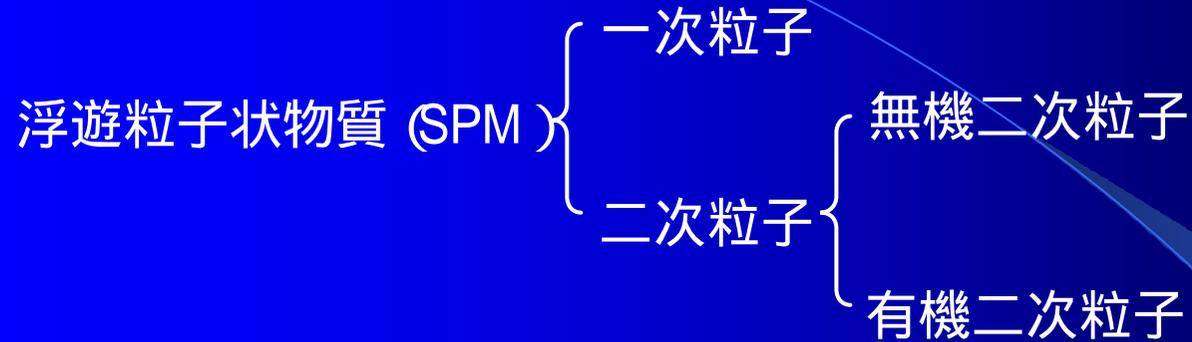


- 大気中における汚染物質の排出、移流拡散、化学反応による生成、沈着等の物理、化学現象を数値計算により予測

都市域大気質予測モデル

- 移流・拡散モデル
 - CIT(California Institute of Technology) モデル
 - UAM-IV (Urban Airshed Model、US-EPAの公認モデル)
 - UAM- AERO(UAMに二次粒子のモデルを追加したモデル)をベースに日本の環境条件に適合するよう改良
- 気象モデル
 - NIRE Mesoscale Model(産業技術総合研究所が開発したモデル)
 - RAMS(Regional Atmospheric Modeling System)
- 予測対象物質
 - O₃, NO₂, SPM (無機、有機二次粒子を含む)

二次粒子予測モデル



無機二次粒子予測モデル 気/固体平衡モデル



$$\text{化学平衡定数 } K = \exp \{ (T) \}$$

有機二次粒子モデル Pandisらのモデルを基に改良

$$M_0 = Y \cdot ROG$$

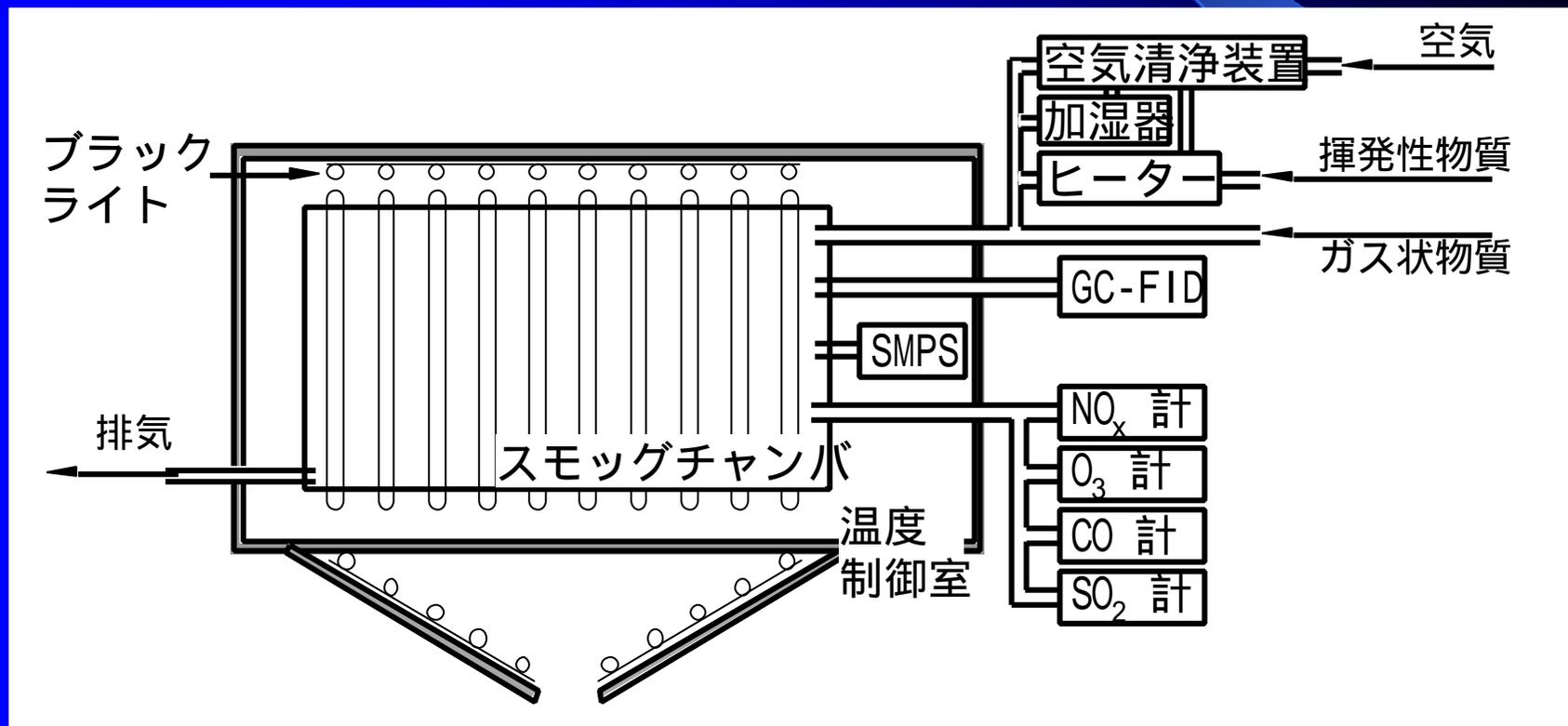
Y: 粒子収率 (チャンバー実験より算出)

ROG : 有機化合物反応濃度

有機二次粒子生成モデルの構築

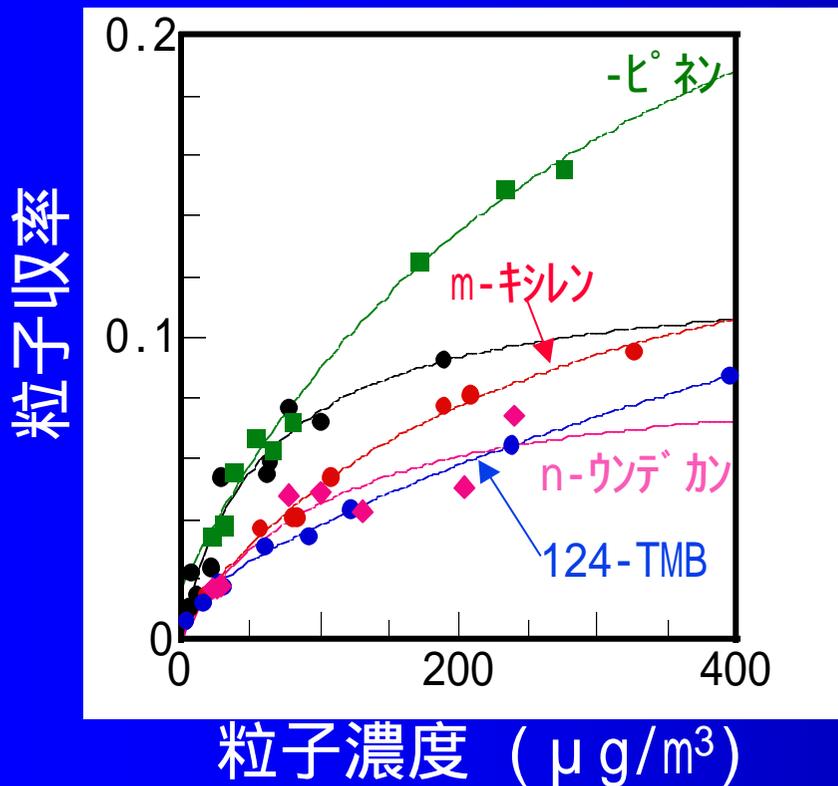
チャンバー実験により、主要炭化水素の二次粒子生成能（粒子収率）を測定し、それをもとに三次元シミュレーションモデルに組み込む有機二次粒子生成モデルを構築

実験装置



有機二次粒子生成モデル

主要炭化水素の有機二次粒子生成収率



実験条件：303K, 60%RH

基本モデル

$$\text{粒子収率} = M_0 \left(1 + \sum_i K_i \frac{K_i}{M_0} \right)$$

M_0 ; 粒子濃度

γ_i ; 半揮発性反応生成物 i の収率

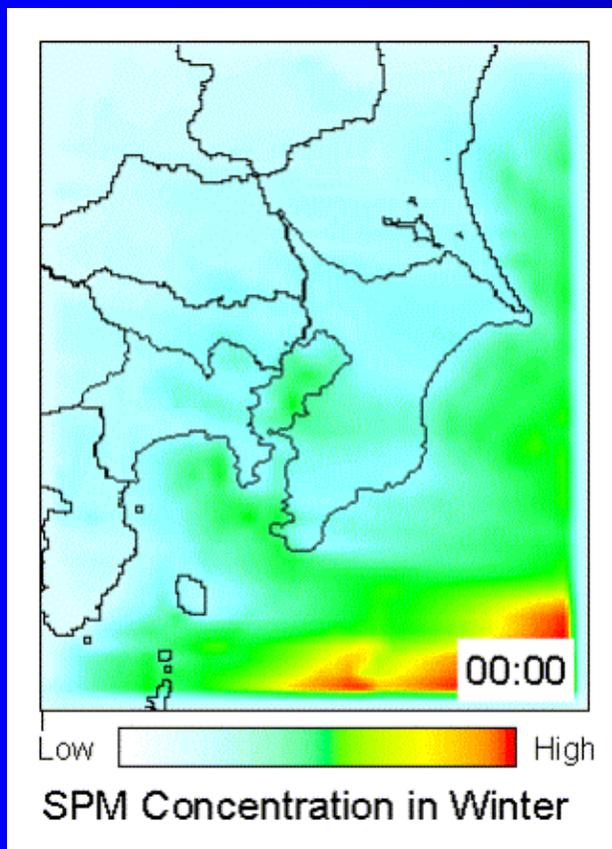
K_i ; i のガス/粒子分配定数

| | γ_1 | K_1 | γ_2 | K_2 |
|----------|------------|--------|------------|-------|
| トルエン | 0.112 | 0.0153 | 0.004 | |
| m-キシレン | 0.168 | 0.0038 | 0.004 | 1.53 |
| 124-TMB* | 0.262 | 0.0009 | 0.019 | 0.061 |
| -ピネン | 0.316 | 0.0030 | 0.017 | |
| n-ウンデカン | 0.092 | 0.0095 | | |

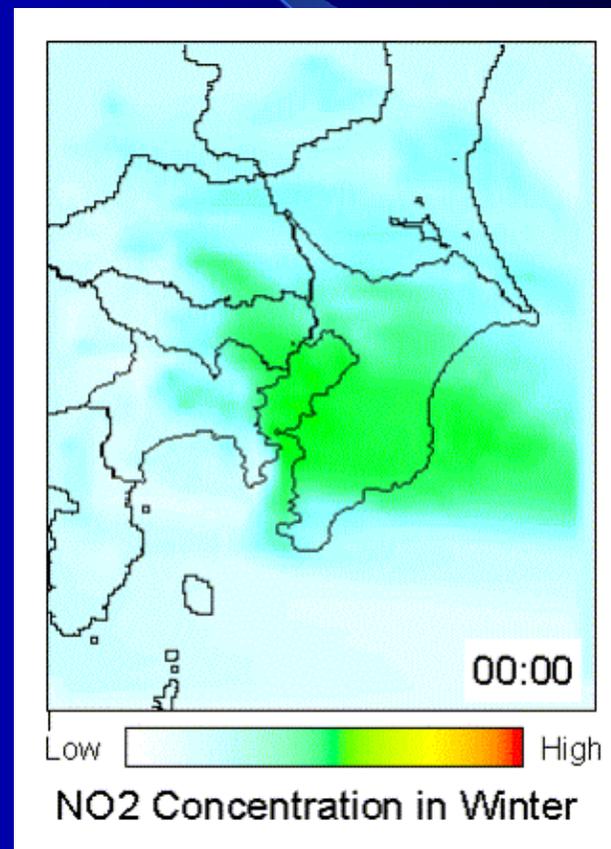
*トリメチルベンゼン

都市域大気シミュレーションの結果

SPM

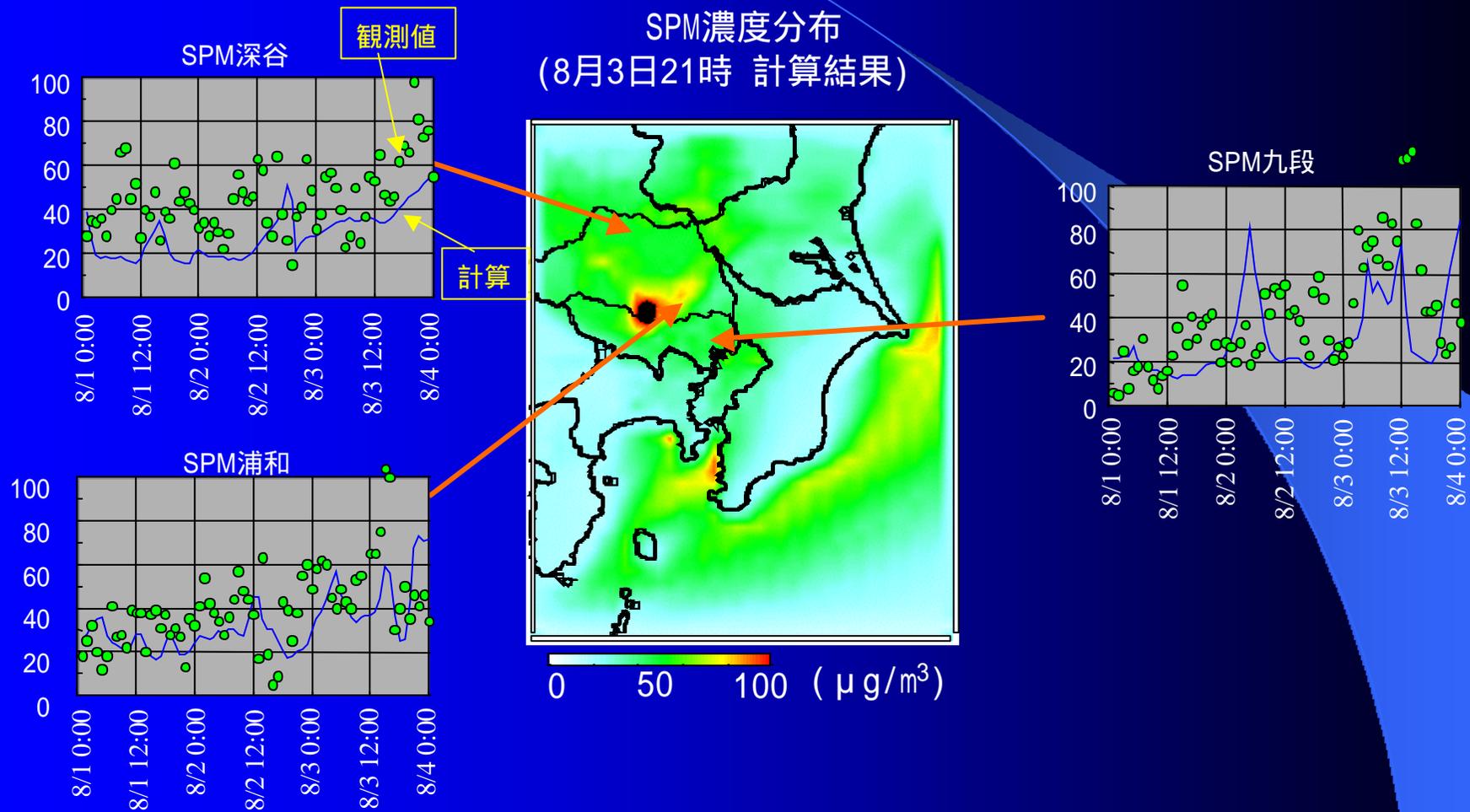


NO₂



モデルの現況再現性

(二次粒子を含むSPM濃度予測-夏期-)



計算結果は全体的にやや過小評価の傾向

モデルの予測精度評価

(%単位で表示)

| | NGE | NGB | HPA |
|--------|-----|-----|-----|
| 1999冬季 | | | |
| SPM | 33 | -20 | -15 |
| NO2 | 41 | -36 | -11 |
| 2000夏季 | | | |
| SPM | 38 | 44 | -5 |
| NO2 | 57 | -48 | -9 |
| Ox | 34 | -10 | 35 |

冬季SPMは再現性良好

夏季はばらつき大、過大評価

NO2は、夏季・冬季とも過小評価

・光化学反応、エミッションインベントリ要改良

$$\text{NGE : Normalized Gross Error} = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^H \frac{|C_{obs}(i, j) - C_{cal}(i, j)|}{C_{obs}(i, j)} < 0.30 \sim 0.35$$

(ばらつき)

$$\text{NGB : Normalized Gross Bias} = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^H \frac{C_{obs}(i, j) - C_{cal}(i, j)}{C_{obs}(i, j)} < \pm(0.05 \sim 0.15)$$

(過大or小)

$$\text{HPA : unpaired Highest-Prediction Accuracy} = \frac{C_{obs, \max} - C_{cal, \max}}{C_{obs, \max}} < \pm(0.15 \sim 0.20)$$

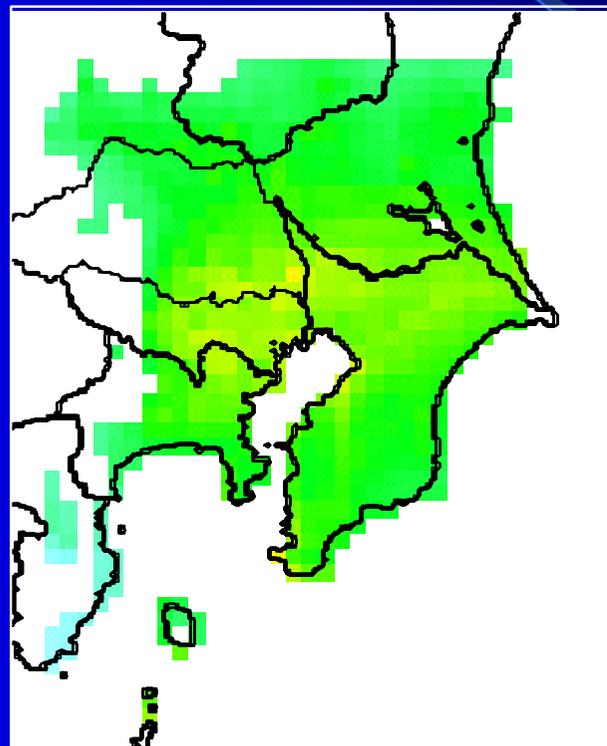
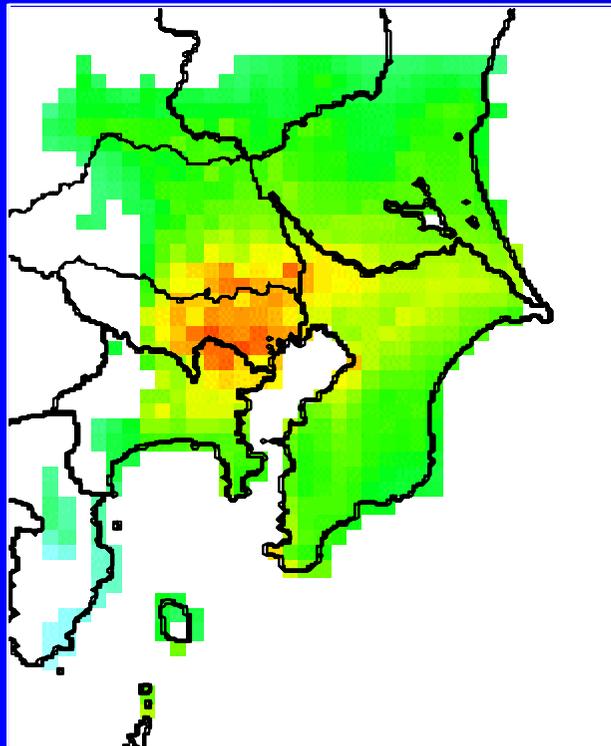
(ピーク再現性)

SPM濃度低減効果

(2000 2015年)

2000年

2015年



(日平均濃度、2015年 新短長期導入ケース)

都心部での低減効果が大きく、最大約30%低減

沿道大気質予測モデル

- JCAP沿道モデルの特徴
 - 対象領域内の個々の車両挙動を再現するミクロスケール交通シミュレーションと、過渡状態の排出量予測モデルを用いて、排出量分布を推計
 - 沿道近傍の建物形状等が汚染物質の移流・拡散に及ぼす影響を詳細に表現するため、乱流モデルにはLES(Large Eddy Simulation)を採用
 - 多方面からモデルの検証を実施
 - 拡散風洞実験
 - トレーサーガス拡散実験 (フィールド調査)
 - 環境濃度測定実験 (フィールド調査)

沿道大気質の予測－計算方法－

沿道濃度 = 自動車直接寄与分 + バックグラウンド濃度

自動車直接寄与分の予測

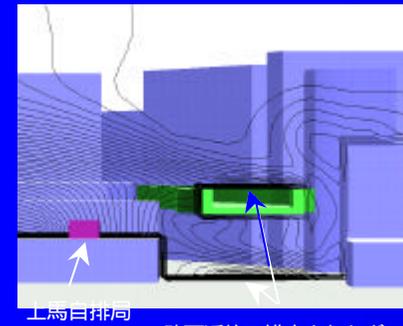
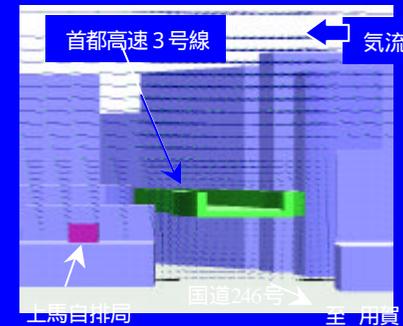
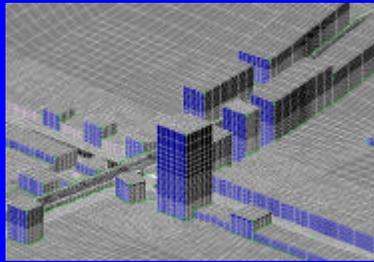
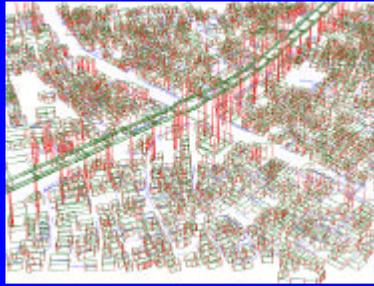
マイクロ交通シミュレーションにより、車両の過渡的挙動
(速度パターン)を予測

得られた速度パターンと車両諸元から過渡排出モデル
を用いて、排出ガス量分布を推計 (タイヤ摩耗、土壌巻
き上げを含む)

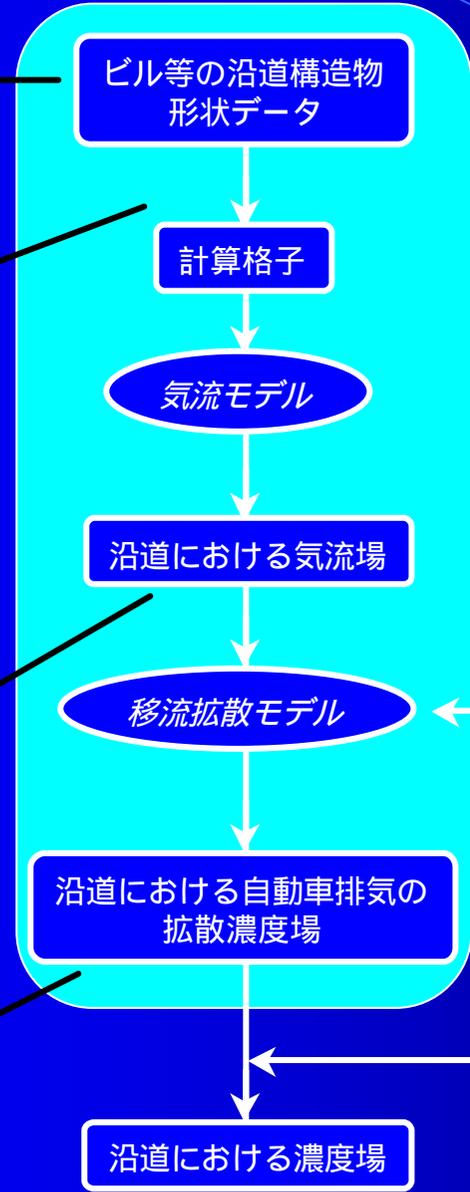
乱流モデルにLESを用いた三次元流体力学モデルによ
り、排出ガスの拡散を予測

バックグラウンド濃度：広域大気質予測モデルの予測値を使用

3次元沿道モデル

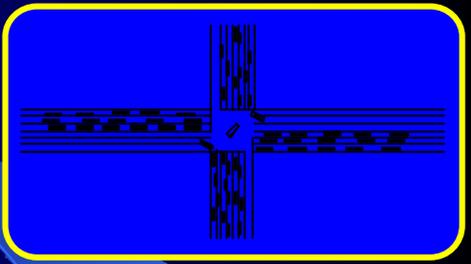


路面近傍で排出されたガスが
ストリートキャニオン内を拡散



沿道の交通パラメータ
(道路レイアウト
信号設定、交通量、etc.)

ミクروسケール
交通流モデル

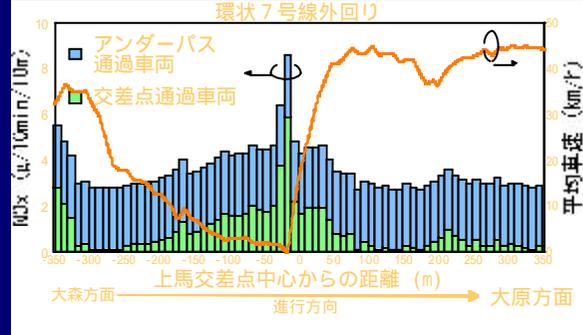


沿道における交通流
(一秒毎の全車両の位置、速度、加速度)

過渡排出係数

沿道における排気排出量の分布

広域モデルによる
バックグラウンド濃度



ミクروسケール交通シミュレーション

TRAF-NETSIM

連邦道路庁(FHWA)の委託で米国KLD社が開発したソフトを改良して使用

入力データ 道路要素の幾何形状 (道路延長, 車線数, 立体交差)
交通制御装置 (信号現示パターン, 時間等)
車両諸元 (全長, 最大加速度等)
運転者挙動 (交差点直進右左折率等)
流入交通量 (台数・車種構成比率)
バス挙動 (レート, バス停位置, 通行頻度等) etc .

出力データ 1秒毎の個々の車両の位置・速度・加速度

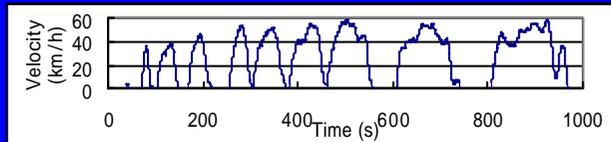
1 秒毎・各車両毎に以下の計算を実施している .

- ・ 車両発生 ネットワーク端より車両が流入
- ・ 車両移動 先行車の状態, 前方の信号現示, 停止線までの距離,
交差点内の対向車・歩行者の状態等を判断し,
自由走行・追従走行・停止・車線変更・右左折を行う .
- ・ 車両消去 ネットワーク端より車両が流出

過渡排出係数の算出方法

マイクロスケール交通シミュレーション

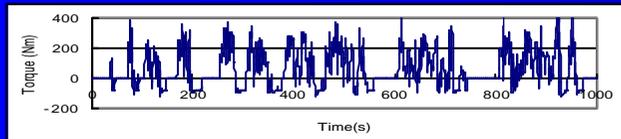
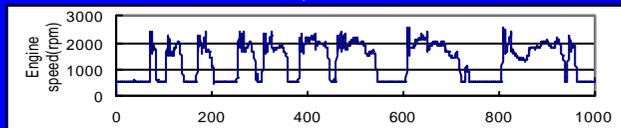
走行パターン



車両スペック

ギアシフトロジック

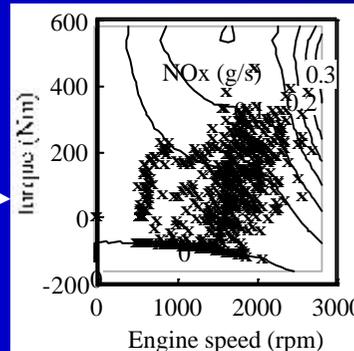
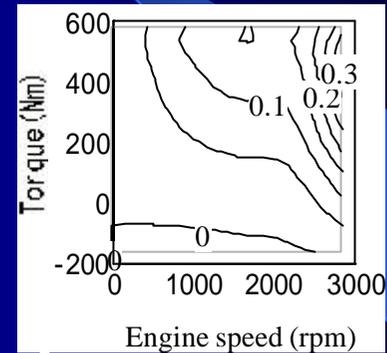
トルク



エンジン回転速度

排出ガス試験

排出ガスマップ

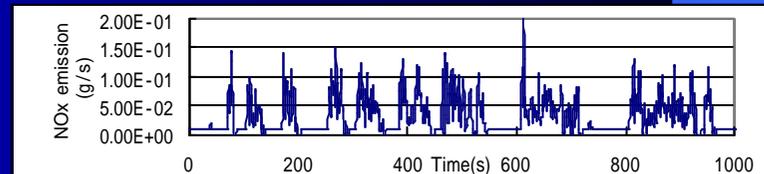


積算値の調整

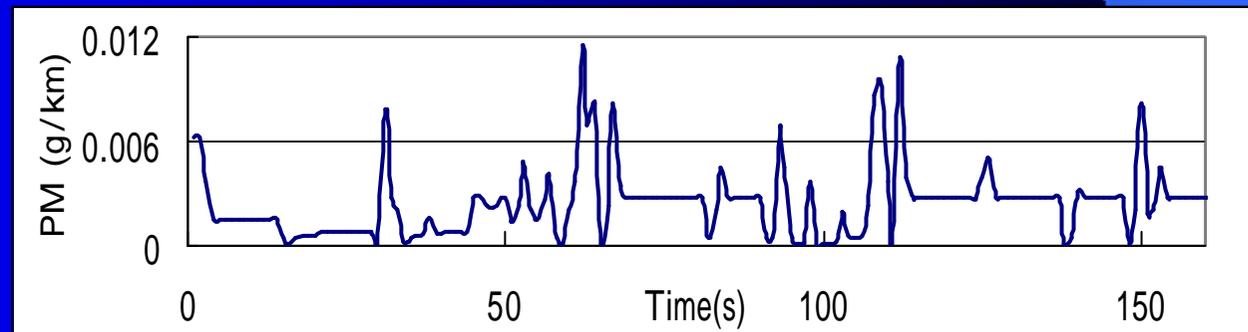
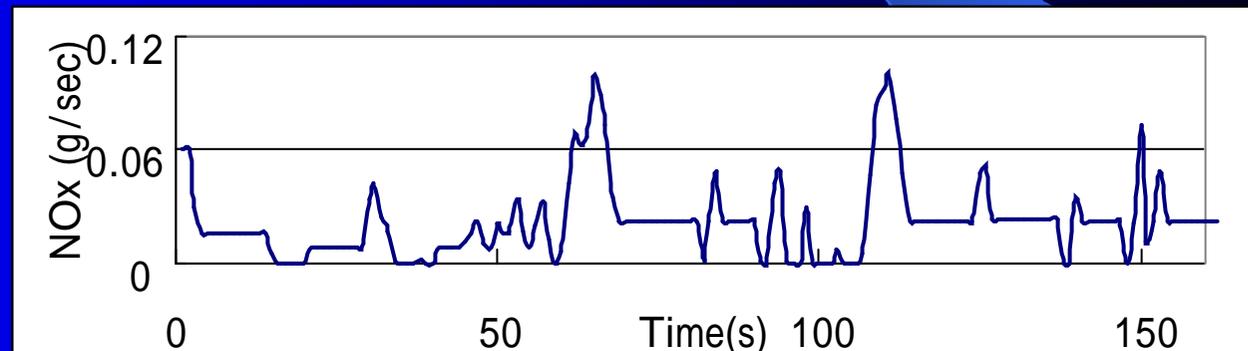
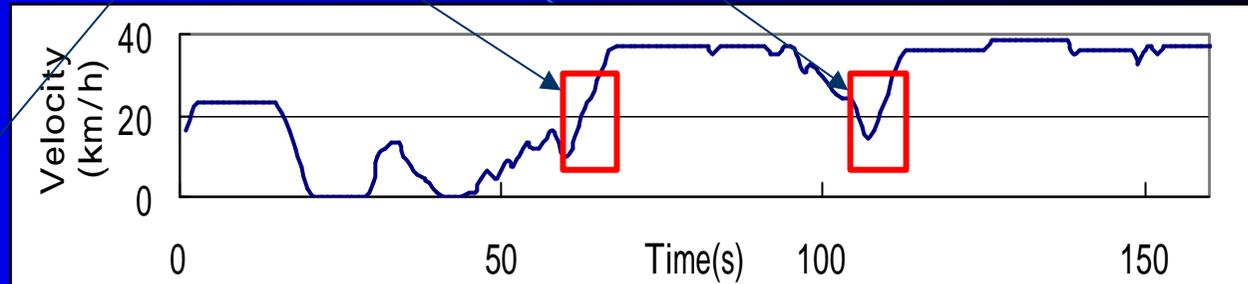
(積算値をその平均速度に対応する環境省排出原単位の値と一致させる)

過渡排出係数

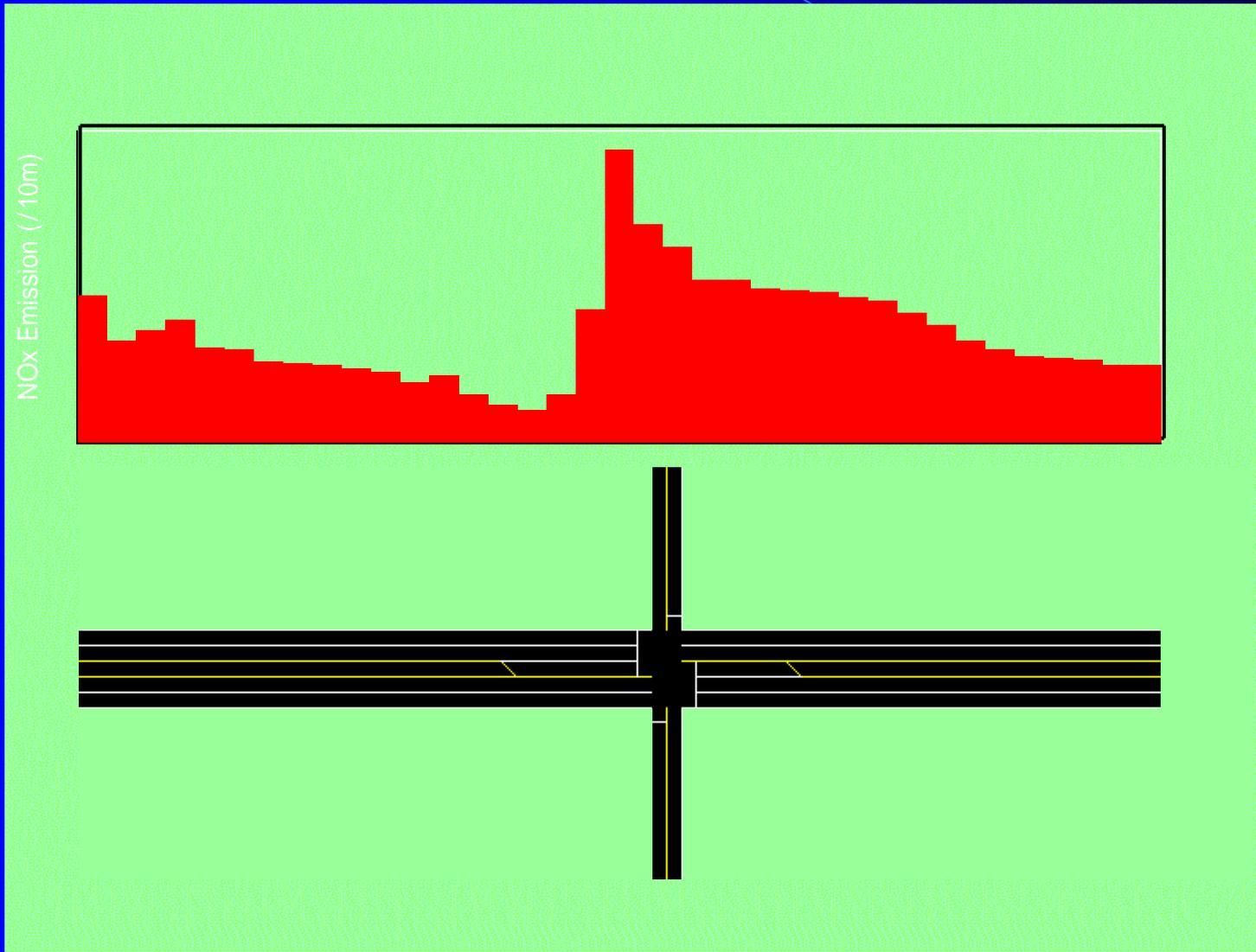
(時系列排出係数)



過渡排出係数の推計例 (普通貨物車)



交通流と過渡排出量



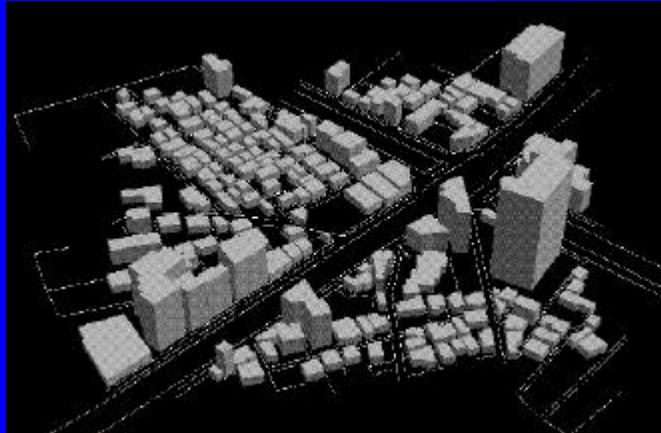
NO_x排出量

車速

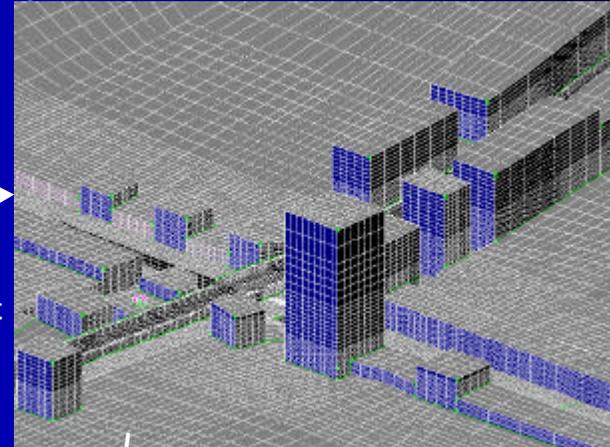
着目車両の
位置 (○)

移流拡散計算

沿道形状データ



計算格子

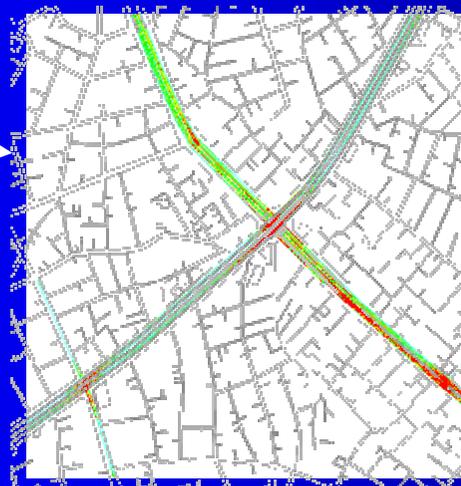


→
計算機リソースを
考慮して、
着目点近傍以外は
単純化した
計算格子を作成。

交通流シミュレーション

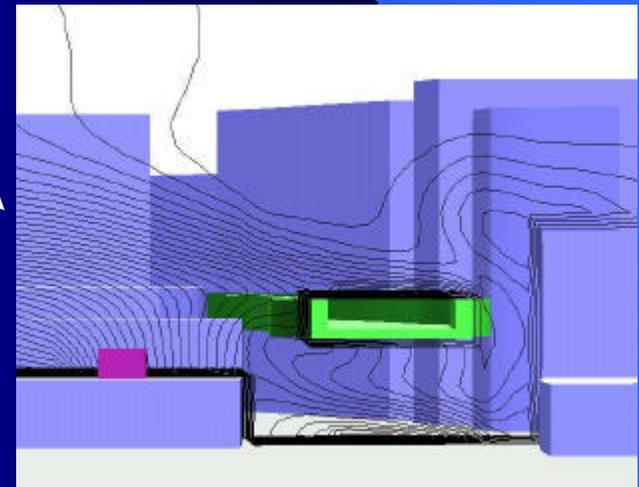


排出量データ

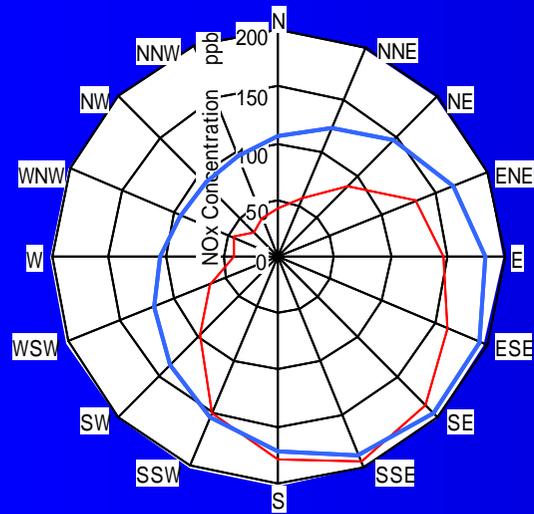


移流拡散
モデル

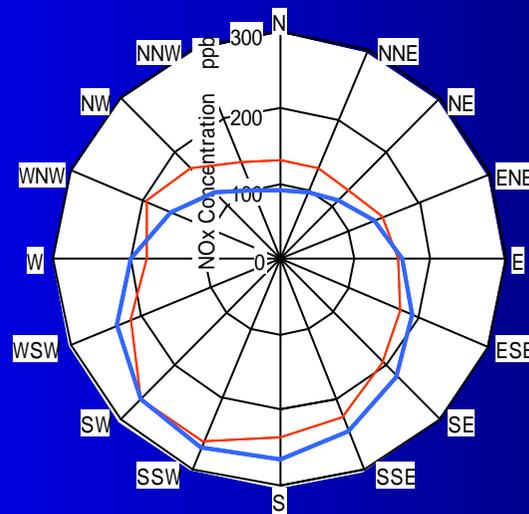
濃度分布図



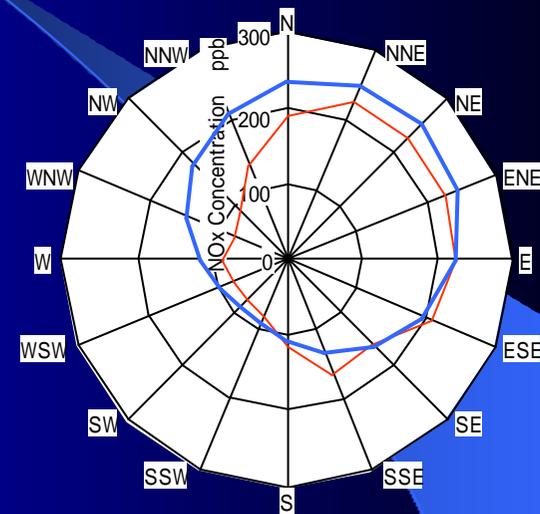
計算と観測値との比較 (自排局位置におけるNOx濃度)



上馬



松原橋

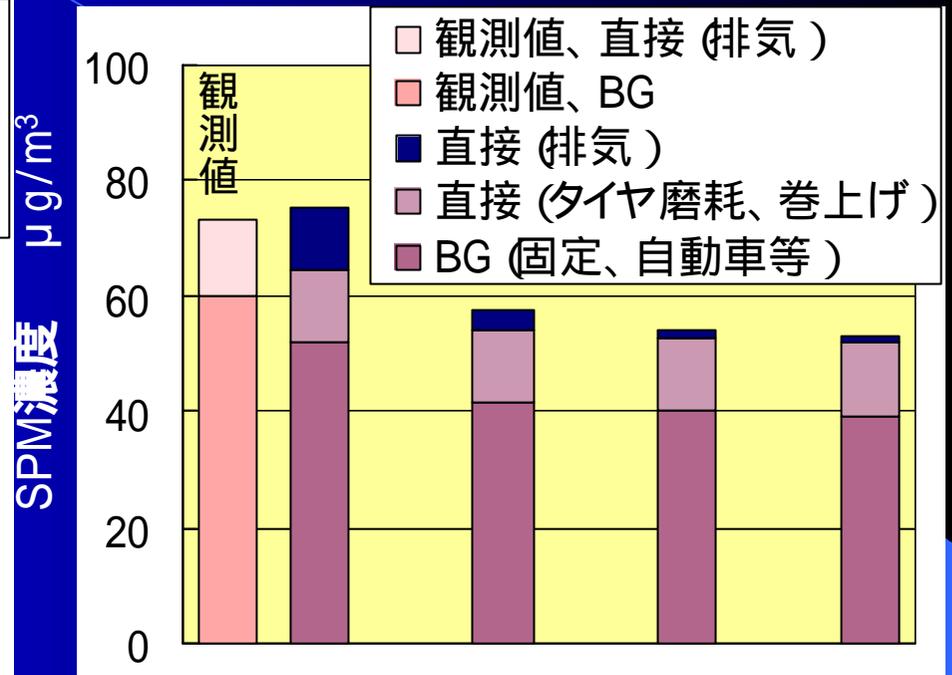
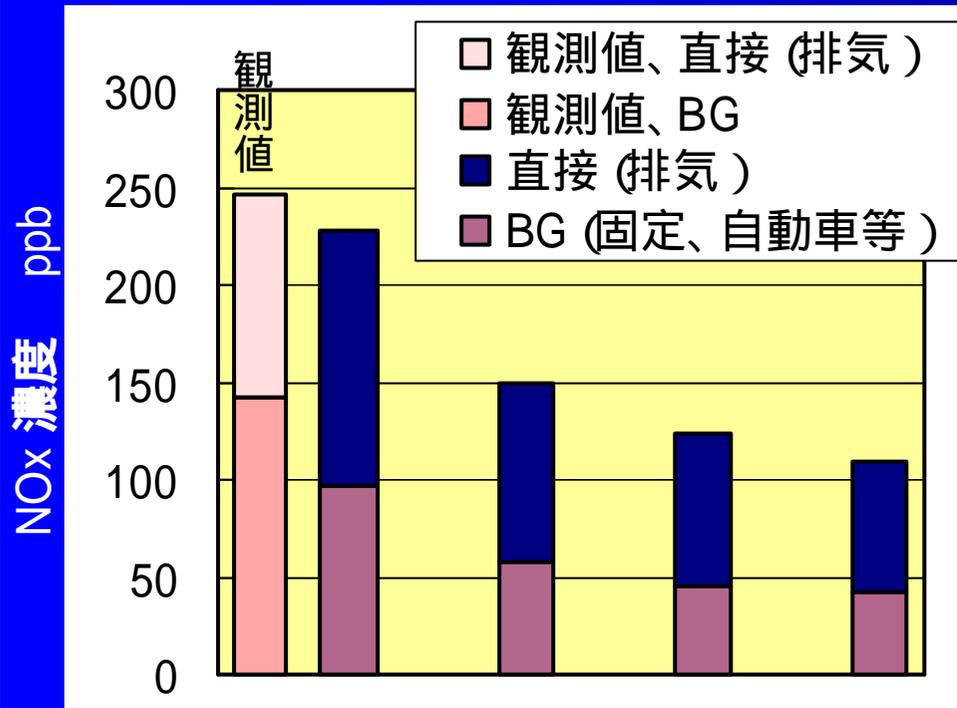


大和町

— Monitoring Station (97+98)
(Wind Speed = 0.8-1.2 m/s)
— Calculation
(Wind Speed = 1.0 m/s)

新長期規制の沿道濃度への寄与

～ 日平均値 ～



現状

2000年

GD車新短期まで導入

2015年

GD車新短期長期導入

全車新長期規制

現状

2000年

GD車新短期まで導入

2015年

GD車新短期長期導入

全車新長期規制

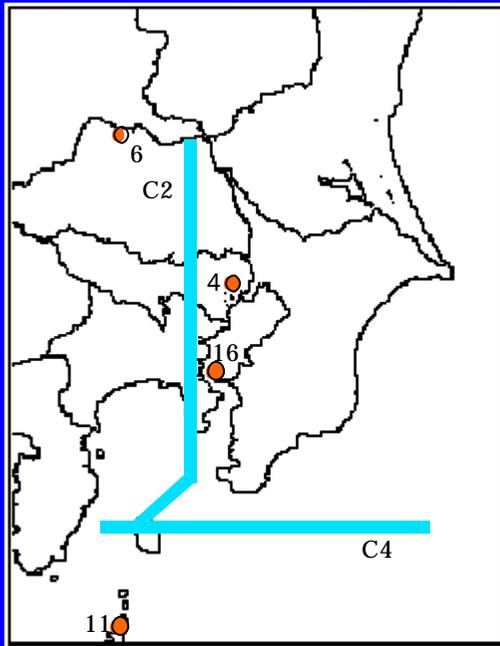
38

JCAPの成果

- ◆ コールド、エバポを含み、種々の補正係数(劣化、気象条件、等)を考慮した自動車排気排出量推計モデルを開発した。
- ◆ 交通流を考慮した交差点近傍の過渡排出量推計モデルの開発とLESに基づく沿道拡散シミュレーションの開発
- ◆ 高精度二次有機粒子モデルを開発した。
- ◆ これらの手法を用いて、関東圏、東京都内交差点近傍におけるオゾン、NO_x、SPM(重量)を対象に、高濃度大気汚染シミュレーションを可能とした。
- ◆ 上記シミュレーションを用いて、
 1. ディーゼル既販車対策の効果を評価
 2. 新短期、新長期規制による大気汚染濃度の改善効果を評価

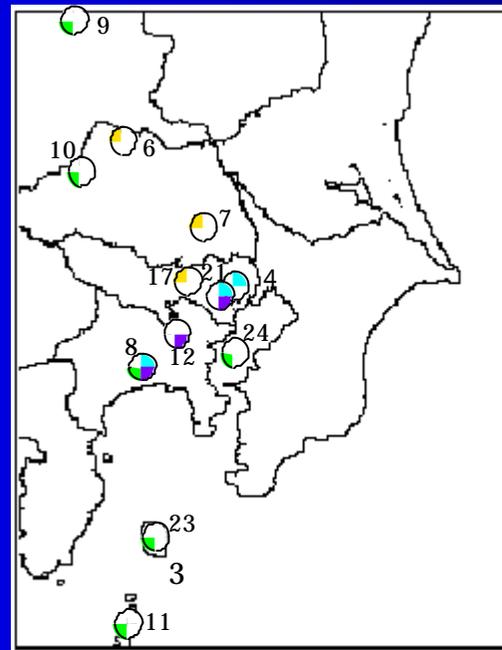
大気観測から導かれる今後の課題 (1)

—JCAP総合大気観測—



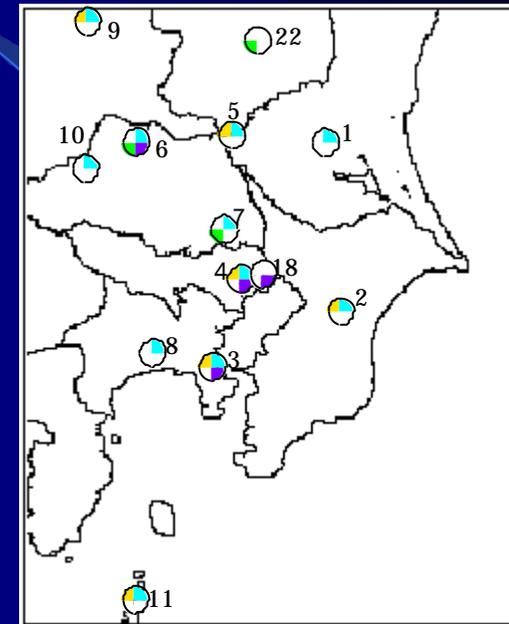
— 飛行経路

-1) 立体気象観測と航空機



- PM2.5 重量 (1 時間)
- 酸塩基性ガス、アルデヒド(1時間)
- 主要大気質 (~1 時間)
- VOC (1 or 1.5 時間)

-2) 連続測定

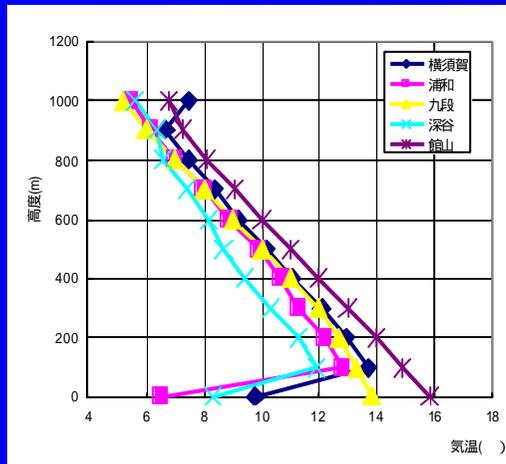
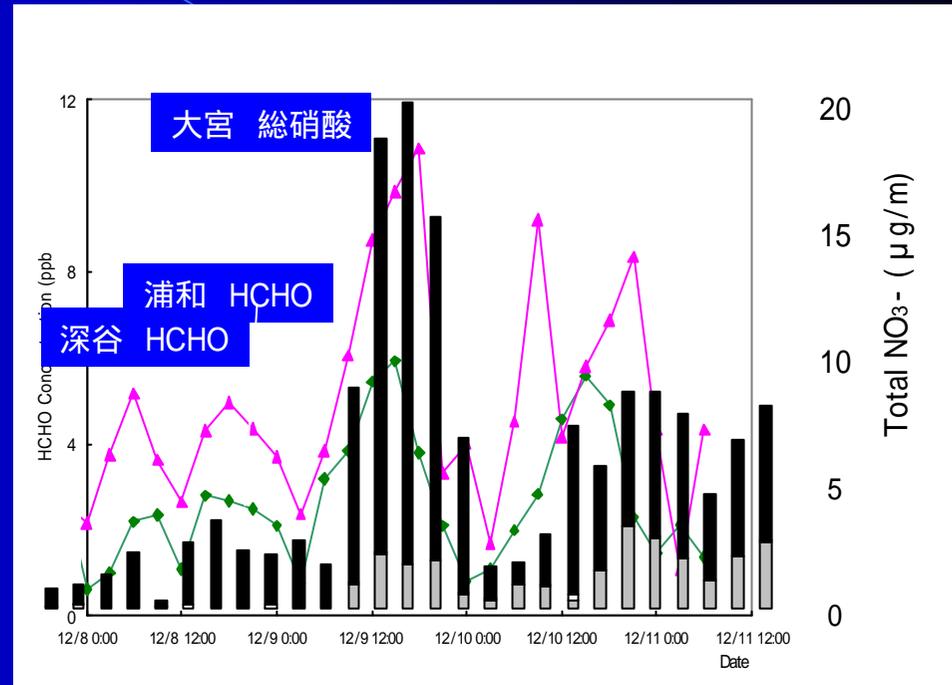
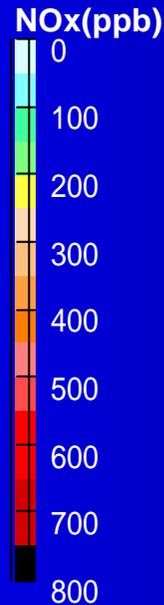
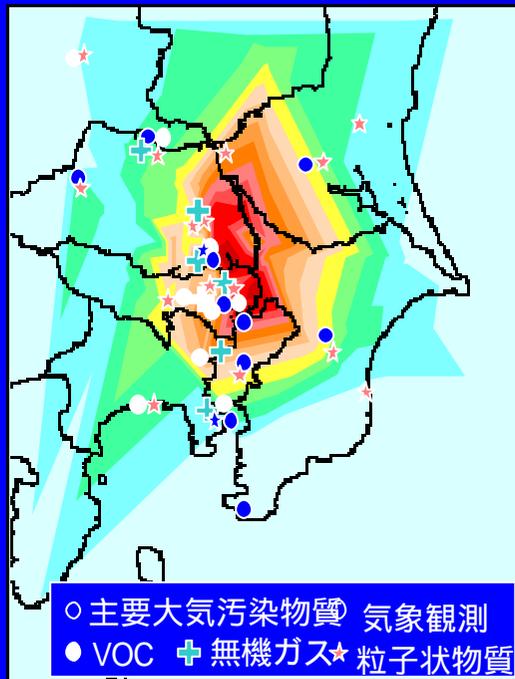


- 粗大・微小粒子 (24 時間)
- PM2.5 ion (3 時間)
- アルデヒド (3 時間)
- VOC (6-9 時)

-3) 地上集中観測

大気観測から導かれる今後の課題 (2)

— 広域大気中のアルデヒド、NO₃⁻の挙動 —



内陸に向かって、強い逆転層が発達するとともに、光化学反応で生成する、高濃度のHCHO、NO₃⁻を観測。典型的な、冬期汚染状況をとらえた。



低濃度未規制成分の光化学反応モデルの開発

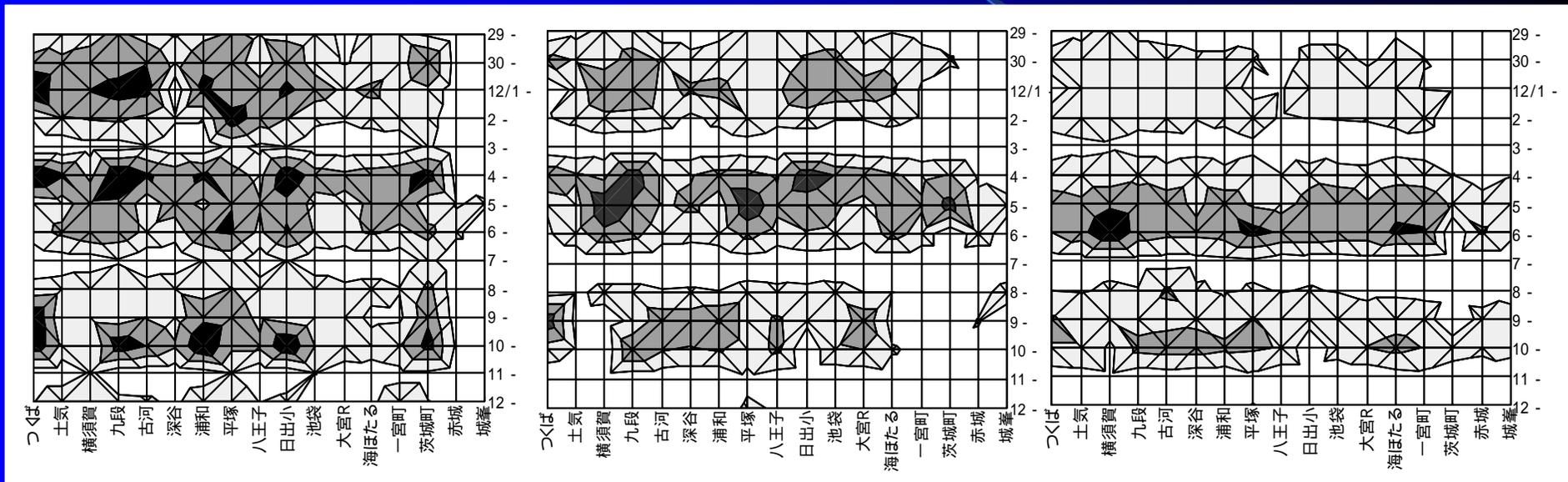
大気観測から導かれる今後の課題 (3)

— 微小粒子 ($Q.1 \mu m$ 以下) 中成分の時空間変化 —

Elemental Carbon

NO₃

SO₄



ECは局地性が強く(発生源寄与大)、SO₄は移流・拡散に伴う広域で生成



NO_x, SO_xと無機 2次粒子 (硝酸塩、硫酸塩)との熱力学平衡モデルの改良

次世代大気モデル開発に向けて (1)

Key Word

< 排出量 >

- ・リアルワールドエミッション
- ・推計手法の高精度化 (各種排出係数の見直し)

< 対象物質 >

- ・極微小粒子の粒子数予測

< 対象地域 >

- ・超広域からの移流 拡散 (ネステイング)
- ・沿道

< モデルの統合 >

- ・排出量推計から都市、沿道大気モデルの統合化

次世代大気モデル開発に向けて (2)

排出量推計の精度向上

1)自動車からの排出量

- ・リアルワールドエミッション

(過渡エミッション、高排出量車、等)

- ・マクロ(都市域)とミクロ(沿道)を整合させた交通流モデル
低濃度成分/粒径別粒子

- ・タイヤ磨耗、巻き上げ粉塵の排出係数

2)自動車以外

- ・未把握発生源

- ・低濃度成分

- ・粒径別粒子

- ・推計手法の見直し(エネルギー消費からの補正)

次世代大気モデル開発に向けて (3)

大気シミュレーションモデル

< 都市域大気モデル >

- ・ネスティング技術によるマルチスケール化
- ・高空間分解能気流モデル
- ・大気モデルの統合システム化
- ・微小粒子の平衡モデル

< 沿道大気モデル >

- ・都市域モデルとのマルチスケール化
- ・グリッド生成の自動化、精密化
- ・微小粒子の動力学モデル