

局地汚染地域におけるシミュレーションモデルを用いた
各種自動車排出ガス抑制対策の環境改善効果評価手法確立に関する研究

株式会社 数理計画

局地汚染地域におけるシミュレーションモデルを用いた 各種自動車排出ガス抑制対策の環境改善効果評価手法確立に関する研究

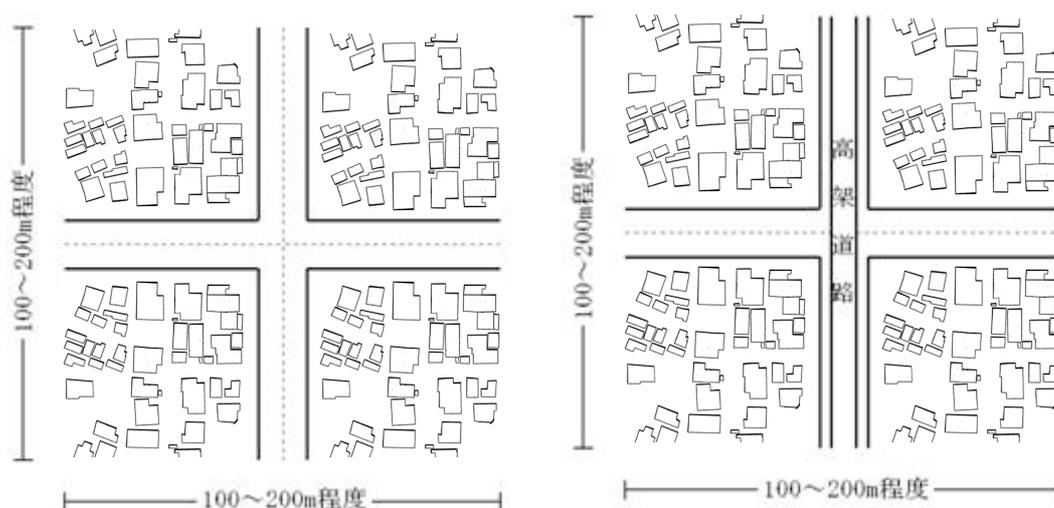
株式会社 数理計画

【調査の目的】

本調査は、大都市の幹線道路沿道において実施される各種自動車排出ガス抑制対策について、二酸化窒素及び浮遊粒子状物質の環境改善効果を定量的に評価し、地域の実情に応じた対策の選択ができるよう、数値シミュレーションにより環境改善効果を評価する技術的手法を確立するための検討を行うものである。CFD モデルを応用し、交差点周辺などの「局所領域」（沿道域 100m×100m 程度）において、自治体などが実施する各種排ガス対策の効果を評価できる評価ツールを開発・整備することにより、沿道の大気環境改善に資することを目的とする。

本調査研究（平成 20～22 年度）の目標

- シミュレーションモデルを用いた評価手法確立（評価ツールの開発・整備）
- ケース・スタディ地点（川崎市・池上地点^{いけがみ}など）における評価（評価ツール適用）



局所領域のイメージ（沿道は市街地）

【調査の方法】

本調査で開発する評価ツール（ソフトウェア）の主な構成要素は、排出量モデルと CFD モデルである。本調査は 3 年度計画を予定しており、平成 21 年度はその 2 年度目として、前年度の成果を踏まえ、以下の 1. ～ 3. の調査項目の検討を行った。また、関連分野の専門家からなる検討会を 3 回実施し、ご意見・ご提案等をいただいた。それらのご意見・ご提案等を活かし、随時検討内容の見直しを行いながら、調査を進めた。

1. 排出量モデル・CFD モデル共通

(1) 対象地点の選定

既決地点（川崎市・池上）に加えて、追加のケース・スタディ地点を検討・選定した。全国の NO₂ 及び SPM 濃度の上位局（自排局）近傍領域を中心に、各種の条件を勘案して選定を行った。

(2) 対象地点の地物・構造物等のモデル化

川崎市・池上地点及び前項で選定した追加ケース・スタディ地点（四日市市・^な納屋）について、数値シミュレーションのために地物・建物・構造物等のデータ化を行った。

(3) 池上地点における試算シミュレーション

川崎市・池上地点について、前項の地物・建物・構造物のデータ、3. で検討したモデル及び 2. で算定した排出量データを用い、予備的な試算シミュレーション（現況）を実施した。

2. 排出量モデル関連

(1) 対策メニュー検討

川崎市へのヒアリング結果等をもとに、エコドライブや車線・交通流制御など、局地汚染対策に有効な排ガス抑制対策メニューについて、検討対象とする対策メニューの種類や、各対策の排ガス量低減効果の定量化手法について検討した。

(2) 現地調査

追加ケース・スタディ地点（四日市市・納屋）において、排出量算定のための現地実測調査（自動車交通量調査、走行調査など）を実施し、時間別・24 時間のデータを取得した。

(3) 排出量・発生源情報等算定方式の検討

排出量の算定方式について検討した。川崎市・池上を対象として、当社が提案する現地調査の結果等をもとにする算定方式と、JATOP の知見・算定方式による排出量を比較し、検討を行った。

3. CFD モデル関連

(1) 現地（実態）調査

追加ケース・スタディ地点（四日市市・納屋）の現地視察を行い、沿道の気流や濃度に影響を与える可能性のある諸条件（道路構造、建物・地物・構造物等）の実態を調査した。

(2) ヒアリング（ニーズ）調査

川崎市・環境対策部交通環境対策課へのヒアリング調査を行い、交通流対策等の発生源対策以外に、どのような沿道濃度対策や条件・要素の評価に対するニーズがあるかを把握・整理した。また、環境基準未達成地点がある他の自治体に対しても、アンケート調査を実施した。

(3) 評価対象候補となる条件・要素のリストアップ

上記の調査結果をもとに、どのような条件・要素を新たな評価対象とする（CFD モデルに取り入れる）か、沿道濃度への影響の大きさ等を勘案して、候補をリストアップした。

(4) フィージビリティ調査

前項でリストアップした候補条件・要素のうち、どの条件・要素を組み込むことが技術的に可能であるか、近年の CFD モデルに関する研究成果・知見を基に検討し、本調査研究で新たに評価対象とする条件・要素を決定した。

(5) 「気流モデル」及び「拡散モデル」改修方針の検討及びプログラムの改良・機能追加

前項までの検討結果を受けて CFD モデル・コードの改修方針を検討し、それに従ってプログラムの改良・機能追加を行った。

(6) 「気流モデル」及び「拡散モデル」の感度解析

CFD モデル・コードの精度検証及び特性把握の一環として、化学反応の各種パラメータ、樹木モデルの抵抗係数、分解能等に対する感度を確認するシミュレーションを行い、結果を整理・検討した。

4. 検討会の開催

以上の 1. ～ 3. の検討を行うため、関連分野の専門家 5 名、環境省、川崎市担当者から構成される検討委員会を 3 回開催した。これらの検討会で、調査研究計画全体の方向性や実施内容の詳細に対する意見・要望を伺い、調査内容の見直しに活かした。

【調査の結果】

平成 21 年度の調査項目ごとの調査結果を以下に示す。

1. 排出量モデル・CFD モデル共通

(1) 対象地点の選定

開発中の評価ツールの汎用性を確保・検証する目的で、既決の重点ケース・スタディ地点である川崎市・池上以外にもケース・スタディ地点を選出し、最終年度にシミュレーションを試みることとした。まず平成 17 年度～平成 19 年度に連続して NO₂ の環境基準非達成であった全国の自排局をリストアップし、それらの地点における近年の SPM 濃度の動向も併せて調査した。また、それらの局の周辺状況（道路構造、建物状況等）や考えられる高濃度要因等を、自治体へのアンケート調査や地図検索等を通して把握した。主な NO₂ 高濃度自排局の周辺状況を、主に道路構造等によって分類した例は、表 1 に示すとおりである。

表 1 NO₂ 高濃度自排局周辺状況の道路構造等による分類例

タイプ	測定局名(自排局)	備考
高架道路を含み、かつ拡散しにくい	玉川通り上馬	・地上道路＋高架道路 ・地上道路の交差点は、立体交差 ・高架道路に沿って中層程度の建物群が存在
	中山道大和町	・地上道路＋高架道路 ・地上道路の交差点は、立体交差
	池上新田公園前	・地上道路＋高架道路 ・高架道路に沿って樹木群＋中層程度の建物群 ・大型車混入率高い
	船橋日の出(車)	・地上道路＋高架道路 ・地上道路の大型車混入率は高い
特徴的な道路構造(ランプ等)を有する	山手通り大坂橋	・地上道路＋高架道路 ・地上道路の交差点は、立体交差 ・地上道路を結ぶループ状のランプが存在
	環七通り松原橋	・地上道路の交差点は、立体交差 ・地上道路を結ぶループ状のランプが(8の字に)存在 ・地上道路の大型車混入率は比較的高い
中層程度の建物が散見される交差点近傍	遠藤町交差点	・十字路
	今里交差点	・五叉路 ・中層以上の建物群も存在
	新森小路小学校	・十字路 ・道路わきの小学校の敷地内に自排局
一本道(かつ両脇に各種建物群)	納屋	・自排局周辺は住宅地 ・近隣に工業地帯(製油所)が存在 ・大型車混入率が高い
	青江	・一本道はバイパス ・周辺は低層～中層の建物群

※大型車混入率が 40%より大きい⇒高い、大型車混入率が 30%より大きい⇒比較的高い。

※大型車混入率は、平成 17 年度交通量センサスより抽出（関東圏）又は算出（その他）。

上記の目的から、表 1 の候補地点等の中から、「拡散条件」及び「交通実態」が池上とはなるべく異なる地点を選出することに留意した。また、SPM 濃度も高く、比較的近隣に一般局もあるという理由から、四日市市・納屋局を追加ケース・スタディ地点に選定した。

(2) 対象地点の地物・構造物等のモデル化

重点的ケース・スタディ地点である川崎市・池上地点については、前年度調査で数値地図情報（建物輪郭）、住宅地図（建物階数）、現地調査（目測）等に基づく周辺建物・道路構造のモデル化を既に実施した。今年度は、川崎市殿のご協力により、高架道路、歩道、植樹帯、グリーン・ウォールなどの詳細な図面や資料をご提供いただき、さらに精細に地物・構造物データの見直しを行った。

前項で選定した追加ケース・スタディ地点である四日市市・納屋地点については、数値地図情報（建物輪郭）、住宅地図（建物階数）等に基づく周辺建物・道路構造のモデル化を実施した（図1）。このデータについては、シミュレーションに使用する前に、現地（実態）調査の結果等に基づいてさらに詳細な見直しを行う必要があると考えられる。

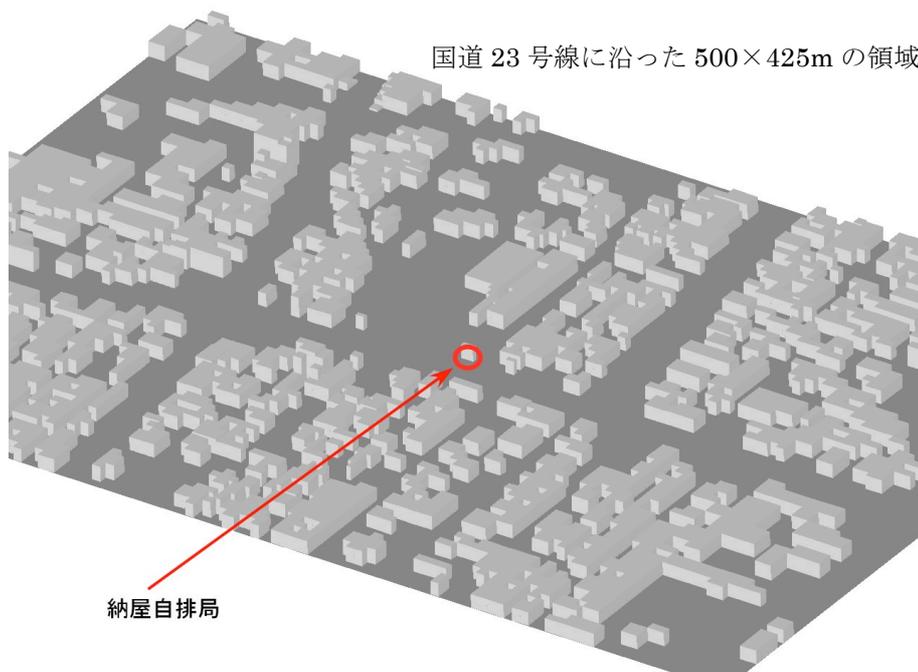


図1 四日市市・納屋自排局周辺の地物・建物の数値データ化

(3) 池上地点における試算シミュレーション

川崎市・池上地点について、(2) 項で見直した地物・建物・構造物データ、2. で算定した自動車排出量データ及び3. で検討した CFD モデルを用い、予備的な試算シミュレーション（現況）を実施した。計算対象領域（600m×500m×172m）は図2に示すとおりである。

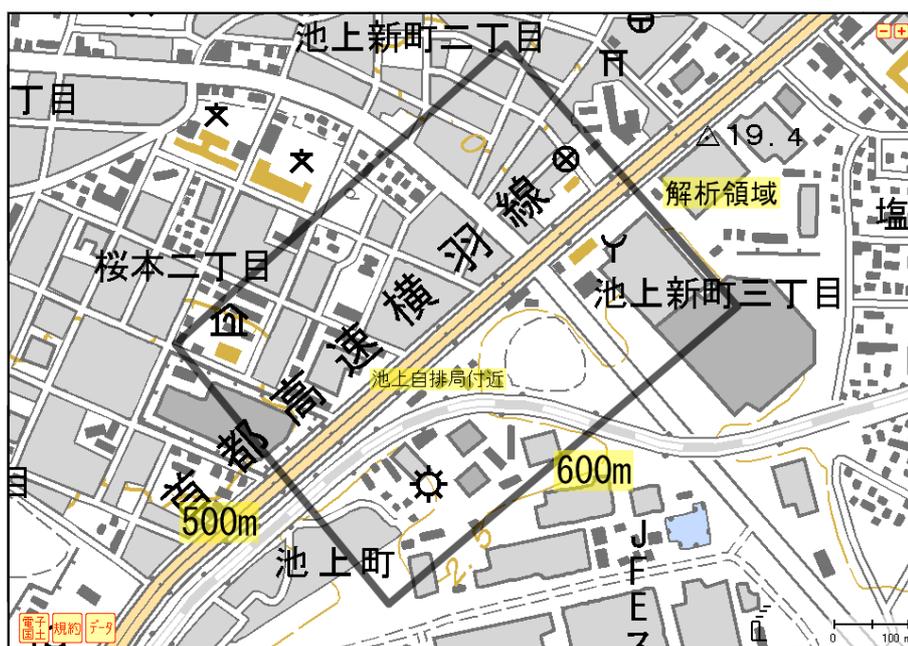


図2 計算対象領域（川崎市・池上地点）

x 軸は産業道路及び首都高速に沿う方向に設定した。水平方向の解像度は最小 $\Delta x=2.5m$ 、 $\Delta y=1.5m$ 、鉛直方向の解像度は最小 $\Delta z=0.5m$ とした。計算対象日は平成 18 年 1 月 11 日とし、同日の大師局の風向・風速及び NOx 濃度を流入側境界条件として入力した。また、樹木モデルにより樹木の抵抗の効果を考慮した。なお、前年度に課題として挙げた 1 時間値への対応等はまだ検討されておらず、平均化時間は比較的短いと考えられるため、ここに掲げるのは予備的な結果である。

気流の計算結果を池上局における実測データと比較した結果は、図 3 に示すとおりである。風向・風速とも、概ね良好な再現がなされていると思われる。NOx 濃度の計算結果を池上局における実測データと比較した結果は、図 4 に示すとおりである。流入風速が極めて弱い時間を除いて、概ね良好な再現がなされていると思われる。

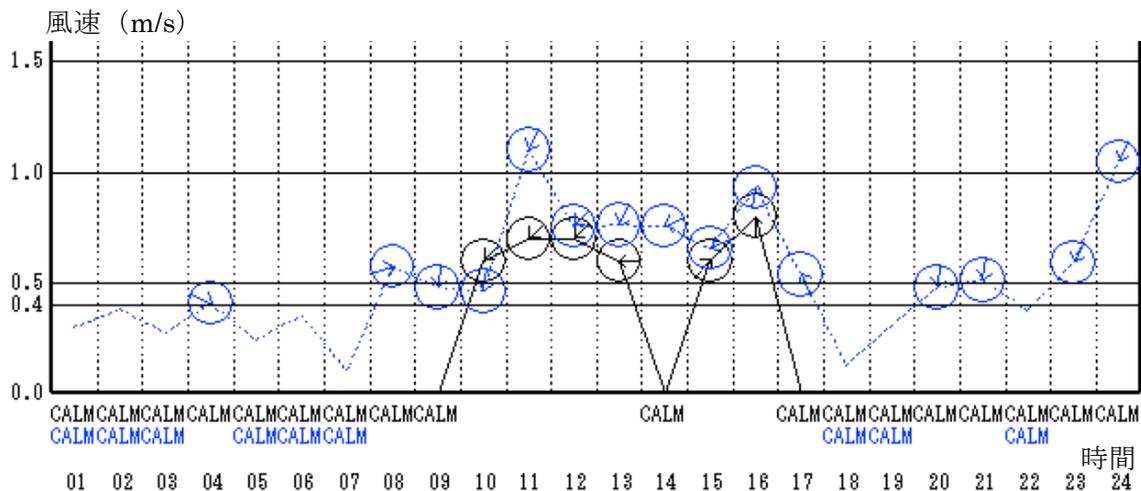


図 3 池上自排局における風向・風速の計算値と実測値の比較（平成 18 年 1 月 11 日）

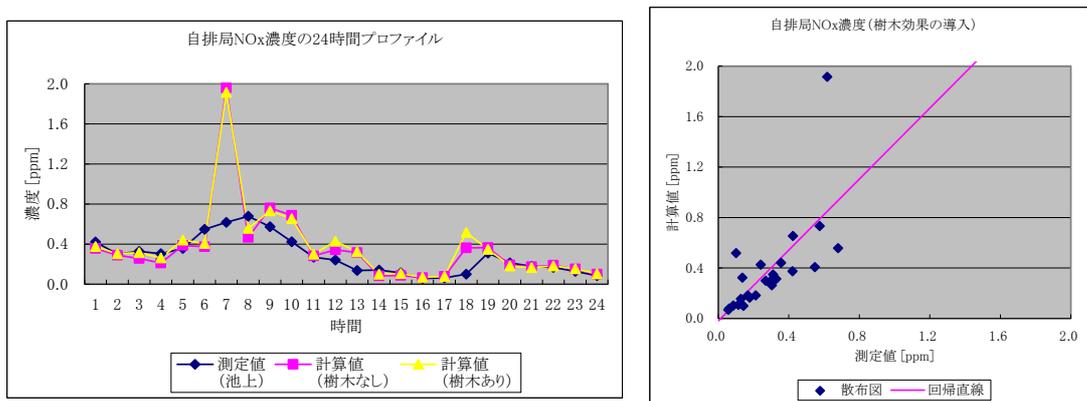


図 4 池上自排局における NOx 濃度の計算値と実測値の比較（平成 18 年 1 月 11 日）

複雑地形や樹木効果等を導入することにより、測定局周辺の局地的な弱風時はほぼ妥当に再現されており、濃度も良好な計算結果になっているが、対象日の 7 時の場合は計算領域全体で静穏となっており、濃度は過大評価となっている。これについては、弱風時の風向の変動を評価する方法などを、引き続き検討する予定である。また、ここでは採気口位置に該当するメッシュ 1 点での比較となっているが、周囲の濃度分布等も併せて考慮する必要があると考えられる。

2. 排出量モデル関連

(1) 対策メニュー検討

川崎市に対するヒアリング調査（3. (2) 参照）及び他のNO₂高濃度局がある自治体に対するヒアリング（アンケート）調査などの結果から、以下のような対策メニューを検討している自治体が多く、その効果の評価へのニーズがあることがわかった。各々の対策について、モデル化の可能性と今年度の対応案を併せて検討した。

・エコドライブの推進

本来は省エネのための施策であるが、大気質の改善への効果も期待されている。川崎市が実施しており、池上における評価の重要な課題のひとつになっている。ここでは「エコドライブ調査」の結果に基づいて排出量を下げることによって効果を定量化し、発生源モデルで対応することとした。詳細は、(3) 項を参照。

・交差点の改良

左折専用車線化や右折レーンの追加等、信号における渋滞の緩和のための施策。交通流の様相が大きく変化するようであると、交通流シミュレーションを導入しなければ対応が難しいと考えられる。必要が大きければ、次年度に検討することとした。

・公共交通機関の整備及び公共交通機関への転換

転換率とそれによる自動車交通量の低減量を適切に設定すれば、現状の発生源モデルで対応可能と思われ、特にモデルでの対応措置は必要ないと考えられる。

・周辺企業への低公害車の導入

導入率とそれによる排出量の低減量を適切に設定すれば、現状の発生源モデルで対応可能と思われ、特にモデルでの対応措置は必要ないと考えられる。

(2) 現地調査

追加ケース・スタディ地点（三重県四日市市・納屋自動車排出ガス測定局周辺）において、排出量算定のための基礎的な情報を得るために、各種の実測調査（自動車交通量調査、実路走行調査など）を実施した。これらの調査結果をもとに、次年度に同地点における排出量算定を行う。

①交通量調査

納屋自排局周辺の主要な交差点で、交通量調査、渋滞長調査、信号現示調査、ナンバープレート調査を実施した。

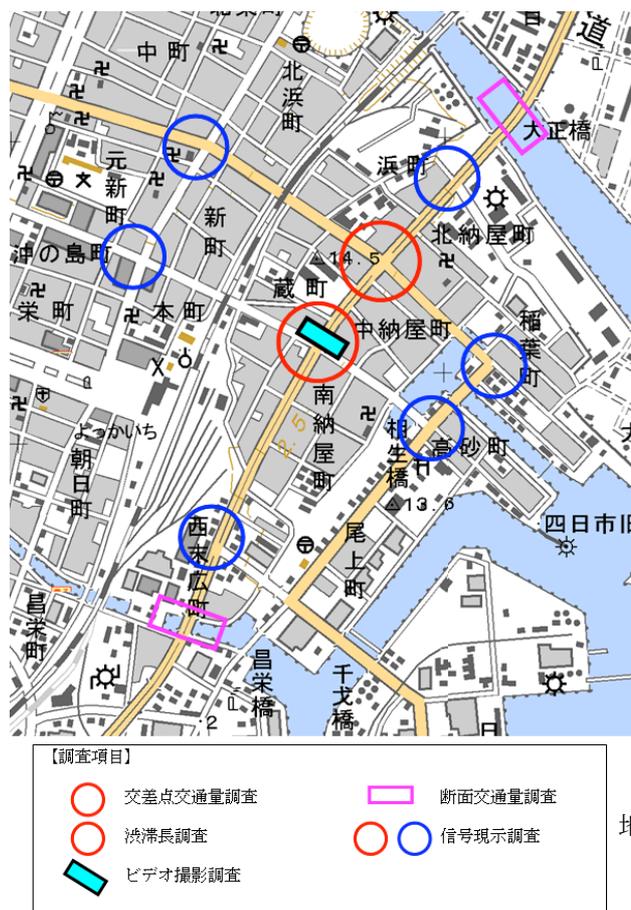
ア. 調査日時

平成22年2月22日（月）～23日（火）

朝7時～翌朝7時（24時間連続）、（ビデオ撮影のみ朝7時～18時）

イ. 調査地点

調査地点は図 5 に示すとおりである。



地図出典：国土地理院
「電子国土配信データ」

図 5 交通量調査対象地点（四日市市・納屋局周辺）

ウ. 調査内容

- ・ 交差点交通量調査及び断面交通量調査

交差点を通過する車輛を時間別、方向別、車種別に数取り機を用いて観測を行った。集計は 1 時間単位で行った。車種分類は表 2 に示す 8 分類とした。

表 2 車種分類表

車 種 分 類	ナンバープレートの車頭番号等
軽乗用車	5 (黄地に黒文字または黒地に黄文字)
乗用車	3,5,7
バス	2
軽貨物	4 (黄地に黒文字または黒地に黄文字)
小型貨物	4,6 (トラックタイプ)
貨客車	4,6 (バン、ライトバンタイプ)
普通貨物	1
特殊(種)車	0,8,9

※車頭番号 8、自衛隊車輛等は、形状に応じて分類。

・交差点滞留長調査

各調査地点において、方向別に渋滞（滞留）の最後尾を距離の目盛りを記した図面を基に、10m 単位で観測を行った。計測単位は、1 時間に 1 回で行った。渋滞長発生時には渋滞原因も記録した。なお、観測する方向は、毎時間同じ方向、同じ順序で観測した。

・交差点信号現示調査

信号現示は、対象交差点において、信号のサイクル長及び各現示の長さを 1 時間に 1 回計測した。

・ビデオ撮影調査

対象断面を通過する直進方向の車線について、上下方向別にビデオカメラを設置し、通過する車両の前面のプレートナンバーを記録した。対象は、上下各 2 車線ずつとし、4 台のカメラを設置した。撮影は、7 時台、9 時台、11 時台、13 時台、15 時台、17 時台に 1 時間ずつ行った。録画したビデオテープから、ナンバープレート自動解析装置を使用し、各調査地点を通過した車両のプレートナンバーを 1 台ごとにデータ化した。

エ. 調査結果の例

はままち
浜町交差点（図 5 の右上方の赤丸地点）における車種別・時間別交差点流入交通量合計は、図 6 に示すとおりである。

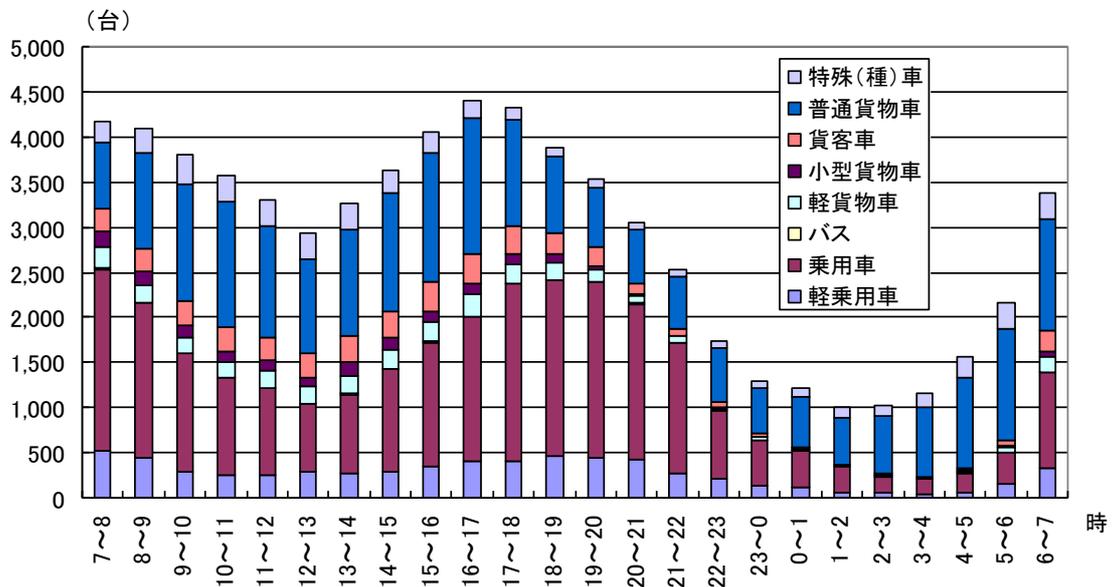


図 6 車種別交差点流入交通量合計の時間変化（浜町交差点）

②実路走行調査

ア. 調査仕様

・調査車両

調査車両は、NOx 排出量が比較的多い重量ディーゼル貨物車を対象とし、納屋測定局前面道

路（国道 23 号線）で走行台数の多い長期規制車の最大積載量 4t 積みクラスとした。調査車両の諸元は表 3 に示すとおりである。

表 3 調査車両の諸元

項目	内容
車種	普通貨物車
車両メーカー、通称名	いすゞ・フォワード
初度登録年、型式	平成15年、KK-FRR33K4
排出ガス規制年	平成11年（長期規制適合車）
車両総重量、最大積載量	7,980kg , 2,750kg
定員、車体形状	2名 , キャブオーバー
長さ、幅、高さ	804cm, 226cm, 285cm

・計測機器及び計測項目

車載型 NOx 計を用いて、道路走行時 0.5 秒間隔で、走行速度、エンジン回転数、NOx 濃度、酸素濃度、吸入空気量（排ガス流量）及び緯度経度等を計測し、データレコーダに記録した。計測機器と計測項目は表 4 に示すとおりである。

表 4 計測機器及び計測項目

計測機器（型式）	計測項目
車載NOx計(MEXA-720NOx)	①NOx濃度(ppm)
	②O ₂ 濃度(%[燃料消費量の計算に用いる])
カルマン流量計	③吸入空気量(L/min)[排ガス流量]
データロガー(KSR-600)	④速度(km/h)、⑤エンジン回転数(rpm)
GPSセンサー	⑥緯度経度

・走行ルート

納屋測定局前面を通過する国道 23 号ルートの「四日市ドーム～松泉町間^{しょうせんちょう}」（片道 5.3km）とした。

・調査時間帯

調査時間帯は、平日の朝ピーク時(7時～8時)、午前業務時(9時～10時)、日中オフピーク時(12時～13時)、午後業務時(15時～16時)、夕方ピーク時(17時～18時)の各 1 時間の合計 5 時間を調査した。調査日程を表 5 に示す。

表 5 実路走行調査日程

調査日	2/22(月)	2/23(火)	2/24(水)
時間帯	移動 (東京→三重)	7:00～8:00	7:00～8:00
	12:00～13:00	9:00～10:00	9:00～10:00
	15:00～16:00	12:00～13:00	
	17:00～18:00	15:00～16:00	
		17:00～18:00	移動 (三重→東京)

・運転方法及び積載条件

走行調査は、他の車の流れに追従して運転した。積載条件は、最大積載量の半分の半積載とした。

イ. 調査結果の例

2月23日夕方ピーク時の実路走行調査スタートより約30分間の、排気中のNO_x濃度の変化は図7に示すとおりである。

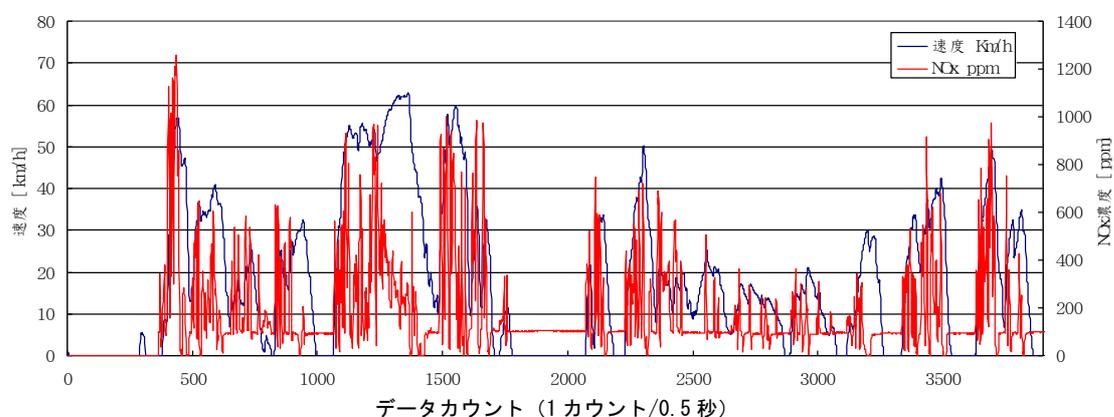


図7 夕方ピーク時の走行調査前半における排気中のNO_x濃度の変化(国道23号・2月23日)

(3) 排出量・発生源情報等算定方式の検討

自動車発生源からの排出量の算定方式(排出量モデル)について検討した。重点ケース・スタディ地点である川崎市・池上局周辺を対象として、当社が提案する現地調査の結果等をもとにする算定方式と、JATOP/JCAPの知見・算定方式による排出量を比較し、検討を行った。

①排出量算定方式の概要

当社が提案する自動車発生源の作成フローを、図8に示す。入力データとしては、環境省の自動車排出ガス原単位(NO_x、PM)、ナンバープレート調査結果及び交通量調査結果を用いる。また、実路における車輛の走行状態をより適切に発生源に反映させるため、車載計を用いた実路走行調査を行い、その結果を用いることによって、数100m規模の局地スケールの領域内での排出量分布を考慮できる方式とする。

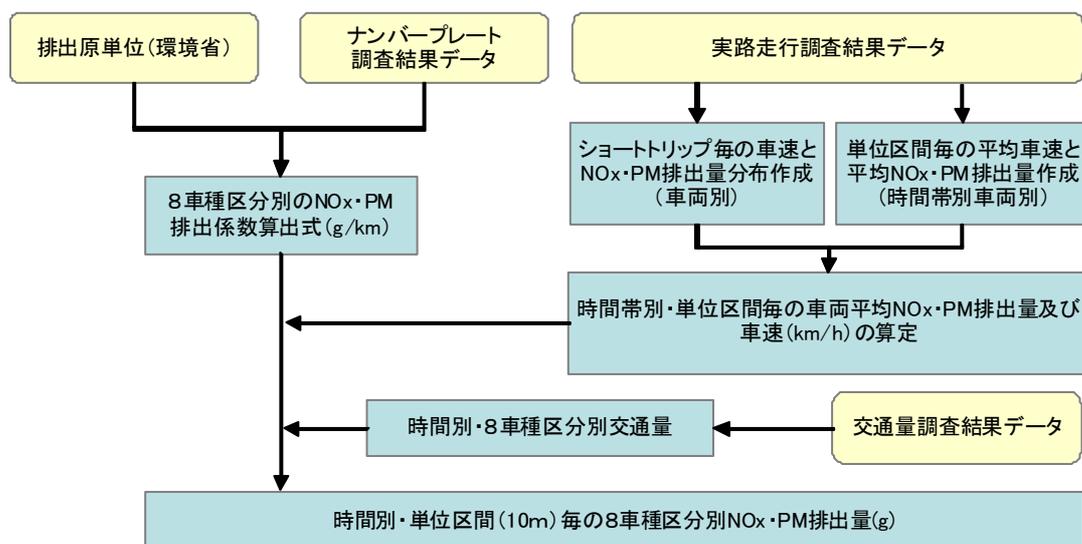


図8 局地における自動車発生源作成フロー

②川崎市・池上における排出量の試算

ア. 対象年度及び領域

対象（現況）年度は、川崎市と協議の結果、平成 17 年度とした。排出量を算定する領域は、図 2 に示した計算対象範囲と同様である。地上部（産業道路、みつぎばしみずえちよう 皐月橋水江町線）と高架部（首都高横羽線）を算定対象とする。

イ. 入力データ（地上部）

産業道路及び皐月橋水江町線の交通量データは、JATOP より提供を受けた平成 20 年 11 月の車種別・時間別交通量調査の結果を使用した。図 9 は、産業道路の池上自排局近傍の断面交通量の例である。対象年度と異なる年次のデータを使用したか、同地点における別の調査結果との比較から、平成 15～20 年度のこの地域の自動車交通量は、あまり変化していないことを確認した。

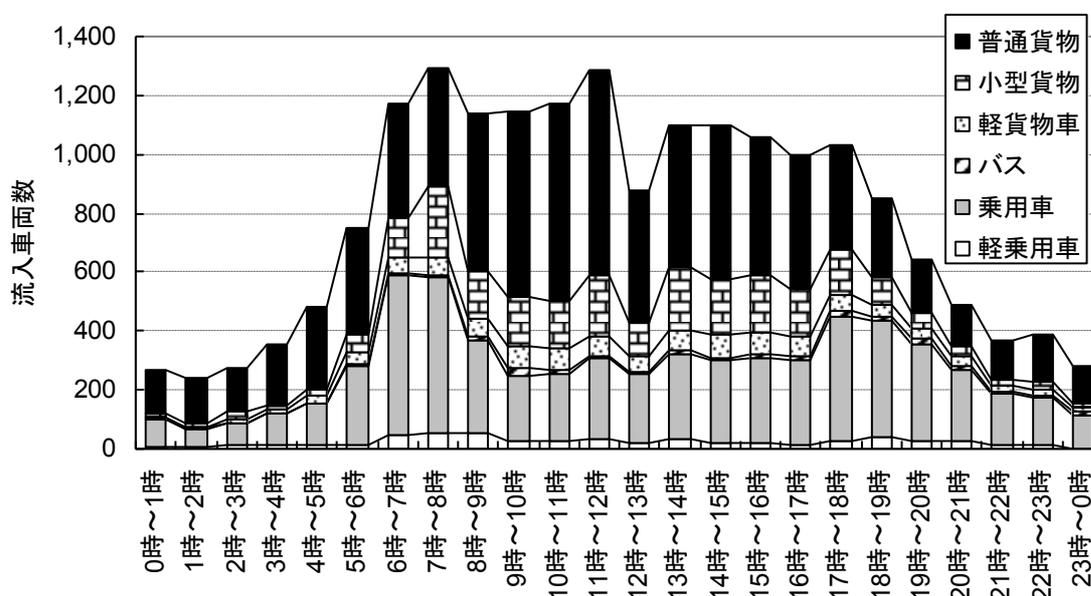


図 9 産業道路の池上自排局近傍の断面交通量の例（平成 20 年 11 月・平日：JATOP）

ナンバープレート調査データは、川崎市が平成 17 年度に池上新町交差点で実施した調査の結果を用い、排ガス規制区分別構成率を作成した。また、実路走行調査データは、平成 18 年度に川崎市が実施した調査データの提供を受けた。

ウ. 排出量分布の算定（地上部）

排出量は、車種別の自動車交通量に、排ガス規制適用状況を加味した排出原単位と、車載計を用いた実路走行調査より得られた排出率比率を掛け合わせるにより、車種別・時間別・10m 距離別に算定する。ここで排出量の集計距離の設定値（10m）については、車載計の GPS のデータ取得間隔が 1.0 秒間隔であることと、実路走行時の車両の速度を勘案して設定した。

図 10 に、産業道路の時間帯別・10m 距離別平均旅行速度及び NO_x 排出量算定結果の例を示

す。同図から、交差点からの流出方向で高排出となっていることがわかるが、これは、信号停止後の交差点流出に伴う加速の影響と考えられる。池上自排局は産業道路下り方向の、交差点よりの流出車線に面して設置されているため、この加速に伴う高排出の影響をうけている可能性がある。

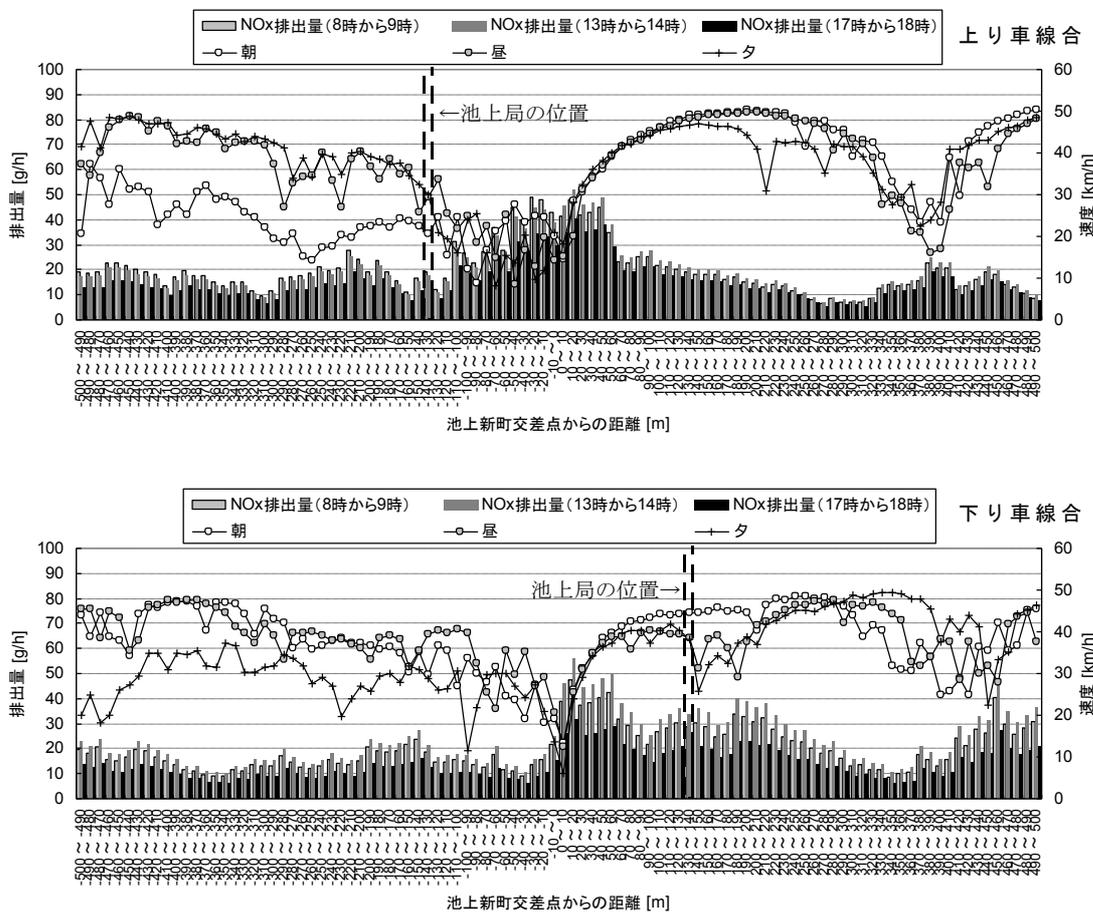


図 10 時間帯別・10m 距離別平均旅行速度及び NOx 排出量の例（産業道路・平日）

エ. 高架部（首都高横羽線）の排出量

高架道路（産業道路の上にある首都高速神奈川 1 号横羽線）の交通量については、平成 17 年度道路交通センサスで得られた平日休日別・時間帯別・交通量データを使用した。排出量については、この交通量に、旅行速度と車種別・燃料別・車両総重量区分別・排出ガス規制年別排出原単位（環境省）を適用して求めた。旅行速度は、センサス旅行速度（平日；68km/h、休日；67km/h）から設定した。

オ. エコドライブの効果について

次年度に実施する川崎市・池上におけるケース・スタディでは、エコドライブの効果を評価する予定である。エコドライブ時の排出量については、川崎市が現地で実施した調査結果（平成 18 年度・川崎市「大気環境改善対策検討調査報告書」）に基づき、排出総量の削減比率を用いて一律に排出量を低減させることを提案する。同報告書によれば、平均的な排出量低減率は、NOx 排出量－16.4%、PM 排出量－35.3%である。

ただしこの削減率は、車載計実路走行調査を行った地上部の普通貨物車の排出量のみ適用する。高架部の排出量については、高速道路を走行しているという点を考慮して、エコドライブ時の排出量低減処理は行わない。

③JATOP の排出量モデルとの比較

JATOP/JCAPでもCFDモデルを応用した沿道大気汚染評価手法の研究がなされてきており、その一環として、自動車排出量算定モデルが開発されている。また、それらを用いた川崎市・池上を対象とするケース・スタディや、排出量の算定結果も公表されている。そこで、①～②項で示した排出量算定手法の精度検証の一環として、②項に示した算定結果と、JATOPによる池上地点周辺を対象とする近年の排出量算定結果の比較を行った。

ア．排出量作成方法の比較

本調査の排出量モデルと、JATOP 排出量モデルの入力データや算定手法の概要は、表 6 に示すとおりである。

表 6 JATOP と本調査の排出量算定方法等の比較

	JATOP の排出量モデル	本調査の排出量モデル
概要	ミクロ交通量モデル (Paramics) と現地交通量調査の結果得られたODデータ情報から、交通量や個別車両の走行挙動状態を求める。その後、車両ごとの排出量を車種別の速度駆動力別排出マップよりもとめ、全車両について積算する積み上げ式の算定方式。	車載計による実路走行調査結果から、実路走行時の車速と排出量を求める。排出量については、回帰分析を行い、調査車両別に排出係数を作成し、走行単位区間 (10m) ごとの排出量比率を求める。その後、環境省の車速を説明変数とした排出原単位に、この排出量比率を適用して、走行状態の排出量とみなし、別途実施した交通量調査結果を用いて車種別に積算する簡易方式。
交通量や走行状態	<ul style="list-style-type: none"> ・ ミクロ交通量モデル (Paramics) ・ OD データ情報 (現地交通流調査結果より推計) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 交通量調査結果 (H20 年実施データ) ・ 車載計を用いた実路走行調査結果 (調査車両; 普通貨物車 5 台)
車種構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 川崎市実施のナンバープレート調査結果 (H18 年 10 月) に各種の補正 (各種条例規制効果、ガソリン車のハイエミッター割合) を考慮。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 川崎市実施のナンバープレート調査結果 (H18 年 10 月)。
排出量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 速度駆動力別排出マップより走行状態の排出量を求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境省の排出原単位を車載計調査結果から求めた排出量比率で加減して走行時の排出量とみなす。

イ. 排出量の比較

JATOP と本調査の、警察署前（池上新町）^{いけがみしんちょう} 交差点を中心とする地上部の半径距離別・時間別 NOx 排出総量算定結果は、図 11 に示すとおりである。時間変化パターン、排出量とも類似しており、本調査の手法でも排出総量は JATOP とほぼ同じになることが確認された。JATOP の方が若干多めの推計となっているが、これは算定対象年次の違いや、ハイエミッターを考慮していることが原因とも考えられる。

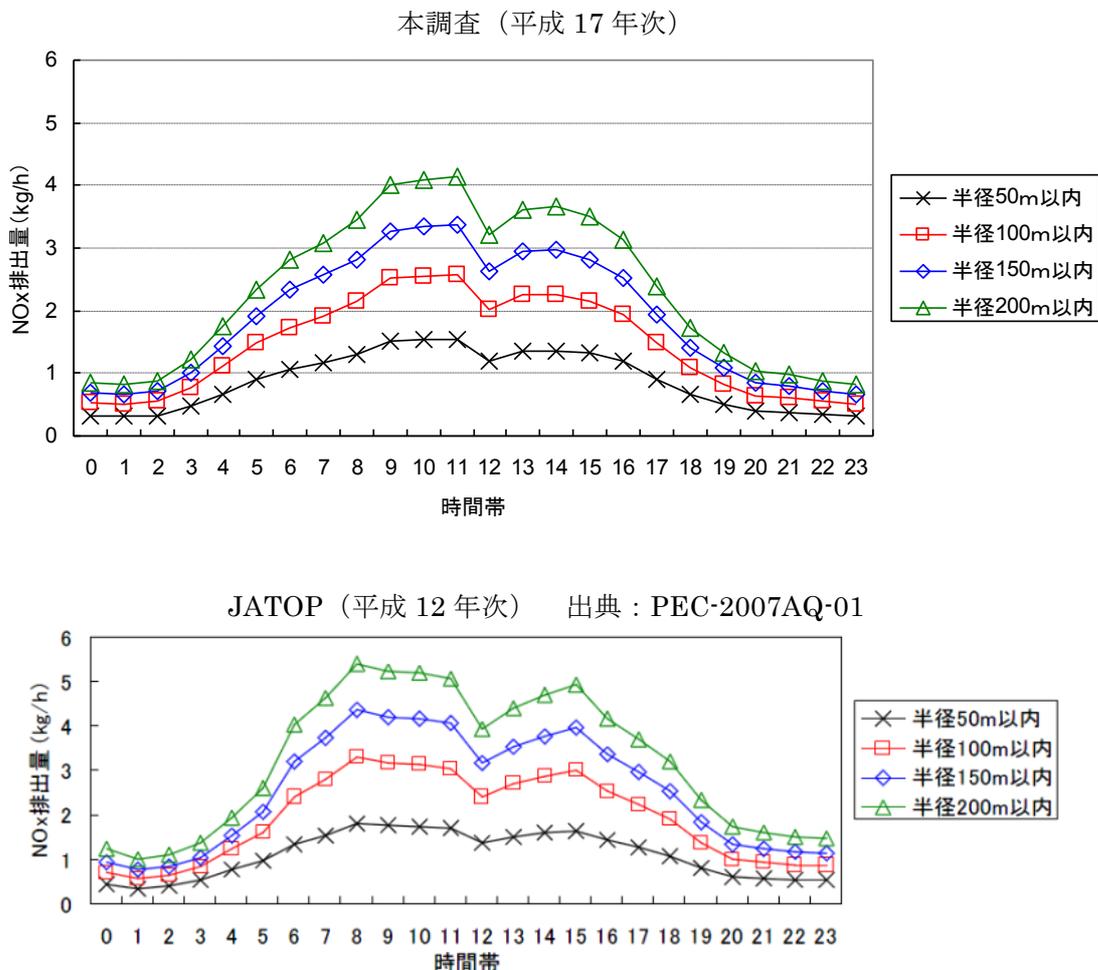
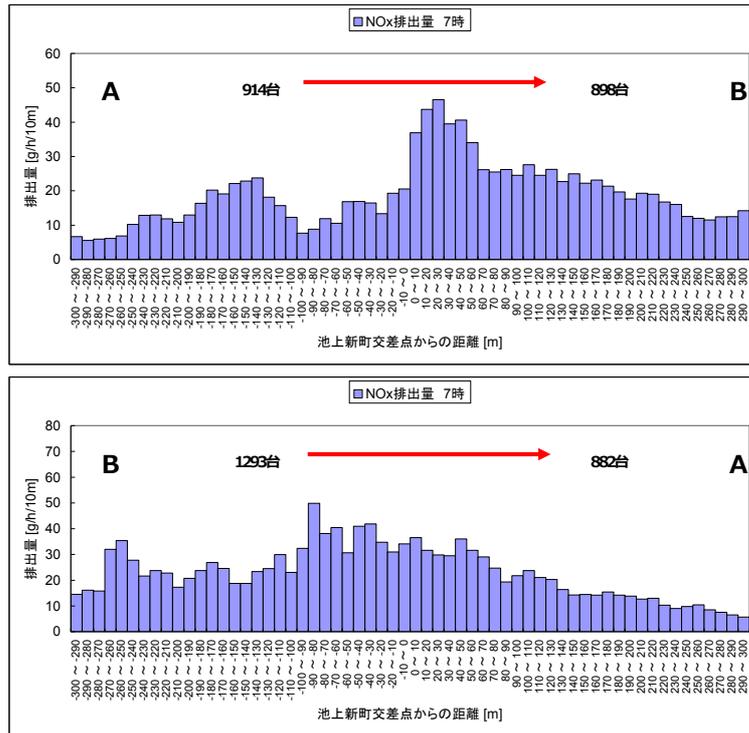


図 11 半径距離別・時間別 NOx 排出総量の比較

JATOP と本調査の、警察署前（池上新町）交差点前後の産業道路における 7 時台の 10m 距離別排出総量算定結果は、図 12 に示すとおりである。図 11 と同様に、排出量は同じレベルであるが、排出量の分布は異なっており、JATOP では交差点手前が高排出なのに対して、本調査の手法では特に下り車線で交差点流出時の加速の影響が顕著である。

本調査（平成 17 年次）



JATOP（平成 12 年次） 出典：PEC-2007AQ-01

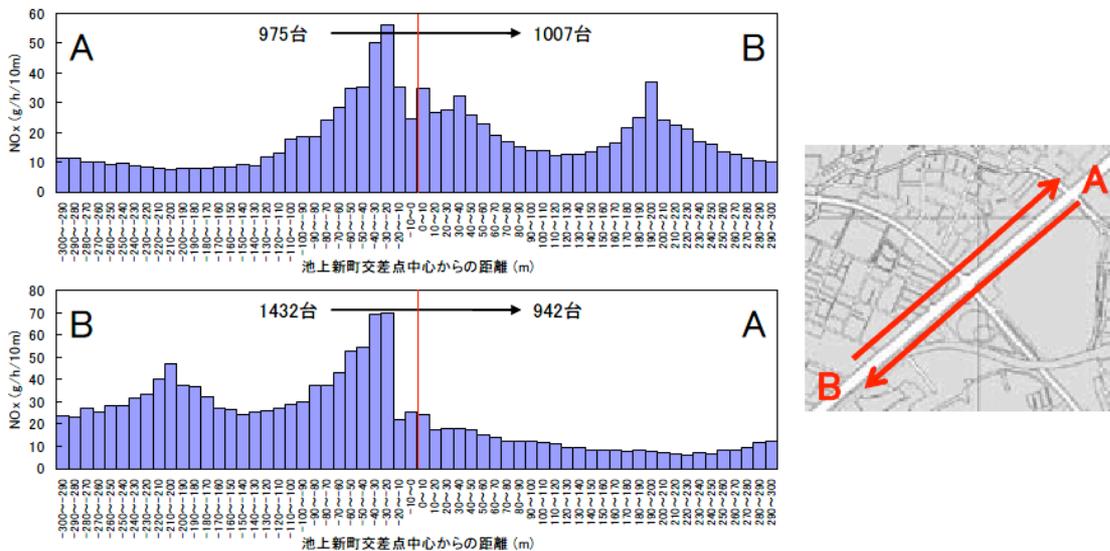


図 12 産業道路における 7 時台の車両通過台数と距離別 NO_x 排出量の比較

3. CFD モデル関連

(1) 現地（実態）調査

本年度新たに選定した（1.（1）参照）追加ケース・スタディ地点（四日市市・納屋）の現地視察を行い、沿道の気流や濃度に影響を与える可能性のある諸条件（道路構造、建物・地物・構造物等）の実態を調査した。

納屋局周辺地域はほぼ平坦で、周辺にも高い建物は少なく、道路部も勾配は少ない。直近の国道 23 号線は、大型車交通量が多い。

納屋局近くの国道 23 号線の構造は、図 13～図 15 に示すとおりである。歩道と車道の間にはコンクリート（一部アクリル）のガードフェンス（約 1m の高さ）を備えており、排ガスの拡散に影響する可能性がある。路側等に植樹帯や街路樹もある。



図 13 国道 23 号線の構造（四日市・納屋局近傍）



図 14 国道 23 号線の信号待ち列の状況（四日市・納屋局近傍）

納屋局近くの浜町交差点で停止信号が表示されると、納屋局前面まで信号待ち列ができる（図 14 参照）。納屋局の濃度に、アイドリングの影響が及んでいる可能性がある。

納屋局における採気口、気象観測等の状況は図 15 に示すとおりである。風向・風速は地上 10m で観測されており、周辺に遮蔽物も無く条件が良い。歩道と採気口の間には 3m の鉄製のフェンスがあり、採気口のごく近傍の気流に影響している可能性がある。

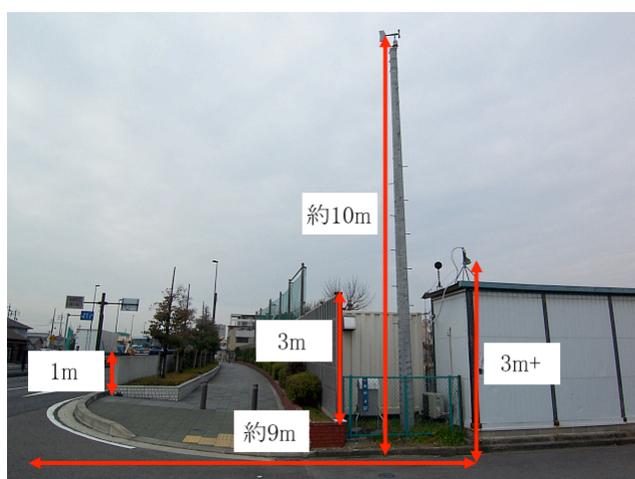


図 15 納屋自排局のまわりの状況

(2) ヒアリング（ニーズ）調査

川崎市・環境対策部交通環境対策課へのヒアリング調査を行い、交通流対策等の発生源対策以外に、どのような沿道濃度対策や条件・要素の評価に対するニーズがあるかを把握・整理した。また、環境基準未達成地点がある他の自治体に対しても、アンケート調査を実施した。

①川崎市へのヒアリング調査の概要

次年度に行うシミュレーション計画をさらに具体化するにあたり、川崎市・環境局環境対策部交通環境対策課との打合せ・ヒアリングを実施した（2009年11月30日）。

ア．現況（対象）年度の確認

対象地域で詳細な自動車交通量調査、ナンバープレート調査及び車載型自動車排出ガス測定器を用いた実路走行調査が行われ、発生源の作成に利用可能なデータが整備されていることから、平成17年度を対象年度とすることを申し合わせた。

イ．対象地点周辺の地物等に関する資料・情報

池上地点のグリーンウォールの構造に関する資料（図面等）、植樹帯に関する資料（計画概要、図面等）、高架道路（首都高）の構造に関する資料（図面等）などをご提供いただき、地物・構造物データの詳細な見直しに活用した。

ウ．シミュレーションへのご要望等

シミュレーションは、現況の再現計算と対策後の状態を想定した計算を行い、結果を比較することによって対策効果を評価する。市として特に評価したい対策の種類等について、以下のようなご要望と確認がなされた。なお、カッコ内はモデル側の現状の対応案である。

- ・グリーンウォールの改良。例：現状より低く、周辺の遮音壁と同じ高さにするなど。（地物データを変形させることによって対応できる。）
- ・グリーンウォールの植物の汚染物質除去効果。（除去率を定量化できれば評価できる可能性があるが、現状では難しいのではないか。）
- ・路側の植樹帯を増やす。（樹木モデルを導入したので、地物データを変化させることによって対応できる。）
- ・アイドリングストップ等のエコドライブの実施。（エコドライブ調査の知見に基づき、自動車発生源からの排出量を低減させる。）
- ・渋滞緩和のための信号制御の改善や、交差点の改良。（現状の案では、信号制御にかかる対策項目は評価できない。交差点の改良は、地物データを変化させることによって対応できる可能性がある。）

②現地（実態）調査の知見及び検討会の提言

川崎市・池上における現地（実態）調査では、沿道及び自排局の周辺に植樹が多く、気流及び濃度分布に影響を及ぼす可能性があると思われた。また、専門家による検討会においては、各委員より、初期拡散のモデル化の必要性について検討することが望ましいとのご提言があつ

た。川崎市・池上及び四日市市・納屋における現地調査でも、両地点においては大型車混入率が高く、車両の走行風による初期拡散の影響は無視できない可能性があるとの知見を得た。

(3) 評価対象候補となる条件・要素のリストアップ

前項の検討結果から、リストアップされた CFD 関連の条件・要素は以下のとおりである。

- ・グリーンウォール、遮音壁のような薄いオブジェクト。
- ・グリーンウォールの植物の汚染物質除去効果。
- ・路側や局周辺地域の植樹。
- ・交差点の改良のうち、地物データにかかるもの。
- ・車両の走行風や排ガス温度などによる初期拡散。

(4) フィージビリティ調査

前項でリストアップした候補条件・要素のうち、どの条件・要素を組み込むことが技術的に可能であるか、近年の CFD モデルに関する研究成果・知見を基に検討し、本調査研究で新たに評価対象とする条件・要素を決定した。結果は以下のとおりである。

- ・グリーンウォールの改良等
地物データを変形させることによって対応できる。薄いオブジェクトに対応できるよう、コードを改良することが望ましいと考えられる。
- ・グリーンウォールの植物の汚染物質除去効果
除去率を定量化できれば評価できる可能性があるが、現状では難しいと考えられる。
- ・路側の植樹帯を増やす等の対策
気流の抵抗としての効果は、樹木モデルを導入し、地物データを変化させることによって対応できる。
- ・交差点の改良のうち、地物データにかかるもの
地物データを変化させることによって、対応できる可能性がある。
- ・初期拡散
車両の走行風に起因する初期拡散は、既存の知見をもとにモデル化・導入が可能。排気ガスの浮力や日射に伴う熱移動・都市熱に起因する初期拡散のモデル化・導入は現状では困難だが、走行風等の機械的な要因に比べて影響は比較的小さいとする研究事例もある。

(5) 「気流モデル」及び「拡散モデル」改修方針の検討及びプログラムの改良・機能追加

前年度調査においては、 $\text{NO}_x\text{-O}_3$ 反応を扱えるように自社製 CFD モデル・コード（3次元直交座標系・非圧縮性 N-S 式・標準 $k\text{-}\epsilon$ モデル）の改修（改良・機能追加）を行った。今年度は、以上の（1）～（4）項の検討結果をもとに、開発中のツール（CFD モデル）に以下のような改修（改良・機能追加）を行うこととした。

- ・グリーンウォール、遮音壁などの薄いオブジェクトを扱えるようにする。
- ・樹木モデルを導入し、樹木の影響を扱えるようにする。

また、初期拡散についてもさらに検討を継続し、車両走行風に起因する初期拡散のモデル化を今後必要に応じて導入することとした。

①厚さの無いオブジェクトへの対応

池上地点の GW や、高架道路等に設置されていることが多い遮音壁などを適切にモデル化できるようにするために、「厚みのない壁」構造をデータ化できるようコードを改修した。具体的には計算メッシュの境界を、気流が通過しない「壁」として扱う。

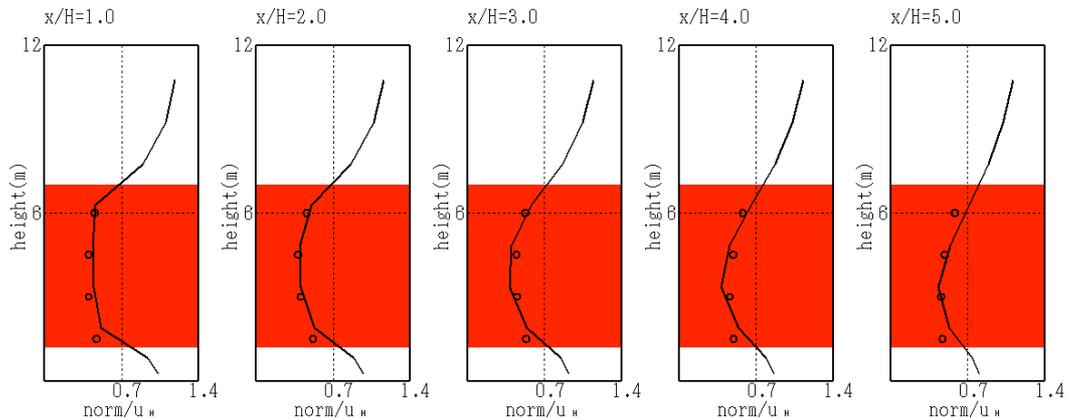
②樹木モデルの導入

樹木による気流場への影響を考慮するため、日本建築学会「市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブックガイドラインと検証用データベース」(2007) (以下「ガイドブック」) 及び関連論文等に基づき、ガイドブックで推奨されているモデルを CFD コードに実装した。概要は以下のとおりである。

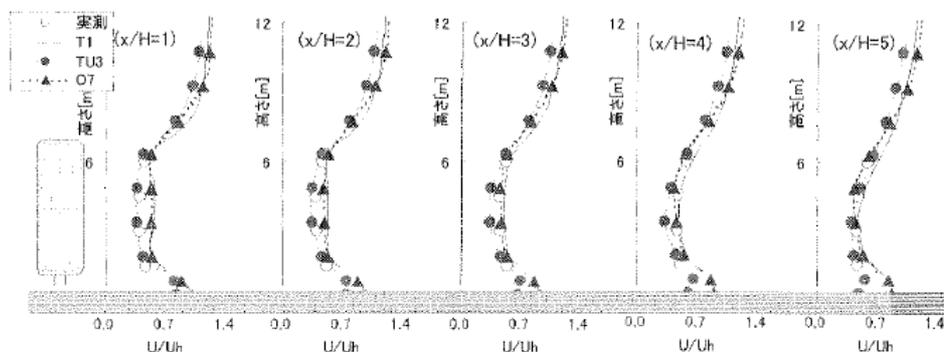
通常的气流計算に用いる方程式系に樹木の効果を付加する。具体的には、風速の方程式に風速低減効果をもたらす $-F_i$ 、乱流エネルギー k の方程式に生成効果を表す F_k 、散逸率 ε の方程式に生成効果を表す F_ε を加えることで、樹木の影響を考慮している。ただし、 C_f 、 $C_p \varepsilon 1$ をモデル係数、 $a[m^{-1}]$ を葉面積密度として、以下のとおりである。

$$F_i = C_f a u_i \sqrt{u_j^2}, \quad F_k = u_i F_i, \quad F_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{k} C_{p\varepsilon 1} u_i F_i$$

樹木モデルの精度は、ガイドブック所収の検証データと同様の条件でシミュレーションを行い、結果を比較することで検証し、良好な結果を得た。検証計算の結果の例を図 16 に示す。



$norm=(u^2+v^2+w^2)^{1/2}$ 、赤で示した部分は樹木を設定した高さ



$H=7.0[m]$ (樹木高さ) , $u_H=5.2988[m/s]$ (樹木高さにおける流入側の風速)

図 16 樹木モデルの検証計算結果の例 (上：当社 CFD モデル、下：ガイドブック)

③反応モデルの検証

前年度調査において、NO₂濃度で評価できるようにするために、NO_x-O₃反応（4成分5反応モデル）をCFDコードに導入した。反応系は(k₁): NO₂+hν→NO+O、(k₂): O(+O₂)→O₃、(k₃): O+NO₂→NO(+O₂)、(k₄): NO+O₃→NO₂(+O₂)、(k₅): O₃+hν→O(+O₂)よりなる。反応速度定数及び光解離定数は、外部パラメータとして定数を与える。反応速度定数は気温をパラメータとする式で計算し、光解離定数は、季節・時間(=太陽天頂角=理論的日射強度)をパラメータとする理論式で計算する。ここでは雲などは考慮しないので、快晴を仮定した理想的な光解離定数となる。

本年度は、そのCFDコードで擬似的なボックスモデル・シミュレーション（5×5×5メッシュ空間・無風の計算）を行い、既往のボックスモデル計算結果と比較して、反応モデルの精度検証を試み、良好な結果を得た。検証計算の結果の例を図17に示す。比較的簡易な4成分5反応モデルの結果が詳細なCBM-IVと類似した計算結果を与えることから、4成分5反応モデルで地表付近における代表的な反応が記述されていると考えられ、反応過程は妥当な計算がなされていることが確認された。

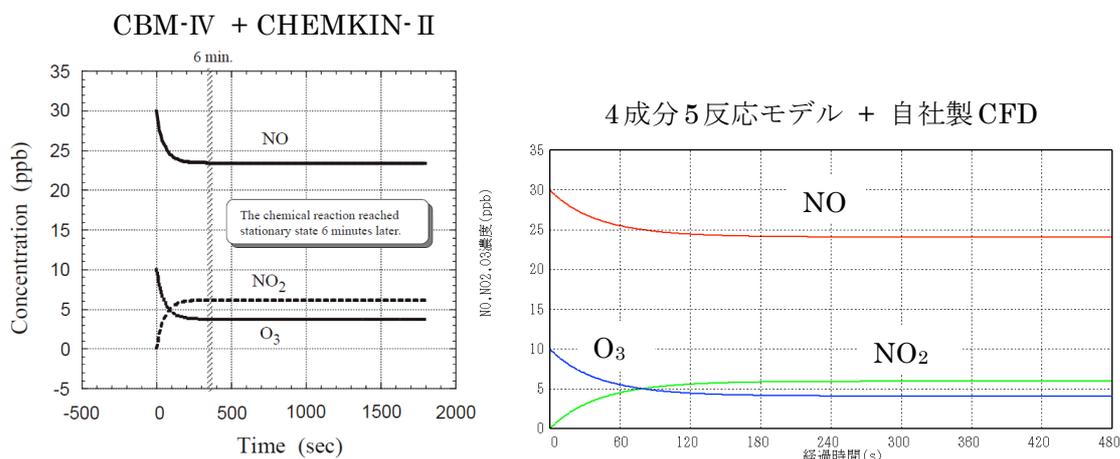


図17 反応モデルの検証計算結果の例（左：竹川ら(2000)、右：当社CFDモデル）

(6) 「気流モデル」及び「拡散モデル」の感度解析

CFDモデル・コードの精度検証及び特性把握の一環として、化学反応の各種パラメータに対する応答、樹木モデルの抵抗係数に対する感度、分解能に対する感度等を確認するシ

ミュレーションを行い、結果を整理・検討した。

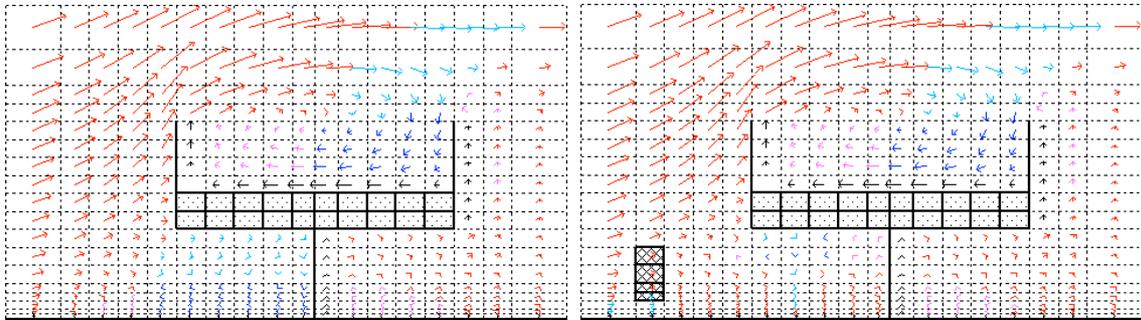
道路（発生源）を含む模擬市街地における反応モデルの各パラメータに対する二次生成NO₂濃度の応答の計算例は、表7に示すとおりである。バックグラウンドO₃に対する感度が大きく、このパラメータの適正な設定が重要であることがわかった。

表7 反応モデルの各パラメータに対する二次NO₂濃度応答の計算例

試算ケース	パラメータ調整	NO ₂ (ppb)	Δ(ppb)	対BC比
ベースケース	—	4.02	0.00	1.00
排出時NO ₂ /NO _x 増加	0.1→0.3	1.87	-2.15	0.47
BG_O ₃ (ppb)増加	18→54	7.55	3.53	1.88
気温(°C)上昇	25→35	4.31	0.29	1.07

* 模擬市街地、道路から約50m風下、地上1.75mの計算値の例

道路（発生源）・高架道路を含む川崎市・池上を模した模擬市街地における、樹木モデルの抵抗パラメータに対する気流の応答の計算例は、図 18 に示すとおりである。風上側・路側の街路樹が無い場合は、高架下の GW に沿って気流が下降するが、比較的強い抵抗係数を設定した街路樹を置いた場合、高架下の渦の方向が逆になることがわかる。それに伴い、道路近傍・地表付近の濃度分布も、抵抗パラメータによって変化することが確認された。



*右図のハッチング部に街路樹の樹冠を設定

図 18 模擬市街地における街路樹の有無に対する高架道路周囲の気流の応答の計算例

道路（発生源）・高架道路・GW を含む模擬市街地において、分解能による計算結果の応答を検討した例は、図 19 に示すとおりである。水平方向のメッシュ・スパンを 4m とした濃度分布は、より細かいメッシュ分割を用いた場合の濃度分布と比較して、差異が大きい。しかし、水平方向のメッシュ・スパンを 2m とした場合と 1m とした場合では、濃度分布に大きな差異が認められない。

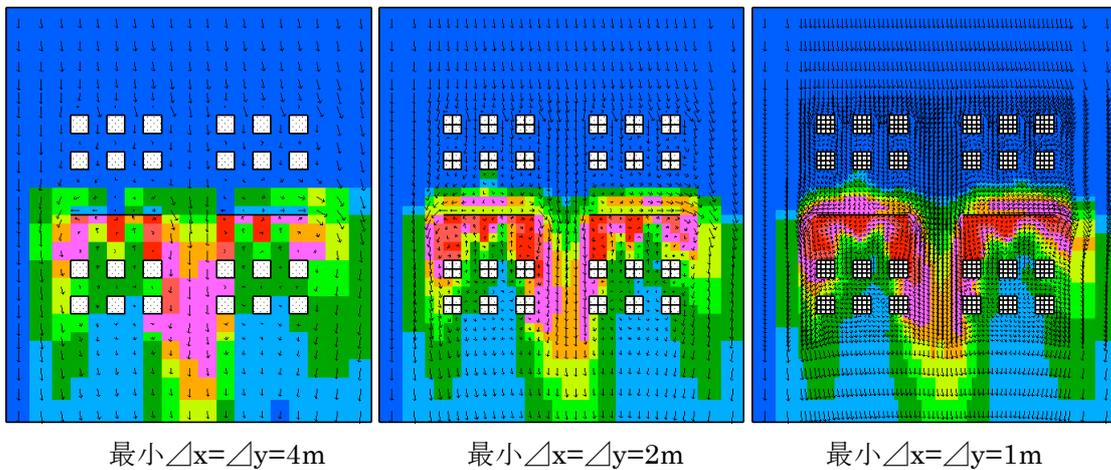


図 19 模擬市街地における水平分解能に対する地表付近の気流・濃度計算結果の違いの検討例

実際の川崎市・池上地点における試算シミュレーション（1. (3) 参照）では、上記の分解能に対する感度解析の結果等を勘案してメッシュ分割を行った。その結果、評価点（自排局の近傍）付近における水平分解能は、1.5m～2.5m とした。

【調査の成果】

本調査の主な成果を以下に示す。

- ・ ツールの汎用性を確保するために川崎市・池上以外の追加ケース・スタディ地点を検討し、四日市市・納屋局周辺を選定した。同地域で、現地調査（交通量調査、実路走行調査、実態調査等）を実施し、発生源作成に使用する基礎データ等を取得した。
- ・ 川崎市・池上局周辺（警察署前交差点付近）の地物・構造物等を詳細にモデル化した。また、四日市市・納屋局周辺についてもモデル化を行った。
- ・ 交通量、排出量等の実測データに基づく、自動車発生源排出量の算定方式を検討した。川崎市・池上を対象として、同算定方式による排出量モデルを作成し、現況排出量を試算した。また、その排出量と、JATOP/JCAP の池上における既往の発生源算定結果を比較し、大きな差異が出ないことを確認した。
- ・ 川崎市へのヒアリング調査、川崎市・池上及び四日市市・納屋の現地（実態）調査、検討会委員の提言などをもとに、評価対象候補となる条件・要素をリストアップし、ツール（モデル）への組み込みを検討した。その結果、樹木の効果、厚みの無い壁オブジェクト、走行風による初期拡散などを扱えるようにすることが望ましいとの結論を得た。
- ・ 上の検討結果をもとにして、CFD コードの改良・機能拡張を行い、樹木モデル、壁オブジェクト機能を組み込んだ。また、これらの機能及び前年度導入した反応モデルが、適正に組み込まれ動作していることを検証・確認した。
- ・ 改修・機能拡張した CFD コードにより、反応に係るパラメータ、樹木に係るパラメータ等に対する感度解析を行い、適正なモデル運用のための知見を整理した。また、川崎市・池上地点を対象とした予備的な試算シミュレーションを併せて実施し、NO_x 濃度がほぼ適正に再現できることを確認するとともに、静穏時対応の必要性などさらなる検討課題を明らかにした。
- ・ 専門家 5 名、環境省、川崎市担当者から構成される検討委員会を開催し、調査研究計画全体の方向性や実施内容の詳細に対する意見・要望を伺い、調査内容及び計画の見直しに活かした。

【今後の展望】

平成 22 年度は、20～21 年度調査の継続・補完作業に加えて、以下の各項目の調査内容を実施し、評価ツールを完成させるとともに、局地における環境改善効果評価技術を確立する。なお、以下に示す実施項目案については、環境再生保全機構及び検討委員に諮り、適宜修正を加える。

1. 排出量モデル・CFD モデル共通項目

(1) 追加ケース・スタディ地点の地物・構造物データの修正

追加ケース・スタディ地点（四日市市・納屋）について、必要に応じて地図に無い構造物の

追加など、今年度作成した地物・構造物データの詳細構造の修正を行う。

(2) 対策シミュレーション・メニューの検討

ケース・スタディ地点（2 地点）の該当自治体と適宜協議などを行い、(3) 項における試験シミュレーションの「対策ケース」の内容を決定する。

(3) 試験シミュレーション

整備された評価ツールを使用して、ケース・スタディ地点（2 地点）を対象とする試験シミュレーションを行い、結果を評価・検討する。実施内容は以下のとおり。

- ① 発生源情報の算定（現況ケース及び対策ケース）
- ② シミュレーションの実施（現況再現及び対策ケース）
- ③ 結果の評価・対策効果の検討など

2. 排出量モデル関連項目

(1) 対策メニューの検討

ケース・スタディ地点（2 地点）について、該当自治体へのアンケート調査結果などをもとに、評価ニーズのある排ガス抑制対策メニューについて、モデル化の可能性や排出量低減効果の定量化手法を検討する。

(2) 排出量・発生源情報等算定方式の検討

必要に応じて、21 年度に整備した排出量モデルの排出量算定方式の見直しを行う。

3. CFD モデル関連項目

(1) 現地気象観測調査

必要に応じて、重点ケース・スタディ地点（川崎市・池上）で気象（風向・風速等）観測を行い、「気流モデル」のさらなる精度向上のための基礎データを取得する。

(2) 「気流モデル」・「拡散モデル」の改修方針検討及びモデルの改良・機能追加

21 年度までの調査で明らかになった課題（初期拡散の導入、1 時間値/静穏時への対応など）等について、引き続き CFD コードの改良・機能追加の必要性や方針を検討する。以上の検討結果を受けて、CFD モデル・コードを改修し、改良・機能追加を行う。必要に応じて、(1) 項の気象観測データを、方針検討や精度検証に活用する。

(3) 「気流モデル」・「拡散モデル」の感度解析

CFD モデル・コードの精度検証及び特性把握の一環として、(2) 項で検討する初期拡散等に対するモデルの応答や感度を検証するシミュレーションを行い、結果を整理・検討する。