

メトロマニラにおける沿道SPMの観測と交通シミュレーション*

A Study on the Air Pollution and Microscopic Road Traffic Simulation in Metro Manila*

屋井鉄雄**・岩倉成志***・平田輝満****・白濱好文*****

By Tetsuo YAI**・Seiji IWAKURA***・Teru HIRATA****・Yoshi SHIRAHAMA*****

1. はじめに

大規模都市開発が進むメトロマニラでは、道路系交通需要が年々増加しており、都市内の至るところで交通渋滞が見られる。また、環境汚染源の中で自動車の排気ガスが占める割合が非常に大きく、交通量の増加に伴った大気環境の悪化が現在問題となっている。メトロマニラの主要な公共交通機関であるジプニーや大型バスは、整備不良やエンジン年式が古いこと触媒機能が低下しており、人体への健康影響が危惧されるSPMの主要発生源と考えられている。

このような地域での道路交通から生じる大気汚染低減策を検討するために、筆者らは図1に示すマクロな土地利用・交通需要シミュレーションモデル、ミクロな交通流・SPM排出シミュレーションモデル、局地気象シミュレーションモデルを統合して解析するシステムの構築を目指した。すなわち、マクロシミュレーション部（土井健司香川大教授が構築）の都市活動連関モデルによってメトロマニラ全域の土地利用と交通需要を推定する。この推定値を交通・環境マイクロシミュレーション部に受け渡し、交通流の動的な変化とSPM排出量の変化を推定する。ま

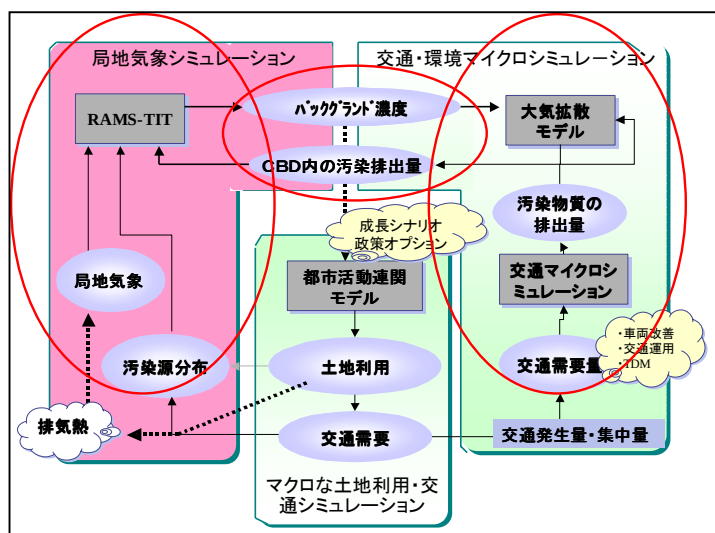


図1 環境改善政策シミュレーションのフレーム

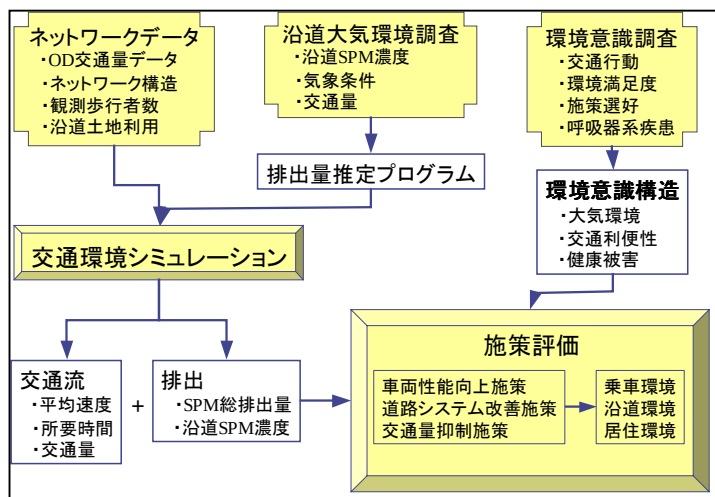


図2 交通・環境マイクロシミュレーションの研究内容

た、大気汚染濃度は大気の状態によって希釈や濃縮が起き、都市域の複雑な風系場によっても変化する。このため、局地気象シミュレーションモデル（神田学東工大助教授が構築）を開発し、上述した自動車からのSPMの排出量との連携を図ることとした。

なお、本稿ではメトロマニラ・マカティ地区を対象として、SPMの実測調査を実施し、自動車を起源とするSPMの削減に向けた各種の交通政策を交通

*キーワード：SPM、交通シミュレーション、気象解析、メトロマニラ

** 正員、工博、東京工業大学大学院土木工学専攻
(東京都目黒区大岡山2-12-1、
TEL03-5476-2693、FAX03-5734-3578)

*** 正員、工博、芝浦工業大学土木工学科
(東京都港区芝浦3-9-14、
TEL03-5476-3049、FAX03-5476-3166)

**** 学生員、工修、東京工業大学大学院土木工学専攻

***** 学生員、東京工業大学大学院人間環境システム専攻

ミクロシミュレーションによって評価をおこなった結果を中心に述べることにする。

2. マカティ地区の大気環境

(1) マカティ地区における SPM 濃度

SPM に対するフィリピンの環境基準は、24 時間平均で 150g である。他国に比べると環境基準のハードルはいくぶん低いと言える。例えば、日本では 100g、タイは 120g、インドは 75～150g（土地利用によって異なる）、マレーシアで 150g である。

それでは、マカティ地区の大気濃度はどの程度なのかを見てみよう。マカティ地区の中でも人通りの多い Makati Avenue と Ayala Avenue、EDSA の SPM 濃度は、平均 130g で、特に朝と夕方で 150 g を超える高い濃度となっている。時折、200g を超える非常に高い SPM 濃度が観測されているが、ジープニーなどのディーゼルエンジン車で特にメンテナンスが不十分な車が通過すると、高い濃度を示す。

以上の観測結果から、マカティ地区の大気環境の改善が急務であることがわかる。このような高濃度の SPM が発生する主な原因は、メンテナンスが不十分なジープニーやバスなどのディーゼルエンジン車である。

(2) ジープニーやバスから排出される SPM

世界銀行は、フィリピンの車種別の排出原単位を、自動車 が 0.098g/km、ジープニーが 0.87g/km、バスが 1.37g/km と 1992 年に報告している。一方、日本の排出原単位(1996 年値)は、自動車 が 0.022g/km、ジープニーと同規模のトラックが 0.17g/km、バスが 0.59g/km である。フィリピンは、自動車、ジープニーで約 4 倍、バスで 2 倍の排出がある。

著者らは、大気拡散モデルを利用して、沿道で測定した SPM 濃度から排出原単位を推定する方法を開発した。大気拡散モデルとして、Puff モデルと Plume モデルを用いた。Puff モデルは風速 1 m/s 以下に適用し、Plume モデルは風速 1m/s 以上に適用される。Makati Medical Center 前の Ayala Avenue でおこなった観測データを用いて、車種別の排出原単位を推定した結果を表 1 に示す。Puff モデルを用いた推定結果は、自動車 が 0.050g/km、ジープニーが 2.43g/km、バスが 4.05g/km となった。Plume モデルを用いた推定結果は、自動車 が 0.022g/km、ジープ

表 1 車種別 SPM 排出原単位の推定結果

g/台km	 Car	 Jeepny	 Bus
Plume model	0.0222	0.343 – 0.773	1.21-1.37
Puff model	0.0500	2.43	4.05
World Bank(1992)	0.0977	0.866	1.37
Tokyo(1996)	0.0222	0.165 Truck	0.585

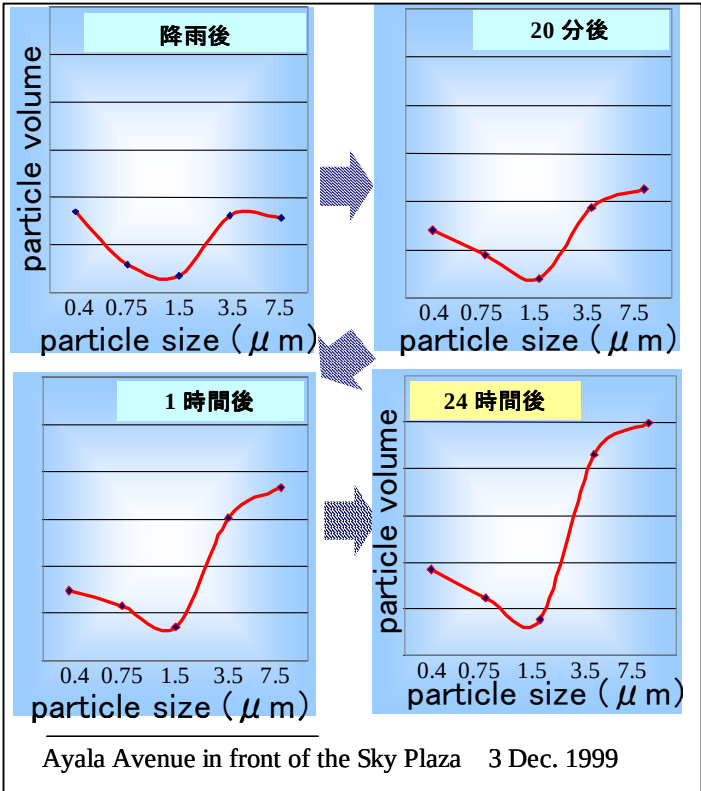


図 3 降雨後の粒形別 SPM 排出量

ニーが 0.343～0.773g/km、バスが 1.21～1.37g/km となった。沿道の濃度データから排出原単位を推定する本方法は、まだ研究途上であるが、世界銀行の報告と類似した傾向が出ている。

いずれにせよジープニーやバスの SPM 排出量が大変高く、これらの公共交通の排出量を削減することが SPM 濃度を低下させる上で、大きなキーポイントとなることがわかる。道路空間で排出された SPM は、大気を浮遊して広域に拡散すると言われるが、道路沿いの歩行者への影響は非常に大きい。

(3) 気象条件と SPM 濃度との関係

前節までで述べたように、温度や風速の変化などの気象条件が SPM 濃度に影響する。もう一つの特性である雨はどの様に影響するであろうか。フィリ

ピンの雨量は世界的にみても多いと言われる。雨が降ると、大気汚染物質が雨によって流され、空気がきれいになるというイメージをいだきがちであるが、そのイメージは正しいのであろうか。図4は、雨が止んだ直後からの SPM の粒径分布の変化を表したものである。時間とともに粒径の大きな粒子ほど、粒子数が増加する傾向にある。この理由として、粗大粒子は、雨によるエアロゾル除去の効果が粗大粒子ほど大きく、微小粒子ではその効果がほとんどないことがあげられる。また、雨が止んだ後は、自動車の排出ガスにより SPM が供給され、降雨によって減少した粗大粒子が空気中に堆積していくと考えられる。微小粒子も供給されるが、降雨による変化がほとんどないため、粒子数は安定していると考えられる。降雨の多いマニラであるが、その影響で除去されるのは粗大粒子であり、健康への悪影響が強い微小な粒子は変化しないことがわかる。

3. 交通・環境シミュレーションシステムの構築

(1) システムの概要

交通マイクロシミュレーション PARAMICS を活用し、マカティ地区および周辺の道路ネットワークを構築し、MMUTIS データを利用して交通流を再現するとともに、排出ガスによる環境影響を分析するプログラムを作成した。このシステムを用いて、住民・沿道歩行者・公共交通利用者の各視点から、交通政策による交通流及び大気環境に対する効果の評価を行った。

道路ネットワークはメトロマニラの地図と現地調査それぞれを参考に作成し、レーン数、道路構造、信号現示などは現地観測に基づいて作成している。ネットワークはおよそ4 km四方で、ネットワーク上のノード数は462、リンク数1243、総リンク長は341.85kmで、ゾーン数は23となっている。

先述したように、OD 交通量データは、メトロマニラ首都圏全体を対象とした MMUTIS データ(384zone)の OD 交通量をマカティ CBD 内(23zone)及び、CBD 周辺地域(7zone)の OD 交通量に集約し、かつ時間帯別 OD 交通量に独自に修正した。

マニラでは、頻繁な車線変更やバス、ジプニーの2重停車などわが国とは異なる走行環境にある。このため、本システムではバス・ジプニーの運転挙

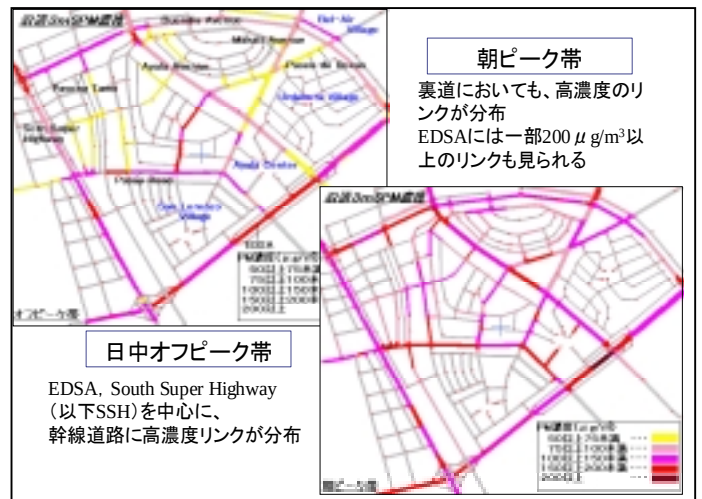


図4 Paramaics による沿道 SPM 濃度の推定

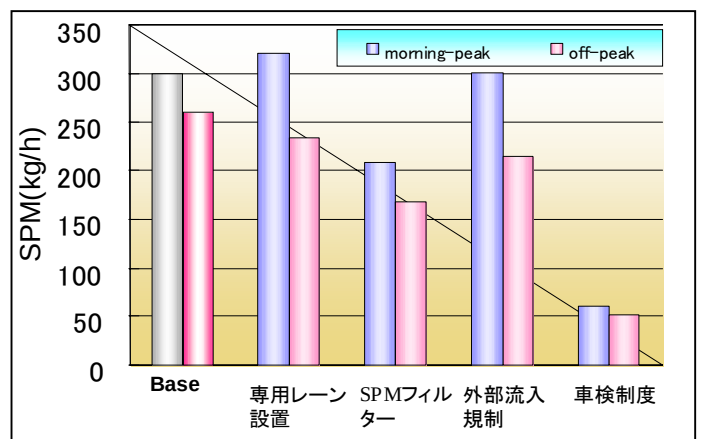


図5 各種政策の分析結果

動を表現するように、車種別に加速度、最高速度をMMUTIS のデータをもとに車両運転挙動プログラムの改良を行った。また、高級住宅地 (Village) では住民以外の通行が制限されており、周囲の交通に影響を与える原因の1つとなっている。Village の特徴である a)通り抜け交通の排除、b)車両速度を低下させる構造を表現するように設定を変更した。

アウトプットは、平均速度、交通密度、所要時間などの交通流と、各道路リンクの道路端から3 m地点の SPM 濃度である。

(2) 交通流の現況再現性

現況再現性をマカティ内主要幹線道路6地点の朝ピーク時間帯10分間断面通過交通量の計算値と、観測交通量とをよって比較した。重相関係数は0.9であり、概ね良好に再現されていることがわかる。幾分過小推計になっている地点が見受けられるが、シミュレーションの再現精度としては、感度分析や日交通量の変動からも許容範囲であると考えられる。また、主要幹線道路4路線において、平均走行速度を

観測値とシミュレーションによる計算値とで比較した結果、比較的観測値データよりも計算値の平均速度が高い結果となっているが、重相関係数は約 0.8 で、概ね良好に再現されている。

(3) 各種交通施策の分析結果

下記の 4 種の交通施策の分析した。

- a) バス・ジプニーへの SPM フィルター搭載義務化：SPM 排出量が、バスとジプニーとで 80% カットされたと仮定し計算を行った。
- b) バス・ジプニー専用レーン設置：Ayala, EDSA, South Super Highway の主要幹線道路において外側 1 レーンをバス・ジプニー専用レーンとした
- c) MAKATI 内流入規制：流入規制が実施され、MAKATI 外部を起点にもつ交通量が 20% 減少させた。
- d) 車検制度導入：SPM 車種別排出係数を東京都の車種別排出係数の値と同一と仮定して計算を行った。

車両側の規制によって、大きな効果があげられる様子が図 5 からみてとれる。

(4) 歩行者の健康被害

Ayala Avenue の歩道の SPM 濃度の計測結果から歩行者の健康被害について検討する。観測結果より道路路際から 2m の SPM 濃度は約 $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、7m の SPM 濃度は約 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。5 m で約 20% 減じられるものの、歩道上の SPM 濃度は自動車からの排出の影響を大きく受けている。道路路際から 20 m ほど離れると、50% にまで減じられるが、それ以上の距離での変化は非常に少ない。

Ayala Avenue における一日の歩行者量と SPM 濃度を観測した。歩行者量は一時間あたり 1500 人程度で 14 時がピークである。一方、SPM 濃度は午後になるに従って後述する接地境界層の層厚の影響で、低下する。この観測結果に、平均歩行距離 208 m、平均歩行速度 $66\text{m}/\text{min}$ 、そして平均呼吸量 6 リットル/min. を仮定すると、10 時台の歩行者の総暴露量は 3g、午後の総暴露量は約 1 g となる。午前中の歩行者への影響が相対的に大きい結果となった。SPM の分析を行う際には、このような歩行者交通量との関係を分析することが重要であり、前節で解説したシミュレーションシステムもこのような歩行者への影響を評価できるようにしている。

4. 局地気象シミュレーション

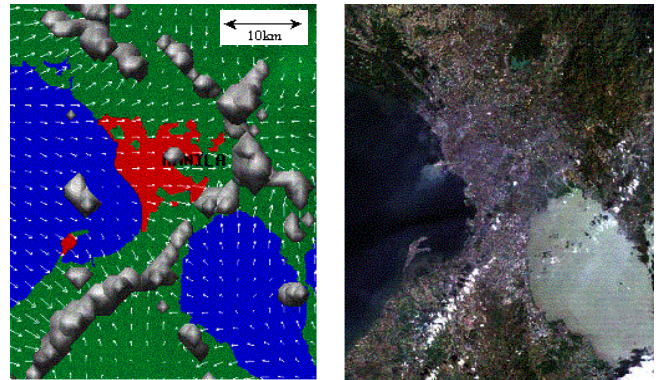


図 6 RAMS-TIT の積雲シミュレーション

SPM 濃度は、大気状態によって、濃度が変化する。接地境界層（地表の影響を受ける層）と呼ばれる空気中の浮き蓋があり、太陽放射によって地表面温度が高くなると熱対流が発生し、浮き蓋が上昇する。結果的に、午後になると、SPM 濃度が薄くなるという自然の仕組みがある。大気汚染の分析には、気象条件を考慮したシミュレーションシステムの開発が大変重要であると言える。

1. で述べたように、本稿で紹介した交通・環境マイクロシミュレーションシステムは、神田学東工大助教授によって開発された RAMS-TIT とのリンクを図っている。この RAMS-TIT によって、接地境界層の層厚変化の影響と複雑な局地風の変化の影響をシミュレートできる。図 6 に示すように道路上から一定の汚染物質の排出がされた場合、マニラ湾の局地風の微妙な圧力バランスによって、マニラ湾とラグナ湖の間に風速収束線が存在することが把握できている。

5. おわりに

マカティでは高い SPM 濃度が観測されており、SPM 濃度の削減のための対策が必要である。特にジプニーやバスからの SPM 排出量が多く、これらの車両に対するメンテナンスの強化などの対策を行うことが必要である。さらに、マニラのような降雨が多い特有な都市気象をもつ都市では、交通シミュレーションと気象シミュレーションとのリンケージが不可欠である。

参考文献

- 1) 「メトロマニラの環境保全」シンポジウム発表論文集、日本学術振興会、2001