

途上国大都市の交通公害の診断と対策立案のための支援システム

開発途上国大都市では交通公害問題が顕在化しており、その対策立案及び実施は急務である。しかし、交通公害の発生から波及までのプロセスが広い分野に及ぶ上に、対策の効果影響発生メカニズムが複雑なことから、総合的・包括的な対策立案が困難であった。そこで、交通公害の調査・診断及び対策立案のプロセスを「人間ドック」のアナロジーとして整理するとともに、調査マニュアルや既往対策事例に関する知識データベースを組み合わせたGUI型エキスパート・システムとして、支援システムを構築した。このシステムにより、途上国の交通及び環境専門家にとって、より簡便・システムティックに現状診断と対策立案が可能となった。

キーワード 途上国援助，人間ドックのアナロジー，交通公害の診断及び対策立案，エキスパートシステム，知識データベース

表 明榮

工博 (財)運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員

加藤博和

工博 名古屋大学大学院工学研究科助手
(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所客員研究員補佐

林 良嗣

工博 名古屋大学大学院工学研究科教授
(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所客員研究員

中村英夫

工博 (財)運輸政策研究機構運輸政策研究所所長

1 研究の背景と目的

1980年代以降、アジア地域を中心に、開発途上国の経済は大きな発展を遂げ、大都市への人口集中及びモータリゼーションが急速に進展してきた。その結果、バンコク、ジャカルタ等の大都市では、道路交通の混雑とそれに伴う大気汚染等の交通公害が、極めて深刻な問題として露呈してきた。これは、鉄道・道路等の整備の遅れや公共交通機関の軽視といった交通インフラ供給側の要因と、車齢が高く大気汚染物質を高率に排出する車の存在、車検制度の未整備などの自動車側の制度的諸要因が、住民の環境問題に対する認識の少なさに重なって生じていると言えよう。交通公害は、途上国の都市住民の健康、国及び都市の健全な経済発展を阻害するほどの重大な社会問題にまで至っており、早急に改善することが求められている^{1), 2)}。

しかし、開発途上国においては、交通公害を効果的かつ効率的に改善するための対策を立案し実施するためのノウハウ・人材・技術・資金等が不足しているのが現実である。途上国大都市の交通公害問題は、以上の多種の要因群が、気候、地形、交通慣習等の、国や都市固有の要因と複雑に作用し合っている。対策の範囲も、自動車・燃料・交通・法律・経済などの多岐にわたっており、その効果も対策間で複雑に連関している。したがって、以上を考慮した総合的なパッケージとして策定しなければ政策は意味をなさないことが一般的である。このような作業は、個々の分野の専門家では対

応が不可能であり、交通管理機関や環境所管官庁だけでも困難である。

一方、先進各国は、1960年代以降、深刻な交通公害とその克服の過程を経てきており、多くの経験と知識を有している。また、開発途上各国の交通問題については、日本をはじめとする先進国や国際機関によって様々な開発調査援助プログラムが実施され、また、途上国独自でも調査がなされており、既に相当の経験や知識が蓄積されている場合も少なくない。その意味からも、先進国等の経験を生かした、開発途上国の環境改善への援助の意義は大きい。そのためのシステムティックな方法論は、先進国側にもまだ存在しない。

そこで本研究では、交通公害の程度を簡便な方法で把握・分析し、先進国等の経験も参照しつつ、対策とその改善効果を容易かつシステムティックに提示できる、交通公害診断・対策立案支援システムを構築することを目的とする。さらに、システムの適用可能性を検討するために、名古屋市³⁾をレファランス都市に選ぶとともに、ケーススタディ対象都市としてインドネシアのジャカルタ、中国の大連、エジプトのカイロを選び、システムを適用している。本論文では、特にジャカルタの分析結果を用いながら支援システムの機能を説明する。なお、交通公害には大気汚染、騒音、振動等があるが、本研究では開発途上国で特に問題視されている大気汚染を対象を絞って分析を行う。

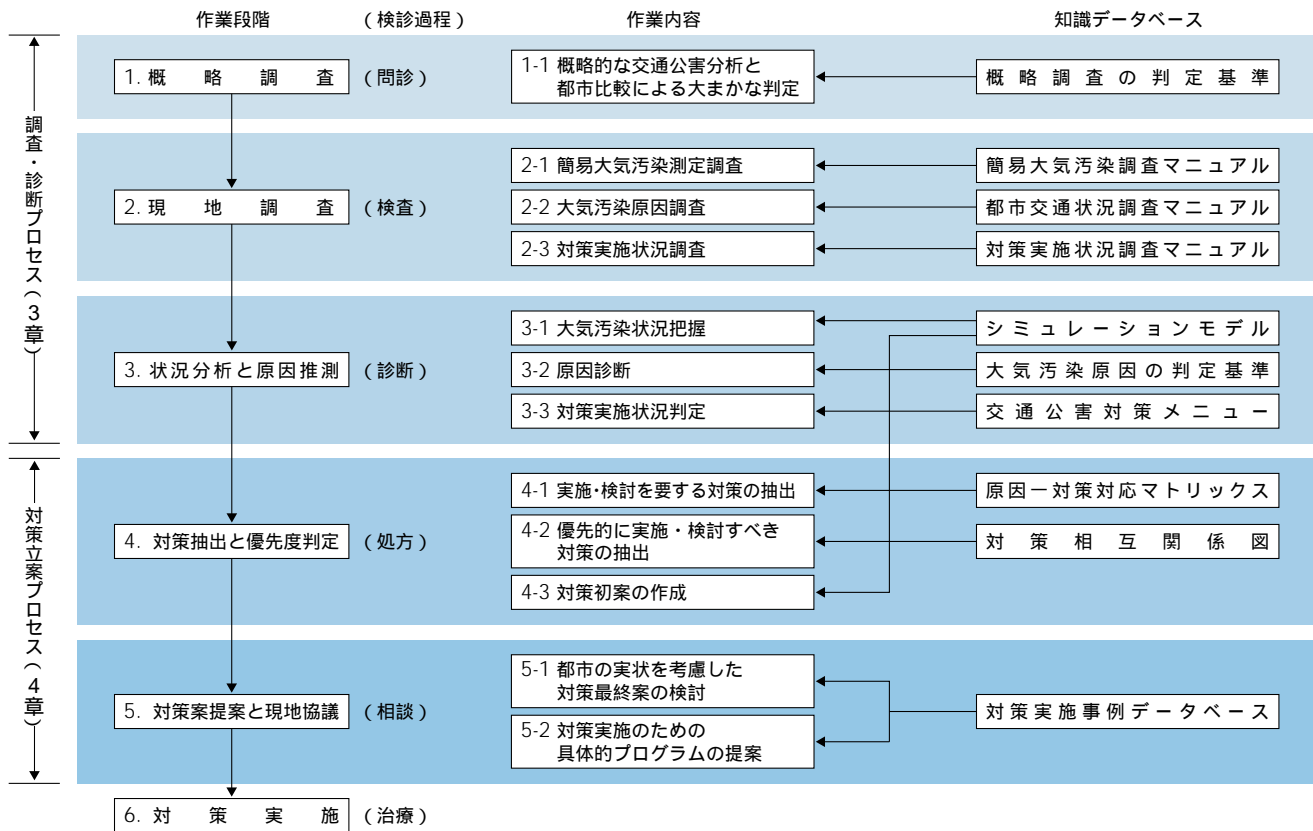


図 1 交通公害の調査・診断及び対策立案プロセス

2 支援システムのコンセプト

2.1 システム構築の方針

2.1.1 交通公害の調査・診断及び対策立案プロセスのとりえ

対象都市の交通公害を把握し、複雑な因果関係の中から原因を見だし、有効な対策を抽出して提案することは容易なことではない。したがって、可能な限りこれを簡単化する方法が必要とされる。考えるに、交通公害調査・診断及び対策立案プロセスは、人間の身体を対象に検査を行い診断・処方していく「人間ドック」⁴⁾での健康診断に類似している。永年の経験をもとに改善が進められ、合理化された人間ドックの方法がシステムティックで分かりやすいことに倣い、ここで構築する大都市交通公害の診断・対策システムは、人間ドックでの被験者を調査対象都市と見なして、その健診プロセスのアナロジーとして考えることとする。

全体のプロセスは、具体的には図 1 のように示される。まず、健康診断での「問診」に当たるのが1)「概略調査」であり、都市の環境状況や対策の現状の概要が質問に答える形で整理される。次に「検査」として、2)「現地調査」が行われ、検査項目について既存の資料を収集するとともに、必要な測定が現地での観測をも含めてなされる。検査結果にもとづいて健康状態の「診断」がなされると同様に、システムに入力された調査結果にもとづき、大気汚染の3)「状況分析と原因推測」が行われ、

交通環境の評価とそれをもたらす原因の推測を従来の経験を基にして行う。次いで診断結果に対する処置案の提出、すなわち「処方」に当たる4)「対策立案」を行う。ここでは、状況改善のための対策の優先度を、既にシステムの知識データベース内に整備されている交通公害対策メニューや、交通公害の原因と対策間、及び対策相互間の因果関係情報を用いて判定し、必要な対策を選定・提示する。最後に、処置についての患者との「相談」に相当する段階へ進む。この5)「現地担当者への「対策案提案と協議」では、選定・提示された対策についての社会的合意の可能性などについての検討を加えて、対象都市の事情に基づいて対策の実行可能性を検討し、対策最終案をまとめる。これらが終わった後、「治療」に当たる6)「対策実施」に移ることになる。

2.1.2 GUI型エキスパート・システム⁵⁾

本システムの設計にあたっては、交通公害対策の経験が浅い途上国の交通及び環境専門家にも容易に利用可能となることを念頭に置いている。そのため、人間ドックでの方法と同様に、調査・診断及び対策立案プロセスをエキスパート・システムとして組み立てるのが適当であると思われる。

支援システムの概念は、図 2 のように示される。本システムは、システムの管理者により、レファランス都市をはじめ、各都市の環境状況・対策の経験・知識が知識

データベースに収納管理され、また、シミュレーション・モデルが整備される。一方、システム利用者は、システムの知識データベースに保有されている調査マニュアルに沿って現地状況調査を実施し、その結果をシステムに入力する。そして、この知識データベースを用いつつ、エキスパート・システムによって診断され、処方が提示されてゆき、さらにこの都市のデータも蓄積されてゆく。

このシステムは、コンピュータに習熟していない人でも容易に利用可能なGUI(Graphic User Interface)型とし、システムと利用者の情報のやり取りによって診断及び対策選定プロセスが進められるように設計する。

2.1.3 交通公害対策知識データベース

本システムには、日本など先進国や途上国各国における既存の経験や知識に基づいた情報を蓄積し、必要に応じて引き出し、参照できるような機能を持たせている。本研究では、その知識情報を以下の4種類に整理している。

- a) 調査方法データベース(「2現地調査」で使用): 交通公害の症状・原因・対策実施の現状に関する簡便な調査方法をマニュアル化したもので、対象都市の現地調査に用いる。
- b) 診断基準データベース(「3状況分析と原因推測」で使用): 調査結果の判定基準を先進国のデータを利用して設定したもので、対象都市の現状判定に用いる。
- c) 対策間相互関係データベース(「4対策抽出と優先度判定」で使用): 各対策どうし、あるいは対策と交通公害原因との間に存在する因果関係や、ある対策を実施するための前提として必要な対策の情報であり、対策の必要性や実施優先順位を決定するために用いる。
- d) 対策データベース(「5対策案提案と現地協議」で使用): 各対策の内容、効果、必要な費用、フィージビリティ、実施手順などといった、対策の実施検討にあたって参考となる、各国の類似の対策実施経験をはじめとするデータをまとめたもので、対策案の検討や現地協

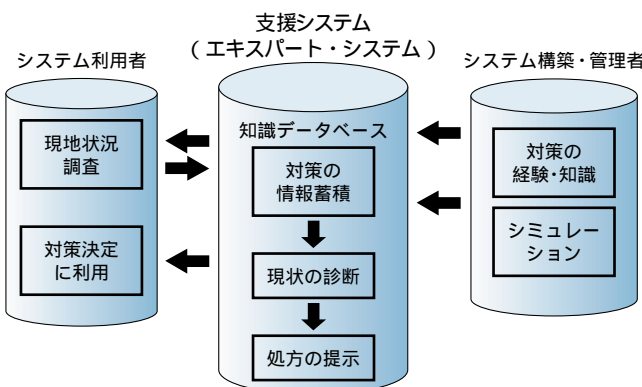


図 2 支援システム概念

議に用いる。

以上の知識データベースを組み込むことによって、交通公害改善対策立案時の参考書として使うことが可能であり、交通公害に関する経験の必ずしも多くない途上国の専門家による対策立案にとって有用であると考えられる。

2.2 エキスパート・システムを用いた対策立案プロセス

本システムにおける、エキスパート・システムを用いた交通公害対策立案プロセスの全体についての概念的な理解を得るために、簡単な記号を用いて説明する。図

3はこれを図示したもので、以下の手順として説明される。

(1) 原因 - 対策対応マトリックス[R]

対策*i*が、原因*j*の除去に対して、どれほどの効果を有するかを表示したマトリックスである。

$$R_{ij} = 2(\text{大きな効果あり}), 1(\text{小さな効果あり}), 0(\text{効果なし})$$

R_{ij} は、どの都市に対しても共通の値をとるものであり、4.2節に示す「対策相互関係図」より求められる。

(2) 原因診断結果ベクトル[c]と対策実施状況ベクトル[m]

[c]と[m]の両ベクトルは、それぞれ、対象都市における交通公害原因の深刻度と、既に対策がどの程度実施されているかを示す。これらは、都市ごとに異なる固有の値をとるものであり、現地調査は、これらの値を与

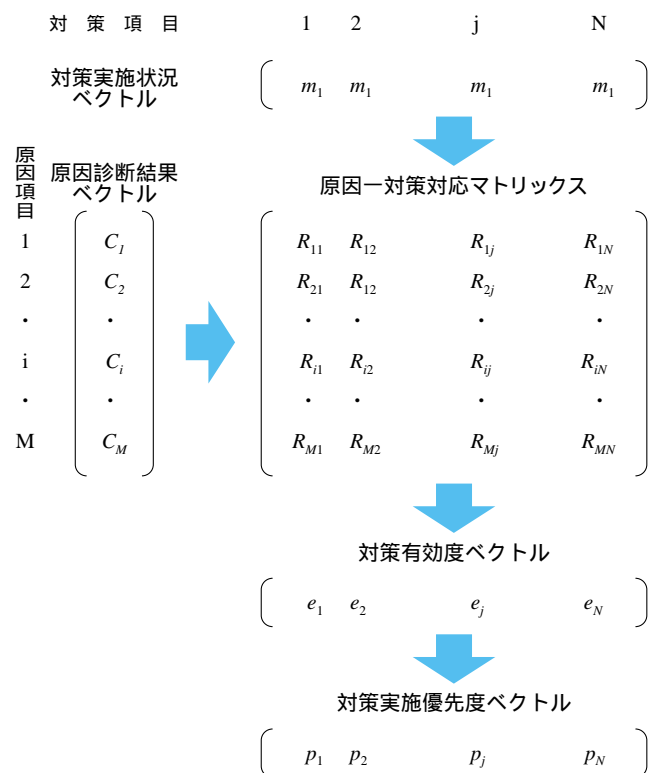


図 3 対策立案プロセスの全体概念

えるために実施される。また、その値が直接与えられない場合には、シミュレーションによって求められる場合もある。

(3) 対策有効度ベクトル[e]

原因 - 対策対応マトリックス[R]を用いて、各対策と関係のある原因項目を参照し、その診断結果が悪いものが多いほど、対策の有効度が高くなると考えられる。そこで、下式を用いて対策有効度 e_j を定義する。

$$[e] = [c]^T \cdot [R]$$

ここで、 $c_i = 0, 1, 2, 3, 4$

(診断結果は5段階で、値が大きいほど悪い)

(4) 対策実施優先度ベクトル[p]

対策 j の有効度 e_j と、対策実施コスト k_j 、対策の即効性 f_j から、対策実施優先度 p_j が判定される。

$$p_j = p(e_j, k_j, f_j) = p_1(e_j) + p_2(k_j) + p_3(f_j)$$

ここで、 $p_1(e_j)$: e_j の単調増加関数

$p_2(k_j)$: k_j の単調減少関数

$p_3(f_j)$: f_j の単調増加関数

3 調査及び診断プロセス

本章では、システムの前半部分を構成する、対象都市における現地調査と、その結果の診断に関するプロセスを説明する。

表 1 概略調査の項目

大項目	個別項目
1. 社会・経済	・都市の主たる機能 ・人口・人口増加率 ・平均所得水準
2. 自然環境	・砂塵の多さ ・地形条件(大気汚染物質の滞留しやすさ) ・夏季等、2次大気汚染(O ₃ , NO ₂ 等)の発生しやすさ
3. 大気汚染対策・意識	・市民・マスコミ等の大気汚染問題への意識の高さ ・大気汚染測定局の整備 ・大気汚染発生源への規制の厳しさ
4. 土地利用	・土地利用の密度 ・工場等の固定発生源の多さ ・緑被の多さ
5. 交通施設	・都心部の道路網の整備度 ・都市外周部の道路網の整備度 ・交通管制施設(信号機, 交通標識等)の整備度 ・幹線道路の平均幅員(車線数) ・バス路線網の密度 ・軌道系路線網(鉄道, 地下鉄等)の充実度
6. 交通状況	・モータリゼーションの進展度 ・交通手段構成 ・都心部の交通渋滞度 ・都市外周部の交通渋滞度 ・混合交通の度合 ・大型貨物車の混入率 ・運転者の交通モラル ・路上駐車多さ
7. 大気汚染度	・都心部の幹線道路周辺の大気汚染度 ・都市外周部の幹線道路周辺の大気汚染度 ・工場等の周辺の大気汚染度 ・住宅地の大気汚染度 ・スモッグの発生度 ・大気汚染関連の健康被害度

3.1 概略調査 [図 1の1-1参照]

概略調査は、対象都市における交通公害状況を概略的に調査し、大まかな診断を行うことによって、対象都市の交通公害調査・診断及び対策立案の必要性の有無を判定することを目的としている。

この段階で利用するデータは、各都市における既存資料、現地での簡単なヒアリング調査、あるいは、現地での専門家の直感的な判断結果である。概略調査項目は、表 1に示す7つの大項目に分けられ、その中にそれぞれ個別項目がある。

3.2 現地調査 [図 1の2-1~2-3参照]

現地調査は、対象都市における交通及び大気汚染状況を観測、または既観測資料を入手するもので、交通公害の状況と原因分析、対策立案、シミュレーションモデル作成等の基礎資料とする。

調査内容は(1)大気汚染測定調査、(2)原因調査、(3)対策実施状況調査の3種類である。これらの各調査マニュアルは、システム内の知識データベースに収納・管理されている。調査は、マニュアルに示された方法に従って、(1)大気汚染測定結果表、(2)原因調査表、(3)対策実施状況調査表の各記入項目を埋めればよいようになっている。

(1) 大気汚染測定調査

途上国大都市の交通起源の大気汚染把握では、従来、1)測定されたデータが少ないことと、2)測定されていても、各都市がそれぞれ異なった方法で測定してきたため、値の比較ができず、深刻度合の比較評価が難しい、という問題点があった。

そこで、本システムでは、二酸化窒素(NO₂)及び浮遊粒子状物質(SPM)について簡易測定器により濃度測定を実施する。これによって、大気汚染状況を短期間で簡便に把握するとともに、同一測定法の使用により都市ごとの濃度レベルの比較も可能となる。調査期間は平日2日間・休日1日間(祝祭日・雨季等の特別な期間を除く)とする。調査地点としては、高濃度が予想される都心部や繁華街の道路・渋滞のひどい幹線道路端、また、バックグラウンド濃度計測のために、道路や工場等の発生源からの影響が少ない住宅地を選定する。

ジャカルタ市においては、NO₂を23地点、SPMを4地点で測定した。さらに主要道路の断面交通量についても、3地点で3車種(バイク, 乗用車, バス・トラック)の上下線の交通量を、毎時間5分間ずつ測定した。結果の概略は、次の通りである。

a) NO₂: 道路近傍のほとんどの測定地点で、インドネシアの環境基準(日平均50ppb)を上回っている。最も濃

度の高い交差点では、環境基準の2～3倍程度である。最も濃度の低い住宅地でも、環境基準をやや下回る程度である。休日と平日の比較では、地点ごとに傾向が異なるが、全体的には平日の方がやや高い濃度を示す。

b) SPM：住宅地は、道路端に比べやや濃度が低い。時刻別では、午前弱風時に濃度が高く、午後海風が吹き始めると濃度が下がり、夕方に再び風が弱まり濃度がやや高くなる。休日と平日の比較では、各地点とも休日のほうがやや濃度が低い。交通量との関係では、交通量の少ない休日に濃度がやや低くなるものの、交通量とSPM濃度の明確な関係は見られない。

(2) 原因調査

原因調査は、交通公害の状況とその原因解明、シミュレーションモデルの作成等の基礎資料を得ることを目的とする。原因調査項目は、1)都市背景、2)発生源・車両、3)交通状況、4)その他、の4大項目に分けられ、その下に中項目、小項目、さらに個別項目がある。原因調査の必要なデータはインドネシア現地での既存資料⁶⁾、または直接の調査結果から求めたものである。

なお、これら項目の具体名は、後出の図 8に例示されている。

(3) 対策実施状況調査

対策実施状況調査は、各種交通公害対策が実施済・計画中か否か等を把握するとともに、具体的な実施状況や検討内容を把握し、今後の対策立案等の基礎資料とすることを目的とする。

対策実施状況調査項目は、1)発生源対策、2)交通量対策、3)交通流対策、4)その他、の4大項目に分けられ、それを分類した中項目、さらに細分化した小項目の

対策が示されている。これら項目の具体名については、後出の図 8に例示されている。対策実施状況調査表には、各個別対策項目についての、a)実施の有無(○：実施済、△：計画中、×：考慮なし)、b)具体的な実施状況、c)課題を記入する。

3.3 状況分析と原因推測 [図 1の3-1～3-3参照]

現地調査の結果を分析し、対象都市の交通公害状況の把握を行う。また、その都市における交通公害の発生原因診断と対策実施状況判定を行う。

(1) 交通公害状況の把握

対象都市の大気汚染状況は、3.2節の(1)大気汚染測定調査のデータからだけでは、限られた地点の汚染濃度しか分からない。そこで、対象都市における任意地点の濃度を推定する方法として、簡易大気汚染測定調査の結果と、現地で収集した交通量や気象条件等のデータから、公害研究対策センターの窒素酸化物総量規制マニュアル⁷⁾を参考に、交通起源大気汚染シミュレーションモデルを作成した。シミュレーションモデルは、図 4に示すように、交通量配分モデル、汚染物質排出量モデル、気象モデル、汚染物質拡散モデルの4つの計量モデルから構成される。

構築したシミュレーションモデルの精度を確かめるために、レファランス都市である名古屋に適用した結果、図 5に示すように、実際の測定値とモデルによる推計値の相関係数として0.80を得た。このことから、現況把握・将来予測や交通公害対策案の効果検討への適用に耐えうるものと考えられる。

このモデルを途上国に適用する場合には、その都度、

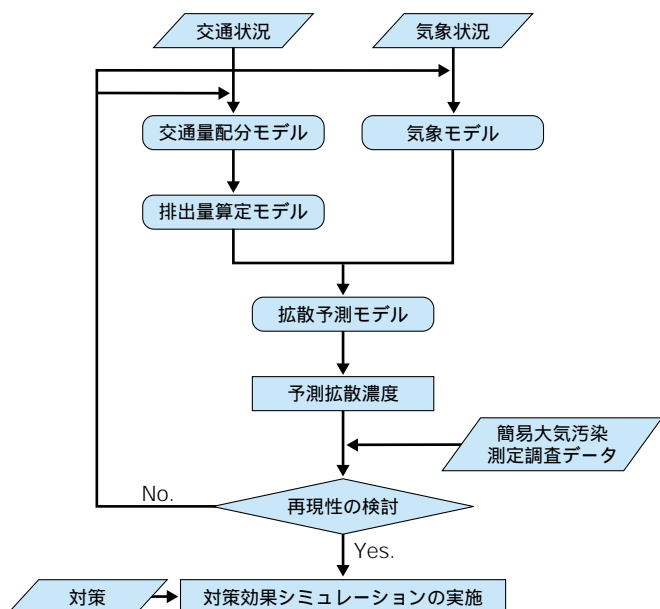


図 4 シミュレーションモデルの全体フロー

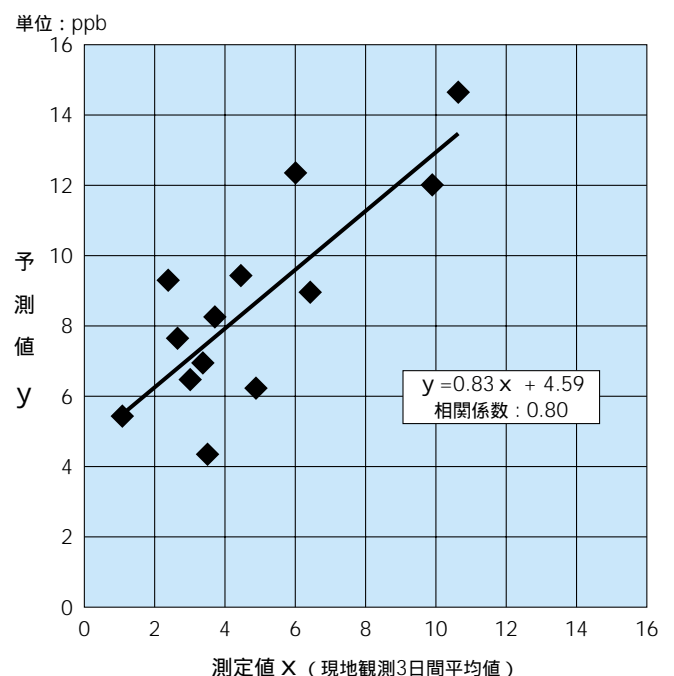


図 5 名古屋でのシミュレーションモデルの検証

対象都市でのモデル予測結果と現地でサンプル収集・測定した汚染濃度データとを突き合わせ、モデルの現況再現性を再度確認する必要があることは言うまでもない。このことに留意して、ジャカルタ市においても、シミュレーションモデルのキャリブレーションを行っている。図6に示すように、実測値とモデル推計値との相関係数は0.52であり、3日間の簡易測定値との比較としては相関がよい。したがって、現況把握や対策案実施効果の検討に適用可能と考えられる。

作成したシミュレーションモデルを適用した結果、現状(1995年)及び将来(2000年:現状以外の特別な対策なし)における、自動車寄与のNO₂年平均濃度分布推計値が、図7のように求められた。現状においても、中心部や幹線道路周辺の多くの地域でインドネシアの環境基準(日平均50ppb)を超えており、さらに2000年におい

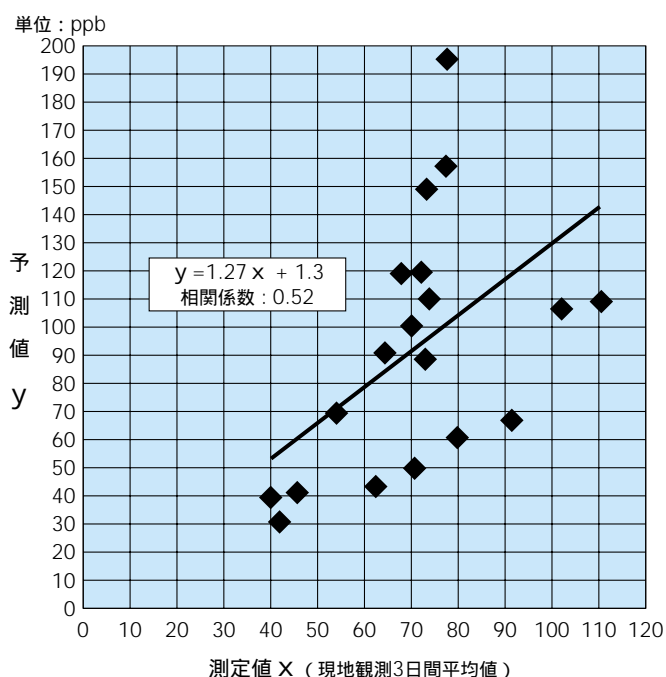


図6 ジャカルタでのシミュレーションモデルの検証

ては、新たな対策を実施しない場合、100ppbを超える地域も多く出現する状況が予測された。

(2) 原因診断

交通公害発生の原因を把握するために、3.2節の(2)原因調査の結果を用いて、図8(a)に示す原因診断表がシステムによって作成される。

まず、原因調査における各個別項目の調査結果から、原因診断表の各小項目の値が求められる。各小項目については、あらかじめ日本の主要15都市データの平均と標準偏差から、最悪をE、最良をAとする、A、B、C、D、Eの5段階の判定基準が作成されており、この基準を用いて小項目の判定を行う。さらに、数個の小項目をまとめた中項目の評価値として、中項目に含まれる各個別項目の平均値をとる。

図8(a)の原因診断表には、ジャカルタにおける大気汚染原因の診断結果が記入されている。結果は以下のように解釈される。

1) 都市全般の状況分析

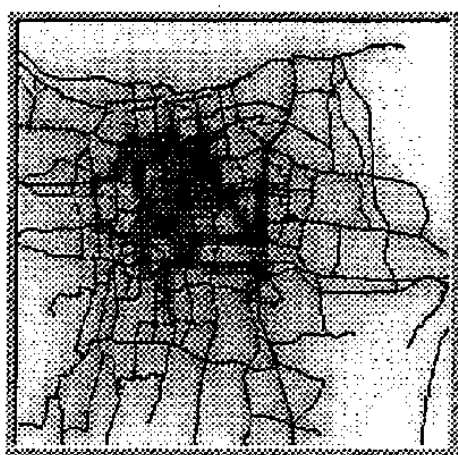
人口増加・都市圏拡大・自動車交通集中が激しく、大気汚染や交通渋滞が問題になっており、この状況は今後も続くと思われる。

都市圏の適切な土地利用計画がなく、民間業者による無秩序な開発によるスプロール現象が発生している。

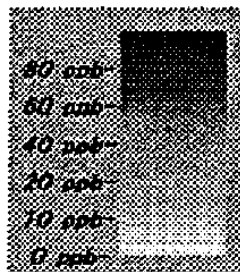
交通公害対策に関する社会的・行政的・技術的能力や意欲がある。

大気汚染発生源として、移動発生源である自動車が多い。工場等は周辺都市に立地しているため、固定発生源によるものは少ない。

乾季と雨季がはっきりしており、乾季には大気汚染がひどい。



(a) 1995年



(b) 2000年(追加対策無しのケース)

図7 ジャカルタにおける自動車の寄与濃度予測値(NO₂,年平均)

幹線道路の60%の区間では、交通量が交通容量を上回っている。

商業・宿泊施設等の複合施設は大量の交通量を発生する一方、駐車規制が整備されておらず、渋滞を引き起こしている。

不適切な信号制御及び鉄道踏切による交通遮断に起因する渋滞が多い。

駅へのアクセスとして、非軌道系の接続等が悪い。また、鉄道の定時率も、出発69%、到着6%と低い。このため、鉄道の利用率が低くなっている。

駅前には人家が迫っており、ターミナル機能はない。軌道系の車両は車種が多く、維持修理のための機材調達が困難なため、車両の休車率が20~40%と高い。

<その他>

連続大気汚染測定は6~8日毎に行われている。しかし、一部測定局は予備部品がなく、測定を再開することができないなど、測定機器の整備、維持・管理状況が悪い。

(3) 対策実施状況の判定

3.2節の(3)対策実施状況調査の結果を用いて、図8(b)に示す対策実施状況判定表が作成される。小項目の判定には、対策実施状況調査表に記入した実施の有無が入る。中項目の判定は、各中項目内に含まれる小項目の判定結果の平均値をとる。

図8(b)の対策実施状況判定表には、ジャカルタにおける対策実施状況の判定結果が記入されている。判定結果は以下のように解釈される。

- 1) 発生源対策では、現在排ガス規制が実施されており、規制値の強化に向けてガソリンの無鉛化も計画されている。
- 2) 車検制度自体は実施されているものの、車両検査場が不足し十分な検査が実施されていないため、検査場の新設、検査機器の整備が計画されている。
- 3) 交通量対策では、都心部への乗り入れ規制・大型車通行時間規制が実施されている。バスや軌道系(地下鉄等)の路線網整備は計画中である。
- 4) 交通流対策では、道路網整備計画が検討中である。また、交通法規の整備、交通管制システムも計画中である。
- 5) 大気汚染モニタリングシステムについては、計画にあるものの、都市計画や交通施設計画における環境配慮は極めて不十分である。

4 対策立案プロセス

3章で説明してきたのは、交通公害の状況(症状)、そ

の原因、対策実施状況の良否を明確にするいわゆる診断プロセスであった。これに対して、本章で説明する立案プロセスは、これら判定結果をもとに、ある原因の解消に対して有効な対策の抽出を行ったり、対策間の優先順位をつけることにより、対象都市で実施・検討が必要な対策を「絞り込む」プロセスであるといえる。

対策の絞り込みは、各対策間あるいは対策-原因間に存在する因果関係や、ある対策を実施するための前提として必要な対策をフローチャートにまとめた「対策相互関係図(図9)を用いて行う。これにより、未実施の対策の中から早急に実施すべきものを抽出したり、既実施の対策のうち実施方法を見直す必要があるものを抽出したりすることにより、対策実施の優先順位を決定することができる。

また、エキスパート・システムにおいては、以上の対策立案プロセスがIF~THENルールとしてあらかじめプログラムされており、施すべき対策が自動的に見出されるようになっている。したがって、システムの利用者は、3.2節における現地調査の結果をシステムに入力するだけで、各項目の診断・判定結果と対策選定結果を自動的に得ることができる。

4.1 「原因-対策対応マトリックス」による実施必要対策の抽出 [図1の4-1参照]

原因-対策対応マトリックス[R]は、2.2節でも述べたように、対策項目ベクトル[m]と原因項目ベクトル[c]との間に因果関係があるかどうかを表現したものである(図8(c))。マトリックスの縦に原因項目、横に対策項目が並んでいる。そして、マトリックスの各成分は、各原因項目と強い因果関係があり、したがって改善に対して効果的である対策項目について、その度合いがここでは色の濃淡で識別されている。この原因と対策との因果関係は、いずれの都市についても共通である。そのため、原因-対策対応マトリックスの内容は、システムの中にあらかじめ組み込まれる。なお、原因-対策対応マトリックスでは対策実施必要性に関する大局的な検討を行うため、原因・対策項目とも、数個の小項目をまとめた中項目の単位で扱っている。

図8(a)(b)には、ジャカルタにおける原因診断結果ベクトルと対策実施状況ベクトルへの記入結果が示されている。これらの値と、原因-対策対応マトリックス(図8(c))とから、以下のことが明らかとなった。

- 1) 発生源対策に関して、排ガス規制は導入されているが規制値は緩く、関連する原因項目である燃料成分・自動車整備水準の判定結果も極めて悪い。したがって、燃料対策・規制値強化・規制徹底のための自動車

検査や整備制度の導入が急務である。

- 2) 交通量対策に関しては、都市規模に見合う、公共交通機関の整備が全体的に不足している状況であり、都心部乗り入れ規制が有効に働いていない。公共交通機関輸送網を整備し、自動車交通量を削減することが追加対策として必要である。
- 3) 交通流対策に関しては、ボトルネック混雑解消及び乗り換えモード間の接続施設改善に向け、現在計画中の対策実施に加え、総合交通的な視点からの対策実施が急がれる。

4.2 「対策相互関係図」を用いた対策間の因果分析

[図 1の4.2参照]

原因 - 対策対応マトリックスは、対策を中項目のレベルでとらえているため、さらに詳細な小項目のレベルで検討するためには、より詳細に小項目相互間、あるいは対策小項目と原因小項目との関係を知る必要がある。そこで、本システムには、これらの関係をフローチャート形式でまとめた「対策相互関係図」が組み込まれている。対策相互関係図も、原因 - 対策対応マトリックスと同様に一般性を持ち、いずれの都市についても共通であると考えられる。対策相互関係図のうち「発生源対策」に関連する部分を図 9に示す。

対策相互関係図には、「対策項目」が長方形で、「原因項目」が角のとれた長方形で表示されている。また、矢印にも2種類あり、実線は「前方対策要求項目(上位の対策を実施しないと、下位の対策を実施しても効果が生じないもの)を、点線は「後方対策促進項目(上位の対策を実施すると、下位の対策や原因への誘因となるもの)」を表す。対策相互関係図は、次のように用いられる。まず、各項目に対策実施状況の判定結果を記入する。次に、各対策項目について、その上位及び下位にある対策項目の判定評価を調べる。例えば、図 9に示す例では、車検制度は実施されているにもかかわらず、その結果としての車両整備水準が「E(非常に悪い)」と判定されている。この理由として、車検制度の「前方対策要求項目」となっている排出ガス規制や車両検査場の整備が未実施であり、そのために車検制度が有効に機能していないことが分かる。したがって、この2つの対策を実施すれば既に実施されている車検制度が有効に機能することになり、2つの対策の優先度を高くすべきであるということになる。逆に、車検制度は既に実施されているが、実際にはその優先度は低かった、ということになる。

このように、対策相互関係図からは、着目する対策に対して上位や下位にある対策が実施されている場合に、その優先度を高くするという判定ができる。これについ

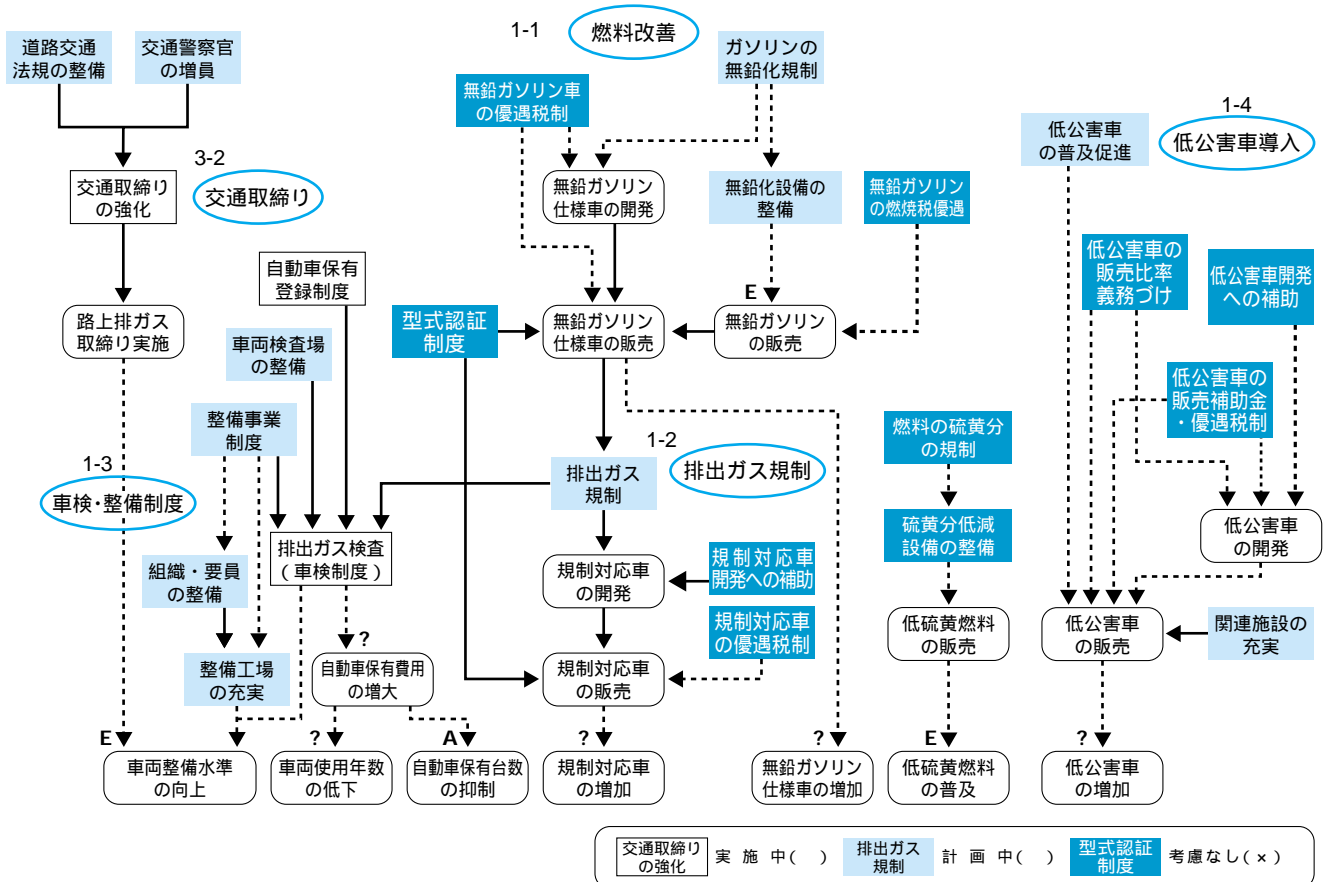


図 9 対策相互関係図(ジャカルタの例、発生源の部分)

ても、エキスパート・システムの中に、各対策の上位・下位にどの対策が位置するかが組み込まれているために、自動的に判定が行われるようになっている。

さらに、対策相互関係図は、互いに前提関係や因果関係を持つ対策群の中で、どの項目がクリティカルであるかを視覚的に表現するという役割も持つ。

4.3 対策実施優先度の判定 [図 1の4-2参照]

原因 - 対策対応マトリックス及び対策相互関係図によって、各対策の実施 / 未実施が大気汚染の原因項目に対してどのように影響を与えているか、あるいは密接な関係を持つ他の対策の実施を阻害したり、または阻害されたりしているかについて、把握することができた。この情報を基本として、さらに、あらかじめ専門家の意見を総合して決定・蓄積されている、各対策の実施に必要な費用・効果の即効性に関する情報を合わせて考慮することにより、各対策の実施優先度を判定する。なお、ここで効果としては、汚染濃度減少による影響・被害の減少を、費用としては対策実施に直接必要な分を考える。

以上の分析作業を行うのが、図 8(d)(e)に示した対策実施優先度判定表(図 3の[p]に対応)である。対策実施優先度は、まず点数として表し、さらに、大項目

である発生源 / 交通量 / 交通流 / その他の各カテゴリの中で、優先度の高い順から「高」「中」「低」「不要」の4種類に分類し提示している。

4.4 主要対策の効果予測 [図 1の4-3参照]

実施優先度が高いと判定された対策項目については、さらに、その実施による効果を定量的に推計することにより、有効性を検討する必要がある。そこで本システムでは、主要な対策について、3.3節(1)で構築されているシミュレーションモデルを用いて、その効果を、都市内の大気汚染濃度の平均値や空間分布、及び環境基準不適合面積と暴露人口という形で予測することができるようになっている。これを、3.3節(1)で求めた現在及び将来の大気汚染予測結果と比較することにより、対策実施効果を定量的に把握することができる。

ジャカルタのケーススタディでは、実施優先度が高かった主要対策のうち、a)排ガス規制実施、b)地下鉄の建設、について、具体的な予測条件を設定し、シミュレーションによる改善効果の予測を行った。その結果、以下のことが判明した。

a)排ガス規制実施

インドネシア環境管理庁で提案されている、アメリカ

表 2 協議のための対策提案表

大項目	優先度	対策項目	対策実施状況			対策実施費用	対策の即効性	実施により有効となる既対策	実施における留意点
			現状	問題点	判定結果				
1 発生源	高	1-1 燃料中の硫黄分規制			×	小	大	なし	
		1-3 ガソリンの無鉛化規制				小	大	2-1 新車への規制適用	
		2-4 車両整備事業制度の実施				中	中	2-1 新車への規制適用	
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	中	1-4 無鉛化のための設備の整備				中	大	2-1 新車への規制適用	
		1-5 無鉛ガソリンの燃料税優遇				小	中	2-1 新車への規制適用	
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	低	1-2 硫黄分低減のための設備の整備			×	中	大	なし	
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

印は、文章により記述



(a) 2000年(1998年排ガス規制実施のケース)



(b) 2000年(1998年地下鉄完成のケース)

図 10 ジャカルタにおける自動車からの寄与濃度予測値 (NO₂, 年平均)

EPAの1988年排ガス規制に準拠した規制を1998年1月1日より実施することを想定して、大気汚染の改善効果の予測を行った。NO₂濃度の予測値の空間分布を示す図

10(a)より、汚染物質の排出量が減少した結果、市内全域で濃度が減少し、市街地では25ppb程度減少していることが分かる。

b) 地下鉄の建設

計画が検討されている、Koto駅～BlockM駅間の地下鉄が供用された場合の大気汚染への改善効果の予測を行った。もしこの地下鉄が完成し、運行していたならば、NO₂濃度の予測値の空間分布を示す図 10(b)より、市内中心部の南北方向の交通量が減少し、市街地の濃度は4ppb程度減少していることが分かる。

4.5 対象都市への対策案の提案と協議 [図 1の5-1参照]

本システムによる対策選定プロセスは、いずれの都市においても普遍的と考えられる各対策間や原因 - 対策間の因果関係に基づいている。すなわち、システム化に当たっては、対策の網羅的把握や対策優先度の判定に広く用いることのできるシステムティックな方法論の構築を第一義としているために、都市間で異なる事情は捨象されている。したがって、対象都市の担当者と協議を行うことによって、システムにより導かれた対策素案を、より実施可能性の高いものとする必要がある。

そのための資料として、現地調査及び対策選定プロセスの結果をまとめた「協議のための対策提案表」(表2)を作成する。この表には、対策の各小項目について、システムの対策立案プロセスによって得られた対策実施優先度の順に、現地調査によって得られた対策実施状況や、システムが持っている対策実施費用・即効性の大小、及び図9の対策相互関係図から分かる、各対策の実施によって有効となる既実施対策をまとめている。この表と対策相互関係図を合わせて提示し、それを参考にして、現地での対策実施上の課題を打ち合わせし、対象都市の事情を反映した最終対策案の具体的プログラムの提言を行う。

協議においては、特に対象都市の専門家から、既存の実施例について具体的に知りたいという要望が生じることが多い。そこで、エキスパート・システムには、さまざまな都市における既存の実施事例が蓄積された「対策実施事例データベース」が内蔵されている。その内容は、a) 対策の実施内容と具体的手順、b) 実施の背景、c) 予想される効果、d) 費用とフィジビリティ、e) 実施前後の市民等の反応、f) 対策実施効果予測のための手法と必要データの紹介、などである。これらのデータをシステム内部から引き出し、対策案と一緒に提供することができる。

本研究では、対象都市の交通公害の状況・原因・対策実施状況を簡便な方法で把握・分析し、今後必要となる対策とその改善効果をシステムティックに提示することができるGUI型エキスパート・システムの構築を行った。さらに、インドネシアのジャカルタをケーススタディ都市として、開発されたシステムを実際に適用し、本システムの交通公害問題解決への有効性を検討した。

本システムの開発過程において、交通公害対策立案プロセスを任意の都市に適用する方法論を構築してきたことにより、システムは交通公害対策の網羅的なチェックリストとしての機能を果たすものとなった。今後は、システムの適用と改良を繰り返しながら、より現実的な交通公害対策を提案できるシステムへとアップグレードすることを目指している。

途上国大都市における交通起源の大気汚染の改善は、その地域だけではなく、地球レベルでの環境の改善にも大きく貢献するものである。したがって、本システムの利用によって交通公害対策策定を進めることは、人々が将来にわたって高いモビリティを享受するためにも、また、日本が積極的な国際貢献を果たすという面からも、極めて重要な意義をもつと考えられる。今後、本システムが多くの都市で適用され、その結果が援助プロジェクトに反映されるようになれば誠に幸いである。

謝辞：本研究は、運輸省が進めてきた、「開発途上国交通公害対策協力計画」の一部として、平成5年度から行われた「環境保全対策協力調査」の一部として行われたものである。著者らはその調査に当たった交通公害対策支援委員会のメンバーとして加わり、「途上国大都市の都市環境診断と対策への支援システム」の開発を行った。開発グループには、運輸省運輸政策局国際業務第二課、(社)海外運輸協力協会、名古屋大学、日本気象協会、運輸政策研究所からのほか、東京大学生産技術研究所の二瓶好正教授、東北大学の宮本和明教授等が参画し、そのアイデアを提供されたことを述べ、それらの方々への謝意を表したい。

参考文献

- 1) 中村英夫編[1992]、「都市と環境」、ぎょうせい。
- 2) WHO/UNEP [1992]. *Urban air pollution in megacities of the world*. Blackwell, Oxford.
- 3) 名古屋市公害対策局[1991]、「自動車公害ハンドブック」。
- 4) 日野原重明、田島基男[1996]、「人間ドックマニュアル」、医学書院。
- 5) OHM編集部[1987]、「エキスパートシステムの実務」、オーム社。
- 6) BAPEDAL [1993]. *Environmental Protection and Pollution Control Strategy and Action Plan in the third JABOTABEK Urban Development Project - part B*. State Ministry of Environment and Environmental Impact Control Agency, Indonesia.
- 7) 公害研究対策センター[1995]、「窒素酸化物総量規制マニュアル」、環境庁大気保全局。

Computer-Aided Diagnosis and Prescription System for Traffic-Related Environment in Metropolises of Developing Countries

By Myoung-Young PIOR, Hirokazu KATO, Yoshitsuga HAYASHI and Hideo NAKAMURA

Traffic-related air pollution has been worsening rapidly in many metropolises of developing countries. The main issue is to develop and implement a set of effective and comprehensive countermeasures as a matter of urgency in those cities where even the experts do not have enough knowledge and experiences to examine the complex relationships of causes and results of phenomena. To help solve this problem, an expert system is developed in this study using an analogy to the medical health check process whereby a city is regarded as a patient. Experiences of developed countries and some technical knowledge are systematically integrated in the system to give diagnosis and prescriptions. A user-friendly GUI is also used to easily handle the processes required. This system will help traffic and environmental officers in developing countries understand the comprehensive situation and establish most appropriate countermeasures for their cities.

Key Words : ***aid for developing countries, analogy to the medical examination, diagnosis and prescription, expert system, knowledge-based database***

この号の目次へ <http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/no1.html>