

GISを用いた自動車交通による環境負荷の予測システムに関する研究

ESTIMATION SYSTEM OF ENVIRONMENTAL LOADS BY ROAD TRAFFIC USING GIS

廣瀬義伸*

近藤光男**

西堀泰英**

綾 貴穂***

Yoshinobu HIROSE*, Akio KONDO**, Yasuhide NISHIHORI** and Takao AYA***

ABSTRACT; It is important to estimate environmental loads by road traffic in composition of urban transportation planning as well as land use planning. Because there is close relationship between traffic and land use in urban area. This study aims to propose an estimation system which can estimate environmental loads by road traffic. The system is based on traffic analysis taking account of urban land use using GIS. In this study, environmental loads by road traffic are "air pollution", "vibration" and "noise". The system is applied to Tokushima urban area, and estimated values are compared to measured data in order to inspect the accuracy of the system. As a result of evaluation for this system, it has adequate level for estimation of the environmental loads by interaction road traffic and urban landuse.

KEYWORD: geographic information system (GIS), urban road traffic, environmental load, estimation system, urban land use

1. はじめに

都市における自動車交通が原因となる社会問題には様々なものがあげられるが、自動車の排出ガスによる大気汚染や自動車の走行に伴う騒音・振動などといった環境負荷の問題は、地球温暖化、酸性雨、光化学スモッグ等のマクロな環境問題に影響を及ぼしているのみならず、大都市圏における幹線道路沿道地域の公害訴訟の原因となるなど、自動車を発生源とする環境負荷軽減の必要性は非常に高い。なお、この問題は、大都市圏に限らず、地方都市においても、特に交通量の多い市街地の幹線道路周辺では深刻化してきている。なぜなら、地方都市では、一般に公共交通機関の整備が十分ではないことが多く、そのために住民の移動手段として自動車交通への依存率が高くなることが多いためである。

本研究では、自動車交通がもたらす環境負荷を軽減するための都市・交通政策を探り、その都市住民にとって、良好な環境かつ住み易く活動しやすい効率的な都市のあり方を模索することを目的として、土地利用が都市交通に与える関係をベースとした、自動車による環境負荷の予測システムを作成した。具体的には、土地利用と自動車交通との関連については、都市交通の需要は都市活動に基づく派生需要として生ずるものであり、住宅と職場の配置、市街地の形態と密度といった土地利用の現状と、その都市において立地している様々な都市活動の活動水準に大きく関連しているという前提に基づいている¹⁾。もちろん、都市交通に含まれる自動車交通は、土地利用の状態および都市活動の水準と大きく関連しているのは明らかである。

本研究で構築したシステムでは、最初に対象都市の土地利用分析を行った後に、それに基づいて四段階推

* 徳島大学工学部建設工学科

Department of Civil Engineering, The University of Tokushima

** 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

Department of Ecosystem Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokushima

*** 復建調査設計 環境技術部 環境1課

FGEX fukken

計法による自動車交通量分析を加え、それらの結果をもとに、自動車交通の環境負荷モデルを構築して、ミクロな地域別あるいは地点別の環境負荷を予測する。なお、これらの分析においては、すでに我々が GIS 上に作成した徳島県道路ネットワークデータベースを用いている。

本研究で構築したシステムの特徴としては以下のことがあげられる。

- ①道路交通量分析・土地利用分析や環境負荷の予測において、GIS を利用したこと。
- ②道路交通分析のために、土地利用データベースを作成し、都市活動と交通との関係をモデル化して取り込んだこと。
- ③環境負荷として、大気汚染・騒音・振動の3種類を予測・評価の対象としたこと。
- ④環境負荷の予測を地点ごとに行うことが可能であること。
- ⑤都市を細分化したメッシュ単位での環境負荷の計測を行うことも可能であること。
- ⑥本研究で構築したシステムを用いると、土地利用あるいは都市交通の政策の実施に伴う都市の活動の変化が環境にどのような影響を与えるかをシミュレーションすることも可能であること。

これまで、自動車交通による環境負荷に関する研究は、土木計画学会・都市計画学会をはじめ、数々の分野において一種類の環境負荷を取り扱った研究は数多く行われてきたものの、本研究のように、土地利用をもとに交通を推計し、これをもとに環境負荷として大気汚染・騒音・振動の3種類を扱った総合的なシステムとしての研究はみられない。

本研究では、上に述べたシステムを徳島市に適用し、徳島市における自動車交通による環境負荷を予測し、予測結果を実際に測定されたデータと比較することによって、システムの精度を検証した。

2. 予測システムの概要

作成したシステムは、大きく3段階に分けられる。

- ①「土地利用分析」：都市の土地利用データベースを作成するとともに、土地利用面積と人口および従業者数との関連を分析してモデル化を行うステップ。
- ②「自動車交通量分析」：土地利用と人口・従業者数モデルをもとに、リンク別車種別の交通量を四段階推計法によって推計するステップ。
- ③「環境予測分析」：リンク別車種別交通量を用いて、各道路リンクの環境負荷予測モデルをもとに、環境負荷（大気汚染・騒音・振動）を求め、地点別・メッシュ単位の環境負荷を予測するステップ。

予測システムの流れを図-1に示す。各段階の詳細について、以下で説明する。

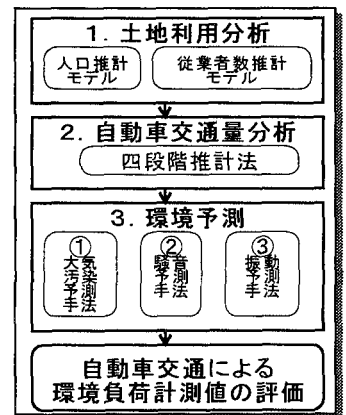


図-1 予測システムの流れ

2.1 土地利用分析

都市の自動車交通は、その都市の土地利用の現状と深い関連があるので、最初に土地利用データベースの構築を行う。その方法は、住宅地図²⁾をスキャナを用いてパソコンに取り込み、GIS上で建物用途別に建物面積をデジタイズする。土地利用の分類は代表的な建物用途の分類³⁾を参考に15種類に分類した。

次に、GISを利用してメッシュごとに建物用途別の建物面積を求める。ここで用いたメッシュは第3次地域区画をさらに各辺を10等分した約100m×100mメッシュ（以下100mメッシュ）である。100mメッシュごとに求めた建物用途別の土地利用面積を第3次地域区画の約1km×1kmメッシュ（以下1kmメッシュ）に統合し、1kmメッシュごとの用途別土地利用面積と、国勢調査および事業所統計調査の人口および従業者数の1kmメッシュデータとの重回帰分析を行い、土地利用面積と人口および従業者数の関係を調べ、人口および従業者数推計モデルを作成する。この人口および従業者数推計モデルを、次の段階の交通量推計の発生集中交通量の推

計に用いる。実際に本研究で推定したモデルについては3. 1において後述する。

2. 2 自動車交通量分析

自動車交通量分析を行う際のゾーンは、土地利用分析で用いた100mメッシュを地域の特性を考慮したゾーンに統合したものを用いる。本研究では徳島市における平成6年度道路交通センサスのゾーンをベースとして、通過交通や流入交通の影響を考慮し、市内72、市外7の計79ゾーンを設定した。そして、土地利用分析により得られた人口および従業者数推計モデルによる100mメッシュごとの人口および従業者数の推計値をこのゾーンに統合し、ゾーン別人口・従業者数推計値を算出し、これらと昭和59年度徳島県広域都市圏パーソントリップ調査データ⁴⁾および平成6年度道路交通センサスデータをもとに目的別(出勤・業務・帰宅・自由)の発生・集中交通量モデルを推計する。道路交通センサスでは、24時間の各時間帯別の交通量データが調査されているので、このデータと発生・集中交通量モデルの推計値を用いて分布交通量を推計し、すでにGIS上に作成済の道路網データベースを用いて分割配分法による全時間帯のリンク別車種別交通量を推計する。

2. 3 環境予測分析

ここでは、自動車交通量分析の結果を用いて各道路リンクから発生する大気汚染・騒音・振動の3種類の環境負荷の予測を行う。これらの指標の予測手法については、社団法人日本道路協会の道路環境マニュアル⁵⁾を参考にした。環境予測に必要な交通条件のデータは、時間帯ごとのリンク別車種別交通量と、リンクごとの車速、車道幅、車線数である。これらは全て自動車交通量分析での入力・出力データであるため、これらの値を環境負荷の予測に用いることにした。また、リンクから予測地点までの距離は、GISによって求められる値を用いた。

(1) 大気汚染

本研究で、自動車排出ガスによる大気汚染に関係する物質として予測・評価の対象とするのは、二酸化窒素(NO₂)である。それは、NO₂が、人体の健康に影響を及ぼし、かつ、環境基準が定められている物質であるからである。ここでは、窒素酸化物(NO_x)が定量的な予測が可能な汚染物質であることから、NO₂-NO_x変換モデルを作成することにより、自動車交通量分析結果から推定されるNO_x発生量を用いてNO₂の発生量を予測した。

また、地点およびメッシュごとの予測には、予測の目的が都市全体でのNO₂の発生量の総量を把握することにもあるため、無風状態を想定するパフモデル⁵⁾を用いることとした。また、自動車からの排出ガスに含まれる汚染物質の単位走行距離あたりの排出量(排出原単位)は走行速度に伴って汚染物質の発生量に変化することから、「自動車技術」⁶⁾の車種別速度-NO_x排出量曲線を用いた。そして、交通条件および車種別排出原単位から時間別平均排出量を各リンク毎に求め、参考文献⁵⁾に基づいて発生源高度、拡散幅を設定し、予測地点および対象100mメッシュにおける大気汚染を予測する。予測式および変換式を以下に示す。

NO₂-NO_x変換モデルのサンプル数は171で、t値は1%の有意水準を満たしている。

○大気汚染予測式⁵⁾

$$C(x,y,z)=\frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\cdot\alpha^2\cdot\gamma}\left[\frac{1-\exp\left(-\frac{l}{t_0^2}\right)}{2l}+\frac{1-\exp\left(-\frac{m}{t_0^2}\right)}{2m}\right] \tag{式-1}$$

$$l=\frac{1}{2}\left[\frac{x^2+y^2}{\alpha^2}+\frac{(z-H)^2}{\gamma^2}\right], \quad m=\frac{1}{2}\left[\frac{x^2+y^2}{\alpha^2}+\frac{(z+H)^2}{\gamma^2}\right] \tag{式-2}$$

$$Q_i=V_w\times\frac{1}{3600}\times\frac{1}{1000}\times\sum_{i=1}^2(E_i\times N_i) \tag{式-3}$$

ここで、C(x,y,z): (x,y,z)地点における濃度 (ppm), Qt: 排出強度 (cc/s)

H : 発生源高度[路面位置 + 1 m] (m), t_0 : 初期拡散幅に相当する時間
 α, γ : 拡散幅に関する係数 [$\alpha = 0.3$ 、 $\gamma = 0.18$ (昼間)、 0.09 (夜間)]
 E_i : 車種別排出原単位 (g/km・台), N_{it} : 車種別時間別リンク交通量 (台/h)
 V_w : 大気換算係数 (ml/g) (NO_x については $20^\circ C$ 、1 気圧で 523ml/g)

○ NO_2 — NO_x 変換式(※[]内数字は t 値)

$$NO_{2i} = \frac{NO_{xi}}{1.19 + 8.80 \times NO_{xi}} \quad R^2 = 0.983 \quad (式-4)$$

[69.75] [13.35]

ただし、 NO_{2i} : 地点 i における NO_2 濃度 (ppm), NO_{xi} : 地点 i における NO_x 濃度 (ppm)

(2) 騒音

騒音の予測方法は、音をエネルギーの面から取り扱う方法⁹⁾により自動車交通騒音を予測することとした。そして、交通条件や、自動車 1 台あたりの平均パワーレベル、平均車頭間隔、予測範囲などを自動車交通量分析の結果から設定し、予測地点および対象 100m メッシュにおける騒音を予測する。予測式を以下に示す。

○騒音予測式⁵⁾

$$L_{50} = L_w - 8 - 20 \log_{10} d + 10 \log_{10} \left(\pi \frac{l}{d} \tanh 2 \pi \frac{l}{d} \right) + \alpha_i \quad (式-5)$$

$$d = 1000 V/N \quad (式-6)$$

$$L_w = 86 + 0.2V + 10 \log_{10}(a_1 + 5a_2) \quad , \quad a_1 + a_2 = 1 \quad (式-7)$$

ここで、 L_{50} : 自動車交通騒音の中央値 (dB)

L_w : 1 台の車から発生する平均パワーレベル (dB)

l : 音源から受音点までの距離 (m), d : 平均車頭間距離(m)

α_i : 種々の原因による補正值 (dB), V : 平均走行速度 (km/h)

N : 平均時間交通量 (台/時)

a_1 : 小型車混入率, a_2 : 大型車混入率

(3) 振動

振動の予測方法は、交通量、車線数、車速、路面平坦性および地盤データをもとに回帰分析手法を用いて作成された式⁹⁾を簡略化して振動レベルを予測することとした。簡略化した式では道路構造の影響および道路からの距離の影響を補正項 d において反映させており、特に道路構造については、予測対象地域すべてにおいて平面道路であると仮定している。予測式を以下に示す。

○振動予測式⁸⁾

$$L_{10} = a \log (\log_{10} Q^*) + b \log_{10} V + c \log_{10} M + d \quad (式-8)$$

$$Q^* = \frac{500}{3,600} \times \frac{1}{M} \times (Q_1 + 12Q_2) \quad (式-9)$$

ここで、 L_{10} : 振動レベル 80 % レンジの上端値の予測値 (dB)

Q^* : 500 秒間の 1 車線あたりの等価交通量 (台/500 秒/車線)

Q_1 : 小型車時間交通量 (台/時), Q_2 : 大型車時間交通量 (台/時)

V : 平均走行速度 (km/時), M : 上下線の合計の車線数

a, b, c : 定数, d : 補正項

3. 徳島市におけるケーススタディ

2 までで作成したシステムを徳島市に適用し、徳島市における自動車による環境負荷を予測する。図-2 は徳島市の地図である。徳島市の地理的条件は、市域の中心に眉山がある他に、吉野川および細い河川が網の目のように流れており、市内の道路網を分断している。道路網は、幹線道路となる 3 本の国道が市の中心

部から南と北と西方向にT字型に走っている。これらの3本の国道が市の中心部を貫いており、また、それらを補完する幹線道路も同様であるため、広域的な交通が中心部を通過せざるを得ない状態を招いている。また、徳島市では、公共交通機関の利用率が低く、自動車への依存率が高い。このため、特に朝・夕の通勤・帰宅時間帯の交通渋滞が慢性化しており、市内の最大の交通問題となっている。

3.1 土地利用分析結果

徳島市の全域を対象に、184個の1kmメッシュにおける土地利用面積と人口および従業者数との重回帰分析を行い、以下のような人口推計モデルと従業者数推計モデルを得た。

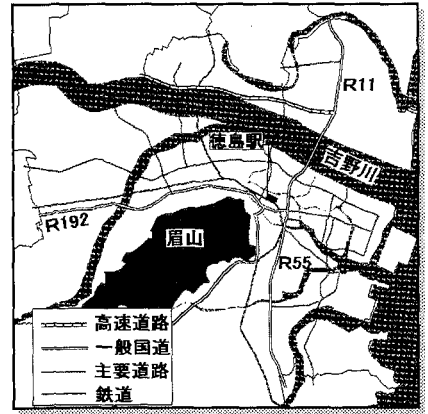


図-2 徳島市の地図

①人口推計モデル ([]内数字は、t 値)

$$P_i = 0.011 \cdot S_{1i} + 0.044 \cdot S_{2i}$$

[17.87] [15.43]

$$R^2 = 0.884 \quad (\text{式-10})$$

ただし、 P_i : ゾーン*i*における人口 (人)

S_{1i} : ゾーン*i*における一般住宅と併用住宅の合計面積 (m^2)

S_{2i} : ゾーン*i*における共同住宅の面積 (m^2)

②従業者数推計モデル ([]内数字は、t 値)

$$E_i = 0.013 \cdot S_{3i} + 0.005 \cdot S_{4i} + 0.009 \cdot S_{5i} + 0.252 \cdot S_{6i}$$

[6.01] [2.84] [4.52] [15.11]

$$R^2 = 0.769 \quad (\text{式-11})$$

ただし、 E_i : ゾーン*i*における従業者数 (人)

S_{3i} : ゾーン*i*における商業施設と業務施設の合計面積 (m^2)

S_{4i} : ゾーン*i*における工業施設の面積 (m^2)

S_{5i} : ゾーン*i*における文教厚生施設の面積 (m^2)

S_{6i} : ゾーン*i*における官公庁の面積 (m^2)

分析結果を見ると、人口はほぼ一般住宅と併用住宅と共同住宅の面積で決定されている。また、従業者数は官公庁の面積が及ぼす影響が大きい。パラメータのt値は1%の有意水準を満たしており、ほぼ十分なモデルの精度を有している。

3.2 道路交通分析結果

2.2において述べた手法にもとづいて、徳島市の時間帯別車種別自動車交通量をリンク別に推計した。この結果、徳島市では午前7時台に交通量のピークが存在することが明らかとなった。図-3は、午前7時台の全車種のリンク別交通量推計結果である。この図より、市内の主要幹線道路である国道11号、55号、192号の交通量が多くなっているばかりでなく、国道以外の抜け道となるような道路においても、交通量が集中していることが明らかである。

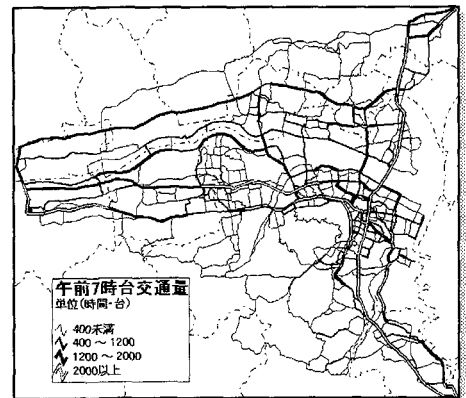


図-3 午前7時台交通量配分結果

3.3 環境負荷の予測結果

自動車交通量分析の結果から、自動車による環境負荷を、2で説明した環境予測手法の手順をもとに予測を行った。本研究では、徳島県および徳島市が自動車による環境負荷を測定した地点の環境負荷の予測を行って、本システムの精度を検証するとともに、100mメッシュ単位での環境負荷を予測し、どのような地域に

どのような環境負荷が発生しているかを調べる。システムの精度の検証については、大気汚染では27地点、騒音・振動は共通の12地点、合計39地点の測定データ^{7), 8), 9)}と、システムによって予測された環境負荷量の時間帯別予測値とを比較した。予測地点の地図を図-4に示す。予測の結果、大気汚染では、二酸化窒素濃度が環境基準を上回った地点は、27地点中1地点あり、騒音・振動では、環境基準が時間帯や立地条件等ごとに異なるが、騒音では、基準値を上回る地点がいくつかあり、中には半日以上基準値を上回る地点もあった。また、振動では、住居専用地域において、夜間に基準値を上回る地点があった。

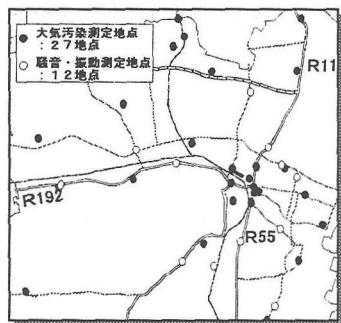


図-4 環境予測地点の分布

4. システムの精度と考察

今回作成した予測システムの精度を既存のデータとの比較によって検証する。比較するデータは、システムによる予測値の各時間帯の平均値と、徳島県および徳島市が測定したデータ^{10), 11), 12)}を用いた。比較結果のグラフを図-5から図-7に示す。

(1) 大気汚染

図-5を見ると、大部分の地点でまずまずの精度で予測できているといえる。しかし、実測値の半分の値しか予測できていない地点もある。この原因として、交通量推計・実測時との気象条件・測定地点のずれといった誤差が考えられ、今後は、これらの精度を上げることが必要であると考えられる。

(2) 騒音

図-7を見ると、ほとんどの地点において、過小に予測されていることがわかる。この原因としては、大気汚染と同様の誤差の他に、本研究で採用した予測モデルでは十分に考慮しきれない路面性状の要因および音源モデルと実態との相違などの原因が考えられる。

(3) 振動

図-6を見ると、約半数の地点ではかなりの精度で予測できているといえる。振動は、NO₂や騒音のように気象条件の影響を受けにくいからであると考えられる。

しかし、3地点において振動を予測できていない。この原因は、振動予測手法を適用できる交通条件や距離の範囲が狭いことがあげられ、モデルの計測対象範囲を拡大する等の改良が必要である。

5. メッシュごとの環境負荷計測結果

今回作成した環境負荷予測システムを用いて、徳島市の環境負荷をメッシュ単位で予測した。ここでのメッシュは、土地利用分析で用いた100mメッシュであり、道路との位置関係によって予測値が影響を受ける問題もある

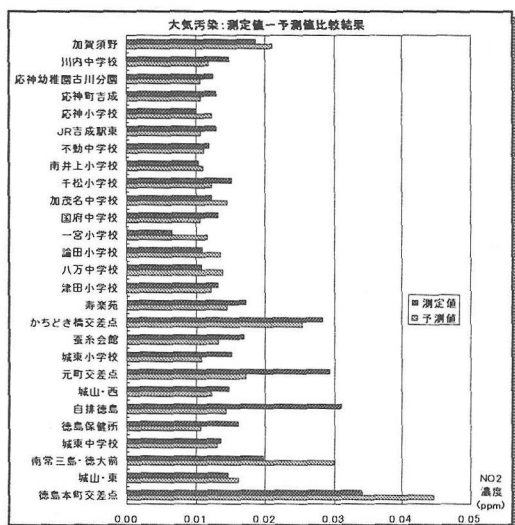


図-5 大気汚染比較結果

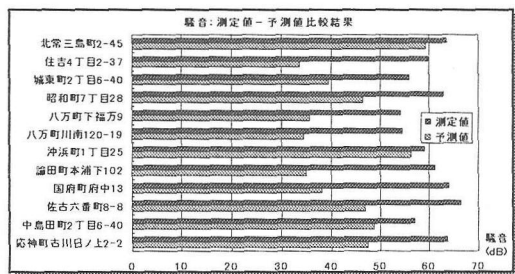


図-6 騒音比較結果

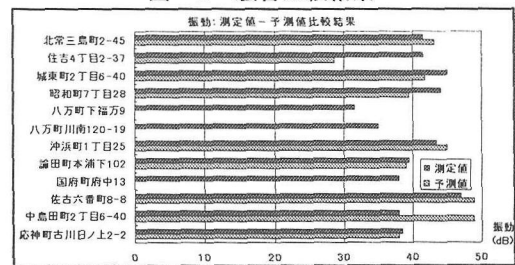


図-7 振動比較結果

が、メッシュ中心点における予測値をそのメッシュ全体の予測値とした。メッシュ中心点とリンクとの距離は、GISによって求めた。予測は24時間の各時間帯別で行ったが、ここでは交通量のピークである午前7時台の予測結果について考察する。予測結果の図を図-8～図-10に示す。各図において、黒塗りのメッシュは環境基準を上回るメッシュである。

大気汚染については、図-8を図-3とあわせてみると、単純に交通量の多い路線よりも交通渋滞のために走行速度が低い路線近傍のメッシュにおいてNO₂の濃度が濃くなっている。このことからNO₂濃度は単なる交通量の多少ではなく、渋滞しているか否かに大きく影響されるといえる。それは、

国道11号および55号よりも交通量が少ない国道192号やその迂回路における濃度が濃くなっていることからわかる。

また、騒音については、本研究の騒音予測手法では、若干、過小評価する傾向が現れているため、図-9の予測結果より騒音はさらに激しい可能性がある。振動については、予測手法の予測可能範囲が狭いことがわかっており、図-10の予測結果よりも広範囲で振動が発生しているといえるが、環境基準を超えるようなメッシュは図-10以外には少ないと思われる。

メッシュごとの予測では、対象地域全体の環境負荷の状態を把握することはできるが、メッシュ中心点における環境値を予測しているため、交差点や、沿道部等の最も環境負荷が大きい地点の状態は詳細に把握することができない。本研究のシステムをうまく活用すれば、地点ごとの詳細予測とメッシュごとの予測を目的に応じて組み合わせることが可能であり、そういった利用を行う必要がある。

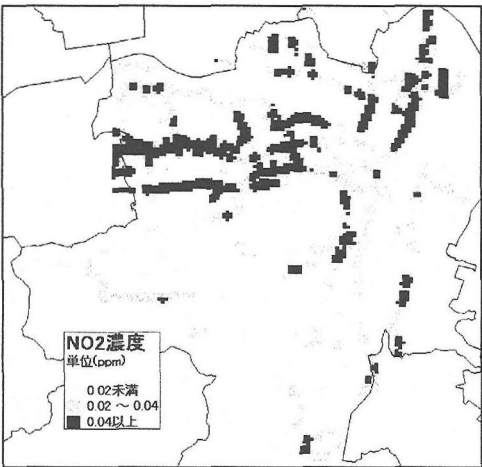


図-8 午前7時台大気汚染予測結果

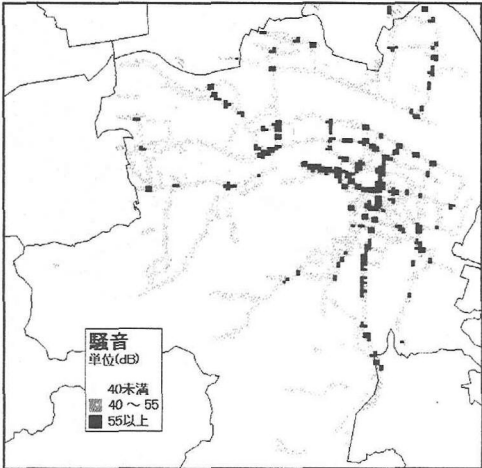


図-9 午前7時台騒音予測結果

6. おわりに

本研究では、自動車交通が発生させる環境負荷を予測するために、土地利用分析に基づいた交通量推計を行い、この結果から環境負荷を計測するシステムを構築した。

このシステムでは、一般的に GIS を利用している。具体的にはまず、土地利用分析では住宅地図のスキャンレイヤから GIS 上でのデジタル化により土地利用図を作成し、メッシュごとの土地利用面積を算出した。次に、自動車交通量分析において、道路ネットワークと道路リンクのデータベースの作成および分析結果の表示に利用している。さらに、環境予測分析においては、予測地点とリンクとの距離の計測および予測結果の表示に利用している。このように、GISは従来から指摘されているように、既存の社会経済的な

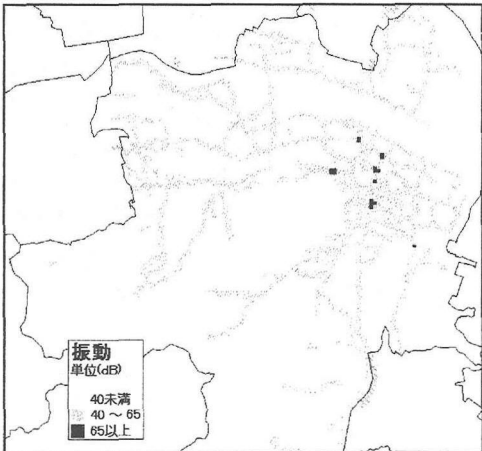


図-10 午前7時台振動予測結果

統計データベースとの有機的な結合により、都市や地域を取り扱う研究や分析を行う際に有効なツールであるといえる。

本研究で作成した環境負荷の予測システムは、大気汚染や振動についてはある程度満足できる精度の結果を出すことができた。しかし、それぞれの環境負荷指標の予測モデルにおいては、改善すべき点がいくつかある。大気汚染予測では無風状態を想定しているが、地域の環境をより詳しく予測するために気象条件や大気安定度を考慮するなど、実際のデータとの誤差が大きい地点についてさらに精度よく予測する方法を探ることが必要である。騒音予測では、過小に予測される原因を調べ、より実際の値に近い結果が出るように改良するとともに、等価レベル法に変更すること、そして振動予測では、予測可能範囲を広げる必要がある。さらに、環境予測モデルの3手法の基礎データとなる、リンクと予測点との距離の誤差は、環境負荷の実測値の計測データの精度を含め、最小限に押さえるべく努力する必要がある。しかし、我々が推定したデータは、先に述べたように、無風状態を想定するなど、特定の気象条件を想定しない状況下での推定である。一方、参考として用いた、徳島市の測定値については、測定時の気象条件に影響を受けていることは明らかである。われわれがモデルを作成し、推定値を求める際にとっての立場は、平均的に生じうるであろう条件下における一定の広がりを持った地域における環境負荷の予測システムと後述する都市政策の評価システムの構築であり、特定の気象条件下における個々の環境負荷指標の精緻な予測モデルの作成を目的とするものではない。その意味では、ある程度の誤差が生じることは充分予想されることである。とはいっても、今後は、環境負荷指標予測モデルの精度向上とあわせて、土地利用分析および道路交通分析で用いたモデルの精度を向上させる努力ももちろん必要であると考えている。

また、メッシュごとの環境負荷の予測は、地域全体の環境状態を把握できる点で優れているが、局地的な環境負荷の予測ができないので、この点を補完する目的で地点ごとの環境負荷を予測することによって、地域全体を対象にした詳細な環境負荷の状況を把握することも可能であるし、環境負荷軽減のための対策の検討に資する情報提供も可能である。

本研究で構築したシステムは、土地利用データをベースに環境負荷を予測している。このことから、今後の研究の方向としては、何らかの土地利用政策によって土地利用が変わったときに、都市の環境がどのように変化するかを予測することが可能である。また、システムの中で自動車交通量の分析も行っているため、都市交通政策の実施に伴う都市環境の変化も予測することが可能である。これらのことから、本研究は、複合的な都市政策の実施による都市環境の変化についてもシミュレーションすることが可能であるシステムであるということができ、今後都市政策の効果の事前検証といったケーススタディを行う予定である。

【参考文献】

- 1) 「環境負荷の小さな都市と交通」プロジェクト：環境負荷の小さな都市と交通，日本交通政策研究会，1997.
- 2) ゼンリン：ゼンリン住宅地図'98 徳島市，(株)ゼンリンプリンテックス，1998.
- 3) 加藤晃：都市計画概論 第3版，共立出版株式会社，pp.98-99，1993.
- 4) 建設省四国地方建設局：平成6年度道路交通センサス自動車帰終点基本調査集計表(平日)，1994.
- 5) 日本道路協会：道路環境整備マニュアル，丸善株式会社，1989.
- 6) 自動車技術会：自動車技術1997年10月号，pp.85-86，自動車技術会，1997.
- 7) 徳島県：徳島県環境白書 平成9年度，1998.
- 8) 徳島県：平成9年度 大気の汚染並びに公共用水域及び地下水の水質の汚濁の状況についての測定結果，1998.
- 9) 徳島市市民環境部環境保全課：徳島市の環境 平成9年度版，1998.
- 10) 前出7)
- 11) 前出8)
- 12) 前出9)