

安岡 善文 飯倉 善和 内藤 正明
Y. Yasuoka Y. Ikura M. Naito

国立公害研究所
National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

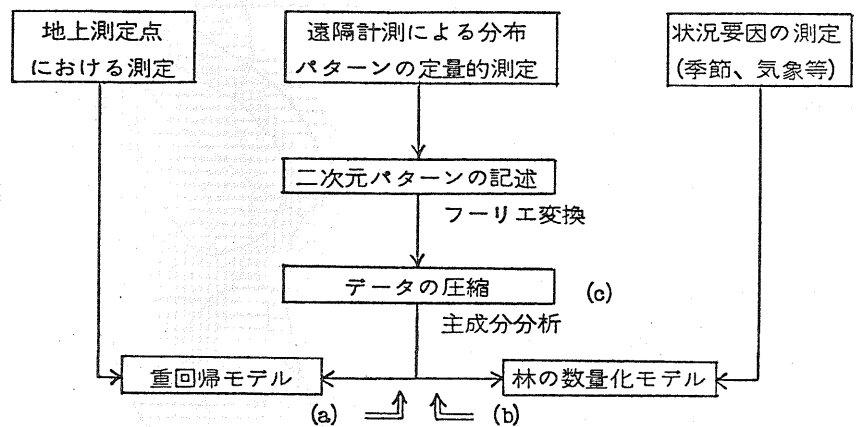
広域にわたる環境状況を把握し、予測するためには、地域性による局所的な影響を受けやすい従来の離散的観測点における測定に比較し、空間的な分布を測定することのできる遠隔計測手法が有効であることはいうまでもない。遠隔計測による広域環境汚染監視システムを実用化するには、計測された汚染分布パターンを用いてパターン予測、推定を行う手法を確立することが重要な課題となる。本研究は、レーザレーダにより計測されるデータ(大気汚染分布パターン)を用いた大気汚染のパターン予測、推定モデルを構成することを目的とした。筆者らはその一歩として既に、

- (1) 汚染分布パターンをいかに定量化し、情報圧縮を行うか、
 - (2) 汚染分布パターンと状況要因(季節、気象条件など)をどのように結びつけるか、(状況要因のみから汚染パターンを予測するためのモデルの構成)
- について、いくつかの知見を報告したが^{(1),(2),(3)}、ここではさらに、
- (3) 汚染分布パターンと地上測定点データをどのように結びつけるか(地上測定点における離散的データのみから、大域的汚染分布パターンを推定するためのモデルの構成)
- について検討したので報告する。図1にレーザレーダデータを用いた予測、推定モデルの流れを示す。

2. 汚染分布パターンの特徴抽出(定量化および情報圧縮)

2-1. 汚染分布のパターン化

レーザレーダによる周期的な観測データ例は必ずしも充分ではない。ここでは汚染分布パターンを得るために、従来の離散的測定点における測定データを外挿、平滑化することによりパターン化を行った^{(1),(2)}。データは昭和49年度大阪府硫酸化物測定結果を用いた。図2に得られた分布パターンの一例を示す。図2(a)は大阪府の観測点の位置(37点)を示し、図2(b)は(a)の観測点における測定データをもとに得られた分布パターン($f(x, y)$ とする)である。図2において座標(x, y)は1kmに量子化され、メッシュ化されている。



- (a) 地上測定点データからの分布パターンの推定
- (b) 状況要因からの分布パターンの推定
- (c) 汚染分布パターンのデータベース化

図1. 遠隔計測データを用いたパターン予測、推定モデル

2-2. パターンの定量化

レーザレーダ等の手法により得られる汚染分布パターン $f(x, y)$ を定量的に記述するために、 $f(x, y)$ に対し、(1)式で示される二次元フーリエ変換を行い、そのフーリエ係数をパターンの特徴として抽出した。(2)

$$G(m, n) = \sum_y \sum_x f(x, y) W_M^{-xm} W_N^{-yn}, \quad f(x, y) = \sum_m \sum_n G(m, n) W_M^{xm} W_N^{yn} \quad \dots (1)$$

(但し、 $W_N = \exp(-2\pi j/N)$)

(1)式から得られるフーリエ係数 $\{G(m, n)\}$ は二次元パターンの空間周波数成分を表わしており、 $\{G(m, n)\}$ にフーリエ逆変換を施すことにより $f(x, y)$ は完全に再生されるが、汚染パターンは一般に鋭いピークを有する

ことがない(高周波成分を含まない)ため、その大局的特徴は低次のフーリエ係数のみを用いて十分に再生される。図3に再生パターンの例を示す。

図3(a)は図2(b)に示されるパターンの0~2次のフーリエ係数を用いて再生されたものであり、図3(b)は、0~3次の係数により再生されたものである。

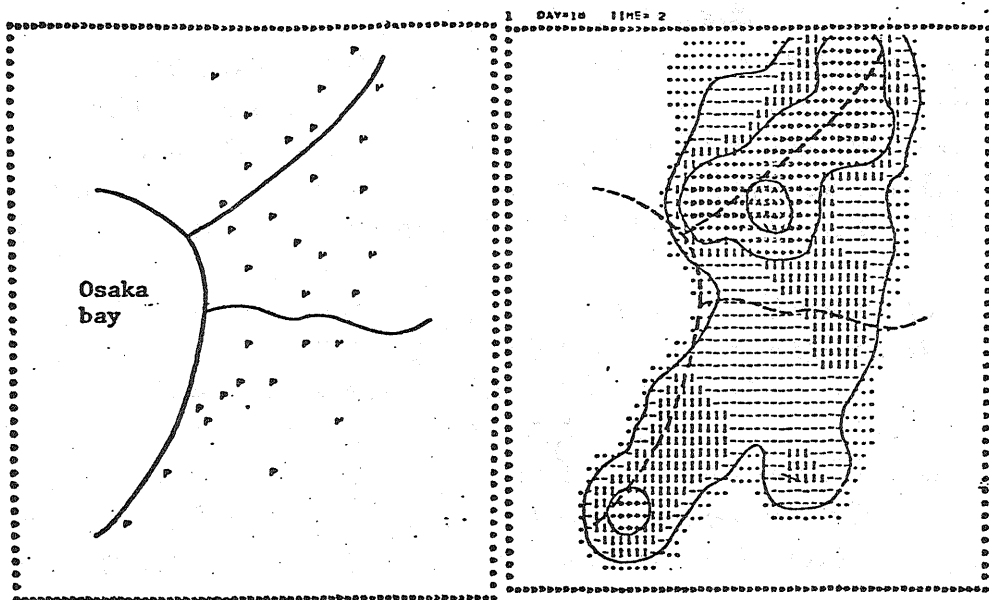


図2. 平滑化パターン (昭和49年1月18日午後2時) (a)観測点 (b)平滑化パターン

2-3. 主成分分析による情報圧縮

大局的な汚染分布パターンは低次のフーリエ係数で十分に再生されること示された。ここでは汚染パターンをより少ない特徴で記述するために、抽出されたフーリエ係数に対して、さらに主成分分析を行い、情報の圧縮を行った。低次のフーリエ係数を $\{G_i\}$ とする時、 $\{G_i\}$ に対して、

$$H_i = \sum_j k_{ij} G_j \quad \dots (2)$$

なる変換により、主成分分析を行った。この結果、汚染パターンは10~15個の主成分で再現されるこ

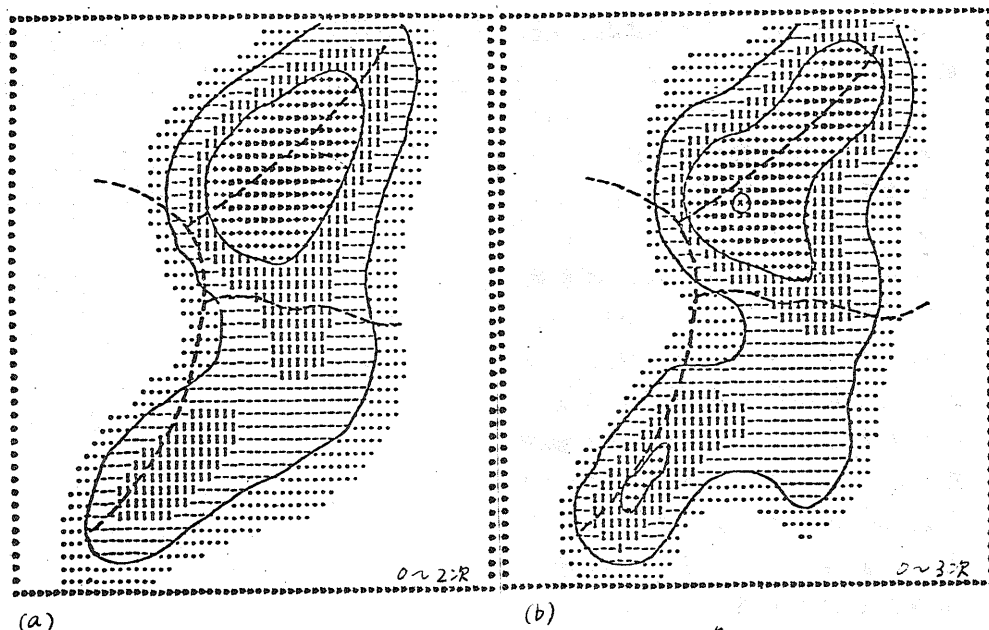


図3. 低次フーリエ係数による汚染パターンの再生 (原像は図2(b))

とが示され、汚染パターン的高效的な蓄積(データベース化)に有効であることがわかった。⁽²⁾

3. 状況要因からのパターン予測モデル

季節、時刻、気象条件などの状況要因から汚染パターンを統計的に予測するために、汚染パターンの定量的特徴(低次のフーリエ係数、もしくはその主成分)と状況要因を結びつける統計的モデルを構成した。状況要因としては、表1に示される9個の要素を考え、各要素をカテゴリー化した。

モデルは林の数量化理論を用いて、

$$H_{\alpha}^i = \sum_j \sum_k \delta_i(j, k) X_{jk}^{\alpha} \quad \dots (3)$$

(但し、 α は主成分の次数、 i はサンプルの番号)

により与えた。ここで j および k はそれぞれ表1に示される要因番号とその要因におけるカテゴリーの番号であり、 H_{α}^i は状況要因から求められる α 主成分の推定値である。 X_{jk}^{α} は各要因がそれぞれ主成分に対してどれだけ寄与しているかを示す量であり、林の数量化理論I類を用いて定められた。モデルの構成($\delta_i(j, k)$ の決定)に際しては全データ中から抽出されたテストデータが用いられた。

構成されたモデル(3式)を用いて、状況要因からパターンの主成分値(1次~10次)、次にフーリエ係数が推定され、さらにフーリエ逆変換により汚染パターンの予測が行われた。⁽³⁾すなわち状況要因のみから汚染分布パターンの予測が行われるようになる。

図4に(3式)のモデルにより予測されたパターンの例を示す。図4(a)は状況要因から予測された汚染パターンであり、図4(b)は実際のパターン(原データより外挿化、平滑化されたパターン)である。また表2には各主成分の重相関係数が示されている。

4. 観定点データからのパターン推定モデル 広域にわたる大気汚

表1. 状況要因の分類

No	状況要因	カテゴリー
1	月	1~12
2	曜	1~7
3	風 向 (3地点)	1~8
4		
5	風 速 (3地点)	1~5
6		
7		
8	日射量	1~4
9		

表2. 予測パターンの適合度

主成分	重相関係数
1	0.80
2	0.77
3	0.77
4	0.73
5	0.76
⋮	⋮

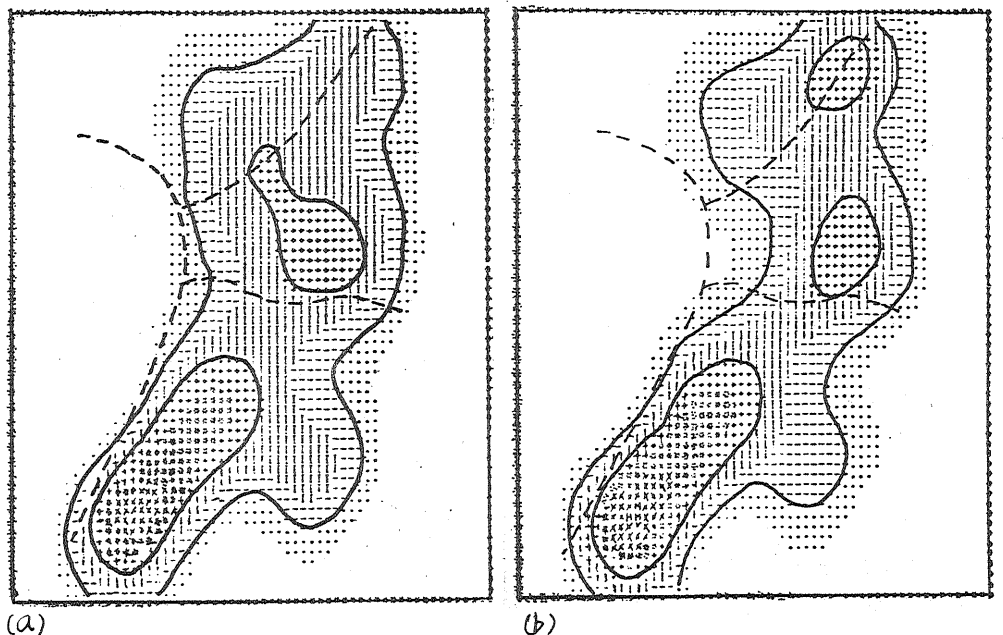


図4. 状況要因からの予測パターン
(a) 予測された汚染パターン (b) 実際のパターン

梁を全ての地域について、常時レーザレーダを用いて監視することは、費用の点などから必ずしも実用的とはいえない。このような場合、従来の離散的測定点におけるデータから大局的な分布パターンを推定することが必要となるが、これは離散的測定点データとレーザレーダにより測定されるパターンデータを関連づけることにより可能となる。

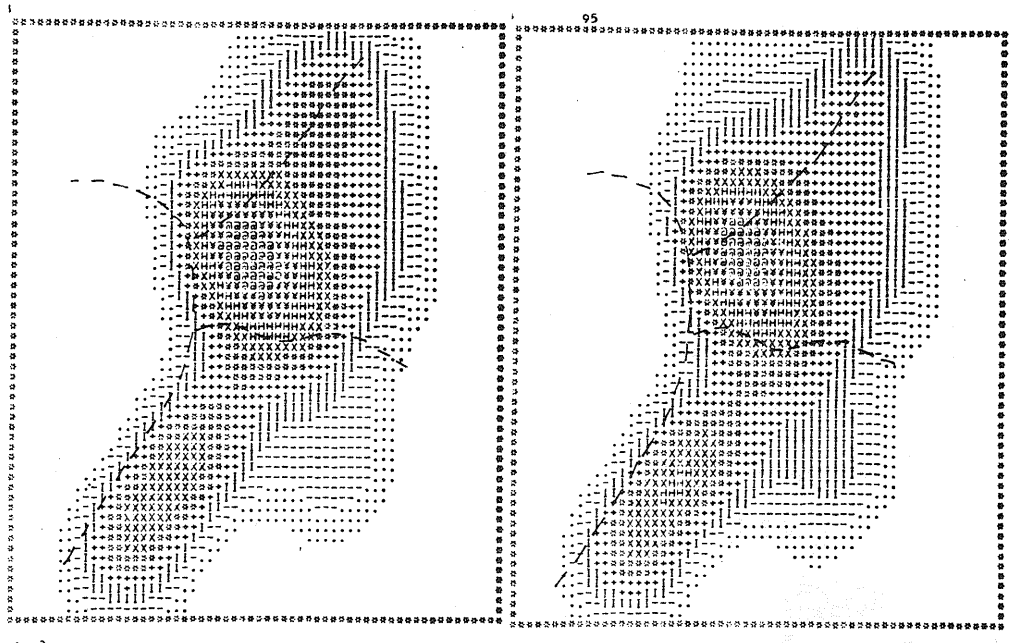


図5. 測定点データからのパターン推定
 (a) 推定された汚染パターン (b) 実際のパターン

ここで地上測定点データ $\{r_1^i, r_2^i, \dots, r_m^i\}$ (i はサンプル番号, m は測定点数) と汚染分布パターン H_α^i (α は主成分の次数) に重回帰分析を行い、構成された重回帰モデル,

$$H_\alpha^i = \sum_{j=1}^m \beta_j r_j^i \quad (m \text{ は サンプル数}) \quad \dots (4)$$

により測定点データから、主成分 H_α^i を推定した。推定された主成分 (1次~10次) より (2) 式の β_j を用いてフーリエ係数を算出し、さらにフーリエ逆変換によりパターン推定を行った。図4に重回帰モデルによるパターン推定例を示す。図4(a)は離散的測定点データから (4) 式を用いて推定されたパターンであり、図4(b)は測定された汚染分布パターンである。(但し、今回の例においては、汚染分布パターンそのものが測定点データから外挿、平滑化によりパターン化されたものであるため、汚染分布パターンは測定点データに対し従属している。)

5. まとめ

レーザレーダによる広域大気汚染監視システムの実用化に際して重要な問題となる、分布パターンによる予測、推定の手法について報告した。本方式では汚染分布パターンが状況要因や、測定点データのみから予測、推定できるばかりでなく、パターン情報の圧縮も容易であり広域環境情報のデータベース化にも有効と思われる。

参考文献

1. 安岡、内藤、乙間：広域汚染状況のパターン把握，第3回土木学会環境問題シンポジウム予稿集 (1975)。
2. Y. Iikura, Y. Yasuoka, and M. Naito: "Pattern Model for Prediction of Regional Pollution Distribution," Preprint of IFAC Symposium on Environmental Systems (KYOTO) (1977)。
3. 飯倉、安岡、内藤：広域汚染状況のパターン把握(2)，第5回土木学会環境問題シンポジウム予稿集 (1977)。
4. 奥野、久米、芳賀、吉澤：多変量解析法，日科技連 (1971)。