

大気汚染における空間変動、時間変動の評価（酸性雨と都市大気を例として）

松本幸雄（PM2.5・DEP 研究プロジェクト）

1. 概要

空間時間データは、ある時間断面で見ると空間データであり、領域内の値の分布（層別）と空間相関とがデータの特徴付ける重要な量である。さらに、空間分布と空間相関が、時間的に変化するかしらないかという視点が空間時間データの解析には加わる。ここでは、報告者が関与した空間時間データの解析例を紹介する。大きい空間スケールの例として、日本列島の酸性雨調査データの空間時間変動の性質を述べる。空間的に小さいスケールの例として、ヒトへの曝露評価を念頭においた都市大気汚染の空間時間変動の性質を紹介する。

2. 報告内容

- ・ 大気汚染における空間データ、時系列データ、空間時間データの特徴
- ・ 酸性雨調査データの長期データ（3.）
- ・ 都市大気汚染の空間時間変動（4.）
- ・ 現在の課題（都市大気の関連において）

3. 酸性雨調査による湿性降下物の長期変動（日本列島規模の空間時間データの例）

1983 年から環境庁により 5 年間ずつ、第 1 次、第 2 次、第 3 次「酸性雨対策調査」が計 15 年に亘り行われた。しかし、このようなデータの常で（データ採取法の違いに加えて、）調査次毎に観測点の移動、地点数の違いなどがあり、全期間を通じて全地点にデータがあるわけではない。ここでは適用解析法に制約を少なくするため、それらのデータについて、観測点の違い、地点数の違いを年毎に Kriging 法で空間補間することによって、全地点×全期間の多変量時系列データに補正可能かどうかを検討した。その上で経年解析を行った。

Kriging は、正規確率場に従う未知の値を既存の値（観測点の値）から最小 2 乗誤差の原理を用いて予測する手法である。重要な量である地点間の共分散関数は距離の関数で書けるとする。最尤法により変数を推定する。

(1) 湿性降下物の統計モデル

解析対象は、湿性降下物の pH と非海塩性硫酸イオン濃度で、いずれも、濃度を降水量で加重平均した年平均値である。実際の解析では観測値は正規確率場だけでなく、降水量の項およびダミー変数として、都市か否かを示す項、および大陸からの越境汚染を考え、日本を太平洋側と日本海側、瀬戸内側と分ける項を入れ、それらの項の組み合わせからなるモデルについて検討した。モデル選択の基準としては $AIC(-2 \times \text{最大対数尤度} + 2 \times \text{パラメータ数})$ を用い、その値の小さい方を良いモデルとした。

当てはまりの良いモデルとして、pH に関しては都市か否かを示す項と日本海側、太平洋側と瀬戸内海の 3 つの地域を区別するための項を入れたモデルが選ばれた。非海塩性硫酸イオンについては、都市か否かを区別する項と日本海側とそれ以外の地域を区別する項を入れたモデルが選ばれた。（降水量は選ばれなかった）

また、これらのモデルの各々について共分散関数として距離の相関がないとした場合（独立モデルと呼ぶ）と、共分散関数が距離の指数関数として書けた場合の当てはまりの良さを比較した。Kriging はデータ間の共分散構造を用いて、未観測点の値を予測するため、もし独立モデルが採択された場合は Kriging によるデータの空間補間は不適切と考えられる。

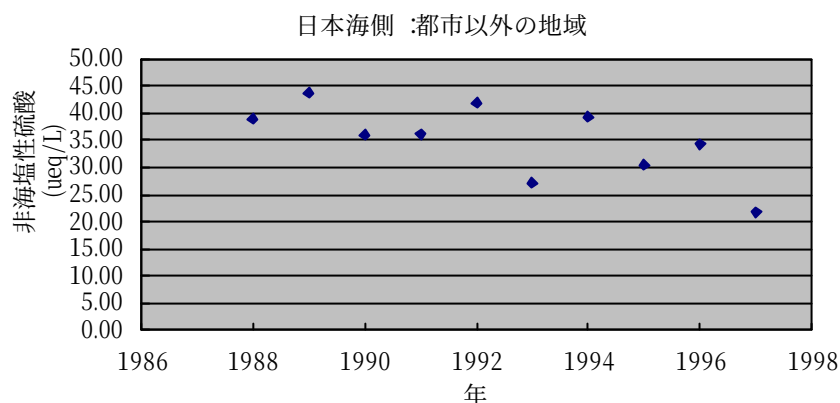
その結果、全国の 45 観測点の年平均値を用いた場合、AIC を用いると、ほとんどの年で独立モデルが採択された。このため Kriging による年降下量データの空間補間は不適切と判断された。さらに、月平均値についても 1997 年の 7 月と 12 月のデータを用いてその係数の推定を行った結果、この場合も独立モデルが選択され、月降下量の空間補間も不適切と判断された。（このことから、等値線を描く意味がないともいえる）

(2) 経年変化

Kriging によるデータの補間が不適切であるため、データの空間補間によって全期間の時系列をつくるこ

とは不可能となった。そこで独立モデルを用い、pH については太平洋側、瀬戸内地域、日本海側と、日本（南西諸島を除く）を 3 つの地域に分類し、それぞれ都市かそうでないかの計 6 つの区分について平均値の経年変化を検討した。また、非海塩性の硫酸イオンについては日本海側地域とそうでない地域（即ち、太平洋側と瀬戸内を合併）とに分けそれぞれ都市であるかそうでないかの計 4 つの区分の平均値の経年変化を検討した。ただし、採取法と地点が相当異なる第 1 次調査を除き、1988 年～1997 年まで同一の 23 地点を用いた。

その結果、いずれの区分においても、pH は経年的に上昇傾向を、非海塩性硫酸イオンは減少傾向を示した（図が日本海側地域の非海塩性硫酸イオンの例）。東アジアにおける硫黄分排出の経年変化との比較が興味深い。



4.都市大気汚染における空間時間変動

都市における大気汚染は曝露評価の視点からいえば、濃度の空間時間変動が重要である。さらに、二酸化窒素（NO₂）と粒子状物質（PM）に限っていえば、「沿道か、そうでないか」と「屋外か、屋内か」が重要である。これらについて評価した調査を紹介する。

(1) 一日平均値の短期評価

都市の汚染の空間時間変動を把握するために、東京都内において、一辺が 5～20km の正方形の領域を取り、その中で約 1km 間隔で格子状の地点の群と道路との距離を制御した地点群とを設定し、一日（二日）平均濃度を 5～10 日ずつ何回か季節ごとに調査を行った。このような空間時間データは、

（ある地点、ある日のデータ）＝（日による変化）＋（地点による変化）＋（交互作用）＋（残差）

と分解し、各項の大きさを評価することが出来る。

上の測定と同時に、家屋内外、個人曝露濃度を測定することにより、同様な整理の仕方ですべての屋内あるいは個人曝露濃度の変動も整理することができる。測定局、家屋外、家屋内、曝露濃度の間の関連についても評価可能である。

(2) 年間評価

東京都 23 区部は、約 30km×30km の領域であり、この程度の領域の中での年間の地点間変動や相関関係については大気汚染常時監視測定局の結果を用いて評価することができる。NO₂ と PM とでは、地点間の相関はかなり異なることがわかる。

このような、大気汚染濃度の空間時間変動を評価するのは、都市におけるヒトの曝露の評価と、曝露と影響との関連モデルの構築に基礎となる知見と考えるからである。

5.おわりに

時間空間データの解析のような統計的方法は、現象の理解に対して瑣末な技術と思われる場合もあるかもしれないが、対象をより正確に理解し、結果の解釈の客観性を確保するための共通の方法と考えている。研究を進めるには、所内外の研究者との情報の交流や共同研究が重要であると考えている。

現在の課題は、本日紹介した内容を整理し進めるとともに、最近の計測技術を用いて沿道の大気汚染の時間空間変動をより細かい空間間隔・時間間隔で測定し処理するシステムの開発や、また、PM に代表される大気汚染物質の曝露－影響の関係をより正確なモデルにすること、などである。