

OKAYAMA University
Earth Science Reports,
Vol.21, No.1, 1-5, (2014)

岡山県南部におけるPM2.5の高精度高解像度空間分布推定

A high precision and high resolution estimation of the spatial distribution of PM2.5 in the south area of Okayama prefecture, Japan

大 森 秋 穂 (Akiho OMORI)*

山 川 純 次 (Junji YAMAKAWA)*

Abstract

A relatively high precision and high resolution spatial distribution of the PM2.5 in the south part of the Okayama prefecture, Japan was estimated by the Universal Kriging method and the FOSS4G GIS softwares. The observation data of the PM2.5 were obtained from the Environmental data service site of the Okayama prefecture. The geospatial open data about the research field that used in the research were served by the government research institutes. The spatial analysis were executed by the R (R core team, 2014) and its spatial libraries, mapproj (Bivand and Lewin-Koh, 2014), rgdal (Bivand, Keitt and Rowlingson, 2014) and gstat (Pebesma, 2014). The geospatial representation and qualitative analysis of the estimated distribution were performed by the QGIS (QGIS Development Team, 2014) and the Google earth (Google, 2014). The time variant of the PM2.5 concentration by the each observatories in the area were show some cross correlation factor to the SPM10 concentration data. The estimated PM2.5 distribution seems to show that the relatively tight relation to the geospatial factors in the research area. The estimation of a time variant change of the PM2.5 distribution will be required of the further research..

Keywords: PM2.5, Spatial statistics, Kriging, R-language, gstat, FOSS4G, Google earth

I. はじめに

大気中には浮遊粒子状物質 (SPM: Suspended Particulate Matter) と呼ばれる天然起源や人工起源の様々な粒子が浮遊している。各種法律や規制においては煤塵、煤煙、粉塵、排気粒子 (EP: Exhaust Particle) などと呼称される場合もある。我が国では 1972 年に SPM の空間濃度に関する環境基準が設定された。この基準では SPM は特定の空気力学半径を超える粒子を 100%除去した粒子集団と定義され、SPM のうち空気力学半径が 10 マイクロメートル以下のものを SPM10 と呼んでいる。これに対し

PM (Particulate Matter) は SPM を慣性捕集法により採取した際に捕集効率が 50%となっている粒子のことで、空気力学半径が 2.5 マイクロメートル以下となるものを PM2.5 (微小粒子状物質) と呼ぶ。捕集法の特長上、PM2.5 には空気力学半径が 2.5 マイクロメートルを超える粒子が含まれる場合もある。本研究では PM2.5 に注目した。PM2.5 の健康被害は呼吸器系への物理的沈着と化学成分の生体吸収で発生すると考えられている。アメリカ環境保護庁 (EPA) では PM の粒径と大気中濃度から大気品質指数 (AQI: Air Quality Index) を設定し、Web サイト“[AIRNow](http://airnow.org)”を通じて健康被害発生に関する注意喚起を行っている。我が国では

2009 年に PM2.5 の環境基準が設定され、基準達成に向けて各方面で努力が継続されている。

PM2.5 には有機性の物質と無機性の物質で構成されており、二次生成粒子が 60%を占めると考えられている。有機性の PM2.5 は揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compound, VOC) が何らかの反応によって一次有機エアロゾル (Primary Organic Aerosol, POA) や二次有機エアロゾル (Secondary Organic Aerosol, SOA) へと変化し生成すると考えられている。一方、無機性の PM2.5 については前駆物質と考えられている硝酸塩や硫酸塩の観測値に関する分散が季節によって大きくなりシミュレーション結果と乖離する場合があるなど未だ解明されていない点が多い。特に二次生成粒子のうち SOA は大気中には前駆物質と考えられている人為起源ならびに自然起源の VOC が数百種類以上存在する。さらに未解明な部分も多い半揮発性有機化合物も加わっているため、SOA の起源や生成機構は極めて複雑であると推定される。これらを解明して行くためには、PM2.5 についての統一的なデータの扱いやそのデータを蓄積していく体制や仕組みを早期に構築する必要がある。一般財団法人日本環境衛生センター (2014) では PM2.5 の二次生成粒子の挙動解明に関する文献の調査が報告されている。この報告では

* 岡山大学理学部地球科学科, 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1

* Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Okayama University, Okayama, 700-8530, Japan

(1) 観測手法, (2) レセプターモデル, (3) チャンバー実験, (4) 化学輸送モデルの現状に関して検討されている。しかし PM2.5 は SPM10 に比べると濃度を観測しているステーションの数が少ないため, 生成機構の解明や社会活動に利用可能な高解像度分布情報を得ることが難しく何らかの解決策が講じられなければならないと考えられる。

SPM の空間濃度は時間とともに変動する時系列データである。また SPM を粒径でグルーピングした場合, グループ毎の空気力学特性が異なるため, 同一の気象条件に対する時間変動パターンも異なると考えられるが, 同時に SPM の各グループ毎の空間濃度の時間変動には何らかの相互相関も存在すると推定できる。時系列データ間の相関は相互相関解析法 (Cross Correlation Analysis) で検討できる。良い相関が存在すれば, ある SPM グループの空間濃度時系列変動から他の SPM グループの空間濃度時系列変動を推定することが可能になると考えられる。

現在, 岡山県南部で SPM の空間濃度を観測しているステーションは点在しており, 濃度分布に関する空間解像度は概ね十数キロである。SPM の分布に関して様々な地球科学的検討を行う場合, この空間解像度では不足する場合は有る。しかし観測ステーションの追加は機器コストや人的コストを伴うので容易に実行できない。このため現在の SPM 濃度分布測定の間解像度を何らかの手法で向上させる必要があると考えられる。ある領域内に点在する測定点から得られる値を元に, その領域全体に渡る値の分布を推定する手法の一つに空間統計学がある。空間統計学は鉱山における鉱石の品位分布推定に端を発し, 現在では統計学の一分野として完成された手法である。この手法により SPM の分布推定に関する空間解像度を擬似的に向上させることが可能である。

間瀬 (2010) や谷村 (2010) では空間統計解析法が俯瞰されている。山川・海老・松本 (2011) では空間統計解析法の一つである普遍クリギング法を用いた地球科学情報の推定について報告されており, この研究では, 岡山市北西部に位置する花崗岩体から採集した石英の結晶構造シフトを空間統計解析し空間分布を推定している。また普遍クリギング法を用いて推定値の分散を小さくする手法に関する議論されている。海老・松本・山川 (2012) では, 瀬戸内海中部上空における SPM 濃度分布の推定について報告されおり, 国立環境研究所から公開されている瀬戸内海地方で観測された SPM10 の観測データに普遍クリギング法を用いることで分散の低い空間分布を推定している。また Google earth を用いて推定分布を地表画像や地形と併せて表示し定性的な検討が行なわれている。山川・海老・松本 (2010) では, Google earth による地球科学情報の地理学的表現について報告されてい

る。この研究では R による空間統計解析結果を Google earth で表示し, 地表構造物や植生などのデータと併に表示して検討を行う手法について検討されている。

SPM は様々な発生源を持ち, 各種気象と連動してその分布を変化させるため, SPM の分布を検討するには地形や地質, 植生などの地球科学情報や地表構造物等の地理情報が必要となる。現在, これらの情報は各研究機関からデジタルデータとして無償で提供されており, SPM の分布を地理データとともに検討することが可能になっている。SPM の推定分布を海岸線や標高などの地形データや地図データ, 地表構造物や植生などの航空画像データや衛星画像データ等と比較することで, 社会活動や環境評価に対してだけでなく, SPM の生成機構の解明にも役立つと考えられる。

本研究は岡山県南部における PM2.5 の分布に注目し, 空間統計学を使って高精度かつ高解像度な分布推定を行い, 各種地球科学情報および地理学情報との比較検討を行った。

II. データと手法

本研究で, 分布推定を行った領域は, 岡山大学を中心とした岡山市から倉敷市にわたる南北 30km, 東西 50km の領域である。

1. SPM10 および PM2.5 の濃度観測データ取得

岡山県南部に設置されている SPM の観測ステーションは 36 箇所である。これらのうち SPM10 と PM2.5 の観測を行っているステーションは 15 箇所である。各ステーションで得られる SPM10 と PM2.5 の観測値は, 岡山県が配信している Web サイト「岡山県の大気環境の状況」で公開されている。このサイトでは一時間毎の平均値と一日毎の平均値が公開されているが, これらは速報値であり確定値ではないことに留意する必要がある。本研究では 2014/5/25, 0:00 から 2014/5/26, 24:00 までの 48 時間に渡る一時間毎の濃度の平均値データを HTML 形式で取得し, 汎用表計算ソフトウェアで CSV 形式に変換した。各観測ステーションの位置情報は独立行政法人国立環境研究所により公開されている 2012 年度のデータ (CSV 形式) から抽出した。ステーション名をキーに用いて大気環境データファイルと観測ステーション位置情報ファイルをリレーショナル処理し, 単一のデータファイルに結合した。

海岸線データは独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センターから公開されている 20 万分の 1 日本シームレス地質図 (脇田・井川・宝田, 2009) で提供されている SHAPE 形式のデータより抽出した。行政境界データは基盤地図情報 WMS 配信サービスから JPGIS (XML) 形式で取得し, 「国土数値情報ダ

「ダウンロードサービス」から提供されている JPGIS (XML) コンバータ KsjTool (国土交通省国土政策局, 2012) を使用して SHAPE 形式に変換した。SHAPE 形式のファイル操作は FOSS4G (植村哲士, 2011) の一つである QGIS (QGIS Development Team, 2014) を使用した。

2. 時系列解析と空間統計解析

SPM10 と PM2.5 の時系列空間濃度変化の相互相関解析には R (R Core Team, 2014) を使用した。PM2.5 の濃度分布推定には普遍クリギング法を用いた。空間統計解析には R と空間統計ライブラリ maptools (Bivand and Lewin-Koh, 2014), rgdal (Bivand, Keitt and Rowlingson, 2014), gstat (Pebesma, 2014) を使用した。これらのライブラリのうち rgdal は FOSS4G ソフトウェアである GDAL (GDAL, 2014) の R バージョンである。SPM10 と PM2.5 の空間濃度測定データは QGIS (QGIS Development Team, 2014) を使い投影法を平面直角座標系第 V 系 (平成十四年国土交通省告示第九号) に変換して空間統計解析に用いた。クリギングにより推定した PM2.5 の推定分布は、R でデータ形式を変換したのちに QGIS で投影法を変換し、QGIS や Google earth (Google, 2014) で他の地理学的データと併せて表示して定性的な検討を行った。

III. 結果と考察

本研究対象地域と観測ステーションの位置、岡山県の行政境界と海岸線を図 1 に示す。

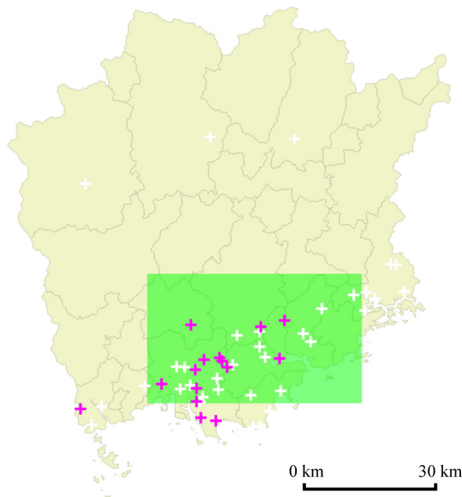


図 1. 研究対象地域と観測ステーション

緑色の矩形は研究対象地域を表し、桜色の十字シンボルは SPM10 と PM2.5 の観測を行っているステーション、白色の十字シンボルは SPM10 のみを観測しているステーションの位置を表す。

1. 相互相関解析

本研究で得られた SPM10 と PM2.5 の相互相関解析結果について考察する。監視センターに関する相互相関関数 (Correlogram) を図 2 に示す。

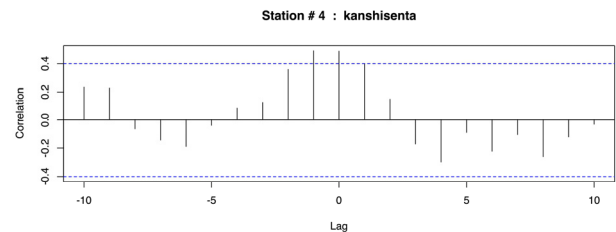


図 2. 相互相関関数

相互相関関数は各ステーション毎に解析期間を 24 時間に設定し前後 10 時間の範囲で求めラグタイムを推定した。観測ステーション毎に推定したラグタイムは相互相関解析を開始する時刻をシフトしてもほぼ一定となった。したがってこの解析期間においてラグタイムは各観測ステーション毎に固有の性質であったと考えられた。一方 2014/5/26 は午後になって降雨があり、この時間帯が解析期間に重なるとラグタイムが不明瞭になった。したがってこの降雨はラグタイムに影響を与えたと考えられた。このことから他の気象イベントもラグタイムに影響を与えると推測できる。

2. 空間統計解析

PM2.5 を観測しているステーションのデータのみから普遍クリギング法で求めた PM2.5 の空間分布推定を図 3 に示す。

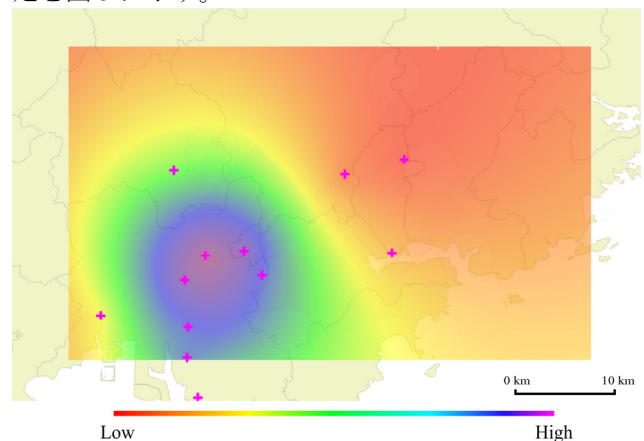


図 3. PM2.5 の観測地のみから推定した分布

桜色の十字シンボルは SPM10 と PM2.5 の観測を行っているステーションの位置を表している。岡山県南部の海岸線と行政境界を同時に示した。PM2.5 の推定濃度は赤が低く紫が高く表現されている。推定された PM2.5 の濃度は研究対象地域の東部で低く西部で高く推定された。南西部に顕著な濃度ピークが推定されている。推定に用いた方形区 (コドラート, Quadrat)

の大きさは 250m×250m だが、推定濃度の空間解像度は約 15km と見積もることができる。この空間解像度でも PM2.5 の広域分布を議論することができるが、数 km 以下の地形や地表構造物との関連性を議論することは難しい。

次にラグタイムで補正した SPM10 の空間濃度を用い、普遍クリギング法で求めた PM2.5 の空間分布推定を図 4 に示す。

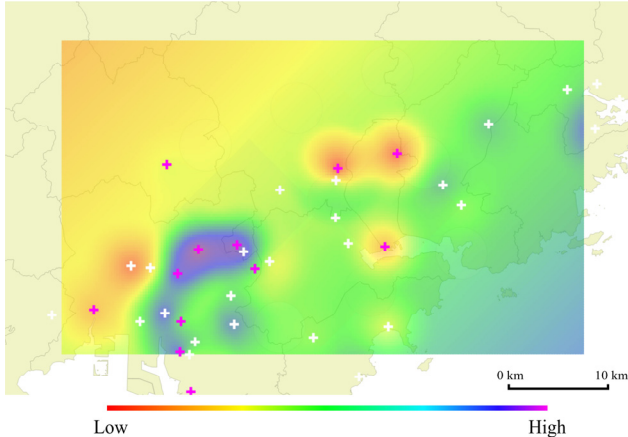


図 4. タイムラグ補正した SPM10 を併用して推定した分布

PM2.5 の観測データのみから推定したもの比べると空間解像度が向上したこの推定分布図の解像度は 3km 前後と考えられる。この解像度であれば数 km 前後で変化する地形や幹線道路などの地表構造物との比較が可能であると考えられた。普遍クリギング法を使用したことで、SPM10 と PM2.5 の観測ステーションが存在する地域における推定値の分散も低く抑えられ、高精度な推定が行われていると考えられた。なお南東部分と北西部分は依然として推定値の分散が高いため議論からは除外する必要がある。次に、この空間分布推定図を Google earth で表示した図 5 を示す。

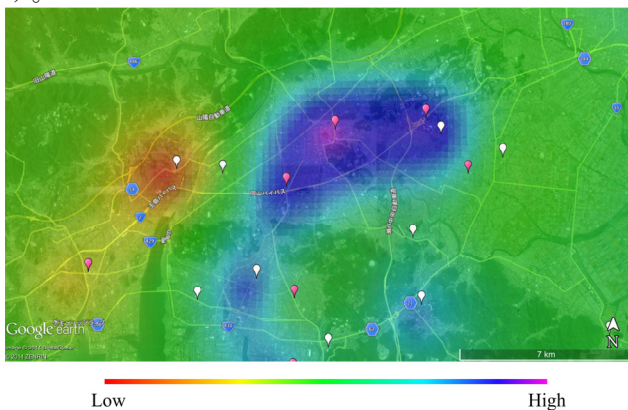


図 5. Google earth で表示した推定分布

この図は研究地域全体のうち南西部分を拡大し、Google earth の幹線道路表示を有効にしている。PM2.5

が比較的高濃度と推定された場所は幹線道路が集中している地区や市街地であることがわかる。しかし、同じく幹線道路が集中する西部は比較的低濃度と推定されているので、これらの地表構造物と社会活動が PM2.5 の分布に直ちに影響を与えているとは断定できない。また丘陵地域でも濃度が比較的低く推定されている。

IV. 結論

SPM10 と PM2.5 の濃度の時間変動の相互相関関数において最大相関を示すラグタイムはゼロではなく、さらにその値は研究対象とした期間内で 10 時間以上に渡ってほぼ一定であることを明らかにした。また普遍クリギング法により SPM10 の観測濃度から PM2.5 の濃度分布を推定し、分布推定の高精度化と高解像度化を実現した。さらに推定された高解像度の PM2.5 の分布図を行政区画や地形および地表画像と併せて検討し、PM2.5 の分布に地理学的要素が与える影響を定性的に検討した。

V. 今後の課題

PM2.5 の高解像度分布推定により、数 km 前後で変化する地形や幹線道路などの地表構造物との相関関係を検討することが可能になったため、これらの地理学的要素が PM2.5 空間濃度の時間変動に与える影響を検討することが可能となった。これにより発生源や気象との関連を検討することが可能になった。SPM10 と PM2.5 の濃度変動におけるラグタイムが 0 以外の値を示す、すなわち SPM10 と PM2.5 の濃度変動特性が一致しないのは、PM2.5 が部分的に SPM10 以外に由来していることを示すと考えられる。観測ステーション毎のラグタイムの変動を長期間に渡って検討することで、PM2.5 の濃度変動予測を行うことが可能になると考えられる。

参考文献

- Bivand, R. and Lewin-Koh, N. (2014). mapproj: Tools for reading and handling spatial objects. R package version 0.8-29. <http://CRAN.R-project.org/package=mapproj>.
- Bivand, R., Keitt, T. and Rowlingson, B. (2014). rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library. R package version 0.8-16. <http://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.
- GDAL (2014). GDAL - Geospatial Data Abstraction Library: Version 1.10. Open Source Geospatial Foundation. <http://gdal.osgeo.org>.
- Google (2014). Google earth: Version 7.0. Google.
- Pebesma, E. J., (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computers & Geosciences, 30, 683-691.
- QGIS Development Team (2014). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

- 一般財団法人日本環境衛生センター (2014). 平成 25 年度環境省請負業務結果報告書, 平成 25 年度微小粒子状物質(PM2.5)均二次生成粒子の挙動解明に関する文献調査.
- 植村哲士 (2011). FOSS4G HANDBOOK. 開発社.
- 海老貴宏・松本宏文・山川純次 (2012). 瀬戸内海中部上空における SPM 濃度分布の推定. 岡山大学地球科学研究報告, 19, 1, 19-24.
- 国土交通省国土政策局 (2012). 国土数値情報 XML シェープ変換ツール操作説明書. http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/ksjtool_manual.pdf.
- 谷村 晋 (2010). R で学ぶデータサイエンス 7, 地理空間データ分析. 共立出版株式会社.
- 間瀬 茂 (2010). 地球統計学とクリギング法—R と geoR によるデータ解析—. オーム社.
- 山川純次・海老貴宏・松本宏文 (2010). GoogleEarth による地球科学情報の表示. 岡山大学地球科学研究報告, 17, 1, 25-26.
- 山川純次・海老貴宏・松本宏文 (2011). KED 法を用いた地球科学情報の分布推定. 岡山大学地球科学研究報告, 18, 1, 1-3.
- 脇田浩二・井川敏恵・宝田晋治 (2009). 20 万分の1日本シームレス地質図 DVD 版, 数値地質図 G-16. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.