

## 瀬戸内海中部上空における SPM 濃度分布の推定

### Estimation of SPM concentration distribution over the central Seto Inland Sea

海老貴宏, 松本宏文, 山川純次 (Takahiro EBI, Hirofumi MATSUMOTO, Junji YAMAKAWA)\*

Ordinary Kriging, OK, and Regression Kriging, RK, are the spatial statistical methods that are possible to estimate a horizontal distribution in a study area from discrete data. OK is the method which takes account of only spatial auto-correlation structure of the data, while RK is the method which takes account of an interrelationship between spatial auto-correlation structure and some auxiliary variables to minimize the estimation error. Analytical processing for OK and RK methods was performed by the R-Language (R Core Team, 2012) and its some additional libraries. The auxiliary variables required to perform RK method were prepared by a GIS application, Quantum GIS (Quantum GIS Development Team, 2012). The 3-dimensional geographic representation of the estimation maps was performed by the Google Earth (Google, 2012).

In this report, OK and RK methods were applied to one of the Earth scientific information, SPM (Suspended Particulate Matter). Then, these methods were considered by comparing two estimation maps, and finally considered qualitatively by displaying these maps in the Google Earth.

**Keyword:** Ordinary Kriging, Regression Kriging, Auxiliary variable, R-Language, Google Earth

#### 1. はじめに

地球科学の分野では、しばしば位置情報を伴った物性を扱うことがある。このような物性を、ここでは地球科学情報 (Earth scientific information) と呼ぶことにする。その例としては、鉱物の構造シフト、大気・土壌・水質の各汚染物質や微量元素の濃度、気象データ等が挙げられる。通常、地球科学情報は離散的であるために、その離散データから研究領域全体にわたる連続的な空間分布を視覚的に把握することは難しい。しかし、空間統計学 (Spatial Statistics) の一種である地球統計学 (Geostatistics) の手法を用いることで、離散データから連続的な空間分布を推定することができる。その推定方法は、データの空間自己相関 (Spatial auto-correlation) を考慮するクリギング法 (Kriging) と、空間自己相関ではなくデータポイント間の距離を考慮する逆距離加重法 (Inverse Distance Weighting, IDW) 等がある。今回の研究では、データの空間自己相関を考慮した分布推定を行なうことができるクリギング法を用いた。さらにクリギング法には、データの空間自己相関のみを考慮する通

常クリギング法 (Ordinary Kriging, OK) と、空間自己相関と OK 法による推定誤差を最小化する補助変数 (Auxiliary variables) との間の相互関係を考慮する回帰クリギング法 (Regression Kriging, RK) がある。OK 法および RK 法に関する詳細な数学的背景は、Hengl, Heuvelink and Rossiter (2007) と Hengl (2009) に述べられている。RK 法は OK 法に比べ、注目する物性が位置情報だけではなく、分布推定に影響を及ぼすような他の要素とも関連する性質を伴う場合に、分布を比較的高精度に推定できる。

今回、山川・海老・松本 (2011) で用いられた手法に基づき、地球科学情報の 1 つである浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter, SPM) の測定データを OK 法および RK 法を用いてその空間分布を推定し、それらの比較および考察を行なった。さらに、推定した分布図を Google Earth に表示して、SPM 分布と地形との関係を定性的に考察した。

\* 岡山大学大学院自然科学研究科地球科学専攻, 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1

\* Division of Earth Science, Graduate School of Science and Technology, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

## II. 研究概要

### データ

SPM の測定データは、独立行政法人国立環境研究所より公開されている「環境数値データベース 大気環境月間値・年間値データ」の 2009 年 9 月を使用した。SPM に関する詳細な解説と測定方法は、同研究所の WEB サイト内の「大気汚染状況の常時監視結果データの説明 1. 測定物質について」に述べられている。補助変数を作成するための数値地質図としては産業技術総合研究所地質調査総合センターより提供されている 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版(脇田・井川・宝田, 2009)を使用し、数値標高モデルとしては国土地理院より提供されている基盤地図情報(数値標高モデル)の 10m メッシュのものを使用した。

また今回、分布推定を行なった領域は、岡山市をほぼ中心とする南北 120km、東西 150km である。図 1 は、その範囲を示したものである。

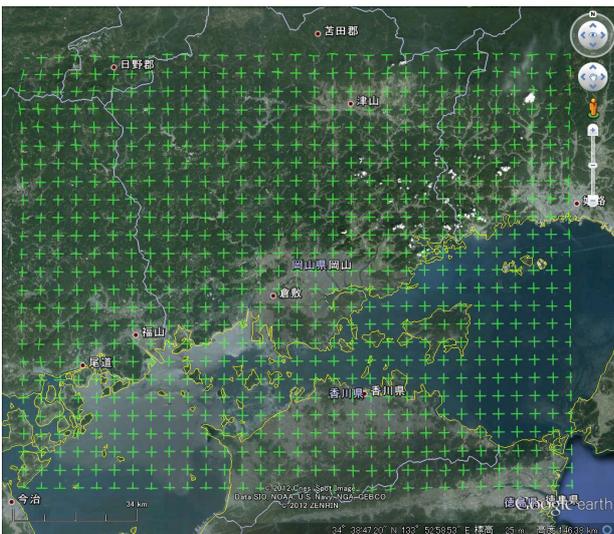


図 1. 分布推定を行なった領域(緑色の範囲)

### アプリケーション

Shapefile 形式で提供されている数値地質図の操作は、Quantum GIS (Quantum GIS Development Team, 2012) を使用した。地球統計解析は、R (R Core Team, 2012) とそのライブラリを使用した。推定された SPM の分布図は、山川・海老・松本 (2010) で開発された手法により Google Earth (Google, 2012) で表示した。

### 補助変数

補助変数は、標高とバッファ距離(今回の研究では、

海岸線からの距離)を用いた。標高データは研究領域に対して相対的に細かい間隔 (10m) であり、領域全体で扱うデータが膨大になりアプリケーションで処理できない場合があるため、標高データをダウンサンプリング (Downsampling) した。またバッファ距離は、約 5000m 間隔で、海岸線から遠いほど大きいとして定義した。

### Google Earth

Google Earth は、縮尺の拡大縮小や仰角視点の設定等が可能な非常に強力なマッピング能力をもつアプリケーションである。そして表示には、KML (Keyhole Markup Language) 形式を使用した。KML 形式は XML 形式の一種で、Keyhole 社が 3 次元地理空間情報の表示を管理するために開発したファイル形式である。

## III. 結果と考察

### OK 法および RK 法による推定とその比較

まず、OK 法による SPM の分布推定を行なった。図 2 に、バリオグラムを示す。バリオグラムはデータの空間自己相関を距離の関数としてモデル化したもので、縦軸にポイントペア間の分散 (Semivariance)、横軸にポイントペア間の距離 (Distance) をとりプロットする。図 3 は、図 1 の領域で OK 法により推定された分布とその推定分散 (推定誤差) である。

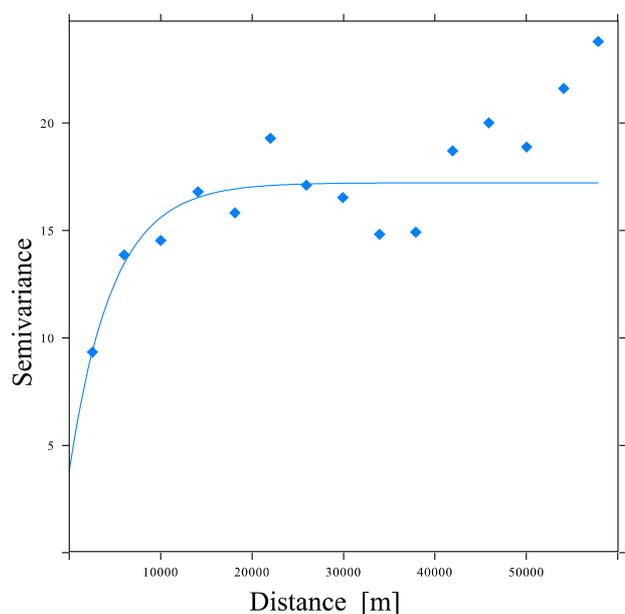


図 2. OK 法による SPM のバリオグラム

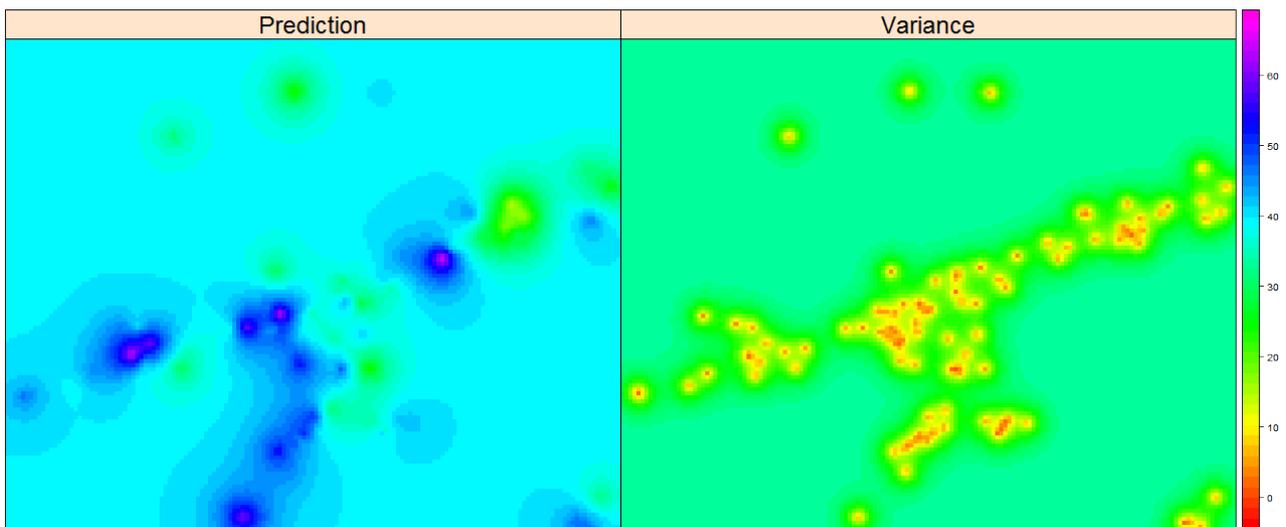


図3. 図1の領域においてOK法により推定されたSPMの分布とその推定分散

図3の彩色は、推定値および分散値全体の最小値を赤色に、最大値を紫色になるように共通のスケールで行なった。図3より、OK法では、測定点周辺以外の領域における分散が比較的大きくなっていることが分かる。

続いて、RK法を用いてSPMの分布推定を行なった。最初に、各測定点におけるSPMの値と標高およびバッファ距離の関係を検討した。その結果を図4に示す。

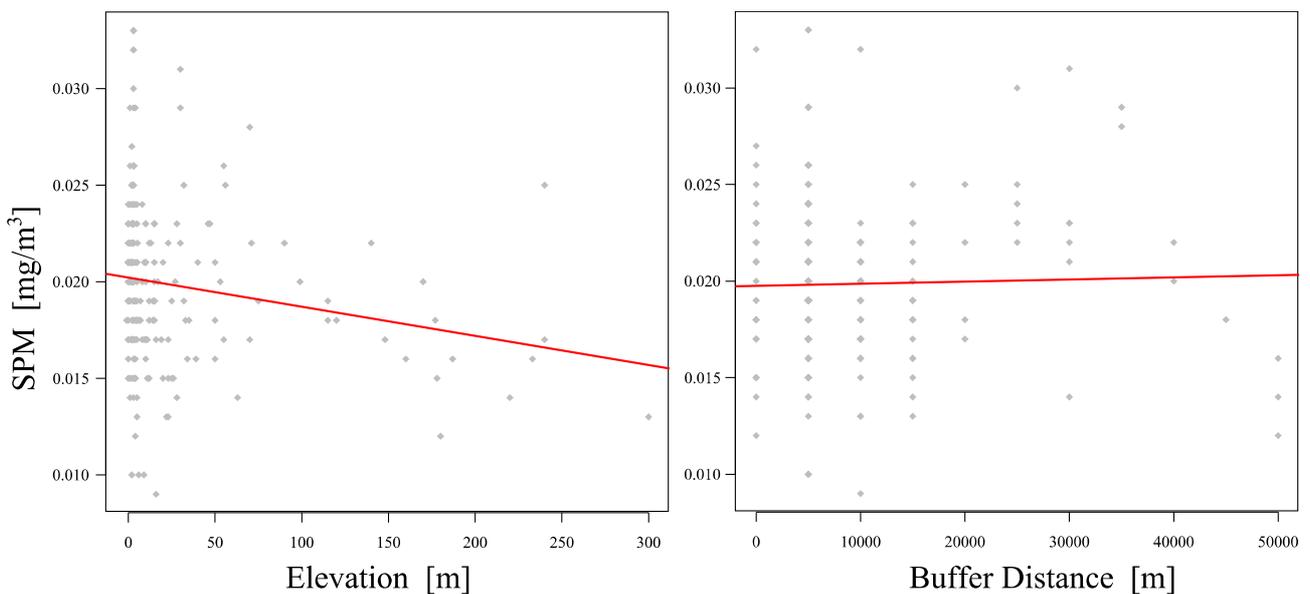


図4. 各測定点におけるSPMの値と標高およびバッファ距離の関係

その結果、SPMの測定値に対して、標高に対して負の相関、バッファ距離に対して正の相関が確認された。そこで、標高とバッファ距離を補助変数としてRK法による推定を行ない、SPMの分布とその分散を求めた。図5は図1の領域でRK法により推定されたSPMの分布とその推定誤差で、図6は図3と図5を並べたものである。その結果、図5においてOK法とRK法で異な

る推定分布を導いたことから、RK法はSPMの測定値以外の要素を反映したことが分かる。これは、RK法による推定の際に使用した2種類の補助変数の影響が現れたものであると考えられる。従って、RK法はOK法に対して地形の影響を受けた推定法であるために、OK法よりも現実に即した分布を導いたと考えられる。

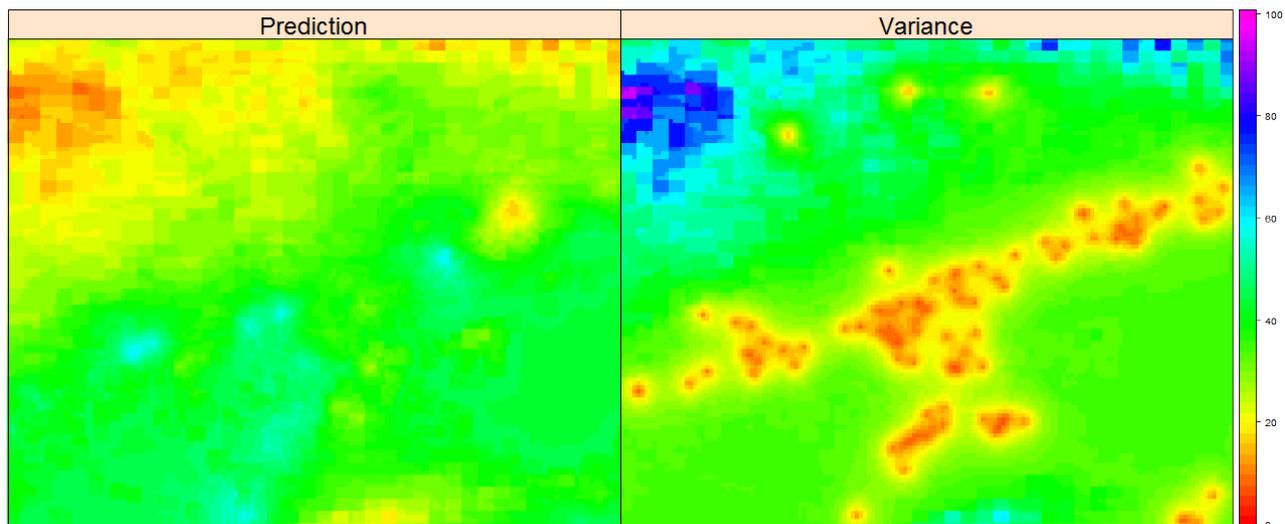


図 5. 図 1 の領域において RK 法により推定された SPM の分布とその推定分散 (図 3 と同じスケールで彩色)

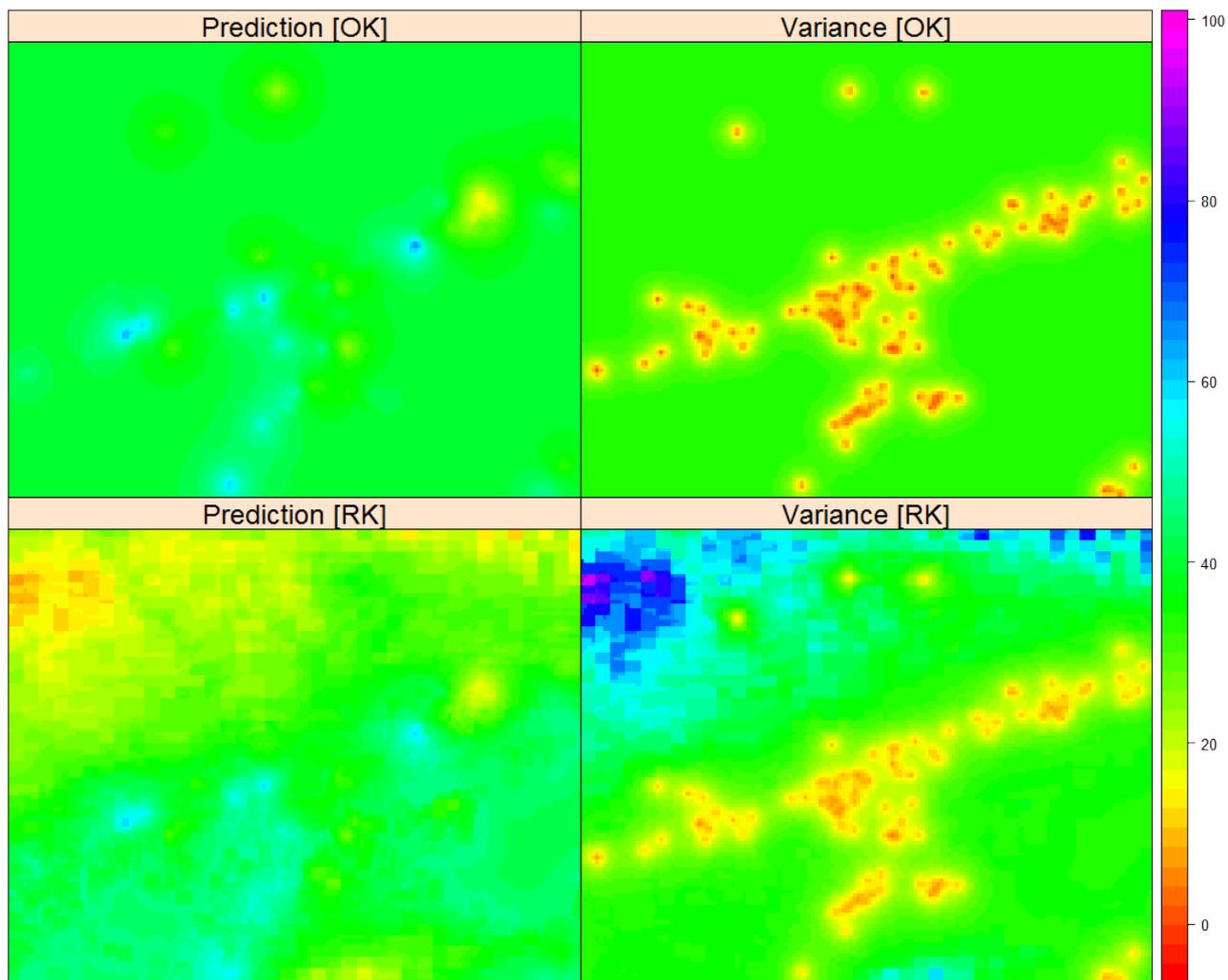


図 6. OK 法と RK 法による SPM の推定結果と推定分散の比較

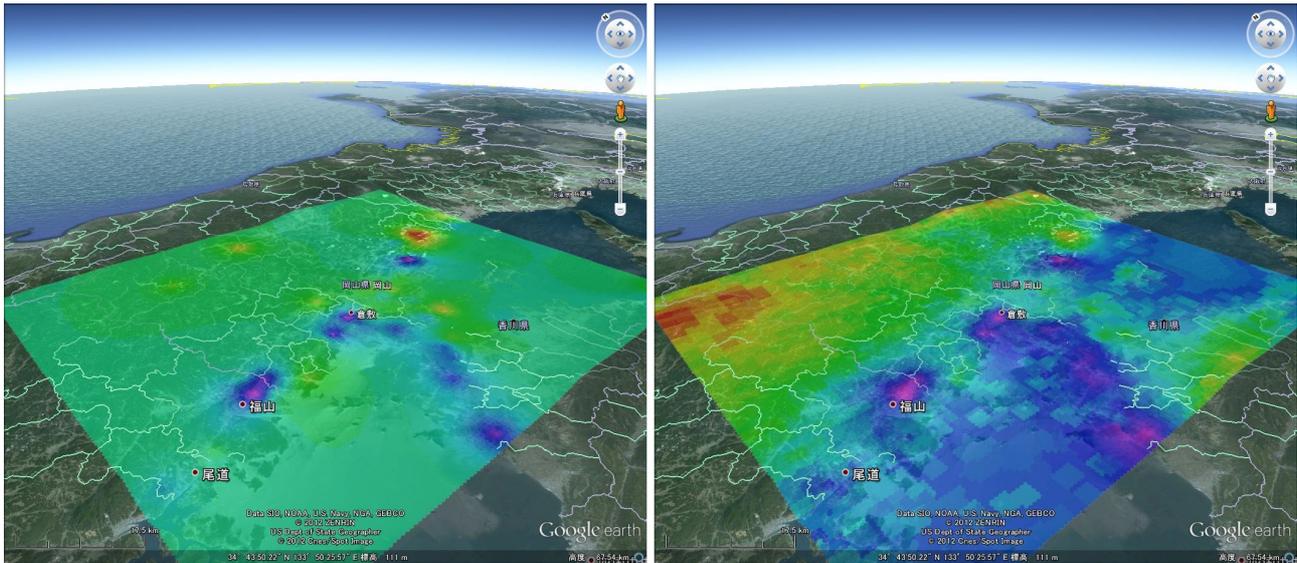


図7. Google Earthで表示したSPMの推定分布図（南西方向からの視点）  
[左側:OK法, 右側:RK法]

### Google Earthによる表示

次に、OK法およびRK法により推定されたSPMの分布図をGoogle Earthで表示して、分布図を地形と併せて定性的に考察した。その図を図7に示す。その結果、SPMに関して、岡山県と兵庫県の間境周辺や山間部に低濃度領域が存在し、倉敷市や福山市、香川県の西部（丸亀市、坂出市、観音寺市）沿岸周辺に高濃度領域が存在すること等がOK法およびRK法のどちらの場合でも確認することができた。このようにGoogle Earthで表示することにより、推定分布と地形との関係を容易に把握することができた。

また図6において、RK法はOK法に比べて、推定分散の大きい領域が分布図の左上部（つまり、山間部）に出現した。これは、この領域では推定誤差が大きく、RK法による推定が高精度でなかったことを意味する。そのため、RK法による推定をさらに高精度に行なうには、より詳細な補助変数の作成、補助変数の追加、そして理論バリオグラムにおけるモデル関数の考慮等が必要であると考えられる。

今後は、上記の問題点を基にRK法による推定を再度行ないたい。また、今回推定した分布図と推定し直した分布図と比較し検討することにより、RK法の推定精度をさらに向上させてゆきたい。

### IV. 引用文献

#### 環境数値データベース

大気環境月間値・年間値データファイル  
浮遊粒子状物質 (SPM) 2009年度  
独立行政法人国立環境研究所

#### 基盤地図情報ダウンロードサービス

基盤地図情報 数値標高モデル  
JPGIS形式 10mメッシュ  
国土交通省国土地理院

#### 国立環境研究所

環境数値データベース  
大気汚染状況の常時監視結果データの説明  
1. 測定物質について  
<http://www.nies.go.jp/igreen/explain/air/sub.html>

山川純次・海老貴宏・松本宏文 (2010)

Google™ Earth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 (編) (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

Google (2012)

Google Earth

Hengl, T., Heuvelink, G. and Rossiter, D. (2007)

About regression-kriging: From equations to case studies

Computers & Geosciences, 33, 1301-1315

Hengl, T. (2009)

A Practical Guide to Geostatistical Mapping

291 pp.

ISBN: 978-90-9024981-0

Quantum GIS Development Team (2012)

Quantum GIS Geographic Information System

Open Source Geospatial Foundation Project

R Core Team (2012)

R: A language and environment for statistical computing

R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

ISBN: 3-900051-07-0