

# Cokrigingの地価推定への適用可能性の検討\*

## A Study on the Applicability of Cokriging to Land Price Estimation\*

李 勇鶴\*\*・井上 亮\*\*\*・清水英範\*\*\*\*

By Yonghe LI\*\*・Ryo INOUE\*\*\*・Eihan SHIMIZU\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、市場原理によって土地の高度・有効利用を促進する施策の一環として、不動産市場の透明性の向上、特に地価に関する情報のさらなる整備と公開の必要性が叫ばれている。市場参加者が関心をもつ土地の価格や動向を知り、これを他の土地の情報と比較することができなければ、合理的な意思決定を行うことは不可能であるからである。

我が国では、この「地価に関する情報の整備と公開」の役割をこれまで国土交通省による公示地価が担ってきた。もちろん、公示地価は鑑定価格であるため、市場取引価格との乖離が指摘されてきたことは周知の通りである。そこで、国土交通省は、ついに一定の制限のもとに不動産取引価格を公開する方針を決定し、平成17年度第三四半期から全国の政令指定市を中心とする地域について取引価格情報を「土地総合情報システム」(<http://www.land.mlit.go.jp/webland/>)にて公表している。しかし、地価情報には必然的な限界が存在する。取引価格の場合、取引事例は地域的に偏在するため、全ての市場参加者が関心をもつ土地の価格や動向の情報を必ずしも提供するわけではない。従って、市場参加者が関心をもつ土地の価格や動向を知るためには、否応無しに空間で蓄積された情報を利用した予測というプロセスが不可欠になる。さて、これまでは空間統計学の手法で地価の推定を行う時、単独の地価情報だけを利用したKrigingをよく採用してきた。Krigingでは、地価情報の間の時間や空間上の相関を利用して地価の推定を行う。しかし、わが国の地価は「一物多価」と言われているように、様々な地価情報が異なる需要を満足するために公表されている。これらの地価情報を有効に利用することによって地価の推定精度をより高めることができる。

\* キーワーズ: Cokriging、地価

\*\*非会員、工修、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻  
(東京都文京区本郷7-3-1、TEL03-5841-6129、FAX03-5841-7453)

\*\*\*正員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻  
(東京都文京区本郷7-3-1、TEL03-5841-6129、FAX03-5841-7453)

\*\*\*\*正員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻  
(東京都文京区本郷7-3-1、TEL03-5841-6126、FAX03-5841-7453)

そこで本研究では、被説明変数と類似度が高く空間相関が強い補助変数を利用して変数間の空間相関を構造化し推定を行うCokrigingに着目し、地価推定への適用可能性を検討する。なお、現時点では取引事例情報は地価推定に必要な属性情報を十分には提供しないため、公示地価情報から抽出・作成した空間的に偏在する地価情報を仮想的な取引事例情報とし、補助変数として路線価情報を利用してCokrigingの実証分析を行う。公示地価と路線価の情報としては、2006年度の東京23区の公示地価と路線価を利用する。

### 2. Cokriging

Cokriging (共変量クリギング) は、Krigingを拡張した手法で、多変量間の相関を利用して推定を行う空間統計学の手法である。「Cokrigingでは、特定の位置における推定対象変数の値を、近傍に存在しているその変数自体といくつかの補助変数に関するデータを基にして推定する」<sup>1)</sup>。

Cokrigingの特徴は各変数間の相関を相互共分散関数または相互バリオグラムで表現することである。N変量確率率上において、2次定常性の仮定と固有仮説の枠組みで、自己・相互共分散関数 $C_{ij}(h)$ と自己・相互バリオグラム $\gamma_{ij}(h)$ は以下のように定義される。

$$C_{ij}(h) = E[(Z_i(x) - m_i)(Z_j(x+h) - m_j)] \quad (1)$$

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2} E[(Z_i(x+h) - Z_i(x))(Z_j(x+h) - Z_j(x))]$$

$$(x, x+h \in D; i, j = 1, \dots, N)$$

Cokrigingは、主に対象変数の数が少なく、自己相関だけを利用したKrigingでは高精度の予測ができない場合によく使われる。この時、対象変数と空間相関が強く観測数が多い補助変数を予測に利用するCokrigingを用いることによって、対象変数だけを利用したKrigingに比べて、予測精度を高めることができる。

Cokrigingでは、対象変数と直接の関係のある他の変数を補助変数として用いることが多い。Chenら<sup>2)</sup>は地表標高を補助変数としたUniversal Cokrigingを用いて地下水位の予測を行っており、本多ら<sup>3)</sup>は貯水位と降水量を補助変数とした時空間Cokrigingを用いてダム周辺の地価水位の予

測を行っている。また、Cokrigingでは補助変数として対象変数と同じ変数を用いることもある。例えば、Zhangら<sup>4)</sup>はある深さにある土壌の硝酸塩の濃度を同じエリアの他の深さにある土壌の硝酸塩の濃度を補助変数としたCokrigingを用いて予測を行っている。また、本多ら<sup>3)</sup>とZhangら<sup>4)</sup>の研究では、CokrigingとKrigingによる推定精度を比較しているが、その結果、Cokrigingによる推定がより高い精度を持っている事が明らかになっている。

従来の地価予測に関する手法としては、主に空間と時間上の自己相関を利用した時空間Universal Krigingなどが挙げられる<sup>5)</sup>。また、Cokrigingによる地価予測に関する研究として、Chica-Olmo<sup>6)</sup>はAGE(apartment age)、AMP(amplitude)、HEAT(central heating)などの情報を補助変数として、Ordinary Cokrigingを用いて不動産価格の推定を行っている。しかし、地価のような社会経済データでは、空間距離の近さだけでは現象を説明することはできない。そこで、地価モデルの誤差に自己・相互共分散構造を仮定したUniversal Cokrigingを行うこととし、次章で住宅地公示地価と路線価を用いて地価推定へのUniversal Cokrigingの適用可能性を検証する。

### 3. 実証実験

#### (1) 使用データと地価モデル

Universal Cokrigingの地価推定への適用可能性を、2006年の国土交通省東京23区住宅地公示地価を対象変数、国税庁相続税路線価を補助変数として実験を行った。対象地域内には、住宅地の公示地価調査地点数は990点あり、調査地点から最寄りの路線価格をその地点の路線価と設定している。なお、同一地点の公示地価対数値と路線価対数値は相関係数が0.994と高い相関がある。

実験では、公示地価の調査地点の中から一部を抽出し、公示地価が空間的に均一に分布する状況から、特定地区だけに集中する状況まで、空間分布の偏在度が異なる4分布(図-1)を作成して、地価推定精度の検討を行った。

全990点の公示地価の調査地点から120点のデータを抽出してパラメータ推定用の対象変数とし、全990点の路線価を補助変数としてパラメータ推定を行う。その後、推定結果を用いて、公示地価の残りの870点の調査地点の公示地価を推定し、公示地価データと比較して推定精度の検証を行った。公示地価の調査地点の抽出方法は、分布1は全観測点からランダムに120点を抽出、分布2は郊外部の五つの地区(練馬区、杉並区、中野区、世田谷区、目黒区)から80点を、他の地区から40点を抽出、分布3では中心部と郊外部の四つの地区(文京区、豊島区、世田谷区、江戸川区)だけから120点を抽出、分布4では郊外部の五つの地区(分布2と同じ)だけから120点を集中した。図-1で示したように、分布1から分布4の順で、公示地価の空間的偏在が大きくなっている。

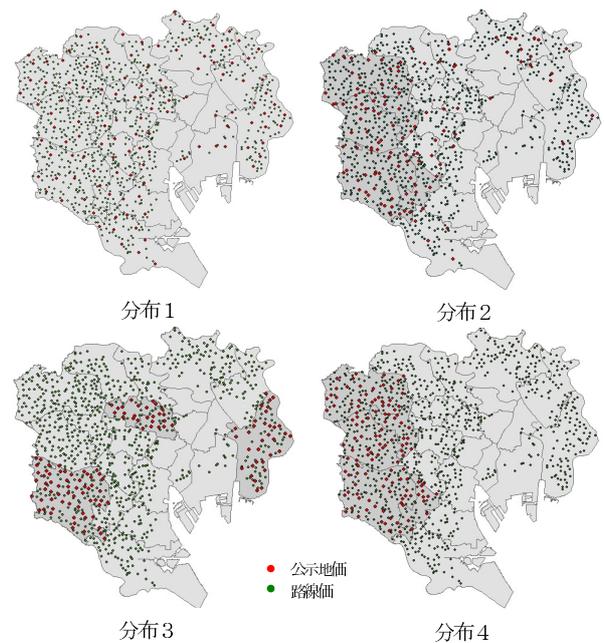


図-1 実証実験の地価の分布図

また、本研究では公示地価と路線価の地価モデルの説明変数として、アクセシビリティ指標(分)、最寄り駅までの距離(m)、容積率(%)、地積(m<sup>2</sup>)、全面道路幅員(m)の情報を用いている。

地価モデルは、公示地価・路線価共に式(2)を用い、自己・相互バリオグラムは指数型の式(3)を用いた。

$$\ln(P) = \beta_0 + \sum_{i=1}^5 \beta_i \ln(x_i) + \varepsilon \quad (2)$$

(但し、 $P$ : 地価(円/m<sup>2</sup>)、 $x_1$ :アクセシビリティ指標(分)、 $x_2$ :最寄り駅までの距離(m)、 $x_3$ :容積率(%),  $x_4$ :地積(m<sup>2</sup>)、 $x_5$ :前面道路の幅員(m)、 $\beta_i$ : パラメータ、 $\varepsilon$ : 誤差)

$$C(h|\theta) = \theta_1 \cdot \exp(-\|h\|/\theta_2) \quad (3)$$

なお、自己・相互バリオグラムのrangeは15kmと設定し、パラメータ推定は重み付き最小二乗基準<sup>7)</sup>を用いた。

Universal Cokrigingのパラメータ推定は、まず、Universal Krigingを用いて公示地価と路線価の各地価モデルの残差を繰り返し計算で求める。次に、求めた公示地価と路線価の残差を用いて、経験相互バリオグラムを計算し、それに理論相互バリオグラム関数を当て嵌める。最後に、Universal Cokriging方程式で推定を行う。

(2) 通常最小二乗法・Universal Kriging・Universal Cokrigingによる地価推定の精度比較

表-1に、4分布を入力し通常最小二乗法(OLS)・Universal Kriging(UK)・Universal Cokriging(UCK)による地価推定精度の結果を示す。推定精度の値はモデルから推定された $\ln$ (推定地価)と鑑定された $\ln$ (公示地価)のRMSEを計算し、 $\exp(\text{RMSE})$ とした値を記している。

表-1より、Universal Cokrigingによる推定精度がOLS

やUniversal Krigingによる推定精度より高いことが分かる。また、分布1から分布4へと対象変数の偏在が大きくなるにつれて、Universal Krigingの推定精度は、特に対象変数が少ない地区で急激に下がるが、Universal Cokrigingによる推定は高い精度を保つことが分かる。また、分布4の場合、Universal Krigingによる推定は対象変数のない地域で外挿になるため精度が非常に悪いが、Universal Cokrigingによる推定は全域に分布している補助変数の情報を利用しているため、高い推定精度を保つことができる。また、分布2から分布4の対象変数が密な地区と疎な地区の推定精度を比較してみると、Universal Krigingによる推定精度はその差が大きくなっているけど、Universal Cokrigingによる推定精度は地域による違いがそれほど大きくないことが分かる。

表—1 実験の推定精度

		全地区		
		対象変数が密な地区	対象変数が疎な地区	対象変数が疎な地区
分布1	OLS	1.282	—	—
	UK	1.118	—	—
	UCK	1.055	—	—
分布2	OLS	1.290	1.232	1.325
	UK	1.144	1.090	1.173
	UCK	1.050	1.031	1.060
分布3	OLS	1.344	1.214	1.368
	UK	1.242	1.086	1.265
	UCK	1.050	1.038	1.052
分布4	OLS	1.324	1.201	1.380
	UK	1.353	1.074	1.452
	UCK	1.056	1.029	1.067

(3) Universal Cokrigingの推定精度に影響を与える要素

次に、Universal Cokrigingの推定精度に影響を与える要素として、補助変数の数と推定地点の補助変数の有無の影響に着目し検討を行った。

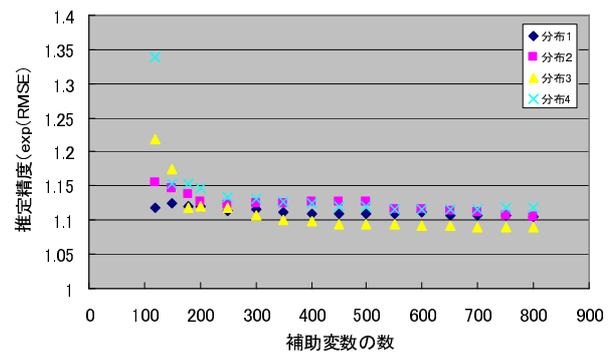
a) 補助変数の数

補助変数の数がUniversal Cokrigingの推定精度に及ぼす影響を検討するために、4分布の対象変数を用いて、補助変数の数を変えながらパラメータ推定・地価推定を行い、精度の検証を行った。具体的に、検証用の対象変数はパラメータ推定用の対象変数を除いた残りの870点からランダムに190点を抽出したのを使用し、補助変数はパラメータ推定用の対象変数と同じ地点にある120点のデータ（同配置型データ）から始め、検証用の190点の推定地点を除いた800点まで増やして実験を行った。図—2のように、補助変数の数が増えるにつれて、Universal Cokrigingによる推定精度は向上する。それは、補助変数の数が増えることによって、補助変数の分布密度が大きくなり、推定地点から近傍の補助変数までの距離が短くなるため、補助変数の影響を大きく受けるようになるのが原因だと思われる。すなわち、推定地点から近傍の補助変数までの距離が短くなることによって、補助変

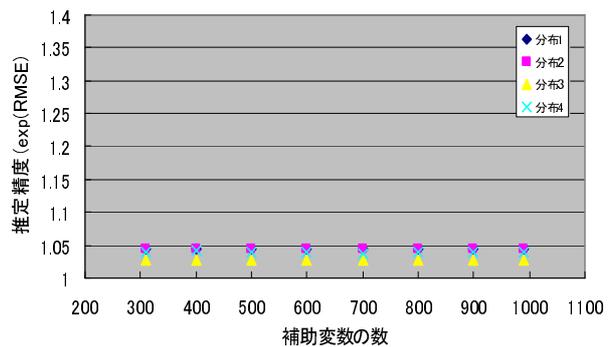
数の影響が著しくなり、推定精度も高くなる。

推定地点から補助変数までの距離が短くなる極端の例として、推定地点に補助変数がある場合を考慮して実験を行った。前の実験と異なるのは、補助変数として190点の推定地点の補助変数も使用したことである。図—2と図—3の比較から分かるように、推定地点に補助変数がある場合、精度がかなりよくなること分かる。従って、推定地点に補助変数がない場合、補助変数の数を増やすことによって精度はだんだんよくなり、最後には推定地点に補助変数がある場合の推定精度に収束されると思われる。

また、推定地点に補助変数がある場合、補助変数の数の増減はUniversal Cokrigingによる推定精度に影響を与えなかった。それは、対象変数と補助変数の相関が距離の増加によって急激に小さくなるため、推定地点に補助変数がある場合は、推定結果が主に推定地点の補助変数の影響だけを受けるためだと思われる。そのため、他の補助変数を加えても推定精度はほぼ変わらない結果になったと思われる。



図—2 補助変数の数の影響  
(推定地点に補助変数がない場合)



図—3 補助変数の数の影響  
(推定地点に補助変数がある場合)

補助変数の数がパラメータ推定用の対象変数と同じ120点の場合（同配置型データ）にUniversal CokrigingとUniversal Krigingの推定精度を比較してみた結果、ほぼ同じであることが分かった。また、図—2から、対象変数の偏在が大きいくほど、補助変数の数の影響が著しくなる。それは、対象変数が疎な地区では、補助変数が推

定精度に決定的な影響を与えるためだと思われる。

#### b) 推定地点の補助変数の有無

推定地点における補助変数の有無が、Universal Cokrigingの推定精度に与える影響を検証するため、以下の実験を行った。

パラメータ推定用の対象変数は、4分布の公示地価(120点)を利用し、精度検証用の地点を2グループ(435点ずつ)に分割した。精度検証用の1グループの地点には補助変数を与え、他方のグループの地点には補助変数を与えていない。これら2グループの地価推定を行い、推定精度の違いを検証する。

二つの検証用グループのUniversal Cokrigingによる推定結果を図-4に示す。図-4から、推定地点に補助変数がある場合は推定精度がない場合よりも推定時の誤差が半分以下になることがわかる。原因は、前述の通りである。

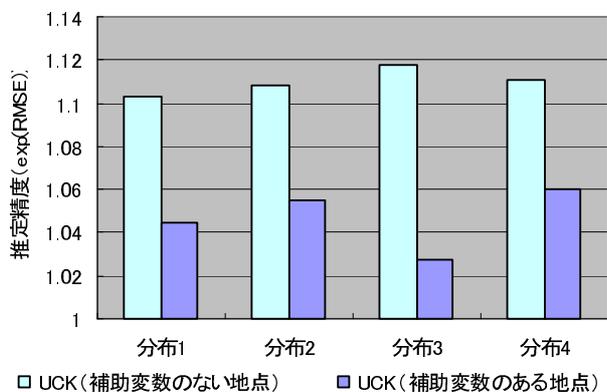


図-4 推定地点の補助変数の影響

#### 4. おわりに

本研究では、空間予測を類似度の高い補助変数を利用して変数間の空間相関を構造化し推定を行う Universal Cokrigingに着目し、2006年の東京23区における住宅地公示地価データと路線価データを用いて実証実験を行い、Universal Cokrigingの地価推定への適用可能性を検証した。

実証実験の結果、地価データの偏在により従来の Universal Krigingによる推定精度は急激に下がる(均一分布時の誤差12%から郊外部だけ分布する場合の誤差35%まで)が、Universal Cokrigingによる推定精度は誤差5~6%と非常に高い精度を保つことが明らかになった。また、推定地点に補助変数があると推定精度が向上し、補助変数数の増加に伴い推定精度は向上しある値に収束することが明らかになった。

今後の課題としては以下が挙げられる。

本研究では、相互共分散関数を求める時、まず対象変数と補助変数の残差から相互バリオグラムを求め、それから関係式を利用して相互共分散関数を求めた。しかし、残差から相互バリオグラムを求めるには、同じ地点に両

方の変数が揃っていることが条件となる。すなわち、本研究で用いた地価データは部分的異配置型データである。しかし、取引価格の推定に補助変数として公示地価などを使う場合は、両方のデータが同じ地点にあることが少ないため、完全異配置型データになりやすい。その場合は、相互バリオグラムが求められないため、擬似相互バリオグラムを用いるしかない。しかし、擬似相互バリオグラムを用いたCokrigingは争論のある方法であり、負の相関が表現できないなどの幾つかの限界もある。本研究でも、擬似相互バリオグラムを用いて Universal Cokrigingの推定を行ったけど、結果は不安定的だった。今後、擬似相互バリオグラムを用いた Universal Cokrigingについて検討する必要がある。

また、地価は空間上の相関だけではなく、時間上の相関も持っているため、時空間相関を考慮したCokrigingによる地価推定も検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) Hans Wackernagel : Multivariate geostatistics: An introduction with applications, Springer-Verlag, Berlin, 2003 [青木謙治監訳, 地球統計学研究委員会訳, 地球統計学, 森北出版株式会社, 2003]
- 2) Jiajun Chen, Kaiming Tian, Qiaoyu Guo : Estimation of water table elevation by universal cokriging, Journal of Hydrodynamics, Vol. 17, No. 2, pp. 154-163, 2005.
- 3) 本多 真, 哲也, 水戸義忠 : ダム周辺地下水位変動の時空間解析のための時空間Cokrigingの開発と適用, 土木計画学論文集, No.659, pp.283-295, 2000.
- 4) Renduo Zhang, Pete Shouse, and Scott Yates : Estimates of Soil Nitrate distributions using cokriging with pseudo-crossvariograms, Journal of Environmental Quality, Vol. 28, No. 2, pp. 424-428, 1999.
- 5) 井上亮, 木越尚之, 清水英範 : 時空間クリギングの地価推定への適用可能性の検討, 地理情報システム学会講演論文集, No.14, pp.39-42, 2005.
- 6) Jorge Chica-Olmo : Prediction of housing location price by a multivariate spatial method: cokriging, Journal of Real Estate Research, Vol. 29, No. 1, pp. 91-114, 2007.
- 7) 間瀬 茂, 武田 純 : 空間データモデリングー空間統計学の応用, 共立出版, 2001.