

# 地価推定に対する時空間クリギングの適用可能性\*

## Applicability of Spatio-Temporal Kriging to Land Price Estimation\*

井上 亮\*\*・木越尚之\*\*\*・清水英範\*\*\*\*

By Ryo INOUE\*\*・Naoyuki KIGOSHI\*\*\*・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、国土交通省は平成 17 年、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<sup>1)</sup>、全国の政令指定都市を中心とする地域について平成 17 年度第三四半期より国土交通省の土地総合情報システム(<http://www.land.mlit.go.jp/webland/>)上で一般に公開されるようになっていく。

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できるわけではない。また、鑑定価格の場合にも、全ての土地を鑑定することは費用や各種事情により不可能であり、その情報提供には限界が存在する。

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、否応無しに時空間で蓄積された地価情報を利用した予測というプロセスが不可欠になる。そこで本研究では、この「時空間的な予測」を統計学的に厳密に行う方法論として、近年提案されている時空間共分散関数に着目し、これを応用した時空間クリ

ギングの地価推定への適用可能性を検討する。具体的には、東京23区の過去30年間の住宅地公示地価データに対して時空間クリギングを適用し、その地価推定精度を実証的に評価する。

### 2. 時空間クリギング

従来、空間統計学では空間予測の手法がクリギングとして体系化されてきた<sup>2)</sup>。クリギングとは、距離の近いデータは大きな類似性を持つ性質を利用し、データの共分散に対して二次定常性を仮定し、距離の関数で表すことによって、任意の地点に対して予測分散が最小となる予測を行う手法である。

近年、共分散を時間と距離の関数、時空間共分散関数で定義する手法が提案され、理論的にも確立されつつある。この時空間共分散関数を定義する際に課題となるのは、共分散関数は正定値性と連続性を満たさなければならない点である。

従来、提案されてきた時空間共分散関数は、時間軸・空間軸で個別に共分散関数を定義した上で、それらの和や積を用いて合成し正定値性・連続性を満たす共分散関数を定義していた。しかし、このように合成された関数では、全ての観測時間の差で同じ空間の共分散構造を持つ単純な共分散構造しか表現できなかった。

近年、観測間の時間差の拡大とともに空間の共分散構造が変化するような、時間と空間の相互作用を考慮できる Non-separable 型時空間共分散関数が、一連の研究<sup>3,4)</sup>により提案されている。時空間共分散関数  $C(\mathbf{h}; u)$  (但し  $\mathbf{h}$ : 空間ベクトル、 $u$ : 時間)が

$$C(\mathbf{h}; u) = \int e^{i\mathbf{h}\cdot\boldsymbol{\omega}} \rho(\boldsymbol{\omega}; u) k(\boldsymbol{\omega}) d\boldsymbol{\omega} \quad (1)$$

が正定値性・連続性を満たすための必要十分条件は

$$\int k(\boldsymbol{\omega}) d\boldsymbol{\omega} < \infty \quad k(\boldsymbol{\omega}) > 0 \quad \int \rho(\boldsymbol{\omega}; u) du < \infty \quad (2)$$

となることを示し<sup>3)</sup>、数種類の時空間共分散関数を提案している。

この時空間共分散関数は、風速<sup>3)</sup>・地表付近のオゾン<sup>5)</sup>の分布などの環境データへの適用は行われてきている。

\*キーワード：地価分析、空間統計、GIS

\*\*正員、博(工)、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、修(工)、国土交通省海事局  
(東京都千代田区霞ヶ関2-1-3、TEL03-5253-8111)

\*\*\*\*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)

但し、これらは説明変数のない通常クリギング (ordinary kriging) であり、データの共分散構造のみを用いて時空間予測をおこなっている。しかし、地価のような社会経済データでは、時間や空間距離の近さだけでは現象を説明することは難しく、他の社会経済データなどを説明変数とした地価モデルを用いて表すことが必要不可欠である。そこで、地価モデルの誤差に時空間共分散構造を仮定した普遍クリギング (universal kriging) を適用することとし、次章で住宅地公示地価を用いて地価推定への時空間クリギングの適用可能性を検証する。

### 3. 実証実験

時空間クリギングの地価推定への適用可能性の実証を、1975～2004年(30年間)の東京23区住宅地公示地価データ((財)土地情報センター 地価公示時系列データ CD-ROM)を利用して行った。調査地点数は年によって変動はあるが、2004年は1,003点、30年間では25,525点である。また本研究では公示地価の属性情報のうち、最寄り駅、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)の情報を地価モデルの説明変数として用いている。

各地点の交通利便性を表すアクセシビリティ指標として、最寄り駅から乗降客数の多い都内主要5駅(新宿・池袋・東京・渋谷・上野)までの鉄道所要時間を、平成7年実施の大都市交通センサスの各駅の乗降客数による重み付け平均として設定した。各年の鉄道所要時間は、(株)ヴァル研究所の駅すばあとの不通区間の設定機能を用いて当時の鉄道網を定義して算出した。

また、経済状況を表す説明変数として、日経平均株価の1年間の平均値を使用している。

地価モデルは、式(3)を用いた。

$$\ln(P) = \beta_0 + \sum_{i=1}^6 \beta_i \ln(x_i) + \beta_7 x_7 + \varepsilon \quad (3)$$

(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(m<sup>3</sup>)、 $x_4$ : 地積(m<sup>2</sup>)、 $x_5$ : 前面道路の幅員(m)、 $x_6$ : 日経平均株価(円)、 $x_7$ : 下水道ダミー、 $\beta_i$ : パラメータ、 $\varepsilon$ : 誤差)

また、共分散関数は式(4)<sup>3)</sup>を用いた。

$$C^0(\mathbf{h}; u | \theta) = \sigma^2 \left( \frac{2}{(a^2 u^2 + 1)^{3/2}} \right) \exp\{-b \|\mathbf{h}\|\} \quad (4)$$

また、共分散関数の range は、空間方向 15km、時間方向 15年と設定し、共分散関数のパラメータ推定は重み付き最小二乗基準<sup>6)</sup>を用いた。

#### (1) 精度検証

時空間クリギングによる地価推定の精度について検証を行った。各年の公示地価の観測点から8割の観測点のデータをランダムに抽出してパラメータ推定を行い、そのパラメータを用いて残り2割の観測点の地価を推定し、観測データと比較することにより推定精度の検証を行う。ランダムサンプリング・パラメータ推定・地価推定の過程は計5回実施した。

表-1に、ある1回の試行における時空間クリギングによるパラメータ推定結果を示す。また、比較のため、同じデータ・同じ地価モデル(式(3))を用い、通常最小二乗法(OLS)を用いてパラメータ推定を行った結果も示している。但し、表-1に示す時空間クリギングの  $t$  値は、誤差の分散共分散行列が既知であるとの前提の元で計算した値である。実際には、分散共分散行列は推定値であるので、実際の  $t$  値は表-1の値よりも小さくなることに注意されたい。

表-1より、ほとんどの説明変数に対するパラメータの値が、空間クリギングではOLSの場合よりも小さくなっていることが分かる。特に、「アクセシビリティ」・「最寄り駅までの距離」・「地積」・「下水道ダミー」・「日経平均株価」の説明変数に対するパラメータは、極端に値が小さくなっている。誤差の共分散  $\mathbf{0}$  を仮定するOLSでは、実際は存在する時空間の相関関係を表せないため、時間や空間に関係が深いこれらの説明変数のパラメータが大きく評価されている。一方、時空間クリギングでは、地価モデルの誤差に存在する時空間相関は式(4)の共分散関数によって説明することが可能であるため、時間・空間に関係する説明変数のパラメータの値が小さくなっているためだと推測される。これらは説明変数と時空間の位置との間に相互依存性がある<sup>7)</sup>ためと考えられ検討が必要であるが、

表-1 パラメータ推定結果

	時空間クリギング	OLS
定数項	11.42 (17.0)	5.88 (78.2)
アクセシビリティ	-0.0399 (-4.09)	-0.673 (-70.5)
最寄り駅迄の距離	-0.0714 (-25.3)	-0.190 (-48.0)
容積率	0.0340 (8.91)	0.0247 (4.62)
地積	0.0514 (19.2)	0.244 (50.5)
前面道路の幅員	0.149 (37.8)	0.204 (26.7)
日経平均株価	0.0310 (5.65)	0.931 (211)
下水道ダミー	0.00914 (3.11)	0.0968 (12.9)
$\sigma^2$	0.120 -	- -
$a$	0.0842 -	- -
$b$	0.120 -	- -

( )内は  $t$  値

今後の検討事項としたい。

次に、全 5 回の試行による時空間クリギングの地価推定精度を図-1 に示す。縦軸にはモデルから推定された  $\ln(\text{推定地価})$  と  $\ln(\text{公示地価})$  の RMSE を計算し、 $\exp(\text{RMSE})$  と変換したものを示す。先ほどと同様に、比較のため、同じデータ・地価モデルを用いて OLS でパラメータ推定を行い地価推定した場合の推定精度も示す。さらに、各年のデータだけを用いて空間方向だけの共分散を考慮した空間クリギングを行い地価推定した場合による推定精度を示す。なお、空間クリギングの共分散関数はガウシアン型  $\theta$  を用い、range は 15km と設定している。

図-1 より、時空間クリギングにより精度の高い地価推定が可能であることが分かる。1980 年代後半の地価変動の大きいバブル期には、いずれのモデルでも推定精度は低下する。しかし、最も推定精度が低い 1987 年でも時空間クリギングでは  $\exp(\text{RMSE})$  は 1.2 程度、すなわち地価推定値は観測値の 20% 程度の範囲に収まった推定を行うことができる。バブル期を除くと、時空間クリギングでは地価推定の精度は約 10% 程度、地価変動が沈静化した近年では 2% 程度の精度で地価推定が可能であることが分かる。

また、時空間クリギングと空間クリギングによる推定結果を比較すると、1986 年のデータでは時空間クリギングによる推定精度が低いことが分かる。1986 年の地価推定精度はその前と比較して急激に低下しており、この年の地価形成がそれまでの傾向から大きく外れたものになっていたことが推察される。その結果、時間方向の共分散構造の情報が地価推定精度の向上に寄与せず、空間方向だけを考慮した地価推定よりも精度が悪くなってしまうと考えられる。しかし、それ以外の時点では時空間クリギングによる推定が優れており、時間方向の共分散構造を考慮したことによる効果が伺える。

以上のように、地価モデルの誤差の時空間共分散構造をモデル化する時空間クリギングを利用することにより、高い精度を持った地価推定が可能であるといえよう。

## (2) 応用

時空間クリギングを応用し、1975~2004 年の東京 23 区住宅地地価の街区単位の推定を行った。国土地理院発行の数値地図 2500(空間データ基盤)の街区データを用いて東京 23 区内街区の重心を算出し、重心位置の地価を時空間クリギングにより推定している。総街区数は 107,164 である。

地価モデルは式(3)、時空間共分散関数は式(4)を用いた。地価モデルの説明変数は「最寄り駅までの距離」

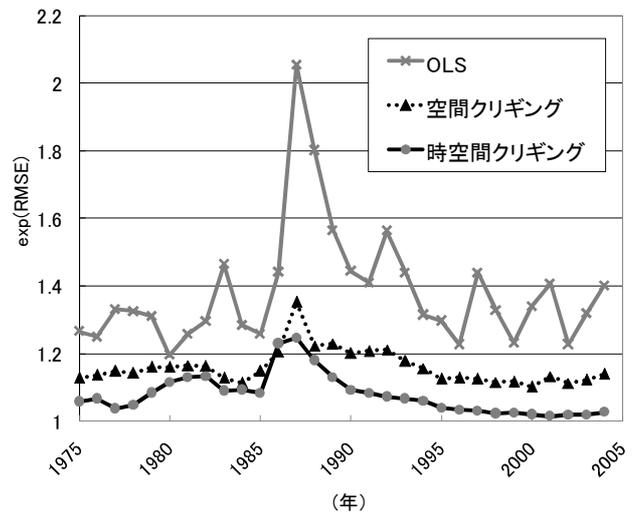


図-1 地価推定精度

以外は公示地価点の情報を用いて、年毎に空間の通常クリギングを用いて作成している。また、「最寄り駅までの距離」は、数値地図 2500(空間データ基盤)の道路中心線・駅のデータを SANET <sup>8)</sup> に入力し、街区重心から駅までの道路網上距離を算出している。

ここでは、文京区の 2004 年時点の住宅地地価推定結果を図-2 に示す。また、各街区の 30 年間の地価変動を推定しているため、もちろん図-3 のように、地価公示点以外の任意の街区の地価履歴を出力することも可能である。

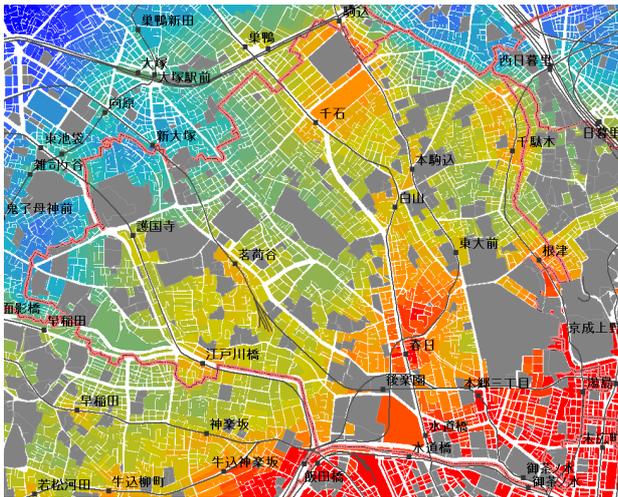
また、地価の推移をアニメーション表示で視覚化することも可能である。下記の URL に 1975~2004 年までの東京 23 区の住宅地地価変遷を視覚化したアニメーションを示す。

<http://planner.t.u-tokyo.ac.jp/member/inoue/research/kriging/>

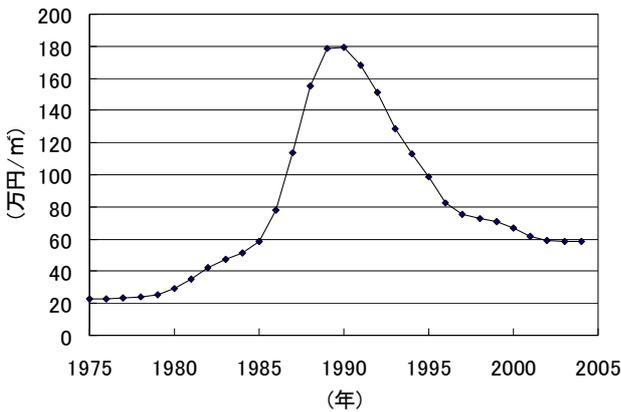
## 4. おわりに

本研究では、地価の時空間的な予測を統計学的に厳密に行う方法論として時空間クリギングに着目し、東京 23 区における 30 年間の住宅地公示地価データを用いて実証実験を行い時空間クリギングの地価推定への適用可能性を検証した。

実証実験の結果、バブル期など特殊な期間を除くと、誤差 10% 程度と非常に高い精度で推定が行えることが明らかになった。このように、クリギング推定量が時間空間上の任意の予測点において最良線形不偏予測量となる性質を用いて、地点レベルにおいて精度の高い地価推定が可能であることを確認した。また、時空間クリギングの応用として、地価の時空間変動の視覚化を試みた。地価変動を時間内挿により視覚化することで、変動構造をより鮮明に理解することができる。



図一 2 文京区地価(2004) 地価推定結果



図一 3 任意街区の地価履歴の表示  
((例) 文京区白山2丁目3番47)

今後の課題としては以下が挙げられる。

まず、属性データと位置・時間データの相互依存性への対応が挙げられる。推定された時空間共分散構造の有意性の検討が不可欠である。

また、本研究では、長期間のデータが入手可能で、観測点の位置が明らかであるなどの利点から、地価公示データを使用した。地価公示は、様々な条件の土地の価格を公表する目的で実施されているため、公示点は一定の間隔において配置されている。そのため、時空間クリギングに地価公示データを入力した場合、距離の近い観測点の組み合わせが著しく少ないため、時空間共分散関数のパラメータが不安定になりやすいことが認められた。今後、取引価格のようにランダムな位置で観測されたデータを用いた場合には、パラメー

タが安定的に求まるかを検証する必要がある。

本研究では、計算機性能の制約のために、23区という比較的狭いエリアのデータのみを用いて地価推定を行った。そのため、空間方向の range を 15km 以上に設定して実証を行うことができなかったが、この値が妥当であるかは検証できていない。より広範囲のデータを利用した検討を行う必要がある。

また、本研究では、住宅地の地価データのみを利用して地価変動の視覚化を行った。しかし、都市の地価変動を視覚化するためには、住宅地以外の用途の地価推定を行うことが不可欠である。今後、商業地など他用途の地価推定を組み合わせ、東京近郊の地価変動の推移を視覚化していきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成16年版 土地白書、  
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/tochi/tochi.html>、2004.
- 2) 例えば、Cressie, N.: Statistics for Spatial Data, New York: Wiley, 1993.
- 3) Cressie, N. and Huang, H-C: Classes of Nonseparable, Spatio-Temporal Stationary Covariance Functions, Journal of the American Statistical Association, Vol.94-448, pp.1330-1340, 1999.
- 4) Gneiting, T.: Nonseparable Stationary Covariance Functions for Space-Time Data, Journal of the American Statistical Association, Vol.97-458, pp.590-600, 2002.
- 5) Huang, H-C. and Hsu, N-J: Modeling Transport Effects on Ground-Level Ozone Using a Non-Stationary Space-Time Model, Environmetrics, Vol.15, pp.251-268, 2004.
- 6) 間瀬 茂、武田 純: 空間データモデリング—空間統計学の応用、共立出版、2001.
- 7) 塚井 誠人：空間統計モデルのフロンティア、第30回土木計画学研究発表会・講演集、CD-ROM、2004.
- 8) Okabe, A.: A New Approach to Spatial Analysis: Spatial Analysis on a Network with SANET, The 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management CUPUM '03 Sendai, pp.9-19, 2003.