

時空間クリギングによる東京23区内公示地価の分布と変遷の視覚化*

Visualization of Spatial Distribution and Temporal Transition of Land Price in Tokyo 23 Wards Based on Spatio-Temporal Kriging Interpolation*

井上 亮**・吉田 雄太郎***・李 勇鶴****・清水 英範*****

By Ryo INOUE**・Yutaro YOSHIDA***・Yonghe LI****・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更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持つ土地の価格や動向を知り、これを他の土地の情報との比較ができなければ、合理的な意思決定は不可能であるからである。

我が国では「地価情報の整備と公開」の役割をこれまで鑑定価格である公示地価が担ってきた。しかし、全ての土地の鑑定は予算制約等により不可能なため、鑑定に基づく情報提供には必然的な限界がある。また、公示地価は定点観測を目指しているが、調査地点は諸事情で変更されるため、長期間に渡る同一地点の地価観測は不可能である。そのため、地価の長期動向を追うには、行政区単位での平均値等を用いざるを得ないが、地価は都市全域で均一に変化するわけではないため、このような対応で地価の詳細な動向を知ることは極めて困難である。

また、公示地価の問題として、市場取引価格との乖離が指摘されてきた。そこで、国土交通省は一定の制限の下に不動産取引価格公開の方針を決定し、平成 17 年第三四半期から取引価格等に関する調査を実施し、土地総合情報システムで公表している。しかし、取引事例は、公示地価とは異なり、時間的・空間的に偏在するため、全ての市場参加者が関心をもつ土地の価格や動向を必ずしも提供するわけではない。また、取引価格情報では、同一地点の複数時点の地価情報が得られるのは稀なため、地価動向の観測には適したデータとは言えない。

土地市場は、財の同質性、情報の完全性などが成り立たない、典型的な不完全競争市場であり、地価の動向を把握するためには、鑑定価格・市場取引価格の両面での分析が必要であることは明らかである。しかし、以上

* キーワーズ：時空間クリギング、地価、視覚化

**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)

***学生員、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

****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

*****正員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

のように、地価の動向を詳細に把握したい、突き詰めれば任意の地点・時点での地価を把握したいという需要に対しては、鑑定価格・取引価格のいずれも必然的な限界がある。結局、上記の社会的要請に応えるためには、時空間で蓄積された地価情報を利用した地価推定(あるいは予測・内挿)というアプローチが不可欠である。

さて、これまではヘドニック回帰モデルなど古典的方法による地価推定が行われてきた。しかし、例えば、通常最小二乗法で高精度な推定が可能な地価関数を作成するには膨大な量の説明変数データ収集が必要だが、地価に影響を与える要因が全て観測可能だとは限らない¹⁾ため、従来手法で高い推定精度を得ることは難しい。

一方、空間統計学では、共分散を距離の関数として構造化することによって任意地点に対して空間予測を行うクリギングが体系化されてきた。これは空間上の近い点同士は相関が強いことが多いという空間データの性質を利用した方法で、共分散構造が真ならば予測値が最良線形不偏予測となる優れた空間予測となる。近年では、クリギングを空間から時空間へ拡張する手法が議論されており、理論的に確立しつつある²⁻³⁾。地価は時間・空間双方に対して系列相関を持つ傾向があり、地価の時空間共分散構造を用いると、従来手法よりも高精度の地価推定が可能であると考えられる。

そこで本研究は、時空間クリギングを公示地価に対して応用し、適用可能性を検討する。具体的には、東京 23 区内 1975~2007 年の公示地価を利用し、住居系・商業・近隣商業・工業系の用途地域毎に地価関数を設定して時空間クリギングを適用し、地価推定精度を実証的に評価する。また、公示地価を時空間内挿し、地価の空間分布や時間変動の視覚的表現を試み、地価情報の表現の一例を示す。

2. 時空間クリギング

空間統計学では、空間予測手法がクリギングとして体系化されてきた⁴⁾。クリギングとは、距離の近い観測点のデータは大きな類似性を持つという性質を利用し、空間現象の確率場に二次定常性を仮定してデータの共分

散を距離の関数として構造化することにより、任意地点に対して予測分散最小となる空間予測を行う手法である。

このクリギングを時空間に拡張し、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は従来から提案されている。例えば、時間軸・空間軸で個別に共分散関数を定義し、それらを和や積で合成すると有効な時空間共分散関数が定義できることが示されている⁴⁾。また近年、観測間の時間差の拡大につれて空間の共分散構造が変化する、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も提案されており^{2,3)}、理論的に確立されつつある。

時空間共分散関数の応用例は、主に自然環境データを用いた通常クリギング(ordinary kriging)で、データの時空間共分散構造のみで予測を行っている^{2,3,5)}。しかし、地価のような社会経済データでは、時間・空間の近さだけでは現象の説明は難しく、他の社会経済データなどを説明変数としたモデル設定が不可欠である。

そこで本研究では、地価関数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、公示地価データ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. 地価推定精度の検証

(1) 使用したデータと地価関数

時空間クリギングの公示地価への適用可能性を、1975~2007年の東京23区内公示地価を用い検討した。

まず、地価関数の構築に際し、対象期間全体で入手可能な情報を用いて説明変数を整備する必要性から、公示地価に附随する属性情報、「最寄り駅」「最寄り駅迄の距離(m)」「容積率(%)」「地積(m²)」「前面道路幅員(m)」「下水道の有無」を利用する。

このうち、地価公示点のアクセシビリティを表すため「最寄り駅」「最寄り駅迄の距離」を用いる。最寄り駅のアクセシビリティを表現するため、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、第10回大都市交通センサスの乗降客数で加重平均したデータを作成した。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設定機能を用いて当時の鉄道網を定義し算出した。

また、公示地価に附随する属性情報以外に、地価公示時点の経済状況を表す説明変数として「日経平均株価前年平均」を使用している。

地価公示点の位置情報は、1983年以降は、国土交通省が国土数値情報ダウンロードサービスにおいて公開している公示地価データの空間座標を利用し、当該データが整備されていない1982年以前に関しては、財団法人土地情報センター発行の地価公示時系列データ CD-

ROM に収録されている住居表示データを、東京大学空間情報科学研究センターが提供する CSV アドレスマッチングサービスに入力して得られた座標値を利用した。

地価推定に当たって用途地域を4種類に区分し、住居系用途・商業用途・近隣商業用途・工業系用途の地価関数を設定した。用途地域の区分と使用した地価公示点数を表-1に示す。また、各地価関数の説明変数を表-2、地価関数を式(1)に示す。また、時空間の共分散構造は式(2)のバリオグラムを用いて表す。

$$\ln(P_i) = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln(x_{ij}) + \sum_{d=k} \beta_{d-k} x_{i,d-k} + \varepsilon_i \quad (1)$$

(P_i : 地点 i の地価(円/m²), x_{ij} : 地点 i の説明変数 j , $x_{i,d-k}$: 地点 i のダミー変数 k , β_j, β_{dk} : パラメータ, ε_i : 誤差)

$$\gamma(\mathbf{h}, u) = \sigma^2 \left(1 - \frac{2 \exp\{-b \|\mathbf{h}\|\}}{a^2 u^2 + 1} \right) + \tau^2 \quad (2)$$

(\mathbf{h} : 観測点間の距離ベクトル, u : 観測時間差, a, b : 共分散関数のパラメータ, σ^2 : 分散, τ^2 : ナゲット)

なお、共分散関数の range は空間方向 30km、時間方向 5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⁶⁾を用いた。

表-1 地価関数の用途地域区分と地価公示点数

地価関数	用途地域	公示点数
住居系	1 低専/2 低専/1 中専/2 中専/1 住居/2 住居/準住居/1 住専/2 住専/住居	24,525
商業	商業	9,971
近隣商業	近隣商業	3,958
工業系	工業/工専/準工	3,531

表-2 地価関数と説明変数

地価関数	変数	ダミー変数
住居系		下水道の有無
商業	主要駅迄の鉄道所要時間(分)	下水道の有無
近隣商業	最寄り駅迄の距離(m)	最寄り駅近接
	地積(m ²)	駅前広場隣接
工業系	前面道路幅員(m)	下水道の有無
	容積率(%)	最寄り駅近接
	日経平均株価前年平均(円/年)	工業地域 工業専用地域

(2) 時空間内挿の精度検証

時空間クリギングによる公示地価推定精度を地価関数毎に以下のように検証した。

まず、各年の公示地価から8割を無作為抽出し、地価関数のパラメータ推定を行う。次に、推定結果を用いて残り2割の地価公示点の地価を推定し、公示地価データと比較し精度を検証する。無作為抽出・パラメータ推定・地価推定の過程は地価関数毎に5回実施した。

地価推定精度を図-1に示す。推定精度の表現として、 $\ln(\text{推定地価})$ と $\ln(\text{検証用地価})$ の平均二乗平方根誤

差(RMSE)を $\exp(\text{RMSE})$ とした値を縦軸に示す。縦軸が 1.0 なら完全に一致、1.1 なら平均的に 10%ずれている状態を表す。

図—1より、全ての地価関数で地価変動が大きい1980年代には精度が低下するが、工業系用途以外ではおおそ 20%以内を保った地価推定が可能である。最も高精度の推定を行う住居系用途では、最低精度の1987年でも13%弱、地価下落傾向が継続したバブル崩壊後は5%以内の精度が得られる。その他の用途は住居系に比べて低精度で、特に1986年の工業系の誤差は25%を超える。しかし、いずれの地価関数でも90年代からは10%以下の高精度の内挿が可能である。

ここで、地価推定精度の時間変化と地価関数による違いを検討する。

まず、時間変化に着目すると精度低下が顕著なのは、バブル前後と対象期間の両端部である。1980年代では、バブル萌芽期に精度が低下、地価高騰が続く1984年前後に一旦改善するものの、地価が頭打ち更にバブル崩壊により下落が始まると精度は大幅に低下する。時空間クリギングは、空間方向に加えて時間方向の相関構造も考慮した内挿を行うため、時間的な変動傾向が大きく変化する場合には高い内挿精度を保つことが難しいことが分かる。その一方、地価が継続的に下落した1990年代から2000年代前半には、時系列相関を利用して非常に高精度の地価内挿が可能である。この時期にはバブル期と比べて公示地点数がほぼ倍に増やされており、このことも精度向上に寄与していると言えよう。また、対象期間両端部では全地価関数で内挿精度が低下しているが、これは両端部では時空間内挿に利用可能な時系列情報が少ないためである。特に、最近数年の内挿精度低下が著しいのは、バブル崩壊以後下落の一途をたどっていた地価が都心部では上昇に転じるなど、地価変動パターンが大きく変化したことに起因するものと推察される。

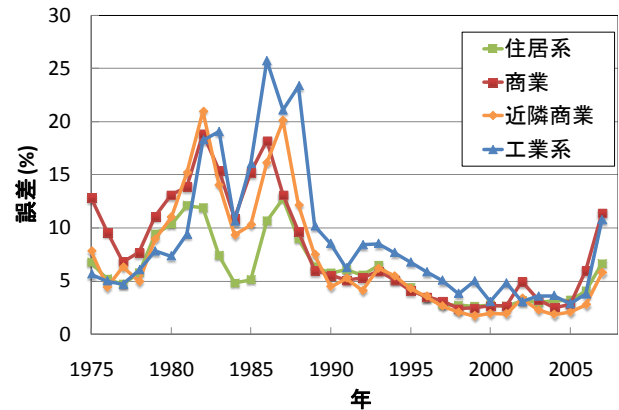
このように、時空間クリギングでは時系列相関を考慮した内挿を行っているため、時系列変化の傾向が安定している場合には高い精度が得られるが、変動傾向が変化する局面では、精度低下が起こることが確認された。

次に、地価関数による精度の違いに着目する。概ね住居系・商業・近隣商業・工業系の順で精度が低いが、地価公示点数の差(表—1)が一因と考えられる。商業系の精度は比較的lowだが、商業系地価は個性が強く、公示地価に附随する属性情報は地価の説明には不十分であるためと考えられる。工業系の低精度は、公示地価の空間的偏在のため、時空間共分散関数のパラメータ推定が不安定であることが原因と考えられる。

上記のように、地価関数や時期によって推定精度に高低はあるものの、地価関数の誤差の時空間共分散を構造化する時空間クリギングにより、高精度の地価推定が

可能であるといえよう。

ここで、表—3に、全データを用いて時空間クリギングを行った場合の住宅系用途地価関数のパラメータ推定結果を示す。また、比較のため、同じデータ・地価関数を用い、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—3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—3の値よりも小さくなることに注意されたい。



図—1 地価推定精度

表—3 住宅系用途地価関数の推定結果

説明変数	時空間クリギング	OLS
定数項	4.438 (36.66)	6.352 (91.26)
主要駅迄の 鉄道所要時間	-0.149 (-8.84)	-0.741 (-84.53)
最寄り駅迄の 道路距離	-0.084 (-16.47)	-0.19 (-53.08)
容積率	-0.047 (-6.40)	-0.004 (-0.83)
地積	0.080 (17.13)	0.234 (53.71)
前面道路の幅員	0.167 (24.03)	0.190 (28.95)
日経平均	0.913 (317.7)	0.931 (220.3)
下水道ダミー	0.026 (4.98)	0.069 (9.72)
σ^2	0.888 (—)	— (—)
a	0.678 (—)	— (—)
b	0.016 (—)	— (—)
τ^2	0.188 (—)	— (—)

()内は t 値

表—3より、多くの場合説明変数のパラメータは、時空間クリギングでは OLS よりも小さくなる事が分かる。特に、時空間相関と関係が強い「主要駅迄の鉄道所要時間」「最寄り駅迄の距離」「下水道ダミー」「日経平均株価」に対するパラメータは、値が小さくなる。誤差の共分散 0 を仮定する OLS では、実際に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過大に評価される一方、時空間クリギングでは、地価関数の誤差に存在する時空間相関は式(2)の共分散関数により説明可能な

め、時間・空間に関わる説明変数のパラメータの値が小さくなるためだと推測される。これらは説明変数と誤差の時空間共分散構造との間に相互依存性があるためと考えられる。

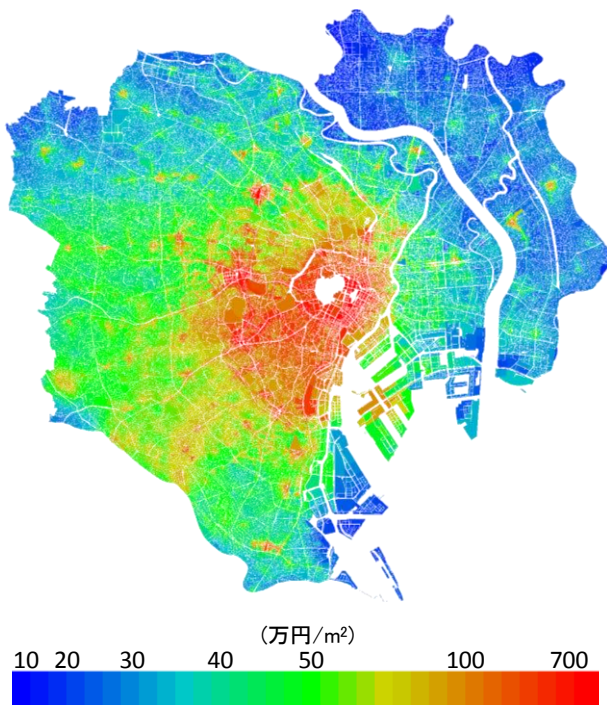
4. 公示地価の時空間分布の視覚化

前章までの地価モデルを用いて、1975～2007年の東京23区内公示地価を街区単位で推定し視覚化を行う。国土院発行の数値地図2500(空間データ基盤)の街区データから東京23区内の全街区重心を算出し、重心位置における各用途の地価を時空間推定する。

各街区に設定する地価関数の説明変数は、「最寄り駅迄の距離」以外は地価公示点の属性情報を用いて各年で通常空間クリギングで設定し、また「最寄り駅迄の距離」は、道路中心線データをArcGISのNetwork Analystに入力し、道路網上距離を算出している。

一例として、2007年の地価推定結果を図—2に示す。平成16年9月版東京都都市計画地理情報システムの用途地域データを利用して各街区に用途地域を設定し、用途地域指定に対応した地価を内挿している。なお、街区が複数の用途地域に分割されている場合、その街区には複数の用途地域属性を割り当てて複数用途の地価推定を行い、最高額をその街区の地価として設定している。

時空間クリギングを用いた地価推定によって、東京23区における地価の空間分布を視覚的に表現可能である。また、対象期間の地価内挿結果のアニメーション表示や地価変動率による表示を行うと、バブル発生前から現在までの地価変動を鮮明に捉えることが可能である。



図—2 2007年公示地価内挿結果

5. おわりに

本研究では、公示地価を元にした地価情報提供を行う方法論として時空間クリギングに着目し、1975～2007年の東京23区内公示地価データに対して用途別の地価関数を設定して実証実験を行い、時空間クリギングの地価内挿への適用可能性を検証した。

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り、任意の地点・時点の公示地価を内挿すること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、地価の空間分布・時空間変動の視覚化を試み、地価の変動構造をより鮮明に表現することができることを確認した。

今後の課題として、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、この時空間クリギングによる地価内挿結果を、今後いかに地価情報提供手法として実装していくかは大きな課題である。

謝辞

本研究は、財団法人土地総合研究所の平成19年度土地関係研究推進事業助成金を受けて行われた。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 例えば 清水 千弘、唐渡 広志: 不動産市場の計量分析、朝倉書店、2007。
- 2) 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.
- 3) Gneiting, T.: Nonseparable stationary covariance functions for space-time data, Journal of the American Statistical Association, Vol.97-458, pp.590-600, 2002.
- 4) 例えば Cressie, N.: Statistics for Spatial Data, New York: Wiley, 1993.
- 5) 例えば 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。