

地理空間情報の可視化

—データに基づく都市や地域の実態把握に向けて—

東北大学
井上 亮

空間情報利用環境の変化

6

位置を記録したデータの入手可能性拡大

- 位置情報取得環境の向上
測位技術の向上・普及: GPS, IC tag, …
- 政府が所有する情報の公開・活用の推進
統計情報の有効活用を目指す施策の進展
「オープンガバメント」施策の進展
- 空間情報利活用の普及
Web mapping,
ユーザ作成データ (OSM, ジオタグ付きTwitter, …)

様々な**空間情報**を活用した**地域分析**を
実行できる環境が整ってきている。

興味・関心

7

- 時空間で蓄積された空間情報を活用した
国土・地域・都市の過去・現在・未来の表現
- 地域の現状把握や将来像構築を支援する
地域分析・情報共有/提供手法の開発

一つのアプローチとして、空間情報の可視化に関心

これまで取り組んできた研究

1. 空間情報の可視化手法「カルトグラム」の作図法提案
2. 不動産価格情報の新たな表現法の提案

1. 空間情報の可視化手法 「カルトグラム」の作図法提案

代表的な空間情報の可視化手法

10

- 棒グラフ・円グラフ
- コロプレスマップ
- ドットマップ
- メッシュ密度法
- 等値線（コンター）図
- カルトグラム

計量地理学・ORで研究に蓄積

カルトグラムとは

11

データ等の数値の大小を表すように
地図上の面積や距離を通常の地図から変形し
統計データが示唆する地域の実態を
印象的に表現する手法

カルトグラムの種類

・面積カルトグラム

地域のデータを地図上の地域面積で表現

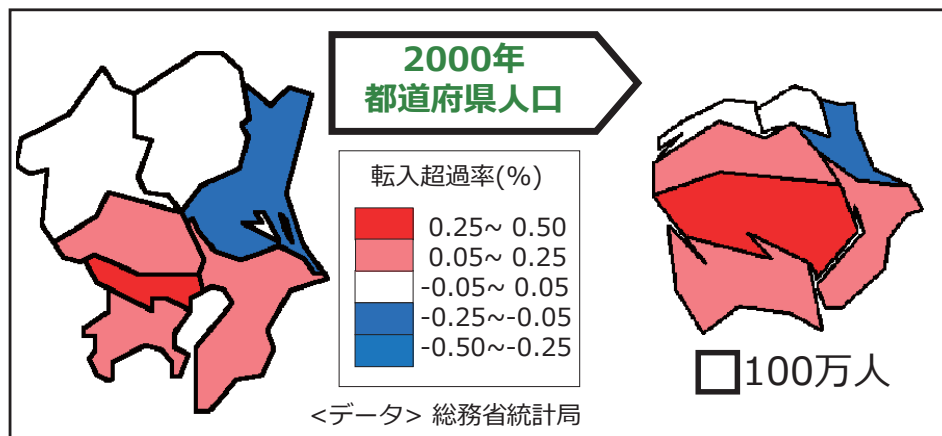
・距離カルトグラム

地点間近接性指標を地図上の地点間距離で表現

面積カルトグラム

12

地域のデータを地図上の面積で
表現するように地図形状を変形



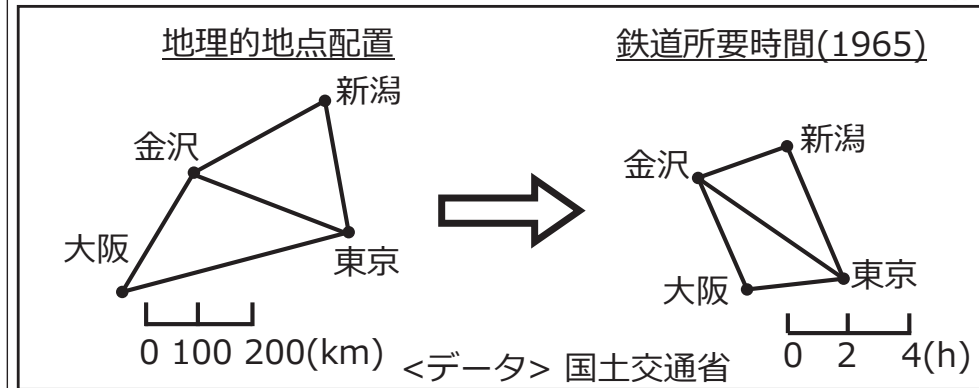
距離カルトグラム

13

地点間近接性指標を地図上の地点間距離で
表現するように地点配置を変形

近接性指標：所要時間・費用、交易额(量)の逆数

代表的な適用例：時間地図（地点間所要時間を表現）



カルトグラム利用の現状

14

「地図に描く」のではなく、「地図を変形する」という
他とは異なる視覚化手法 → 印象的な表現が可能

しかし

- ・ 作成法の不明快さ
- ・ 計算時間の長さ

から、
カルトグラムを用いた空間情報の可視化例は少ない

研究の目的

明快で操作が容易なカルトグラム作成手法を提案
空間情報可視化に関する選択肢を増やすことを目指す

カルトグラム作成問題とは

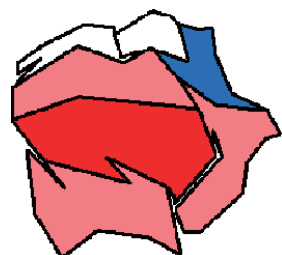
16

データの大きさを
地図上の**地域面積**や**地点間距離**で表す最適化問題

面積カルトグラム作成問題 **地域面積** → **データ**

距離カルトグラム作成問題 **地点間距離** → **データ**

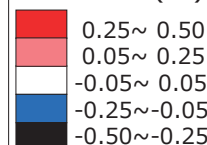
2000年 南関東人口



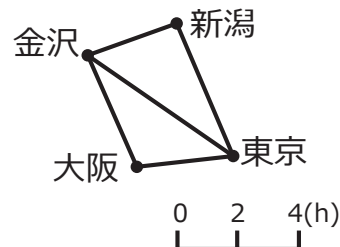
人口

□ 100万人

転入超過率(%)



1965年 鉄道所要時間

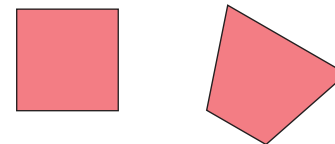


カルトグラム作成問題とは

17

しかし

面積カルトグラム



面積が等しい多角形

距離カルトグラム

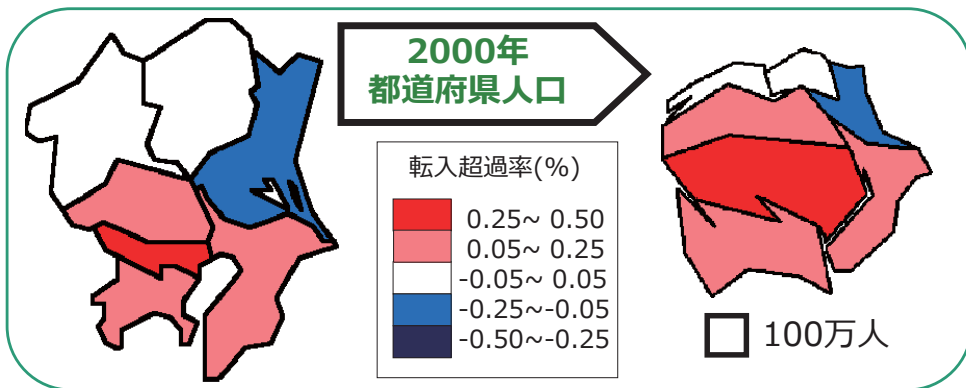


辺長が等しい多角形

無数に存在し、一意に形状を定められない!

カルトグラム作成問題は不良設定問題
正則化が必要

カルトグラムは**地理的地図**との**比較対照**を通して
データの**特徴を把握**する視覚化手法 18



過剰な地域形状変形は**特徴把握を妨げる**

統計データの大きさの再現とは関係のない
無意味な地図変形を排除する必要あり

カルトグラム作成問題とは 20

統計データの大きさを
地図上の**地点間距離**や**地域面積**で表す最適化問題

不良設定問題であり、正則化が必要

統計データの大きさの再現とは関係のない
無意味な地図変形を排除する必要

可能な限り、単純明快な作成手法を

これらを解決する方法として以下を採用

- 最小二乗法による問題記述
- 方位角拘束による正則化

カルトグラム作成手法の要件 19

カルトグラム作成手法を
ユーザが簡単に使えるようにするには
操作性の高い作成手法構築が不可欠

操作性の高さとは

ユーザに多くの**試行錯誤的作業**を強いけない

変数の初期値設定など

可能な限り、単純明快な作成手法を

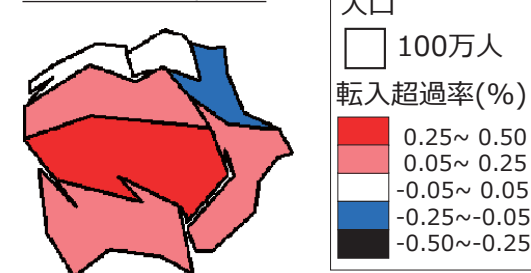
最小二乗法による問題記述 21

統計データの大きさを
地図上の**地点間距離**や**地域面積**で表す最適化問題

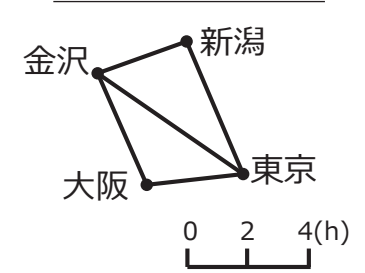
面積カルトグラム $\min \sum (\text{統計データ} - \text{地域面積})^2$

距離カルトグラム $\min \sum (\text{統計データ} - \text{地点間距離})^2$

2000年 南関東人口



1965年 鉄道所要時間



不良設定問題を解消し、無意味な地図変形を抑制

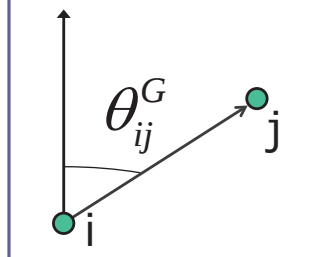
→ 方位角拘束による正則化

地理的地図

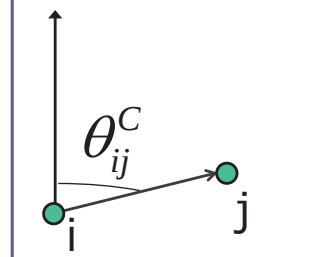
カルトグラム

地点間方位角

地点間方位角



≈



面積カルトグラム作成問題の定式化

24

$$\min \left[\sum_{i \in R} \left(1 - \frac{A_i}{D_i} \right)^2 + \mu \sum_{e_{mn} \in E} \left(\theta_{mn}^C - \theta_{mn}^G \right)^2 \right]$$

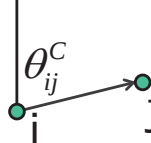
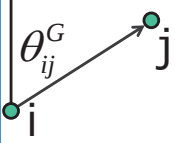
R : 地域の集合, D_i : 地域*i*のデータ, A_i : 地域*i*の面積
 e_{mn} : 頂点*m*, *n*を結ぶ辺, E : 地域を構成する辺の集合
 μ : 正則化項の重み

地理的配置

カルトグラム

地理的配置上
辺 *ij* の方位角

カルトグラム上
辺 *ij* の方位角



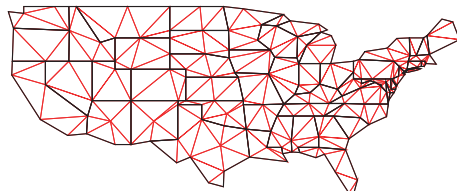
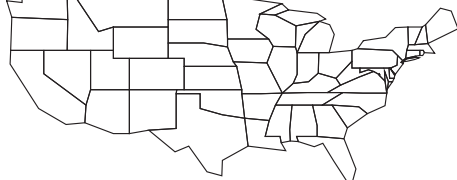
しかし 地域形状 多種多様
面積計算が複雑

Delaunay三角形分割

利点
最も単純な図形
面積計算式が簡潔

地域を三角網分割

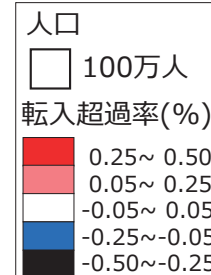
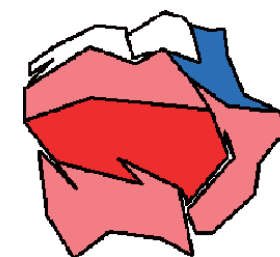
簡潔な定式化困難



面積カルトグラム作成手法

23

2000年 南関東人口



三角網分割による面積カルトグラム作成問題の定式化²⁵

$$\min \left[\sum_{i \in R} \left(1 - \frac{A_i}{D_i} \right)^2 + \mu \sum_{e_{mn} \in E} \left(\theta_{mn}^C - \theta_{mn}^G \right)^2 \right]$$



三角網分割+データを三角形に面積按分
 D_{ijk} に A_{ijk} を合わせる式に変更

$$\min \left[\sum_{t_{ijk} \in T} \left(1 - \frac{A_{ijk}}{D_{ijk}} \right)^2 + \mu \sum_{e_{mn} \in E} \left(\theta_{mn}^C - \theta_{mn}^G \right)^2 \right]$$

T_{ijk} : 頂点*i, j, k*を結ぶ三角形
 T : 三角網の三角形集合
 E : 三角網を構成する辺の集合

頂点座標(*x, y*)を用いて表現

三角形の面積計算から絶対値記号を除去するため
 D_{ijk} に符号を設定

$$D_{ijk-w_sign} = \begin{cases} D_{ijk} & \text{if } (x_j - x_i)(y_k - y_i) - (x_k - x_i)(y_j - y_i) \geq 0 \\ -D_{ijk} & \text{if } (x_j - x_i)(y_k - y_i) - (x_k - x_i)(y_j - y_i) < 0 \end{cases}$$

d_{mn} : 辺*mn*の距離

$$\min \left[\sum_{t_{ijk} \in T} \left\{ 1 - \frac{(x_j - x_i)(y_k - y_i) - (x_k - x_i)(y_j - y_i)}{2D_{ijk-w_sign}} \right\}^2 + \mu \sum_{e_{mn} \in E} \left\{ \frac{(x_n - x_m)(y_n - y_m) - (x_n - y_m)(x_n^G - x_m^G)}{d_{mn}d_{mn}^G} \right\}^2 \right]$$

面積カルトグラム作成問題 解法の線形化

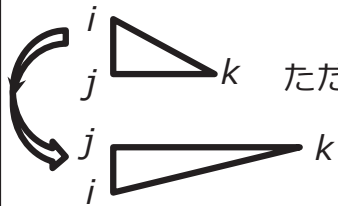
26

頂点座標の近似値(x'_i, y'_i)を用いて線形化

$$\min \left[\sum_{t_{ijk} \in T} \left\{ 1 + \frac{2A'_{ijk} + y'_{jk}x_i - y'_{ik}x_j + y'_{ij}x_k - x'_{jk}y_i + x'_{ik}y_j - x'_{ij}y_k}{2D_{ijk} - \text{sign}} \right\}^2 \right. \\ \left. + \mu \sum_{e_{mn} \in E} \left\{ \frac{(x_n - x_m)y'_{mn} - x'_{mn}(y_n - y_m)}{d_{mn}^2} \right\}^2 \right]$$

$$x'_{ij} = x'_j - x'_i, y'_{ij} = y'_j - y'_i, A'_{ijk} = (x'_{ij}y'_{ik} - x'_{ik}y'_{ij})/2, d_{mn}^2 = x_{mn}^2 + y_{mn}^2$$

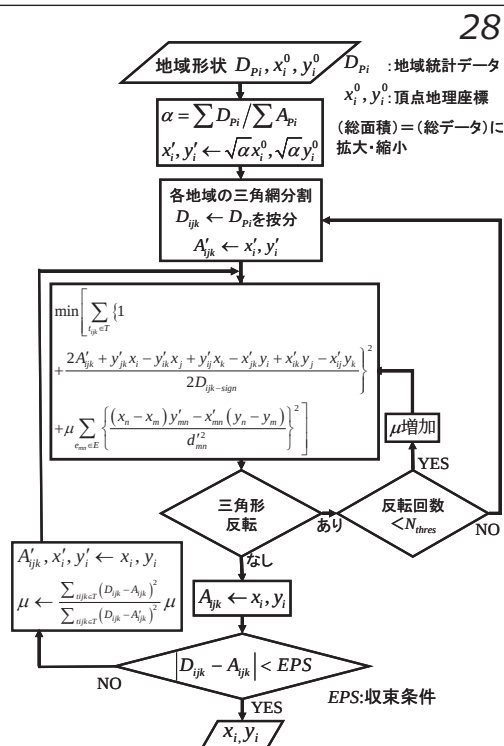
線形最小二乗問題の繰り返し計算で面積カルトグラム作成可能



ただし、計算中に三角形が反転する可能性あり
→ 正則化項の重みで調整

提案作成手法の特徴

- ・入力データはカルトグラム上で表現するデータと地理座標上での地域形状のみ
- ・初期値設定が必要な変数は正則化項の重み μ のみ
- ・線形最小二乗問題の繰返し計算
↓
疎行列の連立方程式の繰返し計算
↓
計算時間を短縮
全国市区町村：数秒



正則化項の重み μ の設定

27

$$\min \left[\sum_{t_{ijk} \in T} \left\{ 1 + \frac{2A'_{ijk} + y'_{jk}x_i - y'_{ik}x_j + y'_{ij}x_k - x'_{jk}y_i + x'_{ik}y_j - x'_{ij}y_k}{2D_{ijk} - \text{sign}} \right\}^2 \right. \\ \left. + \mu \sum_{e_{mn} \in E} \left\{ \frac{(x_n - x_m)y'_{mn} - x'_{mn}(y_n - y_m)}{d_{mn}^2} \right\}^2 \right]$$

μ { 小→三角形反転の可能性
大→収束速度低下 計算回数・時間の増加

最適な値を求めるのは困難

→収束計算毎に μ を減少させ計算

→三角形反転が起こった場合 μ を増加させて再計算

面積カルトグラムの作成例

29

人口の変遷

<データ>

アメリカ合衆国 州人口 1900～2000年

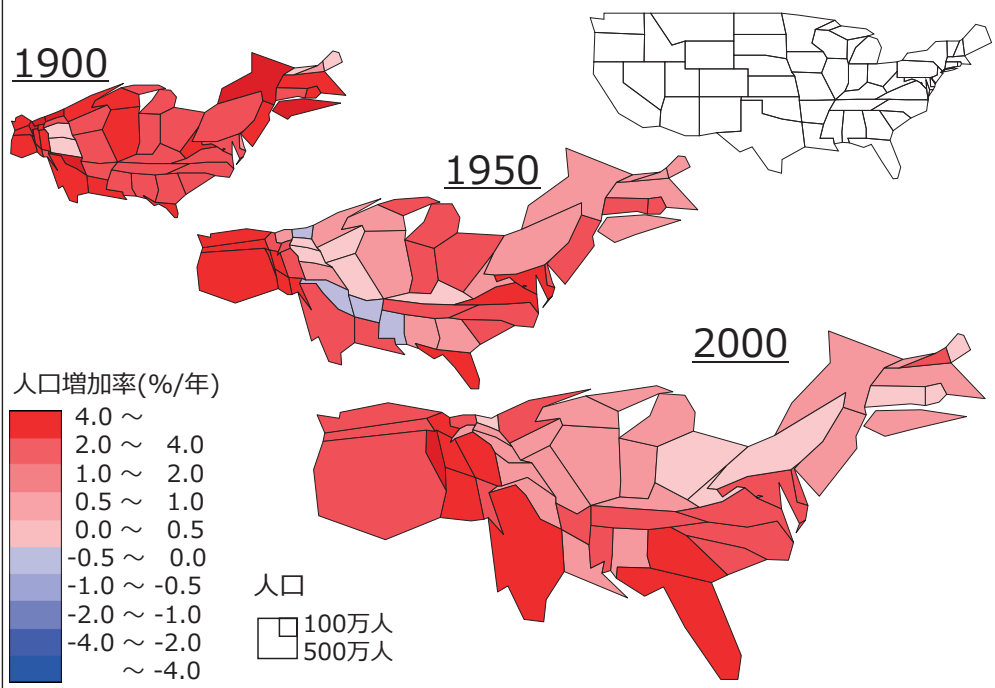
U.S. Census Bureau, United States Department of Commerce

日本 都道府県人口 1925～2000年

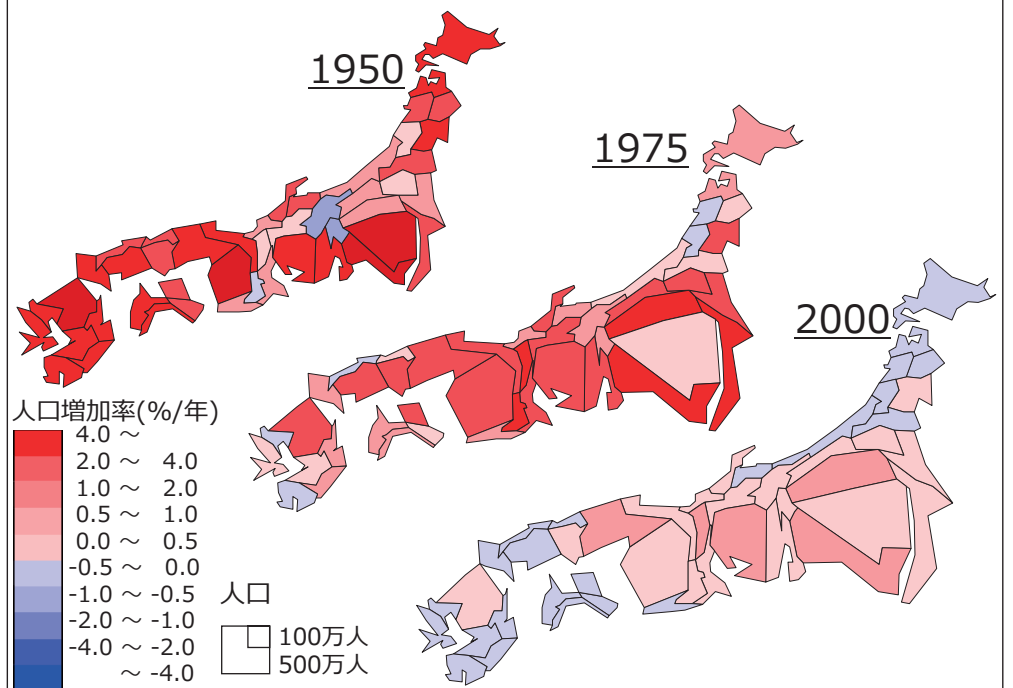
総務省統計局

人口の変遷を面積カルトグラムを用いて視覚化

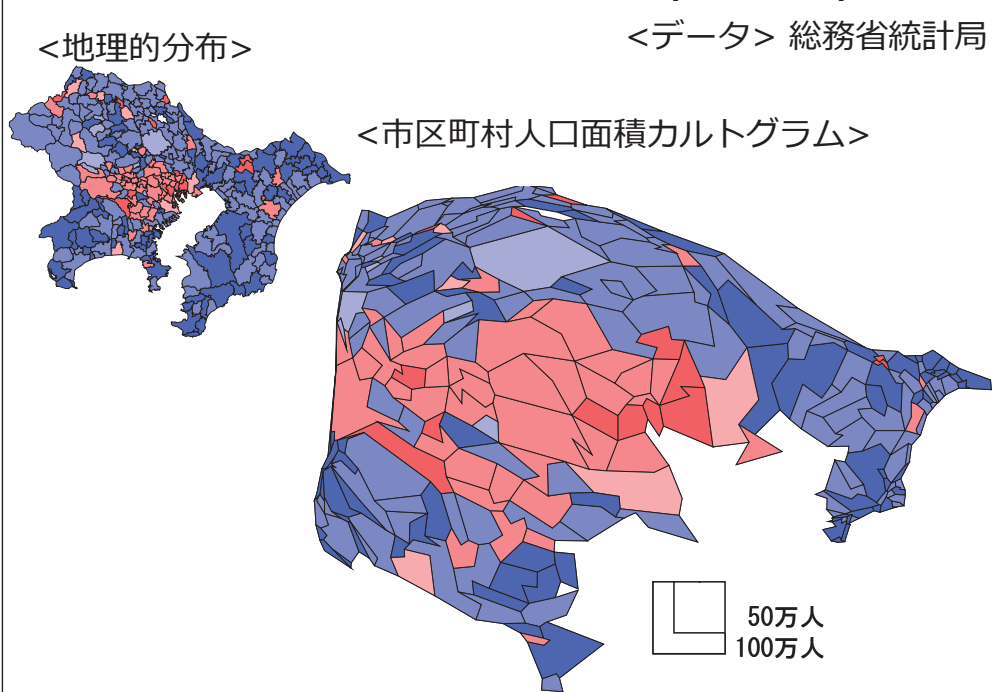
アメリカ合衆国 州人口・人口増加率 30



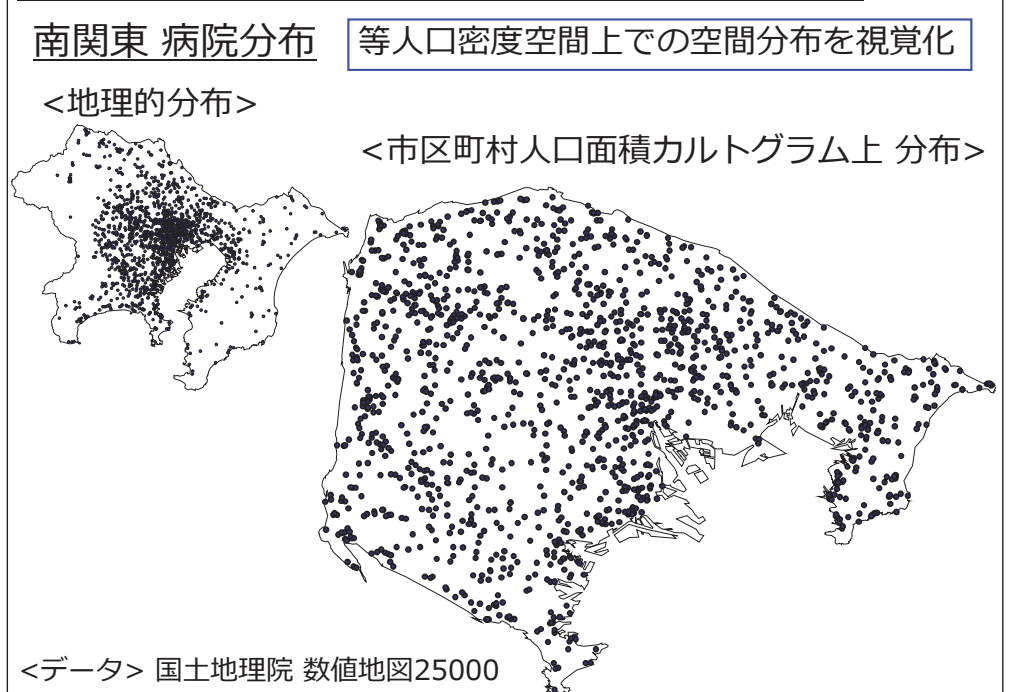
都道府県人口・人口増加率 32



関東市区町村 人口・転入超過率 (2000年) 35



面積カルトグラムに合わせた地図変形 37



面積カルトグラムに合わせた地図変形 39

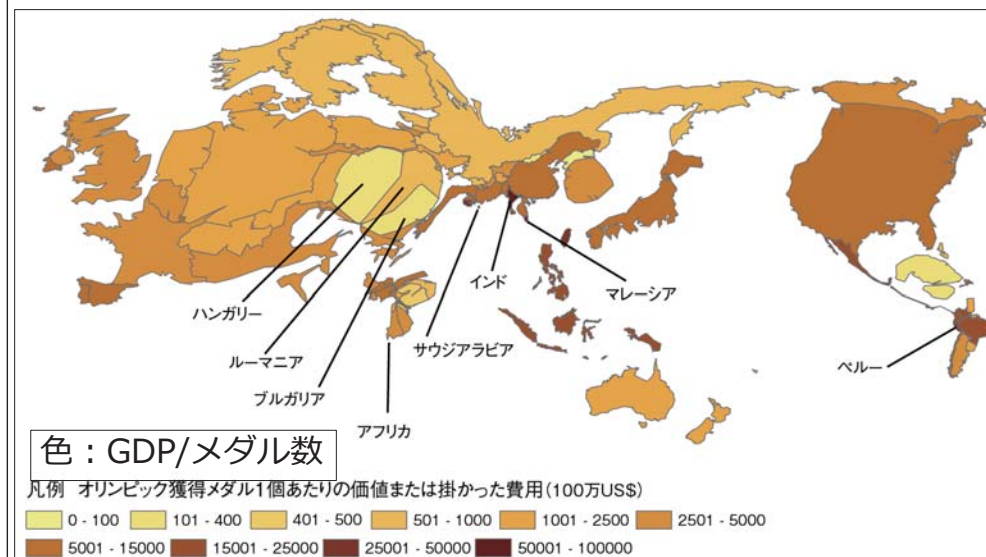
南関東 鉄道網

等人口密度空間上での空間分布を視覚化

<地理的分布>

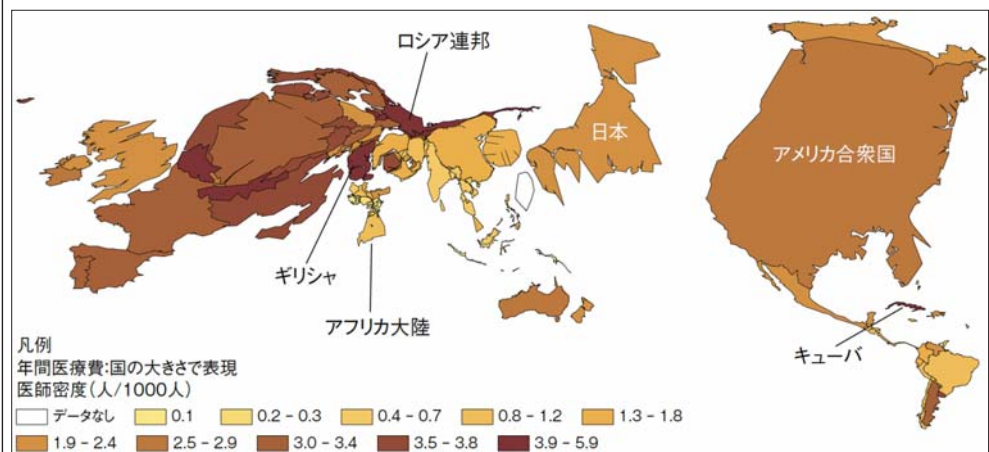


オリンピックメダル獲得数 41



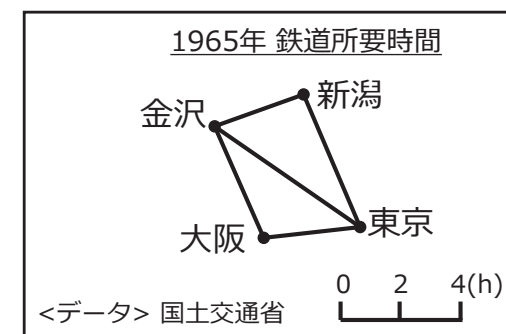
東京カートグラフィック株式会社(2008)「地図の学際」(12), p.8. (地図作成協力)

医療費 42



東京カートグラフィック株式会社(2008)「地図の学際」(13), p.8. (地図作成協力)

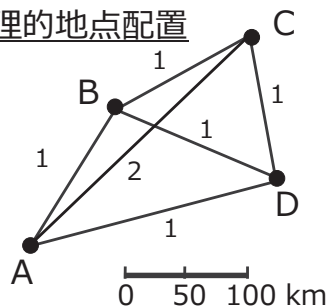
距離カルトグラム作成手法 43



既往の距離カルトグラム作成手法

44

地理的地点配置

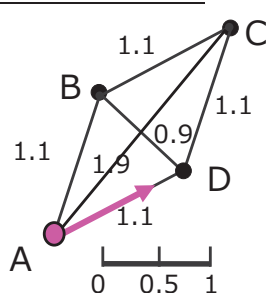


全ての地点間に
近接性指標データあり
完全ネット型



MDS: 多次元尺度構成法

距離カルトグラム



非線形最小二乗問題

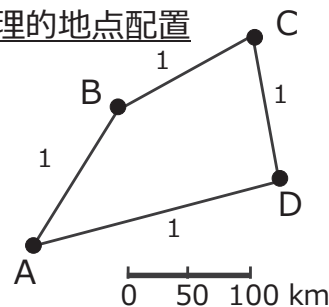
$$\min \sum_{i < j} \left(p_{ij} - \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \right)^2$$

近接性指標データ カルトグラム上の距離
但し、データの表現精度が低くなる可能性あり

既往の距離カルトグラム作成手法

45

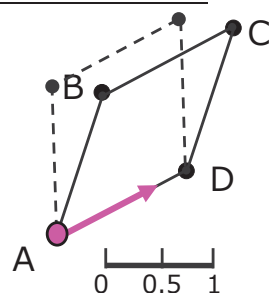
地理的地点配置



一部の地点間に
近接性指標データあり
部分ネット型



距離カルトグラム



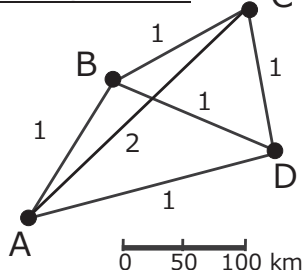
1点の座標と
1リンクの方位角を固定しても
地点配置を一意に定めることは不可能

個別問題対応型の解法が提案されている
不明快な手法で多くの試行錯誤が必要

既往の距離カルトグラム作成手法

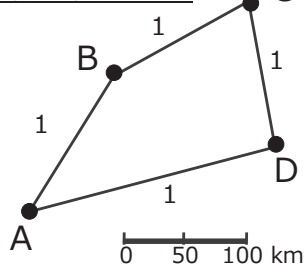
46

完全ネット型



全地点間に近接性指標

部分ネット型



一部地点間に近接性指標

完全ネット型は部分ネット型の一形態



部分ネット型距離カルトグラム作成手法は
双方に適用可能

部分ネット型距離カルトグラムの作成法の提案を目指す

距離カルトグラム作成問題の定式化

47

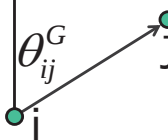
$$\min \left[\sum_{ij \in L} (p_{ij} - d_{ij})^2 + \mu \sum_{ij \in L} (\theta_{ij}^C - \theta_{ij}^G)^2 \right]$$

リンク集合 点ij間の近接性指標

$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$: カルトグラム上 点ij間距離
 μ : 正則化項の重み

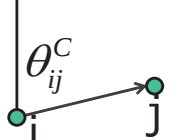
地理的配置

地理的配置上
辺 ij の方位角

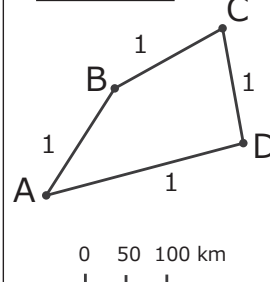


カルトグラム

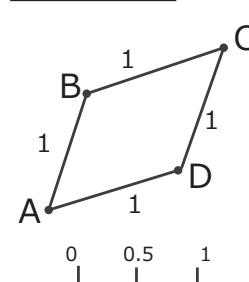
カルトグラム上
辺 ij の方位角



地理的配置



カルトグラム



- 解が一意
- 不必要な変形なし

$$\min \sum_{ij \in L} \left[\left(p_{ij} - d_{ij} \right)^2 + \mu \left(\theta_{ij}^C - \theta_{ij}^G \right)^2 \right]$$



- 座標の近似値 (x'_i, y'_i) を用いて線形化
- 正則化項の重み $\mu = 1$ と設定

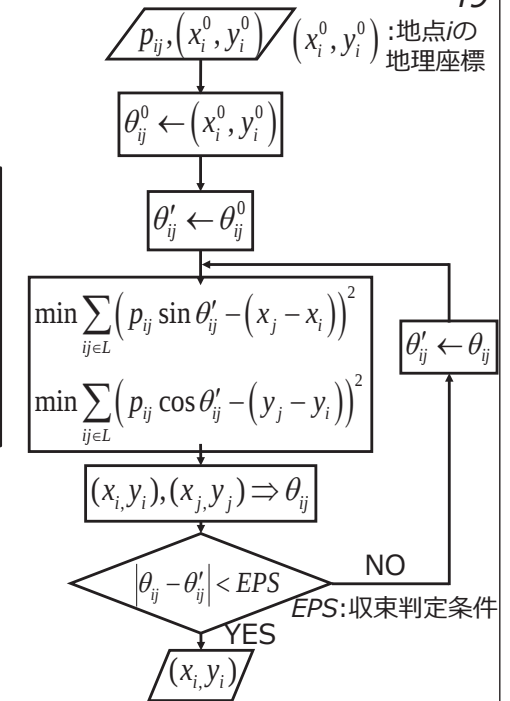
$$\min \left[\sum_{ij \in L} \left(p_{ij} \frac{x'_{ij}}{d'_{ij}} - (x_j - x_i) \right)^2 + \sum_{ij \in L} \left(p_{ij} \frac{y'_{ij}}{d'_{ij}} - (y_j - y_i) \right)^2 \right]$$

- 2つの独立な線形最小二乗問題 $x'_{ij} = x'_j - x'_i$
- 説明変数行列は不変 $y'_{ij} = y'_j - y'_i$

- 入力データは
カルトグラム上で表現するデータと
地理座標上での地点座標のみ

- 線形最小二乗問題の
繰り返しで計算可能

- 計算時間 短 (数秒程度)



距離カルトグラムの作成例

鉄道所要時間の変遷

<データ>

国土交通省 TRANET

1965・1975・1985・1995年

鉄道所要時間データ

全国の鉄道所要時間の変遷を
距離カルトグラムを用いて視覚化

対象地点・リンクの地理的配置

81生活圈
109リンク

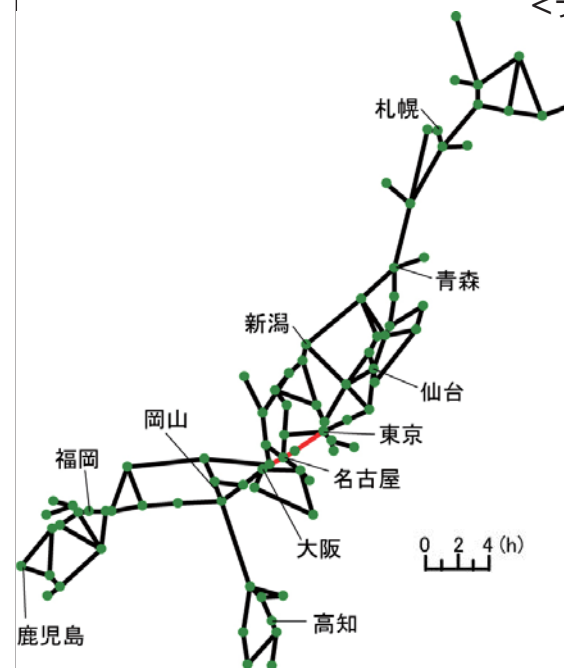


1965年 全国鉄道所要時間

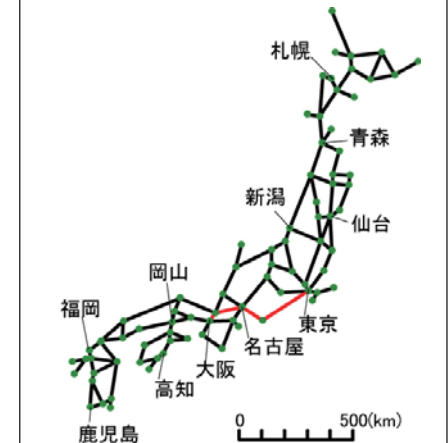
<データ> 国土交通省 TRANET

1964年 東海道新幹線

東京～新大阪



地理的地点配置

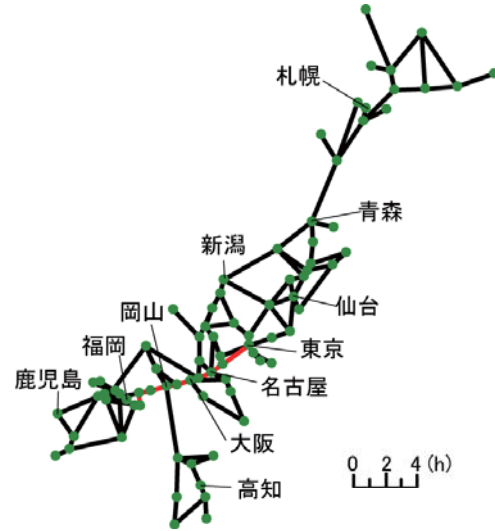


1975年 全国鉄道所要時間

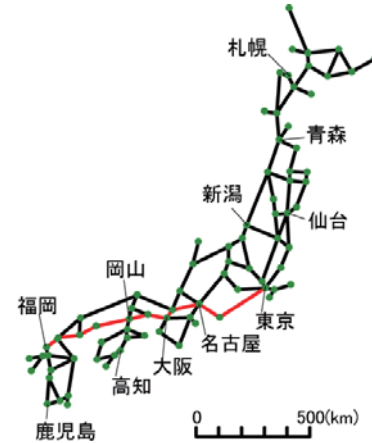
52

<データ> 国土交通省 TRANET

1972年山陽新幹線
新大阪～岡山
岡山～博多
1975年



地理的地点配置

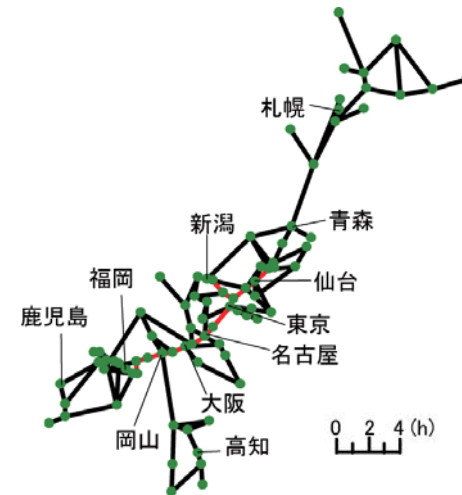


1985年 全国鉄道所要時間

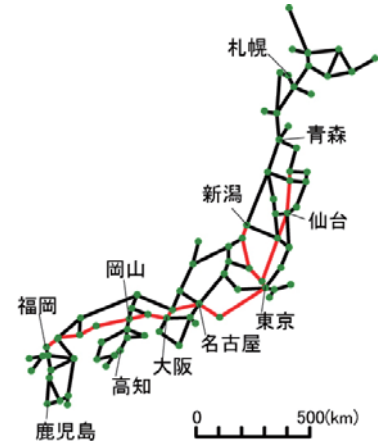
53

<データ> 国土交通省 TRANET

1982年東北新幹線 大宮～盛岡
上越新幹線 大宮～新潟
1985年
上野～大宮



地理的地点配置

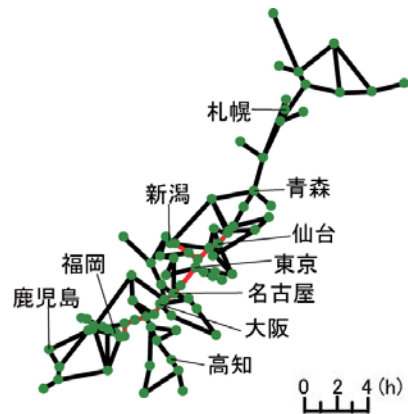


1995年 全国鉄道所要時間

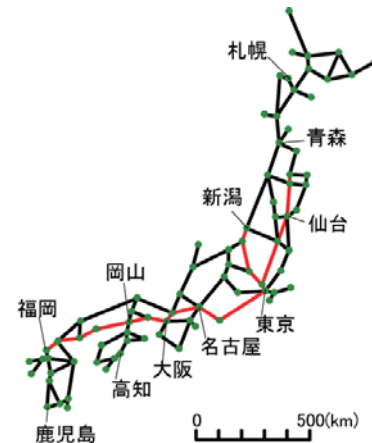
54

<データ> 国土交通省 TRANET

1988年 青函トンネル
瀬戸大橋



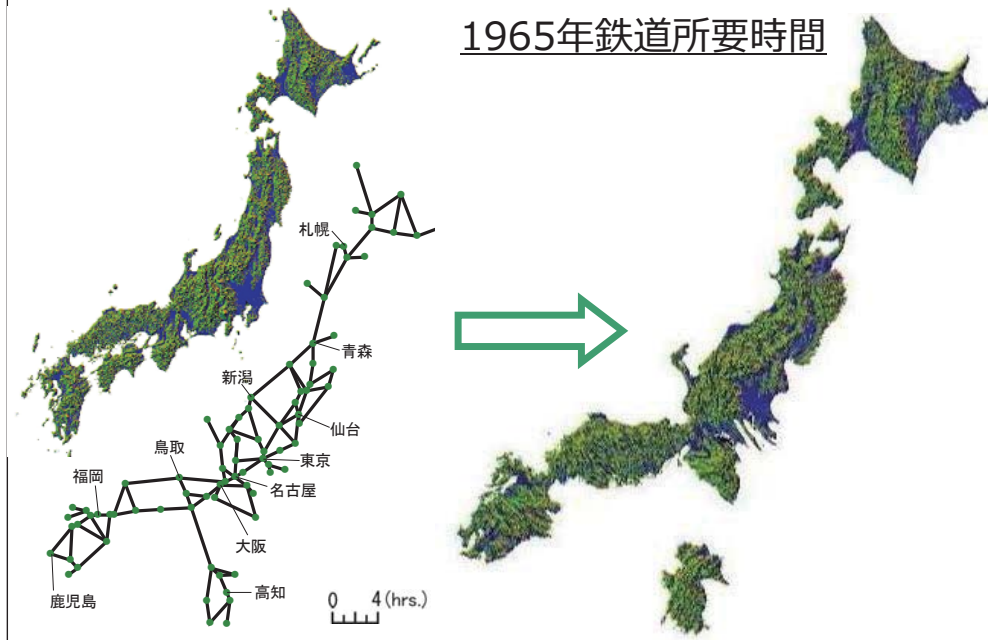
地理的地点配置



地図画像の変形を用いた視覚化

55

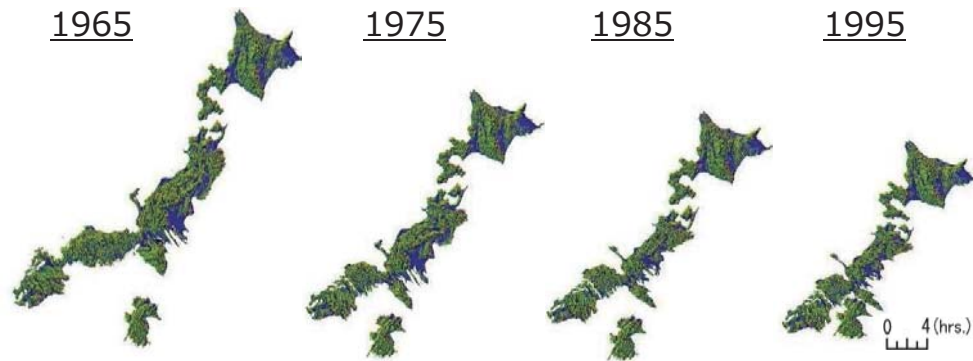
1965年鉄道所要時間



地図画像の変形を用いた視覚化

56

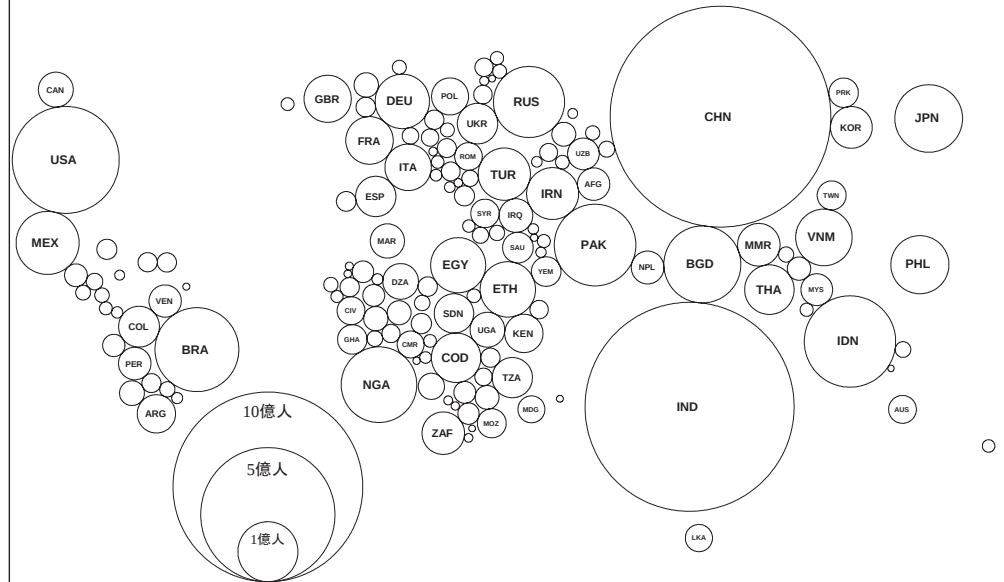
鉄道所要時間の変遷



地図画像の内挿によって
時系列変化をわかりやすく捉えることが可能に

距離カルトグラム作成手法を応用した非連続面積カルトグラム 58

<データ> World population prospects: the 2008 revision population database
United Nations Population Division



60

空間情報の可視化手法「カルトグラム」の作図法提案
まとめ

61

カルトグラム作成問題とは

統計データの大きさを
地図上の**地点間距離**や**地域面積**で表す最適化問題

不良設定問題であり、正則化が必要

統計データの大きさの再現とは関係のない
無意味な地図変形を排除する必要

可能な限り、単純明快な作成手法を



これらを解決する方法として以下を採用

- 最小二乗法による問題記述
- 方位角拘束による正則化

統計データの大きさを
地図上の地点間距離や地域面積で表す最適化問題

可能な限り、単純明快な作成手法を

➤ 最小二乗法による問題記述

不良設定問題であり、正則化が必要

統計データの大きさの再現とは関係のない
無意味な地図変形を排除する必要

➤ 方位角拘束による正則化

距離・面積カルトグラムの双方について
一応の実行可能性を有する手法を構築

不動産価格情報の必要性

市場原理によって、限りある土地資源の
高度・有効利用を促進させる



課題：不動産市場の透明性の向上
⇒ 不動産価格情報の更なる整備と公開



2. 不動産価格情報の 新たな表現法の提案

日本の主要な公的な不動産価格情報

	不動産鑑定に基づく公的地価指標		実勢価格を示す取引価格情報
	地価公示制度 (公示地価)	都道府県地価調査 (基準地価)	不動産取引価格情報
実施主体	国土交通省 土地鑑定委員会	各都道府県知事	国土交通省
調査方法	不動産鑑定士 2名による鑑定評価	不動産鑑定士 1名による鑑定評価	取引当事者への アンケート調査
価格	1月1日時点の 鑑定に基づく価格	7月1日時点の 鑑定に基づく価格	実際に取引された価格
公表対象	標準地	基準地	土地(更地)・建付地・中古マンション
公表内容	所在・価格・地積・ 土地利用状況・ 駅への近接 等	所在・価格・地積・ 土地利用状況・ 駅への近接 等	所在・価格・地積・駅への近接 等 一部の詳細情報は秘匿
公表時期	年1回(3月下旬)	年1回(9月中旬)	年4回
公表開始	昭和45年(1970年)	昭和50年(1975年)	平成18年(2006年)

現行の不動産価格情報提供には必然的な限界が存在

- ・現時点では、プライバシーなどへの配慮などから取引の特定に繋がる詳細な属性情報(特に所在地)は非公開
→ 参考になる取引事例を探すことが困難

たとえ、詳細な属性情報が公開されたとしても…

- ・取引価格は取引ごとに異なる個別事情を反映されているがその個別事情に関しては知る術がない
→ 近隣物件の標準的な価格を示しているとは限らない
- ・取引事例は時空間上に点在
→ 同一地点・複数時点の情報が得られることは稀
価格変動に関する情報は限られた地点でしか得られない

一般の不動産市場参加者に対する
情報提供としては**不十分**

不動産市場の特徴：

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
不動産の経済価値を把握するには、**不動産鑑定評価**が不可欠。

また、不動産鑑定評価に基づく公的地価指標では、

- ・短期的な市場動向の表現は不可能。
 - ・実際の取引価格の水準や幅を伝えることもできない。
- ⇒**取引価格情報**を活用した情報提供が有用。

プライバシーへの配慮を果たしながら、
近隣取引物件の価格動向を表現できないか？

不動産市場の特徴：

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
不動産の経済価値を把握するには、**不動産鑑定評価**が不可欠。

ただし、市場参加者が関心を持つ全ての土地の鑑定評価を行い、その情報を提供することは現実的ではない。

不動産鑑定評価に基づく公的地価指標を活用し、
任意地点・時点の標準的価格を情報提供できないか？

不動産鑑定評価に基づく公的地価指標を活用し、
任意地点・時点の標準的価格を情報提供できないか？

空間統計学で議論されてきた空間内挿(補間)手法「**クリギング**」を用いた
公的地価指標値の時空間内挿による
任意地点・時点の標準的価格の算出・情報提供。

プライバシーへの配慮を果たしながら、
近隣取引物件の価格動向を表現することはできないか？

上記の手法を用いて算出する、
**取引物件に対応した公的地価指標内挿値と実際の取引価格を比較し、
「取引価格水準」**情報を作成。
(取引物件の詳細な属性を明らかにすることなく、取引価格動向を情報提供)

専門家以外の市場参加者にとっても分かりやすい形で
標準的価格と実勢価格動向を提供することができる。
不動産市場の透明性向上に寄与するものと期待

新たな不動産価格情報の提供法を提案

1. 空間統計手法「クリギング」を用いた公的地価指標の時空間内挿
 - (a) クリギングを用いた時空間内挿
 - (b) 適用1 東京都区部・長期間の地価変動の可視化
 - (c) 適用2 2000年以降のデータを用いた内挿の精度検証
2. 取引価格情報を用いた「取引価格水準情報」の作成
 - (a) 情報作成手順について
 - (b) 取引価格水準情報の特徴
3. 情報提供Webサイトの試作

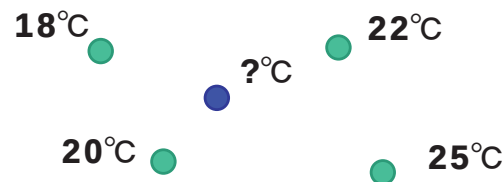
任意の地点の公的地価指標の時空間内挿結果と、
近隣の取引価格水準情報を提供するWebサイトを実装。
新たな情報提供の可能性について紹介する。

1. 空間統計手法「クリギング」を用いた公的地価指標の時空間内挿

空間内挿（空間補間）とは？

限られた観測点で得られた情報から、
観測点以外の任意地点における情報を推定すること。

（例）アメダスの気温から、自宅の気温を知りたい。



空間内挿の基本的な考え方

Tobler(1970)の地理学第一法則

“Everything is related to everything else,
but near things are more related than distant things”

「全ては互いに関連しているが、近くのは遠くのものより関係が強い」

空間内挿を行う際にはより近い点の情報がより参考になる
⇒ 空間的自己相関の存在を仮定

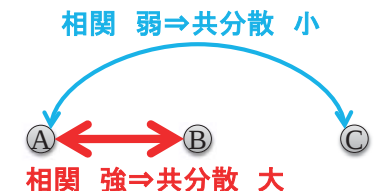
クリギング(Kriging)とは？

空間統計学（あるいは、地球統計学）において議論されてきた
空間内挿手法の一つ。

<クリギングによる空間的自己相関の扱い方>

異なる地点における観測値の共分散を、
地点間距離の関数として空間相関を構造化。

構造化した「距離と共分散の関係」を利用し
任意の地点における値を予測する手法。



通常のクリギング(Ordinary Kriging)は、
観測値の空間相関を構造化し、空間内挿を行う手法。
観測値に影響を与える他の属性を考慮できない。
(例) 気温の空間内挿に、標高の違いを考慮できない。

不動産価格に対して適用する場合には、
当然、物件の持つ様々な属性を考慮する必要あり。

そこで、モデルの誤差が持つ空間相関を構造化して
空間内挿を行う普遍クリギング(Universal Kriging)を用いる。

普遍クリギング

異なる地点におけるモデルの誤差の共分散を、
地点間距離の関数として空間相関を構造化し、
任意地点の被説明変数の値を内挿する手法

推定モデル	$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u}$	統計的性質
ただし $E(\mathbf{u}) = \mathbf{0}$ $E(\mathbf{u}\mathbf{u}') = \mathbf{V}$		不偏性 $E(y_* - \hat{y}_*) = 0$
予測モデル	$y_* = \mathbf{x}'_*\boldsymbol{\beta} + u_*$	線形性 $\hat{y}_* = \mathbf{a}'_*\mathbf{y}$
ただし $E(u_*) = 0$ $E(u_*^2) = \sigma_*^2$ $E(u_*\mathbf{u}) = \mathbf{c}_*$		分散最小(最良性) $\min[\text{Var}(y_* - \hat{y}_*)]$

最良線形不偏推定量

$$\hat{y}_* = \mathbf{x}'_*\hat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{GLS}} + \mathbf{c}'_*\mathbf{V}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{GLS}})$$

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_{\text{GLS}} = (\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{V}^{-1}\mathbf{y}$$

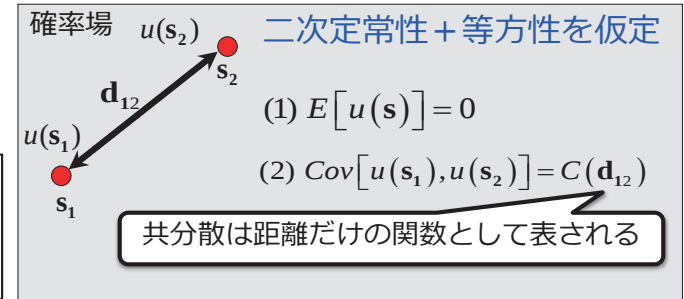
誤差の相関 $\mathbf{c}_* = E(u_*\mathbf{u})$ $\mathbf{V} = E(\mathbf{u}\mathbf{u}')$ は空間相関の構造化で設定

異なる地点におけるモデルの誤差の共分散を、
地点間距離の関数として空間相関を構造化し、
任意地点の被説明変数の値を内挿する手法

モデル

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u}$$

$\mathbf{y}$: 被説明変数
 $\mathbf{X}$: 説明変数
 $\boldsymbol{\beta}$: パラメータ
 $\mathbf{u}$: 誤差項

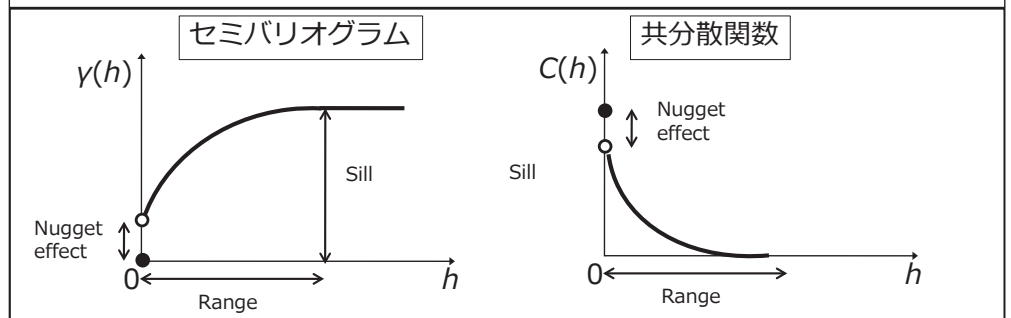


もし仮定した誤差の空間相関構造が正しければ、
クリギングで得られた空間内挿の結果は、
最良線形不偏予測量(BLUP)という優れた統計的性質を持つ

共分散関数 $C(\mathbf{h}) = \text{Cov}[u(\mathbf{s} + \mathbf{h}), u(\mathbf{s})]$

セミバリオグラム $\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2}\text{Var}[u(\mathbf{s} + \mathbf{h}) - u(\mathbf{s})]$

$$C(\mathbf{h}) = \gamma(\infty) - \gamma(\mathbf{h})$$



モデルの誤差項に時間・空間距離に対する二次定常性を仮定

共分散を時間・空間距離の関数で表し
任意の地点・時点のデータを内挿（予測）する手法

<モデル> $y = X\beta + u$

<予測モデル> $y_0 = x_0'\beta + u_0$

$\hat{y}_0$: 予測値
 x_0 : 予測点の説明変数ベクトル
 $\hat{\beta}$: パラメータ推定値
 e : 残差ベクトル
 u : 観測の攪乱項ベクトル
 u_0 : 予測の攪乱項

$c_0 = E(u_0 u)$ 予測と観測の攪乱項の共分散ベクトル

$V = E(uu')$ 観測攪乱項の分散共分散行列

攪乱項の共分散を
共分散関数 $C(||h||, u)$ (時間 u ・空間距離 h) の関数を用いて構造化

<予測値> $\hat{y}_0 = x_0'\hat{\beta} + c_0'V^{-1}e$

時空間クリギングによる地価内挿を行い、
精度検証および地価変動の可視化を行った例を紹介。

使用データ：公示地価
東京都区部
1975年～2007年

地価モデル：用途地域により4分類

分類	用途地域	点数
住居系	1 住居/ 1 住専/ 1 中専/ 1 低専/ 2 住居/ 2 住専/ 2 中専/ 2 低専/ 住居/ 準住居	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

適用1

東京都区部・長期間の地価変動の可視化

東京都区部の街区毎に 1975～2007年の地価を内挿し、
地価の時空間分布を視覚的に表現する。

<対象地域> 東京23区的全街区（107,614街区）

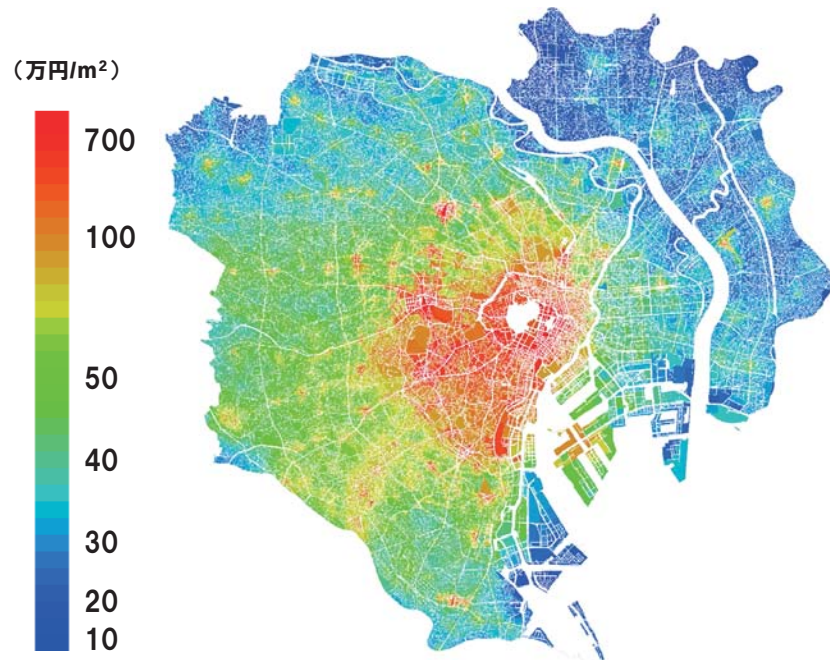
※街区は、国土地理院 数値地図25000より

<地価算出条件>

街区重心位置における地価を内挿する。

«属性データの設定»

- 地積・前面道路幅員など公示地価・官報記載事項に関する属性は、
周囲の公示地価点の属性をOrdinary Krigingによる空間内挿して設定。
- 最寄駅迄の距離は、数値地図25000の道路中心線データ・駅ポイント
データを用いて、GISのネットワーク分析機能を用いて算出。



説明変数

139

<各地価モデルの説明変数>

D: ダミー変数

地価モデル区分	経済要因	地域要因	個別要因
住居系用途地域 準工業地域 (150㎡未満) 5,438点+1,888点	当年住宅ローン金利	主要駅までの 平均鉄道所要時間 (新宿・池袋・東京 ・上野・渋谷)	最寄り駅までの距離 地積 前面道路幅員 方位(D)
住居系用途地域 準工業地域 (150㎡以上) 8,678点+2,756点	前年日経平均		最寄り駅までの距離 ln(地積) 指定容積率 方位(D)
近隣商業地域 2,677点+1,263点			最寄り駅までの距離 ln(地積) 前面道路幅員 駅前広場近接(D)
商業地域 6,343点+3,047点			最寄り駅までの距離 ln(地積) 前面道路幅員 指定容積率 駅前広場近接(D)

適用2

2000年以降のデータを用いた内挿の精度検証

137

パラメータ推定結果(普遍クリギング)

140

住居系150m²未満

説明変数	パラメータ	t値
定数項	12.8	(8.36)
地積	1.18×10^{-3}	(2.00)
方位ダミー	2.25×10^{-2}	(2.18)
主要駅迄の鉄道所要時間	-2.24×10^{-3}	(-4.49)
最寄り駅迄の距離	-4.93×10^{-5}	(-15.1)
前面道路幅員	-1.67×10^{-2}	(-2.78)
住宅ローン金利	-4.85×10^{-3}	(-0.02)
τ^2	3.27×10^{-3}	(—)
σ_1^2	1.03×10^{-1}	(—)
σ_2^2	3.38×10^{-3}	(—)

住居系150m²以上

説明変数	パラメータ	t値
定数項	12.5	(30.7)
ln(地積)	5.03×10^{-3}	(4.40)
方位ダミー	3.05×10^{-3}	(0.300)
主要駅迄の鉄道所要時間	-2.57×10^{-3}	(-3.28)
最寄り駅迄の距離	-5.86×10^{-5}	(-12.5)
容積率	-3.52×10^{-4}	(-4.38)
前年日経平均	1.21×10^{-5}	(1.04)
τ^2	2.25×10^{-2}	(—)
σ_1^2	2.03×10^{-1}	(—)
σ_2^2	3.76×10^{-3}	(—)

近隣商業地域

説明変数	パラメータ	t値
定数項	12.9	(71.7)
ln(地積)	1.61×10^{-2}	(1.69)
主要駅迄の鉄道所要時間	-2.16×10^{-3}	(-2.01)
最寄り駅迄の距離	-1.08×10^{-4}	(-9.02)
前面道路幅員	2.58×10^{-3}	(3.36)
駅前広場近傍ダミー	3.35×10^{-2}	(1.86)
前年日経平均	1.38×10^{-5}	(2.25)
τ^2	6.09×10^{-2}	(—)
σ_1^2	1.89×10^{-1}	(—)
σ_2^2	6.17×10^{-3}	(—)

商業地域

説明変数	パラメータ	t値
定数項	12.6	(81.4)
ln(地積)	1.25×10^{-1}	(27.2)
主要駅迄の鉄道所要時間	-2.86×10^{-2}	(-19.8)
最寄り駅迄の距離	-5.65×10^{-4}	(-31.1)
前面道路幅員	1.41×10^{-2}	(37.7)
駅前広場近傍ダミー	5.92×10^{-1}	(25.9)
容積率	1.73×10^{-3}	(38.7)
前年日経平均	2.03×10^{-5}	(3.29)
τ^2	4.05×10^{-1}	(—)
σ_1^2	3.08×10^{-1}	(—)
σ_2^2	1.75×10^{-2}	(—)

100-fold cross validationを実施

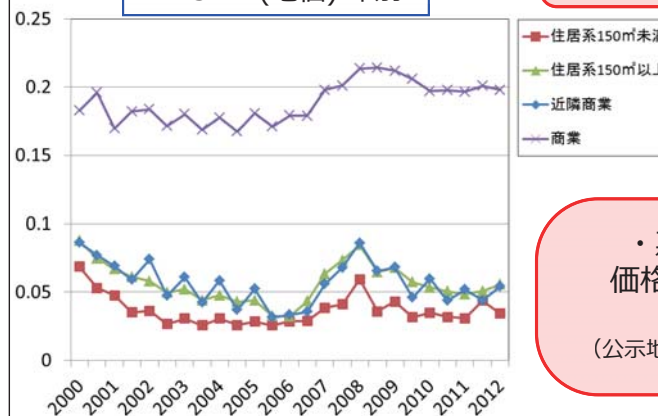
- データをランダムに100組に分割
- 99組をパラメータ推定用, 1組を内挿精度検証用
- 99組で推定したパラメータを残り1組に内挿し, 検証用データと内挿値の比較を行う
- すべての組が検証されるように100回繰り返す

評価方法

- RMSE (二乗平均平方根誤差)
- 散布図
- 頻度分布

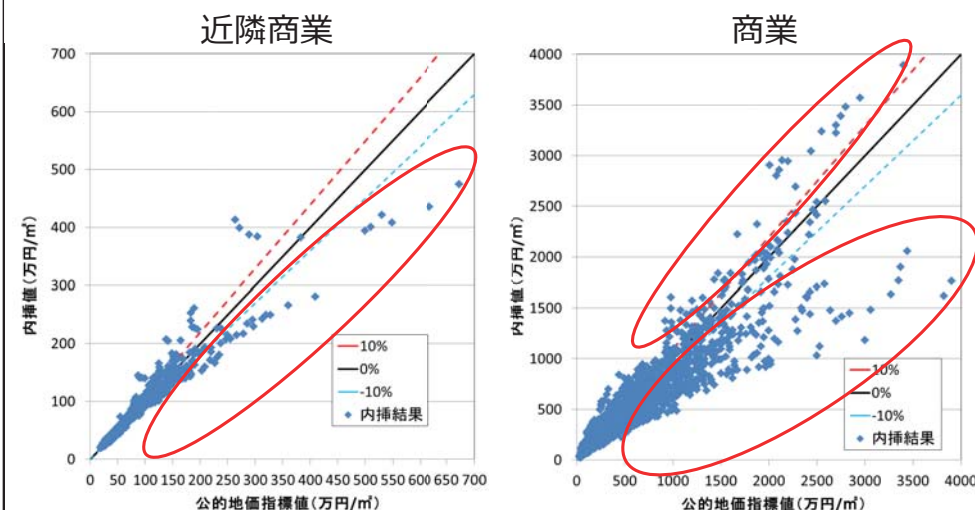
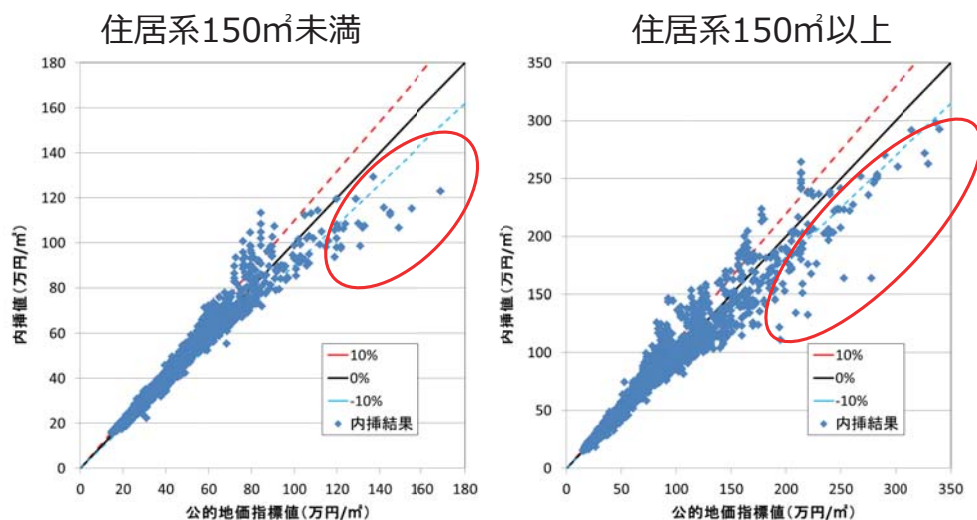
モデル区分	RMSE ln(地価)	ln(地価)平均値	RMSE 地価	地価平均値
住居系150㎡未満	0.0396	12.8	25,200	391,000
住居系150㎡以上	0.0593	13.0	59,300	514,000
近隣商業地域	0.0598	13.2	97,300	607,000
商業地域	0.190	14.1	1,140,000	2,330,000

RMSE ln(地価) 年別



商業地域の地価内挿は困難

- 期間の両端および価格変動時に精度低下
- 半年毎に上下 (公示地価/地価調査の値に違い?)



頻度（内挿値/検証用地価）

モデル区分	内挿値と検証用地価の差					
	±1%以内	±2%以内	±5%以内	±10%以内	±15%以内	±20%以内
住居系・準工業(150m ² 未満)	27.5%	51.4%	86.5%	97.5%	99.2%	99.7%
住居系・準工業(150m ² 以上)	18.3%	36.5%	74.5%	92.3%	97.4%	99.8%
近隣商業地域	19.8%	36.9%	74.1%	93.0%	97.1%	98.8%
商業地域	5.0%	9.9%	25.2%	47.4%	51.4%	76.3%

- 商業地域モデルを除くと、比較的良い精度をもった地価内挿が可能であることが確認された。

以後の検討からは、商業地域は除外

取引事例データ

取引価格情報＋公示地価決定時に鑑定士が参考とする内部資料
多様な項目(住居表示、取引時点、地積、取引の事情etc.)

提供された取引事例

1999-2011年、約5万件

- 公的地価指標との比較に適した事例の抽出
(整形地・建物価格0円etc.)
- 重複事例・特殊事例などのデータクリーニング

公的地価指標との比較に使用

住居系150m²未満： 8,959件
住居系150m²以上： 4,647件
近隣商業地域： 777件

2. 取引価格情報を用いた「取引価格水準情報」の作成

取引事例データの前処理

- 地価モデル区分に従って取引事例を分類
- 取引事例に対応する公的地価指標内挿値の算出に備え
地価モデルの説明変数を準備

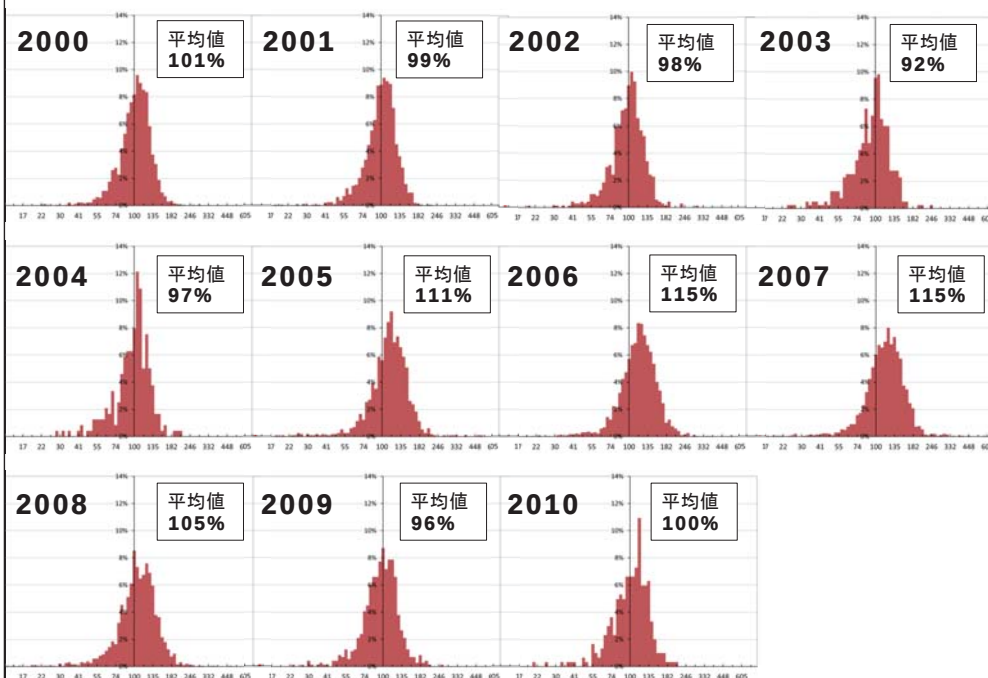
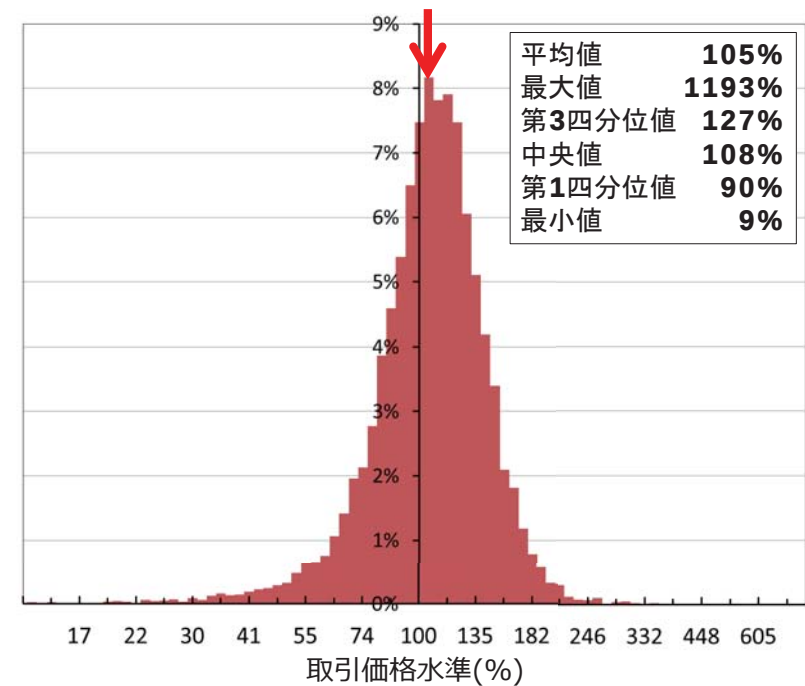
取引事例データ上の属性	処理	説明変数
地積	そのまま利用	地積
前面道路幅員		前面道路幅員
最寄り駅までの道路距離		最寄り駅までの距離
基準容積率		基準容積率
取引時点		取引時点
前面道路方位[8方位]	南・南東・南西のとき1	方位ダミー
前面道路幅員[m] 駅前区分ダミー	前面道路幅員0かつ 駅前区分1のとき1	駅前広場近傍ダミー
地番・住居表示	アドレスマッチング(※)	公共座標
最寄り駅・時点	別途用意したデータと照合	主要駅までの鉄道所要時間
時点		住宅ローン金利 前年日経平均

※東京大学空間情報科学研究センターとの共同研究、号単位アドレスマッチングサービスを使用

取引時点・地点における
公的地価指標内挿値を算出



$$\text{『取引価格水準(\%)』} = \frac{\text{実際の取引価格}}{\text{公的地価指標内挿値}}$$



3. 情報提供Webサイトの試作

任意の時点・地点について、本研究で算出した

- ・ 公的地価指標内挿値
- ・ 取引価格水準(対公的地価指標内挿値比)

を情報提供するWebサービスのパイロット版を実装

<http://www.plan.civil.tohoku.ac.jp/inoue/landprice/>

不動産価格情報の新たな表現法の提案 まとめ

新たな不動産価格情報提供に向けた提案

1. クリギングを用いた「公的地価指標の時空間内挿」
2. 取引価格情報を用いた「取引価格水準情報」の作成
3. 「公的地価指標の時空間内挿」「取引価格水準情報」を利用した
情報提供の可能性の例示－Webサイトパイロット版の作成－

「要検討事項」

- (1) 公的地価指標内挿値の解釈に関する検討
- (2) 公的地価指標の内挿精度向上
- (3) 情報提供項目の検討・インターフェース等の改善
- (4) 取引価格情報を用いた更なる情報提供の検討