

居住者の時空間分布からみた地域間距離

村上 彩夏・大佛 俊泰

Distance between Areas Based on Spatiotemporal Distribution of Inhabitants Ayaka MURAKAMI and Toshihiro OSARAGI

Abstract : In this paper, we proposed a novel index describing the distance between areas, which is called "Social Distance". It can be calculated based on the Jansen-Shannon Divergence using the spatiotemporal distribution of inhabitants derived from person trip survey data. We discussed the differences between Social Distance and other ordinary indices, such as Euclid-distance, network-distance, and time-distance, which have been used for various urban models. Through the computation analyses, we demonstrated that Social Distance has a great potential for urban analysis from a novel viewpoint.

Keywords : 社会距離 (social distance), 時空間分布 (spatiotemporal distribution), ジエンセン・シャノン・ダイバージェンス (Jensen-Shannon divergence), パーソントリップ調査 (person trip survey)

1. はじめに

従来まで、ユークリッド距離・ネットワーク距離・時間距離などの物理的な距離が、地域間の距離を表す指標として多くの都市モデルで用いられてきた。近年、交通網の発達により人々のモビリティは高まり、遠く離れた地域間でも人的交流が活性化してきている。地域間の距離は地理的な距離だけでなく、人的交流の視点からも定義できると考えられる。そこで、本研究では居住者の時空間分布に着目し、居住地の異なる人々が同一時刻・同一地域に滞留すること、すなわち、居住者間の遭遇機会の程度に基づき地域間距離（社会距離）を定義し、これを用いて都市空間分析を試みる。

2. 社会距離の定義と計算方法

2.1 社会距離の概念と定式化

居住者の時空間分布を仔細に観察すると、居住

村上彩夏 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1

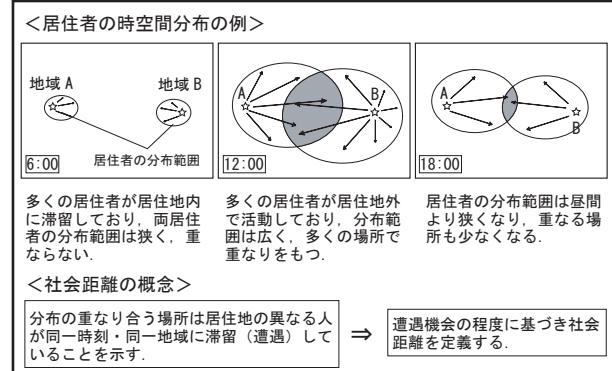
東京工業大学大学院 情報理工学研究科

情報環境学専攻 大佛研究室

E-mail: murakami.a.ad@m.titech.ac.jp

地の異なる人々の空間分布の範囲が重なり合うことがわかる（図1）。空間分布の重なりは居住地の異なる居住者同士が同一時刻・同一地域に滞留していることを示す。同一時刻・同一地域に滞留している人々は相互に関連を持つ活動を行っている可能性が高く、こうした人々の関係性は相対的に密接であると考えられる。そこで、居住者の時空間分布の類似性をもとに、地域間の関係性（社会距離）を定義する。

具体的には、居住者の時刻別の空間分布を確率分布ととらえ、2つの確率分布の類似・非類似の距離測度を表す Jensen-Shannon Divergence (Briet



and Harremoes, 2009) を用いて、社会距離を定式化する（図2）。

2.2 社会距離の基礎的性質

図2の定義式より明らかに、同一地域間の社会距離は0である。また、居住者の時空間分布が全く重なり合わない地域間の社会距離は1となる。

ここで、社会距離の基礎的性質を理解するため、仮想的に居住者の移動パターンを想定し、居住者の移動と社会距離の変化を考察した（図3）。

Case1のように居住者が相互に地域間を移動する場合、社会距離は移動する居住者の量 x に応じて大きく変化する。Case2のように一方の地域の居住者だけが移動する場合やCase3のように居住者がそれぞれ他の地域で遭遇する場合、変化の程度は緩やかである。移動する居住者の量 x の合計が同じであれば、社会距離はCase1 < Case2 < Case3となる（ただし、 x の合計が大きくなる範囲）。例えば、 x の合計が20%である場合、Case1での社会距離は約0.5であり、Case2では約0.6、Case3では約0.9である。また、Case3の地域Cの数を増やすと、社会距離は減少するが、地域Cの数に関わらず移動する居住者の総量が等しければ、社会距離が等しくなる。

居住者の移動パターンの違いによって移動する居住者の総量が同じであっても居住者の遭遇機会の程度が大きく異なり、社会距離の値と深く関係していることがわかる。

3. 社会距離を用いた地域分析

3.1 実データを用いた社会距離の計算方法

昭和63年、平成10年、平成20年東京都市圏パーソントリップ調査のデータ（以下、PTデータ）を用いて、人々の時刻別（7-19時）、地域別の滞留者数を求め（図4）、時空間分布を抽出する。この値をもとに、図2に示した定義式に基づき地域 i と地域 j 間の社会距離 D_{ij} を算出する。

3.2 従来の距離指標との関係

社会距離と従来の距離指標との関係を調べた

< Jensen-Shannon Divergence を用いた社会距離の定式化 >

地域 i の居住者数を N_i で表す。また、地域 i の居住者のうち、時刻 t において地域 k に滞在している人数を $n_{it}(k)$ と表す。地域 i の居住者の時刻 t 別、地域 k 別の確率分布 $p_{it}(k)$ は次式で与えられる。

地域 j についても同様に定義することができる。ただし、地域 i と明確に区別するため、 $q_{jt}(k)$ と表記することにする。

$$p_{it}(k) = \frac{n_{it}(k)}{N_i} \quad q_{jt}(k) = \frac{n_{jt}(k)}{N_j}$$

ここで、地域 i と地域 j の居住者が同一時刻 t ・同一地域 k で遭遇する機会の程度について考えると、この問題は時刻 t 別、地域 k 別の確率分布 $p_{it}(k)$ 、 $q_{jt}(k)$ の類似・非類似について考えることと等価である。そこで社会距離を、2つの確率分布の距離測度を表すJSDを用いて、次式のように定式化する。

$$D_{ij} = \frac{1}{2T} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^n \left[p_{it}(k) \log \frac{2p_{it}(k)}{p_{it}(k) + q_{jt}(k)} + q_{jt}(k) \log \frac{2q_{jt}(k)}{p_{it}(k) + q_{jt}(k)} \right]$$

この式の計算過程において、 $p_{it}(k)=0$ または、 $q_{jt}(k)=0$ の扱いが問題となるが、

$$\lim_{p \rightarrow 0} p \log p = 0$$

の関係を利用すればよい。

図2 社会距離の定式化

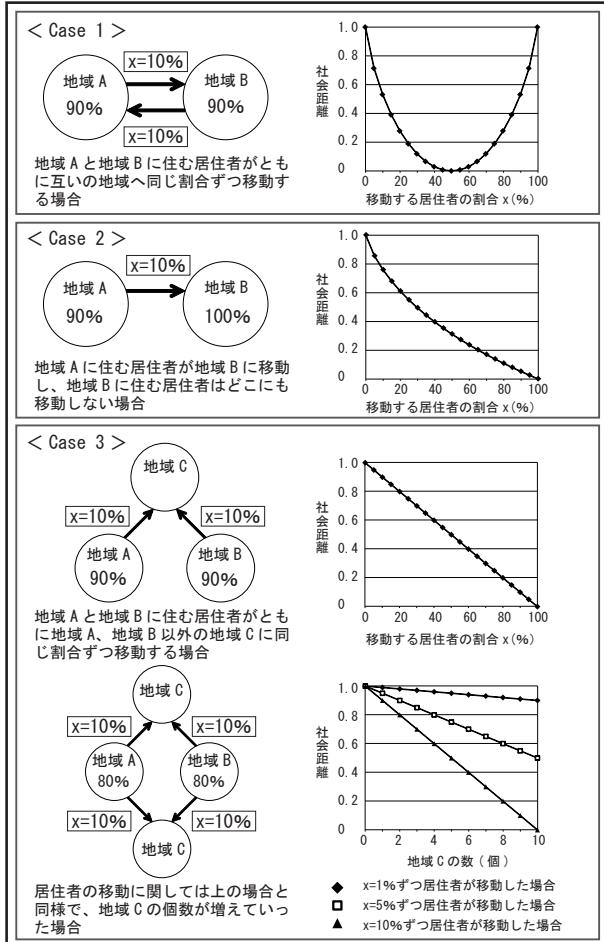


図2 社会距離の定式化

< PT データのサンプルの例 >

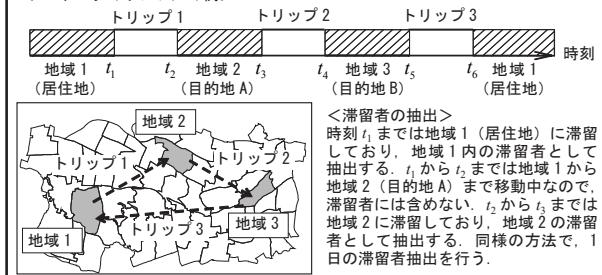


図3 簡易モデルと社会距離

< PT データのサンプルの例 >

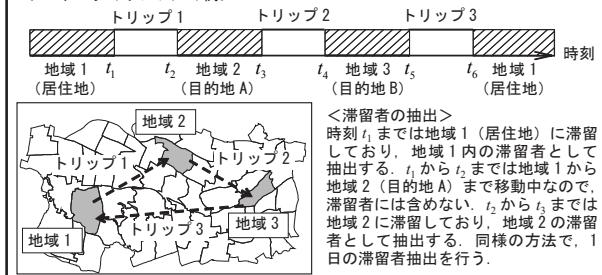


図4 PT データを用いた滞留者の抽出方法

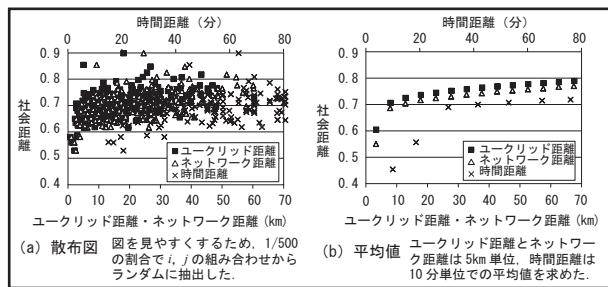


図5 従来の距離指標との関係

(図5-a,b). 社会距離と従来の距離指標との間には、ゆるやかな正の相関が認められるが、近隣の地域だからといって社会距離が必ずしも小さいわけではなく、逆に、遠く離れた地域間であっても社会距離が小さい場合もあることがわかる。

3.3 社会距離の空間分布

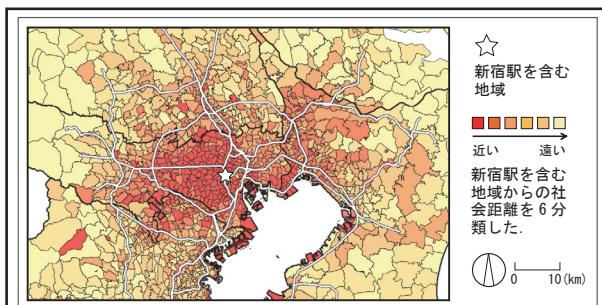
特定の地域に注目し、その地域から他の地域までの社会距離を算出し、その空間分布を求めた。新宿駅を含む地域の場合、東京西部へ幾分偏った同心円状に分布することがわかる（図6-a）。立川駅や幕張駅を含む地域では、主要な鉄道路線に沿って社会距離が増減することがわかる（図6-b,c）。すなわち、それぞれの地域に住む人々の高速交通手段を利用した空間移動の方向性が社会距離の値と深く関わっている様子が現れている。

3.4 社会距離を用いた地域分類

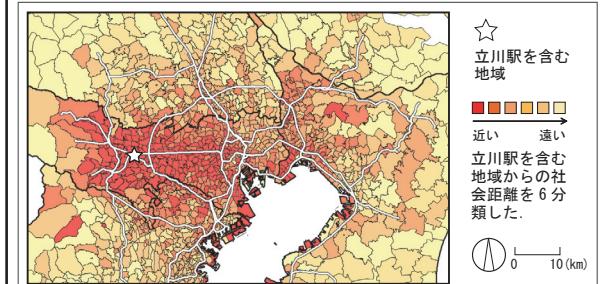
地域間の社会距離を用いて地域分類を行った。具体的には、クラスター分析（ウォード法）を用いて、首都圏全体（PTデータの対象地域）および東京都23区をそれぞれ10個に分類した。

同じ行政区に属する地域間の社会距離の方が、異なる行政区に属する地域間の居住者の社会距離よりも短いことを示している。行政界の情報は一切含まれていないにも関わらず、分類されたクラスター境界の多くが県境や区境などの行政界と一致していることがわかる（図7-a）。行政界には大きな河川等の地理的障害が存在することが多く、人々の空間移動を規定しているためと考えられる。こうした社会距離の構造が都民・県民意識の基礎となっているとも考えられ興味深い。

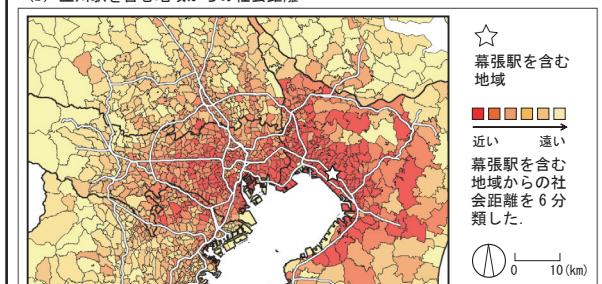
東京都23区の分類結果をみると（図7-b）、同



(a) 新宿駅を含む地域からの社会距離



(b) 立川駅を含む地域からの社会距離



(c) 幕張駅を含む地域からの社会距離

図6 社会距離の空間分布の例

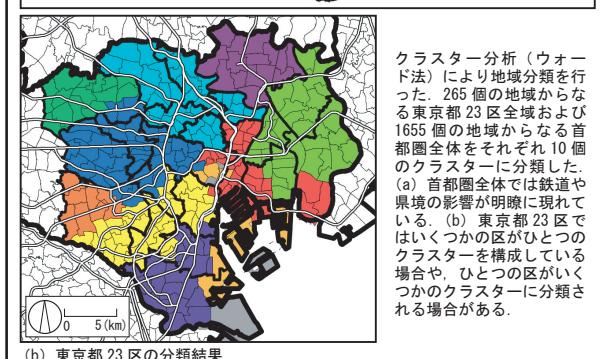
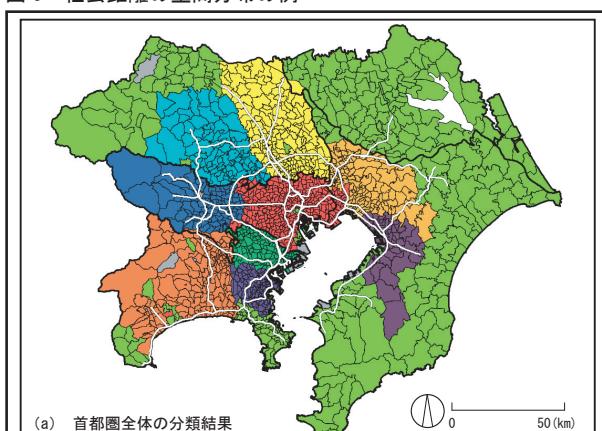


図7 社会距離を用いた地域分類

様に、多くのクラスター境界が区境と一致していることがわかる。詳しくみると、中には複数のクラスターに分類されている区やいくつかの区でひとつのクラスターを形成している区があることがわかる。多くは鉄道路線域によってクラスター境界が変化していると考えられる。人々の都市内移動が路線域に規定され、ひいては社会距離の値に影響を及ぼしていることを示唆している。

3.5 社会距離の年次比較

昭和 63 年、平成 10 年、平成 20 年の PT データから算出した社会距離の比較を行った。

社会距離の平均値をみると（図 8-a），昭和 63 年から平成 20 年にかけて約 0.02 ずつ減少している。しかし、地域別にみると（図 8-b），新宿駅を含む地域では平成 10 年から平成 20 年の変化の方が大きく、幕張駅を含む地域では昭和 63 年から平成 10 年の変化の方が大きいなど、地域ごとに差があることがわかる。また、人々の移動時間・移動距離との関係をみると（図 8-c），移動時間・移動距離の増加と社会距離の減少にはある程度の相関関係が認められる。交通網の発達によって、人々のモビリティが高まり、その結果、社会距離が小さくなつたと推察される。

4. 空間相関分析への応用

就業者率（就業者数 / 居住者数）の空間相関分析の結果を距離定義の違いで比較した（距離の最大値を基準化した）。

ユークリッド距離・ネットワーク距離の場合（図 9-a,b），自己空間相関関数の値は空間ラグの増加に伴い急激に減衰するが、時間距離の場合（図 9-c），値の低減の程度は緩やかである。また、社会距離の場合（図 9-d），自己空間相関関数の値は最も高く、空間ラグが増加しても値の低減の程度が非常に緩やかであり、高い連担性が見て取れる。地理的な距離よりも時間距離や社会距離の方が、社会属性情報を伴う変量の空間分布を理解するうえで適していることがわかる。

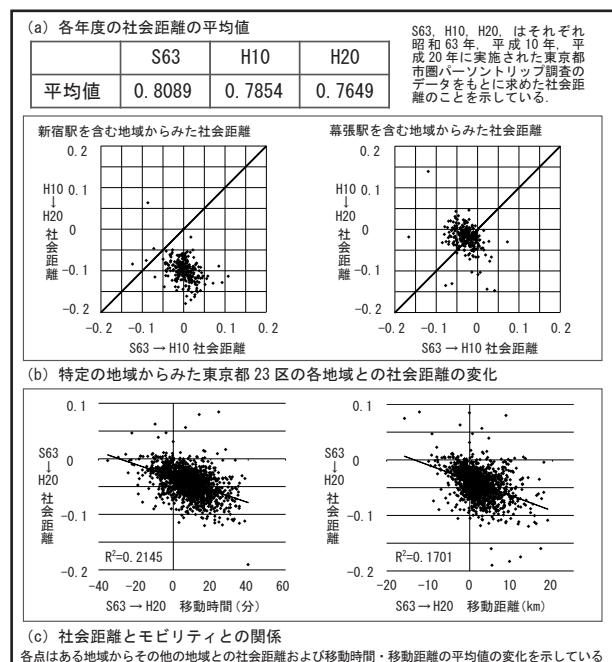


図 8 社会距離の年次比較

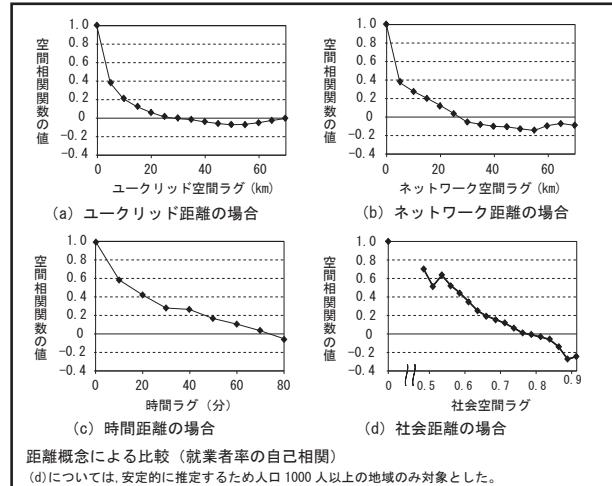


図 9 空間相関分析への応用

5. まとめ

居住者の時空間分布をもとに地域間距離（社会距離）を定義し、都市空間分析を試みた。社会距離は従来の距離概念と類似する性質を備えながらも、従来とは異なる視点から地域構造を読み解くための距離指標として活用できる可能性がある。今後、地域防災計画など様々な都市分析への応用を試みる。

参考文献

- 大佛俊泰・内藤智之 (2009)：空間相関分析の道路ネットワーク空間への拡張、日本建築学会計画系論文集、第 646 号、2605-2610
 Briet, J. and Harremoes, P., 2009. Properties of Classical and Quantum Jensen-Shannon Divergence, *Physical Review A*, 79, 052311.