



Tokyo Tech

平成30年4月19日

報道機関各位

東京工業大学広報・社会連携本部長

佐藤 勲

都市の活性度を道路網の構造によって評価

社会的、経済的な指標による分析よりも簡便な手法を開発

【要点】

- 道路網情報から、都市の社会的、経済的活性度を表す中心地理論を開発
- 本理論を世界の 92 都市に適用し、その妥当性を検証
- 従来手法と比較し準備が容易であり、今後都市計画などへの適用が期待

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院のペッター・ホルメ（Petter Holme）特任教授らは、都市と周辺の道路網の構造によって都市の活性度を評価する手法を開発した。幾何学的尺度 **Inness** を定義し、出発点と目的地の最短と最速経路を評価・分析することで、都市とその周辺部の結合度を幾何学的分布で示した。さらに、この手法を世界の 92 の大都市とその周辺に適用し、都市の発展レベルを 3 種類に分類、社会経済的な相関を示すことに成功した。これにより、都市の活性度が道路網から容易に分かるようになった。都市とその周辺の活性度は普通、人口や物流、生産高などの社会的、経済的な指標に着目するのに対し、今回開発した手法はより簡便に把握することができる。

本研究成果は 2017 年 12 月 20 日、英国誌「Nature Communications」に掲載された。

●研究の背景と経緯

今回の研究成果は**中心地理論**（用語 1）に関するものである。これは、中心都市とその周辺地域の機能と規模を幾何学的な分布で示す地理学上の理論であり、1930 年代にドイツの地理学者ヴァルター・クリスタラー（Walter Christaller）によって開発された。日本でも高度成長期には各地の都市計画などに利用された。これには、中心都市とその周辺地に関する多数の経済的、地理的データなどが必要だったが、これらの繁雑な準備が不要となる今回の研究成果は新しい中心地理論として注目される。

●研究内容

(1)幾何学的尺度 Inness の導入

都市中心地と周辺部の結合の強さを表現するため、幾何学的尺度 **Inness** を定義した。図 1-a で都市の中心地 c から半径 r (2、5、10、15、20、30km) の距離にある円周に沿って 36 点を設け、この中から出発地 O と目的地 D を選ぶ。この OD ペアに対しインターネット上の地図情報(**Open Source Map API**、用語 2)を参照し、生活道路などの最短経路(赤)と幹線道路などの最速経路(青)を選ぶ(図 1-b)。 OD ペア(測地距離 s)は都市中心から半径 r 、都市中心から見た出発地 O と目的地 D の間の角度を θ とする。図 1-c で示すように、(赤の内点と直線の**測地線** (用語 3) で区切られた**ポリゴン** (用語 4))から(青の外点と測地線で区切られたポリゴン)の差を **Inness** と定義する。**Inness** が正の場合は OD ペアの測地線より経路が内側にあり、負の場合は外側にある。 OD ペアの経路と測地線の関係から、図 1-d に示すようにポリゴンの形状は 3 つのケースがある。**Inness** が正であれば赤で塗られた領域が広く、負であれば青で塗られた領域が広がる。

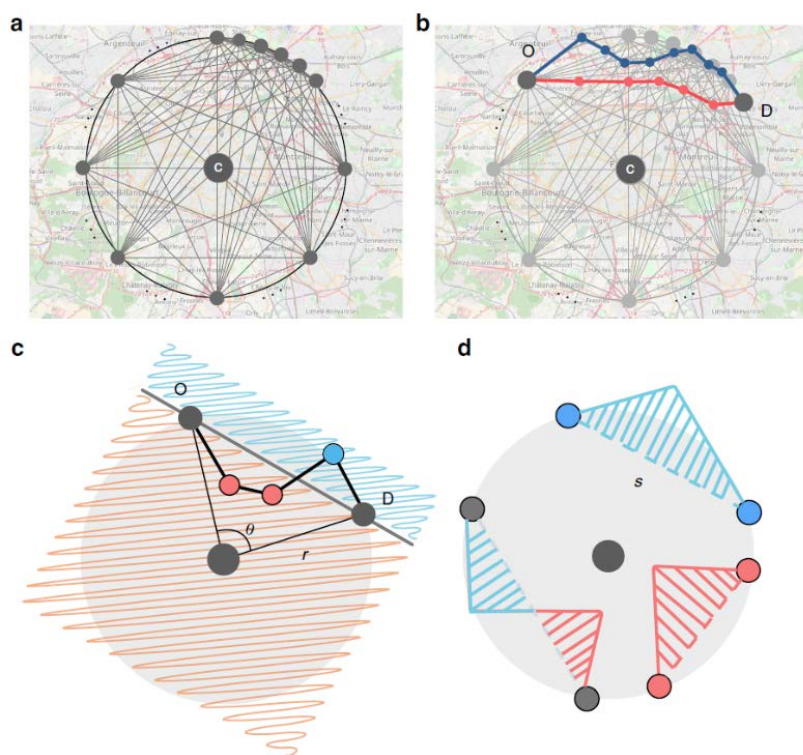


図 1. Inness の定義

(2)Inness の意味

図 2 は世界の 92 都市について、平均的な **Inness** を示したものである。最短/最速経路について都市中心から見込む角度 θ について、**Inness** の平均値と標準偏

差を示す。都市中心地付近($r=2\text{km}$)では **Inness** はほぼ 0 であり、これは経路が市中の生活道路であるためと推定される。一方、郊外になると($r=10, 30\text{ km}$)、**Inness** の変動も大きくなる。これは、中心地に向かう幹線道路や環状道路、バイパス道路などの影響と思われる。

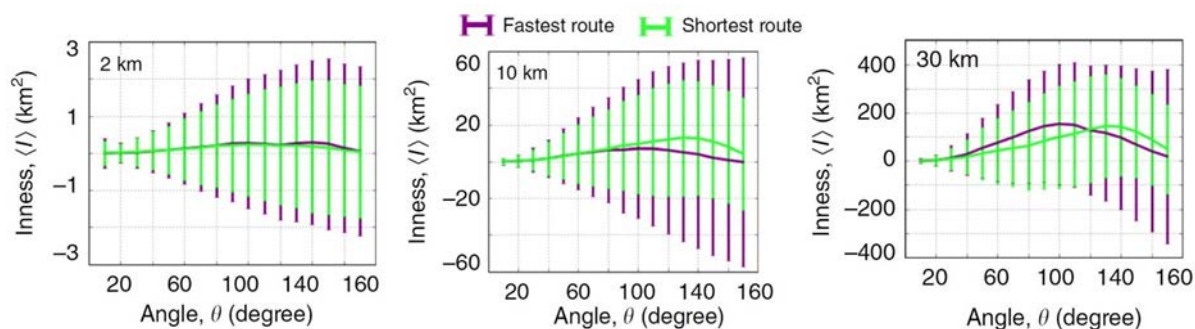


図 2. 都市中心地からの r 、 θ を関数とする **Inness** の平均値と標準偏差

このようにして得られた **Inness** は**靴紐のアルゴリズム** (用語 5) によって、地図上にポリゴンの集合として配置される。

(3)世界の主要都市を分類

それでは**Inness** を用いて、世界の 92 都市の分類してみよう。都市の面積は様々なため**正規化** (用語 6) し、**Inness** の平均値と標準偏差値をプロットすると、3 つのグループに分類できた(図 3)。2 つの値がともに低い **LL** グループにはベルリン、パリ、東京などの大都市が入る。道路の全長が長く、地理的制約が少なく、周辺との接続性もよく、インフラ整備も進んでいる。図 3 左中のベルリンでは、**Inness** が正の領域が偏りなく広がり、うすい赤で表示されている。これから分かるように都市機能は分散し、中心地と見なされる点は見当たらない。一方、平均値と標準偏差値がともに高い **HH** グループは、図 3 右のカルカッタを例にすると、中心部の **Inness** は正でしかも濃い赤の領域が広がっている。これは、道路のインフラ整備が不十分で、周辺部との接続性が限定され、主要な交通経路は都市の中心地を経由することになり、中心地の混雑が予想される。また、平均値が低く標準偏差の高い **LH** グループは、**LL** と **HH** グループの中間的性格も含むが、地理的制約による要因も無視できない。例えば、図 3 中のムンバイは大陸に隣接した島にあり、中心部は **Inness** が適度な正でうすい赤の領域が広がっているが、周辺部とは橋で接続されるため遠回りせねばならず、**Inness** は負で青い領域が広がっている。

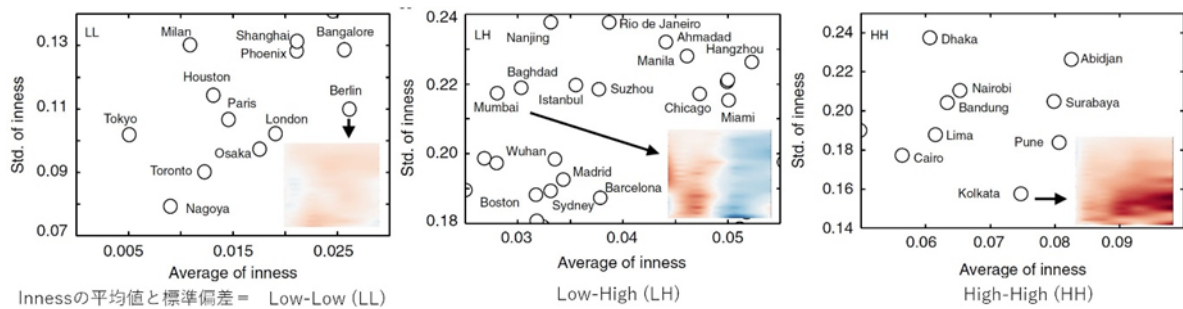


図 3. 世界の都市の Inness の統計と分布

(4)Inness と社会経済的関連性

次に、各都市の最短経路と最速経路について分析した。前者は地理的制約によるが、後者は環状線や高速道路などの社会的発展指標と関連している。ある都市の正規化した最短経路の Inness と最速経路の Inness のピアソン相関係数 ρ (用語 7) を求めた。道路網が未整備だと、最短経路と最速経路は大差ない経路となり、両者は正の相関があり ρ は 1 に近づく。一方、自動車幹線道路が整備されると最短経路と最速経路は別ルートとなり、両者の相関関係は小さくなり ρ は 0 に近づく。その値を昇順に並べたものが図 4 の Rank of cities である。

これらのデータを **k 平均法** (用語 8) や **自然分類法** (用語 9) により TYPE I、TYPE II、TYPE III に分類すると、TYPE I はグループ LL、TYPE II はグループ LH、TYPE III はグループ HH にほぼ対応している。そして図 4 右に、相関係数 ρ と 1 人当たり GDP の関係を示したように、これらの間には明確な相関があることが分かった。このことから、Inness は都市の地理的な評価のみならず、社会経済的な指標にもなり得ることが確かめられた。

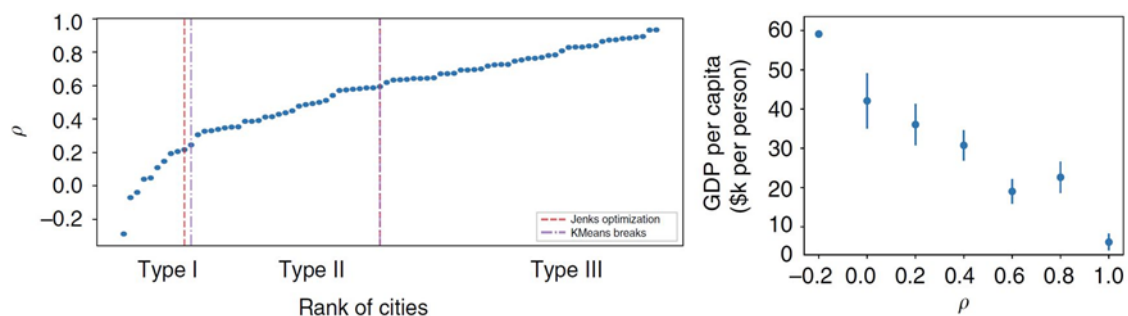


図 4. 都市の最短経路と最速経路による分析、及び GDP との関係

●今後の展望

本方式で中心地理論を展開するには、基本的にはインターネット上の最新の地図情報(Open Street Map database)があればよい。従来は地図情報に加えて、社

会経済的指標を示すデータ(例えば、地域内の学校数、工場数、余裕電話台数など)が必要であり、これらは時代とともに変化するため、その設定は容易でなかった。本方式は、現状の都市周辺の活性度を評価するだけでなく、将来の道路網整備が地域全体に与える効果を予測する手段となる可能性がある。

本研究の一部は、東京工業大学が展開しているワールド・リサーチ・ハブ・イニシアティブ(WRHI)によって行われた。WRHIは「世界の研究ハブ」を目指す組織として、世界トップレベルの研究者を招へいし、国際共同研究の加速と分野を超えた交流を実施している。

【用語説明】

(1) **中心地理論**：都市をある地域の中心地という観点から把握した、都市の分布、数、規模(大きさ)などの規則性に関する理論。中心地には、都市の機能によって高次から低次への階層性があり、その機能の及ぶ範囲を都市圏と呼ぶ。また機能の大きさ、度合いを中心性と呼んでいる。

(2) **Open Source Map API**：道路地図等の地理情報データのフリーデータベース(<https://www.openstreetmap.org/>)

(3) **測地線**：曲面上で二点間を結ぶ曲線のうち最短距離のもの。球面上では大円の弧。

(4) **ポリゴン (polygon)**：多角形。三次元のコンピュータグラフィックスにおける立体形状を表現するために使われる多角形を指すことが多い。物体表面を小さい多角形(主に三角形)に分割し、その位置や角度、模様、質感などの見え方を個々に計算して三次元画像を描画する。

(5) **靴紐のアルゴリズム(shoelace formula for polygons)**：ガウスの面積公式とも呼ばれる。平面において多角形の頂点座標によってその面積を求める数学的アルゴリズム。座標値を直接用いた四則演算のみで面積が求められるため、計算機上での求積に適しており、また余計な誤差が入り込む余地が少ない。

(6) **正規化**：一定の規則に従い、データを変形し利用しやすくすること。リレーショナルデータベースの設計でよく用いられる。

(7) **ピアソン相関係数 ρ (Pearson's correlation coefficient ρ)**：2つの確率変数の間にある線形な関係の強弱を測る指標。相関係数が正のとき確率変数には正の相関が、負のとき確率変数には負の相関があり、0の場合は、相関はない。

(8) **k 平均法(k-means clustering)**：非階層型クラスタリングのアルゴリズム。クラスタの平均を用い、与えられたクラスタ数 k 個に分類する。

(9) **自然分類法(Natural breaks)**：データの変化量が比較的大きいところに閾値が設定される分類方法。

【論文情報】

掲載誌：NATURE COMMUNICATIONS | 8: 2229

論文タイトル：Morphology of travel routes and the organization of cities

著者：Minjin Lee, Hugo Barbosa, Hyejin Youn, Petter Holme, Gourab Ghosha

DOI：10.1038/s41467-017-02374-7

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 特任教授

Petter Holme

Email: holme.p.aa@m.titech.ac.jp

【取材申し込み先】

東京工業大学 広報・社会連携本部 広報・地域連携部門

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661