

複数中心性による移動手段別都市構造分析 —茨城県つくば市を対象として—

○堀之内 志帆*¹
松林 道雄*²
渡辺 俊*³

キーワード：グラフ理論 ネットワーク分析 中心性 GIS

1. 背景・目的

人々は都市構造をどのように認知し、どのように意思決定して行動しているのか。そして、人々や施設が集まり活気溢れる場所は、都市の中心的な場所であり、その特徴を明らかにすることが出来れば、都市の発展に貢献できるのではないか。そうした背景の下、「中心性」という概念が経済地理学、地域分析、交通計画といった都市計画の多くの分野において研究されている。

特に1980年代にイギリスのBill Hillierらが提唱したSpace Syntax¹⁾はグラフ理論を援用した空間解析理論・手法であり、街路の隣接関係から街路に評価値を与え、回遊行動、土地利用、建物集積度など、様々な都市事象との相関を明らかにする手法として知られ、トラファルガー広場の再開発での成功など、その有用性に注目が集まっている。

一方で、Space Syntaxでは街路の実際の長さが解析上考慮されない、経路選択が評価できない、三次元での分析が不可能であるといった問題点も指摘されている。そうした課題を解決するために、Portaら²⁾³⁾はグラフ理論に基づくネットワーク分析の指標を援用したMCA(Multiple Centrality Assessment)モデルを提案し、近年発展のめざましい複雑ネットワークの研究分野においても利用される媒介中心性、近接中心性、直進中心性という3つの中心性指標による街路ネットワーク評価手法を提案している。

しかし、Portaらの手法は街路とその交差点との関係性の分析に留まり、人々の活動の起点・終点となる建物を分析に含めることが出来なかった。そこで、Sevtsuk⁴⁾はネットワーク分析に建物を含めることを可能にするというArcGIS上で動作するツールを開発した。この際Sevtsukは、岡部ら⁵⁾によって開発されたSANETという、実際のネットワーク距離を使用してネットワーク上の様々な事象分布の計算を可能にしたツールを参考に、ArcGISのNetworkAnalystを使用して最近隣距離の計算を実行している。そしてこの『Urban Network Analysis』を使用し、マサチューセッツ州のケンブリッジおよびサマービルを対象に、Portaらと同様の中心性指標を用いて住宅や職場と小売店との集積関係を明らかにし、都市構造の特徴を捉える事に成功している。

こうした既往研究から、中心性という概念を用いて都市

構造の特徴を把握する事で、都市の今後の維持・発展に貢献する指標を導き出すことが出来ると考えられる。一方で、こうしたネットワーク分析を基にした手法は国外において発展してきたという背景があり、国内研究は数が少なくその適用可能性については十分な検討がなされていない。

そこで本研究では、自然発生的な集落と明確なコンセプトを基に計画された中心部を含むつくば市を研究対象に中心性という概念に基づいたネットワーク分析を行い、中心性からみたつくば市の特徴をまとめる。その結果より中心性に基づくネットワーク分析の適用可能性および活用する上での課題を明らかにする事を目的とする。

2. つくば市の概要

つくば市は茨城県南西部に位置し、首都東京から北東に約50kmの距離に位置している。面積28,407ha、南北約30km、東西約15kmの南北に長い市域となっている。また、中心から北方約15kmには筑波山、南東方約10kmには霞ヶ浦が位置し、市域の大部分は関東ローム層におおわれた平坦な地形であり、南北に小貝川、桜川、谷田川、西谷田川などの河川が流れている。

都市構造の特徴としては、つくば市は研究学園地区と周辺開発地区の2つの地区から成る。研究学園地区はつくば市中央部の約2,700haの事を指し、「都心地区」、「研究・教育施設地区」、「住宅地区」の3つの地区に分かれ、計画的に整備されている。周辺開発地区は研究学園地区以外を指し、研究開発型の工業団地が整備されている。また現在は、つくばエクスプレス沿線開発が進行中である。

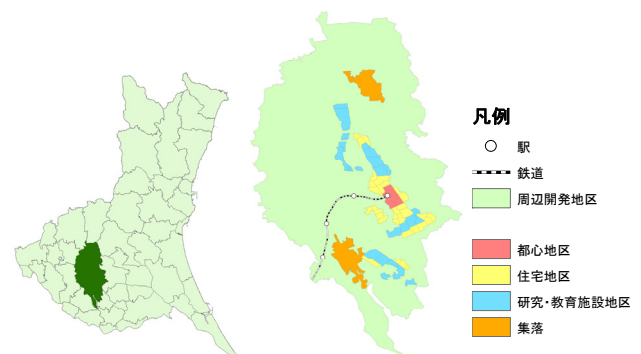


図1(左)つくば市の位置、(右)研究学園都市概要

またつくば市では 1963(昭和 38)年に国の研究機関等の移転による東京の過密緩和、科学技術の進行と高等教育の充実を目的に、「研究学園都市」の建設が開始され、以降 1987(昭和 62)年に大穂町、豊里町、谷田部町、桜村が合併し、つくば市が誕生(市制施行)した。その翌年にはつくば町が編入合併し、さらに 2002(平成 14)年に荃崎町が編入合併し、現在のつくば市となった。また、2005(平成 17)年にはつくばエクスプレスが開業した事により沿線開発が進められ、人口流入が強まったことで、1975(昭和 50)年には約 89,000 人だった人口が、現在では 219,000 人を突破した。それに伴い、年を経る毎に山林が減少し、宅地面積の割合が増加している。

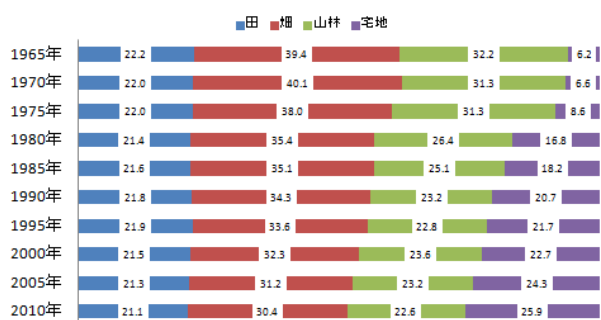


図2 つくば市内の主要地目の面積割合の変化

3. 分析内容

中心性に基づくネットワーク分析の適用可能性を検討するために、移動手段による中心性の違いを比較する。今回使用するツールが徒歩移動を前提に開発されたものであることと、つくば市内の移動手段が徒歩よりも自転車に依存していることをふまえ、本研究では徒歩および自転車移動における中心性の違いを分析する。石原ら⁵⁾の研究を元に、徒歩移動圏を 400m、自転車移動圏を 1,200m と仮定した。また、分析に使用する建物の重みとして建物の容積を使用した。

3.1. 使用データ

建物データは ZmapTOWN II、道路データは数値地図(国土基本情報)を使用し、分析ツールは ArcGIS 上で動作する『Urban Network Analysis』を使用した。また、分析を実行するにあたり、容積を計算するのに ZmapTOWN II の階数データを使用した。戸建て住宅に関する階数データが不足していたため、階数データの記載が無いものに関しては 2 階建てと仮定し、計算を行った。

今回の分析では、建物数が 124,768、道路数が 65,872、交差点数が 51,189 であった。

3.2. 使用ツール

今回の分析では、CityFormLab の Andres Sevtsuk らに

よって開発された『Urban Network Analysis』を使用した。『Urban Network Analysis』はグラフ理論を援用しており、道路をノード、交差点をエッジとみなし、建物をその中心点から最も近い道路につなげることで最短距離を計算し、ネットワーク分析を実行するという原理に基づいている。また本ツールでは、Reach、Gravity、Betweenness、Closeness、Straightness という 5 つの中心性指標を分析することができ、分析の目的に応じた重みと検索半径を指定することが可能である。この 5 指標のうち本研究では Reach、Betweenness(媒介中心性)、Straightness(直進中心性)の 3 指標を用いて分析を行った。

3.3 分析結果

①Reach

Reach 指標はネットワークの最短経路に沿って指定した半径に対して建物数(重みづけをしている場合はその重み)を合計した値である。

Reach=指定半径内の建物数(あるいは重み)の総和

徒歩移動圏では、計画的に整備が進められたつくばセンター以外にも谷田部や北条といった古くから集落が形成されているような場所で高い値が示された。一方、自転車移動圏では、つくばセンターが最も高い値となり、そこから同心円状に低い値へ変化していくことが分かる。

つまり、徒歩移動の場合、容積の大きい建物はつくばセンターおよび古い集落に多いと感じ、自転車移動の場合、つくばセンター付近においてのみ容積の大きい建物が集中しているように感じるということである。

②Betweenness

Betweenness 指標は一般的に媒介中心性と呼ばれるもので、「その点を通る経路が多いほど中心性が高い」とする計算法である。つまり今回の分析では、建物容積を重みとしており、建物容積が大きければ収容人数も多くなると考えられることから、高い値を示す箇所は人通りが多くなる可能性が高いと言える。

$$\text{Betweenness} = \frac{\text{建物 } i \text{ 以外の建物間の最短経路の総和}}{\text{建物 } i \text{ を経路上に含む建物間の最短経路数}}$$

結果として徒歩・自転車移動ともに類似した中心性の傾向を示しており、高い値が集中する地域は存在しなかった。一方で、建物タイプが事業所である建物が集中している箇所において高い値が示されており、そうした建物が大通り沿い、あるいは交差点に集中していることが判明した。

③Straightness

Straightness 指標は建物から建物までの最短経路がどの程度直線と近似しているかを示す指標であり、高い値を示す箇所ほど移動効率の高い場所と言える。

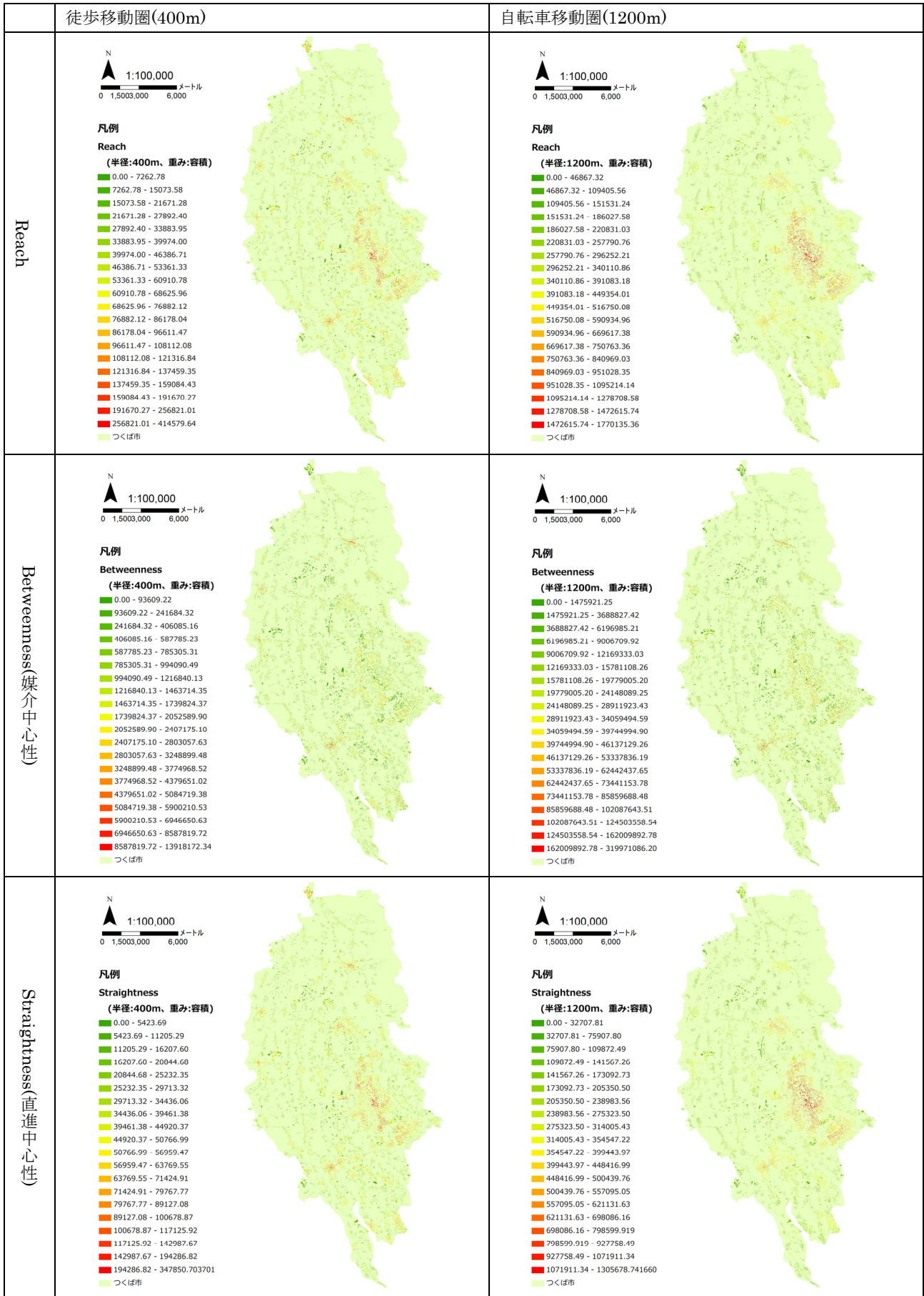


図3 移動手段別複数中心性

$$\text{Straightness} = \frac{\text{建物 i から建物 j までの直線距離}}{\text{建物 i から建物 j までの最短経路距離}}$$

結果として、徒歩・自転車移動圏ともに **Reach** 指標と酷似している。その中で **Straightness** 指標からみた場合に特徴的であるのが、古くからの集落は徒歩移動では高い値だが、自転車移動では低い値であるということだ。つまり、古い集落は徒歩で移動できる範囲で発展してきたと考えられるということである。また、自転車移動の場合に筑波大学を含むつくばセンター付近でのみ中心性が高くなっており、このことが学生の自転車依存につながっているのではないかと考えられる。

4. 適用可能性に関して

Reach および **Straightness** 指標が、徒歩・自転車移動に関してつくばセンター付近で高い値を示したことは、人々の移動や交通を考慮して計画された地域の中心性が高いことを示していることになる。また、古くからの集落が徒歩移動では高い値を示し、自転車移動では低い値を示すことは、歴史的な背景と合致すると考えられ、適用可能性が高いことを示唆していると考えられる。また、**Betweenness** 指標が大通り沿いあるいは交差点に面する建物で高い値を示したことは、既往研究と同様の結果であることから、こちらも適用可能性が高いことがうかがえる。

一方で、階数データの不足や建物データの整合性といった不確定な要素を含んでいるという点において、今後検討の余地があると考えられる。

5. 考察

今回の分析から、複数中心性からみたつくば市の特徴として①徒歩移動はつくばセンター付近だけでなく、自然発生的に形成された古くからの集落で中心性が高い、②自転車移動はつくばセンター付近のみ中心性が高い③**Betweenness**(媒介中心性)は他の指標とは異なり、徒歩・自転車移動ともに大通りあるいは交差点に面する事業所タイプの建物が集中する場所で高い値を示すという3点が明らかになった。また、今回は重みとして建物容積を使用した。居住者数や従業員数といった数値を用いれば、より目的に応じた分析が可能になると考えられる。

次に適用可能性の観点からは4節で示したように、**Reach** および **Straightness** 指標で徒歩移動ではつくばセンターおよび古くからの集落、自転車移動ではつくばセンター付近でのみ高い値が示されたこと、**Betweenness** 指標で大通り交差点に面する建物で高い値が示されたことから、計画の下整備された地域において中心性が高くなっただけでなく、既往研究との整合性があることから、適用可能性は高いと推測される。

一方、今回の分析では既存のデータをそのまま使用したが、航空写真と照合すると、実際は一つの建物であるにも

関わらず複数に分割されているものや、ビニールハウスや自転車置き場の屋根、家屋の門などが建物として含まれている事が判明した。したがって、より正確な分析を行うためには既存のデータをそのまま使用するのではなく、ポリゴンの面積による選別、航空写真との照合といった修正が必要になると考えられる。

また、今回使用したツールに関しては、本来歩行移動をメインに分析することを前提に開発されたツールであるため、自動車移動に対する分析は実証されていないこと、分析をするにあたり建物から道路への距離は自動的に建物の中心点からの距離となり、建物の入り口を指定できないため、実際の移動距離とは差異ができてしまうこと、ネットワークデータとして歩道を含めるか否かによって分析結果に変化が出ることなどが課題として挙げられる。

今後、より正確な適用可能性を検討するために、正確な建物・道路データを作成し、既存データの分析結果との比較検討、あるいは過去の建物・道路データを作成し、現在の分析結果と比較することによる歴史的な都市構造の変化を複数中心性から検討する必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) B. Hillier, J. Hanson: The Social Logic of Space, Cambridge University Press, Cambridge, 1984
- 2) S. Porta, P. Crucitti, et al.: The network analysis for urban streets: a primal approach, Environment and Planning B 35(5), 705-725, 2005
- 3) S. Porta, E. Strano, et al.: Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy, Environment and Planning and Design 36, 450-465, 2009
- 4) A. Sevtsuk: Path and Place, A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA. PhD Dissertation, MIT, Cambridge, 2010
- 5) A. Okabe, K. Okunuki, S. Shiode: SANET: A Toolbox for Spatial Analysis on a Network, Journal of Geographical Analysis, Vol. 38, No. 1, pp. 57-66, 2001
- 6) 石原宏, 清水敏治, 泉善弘: 平成 18 年度自主研究 日常生活圏域の基礎的研究, アーバン・アドバンス, No. 45, pp68-76, 2008
- 7) 太田浩史: 建物ノード付き街路ネットワークの研究: 建物規模の媒介中心性分布への影響, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 78, No. 686, pp883-889, 2013
- 8) 福山祥代, 羽藤英二: バルセロナの歴史的発展過程を考慮した広場—街路のネットワーク分析, 土木学会景観・デザイン研究講演集, No. 6, 2010
- 9) City Foem Lab HP: <http://cityform.net/courses>(最終閲覧日:2014/10/9)
- 10) つくば市 HP: <http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/>(最終閲覧日:2014/10/9)
- 11) ZmapTOWN II
- 12) 数値地図(国土基本情報)

*1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 博士前期課程

*2 筑波大学大学院システム情報工学研究科 博士後期課程

*3 筑波大学システム情報系 教授 博士(工学)