



<https://www.econ.shiga-u.ac.jp/ebrisk/>

しがだい資料展示コーナー企画展

ALL ROADS LEAD TO BIG CITIES

発行日：2024年9月2日

編集・発行：滋賀大学経済経営研究所

〒522-8522 彦根市馬場 1-1-1

TEL 0749-27-1047 E-mail ebr@biwako.shiga-u.ac.jp

しがだい資料展示コーナー企画展

ALL ROADS LEAD TO BIG CITIES

2024. 6. 3 月 >>>> 11. 29 金

第1期：6月3日（月）～8月29日（木）
いかなる場所に人々は集まり住むのか？
ー 街と道の千年紀シミュレーション ー

第2期：9月2日（月）～11月29日（金）
人の流れから都市の姿を描く
ー 日々の通勤・買物行動から引越・移住まで ー

しがだい資料展示コーナー企画展

ALL ROADS LEAD TO BIG CITIES

開催期間 2024 年 6 月 3 日（月）～ 11 月 29 日（金）

第1期
いかなる場所に人々は集まり住むのか？ ― 街と道の千年紀シミュレーション ―
会期：2024年6月3日（月）～8月29日（木）

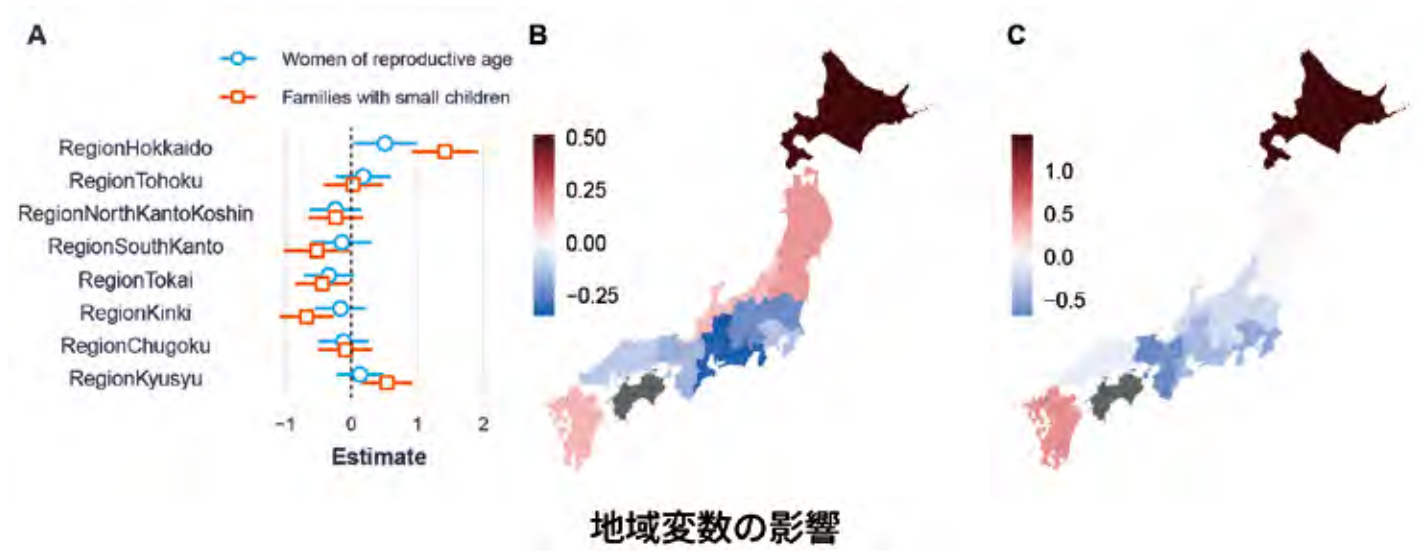
第2期
人の流れから都市の姿を描く ― 日々の通勤・買物行動から引越・移住まで ―
会期：2024年9月2日（月）～11月29日（金）

データサイエンスの魅力はその汎用性です。地球、そこに住む生物といった自然界の生み出すデータもあれば、経済・経営活動や文化活動といった人間の日々の活動中に、意図せず生み出されるデータもあります。こうした、多様なそして圧倒的な量のデータをどう集め、保存し、分析していくのか。今回は青木高明准教授の研究を1つの例として、皆さんにご紹介します。

2024年 6月

監修: 青木 高明アオキ タカアキ (滋賀大学データサイエンス学部准教授)
研究キーワード: ネットワーク科学、パターン形成、数理地理モデリング、神経回路網の数理、計算論的神経科学、非線形動力学

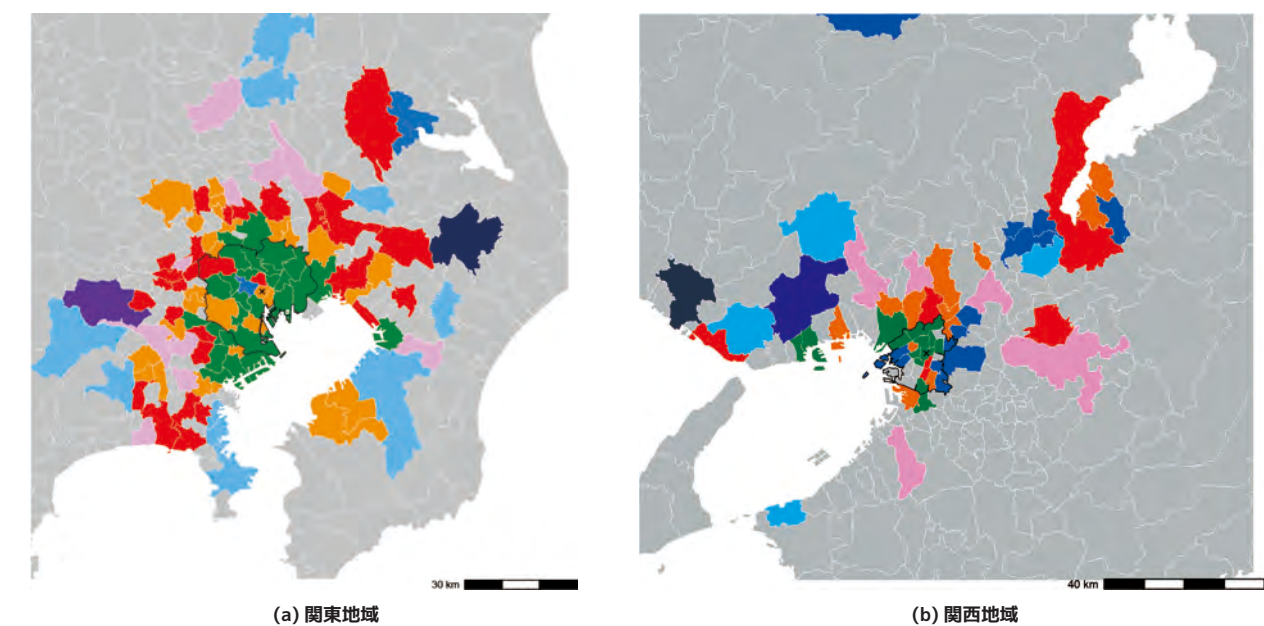
共同研究者 (第2期):
藤嶋 翔太 (一橋大学大学院経済学研究科)
藤原 直哉 (東北大学大学院情報科学研究科)
島根 哲哉 (香川大学大学院地域マネジメント研究科)
長町 康平 (香川大学大学院地域マネジメント研究科)



後半のまとめ

- ・人々の移動行動に基づく、自治体の魅力度スコアの提案をした。特に、子育て世代、20・30代女性に注目し、スコアを算出した。
- ・2グループの Sink/Source のパターン分類から、棲み分け (spatial segregation) を確認した。
- ・関係要因を回帰分析した。共通して魅力度に貢献する因子はあるものの、逆関係の因子 (人口・通勤距離) もあり、2グループで異なる選好を持っている。

→自治体の戦略として、「誰に対して、魅力ある都市を目指すのか？」という、ターゲティングの必要性を確認した。



移住行動から見た、自治体のタイプ別分類

20・30代女性は都市中心部を選好する一方で、子育て世代は比較的郊外を選好しているようです。一方でどちらのグループにも好まれている自治体もあります。どんな要因が関係しているのでしょうか？

回帰分析 どんな要因が関係しているのか？

	Women of reproductive age	Families with small children
Population	2.600**	-1.786**
HabitableArea	-0.300**	-0.003
Income	-0.156	-0.066
RentPerArea	0.943	1.481
LFP	0.094***	-0.036*
UnemploymentRate	0.007	0.041
Manufacturing	-0.006	-0.0002
BusinessService	-0.010	-0.017
HumanCapital	0.050**	0.053***
HousesFarFromPreschool	0.004	-0.003
STRatio_Elementary	0.084**	0.084***
Library	0.016	0.043**
LargeScaleRetailers_10km	0.207***	0.023
MeanCommutingTime	-2.069**	1.754**
HousingStarts	0.223	0.510**
VacancyRate	0.018	-0.012
OwnerOccupied	0.004	0.057***
SewageTank	-0.429	0.669
HouseSizeOwned	-0.478	0.031
HouseSizeRent	1.736*	-0.813
Hospital	-0.033***	-0.016*
TheftPerCapita	0.032	0.058
CityClass1	-0.207	0.228
CityClass2	0.195	-0.320
Constant	-6.850**	-3.834**
Observations	950	950
R ²	0.492	0.388

Note: *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

関係しそうな要因として先行研究で議論されてきた指標との関係性を調べてみました。

共通して魅力度に貢献する因子はあるものの、逆関係の因子(人口・通勤距離)もあり、2グループで異なる選好を持っているようです。

詳しい分析は参考文献をご覧ください。[3頁へ]



第 2 期 人の流れから都市の姿を描く — 日々の通勤・買物行動から引越・移住まで —

古来より、人々は都市を建設し、それらを繋ぐように道を開いてきました。今日では、人類の半分は都市に住んでいます。都市を研究することは、過去・現在、そして未来にわたって人間社会を考えることに繋がります。

第2期では、「人の流れから都市の姿を描く」と題して、人々の移動行動に注目します。

新型コロナウイルスの感染拡大で、在宅勤務や休校、外出・イベントの自粛など、移動行動に制限がかかり、社会生活に大きな変化が生じたことは記憶に新しいことかと思います。高層ビルや大規模商業施設、発達した交通網など都市を形作るハードウェアはあれど、人々が集わなければならぬです。人々の移動の流れというデータに基づき、都市の実像を見ていくことにしましょう。

特に、以下の2点に注目します。

- ・人々が集まってくる場所はどこなのか？ 外出行動データから、移動目的別に都市「中心」を特定する。
- ・子育て世帯を引き付ける市区町村はどこなのか？ 引っ越しデータから、都市の魅力度ランキングをつける。

2024年9月2日

References

Aoki,T.,Fujishima,S.,&Fujiwara,N.(2022). Urban spatial structures from human flow by Hodge-Kodaira decomposition. *Scientific Reports*, 12(1), 11258

Aoki,T.,Fujishima,S.,&Fujiwara,N.(2024). Identifying sinks and sources of human flows: A new approach to characterizing urban structures. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 51(2), 419-437

Aoki,T.,Nagamachi,K.,&Shimane,T.(2024). *Learning the liveability of cities from migrants: Combinatorial-Hodge-theory approach*. arXiv: 2405.11166



課題

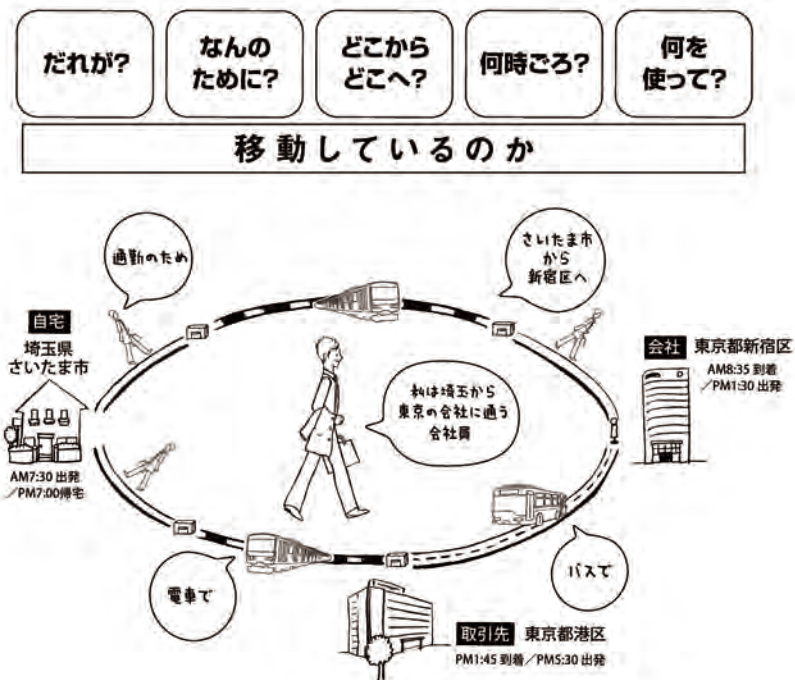
移動データをそのまま描くことは難しい

移動は「場所」ごとのデータではなく、どこからどこへ何人移動したかという「場所と場所をつなぐ」関係性（ネットワーク）データです。そのため、移動データを地図上に直接描画すると、出発地から目的地へ「線」を書くことになります。移動記録は膨大なデータ量があるため、地図は沢山の線で埋め尽くされてしまいます（右図下）。それではデータが持つ性質を読み解くことは困難です。

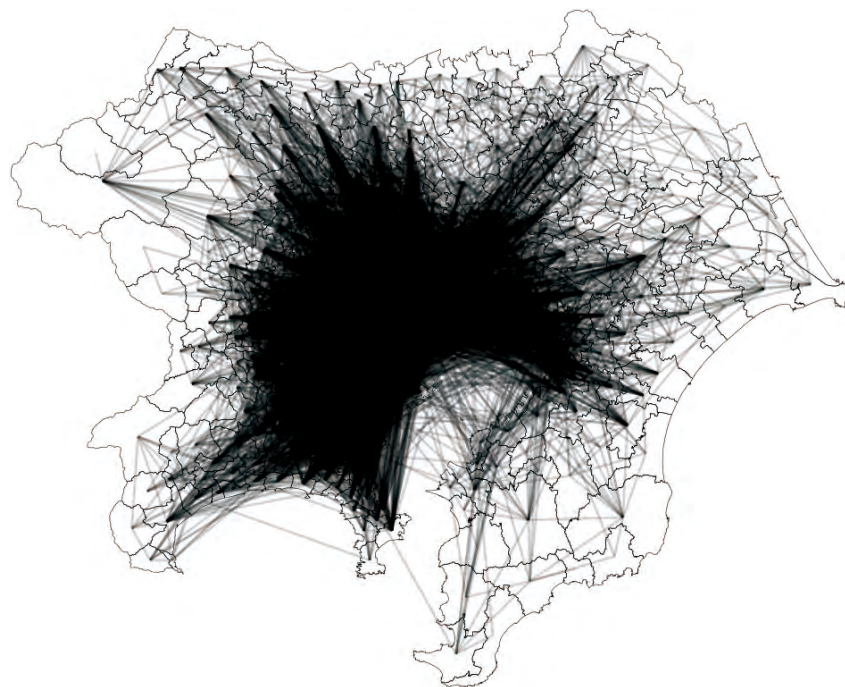
このような情報過多を避けるため、従来は以下のような対応策が取られてきました。

- ・どこから来たのかという移動情報を捨てて、瞬間の位置情報だけを使う。
- ・特定の出発地や目的地だけに限定する。
- ・平均移動距離や外出頻度などの統計量のみ注目する。
- ・動画を使って、移動を輝点の動きで描画する。

しかし、どの手法も一長一短で、人々の流れの全体像を捉えることができません。

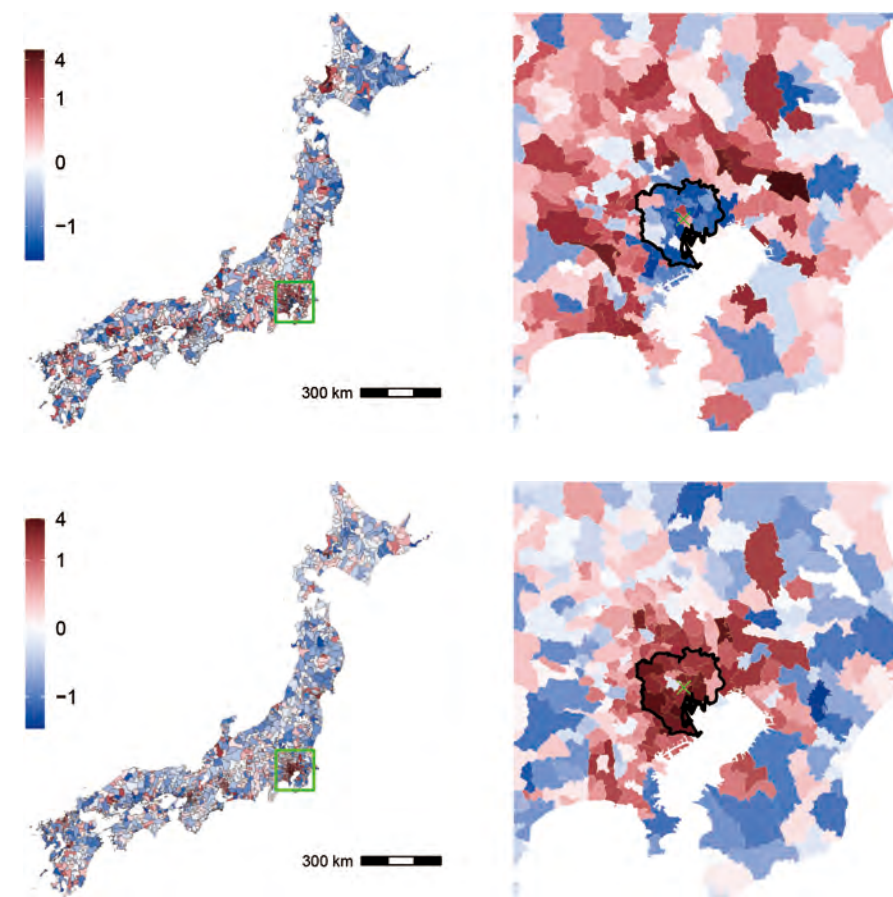


(a) パーソントリップ調査データ（東京都市圏交通計画協議会）



(b) 移動データの直接描画

移住者を惹きつける力の定量化



上の図は、子育て世代に注目した移住ポテンシャル。
下の図は20・30代女性に注目した移住ポテンシャル。
赤色の自治体ほど人が集まってきており、青色は他の自治体へ移動している。

データは住民基本台帳人口移動報告年報（2019年）です。年間の引っ越し記録を集計しています。特に、子育て世代^{*4}と、20・30代女性に注目してデータを抽出しました。

※4 家族構成属性はないため、代理変数として0-9歳までの子供の引っ越し記録を子育て世代として分析した。

		Families with small children		
		Significant sink	Not significant	Significant source
Women of reproductive age	Sig. sink	Sink of both groups	Sink of W.R.A	Source of F.w.S.C Sink of W.R.A
	N. S.	Sink of F.w.S.C	N.S.	Source of F.w.S.C
	Sig. source	Sink of F.w.S.C Source of W.R.A	Source of W.R.A	Source of both groups

先ほどと同様に、2つの流れ(子育て世代、20・30代女性の移住)の組み合わせから、場所(自治体)の分類を行ってみます。

左の図は、子育て世代(F.w.S.C=Families with small children)と、20・30代女性(W.R.A=Women of reproductive age)の、Sink(吸い込み)とSource(湧き出し)を分類したもの。

テーマ 2

引っ越し行動に基づき、自治体の「住みやすさ」を測る

日本は人口減少社会です。消滅可能性自治体として、都市の持続可能性も憂慮されています。全体として人口が減少するなか、自治体の人口を維持するためには社会増、すなわち他の自治体からの移住者を増やしていく必要があります。



移住データ：「どこに住みたいか？」ではなく「どこを選んだか？」行動に基づく評価へ

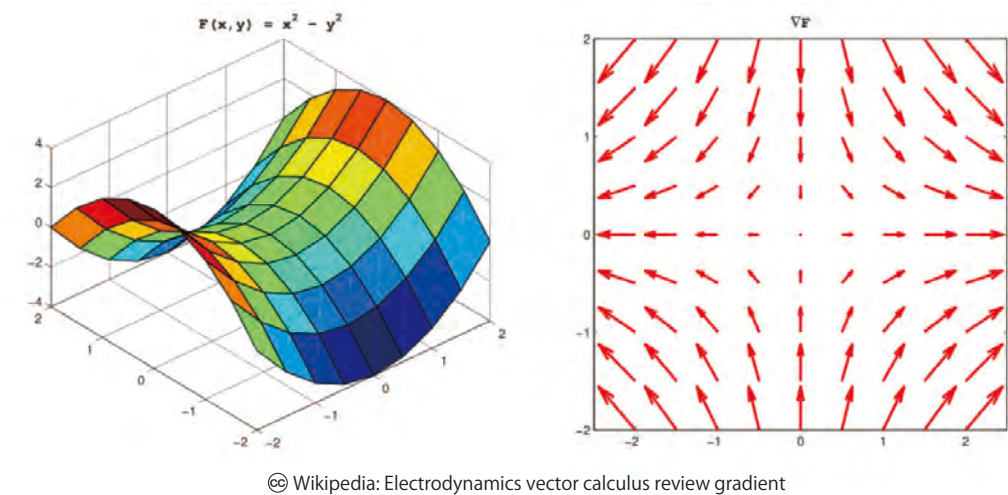
自治体の「住みやすさ」については、アンケート結果や統計指標などを総合して、ランキング付けがなされてきました。「どこに住みたいか？」は我々の希望を表しますが、いざ引っ越すとすると、家計や子育て、職場など、希望通りに行かないのが現実です。それでもなるべく良い場所を選んだ価値判断の結果として、人々はそれまでの土地を離れて、別の場所へ引っ越しをします。そのため、移住行動は、**足による投票 voting with their feet** (Tiebout1956, Douglas, 1997) とも言われます。

この移住データは、「場所」ごとのデータではなく、どこからどこへ何人移動したかという「場所と場所をつなぐ」関係性を表現するネットワークデータです。移住データの背後にあるポテンシャルを算出することで、「どの自治体が移住者を引き付けているのか?」、魅力度ランキングを作ってみましょう。



解決

流れの背後にあるポテンシャル場を抽出する

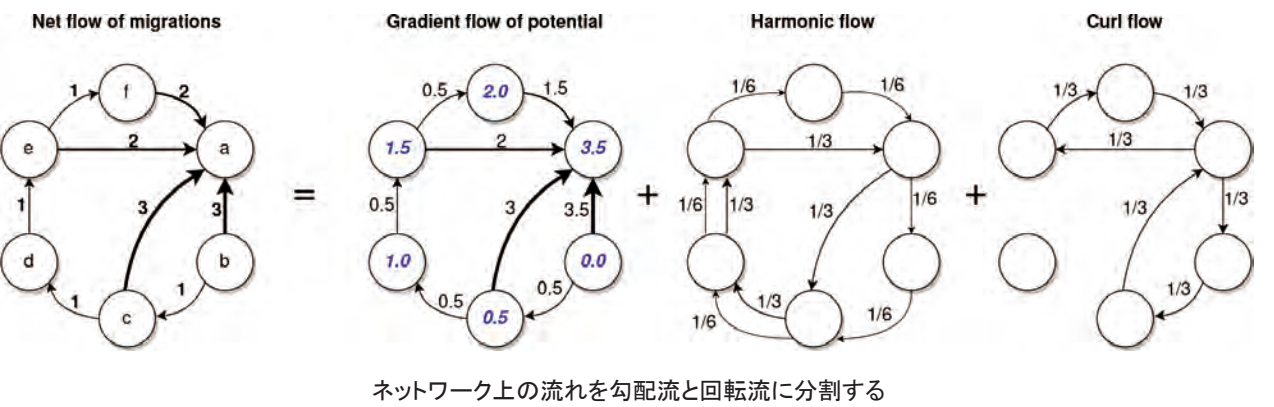


© Wikipedia: Electrodynamics vector calculus review gradient

「高いところから低いところに水が流れる」という素朴概念は、「ポテンシャル」*1という物理学の概念に昇華されています。例えば、位置エネルギーや電位もポテンシャルです。ポテンシャルは、物理学のみならず、工学や経済学などの多分野で使われています。

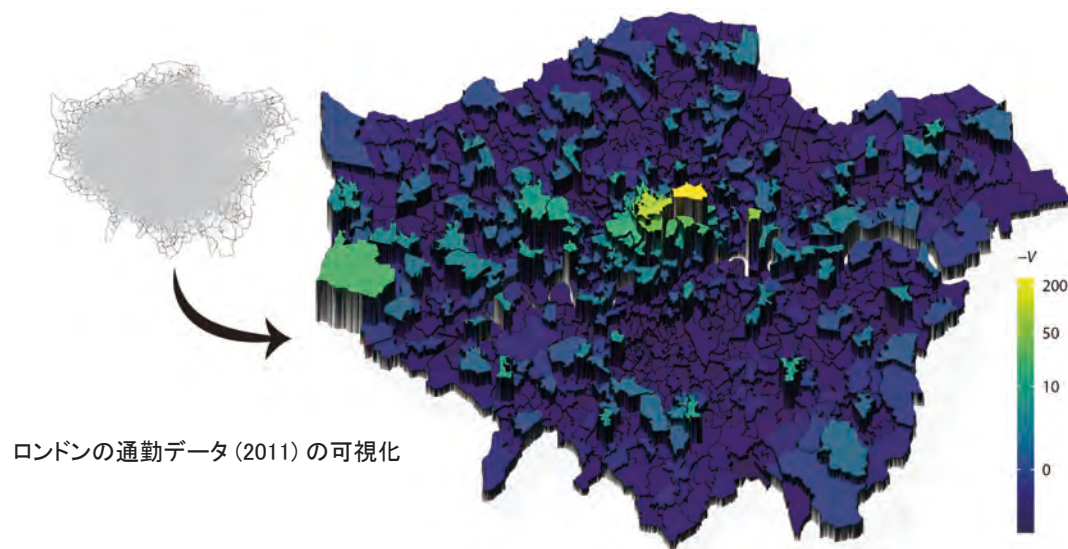
※1 正確にはスカラーポテンシャル

ヘルムホルツの定理では、任意のベクトル場（流れの表現）は、ポテンシャルで記述される成分（勾配流）と、発散なしの成分（回転流）に一意に分解できることを示しています。すなわち流れのデータから、ポテンシャルを分離・抽出することが可能です。



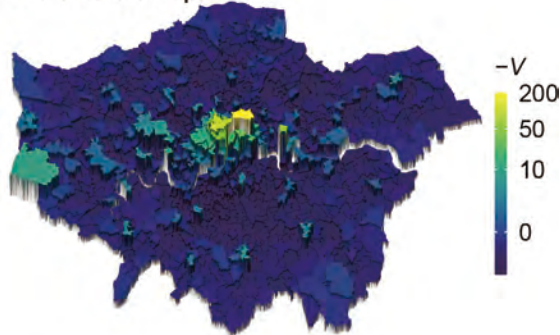
ネットワーク上の流れについても組み合わせホッジ理論を使うことで、流れの背後にあるポテンシャルを分離・抽出することができます。ポテンシャルの「差」から流れが生じます。ポテンシャルは「場所」ごとのデータです。地図上に可視化できますし、人口・収入・地代といった従来の議論されてきた変量との比較も可能になります。

分析例 1 通勤流から見た、ロンドンの姿



最初の分析事例として、通勤流から見た、ロンドンの姿を示します。ポテンシャルの符号として、人の流れが集積している場所が最大となるように正負を逆転しています。

Public transport



移動手段からみたロンドンの姿
(上図：公共交通、下図：自家用車)

Private car



- ・ポテンシャルのピーク地点は“City of London 001”。文字通り、ロンドンの中心地となります。近隣地域“Westminster 018”や“Westminster 013”も高いポテンシャルを持ちます。
- ・中心地から東にズレた地点、“Tower Hamlets 033”も高いポテンシャルを持ちます。この地区は、英国の金融中心 Canary Wharf を含みます。

ロンドンの通勤データは「移動手段」という属性情報を持っています。移動手段ごとに流れを分割すると、ロンドンとは別の形を持っています。

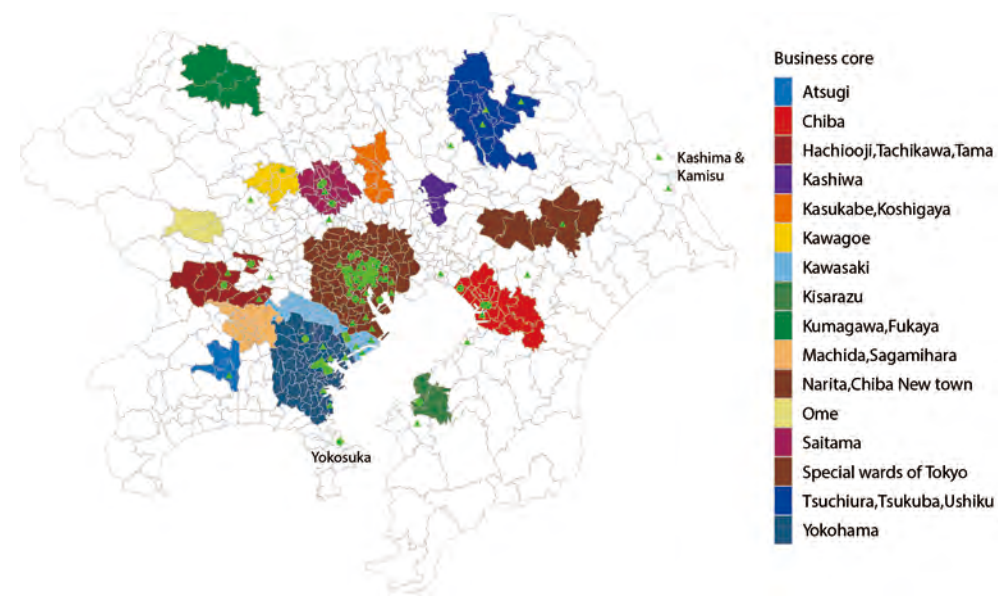
通常、都市に中心は1つです(single-center)。しかし第二次世界大戦以降、都市構造は複雑化し、大都市では複数の都市中心をもつ構造(multi-center)に変化しています。

ロンドンも公共交通機関の流れでは、multi-centerです。しかし、自家用車での流れでみると、single-centerに近い構造を持っています。移動手段によって見える都市構造は変わってきます。

検証 業務核都市との比較

はたしてこの都市中心検出結果は正しいのでしょうか？ 正解データと比較したいのですが、そもそも都市中心としての正解は存在しません。そのためその代替として、業務核都市との比較を行います。ただし比較上の問題点もあります。

- ・あくまで計画であって、実態ではない。
- ・首都圏基本計画と別に発展したケースを除外している。
- ・集積地区のGISデータがないため、行政区画を比較対象にするが、行政区画は広域すぎる。



左図は業務核都市との比較。
緑点（丸）は検出した都市中心
(compound sinks)、緑点（三角）は
commuting center を示す。

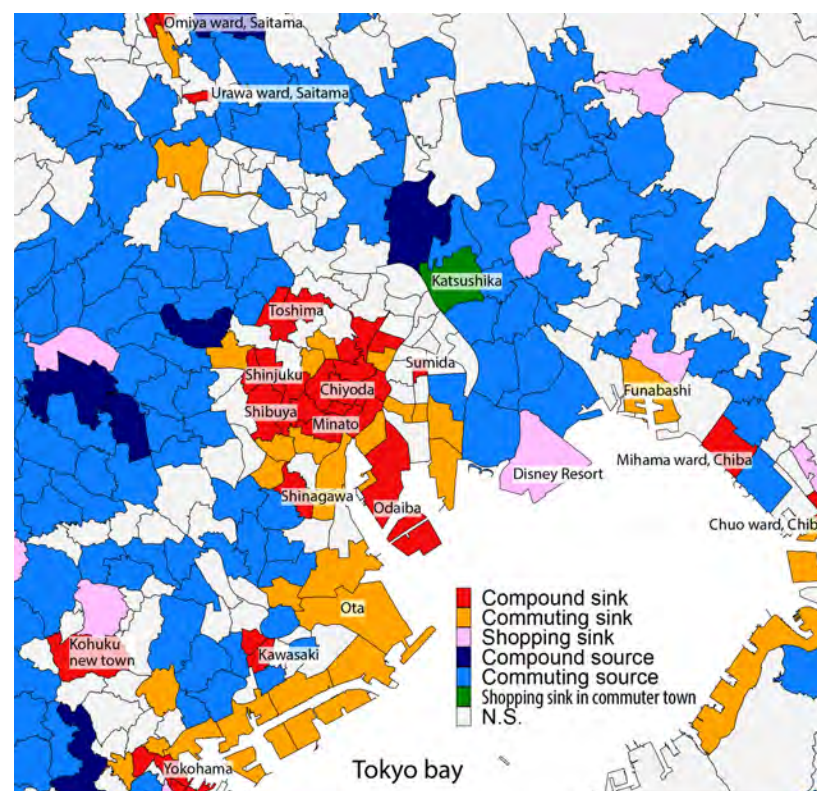
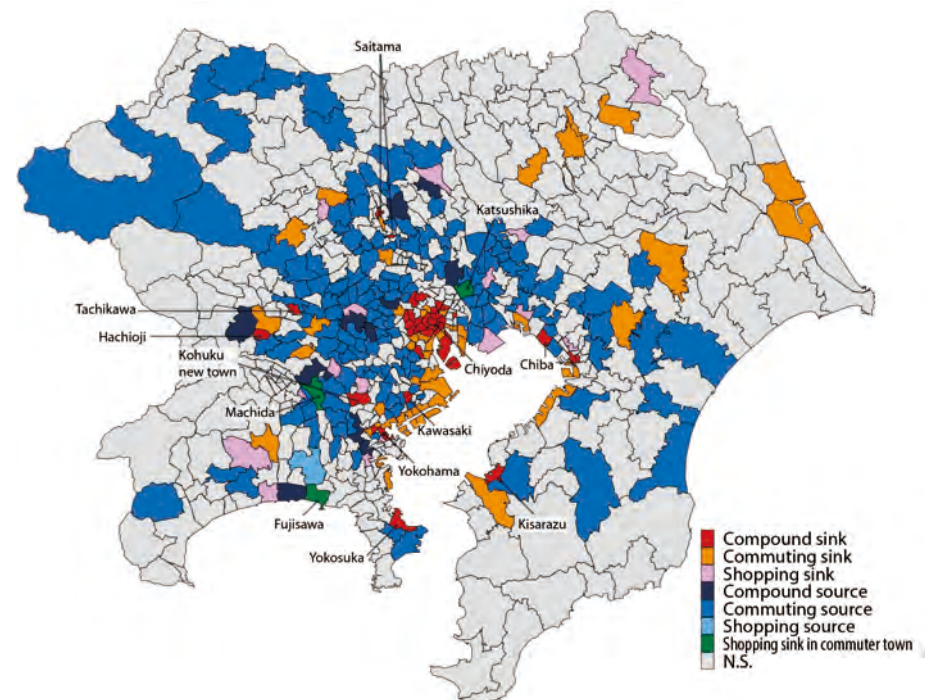
- ・検出した都市中心(compound sinks)は、特別区もしくは業務核都市に属する。
- ・例外は、横須賀市。軍港としての役割。
- ・青梅市/熊谷市・深谷市など、sinksを含まない業務核都市もある。

前半のまとめ

- ・人々の移動行動データは、「何処から何処へ何人移動したか」という地点間の関係性を示すデータである。感染症対策を始め、防災やマーケティング、交通・都市計画などへ活用されている。
- ・しかし、(1) 場所ごとのデータではない、(2) 情報過多の理由から、地点から地点への移動行動の全体像を地図上で把握することが困難であった。
- ・その解決として、移動データの背後にある引き寄せる力（ポテンシャル場）を抽出することで、水が高いところから低いところに流れるように、人流の全体像を直感的に可視

化することが可能になった。

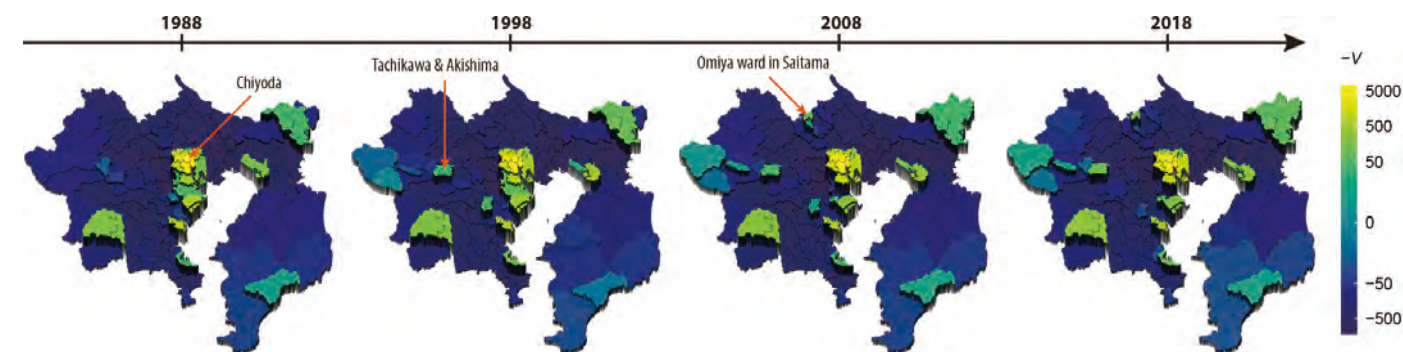
- ・ロンドンや東京などを事例に、通勤データからポテンシャル場を可視化し、その変遷から人流の集積地点の発展を見た。
- ・さらにポテンシャルを使って、都市中心の検出を実施した。
- ・今後、若者や高齢者の移動から見た都市の姿や、昼時間帯や休日の移動からみた都市の姿など、人々の移動行動データから都市構造を分析できると期待される。



人流ポテンシャルに基づく都市中心検出と分類

- ・都市中心 (Compound sinks) として、千代田区を中心とした都心部、お台場、千葉、横浜、川崎などが検出された。
- ・大田区などの湾岸工業地帯は、従来研究(雇用人口密度解析)では都市中心として議論されていたが、今回の研究では通勤流の中心として検出された。
- ・町田、藤沢、葛飾は、通勤としては外に人が出ていく場所であるが、ショッピング他の移動については人が集まってくる場所として検出された。

分析例 2 30 年間に渡る首都圏の変化



首都圏における 30 年間のポテンシャル場の変遷

上記は、通勤流から見た東京の姿を示しています。10年ごとの調査データを使って、1988年から2018年まで、ポテンシャル場の変遷を描画しています。^{*2}

- ・30年間に渡って、ポテンシャルのピークは千代田区がトップのまま。上位5位についても、港区・中央区・新宿区・渋谷区が常に独占。
- ・1998年時点で、立川・昭島市エリアが新しいピークとして出現した。2008年時点では、さいたま市大宮区にピークが出現。
- ・これらの地域は、業務核都市である。業務核都市とは、第4次首都圏基本計画（1986年）において、東京一極集中回避のため、多極分散型国土形成を目的に構想されていた。「エッジシティ」の出現^{*3}として議論される。

ポテンシャル場の変遷から、東京の姿として「変化したこと」、「変化しないこと」を見ることができます。

※2 過去データとの整合性のため、関東北部地域等が欠落しています。

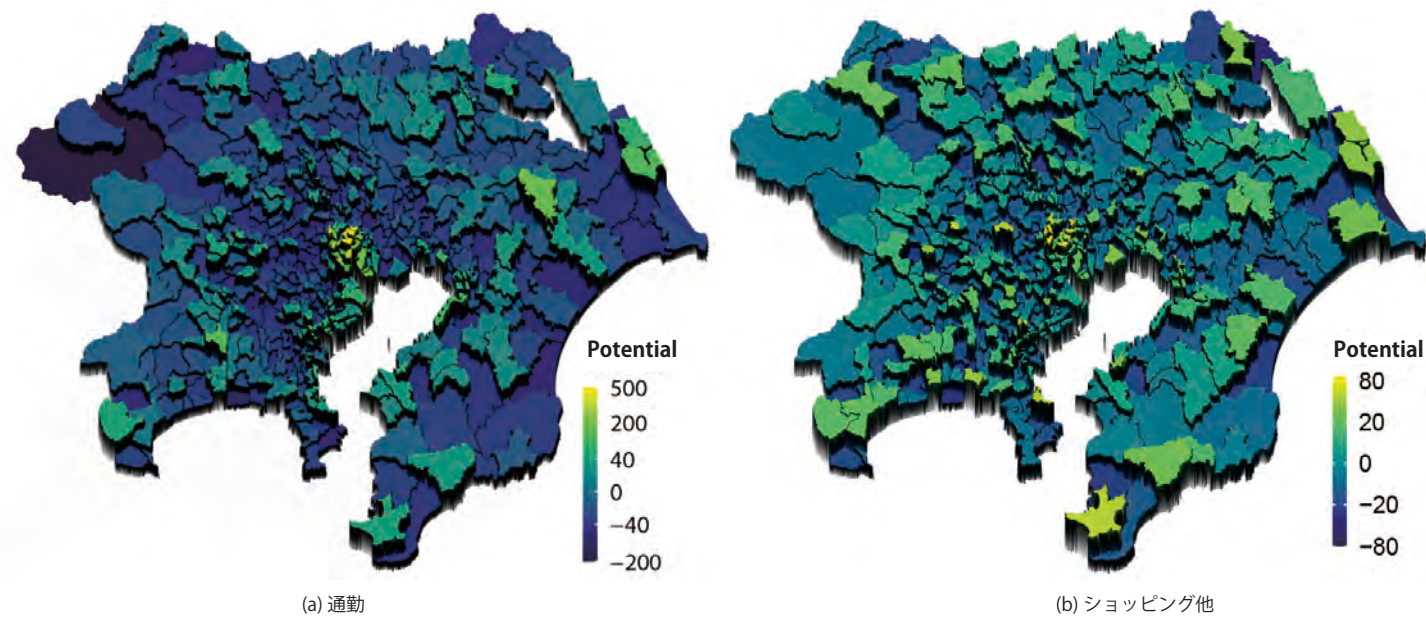
※3 Fujita and Ogawa, 1982; Garreau, 1991; Li and Monzur, 2018.

テーマ 1 都市中心検出

第二次世界大戦以降、都市構造は複雑化し、大都市は複数の都市中心をもつ構造（multi-center）に変化しています。以下のように、データに基づいた都市中心(city center)を検出する手法が提案されてきました。

- ・雇用人口密度に基づく手法（中心とは雇用人口密度が周囲より高い場所である）
 - Clustering (cutoff) method: Anderson and Bogart (2001), Bogart and Ferry (1999), Cervero and Wu (1997), Coffey and Shearmur (2001), Giuliano and Small (1991), Giuliano et al. (2007), Shearmur and Coffey (2002), Small and Song (1994), and Song (1994)
 - Regression-based models: Craig and Ng (2001), Leslie (2010), McMillen (2001), McMillen and McDonald (1997, 1998), McMillen and Smith (2003), and Redfearn (2007)
 - Local indicators of spatial association (LISA) in GIS: Arribas-Bel et al. (2015), and Li and Monzur (2018)
- ・人の流れに基づく手法（中心とは人が集まる場所である）
 - 集中交通量分析 Marmolejo Duarte et al. (2013) and Zhong et al. (2017)
 - 集中交通量量/発生交通量比率: Veneri (2013)
 - クラスタリング: Sun et al. (2016)

人流ポテンシャルに基づく都市中心検出

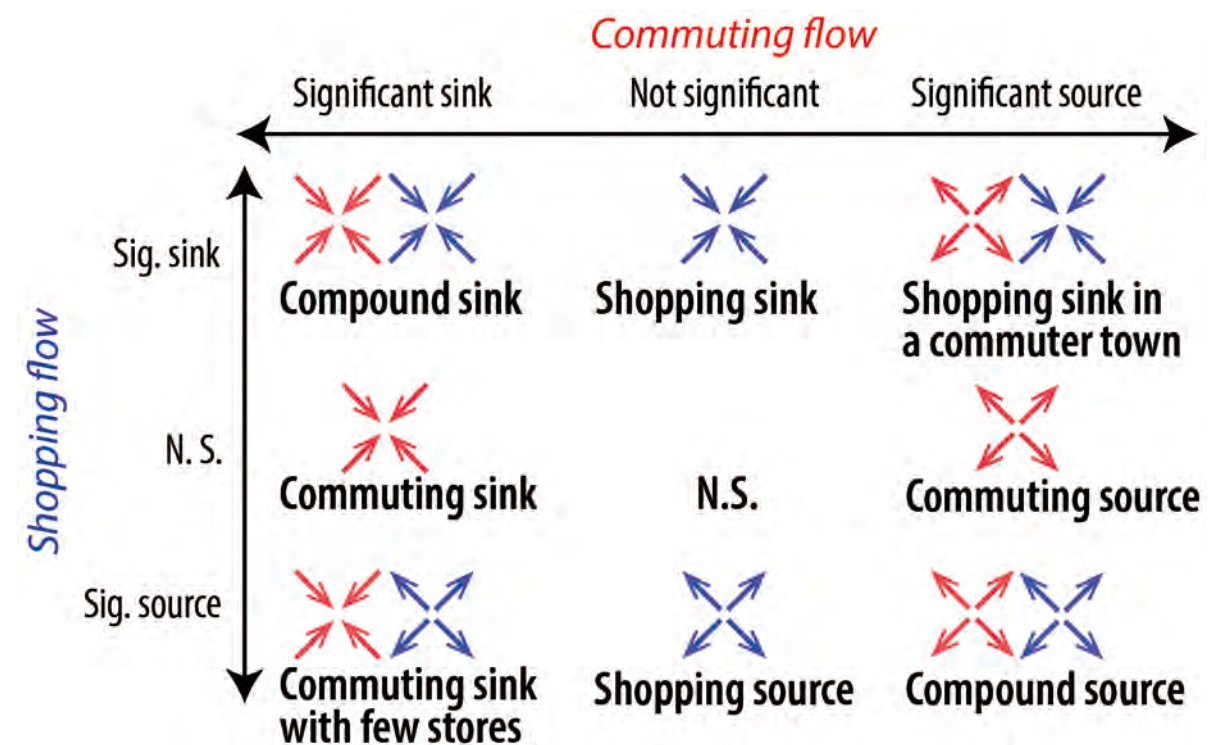


2つの代表的な移動の流れに基づく東京のポテンシャル場

我々の研究は、ポテンシャル場を使って、中心を特定します。

- ・人流からポテンシャル場を抽出し、Sink(吸い込み)とSource(湧き出し)の地点を同定する。
 - ⇒人の流れに基づく手法グループに属する。Burger and Meijers (2012) から始まる、このグループの研究では、集中交通量（目的地での総和）の分析がメインとなっている。これは出発地との関係性を切り捨てている。
- ・統計的に有意な Sink と Source を同定する。
 - ⇒第2グループの研究では、従来、統計的検出ではなく、恣意的に検出基準を決めていた。

これまでの都市研究として、都市中心は単に「混雑している場所」ではなく、職場・商業施設・レジャー等、複合的な社会活動の中心として議論されてきました(Jacobs,1969)。我々もその議論に則り、都市中心を決めます。具体的には、分析したデータ（東京パーソントリップ調査）では、移動目的の属性データが入っています。移動目的（通勤とショッピング他）に分け、それぞれのポテンシャルを計算し、その複合的活動の集積地として、都市中心（compound sink）を定義しました。



通勤とショッピングによる人の流れそれぞれに、統計的に有意に人々を惹きつけている場所を同定する。その組み合わせから場所を分類する。