

人流データに基づく都市空間構造の定量化と可視化

藤嶋翔太

一橋大学大学院経済学研究科

December 19, 2024

一橋大学都市空間・不動産解析研究センター 公開ワークショップ 2024

はじめに

- 本日本話しする内容
 1. 都市とは何か？ : 行政区域にとらわれない都市
 2. “中心性”の抽出: 人流ベクトル場の分解
 3. トリップチェーン (時間があれば)
- 「**連携中枢都市圏構想**とは、…、地域において、相当の規模と中核性を備える圏域の 中心都市 が近隣の市町村と
行政区域にとらわれない都市 “中心性”の抽出
連携し、コンパクト化とネットワーク化により…、人口減少・少子高齢社会においても一定の圏域人口を有し活力ある社会経済を維持するための拠点を形成する政策です。」
- 私の理解では、国交省の**コンパクト・プラス・ネットワーク**は、よりマイクロなスケール (各都市内部の構造) に主眼を置いている。(ネットワークは公共交通ネットワークを指す.)

都市とは何か？

- あえて定義するとすれば、「何らかの意味で経済活動が完結していると思わせる地理的範囲」
- 通常思い浮かべる都市は、行政区域としての市など。
- しかし、行政区域で定められた都市が、実際の経済活動の地理的範囲をうまくとらえているとは限らない。
- 行政区域にとらわれない都市を考えることの重要性：
 - ▶ 「何らかの意味で経済活動が完結していると思わせる地理的範囲」が複数の自治体にまたがっている場合、政策も複数の自治体で連携して行う必要がある（災害対策、インフラ管理など）。
 - ▶ 場所に紐づけられた政策（Place-based Policy）の評価をするとき、対象とする地理的範囲をどう定めるか。例：中心市街地活性化政策。中心市街地外の雇用が減少したとしても、中心市街地内の雇用が増えれば政策の効果ありと考えて良いのか？

行政区域にとらわれない都市

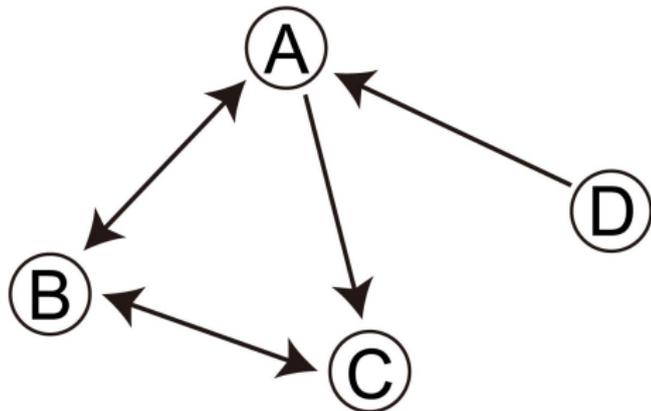
- アメリカの**コアベース統計地域**や日本の**都市雇用圏**など。前者は政府、後者は研究者によって作成されている。都市雇用圏は、東京大学空間情報科学研究センターのウェブサイトから入手可能。
<http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/UEA/>
- どちらも、次のような手法で都市を定めている。
 1. 人口密度など（**点の情報**）をもとに、都市の中心となるエリアを決める。
 2. 通勤データなど（**流れの情報**）を用いて、中心エリアと密接に結びついていると見なされる周辺区域を都市の構成区域として加えていく。
- コアベース統計地域はカウンティという小さな行政区域の集合体（都市雇用圏は市区町村）。したがって、厳密には行政区域から独立ではない。

行政区域にとらわれない都市 (続き)

- Fujishima et al. (2020) は、ネットワーク理論とスマートフォン GPS データを用いた異なるアプローチによる都市の検出を行った。
 - ▶ **スマートフォン GPS データ** (緯度経度で与えられた個人レベルの移動データ) を用いるため、任意の地理的範囲に集計可能. 1 km メッシュ (1 km × 1 km の正方形) を基準となる地理的区域として定める.
 - ▶ 都市経済を**ネットワーク**としてとらえることにより、メッシュ間の人の移動量のデータ (**流れの情報**) のみから都市を検出する. 中心エリアを事前に定めることはせず、都市が空間的にまとまっていることも理論上は要請しない.

ネットワークとは？

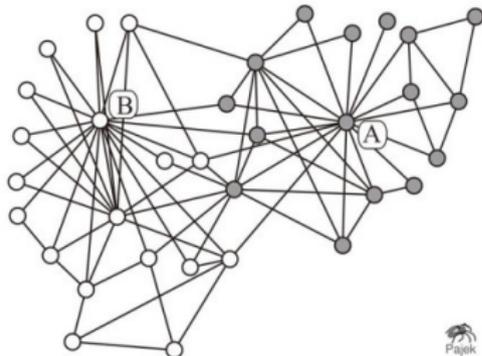
- 抽象的には、頂点たちとそれらを結ぶ枝たちからなる概念.



- X (旧ツイッター) の場合：頂点はユーザーで、枝はフォローしていることを表す.
- 都市経済もネットワークと考えることができる：それぞれのメッシュが頂点で、あるメッシュからあるメッシュへ移動している人がいればそこに枝を置く.

ネットワークとは？ (続き)

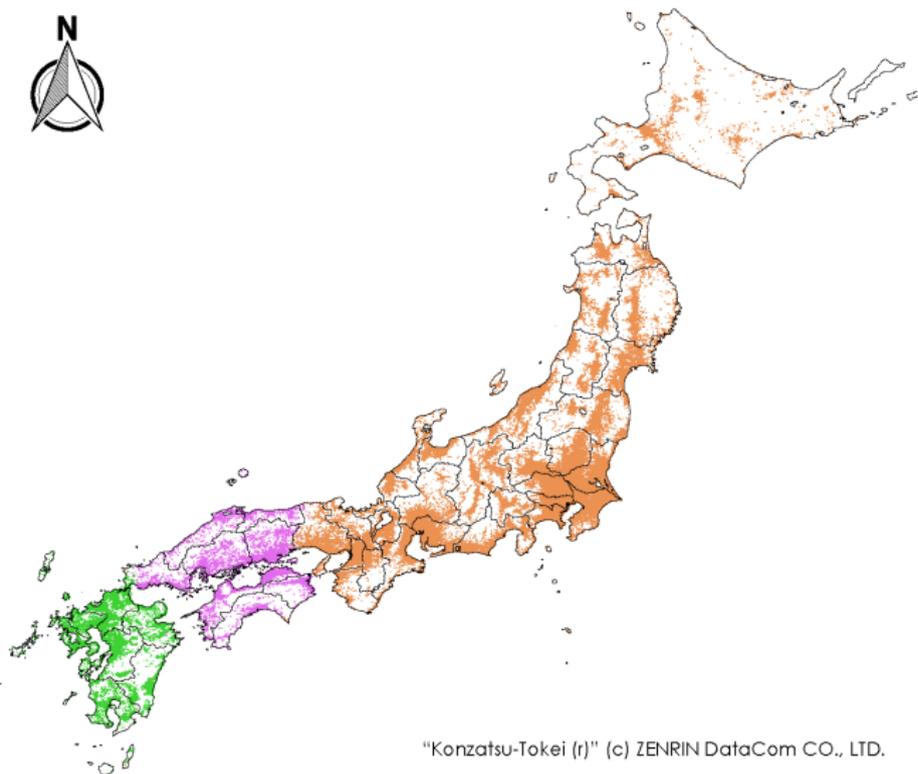
- **コミュニティ抽出**：頂点がたくさんある巨大なネットワークがあるときに、頂点たちをグルーピングしたい。グループ分けされたそれぞれの頂点の集まりをコミュニティという。



空手クラブのネットワーク (出所：増田・今野, 2010)

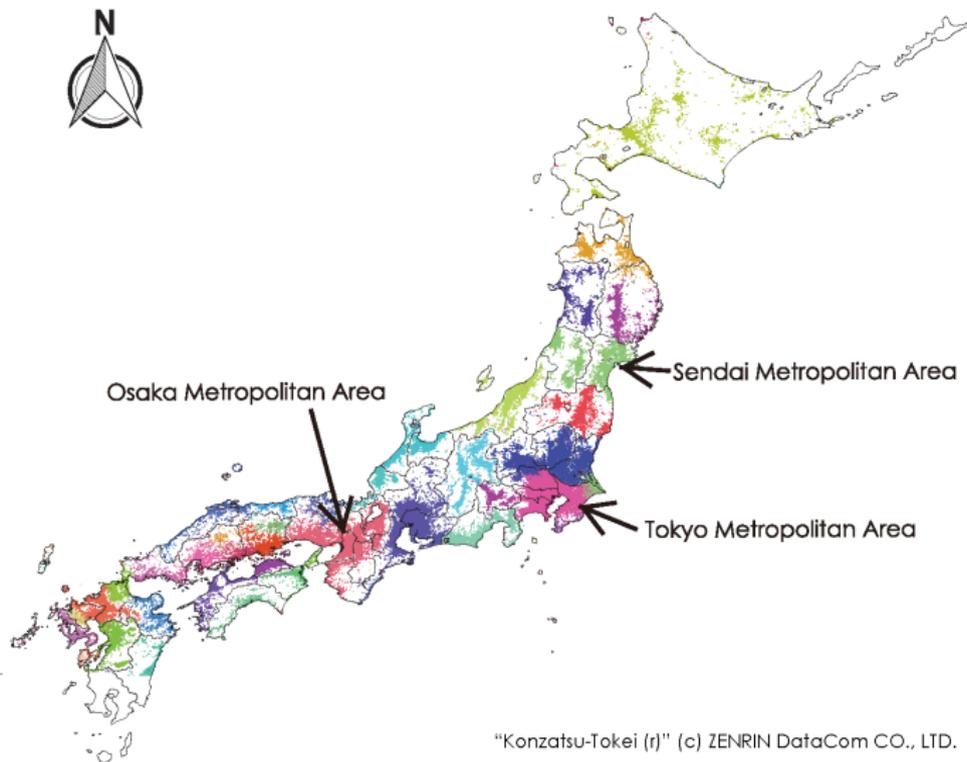
- コミュニティ抽出の手法はいろいろ提案されているが、いずれにしても、コミュニティは密接に結びついている頂点たちの集まり。
- 我々の文脈では... コミュニティは**密接に結びついているメッシュたちの集まり** → 都市と解釈可能！

行政区域にとらわれない都市：最上層のコミュニティ



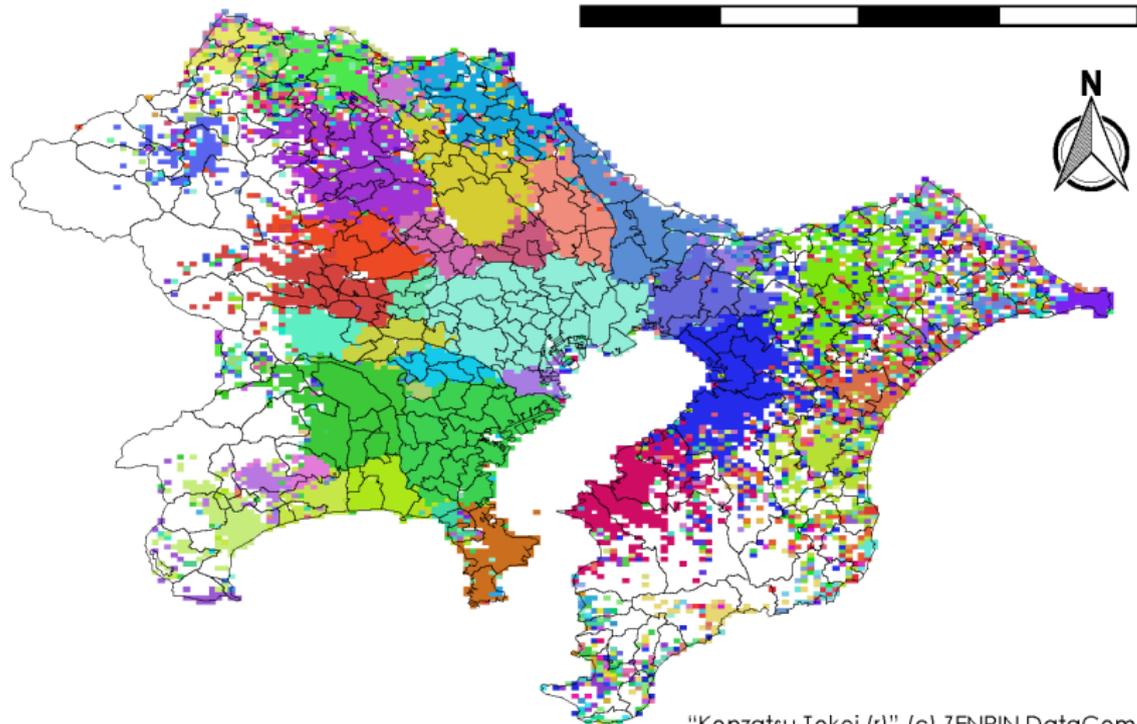
"Konzatsu-Tokei (r)" (c) ZENRIN DataCom CO., LTD.

行政区域にとらわれない都市：第2層のコミュニティ



行政区域にとらわれない都市：第3層のコミュニティ (関東圏)

0 25 50 75 100 km



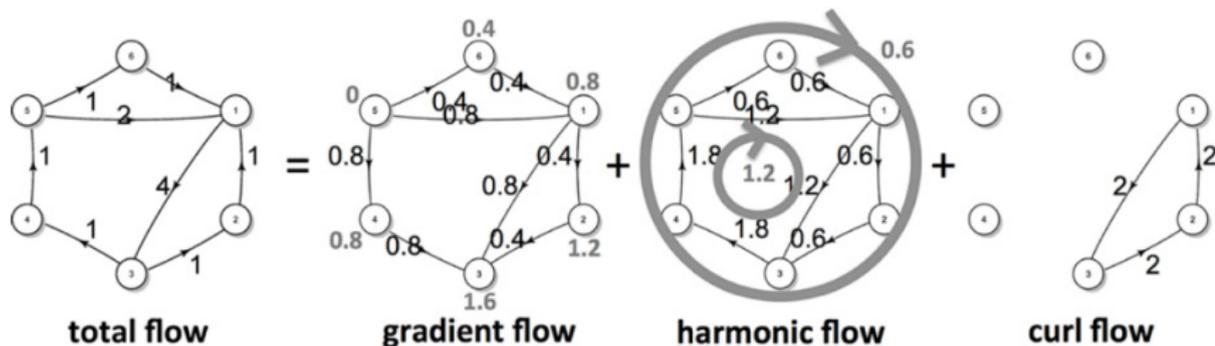
"Konzatsu-Tokei (r)" (c) ZENRIN DataCom CO., LTD.

行政区域にとらわれない都市：今後の方向性

- 今回のモデルでは、全てのメッシュが必ずどれかの都市に属することになっている。都市の空間的スケールが実際の感覚と合わないとなれば、これが要因かもしれない。
- 都市経済学の古典的な理論では、地代が農業地代と等しくなるところまでを都市としている。
- 産業構成の情報も入れて、農業が主要産業となっているメッシュは対象から外すなどの工夫が必要かもしれない。
- 1km メッシュ単位で産業構成が分かるデータはあるか？ → グーグル・アースなどの衛星写真のデータから土地利用を推計するアプローチがとれるかもしれない。

人流ベクトル場の分解

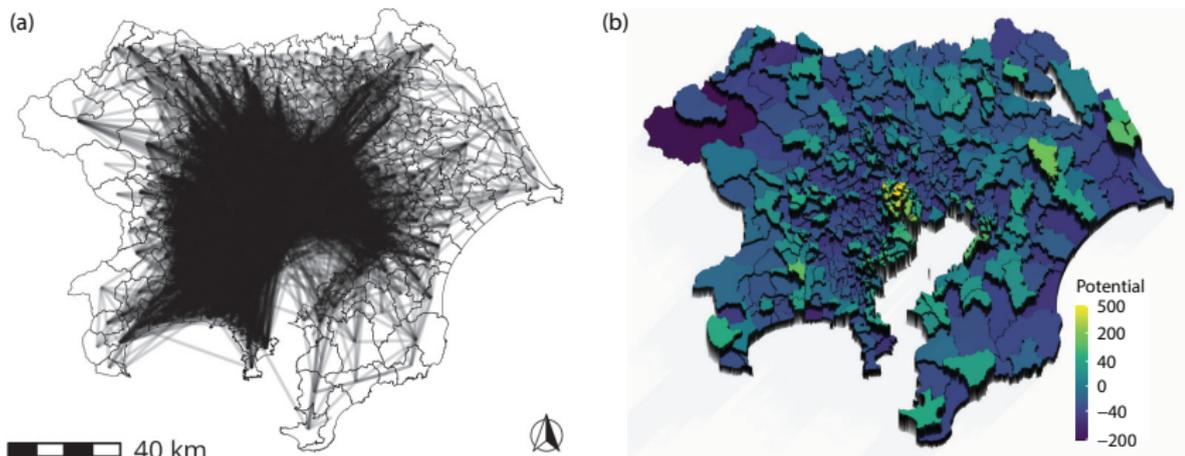
- 人流ネットワークをベクトル場としてとらえ、それを発散成分と回転成分に分解する (Aoki et al., 2022, 2024).



ネットワークの分解 (出所: Miura and Aoki, 2015, Figure 3)

人流ベクトル場の分解 (続き)

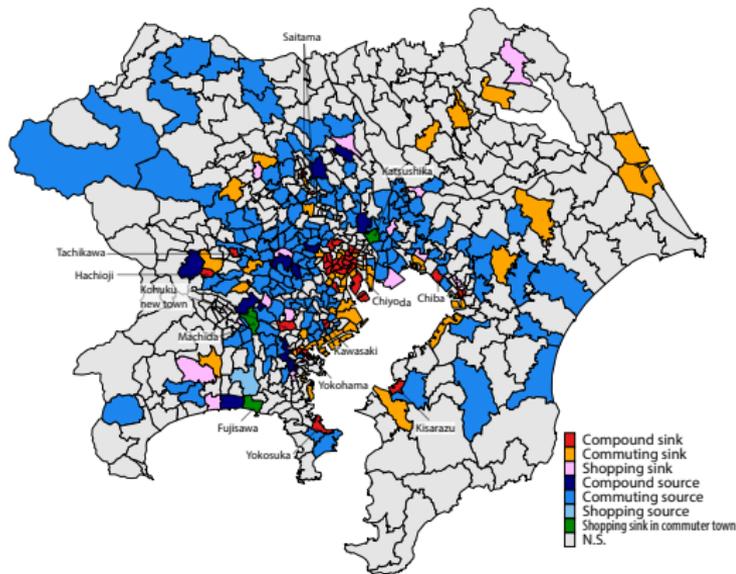
- 発散成分から、各ゾーンの人流を引き寄せる力を定量化できる。つまり、**流れの情報のみ**から各ゾーンの“中心性”を定量化できる。



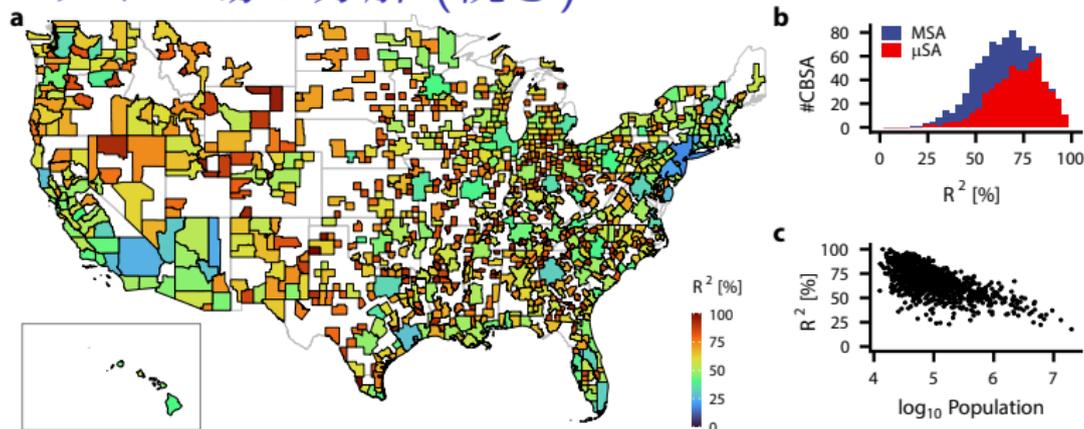
Aoki et al. (2024, Figure 1)

人流ベクトル場の分解 (続き)

- 移動目的（通勤と買い物）ごとの中心性.
- 例えば、町田や藤沢は買い物目的の人流については流入先だが、通勤目的の人流については流出元.
- 移動目的によって人流の性質は異なる. 生産活動の拠点 \neq 小売・サービスの拠点. ← コンパクトシティ政策を進めるための自治体間連携



人流ベクトル場の分解 (続き)



- 人流ベクトル場が“渦なし”なら、
ゾーン i からゾーン j への純移動人数
= ゾーン j の中心性 - ゾーン i の中心性.
- 2021 年のアメリカのデータでは、中心性の説明力（決定係数）は 0.18 から 0.99 まで幅広く分布している. (Aoki et al., 2022).
- 回転成分により、中心性が高いゾーンの勢力圏を定量化できる？ → 行政区域にとらわれない都市？

トリップチェーン：観光地の価値 (Work in Progress with Yaxi Jiang, Shuhei Kitamura, Yoichi Sugita, and Hidenori Takahashi)

- 補完性のある財・サービスの集積はどれぐらいの価値を生み出すのか。教科書的に言うと、マッチングの観点からみた集積の経済（例：古書店街）を定量化したい。
- 観光地を対象にする。旅行者は、複数の観光スポットを訪れ、1つのパッケージとして観光財を消費する。
- トリップチェーンを考慮したアクセシビリティ指標。
- スマートフォン GPS データを使用して、(1) 日本全国の主要観光スポット間の併用訪問者および (2) 主要観光スポットとホテルの併用利用者を記録した、観光同時消費データセットを作成。
- 成功している観光地はどのような観光財のパッケージを持っているのか？ 観光による地域活性化へのインプリケーション。

人流データの課題

- 代表性の問題：特定の携帯電話会社の特定のアプリを使っていて、GPS トラッキングの許可をした人たち。
- プライバシーの問題
 - ▶ データの匿名化，粗視化が必要。
 - ▶ 例えば，トリップチェーンごとに人数を計算すると，ほとんどは小さい数になる．基準を下回ると秘匿されてしまう。
 - ▶ 近年は，合成データ（統計的に同様の特性をもつデータ）を生成することで対処しようとするアプローチもある。
- 移動目的，移動手段は（データプロバイダーも含めて）分からない。（類推は可能.）
- 社会科学分野の研究者にとっては価格が高い。
- Suica や Pasma などの交通系 IC カードのデータはまだまだ研究に十分に活用されていない（私の知る限り）。
- 人の流れではなくお金の流れを考えることもできる（産業連関表，企業間取引データ）。

References

- Aoki, Takaaki, Shota Fujishima, and Naoya Fujiwara (2022) “Urban spatial structures from human flow by Hodge–Kodaira decomposition,” *Scientific reports*, Vol. 12, No. 1, pp. 1–10.
- (2024) “Identifying sinks and sources of human flows: A new approach to characterizing urban structures,” *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Vol. 51, No. 2, pp. 419–437.
- Fujishima, Shota, Naoya Fujiwara, Yuki Akiyama, Ryosuke Shibasaki, and Ritsu Sakuramachi (2020) “The size distribution of ‘cities’ delineated with a network theory-based method and mobile phone GPS data,” *International Journal of Economic Theory*, Vol. 16, No. 1, pp. 38–50.
- Miura, Keiji and Takaaki Aoki (2015) “Hodge–Kodaira decomposition of evolving neural networks,” *Neural Networks*, Vol. 62, pp. 20–24.
- Rosvall, Martin and Carl T Bergstrom (2008) “Maps of random walks on complex networks reveal community structure,” *Proceedings of the national academy of sciences*, Vol. 105, No. 4, pp. 1118–1123.
- 増田直紀・今野紀雄 (2010) 『複雑ネットワーク: 基礎から応用まで』, 近代科学社.

付録：Map Equation

- Fujishima et al. (2020) では、Map Equation (Rosvall and Bergstrom, 2008) とよばれる手法を用いた。
- 基本的な考え方は住所と同じ：メッシュに名前を付けるとしよう。メッシュをグルーピングしない場合、全てのメッシュに異なった名前を付けなければならない。
- 一方でグルーピングした場合、異なるコミュニティに属していれば同じ名前を使い回しても良い。

宮城県仙台市青葉区

神奈川県横浜市青葉区

- ただし、グルーピングするとコミュニティにも名前を付けなければならない。このトレード・オフのもとで、Map Equation は最も情報効率的に符号化 (i.e., 名前を付ける) できるグルーピングを探す。

付録：Map Equation (続き)

- GPS データはどのように活かされるのか？ →メッシュ上にランダム・ウォーカーを走らせ、ランダム・ウォーカーの移動確率を決める際に GPS データを用いる。具体的には、メッシュ i からメッシュ j への移動確率 P_{ij} は以下のように定める。

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i}.$$

ただし、 N_{ij} はメッシュ i からメッシュ j への移動人数、 N_i はメッシュ i の人口。これらは GPS データから計算する。

- ランダム・ウォーカーが頻繁に訪れるメッシュやコミュニティほど符号が短くなるように符号化する。
- Map Equation では、コミュニティの階層構造まで含めてグルーピングすることができる（行政区域の都道府県，市区町村，町丁目，... と同じようなイメージ）。

付録：Map Equation (続き)

検出結果

- 最上層では3つのコミュニティに分かれた。右端のコミュニティは関西から北海道まで含む巨大なコミュニティになっている。
- 第2層では55個のコミュニティに分かれた。都道府県と同じぐらいの空間スケール。行政区域（都道府県）とだいたい一致しているコミュニティもあるが（北海道、青森県など）、関東圏、中京圏、関西圏など複数の都道府県にまたがるコミュニティも多い。
- 第3層では2,048個のコミュニティに分かれた。ただし、30%は10個以下のメッシュからなる小さなコミュニティである。
- 階層の深さは、最も深いもので第6層まで検出された（階層の深さは親コミュニティによって異なる）。