

Functional Region 設定結果の頑健性評価

東北大学 非会員 氏家 晃仁
東北大学 正会員 ○福本 潤也

1. はじめに

Functional Region (以下, FR) とは, 交通や経済取引等の社会経済活動が一体的に営まれる地理的単位 (e.g. 都道府県, 市区町村) の集合を意味する. これまで様々な FR 設定手法が提案されてきたが未だに標準的な手法が確立されていない. 最大の原因は FR 設定問題には外的基準が存在しないため, 設定結果や設定手法の評価が困難な点にある.

本研究では FR 設定結果の頑健性を評価することで設定結果や設定手法を評価する手法を提案する. FR 設定問題の頑健性とは, 入力データやパラメータの微小な変化に対して, FR 設定結果が大きく変化しない性質を指す. FR 設定問題で使用する入力データに観測誤差が含まれる点や, パラメータを合理的に設定する方法が存在しない点を踏まえると, FR 設定結果の頑健性が一般に求められる. 本研究では, Karrer 他¹⁾がネットワークのコミュニティ抽出結果の頑健性を評価するために提案した手法を FR 設定問題に援用・拡張する. 市区町村間通勤データを用いたケーススタディを通じて提案手法の有効性を検証する.

2. モジュラリティに基づく FR 設定手法

本研究では福本・岡本²⁾が提案した FR 設定手法に頑健性評価手法を適用する. 福本・岡本はネットワーク科学で発展したモジュラリティに基づくコミュニティ抽出法と空間相互作用モデルを組み合わせた FR 設定手法を提案した. 空間相互作用モデル(エントロピーモデル)を帰無モデルネットワークに用いるモジュラリティ³⁾を定義した.

$$Q = \frac{1}{M} \sum_{i,j} (A_{ij} - P_{ij}) \delta(c_i, c_j) \quad (1)$$

$$P_{ij} = a_i b_j O_i D_j \exp(-\gamma C_{ij}) \quad (2)$$

M は総トリップ数, c_i は地理的単位 i が所属する FR, $\delta(c_i, c_j)$ は $c_i = c_j$ ならば 1, $c_i \neq c_j$ ならば 0 になるデルタ関数, A_{ij} は (i, j) 間で観測された OD トリップ数, $O_i(D_j)$ は地理的単位 i の発生(集中)トリップ数, $a_i(b_j)$ は発生(集中)制約を満たすための係数, C_{ij} は地理的単位 (i, j) 間の地理的近接性データ (e.g. 所要時間, 一般化費用), γ は距離減衰パラメータである. FR 設定問題は次式で定義される.

$$\max_{\{c_1, \dots, c_N\}} Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} (A_{ij} - P_{ij}) \delta(c_i, c_j), \quad \text{s.t. } c_i \in \{1, \dots, K\} \quad (3)$$

N は地理的単位の数, K は FR の数である.

式(2)では観測ネットワーク A と帰無モデルネットワーク P を比較して FR を設定する. 当然, 帰無モデルネットワーク P (具体的には, 距離減衰パラメータ γ) が異なれば FR 設定結果も異なる. 福本・岡本は適切な距離減衰パラメータ γ を選択すれば直感に近い FR が設定可能なことを確認すると同時に, 距離減衰パラメータ γ が FR 設定結果に与える影響について分析している. しかし, 距離減衰パラメータ γ の決め方は示していない.

3. FR の頑健性評価手法

本研究では, 1) OD 情報, 2) 距離減衰パラメータ, 3) 分析対象範囲, の 3 つの攪乱を考える. 3 つの攪乱に対する頑健性で FR 設定結果の頑健性を評価する. 攪乱を加える前後の FR 設定結果の類似度は基準化済み情報変動量 V で評価する. V は 2 つの FR 設定結果 X と Y が類似しているほど小さい値を取る指標であり, $0 \leq V \leq 1$ を満たす.

$$V(X, Y) = \frac{H(X|Y) + H(Y|X)}{\log n} \quad (4)$$

n は地理的単位数, $H(X|Y)$ は FR 設定結果 Y に対する FR 設定結果 X の条件付きエントロピーである.

紙面の都合上, OD 情報の観測誤差に対する頑健性評価手順だけ示す. OD 情報への攪乱として, 重み A_{ij} のリンクに一様分布 $[-\sigma A_{ij}, \sigma A_{ij}]$ に従うノイズを加える. σ は攪乱の強さを表すパラメータである ($0 < \sigma < 1$). 頑健性を評価するアルゴリズムは以下の通りである.

キーワード Functional Region, 頑健性, モジュラリティ, 通勤 OD

連絡先 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区平 2-1-1 電気通信研究所 2 号館 TEL 022-217-6370

- 1) γ を $0 \leq \gamma \leq \bar{\gamma}$ の範囲で変化させながら2)-3)を繰り返し行う。
- 2) σ を $0 < \sigma < 1$ の範囲で変化させながら、攪乱を加える前後のFR設定結果より $V(\sigma, \gamma)$ を計算する。
- 3) $V(\sigma, \gamma)$ が閾値以下になる最大の $\sigma (= \Delta\sigma(\gamma))$ を求める。

$\Delta\sigma(\gamma)$ が大きいほどFR設定結果が頑健であることを意味する。 γ と $\Delta\sigma(\gamma)$ の関係をプロットすることで適切な γ を視覚的に選択することができる。

4. ケーススタディ

(1) 設定条件

3. で定義した頑健性評価手法を福本・岡本のFR設定手法に適用する。FR設定のアルゴリズムとして地理的単位の隣接関係を考慮したGreedy Algorithmを用いる。OD情報として平成17年国勢調査による市区町村間通勤者数、地理的近接性データには市区町村間の一般化費用を用いる。一般化費用データは、国土交通省の総合交通分析システムNITASで作成する。帰無モデルネットワークは、以下の二重制約型重力モデルを用いて定義する。

$$P_{ij} = a_i b_j O_i^\alpha D_j^\beta \exp(-\gamma C_{ij}) \quad (5)$$

(2) 適用結果

北海道を分析対象地域として提案手法を適用した結果を図1に示す。 $\Delta\sigma$, $\Delta\gamma$, $1-V$ は、それぞれ OD 情報の観測誤差に対する頑健性、距離減衰パラメータの変化に対する頑健性、分析対象範囲の変化に対する頑健性を表す。それぞれ値が高いほど頑健であることを意味する。図1から、 $\gamma \approx 3.0E-4$ と $\gamma \approx 8.0E-4$ を用いたFR設定結果が3つの視点で頑健であると判断される。これらの帰無モデルに対応するFR設定結果を図2に示す。 $\gamma \approx 8.0E-4$ の時に設定される大部分のFRは、 $\gamma \approx 3.0E-4$ の時に設定されるFRが細分化されたものであることが分かる。北海道では階層的にFRが形成されていると考えられる。なお、北海道では頑健なFRが複数の距離減衰パラメータに対して設定されたが、分析対象範囲を他地域にした場合には頑健なFRが設定される距離減衰パラメータが1箇所しかない場合もあった。

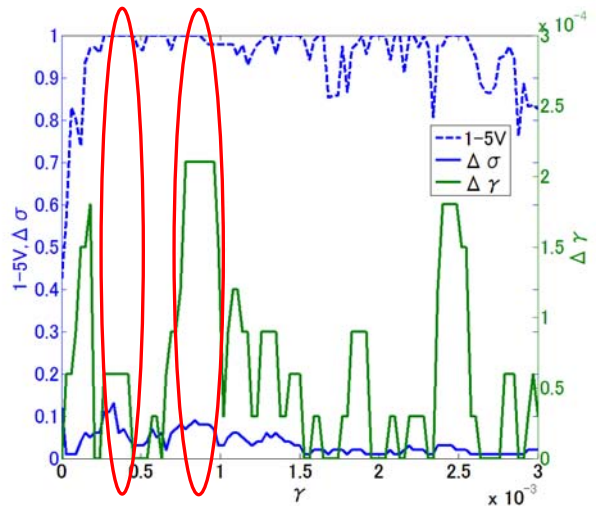


図1：北海道のFRの頑健性評価結果

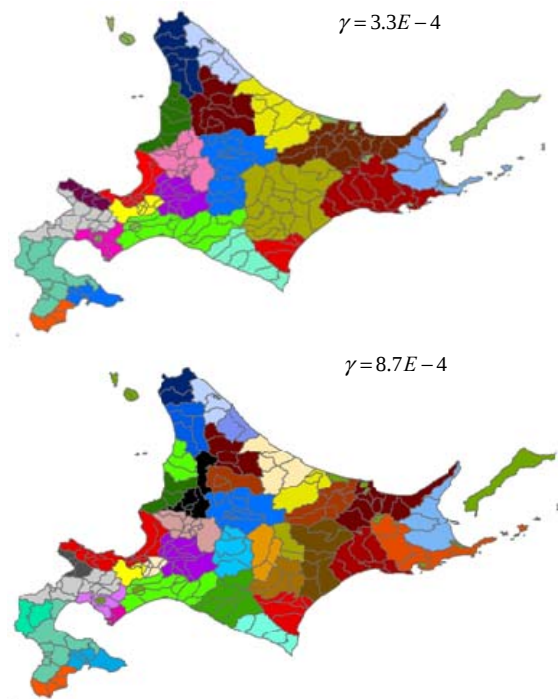


図2：北海道のFR設定結果

5. おわりに

本研究では、FR設定結果の頑健性評価手法を提案した。ケーススタディを通じて次の2点を明らかにした。すなわち、1)本手法で頑健なFRが設定される距離減衰パラメータを選択できる、2)地域によってFRの階層性を確認できる、という2点である。今後の課題として、他のFR設定手法にも本手法を適用し、FR設定手法間の優劣を評価することが挙げられる。

参考文献

- 1) Karrer, B., Levina, E. and Newman, M.E.J.: Robustness of community structure in networks, *Physical Review E*, 77, 046119, 2008.
- 2) 福本潤也・岡本佳洋：コミュニティ抽出法と空間相互作用モデルを組み合わせた機能地域区分手法の提案，土木学会論文集D3（土木計画学）特集号（投稿中）。
- 3) Girvan, M. and Newman, M.E.J.: Community structure in social and biological networks, *PNAS*, Vol.99, pp.7821-7826, 2002.