

生活必需施設の配置と住民のトリップに着目した生活圏検出手法の構築

A Community Detection Method Focusing on the Location of Essential Facilities and Residents' Trips

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 只限大暉(Hiroki Tadakuma)
北海道大学大学院工学研究院 正員 杉浦聡志(Satoshi Sugiura)

1. はじめに

昨今の日本では南海トラフ地震、巨大台風など、大規模な被害が予想される災害が近い将来に起こるとされている。そのため、素早い道路啓開や物資輸送の工夫など災害時の対応は工夫されつつある。しかし、被災地への救援物資の搬入経路が途絶し、数日間は被災地内で物資を調達する必要があるような状況も想定される。こうした状況を想定した場合、生活必需品に小さな移動コストでアクセスできるような生活圏が形成されることが望ましい。そこで、本研究では市民の生命の維持に関わる施設を生活必需施設と設定し、施設を利用する市民の生活圏の推定を行う。自動車交通の普及によって1つの施設群が受け持つ生活圏が拡大している可能性が考えられるが、大きな移動コストを要する生活圏は、災害に対して脆弱である可能性が高い。生活圏の大きさや構造による災害脆弱性を検討するため、本稿では施設の配置と住民のトリップに注目した生活圏の検出手法を提案する。

本研究では生活圏の特定のためにネットワークを分割する手法を援用する。ネットワークを意味のあるまとまりに分割する手法は、コミュニティ検出手法として多く知見が蓄積されている。例えば Ge et al.¹⁾は Modularity²⁾と呼ばれるコミュニティ分割の質を表す指標とし、この値が最大となるコミュニティ分割手法(Louvain 法³⁾)を採用している。本稿ではこれらとは異なり、画像のエッジセグメンテーションの手法のうち、グラフカット(Boykov and Jolly⁴⁾, Li et al.⁵⁾)を援用する。画像のエッジセグメンテーションは、ある画像から対象となるものを検出し、前景と背景に分ける画像解析で用いられる処理方法である。画像のエッジ検出手法に住民の日常的な輸送を示す指標を導入することで、生活圏を特定する手法を提案する。提案手法をテストネットワークに適用し、その挙動を確認する。

2. 手法

2.1 記号の定義

本研究で用いる記号を以下のように定義する。

- N : ネットワーク中のノード集合。その成分は $n \in N$ で表記する。
- A : ネットワーク中のリンク集合。その成分は $a \in A$ で表記する。
- Π : 生活必需施設種類の集合。その成分は $\pi \in \Pi$ で表記する。(例えば $\pi = 1$: 病院, $\pi = 2$: 食料品店, $\pi = 3$ …)
- S : 住民の居住地ノードの集合 ($S \subseteq N$)。その成分は $s \in S$ で表記する。

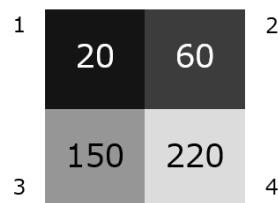


図-1 例題の画像

- T_π : 生活必需施設種類 π の施設ノードの集合 ($T_\pi \subseteq N$)。その成分は $t_{\pi l} \in T_\pi$ で表記する。 $t_{\pi l}$ は種類 π の l 番目の施設ノードである。
- u : 全ての生活必需施設の集合
- W : 対象とする生活圏の集合 $w \in W$
- Φ_w : 生活圏 w の生活必需施設の集合。
- c_a : リンク a の所要移動コスト。(時間, ガソリン代, あるいは運賃)
- x_n : ノード n が対象とする生活圏 w に含まれるなら 1, そうでなければ 0 をとる変数
- δ_F : 前景側 F の中心を意味する仮想ノード
- δ_B : 背景側 B の中心を意味する仮想ノード
- $f_n^{st_\pi}$: ノード n における居住地 s から施設 t_π の需要通行量

2.2 既往手法の概説

Boykov and Jolly⁴⁾が提案したグラフカットによるエッジセグメンテーションでは画像の画素一つ一つに含まれる画素値を重みとしてもつノード、隣接画素の色の違いを重みとしてもつリンクで構成されたグラフを用いる。このグラフにおいて、(1)式に示すエネルギー関数を最小化するような分割を最大流問題によって導出する。

$$E(x) = \sum_{i \in V} \theta_i(x_i) + \lambda \sum_{(i,j) \in E} \theta_{ij}(x_i, x_j) \quad (1)$$

第1項はノードの重み、第2項はリンクの重みを表す。 θ_i は対象のノードが前景(Foreground)と背景(Background)のどちらの色に近いかを表す。 x_i は対象の画素に与えるラベルであり、前景なら 1, 背景なら 0 となる未知変数である。 θ_{ij} は隣接した画素の色の近さを表す。 i, j が同じラベルならエネルギーは 0, 異なるときエネルギーが生じる。 λ は二項間の重みパラメータである。このエネルギー関数に基づいて、最大流問題が適用できるようにネットワークを加工する。図-1の画像を例題として解説する。図中の数字はグレースケールにおける画素値である。次にこの画像を図-2のようなグラフに変換する。図

中の θ_{ij} の値は画素間の色の近さを表現し、これをリンクの重みとして付与する．ノードの重みは前景 F と背景 B のどちらに近いかを示す．各ノードと仮想ノード δ_F および δ_B にリンクを張り、重みを与える．分析者が事前に前景側であると設定した画素については、 δ_F と当該ノードを接続するリンクに ∞ の重みを、 δ_B と当該ノードを接続するリンクに 0 の重みを与える．一方で背景側であると設定した画素については、 δ_F と当該ノードを接続するリンクに 0 の重みを、 δ_B と当該ノードを接続するリンクに ∞ の重みを与える．例題において、ノード1は前景、ノード4を背景であると事前に設定した場合、図-3のように重みを与えられる．事前に背景か前景を設定しないノードは前景として最もふさわしい色との近さに関連した重みを与える．ここでは黒、すなわち画素値 0 との距離を δ_F 、 δ_B との接続リンクで重みとして与える．得られた図-3 のようなグラフにおいて (δ_F, δ_B) 間の最大流問題を求解し、最小カットを導出することで、エネルギー関数が最小となる分割を得ることができる．

2.3 提案手法の概説

本稿では生活圏の中心となる施設．例えばスーパーや医療施設などの生活必需施設を事前に設定する．これは、生活圏の核となる地点を指定することを意味する．生活圏の核となる生活必需施設の集合 Φ_w は、想定する生活圏の数だけ定義する．いずれの生活必需施設についても、ネットワーク中のノードと対応させて定義する．すなわち、 $\Phi_w \subset N \ \forall w \in W$ である．生活圏を特定するにあたり、各居住地から生活必需施設への需要量が調査により既知であるとする．一般的にこのような調査ではゾーンの代表点を起終点とする集計が実施されるため、一部のノードのみしか生活必需施設への需要量をもたない．これはすなわち、多くのノードでどの生活圏に含まれるべきかの参照情報を与えることができないことを意味する．そこで本稿では、各居住地から生活必需施設までの需要がネットワーク上のノードを通過する量は、通過されるノードにおける生活必需施設への需要を代替的に表現すると考える．居住地の代表点よりも空間的に生活必需施設に近い場合には、代表点よりも生活必需施設を利用する可能性が高いと考えられることから、これを代替的に表現するものとも言えよう．ノードの通行量は居住地と生活必需施設への経路交通量を Dial⁶⁾のアルゴリズムを用いて求めることとする．図-4は本研究で行う手順のフローチャートである．生活必需施設の集合 Φ_w についてコミュニティ分割し、 Φ_w を中心とするノード集合を生活圏として特定する．この操作を全ての生活必需施設の集合に適用する．

2.4 コミュニティ分割手法の定式化

本研究では、ネットワーク中のノードが推定する生活圏に含まれるか、含まれないかを判定する問題により生活圏の検出を行う．生活圏には想定したすべての種類の生活必需施設のノードが1つずつ以上含まれることとする．すなわち、 $\Phi_w = \{t_{1l}, t_{2o}, \dots, t_{n|p}\}$ である．この選定は分析者が適当に設定する必要がある．設定された Φ_w

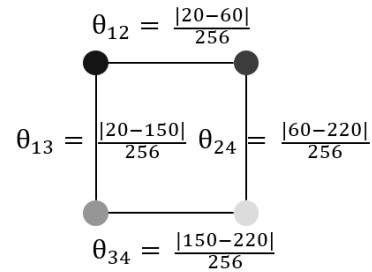


図-2 グラフ化された例題画像およびリンクの重み

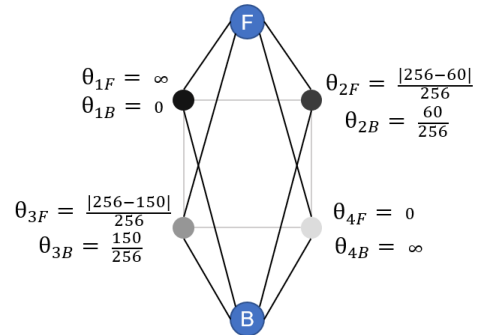


図-3 仮想ノードと接続されるリンクの重み

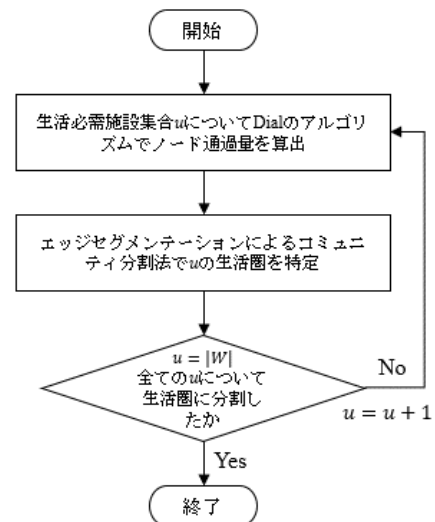


図-4 提案手法のフローチャート

を通常利用する人口が多い範囲を、 Φ_w に対応する生活圏とする． Φ_w が Li et al.⁵⁾における F に対応する．また、 $\Phi_\xi (= \cup_{\pi \in \Pi} T_\pi - \Phi_w)$ は対象の生活圏以外に存在する生活必需施設の集合と Φ_w の差集合とし、これが B に対応する．ネットワーク内のノード分割により生活圏を判定するため、交通ネットワーク上にエネルギー関数を与える必要がある．居住地から生活必需施設への需要量と道路ネットワークの特性をもとにしたエネルギー関数を与える．例えば、ある居住地 s からある生活必需施設 $t_{\pi l} \in \Phi_w$ の需要量が大きく、距離も近いのであれば、この2つが分割されることは適当でない．一方で需要量が小さく、距離が遠いのであれば居住地 s を対象生活圏に含めるのは不適当であろう．エネルギー関数はこうした条件を踏まえて以下の(2)から(4)式の通りに定式化する．

$$\left\{ \begin{array}{ll} E_1(x_i = 1) = 0 \\ E_1(x_i = 0) = \infty & \forall i \in \Phi_w \\ E_1(x_i = 1) = \infty \\ E_1(x_i = 0) = 0 & \forall i \in \Phi_\xi \\ E_1(x_i = 1) = \frac{d_i^{\Phi_w}}{d_i^{\Phi_w} + d_i^{\Phi_\xi}} \\ E_1(x_i = 0) = \frac{d_i^{\Phi_\xi}}{d_i^{\Phi_w} + d_i^{\Phi_\xi}} & \forall i \in N - (\Phi_w \cup \Phi_\xi) \end{array} \right. \quad (2)$$

where

$$d_i^{\Phi_w} = \sum_{s \in S} \sum_{t \in \Phi_w} f_n^{st\pi} \quad (3)$$

$$d_i^{\Phi_\xi} = \sum_{s \in S} \sum_{t \in \Phi_\xi} f_n^{st\pi}$$

$$\sum_{a \in A} E_2(a) = |a_i - a_j| \cdot \frac{1}{c_a + 1} \quad (4)$$

(2)式, (3)式は 2 点間のノードがそれぞれ生活圏内外にそれぞれ分割されたときに距離を変数とした関数で与える. Φ_w は対象生活圏 w の生活必需施設集合であるから, 必ず前景側となるように重みが与えられる. 一方で他の生活必需施設群 Φ_ξ は必ず背景側に含まれるような重みが与えられる. その他の判別すべきノードにはDialのアルゴリズムに基づく生活必需施設への需要における対象ノードの通行量を重みとして与えている. (4)式は隣接ノードとの距離に応じて与えられる重みである. リンク所要コストが大きい場合には, その両端点がそれぞれ違う集合に分割されやすく, その逆は同じ集合に分割されやすくなることを表現している.

3. 仮想ネットワークへの適用例

Sioux Falls のネットワークを用いて生活圏の検出を行う. ここでは, 2 つの生活圏を特定することを目的とする. ノード {4,10,13,23} を市民の居住地, ノード {1,7,18,21} を生活必需施設とし, $\Phi_w = \{1,7\}$, $\Phi_\xi = \{18,21\}$ とする. 居住地から生活必需施設への需要はそれぞれ表-1に示す値とする. 提案手法を適用した結果図-5に示す分割が得られた. 赤いノードが Φ_w の生活圏である. 図中のノードに付した数値は(ノード番号, 前項の(2)式の $\frac{d_i^{\Phi_w}}{d_i^{\Phi_w} + d_i^{\Phi_\xi}}$ の値)である. リンク上の数値は(4)式の $\frac{1}{c_a + 1}$ の値である. 図-5 の上方のノードは生活拠点施設からの距離が近く交通量も多いことから同じ生活圏に含まれており, 妥当な結果が得られている. 一方でノード 19 は対象の生活圏の生活必需施設からも遠いにも関わらず Φ_w の生活圏に含まれることになった. Dial のアルゴリズムによる経路選択率を確認したところ, 居住地ノード 23 を起点とする生活必需施設ノード 7 と 18 への経路のみがノード 19 を経由することがわかった. 表-1においてノード 19 からノード 7 とノード 18 への交通需要は, ノード 7 に向かう交通量の方が大きい. この交通需要の大小関係によってノード 19 は Φ_w の生活圏に含まれた. Dial のアルゴリズムでは分散パラメータによって経路の数は大きく変動する. したがって, この値を適切に

表-1 居住地から生活必需施設への交通需要

		生活必需施設			
		Φ_w		Φ_ξ	
		1	7	18	21
居住地	4	100	500	100	200
	10	200	800	400	1100
	13	100	400	300	1300
	23	0	200	100	1100

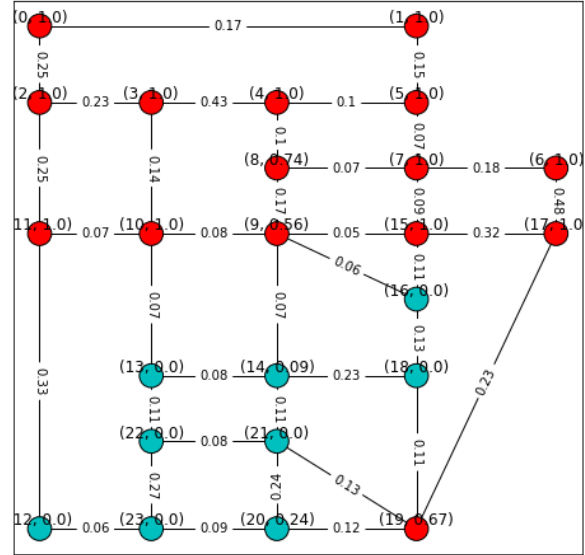


図-5 生活圏分割の結果

設定する必要があることがわかる.

4. おわりに

本稿ではグラフカットに基づく生活圏の検出手法を提案した. 仮想ネットワークへ適用した結果を示し, モデルの挙動を確認した. 実際のネットワークへ適用した結果については, 講演時に報告する.

参考文献

- 1) Ge, Q., Wang, P. and Fukuda, D.: A Community Detection for Identifying Neighborhoods. *Proceedings of the 21st HKSTS Conference*, 2016.
- 2) Newman, M.E.J. and Girvan, M.: Finding and Evaluating Community Structure in Networks, *Physical Review E* 69, 026113, pp.1-16, 2004.
- 3) Blondel, V. D., Guillaume, J.L., Lambiotte, R. and Lefebvre, E.: Fast unfolding of communities in large networks, *J. Statist. Mech.: Theory Exp.*, vol. 2008, no. 10, 2008.
- 4) BOYKOV, Y., AND JOLLY, M. P.: Interactive graph cuts for optimal boundary & region segmentation of objects in n-d images. *In Proceedings of ICCV* 2001.
- 5) LI, Y., SUN, J., TANG, C. K., SHUM, H. Y.: Lazysnapping. *In Proc. of ACM SIGGRAPH '04*, 303-308, 2004.
- 6) Dial, R. B.: A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration, *Transportation Research*, Volume 5, Issue 2, 1971, USA, Pages 83-111