

# ネットワーク上における柔軟な形状を持つ点事象集積領域の抽出法提案

井上 亮・古郡美佳

## A Method for the Detection of Flexible-Shaped Cluster of Point Events on Networks

Ryo INOUE and Mika FURUKORI

**Abstract:** Several methods have been proposed for detecting point event clusters on networks, as expansions of the “space scan statistics.” They set candidates of clusters as the regions within any network distances from any points, and succeeded to extract clusters on network; however, their outputs may include the regions where the point events are scarce. This study proposes a method for detecting flexible-shaped clusters by setting combinations of connecting links as candidates of clusters. The applicability of the proposed method is tested on locations of restaurants in Sendai.

**Keywords:** 集積抽出 (cluster detection), 点事象(point events), ネットワーク分析 (network analysis), リンクの接続関係 (connectivity of links)

### 1. はじめに

近年、測位技術・ツールの普及やオープンガバメント施策の進展などに伴い、詳細な位置情報を有する多種多様な空間データの入手環境が急速に整備されており、これらを活用した小地域の空間分析の実行可能性が高まっている。本研究は、高空間解像度の点事象分布データを用いて、集積領域を抽出する手法に着目する。

点事象分布の分析では、一般に点間のユークリッド距離が用いられる。しかし、小地域分析、特に社会経済活動に関する分析では、道路などネットワーク形状の考慮が不可欠である。そのため、ユークリッド距離を用いて点事象集積領域を検出する空間スキャン統計（例えば、Kulldorff and Nagarwalla, 1995）を、ネットワーク上へ拡張する研究（Shiode, 2011; Shiode and Shiode, 2012）が行

われてきた。これらの研究では、任意地点から一定のネットワーク距離内の領域を集積領域として抽出する手法を提案しているが、この方法は、点事象分布が少ない領域も含んだ集積領域を出力する可能性を有している。

そこで本研究では、既存手法の問題点解決を目指し、分析対象ネットワークの各リンクを集積検出の最小単位、接続関係にあるリンクの組み合わせを集積候補領域と設定し、分析する手法を提案する。提案手法の有効性を仙台市中心部の店舗立地データを用いて検討を行う。

### 2. 既往研究

まず、ユークリッド空間上の点事象集積検出法である空間スキャン統計について説明し、ネットワーク上での集積検出に拡張した一連の研究を紹介する。

空間スキャン統計では、まず、点事象の空間分布に対し、通常、ポアソン過程に従うと仮定する。抽出する集積の候補領域に関して、例えば任意点

---

井上 亮 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1

東北大学 大学院情報科学研究科

Phone: 022-217-6368

E-mail: rinoue@plan.civil.tohoku.ac.jp

を中心とした円形領域とすると設定し、点分布の仮定の下で、対立仮説 $H_1$ 「候補領域内の点事象の発生率は領域外より大きい」と、帰無仮説 $H_0$ 「候補領域の内外の点事象の発生率は等しい」の尤度比を算出し、各候補領域の集積性を判断する。分析対象領域内を走査して、尤度比が最大となる候補領域を検索し、選ばれた候補領域を最も有意性の高い領域 MLC (Most Likely Cluster)とする。

MLCの有意性は、Monte Carlo simulationで作成した点事象の無作為分布から得られる MLC の尤度比の分布と、分析対象の点事象分布から抽出された MLC の尤度比を比較し、検定を行う。

この空間スキャン統計を、ネットワーク上の点事象集積検出に拡張したのが Shiode (2011)である。空間スキャン統計と同様に、まず点事象がネットワーク上でポアソン分布に従って分布していることを仮定し、帰無仮説・対立仮説の尤度比を算出、候補領域の集積性を評価する。ネットワーク上集積の候補領域は、ネットワーク上の任意の点から一定のネットワーク距離以内の領域として設定(図-1)することを提案しており、対象ネットワーク上で候補領域を走査して MLC を抽出、分析対象のネットワーク上で作成した点事象の無作為分布の下で得られる最大尤度比分布との比較を通して、MLCの有意性を検定する。

Shiode (2011) は、作為的に集積領域を設定したシミュレーションデータを利用し、提案手法でネットワーク上の集積領域が検出可能で、通常の空間スキャン統計では誤った領域を検出する可能性があることを示している。また、Shode and Shiode (2012) はネットワークに加え、時間上における集積検出への拡張を提案している。

しかし、これらの方法は、ネットワーク距離を重視し候補領域を設定するため、強い集積がみられる領域から近いが点事象がほとんど分布しない領域も含めて、集積領域として抽出する可能性がある。例えば、ひったくり発生地点を分析する場合を考える。ひったくりは、通常、人通りの少

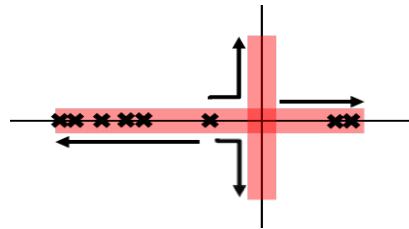


図-1 ネットワーク距離で設定する集積候補領域

ない裏通りで多発し、人通りの多い大通りでは発生しない。しかし、候補領域をネットワーク上の任意点から一定ネットワーク距離内の範囲と設定する場合、ひったくり多発地域に近いが、犯罪が発生していない大通りも集積候補領域として一緒に選ばれてしまう可能性がある。

また、候補領域中心点やネットワーク距離の設定は膨大であるため、設定し得る全ての候補領域に関して集積性を確認することは現実的ではない。既往研究では、分析対象範囲内に格子状に基点を配置し、各基点から一定間隔に設定した距離について候補領域を作成して尤度比を算出し、MLCの探索を行っている。なお、限定された地点を基点に候補領域を設定する場合でも、ネットワーク上の距離計算や領域分割を行う必要があるため、計算負荷は大きい。

以上のように、ネットワーク上における点事象の集積領域を抽出する手法は提案されているものの、分析には限界を有している。

### 3. リンク単位の候補領域設定による

#### ネットワーク上の点事象集積領域抽出の提案

本研究は、分析ネットワークの各リンクを集積検出の最小単位とし、接続するリンクの組み合わせを候補領域と設定する方法を提案する。

各リンクを集積検出の最小単位とすることで、候補領域の基点設定や、ネットワーク距離に基づく領域分割という計算負荷の大きい操作を避けることができる。更に、リンク毎に候補領域に含めるか考慮できるため、基点からのネットワーク距離で候補領域を設定する場合と異なり、強い集積がみられる領域から距離が近いが点事象分布

が少ない領域を含めない候補領域設定もできる。

提案するネットワーク上の集積領域検出法は、以下の通りである。

まず、ネットワーク上の点事象分布はポアソン分布に従い、各事象は互いに独立に分布していると仮定し、尤度比を用いたMLCの検出を行う。

候補領域は、分析ネットワークの接続リンクの組み合わせを作成する。例えば、図-2の点事象分布を分析する場合、14通りの候補領域

$\{1\}$ ,  $\{2\}$ ,  $\{3\}$ ,  $\{4\}$ ,  $\{1, 2\}$ ,  $\{1, 3\}$ ,  $\{1, 4\}$ ,  $\{2, 3\}$ ,  $\{2, 4\}$ ,  $\{3, 4\}$ ,  $\{1, 2, 3\}$ ,  $\{1, 2, 4\}$ ,  $\{1, 3, 4\}$ ,  $\{2, 3, 4\}$ を設定し尤度比を算出する。

なお、点が全くないリンクを候補領域に含めると尤度比は必ず低下するため、分析対象から除外し候補領域数を減らすことを考える。しかし、点がないリンクとその両端に接続するリンクを結合すると、より尤度比の大きい候補領域が得られる可能性がある。「候補数の削減」と「尤度比の大きい候補領域設定の可能性」に関するトレードオフを考慮し、リンクの両端に、点が分布するリンクが接続していないリンクを候補から外すこととする。図-2の場合、リンク2・4を候補から外し

$\{1\}$ ,  $\{3\}$ ,  $\{1, 3\}$

の3候補を作成して尤度比を算出し、最大尤度比を算出する $\{1, 3\}$ をMLCとして抽出する。

この候補数の削減を実施しても、対象領域のネットワークが大きくなると、候補領域数は指数関数的に増加するため、対象領域全域から一度に候補領域を構成することは現実的ではない。そこで、ユーダリッド空間上での点事象集積を目指した階層的な隣接地域結合操作に基づく点事象の時空間集積検出(糟谷・井上, 2012)と同様に、対象領域を小さな集計単位に分割し、集計単位毎に尤度比の高い集積候補領域を抽出、その後、抽出された候補領域の組み合わせから更に尤度比の高い領域を探索するという操作を繰り返し、対象領域全体での集積領域を検出する。

なお、空間スキャン統計に基づく本提案手法は、

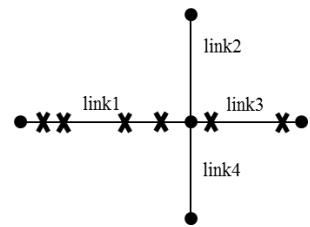


図-2 点事象分布とネットワーク形状 例

同時に1箇所の集積領域の抽出・検定しか実行できない。これは、尤度比算出時の対立仮説・帰無仮説が、集積領域が対象領域内で1箇所しか存在しないことを前提とするためである。空間スキャン統計を用いて、複数の集積領域を検出する場合には、以前の分析により抽出された集積領域を所与とした条件の下で集積抽出を行い対応することも可能であるが、複数の集積領域が存在することを前提とした分析と異なる結果をもたらす可能性があることには注意が必要である。

#### 4. 適用

仙台市青葉区内の居酒屋店舗立地データに対して提案手法を適用し、その有効性を評価する。

Open Street Mapの道路ネットワークデータと、座標付き電話帳「テレポイント®Pack!」の居酒屋立地地点データを使用し、集積領域の検出を行った。総リンク数は11368本、総リンク長は1358km、総店舗数は501件である(図-3)。

提案手法を適用した結果、計10箇所の集積領域が検出された。その中でMLCとして検出された地域を拡大した結果を図-4に示す。黒点が居酒屋の立地点を表し、色が付けられたリンクが集積領域を表す。検出された集積領域の概要を表-1に示す。

提案手法によって、対象領域内で最も集積が顕著な領域が抽出できることが確認された。抽出されたリンクは、定禅寺通りと広瀬通り、それに交差する国分町通りや稻荷小路など仙台市中心部の繁華街である国分町の主な街路であり、居酒屋の集積地として尤もらしい。

また、この適用では数秒で集積抽出が完了しており、一定の適用可能性が確認された。

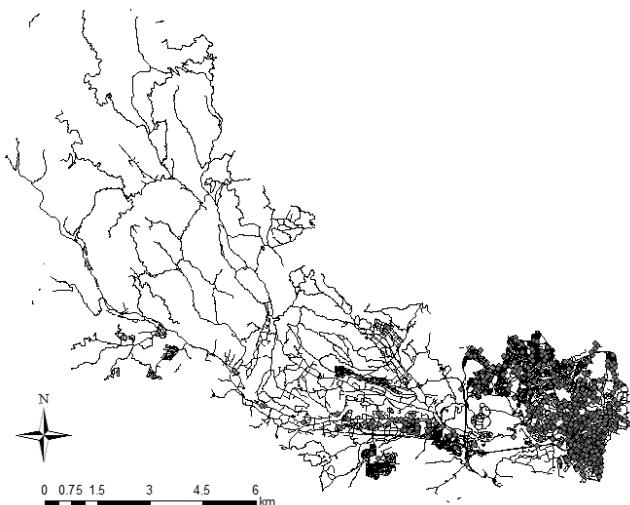


図-3 道路ネットワークと居酒屋分布

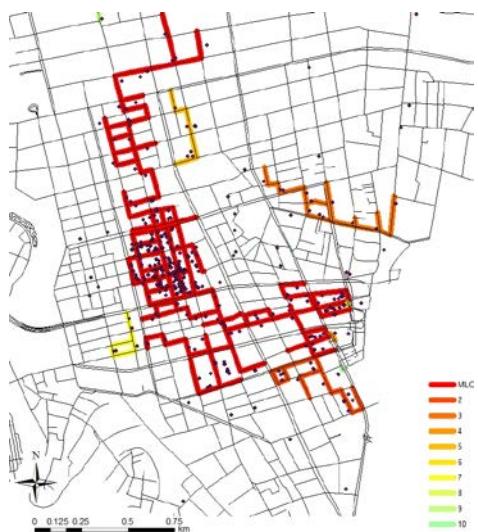


図-4 仙台市中心部の居酒屋集積地域検出結果

表-1 居酒屋集積地域検出結果

集積 領域	対数	店舗数		リンク長	
		尤度比	(件)	(%)	(km)
1	1390	363	72.5	12.99	0.96
2	52.0	14	2.8	1.27	0.09
3	41.0	12	2.4	1.62	0.12
4	38.6	6	1.2	0.04	0.00
5	33.7	8	1.6	0.56	0.04
6	29.0	4	0.8	0.01	0.00
7	19.8	5	1	0.51	0.04
8	17.6	4	0.8	0.27	0.02
9	15.5	4	0.8	0.48	0.04
10	13.6	2	0.4	0.01	0.00

## 5. おわりに

本研究では、ネットワーク上の点事象集積検出に関して、各リンクを集積検出の最小単位とし、接続関係にあるリンクの組み合わせを集積候補領域として設定して分析する手法を提案した。店舗立地データを用いた適用では、集積性の高い領域のみを抽出することに成功し、提案手法の有効性が確認された。

なお、複数の集積領域の同時抽出法 (Mori and Smith, 2009) を利用した拡張や、時空間集積検出への拡張は、今後の課題である。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24241053 の助成を受けて行われた。また、東京大学空間情報科学研究センターの空間データ利用を伴う共同研究 (No. 456) による成果であり、座標付き電話帳「テレポインツ®Pack!」のデータを利用した。

## 参考文献

- 糟谷志帆, 井上 亮. 2012. 階層的な隣接地域結合操作に基づく点事象の時空間集積検出の提案. 地理情報システム学会講演論文集, **21**, C-6-3, CD-ROM.
- Kulldorff, M. and Nagarwalla, N., 1995. Spatial disease clusters - detection and influence, Statistics in Medicine, **14**, 799–810.
- Mori, T. and Smith, T.E. 2009. A probabilistic modeling approach to the detection of industrial agglomerations. KIER Discussion Paper.
- Shiode, S. 2011. Street-level spatial scan statistic and STAC for analyzing street crime concentrations. Transactions in GIS, **15**, 365–383.
- Shiode, S. and Shiode, N. 2013. Network-based space-time search-window technique for hotspot detection of street-level crime incidents. International Journal of Geographical Information Science, **27**, 866–882.