

# 情報量損失最小化法を応用した相対的人口集中地区の抽出

## 都市縮小・拡大市町村数の経年変化分析

○川邊 晃大\*<sup>1</sup> 渡辺 俊\*<sup>2</sup>

キーワード：GIS DID 都市縮小 平均情報量

### 1. はじめに

本格的な人口減少時代に突入したわが国の都市計画は今後の避けられない全国的な都市縮小をいかに環境・住民負担の少ない形でコントロールし、より効率的な都市形態へと誘導していけるかが問われている。一方で都市縮小実態の把握方法に関しては、単純な市町村の人口や世帯数等の減少ではなく、実質的な市街地範囲の縮小を指標として用いようとする場合、全国レベルでの実態把握は困難であるという意見もある<sup>1)</sup>。実際に、都市縮小の実態把握研究としては限られた範囲におけるケーススタディが多く、長期に渡って全国レベルでの都市縮小実態を概観するような研究は少ない。

こうした中、全国的な都市縮小現象の実態把握へのアプローチとして浅野ら(2014)<sup>2)</sup>はDID(人口集中地区)の縮小を指標として都市縮小を規定し、平成17年から平成22年の間でのDID縮小の発生地域特性の類型化等を行っている。しかしDIDを十分に持たないような小規模な市町村においては、この方法で都市縮小を規定することは難しい。このため真に全国的な都市縮小の発生実態を把握するためには都市規模に応じた相対的基準での人口集中地域を規定し、その変化に基づいて都市縮小を規定するというアプローチが必要だと考えられる。

相対的な基準で人口等の集中地域を規定する手法として、Amindarbariら(2013)<sup>3)</sup>は都市圏形態定量化手法群「Metropolitan Form Analysis(MFA)」の1つとして都市圏の多核性分析手法「Polycentricity」を提案した際に、雇用者数等の空間分布から都市規模に応じた相対的な「密度基準」と「人口基準」に基づいて都市の中心核を規定する方法を提案している。そして川邊ら(2018)<sup>4)</sup>は上記の手法を応用し、雇用者数の代わりに常住人口を用いて抽出した中心核を「相対的人口集中地区(RDID)」として扱い、その縮小を都市縮小の指標としている。

一方でMFAの説明書<sup>5)</sup>中では、既定の基準値設定式の修正が必要となる場合があることが示唆されており、上記の手法の基準値設定には議論の余地が残る。ここで、「対象圏域にて相対的に人口が集中する地域の密度基準を規定する」ということは、「圏域内の単位区人口密度の空間データをその大きさに基づいて2つのクラスに二分する閾値を設定する」と読み換えることができる。この

ような空間データのクラス分けを適切な形で行う手法として、大佛(2003)<sup>6)</sup>はクラス分けの際に失われる情報の少なさを基準とする「情報量損失最小化法」を提案している。この手法を密度基準の設定に応用することで当該圏域の空間データに固有の順位分布の特性を情報量の劣化が最小であるという意味においてより適切に捉えた「相対的な人口の集中地区」の特定・抽出が期待できる。

### 2. 研究の目的

本研究では先に述べた「都市圏の多核性分析手法」と「情報量損失最小化法」を応用した都市の相対的人口集中地区(RDID)を規定する方法を提案する。その後、過去の人口データおよび将来の人口推計データに基づいて全国の市町村にてRDIDを抽出し、各年間のRDIDの変化を指標とした場合の全国の市町村における都市縮小の発生状況を都市拡大と対比させつつ概観することで、都市縮小に関する全国的な発生状況に関する知見を得る。

### 3. 中心核抽出方法の詳細

本研究での相対的人口集中地区(RDID)の規定方法の具体的な説明に入る前に、先述の多核性分析手法「Polycentricity」における中心核抽出方法を概説する。この方法は対象圏域にて相対的に密度基準及び人口基準を設定した後、DIDと同様に「密度基準による個別単位区の抽出」と「人口基準による単位区連続地域の除外」を通じて入力空間データに基づく対象圏域の中心核を規定する。具体的には「①入力値・単位区の設定」、「②高密度地域の抽出」、「③中心核候補の設定」、「④一定基準を満たさない候補の除外」の4ステップを経て中心核が規定される(図1)。

この手法の課題点としては、分析対象となる空間データの性質によっては既定の基準値設定式のパラメーター等を修正する必要があることが挙げられる。例えば、既定の基準値設定式に基づいて東京特別区部等の大規模な都市圏の常住人口の中心核の抽出を試みると、人口基準及び密度基準を満たす地域が無く、中心核が抽出されない場合がある。こうした場合には密度基準設定式中の「s:標準偏差」の係数(既定値は2)を引き下げた基準を用いる等の基準設定の修正が必要といえる。

一方で、このようにして既定値を引き下げた基準を用いるとした場合、小規模な市町村の常住人口の中心核の抽出にまでその基準を用いると、人口密度が過度に低い単位区までもが中心核として抽出される場合がある。すなわち、「s: 標準偏差」の係数が固定された密度基準設定式を用いて規模の違う複数圏域を分析しようとする、密度基準が過大あるいは過小に評価される圏域が生じてしまうこととなる。このことも手法の課題点といえる。

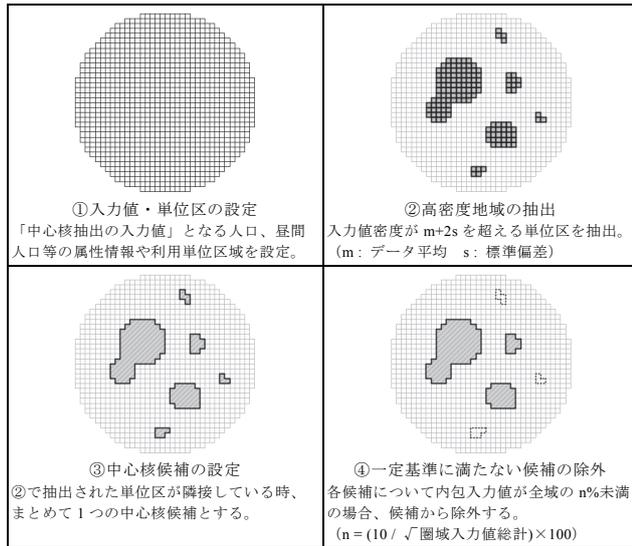


図1 Polycentricityによる中心核抽出の4ステップ  
(川邊ら (2018) より図を引用し作成)

#### 4. 本研究での相対的人口集中地区 (RDID) の規定方法

##### 4.1. 情報量損失最小化法について

続いて情報量損失最小化法について概説する。情報量損失最小化法は空間データのクラス分けに際して、原データからの情報の損失が最も少なくなるようにクラス分けを行う方法である。手法の前提として、空間データが表現する観測対象物の空間分布は各地点に固有の分配確率に基づいて観測対象物が分配された実現値だと考える。そして各地点の分配確率が成す確率分布の平均情報量がクラス分けの前後でどの程度変化するかを情報量損失率として指標化し、その値が最も小さくなる境界値を用いてクラス分けを行う。具体的に、各地点  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) における観測対象物の数量を  $x_i$  とし、原データ  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) を  $m$  個のクラス  $C_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) に分類とした場合の「原データの平均情報量:  $I_0$ 」、「クラス分け後のデータの平均情報量:  $I$ 」、「情報量損失率:  $L$ 」はそれぞれ次の式 (1)、(2)、(3) で計算できる。

$$I_0 = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

ただし、 $p_i = x_i / \sum_{j=1}^n x_j$

$$I = - \sum_{k=1}^m N_k q_k \log_2 q_k \quad (2)$$

ただし、 $q_k = \sum_{i \in G_k} x_i / N_k \sum_{j=1}^n x_j$

$$L = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$N_k$  はクラス  $C_k$  に含まれるデータの個数であり  $G_k$  は  $C_k$  に含まれるデータの添え字の集合である。また  $p_i$  は原データにおける地点  $i$  の分配確率であり、 $q_k$  はクラス分け後にクラス  $C_k$  に分類された地点が共有する分配確率である。

情報量損失最小化法では、あらかじめデータのクラス分け後のクラスの個数を定めておき、またソートして順位がタイであるデータを一まとめにしておく。そしてデータを  $m$  個のクラスに分類する際の  $m-1$  個の境界値を変動させて「情報量損失率:  $L$ 」が最も小さくなる境界値の組み合わせを求める。

##### 4.2. 本研究での RDID の規定方法の詳細

本研究では川邊ら (2018) と同様に Polycentricity における中心核抽出方法を常住人口データに適用して抽出された中心核を RDID として扱う。ただし、密度基準設定 (図 1 の②) に際して既定の設定方法の代わりに情報量損失最小化法を応用した基準値設定を行う。具体的な RDID 抽出のフローを図 2 に示す。図 2 中の作業②が「密度基準による個別単位区の抽出」に該当し、作業④が「人口基準による単位区連続地域の除外」に該当する。人口基準は Amindarbari ら (2013) のものを直接用いる。

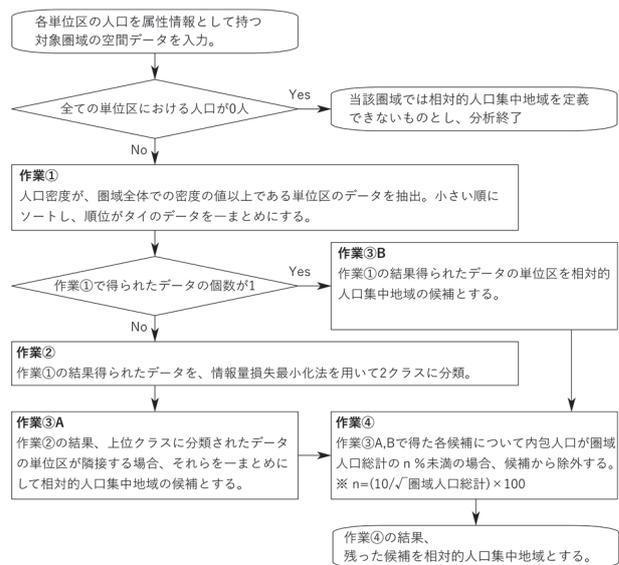


図2 相対的人口集中地区の規定のフロー

図 1 に示すように Polycentricity における中心核抽出方法は密度基準を「密度がデータ平均を超過し、その差が標準偏差の 2 倍よりも大きいような単位区」と設定して

いる。これは人口密度がデータ平均を超過しているものの中から、さらに一段と密度が高い地域を「平均との差が標準偏差の2倍」という基準を用いて抽出していると考えることができる。本研究での密度基準設定もこの手続きを踏襲し、人口密度の値が圏域全体での人口密度以上である単位区のデータの中から、さらに一段と密度が高い地域を抽出するように情報量損失最小化法を用いたクラス分けを行う(図3)。なお、ここで用いられる情報量損失最小化法ではデータを二分する1つの境界値のみを求める。そのため、データのソート後に各順位のデータ値を境界値として用いた場合の「情報量損失率:L」を順々に求めていくことで、Lが最小となる境界値が簡単に求まる。

### 4.3. 本研究における RDID 規定方法の特長

情報量損失最小化法を応用した相対的人口集中地区(RDID)の規定方法は、原データとの情報量の類似性を考慮しながら適切に高密度地域を抽出する基準値を求め、それに基づいてRDIDを規定する手法といえる。このことから前述したような従来の中心核抽出方法の課題点であった「密度基準設定式の修正の必要性」や「密度基準の過大・過小評価の可能性」を考慮することなく、対象圏域に応じた密度基準設定が可能であるという特長を持つ。

具体的な例として表1に大規模圏域(東京特別区、大阪市)と小規模圏域(仙北市、八幡平市)の2015年の500mメッシュ人口データ<sup>注1)</sup>に対して、既定の密度基準(平均+標準偏差×2)を用いた場合、既定値を引き下げた基準(平均+標準偏差×1)を用いた場合、そして本研究における情報量損失最小化法を応用した手法を用いた場合のそれぞれにより規定されるRDIDの範囲を示す。これを見ると密度基準に「平均+標準偏差×2」を用いた場合と「平均+標準偏差×1」を用いた場合では、それぞれ大規模圏域における密度基準の過大評価と小規模圏域における基準の過小評価が見られる。その一方で情報量損失最小化法を応用した手法では、大規模圏域と小規模圏域の両方において適切にRDIDが規定されていることが分かる。

## 5. 過去及び将来の都市縮小・拡大市町村数の変化

本章では1995年から2015年までの500mメッシュ人口データ<sup>注1)</sup>と、2020年から2050年まで5年間隔で推計された将来人口推計500mメッシュデータ<sup>注2)</sup>を用いて全国の市町村<sup>注3)</sup>の各年における相対的人口集中地区(RDID)を抽出し、その面積変化を指標として各期間における都市縮小・拡大の発生市町村数の変遷を分析する。

表1 大規模圏域と小規模圏域における各密度基準設定方法を用いた場合の相対的人口集中地区(RDID)

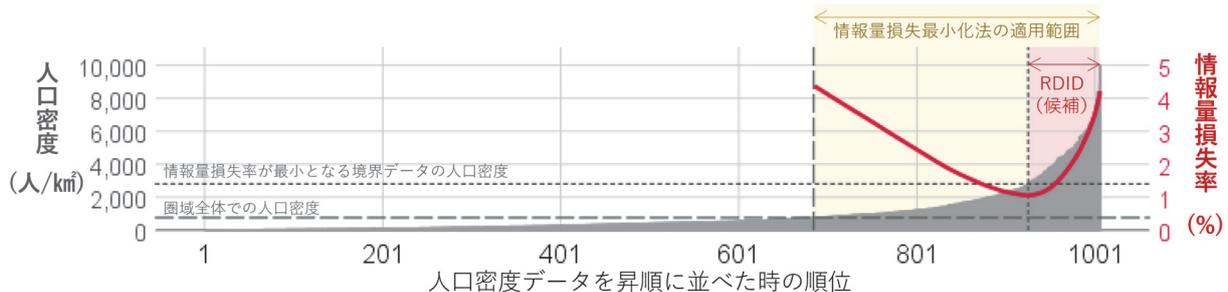
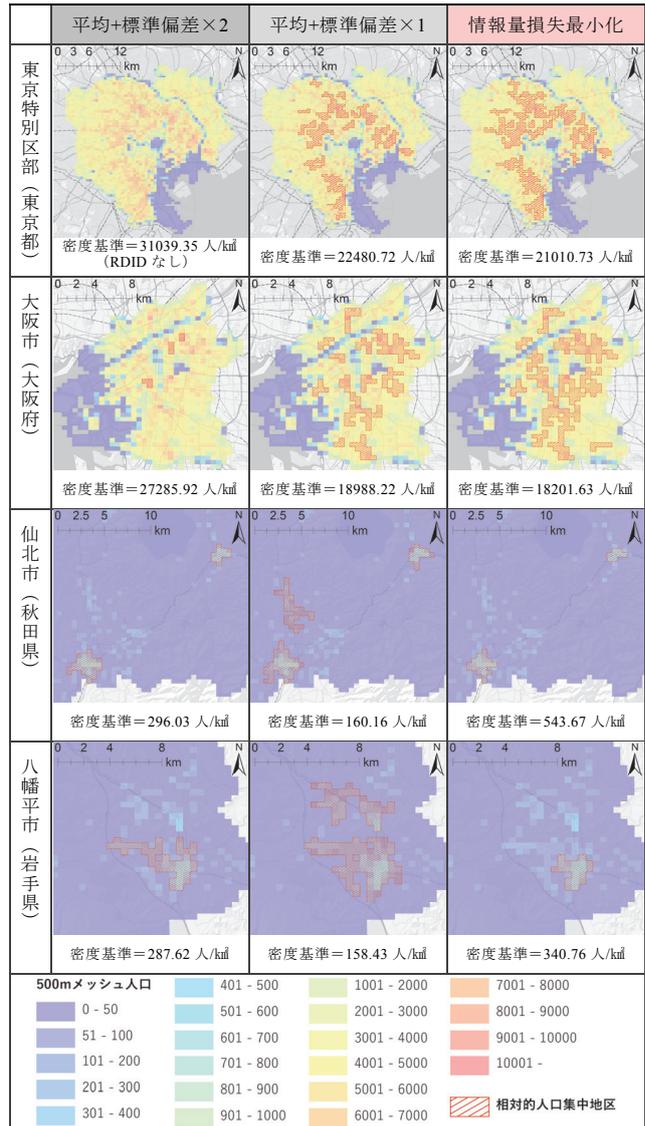


図3 本研究でのRDIDの密度基準設定イメージ(茨城県つくば市、2015年の500mメッシュ人口での例示)

ここで、異なる年の人口データにおいて抽出された RDID の広がりやを直接比較する場合、密度基準あるいは人口基準の上昇の影響で人口が減少していないにもかかわらず RDID 面積が縮小する場合がある（拡大についても同様である）。これを考慮し、当該年の RDID 抽出の基準値を直接その 5 年後の人口データに適用することで得られる領域を「5 年後の年の相対的人口集中地域（RDID'）」とし、5 年後の年の RDID' 面積と当該年の RDID 面積を比較することで各期間の都市縮小・拡大を判断することとした（表 2）。

表 2 都市縮小・拡大の規定イメージ

	1995年の人口データ	2000年の人口データ	2005年の人口データ	2010年の人口データ	2015年の人口データ	...
1995年の密度・人口基準	1995年の RDID	2000年の RDID'				
2000年の密度・人口基準	面積比較	2000年の RDID	2005年の RDID'			
2005年の密度・人口基準		面積比較	2005年の RDID	2010年の RDID'		
2010年の密度・人口基準			面積比較	2010年の RDID	2015年の RDID'	
...				面積比較	...	...

5年後の年のRDID'面積-当該年のRDID面積<-0.2km<sup>2</sup> …都市縮小  
 5年後の年のRDID'面積-当該年のRDID面積<0.2km<sup>2</sup> …面積変化なし  
 5年後の年のRDID'面積-当該年のRDID面積>0.2km<sup>2</sup> …都市拡大

分析の結果得られた各期間における RDID の変化を図 4 に示し、1995 年時点での人口規模ごとの人口増減別の

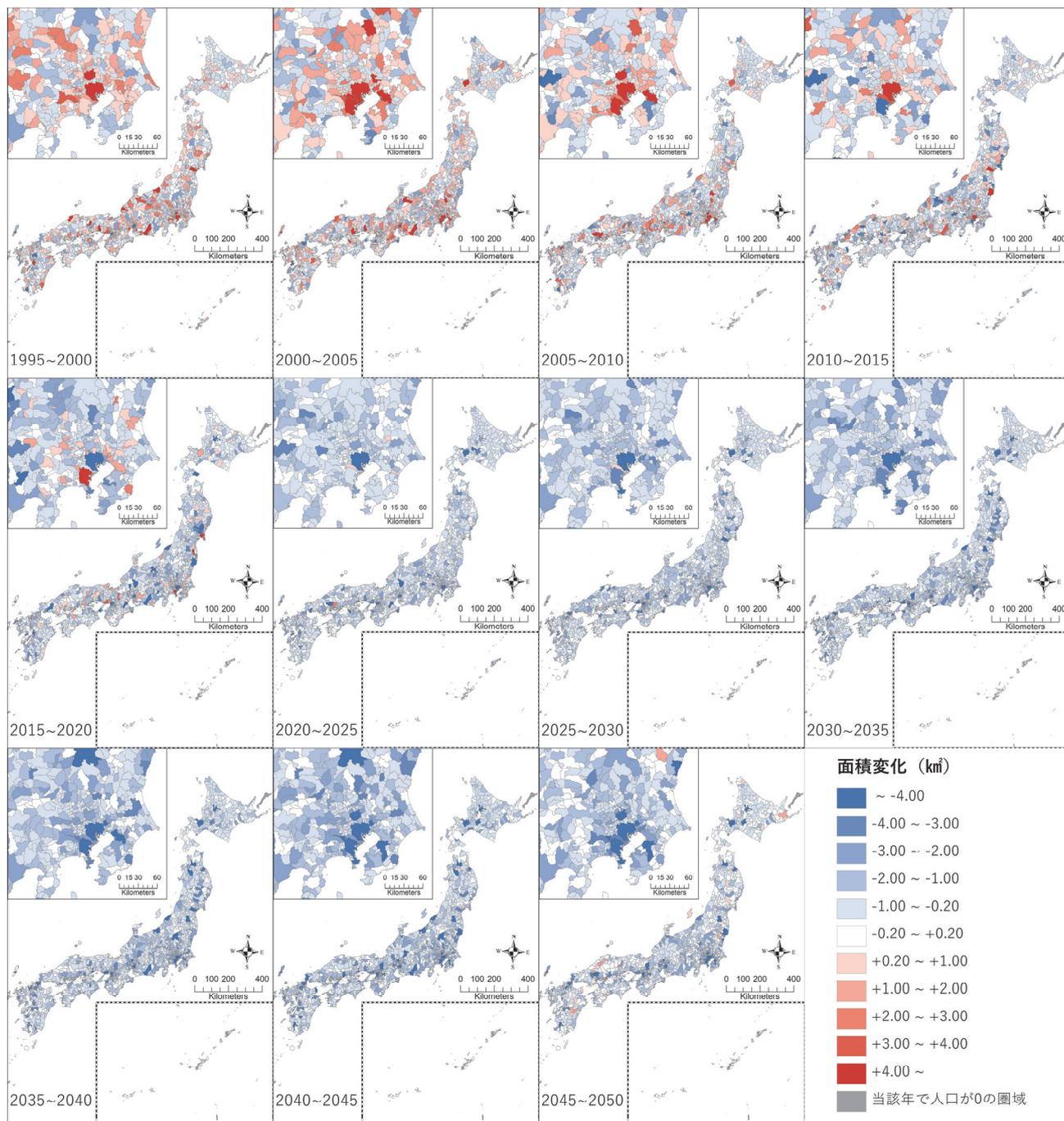


図 4 全国の市町村圏域における 1995 年から 2050 年までの各期間の RDID と RDID' の面積比較

都市縮小・拡大の発生市町村数の変化を図5に示す。

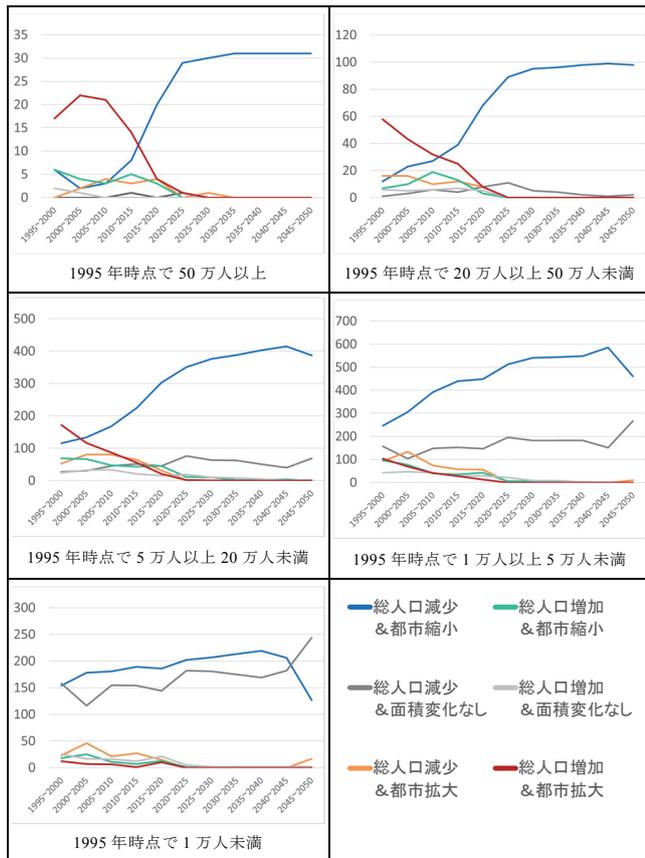


図5 人口規模ごとの人口増減及び都市縮小・拡大の発生市町村数の変化

図4及び図5を見ると、2015年から2020年までの変化までは主に人口規模の大きい市町村において都市拡大がみられるが、それ以降の期間では拡大が発生している市町村は少なくなっていることが分かる。一方で、人口減少の下で都市縮小が発生している市町村数は年々増加しており、2020年以降の変化では全国の市町村の大半が都市縮小傾向にあることが見て取れる。また人口減少下で都市縮小が発生する市町村数が人口増加下で都市拡大が発生する市町村数を上回るタイミングは、人口規模が小さくなるほど早いことが見て取れる。

## 6. まとめ

本研究では情報量損失最小化法を応用した相対的人口集中地区 (RDID) の規定方法を提案し、その面積変化に基づいて1995年から2050年までの全国の市町村における都市縮小・拡大の発生状況を分析した。得られた主な知見は以下の様にまとめられる。

- Polycentricity における中心核抽出方法の密度基準の設定に情報量損失最小化法を応用することで、原データの特性を反映し基準値の過大・過小評価の発生を抑えたRDIDの抽出・規定が可能となる。

- 過去の人口データおよび将来の人口推計データに基づく、1995年から2020年までの各期間では主に人口規模の大きな市町村で都市拡大がみられる一方で、2020年以降の期間では大部分の市町村が都市縮小を呈すると予想される。
- 人口減少下で都市縮小を呈する市町村数が人口増加下で都市拡大を呈する市町村数を上回るタイミングは、人口規模の小さい市町村群ほど早い傾向にある。本研究では都市縮小を呈する市町村数の変化のみに着目しており、RDIDの縮小領域における地域特性等の把握などの詳細な縮小地域に着目した分析は行われていない。これについては今後の展望としたい。

## 【注釈】

- 注1) 総務省統計局「政府統計の総合窓口 (e-stat)」より当該年の国勢調査に基づく500mメッシュごとの常住人口データをダウンロードして利用。分析対象圏域範囲と交差するメッシュまでを対象圏域範囲のデータとして用いる。
- 注2) 国土交通省国土政策局国土情報課「国土数値情報ダウンロードサービス」より「500mメッシュ別将来推計人口 (H29国政局推計) (shape形式版)」をダウンロードして利用。分析対象圏域範囲と交差するメッシュまでを対象圏域範囲のデータとして用いる。
- 注3) 本研究では2015年1月1日時点での1719の市町村圏域 (東京特別区部を1圏域として含む) を全国の市町村圏域として固定して用いる。すなわち元々は別々の市町村であった圏域でも合併等により2015年1月1日時点で同一市町村であるならば一つの市町村圏域として扱う。

## 【参考文献】

- 1) 一般社団法人日本建築学会編:都市縮小時代の土地利用計画—多様な都市空間創出へ向けた課題と対応策, 学芸出版社, 2017
- 2) 浅野純一郎, 原なつみ: 地方都市におけるDID縮小区域の発生状況とその特性に関する研究, 公益財団法人日本都市計画学会 都市計画論文集, Vol.49, No.3, pp.651-656, 2014.10
- 3) Amindarbari, R. and Sevtsuk, A.: Measuring Growth and Change in Metropolitan Form, City Form Lab at the Singapore University of Technology and Design UAA2013 in San Francisco, 2013  
[http://media.voog.com/0000/0036/2451/files/20130320\\_final.pdf](http://media.voog.com/0000/0036/2451/files/20130320_final.pdf), (accessed 2018-07-11)
- 4) 川邊晃大, 渡辺俊: 多核性に関する指標を用いた都市圏中心核の形態分析 - 人口減少時代を迎えるわが国の都市圏の形態変化に関する研究 (その1) -, 日本建築学会計画系論文集, 第83巻, 第743号, pp.137-144, 2018.1
- 5) “Metropolitan Form Analysis Toolbox for ArcGIS v10.2 and v10.3.1 20150913”. Metropolitan Form Analysis toolbox for ArcGIS — City Form Lab.  
[http://media.voog.com/0000/0036/2451/files/20150913\\_MFA\\_Help.pdf](http://media.voog.com/0000/0036/2451/files/20150913_MFA_Help.pdf), (accessed 2018-07-11)
- 6) 大佛俊泰: 空間データの視覚化のための情報量損失最小化法, 日本建築学会環境系論文集, 第68巻, 第574号, pp.71-76, 2003.12

\*1 筑波大学大学院システム情報工学研究科

\*2 筑波大学システム情報系 教授 博士(工学)

# Detection of Relative Densely Inhabited District by Applying Information Loss Minimization

An analysis of secular change in the number of shrinking or expanding cities

○Akihiro KAWABE\*<sup>1</sup> Shun WATANABE\*<sup>2</sup>

Keywords : GIS, DID, City Shrinkage, Entropy

In an era of shrinking population in Japan, Cities are required to control the city shrinkage and to induce an efficient urban structure. However, identifying and analyzing shrinkage in whole cities by substantial urban area shrinking as an index had been considered almost impossible and there were less studies on analyzing city shrinkage in whole cities on a long-term basis in Japan. In this situation, Asano et al. (2014) identified the shrinkage as Densely Inhabited District (DID) shrinking and analyzed the characteristics of the shrinking area for understanding the city shrinkage.

As an issue of this method of identifying the city shrinkage, shrinkage in the cities where no DID exist can't be detected. Taking this into consideration, Kawabe et al. (2018) identified Relative Densely Inhabited District (RDID) in whole Japanese cities as the permanent population centers which are detected by an urban form analyzing method "Polycentricity" proposed in Amindarbari et al. (2013). RDID area in Kawabe et al. (2018) is detected by relative density level and population level of each cities, therefore It can be detected in the cities where no DID exist and analyzing the city shrinkage with RDID shrinking as an index. However, the method of setting a density level for RDID in Kawabe et al. (2018) tends to overestimate the density level at a large city. Although this setting method can be adjusted by decreasing a parameter to avoid overestimating, the density level with a decreased parameter tends to be underestimated at small cities.

This paper discusses a method of setting appropriate density level of RDID which applies "Information Loss Minimization" proposed by Osaragi (2003) and describes the result of an analysis of the changes in the number of shrinking cities or expanding cities from 1995 to 2050 using RDID changes as an index. The findings in this paper are summarized as follows:

- Using the method which applies "Information Loss Minimization" for density level setting instead of the default setting method in Amindarbari et al. (2013) and Kawabe et al. (2018), density levels in large cities or small cities are not overestimated or underestimated.
- According to past and prospective population data at 500m mesh, although city expanding appears in relatively larger cities from 1995 to 2020, most cities are expected to show the shrinkage in each period after 2020.
- The period when the number of shrinking city with population decreasing becomes larger than the number of expanding city with population increasing tends to be earlier in smaller cities.

---

\*1 Graduate School of Systems and Information Engineering, Univ. of Tsukuba

\*2 Prof., Faculty of Engineering, Information and Systems, Univ. of Tsukuba