土地利用の変遷に着目した局所人口分布の空間変動の分析

白石彩乃*・熊谷樹一郎・卯田航平*****

Analysis of spatial variation in local population distribution focusing on land use change

Ayano Shiraishi*, Kiichiro Kumagai**, Kohei Uda***

Abstract: Japanese population is currently declining. This population decline may lead to a decrease in social development and difficulties in maintaining urban functions. The government is promoting measures to concentrate urban functions within walking distance and increase population density. On the other hand, the "Urban spongification" phenomenon, in which vacant houses and lots randomly occur in urbanized areas, is one of the issues because it may also hinder population concentration. We have focused on the spatial distribution of local population in urban areas and developed methods to statistically define and understand the size of low population density areas. However, the relationship between the spatial characteristics of local population and land use has not been sufficiently examined. This study aims to clarify the relationship between the characteristics of local population distribution and the land use status over a 25-year period.

Keywords: 都市のスポンジ化（Urban spongification），人口動態（Population dynamics），空間的自己相関（Spatial autocorrelation），土地利用（Land use），用途地域（Land use zones）

１．はじめに

日本の総人口は戦後の急激な経済成長に伴って増加し，1967 年に一億人を超えた．しかし 2008 年をピークに人口は減少傾向に転じ，2053 年には再び一億人を下回ると推計されている．このような人口減少は社会の開発意欲の低下や都市機能の維持困難を招き，さらなる都市の衰退を進行させる恐れがあると指摘されている．

国土交通省は対策案として，徒歩圏内に都市機能を集約し，人口を集積させることを目指した「コンパクト・プラス・ネットワーク」を推進している．これは小スケールの市街地を形成し，公共サービスや産業活動の維持・活性化を期待するものである．一方，都市の小さな敷地単位で空き家・空き地などの低・未利用地が不規則に発生する「都市のスポンジ化」が課題として挙げられている．この現象はコミュニティの衰退や治安・景観の悪化を促し，人口の集積を妨げる要因ともなり得るため，都市構造の変化が進む現在，都市のスポンジ化に対応した中長期的な都市構造のモニタリングが求められる．

著者らは人口の空間分布そのものに着目し，市街地における人口の低密な範囲を統計的に定義・把握する手法を開発してきた．これにより局所人口の空間分布の広がりを詳細に把握することが可能となった(Kumagai et al., 2021, 2022). 具体的には人口の増加期，減少期における都市構造の変化の分析や人口集中地区の適用性の検証などを行ってきた．一方で，開発した手法は局所人口データの空間特性を定量化するものであり，土地利用の推移や規制などとの関連性については十分に検討されてこなかった．

そこで本研究ではこれまで開発してきた空間分析法をもとに，土地利用の変化に着目し，局所人口分布の特性について 25 年間の空間的変遷の特性を明らかにする．

２．対象領域および対象データの選定

対象領域として大阪府全域を採用した．大阪府ではほぼ全域が都市計画区域に指定されており，対象領域内には多様な空間パターンで人口が分布している．

対象データとしては，国勢調査基本単位区別集計の 1995 年度，2020 年度の人口分布データ，国土地理院数値地図の 1974 年度，1996 年度の細密数値情報 10m メッシュ土地利用データ，国土数値情報の 2021 年度の 50m メッシュ土地利用詳細データ，行政区域データ，2019 年度の用途地域データを採用した．

３．使用手法

３．１　局所人口データを用いた空間分析方法

著者らが開発・整備した局所人口の空間分布特性を抽出する手法は，局所的な空間的自己相関測度$G_i(d)$に基づいている．点iからの距離パラメータdの範囲内における重み係数$w_{ij}(d)$と属性値u_jを用いて，$G_i(d)$は式(1)で定義され，u_jの高い値，もしくは，低い値の集積度を表す（Ord

*　学生会員　摂南大学大学院理工学研究科社会開発工学専攻（Setsunan University）
〒572-8508　大阪府寝屋川市池田中町 17-8　E-mail：201036sa@gmail.com
**　正会員　摂南大学大学院理工学部都市環境工学科（Setsunan University）
***　非会員　摂南大学大学院理工学研究科社会開発工学専攻（Setsunan University）

et al.,1992).

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)u_j}{\sum_j u_j} \qquad i \neq j \qquad \text{式(1)}$$

標準化正規化変量$z_i(d)$は，局所的な空間的自己相関測度$G_i(d)$の期待値$E[G_i(d)]$と分散$\sqrt{V_{ar}[G_i(d)]}$を用いて，式(2)のように得られる．

$$z_i(d) = \frac{G_i(d) - E[G_i(d)]}{\sqrt{V_{ar}[G_i(d)]}} \qquad \text{式(2)}$$

標準化正規化変量は，有意水準(本研究では10%に設定)によって「正・負の空間的自己相関あり」と「空間的自己相関なし」に判定される．本研究ではu_jに局所人口を割り当てるとともに，次のように判定結果を応用した．

距離パラメータdの増加に応じた「正・負の空間的自己相関あり」・「空間的自己相関なし」の判定領域の変化率が収束した時点の距離パラメータを最大値d_{max}とする．計測地点iにおいてd_{max}から距離パラメータを段階的に小さくし，「正の空間的自己相関あり」の有無を検査していく．図-1 のように局所人口u_jの分布が「正の空間的自己相関あり」と判定されなくなった距離パラメータd_kをASP (Ambiguity of Spatial scale in densely Populated area: 高人口集積内空間不確定量)と定義した(Kumagai et al., 2021, 2022). d_{k+1}からd_{max}の範囲内では局所人口の合計が有意に高くなっているが，その内側のd_k(=ASP)の範囲に限り局所人口の合計が相対的に低くなっていることになる．つまりこのd_kは都市部での局所人口の空洞化が生じている可能性がある．なお，これらの計算により「正の相関あり」がどのdでも生じない場合は「相関なし」と判定し，少ない局所人口が非常に広い範囲で拡がっていることから，ここではASP$_\infty$と表す．また，すべての距離パラメータで「正の相関あり」となった場合，局所人口の合計が低い範囲がない(高い局所人口が集積している)とし，ASP$_0$と表している．

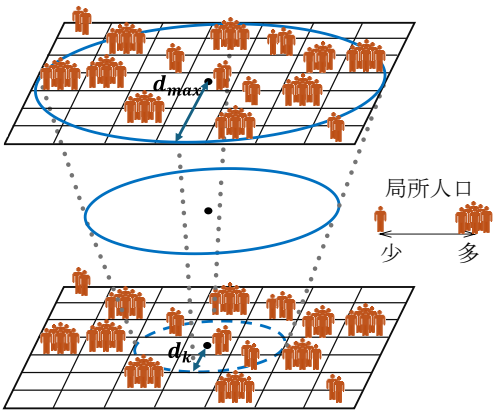


図-1 ASP の概念図（Kumagai et al., 2021）

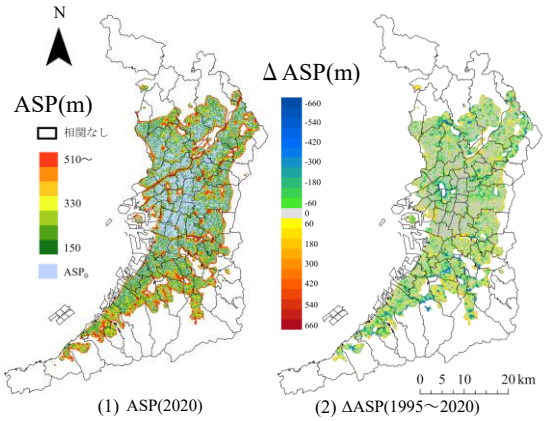


図-2 ASP と Δ ASP の算出結果

この処理を対象領域内の各地点で実施し，その結果を地点ごとに格納することで図-2(1)のようなASP のマップを得ている．

３．２ 複数時期における ASP の分析方法

都市のモニタリングの観点から人口分布における変化に着目し，局所人口の低密な範囲の経年変化について算出する．ASP の差は同一地点での複数の時期間のd_kの差となり，図-2(2)の 1995 年と 2020 年との例のように，大きく分けて「ASP 縮小(-Δ ASP)」「ASP 拡大(+Δ ASP)」の 2 パターンに分類される．「ASP 縮小」は ASP 内の人口が増加し，「ASP 拡大」は ASP 周辺地域人口が減少することで局所人口の低密な範囲が変動したことを意味する．

本研究では過去の土地利用状態と，人口の増加から減少への変換期における低密な範囲の変化との関連性を比較・分析するため，1995 年から 2020 年までの 25 年間の変化を対象とする．

４．分析結果

４．１ 土地利用状態との関連性の分析

まず局所人口の低密な範囲を示す ASP と土地利用状態の関係性を確認するため統計的な検証を行う．2021 年の土地利用状態と 2020 年の ASP についてχ 二乗検定定を実施したところ，p 値<0.001 で独立性が棄却される結果となった．そこでこれらの残渣分析を実施し，その違いの傾向を分析した．

残渣分析の結果を表-1 に示す．表中の(-)記号は，期待値よりも実測値が有意に小さいことを示している．中高層建物，低層建物(非密集地，密集地)や道路，鉄道といった開発の進んでいる土地利用状態を表す地点では ASP$_\infty$(人口の集積の捉えられない地点)が期待値よりも有意に小さいことが示されている．一方で，田，その他の農用地，森林，工場，ゴルフ場などの宅地などの開発が行われていない地点では ASP$_\infty$が有意に大きく，期待値より多く分布していることが確認できる．また，宅地以外では人口の低密な範囲がない ASP$_0$ が期待値より有意に小さく， ASP = 150(m)~390(m)も有意に小さいことを示して

表-1 土地利用状態と ASP との残渣分析結果

		ASP(m)											
		ASP_0	150	210	270	330	390	450	510	570	630	690	750	ASP_∞
土地利用状態	田	(-)***	(-)***	(-)***		***	***	***	***	***	***	***	***	***
	その他の農用地	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***						**	***
	森林	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	***
	荒地	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	***
	建物用地	(-)**												***
	中高層建物	***	***	***	***				(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***
	工場	(-)***	(-)***		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	低層建物(非密集地)	***	***	***	***	***	***	***	***					(-)***
	低層建物(密集地)	***	***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***
	道路	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	(-)***
	鉄道	***	***	***	***	***	***	***	***		***			(-)***
	その他の用地	(-)***	(-)***	(-)***	(-)**	(-)*								***
	施設等用地	(-)***	***	***	***	***	***	***	***	***		**	***	(-)***
	空き地	(-)***	(-)***	(-)***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	公園・緑地	(-)***	**	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	(-)***
	河川地および湖沼	(-)***	(-)***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	(-)***
	海浜	(-)***	(-)***	(-)***	(-)*	(-)*								***
	海水域	(-)***	(-)***	(-)***	(-)**	(-)***	(-)**	(-)**	(-)*	(-)*				***
	ゴルフ場	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***			***

***0.001, **0.001-0.01, *0.01-0.05

いる．このようにそれぞれの土地利用の状態によって局所人口の空間的な分布が異なっていることが示唆された．

４．２　都市構造の変化とΔASP の関係性の分析

4.1 節では，土地利用の状態によって局所人口の空間分布には差異が見られた．特に宅地として利用されている地域とそのほかの地域については人口の低密な範囲を示す ASP との関係性に相違が確認された．これらは現時点の土地利用状態との比較だが，都市構造は時代とともに変化し，それに伴って人口の分布も変動していると考えられる．したがって土地利用状態の変遷の履歴とその影響を分析することが重要である．そこで本研究では，人口の変動パターンと密接に関連があると考えられる中高層建物，低層建物(非密集地，密集地)といった住宅地に変化した場合を「市街化」と定義する．複数期のデータ間で土地利用項目をまとめることで，1974 年以前，197 年から 1996 年まで，1996 年から 2021 年の 3 期間に市街化された時期を区分し，各時期の市街化とΔASP との関係性を分析する．

表-2(1)に大阪府内のΔASP と市街化された時期についての残渣分析の結果を示す．1974 年までに開発された地点ではΔASP が＋，－ともに多くの項で期待値よりも有意に小さく，人口の低密な範囲の変化がなかった地域(ΔASP = 0)については期待値よりも有意に大きいことがわかる．1974 年から 1996 年にかけて市街化された地域は-ΔASP の変化は全体的に有意に小さいが，+ΔASP はほとんどの項で有意な差が得られていない．1996 年から 2021 年にかけて市街化された地域は-ΔASP の変化の分布は期待値よりも大きい側で有意であり，人口の低密な範囲の縮小に関係性のある箇所が多いことがわかる．

４．３　用途地域による影響について

表-2(2)には，大阪府内の第一種低層住居専用地域，第二種低層住居専用地域に絞ったなかでの市街化の時期とΔASP についての残渣分析の結果を示す．こちらでも 1996 年から 2021 年に開発された地域については同様の結果が得られているが，1974 年から 1996 年に開発された地域では+ΔASP の変化が有意に大きいことが多くの項で示されている．用途地域は一度設定されると長期的に維持されることが多く，特に低層住居専用地域については他と比較して用途の制限が強い面もあり，開発から 30 年～50 年経過後に局所人口の低密な範囲が拡がった箇所が多くなる結果につながったと考えることもできる．

同様に第一種中高層住居専用地域，第二種中高層住居専用地域に限定した地域についてΔASP との残渣分析を行った．その結果を表-2(3)に示す．1974 年以前に開発された地域ではΔASP＝+60m の範囲で期待値よりも有意に大きいことを示しており，人口の低密な範囲が拡がっている地域が多く分布しているということがわかる．

５　特徴地点の考察

市街化の時期と低層住居専用地域の関係性について代表的な地域を取り上げ，図-3 に示した．

図-3(1)(2)は 1974 年以前に市街化された堺市西区上野芝内ヶ丘町，藤井寺市加津が丘 2 丁目付近である．ΔASP=-60, 0, 60(m)といった黄色や緑色の分布が多く，局所人口の低密な範囲の変動は小さい箇所が多く分布している．1974 年以前に市街化された地区では，低層住居専用地域として指定され面積が比較的小さく，この時期の開発の特徴と見受けられた．50 年以上前から宅地であった箇所も含まれており，人口更新が進んだ結果として局所人口の空間分布にそれほど大きな変化が生じていないと推測される．

図-3(3)(4)には 1974 年から 1996 年に市街化された貝塚市希望が丘三丁目付近，池田市伏尾台地域を示す．この期間では，1974 年以前に開発された地域と比較して低層住居専用地域と指定された面積が大きく，特にニュータ

表-2 宅地開発時期と ASP との残渣分析結果

(1)大阪府全域

開発時期	ΔASP(m) -660	-600	-540	-480	-420	-360	-300	-240	-180	-120	-60	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660
市街化なし	(-)**	(-)***	(-)***	(-)*	***	***	***	***	***	***	***	(-)***	***	***	***	***	***	***	***	**			(-)**
~1974	(-)**	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)*	
1974~1996				(-)*	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	***									***		**
1996~2021	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***					

***-0.001,**0.001-0.01,*0.01-0.05

(2)低層住居専用地域

開発時期	ΔASP(m) -660	-600	-540	-480	-420	-360	-300	-240	-180	-120	-60	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660
市街化なし	(-)*	(-)**	(-)***	(-)***				*	**	***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***									
~1974	(-)*	(-)**	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***		***	***	***		(-)***	(-)***	(-)**	(-)***	(-)***	(-)**	(-)*		
1974~1996					(-)**	(-)*	(-)*			(-)***	(-)**	***	***	***	***	***	*	*					*
1996~2021	***	***	***	***	***	***	***	***	***			(-)***	(-)***									**	

***-0.001,**0.001-0.01,*0.01-0.05

(3)中高層住居専用地域

開発時期	ΔASP(m) -660	-600	-540	-480	-420	-360	-300	-240	-180	-120	-60	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660
市街化なし					***	***	***	***	***	***	(-)*	(-)***	***	***	***	***	***	***					
~1974	(-)**	(-)**	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	***	***					(-)**					
1974~1996						(-)**		(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	***		(-)**									
1996~2021		***	***	**	***	***	***	***	***	***	***	(-)**	(-)***	(-)***	(-)***	(-)***	(-)**						

***-0.001,**0.001-0.01,*0.01-0.05

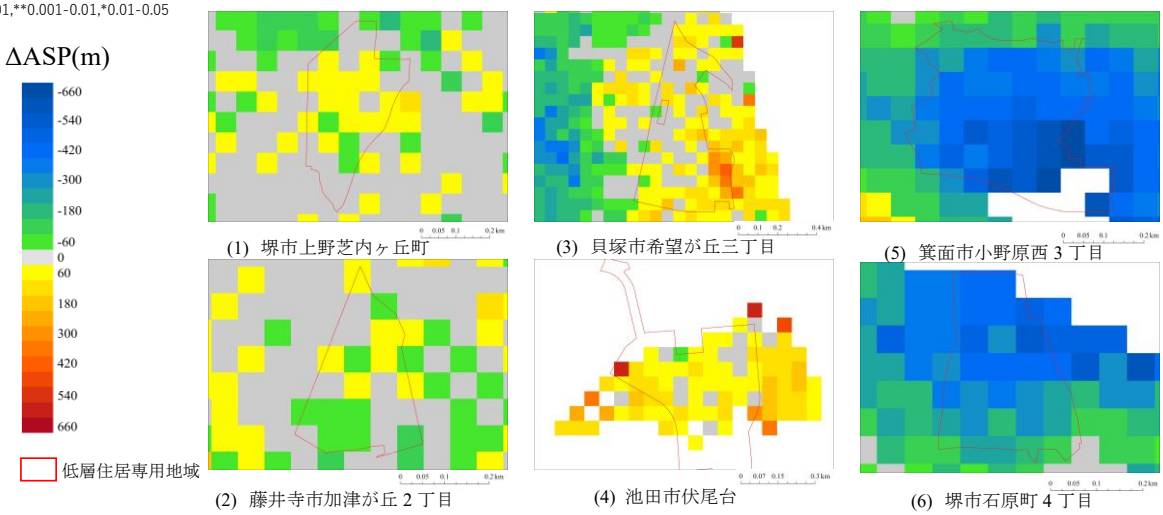


図-3 ASP の変動の特徴的な地域

ウンなど大規模な住宅地の開発が多く行われている傾向が確認された．ΔASP と比較すると約 50 年で局所人口の低密な範囲が拡大している地域も多く，人口更新が進んでいない可能性が示唆された．

次に 1996 年から 2021 年に開発されている箕面市小野原西 3 丁目，堺市東区石原町 4 丁目を図-3(5)(6)に示す．この地域では-ΔASP の分布が多くみられ，人口の低密な範囲が縮小した地点が多い．大規模な住宅地開発が行われた 2000 年前後は人口増加期にあたる．これら地域については今後，中長期的に人口動態について把握していく必要性があるであろう．

用途地域の中でも特に低層住居専用地域については用途の制限が強く，地域によっては居住者の入れ替えが進みにくいケースも想定される．特に，人口増から人口減へと変化したなかでは，1974 年から 1996 年で市街化された地域において局所人口の低密な範囲が拡大する傾向が強く表れる結果となった．なお，1992 年に 12 種類の用途地域指定制度が制定されていることも市街化の規模に関係がある可能性もあり，今後の検証が必要である．

6．おわりに

本研究では土地利用状態の時代による変化と，それに伴う局所人口分布の空間的変遷の比較を行った．市街化を 3 期間に区分したうえで，各時期の市街化とΔASP との関係性を検討した．残渣分析などの結果から，低層住居専用地域といった区分において，市街地としてその地域が開発された時期によって局所人口の低密な範囲の拡大・縮小といった特徴的な変化が見られることが確認された．過去の開発から 50 年程度経過した地域では，特に局所人口分布の低密な範囲が拡大している傾向が明らかになった．

参考文献

K. Kumagai and Y. Kameda (2021) Detection of the spatial variations of local populations from the viewpoint of urban structure analysis, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Sciences, Vol.V-4-2021, pp.177-185.

K. Kumagai, S. Tsukamoto, H. Tokoi, and M. Wada (2022) household-size data for urban management in a declining population, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.V-4-2022, pp.283-291.

Ord, J. K. and Getis, A. (1992) Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application, Geographical Analysis, Vol.27, No.4, pp.286-306,1995.