

SDGsからみた都市の最適人口密度の検討

相馬 隆示¹・谷下 雅義²

¹非会員 中央大学大学院 理工学研究科都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日一丁目13番地17号)

E-mail:a15.whnf@g.chuo-u.ac.jp

²正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日一丁目13番地17号)

E-mail:mtanishita.45e@g.chuo-u.ac.jp

本研究では、2015年に設定された環境・社会・経済に関するSustainable Development Goalsで示されている指標のうち、日本の市町村単位で定量的かつ比較可能な19指標を用いて、Yeo-Johnson変換により正規化した値が都市の人口密度といかなる関係にあるかについて加法モデルを用いて検討を行った。その結果、人口密度は環境と負、経済と正、そして社会は凸型の関係にあることを明らかにした。すべての重みを均一とすると、都市の最適人口密度は約3,000人/km²となることを示した。

Key Words : Sustainable Development Goals, population density, Yeo-Johnson Transformation

1. はじめに

持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals ; SDGs)は、2001年に策定されたミレニアム開発目標(MDGs)の後継として、2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された2016年から2030年までの国際目標である。持続可能な世界を実現するための17ゴール(図-1)・169のターゲットから構成されている。SDGsはこれまで個別に議論されていた環境、社会、経済の課題を網羅して解決に向けたゴールを設定している点が大きな特徴である¹⁾²⁾。

今後、あらゆる国や地域でこれらのゴール達成に向けて、さまざまな実践が行われることが期待されている。都市においては、その形態や機能、人々の日常生活圏を集約させた効率的な都市である「コンパクトシティ」が注目されている。また国土交通省は国土のグランドデザイン2050で、人口の高密度化に加え、各種の都市機能をコミュニティバス等の交通ネットワークで結ぶ「ネットワーク化」を組み合わせた「コンパクト・プラス・ネットワーク」の考えに基づいたまちづくりを進めていくことが重要としている。このため、2014年8月に都市再生特別措置法が一部改正され、「立地適正化計画制度」が創設された³⁾。一方で「コンパクトシティのパラドックス」として、人口密度が高いことによる過密や混雑等によるマイナスの影響が生ずるのではないかともいわれている⁴⁾。

以上のことから、都市の豊かさや暮らしやすさ等を最大化する最適人口密度が存在するのではないかと考え

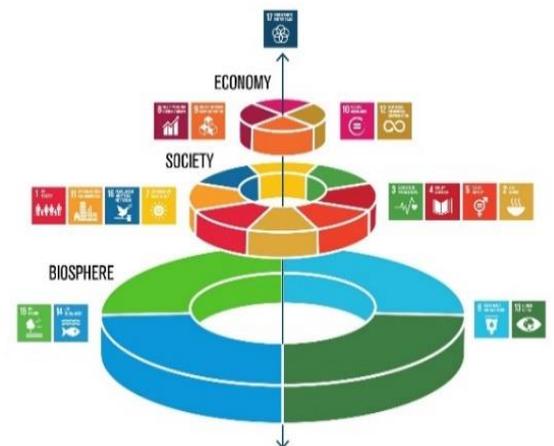


図-1 SDGs Wedding Cake Model
(Stockholm Resilience Centre)

られる。

都市の持続性や住みよさ、幸福度等をランキング評価している研究や取り組みは国内外で多数行われている⁵⁾⁸⁾。それらの取組の多くで用いられている個別指標は、環境、社会、経済のトリプルボトムラインの観点から評価を行っている。川久保ら(2013)⁹⁾はトリプルボトムラインをベースに19指標と対数人口密度との直線的な相関関係を分析している。環境は-0.83と強い負の相関、社会は-0.09とほぼ相関関係はなく、経済は0.47と正の相関関係が得られている(表-1参照)。

しかし、最適な人口密度を求めることは目的としていない。評価指標についてもSDGsが設定される以前の研究であるため、考慮していない。

一方、最適な都市規模（都市人口）や人口密度に関する既往研究はいくつか行われている。Su et. al. (2016)¹⁰⁾は中国の都市を対象に、労働生産性の面から最適人口密度について検討し、約 13,000 人/km² において最大化されることを明らかにしている。日本国内においては、生安・鄭 (1998)¹¹⁾が住民行政コスト（住民一人当たりの歳出）を最小化する都市人口は約 29 万人であることを明らかにしている。また Tanishita and Bert (2017)¹²⁾は歩数を最大化する人口密度を検討し、約 11,000 人/km² で最大化されることを明らかにしている。

そこで本研究では、日本国内の市町村を対象に、SDGs のターゲットとして用いられている個別指標と、それらを統合した指標について、可住地人口密度との関係を明らかにし、それをもとに最適な都市の人口密度を算出することを目的とする。

2. 方法

SDGs の 17 のゴールについて、都市の持続性(Sustainability)を評価している取組⁵⁾¹³⁾を参考に、比較の容易性、データの有無等を考慮し、19 指標を抽出した(表-2)。なお 14 海洋は、日本国内において比較困難であることから今回は分析を行わなかった。また、17 社会に

表-2 分析に用いた指標

SDGs	評価指標	評価方法	人口密度との関係					
			望ましき	-	0	+	凹	凸
経済	1 貧困	年収200万以下世帯の割合	小				○	
	8 雇用	所得成長率	大			○		
		正社員比率	大				○	
	9 産業	一人当たりGRP	大			○		
	10 平等	Gini係数	小				○	
社会	17 社会(財政)	1人当たり地方債残高	小	○				
	2 飢餓	食料自給率	大	○				
	3 健康福祉	平均寿命	大				○	
		第一号要介護認定率	小				○	
		待機児童数/5歳未満人口	小			○		
環境	4 教育	高等教育の人口割合	大				○	
	5 ジェンダー	市町村議会女性議員/18歳以上女性	小	○				
	11 都市	空家率	小	○				
	16 平和	自殺率	小	○				
	6 水	水質	小			○		
環境	7 エネルギー	エネルギー自給率	大	○				
	12 資源循環	リサイクル率	大				○	
	13 気候変動	一人当たりCO2排出量	小	○				
	14 海洋							
	15 森林	自然的土地利用	大	○				

ついては市町村財政に関する指標を扱った。

これらの指標を用いて、回帰するにあたっては正規性が問題となる。統計データを収集、整理してヒストグラムを作成してみるとさまざまな形状の分布が得られる。正規分布のようなものもあれば、歪度が正負どちらかに偏った分布のものも見られる。前者のデータはそのまま、後者のデータについては、Yeo-Johnson 変換¹⁴⁾を用いてデータの構造を正規分布に近づけるという処理を行った上で、平均50、分散10の偏差値を算出し得点づけを行った。

Yeo-Johnson 変換とは、分布の形状を操作するチューニングパラメータ(λ)を導入し、データの正規化を図る方法である。Box-Cox 変換を、0や負の値にも適用できるように拡張している。

$$y^\lambda = \begin{cases} \frac{(y+1)^\lambda - 1}{\lambda} & (\lambda \neq 0, y \geq 0) \\ \log(y+1) & (\lambda = 0, y \geq 0) \\ \frac{-[(-y+1)^{2-\lambda} - 1]}{(2-\lambda)} & (\lambda \neq 2, y < 0) \\ -\log(-y+1) & (\lambda = 2, y < 0) \end{cases}$$

環境、社会、経済の各得点は、それぞれ分類した指標の得点を平均したものをを用いた。総合得点については、環境、社会、経済の3得点の平均を用いた。

こうした分析は、全市町村(1,741市町村のうち、東日本大震災による帰宅困難区域を有する市町村を除く1,733)のデータを用いた場合と市(790市)のデータを用いた場合の2通りで分析を行った。

表-1 「CASBEE 都市による全国市区町村の環境性能評価」

大項目	中項目	小項目	評価指標	相関係数
環境 (-0.83)	自然保全	自然的土地比率	(林野面積+主要湖沼面積)/総面積	-0.81
	環境質	大気質	光化学オキシダント昼間1時間値が0.12ppm以上であった日数	-0.46
		水質	河川BODの日間平均値の75%値	-0.62
	資源循環	リサイクル率	ゴミのリサイクル率	-0.03
社会 (-0.09)	CO2吸収源対策	森林によるCO2吸収源対策	森林面積×吸収源単位/補正人口	-0.95
	生活環境	住居水準充実度	1住宅当たり延べ床面積	-0.71
		交通安全性	呼応通事故発生件数/補正人口	-0.60
		防犯性	刑法犯認知件数/補正人口	-0.75
		災害対応度	二次医療圏内の災害拠点病院数/二次医療圏域内人口	-0.44
	社会サービス	教育サービス充実度	(小学校児童数+中学校生徒数)/(小学校教員数+中学校教員数)	-0.87
		文化サービス充実度	(公民館数+図書館数)/総面積	0.72
		医療サービス充実度	医師数/補正人口	0.39
		保育サービス充実度	保育所数/5歳未満人口	-0.51
		高齢者サービス充実度	介護老人福祉施設数/65歳以上人口	-0.21
		社会活力	人口自然増減率	(出生数-死亡数)/総人口
	人口社会増減率		(転入者-転出者)/総人口	0.45
	経済 (0.47)	産業力	一人当たりGRP相当額	(農業産出額+製造品出荷額等+商業年間販売額)/補正人口
一人当たり地方税収入額			地方税/補正人口	0.53
財政基盤力		地方債残高	公債費比率	0.22

「CASBEE 都市による全国市区町村の環境性能評価」をもとに著者作成

表-3 記述統計量

指標	最小値	中央値	平均値	最大値
夜間人口	178	24805	73336	3724844
昼間人口	225	23301	73327	3543449
補正人口	202	24056	73332	3570452
可住地面積	1.050	43.560	70.360	803.310
総面積	3.470	123.030	214.630	2177.610
人口密度	10.520	499.350	1390.390	22380.250
補正人口密度	10.740	487.170	1411.590	39085.510
居住困難面積比率	1	2.363	3.586	42.328
貧困世帯割合	0.072	0.204	0.216	0.520
所得成長率	0.777	1.009	1.012	2.172
一人当たりGRP	0.052	3.352	4.609	113.536
ジニ係数	0.253	0.335	0.335	0.408
一人当たり地方債	1.725	520.085	666.046	5874.773
正社員比率	29.770	50.160	50.690	71.460
食糧自給率	1.0E-05	0.569	1.481	65.966
平均寿命	81.50	83.800	83.780	85.650
第一号要介護認定率	0.037	0.098	0.098	0.208
待機児童数/5歳未満人口	0	0	0.003	0.708
高等教育人口割合	0.071	0.212	0.229	0.571
女性議員/18歳以上女性人口	0	1.0E-04	2.1E-04	6.6E-03
空き家率	0.034	0.132	0.141	0.649
自殺率	1.674	19.506	23.177	246.609
水質	0.500	1.600	2.763	68.000
エネルギー自給率	1.4E-04	0.133	0.299	13.392
リサイクル率	0	19.050	21.750	100.000
一人当たりCO2排出量	0.001	0.008	0.011	0.310
自然的土地比率	0	57.460	51.420	97.430

2015年における表-2に示す各指標、及びそれらの総合指標を被説明変数として、加法モデル (Additive Model) により、空間相関を考慮し、人口密度の影響を分析する。

3. データ

対象時点は国勢調査の行われた2015年であるが、2015年のデータが存在しない場合は、最も近い入手可能年のデータを代わりに用いた。各データの記述統計量を表-3に示す。

人口密度は、夜間人口と昼間人口の平均をとった補正人口を可住地面積で除したものを用いた。他の説明変数としては、可住地面積、居住困難面積比率（可住地面積に対する市町村総面積の比率）、昼夜間人口ダミー（昼夜間人口比率が2以上かつ人口密度が20,000人/km²以上の都市を1、それ以外を0とする）を用いた。

4. 結果

個別指標と人口密度との関係は表-2 にまとめた通りである。望ましさの大小に留意し、人口密度との関係を整理すると、凸型の関係が得られたものが3指標、凹型の関係が得られたものが4指標、正の関係が得られたものが7指標、負の関係が得られたものが5指標という結果となった。

(1)3 指標との関係

環境、社会、経済の三側面の各得点と人口密度との関係を図-2 に示す。環境得点は人口密度が高い都市ほど得点が低く、経済については人口密度が高くなるほど得点も高くなるという結果が得られた。社会得点については、300人/km²と2,500人/km²にそれぞれ谷、山があり、波打つような結果が得られた。これらの結果は、川久保ら (2013)⁹⁾が明らかにした相関関係と概ね一致する。

低密度地域では経済得点がかかなり低く、環境得点、社会得点は高い。一方、高密度に人口が集積している都市では経済の効率性が高く、環境、社会の得点は著しく低いということが読み取れる。

分析対象を市のみ限定すると（図-2の下）、各指標と人口密度との関係は、概ね市町村全域を対象とした分析と同様の結果となった。

環境得点も同様に人口密度が低い都市ほど得点が高いという結果が得られた。一方で、社会得点は上に凸の関係が得られた。最も得点が高くなる人口密度は2,500人/km²程度である。経済得点については、市町村全域を対象とした分析とは異なり、約700人/km²程度で頭打ちになるような関係が得られた。

(2) 総合得点との関係

総合得点と人口密度との関係をみると（図-3の左）、仮説通り凸型の関係が得られた。図より、総合得点が最も高くなる最適人口密度は約3,000人/km²であるという結果が得られた。該当する都市は千葉県我孫子市、岐阜県岐阜市、愛知県蟹江町等が挙げられる。また、人口密度が約500人/km²以下の地域では線が0近傍にあり、ほとんど差がないことが読み取れる。500人/km²以上に人口が集積すると得点が増加し、約3,000人/km²を境に得点は下がるということが分かる。

一方、市のみを対象とした分析では（図-3の右）、総合得点と人口密度との間に台形のような関係が得られた。低密度の地域や高密度の都市では得点が低く、その中間の約400人/km²から約3,000人/km²が最適な人口密度の幅であるということがいえる。

5. おわりに

以上、本研究では、SDGsの中から19指標を用いて、最適な人口密度について検討し、それは約3,000人/km²であることを示した。

今回の分析では169あるSDGsのターゲットのうち、19指標でしか分析を行っていない。今回用いた指標には、市町村単位で得られるデータがなかったことから、ワークライフバランス等、人々の生活の形態を反映するようなものが不足している。また、災害危険区域等、地域の災害に対する強靱性についても評価できていない。そのためSDGsをすべて網羅できたとは言い難い。これらの指標を追加するとによって結果が異なり、最適な人口密度の値も変わってくるということが予想される。

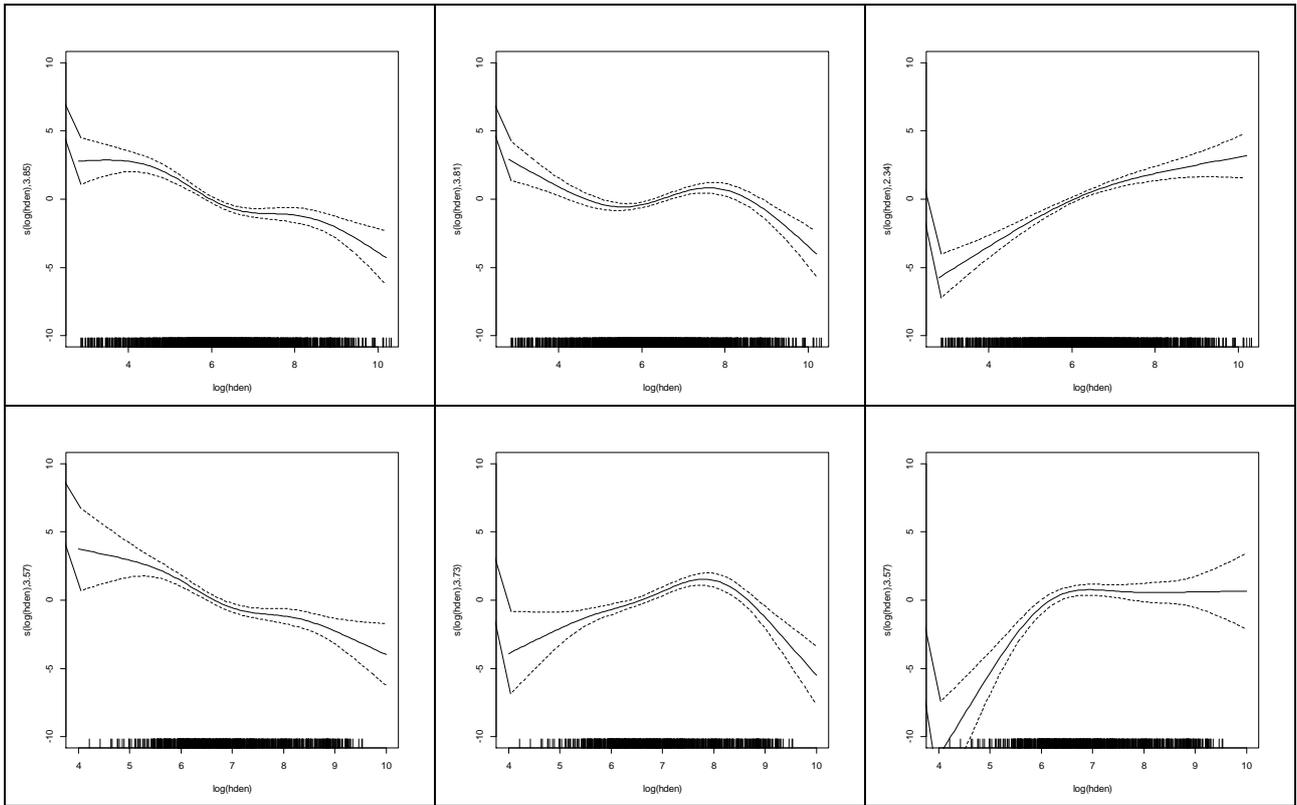


図-2 人口密度と各得点との関係 (上：全市町村 下：市のみ)
左：環境得点 中：社会得点 右：経済得点

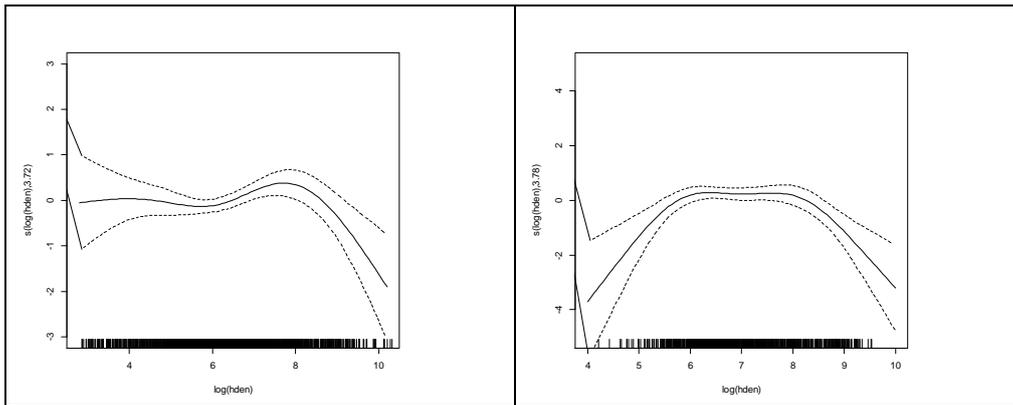


図-3 人口密度と総合得点との関係 (左：全市町村 右：市のみ)

また、自然環境や経済活動などは自市町村内で完結しておらず、他の市町村にも影響を与えている。そのため、市町村を単体で分析するのではなく、いくつかの市町村をまとめた経済圏や通勤圏等を設定するといった、集計単位についても検討が必要である。

参考文献・URL (アクセス日はいずれも2019年3月1日)

- 1) 外務省 HP
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/index.html>
- 2) United Nations Sustainable Development HP
<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

- 3) 国土交通省 HP
http://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network2.html
- 4) 海道清信 (2001) 「人口密度指標を用いた都市の生活環境評価に関する研究 —交通生活及び徒歩圏の地域生活施設を中心に—」 日本都市計画学会学術研究論文集第 36 巻 421-426.
- 5) Arcadis (2018) Sustainable Cities Index
<https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-index-2018/citizen-centric-cities/>
- 6) OECD (2016) Better Life Index, <http://www.oecdbetterlifeindex.org/>
- 7) 東洋経済新報社 (2018) 住みよさランキング
「都市データバック 2018 年版」 東洋経済別冊 7 月号
- 8) 坂本光司, 幸福度指数研究会 (2011) 「日本でいちばん幸せな県民」, PHP 研究所, 2011 年 11 月刊

- 9) 川久保俊, 伊香賀俊治, 村上周三, 浅見泰司(2013)「CASBEE 都市による全国市区町村の環境性能評価」, 日本建築学会環境系論文集 第 78 巻 第 683 号, 63-72, 2013 年 1 月
- 10) Hongjian Su, Houkai Wei, Jian Zhao (2017)“Density effect and optimum density of the urban population in China,”*Urban Studies*, 54(7), 1760-1777.
- 11) 生安衛, 鄭小平 (1998)「市町村歳出構造と最適規模に関する研究」日本都市計画学会学術研究論文集, 33, 13-18.
- 12) Masayoshi Tanishita & Bert van Wee (2017)“Impact of regional population density on walking behavior,”*Transportation planning and technology*, 40(6), 661-678.
- 13) 認定 NPO 法人 環境エネルギー政策研究所(2018)「永続地帯 2017 年度報告書」
<https://www.isep.or.jp/archives/library/10867>
- 14) In-Kwon Yeo, Richard A. Johnson (2000)“A new family of power transformations to improve normality or symmetry,”*Biometrika*, 87(4), 1 December 2000, Pages 954-959.
- (2019.?.? 受付)

Investigation of Optimal Urban Population Density from the view point of SDGs

Ryuji SOMA and Masayoshi TANISHITA

In this paper, we examined the relationship between 19 indicators selected from the view point of quantitative and comparable among municipalities in Japan shown in Sustainable Development Goals regarding environmental, societal, and economic aspect, and population density. Yeo-Johnson transformation for normalization and an additive model are applied for estimation. As a result, it was revealed that the population density was negative correlation with environment, positive correlation with economy, and convex with societal index. When we set same weights among these three aspects, the optimal urban population density is about 3,000 people / km².