

地域別将来推計人口の精度評価に関する研究 — 推計誤差の空間的特性の検証 —

鎌田 健司・小池 司朗（国立社会保障・人口問題研究所）

山内 昌和（早稲田大学）

1. はじめに

本稿は国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研）が公表している地域別将来推計人口の推計精度を評価することを目的とする。一般に、将来推計人口は過去の趨勢を将来に投影（**projection**）したものであるため、推計結果とその後の実績値との差（推計誤差）を「誤り」と断定することはできない。しかし、地方自治体を対象とした地域別将来推計人口は各種計画の基となる「予測値」として利用されていることから、その推計誤差の分析を通じて推計手法の改善等に役立てることは可能である（山内・小池 2015）。

本分析では推計精度の評価を行う上で推計誤差の空間的特性に着目する。空間的特性には主に2つの側面がある。一つは空間的自己相関（**Spatial Autocorrelation**）もしくは空間的依存性（**Spatial Dependence**）であり、距離が近いほど同じ属性を示す正の空間的自己相関と距離が近いほど異なる属性を示す分布する負の空間的自己相関に代表される空間的特性である（Anselin and Bera 1998）。正の空間的自己相関は Tobler（1970）の地理学における第一法則として知られており空間分布の最も基本的な特性といえる。もう一つは空間的異質性（**Spatial Heterogeneity**）である。主に統計モデルとして評価する場合にパラメータの空間分布が安定せず、モデルの誤差項の分散が空間的に不均一となる特性である（Anselin 1988、瀬谷・堤 2014）。例えば地域の出生率や完全失業率、核家族世帯割合等の社会経済的属性には空間的自己相関が観察されることがわかっており（鎌田・岩澤 2009）、将来推計人口の推計誤差も同様に空間的特性を持つことが考えられる。

本分析では推計誤差の空間的特性の評価を行うために空間計量経済学モデルを用いて評価を行う。地域データを用いた回帰モデルを推定する場合、モデルの誤差項が独立変数と空間的自己相関が生じる傾向にあるため、誤差項が独立かつ同一の分布に従うという仮定（**i.i.d.**）が担保されないという推定上の問題点が生じる。これらに対しては誤差項に空間的隣接行列による加重をかけることによって調整する空間誤差モデル（**Spatial Error Model: SEM**）や空間的異質性を考慮してパラメータの空間的分布を許容するローカル推定を行う地理的加重回帰モデル（**Geographically Weighted Regression: GWR**）等による対処が考えられる。

将来推計人口の推計誤差を回帰モデルで評価する研究には Tayman et al. (1998; 2011)があるが、回帰モデルには **OLS** を用いており空間的特性を考慮したものではない。本分析においては複数の回帰モデルの推定及び統計的検定を通じて空間的特性について明らかにするとともに、推計誤差と相関している要因の関係について考察を行うことで推計精度の評価手法に関する新たな知見を明らかにする。

2. 社人研の地域別将来推計人口の概要と推計誤差

社人研の地域別将来推計人口は、都道府県が1985年の国勢調査を基準人口とした「昭和62年1月推計」から5年ごとに実施されてきており、2010年の国勢調査を基準人口とした「平成25年3月推計」で6回目になる(山内・小池 2014、表1)。また市区町村については2000年の国勢調査を基準人口とした「平成15年12月推計」から開始され、現在までに3回公表されている。

市区町村については2000年国勢調査時点では3,244市区町村あったものが、2010年国勢調査では2005年前後の平成の大合併の影響もあり1,799市区町村と推計年次によって自治体数が大きく異なる。2010年国勢調査を基準とした「平成25年3月推計」からは市区町村の推計結果を都道府県ごとに積み上げた結果を都道府県推計結果として同時に公表している。ただし、福島県は東日本大震災の原子力発電所事故による避難指示区域の設定や人口移動傾向を見通すことが困難であるため市区町村推計を行わず福島県のみ公表となっている。

推計手法はいずれもコーホート要因法によって推計されている。出生や死亡の将来の動向については地域の相対較差を用いて全国の動向と連動した仮定値が設定され、移動率の仮定作成には「場合分け純移動率モデル」が用いられている(小池 2008)。また、全国将来推計人口と整合性を保つために合計調整を行っている。従って本分析においては地域別将来推計人口の精度評価が本稿の焦点になるわけではあるが、基本的には全国将来推計人口の結果にある程度の影響を受けているが、明示的には考慮しないものとする。

誤差の評価に用いる指標はALPE (Algebraic Percent Error) とAPE (Absolute Percent Error) である。ALPEは実績値と推計値の乖離を符号付きで示され正確性 (precision) の指標、APEはそれを絶対値で示されバイアス (bias) の指標とされ (Tayman et al. 2011)、Smith (1987) や Smith and Shincich (1988) をはじめとする推計精度の評価研究において一般的に用いられている指標である。

表1 社人研の地域別将来推計人口の概要

実施機関	公表年月	対象地域	自治体数	基準年	推計期間
厚生省人口問題研究所	1987年1月	都道府県	47	1985年	40年
厚生省人口問題研究所	1992年10月	都道府県	47	1990年	20年
国立社会保障・人口問題研究所	1997年5月	都道府県	47	1995年	30年
国立社会保障・人口問題研究所	2002年3月	都道府県	47	2000年	30年
国立社会保障・人口問題研究所	2007年5月	都道府県	47	2005年	30年
国立社会保障・人口問題研究所	2013年3月	都道府県	47	2010年	30年
国立社会保障・人口問題研究所	2003年12月	市区町村	3,244	2000年	30年
国立社会保障・人口問題研究所	2008年12月	市区町村	1,805	2005年	30年
国立社会保障・人口問題研究所	2013年3月	市区町村	1,799	2010年	30年

ALPE 及び APE は以下のように定式化される。

$$ALPE_i = (eP_i - aP_i) / aP_i \times 100$$

$$APE_i = |eP_i - aP_i| / aP_i \times 100$$

P : 総人口、 e : 推計値、 a : 実績値、 i : 都道府県もしくは市区町村

表 2 には推計精度のバイアスの程度を示す APE について、都道府県／市区町村別、基準年別、推計期間別に中央値と 90 パーセントイルの値を示している。全体的な傾向をみると、推計期間が短いほど、さらに近年になるほど APE が低くなっている（1990 年基準年は誤差が平均的に過大である）。これは少子高齢化によって誤差率の高い 0～4 人口及び若年人口が減少傾向にあるため（山内・小池 2015）、出生率や移動率の誤差が総人口に及ぼす影響が縮小していると推測される。

都道府県の推計期間 5 年の APE の中央値は 0.3%（2010 年）～1.4%（1990 年）、推計期間 10 年では 1.0%（2005 年）～2.1%（1990 年）、推計期間 15 年では 2.1%（2000 年）～2.8%（1985 年）、推計期間 20 年では 2.9%（1990 年）～4.5%（1985 年）、推計期間 25 年（1985 年）は 6.6%、推計期間 30 年（1985 年）は 8.5%である。

1990 年基準年推計はバブル経済の影響で国内人口移動の傾向がそれ以前と異なっていたこともあり推計期間を 20 年、年齢別純移動率の水準を長期的に低下させる仮定を導入しており、短期的な誤差率が高いものの長期的には 1985 年・1995 年と比べて誤差率の中央値は低い水準となっている（山内・小池 2014）。ただし、90 パーセントイルの数値についてみると 1990 年の誤差率は他の推計に比べてやや高めとなっており、誤差の中心傾向は低めであるものの誤差が大きい自治体も一定数観察されることを示唆している。

市区町村の APE の中央値は推計期間 5 年で 1.2%（2010 年）～1.7%（2000 年）、推計期間 10 年で 2.4%（2005 年）～3.5%（2000 年）、推計期間 15 年（2000 年）は 5.8%である。90 パーセントイル値についても同様の傾向が観察され、都道府県推計では推計期間が 15 年で 6～8%、推計期間 20 年で 10%程度の誤差率、市区町村では推計期間 10 年で 8～9%、推計期間 10 年で 15.3%（2000 年）となる。

表 3 には市区町村の基準人口の規模別の APE について、1 万人未満、1 万人～10 万人未満、10 万人以上で示している。市区町村の基準人口の規模別にみると、人口規模が小さくなるほど誤差率が高くなる。推計期間 5 年では基準人口の規模が 1 万人未満では 1.9%（2000 年）～2.1%（2005 年）、1 万～10 万人未満では 1.1%（2010 年）～1.5%（2000 年）、10 万人以上では 1.0%（2005・2010 年）～1.3%（2000 年）、推計期間 10 年では基準人口の規模が 1 万人未満では 4%程度、1 万～10 万人未満では 2.2%（2005 年）～3.1%（2000 年）、10 万人以上では 1.8%（2005 年）～2.7%（2000 年）、推計期間 15 年（2000 年）では、1 万人未満では 6.8%、1 万～10 万人未満では 5.2%、10 万人以上では 4.0%で

あった。90 パーセンタイル値でみると、推計期間 15 年で 1 万人未満は 8~10%、推計期間 15 年では 1 万人未満は 13.1%、1 万~10 万人未満は 9.8%、10 万人以上は 7.8%である。

表 4 には基準年別、推計期間別、都道府県の将来推計人口の ALPE を示している。全体的な傾向としては、東京都が過小推計（推計人口<実績人口）、奈良県が過大推計（推計人口>実績人口）となっている。市区町村別にみると東京都は特別区（千代田区、中央区、港区など）において過小推計となっている他、奈良県では南部の中山間地域（上北山村、下市町、黒滝村など）において過大推計となっている傾向が観察される。また、東京都を除く関東地方の各県は推計期間が長くなるにつれて過大推計となっており、政令市以外の町村部において人口減少が進行している状況がうかがえる。

特異な傾向としては、基準年 1990 年の推計結果は他の推計と異なる誤差率となっているが、首都圏や愛知県、兵庫県などで過大推計、その他の道府県は過小推計となっており、バブル経済とその崩壊後に国内の人口移動傾向が変化したことを示唆する結果となっている。また、基準年 2010 年ではその直後に発生した東日本大震災の発生とその後の復興需要の影響により岩手県・宮城県で過小推計となっている（ただし、宮城県南三陸町 24.8%、女川町 17.9%では人口減少が進み過大推計となっている）。福島県の誤差率は-0.1%とほとんど誤差が生じていない。

表 2 地域別将来推計人口の APE の中央値・90 パーセンタイル (%)

基準年	中央値 (APE,%)						90パーセンタイル (APE,%)					
	推計期間 (年)						推計期間 (年)					
	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
都道府県												
1985年	0.9	1.5	2.8	4.5	6.6	8.5	1.9	3.0	5.8	9.5	11.4	15.1
1990年	1.4	2.1	2.5	2.9			2.3	3.9	8.1	10.2		
1995年	0.6	1.5	3.1	4.4			1.9	4.5	6.7	10.0		
2000年	0.6	1.3	2.1				1.6	3.4	6.0			
2005年	0.5	1.0					1.2	2.3				
2010年	0.3						1.1					
市区町村												
2000年	1.7	3.5	5.8				4.8	9.4	15.3			
2005年	1.3	2.4					4.1	7.9				
2010年	1.2						3.8					

※ 基準年 1990 年の推計期間は 20 年である。

表3 市区町村の基準人口の規模別、将来推計人口のAPEの中央値・90パーセンタイル(%)

基準年	推計期間(年)	中央値(APE%)			90パーセンタイル(APE%)		
		基準人口の規模(人)			基準人口の規模(人)		
		1万人未満	1万~10万人未満	10万人以上	1万人未満	1万~10万人未満	10万人以上
2000年	5	1.9	1.5	1.3	5.5	4.2	3.6
2005年	5	2.1	1.2	1.0	6.7	3.3	3.0
2010年	5	2.0	1.1	1.0	4.0	2.3	2.2
2000年	10	4.0	3.1	2.7	10.9	8.1	7.4
2005年	10	4.1	2.2	1.8	8.2	4.7	4.1
2000年	15	6.8	5.2	4.0	13.1	9.8	7.8

表4 基準年別、推計期間別、都道府県の地域別将来推計人口のALPE

基準年(年)	推計期間(年)					1985					1990					1995					2000					2005				
	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25	30	30	30	30	30
北海道	1.6	-2.2	0.3	0.1	0.1	-0.4	1.5	3.4	0.8	0.6	-0.4	2.6	-3.8	1.9	0.4	4.0	-3.6	2.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
青森県	2.0	-3.5	-0.5	2.0	0.9	-0.2	1.0	6.8	0.8	5.2	1.6	0.2	7.8	3.4	8.1	1.0	7.6	5.4	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	
岩手県	1.0	-2.1	-0.3	1.7	0.9	-1.0	0.2	3.9	0.9	4.5	0.9	-0.3	3.7	3.4	6.6	0.6	-2.3	4.9	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
宮城県	0.1	-1.3	1.2	1.6	-0.6	1.2	-0.2	-0.8	3.8	2.8	-1.8	1.4	1.4	6.3	3.4	4.5	3.4	8.1	7.0	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	
秋田県	0.8	-2.1	0.0	1.3	0.7	0.0	-0.2	3.6	1.1	3.5	1.4	-0.8	3.8	3.3	5.5	-0.2	-2.8	5.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
山形県	0.0	-1.4	0.2	0.8	0.8	-0.7	-0.7	-2.1	1.2	2.6	0.9	-0.8	-1.6	3.3	3.7	-0.1	-0.1	4.7	1.4	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
福島県	0.1	-1.4	1.0	1.0	0.5	-0.1	-0.6	-1.1	3.0	2.7	3.2	0.3	0.5	5.9	6.8	2.0	3.0	11.1	4.3	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	
茨城県	0.7	-0.5	2.4	1.1	1.2	0.2	1.9	2.0	5.9	1.2	-1.5	3.6	6.2	8.8	2.2	12.7	9.5	12.5	17.6	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	
栃木県	-0.7	0.2	1.0	0.2	-0.1	0.0	-0.5	2.1	2.2	0.7	0.2	1.6	4.6	3.8	1.7	3.7	7.6	5.8	5.9	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
群馬県	0.5	-0.2	0.5	0.4	-0.3	-0.1	1.5	0.6	1.7	0.7	-0.6	3.9	2.7	3.0	1.1	7.0	4.7	4.4	9.8	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	
埼玉県	-2.1	3.0	2.3	0.6	-1.6	-0.8	-0.2	9.5	3.4	-0.1	3.2	5.2	17.2	7.3	-0.7	11.5	23.5	9.0	15.7	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	
千葉県	-0.5	2.8	1.6	-0.3	1.7	-0.5	3.0	8.1	2.9	-2.0	2.2	9.5	13.5	2.9	-2.1	15.8	17.2	4.4	20.2	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	
東京都	1.2	0.5	-4.2	2.2	-1.9	-1.2	3.1	3.1	-10.4	-3.5	3.4	0.7	-8.6	-17.1	-7.7	4.1	-14.7	-22.5	-9.9	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	-14.5	
神奈川県	-0.6	3.4	-0.4	1.1	-1.0	0.2	3.2	6.9	-1.9	2.6	-1.2	7.5	9.4	-3.7	-2.8	10.4	11.2	-4.5	12.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	
新潟県	0.2	-1.5	0.6	0.9	-0.4	-0.3	-0.6	-2.0	2.1	1.7	-0.8	-0.3	-1.1	3.7	2.4	0.9	-1.1	5.1	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	
富山県	0.1	-0.8	0.3	0.2	-0.3	-0.2	0.0	-1.1	0.7	0.4	-0.8	0.9	-0.7	1.3	0.4	1.9	-0.4	1.4	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
石川県	0.9	-0.8	0.8	0.0	1.3	-0.1	1.6	-0.5	1.8	-1.1	2.3	4.0	0.7	1.8	-2.1	6.8	0.7	2.0	8.2	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	
福井県	1.4	-0.5	-0.2	0.6	0.1	-0.2	3.0	-0.7	0.1	1.3	0.1	5.1	0.1	0.9	1.9	7.8	1.3	1.2	10.6	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	
山梨県	0.6	-1.8	2.3	0.5	1.0	0.3	0.3	-0.8	3.2	2.3	2.2	2.8	1.2	9.8	4.3	6.0	4.8	14.9	10.3	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	
長野県	0.7	-1.4	0.6	1.1	0.1	-0.4	0.5	-1.7	2.7	2.5	-0.2	1.6	-0.3	5.5	3.7	4.1	1.8	7.9	6.6	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	
岐阜県	0.8	-0.5	0.9	-0.1	0.1	0.2	1.8	0.3	1.8	0.1	0.4	4.6	1.6	3.1	0.3	7.2	3.1	4.4	9.9	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	
静岡県	0.0	0.1	0.6	-0.5	0.2	-0.1	0.9	1.5	0.9	-0.5	0.3	3.3	2.9	1.8	-0.5	5.2	4.8	2.6	7.3	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	
愛知県	-0.4	0.3	-0.5	1.3	-0.6	-0.2	0.4	0.8	-2.1	2.8	-1.2	1.4	0.5	3.7	-3.9	1.3	0.0	5.2	0.6	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
三重県	0.2	-0.9	1.6	-0.3	0.0	0.3	0.1	0.1	3.0	-0.3	0.4	2.3	1.3	5.0	0.4	4.4	2.9	7.5	6.6	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	
滋賀県	0.1	-0.4	0.6	1.1	-0.7	0.5	0.8	0.4	2.6	2.2	-0.5	2.9	2.9	4.5	4.6	6.5	5.2	7.8	9.6	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	
京都府	1.0	-0.7	-0.4	0.3	-0.3	0.2	1.6	-1.1	-0.7	0.4	-0.8	2.3	-1.1	-0.9	0.4	3.1	-1.1	-1.5	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
大阪府	0.9	-0.4	1.5	-0.4	1.5	-0.4	2.1	-0.2	3.4	2.2	2.9	3.7	-0.2	6.3	3.8	4.3	-1.6	9.3	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
兵庫県	-0.5	1.9	0.6	0.5	-0.4	0.0	1.8	1.2	2.2	1.0	-0.9	1.7	2.5	3.3	1.6	3.0	3.8	4.3	3.8	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	
奈良県	1.3	0.2	2.5	2.1	-0.8	0.4	4.1	3.7	7.3	3.4	-1.2	10.9	9.9	11.6	5.1	20.5	15.6	18.5	29.4	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	
和歌山県	0.4	-2.2	1.0	1.8	-0.8	-0.2	-0.8	2.9	4.0	2.9	-1.6	-0.2	-1.4	6.3	3.8	2.1	-0.4	8.3	3.4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
鳥取県	0.9	-1.0	-0.5	0.6	1.2	-1.1	1.4	-1.6	-0.5	2.7	1.2	2.1	-1.6	1.0	3.8	3.3	0.1	1.7	5.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	
島根県	1.9	-1.4	-0.5	1.0	-0.1	-1.0	3.0	2.9	0.1	2.2	-0.9	4.2	-2.7	1.1	2.7	6.3	-2.2	1.0	8.4	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	
岡山県	1.2	-1.5	0.9	-0.5	-0.2	-0.4	1.5	-1.6	1.3	-0.7	-0.6	3.7	-1.8	2.0	-1.1	5.1	-1.9	2.4	6.3	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
広島県	0.9	-0.7	0.8	-0.3	-0.7	-0.7	2.1	0.2	1.2	-0.9	2.1	5.1	1.0	1.4	-2.2	7.7	1.6	0.6	9.4	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	
山口県	1.8	-1.7	0.1	0.4	-0.5	-0.4	2.7	-2.5	0.3	0.5	-1.3	4.5	-2.7	0.4	0.2	6.6	-3.1	-0.1	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	
徳島県	0.7	-1.4	0.6	0.5	0.4	0.0	0.6	-1.9	1.5	1.6	0.8	1.6	-1.9	3.2	2.8	2.8	-0.8	4.8	4.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
香川県	1.1	-1.2	0.4	0.3	-0.5	-0.7	1.8	-1.5	1.2	0.4	-1.4	3.7	-0.9	1.8	0.0	6.0	-0.6	1.9	7.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	
愛媛県	1.6	-1.3	-0.1	0.5	-0.2	-0.1	2.5	-2.1	0.3	1.2	-0.4	4.1	-2.1	0.8	1.8	6.1	-1.9	1.0	7.8	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	
高知県	1.7	-1.7	1.1	1.6	0.9	0.2	2.6	3.9	-0.8	4.5	1.9	3.2	-4.3	0.9	7.5	5.4	-3.4	2.4	8.6	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	
福岡県	0.8	-1.5	0.1	0.8	-0.8	-1.1	1.0	-2.1	1.0	1.3	-2.4	2.3	-1.7	1.5	0.9	4.2	-1.7	1.2	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
佐賀県	1.3	-2.0	0.9	0.0	0.0	-0.6	1.2	-2.6	1.8	0.3	-0.4	2.8	-2.4	3.1	0.0	4.2	-1.9	4.0	5.6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
長崎県	1.3	-1.7	-0.1	0.3	0.3	-0.5	1.6	-2.6	0.3	1.0	0.1	2.5	-2.7	1.2	1.0	3.6	-2.0	1.4	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	
熊本県	1.7	-1.9	0.3	0.7	-0.4	-0.6	2.2	3.0	1.1	1.2	-1.1	3.6	-3.3	1.9	1.5	5.4	-3.5	2.3	6.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	
大分県	1.8	-1.5	-0.2	-0.2	-0.9	0.3	2.7	-2.8	-0.7	-1.0	-1.0	4.1	-3.9	-1.5	-1.1	5.3	-5.2	-1.7	5.6	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	
宮崎県	1.3	-2.4	0.5	0.8	-0.7	0.3	1.0	-3.6	1.6	1.1	-0.8	1.8	-3.6	2.6	1.9	3.4	-3.9	3.9	4.1	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	
鹿児島県	2.3	-2.0	0.7																											

3. 推計誤差の規定要因に関する先行研究

ここでは推計誤差の研究とその規定要因について整理してみたい。総論として Smith, Tayman and Swanson (2013) では、1) 推計期間が長い、2) 対象となる地域単位が小さい、3) 人口変化が激しい地域、4) 年齢別にみると出生や人口移動が大きく影響する若年層において推計誤差が大きくなること、5) より新しい時期に実施された将来人口推計の方が誤差が小さくなりやすいとは一概にはいえないということが指摘されている。

1) については基本的な知見として多くの研究で指摘されており、将来推計人口の基本的な構造が投影であることを考えるとその後の社会経済の変化が生じることで推計期間が長くなるほど推計誤差が生じることは想像に難くない（例えば、Murdock et al. 1984; Smith 1987; Smith and Sincich 1988; Tayman and Swanson 1996; Tayman et al. 1998; 2011; Lenze 2000; Rayer 2008; 山内・小池 2015 など）。

2) については人口規模が小さくなるほど推計誤差が大きくなると言い換えることも可能であり 1) と同様多くの知見が存在する（より詳細には Smith and Tayman 2003; Smith et al. 2013 など）。人口規模が小さい自治体の場合、少しの変動でも推計誤差としては大きくなりがちであるという数値上の問題や、人口規模が小さい自治体では性・年齢別人口が安定的ではないことが多く、地域較差や過去の趨勢である仮定値を与えることによって大きな誤差が生じやすいといった傾向があると考えられる。

3) については人口増加率が高い地域ほど推計誤差が大きくなるとする先行研究がある（Smith 1987; Smith and Shahidullah 1995; Tayman et al. 2011 など）。Tayman et al. (2011) は推計誤差と人口増加率の関係は U 字型の関係が観察されることを明らかにしている。本分析においては人口増加率ではなく、より地域間の人口変動に直接的に影響すると考えられる純移動率を用いた検証を行う。

4) については山内・小池 (2015) があり、0-4 歳人口や 20-30 代で推計誤差が大きくなることが確認されている。

5) については対象となる地域の人口構造（高齢化の度合い）や社会経済的環境（好景気・不況）や自然災害の有無など人口移動に影響を及ぼす影響の変化が推計前後で生じているかといった要因やどの地域でそのような事象が観察されるのかといった空間的な集積性の地理的範囲などが推計誤差には影響してくるものと考えられる。推計年次の違いは、推計手法の違い、推計時点でのイレギュラーな事象の発生（経済的恐慌、自然災害、戦争・紛争等）、さらに本質的に将来に対する不確実性によって生じるため、その要因を明確にすることには困難が生じることが指摘されている（Chi 2009; Smith et al. 2013）。

4. 分析計画：データと分析課題

本分析において用いるデータは、都道府県と市区町村について基準年 1985-2010 年、推計期間 20 年までとする¹。市区町村については各推計時点の境域を対象とし東京都特別区

¹ 推計期間 25-30 年は基準年 1985 年推計のみ推計誤差が算出可能であり、回帰モデルに

は区ごと、政令市は区を合算したものをを用いる（2000年 3,244 地域、2005年 1,804 地域、2010年 1,746 地域）。

推計誤差の空間的特性を検証するために 2 つの分析課題を設定した。第一の課題は「推計誤差には空間的自己相関が観察されるか」である。推計誤差の空間的自己相関係数（モランの I 統計量）の算出ならびに回帰モデルの誤差項と独立変数の空間的自己相関に対処を行う空間誤差モデルによる推定（都道府県と市区町村）を行う。第二の課題は「推計誤差には空間的異質性は観察されるか」である。ここでいう空間的異質性は空間的非定常性（Spatial Non-Stationarity）であり、地域によって独立変数と従属変数の間の関係に違いがあることをいう。市区町村データを用いて推計誤差と共変量との間の関係に非定常性があるかについてパラメータの空間的分布を許容するローカル推定を行う地理的加重回帰モデル（Geographically Weighted Regression: GWR）による検証を行う。

以下では、それぞれの分析モデルの説明と統計的検定について詳述したい。

第一の分析課題は空間計量経済学モデルの一つである空間誤差モデル（Spatial Error Model: SEM）による推定である。空間誤差モデルは誤差項どうしの空間的自己相関をモデル化するものであり、モデルの誤差項が独立変数と空間的自己相関が生じる場合、誤差項が独立かつ同一の分布に従うという仮定（i.i.d.）が担保されないという推定上の問題点に対処することが可能となる（Anselin 2006; 瀬谷・堤 2014）。

$$\begin{aligned} Y &= X\beta + u \\ u &= \lambda Wu + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2 I) \end{aligned}$$

W は $n \times n$ の都道府県・市区町村間の隣接行列であり行和で標準化している。隣接行列は queen 型（全方位型）の lag 1（直接隣接する自治体がある場合に 1、そうではない場合は 0）で都道府県・市区町村ともに設定した。 λ は空間パラメータであり、隣接行列を行基準化した場合、 $1/\omega_{\min} \sim 1$ の範囲の値をとる。モデルの評価は OLS モデルで推定したときの誤差項の空間的自己相関の有無の検定及び、 λ の LR 検定結果、赤池情報量規準（Akaike's Information Criterion: AIC）による OLS モデルと SEM モデルのモデルフィットの比較、推計誤差自体の空間的自己相関の有無について評価する。

空間的自己相関の検定にはモランの I 統計量を用いる（Moran 1950）。モランの I 統計量は -1 から 1 までの範囲をとり、正の空間的自己相関は隣接する自治体間の数値が近くなる傾向を示し、 0 は空間的にランダムに分布、負の空間的自己相関は隣接地域ほど値が異なる傾向を示す。

において推計期間 25～30 年が一時点のみの観察となるため分析手法上、除外した。

$$\begin{aligned} \text{Moran's } I &= \frac{N}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \end{aligned}$$

N : 都道府県／市区町村の自治体数、 w_{ij} : 空間加重行列

モランの I 統計量の検定は、一般的に漸近正規性を仮定した Z 検定がある (Cliff and Ord 1981)。モランの I 統計量の期待値 $E(I)$ 、分散 $Var(I)$ を標準化すると以下ようになる。

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}}$$

Z は漸近的に標準正規分布 $N(0,1)$ に従うため、行標準化された空間行列下において空間的自己相関はないとする帰無仮説の検定を行うことができる。I が $E(I)$ より十分に大きい (小さい) とき正 (負) の空間的自己相関が観察される。ただし、モランの I 統計量は空間計量経済モデルの特定化を行うことは難しいため、対立仮説に特定の空間的自己相関構造を仮定した最尤法に基づく検定法が動じに用いられることが多い (瀬谷・堤 2014)。ここでは、空間パラメータの検定である尤度比 (Likelihood ratio: LR) 検定を行う。

尤度比検定は以下のように定式化される。

$$LR_\lambda = 2[\hat{l}_c - \tilde{l}_c]$$

\hat{l}_c は $\lambda = 0$ という制約がない状態での集約対数尤度、 \tilde{l}_c は $\lambda = 0$ という制約下での集約対数尤度である。 LR_λ が漸近的に自由度 1 の χ^2 乗分布に従うことを利用する検定である。

赤池情報量規準 (Akaike's Information Criterion : AIC) は $AIC = -2L + 2K$ によって定式化され (L は最大尤度、K はパラメータ数)、AIC が小さいほどモデルの適合度が高いことを示す。

第二の分析課題は空間的異質性を考慮してパラメータの空間的分布を許容するローカル推定を行う地理的加重回帰モデル (Geographically Weighted Regression: GWR) である (Brunsdon et al. 1996 ; Fotheringham 2000 ; Fotheringham et al. 2002)。通常の回帰モデルに緯度経度情報を導入し、回帰モデルの係数の推定に空間的加重をかけることで係数の空間的なばらつきを表現するモデルである。

通常の回帰モデルは、すべての地点を含んで係数の推定を行うグローバル・モデルであり、係数はすべての地点で一定であるとする空間的定常性を仮定している。一方、GWR は定数を除く係数が地点 i ごとに計算されるローカル・モデルである。そのため、係数が地点 i ごとに異なるとする空間的非定常性を仮定している。

$$\begin{aligned} \text{通常の回帰モデル：} & \quad y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \cdots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon_i \\ \text{地理的加重回帰モデル：} & \quad y_i = \beta_0 + \beta_1(i) x_{1i} + \cdots + \beta_n(i) x_{ni} + \varepsilon_i \end{aligned}$$

以下は係数の推定式を行列形式で示したものである。通常回帰モデルの係数の推定値に、位置 i を中心に空間的に加重された関数 $W(i)$ を組み込んでいる。係数にかけられる空間的加重は距離が遠いほど空間的加重が小さくなる距離減衰関数である。このように、距離減衰関数によって加重された最小二乗法によって個々の推定値が求められる。

$$\begin{aligned} \text{通常回帰モデルの係数：} & \quad \beta' = (X^T X)^{-1} X^T Y \\ \text{地理的加重回帰モデルの係数：} & \quad \beta'(i) = (X^T W(i) X)^{-1} X^T W(i) Y \end{aligned}$$

ここで、記号 i の β' の各列、 $w(i)$ は $n \times n$ 空間的加重行列である。この空間的加重行列においては、対角成分は回帰地点 i の空間的加重であり、その他の非対角成分は 0 である。

GWR は空間的加重の分布にカーネル関数を用いていることに特徴がある。カーネル関数は距離が小さいとき空間的加重が大きくなる距離減衰関数を示すため、回帰地点から標本地点までの距離に応じて位置 i にかかる空間的加重が変化する。本分析ではカーネル関数のバンド幅の設定方法には固定型カーネル関数による推定を行った。カーネル関数にはガウス型を用いた。

ガウス型カーネル関数は以下のように求められる。

$$W_{ij} = \sqrt{\exp\left(-\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right)}$$

ここで、 w_{ij} は標本地点にかかる空間的加重、 d_{ij} は回帰地点と標本地点との距離、 h はカーネルのバンド幅を表す。最適なバンド幅を選択するために、モデル比較には CV（交差妥当化：Cross Validation）を用いて、これらの統計量が最小となるバンド幅を最適であると判断する。CV は以下のように求められる。

$$CV = \sum_i [y_i - y_{\neq i}^*(h)]^2$$

ここで、 $y_{\neq i}^*(h)$ は推定から除外された位置 i における予測値 y_i である。CV が低いほど、よいモデルフィットであるといえる。

GWR によるモデル推定の評価には、ローカル係数の妥当性の検定があり、以下の式によ

って得られ、ローカル係数の t 検定を行うことができる。

GWR のモデル検定については、Leung et al. (2000) の F (1) から F (3) 検定がある。Leung et .al. (2000) では、GWR のモデル検定量として、OLS との比較を中心に、3 つの F 検定による検定量を考案している。

F (1) 検定は OLS の残差平方和と GWR の残差平方和の比を、自由度を調整して検定を行い、F(1) 値が有意に小さければ GWR は OLS よりもモデルフィットがよいことを示す。

$$F(1) = \frac{RSS_{GWR}/\delta_1}{RSS_{OLS}/(n-p-1)}$$

ここで、n はデータ数、p は係数を示す。

F (2) 検定は OLS の残差平方和と OLS から GWR へモデルを変更したときの改善度 ($DSS=RSS_{OLS}-RSS_{GWR}$) の比を、自由度を調整して検定を行い、F (2) 値が有意に小さければ OLS と GWR のモデル間に統計的な有意な差がないことを示す。

$$F(2) = \frac{DSS/v_1}{RSS_{OLS}/(n-p-1)}$$

F (3) 検定は、係数ごとに分散分析を行い、F (3) 値が大きければ、係数の地域格差が統計的に有意であるということを示す。

$$F(3) = \frac{v_k^2/\gamma_1}{\hat{\sigma}^2}$$

これらの 3 種類の F 検定によって、従来の回帰分析 (OLS) からの改善度を測定することができる。また、ローカルなモデルの当てはまり具合は測定するローカル R² 値によって局地的な当てはまりを測定することができる。

以上の統計的検定を通じて複数の回帰モデルの推定及び統計的検定を通じて空間的特性について明らかにするとともに、誤差と相関している要因の関係を明らかにする。分析結果は、まず基本的なモデルである pooled OLS モデルについて示す。

$$APE/ALPE = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{LnPOP} + \beta_2 \cdot \text{LnPOP}^2 + \beta_3 \cdot \text{AbsNM} + \beta_4 \cdot \text{AbsNM}^2 + \beta_5 \cdot \text{TMD} + \beta_6 \cdot \text{BsYear} + \beta_7 \cdot \text{PrHor} + e$$

共変量は先行研究にならい以下のように設定した。1) 基準年の人口規模 (対数化) について線形関数 (LnPOP) と二次関数 (LnPOP²) を設定した。2) 基準年までの 5 年間の純移動率 (絶対値) について線形関数 (AbsNM) と二次関数 (AbsNM²) を設定した。3) 東

京圏（東京都・埼玉県・千葉県・神奈川県）は純移動率が経時的に変動しやすく、近年は東京一極集中傾向にあり、時系列では過小推計になりやすい傾向にあるためダミー変数によって過小推計の程度を評価する。4) 基準年については、都道府県は1985～2010年、市区町村は2000～2010年まで5年ごとのダミー変数を投入した。基準カテゴリは、都道府県は1985年、市区町村は2000年とした。推計期間は5年～20年とし、5年を基準カテゴリとした。共変量の記述統計は表5に示した。

分析モデル別の変数構成は以下の通りである。分析課題2は都道府県及び市区町村において各推計年次について空間的自己相関の検証を行う。また、分析課題3の空間的異質性の検証では各自治体の緯度経度情報を用いてパラメータの空間的な連続性の存在を検出する分析を行うため、都道府県では地域単位が大きいと考えられることから市区町村データのみでの検証を行う。

分析課題1「推計誤差には空間的自己相関が観察されるか」（都道府県／市区町村）

$$\text{OLS Model: } APE_{it}/ALPE_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{LnPOP}_{t+1} + \beta_2 \cdot \text{LnPOP}_{t+2} + \beta_3 \cdot \text{AbsNM}_{t+1} + \beta_4 \cdot \text{AbsNM}_{t+2} + \beta_5 \cdot \text{TMD} + e_{it}$$

$$t = \text{P}[1985-2010], \text{M}[2000-10] \text{ (5)}, i = \text{P}[5-20], \text{M}[5-15] \text{ (5)}$$

$$\text{SEM Model: } APE_{it}/ALPE_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{LnPOP}_{t+1} + \beta_2 \cdot \text{LnPOP}_{t+2} + \beta_3 \cdot \text{AbsNM}_{t+1} + \beta_4 \cdot \text{AbsNM}_{t+2} + \beta_5 \cdot \text{TMD} + \lambda W u + e_{it}$$

$$e_{it} \sim i.i.d. N(0, s^2 I), t = \text{P}[1985-2010], \text{M}[2000-10] \text{ (5)}, i = \text{P}[5-20], \text{M}[5-15] \text{ (5)},$$

W :隣接加重行列 (queen型ラグ1)

分析課題2「推計誤差には空間的異質性は観察されるか」（市区町村）

$$\text{OLS Model: } APE_{it}/ALPE_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{LnPOP}_{t+1} + \beta_2 \cdot \text{LnPOP}_{t+2} + \beta_3 \cdot \text{AbsNM}_{t+1} + \beta_4 \cdot \text{AbsNM}_{t+2} + \beta_5 \cdot \text{TMD} + e_{it}$$

$$t = 2000-10 \text{ (5)}, i = 5-15 \text{ (5)}$$

$$\text{GWR Model: } APE_{tij}/ALPE_{tij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{LnPOP}_{tj+1} + \beta_2 \cdot \text{LnPOP}_{tj+2} + \beta_3 \cdot \text{AbsNM}_{tj+1} + \beta_4 \cdot \text{AbsNM}_{tj+2} + \beta_5 \cdot \text{TMD}_j + e_{tij}$$

$$t = 2000-10 \text{ (5)}, i = 5-15 \text{ (5)}, j = \text{各市区町村重心点の緯度経度}$$

表 5 共変量の記述統計

都道府県	N	Mean	Std. Dev.	Min	Max	市区町村	N	Mean	Std. Dev.	Min	Max
従属変数						従属変数					
APE (%)	846	2.308	2.840	0.0	23.5	APE (%)	14,876	3.978	5.239	0.0	129.0
ALPE (%)	846	1.028	3.513	-22.5	23.5	ALPE (%)	14,876	2.045	6.252	-48.8	129.0
独立変数						独立変数					
人口規模 (対数化)						人口規模 (対数化)					
Ln size	846	14.492	0.724	13.3	16.4	Ln size	14,876	9.695	1.395	5.3	15.1
(Ln size) ²	846	210.544	21.381	176.5	268.7	(Ln size) ²	14,876	95.946	28.010	28.1	228.6
純移動率 (絶対値)						純移動率 (絶対値)					
Abs. Nmr	846	1.150	1.065	0.0	5.9	Abs. Nmr	14,876	2.847	2.847	0.0	76.9
(Abs. Nmr) ²	846	2.454	4.562	0.0	34.5	(Abs. Nmr) ²	14,876	16.208	100.982	0.0	5909.1
東京圏ダミー						東京圏ダミー					
TMA	846	0.085	0.279	0	1	TMA	14,876	0.098	0.297	0	1
基準年						基準年					
Year 1985	846	0.222	0.416	0	1	Year 2000	14,876	0.648	0.478	0	1
Year 1990	846	0.222	0.416	0	1	Year 2005	14,876	0.239	0.426	0	1
Year 1995	846	0.222	0.416	0	1	Year 2010	14,876	0.113	0.317	0	1
Year 2000	846	0.167	0.373	0	1	推計期間					
Year 2005	846	0.111	0.314	0	1	5 years	14,876	0.453	0.498	0	1
Year 2010	846	0.056	0.229	0	1	10 years	14,876	0.335	0.472	0	1
推計期間						15 years	14,876	0.212	0.409	0	1
5 years	846	0.333	0.472	0	1						
10 years	846	0.278	0.448	0	1						
15 years	846	0.222	0.416	0	1						
20 years	846	0.167	0.373	0	1						

5. 分析結果

はじめに APE および ALPE の pooled OLS の結果を参照しておきたい。都道府県の APE モデルでは (表 6)、人口規模との相関が高く二次曲線型の当てはまりを示していることがわかる。人口規模が小さいところほど誤差率高く、人口規模が大きくなるにつれて誤差率は低くなる関係を示している。東京圏ダミーも統計的に有意な結果となっており、東京圏における過小推計の結果を反映している。純移動率も人口規模と同様二次曲線型の当てはまりを示している。基準年については 1985 年との比較において顕著な差は導出されず、1990 年よりは推計誤差が低く、1995 年よりは高く、それ以降とは同水準の誤差分布である。推計期間については先行研究通り、期間が長くなるにつれて誤差率が高くなる傾向を示している。

ALPE モデルでは、人口規模については人口規模が高くなるにつれて過小推計になり、小さいほど過大推計になる二次曲線型の当てはまりを示している。推計期間が 10 年を超えると東京都の過小推計の度合いが高まる傾向にあり、大阪府、愛知県、神奈川県などの大都市を抱える都道府県において過小傾向になることから上に凸とする二次曲線関係を示していることがわかる。純移動率については純移動率が小さいほど過大推計になり、高いほど過小推計になる関係を示している。基準年については 1985 年に比べて全体的に過小推計の方向で統計的に有意な結果を示している。一方で推計期間についてみると、期間が長くなるにつれて過大推計になる傾向を示している。

市区町村の APE モデルでは (表 7)、都道府県同様人口規模の影響が大きく、人口規模が

小さい自治体ほど誤差率が高い傾向を示している。純移動率は都道府県モデルとは異なり、純移動率が高いほど誤差率が高いとする先行研究と同様の結果である。東京圏ダミーは統計的に有意でありとりわけ東京都区部の過小推計の影響がみられる。基準年による差はみられず、推計期間が長くなるほど誤差率が高くなる傾向は顕著にみられる。

ALPE モデルでみると、人口規模の効果は都道府県モデルとは異なり下に凸とする二次曲線関係がみられる。これは人口規模が小さい自治体ほど極端に過大推計となっている傾向が観察され、人口規模が大きくなるにつれて過小推計になる傾向を示している。人口規模の一次の偏回帰係数が小さいことから、基本的には負の直線関係を示すものの人口規模が小さい自治体の極端な過大推計を受けて二次関数の当てはまりが観察されているものと考えられる。純移動率は線形関係を支持しており、純移動率が高くなると過小推計の方向になる傾向が得られた。東京圏は過小推計であることは統計的に有意な結果として支持されている。基準年については 2000 年と比べると 2005 年は過小推計の方向で統計的に有意であるが、2010 年については差がみられない。推計期間でみると推計期間が長くなるほど過大推計になる方向性は都道府県モデルと同様である。

表 6 都道府県別 APE、ALPE に対する pooled OLS モデルによる推定結果

	APE (Absolute Percent Error)			ALPE (Algebraic Percent Error)		
	Unstandardized Coefficients	Std. Err.	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients	Std. Err.	Standardized Coefficients
人口規模 (対数化)						
Ln size	-7.387 +	4.291	-1.883	35.199 **	5.848	7.253
(Ln size) ²	0.256 +	0.147	1.924	-1.221 **	0.200	-7.433
純移動率 (絶対値)						
Abs. Nmr	-0.565 **	0.189	-0.212	-1.824 **	0.257	-0.553
(Abs. Nmr) ²	0.358 **	0.044	0.576	0.633 **	0.060	0.823
東京圏ダミー						
TMA	1.054 **	0.404	0.104	0.677	0.550	0.054
基準年 (ref. 1985 年)						
Year 1990	-0.366 +	0.221	-0.054	-2.967 **	0.302	-0.351
Year 1995	0.421 +	0.217	0.062	-0.542 +	0.295	-0.064
Year 2000	0.097	0.242	0.013	-0.711 *	0.330	-0.076
Year 2005	-0.250	0.277	-0.028	-1.548 **	0.377	-0.139
Year 2010	-0.461	0.363	-0.037	-1.388 **	0.494	-0.091
推計期間 (ref. 5 年)						
10 年	0.893 **	0.192	0.141	0.336	0.262	0.043
15 年	2.178 **	0.210	0.319	1.441 **	0.286	0.171
20 年	3.762 **	0.233	0.494	2.923 **	0.317	0.310
切片	53.889 +	31.366		-251.206 **	42.746	
N	846			846		
F(13, 832)	56.65 **			35.41 **		
Adj R ²	0.4612			0.3461		

有意水準: 0.01 **, 0.05 *, 0.1 +

表 7 市区町村別 APE、ALPE に対する pooled OLS モデルによる推定結果

	APE (Absolute Percent Error)			ALPE (Algebraic Percent Error)		
	Unstandardized Coefficients	Std. Err.	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients	Std. Err.	Standardized Coefficients
人口規模 (対数化)						
Ln size	-7.564 **	0.268	-2.014	-3.963 **	0.345	-0.884
(Ln size) ²	0.334 **	0.013	1.788	0.144 **	0.017	0.644
純移動率 (絶対値)						
Abs. Nmr	0.135 **	0.019	0.073	-0.159 **	0.024	-0.072
(Abs. Nmr) ²	-0.001 *	0.001	-0.022	0.000	0.001	0.000
東京圏ダミー						
TMA	0.972 **	0.131	0.055	-1.167 **	0.168	-0.055
基準年 (ref. 2000 年)						
2005 年	-0.079	0.096	-0.006	-0.242 *	0.124	-0.017
2010 年	-0.104	0.133	-0.006	0.114	0.171	0.006
推計期間 (ref. 5 年)						
10 年	2.130 **	0.090	0.192	1.389 **	0.116	0.105
15 年	5.190 **	0.108	0.405	3.864 **	0.139	0.253
Intercept	42.992 **	1.341		25.993 **	1.727	
N	14,876			14876		
F(9, 14866)	579.35 **			266.13 **		
Adj R ²	0.2592			0.1382		

有意水準: 0.01 **, 0.05 *, 0.1 +

5-1. 推計誤差には空間的自己相関が観察されるか

推計誤差分布の空間的自己相関の有無については、APE、ALPE ともに都道府県では推計期間と基準年によってばらつきがあり (表 8)、市区町村では概ね空間的自己相関が検出される結果となった (表 9)。

都道府県の APE モデルでは (表 8)、基準年が 1985 年・1990 年について推計期間が 5 年・10 年については空間的自己相関が検出されるがそれ以外の基準年・推計期間では検出されないという結果である。ALPE については、推計期間が 5 年では 1995 年・2000 年を除き空間的自己相関が検出される他、基準年が 1985 年・1990 年で推計期間 10 年において空間的自己相関が検出される。その他では、基準年 1990 年・推計期間 15 年では空間的自己相関が検出されるが、その他の基準年・推計期間では検出されていない。

市区町村の結果をみると (表 9)、APE モデル、ALPE モデルともに空間的自己相関が検出される結果となっている。都道府県よりも小さいレベルでの観察においては、誤算のバイアス (APE)、正確性 (ALPE) ともに推計誤差の分布は連続的に分布していることがわかる。

このように都道府県の誤差について回帰モデルによって推定を行う場合、都道府県モデルでは推計期間が短い場合は OLS の誤差項が独立変数と空間的自己相関している可能性があるため、その検定を行った上でモデルの選択を行う必要がある。市区町村モデルについては OLS モデルを適用せずに SEM モデルによるモデル誤差項の空間的自己相関の調整を行

った上で適切なパラメータの推定を行う必要があるといえる。

5-2. 推計誤差には空間的異質性は観察されるか

分析課題2では(表10)、推計誤差の分布が人口規模や純移動率といった特性との関連が地域によって異なるのかという空間的異質性(空間的非定常性)を検出することを目的としている。モデルの推定は回帰係数が地域によって異なることを許容するモデルである地理加重回帰モデルによって行った。その結果、APE、ALPEの誤差分布ともにGWRがOLSよりもモデルが改善するというとはなく(F(1)-(2)検定及び赤池情報量基準)、かつ偏回帰係数の空間的分布に差はみられず(F(3)検定の結果)、地域によってパラメータが異なるとする空間的異質性(空間的非定常性)は検出されなかった。したがって、推計誤差の規定要因について回帰モデルを用いて推定する場合、地理加重回帰モデルのようなローカル推定ではなく、分析課題1にあるような空間誤差モデル等の空間隣接行列による調整を行った上でのグローバル推定が適切であるといえる。

6. 結論と展望

本稿は国立社会保障・人口問題研究所(以下、社人研)が公表している地域別将来推計人口の推計精度を評価することを目的とし、特に推計誤差の空間的特性に着目した分析を行った。推計誤差の空間的特性の評価を行うために、空間計量経済学モデル、ローカル推定モデルなど空間的特性に着目した空間計量経済学モデルを用いて評価を行った。

推計誤差の空間的特性に関する2つの分析課題を設定し統計的検定による分析を行った結果、(1)推計誤差の空間的自己相関は都道府県では特定の基準年と推計期間によっては部分的に検出されるに留まったが、市区町村では全ての基準年・推計期間において空間的自己相関が検出された。市区町村データを用いて推計誤差の回帰モデルを用いる場合、空間的隣接行列によるパラメータの調整が必要になることが明らかとなった。都道府県別の誤差分布をみると、東京都や奈良県など特異な誤差分布を持った特異地域があることで空間的自己相関の検出が推計基準年や推計期間によってその差が異なり、とりわけ推計期間が長くなるにつれて東京都の過小傾向が拡大するなど特異な結果がみられることが影響しているものと考えられる。基準年1990年推計は誤差率が前後の推計に比べて大きく出やすいが、推計期間が長くなるにつれて誤差率が前後に比べて低くなるなど推計手法の影響が空間的自己相関の検出方法にも影響していることが示唆される。

(2)市区町村の推計誤差と共変量との関係は地域によって異なるとするパラメータの空間的異質性は検出されず、全国的に同様の関係を示していることからローカル推定を行う必要はないことがわかった。

社人研の地域別将来推計人口の推計誤差の特徴は、基本的属性からみると人口規模が小さくなるほど誤差率が高くなる傾向であること、大都市では誤差は小さいものの過小推計になる傾向が観察され、奈良県などの特定の県の中山間地域など小規模な自治体では過大

推計になることが明らかとなった。また推計誤差の空間的特性は、都道府県では推計期間が短い場合に検出され、地域単位が小さい市区町村別の誤差分布では明確な空間的従属性が存在することが特徴付けられる。

地域別将来推計人口の将来の仮定値について、出生率(子ども女性比)と死亡率(生残率)は全国値との相対的較差から全国将来推計人口の仮定値を用いて将来の仮定値を作成していることから、基準年時点の空間的特性を将来まで保持するような仮定設定を行っているといえる。また全国将来推計人口の仮定値の誤差部分と将来の仮定値に関する地域分布の変化分によって将来の誤差が生じるため、推計誤差の空間的特性にも影響を与える可能性がある。2006年以降の出生率の上昇傾向(特に都市部での上昇)や都市圏への集中傾向(都心回帰・都市残留)や東京一極集中の傾向など各所的な人口の空間分布の変化が推計誤差に影響を与えている可能性があり、それらの推計誤差への影響等についての検討は今後の課題としたい。また、移動率(純移動率モデル)は過去の趨勢から異なる変化がある場合に例外仮定を設けるなどの処置を行う「場合分け純移動率モデル」を採用しているが、将来的に縮小させる仮定を置いているため大都市圏で過小推計になっている可能性があり、多地域モデルによる地域間の移動を反映した推計を行うことが考えられる(小池 2015; 2016)。

最後に課題と展望について述べたい。第一に空間的パネルモデルによる時系列上での地域特有の効果の有無に関する検証である。推計誤差に地域特有の誤差を生み出す傾向がわかることで仮定値を設定するときの考え方として特定の地域について詳細に検討する余地が生まれるであろう。ただし分析上の課題として市区町村データを最新の境域に統合した上でパネル分析を行うことが可能であるかという点についての検討が必要である。市区町村推計は平成の大合併の影響もあり基準年によって自治体数に大きな違いがある。データ作成上は合併等の処理を行うことは容易ではあるものの、それぞれ異なった仮定値による推計結果であること、データを統合することによって推計誤差が縮小する可能性があることなど分析上の問題点もあるため、詳細な検討が必要である。

第二に、GWR空間的異質性の検出について、今回は固定型カーネル関数による推定を行っているが、市区町村の面積が異なる場合は適応型カーネル関数による推定を用いた場合には空間的異質性が検出される可能性もあるため、分析課題2の結論については他の方法も実証した上で結論を述べる必要がある。

今後の研究の方向性としては、年齢別にみた推計誤差の特性に関する分析、出生・死亡・移動別にみた推計誤差の特性に関する分析などが考えられる。次年度以降、これらの研究課題に取り組むとともに、地域別将来推計人口の仮定設定の在り方に関して他国の手法の検討など様々な取り組みを行っていきたいと考えている。

表 8 都道府県別 APE、ALPE に対する空間誤差モデルによるモデル選択結果

推計期間	基準年 (自治体数)	最適モデル		OLS誤差項の 空間的自己相関	空間誤差モデル SEM	赤池情報量規準 AIC		APEの 空間的自己相関	
		OLS	空間誤差 モデル SEM	モランのI統計量	λ for 尤度比検定	OLS	SEM	モランのI統計量	
A P E	5	1985 (47)		●	0.450 **	0.600 **	99.7	85.9	0.463 **
		1990 (47)		●	0.169 *	0.354 +	100.4	99.3	0.166 *
		1995 (47)	●		-0.119	-0.432	100.9	100.3	0.354 **
		2000 (47)	●		0.084	0.141	91.5	92.9	0.060
		2005 (47)	●		-0.021	-0.040	49.6	51.5	0.261 **
		2010 (47)	●		0.069	0.156	48.8	50.3	0.046
	10	1985 (47)		●	0.220 **	0.385 *	141.2	138.8	0.275 **
		1990 (47)		●	0.250 **	0.458 *	124.9	120.7	0.256 **
		1995 (47)	●		-0.001	-0.006	186.9	188.9	0.390 **
		2000 (47)		●	0.197 *	0.262	169.3	168.7	0.138 +
		2005 (47)	●		-0.054	-0.103	116.4	118.2	0.082
	15	1985 (47)	●		0.004	0.008	188.2	190.2	0.105
		1990 (47)	●		-0.066	-0.255	181.4	182.6	0.359 **
		1995 (47)	●		0.045	0.171	234.4	236.0	0.350 **
		2000 (47)		●	0.176 *	0.259	215.6	215.3	0.091
	20	1985 (47)	●		0.048	0.118	225.2	226.9	0.172 *
		1990 (47)	●		-0.022	-0.099	237.2	239.1	0.454 **
		1995 (47)	●		0.107	0.368	270.0	269.9	0.360 *
推計期間	基準年 (自治体数)	最適モデル		OLS誤差項の 空間的自己相関	空間誤差モデル SEM	赤池情報量規準 AIC		ALPEの 空間的自己相関	
		OLS	空間誤差 モデル SEM	モランのI統計量	λ for 尤度比検定	OLS	SEM	モランのI統計量	
A L P E	5	1985 (47)		●	0.342 **	0.475 **	118.3	111.5	0.431 **
		1990 (47)		●	0.172 *	0.375 +	128.6	127.1	0.402 **
		1995 (47)	●		-0.076	-0.185	123.6	124.9	-0.046
		2000 (47)		●	0.120 +	0.193	109.9	110.8	0.203 *
		2005 (47)		●	0.320 **	0.503 **	91.7	84.8	0.287 **
		2010 (47)		●	0.207 *	0.438 *	75.0	72.1	0.140 +
	10	1985 (47)		●	0.225 **	0.407 **	154.4	151.5	0.320 **
		1990 (47)		●	0.181 *	0.330 +	214.1	213.0	0.369 **
		1995 (47)	●		-0.067	-0.196	197.8	199.2	-0.034
		2000 (47)		●	0.195 *	0.275	185.2	184.6	0.254 **
		2005 (47)		●	0.165 *	0.294	159.3	158.9	0.115
	15	1985 (47)	●		0.078	0.177	194.4	195.7	0.168 *
		1990 (47)		●	0.188 *	0.330 +	263.5	262.4	0.273 **
		1995 (47)	●		-0.028	-0.084	240.8	242.7	-0.023
		2000 (47)		●	0.182 *	0.265	230.0	229.6	0.193
	20	1985 (47)	●		0.014	0.033	233.4	235.3	0.034
		1990 (47)		●	0.163 *	0.299	292.6	292.1	0.200 *
		1995 (47)	●		0.015	0.047	272.4	274.3	-0.009

有意水準: 0.01 **, 0.05 *, 0.1 +

※最適モデルの判断はOLS残差の空間的自己相関・空間誤差モデルの空間パラメータ λ の統計的検定によって行い、両者が統計的有意である場合に空間誤差モデルが採択される。

表 9 市区町村別 APE、ALPE に対する空間誤差モデルによるモデル選択結果

推計期間	基準年 (自治体数)	最適モデル		OLS誤差項の 空間的自己相関		空間誤差モデル SEM		赤池情報量規準 AIC		APE/ALPEの 空間的自己相関	
		OLS	空間誤差 モデル SEM	モランのI統計量	λ for 尤度比検定	OLS	SEM	モランのI統計量			
A P E	5	2000 (3,244)	●	0.044 **	0.098 **	15143	15131	0.073 **			
		2005 (1,804)	●	0.046 **	0.131 **	7687	7678	0.111 **			
		2010 (1,684)	●	0.094 **	0.233 **	6974	6937	0.131 **			
	10	2000 (3,244)	●	0.089 **	0.196 **	18935	18879	0.075 **			
		2005 (1,746)	●	0.096 **	0.240 **	9595	9555	0.105 **			
	15	2000 (3,154)	●	0.134 **	0.289 **	21538	21413	0.146 **			
A L P E	5	2000 (3,244)	●	0.081 **	0.172 **	17067	17023	0.093 **			
		2005 (1,804)	●	0.071 **	0.188 **	8815	8793	0.204 **			
		2010 (1,684)	●	0.100 **	0.247 **	8110	8069	0.216 **			
	10	2000 (3,244)	●	0.161 **	0.329 **	20678	20499	0.134 **			
		2005 (1,746)	●	0.130 **	0.313 **	10561	10488	0.210 **			
	15	2000 (3,154)	●	0.200 **	0.401 **	22981	22712	0.244 **			

有意水準: 0.01 **, 0.05 *, 0.1 +

※最適モデルの判断はOLS残差の空間的自己相関・空間誤差モデルの空間パラメータ λ の統計的検定によって行い、両者が統計的有意である場合に空間誤差モデルが採択される。

表 10 市区町村別 APE、ALPE に対する地理加重回帰モデルによるモデル選択結果

推計期間	基準年 (自治体数)	最適モデル		Leung et al. (2000) F(1) 検定		Leung et al. (2000) F(2) 検定		Leung et al. (2000) F(3) 検定		赤池情報量規準 AIC	
		OLS	GWR	GWR<OLS	GWR≠OLS	非正常性	OLS	GWR			
A P E	5	2000 (3,244)	●	1.000	2.872 *	No	15143	15133			
		2005 (1,804)	●	0.986	8.148 **	No	7687	7651			
		2010 (1,684)	●	0.997	5.948 **	No	6974	6960			
	10	2000 (3,244)	●	1.000	1.221	No	18935	18926			
		2005 (1,746)	●	0.992	5.061 **	No	9595	9571			
	15	2000 (3,154)	●	0.999	2.146 *	No	21538	21526			
A L P E	5	2000 (3,244)	●	1.000	2.674 *	No	17067	17057			
		2005 (1,804)	●	0.996	7.146 **	No	8815	8800			
		2010 (1,684)	●	0.989	7.039 **	No	8110	8082			
	10	2000 (3,244)	●	0.998	3.922 **	No	20678	20662			
		2005 (1,746)	●	0.997	4.369 **	No	10561	10547			
	15	2000 (3,154)	●	0.995	7.343 **	No	22981	22956			

有意水準: 0.01 **, 0.05 *, 0.1 +

※GWRモデルは固定型カーネル加重関数によって推定を行った。

※最適モデルの判断はF(3)の非正常性に関する検定によって行い、非正常性が確認されない("No")場合、空間的異質性は検出されないとした。F(3)検定はモデルに投入した独立変数ごとに統計的検定が行われ、1つでも統計的有意である場合は"Yes"とした。

謝辞

※ 本研究（の一部）は、厚生労働行政推進調査事業費補助金（政策科学総合研究事業（政策科学推進研究事業））「国際的・地域的視野から見た少子化・高齢化の新潮流に対応した人口分析・将来推計とその応用に関する研究（研究代表者石井太、課題番号（H29-政策-指定-003）」による助成を受けた。

（参考文献）

- Anselin, L. (1988) *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Kluwer, Dordrecht.
- Anselin, L. (2005), *Exploring Spatial Data with GeoDaTM: A Workbook*, Center for Spatially Integrated Social Science.
- Anselin, L. and Bera, A. K. (1998) "Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics", *Handbook of Applied Economic Statistics* (eds. Ullah, A. and Giles, D. E.), pp. 237-289, Marcel Dekker, New York.
- Brunsdon, C., Fotheringham, A. S. and Charlton, M., (1996), "Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity", *Geographical Analysis*, No.28, pp.281-298.
- Brunsdon, C., Fotheringham, A. S. and Charlton, M., (1999), "Some notes on parametric significance tests for geographically weighted regression", *Journal of Regional Science*, 39, pp.497-524.
- Chi, G. (2009), "Can Knowledge Improve Population Forecasts at Subcounty Levels?", *Demography*, 46: 405-427.
- Cliff, A. D. and Ord, J. K., (1981) *Spatial Processes: Methods and Applications*, Pion, London.
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C. and Charlton, M., (2002), *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*, John Wiley & Sons.
- Lenze, D. G. (2000), "Forecast accuracy and efficiency: an evaluation of ex ante substate long-term forecasts", *International Regional Science Review*, 23, pp.201-226.
- Leung, Y., Mei, C.-L. and Zhang, W.-X., (2000), "Statistical tests for spatial nonstationarity based on the geographically weighted regression model", *Environment and Planning A*, 32, pp.9-32.
- Moran, P.A.P., 1950, "Notes on Continuous Stochastic Phenomena," *Biometrika*, 37, pp.17-33.
- Murdoc, S. H., Leistriz, F., Hamm, R., Hwang, S., Parpia, B. (1984), "An Assessment of the Accuracy of a Regional Economic-demographic Projection Model", *Demography*, 21: 383-404.
- Rayer, S. (2008), "Population forecast errors: A primer for planners", *Journal of Planning Education and Research*, 27, pp.417-430.
- Smith, S. (1987), "Tests of Forecast Accuracy and Bias for County Population Projections", *Journal of the American Statistical Association*, 82(400): 991-1003.
- Smith, S., Shahindullah, M. (1995), "An Evaluation of Population Projection Errors for Census Tracts", *Journal of the American Statistical Association*, 90(429): 64-71.
- Smith, S., Sincich, T. (1988), "Stability Over the Distribution of Population Forecast Error", *Demography*,

25:461-474.

Smith, S., Sincich, T. (1991), "An Empirical Analysis of the Effect of Length of Forecast Horizon on Population Forecast Errors", *Demography*, 28: 261-274.

Smith, S., Tayman, J. (2003), "An Evaluation of Population Projections by Age", *Demography*, 40: 741-757.

Smith, S., Tayman, J., Swanson, D. (2013), *A practitioner's guide to state and local population projections*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Tayman, J., Swanson, D. (1996), "On the Utility of Population Forecasts" *Demography*, 33: 523-528.

Tayman, J., Smith, S., Rayer, S., (2011), "Evaluating Population Forecast Accuracy: A regression approach using county data". *Population Research and Policy Review*, 30: pp. 235-262.

Tobler, W. R., (1970), "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region", *Economic Geography*, 46, pp.234-240.

Yamauchi M., Koike S. and Kamata K., (2016), "How Accurate Are Japan's Official Subnational Projections? Comparative Analysis of Projections in Japan, English-Speaking Countries and the EU", Swanson D. (ed.) *The Frontiers of Applied Demography*, pp.305-328.

鎌田健司・岩澤美帆 (2009) 「出生力の地域格差の要因分析－非定常性を考慮した地理的か重回帰法による検証－」, 『人口学研究』, 45 号, pp.1-20.

小池司朗(2008)「地域別将来人口推計における純移動率モデルの改良について」『人口問題研究』第 64 巻第 1 号, pp.21-38.

小池司朗 (2015) 「多地域モデルによる都道府県別将来人口推計の結果と考察」『人口問題研究』第 71 巻第 4 号, pp.351-371.

小池司朗 (2016) 「プールのモデルの投影精度に関する研究」『人口問題研究』第 72 巻第 3 号, pp. 256-275.

坂本和靖 (2007) 「パネルデータ分析」, 筒井淳也他著『Stata で計量経済学入門』, ミネルヴァ書房, pp. 137-172.

瀬谷 創・堤 盛人 (2014) 『空間統計学 自然科学から人文・社会科学まで』, 朝倉書店.

山内昌和・小池司朗 (2014) 「地域人口推計」, 『人口問題研究』, 70-4, pp. 351-424.

山内昌和・小池司朗(2015)「英語圏諸国との比較からみた社人研の地域別将来推計人口の誤差」, 『人口問題研究』, 71-3, pp. 216-240.