

SSPsの社会経済シナリオと整合する 将来の市区町村人口の推計手法

中野 一慶¹・吉田 護²・多々納 裕一³

¹正会員 電力中央研究所 社会経済研究所 (〒100-8126東京都千代田区大手町1-6-1)
E-mail: k-nakano@criepi.denken.or.jp

²正会員 長崎大学大学院 水産・環境科学総合研究科 (〒852-8521長崎県長崎市文教町1-14)
E-mail: yoshida-m@nagasaki-u.ac.jp

³正会員 京都大学 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: tatano.hirokazu.7s@kyoto-u.ac.jp

本研究は、環境統合評価モデリングの分野で広く共有されて利用されているShared Socio-economic Pathways (SSPs) のシナリオと整合的な形で、我が国の市区町村別人口を予測する手法を提案する。地域人口の代表的な推計手法である純移動率モデルの課題を解決する手法の1つとして、プールモデルを採用した上で、SSPsの複数のシナリオを考慮し、それと整合する諸元の考え方を整理する。構築したモデルを用いて我が国の2050年までの市区町村別人口を予測し、シナリオの違いが結果に及ぼす影響について考察する。

Key Words : *Population Projection, Shared Socioeconomic Pathways, Pool Model, Cohort-component Method*

1. はじめに

将来の土地利用や地域のエネルギー利用、災害リスク等の評価を行う上では、技術や制度的変化等だけではなく、その基礎情報となる人口や、背景にある社会経済像を想定しておく必要がある。中でも小地域の人口は、今後の高齢化や都市化の進展等により大きく変化する可能性があり、そのいくつかのシナリオを予め想定することは、計画立案の基礎情報として有用である。環境統合評価モデリングの分野では、Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)と呼ばれるもの¹⁾があり、叙述シナリオ²⁾や主要な経済指標等³⁾の想定値を含め、共通で利用可能な複数の社会経済シナリオを提示している。そこでは人口についても、それぞれのシナリオにおける出生率や死亡率等が公開されている⁴⁾。分析者によって様々な将来シナリオの想定が可能である中で、このように広く共有されているシナリオを活用することは、一つの参照点を与えるという点で有用である。

SSPsと整合的な地域人口の分布を予測したものとして、Jones and O'Neill⁵⁾があるが、個々の国の実態を考慮した詳細な検討はされておらず、我が国の社会情勢に応じた人口分布を表現するには不十分といえる。そこで本稿では、

SSPsの社会経済シナリオと整合的な我が国の市区町村人口を推計する手法を提案する。SSPsは元来、地球温暖化問題を考える上で必要となる将来の社会経済シナリオを叙述したものであり、市区町村の将来人口推計に活用するためには、推計手法に留意しつつシナリオと整合的にパラメータを設定する必要がある。特に、地域人口の予測には地域間人口移動の仮定が重要となるが、代表的な手法である純移動率モデルはいくつかの課題があることが知られている。SSPsと整合的な地域人口の分布を予測する際にも、この点について解決をする必要がある。本稿では純移動率モデルの課題を解決する手法の1つとしてプールモデルを採用する。その上で、SSPsの複数のシナリオと整合的な市区町村別人口を予測する際の、パラメーターの考え方について整理する。

以下、本稿は次のように構成される。2. では本研究の基本的な考え方について整理し、モデルの概要やSSPsのシナリオの概要について述べた後、SSPsの各シナリオと整合的な市区町村人口を推計する際の考え方を示す。3. では2. で示した考え方に沿って市区町村人口推計を行い、シナリオ間や推計手法間の違いについて考察する。4. では本稿の知見を整理する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 我が国における小地域人口の予測

小地域の人口予測については、コーホート要因法などの標準的な予測手法を用いるアプローチや(奥村⁷⁾、上位層の予測結果をダウンスケーリングする手法が考案されている⁶⁾。ダウンスケーリングする手法は、年齢別人口などの詳細なデータが小地域レベルで入手できない場合に有効であるが、手法上、上位の地域レイヤの人口動向の影響を受けやすいと考えられる。すると、例えば上位の地域レイヤを都道府県としてダウンスケーリングした場合、人口増加する都道府県の中で、人口減少局面にある地域の予測が困難である。この意味では、小地域においても可能な限りコーホートを考慮した予測手法を採用するのが望ましい。この点では、メッシュレベル等の詳細な人口データが公表されていることを背景に、我が国では詳細なメッシュレベルでもコーホート要因法等を用いる手法が蓄積されている。しかし、地域区分が細かいほど精度には課題が残り、この点を克服する試みもあるものの(奥村⁷⁾、まだ十分に確立された手法があるとはいえない。特に、地域間人口移動に関する十分なデータが得られるという点では、市区町村を対象とした検討が適切である。そこで本稿では、小地域として市区町村を対象とし、コーホート要因法を用いたモデルを構築する。

(2) 地域間人口移動のモデル化

地域別人口を予測するには、地域間人口移動の表現が重要である。地域間人口移動のモデル化手法として代表的なものに、純移動率モデル(単一地域(Uni-regional)モデル)がある。純移動率モデルは、人口に対する転入超過数の比率(純移動率)を与えて、ある地域の転入超過数を推計する方法である。この方法は人口に占める転入者数という変数の意味が解釈できないという課題や、総転出者数と総転入者数が一致しないといった問題が指摘されている(Rogers⁸⁾、小池⁹⁾。また、モデルの構造上、我が国の首都圏のように人口流入が起きている地域では、他の地域の動向に関わらず人口が増加しやすいという傾向をもってしまふ。

この解決のために多地域モデルや、その簡略版であるプールモデルといった様々なアプローチが考案されている。多地域モデルは、移動者の転出元と移動先を明示して地域間の人口移動のマトリックスを推計するものであり、理論上最も整合的な推計を行うことができる。ただし、必要とされるデータが膨大であるために、その簡易版となる手法がいくつか提案されている。その1つであるプールモデルは、各地域からの転出者数を合計し、それを各地域に配分するという手法であり、転出者数の総

数と転入者数の総数が一致するという利点を有している。その他にも、二地域モデルと呼ばれ、対象地域と他地域の2つに分けて多地域モデルを実行し、それを対象地域の数だけ繰り返す手法も提案されている。小池⁹⁾はプールモデルや二地域モデルを採用することで、純移動率モデルの課題を解決しつつ、精度の高い推計ができることを示している。以下では、必要となるデータの数を勘案し、地域間人口移動の推計にはプールモデルを採用する。

(3) モデル概要

本稿では市区町村別人口予測にコーホート要因法を用いる。これは前期の人口に出生、死亡、地域間人口移動の各要因を加味して、次期の人口を推計するという代表的な手法である。また、地域間人口移動を表現する手法としてプールモデルを用いる。

プールモデルは、市区町村からの転出者を算出した上でその合計を求め、それを各市区町村へ配分する手法である。式(1)~(3)はこれを定式化したものである。 $P_x^i(t)$ は時点 t における市区町村 i の $x \sim x+4$ 歳人口、 $s_x^i(t)$ はその生残率を示す。式(1)では前期の5歳階級別人口に生残率を乗じ、転出者数、転入者数、外国人の純流入数 $m_x^i(t)$ を加減している。 t 時点における市区町村 i から転出する $x \sim x+5$ 歳の転出数 $O_x^i(t)$ は、式(2)のように人口 $P_x^i(t)$ に転出率 $o_x^i(t)$ を乗じて計算する。その後、式(3)のように各市区町村の転出者数を全国で合計する。転出者数の合計値 $Pool_x(t)$ に転入者の配分シェア $d_x^i(t)$ を乗じ、各市区町村への転入者数を決定する。このような構造にすることで、転出者数と転入者数の総数が一致するという特徴を持つことができる。なお、市区町村は2015年10月時点に存在する1892市区町村に集約した。

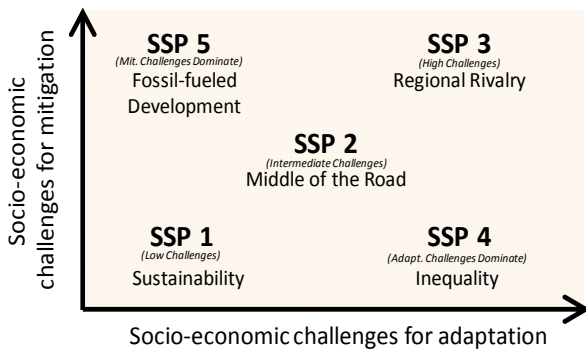
$$P_{x+5}^i(t+5) = P_x^i(t) \times s_x^i(t) - O_x^i(t) + Pool_x(t) \times d_x^i(t) + m_x^i(t) \quad (1)$$

$$O_x^i(t) = P_x^i(t) \times o_x^i(t) \quad (2)$$

$$Pool_x(t) = \sum_i O_x^i(t) \quad (3)$$

(4) SSPsのシナリオ概略

SSPsは、気候変動への適応策と緩和策への対応の困難さを軸として、5つのシナリオ(SSP1~5)を設定している。図-1は適応策と緩和策への対応の困難さ(Challengeの高低)によって区分した、各シナリオの位置づけを示している²⁾。SSP1は環境負荷の低さと経済成長を両立したシナリオとなっており、適応策と緩和策に対する対応



出所：文献²⁾を元に作成

図-1 SSPsの各シナリオの位置づけ

がともに容易な社会像である。SSP5は従来型の資源利用を前提に、高い経済成長を実現するシナリオである。ここでは緩和策の対応は困難であるが、豊富な財政的資源を背景にしたインフラ投資が可能であり、適応策がとりやすくなっている。SSP3では地域間対立が激化して多国間の強調が見込めず、技術革新も少ない等の理由から緩和策がとりにくい。格差が拡大するSSP4では、経済成長の緩やかさと技術革新等により、環境負荷の低減につながりやすい一方で、格差が存在する等の理由から適応策の対応が難しい場合がある。また、これらの中庸なシナリオとしてSSP2が設定されている。

表-1はSSPsの各シナリオの前提条件のうち、将来の人口に関するものを抽出している。ただし、日本が属する高所得国のグループについてのみ記載した。出生率がSSP5で高い背景として、技術・生活水準が高く、仕事と家庭が両立しやすいことなどが挙げられている(KC and Lutz⁹⁾)。国家間の人口移動はSSP5で盛んであり、日本への外国人の流入は多いものとみられる。都市化はSSP1、SSP5で特に進展するとされており、地域間対立のあるSSP3では停滞すると仮定されている。SSP4でも都市化が進む想定であるが、低出生率により若者が少ないことから人口移動の規模が大きくなく、都市化程度は中位とされている³⁾。

(5) SSPsと整合的な地域間人口移動シナリオの検討

表-1の下段は、SSPのシナリオと整合的と思われる地域間人口移動のシナリオを本稿において検討したものである。ただし、「中核市」は法定人口20万人以上で総務省に認定されたもの、「東京都市圏」は金本・徳岡¹⁰⁾の都市雇用圏によるものとした。また、これ以外の市区町村を「地方部他」と定義して分類した。

SSP1は環境親和的な住環境を求める社会像であり、コンパクトシティが実現するシナリオとされている³⁾。

表-1 SSPsにおける市区町村別人口・転出/転入率の想定

	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5					
出生率	中	中	低	低	高					
死亡率	低	中	高	中	低					
移民	中	中	低	中	高					
都市化程度	高	中	低	中	高					
総人口	+	0	-	-	++					
市町村分類	転出率	転入率	転出率	転入率	転出率	転入率				
政令指定都市	0	+	0	0	-	0	-	+	-	
中核市	0	+	0	0	-	0	0	-	+	-
東京都市圏	0	-	0	0	-	0	0	+	0	+
地方部他	0	-	0	0	-	0	0	-	+	-

注1) 出生率～都市化程度の想定はO'Neill et al.²⁾による

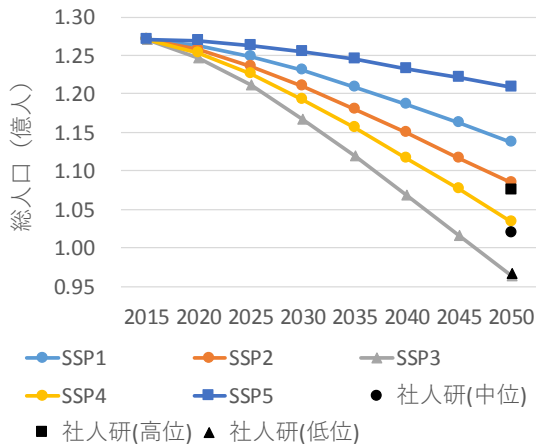
注2) 市町村分類及び転出率、転入率の想定は筆者らによる

我が国での状況に当てはめて考えると、個々の地域では政令指定都市や中核市を中心に、コンパクトな持続可能性の高い形態に変化しつつ、それらの間は交通ネットワークで結ばれた国土構造を想定することができよう。このシナリオと整合する人口移動の姿として、転出は現状維持と仮定する一方、政令指定都市、中核市の転入率は大きいと仮定した。

SSP3では効果的な都市計画が十分にされず、都市の魅力が低下するため、人口移動が少ないとされている(Jiang and O'Neill³⁾)。そこで本稿では、このシナリオにおける転出率はすべての地域で現状より低下すると仮定する。

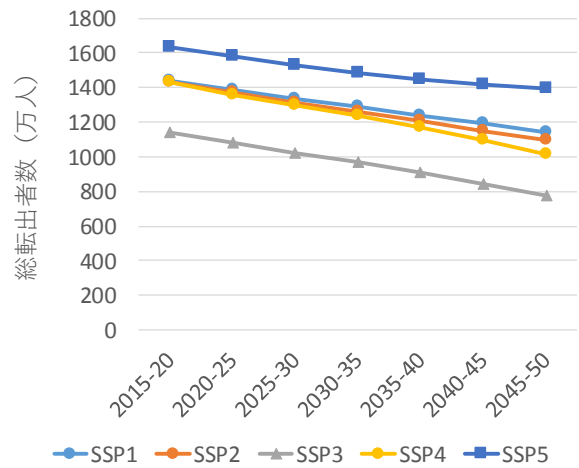
SSP4は地域間格差が拡大し、東京都市圏への人口集中が進むシナリオと整合的と考えられる。そのため、東京都市圏の転入者配分率は上昇する一方、その他の地域への転入者配分率は低下すると仮定した。

SSP5は急速な経済成長と技術革新を背景に、都市の魅力が増すシナリオとされる(Jiang and O'Neill³⁾)。こうしたシナリオを我が国に当てはめると、東京都市圏への集中が高まるシナリオと想定することができる。そのため、政令指定都市、中核市、地方部他の転出率を大きく仮定し、転入率は東京都市圏で大きいと仮定した。東京都市圏への集中という意味ではSSP4と5は共通しているが、SSP5の方が転出率が高いため人口移動の規模自体が大きく、より集中が進む姿を想定する。また、SSP5では東京都市圏への集中につながる一方で、SSP1は地方の政令指定都市や中核市に分散する姿と想定している。都市化程度はSSP1と5のいずれも高いとされるが(O'Neill et al.²⁾)、以上で検討したように、我が国の文脈に適用すると、その具体的な姿は大きく異なることに留意が必要である。



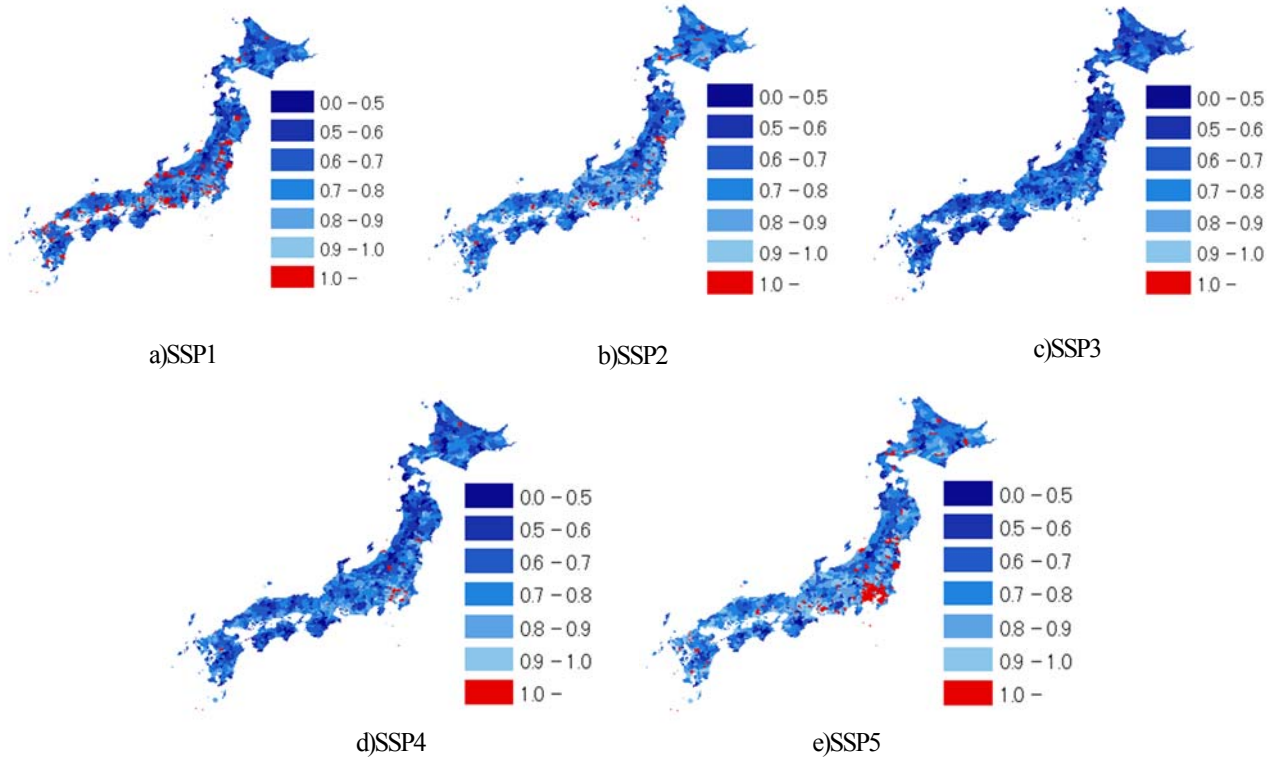
注：社人研¹⁾の予測値を引用。「SSP1」～「SSP5」はSSPsの前提条件を反映させた本稿の結果であり、モデルが異なるため文献⁹⁾と異なる可能性もある。

図-2 各シナリオにおける全国の人口予測結果：
2015～2050年



注：「SSP1」～「SSP5」は、それぞれのSSPのシナリオの前提条件を反映させた本稿の結果。

図-3 総転出者数の予測結果



注：a)-e)は各 SSP のシナリオに対応した本稿の結果。2015年水準に対する2050年人口の比率を示している。

図-4 各シナリオにおける市区町村別人口変動率：2015～2050年

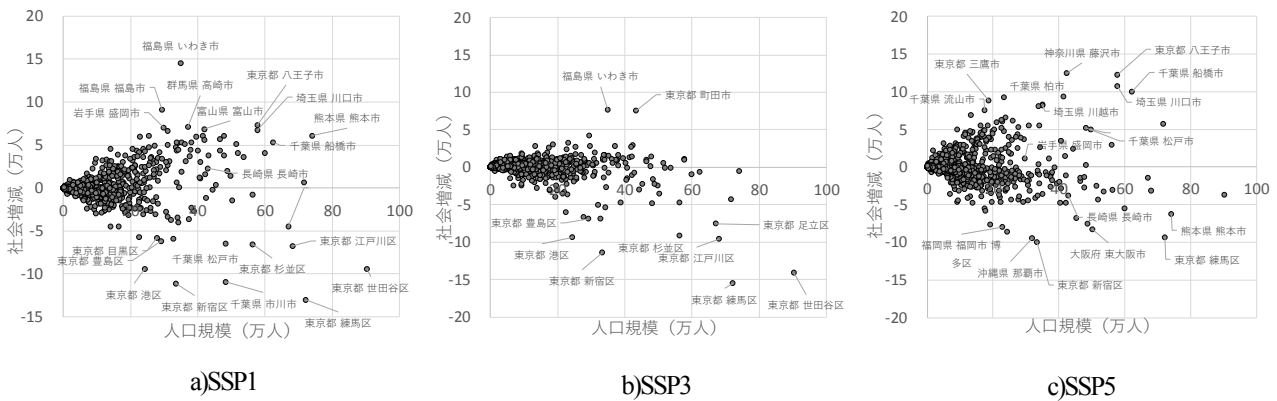
3. SSPsの社会経済シナリオを考慮した市区町村別人口予測

(1) 仮定

市区町村別の基準人口は総務省の2015年版国勢調査の実績を用いる。また、SSPの各シナリオと整合するように、公開されているデータ⁹⁾から全国の男女年齢別出生

率、同生残率、同外国人純流入数の将来値を与える。ここではさらに、諸元が国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研）¹⁾の中位想定に従うケースについても計算した。市区町村別の男女年齢別出生率・生残率は、同じ都道府県内は一定とし、対全国比を乗じることで設定した。

地域間人口移動については、国勢調査から2010～15年



注：縦軸は2015～2050年の社会増減の合計，横軸は2015年の人口。

図-5 各シナリオにおける社会増減の違い：2015～2050年

の市区町村間の5歳階級別移動者数の行列を得て，そこから転出率，転入者数シェア等の実績を計算した．プールモデルについては市町村別の転出率，転入者の配分シェアを，表-1で検討したシナリオに基づいて設定した．転出率や転入者の配分シェアが上昇する場合については，マークアップ率をそれぞれ0.2とする．

(2) 予測結果：全国

図-2は各シナリオにおける全国の人口予測結果を示している．SSP5ではもっとも人口が維持されており，2050年時点で1.2億人を超えている．これは高い出生率の想定や，外国人人口の流入が大きいことによる．SSP1でも2050年に1.15億人ほどとなっており，我が国の代表的な想定¹⁰⁾に比べて，SSP1や5では非常に楽観的なシナリオが描かれていることがわかる．他方，SSP4は2050年で1億人ほどと，社人研の中位想定¹⁰⁾に近いことがわかる．また，SSP3では低出生率等を背景に，人口予測値も最も低位の見通しとなっており，2050年時点で1億人を割り込んでいる．これは社人研¹¹⁾の低位想定（出生低位，死亡高位）に近い．どのシナリオも人口減少は避けられないが，SSP3とSSP5では2050年時点で2千万人以上の開きがあり，出生率，死亡率，移民数の違いが総人口の推移に大きな影響を及ぼすことが分かる．

転出者数の合計の推移を示した図-3をみると，SSP1, 2, 4, の転出者数は2015～20年の5年間で1400万人ほど（年間300万人ほど）である．SSP5をみると転出者数が1600万人5年を超え，より多くの方が市区町村外へ転出するシナリオとなっている．他方，SSP3では1100万人程度であり，地域間人口移動は大きくない．また，いずれのシナリオでも転出者数が減少傾向なのは，若年人口が減少するためである．

(3) 予測結果：市区町村別人口

図-4は，各シナリオにおける市区町村別人口予測の結果であり，2050年人口の2015年実績に対する比率を示し

ている．パネルe)をみると，SSP5では高い出生率等を背景に，東京都市圏を中心に人口増加が見られる．他に人口増加が見られる地域は限られており，東京都市圏に人口が集中するシナリオとなっていることがわかる．他方，パネルa)を見ると，SSP1では人口増加が見られる地域が全国に分布しており，政令指定都市や中核市を中心に集積が高まる想定と整合的である．パネルc)をみると，SSP3の低い出生率等を背景に，全体的に人口が減少する結果となっており，移動者数も少ないために，東京都市圏等でも人口増加は見られない．SSP4でも出生率は低い想定となっているが，パネルd)をみると，東京都市圏では一部人口が増加する市区町村が見られている．これは地域間格差を背景に東京都市圏への集積が起こるシナリオと整合的である．

図-5は，予測された2015～2050年の社会増減を縦軸にし，横軸に2015年の人口を用いて散布図を作成したものである．ただし，SSP1, 3, 5を例として取り上げる．ここで社会増減とは，転入者数から転出者数を差し引いた値である．パネルa), b)をみると，SSP1では社会増のある都市と社会減のある都市の差が大きいのに対し，SSP3では差が小さいことがわかる．SSP1では熊本市や盛岡市も，社会増の大きい都市として出現している．逆に東京都市圏は社会減が顕著になっている．他方，パネルc)のSSP5では，埼玉県や千葉県など東京都市圏の市区町村で社会増が大きくなっていると同時に，熊本市では社会減に転じている．これはSSP5において東京都市圏への集中が進むシナリオとなっていることと整合的な結果である．なお，福島県いわき市など，震災後，県内の原子力発電所立地地域からの移転も多かったと見られる地域では，2010～2015年の転入増の影響が含まれている点は指摘しておく必要がある．被災地域からの転出者の今後の動向については，本稿では十分に検討できておらず，今後も注意深い検討が必要となる．

4. おわりに

本研究では、環境統合評価モデリングの分野で用いられているSSPs (Shared Socioeconomic Pathways) と整合する、将来の市区町村人口の推計方法を提案した。その推計方法として、国内の転出者数と転入者数が一致することを前提としたプールモデルを採用することで、既存の手法である純移動率モデルの課題を解決している。さらに、SSPsと整合的なパラメータの設定方法を検討した。提案した手法を用いて2050年までの試算を行った結果、SSPsのどのシナリオにおいても総人口の減少は避けられないが、出生率や純移民者数の違いにより総人口数が大きく変わりうることを示された。また、市区町村別の将来人口は、シナリオ間で社会増減が大きく異なり、それが将来人口に大きく影響することが示唆された。市区町村別の将来人口を見通す上では、社会増減の違いとその背後にある社会像の想定が欠かせないことが示唆される。

謝辞

本稿は、SSPsと整合する市区町村人口の推計について基礎的な検討を行った吉田他¹²⁾を、市区町村の社会増減等の違いに着目して考察を加え、拡張したものである。

参考文献

- 1) Riahi, K. et al.: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change*, Vol.42, pp.153-168, 2017.
- 2) O'Neill, B.C. et al. : The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century, *Global Environmental Change*, Vol.42, pp.169-180, 2017.
- 3) Jiang, L., and O'Neill, B.C. : Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways, *Global Environmental Change*, Vol.42, pp.193-199, 2017.
- 4) KC, S., and Lutz, W. : The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100, *Global Environmental Change*, Vol.42, pp.181-192, 2017.
- 5) Wittgenstein Centre for Demography and Global Human Capital: Wittgenstein Centre data explorer, <http://dataexplorer.wittgensteincentre.org/shiny/wic/> (2019年2月4日アクセス可)
- 6) Jones, B. and O'Neill, B.C.: Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways, *Environmental Research Letters*, Vol.11, No.8, 2019, doi:10.1088/1748-9326/11/8/084003
- 7) 奥村誠：国勢調査メッシュデータに基づく地区の将来人口構成予測手法，都市計画論文集，Vol.40, No.3, pp. 193-198, 2005.
- 8) Rogers, A.: Requiem for the Net Migrant, *Geographical Analysis*, Vol.22, pp.283-300, 1990.
- 9) 小池司朗：地域別将来人口推計における人口移動モデルの比較研究，人口問題研究，Vol.64, No.3, pp.87-111, 2008.
- 10) 金本良嗣，徳岡一幸：日本の都市圏設定基準，応用地域学研究，Vol.7, pp.1-15, 2002.
- 11) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口—平成29年推計の解説および条件付推計—，人口問題研究資料，第337号，2018.
- 12) 吉田護，中野一慶，多々納裕一：社会経済シナリオの違いを考慮した市区町村人口推計に関する基礎的研究，土木学会西部支部研究発表会，IV-60, 2019.