将来の交通環境の変化が人口分布や環境負荷に与える影響に関する研究

三瀬　遼太郎[1]・冨岡　秀虎[2]・森本　章倫[3]

[1]非会員　PwC アドバイザリー合同会社（〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-1-1）
E-mail: ryotaro.mise@pwc.com

[2]学生会員　早稲田大学大学院（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）
E-mail: mannyan@asagi.waseda.jp

[3]正会員　早稲田大学　理工学術院（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）
E-mail: akinori@waseda.jp

社会ではテレワークや自動運転車，炭素税などに代表される数多くの変化が生じ，今後の居住地選択に大きな影響を与えることが想定される．また，地球温暖化に対する関心は高まり続け，温室効果ガスの排出量のうち約 2 割を占める交通環境負荷の削減は必須である．本研究では，宇都宮市を対象にテレワーク，自動運転車，炭素税の導入による居住地の変化と，それに伴う交通環境負荷の変化を応用都市経済モデルを用いて定量的に評価した．結果，テレワークや自動運転車の導入による居住地の拡散に伴い，一トリップあたりの交通環境負荷は 0.3~5.6%増加することが明らかになった．また，テレワークや自動運転車と同時に炭素税を導入することで，居住地の変化は相殺され交通環境負荷の抑制を実現可能であるとわかった．

Key Words: *transportation environmental load, telecommuting, AV, carbon tax, residential choice*

1. 研究の背景と目的

COVID-19 の感染拡大を契機とした生活様式の変化や，自動運転車に代表される技術革新に伴う変化，また，脱炭素社会の実現を見据えた政策など，数多くの変化が社会で注目を集める．これらの変化は，都市構造にも大きな変容をもたらすと想定される．実際，COVID-19 の蔓延に伴い発令された緊急事態宣言により，栃木県のテレワーク実施率は 28%を観測するなど[1)] 交通や都市を取り巻く状況の変化は加速している．そして，ポストコロナを見据えると，自動運転車に代表される新たな技術の導入や，炭素税などの政策に伴い，交通行動は変化し続けると考えられる．そこで，将来の都市・交通計画を検討するうえで社会の変化を織り込むことは必須である．

また，パリ協定を背景に，環境問題への注目は高まり続けている．我が国においても 2021 年に地球温暖化対策計画が策定され，2050 年までに脱炭素を実現することが掲げられている[2)]．持続可能な社会においては環境負荷の抑制が不可欠であることが社会で広く認識され，環境問題への対策は不可欠である．運輸部門においても大幅な削減が推進されており，環境負荷の抑制は重要な課題である．

そこで，本研究では，生活様式の変化や，自動運転車に代表される技術革新に伴う変化，また，脱炭素社会の実現を見据えた政策の一例として，テレワーク，自動運転車，炭素税の導入に着目し，政策導入に伴い変化する人口分布を定量化することで，社会の変化が都市構造に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする．そのうえで，居住地の変化がもたらす交通環境負荷の変化を算出し，持続可能な都市・交通計画を実現するための一助とすることを目指す．

2. 既存研究の整理と研究の位置づけ

(1) 既存研究の整理

既存研究は，社会の変化が交通環境負荷に与える影響を定量化した研究，社会の変化が人口分布にもたらす影響を考察した研究に大別される．

社会の変化が交通環境負荷に与える影響を定量化した

研究は近年多数取り組まれている．日比野ら[3]は，テレワークの普及推進が与える通勤行動の変化に着目し，今後発生し得る交通行動や居住地の変化を明らかにした．また，森本ら[4]はテレビ会議が出張会議を代替することで生じる二酸化炭素排出量の変化をライフサイクル環境負荷の観点から示した．さらに，山﨑ら[5]は個人のライフスタイルが将来の居住地選好に与える影響を評価し，現住地により将来居住地選好に影響を与えるライフスタイルの要因が異なることを明らかにした．

以上より，様々な要因によって変化した交通行動は，都市構造や交通行動の変化を促すとともに，環境負荷にも影響を与える存在であることが明らかになった．

社会の変化が人口分布にもたらす影響を考察した研究は，主に応用都市経済モデルを活用して多数取り組まれている．佐々木ら[6]は，LRTの導入を想定し，将来の人口分布をLRTの有無別に比較した．その結果，LRT沿線では，LRTが開業した場合に，開業していない場合と比べ約 100 世帯分の人口が増加することが確認された．また，冨岡ら[7]も同様に宇都宮に LRT が導入された場合を想定し，LRTの導入に伴うトリップ費用の変化を交通モデルに組み込むことで，より精緻に人口分布を予測した．山崎ら[8]は，東京都市圏を対象に，鉄道や道路整備が人口分布や二酸化炭素排出量に与える影響を予測した．

応用都市経済モデルを活用した将来の居住地の分布を予測する研究は数多く見られる一方で，インフラ整備の評価を目的とする研究が多く，将来の技術革新やライフスタイルの変化が将来の人口分布に与える影響を，複数のシナリオに基づき比較している事例は見られない．

(2) 研究の位置づけ

社会の変化が交通環境負荷に与える影響を定量化した研究はすでに多くの蓄積があり，各変化が交通環境負荷に与える影響は明らかになりつつある．また，応用都市経済モデルを活用し，政策の変化が人口分布に与える影響を評価している事例は複数見られる．

しかしながら，社会の変化が将来の人口分布に与える変化を応用都市経済モデルを使用して定量化したうえで，交通環境負荷に及ぼす影響を算出した事例は少ない．そこで本研究では，テレワーク，自動運転車，炭素税導入時の人口分布の変化を応用都市経済モデルを用いて算出するとともに，人口分布の変化が交通環境負荷に与える影響を定量化する点に新規性がある．

3. 研究の概要

(1) 研究の流れ

研究は次の流れで実施する．

1. 本研究で使用する応用都市経済モデルの精度検証を行う．
2. テレワーク，自動運転車，炭素税を導入した際の人口分布の変化を算出する．
3. 上述した各政策採用時の通勤時の交通環境負荷の変化を評価する．
4. 上述した各政策を組み合わせた際の人口分布の変化と環境負荷の変化を評価する．

なお，環境負荷は通勤時の自動車由来の二酸化炭素排出量に絞って議論を行う．これは，鉄道やバスの環境負荷は運行頻度や距離によっておおよそ決まり，利用者の交通手段の転換の影響は小さいためである．本研究の対象地である宇都宮市では，公共交通の分担率が自動車に比べ著しく低い[9]ため，公共交通が環境負荷総量に与える影響が軽微であることも，公共交通を除外して検討を行う理由である．また，自転車や徒歩による移動も環境負荷に影響を与えないため除外している．

(2) 対象地の概要

本研究では栃木県宇都宮市を対象地として設定する．宇都宮市は，栃木県の中央部に位置する人口約 51 万人の都市であり，北関東の市町村では最大で，市内には複数の鉄道路線や中心部から放射状に伸びるバス路線が存在する．一方で，宇都宮市は自動車分担率が 69%を占め自動車への依存度は高止まりしている[9]．また，宇都宮市では平成 26 年に県央広域都市圏生活行動実態調査(以下，PT 調査)が実施されている．したがって，宇都宮市では，通勤時における自動車の利用者が一定数程度存在し，また，過去の PT 調査で交通行動が既に明らかになっているため，交通環境負荷の推計が比較的容易であると考えられる．

4. 応用都市経済モデルの概要と精度検証

(1) 応用都市経済モデルの概要

本研究では，冨岡ら[7]の研究をもとに，応用都市経済モデルを用いて変化する人口分布を評価する．応用都市経済モデルは，交通と土地利用の同時均衡モデルの一種であり，交通状況が都市に与える影響を評価可能である．また，ミクロ経済学に基づいているため，各主体の選択を便益換算することが可能であることが採用理由である．正の便益だけではなく炭素税導入に伴う家計の負担増加など負の便益も含めて考慮可能である．さらに，脱炭素を見据えた人口分布についても定量的に評価可能である．

応用都市経済モデルで参照するトリップ費用は，交通需要予測に基づき算出しているため，交通・都市政策を考慮しながら，変化する人口分布を考慮可能であるとい

う特徴がある．本研究で考慮対象とするのは個人行動のみであるため，冨岡ら[7]の研究を踏襲し，企業行動は変化しないことを想定した．よって個人効用の最大化と地主の利潤の最大化を図るうえで最適な均衡点を模索する．

均衡点の算出にあたり，まず，現況の立地効用を把握した．ゾーン別の所得とトリップ費用を算出し，現況の移動にまつわるトリップ費用と立地選択によって得られる効用が均衡していることを仮定し，立地効用と現況の立地選択率の関係を求めた．立地効用から求めた立地選択率と実際の選択率に誤差が発生する場合は，定数項を用いてそれが比例するように補正した．本研究ではトリップ費用と地価に基づき居住地選択が行われることを仮定したが，実態としては都市のアメニティなどの要素も加味して立地選択を行う場合が一般的である．したがって本定数項は，本モデルで説明されない要素を示すものと位置付ける．

続いて，政策の導入にあわせて将来のトリップ費用を PT 調査を用いて更新した．本研究では，通勤トリップのみをトリップ費用を変動させる要素と設定する．最後にゾーン毎の地価を変動させ，すべての土地の需給が均衡する値を算出する．均衡したときの人口が，将来人口移動が収束した時点の人口分布である．

検討に当たり、まず現況を再現し，精度を確認した上で，将来の人口分布を算出した．将来の人口分布については 2050 年を想定した．また，本研究で導入を検討する各種政策は将来の人口分布に影響を与える存在とする．なお，本章で言及するテレワーク，自動運転車，炭素税は，いずれもトリップ費用に影響を与える政策である．したがって，変化させた関数はトリップ費用にまつわる事項のみであり，それ以外の変数は政策の導入前後で不変とした．

ただし，応用都市経済モデルは時間軸を持たないモデルである．需要と供給が均衡する時点が予測時点であり，均衡するまでの時間を明示的に表すことができないためである．本研究では，将来時として 2050 年を想定したが，これは政策導入時から十分な時間が経過することで，均衡点に達すると考えられるためである．また，本研究で設定したシナリオでは人口分布の変化は市街地においても 500m メッシュあたり数十人と少ないため，山崎ら[10]のような人口分布の変化に合わせた自動車トリップ費用の更新は実施していない．

なお，本章第 2 節、第 3 節で言及している応用都市経済モデルを用いた現況再現ならびに，政策の導入を仮定しない際の推計は，冨岡ら[7]によって行われた既存研究を踏襲した．

(2) 交通モデルの概要

本研究で言及している応用都市経済モデルで活用するトリップ費用は，宇都宮市内の全ての発着地の組み合わせにおける，交通機関別のトリップ費用を計算したものである．

トリップ費用の計算には四段階推定法を用いた．発生集中交通量，分布交通量，分担交通量は PT 調査より値を引用した．配分交通量は，再現した道路ネットワークを基にワードロップの利用者均衡配分を用いて推計した．これの過程により求められる配分交通量と，道路交通センサスで観測された断面交通量を比較し，現況再現性を確認した．OD 間の交通分担率と，リンク間の旅行時間を基に，交通機関別のトリップ費用を計算した．なお，出発地，目的地双方が宇都宮市内であるトリップのみを対象として検討した．トリップ費用の算出に使用した変数を表-1 に示す．

表-1 トリップ費用の算出に使用した変数

説明変数	鉄道	バス	自動車	自転車	徒歩
乗車時間	○	○	○	○	○
費用	○	○	○		
乗車待ち時間	○	○			
アクセス･イグレス	○				
出入庫時間			○	○	
余裕定数			○		
定数項		○			

(3) 土地利用モデルの概要

土地利用モデルでは，地価を変化させることで個人と地主の需給の一致する点を求めた．個人は所得の中から合成財，土地，私事トリップを消費するため，メッシュ i における個人の効用は次のように表される．

$$V_i = \max[\alpha_z lnz_i + \alpha_a lna_i + \alpha_x lnx_i^p] \quad (1)$$

$$z_i + r_i a_i + q_i^p x_i^p = I_i = wT - q_i^w \quad (2)$$

i：メッシュを表す添え字，V_i：個人の効用，z_i：合成財の消費量，a_i：土地の消費量，x_i^p：私事トリップの消費量，α_z・α_a・α_x：分配パラメータ，I_i：平均所得，r_i：住宅地代，q_i^p：私事トリップ費用，T：総利用可能時間（固定），w：賃金率，q_i^w：通勤トリップ費用

ここで，効用を最大化する消費を仮定し，ロジットモデルで立地選択率を算出することで，各メッシュ別人口を求めることができる．効用関数で含まれていない要素を，ゾーン毎に設定する定数項で定量化すると次のようになる．

$$P_i = \frac{exp\theta(V_i+\tau_i)}{\sum_i exp\theta(V_i+\tau_i)} \quad (3)$$

$$N_i = NP_i \quad (4)$$

P_i：立地選択率，θ：立地選択モデルのロジットパラメ

ータ，τ_i：間接効用関数に含まれていない要因（景観，災害リスク等），N_i：メッシュの人口，N：都市全体の人口

また，メッシュ別人口から土地需要は式(5)で表される．

$$D_i = a_i N_i \qquad (5)$$

D_i：居住用土地需要，

さらに，地主の供給は山崎ら[10]と同様の利潤関数から式(6)で表される．地主は不在地主と仮定しているため，地主の利潤の変化は家計や企業の行動に影響を与えない．

$$y_i = (1 - \frac{\alpha_i}{r_i})Y_i^0 \qquad (6)$$

y_i：居住用土地供給面積，α_i：パラメータ，Y_i^0：供給可能面積

式(5)と式(6)を満たす地代がその時点における均衡点で，この均衡点に基づき各ゾーンの人口が決定される．計算にあたっては，公示地価，国勢調査，勤労統計調査，家計調査等，各種統計調査を用いて値を代入した．

(4) 応用都市経済モデルの精度検証

既存研究では交通市場に言及したうえで精度検証を行う事例は見られなかった．これは，応用都市経済モデルでは，現状を基準として，将来にわたって人々が合理的に行動することを仮定した際に，変化する均衡点を算出するモデルであるため，予測時点では将来の行動を評価することは困難を極めるためであると考えられる．なお，応用都市経済モデルの精度は，将来の交通環境負荷を算出する際に変化する OD に直接影響するため，重要な指標である．本研究では，以下の手法でモデルの精度検証を行った．精度検証には，2015 年と 2019 年の宇都宮市における 500m メッシュの人口分布のデータを活用した．2015 年のデータに関しては国土交通省が発行する値を，2019 年の人口に関してはゼンリンが発行する値を参照した．各データの概要を表-2 に示す．

まず，地代の最大化とトリップ費用の最小化を目指す際の均衡点が，2015 年の各メッシュの人口と一致するようにパラメータをメッシュごとに設定した．続いて，2019 年の宇都宮市の人口 520,430 人を参照し，作成した応用都市経済モデルに基づき，2019 年の各メッシュごとの人口を予測した．なお，2015 年から 2019 年にかけて生じた交通整備や土地利用規制の変更が本モデルに与える影響は軽微であるため，本研究では言及しない．ここで，応用都市経済モデルで算出したメッシュ毎の人口の分布と，実際の人口の分布の関係を図-1 に示す．両者の重相関係数は 0.99 と十分な精度を確認した．したがって，各メッシュの人口分布の傾向は本モデルで十分に捉えられていると考えられる．そこで，作成したモデルを活用して，以下の分析を行った．

表-2 応用都市経済モデルで使用したデータの概要

	2015年人口	2019年人口
発行主体	国土交通省	株式会社ゼンリン
出典	国勢調査	住民基本台帳
500mメッシュ人口の算出方法	国勢調査調査票より250mメッシュデータを集計	住民基本台帳から推計変換
総人口	518,109人	520,430人
更新頻度	5年に一度	毎年

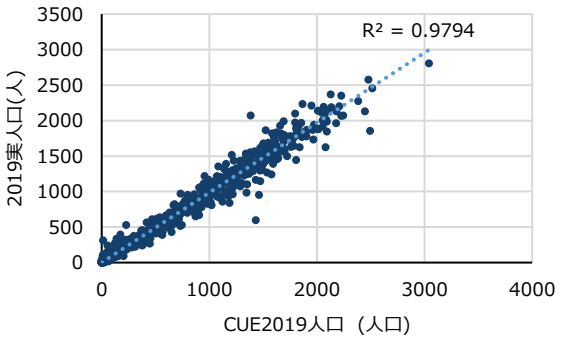


図-1 応用都市経済モデルで推定される人口分布と実際の人口分布の関係

5. 各種政策の導入が人口分布に与える影響

本章ではテレワーク，自動運転車，炭素税の導入を政策として実行した場合に変化する人口分布を算出する．まず，参考として政策を導入しなかった場合の将来の居住地の分布の予測を図-2 に示す．ここでは宇都宮市の人口推計[11]に基づき 2050 年の人口を 449,595 人と想定し作成したモデルを用いて各メッシュごとの人口を配分した．

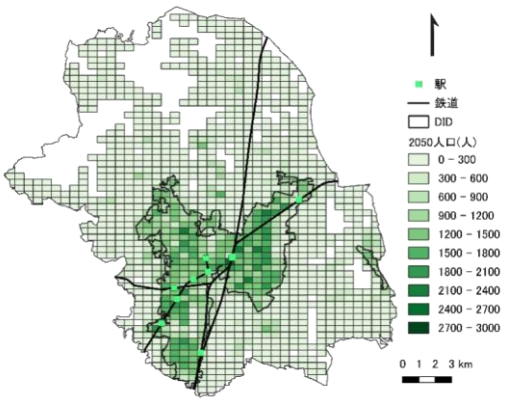


図-2 政策を導入しない場合の 2050 年の人口分布

(1) テレワークが及ぼす影響

本節ではテレワークが人口分布に与える影響を算出する．テレワークは自宅を就業場所とする自宅利用型 [12] を想定した．テレワークに伴い通勤回数が減少すると，居住地を選択する際に，自宅から勤務地への距離の重要性が相対的に低下することが考えられる．その結果，従来に比べ通勤トリップに要する費用や時間等のコストが居住地の選択に与える影響が小さくなり，地代の最大化とトリップ費用の最小化を目指す際の均衡点が変化する．そして，通勤に要する時間や費用が増加する郊外部へ居住地は移動する．

本項では，テレワークの実施率は 28%（2020 年 4 月の緊急事態宣言下における栃木県の実測値[1]）と，限界値として 100%を設定した．テレワークによって変化する人口を図-3，図-4 にそれぞれ示す．ここでテレワークの実施率が 100%の際には通勤トリップは発生しないことを意味する．テレワークの導入が進めば進むほど，中心部の人口は減少し，人口は DID 地区外に拡散することが明らかになった．このとき，1 トリップ当たりの環境負荷は，テレワーク導入率 28%のとき，0.3%の増加につながる．なお，テレワークの導入率が 100%の際は，通勤トリップが存在しないため，通勤由来の環境負荷は発生しない．

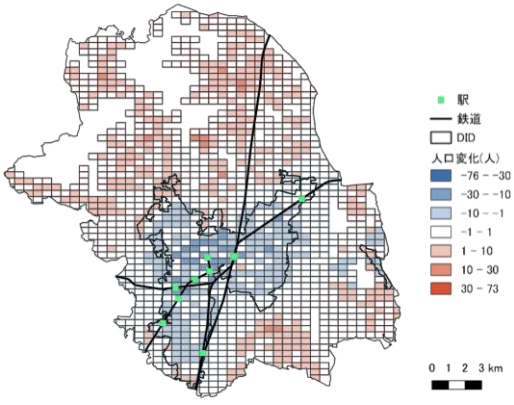


図-3 テレワーク 28%導入時の人口の変化

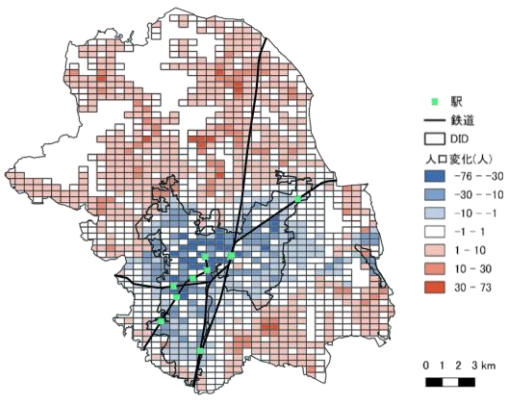


図-4 テレワーク 100%導入時の人口の変化

(2) 自動運転車が及ぼす影響

本節では自動運転車が人口分布に与える影響を算出する．レベル 4,5 の自動運転車では，乗車中に運転行為以外の行動ができるようになると想定される．その結果，従来に比べ単位乗車時間あたりの乗車コストが低下することが考えられる．そこで，自動運転車の導入に伴う変化を，乗車時の時間価値を減少させることで反映させた．自動車の時間価値が減少すると，自動車のトリップ費用が減少し，従来は高額なトリップ費用が原因で居住地として選択しなかった地域についても，自動運転化に伴い選択肢の一つとして検討が進むことも想定される．自動運転化に伴う時間価値の低減は世界各地で研究が進んでおり [13] [14] など，その低下率は 30%前後であることが明らかになっている．本研究では加藤ら [15] が東京都市圏を対象にした際に明らかにした 34%と，極値として 100%を採用した．自動運転化によって，従来に比べトリップ費用が低下し，トリップ費用が居住地の選択に与える影響が小さくなることで，地代の最大化とトリップ費用の最小化を目指す際の均衡点が変化する．また，これは，交通手段分担率の変動を促すため，式 1 で示したモデルにのっとり，再度自動車分担率も計算した．

自動運転車によって変化する人口を図-5，図-6 に示す．自動運転車乗車時の時間価値の減少が進むほど，中心部の人口は減少し，居住地は DID 地区外に拡散することが明らかになった．このとき，1 トリップ当たりの環境負荷は，時間価値の低減率が 34%のとき，2.2%の増加につながる．ここで人口分布の変化による OD の変動が環境負荷に与える影響は 0.1%の増加で，それ以外の 2.1%については，自動運転化による自動車分担率の向上によって発生する．また，時間価値の低減率が 100%の際は，5.6%の環境負荷の増加につながる．なお，人口分布の変化による OD の変動が環境負荷に与える影響は 0.9%の増加で，それ以外の 4.7%については，自動運転化による自動車分担率の向上によって発生する．

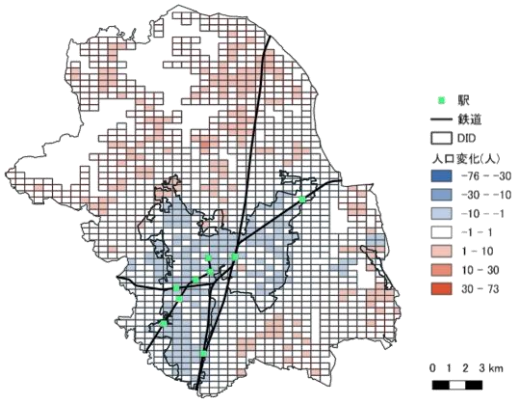


図-5 時間価値の減少率 34%の際の人口の変化

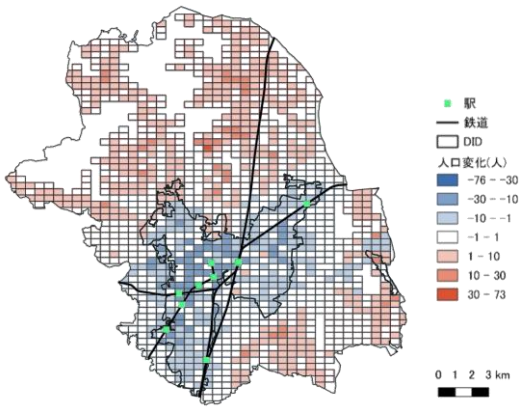


図-6　時間価値の減少率 100%の際の人口の変化

(3)　炭素税が及ぼす影響

本節では炭素税の導入が人口分布や環境負荷に与える影響を算出する．炭素税は炭素の排出量に応じて課税される仕組みで，経済成長と環境負荷の抑制を両立させ得る政策である．本研究では自動車のみに炭素税を賦課することを仮定した．炭素税の賦課に従い自動車を利用する際のトリップ費用は増加し，相対的に自動車分担率が低下する．そして人口は自動車の利用を前提とする郊外部から，公共交通の利便性が高い中心部へ集約することが想定される．本研究では自動車走行距離 1km 当たり 25~200 円の賦課を仮定した．（図-7，図-8）燃料電池車や電気自動車の普及が進めば炭素の排出量は減ることが予想されるが，排出量は引き続き走行距離に比例するため，一律の炭素税を設定した．

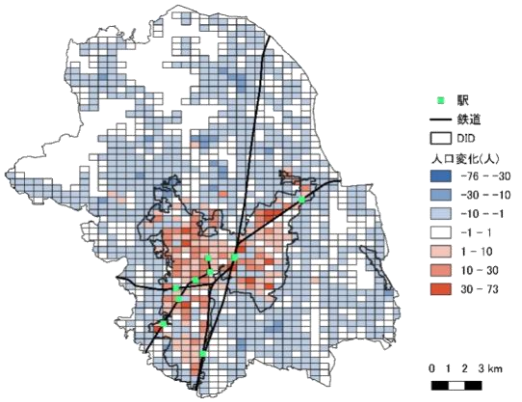


図-7　炭素税 25 円/km 賦課時の人口分布の変化

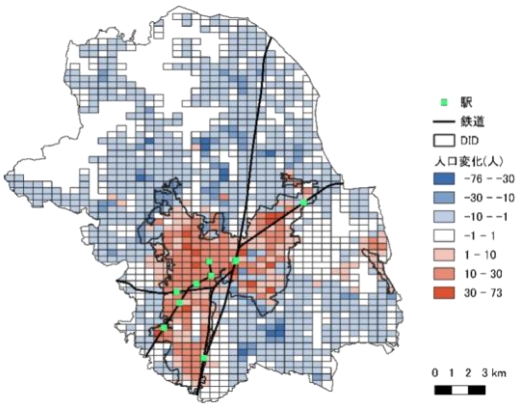


図-8　炭素税 100 円/km 賦課時の人口分布の変化

炭素税の導入は交通手段分担率の変動を促すため，式 1 で示したモデルにのっとり，再度自動車分担率を計算した．

炭素税の賦課額と変化する居住人口の関係を図-9 に示す．炭素税の賦課額が上昇するほど居住地を変更する人口は増加することがわかる．一方，自動車走行距離に対する賦課金額が一定額以上となると居住地を変更する人口は頭打ちになる可能性を示している．これは自動車を利用するトリップの優位性が他の交通手段を利用する場合に比べ著しく高いトリップが一定数存在するためだ．

1kmあたり 25円の炭素税を賦課した際には，一トリップあたりの環境負荷は-4.0%の減少につながると想定される．このとき，炭素税に伴う居住地の集約による減少は-0.2%，自動車分担率の低下による減少は-3.8%である．

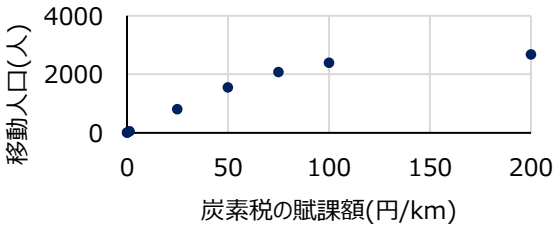


図-9　炭素税の賦課額と居住地を変更する人口

6.　政策の導入が人口増加率に与える影響

(1)　各種政策が人口変化率に及ぼす影響

テレワークを導入した際には（図-10 左），中心部の人口は減少し，郊外部の人口は増加することで，一トリップ当たりの走行距離は増加する．自動運転車を導入した際にも（図-10 中央），同様の傾向が見られる．一方で，炭素税を導入した際には（図-10 右），人口は中心部に集約され，一トリップあたりの走行距離は減少する．

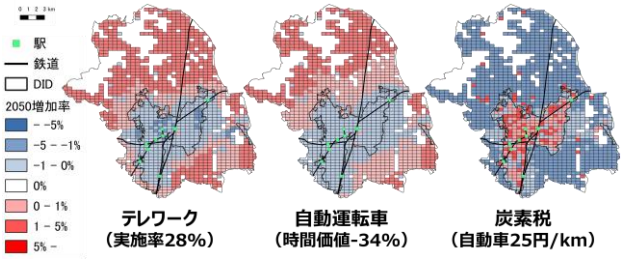


図-10　各政策の導入が人口に与える影響

そして，テレワークの導入によるトリップ数の減少と，

居住地の郊外化による一トリップ当たりの走行距離の増加を比較すると，前者の影響がより大きく，全体では環境負荷は減少する．また，自動運転車や炭素税の導入時には，自動車分担率の変化と一トリップあたりの走行距離の変化が想定されるが，前者の方が影響が大きい．

したがって，いずれの政策においても居住地の変化が環境負荷に与える影響は軽微であり，トリップ数や分担率が与える影響のほうが大きい．

(2) 既存政策との新政策の融合

宇都宮市ではネットワーク型コンパクトシティの形成を掲げており [11]，テレワークや自動運転車の導入は人口の拡散をもたらし，結果的に既存政策と逆行する可能性が高いことが明らかになった．ここで，炭素税は，環境負荷の抑制だけではなく，都市構造に与える影響からも解決策の一助になる可能性があるといえる．実際（図-10 右），炭素税の導入によって居住地は市街化区域に集約される様子が見て取れる．したがって，自動運転車やテレワークを導入する際には炭素税と組み合わせることによって脱炭素と利便性の向上の実現が期待される．なお試算によると，テレワークの 28%導入と自動運転車（時間価値は 34%低減と想定）と同時に炭素税を自動車に 1km あたり 20 円程度課すことで，その変化を打ち消しあうことが確認できた．

7. 得られた知見と今後の展望

本研究では，テレワーク，自動運転車，炭素税の導入が人口分布に与える影響を定量的に算出し，環境負荷に及ぼす効果を推計した．その結果，テレワークや自動運転車が導入された場合には，その導入が進めば進むほど人口は郊外に拡散し，DID 地区内の人口は減少が進むことがわかった．そして，一トリップ当たりの環境負荷は導入状況に応じて 0.3~5.6%増加する．なお，テレワークの導入によるトリップ数の削減効果は，人口の拡散に伴うトリップ長の増加に比べ，環境負荷に大きな影響を及ぼすため，全体では環境負荷は減少することが想定される．また，炭素税を導入した場合には，その賦課額が上昇するほど人口は DID 地区内に集約が進み，DID 地区外の人口は減少が進むことが明らかになった．そして，一トリップ当たりの環境負荷は減少することもわかった．

ここで，自動運転車とテレワークの導入と同時に炭素税を導入した際には人口分布の変化は軽微であり，政策を導入していない場合と同様の人口分布に収束し，一トリップ当たりの環境負荷の増加も抑制できる．したがって，複数の政策の組み合わせにより，社会の変化を踏まえながら，環境負荷の抑制を実現可能であるといえる．

一方，人口分布を算出する際に使用した応用都市経済モデルでは，今後，年齢別人口や同一のデータベースを活用しながら人口分布を評価することが必要である．また，都市政策が人口分布に影響を与えるまでには長い時間を要することが想定され，本研究では遠い将来における居住によって得られる効用と地主の利益の均衡点の一例として 2050 年を想定し分析を進めたものの，実際には，応用都市経済モデルは時間軸を持たず，その精度検証を実施することは簡単ではない．更なる信頼性を担保するうえで，ビッグデータを用いて高頻度で人口分布の変化を検証し随時モデルの修正を加えるなど，数値検証のステップを踏まえながら結果の妥当性を言及することが望ましい．

また，交通分野の環境政策の検討に当たっては，本研究では検討していない私事トリップについても試算することで，政策導入に伴う環境に与える影響の総量が把握可能となり，政策導入効果についてもより詳細に検討できると想定する．モデルの精度を担保し、かつ、政策が与える影響を細部にわたって検討し、より実態に即した分析を行うことが今後の検討課題である．

謝辞：本研究は「文部科学省 大学の力を結集した、地域の脱炭素化加速のための基盤研究開発」JPJ010039 の助成を受けたものです．

注釈：本研究は主著者が早稲田大学大学院に所属していた 2021 年度に実施したものをまとめたもので，主著者の現在の所属には一切関係がありません．

REFERENCES

1) パーソル総合研究所：第三回・新型コロナウイルス対策によるテレワークへの影響に関する緊急調査，https://rc.persol-group.co.jp/news/202006110001.html ，2020．[PERSOL RESEARCH AND CONSULTING CO., LTD.: Third, Urgent Survey on the Impact of the New Coronavirus Countermeasures on Telework, https://rc.persol-group.co.jp/news/202006110001.html, 2020.]
2) 環境省：地球温暖化対策計画（令和 3 年 10 月 22 日閣議決定），2021．[Ministry of the Environment: Global Warming Prevention Plan (Cabinet Decision on October 22, 2021).]
3) 日比野直彦・坂本雅彦・奥ノ坊直樹・森地茂：働き方の変化が通勤行動と就業場所・居住地選好に与える影響の把握に向けた基礎的分析，土木学会論文集 D3，75 巻 5 号，pp.627-640，2019．[Hibino, N., Sakamoto, M., Okunobo, N., and Morichi, S.: Fundamental analysis for clarification of the influence in commuting behavior and work place and relocation of dwelling by change of work style, Jounal of the Japan Society of Civil Engineers D3, Vol.75, Issue 5, pp.627-640, 2019.]

4) 森本涼子・柴原尚希・後藤直紀・加藤博和：環境効率指標を用いたテレビ会議と出張会議の LCA による比較，土木計画学研究・論文集，26 巻，pp.181-188, 2009．[Morimoto, R., Naoki Shibahara, N. Goto, N., and Kato, H.: LCA Application Comparing the Eco-efficiency of Telemeetings and Face-to-face Meetings, Jounal of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.26, pp.181-188, 2009.]
5) 山崎敦広・高見淳史・大森宣暁・原田昇，個人のライフスタイルと将来居住地選好に関する基礎的研究，都市計画論文集，47 巻 3 号，pp.349-354，2012．[Yamasaki, A., Takami, K., Ohmori, N. and Harata, N.: A Fundamental Study on Individual Life-style and Future Residential Preference, Journal of the City Planning Institute of Japan, Vol.47 No.3, pp.349-354, 2012.]
6) 佐々木拓哉・佐藤徹治：LRT 整備による都市内世帯分布への長期的影響分析－栃木県宇都宮市を対象としてー，都市計画論文集，Vol.51，No.3，pp.715-721, 2016．[Sasaki, T., Sato, T.: The long-run impact of development of LRT on household distribution in Utsunomiya city, Japan, Journal of the City Planning Institute of Japan, Vol.51 No.3, pp.715-721, 2016.]
7) 冨岡秀虎・森本章倫：CUE モデルを用いた LRT 導入による人口誘導効果に関する研究，都市計画論文集，Vol.53，No.3，pp.1348-1354，2018．[Tomioka, H. and Morimoto, A.: A Study on the Population Increase Effect by Introducing LRT using CUE model, Journal of the City Planning Institute of Japan, Vol.53 No.3, pp.1348-1354, 2018]
8) 山崎清：都市における定量的な分析・予測・評価手法の可能性―土地利用・交通モデル，応用都市経済モデルの分析事例より―，Best Value，Vol.04，pp.15-19，2003．[Yamazaki,K: Potential of quantitative analysis, prediction, and evaluation methods in cities: Analysis examples of land use and transportation models and applied urban economic models, Best Value, Vol. 04, pp. 15-19, 2003.]
9) 宇都宮市：第二次宇都宮都市交通戦略，2019．[Utsunomiya City: The Second Utsunomiya Urban Transportation Strategy, 2019.]
10) 山崎清・武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析，運輸政策研究，Vol.11，No.2，pp.14-25，2008．[Yamazaki,K and Muto,S: Analysis of road development effects considering investment and induced traffic]
11) 宇都宮市：ネットワーク型コンパクトシティ形成ビジョン，2015．[Utsunomiya City: Networked Compact City Formation Vision, 2015.]
12) 厚生労働省：テレワーク総合ポータルサイト　テレワークの定義，https://telework.mhlw.go.jp/telework/about/，最終アクセス日 2022/08/20．[Ministry of Health, Labor and Wealfare: Comprehensive telework portal site -Definition of telework, https://telework.mhlw.go.jp/telework/about/, Last accessed date Aug. 20, 2022.]
13) Kolarova V.・Steck F.・Cyganski R.・Trommer S.：Estimation of the value of time for automated driving using revealer and stated preference methods，Transportation Research Procedia，vol.31，pp.35-46，2018.
14) de Looff，E.・Correia，G.H.D.A.・Van Cranenburg，S.・Snelder，M.・Van Arem，B.：Potential changes in value of travel time as a result of vehicle automation ~a case-study in the Netherlands~，97th Annual Meeting of the Transportation Research Board，2018.
15) 加藤浩徳：我が国における自動運転車利用時の時間価値に関する基礎研究，日本交通政策研究会　我が国における自動運転利用時の時間価値に関する基礎研究プロジェクト，2020．[Kato Hironori: Basic Research on the Time Value of Using Automated Vehicles in Japan, The Japan Research Center for Transport Policy, 2020.]

(Received August 30, 2023)

STUDY OF THE IMPACT OF FUTURE CHANGES IN THE TRAFFIC ON RESIDENTIAL CHOICE AND THE TRAFFIC ENVIRONMENT LOAD

Ryotaro MISE, Hidetora Tomioka and Akinori MORIMOTO

Numerous social changes, such as lifestyle changes triggered by COVID-19, are expected to have a significant impact on future residential choices. In addition, concern about global warming continues to grow, and the realization of decarbonization has become essential, especially the reduction of transportation environmental load, which accounts for about 20% of the total. This study evaluated changes in residential choices and associated changes in transportation environmental load due to the introduction of telecommuting, autonomous vehicles, and a carbon tax in Utsunomiya City. As a result, it was found that the introduction of telecommuting and autonomous vehicles leads to an increase in traffic environmental load per trip and urban diffusion, while time the introduction of a carbon tax at the same makes it possible to both reduce traffic environmental load and new changes.