移動を考慮した緑地と大気汚染への曝露における社会経済的格差の解明
－衛星画像と人流データの統合による解析－

山口侑平*

Socioeconomic Disparities in Mobility-Based Exposure to Green Spaces and Air Pollution
- Analysis Integrating Satellite Images and Human Mobility Data -

Yuhei Yamaguchi *

Abstract: This study aimed to elucidate the relationship between socioeconomic status and exposure to green spaces and air pollution accounting for human mobility. Previous studies have analyzed individuals' exposure to green spaces and air pollution based on their residential locations, but research that incorporates human mobility remains limited. To uncover the detailed realities of such exposures, it is necessary to account for the green spaces and air pollution that people encounter at the destinations of their movements. By integrating satellite imagery with human mobility data, this study revealed the following findings. Individuals residing in higher-income areas were found to have greater contact with green spaces and lower exposure to air pollution. Moreover, even after controlling for residential environmental conditions, higher-income individuals were still observed to have greater access to green spaces. This study not only provides new insights for environmental epidemiology but also contributes methodological advancements.

Keywords: 人流データ（mobility data），衛星リモートセンシング（satellite remote sensing），社会経済的地位（socioeconomic status），緑地（green spaces），大気汚染（air pollution）

１．はじめに

緑地へ曝露することや大気汚染を回避することは，人々の心身の健康を維持する上で重要である（Zhang et.al 2021; Ghorani-Azam et.al 2016）．しかし，それらは平等ではない．数多くの先行研究によって，緑地や大気汚染への曝露しやすさには，社会経済的な格差があることが指摘されている．低所得者や人種的マイノリティ，学歴が低い人，すなわち社会経済的地位が低い人ほど，緑地が少なく大気汚染が酷い地域に居住していることが各国の研究で明らかにされている（Klompmaker et.al 2023; Jbaily et.al 2022）．このような環境要因への曝露における社会経済的格差は，健康格差の一因となっている恐れがある．

ただし，上記のような既存研究には限界点がある．

それは人々の「移動」を考慮されていないということである．多くの既存研究は人々の居住地のみに着目しており，人々が移動によって接触する緑地や大気汚染は捉えられていない．より詳細な緑地や大気汚染への曝露を調べるためには，人々の移動を考慮する必要がある．

健康格差に関して論じるためには，より詳細な緑地や大気汚染への接触量を把握することが求められる．本研究では，人流データと高分解能衛星画像を統合した解析を実施し，既存研究では明らかにされていない，社会経済的地位による環境格差の実態を解明する．そして環境疫学分野に新たな方法論と知見を提供する．

２．データと方法

本研究では大阪府豊中市を研究対象地とした．豊中市を選定した理由は後述する．

２.１　人流データ

2019 年 7 月の 1 ヶ月間に収集された人流データ（データ提供元: （株）Agoop）を使用した．データから移動速度が 250km/h を超えるものは除外したうえで，滞在解析とデータの圧縮を行った．また，各人流データの居住地点の推定も行った．これらの処理には，Python ライブラリの scikit-mobility, version 1.3.1 を使用した．

２.２　衛星データ

欧州宇宙機関が運用している，Sentinel-2 と Sentinel-5p が観測した衛星画像を用いた．

Sentinel-2 の 2019 年 6 月から 8 月の被雲を除いた画像をすべて用いて，期間中の平均正規化植生指標（緑地量の代理変数）を算出した．分解能は 20m とした．このような高分解能の衛星画像を用いることで，詳細な地表環境を把握することができる．

また，Sentinel-5p が 2019 年 6 月の 1 ヶ月間に観測した衛星画像を用いて，平均二酸化窒素濃度（大気汚染の代理変数）を算出した．これも便宜的に 20m の分解能にリサンプリングした．

上記のような，衛星画像の前処理およびダウンロードには Google Earth Engine を用いた．

* 学生会員　東北大学大学院文学研究科（Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University） yuhei.yamaguchi.t1@dc.tohoku.ac.jp

2.3　社会経済的地位データ

2020 年に実施された国勢調査の 250m メッシュ（5 次メッシュ）のデータを用いた．国勢調査には，メッシュごとの学歴や従事産業の分布が含まれている．本研究では，これらの社会的地位を示す変数を，メッシュ内人口や世帯数で除することで割合変数に変換した．

また，国勢調査と住宅・土地統計調査（2018）の世帯所得データを組み合わせることで，市区町村レベルの世帯所得を予測する深層学習モデルを構築した．このモデルを用いて，250m メッシュレベルの世帯所得を予測した．豊中市には多様な所得階層の地域が含まれるため，経済地位による環境格差を論じる本研究において，有用な研究対象地であると判断した．

2.4　人流データと衛星画像の統合

各人が滞在した地点を中心とした半径 100m の円内における NDVI および二酸化窒素の平均値を算出した．それらの値を用いて，滞在時間をウェイトとした加重平均を算出した．これにより，各人が曝露した緑地と大気汚染を定量化することができた．

同時に，各人の推定居住地点の半径 100m の円内における NDVI と二酸化窒素の平均値を算出した．これにより，人々の居住地点における緑地量と大気汚染度合いを定量化した．

2.5　人流データと社会経済地位データの統合

推定された居住地点における社会的地位変数および世帯所得予測値を，その人流データに割り当てた．これにより，それぞれの移動軌跡に，社会経済的地位の値が割り当てられた．

3．結果

3.1　単純な集計による考察

以下に世帯所得と緑地（図 1）および二酸化窒素（図 2）の関連を示す．世帯所得が高い地域に住んでいる人ほど，より多くの緑地に接触しており，なおかつ，二酸化窒素への曝露量が小さいことがわかった．居住地に基づいた場合（ピンク線）でも，移動を考慮した場合（黄色線: 休日，青線: 平日）でも，類似した傾向が見出された．

しかし，移動を考慮した場合の方が，緑地への接触量や二酸化窒素への曝露量の所得格差は小さくなることが明らかになった．特に平日では，この傾向が顕著である．

この結果は，既存研究のような，人々の居住地のみに基づいた方法では，曝露する緑地量や大気汚染量を過大もしくは過小に推定してしまうことを示唆する．

3.2　統計解析

居住地の緑地量および大気汚染度合いを統制した場合の，環境への曝露における社会経済的格差を分析した．

緑地が多い地域に住んでいる人は，多くの緑地に接触しやすい．また，大気汚染が酷い地域に住んでいる人は，



図　1　所得と緑地曝露の関連

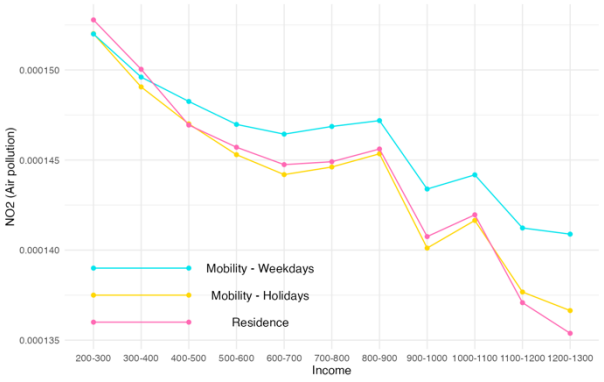


図 2　所得と二酸化窒素曝露の関連

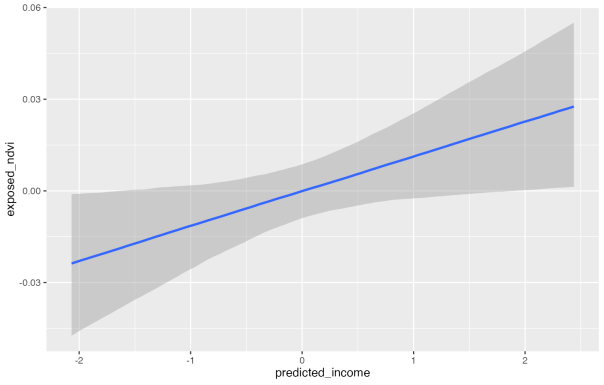


図 3　世帯所得の限界効果

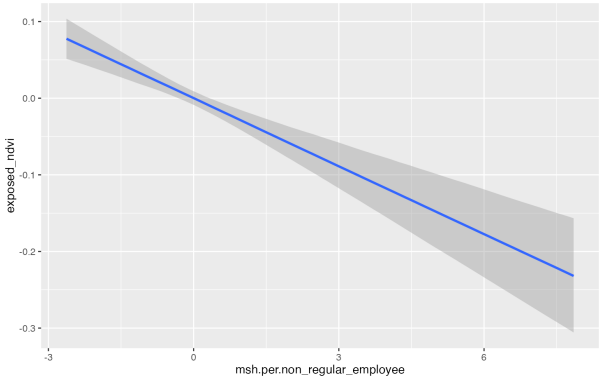


図 4　労働者派遣事業所の派遣社員割合の限界効果

より汚染された空気に曝露しやすいと考えられる．それを統制すれば，社会経済的地位による環境格差はなくなる可能性がある．

まず，被説明変数を「移動によって曝露する緑地量」，説明変数を「居住地の半径 1km 内の緑地量」,「世帯所得」とした線形回帰モデルの結果を紹介する．パラメタの推定はマルコフ連鎖モンテカルロでおこなった．なお，変数はすべて標準化したものを用いた. 図 3 に「世帯所得」の限界効果を示す．居住地の緑地量を統制しても，世帯所得が高い地域に住んでいる人ほど，より多くの緑地に曝露していることが明らかになった（事後分布の 95%区間 0 を含まず正であった）.

次に，被説明変数を「移動によって曝露する緑地量」，説明変数を「居住地の半径 1km 内の緑地量」,「世帯所得」,「労働者派遣事業所の派遣社員割合」とした線形回帰モデルの結果を紹介する．このモデルにおいては世帯所得の効果はなくなり，代わりに「労働者派遣事業所の派遣社員割合」の負の効果が検出された.「労働者派遣事業所の派遣社員割合」の限界効果を図 4 に示す．派遣社員などの不安定な非正規雇用職に就く者が多い地域に住んでいる人は，緑地への曝露において不利であることが示唆される結果となった.

居住地の緑地量や大気汚染度合いを統制しても，依然として，社会経済的地位による曝露格差がありそうだと言える.

４．考察

本研究では，衛星画像と人流データを統合することで，既存研究では明らかにされていない，人々の移動を考慮した緑地および大気汚染への接触・曝露の実態に迫った.

世帯所得が高い地域に住んでいる人ほど，多くの緑地に接触し，少ない大気汚染に曝露していることが明らかになった．ただし，移動を考慮することで緑地と大気汚染への曝露における経済格差は縮小することも明らかになった.

さらに，統計解析の結果から，居住地環境を統制しても，社会経済的地位による緑地曝露の影響が強いことが示唆される結果となった.

本研究では，大阪府豊中市のみに焦点を当てたが，より一般的な知見を生み出すためには，他の地域も研究対象とする必要がある.

さらに，本研究では夏季のみを扱ったが，他の季節における緑地や大気汚染の格差を考察することで，さらに深い洞察が得られるかもしれない.

謝辞

本研究は，東北大学 AGS RISE プログラムの助成を受けたものです.

参考文献

Ghorani-Azam A, Riahi-Zanjani B and Balali-Mood M. (2016) “Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran,” *J Res Med Sci.*, 21:65.

Jbaily A., Zhou X., Liu J., Lee T.-H., Kamareddine L., Verguet S., and Dominici F. (2022), “Air pollution exposure disparities across US population and income groups,” *Nature*, 601(7892), 228–233.

Klompmaker JO, Hart JE, Bailey CR, Browning MHEM, Casey JA, Hanley JR, Minson CT, Ogletree SS, Rigolon A, Laden F and James P. (2023) “Racial, Ethnic, and Socioeconomic Disparities in Multiple Measures of Blue and Green Spaces in the United States,” *Environ Health Perspect*, 131(1):17007.

Zhang Y., Wu Q, Wu L. and Li Y (2021) “Measuring Community Green Inequity: A Fine-Scale Assessment of Beijing Urban Area,” *Land*. 2021; 10(11):1197.