

令和 4 年 4 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12370

研究課題名(和文) 大気汚染曝露評価のための高空間解像度分布推定モデルの開発と疫学研究への適用

研究課題名(英文) Development of the high-resolution distribution model for the exposure assessment of air pollutants and its application to epidemiological study

研究代表者

山本 浩平 (Kouhei, Yamamoto)

京都大学・エネルギー科学研究科・助教

研究者番号：10263154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：大気汚染物質の曝露量推定の高精度化を目指し、Land Use Regression (LUR)モデルと呼ばれる統計モデルの開発・改良を行った。日本の大気汚染濃度に影響を及ぼす、局所的な気象や大陸からの越境汚染の影響を考慮するために、気象モデルや大気質モデルの推定結果を取り込むハイブリッドモデルを構築し、また、モデル構築手法に機械学習を導入した効果についても評価を行った。さらに、開発したモデルを既に実施された疫学調査と連携させること目指し、PM2.5のモニタリングが実施されていない時期からの30年間にわたる曝露濃度の推定や、PM2.5成分濃度について10年間に渡る経年変化を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、都市域を中心として未解決の問題である大気汚染物質の曝露に伴う健康影響の評価における基礎情報としての曝露量推定手法の発展に貢献すると考えられる。今回開発したモデルを既に実施された疫学調査と連携させることにより、大気汚染と健康の影響の関連についてより高精度の分析が可能になる。

研究成果の概要(英文)：We have developed and improved a statistical model called the Land Use Regression (LUR) model for improving the accuracy of air pollutant exposure estimation. In order to consider the effects of local meteorological factors and long-range transport of air pollutants, affecting the air pollution concentration in Japan. We constructed a hybrid model that incorporates the outputs of meteorological models and air quality models. We also introduced machine learning techniques in constructing the LUR models and assessed the effects of introducing the techniques. Moreover, in order to cooperate with the the epidemiological surveys that have already been conducted, we estimated the exposure concentration over 30 years from the time when PM2.5 monitoring was not carried out, and estimated PM2.5 components concentrations over 10 years in Japan.

研究分野：大気環境モデリング

キーワード：大気汚染物質 曝露量推定モデル 気象モデル 大気化学輸送モデル 機械学習 健康影響評価

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

汚染物質による健康影響評価には、その空間・時間的変動を考慮した曝露濃度の推定が必要である。近年 Land Use Regression (LUR) モデルと呼ばれる、モニタリングデータと大気汚染濃度に影響を及ぼすと考えられる環境因子(環境情報)を入力データとして、統計的に大気汚染濃度(曝露濃度)分布を予測するモデルが提案されている。LUR モデルは、空間的に高解像度の濃度分布を、比較的少ない計算量で得ることができるという特徴を持つ。欧米では、疫学調査と連携して、必要となる曝露濃度推定のために LUR モデルが開発された実績が存在する。日本においては疫学調査への適用例は少ないが、越境汚染など日本特有の大気環境の特性を考慮した、曝露濃度を十分な精度で予測可能な LUR モデルの開発・改良が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、大気汚染物質曝露濃度の予測精度向上を図るために、代表者・分担者が既に開発したモデルを改良することを主な目的とした。具体的には、局所的な発生源の影響を考慮するために詳細な気象場を説明変数として LUR モデルへ取り込むための検討、また日本の大気環境に大きく影響を及ぼす越境汚染の影響を考慮するための広域大気質モデルとの統合化について検討を行った。さらに開発したモデルを実際に行われた疫学調査に適用するために、疫学調査が行われた地域・期間における大気汚染物質濃度(曝露濃度)分布を推定した。さらに、疫学調査と連携させることで、日本の大気汚染による健康影響評価において、LUR モデルが有用であることを示すことが最終的な目的である。

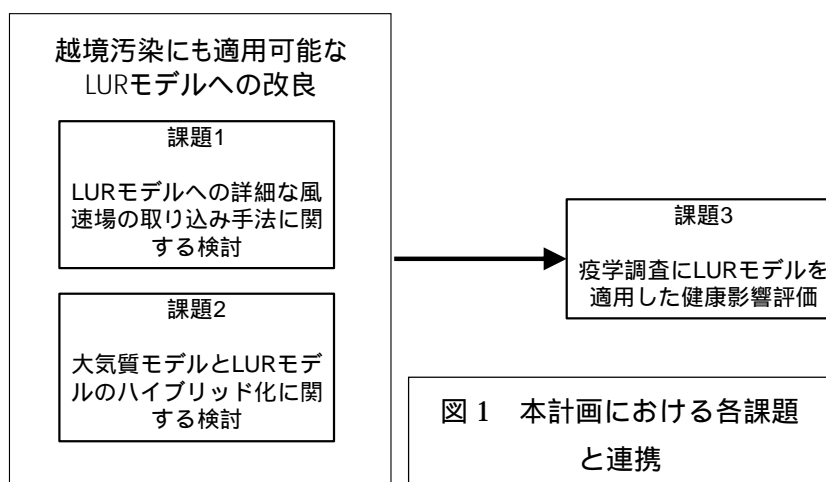
3. 研究の方法

本計画では3つの課題を設定した。各課題間の連携は下図の通りである。

課題1として[LURモデルへの詳細な風速場の取り込み手法に関する検討]を設定した。この課題では、観測された風向・風速や気温などの気象要素をLURモデルの入力とするために面的データとするための加工手法の検討、また、これらの気象要素を直接面的データとするために気象モデルの推定値をLURモデルの入力とすることを試みた。また詳細な気象要素をLURモデルに取り込むことによる、予測精度の向上効果について評価を行った。

課題2として[大気質モデルとLURモデルのハイブリッド化に関する検討]を設定した。この課題では、大陸起源の大気汚染物質の越境輸送が、春季を中心に国内大気汚染濃度に大きく影響を及ぼすことが知られているため、越境輸送を定量的に考慮可能な大気質モデルを用いることで日本を含むアジア域の大気質濃度をあらかじめ推定した。次に、この大気質モデルの推定値をLURモデルの入力とすることで、推定精度の向上が見られるかについて検討した。具体的には、領域大気質モデル(Community Multiscale Air Quality; CMAQ)の出力値を、既に研究グループで開発済みのランダムフォレストを導入したLURモデル(LURFモデル)の説明変数として取り込み、推定精度向上に与える影響を評価した。

課題3では[疫学調査にLURモデルを適用した健康影響評価]を設定し、LURモデルを国内の主要な大気汚染物質濃度分布の推定に適用するとともに、PM_{2.5}のモニタリングが実施されていない過去の曝露濃度を機械学習手法を用いて推定し、大気汚染物質の長期曝露による健康影響の評価における基礎データの整備を行った。さらに、これらのデータを用いて既に疫学調査が実施された地域に適用し、健康影響と合わせて解析した。



4. 研究成果

本研究計画全体を通し、個人曝露量の推定精度の向上を目指し、環境大気汚染濃度を空間的に高解像度で求めることが出来る Land Use Regression (LUR) モデルを用いて国内大気汚染濃度

分布の推定を行った。以下に各課題で得られた具体的な成果について纏める。

課題1 [LUR モデルへの詳細な風速場の取り込み手法に関する検討] における成果

風速場などの気象条件を取り込むことで、全国スケールの月平均濃度を予測するための LUR モデルの構築を試みた。気象官署で観測された風速・風向、気温および降水量のデータを収集し、風向風速については風速ベクトルを導入し、空間補間手法を用いることで、詳細な気象条件を考慮した LUR モデルの開発を行った。さらにこのモデルを用いて、2015、2016 年度における PM_{2.5} の年平均濃度、および月平均濃度の予測を試みた。月平均濃度分布について、決定係数 $R^2=0.58-0.68$ と年平均値予測における値とほぼ同等の結果が得られ、LUR モデルによる短期平均予測の可能性を確認した。(久保他、第 60 回大気環境学会年会、辻本他、第 61 回大気環境学会年会にて発表)

また、LUR モデルへの気象場の取り込みについて、モデルの入力となる面的な気象データを直接求めることが可能な気象モデルの導入を試みた。辻本ら

(doi:10.11298/taiki.57.1) では、PM_{2.5} および NO₂ の国内濃度分布推定において、気象モデル WRF の推定値を取り込んだ LUR モデルを開発し、月平均濃度分布を求めた。また LUR モデル構築においては、従来の線形モデルに加え、非線形モデリング手法としての Support-Vector Regression(SVR)を適用し、両手法による予測精度の比較を行った。その結果、WRF による気象場推定値が、PM_{2.5} および NO₂ の分布予測において重要な役割を果たすことが示された。LUR モデル構築における非線形モデリングの効果については、特に NO₂ の予測において有用であることを確認した。

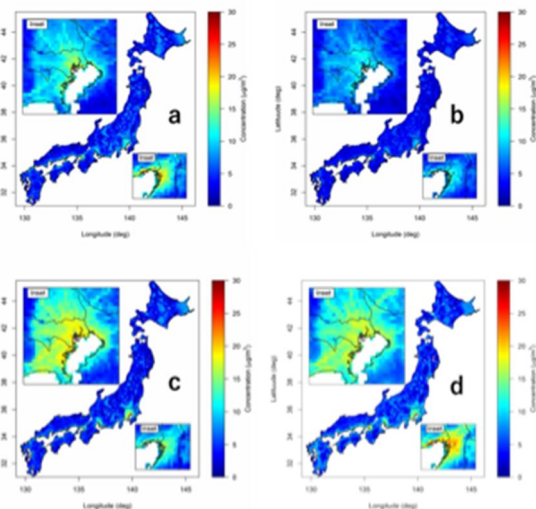


図2 2016年度 NO2 濃度分布 (a:5月, b:8月, c:10月, d:2月)

課題2 [大気質モデルと LUR モデルのハイブリッド化に関する検討] における成果

Tin Thongthammachart(doi : 10.1016/j.atmosenv.2021.118620)では、関西地域と対象とした

PM_{2.5} の濃度分布について、既に開発済みの Land Use Random Forest(LURF)モデルを基本モデルとし、気象モデル WRF および領域大気質モデル CMAQ 推定値の取り込みの有無による決定係数 R^2 や二乗平均平方根誤差 RMSE による推定精度の評価を行った。その結果関西地域の PM_{2.5} の予測においては、CMAQ 推定値を取り込んだ LURF モデルがより高い推定精度を持つことを確認した。また、基本となる統計モデルに関して、ランダムフォレストを用いた非線形モデルである LURF モデルと線形モデルである LUR モデルに CMAQ 推定値を取り込んだモデルの推定精度についても評価したところ、基本モデルとして

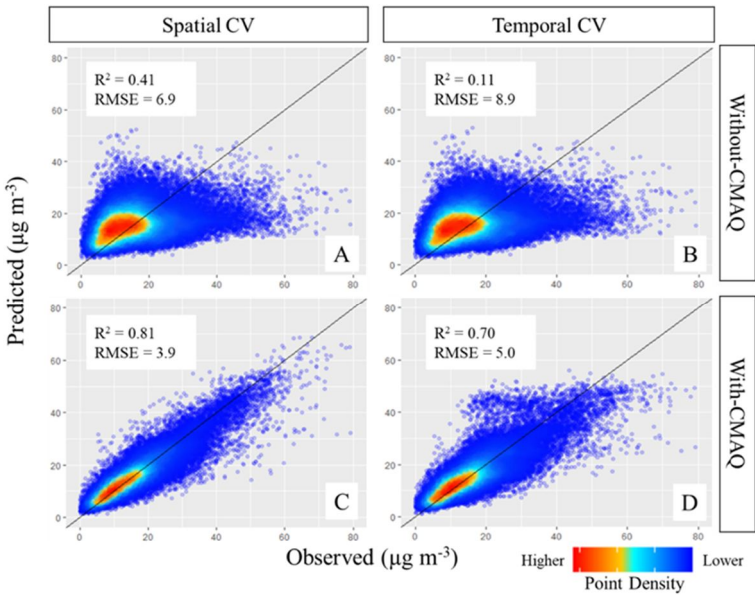


図3 ハイブリッドモデルの予測精度比較

LURF モデルを用いることで高い推定精度が得られることも示した。同様に、NO₂ の予測においても、PM_{2.5} と同様に CMAQ 推定値を取り込んだ LURF モデルがより高い推定精度を持つことが確認された (Thongthammachart ら、ACE2021 で発表)。

また、PM_{2.5} 質量濃度と、その主要成分である硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオン、

元素状炭素、有機炭素濃度について、関西地域を対象として2010年から2019年まで日単位で推計を行った。モデルは LURF モデルを用い、CMAQ 推定値を予測変数として用いた。構築したモデルでは、CMAQ 推定値が重要な予測変数であることが確認された。また、精度評価の結果、同様の先行研究と同程度の推計精度が得られた。PM_{2.5} 成分濃度の推計値を環境省の PM_{2.5} 成分自動測定データと比較したところ、時間変動を良好に再現していた。日単位の推計値を対象地域内および年ごとに平均したところ、近年の低下傾向が明らかになった。(荒木ら、第60、61回大気環境学会年会で発表)

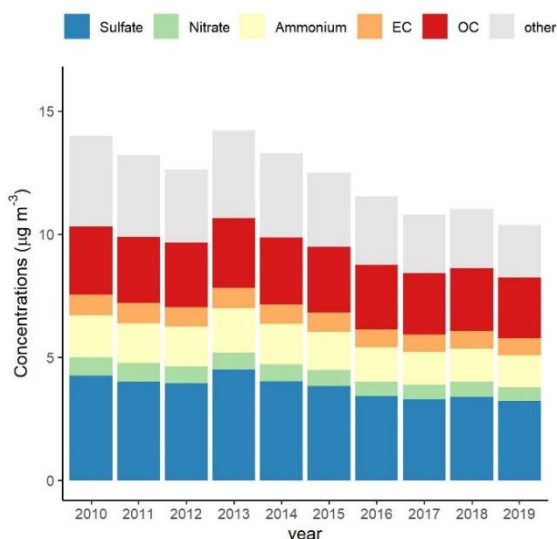


図4 PM2.5 質量濃度とその主要成分の関西地域における経年変化

課題3 [疫学調査に LUR モデルを適用した健康影響評価] における成果

Araki et al. (doi: 10.1016/j.envpo.2020.114476) では、長期の大気汚染物質の曝露に伴う、慢性的影響の評価への適用を考慮し、モニタリングネットワークが未整備の時期を含む過去 30 年間における、PM_{2.5} の全国月平均濃度分布を機械学習の一手法であるニューラルネットワークを LUR モデルに導入し推定した。モデル構築に使用しないモニタリングデータを用いた精度検証の結果として R²=0.75 と高い予測精度が得られた。さらに、2000-2013 年における月平均値の時間変化を精度よく再現できた。また、面積および人口の重み付けをした PM_{2.5} 濃度の経年変化を分析したところ、1990 年代初頭より減少傾向があることが明らかとなった。過去にわが国で実施されてきた疫学調査の結果に、このモデルで得られた PM_{2.5} 濃度の推定値を用いることにより、PM_{2.5} の健康影響についての新たな知見が得られることが期待できる。

また、課題2で得られた関西地域の2010年から2019年までの日単位のPM_{2.5}濃度の推計値を同地域で実施している疫学調査に適用することにより、PM_{2.5}の短期的な曝露による健康影響を評価することが可能となった。

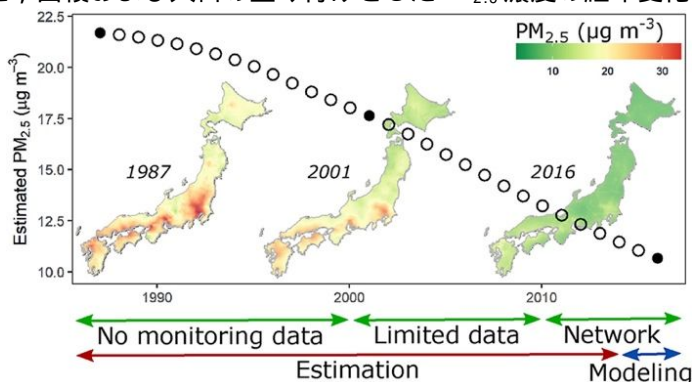


図5 国内PM2.5年平均濃度の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Araki Shin, Shima Masayuki, Yamamoto Kouhei	4. 巻 263
2. 論文標題 Estimating historical PM2.5 exposures for three decades (1987-2016) in Japan using measurements of associated air pollutants and land use regression	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Pollution	6. 最初と最後の頁 114476 ~ 114476
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.envpol.2020.114476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 辻本 昌礼, 山本 浩平, 亀田 貴之	4. 巻 57
2. 論文標題 気象モデル推定値を取り入れたLand Use Regressionモデルによる国内大気汚染物質濃度分布推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大気環境学会誌	6. 最初と最後の頁 1 ~ 14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11298/taiki.57.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Thongthammachart Tin, Araki Shin, Shimadera Hikari, Eto Shinnosuke, Matsuo Tomohito, Kondo Akira	4. 巻 262
2. 論文標題 An integrated model combining random forests and WRF/CMAQ model for high accuracy spatiotemporal PM2.5 predictions in the Kansai region of Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 118620 ~ 118620
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.atmosenv.2021.118620	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Thongthammachart T., Araki S., Shimadera H., Matsuo T., Kondo A.	4. 巻 -
2. 論文標題 Land Use Random Forests Model Incorporating with WRF/CMAQ for Estimating Daily PM2.5 Concentration in Bangkok, Thailand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 EnvironmentAsia Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 辻本昌礼, 山本浩平, 亀田貴之
2. 発表標題 気象モデル予測値を利用したLand Use Regression (LUR) モデルの開発
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木 真, 嶋寺 光, 島 正之
2. 発表標題 統計モデルと物理モデルの融合による近畿地方におけるPM2.5成分濃度の日単位での推計
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保秀貴, 山本浩平, 松ヶ迫直也, 東野 達
2. 発表標題 Regression Kriging法による国内大気汚染物質濃度分布の推定と経年変化
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木 真, 島 正之, 山本浩平
2. 発表標題 機械学習を用いた過去30年間にわたる全国スケールPM2.5曝露濃度推計
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池上将太, 山本浩平, 亀田貴之
2. 発表標題 深層学習による京都における大気汚染物質濃度予測
3. 学会等名 第62回大気環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒木 真, 嶋寺 光, 島 正之, 蓮沼 英樹, 余田 佳子
2. 発表標題 PM 2.5 成分濃度推計モデルにおける機械学習アルゴリズムの評価
3. 学会等名 第62回大気環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒木 真、嶋寺 光、島 正之、山本浩平
2. 発表標題 大気汚染物質濃度予測への情報科学的アプローチ
3. 学会等名 第38回エアロゾル科学・技術研究討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Thongthammachart T., Araki S., Shimadera H., Eto S., Matsuo T., Kondo A.
2. 発表標題 High Spatiotemporal NO2 Estimates by Land Use Random Forests Integrated with WRF/CMAQ
3. 学会等名 Air & Waste Management Associations 114th Annual Conference & Exhibition, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Thongthammachart T., Araki S., Shimadera H., Matsuo T., Kondo A.
2. 発表標題 Land Use Random Forests Model Incorporating with WRF/CMAQ for Estimating Daily PM2.5 Concentration in Bangkok, Thailand
3. 学会等名 6th EnvironmentAsia International Conference, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒木 真, 嶋寺 光, 島 正之
2. 発表標題 統計モデルと物理モデルの融合による近畿地方におけるPM2.5成分濃度の日単位での推計
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	荒木 真 (Araki Shin) (20794027)	大阪大学・工学研究科・招へい研究員 (14401)	
研究 分担者	島 正之 (Shima Masayuki) (40226197)	兵庫医科大学・医学部・教授 (34519)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------