

Title	Modeling occupant behavior for residential energy demand simulation: enhancement of diversity by incorporating spatial variation
Author(s)	Li, Yuanmeng
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89625
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (LI YUANMENG)

Title

Modeling occupant behavior for residential energy demand simulation: enhancement of diversity by incorporating spatial variation (住宅エネルギー需要シミュレーションのための居住者行動モデリング: 空間的変動考慮による多様性の強化)

Abstract of Thesis

Occupant behavior (OB) models, that simulate the daily activity of residents, have been developed to be integrated into building simulation tools to estimate residential building energy demand. OB models contribute to improving accuracy as they can capture the impact of the OBs on energy loads. However, previous OB studies mainly focused on the simulation algorithms and paid less attention to the design of the overall model, especially the pre-simulation process — variable selection and parameter preparation method. In addition, the diversity among the occupants particularly the spatial variation was greatly underestimated. Therefore the existing OB models hinder generating realistic behavior profiles thereby leading to less reliable energy predictions for future building design and planning.

Based on the aforementioned background, this thesis aims to provide a systematic investigation in three steps. First, various machine learning based OB models are evaluated and compared to illustrate the importance of the pre-simulation process for the OB model development. Second, the existence of spatial variation and historical change in OBs were confirmed. The significance of these factors on model performance is further evaluated. Finally, new OB models incorporating spatial variation are proposed to enhance the diversity exhibited over given heterogeneous regions.

Chapter 1 first introduces the role of OB in energy demand modeling, the development of OB modeling, and diversity in OBs. Three critical reviews are presented to reflect the current research status. One summarizes the model engine, modeling methods to prepare the parameter, and variables used in the model in previous studies. The remaining two summarize studies relative to spatial variation. Then, the research gap was found based on the review. Finally, the overall framework of research targeting the assessment of OB model performance and development of the model that can involve spatial variation are outlined.

Chapter 2 analyzes and evaluates the pre-simulation process of OB modeling. In this chapter, two research questions that represent the vital components of the pre-simulation process were solved — variable selection, and parameter preparation by a case study based on the single-year American time use survey (ATUS) data.

Chapter 3 shows the existence of the spatial variation and historical change through a case study of watching television activity for the women population based on the multi-year ATUS data. In this chapter, the spatial variation is checked for the time interval with the largest discrepancies in the probability among the years from 2009 to 2019. The historical change is detected in a five-year period for the entire research area.

Chapter 4 establishes new OB models that can incorporate spatial variation. In this chapter, the spatial variation in four activities — sleeping, cooking and washing up, watching television, and commuting for 6 groups of the subpopulation of women is confirmed and modeled. The new OB model is assessed by comparing its performance to the conventional logistic regression model in terms of the error and diversity indicators.

Chapter 5 presents a combined in-depth discussion of the preceding chapters. The chapter highlights the significance of the design of the OB modeling and put forwards the pre-conditions and appropriate ways to involve spatial variation in the OB modeling process. The limitations and future works are also discussed.

Chapter 6 summarizes the main study findings, conclusions, and contributions.

Overall, this work has contributed to broadening the knowledge of the pre-simulation and successfully incorporating spatial variation to enhance the model diversity thus greatly improving the understanding of the systems and identifying areas to support sustainable decision-making depending on the time-use of people in different regions. These findings can be extended to develop more realistic energy demand models in future work.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (LI YUANMENG)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	准教授 山口 容平
	副 査	教授 下田 吉之
	副 査	教授 近藤 明

論文審査の結果の要旨

建築分野のカーボンニュートラル達成の上で、家庭部門のエネルギー需要を推計するモデルを用いて対策技術や管理手法の評価が行われている。このようなモデルの推計精度を向上させるため、人の生活行動 (Occupant Behavior と呼ばれる) を確率的に生成するシミュレーションモデルが開発されている。生活行動として考慮されているものに在宅・在室スケジュール、睡眠、テレビ視聴などの生活行為スケジュールがあり、これらは家庭部門のエネルギー需要を形成する個々のエネルギー消費機器の稼働を決める重要な要素であることから、生活行動を精度高く模擬することによりエネルギー需要の時刻別の特性や季節性を持つ冷暖房・給湯などの環境感性性を含め、精度高くエネルギー需要を推計することが可能となる。このような背景から、既往研究においては生活行動を確率的に模擬する計算アルゴリズムが複数開発されてきた。一方で、計算精度に影響を及ぼすモデルの入力パラメータ (時刻別行為実施確率、開始確率など) の整備手法、特に、生活行動の多様性を考慮する方法論について十分な知見が蓄積されていなかった。

本論文はこのような背景から、生活行動シミュレーションにおいて入力パラメータの整備手法が計算精度に及ぼす影響を評価し、生活行動の個人間の多様性を再現するための手法を開発した。主な知見は次に示す3つのものである。

(1) 生活行動シミュレーションにおける入力パラメータの整備手法

入力パラメータはシミュレーションが対象とする母集団から取得された生活時間データの標本平均や標本分布から与える方法 (方法①)、ロジスティック回帰やその他機械学習手法により与える方法 (方法②、③とする) が採用されている。また生活時間データではデモグラフィック要因などを因子が収集されており、②、③を用いた場合、各種因子の影響 (つまり、生活行動の多様性) を考慮することができる。本論文は入力パラメータの整備手法と考慮する因子により、どの程度生活行動の推計精度が変化するかを評価した。この結果、②、③において複数の研究で用いられている基本的な因子を考慮することにより、対象グループの平均的特性 (時刻別行為別開始確率で評価) を精度高く推計できること、考慮する因子を増加させることで生活行動の多様性の考慮が強化可能であること示した。

(2) 生活行動シミュレーション入力パラメータの空間的な変化

入力パラメータにおける多様性を形成する因子に地域性がある。既往研究では都市規模や地域区分を考慮するモデルが開発されているが、地域的な生活行動の違いを体系的に考慮するモデルは開発されていなかった。本論文はアメリカの生活時間データを用いて、生活行為の時間配分に空間的な分布が存在するか評価した。ここでは統計的検定により有意な空間分布が存在することを示すと同時に、クリギング法を使用して空間的な分布を定量化した。

(3) 空間分布を考慮した入力パラメータの整備手法開発

(2)において生活行為に空間的な分布が存在することが明らかになったことから、入力パラメータの整備段階において空間分布を考慮可能な手法を提案し、評価した。提案手法では、入力パラメータの空間的分布をクリギング法、Spatial auto regression (SAR) 法により模擬し、これを Smooth 関数とする。入力パラメータのロジスティック回帰

モデルにおいて Smooth 関数を 1 変数として考慮することで、他のデモグラフィック要因等と併せて入力パラメータにおける空間的な差異を考慮する。このようなモデルは空間的離散選択を扱う他の領域において使用されていたが、生活行動モデルでは使用されていなかった。このモデルを導入することで、空間分布を考慮しない既存のロジスティックモデルと比較してどの程度推計精度が向上するか評価した。この結果、多数の時刻で有意な空間分布が存在すること、クリギング法よりも SAR 法の推計精度がすぐれていること、SAR 法を Smooth 関数として用いることにより推計精度が向上可能（時刻別行為別実施確率で評価したところ 20%程度）であることがわかった。

このように、本論文は生活行動シミュレーションの入力パラメータ整備手法が生活行動の計算精度、特に、シミュレーションで表現可能な多様性に及ぼす影響を評価し、地域性を含めて多様性の表現を強化するための方法論を確立した。この成果は、生活行動シミュレーションを組み込んだ住宅のエネルギー需要推計の精度向上に貢献すると考えられ、その発展として、エネルギー需要の地域特性を反映した技術評価やエネルギー管理の実施の支援に貢献するものと評価できる。

以上のように、本論文は建築工学、エネルギー工学分野の発展に寄与する研究成果を提示しており、今後の建築分野のカーボンニュートラル対策を進めていくうえで貴重な知見を与えるものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。