

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06324

研究課題名(和文) 居住者行動の確率性を考慮した新しいエネルギーの時系列デマンド予測体系の提案

研究課題名(英文) Development of prediction methodologies of stochastic energy demand based on the occupants' behaviors

研究代表者

萩島 理 (Hagishima, Aya)

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：60294980

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯新興国における住居の冷房需要の確率的予測評価を目指し、マレーシアの集合住宅において、室内空気温度と空調機吹出口温度の連続計測を行った。得られた温度データから冷房発停時刻を特定し、冷房イベント生起時刻、継続時間の確率性状及び屋外気象条件との関係について考察を行った。解析結果より、人々のadaptation行動の生起確率はその瞬間の熱環境によりシグモイド関数で表現できる、という中緯度地方で従来広く用いられてきた仮定は、熱帯圏においては適用できない事が示唆された。その結果を受け、観測データに基づき、日々変化するエアコンの使用スケジュールを確率生成するアルゴリズムを開発した。

研究成果の概要(英文)：The authors performed a field survey on occupants' behavior toward the use of air-conditioners (A/C) in residential buildings in Malaysia in order to establish methodologies for estimating the stochastic time patterns of energy demand in tropical climate. Temperatures of room air and outlet of A/C were measured in 60 dwellings every 15 minutes, and converted into the information of when occupants turned on/off the A/C.

Based on the analysis of the measured data, it was revealed that the occupants behavior toward A/C use in Malaysia can not be modeled by the current Markov-model developed in mid-latitude countries, which adopts a sigmoid function for expressing the probability of A/C off-on behavior with an input variable of indoor thermal condition, such as room air temperature owing to the difference of the climate. With this finding, the authors established a new algorithm for generating stochastic A/C operation schedule based on the statistics of the measurement.

研究分野：建築環境工学

キーワード：空調熱負荷 居住者行動 住宅 統計解析 電力需要

1. 研究開始当初の背景

建物の運用におけるエネルギー消費および室内空間の熱・光環境の予測評価は長年建築環境工学における中心的な課題であった。その研究はまず、様々な時間スケールの変動を有する外界気象条件下の建物の最大負荷を限られた計算機資源で適切に算定する事を目的とした種々の気象データの統計処理に始まり、徐々に年間の非定常熱負荷計算へと移行し、現在のコンピューター性能は、多数室の室温・熱負荷変動を動的に数十年分計算する事を可能にし、日本ではアメダス観測網による気象データが容易に入手できるまでになっている。こうした状況において、近年研究における一つのボトルネックとして注目されているのが、居住者行動の影響のモデル化である。

特に最近では、建物運用段階における省エネ低炭素達成は喫緊の課題であることから、建築本体や空調・大型家電・照明等の要素機器の性能向上に加え、太陽光発電などの分散型電源と一体となったシステムも開発がなされている。そうした状況において、住居系建物においては、日々の気象条件に加え居住者の家族構成など様々な要素が熱電デマンドの時変動に影響を与えるため、その統計的性状を高精度に把握する事は不可欠である。

関連する既往研究を概観すると、日本においては、住宅におけるエネルギー消費量の実態や暖冷房の使用状況に関する調査(例えば、澤地ほか 1987; AIJ, 洪 1993; AIJ, 前ほか 2002; SHASE, 水谷ほか 2006; AIJ, 赤林ほか 2007; AIJ, 矢野ほか 2008; AIJ)が行われてきた。一方、欧米を中心とした *passive* 建築による省エネルギーを目指した研究の潮流の中から、Scartezini et al (1990, Build & Environ) や Fritsch et al (1990, Build & Environ) などは、オフィスの窓やブラインドの開閉や照明の操作など、ある種の不確実性を有する居住者行動が建物のエネルギー消費量や室内の快適性に大きな影響を与える事を実測に基づき示すとともに、建物熱負荷計算や照明のシミュレーションなどにおける居住者行動のモデル化の重要性を指摘している。また、Fanger の熱的中立の考え方に基づく PMV/PPD が暑熱環境における非空調の建物室内や半屋外空間における温熱快適性を適切に評価できないという問題点の指摘に始まる一連の *adaptive thermal comfort standards* についての研究の流れの中で、室内外の環境条件に基づき居住者の窓開閉などの *adaptation* 行動が *probit* などの確率モデルで表現できるといった報告が行われてきた(例えば、Nicol & Humphreys 2004, ASHRAE)。

こうした流れから、筆者らは、熱負荷計算に状態遷移確率による空調 on/off モデルをカップリングした新しい計算体系を提案(谷本ほか 1998, 1999 SHASE) したのを端緒として、その後、NHK 生活時間調査データを用いた多数サンプルの日々変化する生活スケジュー

ルの生成を行うとともに、生活スケジュールに応じた住宅内の内部発熱スケジュールの生成および状態遷移確率による空調発停モデルの連成による *bottom-up approach* によるモンテカルロシミュレーションの手法 TUD-PS を構築してきた(谷本ら 2005; SHASE, 2009; AIJ)。応募者の一連の研究に刺激を受けて、ヨーロッパでも数カ国に跨がる大規模な人々の生活スケジュール調査を実施し、そのデータから確率性状を維持した多数サンプルの生活スケジュールデータを生成する研究(Wilke et al 2013, Build & Environ) や、在室状況を確率生成する研究(Aerts et al 2014, Build & Environ) が報告されている。

こうした住宅の熱負荷計算と居住者行動モデルのカップリングに関する一連の研究の想定される到達目標は、人々の社会階層や年齢、家族構成に応じた生活スケジュールに関する大量サンプルの調査実施と、室内外温度、季節など様々な条件下における居住者の空調発停行動や窓開閉行動のモデル化のため大規模な被験者実験による予測精度の向上であろう。

しかし一方で、その種の大規模な調査コストに支えられた精緻な研究の実施可能地域は、日本や欧米などの先進諸国に限定される事は自明であり、経済発展著しく今後もミドルクラスの大幅な人口増加が予想される新興国に適用可能な、*bottom-up approach* とは異なる新しい枠組みが求められていると言えよう。

2. 研究の目的

前述の問題意識から本研究課題では、熱帯・亜熱帯の新興国における住居系建物の省エネルギー達成に貢献すべく、高効率の熱電供給システムの開発に不可欠な冷房およびエネルギー需要の時系列特性を人々の行動の不確実性を考慮して統計的に予測評価する新しいスキームを構築する事を目標とする。

3. 研究の方法

マレーシアの集合住宅の計 60 住戸(各住戸の床面積は 60.4 m²) を対象としてエアコンが設置されている居間及び寝室において、室内空気温度、空調機吹き出し口温度の連続計測を行った。得られた温度データから冷房発停時刻を特定し、冷房の ON から OFF までの区間を 1 イベントとして、イベント生起時刻、継続時間、次イベントとの間隔、屋外気象条件、在室状態などの情報を紐付けしている。測定期間は各戸 10 日~2 週間程度であるが、統計解析に十分な空調イベントのサンプル数が取得できるまで一部の住戸では測定期間を 2 ヶ月まで延長している。加えて、筆者が以前に実施した福岡市近郊の集合住宅の 20 戸における夏の同種の観測結果との比較考察を行った。図 1 にマレーシアと福岡での測定対象住戸の居住者人数の割合を示す。

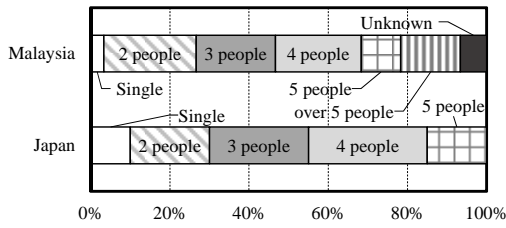


図 1 実測対象住戸の居住者人数割合

4. 研究成果

マレーシア及び日本における調査対象住戸の測定期間における 1 日当たりのエアコン使用時間及びエアコン運転イベント回数の散布図を図 2 に示す。

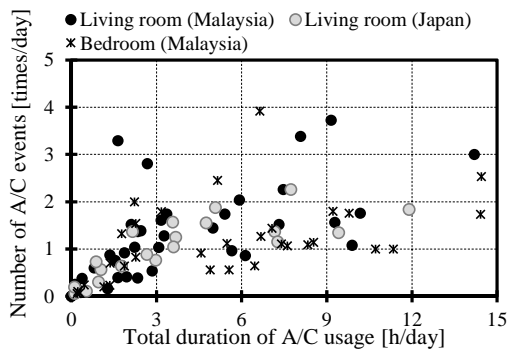


図 2 1 各住戸の日当たりエアコン運転時間とエアコン運転イベント回数の関係

熱帯と中緯度という異なる気候帯に属する 2 都市のデータであるが、両者は類似した傾向を示している事が分かる。

次に、2 都市のそれぞれの住戸をエアコン運転時間とイベント数に基づきグループ A (Frequent User), B (Moderate users), C (平均イベント数 0.6 回/日以下) と分類し、それぞれの住戸群におけるエアコン使用中の室内温度の比較を行った結果を図 3 に示す。

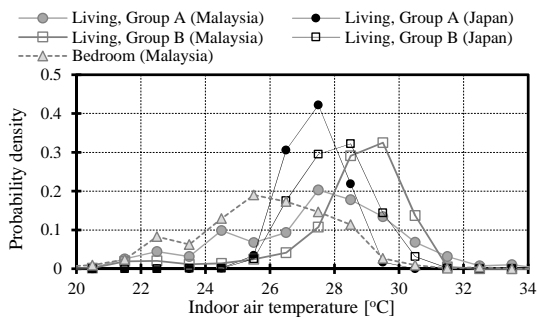


図 3 エアコン運転時間中の室内空気温度のヒストグラム

図より、日本の住戸では大半が 26~29°C の範囲に収まっているのに対して、マレーシアのデータはばらつきが大きい。また、特に寝

室における室内温度が 26°C 以下の割合が多く、日本とは対照的な傾向を示している。

次に、当該日の外気温度とエアコンの使用頻度の関係について分析を行った結果を図 4 に示す。

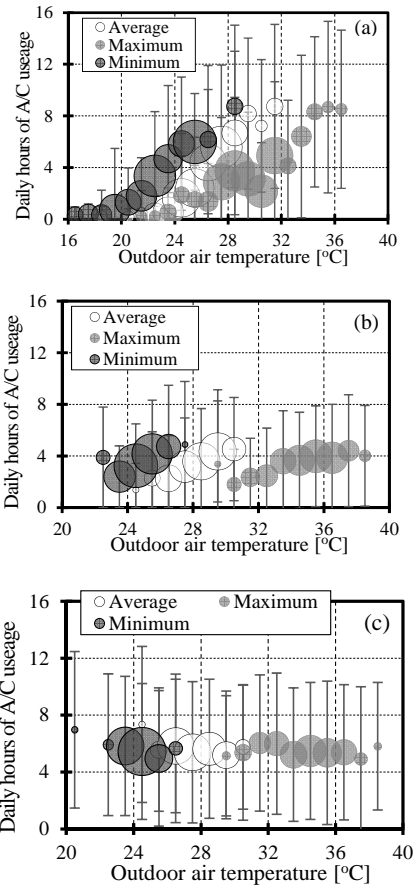


図 4 日平均、最高、最低外気温度と当該日のエアコン運転時間の関係、(a) 日本、(b) マレーシア 居間、(c) マレーシア 寝室、プロットの大きさはサンプル数を示す

2014 年 7~9 月において観測を行った福岡のデータでは、外気温度の上昇とともに徐々にエアコン使用時間が増加するというよく知られた傾向を示しているが、熱帯に位置し、年間を通じ殆ど外気温度の変動がないマレーシアではその傾向は弱まっている。特に、夜間の使用が中心となる寝室では殆ど外気温度との関連はなく、エアコンの使用行動は習慣化している事が分かる。

この結果から、従来、中緯度地方において広く用いられてきた仮定、即ち、人々の adaptation 行動の生起確率はその瞬間の熱環境により表現できる、という取り扱いは、熱帯圏においては適用できない事が示された。

そこで、この結果に基づき、マレーシアの観測データにおける時間帯別のエアコン使用確率及びエアコン使用イベントの継続時間の統計情報に基づき、エアコン使用スケジュールの確率生成アルゴリズムの開発を行った。アルゴリズムを図 5 に示す。

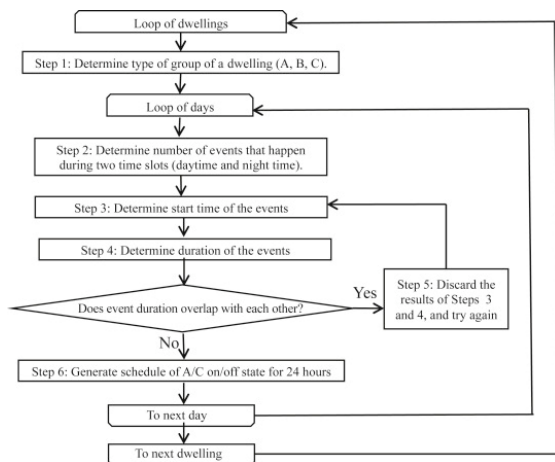


図5 マレーシアにおけるエアコン運転スケジュールの確率生成アルゴリズム

加えて、大阪府のデータを用いて、エアコンのインバータ制御や自動清掃機能の影響を考慮して居住者による空調 on/off 行動を特定するアルゴリズムを開発した。更に、大阪府のデータと筆者らがこれまで構築してきた bottom-up approach による住宅の需要の確率予測モデル TUD-PS による再現計算を通じて、日本においては居住者の空調使用行動が当該日だけでなく過去 10 日間までの気温履歴により季節変化する事を明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 小野哲嗣, 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 大規模集合住宅のエアコンの電力量の時系列データに基づく統計分析, 空気調和衛生工学会論文集 No. 239, 1-10, 2017. doi.org/10.18948/shase.42.239_1
- ② Sheikh Ahmad Zaki, Aya Hagishima, Ryosuke Fukami, Nur Fadhilah, Development of a model for generating air-conditioner operation schedules in Malaysia, Building and Environment, Vol.122, 354-362, 2017. doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.023
- ③ Nassir Ranjbar, Sheikh Ahmad Zaki, Nelidya Md Yusoff, Fitri Yakub, Aya Hagishima, Short-term measurements of household electricity demand during hot weather in Kuala Lumpur, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 3, 1436-1443, 2017. <http://www.iaescore.com/journals/index.php/IJECE/article/view/7507/6558>
- ④ Nassir Ranjbar, Sheikh Ahmad Zaki, Nelidya Md Yusoff, Aya Hagishima, Time series data analysis of household electricity

usage during el-nino in Malaysia, Chemical Engineering Transactions, 379-384, 379, 384, 56, 2017.

<http://www.aidic.it/cet/17/56/064.pdf>

- ⑤ 小野哲嗣, 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 一般住戸における時系列電力消費量データを利用したエアコンの ON/OFF 判定アルゴリズムの開発及び検証, 空気調和衛生工学会論文集 No. 255, 2018.

[学会発表] (計 4 件)

- ① 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 佐藤新見, 小野哲嗣, 住宅における居住者の冷房使用行動の季節変動に関する考察, 2018 年度日本建築学会大会 (東北) 学術講演会, 2018.
- ② 小野哲嗣, 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 外気温度の履歴が住宅のエアコン使用に与える影響に関する統計分析, 2017 年度日本建築学会大会 (中国) 学術講演会, 広島工業大学, 2017.
- ③ Aya Hagishima, Ryosuke Fukami, Sheikh Ahmad Zaki, Cross-cultural comparison of occupants' behaviour towards cooling of residences between Japan and Malaysia, 12th REHVA World Congress, CLIMA 2016 At Aalborg, Denmark, Vol.6, 549-552, 2016.
- ④ 深見亮介, 萩島理, 谷本潤, 池谷直樹, 住宅における冷房使用行動の確率性状に関する考察, 日本建築学会学術講演会, 東海大学湘南キャンパス, 2015.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

萩島理 (HAGISHIMA, Aya)

九州大学・大学院総合理工学研究院・教授
研究者番号：60294980

(2)研究分担者

谷本潤 (TANIMOTO, Jun)

九州大学・大学院総合理工学研究院・教授
研究者番号：60227238

池谷直樹 (IKEGAYA, Naoki)

九州大学・大学院総合理工学研究院・助教
研究者番号：70628213

(3)連携研究者

(4)研究協力者

Shiekh Ahmad Zaki Shaikh Salim

マレーシア工科大学・マレーシア日本国際工科院・Senior Lecturer