

2023（令和5）年度 実践FS報告書

実践FS研究課題名	（和文）モンスーン・アジアの都市住宅におけるパッシブ建築文化の創成
	（英文）Creation of passive architectural culture among urban houses in the Monsoon Asia
実践FS提案者 （所属・職名・氏名）	広島大学大学院先進理工系科学研究科・教授・久保田 徹
所属プログラム	環境文化創成プログラム（松田素二 プログラムディレクター）
プロジェクト期間	2023年4月1日 ～ 2024年3月31日

本報告書はFSの研究成果として地球研ホームページに掲載します。

1 研究概要

本研究では、成長著しいインドの主要都市を対象として、モンスーン・アジアにおいて急増する都市住宅の省エネ・脱炭素化を目的とした新たな「パッシブ建築文化」の創成を長期的な目標とする。IS期間では、デリーとカラグプルを訪問しフィールド調査を行い、都市住宅と伝統的住宅の建物属性や熱環境、ライフスタイルに関する実態を観察した（n=12）。さらに、デリーにおいては、調査会社を通じて大規模なアンケート調査を実施し、居住者の幸福度とエネルギー消費に影響を及ぼす要因を分析した（n=1001）。FS期間では、新たに季節変化を考慮して引き続き都市住宅と伝統的住宅の実態調査を行うとともに、新たにカラグプルの都市住宅と伝統的住宅を対象に幸福度調査を行いデリーの結果と比較することによって、幸福度要因の多様性や地域性を考察する。以上の2年間の調査結果から、「熱的快適性・健康」―「省エネ・脱炭素」―「幸福度・生活の質」を地域の文脈のうえでバランスよく同時に満たすための方法を考察し、これらの総体を建築文化としてまとめる研究フレームワークとその深化の方法を精査する。

2 実践FSで得られた成果

本研究では、これまで、デリーとカラグプルを複数回訪問し、フィールド調査や住込み調査等を実施し、都市住宅と伝統的住宅の建物属性や熱環境、ライフスタイルに関する実態把握を進めてきた。さらに、両都市において大規模アンケートを実施し、居住者の生活の質と世帯エネルギー消費量に影響を及ぼす要因を分析している。これまでに得られた主な成果と課題を以下に示す。

【都市住宅の全体像】

- 中間層向けの都市住宅は、ほぼ例外なくRCフレームにレンガ壁を用いた構造であり、熱容量が大きい。床面積に対する開口面積の割合は概して低く、一日を通じて室温が一定になりやすい。これは、年間の一部

で40℃を超えるような猛暑になるためと考えられる。開放性や風通しよりも、全体として遮熱性が重視されている。

- ほとんどの窓が3重（鉄格子，ガラス戸，網戸）になっており，夜間でも開放できる構造であった。これは，大きな風通しを得るためというより，特に夜間の排熱に適した窓であることを示唆している。一方で，テラスやベランダなどの比較的大きな半屋外空間が設けられていることが多かった。
- インド北部では，上述のような猛暑となる乾季がある一方で，冬の最低気温は10℃を下回る。また，モンスーン季には高温多湿となる。すなわち，住宅内外において，熱的に快適な空間は，季節や一日のうちの時間によって大きく異なるはずである。

【熱環境の実測結果】

- カラグブルにおける長期実測は，2023年7月より開始したため，現在までの実測期間は雨季に当たる（対象：6世帯）。期間中の屋外気象は天気大きく左右されるが，日最高気温は約30～33℃で，特に暑い日は35℃に達した。一方の日最低気温は25～27℃程度であり，また相対湿度は60～100%と高かった。内陸に位置するため，外部風速は概して低い。
- いずれの対象住宅においても，外気温の多寡に拘わらず室温は概して一定であり，冷房を用いずに窓を閉め切った状態では約29～31℃程度で変動していた。特に，夜間の室温は外気温よりも3～4℃高温であり，現在は，エアコンを使用するか，あるいは天井ファンを常時稼働して凌いでいるようである。夜間換気を利用した冷却ポテンシャルは大きい。

【QoLとエネルギー消費量の影響要因】

- 2022年11月～2023年1月に，デリー中心部において層化抽出法（経済レベル，民族）により地区選定を行なったのち，各地区で無作為抽出によるサンプリングを行い1001世帯から回答を得た。2023年9月より，カラグブルにおいても同様の大規模調査を行っており，既に約300サンプルを回収している。
- デリーの結果では，生活の質に大きく影響する要因は，住まい・近隣街区・都市全体への愛着，コミュニティや家族との人間関係，仕事への満足度などであった。一方で，世帯エネルギー消費量に最も影響する要因は，冷房を含めた家電の所有台数であり，それには建物属性と収入などの経済要因が大きく影響を与えていた。総じて，住まいとコミュニティで形成される人間関係とそれらに基づく住まいと居住地への愛着が，エネルギー消費を抑えつつ，生活の質を高める鍵のひとつと示唆された。

【ライフスタイルと住まい方】

- カラグブルの実測対象世帯（6世帯）に対して，住み込み調査に基づき作成した質問紙を用いた30分刻みの生活行動調査（2週間）を実施している（2023年9月開始）。
- 各個人の生活行動には一部で典型的パターンが見られた。本調査を長期的に継続することで，季節による変化が見られるはずである。特に，余暇や休憩を行う場所，さらに，人が集う場所に注目して解析を進める予定である。

【研究フレームワークの構築】

- 以上の研究結果に基づき，「熱的快適性・健康」―「省エネ・脱炭素」―「幸福度・生活の質」を地域の文脈

のうえでバランスよく同時に満たすための方法を考察した。上記の方法をさらに住民参加のワークショップによって深化させ、さらにそれを社会実験によって実践する研究フレームワークを構築し、FR計画書に纏めた。

【当初予定していた目標の達成の成否および成果物】

FS移行計画書に記した具体的目標は下記の6点であるが、当初より、# 1～# 3 及び# 6 を優先して行うこととしていた。上述のとおり、# 1～# 3 及び# 6 については、一部は実施中であるが、当初の予定していた目標を概ね達成したと考えられる。

1. 前年度にデリーで実施した幸福度調査を新たにカラグプル（人口約30万人）を対象に実施する（1000世帯）。これによって、居住者の幸福度とエネルギー消費に影響を及ぼす要因を明らかにし、特に「省エネ・脱炭素」「幸福度・生活の質」を同時に満たすための方法を考察する。
2. デリーではすべて都市住宅を対象に幸福度調査を行ったが、カラグプルでは都市住宅だけでなく伝統的住宅を対象に調査を行う。得られた結果をデリーの結果と比較することによって、幸福度要因の多様性や地域性、さらに歴史性を考察する。
3. 前年度調査によって、インド北部の気候は季節変化が非常に大きく、最適なパッシブ技術は季節ごとに異なることが分かった。そこで、本期間では、デリーとカラグプルを対象に一年間の長期実測を行い、新たに季節変化を考慮して引き続き都市住宅と伝統的住宅の実態調査を実施し、室内熱環境と空気質の現状を把握する。
4. また、新たな技術開発として、スマートフォンを用いたパッシブクーリングへの行動変容システムの開発を開始する。
5. さらに、PR以降の本格的なアクションリサーチの開始に向けて、デリーとカラグプルの大学キャンパス周辺のコミュニティを対象とした住民参加型のワークショップを始める。
6. 上記の目的を達成する過程で、PR以降の研究のフレームワークを定めるとともに、研究体制を固める。

これまでの成果は以下の口頭発表において公表（予定）である。また、同時に、国際ジャーナルへの投稿準備を進めている。

- [1] E. BUXTON, N. KUMAR, T. KUBOTA (2023) Factors affecting the quality of life in middle and low-income settlements of Delhi, 日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集, 2313-2314, 2023.9.
- [2] DULIS, E. BUXTON, N. KUMAR, H. SANI, T. KUBOTA, S.P. BHATTACHARYA (2024) Factors Influencing Quality of Life and Energy Usage Patterns Among Low-Income Groups in India: A Case Study of Delhi and Kharagpur, The International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA), Kyoto, 10-13 September (Forthcoming).
- [3] SUBHAGATA, N. KUMAR, KAWAJIRI, T. KUBOTA, S.P. BHATTACHARYA, T. ASAWA, Y. NAKANO (2024) Behavioral adaptations for improving thermal comfort in residential buildings in hot-humid climate – a case study of Kharagpur, India, The International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA), Kyoto, 10-13 September (Forthcoming).
- [4] S. JAISWAL, T. KUBOTA, N. KUMAR (2024) Mapping the Parameters of Westernization in Lifestyle

and Houses across Asian Countries: A Bibliometric Exploration, The International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA), Kyoto, 10-13 September (Forthcoming).

3 実践FS期間中の業績リスト

【査読付き論文】

1. Bhanage, V., Lee, H.S., Cabrera, J.S., Kubota, T., Pradana, R.P., Fajary, F.R., Nimiya, H. (2024) Identification of optimal CMIP6 GCMs for future typical meteorological year in major cities of Indonesia using multi-criteria decision analysis, *Frontiers in Environmental Science*, 12:1341807.
2. Miyamoto, K., Pratiwi, S.N., Nishiiri, S., Takaguchi, H., Kubota, T. (2024) Relationship between cooling methods and energy consumption for the development of low-carbon collective housing in Indonesia. *Sustainability*, 16, 1635.
3. Nagasue, M., Kitagawa, H., Asawa, T., Kubota, T. (2024) A systematic review of passive cooling methods in hot and humid climates using a text mining-based bibliometric approach, *Sustainability*, 16, 1420.
4. Putra, I.D.G.A., Nimiya, H., Sopaheluwakan, A., Kubota, T., Lee, H.S., Pradana, R.P., Alfata, M.N.F., Perdana, R.B., Permana, D.S., Riama, N.F., Karnawati, D. (2024) Development of typical meteorological years based on quality control of datasets in Indonesia, *Renewable Energy*, 221, 119699.
5. Agustiningtyas, R.S., Takaguchi, H., Prasetya, A., Kubota, T. (2023) Embodied energy and carbon assessment of existing affordable apartments in Indonesia, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* (in press)
6. Pratiwi, S.N., Sakita, Y., Kubota, T., Tanaka, H., Nishiiri, S., Takaguchi, H., Surahman, U. (2023) Influences of occupant preferences for living environments on household energy consumption: a case study of Indonesia, *Energy and Buildings*, 300, 113636.
7. Sani, H., Kubota, T., Surahman, U. (2023) Factors affecting multiple chemical sensitivity (MCS) in newly constructed apartments of Indonesia, *Building and Environment*, 241, 110482.
8. Prasetya, A., Ho, A.D., Kubota, T. (2023) Analysis of typical layout of apartment buildings in Indonesia, *Buildings*, 13(6), 1387.
9. Bhanage, V., Lee, H.S., Kubota, T., Pradana, R.P., Fajary, F.R., Arya Putra, I.D.G., Nimiya, H. (2023) City-wise assessment of suitable CMIP6 GCM in simulating different urban meteorological variables over major cities in Indonesia, *Climate*, 11(5), 100.
10. Kitagawa, H., Asawa, T., Rio, M.A.D., Kubota, T., Trihamdani, A.R. (2023) Thermal energy simulation of PCM-based radiant floor cooling systems for naturally ventilated buildings in a hot and humid climate, *Building and Environment*, 238, 110351.
11. Alvarez, D., Kouda, R., Ho, A.D., Kubota, T. (2023) Scenario analysis of embodied energy and CO2 emissions for multistory apartments in Indonesia, *E3S Web of Conferences*, 396, 04015.
12. Bhanage, V., Lee, H.S., Pradana, R.P., Kubota, T., Nimiya, H., Putra, I.D.G.A., Sopaheluwakan, A., Alfata, M.N.F. (2023) Development of future typical meteorological year (TMY) for major cities in Indonesia: Identification of suitable GCM, *E3S Web of Conferences*, 396, 05001.
13. Pratiwi, S.N., Sakita, Y., Tanaka, H., Nishiiri, S., Kubota, T., Takaguchi, H., Surahman, U. (2023) Preferences in living environment assessment and their association with energy consumption in Indonesia, *E3S Web of Conferences*, 396, 03028.
14. Aprilianthi, S.R., Sakoi, T., Diinal Aziiz, A., Kubota, T., Fajri Alfata, M.N., Suhendi, F., Koerniawan, M.D., Nakaya, T. (2023) Perceived thermal acceptability and behavioural adjustment for Indonesian workers, *E3S Web of Conferences*, 396, 01049.
15. Kumar, N., Kitagawa, H., Alfata, M.N.F., Maeda, T., Nakahara, D., Kubota, T., Asawa, T., Hirayama, Y., Trihamdani, A.R. (2023) Experimental study on vertical void for improving natural ventilation in

midrise double-loaded apartments, E3S Web of Conferences, 396, 02024.

16. Putra, I.D.G.A., Nimiya, H., Kubota, T., Lee, H.S., Iketani, F., Trihamdani, A.R., Sopaheluwakan, A., Alfata, M.N.F., Permana, D.S., Pradana, R.P. (2023) Study of vertical solar irradiance and local scale climate to assess passive cooling potential in Tangerang of Indonesia, E3S Web of Conferences, 396, 05002.
17. Prasetya, A.B., Ho, A.D., Kubota, T. (2023) Classification of typical layout design for Indonesian apartment buildings, E3S Web of Conferences, 396, 04010.
18. Asiga Cahya Adhianti, R., Kubota, T., Putra Pradana, R., Soo Lee, H. (2023) The impacts of climatic conditions on dengue fever and general emergency hospital admissions in tropical Indonesia, E3S Web of Conferences, 396, 05006.
19. Kumar, N., Bardhan, R., Kubota, T., Tominaga, Y., Shirzadi, M. (2023) Parametric Study on Vertical Void Configurations for Improving Natural Ventilation in Double-Loaded Apartments, Environmental Science and Engineering, 1977 – 1986.
20. Alfata, M.N.F., Trihamdhani, A.R., Kubota, T., Asawa, T. (2023) Development of Low-Carbon Affordable Apartments in the Hot and Humid Climate of Indonesia: Construction of a Full-Scale Experimental House, Environmental Science and Engineering, 2537 – 2546.

【口頭発表（査読付き）】

21. Kumar, N., Kitagawa, H., Alfata, M.N.F., Maeda, T., Nakahara, D., Kubota, T., Asawa, T., Hirayama, Y., Trihamdani, A.R. (2023) Experimental study on vertical void for improving natural ventilation in midrise double-loaded apartments, Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC), Tokyo, 20-23 May.
22. Pratiwi, S.N., Sakita, Y., Tanaka, H., Nishiiri, S., Kubota, T., Takaguchi, H., Surahman, U. (2023) Preferences in living environment assessment and their association with energy consumption in Indonesia, Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC), Tokyo, 20-23 May.
23. Alvarez, D., Kouda, R., Ho, A.D., Kubota, T. (2023) Scenario analysis of embodied energy and CO2 emissions for multistory apartments in Indonesia, Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC), Tokyo, 20-23 May.
24. Adhianti, R.A.C., Kubota, T., Pradana, R.P., Lee, H.S. (2023) The impacts of climatic conditions on dengue fever and general emergency hospital admissions in tropical Indonesia, Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC), Tokyo, 20-23 May.
25. Prasetya, A.B., Ho, A.D., Kubota, T. (2023) Classification of typical layout design for Indonesian apartment buildings, Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC), Tokyo, 20-23 May.

【口頭発表（査読無し）】

26. Kubota, T. (2023) Cooling solutions for affordable apartments in the Global South, Proceedings of the 23rd International Seminar on Sustainable Environmental Architecture (SENVAR), Manado, Indonesia, 20th-21st October. (invited speaker)
27. 佐古井智紀, 久保田徹：冷暖房使用時と不使用時の自宅温熱快適域の差異の検討, 日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集, 575-576, 2023 年 9 月
28. 北川遼, 浅輪貴史, 久保田徹：高温多湿気候のインドネシアにおける潜熱蓄熱材を用いた自然換気住宅の性能評価に関する研究 その 1 床冷却システムの蓄冷性能の年間評価, 日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集, 829-830, 2023 年 9 月
29. 浅輪貴史, 北川遼, 久保田徹：高温多湿気候のインドネシアにおける潜熱蓄熱材を用いた自然換気住

宅の性能評価に関する研究 その 2 窓開閉制御の最適条件の検討, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 831-832, 2023 年 9 月

30. 久保田徹, Nikhil Kumar, 北川遼, 前田丞, 浅輪貴史: Field Experiment on Effects of Vertical Void on Natural Ventilation in Double-Loaded Apartments, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 833-834, 2023 年 9 月
31. 宮本圭吾, 長島怜生, 西入俊太郎, 崎田悠生, Paratiwi Sri Novianthi, 高口洋人, 久保田徹: インドネシア・低所得者向け集合住宅の世帯特性を考慮した低炭素化モデルの提案 その 1: 世帯あたりエネルギー消費量の算出とクラスター分析による世帯分類, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 2341-2342, 2023 年 9 月
32. 長島怜生, 宮本圭吾, 西入俊太郎, 崎田悠生, Sri Novianthi Paratiwi, 高口洋人, 久保田徹: インドネシア低所得者向け集合住宅の世帯特性を考慮した低炭素化モデルの提案 その 2: 世帯あたりエネルギー消費量の将来予測と住宅特性別の低炭素化提案, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 2343-2344, 2023 年 9 月
33. 神田莉子, Diego Alvarez, 久保田徹: インドネシアのアフォーダブル集合住宅を対象とした木造化による CO₂排出量削減効果の検討, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 2353-2354, 2023 年 9 月
34. Sri Novianthi Pratiwi, Yuki Sakita, Shuntaro Nishiiri, Tetsu Kubota, Hiroto Takaguchi. Preferences for Lifestyle and Living Environment That Influence Household Energy Consumption in Indonesia, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 91-92, 2023 年 9 月
35. Elizabeth BUXTON, Nikhil KUMAR, Tetsu KUBOTA. Factors affecting the quality of life in middle and low-income settlements of Delhi, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 2313-2314, 2023 年 9 月
36. Andhika Prasetya, Tetsu Kubota, Naveedullah Hotak, Nikhil Kumar. Proposal of base models for low-carbon affordable apartments in Indonesia, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 2335-2336, 2023 年 9 月