

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02299

研究課題名（和文）ZEBを実現するための現在と近未来の設計用過酷気象データの開発

研究課題名（英文）Development of current and near-future severe weather data for ZEB design

研究代表者

二宮 秀與（Nimiya, Hideyo）

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：90189340

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではZEBの評価に用いる1分値気象データを整理した。1分値の観測値に含まれる欠測の補充方法について検討し、ホットデック法を用いることで実用的な精度で欠測を補充できることを示した。またインドネシアで日射量を観測し、熱帯地域での日射の直散分離と合成方法について検証した。その結果Perzモデルを熱帯地域にも適用できることを明らかにした。また衛星データを用いた大気放射量の推定方法について検討し、実用的な精度で特別の大気放射量を推定できることを示した。さらに名古屋地域の将来の過酷気象データを整理し、建物の運用期間全体を見据えたエネルギー性能評価を行う際の有用性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度なシミュレーションを可能とする1分値気象データを整理する際に課題となる欠測の処理方法を提案した。1分値気象データはZEB設計への適用が期待される。また熱帯地域での日射の直散分離、および斜面日射量の合成に関して、インドネシアでの観測値に基づきPerzモデルが適用できることを明らかにした。これまで熱帯地域での検証例が少なかったので大きな成果と言える。また気象衛星データを用いた大気放射量の推定は、熱帯を含む広い範囲に適用できるので、設計用の気象データを整理する際に有効な手段となる。将来の過酷気象データについては、その有用性を建物のエネルギー性能評価の観点から明らかにした点に学術的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, 1-minute weather data for ZEB evaluation was organized, and a method for filling in missing data in the 1-minute observations was investigated.

We showed that the hot-deck method can be used to fill in the missing data with practical accuracy. We also observed solar radiation in Indonesia, and verified a method for splitting the scattering component and the direct component from the global solar radiation. As a result, it was shown that the Perz model can be applied to tropical regions. We also studied a method for estimating downward IR radiation using satellite data and showed that it can estimate hourly values with practical accuracy. Furthermore, future severe weather data for the Nagoya area was organized, and its usefulness in evaluating the energy performance of buildings over their entire operational life was clarified.

研究分野：建築環境工学

キーワード：1分値気象データ 欠測補充 日射直散分離 斜面日射量 大気放射量 将来気象データ

1.研究開始当初の背景

建物のエネルギーシミュレーションには標準年気象データが広く利用されている。標準年は対象とする統計期間の中から月別に平均月を選定し、それらをつなぎ合わせて仮定の1年間のデータを生成したものである。標準年はその土地の平均的な気象を表し、シミュレーションで得られる結果も平均的な状態での建物性能となる。近年、建築分野では世界的にZEBが指向されており、全ての新築建物のZEB化は国の目標でもある。ZEBの設計でもシミュレーションが活用されているが、その際の気象データは平均的な気象条件ではなく、むしろ過酷な気象条件での評価が重要になると考えられる。そうでなければ運用時にZEBを達成できない年が多数出現する危険性があるからである。本研究では、真のZEB社会の実現を目指して、ZEBやZEHの評価に適した現在と近未来の設計用過酷気象データの作成方法を検討し、国内および東南アジアの年間気象データを整理・公開することを目標とした。

2.研究の目的

本研究の目的は、ZEBやZEHを評価するための年間の過酷気象データの整理方法について検討することである。これまでに建築設備の容量設計用の気象データや短期間設計気象データは提案されている。しかしながらZEBやZEHの評価のための年間の気象データは整理されていない。例えばZEBにおける太陽光や風力による電力供給量を評価するには、日射や風速の短時間の変動も考慮する必要があるが、そのようなデータセットも未整備である。本研究ではまず気象庁の1分値データを元に1分間隔の年間気象データを開発する。さらに過去10年間の気象データから月ごとに代表年を選定し、年間の設計用過酷気象データを整理する。

一方、本研究で課題とする過酷気象データを建築の設計に適用することを考えた場合、地球や都市の気候変動により将来に亘って気象がどう変化するか、も重要なファクターとなる。本研究では文科省のRECCA（気候変動適応研究推進プログラム）で開発された「フィードバックパラメタリゼーションを用いた詳細なダウンスケールモデル」を応用し、10年～20年の近未来を対象とし、この期間の設計用過酷気象データを整理する。将来の標準年気象データについては既往の研究があるが、過酷気象データについては検討されていない。過去10年程度の気象データから作成する現在の設計用過酷気象データと、近未来の設計用過酷気象データから、設計者はZEBの目標性能や弱点を評価できる。現在と近未来の設計用過酷気象データを開発することを本研究の目的とした。

3.研究の方法

本研究では、過酷気象データを整理するために、以下に示す6つの課題に取り組んだ。

(1) 1分値気象データの開発

ZEBやZEHを評価するために、1時間間隔よりも短い時間間隔の気象データを整理する。データソースには気象庁で公開されている1分値気象データを使用するが、1分値気象データには多数の欠測が含まれるため、本研究ではまず、1分値気象データに含まれる欠測の補充方法について検討した。欠測補充の方法はいくつか提案されており、本研究ではhotbox法の適用について検討した。

(2) 気象データの時間間隔が建物エネルギーシミュレーションに及ぼす影響

これまで建物エネルギーシミュレーションには、特別の気象データが入力データとして用い

られてきた。シミュレーションツールによっては、分間隔で計算を実行しているものがあるが、入力する気象データが時別のため、時別データを分間隔に直線補間する手法がとられている。昼光利用や通風、太陽光発電などは、気象の短時間の変動が影響すると推測されるので、シミュレーションに時別データを用いる場合と、分間隔データを用いる場合で、結果にどの程度の差が生じるか確認する。これにより分間隔データの必要性を明らかにする。

(3) ZEB における過酷な気象条件の検討

ZEB は消費エネルギーと創エネルギーのバランスで評価される。これまでの建物の設備計画では夏季と冬季の最大熱負荷が重要な指標として扱われてきたが、ZEB を考えた場合、例えば長雨による発電量の不足や、風の変動による自然換気への影響など、これまで評価されてこなかった気象の変動も建物性能に影響する可能性がある。そこで ZEB において過酷な気象条件とは何かシミュレーションを用いて検討する。

(4) 東南アジアにおける過酷気象データの開発

東南アジアでは信頼できる日射量のデータが少ないことが課題となっている。建物のエネルギーシミュレーションでは直達日射量と天空日射量が必要であり、通常は全天日射量から推定している。東南アジアは湿度の影響で全天日射量に占める天空日射量の割合が大きく、既往の直散分離式が適応できるか検証が必要である。そこでインドネシアで日射量(全天, 直達, 天空)を観測し、日射の直散分離と斜面日射量の合成方法について検討する。

(5) 気象衛星の画像データを用いた大気放射量の推定方法

大気放射量は観測データが少なく、日本では5カ所のみである。また海外の観測データの入手は難しく、雲量と水蒸気量を用いる簡易な Brunt の式が利用されている。しかし、海外に関しては雲量の入手も困難であり、設計用の気象データを整理する際の課題となっている。そこで、気象衛星データを用いた大気放射量の推定方法について検討する。気象衛星ひまわりのデータは日本からオーストラリアまで地球の半球を網羅しており、推定方法を確立できれば任意の地点の大気放射量を整理することが可能となる。

(6) 将来気象データの開発

全球規模の気候変動予測成果を用いて、近未来の設計用過酷気象データを整理する手法を開発する。温暖化ダウンスケーリングモデルを用いて、10年から20年先の気象を予測し、得られた結果を元に近未来の設計用過酷気象データを整理する。また作成した気象データを用いて、エネルギーシミュレーションを実施して空調エネルギー消費量を推定し、その推定結果を基に、ZEH・ZEBの持続可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) 1分値気象データの開発について

本研究では ZEB のエネルギー収支をより詳細に検討するため、シミュレーションに用いる気象データとして1分値や5分値の利用を条件とした。そのためにまず1分値気象デ

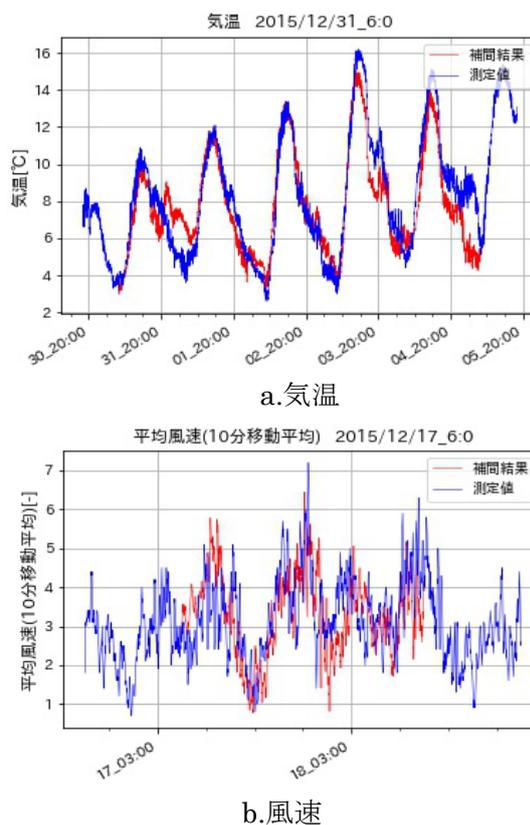


図1 長時間欠測の推定結果の例

ータを整理する必要があり、データに含まれる欠測の補充方法について検討した。ホットデック法とニューラルネットワークによる機械学習を適用した結果、ホットデック法による補間が有効であることを明らかにした。図 1 にホットデック法を適用した気温と風速の推定結果の例を示す。ここでは 120 時間の欠測を想定して、観測値と推定値を比較している。1 分値の特徴を維持しつつ良好な推定結果が得られていることがわかる。これらの成果は、建築学会大会と建築学会九州支部研究発表会で報告した。

(2) 気象データの時間間隔が建物エネルギーシミュレーションに及ぼす影響

東京の 2010 年の分別気象データと特別気象データを用いて、Openstudio のシミュレーション結果にどの程度の差が生じるか検討した。その結果、1 分値によるシミュレーションの方が、一次エネルギー供給量が 1.6%、1 次エネルギー消費量が 1.8%増加する結果となった。しかし、太陽光発電や照明エネルギーの変化量は 1%未満であり、気象の短時間の変動の影響は小さいことがわかった。このことは当初の予想を覆す結果となった。この結果は空気調和・衛生工学会九州支部研究発表会で報告した。

(3) ZEB における過酷な気象条件の検討

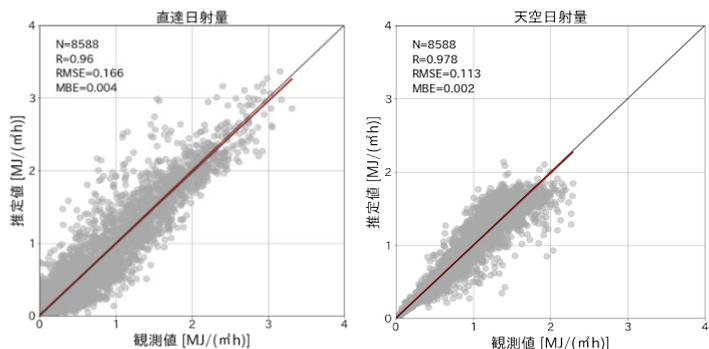
中規模な ZEB 建物モデルを想定して Energy Plus でエネルギー収支を検討した。その結果、気象要素の中で一番影響が大きいのは全天日射量であり、消費エネルギー量よりも太陽光発電の発電量が ZEB 化に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。過酷な気象条件としては、冬季で、外気温が低くかつ日射量が少ない日が上位に現れた。また週単位では中間期も含め、1 週間を通して天気が悪いケースが選定された。過酷気象データの作成方法として、月単位でエネルギー収支の悪い年を選定して、繋ぎ合わせることを検討したが、建物のエネルギー収支は、建物規模、発電容量、蓄電池容量に大きく依存するため、建物モデルを想定したシミュレーション結果から一般解的な結果を導くことができなかつた。これについては今後の課題である。

(4) 東南アジアにおける過酷気象データの開発

インドネシアのタンゲランで日射量（全天、天空、4 方位鉛直面）を観測し、熱帯地域での日射の直散分離、および斜面日射量の合成方法を検証した。図 2 に鉛直面日射量の測定装置を示す。装置は近隣の建物の影響を受けない高さに設置した。黒い覆いは、地表面からの反射成分を防ぐために設けた。熱帯地域は水蒸気量が多いため、全天日射量に占める散乱成分の割合が大きく、既往の直散分離方法では誤差が大きくなることが指摘されていた。そこで、本研究では海外を含め広く利用されている Perez モデルの精度



図 2 鉛直面日射量の測定状況



a.直達日射量の推定結果 b.天空日射量の推定結果

図 3 全天日射量の直散分離

を検証した。図 3 に全天日射量を直散分離して求めた直達日射量と天空日射量の推定結果を示す。図のように高い精度が得られることを確認した。また図 4 に全天日射量を直散分離して得られた直達および天空成分を用いて合成した鉛直面日射量の推定結果を示す。4 方位とも精度よく推定できることが確認された。このことから

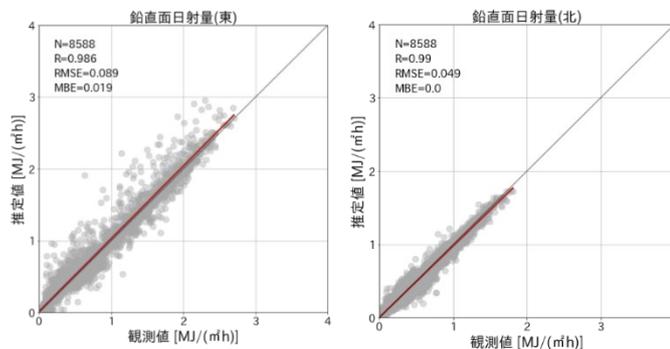


図 4 鉛直面日射量の推定結果例（東面，北面）

Perez モデルは熱帯地域にも有用であることが検証できた。これらの成果は、建築学会九州支部研究発表会で報告した。

(5) 気象衛星の画像データを用いた大気放射量の推定方法

大気放射は建物の熱環境に影響を及ぼす気象要素の 1 つであるが、観測データが少なく雲量や日照率を用いた推定値が用いられている。しかし雲量等が観測されていない地点も多く、また海外への適用が難しいことが課題となっている。そこで気象衛星ひまわりの画像データを用いた大気放射量の推定方法を検討した。日本の 4 地点とインドネシア・タンゲランの大気放射量観測値を元に、時別値の推定式を整理した。ひまわりは 16 バンドの画像データを観測しているが、このうち可視 1 バンドと赤外 2 バンドのデータを用いて推定式を作成した。地上で観測される気温と湿度も用いることで 10~20W/m²程度の誤差で大気放射量を推定できることを示した。推定精度はインドネシアでも同等であり、提案した推定式は熱帯を含む広い地域に適用できると考えている。図 5 に推定結果の例を示す。タンゲランの推定精度が低いように見えるが、これは気温の変動幅が小さいので、分布

が集中しているためである。RMSE で比較すると他地点と同程度となっている。本研究の成果は建築学会大会学術講演会で発表予定である。林・二宮：静止気象衛星データを用いた大気放射量の推定方法、日本建築学会大会学術講演会，2023

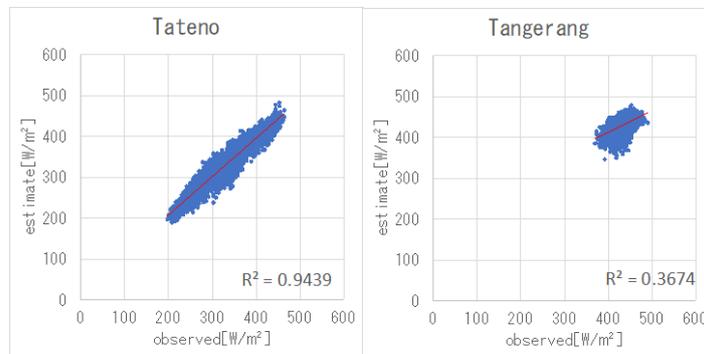


図 5 大気放射量の推定結果（館野，タンゲラン）

(6) 将来気象データの開発

将来の過酷気象データについては、温室効果ガス排出シナリオとして RCP2.6 および RCP8.5 を導入した GFDL-CM3 の結果を用いて、2030 年代と 2050 年代の名古屋地域 (1km メッシュ) の気象データを整理した。この気象データを用いて、エネルギーシミュレーションを実施して空調エネルギー消費量を推定し、その推定結果を基に、ZEH・ZEB の持続可能性を検討した。また、その過酷気象データを用いて、住宅モデルとオフィスビルモデルを対象としたエネルギー性能評価を行った。その結果、建物の運用期間全体を見据えたエネルギー性能評価を行う場合、現在の標準年気象データに基づく評価では不十分となることが示唆された。本研究の成果は、日本建築学会大会学術講演会で発表した。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Putra I Dewa Gede Arya, Nimiya Hideyo, Sopaheluwakan Ardhasena, Kubota Tetsu, Lee Han Soo, Pradana Radyan Putra, Alfata Muhammad Nur Fajri, Perdana Reza Bayu, Permana Donaldi Sukma, Riama Nelly Florida	4. 巻 226
2. 論文標題 Development of climate zones for passive cooling techniques in the hot and humid climate of Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 109698 ~ 109698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.buildenv.2022.109698	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 該当する

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 村木晴菜, 二宮秀與, 池谷楓雅
2. 発表標題 インドネシアの設計用気象データに関する研究 ~ 1分間積算値を用いたPerezモデルにおける推定精度の検証 ~
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 内藤 裕崇, 飯塚 悟
2. 発表標題 頻発する過酷気象を考慮する気象データの開発 (その1) 気象観測結果に基づくデータ開発と建物熱負荷計算への応用
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 ちひろ, 小田 健士朗, 飯塚 悟
2. 発表標題 頻発する過酷気象を考慮する気象データの開発 (その2) 将来気象予測に基づくデータ開発と建物エネルギー性能評価への応用
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳満涼輔, 二宮秀與, 飯泉元気
2. 発表標題 MSM 及び気象衛星画像を用いた水平面全天日射量及び大気放射量の推定方法
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北迫茂樹, 二宮秀與
2. 発表標題 水平面全天日射量の推定方法に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Han Soo Lee, Hideyo Nimiya, Tetsu Kubota
2. 発表標題 Development of a New Climate Zoning for Passive Design in Indonesia
3. 学会等名 日本建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 只野信幸, 二宮秀與
2. 発表標題 建築エネルギーシミュレーションにおける分別気象データの有用性
3. 学会等名 空調調和衛生工学会・九州支部 学術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今村将太, 二宮秀與
2. 発表標題 ZEB を実現するための設計用一分値気象データの開発 その 2 長期間欠測の補間
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北迫茂樹, 二宮秀與, 池谷風雅
2. 発表標題 インドネシアの設計用気象データに関する研究 ~その 大気放射量・夜間放射量について~
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 I Dewa Gede Arya Putra, Hideyo Nimiya, et al.
2. 発表標題 Identifying cloud cover zones in Indonesia
3. 学会等名 Seventh WMO International Workshop on Monsoons (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳満涼輔, 二宮秀與, 飯泉元気
2. 発表標題 メソ数値予報モデルGPV 地上面データを用いた水平面全天日射量の推定方法
3. 学会等名 日本建築学会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今村将太, 二宮秀與
2. 発表標題 ZEB を実現するための設計用過酷気象データの開発 その 1 地上気象観測一分値データの欠測値補間
3. 学会等名 日本建築学会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳満涼輔, 二宮秀與, 飯泉元気
2. 発表標題 メソ数値予報モデルGPV 地上面データを用いた水平面全天日射量及び大気放射量の推定方法
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会九州支部学術・技術交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北迫茂樹、二宮秀與、池谷風雅
2. 発表標題 インドネシアの設計用気象データに関する研究 ～その 日射量の直散分離と合成モデルの検証～
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今村将太, 二宮秀與
2. 発表標題 ZEB を実現するための設計用一分値気象データの開発 その1 欠測値の補間
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田 健士朗, 飯塚 悟
2. 発表標題 将来気候下におけるZEH・ZEB 持続可能性のシミュレーション検討
3. 学会等名 日本建築学会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳満涼輔, 二宮秀與, 飯泉元気
2. 発表標題 メソ数値予報モデルGPV 地上面データを用いた水平面全天日射量の推定方法
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
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	飯塚 悟 (IIZUKA Satoru) (40356407)	名古屋大学・環境学研究科・教授 (13901)	

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
---------	---------