

環境研究総合推進費

課題番号 : 2MF-2201
研究課題名 : 気候変動の暑熱リスクに対する学校建築の緩和と適応のシナジー
研究代表者名 : 中谷岳史(信州大学)

体系的番号 : JPMEERF20222M01
重点課題 主:【重点課題⑧】気候変動への適応に係る研究・技術開発
副:【重点課題⑦】気候変動の緩和策に係る研究・技術開発

行政ニーズ : (2-5)地域特性に応じた適応の優先度と限界等を考慮した適応策立案手法の開発
研究実施期間 : 2022年度(令和4年度) ~ 2024年度(令和6年度)

【研究体制】

サブテーマ1	サブテーマ2	サブテーマ1
中谷岳史 (信州大学)	前田慶博 (東京理科大学)	中谷岳史 (信州大学)
浜田崇 (長野県環境保全研究所)	長谷川幹雄(東京理科大学)	
	福嶋慶繁 (名古屋工業大学)	
	菅宣理 (芝浦工業大学)	

1.研究背景、研究開発目的及び研究目的

【研究背景】

- IPCC第6次評価報告書により、気候変動が様々な分野に影響することが報告され、国内外で適応策の重要性が改めて確認された。
- 建物の基本性能(断熱, 日射遮蔽など)を向上することで、建物のエネルギー消費量と熱中症リスクを減らすことが期待できる。
- 建物の空調エネルギーを増やせば健康リスクは低下し、緩和策と適応策はトレードオフの関係にある。建物の基本性能が低くて冷房を使わなければ、居住者は適応限界に達する。また断熱性能が高くて日射性能が低ければ、夏の室温は過剰に高くなり、緩和と適応はコンフリクトする。また学校建築の断熱改修にはコストが強く影響する。
- 学校建築の緩和策と適応策がシナジーになる条件を導く必要がある。



1.研究背景、研究開発目的及び研究目的

【研究開発目的】

- 気候変動の暑熱リスクに対する学校建築の緩和と適応のシナジーを検討する。
- 情報処理及び画像処理技術を基盤におき、学校建築の緩和策と適応策の優先度、そして適応の効果と限界を検討する。
- 気候変動による健康被害を低減する為、地域特性を反映した上で建物運用や建物補修、建替えの最適手順を立案する。
- その上で学校関係者とリスクコミュニケーションを繰り返しながら適宜修正し、各立場の意思決定に必要な情報を導く。

1.研究背景、研究開発目的及び研究目的

【研究目標(全体目標)】

気候変動の暑熱リスクに対する学校建築の緩和と適応のシナジーを達成する為、次の三つのサブテーマを定める。

- サブテーマ1:気候変動情報と自治体の特徴を整理し、リスクコミュニケーションを行う。各関係者の状況を踏まえ、限界や対策の優先度をスケジュールに入れた運用、改修、建替えに関する指針を立案し、各立場で意思決定しやすい情報を目指す。
- サブテーマ2:学際的チームで構成しており、高度な情報処理・画像処理技術によってサブテーマ3に必要な解析と計測の基盤技術を開発する。
- サブテーマ3:気候変動の将来予測データを建物伝熱解析で計算し、緩和策と適応策を両立する設計条件を最適化計算から求める。高度な解析技術によって、建物の敷地内の熱中症リスクと改善手法を検討する。そして実測によって、建物利用者の居住実態やホットスポットなどを明らかにして、解析手法を補う。得られた知見をサブテーマ1で活用する。

2.研究目標の進捗状況 (1)進捗状況に対する自己評価(サブテーマ1)

サブテーマ1:リスクコミュニケーションによる緩和と適応のシナジーの検討

【サブテーマ1の研究目標】

- 学校関係者にヒアリングとアンケート調査を行い、建築物の運用実態や将来計画を把握する。学校関係者と学術的知見について情報交換を行い、適応策と緩和策の両観点から学校建築の改修・建替えの指針をまとめる。インターネットホームページを作成し、学術的知見を集約して発信する。信州気候変動適応センターに知見を集約する。

【令和4年度研究計画】

- 長野県内小学校における熱中症対策アンケート・ヒアリング実態調査及び熱中症対策先進県へのヒアリング調査(3地域)を行う。

【令和5年度研究計画】

- 全国の各都道府県からサンプリングし、小学校へのアンケート実態調査を行う。長野県内の小学校におけるリスクコミュニケーションを実施する。

【令和6年度研究計画】

- 長野県内の小学校におけるリスクコミュニケーションを実施する。気候変動を踏まえた指針策定する。その際に地域特性を踏まえた設計指針を提案する。

【自己評価】計画以上の進展がある

2.研究目標の進捗状況 (2)自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ1)

サブテーマ1:リスクコミュニケーションによる緩和と適応のシナジーの検討

【具体的な理由・根拠】

- 環境省・文部科学省による「学校における熱中症ガイドライン作成の手引き」に取り上げられた熱中症対策先進県についてヒアリング3件を計画した。2022年度末までの新型コロナウイルスによる移動制限の影響で3件中1件しか実施できなかった。また長野県で予定していたアンケート調査を初年度に実施できなかった。
- 大手組織設計事務所と連携体制を構築し、温暖地域の教育委員会や学校関係者から詳細な聞き取りができた。設計者から、気候変動影響に対する学校の建築設計の対応方法について、実際の設計案件についてリスクコミュニケーションを行った。その結果、サブテーマ3で開発中の解析手法の設計における有効性が確認された。またコストや法令、構造や施工など、現実の制約条件について情報を取得できた。

【目標達成の見通し】

- 新型コロナウイルスによる行動制限は解除され、ヒアリングは順調に進んでいる。サブテーマ3の研究成果を踏まえてリスクコミュニケーションを行っており、サブテーマ3に継続的にフィードバックしている。
- アンケート調査の準備は順調であり、長野県内の教育委員会、全国の地域気候変動適応センターや国立環境研究所などの協力は得られており、目標達成の見通しはついている。
- 組織設計事務所等で設計中の2件の学校建築に参加し、リスクコミュニケーションとフィードバックを受けながらプロジェクトの研究的知見を社会実装する機会を得た。当初計画のリスクコミュニケーションの段階から、学校建築の設計に環境設計の面から参加して社会実装する段階まで成果を高めた。

2.研究目標の進捗状況 (1)進捗状況に対する自己評価(サブテーマ2)

サブテーマ2:シミュレーションによる暑熱ストレス評価システムと実環境計測基盤の構築

【サブテーマ2の研究目標】

- 高解像度(1km)の気象データを建築伝熱用形式に変換して、データベース化する。多地点多条件複数気候シナリオを検討可能な前述の3Dモデルを用いたパラメトリック解析システムを構築する。学校空間を画像統合して3次元モデリングして、建物伝熱計算のモデリングを補助する。学校の活動空間を赤外線画像で3次元モデリングして、滞在危険領域を抽出する。IoTデバイスによる気温などの暑熱リスク評価のための指標を計測する。

【令和4年度研究計画】

- 大規模な気象データを建築伝熱用形式に変換、データベース化する。多地点・多条件・多シナリオのパラメトリック解析システムを構築する。室内を対象として画像撮影を行い、設計図書で不十分な情報を補間して3次元モデルを作成する。体育館を対象として、IoTによる計測を実施する。

【令和5年度研究計画】

- 令和4年度で構築したパラメトリック解析システムを用いて、多地点・多条件・多シナリオの解析をサブテーマ3と連携しながら、実施する。屋外を対象として可視・遠赤外画像を撮影し、3次元モデルの作成と熱分布マップ作成の検討を行う。教室とグラウンドを対象にIoTによる計測を実施する。

【令和6年度研究計画】

- 令和5年度の検討より、3次元モデルの作成と熱分布マップを作成するシステムを構築する。サブテーマ3と連携しながら、パラメトリック解析システムによる解析と目的最適化までを実現する。

【自己評価】計画通り進展している

2.研究目標の進捗状況 (2)自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

サブテーマ2:シミュレーションによる暑熱ストレス評価システムと実環境計測基盤の構築

【具体的な理由・根拠】

- 大規模気象データの建築伝熱用形式への変換・データベース化, 多地点・多条件・多シナリオのパラメトリック解析を実現するシステム構築, 画像情報を用いた建築物の三次元モデリングによる情報取得は計画通り進展している. なお, 大規模気象データの建築伝熱用形式の変換・データベース化に関しては, 当初計画の長野領域のNHRCMの高解像度データの変換は完了しており, 現在は国立環境研究所の統計ダウンスケーリングデータの変換に取り組んでいる.
- 暑熱リスク評価を実現する大規模IoT計測環境の構築に関しては, 新型コロナ蔓延に伴う対象小学校との予定調整の難航や半導体不足による機材調達の難航に伴い, 当初計画より実地実験に関する部分のみ遅れている.

【目標達成の見通し】

- 大規模気象データの建築伝熱形式への変換・データベース化と多地点・多条件・多シナリオのパラメトリック解析を実現するシステム構築については目標を達成している. また, その他の目標に関しても, 計画通り進捗しており, 目標達成の見通しが立っている.
- 当初計画より遅れがあるIoTデバイスによる実地計測に関しては, IoTデバイスの開発は既に完了している. そのため, 実地実験を残すのみである. 現在, 実地実施に向けた準備を進めており, 研究目標の達成には大きな支障はない.

2.研究目標の進捗状況 (1)進捗状況に対する自己評価(サブテーマ3)

サブテーマ3:学校建築の緩和と適応のシナジーの学術的検討

【サブテーマ1の研究目標】

- 長野県公立小学校365校を対象に、高解像度気象データを用いて建物伝熱解析をする。また全国の傾向を確認する為、県庁所在地46か所も併せて計算する。健康リスクとエネルギー消費量の観点から、現行建物のまま運用で対応、部分改修、建替えの各方策について、将来予測により効果と限界、対策の優先度を提案する。

【令和4年度研究計画】

- 長野県内公立小学校を対象に、解析用建物モデルと気象データを準備する。パラメトリック解析を一地点かつ複数条件で行い、建築シナリオを検討する。体育館を対象に温熱環境調査とアンケート調査を行い、健康リスクを検討する。放射を考慮した非定常数値解析の準備を行う。

【令和5年度研究計画】

- 建物モデルのパラメトリック解析を複数地点かつ複数条件で行い、建築シナリオを検討する。教室とグラウンドを対象に温熱環境調査とアンケート調査を行い、健康リスクを検討する。可視画像・赤外線カメラにより、教室や体育館もしくは屋外をスキャンして診断する。教室と体育館を対象に、放射を考慮した非定常数値解析を行い、ホットスポットの把握と対策立案を行う。

【令和6年度研究計画】

- パラメトリック解析を長野県内かつ全国各都道府県の小学校を対象に複数条件で行い、建築シナリオを検討する。可視画像・赤外線カメラにより、教室や体育館もしくは屋外をスキャンして診断する。屋外を対象に、放射を考慮した非定常数値解析を行い、ホットスポットの把握と対策立案を行う。

【自己評価】計画以上の大きな進展がある

2.研究目標の進捗状況 (2)自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ3)

サブテーマ3:学校建築の緩和と適応のシナジーの学術的検討

【具体的な理由・根拠】

- 将来予測データから暖房/冷房デグリデーの算出プログラムを開発し、集計分析を行った。解析は順調であり、温暖化による建築の気候区分に及ぼす影響が確認できるなど有益な結果が得られる見込みである。
- 建物熱解析は、パラメトリック解析や集計の高速化を進め、当初計画を超える規模の解析が見込める。また機械学習の導入に取り組み、パレートフロンティア探索による効率的解析、網羅的解析による応答曲面と多目的最適化ー多次元解析、応答曲面から寄与度分析などが運用できるようになった。
- 体育館や校庭の熱流体解析のパラメトリック解析の高速化を実現する為、質点系熱解析ー熱流体解析のカップリング解析の構築に取り組んでいる。熱流体解析単独のパラメトリック解析やパレートフロンティア探索は完成した。
- サブテーマ1のリスクコミュニケーションの過程で、組織設計事務所から建物の光解析技術の開発を要望され、当初計画に追加した。解析環境は完成しつつあり、直達日射や反射日射の検討に必要なRaytracing、机上面照度などが評価できるようになった。またルーバーの形状を変形させて、最適なルーバーデザインの検討も進行中である。
- 校庭の測定、被験者実験は、学校の協力可能な範囲で行えた。体育館における主観申告は2022年度まで新型コロナウイルスの関係で実現できず、現段階で調整できておらず、2024年度に実施予定である。人体熱解析はPythonで計算環境を構築しており、調査準備と並行して解析の実験を進める。

【目標達成の見通し】

- 解析、調査ともに順調に進んでいる。解析は、建物熱解析の実行条件数が大幅に増加したこと、建築の緩和策と適応策の両方に強く影響する日射の解析技術が導入されたこと、大量の解析結果から応答曲面作成、多目的最適化、感度分析などの機械学習の技術が当初計画を超える段階まで達成できた。
- リスクコミュニケーションから派生して、実際の学校建築の設計に環境設計技術面から参加している。

3.研究成果のアウトカム(環境政策等への貢献)

【行政等が活用することが見込まれる成果】

サブテーマ2

- ・学校現場(室内および屋外)において教師が生徒の熱中症リスクを回避できるようにするため、現場で判断しやすいような熱中判断基準情報と情報表示システムを開発している(図1)。
- ・建築図面がない情報や断熱改修に必要な熱情報を取得するために、可視画像と遠赤外画像から三次元モデリングを検討する(図2)。

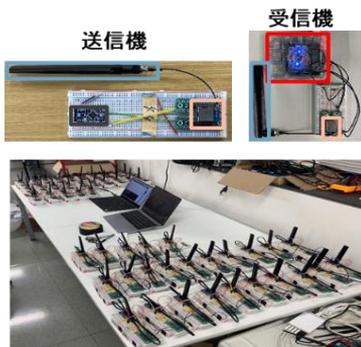


図1 作成したIoTデバイス

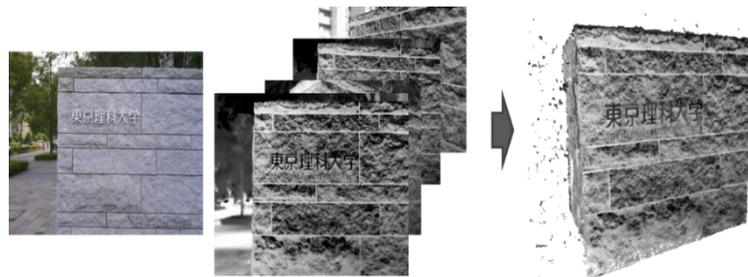


図2三次元モデリング結果(東京理科大学石壁)

3.研究成果のアウトカム(環境政策等への貢献)

【行政等が活用することが見込まれる成果】

サブテーマ3

- ・建築の省エネルギー設計に貢献する為、気象データとデグリデーのデータベースを作成する。複数の将来気候予測から地表面データを抽出し、建築熱解析用気象データに変換する。これにより気候変動影響の不確実性を評価できる(図1)。
- ・複数の設計条件を検討できる建物熱解析システムと、ビッグデータを機械学習で処理して解釈可能にする。限られた予算におけるエネルギー消費量と熱中症リスクの最適化が検討できる(図2)。

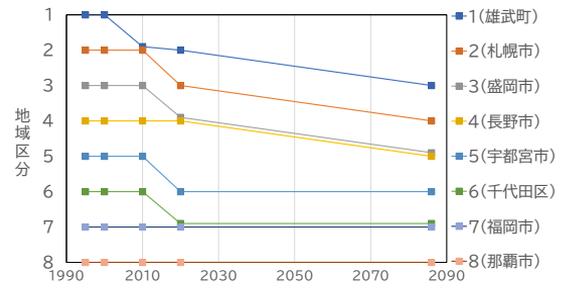


図1 デグリデーによる気候変動影響

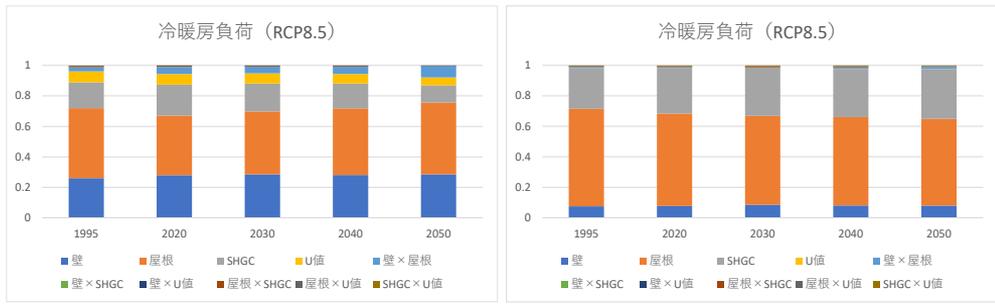


図2 学校建築の冷暖房負荷に及ぼす要因(左:札幌, 右:那覇)

3.研究成果のアウトカム(環境政策等への貢献)

【行政等が既に活用した成果】

サブテーマ3

本研究成果は、2件の環境産業に活用される。

- 2026年竣工予定の京都府宇治市西小倉小中一貫校では暑熱環境の見える化、外皮の断熱化による効果、開口部のルーバーや材料の反射率設定による光環境の影響などを環境設計技術で支援して、設計に反映された。
- 2026年竣工予定の川越中学校では開口部のルーバーをRaytracingによるパラメトリックデザイン手法を適用し、設計に反映された(図1)。

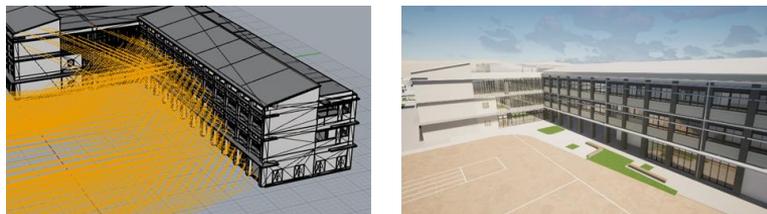


図1 川越中学校のRaytracing分析

4.研究成果の発表状況記入

サブテーマ1:リスクコミュニケーションによる緩和と適応のシナジーの検討



【誌上発表(査読あり):0件】

【口頭発表(学会等):0件】

【知的財産権:0件】

【国民との科学・技術対話:17件】

長野県内において、小学生から中学生、一般や教員向けに気候変動影響や適応策と緩和策の両立について学術的知見に基づき発信を行い、フィードバックを得た。

4.研究成果の発表状況記入

サブテーマ2:シミュレーションによる暑熱ストレス評価システムと実環境計測基盤の構築

【誌上発表(査読あり):1件】

【知的財産権:0件】

【口頭発表(学会等):7件】

【国民との科学・技術対話:0件】

多数の測定器をLoRa通信によって同期させる際の通信速度, 精度について検討した.

可視による補助をもちいた3次元赤外線画像生成のための基礎的理論やキャリブレーションについて検討した.

4.研究成果の発表状況記入

サブテーマ3:学校建築の緩和と適応のシナジーの学術的検討



【誌上発表(査読あり):2件】

居住者の適応策について,機械学習によるクラス分類問題に取り組んだ.居住者スケジュールに影響する特徴量の抽出について成果を得た.

【口頭発表(学会等):0件】

【知的財産権:0件】

【国民との科学・技術対話:0件】

5.研究の効率性



サブテーマ2の基礎技術開発とサブテーマ3の高度な解析・測定手法について、サブテーマ3はサブテーマ2に対して開発ニーズと開発工程の要望を行った。

またサブテーマ1では学校建築の組織設計会社とリスクコミュニケーションを行い、サブテーマ3の解析結果を提示し、日射制御解析の強い要望を受けたことで、サブテーマ3の技術開発に反映した。

の間で技術開発のコミュニケーションを密に行った。