

平成30年6月18日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06325

研究課題名(和文) 建築・設備の気候変動適応計画のためのアジアの将来気象データの開発

研究課題名(英文) Development of Asian future weather data for climate change adaptation planning of building and equipment

研究代表者

曽我 和弘 (SOGA, Kazuhiro)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：00336322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)： 建築分野の緩和策と適応策を合理的に立案するためには、科学的根拠に基づいた気候変動シナリオに立脚して、将来の建築・設備の温室効果ガス排出の削減効果や気候変動への適応性をシミュレーションにより予測・評価することが望ましい。しかし、建築・設備の技術者が建築・設備の計画段階で、将来の気候変動下の建築・設備の各種シミュレーションを実行しようとしても、将来の気候変動を含む入力気象データが未整備のため、その実行が困難である。

本研究は、このような状況を改善し、建築・設備の気候変動に対する緩和策や適応策の合理的な検討を支援することを意図して、日本とアジアの将来気象データの開発を試みる。

研究成果の概要(英文)： To design rational plans for mitigation and adaptation in the building industry, it is desirable to obtain predictions and assessments of the effects of reducing future GHG emissions from the buildings and equipment, as well as determine the industry's adaptability to climate change. Additionally, it is critical that this information be attained using simulations based on climate change scenarios founded on scientific evidence. Although building equipment engineers may be attempting to conduct a variety of impact simulations for future climate change on the buildings and equipment at the planning stages, climate data that incorporate the effects of future climate change have not been established, which complicates those simulations.

This study aims to improve these conditions and support rational examinations of the mitigation of, and adaptation to, climate change by the building and equipment, and develop future weather data in Japan and Asian countries.

研究分野：建築環境工学

キーワード：気候変動 シナリオ 将来気象データ 気象データ 建築環境 建築設備 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴う気候変動への対策には、温室効果ガス(GHG)排出を抑制する緩和策と、変化する気候に合わせて、その悪影響や被害を軽減する適応策がある。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書では、「最も厳しい緩和努力をもってしても、今後数十年間の気候変動の更なる影響を回避することができないため、適応は、特に至近の影響への対処において不可欠となる。」と指摘されている。

IPCCの指摘する未来の気候変動によって何らかの影響が生じる場合に、それによる損害を和らげ、あるいは回避するための対策、すなわち気候変動への適応策の必要性が高まっている。これは、今後数十年間の更なる気候変動の影響を避けることはできないと考えられているためである。これまで、建築分野では、気候変動対策として、主に温室効果ガス排出を削減する対策、すなわち気候変動の緩和策が推進されてきたが、今後は、それと同時に、気候変動への適応策の推進が求められる。

我々の暮らす建物内部の居住環境は、その周辺の気候に影響を受けて形成されるので、未来の気候が変化すれば、それに応答して居住環境も変化する。もし、未来において暑熱日や熱波の頻度が増せば、建物内部では、居住者の熱的ストレスが増え、冷房需要や非冷房時の熱中症のリスクが高まる。また、豪雨や台風などの極端な気象現象の頻度が増せば、建物や都市に甚大な被害をもたらす可能性がある。これらの温暖化や極端気象現象への適応策をとるためには、科学的な根拠に基づいて、気候変動の影響の種類や大きさを予想して、対策の具体化に結び付ける必要がある。そのため、何らかの方法で未来の気候変動が建物や居住者に及ぼす影響を評価しなければならない。

これまで建築分野では、地域の気候に適した建築・設備の計画を支援するため、建物内部の熱、空気、光環境などの建築環境や建築設備のエネルギー消費をシミュレートする実用的なプログラムが種々開発されてきた。また、気温、湿度、日射量、降水量、風速などの気象観測値に基づく気象データベースが整備されたことによって、過去から現在までの気候条件下の建築環境のシミュレーションが可能になった。しかし、未来の気候変動下のシミュレーションを実現するためには、未来の気候変動を考慮した新たな気象データベースの開発が必須の課題となる。つまり、今後、未来の気候変動が建築環境に及ぼす影響の評価を実用化するためには、気候モデルで予測した未来の気候データ、すなわち気候変動シナリオを利用して、将来の気象データベースを新たに作成し、それを建築環境のシミュレーションプログラムに取り込むことが求められる。しかし、現状では、将来の気候変動を考慮した入力気象データの整

備が不十分なため、適応策の合理的計画が困難な状況にある。これを改善し、日本およびアジア諸国の建築・設備の気候変動への適応策を合理的に計画できるよう、将来の気候変動を考慮した特別将来気象データを整備する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、気候変動に適応できる建築・設備の計画支援を意図して、将来の気候変動下の室内環境や建築・設備のCO₂排出等を予測可能にするため、日本の841地点とアジア諸国の主要都市を対象に、気候変動シナリオを活用して、建築環境シミュレーションに利用可能な特別将来気象データを開発することを目的とする。具体的には、日本の気候変動シナリオを用いて、近未来と将来気候を対象に、気候変動下の平均的な気象や極端な気象を含む特別将来気象データを整備し、日本の特別将来気象データの実用性と汎用性を高める。さらに、これらの日本の将来気象データの作成技術を高解像度の全球気候モデル(GCM)の予測値に適用する新たな手法で、アジア諸国の特別将来気象データを開発する。

3. 研究の方法

本研究では、気候変動シナリオとして、気象庁の公開する地球温暖化予測情報および高解像度の全球気候モデル(GCM)の予測値を用い、これらを既存の建築環境シミュレーションプログラムに入力できる気象データに変換する。ここにいう変換とは、統計的な手法を用いて、気象庁の気候変動シナリオに対して、気候モデルの予測値の系統誤差の緩和、将来変化量の算出、気象観測値への将来変化量の合成、必要な気象要素の補充を施し、これを建築環境シミュレーションプログラム用の特別気象データに変換することを意味する。この研究手法は、統計的ダウンスケーリング手法に位置づけられる。本研究では、これらから実現する独自の統計的ダウンスケーリング手法を開発した。この手法は、気象庁の気候変動シナリオである「地球温暖化予測情報第8巻」に加え、その他の気候変動シナリオにも適用可能な手法であり、少ない計算負荷で多地点の特別将来気象データを作成可能にするものである。

4. 研究成果

(1)日本のA1B 将来気象データの作成

特別将来気象データの作成

IPCC温室効果ガス排出シナリオA1Bを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変動シナリオである地球温暖化予測情報第8巻(以後、GWP8と称す)を用いて、特別将来気象データを作成した。GWP8には、現在気候、近未来気候および将来気候のデータが収録されており、本研究では、現在気候を1990s、近未来気候を2020sおよび将来気候を2080sと表記する。また、GWP8には1990sの気候

を再現した日別再現実験値と 2020s 及び 2080s の気候を予測した日別予測実験値が収録されている。ただし、これらの実験値には気候モデルの系統誤差が含まれることから、日別再現実験値に対する日別予測実験値の差、すなわち 1990s に対する 2020s と 2080s の気候変化量を算出し、系統誤差の影響を緩和した。さらに、これらの気候変化量を現在気候の特別気象観測値に合成するモーフィング法により、時別の将来気象データを作成した。その際、月平均値の将来変化と月別標準偏差の将来変化を考慮した。現在の特別気象観測値には、1981～1999 年の EA 気象データを利用した。GWP8 に基づく特別将来気象データの作成手順を図 1、作成したデータの概要を表 1 に示す。

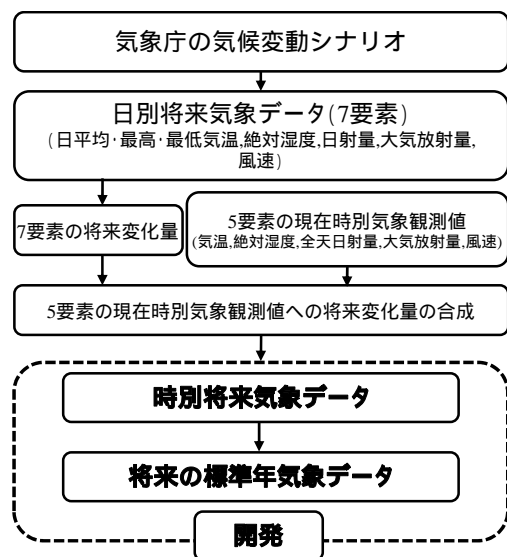


図 1 A1B 将来気象データの作成手順

表 1 A1B 将来気象データの概要

| データソース | 地球温暖化予測情報第 8 巻(GWP8) |
|--------|---|
| シナリオ | IPCC SRES A1B シナリオ |
| 基準期間 | 1990s(1981～1999年) |
| 将来期間 | 2020s(2017～2035年), 2080s(2077～2095年) |
| 地点 | 841 地点 (アメダス 4 要素地点と気象官署) |
| 気象要素 | 気温[], 絶対湿度[kg/kg(DA)], 全天日射量[W/m ²], 大気放射量[W/m ²], 風速[m/s]の特別値 |

標準年将来気象データの作成

2020s と 2080s の平均的な 1 年間の建築環境シミュレーションを可能にするため A1B シナリオに対応した標準年将来気象データを作成した。まず、基準期間(1990s)の 19 年間の特別気象データから、1 月から 12 月までの各月について、平均月を選択し、それらを 12 ヶ月分つなぎ合わせて、平均的な 1 年間の標準年気象データを作成した。その際、平均月の選択には、ISO 15927-4 の平均月選択法を

採用した。さらに、GWP8 を用いて、1990s に対する 2020s と 2080s の気象要素の将来変化量を月別に算出し、これらを 1990s の標準年気象データに合成するモーフィング法により、A1B シナリオに対応した 2020s と 2080s の平均的な 1 年間の標準年将来気象データを作成した。

夏季極端気象データの作成

2020s と 2080s における夏季の酷暑環境下の建築環境シミュレーションを可能にするため A1B シナリオに対応した夏季極端気象データを作成した。まず、1990s の標準年気象データにおける夏季(7 月～9 月)の中で、月平均気温が最高となる月を選定した。また、その選定された月を対象に、1990s に対する 2020s と 2080s の月平均気温の将来変化量(昇温量)が最大となる年(最大年)を将来期間から選択した。さらに、1990s に対する最大年の気象要素の将来変化量を 7 月～9 月の各月について算出し、これらを 1990s の標準年将来気象データに合成するモーフィング法により、A1B シナリオに対応した夏季 3 ヶ月の極端気象データを作成した。

(2)日本の A1B 将来気象データの空調熱負荷計算への応用

表 1 の A1B 将来気象データを用いて、将来の気候変動が建物の冷暖房負荷にどの程度の影響を及ぼすことが予想されるのか解析を試みた。将来期間の建物の冷暖房負荷は、表 1 のデータを空調熱負荷計算プログラム(HASP/ACLD)に入力した動的熱負荷計算によって、1 時間間隔で予測した。建物モデルには建築学会オフィス用標準問題を仮定した。また、気候変動が冷暖房負荷に及ぼす影響を解析するため、全ての地点と年代の建物の条件設定を同一とした。

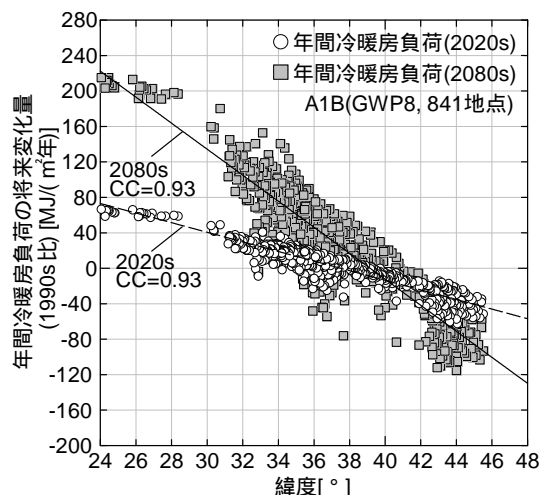


図 2 年間冷暖房負荷の将来変化と緯度の関係(1990s 比, A1B シナリオ)

図 2 に年積算した年間冷暖房負荷の将来変化量と緯度の関係を示した。図から、各シナリオともに低緯度地には、年間冷暖房負荷に増加傾向が見られ、高緯度地には、減少傾向が見られる。これは、低緯度地では、冷房

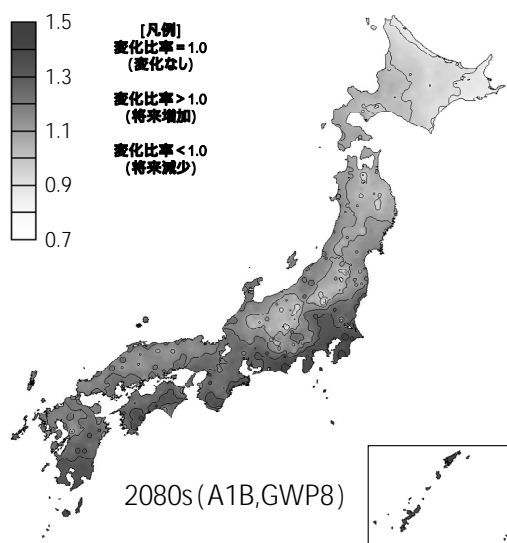


図3 年間冷暖房負荷の将来変化比率 (1990s比, A1B)

負荷の増加が暖房負荷の減少を上回り、高緯度地では、暖房負荷の減少が冷房負荷の増加を上回る傾向があるためである。図3に年間冷暖房負荷の将来変化比率の地域分布を示した。図から、関東以南の太平洋沿岸と南西諸島の広い地域では、年間冷暖房負荷の増加傾向が大きいことが分かる。A1B シナリオを想定した場合の冷暖房負荷の将来変化は、日本各地で一律ではなく、地域により異なることが予測される。建築・設備の適応策を計画する場合は、将来変化の地域特性を考慮した計画が必要になると考えられる。

(3) 特別将来気象データの作成法の改良

月別のモーフィング法の改良

既往の月別将来変化に基づくモーフィング法は、現在特別気象観測値に、月平均値の将来変化量、日変動成分の将来変化量を合成し、これに時間変動成分(日平均値に対する特別値の偏差)を加算して、将来特別値を作成するものである。

この手法を、地球温暖化予測情報第6巻(GWP6)に適用して特別将来値を作成する場合は、GWP6の気象予測値が日別値に限られるため、絶対湿度や大気放射量については、モーフィングにおいて時間変動成分の将来変化を考慮することができなかった。また、気温の特別将来値を作成する場合は、GWP6に含まれる日最高気温と日最低気温の予測値から気温日較差の将来変化率を求め、時間変動成分の将来変化を近似的に考慮していた。

一方、地球温暖化予測情報第8巻(GWP8)では、1時間間隔の気象予測値が収録されるようになり、時間変動成分の将来変化を算出可能になった。この点に着目し、1990s、2020s、2080sの気温、絶対湿度、大気放射量の時間変動成分のヒストグラムの将来変化を調べた。その結果、これら3気象要素の時間変動成分は、概ね正規分布に従うこと、さらに、1990sから2020s、2080sにかけて時間変動性

分の分散に将来変化が見られることを明らかにした。これを踏まえ、本研究では、気温、絶対湿度、大気放射量の将来特別値を作成するモーフィング法において、時間変動成分の将来変化を考慮できるように計算法を改良する方針とした。具体的には、1990sに対する2020sと2080sの時間変動成分の標準偏差の将来変化率を月別に算出する式を新たに定義し、この将来変化率を各月の現在気象観測値の時間変動成分に乗じることにより、気温、絶対湿度、大気放射量の時間変動成分の将来変化量を算出できる方法を提案した。

日別のモーフィング法の提案

上記の月別将来変化に基づくモーフィング法では、月別に気象要素の将来変化を現在特別気象観測値に合成するため、気温、絶対湿度、大気放射量の将来特別値が、月の境目付近で不連続に変化する問題点がある。また、日射量と風速については、月平均値の将来変化率を現在特別気象観測値に一律に乗じる簡易な方法で、将来特別値を作成していたため、将来変化率の日別変化を考慮できなかった。本研究では、このような不連続性を改善するとともに、より詳細に気象要素の将来変化を考慮する方法として、気温、湿度、大気放射量、日射量、風速の日単位の詳細な将来変化に基づいて特別将来値を作成する新たなモーフィング法を検討した。

気温、湿度、大気放射量については、移動平均を複数回繰り返すKZフィルターを用いて、日別値を平滑化した日別平滑平均値を算出し、現在期間に対する将来期間の日別平滑平均値の将来変化量を算出した。これを現在特別気象観測値に合成することで、気温、湿度、大気放射量の特別将来値を作成する手法を開発した。一方、日射量と風速については、現在期間と将来期間の日別値を昇順ソートしてCDF(累積分布関数)を作成し、現在期間のCDFに対する将来期間のCDFの将来変化率を算出した。これを日射量と風速の日別将来変化率と定義するとともに、現在特別気象観測値に乗じることにより、日射量と風速の特別将来値を作成する方法を開発した。

日別の将来変化を考慮したモーフィング法の信頼性を検証する方法として、気象観測値とGWP8の気象予測値が整備された過去期間を対象に、前半期間の特別観測値から後半期間の特別予測値を作成し、このCDFを後半期間の気象観測値のCDFと比較する方法を考案した。例として、日別将来変化に基づくモーフィング法を用いて、鹿児島を対象に、基準期間(1981~1989年)の特別気温観測値から将来期間(1991~1999年)の特別気温を作成した。図4に、作成した特別気温のCDF、特別気温観測値のCDFおよびGWP8の特別気温のCDFの比較例を示す。日別将来変化に基づくモーフィング法で作成した特別気温予測値のCDFは、GWP8の特別気温予測値のCDFよりも、特別気温観測値のCDFに接近し、信頼性が向上していることが分かる。

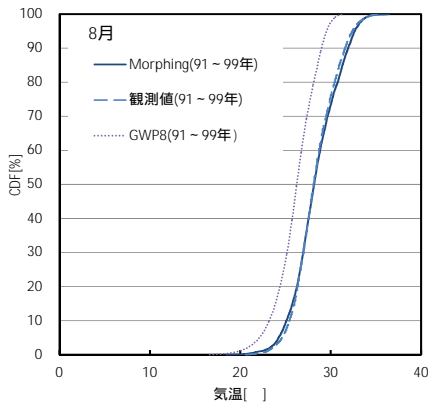


図4 特別気温観測値とモーフィング法およびGWP8の特別気温予測値のCDFの比較例(鹿児島)

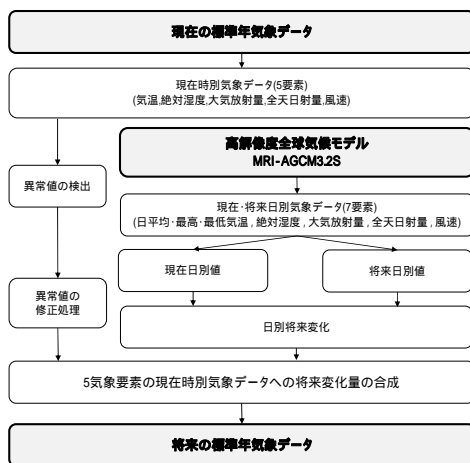


図5 アジアの標準年将来気象データの作成手順

(4)アジアの将来気象データの開発

気象庁気象研究所の高解像度全球気候モデルのMRI-AGCM3.2Sの出力と、アジア諸国の1990sの標準年気象データ(EPW気象データ)を合成する日別将来変化に基づくモーフィング法を用いて、7都市(ウランバートル、ハルビン、北京、東京、上海、広州、シンガポール)を対象に、建築環境評価に必要な気象要素(気温・絶対湿度・大気放射量・日射量・風速)の日別将来変化を考慮した2030s(2026~2035年)の標準年将来気象データを作成した。その際、(3)で提案した日別のモーフィング法を採用した。アジアの標準年将来気象データの作成手順を図5に示す。

(5)波長別天空日射量の簡易推定法の開発

未来の気候変動下の波長別日射量を推定可能にするため、将来気象データに含まれる気象要素から波長別天空日射量を推定するモデルを作成した。これは、全天候下の水平面における波長別天空日射量を、波長積分天空日射量、波長積分全天空日射量、気温、湿度の4要素から統計的に推定する回帰式である。

本研究では、広帯域分光放射計による波長別天空日射量と、全天空日射計による波長積分天空日射量の同時測定値に高い相関がある

ことを利用して、波長積分天空日射量を説明変数、波長別天空日射量を従属変数とする累乗近似曲線を350nm~1700nmまで5nm間隔で作成し、波長別天空日射量の推定式とした。

この累乗近似曲線の係数を天空日射量のスペクトル係数(R_d)、指数を天空日射量のスペクトル指数(a)と定義した。また、天空日射量のスペクトル係数とスペクトル指数は、波長(λ)、晴天指数(K)、エアマス(AM)、可降水量(W)に依存して変化することを明らかにした。天候状態を晴天指数で4分類、エアマスで3分類、可降水量で3分類し、これらの分類を組合せた計36通りの天候状態ごとの天空日射量のスペクトル係数($R_{d,K,AM,W}$)、スペクトル指数($a_{K,AM,W}$)を求めた。0.35~1.7 μm の波長域において、スペクトル係数とスペクトル指数に基づく波長別天空日射量の推定値のRMSEは、図6のように0.1~30.7[W/m²/μm]の範囲となった。

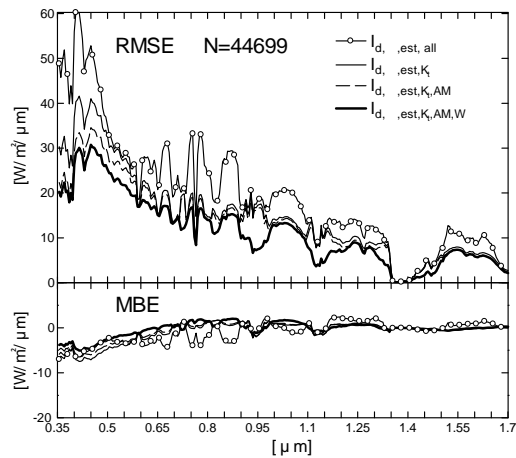


図6 波長別天空日射量(I_d)の推定値のRMSEとMBE(2011年)

今後は、本研究で開発した特別将来気象データの作成法を、日本、アジアのみならず、全球を含む高解像度の気候変動シナリオと長期再解析に適用し、波長別日射量を含む特別将来気象データの開発を全球へ展開する。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

1) K.Soga: DEVELOPMENT OF FUTURE WEATHER DATA USING GLOBAL WARMING PROJECTION: Research on future weather data for designing building and equipment which are adaptable to climate change, AIJ, Japan Architectural Review, Translated Paper, Volume1, Issue1, 2018, pp.175-190(査読有)

doi: 10.1002/2475-8876.10021

2) 曾我和弘: 波長別天空日射量の簡易推定法の開発 全天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集、査読有, 第82巻, 第735号, 2017, pp.443-451(査読有)

doi: 10.3130/aije.82.443

〔学会発表〕(計22件)

- 1) 市川裕陽,竹下 徹,曾我和弘,友松敦希:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その8 GWP8を用いた気温・湿度のモーフィング法の信頼性の評価 ,2017年度第57回日本建築学会九州支部研究発表会,2018
- 2) 竹下 徹,市川裕陽,曾我和弘,友松敦希:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その7観測値を用いた気温・湿度・大気放射量のモーフィング法の評価 ,2017年度第57回日本建築学会九州支部研究発表会,2018
- 3) 有山雅人,吉岡達矢,曾我和弘:将来の気候変動を考慮した設計用最大熱負荷計算に関する研究 将来気象データとHASPを連成した最大熱負荷アナログの分析 ,2017年度第57回日本建築学会九州支部研究発表会,2018
- 4) 奥唯晃,曾我和弘,永倉一成:全天候下における斜面の波長別全天日射量の簡易推定法に関する研究 その2 全天日射量の測定値から推定した斜面波長別全天日射量の評価 ,2017年度第57回日本建築学会九州支部研究発表会,2018
- 5) 永倉一成,曾我和弘,奥唯晃:全天候下における斜面の波長別全天日射量の簡易推定法に関する研究 その1 全天日射量と直達日射量の測定値から推定した斜面波長別全天日射量の評価 ,2017年度第57回日本建築学会九州支部研究発表会,2018
- 6) 吉岡達矢,ZHOU RONGXU,曾我和弘,友松敦希:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その6日別将来変化に基づく日射量と風速のモーフィング法の評価 ,2017年度日本建築学会大会,2017
- 7) 友松敦希,ZHOU RONGXU,曾我和弘,吉岡達矢:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その5日別将来変化に基づく気温のモーフィング法の評価 ,2017年度日本建築学会大会,2017
- 8) 曾我和弘:将来気象データに基づく気候変動下の建築環境の評価,第30回環境工学連合講演会・日本学術会議,2017(招待講演)
- 9) 前村祐貴,曾我和弘:GWP8に基づく将来の標準年気象データの開発に関する研究 気候モデル出力から平均的な気温の将来変化を持つ格子点データの選択方法 ,2016年度第56回日本建築学会九州支部 研究発表会,2017
- 10) Zhou Rongxu,友松敦希,曾我和弘,吉岡達矢:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その1 気温、湿度、大気放射量の日別将来変化の算出法 ,2016年度第56回日本建築学会九州支部 研究発表会,2017
- 11) 友松敦希,Zhou Rongxu,曾我和弘,吉岡達矢:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その2日別将来変化に基づく気温、湿度、大気放射量のモーフィング法 ,2016年度第56回日本建築学会九州支部研究発表会,2017
- 12) 吉岡達矢,Zhou Rongxu,曾我和弘,友松敦希:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その3日射量、風速の日別将来変化率の算出法 ,2016年度第56回日本建築学会九州支部 研究発表会,2017
- 13) 平野翔太,曾我和弘:アジアにおける気候変動を考慮した将来気象データの開発 その4 東京とシンガポールにおける気温、湿度、大気放射量の特別将来値の作成 ,2016年度第56回日本建築学会九州支部 研究発表会,2017
- 14) 奥 唯晃,曾我和弘:全天候下における波長別全天日射量の簡易推定法の評価 5地点の日射スペクトルデータに基づく評価,2016年度第56回日本建築学会九州支部 研究発表会,2017
- 15) 曾我和弘,奥唯晃:全天候下の波長別天空日射量の簡易推定法に関する研究,平成28年度JSES・JWEA合同研究発表会,2016
- 16) 吉岡達矢,曾我和弘,前村祐貴:気候変動シナリオに基づく将来気象データの開発 - 気温、湿度、大気放射量の時間変動成分の将来変化 -,平成28年度JSES・JWEA合同研究発表会,2016
- 17) 平野翔太,曾我和弘:建築環境評価のためのアジアの将来気象データに関する研究,平成28年度JSES・JWEA合同研究発表会,2016
- 18) 吉岡達矢,曾我和弘:気候変動シナリオに基づく将来気象データの開発-特別の気候変動シナリオに基づくモーフィング法-,2016年度日本建築学会大会,2016
- 19) 宮崎広通,曾我和弘:鹿児島地域におけるオフィスの気候変動適応策に関する研究,2015年度第55回日本建築学会九州支部 研究発表会,2016
- 20) 宮崎広通,曾我和弘:鹿児島地域における建築・設備の気候変動適応計画のための気候分析,平成28年度JSES・JWEA合同研究発表会,2015
- 21) 曾我和弘,宮崎広通:地球温暖化予測情報第8巻を用いた特別将来気象データの作成,平成28年度JSES・JWEA合同研究発表会,2015
- 22) 曾我和弘:気候変動が建築環境に及ぼす影響と対策,鹿児島地方気象台講演会,2015(招待講演)

6. 研究組織

(1)研究代表者

曾我和弘(SOGA, Kazuhiro)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号:00336322