

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01598

研究課題名(和文) 建築・設備の気候変動適応計画のための波長別日射量を含む全球の将来気象データの開発

研究課題名(英文) Development of future global weather data including spectral solar irradiance 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) 10,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目標は、気候変動に適応できる建築・設備の計画支援を意図して、日本と全球における建築環境シミュレーションに利用可能な将来気象データを開発することである。また、この将来気象データは、紫外から近赤外域の波長別日射量を含むものである。この開発に向けて、紫外から近赤外までの波長別日射量の測定、波長別日射量の推定法の開発、長期再解析のバイアス補正法の開発が行われた。さらに、長期再解析と気候変動シナリオを合成して将来気象データを作成する方法が開発された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、晴天・曇天を問わず様々な天候下の波長別日射量を計算できる推定法を開発した。これは、300～2500nmに及ぶ広い波長域と、全天候の双方に適用可能な汎用性の高い推定法であり、日射の分光特性を考慮した気候変動下の建築環境評価の実現と高度化に貢献できる。また、気象観測網よりも高い空間解像度の長期再解析と気候変動シナリオを一体化する新たなアプローチによって、気象観測網よりも細密で、かつ過去・現在・将来の長期に及ぶ気象データを作成可能にする手法を開発した。これは、気候変動を考慮した既往の気象データの作成限界を打開するものであり、気候変動に適応可能な建築・設備の計画支援に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to develop future weather data that can be used for building environment simulations in Japan and around the world, with the intention of supporting the planning of buildings and equipment that can adapt to climate change. In addition, this future weather data includes spectral solar irradiance in wavelength from ultraviolet to near infrared.

Toward this development, (1) measurement of the spectral solar irradiance in wavelength from ultraviolet to near infrared, (2) development of an estimation method of spectral solar irradiance, and (3) development of a bias correction method for long-term reanalysis were carried out. Furthermore, (4) a method was developed to create future weather data by synthesizing long-term reanalysis and climate change scenarios.

研究分野：建築環境工学

キーワード：気候変動 波長別日射量 長期再解析 バイアス補正 気候変動シナリオ 将来気象データ 建築環境

## 1. 研究開始当初の背景

気候変動対策には、温室効果ガス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り、建築・設備分野では、緩和策と同時に、適応策についても、防災、エネルギー、健康・快適性等の観点から早急に計画を進めなければならない。それには、科学的根拠に基づく気候変動シナリオを用いて、建築・設備の温室効果ガス削減効果や気候変動への適応性をシミュレーションで予測する必要がある。本研究グループは、気候変動を考慮した将来気象データの作成法を開発し、平均 21km 四方に 1カ所の密度で、日本の約 830 地点の 6 要素(気温、湿度、日射量、大気放射量、風速、降水量)を含む特別将来気象データを作成してきた。このデータの実用性と汎用性を高めるには、次の課題解決が必須である。(1)建築・設備の新たな気候変動対策の進捗に合わせて、その性能評価に必要な任意天候の日射の分光特性を含む波長別日射量を将来気象データに補充すること、(2)局所地域に及ぶ気候変動の影響評価のために、数 km の領域ごとに日本の将来気象データを整備すること、(3)将来気象データの整備を全球に拡大すること、の 3 つである。

## 2. 研究の目的

本研究は、将来の気候変動下の室内環境や建築・設備の CO<sub>2</sub> 排出等を世界各地で予測可能にするため、日本および全球を含む高解像度な長期再解析と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波長別日射量を含む将来気象データを開発することを目標とする。この開発に向けて、(1)紫外から近赤外までの波長別日射量の測定と推定法の開発、(2)長期再解析のバイアス補正法の開発、(3)長期再解析と気候変動シナリオの合成に基づいた将来気象データの作成法の開発を具体的な目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1)波長別日射量の測定システムの構築と連続測定

日射の波長範囲が 300 ~ 2500nm までの波長別全天日射量と、350 ~ 1700nm までの波長別天空日射量を同時に測定可能なシステムを鹿児島大学に構築する。これを用いて、波長別全天日射量、波長別天空日射量、全天日射量、天空日射量、気温、湿度の連続測定を実施する。また、波長別全天日射量および波長別天空日射量の測定値を計算値と比較して、両者の整合性を検証する。

### (2)波長別日射量の推定法の開発

波長別全天日射量の測定値に基づいて、全天日射量から波長別全天日射量を推定する式を作成する。また、波長別天空日射量の測定値に基づいて、天空日射量から波長別天空日射量を推定する式を作成する。波長別全天日射量および波長別天空日射量の推定値を測定値と比較して、波長別日射量の推定法の信頼性を検証する。

### (3)長期再解析データのバイアス補正法の開発

建築環境評価のための過去から現在の気象データとして、長期再解析データを利用可能とするために、長期再解析データの気温、湿度、日射量、大気放射量、風に含まれるバイアスを補正する方法を開発する。

### (4)長期再解析データの建築環境シミュレーションへの応用

バイアス補正した長期再解析データを用いて、建築環境シミュレーション用の入力気象データを作成する。また、作成した気象データを建物の空調熱負荷計算に応用して、長期再解析データに基づくシミュレーション結果の信頼性を検証する。

### (5)長期再解析と気候変動シナリオの合成に基づいた将来気象データの作成法の開発

バイアス補正を行った過去から現在の長期再解析データに気候変動シナリオの将来変化量を合成することで、気温、湿度、日射量、大気放射量、風を含む将来気象データを作成する方法を開発する。

### (6)将来気象データに波長別日射量を補充するプログラムの開発

将来気象データに含まれる全天日射量、気温、湿度から 300 ~ 2500nm までの波長別全天日射量を計算して将来気象データに補充する機能と、将来気象データに含まれる天空日射量、気温、湿度から 350 ~ 1700nm までの波長別天空日射量を計算して将来気象データに補充する機能を備えたプログラムを作成する。

## 4. 研究成果

### (1)波長別日射量の測定システムの構築と連続測定

2018 年 11 月から 2019 年 6 月にかけて、鹿児島大学工学部共通棟屋上に構築した波長別日射量測定システムを図 1 に示す。本システムは、水平面における波長別全天日射量と波長別天空日射量を同時に測定可能とするため、図 1 に示す計 4 台の分光放射計を組合わせて設置した。そのうち、分光放射計の MS-711 と MS-713 を組合せて、300 ~ 2500nm の波長範囲の波長別全天日射量を 1 分間隔で測定した。また、分光放射計の MS-710 と MS-712 を太陽光遮蔽装置に搭載して、

350 ~ 1700nm の波長範囲の波長別天空日射量を 2 分間隔で測定した。全天日射量、天空日射量、気温、相対湿度については、1 秒間隔で測定した。快晴時における波長別全天日射量と波長別天空日射量の測定例を図 2 に示す。図 2 には、Bird モデルによる計算値を併記した。測定値と計算値はよく対応することを確認した。本研究では、2019 年 6 月から 2021 年 3 月において、300 ~ 2500nm の波長別全天日射量については 37 万回以上の測定値を取得できた。また、350 ~ 1700nm の波長別天空日射量については 16 万回以上の測定値を取得できた。これらの測定値は、任意天候下における日射の分光特性の解明や、波長別日射量の推定式の開発のための基礎データとして有効活用できる。



図 1 波長別日射量測定システム  
(鹿児島大学工学部共通棟屋上)

### (2) 波長別日射量の推定法の開発

波長別全天日射量の測定値に基づいて、日射計の全天日射量から 300 ~ 2500nm の水平面波長別全天日射量を推定する式を作成した。また、この推定式を晴天指数、エアマス、可降水量を用いて補正する式を開発した。波長別全天日射量の推定値を測定値と比較した結果、晴天指数、エアマスおよび可降水量による補正を全て考慮した推定式の推定誤差が最小となることを確認した。さらに、波長別天空日射量の測定値に基づいて、日射計の天空日射量から 350 ~ 1700nm の水平面波長別天空日射量を推定する式を作成した。この推定式を全天日射量に占める天空日射量の比率、エアマス、可降水量を用いて補正する式を開発した。図 3 に、快晴時と曇天時における波長別全天日射量の推定値と測定値の比較例を示す。快晴時と曇天時ともに、波長別全天日射量の推定値は測定値を良く再現できることを確認した。以上の波長別日射量の推定式の開発に関する研究成果は、任意天候下の波長別日射量を過去、現在、将来の気象データに補充することを可能にするものであり、日射の分光特性を考慮した気候変動下の建築環境評価の実現と高度化に貢献できるものである。

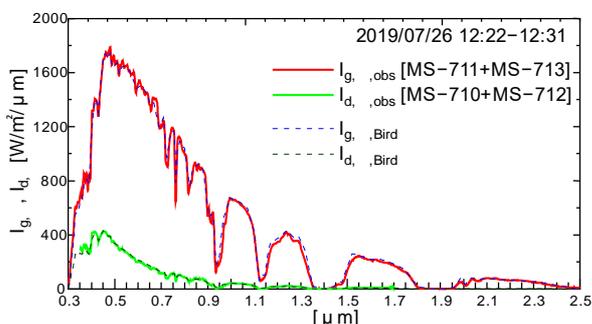
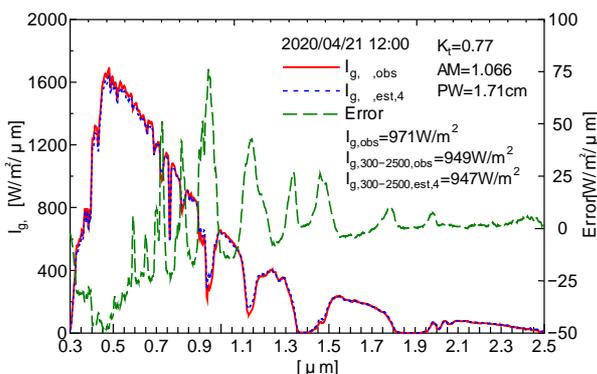


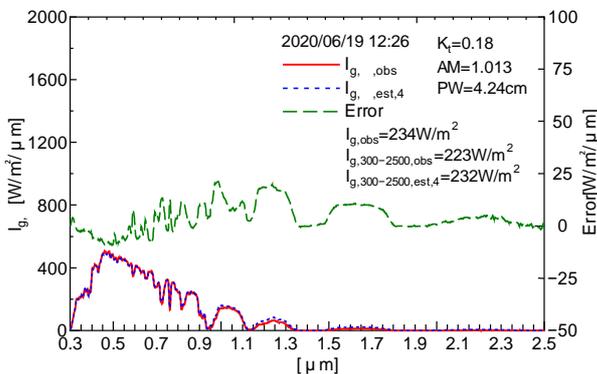
図 2 波長別日射量の測定値と計算値の比較例  
(赤：波長別全天日射量、緑：波長別天空日射量、実線：測定値、点線：Bird モデル計算値)

### (3) 長期再解析データのバイアス補正法の開発

建築環境評価のための過去から現在の気象データとして、新たに長期再解析データを利用可能とするために、長期再解析データの気温、湿度、日射量、大気放射量、風に含まれるバイアスを補正する方法を開発した。この方法は、KZ フィルターを用いて、長期再解析の特別の解析値を 4 つの成分(時変動成分、日変動成分、季節変動成分、長期変動成分)に分解し、成分別にバイアス補正を行うものである。補正した 4 つの成分を合成して、特別の補正値を作成する。この特別の補正

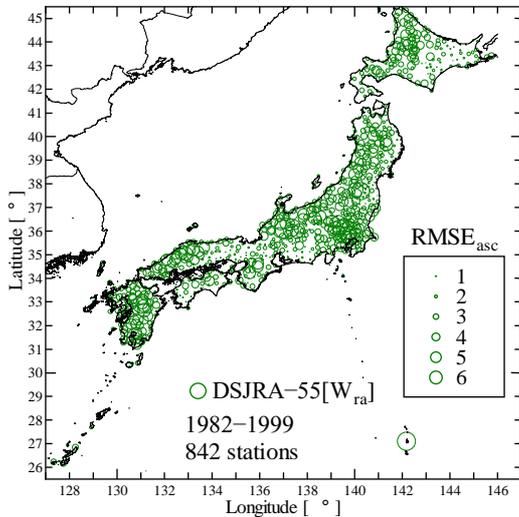


(a) 快晴時

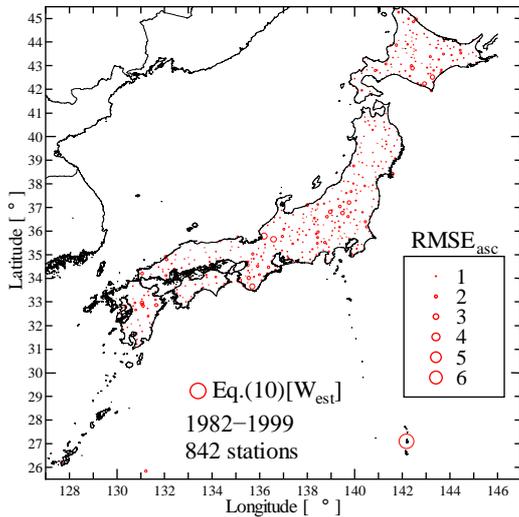


(b) 曇天時

図 3 波長別全天日射量の推定値と測定値の比較例 (赤：測定値、青：推定値、緑：誤差)

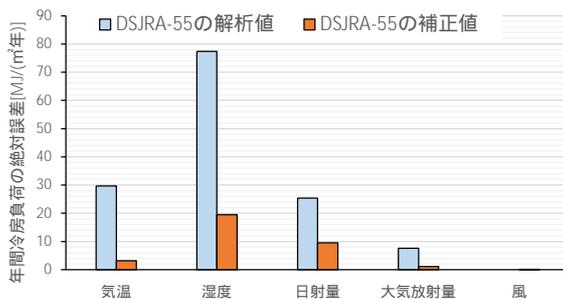


(a) バイアス補正前の特別気温の RMSE

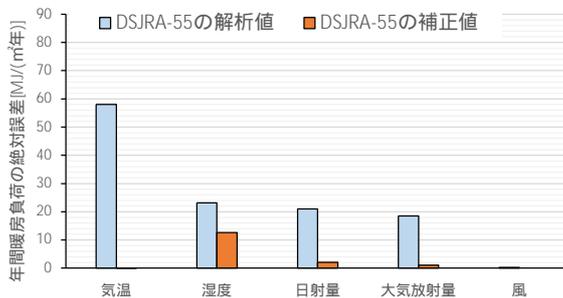


(b) バイアス補正後の特別気温の RMSE

図4 DSJRA-55 の特別気温のバイアス補正効果の比較例(1982~1999年,842地点)



(a) 年間冷房負荷の絶対誤差



(b) 年間暖房負荷の絶対誤差

図5 気象要素に起因した年間冷暖房負荷の絶対誤差の比較例(館野, 2007年)

値を過去から現在の気象データとして活用する。本研究では、空間解像度が 5km の長期再解析データである DSJRA-55 に対して、バイアス補正を実施した。補正対象は、DSJRA-55 の気象要素うち、建築環境評価に必要な特別の気温、湿度、日射量、大気放射量、風とした。DSJRA-55 の特別気温について、補正前後の誤差 (RMSE) の比較例を図 4 に示す。図 4(a)の補正前の特別気温に比べて、図 4 (b)の補正後の特別気温の RMSE は低下しており、日本全域において、バイアス補正の効果を確認することができた。そこで、気温以外の、湿度、日射量、大気放射量、風についても DSJRA-55 の特別の解析値に対して、バイアス補正処理を実施した。

#### (4) 長期再解析データの建築環境シミュレーションへの応用

バイアス補正を実施した DSJRA-55 の気温、湿度、日射量、大気放射量、風の特別補正值を用いて、建築環境シミュレーション用の特別の気象データを作成した。また、この信頼性を検証するために、気象観測値およびバイアス補正前の DSJRA-55 の特別解析値に基づいて建築環境シミュレーション用の特別の気象データを作成した。これら 3 種類の気象データをオフィスビルの空調熱負荷計算に応用して、年間の冷暖房負荷を算出した。さらに、気象観測値に基づく年間冷暖房負荷を真値と考え、これに対する DSJRA-55 解析値および DSJRA-55 補正值に基づく年間冷暖房負荷を比較して、各気象要素のバイアスに起因する年間冷暖房負荷の絶対誤差を算出した。気温、湿度、日射量、大気放射量および風のバイアスに起因した年間冷暖房負荷の絶対誤差を図 5 に示した。図 5 を見ると、補正前の解析値に基づく年間冷暖房負荷においては、気温、湿度、日射量、大気放射に起因した絶対誤差が大きい。それに対して、バイアス補正值に基づく年間冷暖房負荷においては、これらの絶対誤差が大幅に低下しており、バイアス補正効果を確認することができた。以上のように、本研究のバイアス補正手法を DSJRA-55 の各格子点のデータに適用することにより、5km の領域ごとに特別気象データを作成できる。また、DSJRA-55 のバイアス補正值を用いて作成した特別気象データは、建築環境シミュレーションのための特別気象データとして応用可能であることが分かった。長期再解析を用いて建築環境評価のための気象データを作成可能にする本研究の手法は、過去、現在、将来の特別気象データの整備地点の大幅な拡大に貢献できる研究成果である。

#### (5) 長期再解析と気候変動シナリオの合成に基づく将来気象データの作成法の開発

バイアス補正を行った過去から現在の長

期再解析データに対して、将来の気候変動シナリオに含まれる気温、湿度、日射量、大気放射量、風の将来変化量を合成することで、建築環境シミュレーションに利用可能な将来気象データを作成する新たな方法を開発した。具体的には、長期再解析のバイアス補正值に対してKZフィルターを適用して、補正值を4つの成分(時変動成分、日変動成分、季節変動成分、長期変動成分)に分解した。また、気候変動シナリオの解析値に対しても、KZフィルターを適用して、4つの成分に分解するとともに、気候変動シナリオの将来変化量を4成分ごとに算出した。これらの4成分の将来変化量を、長期再解析のバイアス補正值の4成分に合成することで、気温、湿度、日射量、大気放射量、風の特別の将来予測値を作成する新手法を開発した。以上の気温、湿度、日射量、大気放射量、風の特別の将来予測値を算出して、将来気象データを作成するプログラムを開発した。

#### (6)将来気象データに波長別日射量を補充するプログラムの開発

将来気象データに含まれる全天日射量、気温、湿度の将来予測値から、晴天指数、エアマス、可降水量の将来予測値を算出して、(2)で開発した波長別全天日射量の推定式に入力することで、300~2500nmまでの波長別全天日射量の将来予測値を計算し、将来気象データに補充するプログラムを作成した。また、将来気象データに含まれる天空日射量、全天日射量、気温、湿度の将来予測値から、全天日射量に占める天空日射量の比率、エアマス、可降水量の将来予測値を算出して、(2)で開発した波長別天空日射量の推定式に入力することで、350~1700nmまでの波長別天空日射量の将来予測値を計算し、将来気象データに補充するプログラムを作成した。

#### <引用文献>

曾我和弘：任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究－波長別日射量の測定システムの構築と試験測定－，日本太陽エネルギー学会講演論文集，pp.75-78,2019

曾我和弘：任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究－水平面の波長別全天日射量の推定式の検討－，日本建築学会学術講演梗概集，pp.631-632,2020

曾我和弘：任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究－波長別全天日射量の推定式の作成－，日本太陽エネルギー学会講演論文集，pp.259-262,2020

曾我和弘：長期再解析を用いた建築環境評価のための気象データの開発，日本太陽エネルギー学会講演論文集，pp.75-78,2018

竹下徹，市川裕陽，曾我和弘：DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その1 DSJRA-55の特別気温のバイアス補正法，日本建築学会学術講演梗概集，pp.265-266,2019

市川裕陽，竹下徹，曾我和弘：DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その2 DSJRA-55の特別気温に対するバイアス補正効果の検討，日本建築学会学術講演梗概集，pp.267-268,2019

赤間瑛斗，市川裕陽，竹下徹，曾我和弘：DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その3 DSJRA-55の特別気温のバイアス補正法の評価，日本建築学会研究報告九州支部環境系，pp.125-128,2020

曾我和弘，加治佐晃一，竹下徹，市川裕陽：DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その4 DSJRA-55の特別大気放射量のバイアス補正法の評価，日本建築学会研究報告九州支部環境系，pp.129-132,2020

赤間瑛斗，曾我和弘：DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その5 DSJRA-55の全天日射量のバイアス補正法の評価，日本建築学会研究報告九州支部環境系，pp.273-276,2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 赤間瑛斗、曾我和弘
2. 発表標題 DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その5 DSJRA-55の全天日射量のバイアス補正法の評価
3. 学会等名 第60回 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 曾我和弘
2. 発表標題 任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究 - 水平面の波長別全天日射量の推定式の検討 -
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田隆宏、曾我和弘
2. 発表標題 任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究 - 紫外分光放射の推定式の作成 -
3. 学会等名 2020年度日本太陽エネルギー学会 / 日本風力エネルギー学会合同研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾我和弘
2. 発表標題 任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究 - 波長別全天日射量の推定式の作成 -
3. 学会等名 2020年度日本太陽エネルギー学会 / 日本風力エネルギー学会合同研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾我和弘
2. 発表標題 任意天候下の波長別日射量の簡易推定法に関する研究 - 波長別日射量の測定システムの構築と試験測定 -
3. 学会等名 2019年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー学会合同研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹下徹、市川裕陽、曾我和弘
2. 発表標題 DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その1 DSJRA-55の特別気温のバイアス補正法
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川裕陽、竹下徹、曾我和弘
2. 発表標題 DSJRA-55を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その2 DSJRA-55の特別気温に対するバイアス補正効果の検討
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤間瑛斗、市川裕陽、竹下徹、曾我和弘
2. 発表標題 DSJRA-55 を用いた建築環境評価のための気象データの開発 - その3 DSJRA-55 の特別気温のバイアス補正法の評価 -
3. 学会等名 第59回 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾我和弘、加治佐晃一、竹下徹、市川裕陽
2. 発表標題 DSJRA-55 を用いた建築環境評価のための気象データの開発 その4 DSJRA-55 の特別大気放射量のバイアス補正法の評価
3. 学会等名 第59回 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田隆宏、曾我和弘、水田治久
2. 発表標題 全天候下における紫外分光放射の簡易推定法 その1 紫外分光放射の推定式の検討
3. 学会等名 第59回 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水田治久、曾我和弘、池田隆宏
2. 発表標題 全天候下における紫外分光放射の簡易推定法 その2 紫外分光放射の推定式の評価
3. 学会等名 第59回 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾我和弘
2. 発表標題 長期再解析を用いた建築環境評価のための気象データの開発
3. 学会等名 2018年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー学会合同研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永倉一成, 曾我和弘
2. 発表標題 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3 5地点における日射スペクトルデータに基づく評価
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----

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