

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 10 日現在

機関番号：21401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010 年度 ～ 2011 年度

課題番号：22860050

研究課題名（和文）

エネルギーシミュレーションに用いる気象モデルの開発とその応用に関する研究

研究課題名（英文）

研究代表者

細淵 勇人 (HOSOBUCHI HAYATO)

秋田県立大学 システム科学技術学部 建築環境システム学科 助教

研究者番号：20581292

研究成果の概要（和文）：地球温暖化問題に対する建築環境シミュレーション分野の取り組みとして、国際的に利用されているエネルギーシミュレーションプログラムに、(1) 天空放射輝度分布、(2) 天空輝度分布、(3) 波長別日射量、(4) 紫外域日射量の影響を考慮する手法を組み込むことで、詳細・精密な環境予測を可能とすることを目的として、天空放射輝度分布の考慮手法、波長別日射量の観測データの分析と既往推定モデルの検討、及び、紫外域日射量推定モデルの開発検討を行った。

研究成果の概要（英文）：In order to detailed projection for building environments, installation of methods taking account of effects on building environments with (1)sky radiance distribution, (2) sky luminance distribution, (3)solar spectral irradiance, and (4)ultraviolet solar radiation on a energy simulation program which is regarded as a international standard program is examined. In this study, investigations on effects with sky radiance distribution, solar spectral irradiance, and ultraviolet solar radiation are carried out.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
23 年度	950,000	285,000	1,235,000
総計	1,950,000	585,000	2,535,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 ・ 建築環境 ・ 設備

キーワード：熱環境

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題は、日米及びEUの先進国が協調して取り組まねばならない問題である。また、先進国のみならず、中国やインド等の新興国及び発展途上国を合わせた世界全体の温室効果ガスの少なくとも50%の削減を、2050年までに達成するという目標が、先の洞爺湖サミットで合意された。特に新興国を

含む発展途上国では、人口の急増が予測されており、それに伴って建築の需要も増大する。このような建築関連分野の未来を考えると、開発した省エネ技術・手法を、発展途上国に速やかに移転するなど、研究成果を国際的に利用できる形で発信することが求められる。

自身の既往研究である、天空放射輝度分布を熱環境シミュレーションに考慮する手法の

開発や、本研究の目的とする、波長別日射モデルの開発、照明エネルギー計算に用いる天空の明るさの分布（天空輝度分布）の考慮手法など、詳細な消費エネルギー予測に資すると考えられるモデル・手法の開発にあたっては、これをいかに使用できる形で、エネルギーシミュレーションプログラムに組み込み、提供できるかが問題となる。現在、国際標準となりつつある建築エネルギーシミュレーションソフトウェアに、米国のエネルギー省で開発された EnergyPlus^{*5}がある。EnergyPlusではユーザーの開発した新機能・モデル（気象モデルや空調機器モデル等）を組み込み、ユーザーのニーズに合わせたシミュレーションを行うことが可能である。また申請・審査を経て、開発・組み込みを行った新機能・モデルが、次バージョン以降に反映されるなど、開発した手法・モデルを一般の使用に供することができることに特徴の一つがある。このようなソフトウェアに組み込むことを前提として、上記のような手法・モデルを開発することにより、研究成果を国際的な利用に供することができると思う。また EnergyPlus について見てみると、本研究の目的の波長別日射モデルや、照明エネルギー計算に用いる天空の状態（天空輝度分布）の考慮手法、自身の既往研究である天空放射輝度分布を考慮する手法については、考慮されていないか、あるいは簡易なモデルの使用にとどまっているなど、発展・改良する余地が見られる。特に波長別日射量を推定するモデルについては、近年、遮蔽ガラスや、低放射ガラスなど波長選択性の高い建材・ガラスが開発されており、省エネルギーを目的に、このような建材の使用を前提としたシミュレーションを行うには、波長別日射量モデルの開発が必須となっている。しかし、国内においても波長別日射量推定モデル開発の試み^{例えば*6}は、いくつか見られるが、精度が保証され、シミュレーションでの使用を推奨されるモデルは未だ確立されていないのが現状である。

〈参考文献〉

- *1. 天空放射輝度分布のモデル化とそれを利用した熱負荷計算手法に関する基礎的研究：細淵勇人，京都大学博士学位論文，213pp. 2009. 3
- *2. 天空放射輝度分布が空調熱負荷に与える影響に関する研究 -京都実測データによる天空放射輝度分布を考慮した熱負荷計算 -：細淵勇人，吉田治典，日本建築学会環境系論文集，631号，pp. 1101-1108，2008. 9

- *3. 日射量を用いた CIE 標準一般天空の天空タイプ推定手法に関する研究：細淵勇人，吉田治典，上谷芳昭，日本建築学会環境系論文集，第 609 号，pp. 31-38，2006. 11
- *4. 天空放射輝度分布への CIE 標準一般天空の流用と天空タイプの集約：細淵勇人，吉田治典，上谷芳昭，日本建築学会環境系論文集，第 583 号，pp. 29-36，2004. 9
- *5. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- *6. 波長別日射量の推定法に関する基礎的研究 その 6 任意の天功状態における天空日射に基づく波長別天空日射量の推定手法：児島輝樹，曾我和弘，日本建築学会九州支部研究報告 第 48 号，pp. 141-144，2009. 3

2. 研究の目的

近年、社会活動に起因するエネルギー消費により、温暖化といった地球環境問題が顕在化している。この原因となる CO₂ を考えると、その排出量の 3 分の 1 が建築関連分野に由来することから、建設関連のエネルギー消費量の削減は必須である。特にオフィスビルにおいては、運用段階でのエネルギー消費量が全体に占める割合が大きいため、空調・照明に要するエネルギーの消費量低減・有効利用への対策が望まれる。このためには、まず建物の消費エネルギー予測を精度良く行う必要がある。これまで自身の既往研究では、通常の建築熱環境シミュレーション（熱負荷計算）では一様と仮定されていた天空放射輝度分布に、その分布を考慮する手法を開発し、熱負荷計算における天空放射輝度分布の影響を明らかにした^{*1,2,3,4}。

本研究では、既往研究を拡張し、(1) 近年開発されている波長選択性の高い建材やガラスについても、詳細なシミュレーションを可能とする、日射の分光分布を考慮することを可能とする波長別日射モデルの開発、さらに(2) 詳細な室内照明消費エネルギー予測を可能とする、天空の状態（天空輝度分布）を考慮する手法を開発することで、詳細・高精度な空調・照明消費エネルギー予測を可能とする手法を確立することを目的とする。

〈参考文献〉

- *1~4. 研究開始当初の背景 参考文献*1~4.

3. 研究の方法

- (1) 天空放射輝度分布の EnergyPlus への組み込み
通常の建築熱環境シミュレーション（熱負荷

計算・消費エネルギー予測)では一様と仮定されている天空の放射輝度分布を、熱環境シミュレーションに考慮する手法をEnergyPlusに組み込み・最適化を行う。併せてEnergyPlus用米国気象データを用いて、開発した手法の検証を行う。モデル建物を設定しシミュレーションを行うことで、EnergyPlusにおける、天空放射輝度分布の影響を定量的に把握する。(2)照明エネルギー計算へのCIE標準一般天空の利用

EnergyPlusの照明計算では、Clear Sky、Clear Turbid Sky、Intermediate Sky、Overcast Skyの4つの天空状態の組み合わせから、天空の輝度分布を求めるPerezの手法が用いられている^{*1}が、これは現在CIEにより推奨されている晴天から曇天空までを15の天空状態(天空タイプ)で表すCIE標準一般天空モデルが開発される以前のモデルである。このため、より詳細で精度の高い照明消費エネルギーを求める目的で、CIE標準一般天空をEnergyPlusに組み込むこととする。ここで天空タイプ(晴天から曇天空までを15の天空状態)の推定には、放射輝度分布同様の手法を用いる。そしてシミュレーションにより、EnergyPlusにおける天空輝度分布の影響の定量的把握を行う。

(3)波長別日射量測定データの整理と既往の波長別日射モデルの分析

所属機関及び協力機関で得られた波長別日射量データの品質チェック・欠測処理等を行い、モデル化に用いるデータの整備を行う。また、測定データを季節・天候ごとに分類し、その特性把握を行う。さらに現在発表されている波長別日射量のモデルについて、その精度や問題点を明らかにするため、整備したデータを用いて、既往モデルの検証を行う。

(4)波長別日射モデルの開発

整備した波長別日射量測定データと、所属機関の総合気象観測システムにより測定を行っている水平面全天日射量・天空日射量、気温、湿度といった通常的气象官署の測定でも得られると考えられる一般的な気象要素、及び天候状態・天空状態を表す指標、例えばCIE標準一般天空モデルの天空タイプとの関係を分析する。既往研究では、天候状態ごとに分類し、水平面全天日射量等を説明変数として重回帰したモデル^{*2}や、シグモイド関数^{*3}を用いたモデルなどがみられるが、これらのモデルでは950nm前後の波長域でモデルの精度低

下がみられる。この様な精度低下について検討を行うために、説明変数となる気象要素に対する950nm前後の波長域での日射量の分散により、そのランダムさについての検討を行う。一般的な気象要素による推定では表しきれない変動については、推定値からの誤差の分布・性状の把握を行い、重回帰モデル等によるモデル化とは別途モデル化するための検討を行う。また、波長帯毎の日射量のエネルギーシミュレーションへの寄与について検討し、モデルの要求精度についても検証を行う。(5)波長別日射モデルのEnergyPlusへの組み込み

開発したモデルをEnergyPlusに組み込み・最適化を行う。

(6)モデル建物による、空調・照明消費エネルギーシミュレーション

開発したモデルを用い、モデル建物を設定して、空調・照明消費エネルギーシミュレーションを行い、天空放射輝度・輝度分布、および分光分布の考慮が、消費エネルギーに与える影響を明らかにする。

(参考文献)

- *1. EnergyPlus User Guide Engineering Reference, pp. 154-155
- *2. 波長別日射量の推定法に関する基礎的研究
その6 任意の天候状態における天空日射に基づく波長別天空日射量の推定手法：児島輝樹，曾我和弘，日本建築学会九州支部研究報告第48号，pp. 141-144，2009. 3
- *3. バンコクにおける傾斜面日射量と分光放射照度推定手法の研究：田中昭雄，酒井孝司，石原 修，日本建築学会環境系論文集 Vol. 75, No. 648, pp. 165-170, 2010. 2

4. 研究成果

(1) 天空放射輝度分布を考慮した壁面日射量計算法

博士学位研究で行った天空放射輝度分布を考慮した壁面日射量計算法について、再検証を行った(パラメータの再確認、推定誤差の確認、計算時間)。検証結果は十分なものであると判断したため、論文執筆を行い、日本建築学会環境系論文集に投稿し採用された(2012年5月号)。

(2) 波長別日射量推定モデルの検討

前年度に観測した波長別日射量の単年度データに加え、継続して観測した本年度データの整備を行った。独自モデルの開発にはデータ量が十分でないと判断したため、前年度データに加え、本年度観測データを用いて、既

往モデルの適用性を検討した。晴天時については、混濁因子の最適な推定を行うことができれば、Birdの推定モデルにより波長別日射量を精度よく推定できることを明らかにしたが、全ての天空状態への適用を考え、他の既発表推定モデル（田中ら、曾我ら、永田）についても比較検討を行った。

(3) 紫外域日射量推定モデルの検討

当初予定していなかったが、併せて観測を行っている紫外域日射量についても、その室内への影響を考慮する為、推定モデルの検討を行った。既発表モデル（UV-A、UV-B）の比較検討を行った。比較した結果、精度が最も高いと判断した推定モデルについて、近年の観測データを用いてパラメータの再同定を行った。

(4) EnergyPlusソースコードの確認

天空放射輝度分布、輝度分布、波長別日射量、紫外域日射量を考慮するためのファンクションをEnergyPlusソースコードに組み込むことを考え、ソースコードにおけるファンクション組み込み箇所、方法の検討を行った。

当初の研究計画を考えると、個別の気象モデルの開発に重点と置いたため、詳細・高精度な空調・照明消費エネルギー予測を可能とする、統合的な手法を確立するというゴールまで未だ到達していないと考えられ、引き続き研究を継続している。

当初の計画に対して研究の達成度がやや遅れた結果となったが、その理由として以下のことがあげられる。

- (1) 高品質の波長別日射データの蓄積が遅れたこと。
- (2) 天空放射輝度分布を考慮した壁面日射量計算の再検証、論文執筆に時間を要したこと。
- (3) 併せて観測を行っている紫外日射の影響に関する考慮も追加すべきと考え、その推定モデルを検討したため。
- (4) 研究協力を得る予定であった学生の協力が、研究途中から得られなかったこと。

本研究課題の今後の推進方策として、検討を終えた天空放射輝度分布に加え、現在引き続き行っている(1) 波長別日射データの蓄積および推定モデルの選定、(2) 紫外日射に関する考慮を行ったうえで、EnergyPlusに組み

込み、その影響の評価を行い、有用性を検討する。

問題点としては、人的協力が得られなくなったため、各種検討、論文執筆に加え、プログラムコード改変に予定外の時間を取られている結果となっている点があげられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① 細淵 勇人, 吉田治典: 天空放射輝度分布及び周囲遮蔽物を考慮した壁面日射量計算法の開発-第1報 CIE 標準一般天空 Gradation 関数, Indicatrix 関数の近似関数を用いた壁面日射量計算法-, 日本建築学会環境系論文集, 2012. 5, No. 675, pp. 349-356

[学会発表] (計6件)

① 細淵 勇人, 松本真一、長谷川兼一: 秋田県立大学における波長別日射量測定とその傾向分析, 大気環境学会北海道東北支部, 2011. 10

② 細淵 勇人, 松本真一、長谷川兼一: 秋田における紫外・近赤外域波長別日射観測データの分析 - Bird モデルの晴天時適用性の検討 -, 日本建築学会大会, 2011. 8

③ 細淵 勇人, 天間佑貴, 松本真一、長谷川兼一: 秋田における紫外・近赤外域波長別日射観測データの分析 -, 日本建築学会東北支部, 2011. 6

④ 細淵 勇人, 松本真一、長谷川兼一: 秋田における紫外・近赤外域波長別日射観測データの分析-その2 Bird モデルの晴天時適用性の検討 -, 日本建築学会東北支部, 2011. 6

⑤ 細淵 勇人, 松本真一、長谷川兼一: 紫外域日射量推定モデル開発に関する研究-既往推定モデルの比較検証と既発表モデルのパラメータ再同定-, 日本建築学会大会, 2012. 9(発表予定)

⑥ 細淵 勇人, 松本真一、長谷川兼一: 紫外域日射量推定モデル開発に関する研究-既往推定モデルの比較検証と紫外日射観測データの分析-, 日本建築学会東北支部, 2012. 6(発表予定)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細淵 勇人 (HOSOBUCHI HAYATO)
研究者番号: 20581292