天空放射輝度分布モデルを用いた日射遮蔽体の透過特性の評価 に関する研究

EVALUATION OF TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF SHADING DEVICE WITH SKY RADIANCE DISTRIBUTION MODEL

菊池 卓郎*, 井川 憲男**
Takuro KIKUCHI and Norio IGAWA

Shading device is effective for reducing radiation load of buildings. Radiation load of buildings considering sky radiance distribution is different from that by isotropic model. RADIANCE is ray-tracing program and its accuracy is evaluated by some previous researches. In this research, RADIANCE installed sky radiance distribution model All Sky Model-R was developed. The transmission characteristics of external blinds evaluated by RADIANCE with isotropic model are compared with that with distribution mode in each sky conditions. Prediction error of annual insolation of building with external blinds by isotropic model is evaluated on the basis of that by sky distribution model. The evaluation results are introduced in this paper.

Keywords : sky radiance distribution, All Sky Model-R, simulation, RADIANCE, blinds
天空放射輝度分布, All Sky Model-R, シミュレーション, RADIANCE, ブラインド

1. はじめに

建築設計において建物のエネルギー使用量を低減することが重要な課題となって久しい。エネルギー消費の抑制に、日射による熱負荷を制御することが効果的であるため、本来目隠しや遮光の目的で用いられるブラインドを、近年建物外部に設置し、より高い日射遮蔽効果を期待する利用例が見られる。このような状況から、建物の日射負荷と日射遮蔽体の日射遮蔽効果を高精度に予測することは、エネルギー使用の合理的な設計に寄与すると考えられる。

日射は、太陽から直接地上に到達する直達日射と大気で散乱されて地上に到達する天空日射の2つに分けられ、天空日射は無視できない割合を占める。天空の放射輝度分布を考慮することの重要性は古くから指摘されているが¹⁾、建築の分野においては、放射輝度分布の実測データを得ることが困難であることと計算上の簡便性から一様の放射輝度分布を想定して計算されることが多かった。

1993年にPerez, R.らによって全天候型の天空輝度分布がモデル化され²⁾、また2004年には井川らによって国内の測定データから天空輝度分布モデル All Sky Model-L と天空放射輝度分布モデル All Sky Model-R が開発され³⁾、気象データから可視光と日射の両方の天空分布が推定可能となった。

また、光の挙動を高精度に予測する光線追跡法は、これまで一部の研究者によってのみ扱われてきたが、米国ローレンスバークレー国立研究所で開発された光線追跡法を用いた照明計算プログラム RADIANCE⁴⁾が2002年にオープンソース化したことから、その利用が国内外で広まっており、計算精度の検証事例もある⁵⁾。

本研究の目的は、全天候型放射輝度分布モデル All Sky Model-R (以下、分布モデル) を組み込んだ RADIANCE を開発し、外ブラインドの透過特性を評価することである。ここでは、従来から使用

されてきた簡易モデルである一様天空モデル (以下、一様モデル) を比較対象とする。まず天空状態、太陽高度および外ブラインドのスラット角と反射特性をパラメータとして、外ブラインドを透過する日射量と外ブラインドの透過率を算出する。さらに、南面、西面および東面の3方位について自動制御された外ブラインドを想定した年間計算を行うことで、年間を通じた天空放射輝度分布の考慮の有無による日射受照量を算出する。

2. 既往の研究

2.1 天空放射輝度分布モデルを用いた日射受照量予測に関する研究

Perez, R.らは観測される気象データから天空輝度分布を決定する All-weather Model を開発している²⁾。また Mardaljevic, J. が開発した RADIANCE 上で All-weather Model による天空輝度分布を生成するプログラム⁶⁾を利用して、Anselmo, F.は天空の分布を考慮した日射受照量の期間積算値を算出するツールを開発している⁷⁾。

また、Kittler, R.の提案する天空輝度分布モデル⁸⁾を応用して、細淵らは放射輝度分布モデルとして利用することを試行している⁹⁾。複数の天空輝度分布タイプを5つに集約することである程度の推定精度を維持しながら利便性を向上させている。

2.2 指向特性を考慮した日射遮蔽体の透過特性に関する研究

一ノ瀬らは形態係数を用いながら非均等拡散反射性状を扱う手法を提案し、直達日射および一様分布モデルの天空日射を光源として遮蔽体の反射指向特性を考慮した透過特性を評価している¹⁰⁾。

西田らは、外ブラインドの反射指向特性を波長別に測定評価し、直達日射について RADIANCE を用いて波長別に計算を行っている。その結果を荷重平均して、太陽高度とスラット角度ごとに日射透過率と反射率を求めている¹¹⁾。

* (株)竹中工務店技術研究所 修士(工学)

** 大阪市立大学大学院生活科学研究科 教授・博士(工学)

R & D Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.

Prof., Graduate School of Human Life Science, Osaka City University, Dr. Eng.

3. 計算条件

3.1 RADIANCE の解析パラメータ設定

RADIANCE の間接計算に関わるパラメータは、計算精度と計算時間との比較検討を行った結果から、高精度設定と中精度設定の2つを決定する^{注1)}。

3.2 スラットの反射特性

スラットに用いた平面の反射特性は、反射率 0%、反射率 60% の均等拡散面および反射率 60% の非均等拡散面の3つである。非均等拡散面は鏡面反射成分 36%、拡散反射成分を 64% 含むものとする^{注2)}。図 1 に本研究で用いた均等拡散面と非均等拡散面の反射特性関数¹²⁾を示す。

3.3 モデル形状

計算モデルは図 2 で示す奥行き 97mm のスラット断面に対して約 20 倍の幅を持つブラインドで構成される。計算においては図 3 で示すようにスラットの幅方向の両端と奥行き方向の建物側に反射率 0% の平面を設定し、評価したい鉛直面方向以外から入射する光を遮蔽する。地物による反射日射は、反射率 20% の水平面をブラインド形状の底部に設置することで再現する。計算の簡易化のため、スラットの曲面を図 4 に示すように複数に分割された平面で構成する。図 5 にスラット曲面の分割数とブラインドの透過日射量および反射日射量の誤差の関係を示す。点線は実形状を示す。RADIANCE の間接計算に関わるパラメータは高精度設定とする。誤差は 40 に分割した場合（平面同士の成す角度：2.0°）の透過日射量および反射日射量に対する相対誤差として示す^{注3)}。光源は入射角 40° と 60° の直達日射と、一様モデルによる天空日射とする。

光源が直達日射、天空日射のいずれの場合においても、分割数が 3 分割以下の場合 40 分割の場合と比べて透過日射量が大きく、反射日射量が小さい傾向がある。相対誤差の絶対値が 5 分割で最大 7%、9 分割で最大 3%、20 分割で最大 1% まで小さくなる。本研究では 9 分割を採用する。

図 1 スラットを構成する平面の反射特性関数 単位[1/sr]

図 2 ブラインド断面形状

図 3 計算モデル概観図

分割数	1	2	3	5	9	20	40
断面図							
平面同士の成す角度	-	40.2	26.8	16.1	8.9	4.0	2.0

図 4 スラット曲面の分割数

(a)透過日射量 (b)反射日射量

図 5 スラット曲面の分割数と
ブラインドの透過日射量および反射日射量の誤差

4. 外ブラインドの天空状態による透過特性の評価

4.1 鉛直面入射日射量の評価

All Sky Model-R は、晴天指標 Kc と清澄指標 Cle から天空指標 Sky Index（以下、Si）を求め^{注4)}、太陽高度と Si から相対天空輝度分布を決定する³⁾。Kc は全天日射量が多いほど大きく、Cle は直達日射量が多いほど大きい。Si は曇天空から晴天空にかけて、0 から 2（2 を超える場合もある）のあいだの値をとる。ここでは Kc と Cle のマトリックスから現実的に発生し得る天空状態を既往の研究³⁾を参考に抽出し、分布モデルと一様モデルの鉛直面日射量を比較する。本論文では Si を用いて便宜上、晴天空 (clear sky : Si>1.7)、

近晴天空(near clear sky : $1.7 \geq Si > 1.5$)、中間天空(intermediate sky : $1.5 \geq Si > 0.6$)、近曇天空(near overcast sky : $0.6 \geq Si > 0.3$)および曇天空(overcast sky : $0.3 \leq Si$)の5つに分類する。なお、図6に対象とした天空状態とそのSiを示す。

図7に代表的な天空状態について分布モデルで生成した太陽高度 45° の場合の天空放射輝度分布と、同じ天空日射量となる一様モデルによる天空放射輝度を示す。一様モデルの天空放射輝度は分布モデルより、曇天空 ($K_c=0.1$, $C_{le}=0$) では低高度で大きく、高高度で小さい。分布モデルでは晴天空に近づくにつれ、太陽位置周辺の放射輝度が相対的に大きくなり、また晴天空 ($K_c=1$, $C_{le}=1$) では地平線近傍の放射輝度が一様モデルによる放射輝度を上回る。

ここでは、鉛直面と太陽の方位角が同一の場合について比較する。RADIANCE の間接計算に関わるパラメータは高精度設定とする。

地物反射を含む全天日射の鉛直面入射日射量について、太陽高度 30° の天空状態別の誤差を図8に示す。一様モデルは分布モデルより曇天空では大きく、晴天空に近いほど小さい傾向にある。 K_c が 0.7 から 0.9、 C_{le} が 0.3 から 0.6 の中間天空と近晴天空において誤差が大きく、絶対誤差が -180 から -120 W/m^2 、相対誤差が -30 から -20% と大きく負の値をとる。図9に示す太陽高度が 75° のときの誤差は、曇天空から近晴天空にかけて一様モデルのほうが大きい。

図10に代表的な天空状態として、曇天空 ($K_c=0.1$, $C_{le}=0$)、近曇天空 ($K_c=0.2$, $C_{le}=0.1$)、中間天空 ($K_c=0.6$, $C_{le}=0.3$)、近晴天空 ($K_c=0.8$, $C_{le}=0.6$) および晴天空 ($K_c=1$, $C_{le}=1$) の太陽高度による相対誤差と絶対誤差を示す。曇天空において相対誤差は太陽高度によらず、約 23%の値を示す。中間天空から晴天空にかけて太陽高度が低いほど誤差は負の値をとる傾向がある。中間天空から近

	K_c									
C_{le}	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0.10	0.20	0.30	0.40						
0.1		0.52	0.62	0.72	0.82					
0.2				0.85	0.95	1.05				
0.3					1.05	1.15	1.25			
0.4						1.23	1.33			
0.5						1.31	1.41	1.51		
0.6							1.47	1.57	1.67	
0.7							1.54	1.64	1.74	
0.8							1.59	1.69	1.79	1.89
0.9							1.65	1.75	1.85	1.95
1							1.80	1.90	2.00	

図6 本研究で対象とした K_c と C_{le} に対応する Si と天空状態

図7 天空状態別の天空放射輝度分布の例

(a)絶対誤差

(b)相対誤差

図8 太陽高度 30° における鉛直面入射日射量の誤差

(a)絶対誤差

(b)相対誤差

図9 太陽高度 75° における鉛直面入射日射量の誤差

(a)絶対誤差

(b)相対誤差

図10 太陽高度と鉛直面入射日射量の誤差の関係

(上段：鉛直面が太陽の方位角と同じ場合

下段：鉛直面が太陽の方位角と 180° 逆の方位角の場合)

晴天空の太陽高度 30° のときに誤差が最大となる。太陽の方位角と 180° 逆の方位角の鉛直面では太陽高度が高いほど誤差は正の値をとる。

4.2 ブラインド透過日射量の評価

地物反射を含む全天日射の透過日射量について、天空状態別の誤差を太陽高度 30° について図11に、太陽高度 75° について図12に示す。ここではブラインドのスラット角度は 0° 、反射特性は反

図 11 スラット角 0°、太陽高度 30° における透過日射量の誤差

図 12 スラット角 0°、太陽高度 75° における透過日射量の誤差

図 13 スラット角 45°、太陽高度 30° における透過日射量の誤差

図 14 スラット角 45°、太陽高度 75° における透過日射量の誤差

射率 60%の非均等拡散とする。天空状態と相対誤差との関係は、鉛直面入射日射と似た傾向であるが、曇天時に相対誤差が約 33% 一様モデルのほうが大きく、太陽高度が高い 75° では、曇天空から近晴天空にかけての正の相対誤差が鉛直面日射より大きい。

図 15 太陽高度と透過日射量の誤差

(上段：スラット角 0°、下段：スラット角 45°)

絶対誤差は、鉛直面入射日射と同様に中間天空と近晴天空時に大きく、太陽高度 30° のとき最大で約 90 W/m²、太陽高度 75° のとき最大で約 25 W/m² を示す。スラット角 45° の結果を図 13、14 に示す。透過する絶対量が小さいため絶対誤差は小さい。また、相対誤差は直達日射を含めた多重反射による透過が卓越するために、天空日射の分布の影響が弱まり鉛直面入射日射の相対誤差に近い。

図 15 に代表的な天空状態として、近曇天空 ($K_c=0.2$, $C_{le}=0.1$)、近晴天空 ($K_c=0.8$, $C_{le}=0.6$)、晴天空 ($K_c=1$, $C_{le}=1$) での、スラットを構成する面の反射特性別に太陽高度と誤差の関係を示す。

反射率 0% 条件下では、太陽高度が低く、かつ直達日射がスラット間を直接通り抜けない太陽高度 (スラット角 0° のとき 45°、スラット角 45° のとき 15°) において太陽周辺の高い天空放射輝度の影響を強く受けるため絶対誤差、相対誤差ともに大きい。透過日射量の絶対値が小さい太陽高度の高い条件下では、地平線付近の天空放射輝度は一様モデルのほうが小さいために大きな相対誤差が生じるが、絶対誤差は大きくない。

反射率 60% の条件下では鉛直面入射日射量における誤差と似た傾向となる。反射率 0% 条件下と比べると同じ太陽高度で相対誤差が最大となる。また、均等拡散と非均等拡散の違いによる差は近晴天空と晴天空の太陽高度が低いときに大きい。

4.3 ブラインド透過率の評価

天空日射のブラインド透過率について、太陽高度別に天空状態との関係を図 16 に示す。ここでは地物反射は含まない。天空日射の透過率は天空の相対的な放射輝度分布に依存し、All Sky Model-R は S_i によって天空の相対的な放射輝度分布が決まるため、天空状態は S_i を指標とする。同時に一様モデルでの透過率を示す。晴天空に近いほど、透過率は大きくなる傾向にあり、太陽高度が低いほど

どその傾向が強くなるのは透過日射量の相対誤差と同様である。一様モデルによる透過率は曇天空時や太陽高度の高い曇天空時から近晴天空時にかけて分布モデルより大きな値を示すが、太陽高度の低い中間天空から晴天空に掛けて小さい値をとる。スラット角 0° と 45° とでは、 45° のほうが全体的に透過率が低いため、天空状態による透過率の差は小さい。スラットの反射特性が異なると透過率は差があるが、スラット間を直接通り抜ける割合が大きいスラット角 0° ではその差は曇天空と晴天空とにおいてほとんど変わらない。一方、スラットで多重反射して間接透過する割合が大きいスラット角 45° では、反射率 60% の特に非均等拡散において一様モデルの透過率と分布モデルの晴天空における透過率の差が大きい。

次に地物反射を含む全天日射の透過率を、太陽高度 30° と 75° について天空状態との関係を図 17 に示す。ここでのスラットの反射特性は 60% 反射率の非均等拡散面だけ示す。天空日射の透過率において、スラット角 0° 、太陽高度 30° の中間天空から晴天空のときに、一様モデルによる天空日射の透過率が分布モデルよりかなり小さい値を示していたが、全天日射の透過率としては直達日射がスラット間を直接通り抜ける太陽高度であるために天空日射の影響が小さくなり、その違いは小さい。太陽高度が高い 75° の中間天空で最大約 5% の差が見られる。スラット角 45° では天空日射の透過率の誤差が大きくないことと、直達日射がスラット間を直接透過り抜ける割合が卓越するために両者の差は小さい。

+ solar altitude 75° ○ solar altitude 60° × solar altitude 45°
 Δ solar altitude 30° × solar altitude 15° — isotropic model

(a) スラット角 0° (b) スラット角 45°

図 16 天空状態と天空日射透過率

5. 外ブラインドの年間を通した透過特性の評価

4 章において、一様モデルで外ブラインドの透過日射量と透過率を予測した場合の天空状態別の誤差が示された。そこで、拡張アメダス気象データ¹³⁾から東京(緯度: 35.7° 、経度: 139.8°)の標準年を用いて年間の日射受照量予測を行い比較する。スラットの反射特性は反射率 60% の非均等拡散面とする。RADIANCE の間接計算に関わるパラメータは中精度設定とする。

Kc										
Cle	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	38	38	39	39						
0.1	41	41	42	42						
0.2		40	40	41	42					
0.3		42	42	43	43					
0.4			42	42	43					
0.5				43	43	44				
0.6				42	42	43				
0.7					43	43	44			
0.8					41	41	42			
0.9						43	43	43		
1									41	41
									40	40

Kc										
Cle	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	15	15	15	15						
0.1	14	14	14	14						
0.2		13	13	12	12					
0.3			13	13	13					
0.4				12	12	12				
0.5					11	11	11			
0.6						10	10	10		
0.7							10	10	10	
0.8								9.7	9.7	9.7
0.9									9.3	9.4
1										9.4

Kc										
Cle	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	38	38	38	38						
0.1	41	41	41	41						
0.2		37	36	36	36					
0.3			40	40	40	40				
0.4				34	34	34				
0.5					39	39	32			
0.6						37	37	37		
0.7							31	31		
0.8								35	35	
0.9									29	29
1										33

Kc										
Cle	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	15	15	15	15						
0.1	14	14	14	14						
0.2		15	14	14	14					
0.3			14	14	14					
0.4				15	15	15				
0.5					14	14	14			
0.6						14	14	14		
0.7							14	14	14	
0.8								14	14	14
0.9									14	14
1										14

(a) スラット角 0° (b) スラット角 45°

図 17 天空状態と全天日射透過率 単位[%]

(セル上段: 分布モデル、セル下段: 一様モデル)

図 18 スラット角と開放状態の出現頻度

図 19 期間積算した天空放射輝度分布

(セル上段: 分布モデル、セル下段: 一様モデルの平均放射輝度)

5. 外ブラインドの年間を通した透過特性の評価

4章において、一様モデルで外ブラインドの透過日射量と透過率を予測した場合の天空状態別の誤差が示された。そこで、拡張メダス気象データ¹³⁾から東京（緯度：35.7°、経度：139.8°）の標準年を用いて年間の日射受照量予測を行い比較する。スラットの反射特性は反射率 60% の非均等拡散面とする。RADIANCE の間接計算に関わるパラメータは中精度設定とする。

ここで、南面、西面、東面の 3 方位について、自動制御された外ブラインドが設置された鉛直面を想定する。スラット角度の制御方法は、0° から 60° までのあいだを 15° ピッチで稼動し、直達日射を完全に遮蔽する角度を選択する。保護角は設けない。太陽位置または天候状態により直達日射を受照しない時には外ブラインドは開放状態とする。図 18 にスラット角と開放状態の出現頻度を示す。

5.1 鉛直面入射日射量の評価

図 19 に代表的な月（6 月、9 月、12 月および 1 月から 12 月までの積算）と時間（8 時、10 時、12 時、14 時、16 時および 8 時から 17 時までの積算）に発生した天空放射輝度を積算した分布図を示す。いずれの分布図においても、晴天空に見られる地平線近傍で放射輝度が高くなる分布は、曇天空と積算されることでその傾向が弱まるが、太陽位置を中心にした強い分布は存在し、一様モデルによる分布とは大きく異なる。

図 20 に 1 月から 12 月、8 時から 17 時までの毎月毎時の鉛直面入射日射量について、その積算値の誤差を示す。南面は太陽高度の高い 6 月に正の誤差が最大化し、太陽高度の低い冬季の 12 時前後で負の誤差が最大化する。西面は、夏期の午前に正の誤差が大きく、夏期の午後に負の誤差が大きい。東面は逆に午前に負の誤差が大きく、夏期の午後に正の誤差が大きい。北面は年間通して正の誤差が大きく、特に 6 月を除く夏期の 12 時前後が大きい。

5.2 ブラインド透過日射量の評価

図 21 に 1 月から 12 月、8 時から 17 時までの毎月毎時の透過日射量について、その積算値の誤差を示す。全体的な傾向は鉛直面入射日射量と似ている。直達日射の入射する南面の午前と午後や西面の午後、東面の午前においてブラインドが存在する頻度が高い。そのため日射量の絶対量が減少し、鉛直面入射日射量の絶対誤差と比べると小さい。ただし、入射日射量の増加または減少割合よりも透過日射量の増加または減少割合のほうが大きいため、南面において鉛直面入射日射量の相対誤差よりも大きな値を示す。

5.3 ブラインド透過率の評価

図 22 に一様モデルと分布モデルで求めた天空および全天日射の透過率の相関を示す。一様モデルは方位では誤差の傾向にほとんど差がないため方位の区別はしない。分布モデルにより求められた透過率は、天空状態によって異なるためにばらつきがある。ばらつきはスラット角が大きいほど大きい。分布モデルによる透過率の平均値は、スラット角 0° を除いて一様天空による透過率よりも大きい値を示す。スラット角 0° は約 40° 以上の太陽のプロファイル角のときに設定される角度であるため、より広い範囲の太陽位置で出現する。したがって透過率も広い範囲に存在し、一様モデルによる透過率より大きい値にも存在するが、平均値は一様モデルによる透過率より小さい。

全天日射の透過率も天空日射の透過率と同様の傾向を示すが、全

体的にばらつきの範囲が狭くなる。分布モデルの天空日射の透過率がスラット角 0° で一様モデルの透過率より大きくなる傾向は直達日射の影響によって弱まる。

図 20 積算鉛直面入射日射量の誤差

(上から、南面、西面、北面、東面、月積算)

図 21 で示した誤差は入射日射量の違いと透過率の違いの両方を含んだ誤差である。分布モデルと一様モデルで求められた透過率の違いが透過日射量の推定に与える影響を比較するために、天空日射による入射日射量は分布モデルと一様モデルとで同じとし、透過率のみ分布モデルと一様モデルで得られた値を用いて透過日射量を求める。入射日射量は分布モデルによって求められた値を用いる。図 23 に示すように南面は夏期の 12 時前後、西面は夏期の 13 時前後、東面は夏期の 10 時前後で約 10% 一様モデルのほうが大きい。これは各方位の太陽のプロファイル角が大きい時間帯と一致する。一方、南面は冬期の特に 12 時前後、西面は冬期の 15 時前後、東面

(a) 天空日射

(b) 全天日射

図 22 一様モデルと分布モデルによる透過率の相関

(a) 絶対誤差

(b) 相対誤差

図 21 積算透過日射量の誤差

(上から、南面、西面、東面、月積算)

(a) 絶対誤差

(b) 相対誤差

図 23 透過率の違いによる積算透過日射量の誤差

(上から、南面、西面、東面、月積算)

は冬の9時前後で一様モデルのほうが小さい。これは各方位の太陽のプロファイル角が小さい時間帯と一致する。月積算で比較すると、夏期をピークとして中間期までの期間にわたって一様モデルのほうが大きい。

6. まとめ

光線追跡法による照明計算プログラム RADIANCE に、気象データから天空放射輝度分布を決定できるモデル All Sky Model-R を組み込んだプログラムを開発した。これにより天空放射輝度分布と建材の反射特性の双方を考慮した詳細な日射遮蔽体の効果を予測することが可能になった。また、気象データから天空放射輝度分布を推定できるため、気象データを用いた年間の日射受照予測が可能となり、日射遮蔽体を有する建物のより詳細な年間負荷予測を行う見通しを得た。外ブラインドの透過日射量および透過率について、いくつかの天空状態とスラットの角度および反射特性の条件下で、一様天空モデルによって計算した場合と比較評価を行った。得られた知見の主要なものを以下に示す。

- 一様モデルで予測された外ブラインドを透過する日射量は、分布モデルで予測された値と比較すると、太陽高度が高いときの曇天空から近晴天空で大きい。また太陽高度が低いときの近晴天空や晴天空で小さいが、直達日射が直接入射する太陽位置では絶対誤差は小さくなる。鉛直面に入射する日射量の誤差と比較すると、絶対量が減るため絶対誤差は小さいが、相対誤差は大きい。最大熱負荷計算を行う際、一様モデルを用いて鉛直面日射量を推定することに大きな誤差を生じることが示された。
- 従来、ブラインドの天空日射の透過率は一様モデルをもちいて評価されてきたが、分布モデルで評価した場合と異なることが示された。一様モデルで予測された外ブラインドの天空日射の透過率は分布モデルで予測された透過率と比べ、曇天空では大きく、晴天空に近かつ太陽高度が低いほど小さい。全天日射の透過率で比較すると直達日射がスラット間を直接通り抜ける太陽高度のときでは透過率の差は小さく、太陽高度が高いときの中間天空と近晴天空で一様モデルのほうが大きい。
- 拡張アメダスの東京標準年気象データを用いて年間の日射受照量予測を行った結果、年間を通して鉛直面入射日射量に大きな誤差が生じ、天空放射輝度の分布を考慮することの重要性が示された。透過日射量においても、入射日射量に比べて絶対量が小さいために絶対誤差は小さくなるが、大きな誤差が生じた。南面において相対誤差が大きくなることが分かった。
- 分布モデルと一様モデルで求められた透過率の違いを対象に、年間の透過日射量の予測値を比較した結果、南面の夏期において相対誤差が最大約 10%一様モデルのほうが大きく、また冬期においては一様モデルのほうが小さくなる傾向が示された。
- あらゆる天候状態が出現する中で、ある期間における日射負荷や空調消費エネルギーを予測する際に、一様モデルを用いると大きな推定誤差を生じるため、実際の現象に対する再現性の高い分布モデルを使用する必要性が確認された。

注

注 1) RADIANCE の間接計算に関わるパラメータは以下のように設

定した¹⁴⁾。

高精度設定で、ab=4, aa=0.2, ar=64, ad=2048, as=512

中精度設定で、ab=4, aa=0.2, ar=64, ad=1024, as=512

注 2) RADIANCE のマテリアルパラメータの設定は specularity=0.36, roughness=0.18 である¹⁴⁾。

注 3) 本論文における絶対誤差 AE_i と相対誤差 RE_i は次の式による。

$$AE_i = I_i - I_{true} \quad (1)$$

$$RE_i = (I_i - I_{true}) / I_{true} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

I_i : 要素 i の値

I_{true} : 真値とした値

注 4) Kc , Cle および Si は次の式で定義される。

$$Si = Kc + Cle^{0.5} \quad (3)$$

$$Kc = Eeg / Seeg \quad (4)$$

Eeg : 全天日射量 $[W/m^2]$,

$Seeg = 0.84 \cdot Eeo/m \cdot \exp(-0.0675 \cdot m)$: 基準全天日射量 $[W/m^2]$

$m = 1/[\cos\gamma_{sz} + 0.50572 \cdot (96.07995 - \gamma_{sz})^{-1.6364}]$: 大気路程

γ_{sz} : 太陽の天頂角 $[deg]$

Eeo : 大気外法線直達日射量 $[1,367W/m^2]$

$$Cle = (1 - Ce) / (1 - Ce_s) \quad (5)$$

$Ce = Eed / Eeg$: クラウド・レイショ

Eed : 天空日射量 $[W/m^2]$

$Ce_s = 0.01299 + 0.07698 \cdot m + 0.003857 \cdot m^2$

$+ 0.0001054 \cdot m^3 - 0.000001031 \cdot m^4$: 基準クラウド・レイショ

参考文献

- Grant, R.H.: The influence of the sky radiance distribution on the flux density in the shadow of a tree crown, Agric. Forest Meteorol., 35, pp.59-70, 1985.
- Perez, R., Seals, R., and Michalsky, J.: All-weather model for sky luminance distribution - Preliminary configuration and validation, Solar Energy, Vol. 50, No. 3, pp. 235-245, 1993.
- Igawa, N., et al.: Models of sky radiance distribution and sky luminance distribution, Solar Energy, Vol. 77, No. 2, pp. 137-157, 2004.
- Ward, G. J.: The RADIANCE lighting simulation and rendering system, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 459-472, 1994.
- Maamari, F., et al.: Reliable datasets for lighting programs validation, benchmark results, Excerpt from the Proceedings of CISBAT, pp. 241-246, 2003.
- Mardaljevic, J.: Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients, PhD Thesis, De Montfort University, 2000.
- Anselmo, F.: "radiance@D.R.E.Am. :: irradiation + illumination maps", DREAM, available from <<http://www.dream.unipa.it/dream/pub/dot/anselmo/radiance/05.php>>
- Kittler, R.: Standard sky luminance patterns, their levels and occurrence probabilities J. Light & Vis. Env., Vol. 22, No. 1, pp. 17-22. 1998.
- 細淵勇人, 吉田治典, 上谷芳昭: 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, 日本建築学会環境系論文集, No.583, pp.29-36, 2004.
- 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 郡公子, 永田明寛: 指向特性を考慮した放射伝熱計算法, IBPSA-Japan 講演論文集(2005), 2005.
- 西田隆志, 吉澤望, 齊藤孝一郎, 武田仁, 堀慶朗: 熱負荷計算における開口部のモデル化手法の開発 ~その 1 Radiance を用いたブラインドの日射特性値の算出~, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊(2007), pp.15-16, 2007.
- 前田敏男: 発散光の強さ、入射光の強さ、反射特性関数および透過特性関数の定義とその応用, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.29-32, 1965.
- 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ 1981-2000, 鹿児島 TLO, 2005.
- Ward, G. J., Shakespeare, R.: Rendering with radiance: The art and science of lighting visualization, Morgan Kaufmann, 1998.

(2008年3月10日原稿受理, 2008年9月24日採用決定)