

# 隣棟の影響を考慮した室内温湿度計算のための 形態係数算出及び日影判定プログラムの開発

山田 将太

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

快適でエネルギー消費の少ない住宅を実現するには、冬季はダイレクトゲインなどの太陽熱利用が有効である。しかし、敷地面積が狭い都市部では、低層住宅地であっても隣棟の影響は無視できない。一方、夏季は隣棟が日射遮蔽物となり、遮熱効果を発揮する場合がある。よって、隣棟の影響を考慮した熱環境解析が重要である。本研究では、建築温熱環境を解析するために THERB for HAM (以下 THERB) を用いている。既存の THERB では当該建物の庇や軒等による日影面積を考慮した入射日射量の計算は可能である。しかし、隣棟による影響は考慮されておらず、隣棟による形態係数の変化並びに日影面が再現されていない点が課題である。

### 1.2 既往研究

既往研究にて、屋根などの水平面からの形態係数をそれぞれ算出し精度を確かめた。しかし、外壁や窓などの鉛直面からの形態係数算出や隣棟による日影の判定は、正確性や妥当性に再検討の余地がある。さらに、このプログラムを THERB に組み込んだ際の影響についても深く考察されていない。

### 1.3 研究目的

本研究では、隣棟を考慮した形態係数算出と日影判定を行うプログラムを THERB に組み込み、高精度な温度計算が可能か、実測と比較して解析を行い、その影響を解明することが目的である。

## 2. 形態係数算出及び日影判定プログラム

隣棟を考慮した形態係数算出を行うプログラム、日照日影面の判定を行うプログラムをそれぞれ形態係数算出プログラム、日影判定プログラムとよぶ。

### 2.1 形態係数算出プログラム

形態係数とはある面から放出されたエネルギーが別の面に到達する割合を示した係数である。図 1 に示す  $S''/\pi r^2$  にあたる。例えば天空をみる形態係数とは、建物の外皮から法線方向を見たときに天空が見える割合である。

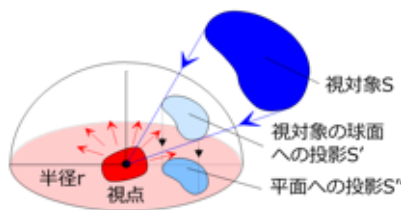


図 1 形態係数の定義

天空、地物 (隣棟と地面) をみる形態係数をそれぞれ  $F_s, F_{bg}$  とすると、これらは次式に示す、天空による日射量  $I_S$ 、地物反射による日射量  $I_R$ 、外皮表面の長波放射収支  $q_s$  に作用している。  $q_s$  は外皮が外気と地物から熱を受け取る方向を正としている。形態係数算出プログラムによって、隣棟の影響を反映させた  $F_s, F_{bg}$  を算出し、これらを式(1)(2)(3)に代入する。

$$I_S = I_S F_s \quad (1)$$

$$I_R = (I_D \cos i + I_S) \rho F_{bg} \quad (2)$$

$$q_s = \alpha_r (T_o - T_s) - \varepsilon_s F_s J_N + \varepsilon_s F_{bg} (\varepsilon_{bg} \sigma T_{bg}^4 - \sigma T_o^4) \quad (3)$$

$I_S, I_D$ : 水平面天空、法線面直達日射量  $[W/m^2]$ ,  $i$ : 直達入射角  $[^\circ]$ ,

$\rho$ : 地物のアルベド  $[-]$ ,  $\alpha_r$ : 放射熱伝達率  $[W/m^2 K]$ ,

$T_o, T_s, T_{bg}$ : 外気、外皮、地物表面絶対温度  $[K]$ ,  $\varepsilon_s$ : 外皮表面長波放射率  $[-]$ ,

$J_N$ : 夜間放射量  $[W/m^2]$ ,  $\sigma$ : ステファン・ボルツマンの定数  $[W/m^2 K^4]$ ,

$\varepsilon_{bg}$ : 地物長波放射率  $[-]$

形態係数算出は、2.1.1 項で述べる屋根などの水平面から法線方向を見たときの形態係数と、2.1.2 項で述べる外壁や窓などの鉛直面から法線方向を見たときの形態係数の二つの場合に分けて計算する。THERB においては屋根、外壁、窓といった外皮の要素毎に熱収支を計算する。そのため、形態係数算出の計算点は外皮の各要素の中心点とした。

#### 2.1.1 水平面から法線方向を見たときの形態係数算出方法

図 2 に概要図を示す。はじめに、計算点を原点、計算点がある屋根などの水平面を XY 平面とし、これを底面とした半径  $r$  の半球を設定する。半径に関してはどの値に設定しても最終的な計算結果には影響を与えないため、 $r$  は任意の値を用いる。半球の底面は、奥行方向と回転方向に分割する。本研究では、計算負荷と精度を勘案し、奥行方向 100 分割、回転方向 360 分割の合計 36,000 分割とした。また、形態係数の算出を容易にすることを目的として、半球底面の一つ一つの

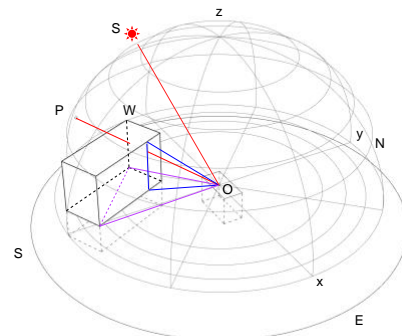


図 2 水平面から法線方向を見る形態係数算出及び日影判定

マスの面積は等しくした。半球底面のマスを法線方向に投影することで、半球面の分割も行う。

次に、計算点が原点となるように隣棟の各頂点の座標を読み込む。ここで、半球の中心点  $O$  と半球面の分割マス中心点  $P$  を結ぶ直線  $OP$  を設定する。直線  $OP$  の方位角が、隣棟の最小方位角と最大方位角の間の範囲にあるとき、直線  $OP$  方向は隣棟に隠れる可能性がある。次に、直線  $OP$  の高度角と直線  $OP$  が交わる隣棟部分の高度角を比較する。直線  $OP$  の高度角がこの隣棟部分の高度角より小さければ、直線  $OP$  方向のマスは隣棟に隠れる。そうでなければ隣棟に隠れない。

上記の計算を半球面の全マスで行う。天空、隣棟をみる形態係数をそれぞれ  $F_s$ 、 $F_b$  とすると定義に従い、これらは次式で算出できる。なお、地面をみる形態係数  $F_g$  は 0 となる。

$$F_s = \text{隣棟に隠れない半球面マス数} / \text{半球面全マス数}$$

$$F_b = \text{隣棟に隠れる半球面マス数} / \text{半球面全マス数}$$

### 2.1.2 鉛直面から法線方向を見たときの形態係数算出方法

図 3 に概要図を示す。計算点がある外壁や窓などの鉛直面を  $XY$  平面とし、これを底面とした半球を設定する。その後、2.1.1 での方位角、高度角を  $XZ$  平面での方位角、高度角にそれぞれ置き換える。これにより、同様の手順で形態係数を求めることができる。なお現段階では、計算点の位置する水平面 ( $XZ$  平面) より下は全て地物とし、1 から天空をみる形態係数を引くことで計算した。

$$F_s = \text{隣棟に隠れない半球面マス数} / \text{半球面全マス数}$$

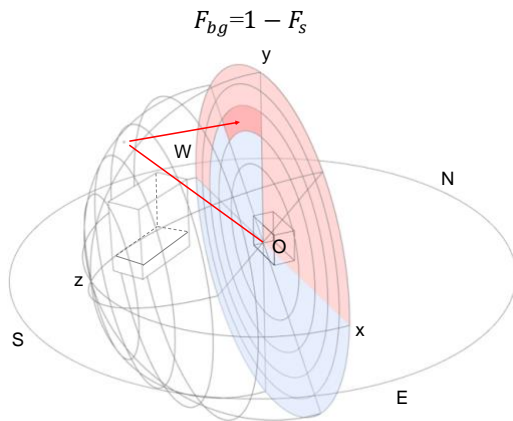


図 3 鉛直面から法線方向を見る形態係数算出

## 2.2 日影判定プログラム

日影判定プログラムでは、外皮の各要素において、日照日影の判定を行う。日影判定を行う変数を  $C_s$  とし、隠れる場合 (日影) は  $C_s=0$ 、隠れない場合 (日照) は  $C_s=1$  とした。直達日射量に  $C_s$  をかけることにより、隣棟による日影判定を考慮した直達日射量  $ID$  の計算を行う。

$$ID = \alpha C_s I_D \cos i \quad (4)$$

$\alpha$ : 庇、外皮の傾斜角による遮蔽係数

日影判定の判定点も形態係数算出と同様に、外皮の各要素の中心点とした。THERB で、対象建物の各要素の座標を入

力する際に、各要素を細分割することで、より詳細な日影判定、つまり入射直達日射量の計算が可能となる。

### 2.2.1 日影判定プログラムの計算方法

2.1.1 の図 2 に本項の概要図も含めた。はじめに、隣棟の各頂点の座標を読み込み、判定点が原点となるように隣棟座標を移動させる。次に、2.1.1 で水平面から法線方向をみたときの形態係数を算出する過程での、半球の中心点  $O$  と半球面の分割マス中心点  $P$  を結ぶ直線  $OP$  を実際の太陽位置  $S$  と半球の中心点  $O$  を結ぶ直線  $OS$  に置き換えて同様の計算を行う。太陽位置  $S$  は次式で、太陽高度角  $h$  と太陽方位角  $\alpha$  を計算することにより求められる。

$$h = \sin^{-1}(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t) \quad (5)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\sin h \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h \cos \varphi}\right) \quad (6)$$

$\varphi$ : 北緯 $^\circ$ ,  $\delta$ : 日赤緯 $^\circ$ ,  $t$ : 時角 $^\circ$

直線  $OS$  の方位角が隣棟の最小方位角と最大方位角の間の範囲にあるとき、判定点はその隣棟の影になる可能性がある。さらに、この直線  $OS$  の高度角が隣棟の高度角より小さければ、判定点は影となる。そうでなければ日照となる。

### 2.3 形態係数算出・日影判定プログラムの精度検証

対象建物を九州大学イーストゾーンの環境実験棟に設定した。環境実験棟と周囲の建物の位置関係を表した平面図を図 4 に示す。主に環境実験棟に影響を与える隣棟は南側にあるイースト 1 号館である。

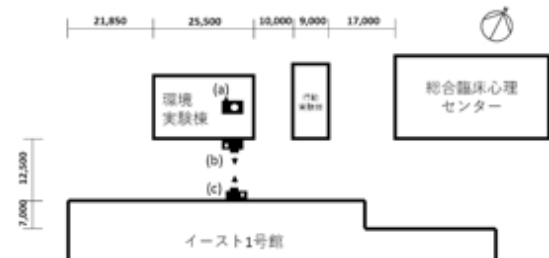


図 4 環境試験室周辺図

#### 2.3.1 形態係数算出プログラムの精度検証

既往研究にて、形態係数算出プログラムの精度検証として、計算結果と魚眼カメラの写真との比較を行った。精度検証は図 4 で示した (a) 屋上から天空を見上げた場合、(b) 南面の壁から天空を見上げた場合の 2 通りで行った。図 5 に (a) での結果を示す。計算結果は隣棟に隠れると判定された半球面上のマスを魚眼カメラの等立体角射影方式に対応させ<sup>(2)(3)</sup>、半球の底面に投影したものである。水平方向に若干の誤差がみられたが、隣棟の概形は再現され、凡その精度を確認した。

#### 2.3.2 日影判定プログラムの精度検証

図 4 の (c) の地点からの写真と日影判定プログラムの判定結果を照合することで精度検証を行った。環境実験棟内の外気相当空間を温度計算の対象室としたため、その南側窓面にて検証した。この窓面を 25 分割し、それぞれの中心部分で

日影判定をした。太陽高度角が大きくなり、窓面上部から日照となる8月30日と、太陽方位角がイースト1号館の最大方位角より大きくなり、窓面西側から日照となる11月17日に検証を行った。

照合した結果を図6に示す。桃色の部分が $C_s=1$ (日照)と判定された部分である。青い破線は隣棟であるイースト1号館の底の影の輪郭である。本研究では、隣棟の底の影は考慮していないため、影の境界線は青い実線とした。

8月30日は、窓面上部に日が当たり始めてから、太陽が窓面の背面に動き、再び全面影となるまで正確に日照日影面を再現できた。9時30分は、4段目の窓の中心点に影の境界線が重なったため、4段目は日照と判定されている。以上より、



図5 形態係数算出プログラム精度検証

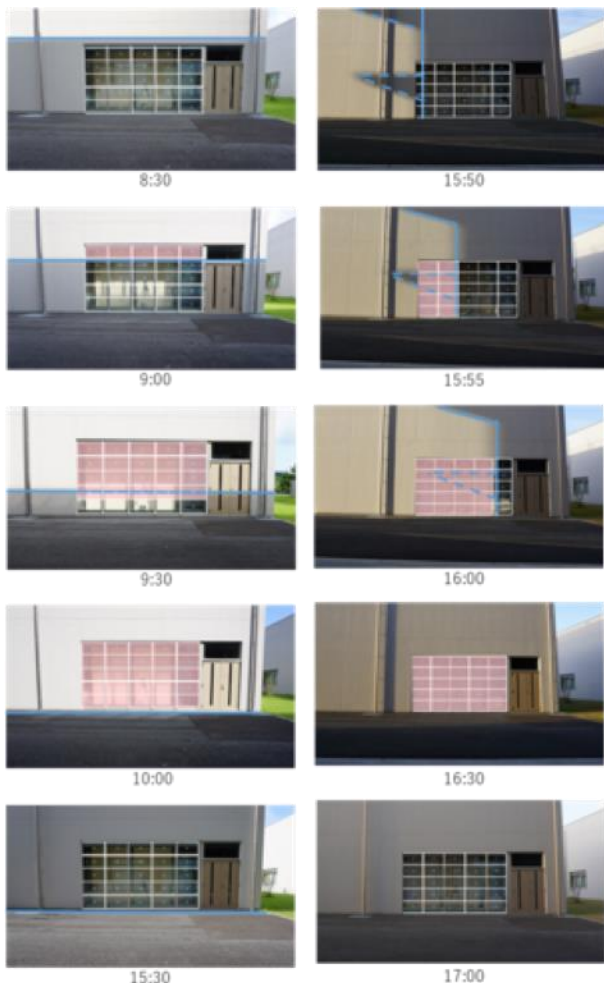


図6 日照日影面の照合(左8月30日,右11月17日)

太陽高度角の変化による日照日影面の再現性を確認した。

11月17日も同様に、17時頃の日没時刻まで日照日影面を正確に再現できていることが分かる。15時30分は、西から1列目の窓の中心点に影の境界線がまだかかっていないため、これらの窓は日影と判定されている。以上より、太陽方位角の変化による日照日影面の再現性を確認した。

### 3. 室内温度の再現性の検証

図7に示す外気相当空間の室温の実測値と計算値との比較をし、隣棟の影響を考慮した場合の再現性を検証した。

#### 3.1 実測条件

実測条件を表1に示す。室温は室中央付近で計測した。本室は南側に大面積の窓を有し、窓や扉は気密性が高い。さらに、隣室との間仕切り壁に断熱材を貼付している。したがって、日射で室温が大きく上昇する仕様となっている。

#### 3.2 計算条件

THERBでの計算条件を表2に示す。外気相当空間とその隣室をモデル化した。また、式(1)-(4)を表3のように段階的にTHERBに組み込み計算した。本報ではCase1,3,5の結果を示す。なお、地物表面温度は外気温に等しいと仮定した。

表3に外気相当空間窓面における天空をみる形態係数の値を示す。窓面はw1からw25に分割されており、それぞれの中心点での値である。それぞれの地物をみる形態係数の値は1から天空をみる形態係数の値を引くことで求められる。

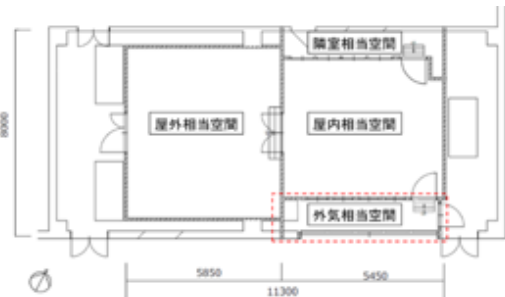


図7 環境試験室平面図

表1 実測条件

項目	実測条件
測定対象	環境実験棟外気相当空間
測定期間	2021年 8月6日~8月11日 9月10日~9月16日
測定間隔	1分
測定項目	環境実験棟2階ベランダ 気温湿度 外気相当空間 室温 環境実験棟屋上 全天日射量

表2 計算条件

項目	計算条件
計算地域	福岡(北緯33度59分,東経130度22分)
外気条件	温湿度・全天日射量 実測データ 風向・風速 拡張アメダス気象データ
精度検証項目	外気相当空間室温

表3 計算ケース一覧

ケース	隣棟影響を反映させる項目
Case1	ID(直達日射)
Case2	ID, IS(天空日射)
Case3	ID, IS, IR(地物反射による日射)
Case4	ID, IS, IR, $q_s$ の $J_N$ (夜間放射)
Case5	ID, IS, IR, $q_s$ の $J_N, q_s$ の地物による放射

### 3.3 実測値と計算値との比較

外気相当空間窓面中心点における隣棟の正射影と太陽位置図を図8に示す。紫色の部分で隣棟の正射影であり、橙の線が太陽軌道である。太陽が紫色の部分にあるとき、計算点は影となる。図9に、早朝、10時頃からそれぞれ日射が当たる8月、9月の室温の実測値と計算値を示す。

図9の室温(実装なし)は、従来のTHERBの計算結果である。一貫して室温が実測よりも高い。昼の日射熱取得が大きく、高断熱の室仕様により、夜になっても室温が下がりきらない結果となった。

#### 3.3.1 直達日射の影響

図9の室温(Case1)は、式(1)から(4)の隣棟が温熱環境に及ぼす影響の内、式(4)のみに隣棟の影響を反映させた場合である。8月は隣棟の影となる時間がないため、従来の結果と一致している。しかし、9月の午前中から直達日射量の多い日は、従来の計算結果よりも実測と比較した室温のずれが最大で7°C程度改善された。これは、7時ごろから10時頃までの3時間に低高度から入射する直達日射を隣棟が遮る実現象を反映したことで午前の急激な温度上昇を抑えた結果だと考えられる。

#### 3.3.2 天空日射、地物反射による日射の影響

図9の室温(Case3)は、式(1)(2)と(4)に隣棟の影響を反映させた場合である。直達日射のみを考慮した場合に比べ、8月、9月ともに最大で5°C程度室温が低下した。地物をみる形態係数が増加したことで、地物反射による日射量 $IR$ は増加する。しかし、天空をみる形態係数が減少したことで、天空日射 $IS$ は減少する。 $IR$ の増加分よりも $IS$ の減少分の方が大きく、これらの和が減少したため室温の計算値は低下した。

現段階では、地物全面に直達日射が当たっていると仮定し、地物が直達日射を反射することによる日射量を計算している。しかし、実現象では日影となっている地物部分も存在するため、これを加味すると計算結果による室温は僅かに減少すると考えられる。

#### 3.3.3 夜間放射、地物による放射の影響

図9の室温(Case5)は、式(1)(2)(3)(4)全てにおいて、隣棟の影響を反映させた場合であるが、Case3のグラフとほぼ一致している。天空をみる形態係数が減少したことで、式(3)中の夜間放射量 $J_N$ による減少分は小さくなる。しかし、地物をみる形態係数が増加したことで、地物表面温度が外気温に等しいと仮定して計算した式(3)第3項の地物との放射による減少分が大きくなる。よって、これらが相殺されグラフに大きな変動はみられなかった。

さらに現段階では、地物表面温度が外気温に等しいと仮定したため、式(3)第3項において、この項の値が正となる表面温度の地物から得られる熱量、負となる表面温度の地物によ

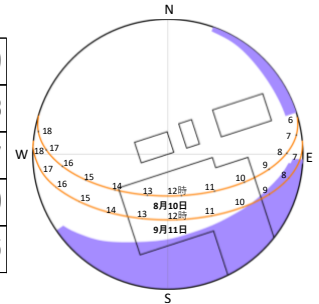
り奪われる熱量が計算に反映されていない。したがって式(1)~(4)の隣棟の影響をすべて考慮しても、実測室温との誤差が生じていると考えられる。

### 4. 結び

本研究では、隣棟を考慮した形態係数算出と日影判定を行うプログラムをTHERBに組み込み、高精度な温度計算が可能か、実測と比較して解析を行い、その影響を解明した。日射と隣棟の影響を大きく受ける部屋の温度を計算する際に実装なしよりも高精度に実測値を再現できることを確認した。今後は、隣棟や地面などの地物からの影響を詳細に検討していくことが課題である。

左：表4 外気相当空間窓面の天空をみる形態係数の値

w21	0.277	w22	0.299	w23	0.321	w24	0.338	w25	0.349
w16	0.261	w17	0.283	w18	0.305	w19	0.321	w20	0.338
w11	0.244	w12	0.272	w13	0.294	w14	0.310	w15	0.327
w6	0.233	w7	0.255	w8	0.277	w9	0.299	w10	0.310
w1	0.222	w2	0.244	w3	0.266	w4	0.288	w5	0.305



右：図8 隣棟の正射影と太陽位置図

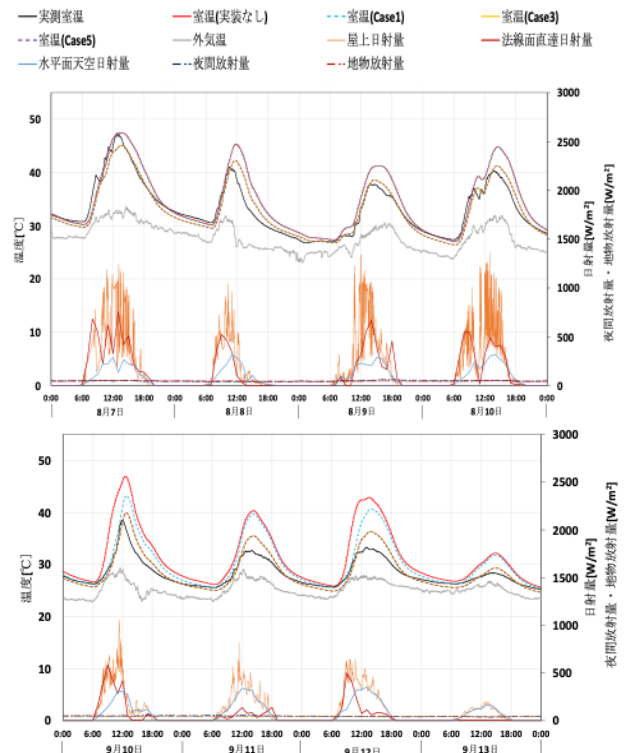


図9 外気相当空間室温の実測値と計算値

#### 参考文献

- 樋口佳樹、宇田川光弘、佐藤誠、木村健一 (2001) 建築屋外における日射と長波長放射の計算モデル: 周辺環境を考慮した住宅の熱負荷シミュレーションに関する研究 その1、日本建築学会計画系論文集 66巻 (2001) 544号
- 日本建築学会編：日照の測定と検討 (日本建築学会設計計画パンフレット 24)、彰国社、1977
- 高木幹夫・下田陽久監修：画像解析ハンドブック、東京大学出版会、1990