GIS データを利用した寒冷地住宅の暖房負荷解析

ダイレクトソーラーゲイン効果に作用する周辺建物の影響の把握

ANALYSIS ON HEATING LOAD IN HOUSING IN COLD CLIMATE AREA BY USING GIS DATA

Influence of buildings around a site on direct solar gain

大沢 飛智*, 森 太郎**, 濱田 裕章***,
緒形 浩佑****, 羽山 広文*****, 菊田 弘輝******Hisato OSAWA, Taro MORI, Hiroaki HAMADA,
Kosuke OGATA, Hirofumi HAYAMA and Koki KIKUTA*

Direct solar heat gain (hereafter DSHG) is expected to decrease heating energy consumption of housings with airtightness and thick insulation in northern region. It is important to calculate precise solar heat gain through window, since the values influence on the strategy whether we should use DSHG or not. In this report, we suggest the method to calculate solar radiation in a site where build a building. Then the relationship between thermal environment and heating energy is analyzed by using the climate data combined with GIS data. The results identify that southern sky factor is able to explain an effect of DSHG.

Keywords : *Direct solar heat gain, GIS data, Southern sky factor, Heating load*

ダイレクトソーラーゲイン, GISデータ, 南側天空率, 暖房負荷

1. 研究の背景と目的

近年、環境問題が世界的な課題となり、日本でも分野を問わず省エネルギーを意識した商品開発や社会行動が求められている。建築の分野では断熱性・気密性の向上、アクティブおよびパッシブエネルギーの利用等による建物の省エネルギー化、省コスト化がすすめられている。寒冷地である北海道では新築住宅が高い断熱性・気密性を有しており、さらなる省エネルギー化を目的としたダイレクトソーラーゲイン（以降、DSHGとする）による暖房負荷の抑制に期待がされている。

他方で、2013年の省エネ法改正¹⁾により建築物の省エネルギー評価が変更され、算定プログラムを用いた一次エネルギー消費量で行われるようになった。しかし、このプログラムでは建築の周辺環境が考慮されていないため、都市形状や地形によりエネルギーの予測値と現実に大きな誤差が生じる。このような誤差はDSHG設計時の判断を誤らせてしまう可能性がある。昨今、寒冷地では住宅の断熱性能を向上させるのは当然であり、そのような流れの中であって窓の性能は良くなったと言っても壁の性能には及ばず、DSHGによっ

て暖房エネルギー消費量を減少させようとする、壁の代替として断熱性能の劣る窓を用いることになるため、評価の誤りは単に効果が得られないだけでなく、かえって暖房エネルギー消費量を増加させることになる。したがって、本報告ではGISデータを用いて、DSHGを用いた時に十分な効果が得られる敷地はどのような場所なのかを明らかにすること、また、それを簡便に評価する方法の作成を目的としている。

既存の研究では萩島ら²⁾は3次元理想街路の放射モデルを構築し、ケーススタディを行うことで隣棟間隔、壁面の日射反射率、ガラス面積率等の因子が窓面入射日射量に及ぼす影響を明らかにした。また、宇田川ら^{3)~9)}は周辺建物の影響を考慮した建物の外表面が受ける日射・長波長放射計算プログラムを作成、EESLISMに移植し、複雑な戸建住宅における精度の検証、建物密度・方位による暖冷房負荷の影響を検討した。高木ら^{10)~15)}は数値シミュレーション及び観測により、単体及び複数の建物の温熱環境評価を基に、野外風・温熱環境シミュレーションを核とした都市気候評価システムKaUCESを開発した。海外の研究ではRuey-Lung Hwangら¹⁶⁾が商

* 北海道大学大学院工学院 修士課程

** 北海道大学大学院工学研究院 准教授・博士(工学)

*** (株)NTT ファシリティーズ

**** (株)大林組

***** 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

***** 北海道大学大学院工学研究院 助教・博士(工学)

Grad. Stud., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

Assoc. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

NTT Facilities Inc.

Obayashi Corporation

Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

Assis. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

店街の熱環境を実測により調査し、その空間内に形成される陰影が季節及び1日の変化において熱環境に与える影響を検討した。また、J.Stroman-Andersen¹⁷⁾は都市の道路幅に対する高さの比と建築物の外皮表面の日射反射率を因子として、建物の熱環境とエネルギー消費に関する影響を検討した。これらの研究は外部環境が建物内外の熱環境に影響し、設計において十分に考慮すべき要因であることを証明すると同時に外部環境を考慮したシミュレーション手法の提案を行っている。

しかし、これらのシミュレーション手法は3Dモデリングを用いて外部環境を再現しシミュレーションを行うため、計算負荷が大きく、多くの時間を必要とする。そこで本研究では計算時間の短縮化を図り、より多くのパラメトリックスタディを行うため、GISデータより抽出した敷地周辺の建物を正射影画像で再現し、その画像より日射量を算出する手法を提案した。また、算出されたデータを用いて日射量、暖房負荷に対して外部環境が及ぼす影響を検討した。

GIS(Geographic Information System:地理情報システム)とは地勢、建築物、生物や植物の生態分布等のデータベースを位置・空間情報を基に整理することで、情報を視覚的に表示し、従来よりも高度な分析を可能にしたシステムである。2007年に地理空間情報活用推進基本法制定以降、国土地理院¹⁸⁾が中心となってGISの活用を推進する取り組みが全国で行われており、国土地理院より提供される基盤地図情報を用いることで、全国の地理情報を容易に把握することができる。基盤地図情報とは国土交通省令で定めるものの位置情報(公共施設の境界線、測量の基準点等)の13項目が整理された電子地図のことで、国や地方公共団体、民間事業者等が新たに地理空間情報を整備する際に位置の基準として用いることが可能である。また、より詳細な情報として都市計画基礎調査データがあり、これは都市計画の基礎資料として各市町村が5年ごとに行う調査のデータである。本研究では基盤地図情報の標高情報と、北海道より提供を受けた都市計画基礎調査データの建物の基本情報を用いた。

2. GISデータを利用した日射量解析手法

2.1 概要

GISデータより取得した建物の情報をもとにシミュレーションの対象とする敷地の周辺環境を正射影画像で再現することで、その地点に入射する日射量を算出する手法の提案を行った。また、対象とするエリア内の敷地で取得可能な日射量の特徴を検討した。

図1 対象エリア

図2 正射影画像作成図

図3 正射影画像

2.2 対象エリア

本報告では北海道大学の東に存在する572件の建物を計算の対象とした。図1に枠線で囲んだ対象エリアを示す。このエリアに存在する住宅は1~2階建ての住宅が全体の41%, 3~5階建ての住宅が30%, 6~9階建ての住宅が14%, 10階建て以上の住宅が15%存在している^{注1)}。低層の建築(1~2階建て)の件数が最も多いが、中層・高層の建築(3階建て以上)も少なくない件数が存在している。また、エリア内には周辺の日射環境に大きく影響を及ぼす40階建ての建物も存在していることから、各地点ごとに取得可能な日射量が大きく変化することが予想される。

2.3 日射量算出プロセス

2.3.1 正射影画像の作成

正射影画像を作成する手順は以下の通りである。

1) 建物情報の取得

計算対象とする地点は既存の建物の重心座標を参考にした。都市計画基礎調査データより対象とする建物(対象建物と称す)を抽出し、重心座標を求めた。さらに重心座標を中心とした半径R未満の建物(周辺建物と称す)を抽出し、それらの重心座標と外周線の座標、建物の階数を求めた。

2) 地表面、建物高さの標高の付加

重心座標を基に対象建物は基盤地図情報より地表面の標高を取得し、周辺建物は1階を4m, その他の階を3mとして建物高さを設定した。

3) 建物の投影

図2のような対象建物の重心座標Oを原点とした半球体が存在する座標系を想定した。半球体の底面は地表面とした。また、正射影画像の半径は250pxとした。建物の1頂点Qの座標を(x, y, z)としたとき、OとQの距離をLとすると、線分OQと半球面の交点Q₁より正射影画像上に投影した点Q₂は以下の式で示される。

$$Q_2 = \left(\frac{x}{L}, \frac{y}{L}, 0 \right) \quad (1)$$

Q₂: 正射影画像上に投影された建物の頂点[-]

L: 建物の頂点と対象建物の重心の距離[m]

x: 建物の頂点のx座標[m]

y: 建物の頂点のy座標[m]

建物の射影は各壁面の外周線を1m間隔で分割したのち式(1)より正射影画像上の座標を求め、各点をつなげた。上記の手順で周辺建物を正射影画像上に射影した。図3に正射影画像を示す。

2.3.2 日射量の算定

元となる気象データは拡張アメダス気象データ(札幌)を参考とした。日射量の算定の手順は以下の通りである。

1) 正射影画像の作成(2.3.1参照)

2) 天空率の算出

正射影画像は円内の黒色の部分が天空、それ以外が障害物となっている。天空部分のピクセル数をN_{sky}, 円内のピクセル数をN_{all}とすると天空率R_sは以下の式で示される。

$$R_s = \frac{N_{sky}}{N_{all}} \quad (2)$$

R_s: 天空率[-]

N_{sky}: 天空部分のピクセル数[px]

N_{all}: 円内のピクセル数[px]

3) 法線面直達日射量の把握

法線面直達日射量は正射影画像上に挿入される太陽位置に障害物が存在するか否かによって判断した。図2の Q を太陽、 A を太陽方位角 A_1 、 h を太陽高度 h_2 とすると、正射影画像上の投影される太陽位置 Q_2 の座標は以下の式で示される。

$$Q_2 = (\cos h_2 \sin A_1, \cos h_2 \cos A_1, 0) \quad (3)$$

Q_2 : 正射影画像上に投影された太陽位置[-]
 A_1 : 太陽方位角[°]
 h_2 : 太陽高度[°]

太陽位置 Q_2 の画素値を読み取り、黒色の場合のみ気象データの直達日射量をそのまま利用した。

4) 拡散日射量の算出

拡散日射量は気象データの拡散日射量に天空率を乗じて算出した。

2.3.3 解析範囲の検討

重心座標を中心とした半径 R (解析範囲と称す)の変化が日射量に与える影響について検討するため、対象とする敷地内より3街区を選択し、その街区内の全地点について、解析範囲を50mから400mまで50mごとに正射影画像を作成し、それぞれの日射量を算出した。図4に算出された結果を示す。縦軸は解析範囲が最も広い400mの場合に算出される年積算日射量と横軸に示した解析範囲の場合に算出される年積算日射量の差を示している。図内の線は1本ごとに1地点の差を示している。また、各解析範囲の差の最大値を図中に示す。

図4より解析範囲が50mの場合、日射量の差は建物ごとに異なり、最大で172.4kWh/m²となった。解析範囲が伸長するごとに日射量の差は減少し、解析範囲が200m以上になると、日射量の差は1.4kWh/m²以内に収まった。

以上のことから解析範囲が200mより伸長すると算出される取得日射量の変動は非常に小さくなることが示された。そのため、本報で対象にしたエリアでは解析範囲を200mに設定することで最小の計算負荷で正確な日射量が算出されると考えられる。今回の検討は札幌市を対象として行っているため、札幌市において有効であり、別の地域で本手法を利用する場合、再度解析範囲を検討する必要がある。

2.3.4 精度の検証

作成したデータの精度を検証するために、EnergyPlus¹⁹⁾を用いて対象建物の解析範囲200m以内の周辺建物の形状を再現し、建物の重心位置(高さは地表面)に測定位置を設置して時刻ごとの日射量を求め、本手法を用いて得られた時刻毎日射量との比較を行った。対象建物が存在する地点として天空率が0.25の地点Aと0.75の地点Bとした。図1に地点A,Bを示す。期間は1年間とし、1時間ごとに水平面全天日射量を算出した。図5に作成したデータをデータA、EnergyPlusより算出された結果をデータBとして示す。

図5よりRMSEは地点Aが33.4Wh/m²、地点Bが42.1Wh/m²となった。対して、算出された時刻毎水平面全天日射量の最大値は地点Aが約500Wh/m²、地点Bが約850Wh/m²であるため、時刻毎水平面全天日射量の最大値に対するRMSEの値は地点Aが約7%、地点Bが約5%であることが示された。また、年積算水平面全天日射量に対する誤差も地点Aは約4%、地点Bは約5%であり、年間の暖房負荷計算

図4 解析範囲毎の年積算水平面全天日射量の差(各半径R-半径R:400)

図5 データA(算出結果)とデータB(EnergyPlus)の相関性

図6 建物別全天日射量

で求められる有効数字2桁の精度からすれば十分な精度を有している^{注2)}。また、それぞれの解析に要した時間を測定した結果、EnergyPlusが30分を要することに対し、本手法では1/120の15秒となった。このことから、多くの計算パターンが必要な場合、本手法の利用が有効である。

2.4 取得日射量の検討

各建物に入射する年積算水平面全天日射量の解析を行った。図6に各建物の水平面全天日射量を求め、値の小さい建物から順に並べた持続曲線を示す。また、図内に天空率が1になる建物が取得可能な年積算水平面全天日射量を一点鎖線で示す。

図6より天空率が1になる建物の値は1.16MWh/m²となった。この値の90%を得られる建物は対象エリア内の全件に対して約2%しか存在しない。また、対象エリア内で取得可能な水平面全天日射量の最大値は約1.09MWh/m²、最小値は約0.20MWh/m²を示したことから、対象エリア内の建物で周辺に障害となる建物が存在しないと仮定してシミュレーションを行った場合、最小で0.07MWh/m²、最大で0.96MWh/m²の誤差が生じると考えられる。以上より対象建物が取得可能な日射量は外部環境に大きく影響されることが示された。このため太陽エネルギーの利用を検討する場合、外部環境を正確に把握する必要がある。

3. 暖房負荷解析

3.1 概要

前章では建物の取得可能な日射量は外部環境の影響により大きく変化することが示された。本章では取得可能な日射量の多寡が暖房負荷の変化に及ぼす影響を検討した。

対象とする敷地は地点Aと地点Bとし、寒冷地住宅を参考にしたモデルの暖房負荷を算出した。シミュレーションではEnergyPlusを利用し、気象データは拡張アメダス気象データ（札幌）を利用し、直達日射量、拡散日射量に関して前章の方法を適用した。

3.2 モデルの概要

モデルは札幌市に存在する寒冷地住宅のリビングを想定し作成した。図7と表1、2、3にモデルの概要を示す。札幌市に存在する戸建ての1フロアの面積の平均は約60m²注3)となった。そのためモデルの面積は1フロアの平均面積から諸室を引いた値として50m²とした。また、室内に侵入する日射量の多寡は敷地の周辺環境の他に、建

図7 モデルの平面図、断面図、立面図

物の窓の断熱性能や面積の広さに影響を受けるので、窓面積別に3case、断熱性能別に4caseを想定した。そのため、合計12caseのモデルのシミュレーションを行った。窓の熱貫流率、日射透過率はWINDOW7.2²⁰⁾を用いて算出した。また、夜間は窓からの直接の熱損失を緩和させるために、室内側に0.36m²K/Wの熱抵抗を加えた（断熱ブラインドを想定）。

3.3 解析結果

図8に1/17の南壁面と窓の室内側の表面温度の時系列変化を示す。凡例は「部位名－窓の構成材料の名称」と表現する。

図8より6:00～7:00と20:00～21:00の時間帯で窓の表面温度が変化しており、EEの窓では約10℃の温度差が発生している。これはブラインドの開閉が上記の時間帯で設定されていることから、算出された表面温度が夜間はブラインドの表面を示し、日中は窓の表面を示したことが原因と考えられる。この結果より、ブラインドと窓の表面温度の差により結露が発生する可能性があることが示された。そのため、EFFやEEFのように断熱性能を向上し、ブラインドと窓の温度差を小さくする対策が必要である。南壁面、および窓の表面温度の推移に注目すると夜間は両地点で同様の推移をしているが、日中は地点Bで南壁面が約36℃、窓が38℃の表面温度に達している。

表1 部位の構成材料

部位名	材料名	熱伝導率[W/m・K]	厚さ[m]	熱貫流率[W/m ² ・K]
外壁	GW32K	0.036	0.20	0.17
	Plywood	0.129	0.02	
屋根	Plywood	0.129	0.02	3.23
天井	GW32K	0.036	0.40	0.09
	Plywood	0.129	0.20	
床	Plywood	0.129	0.02	3.23
基礎	Concrete	0.900	0.10	3.76

表2 窓の構成材料

名称	構成	厚さ[m]	熱貫流率[W/m ² ・K]
FF	FL6+A6+FL6	0.018	3.11
EE	Low-e6+A6+Low-e6	0.018	1.739
EFF	Low-e6+A6+FL6+A6+FL6	0.030	1.790
EEF	Low-e6+A6+Low-e6+A6+FL6	0.030	1.521

*A:乾燥空気, FL:フロートガラス, 数値は厚さ[mm]を示す。

表3 シミュレーションの設定

暖房設定温度[℃]		換気回数[回/h]			内部発熱[W]		ブラインド
部屋	小屋裏, 床下	小屋裏	部屋	床下	人体発熱	機器発熱	閉
20 (6:00～22:00) 15 (22:00～6:00)	暖房なし	10	0.5	0	400 (18:00～8:00) 100 (8:00～18:00)	240 (6:00～22:00) 60 (0:00～24:00)	20:00～6:00

図8 南壁面及び窓の室内側表面温度の時系列変化(1/17)

図9 暖房負荷及び室温の時系列変化 (1/17)

図9に暖房負荷と室温、外気温の時系列変化を示す。図10に2地点の日積算暖房負荷を窓面積別に示す。凡例は「地点-窓の構成材料の名称」と表現する。

図9、図10より、地点Aでは窓面積が広いほど暖房負荷が増加する傾向がある。これは地点Aでは取得日射量が少ないため、窓面積の拡大が暖房負荷の抑制に貢献しなかったからだと考えられる。対して、地点BではEFF、EEFの暖房負荷が窓A>窓C>窓Bの順に多くなった。これは高い天空率による取得日射量の増加と窓面積の拡大と壁面積の縮小に伴う、壁体全体の断熱性能の低下による熱損失量の増加が原因だと考えられる。そして、3つのモデルの中で熱の取得量が損失量を最も大きく上回る窓面積を有するモデルは窓Bだったと考えられる。以上より、窓Aから窓Cに窓面積を広げていくとある面積から暖房負荷の抑制効果が低下すると考えられる。

4. 南側天空率を用いたダイレクトソーラーゲイン効果の分析

4.1 概要

前章で日射量の多寡により、暖房負荷に違いが生じることが確認できた。本章ではシミュレーションの対象エリア内の全建物で行い、さらに新たに定義した南側天空率により日射量と暖房負荷の関係をより詳細に検討した。

図10 窓別日積算暖房負荷 (1/17)

4.2 南側天空率の定義

南側天空率とは正射影画像の南側半円の天空率を示す言葉として定義しているため、南側から入射する日射量の指標として利用できる。南側の天空部分のピクセル数を N_{ssky} 、南側天空率を R_{ss} とすると以下の式で示される。

$$R_{ss} = \frac{2N_{ssky}}{N_{all}} \quad (4)$$

R_{ss} : 南側天空率[-]

N_{ssky} : 南半分に存在する天空部分のピクセル数[px]

DSHGを利用する住宅はより多くの日射量を取得するために、南壁面に窓を設置することが多い。そのため、南側天空率は暖房負荷との相関性が天空率よりも高いことが予想される。

4.3 天空率と南側天空率の比較

天空率と南側天空率を比較するため、図11に天空率および南側天空率を0.1ごとに分割し、各範囲の値を有する件数を100%積み上げ棒グラフで示す。また、図12に窓がFFのモデルの暖房負荷と天空率、または南側天空率の関係を示す。図12の1プロットはエリア内の建物が存在する地点でモデルのシミュレーションを行い、算出された年積算暖房負荷を示している。後述の図13、図15～17も同様である。

図11より全体の件数の内、天空率の値が0.5以上0.8未満を示す件数は約70%存在し、南側天空率の値が0.5以上0.8未満を示す件数は約60%存在した。また、その他の範囲の値を有する件数は天空率よりも南側天空率の方が多いことが示された。南側天空率は正射影画像の南半分に計算対象を狭めているため、南側の建物の階数の増減による数値の大小が天空率よりも大きく変化する。そのため、南側天空率は天空率より値が分散したと考えられる。図12より天空率または南側天空率と暖房負荷には相関性があり、天空率よりも南側天空率の方が高い相関性を示した。これは南壁面に入射する日射量が窓から室内に侵入することで暖房負荷の抑制に大きく貢献したからだと考えられる。

以上より南側天空率と暖房負荷に相関性を確認することができ、天空率よりも高い相関性があることを示した。そのため、これ以降の暖房負荷の検討には南側天空率を用いる。

4.4 南側天空率と暖房負荷の関係

図13に窓がFFのモデルを除くモデルの暖房負荷と南側天空率の関係を示す。図12、13よりFF、EEのモデルに注目すると南側天空率に関わらず、狭い窓面積を有するモデルほど算出されたデータ群が下方に表示された。EFF、EEFのモデルに注目すると約0.9以上の南側天空率で窓Bのデータ群が最下方に示された(以降、窓Bの暖房負荷が窓Aの値より小さくなった時の南側天空率を交差値と称す)。これらのことより南側天空率が高い地点では窓の断熱性を向上することで、暖房負荷の抑制効果が確認できる。ただし、窓Cのデータ群が窓Bより上方に存在したことから南側天空率ごとに暖房負荷を最小にする窓面積の広さが存在すると考えられる。

4.5 条件別の暖房負荷の検討

4.5.1 条件の設定

日射量の多寡や室内の熱環境に影響を与える要因は外部環境や窓(窓面積、断熱性)の他にも存在しており、それらは暖房負荷と南側天

図12 暖房負荷と天空率、または南側天空率

図13 暖房負荷と南側天空率(窓別)

空率の関係に変化を及ぼすことが予想される。そこで、それらの要因を変化させた3つの条件のシミュレーションを行った。シミュレーションでは窓がEEFであるモデルを利用した。以下に変更した条件を示す。また、表4に各条件をまとめた。

i) 気象条件の変更

気象条件は地域によって異なり、日射量の多寡に影響を及ぼす。そこで、札幌市よりも日射量が多い釧路市の気象条件でシミュレーションを行い、暖房負荷と南側天空率の関係の変化を検討した。この条件をcase2とする。図14に札幌市と釧路市の日射量と気温を示す^{注4)}。また、図15に算出された暖房負荷と南側天空率の関係を示す。ただし、case1は図13のEEFを参考にする。

ii) 内部発熱の変更

室内の熱環境に影響を及ぼす要因として内部発熱が存在する。そこで、内部発熱による影響を検討するため、内部発熱を0に設定したシミュレーションを行った。この条件をcase3とする。図16に算出された暖房負荷と南側天空率の関係を示す。

iii) モデルの方向の変更

室内に侵入する日射量の多寡は方角により変化することが予想される。そこで窓を設置している壁面が南東、または南西に向くようにモデルを平面上で東、または西に45° 傾け、シミュレーションを行った。東と西に傾けたモデルのシミュレーションをそれぞれcase4、case5とする。図17に算出された暖房負荷と南側天空率の関係を示す。

4.5.2 シミュレーション結果

全caseのシミュレーション結果を以下に示す。

i) 図15に注目するとcase2の暖房負荷はcase1の値よりも全体的に増加したが、case2の交差値はcase1よりも低い地点で確認できた。釧路市は札幌市よりも気温が低いので暖房負荷が増加したが、取得できる日射量は札幌市よりも多いため、南側天空率が高い地点では暖房負荷の増加が抑えられ、交差値が低くなったと考えられる。

以上より札幌市の気象よりも気温が高く、日射量が多い地域であれば、交差値が低下するため、広い窓面積を持つ建物に暖房負荷の抑制効果が期待できる。

表4 シミュレーション条件

case名	case1	case2	case3	case4	case5
外気温	札幌	釧路		札幌	
日射	札幌	釧路		札幌	
内部発熱	あり		なし	あり	
南壁面の向き	南			南東	南西

図14 月積算日射量と月別平均外気温

ii) 図16に注目するとcase3の暖房負荷がcase1の値よりも全体的に増加し、交差値は0.62を示した。これは内部発熱を0にすることで、室内で発生する熱がなくなり、全体的に暖房負荷が増加したと考えられる。特に窓面積が小さいモデルほど保温される熱は多くなっていたため、内部発熱を0にすることによって増加する暖房負荷の影響が大きくなり、交差値が低くなったと考えられる。

図15 暖房負荷と南側天空率(case2:釧路市)

図16 暖房負荷と南側天空率(case3:室内発熱=0)

図17 暖房負荷と南側天空率(case4, 5°方角別)

図18 暖房負荷と南側天空率(case5, 5°方角別)

以上より建物の内部発熱が少ない場合、窓面積を拡大することで日射取得による暖房負荷の抑制が期待できる。

iii)図13, 17よりcase1とcase4の暖房負荷はおおよそ同じ値を示した。case5の暖房負荷は南側天空率が高くなるほどcase1の暖房負荷よりも値が増加した。原因は2つ考えられ、1つは使用した札幌市の気象データの日射量は午後よりも午前の方が多くなっていること、もう1つは札幌市の街区が基盤目状に配置されており、東西になっている道路が多くかつ東西の軸が西南西から東北東に向かうように若干ずれているため、対象建物の南西側に日射を遮蔽する建物が多く存在したことが考えられる。

以上より建物の向きの方位の変化が暖房負荷に影響することが確認できた。そのため、建物の向きの方位に合わせた窓面積の大きさを十分に検討する必要がある。

5. 総括

- 1)本研究ではDSHGを正当に評価するためにGISデータを用いて外部環境を考慮した日射解析手法を提案し、札幌市に存在する572件の建物の日射量を算出した。また、詳細に建物を再現した解析結果と比較して、提案した手法の有用性を確認した。
- 2)建物が取得可能な日射量は場所ごとに大きく変化するため、太陽エネルギーを利用する際、対象建物の周辺環境が取得可能な日射量に与える影響を検討する必要がある。
- 3)天空率が異なる2地点の暖房負荷解析を行い、暖房負荷と室温、表面温度の時系列変化を算出した。天空率が0.25の地点では窓面積の拡大により暖房負荷が増加した。天空率が0.77の地点では窓Bの暖房負荷が最小になったことから、天空率が高い地点では暖房負荷をもっとも抑制する窓面積が存在することが示された。
- 4)対象エリア内の建物全件の温熱環境解析を行い、新たに定義した南側天空率が天空率よりも暖房負荷との相関性が高いことを示した。また、南側天空率や窓の性能により暖房負荷が最小となる窓面積が存在すると考えられる。
- 5)解析条件を多様化し、暖房負荷と南側天空率を決定する要因を検討した。交差値が低下する条件として、札幌市の気象条件より外気温が高く、日射量が多い地域であること、内部発熱が少ないこと、窓を設置している壁が最も日射が得られる方角に向いていることが挙げられる。

図注1 エリア内に存在する建物の割合(階数別)

注表1 年積算日射量とデータ間の誤差

地点	年積算日射量[kWh/m ²]		誤差
	データA	データB	
地点A	197.9	189.5	8.4
地点B	938.0	983.7	45.7

- 6)今後、本報で得られた知見をもとに南側天空率ごとの窓面積を決定する要因をより詳細に検討していく。また、冷房負荷の温度を設定することで、取得日射量の上限と南側天空率の関係を検討していく。

謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究C「地域性・場所性を考慮した気象データの作成手法の構築と利用に関する研究」(代表:森太郎)、日本建設情報総合センター研究助成の補助を受けた。また、都市計画基礎調査データの提供を北海道より受けている。

また、EnergyPlusの利用に関し武政孝治氏、GISデータの利用に関して今野雅氏に貴重な意見を頂いた。記して感謝する。

注

- 注1)図注1に階数ごとに建物を分け、100%積み上げ棒グラフで示す。建物は低層の建物(1~2階)、中層の建物(3~5階)、高層の建物(6階以上)で分割しており、高層の建物は10階以上の建物もエリア内に15%以上存在していることを示すために、6~9階と10階以上の建物で分割した。エリア内の最大の階数は40階である。
- 注2)注表1に年積算水平面全日射量の誤差を示す。データAとデータBの誤差は絶対値で示している。注表1より年積算日射量に対して誤差は地点Aで約4%、地点Bで約5%となった。
- 注3)図注2は札幌市に存在する戸建てを対象として1フロアの面積が狭い建物から順に並べた持続直線を示している。1フロアの面積は延べ面積より上下階の階数を除くことで算出した。図注2のプロットが1つの建物を示している。面積が300m²以下の建物が表示されており、全件で282446件存在している。300m²より広い建物は91件存在しており、全件に対して約0.03%しか存在していない。図注2より一部に突出して広い面積を有する建物は存在するものの、面積が40~70m²である建物が全体の約70%を占めている。また、面積の平均は約60m²となった。建物の情報は都市計画基礎調査データより取得した。
- 注4)注表2に札幌市と釧路市の年積算法線面直達日射量と年積算天空日射量を示す。

参考文献

- 1)国立研究開発法人建築研究所ホームページ:住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報
<<http://www.kenken.go.jp/>>(参照 2013.11.4)
- 2)萩島理, 谷本潤, 片山忠久:周辺街区状況が壁面入射日射量に与える影響に関する系統的数値実験, 日本建築学会計画系論文集, No. 554, pp. 7~13, 2002.4
- 3)宇田川光弘:周囲環境の影響を考慮する熱負荷シミュレーションのための基礎研究, その1 基本計算モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 環境工学II, pp. 11-12, 1999.7

図注2 1フロアが有する面積(延べ面積/上下階)

注表2 年積算日射量(地域別)

	札幌	釧路
年積算法線面直達日射量[kWh/m ²]	894.4	1074.1
年積算天空日射量[kWh/m ²]	663.0	633.7

- 4) 佐藤誠, 宇田川光弘: 周囲環境の影響を考慮する熱負荷シミュレーションのための基礎研究, その2 モデル住宅における熱環境測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 環境工学II, pp. 13~14, 1999. 7
- 5) 樋口佳樹, 宇田川光弘, 佐藤誠, 木村建一: 周囲環境の影響を考慮する熱負荷シミュレーションのための基礎研究, その3 形態係数と日影計算モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 環境工学II, pp. 15~16, 1999. 7
- 6) 山本長臣, 樋口佳樹, 宇田川光弘, 佐藤誠, 木村建一: 周囲環境の影響を考慮する熱負荷シミュレーションのための基礎研究, その4 長波長放射モデルの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 環境工学II, pp. 17~18, 1999. 7
- 7) 樋口佳樹, 宇田川光弘, 佐藤誠, 木村建一: 建築屋外における日射と長波長放射の計算モデル, 周囲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, No. 544, pp. 9~15, 2001. 6
- 8) 樋口佳樹, 宇田川光弘, 佐藤誠, 木村建一: 住宅の年間暖冷房負荷からみた建物配置の検討, 周囲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2, 日本建築学会環境系論文集, No. 612, pp. 31~38, 2007. 2
- 9) 樋口佳樹, 宇田川光弘: 外部環境の影響を考慮した室温シミュレーションの検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 環境工学II, pp. 167~168, 2009. 7
- 10) 井田卓造, 田辺新一, 中野淳太, 高木賢二, 山中徹, 三浦克弘, 佐藤正章, 中江哲: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発, その1. 評価手法の概要とキャンパス将来計画への適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学I, pp. 595~596, 2006. 7
- 11) 近藤宏二, 高木賢二, 井田卓造, 中江哲, 稲生裕子: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発, その2 大学キャンパスの実測値に基づく評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学I, pp. 979-980, 2007. 7
- 12) 高木賢二, 挾間貴雅, 三浦克弘, 近藤宏二, 井田卓造: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発 その3, 複数建物を有する敷地内の屋外温熱環境観測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学I, pp. 1007~1008, 2008. 7
- 13) 三浦克弘, 高木賢二, 近藤宏二, 中村泰人: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発 その4, 複数の建物により形成される屋外環境の実測と要因の解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学I, pp. 1009~1010, 2008. 7
- 14) 挾間貴雅, 高木賢二, 山中徹, 近藤宏二, 福井三穂: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発, その5 建物群により形成される屋外環境の予測精度評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学I, pp. 995~996, 2012. 9
- 15) 高木賢二, 山中徹, 挾間貴雅, 近藤宏二, 丸山琢, 篠田秀樹: 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発, その6 半屋外空間を有する建物周辺の温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学I, pp. 997~998, 2012. 9
- 16) R.-L. Hwang, T.-P. Lin, A. Matzarakis: Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort, Build Environ vol. 46, No. 4, pp. 863-870, 2011. 4
- 17) J. Strømman-Andersen, P. a. Sattrup: The urban canyon and building energy use, Urban density versus daylight and passive solar gains, Energy Build vol. 43, No. 8, pp. 2011-2020, 2011. 8
- 18) 国土交通省国土地理院ホームページ: 基盤地図情報サイト
<<http://www.gsi.go.jp/>> (参照 2013. 11. 15)
- 19) EnergyPlusのWebサイト
<<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> (参照 2013. 11. 15)
- 20) WINDOW 7. 2のWebサイト
<<https://windows.lbl.gov/software/window/window.html>> (参照 2013. 11. 15)

ANALYSIS ON HEATING LOAD IN HOUSING IN COLD CLIMATE AREA BY USING GIS DATA

Influence of buildings around a site on direct solar gain

Hisato OSAWA *, *Taro MORI* **, *Hiroaki HAMADA* *** ,
Kosuke OGATA **** , *Hirofumi HAYAMA* ***** and *Koki KIKUTA* *****

* Grad. Stud., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

** Assoc. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

*** NTT Facilities Inc.

**** Obayashi Corporation

***** Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

***** Assis. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

Introduction

Recently, the techniques to build housings with high thermal performance and high air tightness have been developed. Direct Solar Heat Gain (DSHG) is effective to decrease heating energy in those housings. In this paper, 1st; we made the method to make the climate data by orthographic image generated by GIS. 2nd; The accuracy and the usability of the method was identified. 3rd; The thermal environments in the model were calculated by using EnergyPlus with the climate data combined with GIS data. 4th; Finally, we found that R_{ss} (sky factor on south side) is useful for investigating the effect of DSHG.

Calculation process of solar radiation

Recently, GIS has been developing. GIAJ uploads the GIS data on the web. Moreover, the prefectural government has the GIS data with the attribution of each building. In this paper, we used those data to make orthographic image at each site. The procedure of the calculation is as follows. 1st; Production of the orthographic image of the site by using GIS data is conducted. 2nd; The direct normal solar radiation and horizontal sky radiation is calculated. The direct normal solar radiation (I_{dn}) is $I_{dn}' = 0$, when the solar position on the image is covered with the obstruction in the image. The horizontal sky radiation (I_{sh}) is calculated I_{sh} multiplied by Sky factor obtained by using the image. I_{dn} and I_{sh} are direct normal solar radiation and horizontal sky radiation, respectively. 3rd; The thermal environment by using the climate data of the site is calculated.

Analysis on heat gain

The numerical simulation for DSHG was conducted by using the climate data with the GIS data. Fig. 10 shows the temperature and the heating energy on 17/1. Although, the window area is larger, the heating energy is bigger at site A (R_s (sky factor) is 0.25.), the order of the heating energy at site B (R_s is 0.77) is the case with window A > the case with window C > the case with window B. Then, generally, the larger window size means bigger heat loss. But the solar radiation through large window heat up room. It decreases the heating energy. However, the result indicated that the heat loss on the window is bigger than the heat gain with wider window area than the criteria, because the heating energy with window C is bigger than that with window B.

Numerical Analysis and Conclusion

We suggested R_{ss} as the criteria of DSHG in this report. The relationship between R_{ss} and heating energy was analyzed. Fig. 12 shows the relationship between R_s , R_{ss} and heating energy, respectively. The correlation coefficients of R_{ss} are about 0.2 higher than that of R_s . It identified that R_{ss} is suit for the criteria of DSHG. Fig. 13 shows the relationships between R_{ss} and heating energy with some window that have different thermal performance (U-value and solar transmission). Although, the approximation lines are located with the order of window size (the size of the window is smaller, the heating energy is lower) in the case with FF and EE, the lines have the intersection points in the case with EFF and EEF at $R_{ss} = 0.9$. It indicates that the effect of DSHG on heating energy is appeared at the site where $R_{ss} > 0.9$. However, the approximate line in the case with window C is higher than that in case with window B. There is the window area that minimize the heating energy.

(2015年7月10日原稿受理, 2015年11月30日採用決定)