

氏 名	よう こう 楊 光
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	東アジア諸都市における緯度の相違による建物周辺の変化 - 建物隣棟間隔と屋外温熱環境の関係の分析 -
指 導 教 員	東北大学教授 持田 灯
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 持田 灯 東北大学教授 石田 壽一 東北大学准教授 後藤 伴延 東北大学准教授 小林 光

論 文 内 容 要 旨

1. はじめに

近年、ヒートアイランドや極端気象の影響で猛暑日が増加し、アジア諸都市において毎年最高気温を記録し、熱中症による死亡者数も増加している。このような問題が生じにくい環境を形成することを目的として、屋外温熱環境制御に関する様々な研究が進められている。本研究は、都市空間内の風通しと日射遮蔽の観点から建物の配置を最適化することにより、人体への熱的影響を低減することを目的としている。本研究では、緯度の変化が建物周辺の風環境と温熱環境へ与える影響を明らかにするために、沿海都市である日本の仙台(140°52'E, 38°16'N)と中国の広州(113°33'E, 23°17'N)、上海(121°45'E, 31°40'N)と内陸都市である中国の武漢(114°13'E, 30°62'N)、北京(116°47'E, 39°80'N)、ハルビン(126°77'E, 45°75'N)を対象都市 (図-1) として、対流、放射、伝導連成解析を行った。そして、これらの都市において、緯度の相違に伴う屋外の温熱環境の変化を分析した。また、緯度の近い沿海都市と内陸都市の気候条件の相違に伴う屋外の温熱環境の変化の分析も行った。さらに、各対象都市の気候条件に最も適切な建物隣棟間隔を提案した。

本研究では、モデル化された市街地を対象とする対流・放射・伝導連成解析を市販ソフトウェアの STAR-CD V3.26 と STAR-RADX V3.02 を用いて行った。CFD による対流解析では Craft ら(1996)の 3 次元非線形 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いた。解析モデルの設定は日本建築学会の「市街地風環境予測のための流体数値解析の利用に関するガイドライン (AIJ ガイドライン)」を参考して作成した。図-2 に解析領域と建物配置を示す。建物配置と周辺の温熱環境の関係を分析するために、図-2(1)に示す解析領域内の対象領域内で、図-2(2)に示すような建物間隔の異なる 6 種類の建物配置を設けて検討を行った。各対象都市の緯度、気温の条件下で建物間隔を 10m から 60m まで変化させ、地域ごとに 6 ケース、合計 36 ケースの解析を行った。太陽高度が最も高い夏至(6/21)の日射条件と解析対象地域の典型的夏日の気温変化を用いて、24 時間の放射解析を行った (表-1)。そして、太陽高度が最も高い時刻 (12 : 00 真太陽時) における CFD 解析を行った (表-2)。

解析は以下の 3 つの Step に分けて行った。① Step1 : 24 時間の 3 次元放射解析と 1 次元伝導解析に基づき、地

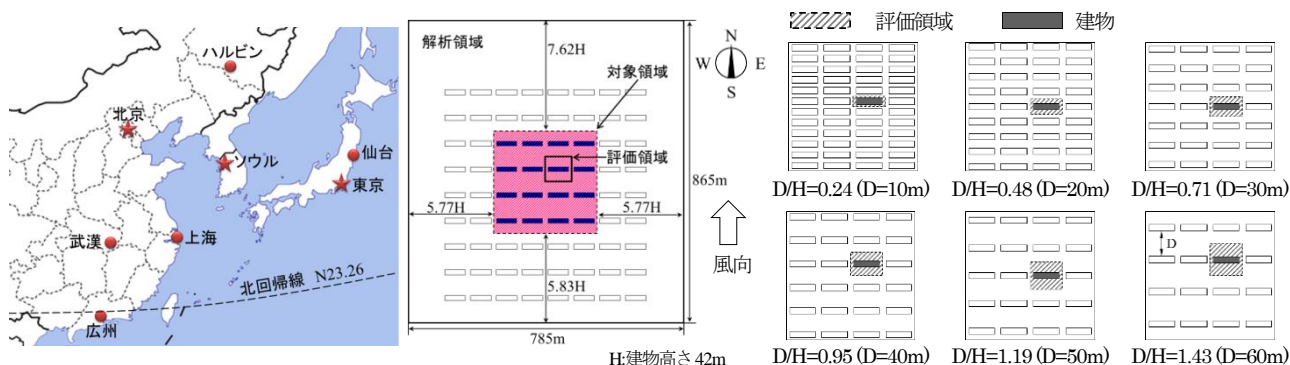


図-1 中国と日本における対象都市の位置

(1) 解析領域

(2) 対象領域における建物の配置

図-2 解析領域と建物配置

表-1 Step1 の解析条件

緯度	各都市の緯度条件
日付と時刻	6月21日 00:00~24:00 (真太陽時)
解析領域	785m(x)×865m(y)×420m(z)
計算状態	非定常状態
太陽定数	1353 W/m ²
温度	室外: 各都市の典型的夏日の気温条件(図-3) 室内: 26℃ 地中: 深さ 0.5m の伝導熱流 0 W/m ²
対流熱伝達率	室外側壁面: 12 W/m ² ·K 室内側壁面: 5 W/m ² ·K 地表面: 12 W/m ² ·K
熱コンダクタンス	建物鉛直壁: 1.04 W/m ² ·K 建物天井: 1.01 W/m ² ·K 土壌: 2.28 W/m ² ·K

表-2 Step2 の解析条件

日付と時刻	6月21日 12:00 (真太陽時)
温度	各都市の典型的夏日の 12:00 の気温条件
解析領域	785m(x)×865m(y)×420m(z)
計算状態	定常状態
乱流モデル	Suga's cubic non-linear k-ε model
流入境界	風向: 南 $\langle u \rangle: \langle u(z) \rangle = \langle u_s \rangle \left(\frac{z}{z_s} \right)^\alpha$ $\langle u_s \rangle = 2\text{m/s}, \alpha = 0.3, z_s = 10\text{m}$ $k: k(z) = (I(z) \langle u(z) \rangle)^2$ $I(z) = 0.1(z/z_G)^{(\alpha+0.05)}, z_G = 420\text{m}$ $\varepsilon: \varepsilon(z) = C_\mu^{1/2} k(z) \frac{\langle u_s \rangle}{z_s} \alpha \left(\frac{z}{z_s} \right)^{(\alpha-1)}$ $C_\mu = 0.09$
流出境界	$\langle u \rangle, \langle v \rangle, \langle w \rangle, k, \varepsilon, T$: 勾配ゼロ
側面境界 上面境界	$\langle u \rangle, \langle v \rangle, k, \varepsilon$: 勾配ゼロ $\langle w \rangle = 0$ T: 断熱
地表面境界 建物壁面境界	速度: 対数則 温度: 放射解析(Step1)の結果 6月21日 12:00 (真太陽時)
移流項スキーム	$\langle u \rangle, \langle v \rangle, \langle w \rangle, k, \varepsilon, T$: MARS
アルゴリズム	SIMPLE

表面と建物表面の非定常熱収支解析を行った (表-1)。

② Step2: Step1 の結果を表面温度の境界条件として、非等温 CFD 解析を行った (表-2)。③ Step3: 評価領域 (図-2)における Step2 の結果(風速、温度)と湿度、MRT、人間の代謝量及び着衣量を用いて、新標準有効温度 (SET*)を算出して評価を行った。

2. 論文の構成

第1章では、序論として研究の背景を述べ、既往研究の問題点を検討し、残された研究課題を分析した上で、本研究の研究目的を説明した。第2章では、本研究の解析で用いた対流・放射・伝導連成解析の基礎理論や解析の連成手法を述べた。第3章では、温熱環境の評価指標の原理と算出方法を説明した。本研究は人体熱平衡に基づいた代表的な室内温熱環境評価指標である新標準有効温度(SET*)を屋外に適用する。第4章では、対流・放射・伝導連成解析手法を用いて、中国の広州、武漢、上海、北京、ハルビンと日本の仙台の気候条件で解析を行った。まず緯度条件を縦軸として、低緯度の広州から高緯度のハルビンまで解析し、緯度が屋外の温熱環境へ与える影

響を分析した。そして、緯度の近い沿岸都市の上海と内陸都市の武漢を比較し、沿岸都市と内陸都市の屋外温熱環境の違いを分析した。さらに、各対象都市の日射量が最も多い日に太陽高度が最も高い時刻における、最適な建物隣棟間隔を提案した。代表的な解析結果を図3～図6に示す。第5章では、結語として研究成果全体をまとめ、今後の展望と課題を述べた。

3. 研究成果のまとめ

(1) 緯度が低くなるに伴い、平均 MRT (図-3) は高くなることがわかる。しかし、太陽が直上に位置する緯度に近い地域では MRT が減少する。北京と仙台のような緯度の地域では、建物間隔が短くなるに伴って MRT は単調に減少し、温熱環境が改善されるのに対して、広州、武漢と上海のような緯度の地域では、建物間隔の減少によって温熱環境を改善することがあまり期待できない。ハルビンのような相対的に高緯度の地域では、日陰面積が広がるので、建物間隔を変更することによる温熱環境調整の自由度が相対的に高い。

(2) 緯度の近い沿岸都市と内陸都市を比較すると、沿岸都市では風速が高い上、海風により気温が低く、風通しによって温熱環境を改善できると考えられる。一方、内陸都市では、風速が低い上、気温と MRT も高く、風通しによって温熱環境を改善することがあまり期待できないので、日射対策を良くしなければならない。

(3) 風速等の他の気象要素と比べて、MRT が建物周辺の歩行者レベルの SET*に最も大きな影響を及ぼす。そして、建物鉛直壁面の表面温度は建物周辺の歩行者レベルの MRT に比較的大きな影響を及ぼす。これを低下させることができれば、屋外の温熱快適性を効果的に改善することが可能であることが分かる。

(4) 建物周辺の風速分布 (図-4) を比較すると、建物間隔が減少するのに伴い、建物周辺の高風速域と低風速域の風速差が顕著となる。一方、建物間隔が増大するのに伴い、建物周辺の風速が相対的に均等になる。

(5) 各都市の緯度に最も適切な建物隣棟間隔の評価結果は以下のようになる。

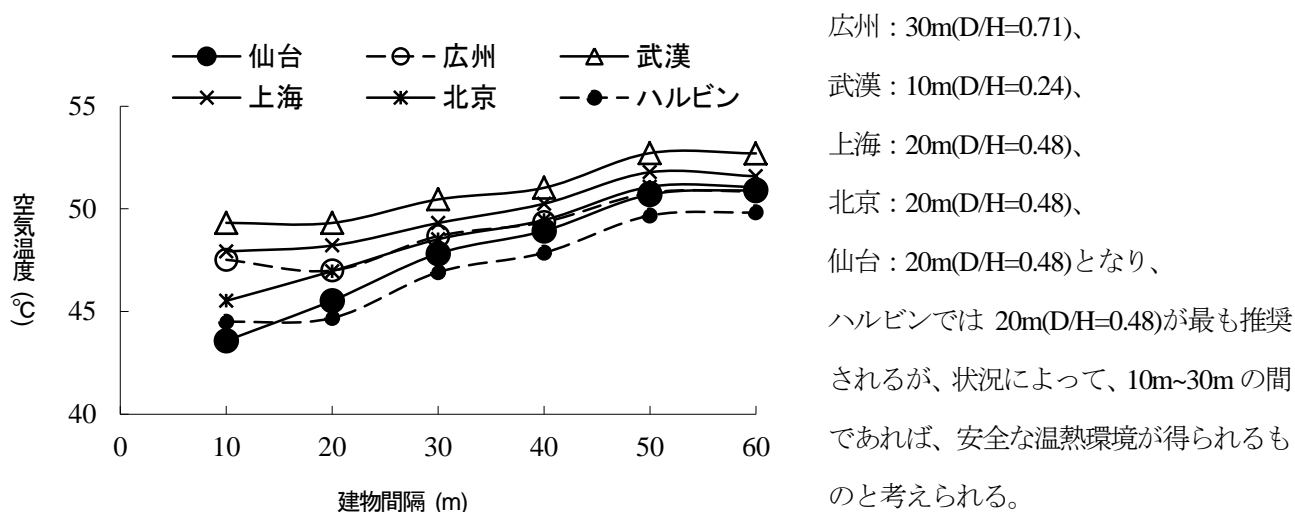


図-3 各都市の平均 MRT (6月21日 12:00 真太陽時)

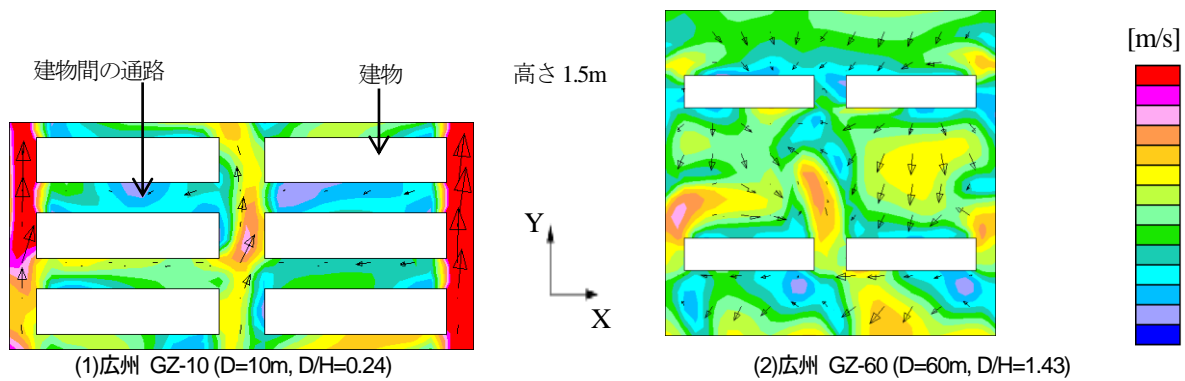


図-4 広州における建物周辺の風速の分布 (6月21日 12:00 真太陽時)

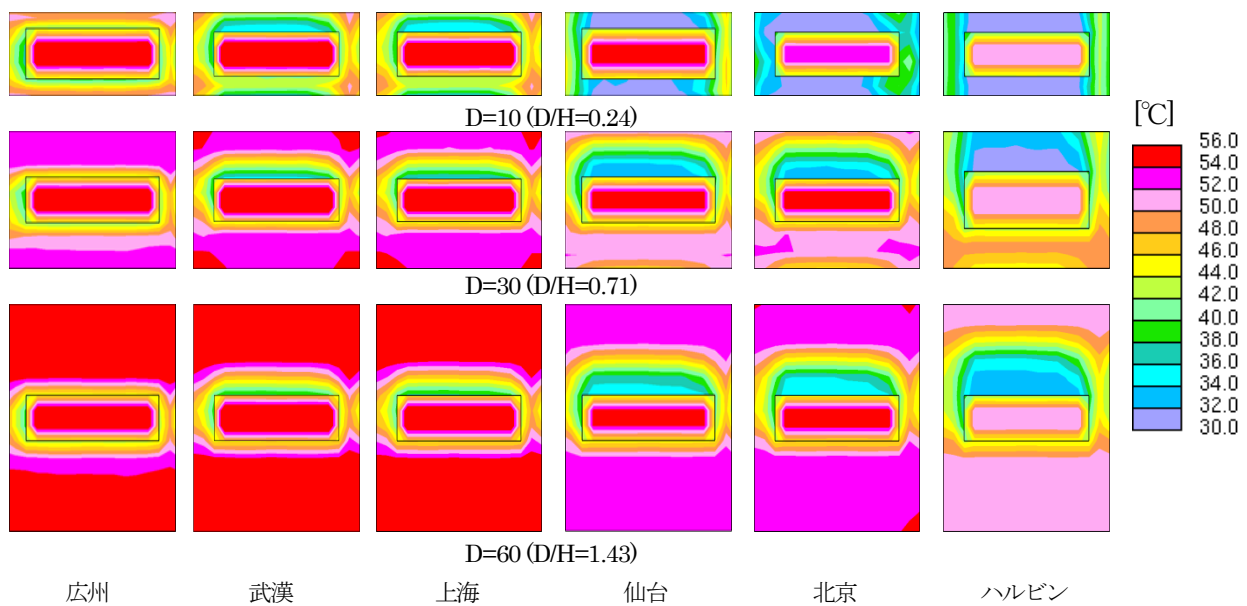


図-5 建物と地表面の温度分布 (6月21日 12:00 真太陽時)

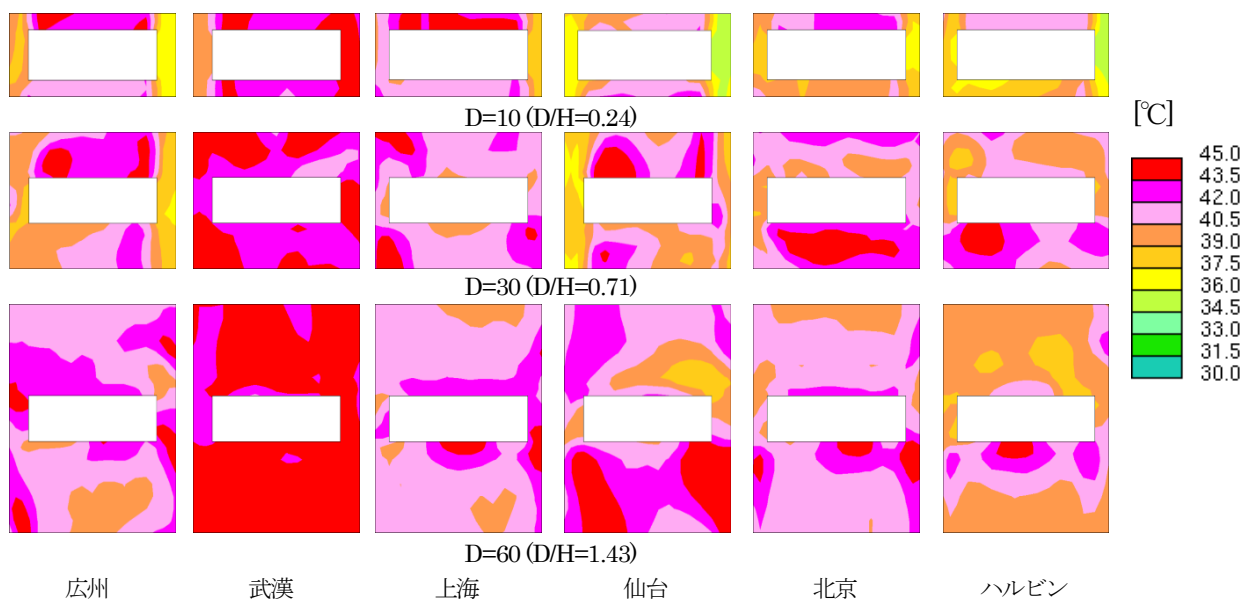


図-6 建物周辺の SET* の分布 (6月21日 12:00 真太陽時)

論文審査結果の要旨

近年、ヒートアイランドや極端気象の影響で猛暑日が増加し、アジア諸都市において毎年最高気温を記録し、熱中症による死者数も増加している。本研究は、このような都市の暑熱化が人間生活に及ぼす影響を緩和するための建物配置のあり方に関して検討を加えたものである。屋外空間の温湿熱環境の改善を目的とした建物配置に関しては、従来より日射遮蔽と風通しという2つの観点から、異なる分野の研究者により多くの研究がおこなわれてきた。しかし、日射遮蔽を促進するためには建物間隔を短くして日陰を増やすのが望ましく、風通しを良くするためには、建物間隔を広くし、市街地全体の空力抵抗を減少させる必要があり、両者の要請は正反対となる。従って、これらの知見をそのまま都市計画や建物配置計画に活かすのは困難であり、日射遮蔽と風通しの効果を総合的に考慮した計画論の構築が求められていた。

本研究は、各都市の気候条件の特性に応じて変化する風通しと日射遮蔽の相対的重要度に着目し、立地条件の異なる様々な都市において、屋外空間における人体への熱的影響の低減を図るための建物配置計画に関して基礎的検討を加えたものである。ここでは、最新のミクロスケールの気候解析技術を用いて、沿岸都市である日本の仙台(140°52'E、38°16'N)、中国の上海(121°45'E、31°40'N)と広州(113°33'E、23°17'N)、そして中国の内陸都市であるハルビン(126°77'E、45°75'N)、北京(116°47'E、39°80'N)、武漢(114°13'E、30°62'N)に立地する中層集合住宅地の屋外生活空間の風環境、湿熱環境を予測し、これらの結果から人間の温冷感を表す湿熱快適性指標 SET* (Standard Effective Temperature) の空間分布を算出し、各都市における建物間隔の変化が SET* の空間分布に及ぼす影響を定量的に評価している。そして、この結果を用いて、緯度の相違による太陽高度の違いや沿岸都市と内陸都市の風速の相違が屋外空間における人間の湿熱快適性に及ぼす影響を詳細に分析し、興味深い知見を得ている。

以上のように、本論文は系統的な分析により、暑熱環境緩和のための屋外居住環境計画の基礎となる重要な知見を得ることに成功しており、都市温暖化に伴う問題が顕在化している東アジアの高密度都市の今後の環境計画に大きく寄与し得るものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。