

土地利用や建物容積率の変化が 信濃川周辺市街地の温熱環境に及ぼす影響

富永 禎秀*

(平成8年10月31日受理)

Numerical Analysis of Influence of Land-use and Building Cubage on Outdoor Environment near the Shinano River

Yoshihide TOMINAGA

In this study, velocity and temperature fields in street near the Shinano River were analyzed by numerical simulation. Three cases of predictions were carried out. In case 1, the present situations of land-use and building cubage in Niigata City were incorporated into the prediction through the boundary conditions. The land-use and the building cubage were changed in cases 2 and 3. Effects of land-use and building cubage on local climate in city were discussed by comparing the results of these three cases.

keywords : 土地利用, 容積率, 温熱環境, 数値解析

1. 序

市街地の温熱環境はFig. 1に示すような種々の要因により決定される。これら各種要因は、相互に複雑に関連し合っているため、これらの影響を実験的手法を用いて明らかにすることは困難であり、数値解析手法に頼らざるを得ない。本稿では、新潟市の商業地区（万代地区）を対象として、信濃川の有無による夏季の市街地の温熱環境の変化や、容積率を増加して高層化し、緑地を新たに配置した場合の温度低下の程度等について、数値解析により検討した結果を報告する。

2. 解析対象

2.1 街区モデル

新潟市の商業地区（万代地区）における延べ床面積、道路率をもとにして作成した街区モデル（Fig. 2, 1km四方の領域）を対象とする。まず万代地区の延べ床面積を文献[13]より調べ、地図より求めた同地区の道路率(全土地面積に対する道路面積の割合)49%から、この地区の平均容積率

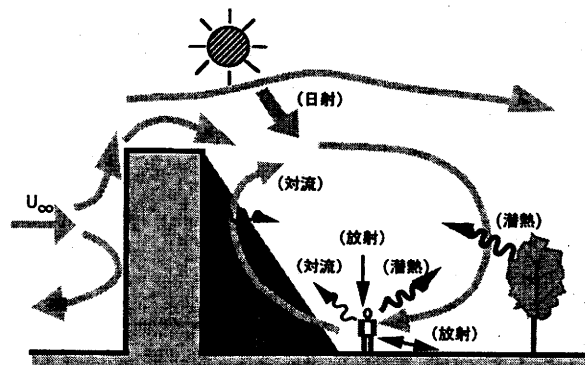


Fig.1 市街地の温熱環境に影響を及ぼす諸要因

* 建築学科 助手

Table 1 解析ケースと解析条件

解析No.	解析ケース	容積率 (%)	建蔽率 (%)	解析対象面積に対する建築面積の割合 (%)	解析対象面積に対する緑地面積の割合 (%)	信濃川の有無
CASE 1	現状の場合	200	100	44.1	0	有
CASE 2	信濃川を埋め立てて、舗装面にした場合	200	100	44.1	0	無
CASE 3	建物を高層化し緑地を新たに配置した場合 (建物の延べ床面積の総和は変化しない)	600	100	14.7	29.4	有

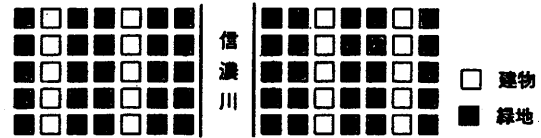
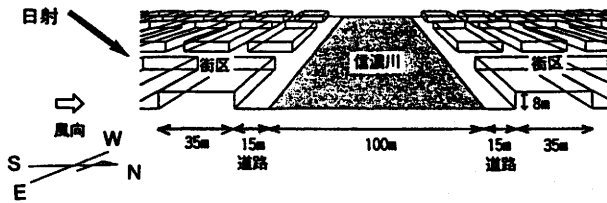


Fig.2 解析対象街区モデル(万代地区, CASE 1 の場合) Fig.3 CASE 3における緑地の配置

を算出した。1km×1kmの対象領域中の信濃川を除いた敷地を50m四方の区画に分割し、全体の道路率49%を満たすよう1区画を幅35mの建物と幅15mの道路に分けた。階高は4mとし、建物高さはCASE1,2では8m、CASE3では24mとした。

2.2 解析ケース

Table 1 に示すCASE1～3の3種類の解析を行った。各ケースともに、信濃川の両岸に同一の直方体形状の建物が建ち並ぶ状況を想定(Fig.2参照)。CASE1が現状の容積率を参考として街区をモデル化した場合。CASE2は信濃川を埋め立てて舗装面にした場合で、CASE3はCASE1の3棟につき1棟を容積率3倍に高層化し、他の2棟分の敷地に緑地を配置した場合である(Fig.3参照)。

2.3 気象条件

空調学会の標準気象データ⁽¹²⁾の新潟市の気温が最高値(33.0℃)を示す8月31日正午を対象とする。風向は南風を想定。高さ15.9m(新潟管区気象台の測定高さ)での風速 U_0 を4.2m/sとし、 $\langle u_i(x_j) \rangle \propto x_j^{1/4}$ の鉛直プロファイルを仮定した。なお $U_0=4.2\text{m/s}$ は8月31日正午の新潟管区気象台での平均風速であるが、弱風時を想定して $U_0=0.42\text{m/s}$ の場合の計算も行った。

3. 数値計算の概要

3.1 地表面及び建物表面温度の算出

本計算で与えられている地表面・壁面・水面・緑地面の各表面温度をTable 2に示す。算出方法は以下に示す通り。

3.1.1. 壁面及び舗装面の表面温度

相当外気温度 (SAT) を計算し、その値を壁面及び舗装面の表面温度とする。SATは次式で求める。

$$\text{SAT} = \theta_0 + \frac{1}{\alpha} (\alpha_s J - \epsilon_0 J_n) \quad (9)$$

θ_0 : 外気温[℃](33℃)

J : 面に入射する全日射量[kcal/m²h], J_n : 面の夜間(実効)輻射量[kcal/m²h]

α_s : 面の日射(短波)吸収率 (コンクリート, アスファルト等を仮定し0.7)

α_0 : 総合熱伝達率[kcal/m²h°C] (20), ϵ_0 : 面の長波長吸収率 (=長波長輻射率) [-](0.9)

(1)全日射量 J の算出

$$J = J_{d(\theta, A)} + J_{s(\theta)} + J_{r(\theta)} \quad (10)$$

$J_{d(\theta, A)}$: 直達日射量[kcal/m²h], $J_{s(\theta)}$: 天空日射量[kcal/m²h], $J_{r(\theta)}$: 拡散日射量[kcal/m²h]

(a)直達日射量 $J_{d(\theta, A)}$

①水平面 (建物屋上面、地面)

$$J_{d(\theta, A)} = J_{dh} = J_{dn} \sin \theta \quad (11)$$

J_{dh} : 鉛直面直達日射量[kcal/m²h]

J_{dn} : 法線面直達日射量[kcal/m²h] (標準気象データ^{文12)}より $J_{dn} = 596$ [kcal/m²h]

②鉛直面 (建物側面)

$$J_{d(\theta, A)} = J_{dv} = J_{dn} \cosh \cos(A - A_v) \quad (12)$$

J_{dv} : 鉛直面直達日射量[kcal/m²h], A : 太陽方位角[rad], A_v : 鉛直面 (壁面) の方位角[rad]

(b)天空日射量 $J_{s(\theta)}$

①水平面 (建物屋上面、地面)

標準気象データ^{文12)}より $J_{sh} = 128$ [kcal/m²h]

②鉛直面 (建物側面)

$$J_{s(\theta)} = \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) J_{sh} \quad (13)$$

J_{sh} : 水平面全日射量[kcal/m²h], θ : 壁面傾斜角[rad]

(c)拡散日射量 $J_{r(\theta)}$

$$J_{r(\theta)} = \left(1 + \frac{1 + \cos \theta}{2} \right) \rho_g J_h \quad (14)$$

ρ_g : 地面の反射率 (アルベド) (壁面・地表面では0.3, 緑地では0.25)

J_h : 水平面全日射量 ($= J_{d(\theta, A)} + J_{s(\theta)}$)

(a), (b), (c)より全日射量 J を算出する。

(2)夜間放射量 J_{nh} の計算

①水平面 (建物屋上面、地面)

$$J_{nh} = J_t - J_a \quad (15)$$

$$J_t = \epsilon \sigma T_a^4 \quad (16)$$

Table 2 与えた各表面温度・対流熱伝達率

表面	表面温度(°C)	対流熱伝達率(kcal/m ² h°C)
南壁面	46.6	$\alpha_c = 5.3 + 3.6V$ ($V \leq 5$) ^{文3)} $\alpha_c = 6.47V^{0.78}$ ($V > 5$) V : スカラー風速 $V = (\langle u_1 \rangle^2 + \langle u_2 \rangle^2 + \langle u_3 \rangle^2)^{1/2}$
西壁面	35.2	
北壁面	35.2	
東壁面	35.2	
屋上面	55	
舗装面 (日影)	36.7	$\alpha_c = 3.1(1+V)$ ^{文2)} $\alpha_c = 1.8(0.84+V)$ ^{文1)}
舗装面 (日向)	55	
緑	43.6	
水	31	
気温	33	

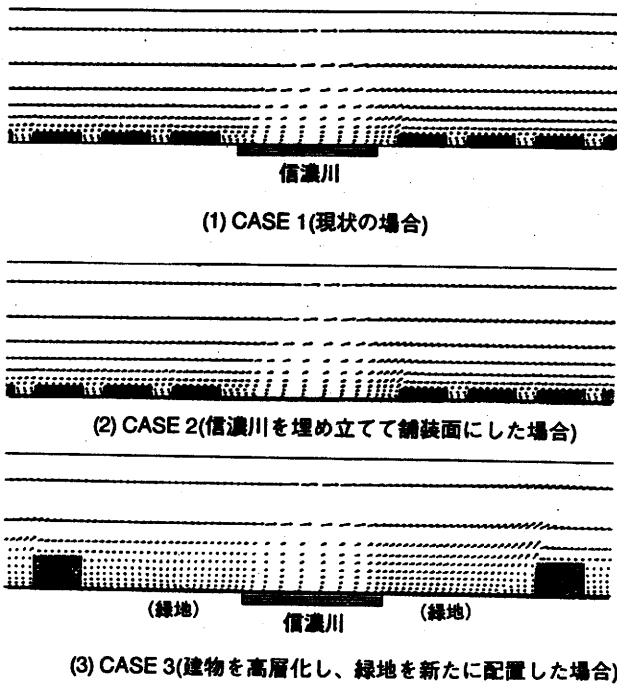


Fig.4 風速ベクトル分布($U_0=4.2\text{m/s}$)(鉛直断面)

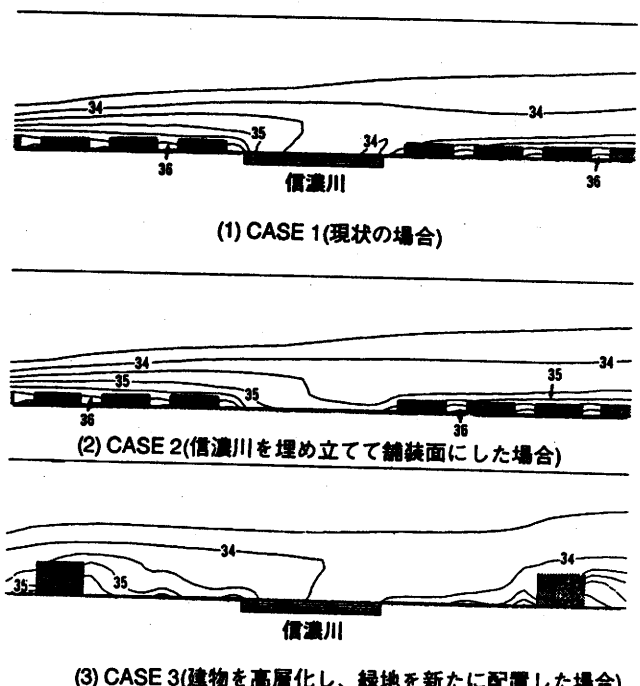


Fig.5 気温分布($U_0=4.2\text{m/s}$)(鉛直断面)

$$J_a = \sigma T_a^4 (0.526 + 0.076f^{1/2}) \quad (17)$$

J_a : 大気放射量[kcal/m²h], J_s : 面からの放射量[kcal/m²h], ϵ : 面構成材料の輻射率(0.9)

σ : シュテファン-ボルツマン定数($=4.88 \times 10^{-8}$)[kcal/m²hK]

②鉛直面 (建物側面)

$$J_{no} = \phi J_{nh} = \left(1 + \frac{1 + \cos\theta}{2}\right) J_{nh} \quad (18)$$

今回は雲量0 (快晴) を仮定している。

これらを(9)式に代入することにより、相当外気温度(SAT)を算出し、その値を壁面及び舗装面の表面温度とする。

3.1.2. 緑地、土面の表面温度

緑地の表面温度は、下記の地表面温度と気温との差を求める重回帰式を用いて算出した^{文4)}。

$$Y = 0.016X_1 - 0.297X_2 - 0.888X_3 + 6.28 \quad (19)$$

Y : 表面温度と気温の差[°C], X_1 : 地表面の太陽放射合計[kcal/m²h], X_2 : 気温[°C](33°C)

X_3 : 風速[m/s](4.2m/s), γ : 重相関係数($\gamma^2=0.87$), σ_1 : 残量(1.1)

3.1.3. 水面温度

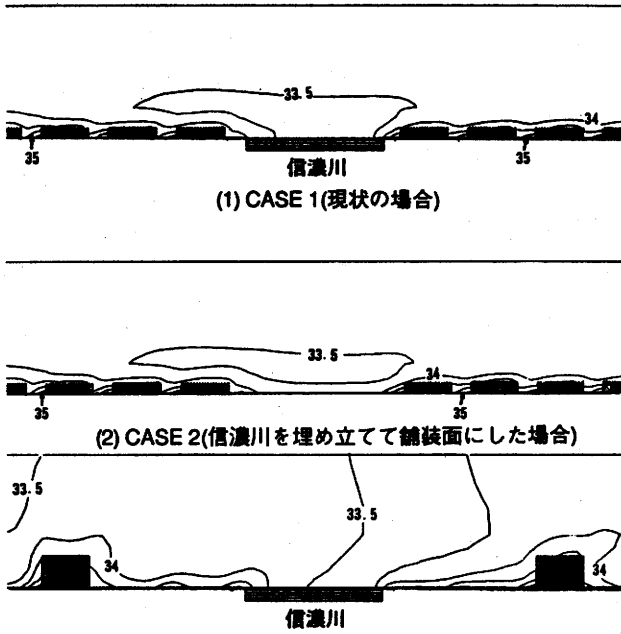
赤林らによる信濃川の水温の実測結果^{文10)}によれば、夏季の月平均水温は月平均気温より低く、両者の差は約2°C程度であった。従って今回は水面の表面温度は31[°C]と仮定した。

3.2 対流熱伝達率の算出

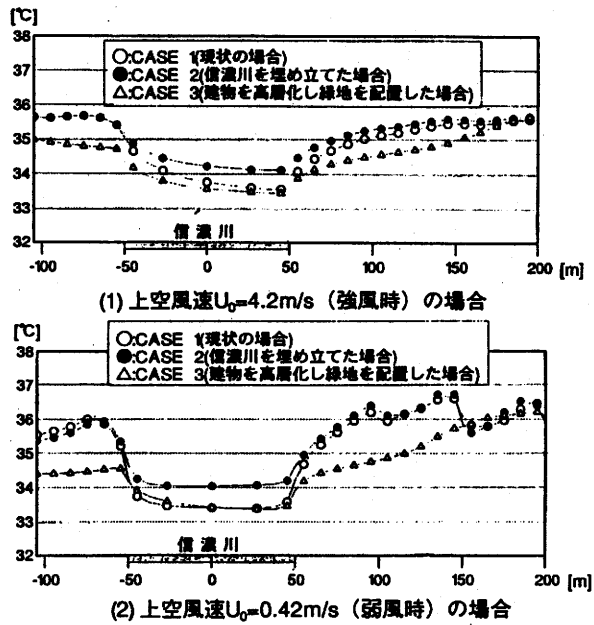
地表面、外壁面等の対流熱伝達率はJurgesの式^{文3)}、緑地ではSlatyer, MacIlroyの式^{文2)}、水面では内嶋の式^{文1)}より与えた (Table 2参照)。

3.3 乱流計算の概要

表面温度と対流熱伝達率によって求められる対流熱伝達量を熱の境界条件として乱流計算を行



(1) CASE 1(現状の場合)
 (2) CASE 2(信濃川を埋め立てて舗装面にした場合)
 (3) CASE 3(建物を高層化し、緑地を新たに配置した場合)
 Fig.6 気温分布($U_0=0.42\text{m/s}$ の場合)(鉛直断面)



(1) 上空風速 $U_0=4.2\text{m/s}$ (強風時)の場合
 (2) 上空風速 $U_0=0.42\text{m/s}$ (弱風時)の場合
 Fig.7 街路上の主流方向の気温分布

い、各点の風速、温度を求めた。k- ϵ 型の乱流モデル(Viollet型)を使用^{文8,9)}。1km四方の対象領域に対して、信濃川に直交する方向1km(x_1) \times 85m(x_2)の範囲を解析領域とした。鉛直方向には100mの解析領域を設けた。メッシュ分割は190(x_1) \times 19(x_2) \times 10(x_3)。

4. 計算結果と考察

4.1 風速ベクトルの分布 (Fig. 4)

Fig. 4に、信濃川に直交し建物中心を通る鉛直断面の $U_0=4.2\text{m/s}$ の場合の風速ベクトルの分布を示す。CASE1,2では建物間の街路中に循環流が形成されている。CASE1と信濃川を舗装面にしたCASE2の風速ベクトルは特に大きな違いは見られない。CASE3では、建物が高層化された影響で建物風下側に形成される循環流が長くなり、地表付近の風速は比較的小さい。なお弱風時を想定した $U_0=0.42\text{m/s}$ の場合は、いずれのケースも流れのパターンには $U_0=4.2\text{m/s}$ の場合と比べて大きな違いは見られなかった(図省略)。

4.2 気温の分布 (Fig.5~7)

Fig.5に信濃川に直交し建物中心を通る鉛直断面の $U_0=4.2\text{m/s}$ の場合の気温分布を示す。CASE1では建物の間で気温が上昇し、地表面付近では 36°C を超える。信濃川の上では気温は低下しており、 34°C 程度である。信濃川を埋め立てた場合を想定しているCASE2は、信濃川のあった場所の上では、CASE1に比べて気温が上昇し $35\sim 35.5^\circ\text{C}$ 程度になる。他の場所の分布はCASE1と同様である。CASE3の場合も建物風下側の循環流内で比較的高い温度を示すが、新たに設置した緑地部分の気温がかなり低めとなっている。

Fig.6にFig.5と同じ断面の弱風時 ($U_0=0.42\text{m/s}$) の気温分布を示す。 $U_0=4.2\text{m/s}$ の場合 (Fig.5) と比べて、各CASEとも全体に低めの値となる。これは風速が減少したことにより、対流熱伝達率も減少し、壁面や地表面から大気中への熱伝達量が減少したためと考えられるが、CASEごとの

傾向は強風時と変わらない。

Fig. 7に信濃川に直交する街路上の高さ1mの気温分布を示す。 $U_0=4.2\text{m/s}$ の場合、 0.42m/s の場合ともに現状のCASE1に対して、信濃川を埋め立てた場合を想定したCASE2では信濃川の上で 0.5°C 程度温度が上昇する。また信濃川の風下側の川縁の気温もCASE2に比べてCASE1の方がやや低い。これは信濃川の上部の冷風が移流によって風下側に運ばれたためであると考えられる。CASE3では、新たに配置した緑地部分で、CASE1に比べて大きく気温が低下している。これは、緑地の効果よりも、建物が高層化されたために、建物間の風速が増加し、信濃川上の冷風が大量に風下側に移流された効果が大きいものと考えられる。

5. 結論

(1)現状の街区(新潟市万代地区)をモデル化したCASE1に比べて、信濃川を埋め立てた場合を想定したCASE2では、信濃川上部から川岸にかけて約 $0.5\sim 1^\circ\text{C}$ の温度上昇があった。すなわち信濃川の夏季の市街地温熱環境に対する緩和効果が確認された。

(2)建物を高層化し緑地を配置したCASE3では、現状(CASE1)に比べて約 $1\sim 2^\circ\text{C}$ 低下する結果が得られた。建物の高層化による信濃川上部の冷風の市外地への導入と緑地の増加が夏期の気温低下に有効であることが確認された。

(3)今回は対流による市街地内の熱移動のみを計算し、地表面・壁面からの放射は計算せず、表面温度を境界条件として与える方法を採用した。今後は、対流計算と放射計算を組み合わせた解析⁵⁾を行うことにより、より詳細な市街地内の速度場・温度場を行っていきたい。

<謝辞>本研究の実施にあたり新潟工科大学持田灯助教授、新潟大学赤林伸一助教授、同大学院生坂口淳氏より種々のご指導、ご協力を頂きました。また本研究で行った解析の一部は、日本建築学会北陸支部の助成により行われました。記して謝意を表します。

<主な記号>

x_i : 空間の3成分, $\langle u \rangle$: 平均風速の3成分($i=1$:主流方向, $i=2$:横方向, $i=3$:鉛直方向)

U_0 : 新潟管区気象台高さ(地上15.9m)の風速, k : 乱流エネルギー, ϵ : 乱流エネルギーの消散率

<参考文献>

- [1] 蒸発散研究グループ(農業技術研究所): 水田の蒸発散, 農業気象, vol.22, No. 4(1967)
- [2] R.O.Slatyer and I.C.Macllroy, Practical Micrometeorology, C.S.I.R.O., Melbourne(1961)
- [3] 前田: 伝熱学, 建築学大系8, 彰国社(1955)
- [4] 木村編: 建築環境学2, 丸善株式会社
- [5] 市川, 高, 大岡, 富永, 持田, 村上, 尾島: 下町エコシティ計画における局地気象の数値解析による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(1995), pp.951-952
- [6] 持田, 村上, 富永, 大森: 日射の影響を考慮した市街地の風環境の予測・評価法に関する基礎的研究(その1)対流・放射シミュレーションによる夏季の外部空間のSET*分布の算出, 日本建築学会大会学術講演梗概集(1994), pp.63-64
- [7] 松尾, 横山, 石野, 川元: 空調設備の動的熱負荷入門, 社団法人建築設備技術者協会
- [8] Viollet, P.: The modeling of Turbulent Recirculating Flow for the Popose of Reactor Thermal-Hydraulic Analysis, Nuclear Engineering and Design, vol.99(1987)
- [9] 持田, 村上, 山村: 建物周辺における浮力のあるガス拡散の数値予測(第1報) ϵ 方程式における浮力による生産項のモデル化の検討を中心として, 日本建築学会関東支部研究報告集(1988), pp.137-140
- [10] 高, 尾島: 東京江東区における緑地、河川のクールアイランド形成のための実測調査研究, 日本建築学会計画系論文集(1994), No.456, pp.75-83
- [11] 赤林, 足立, 近藤: 新潟市における未利用エネルギーを用いた地域熱供給に関する調査研究(その4)未利用エネルギー賦存量に関する調査研究, 日本建築学会北陸支部研究報告集(1995), pp.269-272
- [12] 空気調和・衛生工学会: 標準気象データ
- [13] 平成6年度新潟市固定資産台帳
- [14] 持田, 村上, 林: 立方体モデル周辺の非等方乱流場に関する $k-\epsilon$ モデルとLESの比較, 日本建築学会計画系論文集(1988), No. 423, pp.23-31