

都市域の街区スケールにおける気候予測モデルの開発

正会員 ○ ヴタンカ*
同 足永 靖信**
同 浅枝 隆***
同 藤野 毅***

1 はじめに

本研究では街区スケールの熱環境予測に適用するためのモデルを開発し、キャンビー内外の一般的な熱環境特性を再現することを試みた。さらに、室内空調機器の外部放熱を空調負荷と外部気温により関数化し、各建物からの空調負荷をそれぞれ算出することにより市街地の熱負荷を求め、建物と屋外熱環境のダイナミックな相互作用を算出することを試みた。

2 モデルの基礎方程式

都市域における気候モデル($k-\epsilon$ モデル)の基本方程式はCrapsiteら(1986)、平岡(1989)の空間平均法を用い次のように示す連続方程式。

$$\frac{1}{G} \frac{\partial GU}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUU}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUV}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GUW}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial GU}{\partial x} \right) + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial GU}{\partial y} \right) \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial GU}{\partial z} \right) - ac_f U (<\bar{U}>^{1/2}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GVU}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GVV}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GVW}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial GV}{\partial x} \right) + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial GV}{\partial y} \right) \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial GV}{\partial z} \right) - ac_f V (<\bar{U}>^{1/2}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial z} - \rho_a g \quad (4)$$

乱れのエネルギー k の式

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial G Uk}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial G V k}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial G W k}{\partial z} = P_k + F_k - \epsilon \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{C_{rr}}{\sigma_t} \frac{\partial G k}{\partial x} \right] + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{C_{rr}}{\sigma_t} \frac{\partial G k}{\partial y} \right] \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_t \frac{C_{rr}}{\sigma_t} \frac{\partial G k}{\partial z} \right] - g \beta K_T \frac{\partial \theta}{\partial z} \end{aligned} \quad (5)$$

粘性消散 ϵ の式

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GU \epsilon}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV \epsilon}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW \epsilon}{\partial z} = \frac{\epsilon}{k} [C_{1\epsilon} P_k \\ + C_{\rho\epsilon} F_\epsilon - C_{2\epsilon} \epsilon] + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial G \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial G \epsilon}{\partial y} \right] \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_t \frac{\partial G \epsilon}{\partial z} \right] + c_{3\epsilon} \frac{\epsilon}{k} g \beta K_T \frac{\partial \theta}{\partial z} \end{aligned} \quad (6)$$

熱拡散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GU \theta}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV \theta}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW \theta}{\partial z} = \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_T G \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left(K_T G \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_T G \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{H_s}{\rho_a C_p G} \end{aligned} \quad (7)$$

水蒸気拡散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial GU Q}{\partial x} + \frac{1}{G} \frac{\partial GV Q}{\partial y} + \frac{1}{G} \frac{\partial GW Q}{\partial z} = \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_T G \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \\ + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial y} \left(K_T G \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{1}{G} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_T G \frac{\partial Q}{\partial z} \right) + \frac{Q_s}{\rho_a G} \end{aligned} \quad (8)$$

式(1)-(8)にある記号はVuら(1998)を使用する。ビルキャンビーのモデルについては浅枝ら(1997)のモデルを適用した。

3 建物の空調モデル

建物の冷房にはヒートポンプなどの冷房熱源機器を用い、電力やガスなどのエネルギーを熱源機器に投入して室内の熱負荷を外部に放出するが、冷房で建物が放出する熱負荷は、室内の冷房負荷の他に冷房熱源機器が使用するエネルギー(電力、ガスなど)も最終的に熱負荷として外部に放出される。

室内の熱負荷は外壁面から室内へ伝導する熱量および室内の活動により生ずる熱:照明・人体・機器発熱である。業務建物の場合は照明、人体と機器発熱はそれぞれ25,12,20(W/(m² floor))である。外壁面から室内へ伝導する熱量をJurges式により次式に示す:

$$H_r = 5.3(T_w - T_r) \quad (9)$$

ここに H_r は室内への熱伝導量、 T_w は壁や屋根の内面温度、 T_r は室内の気温である。夏季では室内の気温は26°Cとする。

冷房熱源機器が使用するエネルギー量は各熱源機器の成績係数(COP)をもとに算出できますが、COPは定格および部分負荷運転で値が異なり、さらには外気条件によっても大きく変動する。

4 計算結果と考察

計算条件として各計算メッシュ内の建物は一般オフィスの建物と仮定、建物の幅と高さをそれぞれに20mとした。16km×16kmの正方形の計算領域を40×40メッシュに分け、上端の風速を一定の5m/sとした。地面にはコンクリート舗装で覆われ、交通による人工発熱をゼロと仮定した。建物の空調設備をビル用マルチ18HPとした。計算手順についてはまず、メソスケールモデルを用い、室内の熱負荷を求めた。次にCOPを仮定し室内の熱負荷と空調設備能力を用い空調設備の部分負荷を計算し、外部気温によるCOPを求めた。新たに求めたCOPを採用し、空調設備の部分負荷を計算し、そのCOPが収束するまで繰り返し計算を行った。

計算は3つのケースを行った。ケース1は地面に建物なし、ケース2は地面に建蔽率0.3の建物が覆われる場合、ケース3では建物の建蔽率を0.7とした。図1-3には計算領域の断面における計算した午前2時の気温と風速分布を示す。ケース1は地面付近の風速の鉛直分布をほぼ対数法則で表されることが明らかになった。

地面では全く日向の状態、地上3mの気温は33.5°Cになる。地面から離れると気温が急に下がる。地上20mの気温は31°Cとなる。建蔽率が0.3の場合高さ20m以下の風速は非常に小さくなる。これは建物があるため、建物による生ずる抵抗力が大きく、風速が小さくなることである。高さ10m以下の気温はほぼ同じ、33°Cとなる。ケース1よりケース2における地面付近の気温が低いことである。これは地面には日陰があるため地面温度が低いと考えられる。地上20mの高さの気温は31.5°Cとなっている。これは屋根からの顕熱および空調設備の放熱があるため、高さ20mの気温はケース1より高いことがわかる。ケース3は建蔽率が大きいいため、地面付近の風速は殆どゼロである。地面の日陰の部分が大きいため、地面温度は低く、地面付近の気温は29.5°Cとなる。地面から離れると、気温が高くなる。高さ20mに30.5°Cの最高気温を示す。

図4-5にケース2、ケース3における建物冷房モデルによって求められた空調設備の使用エネルギー、屋外に放出する熱負荷、空調設備のCOPと屋外気温の時間変化を示す。図より暑い時刻ではCOPは低下し、屋外に放出する熱負荷が上がるということが明らかになった。

References

- G.H. Crapsite, E. Rotstein, and S. Whitaker (1986).
- 平岡ら(1989)日本建築学会計画系論文報告集第406号、1-9.
- Vuら(1998)投稿中

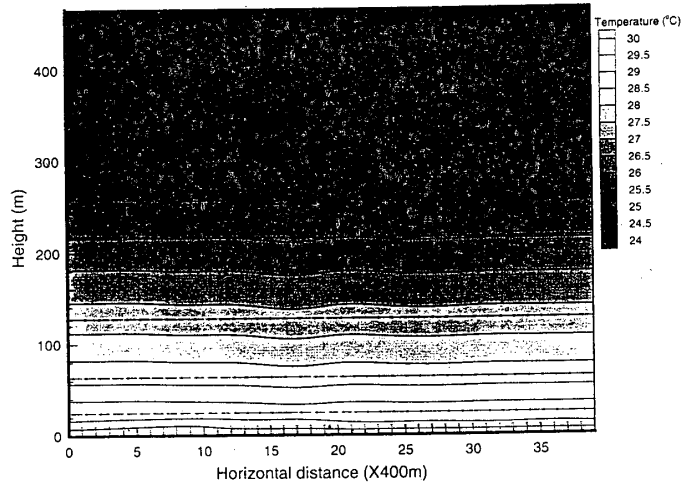


図3 気温と風速の断面分布(建蔽率0.7)

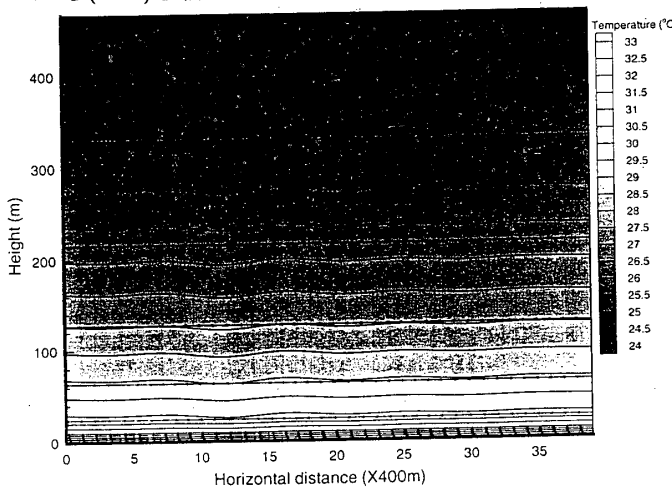


図1 気温と風速の断面分布(建物なし)

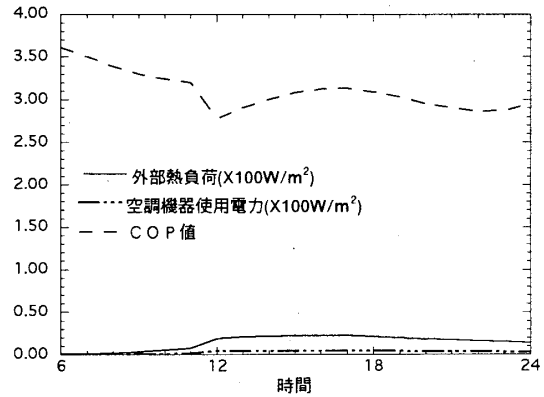


図4 外部熱負荷・電力・COP・気温の時間変化(建蔽率0.3)

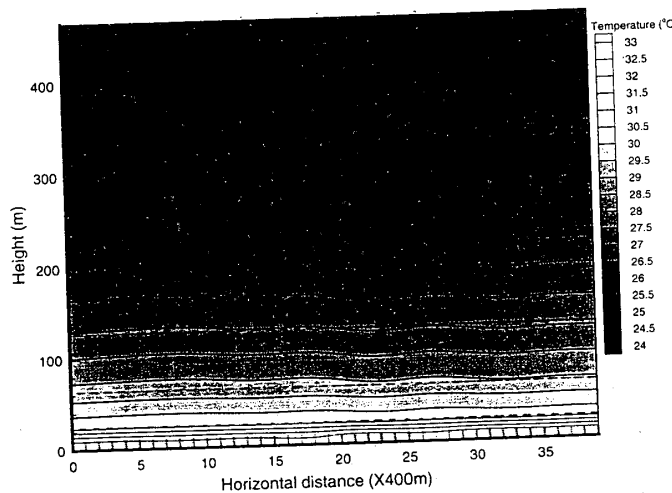


図2 気温と風速の断面分布(建蔽率0.3)

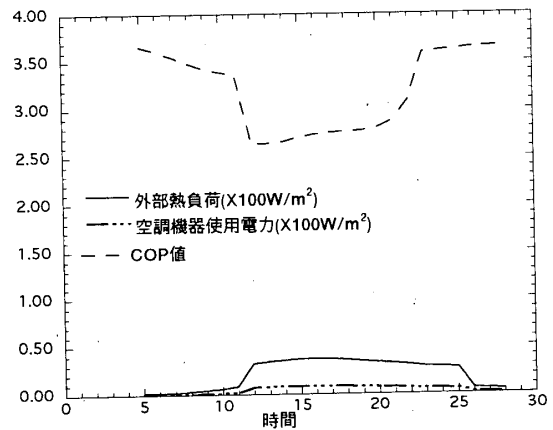


図5 外部熱負荷・電力・COP・気温の時間変化(建蔽率0.7)

*: 埼玉大学工学部
 **: 建設省建築研究所
 ***: 埼玉大学大学院

*: Faculty of Engineering, Saitama University
 **: Building Research Institute, Ministry of Construction
 ***: Graduate School, Saitama University