

## 新潟地方の局地気象に関する数値解析

— 水田の有無が夏季の外部環境に及ぼす影響 —

### Numerical Analysis of Local Climate in Niigata Area

赤林伸一 <sup>*1)</sup>	持田 灯 <sup>*2)</sup>	村上周三 <sup>*3)</sup>
Shin-ichi AKABAYASHI	Akashi MOCHIDA	Shuzo MURAKAMI
富永禎秀 <sup>*4)</sup>	吉田伸治 <sup>*5)</sup>	金 相雄 <sup>*5)</sup>
Yoshihide TOMINAGA	Shinji YOSHIDA	Sangjin KIM

#### ABSTRACT

Velocity and temperature fields in Niigata area were predicted numerically using the turbulence closure model developed by Mellor and Yamada. Two cases of predictions were carried out. In case 1, the present situations of land-use were incorporated into the prediction through the boundary conditions at the ground surface, while values of surface parameters in the area of rice field were changed to the values corresponding to the paved road in case2. Effects of the rice field on local climate in summer season were discussed by comparing the results of these two cases.

Key Words : Numerical Analysis, Local Climate, Niigata Area, Rice Field

1. 序 近年、数値解析による都市気候の研究が主として首都圏を対象として行われつつある<sup>1)~6)</sup>。本研究では、気候特性や土地利用分布等が首都圏と異なる日本海地域(新潟地方)における局地気象の数値解析を行った。本報では新潟市を中心とする約200km四方の領域を対象として(図1)、Mellor-Yamada型の大気乱流モデル<sup>7)~10)</sup>を用いた数値シミュレーションにより夏季の局地風を解析した結果を示す。ここでは、現状の土地利用状況を想定した場合と、全ての水田が埋め立てられて舗装面になったと仮定した場合についての解析を行い、土地利用状況の差異、特に水田の有無が風速分布、温度分布の予測結果に及ぼす影響について検討した。

#### 2. 解析概要

##### (1) 計算ケース(表1,表2)

表1に計算ケースを示す。CASE1では国土庁の国土数値情報<sup>11)</sup>の土地利用データ(100mメッシュ)を基に、現状の土地利用分類に応じて地表面に関する各パラメータを設定した(表2)。図2にCASE1で用いた新潟地方の現状の土地利用分布を示す。図中の白い部分が水田であり、新潟市及びその近郊に多くの水田が集中している。解析領域内の全地表面中に水田の占める割合は8.4%である。又、水田の $\beta$ 等の値は渡辺<sup>11)</sup>、近藤<sup>12)</sup>等の研究を参考とした。一方、CASE2では現状の水田が全て舗装面となった状況を想定している。この場合CASE1の水田の領域に、表1に示す舗装面

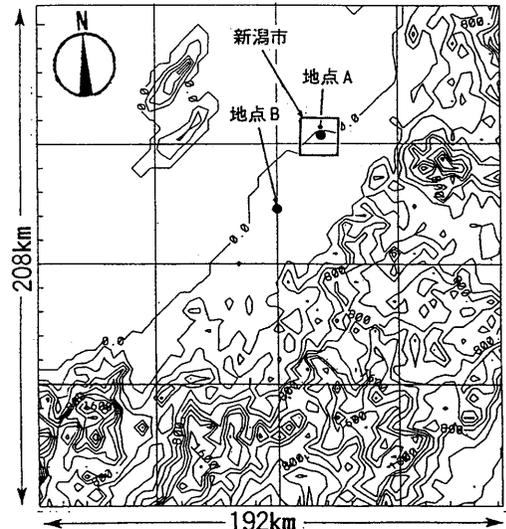


図1 解析領域  
・ 図中の等値線は標高を表す

\*1) 新潟大学・助教授(〒950-21 新潟県新潟市五十嵐2の町 8050)

\*2) 新潟工科大学・助教授(〒945-11 新潟県柏崎市藤橋 1719)

\*3) 東京大学生産技術研究所・教授(〒106 東京都港区六本木 7-22-1)

\*4) 新潟工科大学・助手(〒945-11 新潟県柏崎市藤橋 1719)

\*5) 東京大学大学院生(〒106 東京都港区六本木 7-22-1)

に対応する値を与えた<sup>1)</sup>。

(2) 乱流モデル・基礎方程式(注2) Mellor-Yamadaモデル<sup>6)~9)</sup>のレベル2.5を使用した<sup>2)</sup>。

(3) 設定条件(図2) 7月下旬の太陽高度に基づき午前6時から計算を開始し、その後33時間の時間積分を行った。水平方向192km×208kmの解析領域(図1)を4kmの等間隔で48×52メッシュに分割し、鉛直方向には地表面から高度5kmまでの大気を20メッシュに不等間隔に分割した。地表に接するメッシュの幅は20mである。又、地表より地下は深さ1mまでを5メッシュに分割した。

(4) 初期条件・境界条件 ① 境界条件 地表面温度は既往の文献<sup>1),5),6),9)</sup>等と同様に1次熱収支モデルより求めた。ここで、地表面の摩擦応力、顕熱輸送量はモン・オブコフの相似則より導出される浮力補正項を含む形の対数則より与えた(文献6を参照)。又、地表面の水蒸気輸送量は $\beta$ 法により与え、各土地利用に対応する蒸発効率 $\beta$ は文献11、12等を参考に表2のように設定した<sup>3)</sup>。上空面境界上では風速0.5m/sの南風( $U=0\text{m/s}$ 、 $V=0.5\text{m/s}$ )<sup>4)</sup>、 $\Delta\theta_s=0$ 、 $Q_w=0$ 、 $q^2=0$ 、 $l=0$ とした。上空面、下面以外の計算領域外周での $U$ 、 $V$ 、 $\theta$ 、 $Q$ 、 $q^2$ 、 $q^2l$ 等の境界値は境界上で、各方程式に諸量の水平方向の勾配0の条件を代入し、これにより得られる鉛直方向1次元の方程式系を解くことにより与えた。又、深さ1mの地中温度は22℃<sup>14)</sup>、水面温度は25℃<sup>15)</sup>とした。

② 初期条件 文献6と同じ。

### 3. 解析結果

#### (1) 風速分布(図3)

図3に計算開始から33時間後の午後3時の高さ100mの風速分布の比較を示す。現状の土地利用を考慮したCASE1の場合の新潟市周辺の風速分布(図3(1))は観測結果(図3(3))と風速、風向ともに定性的にはよい対応を示す。又、水田を舗装面としたCASE2(図3(2))は全般的にCASE1よりも風速が増加する傾向にある。後述するように、CASE2ではCASE1よりも地表付近の温度が高くなるので(図5)、CASE2の方が内陸と海水面の温度差が大きくなり、このため陸へ流入する海風が強くなったものと推定される。

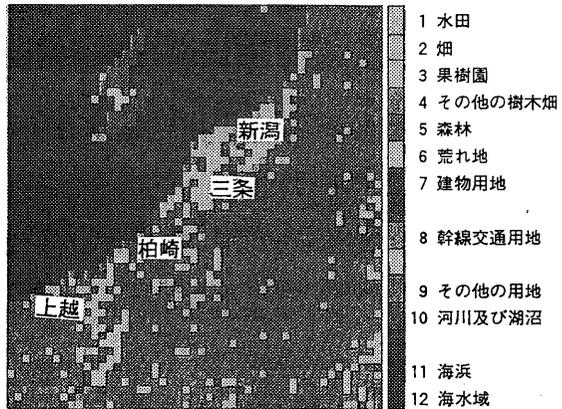


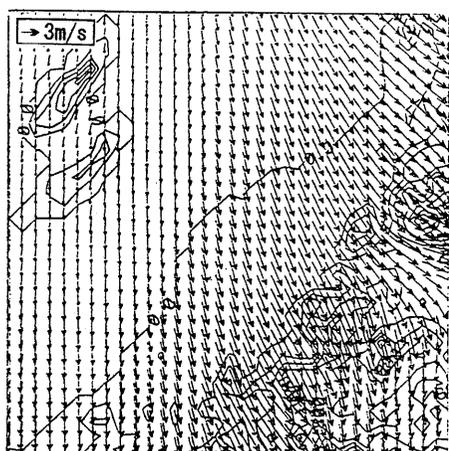
図2 現状の土地利用分布  
(図中の白い部分が水田)

表1 計算ケース及び解析条件<sup>3)</sup>

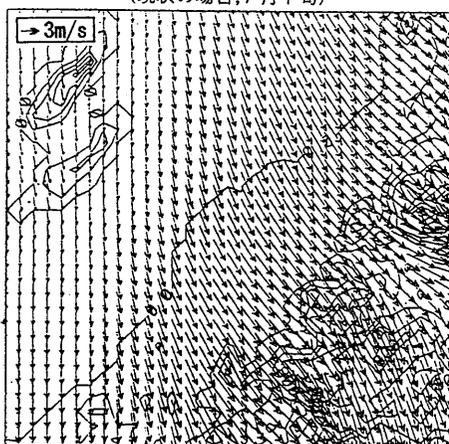
CASE	計算ケース	水田部分の蒸発効率 $\beta$	水田部分のアルベド	水田部分の粗度長	水田部分の人工排熱
CASE1	現状の土地利用形態の場合 (国土庁の国土数値情報の土地利用データを利用)	0.6	0.2	0.05	0
CASE2	水田を埋め立て舗装面にした場合 (土地利用データの水田部分の蒸発効率 $\beta$ 、アルベドを舗装面と同じ値に変更)	0	0.1	0.05	0

表2 CASE1の場合の土地利用分類によるパラメータの設定<sup>11),19),20)</sup>

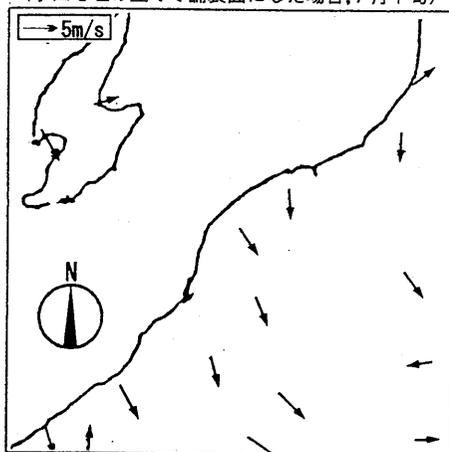
No.	土地利用分類	地表面の蒸発効率 $\beta$	アルベド	粗度長 $Z_0$ (m)	人工排熱(W/m <sup>2</sup> )
1	水田	0.6	0.2	0.05	0
2	畑	0.3	0.1	0.01	0
3	果樹園	0.4	0.2	1	0
4	その他の樹木畑	0.3	0.2	0.5	0
5	森林	0.3	0.15	2	0
6	荒地	0.4	0.2	0.01	0
7	建物用地	0	0.15	1	50
8	幹線交通用地	0	0.1	0.01	4
9	その他の用地	0.3	0.2	0.01	0
10	河川及び湖沼	1.0	0.03	0.001	0
11	海浜	0.6	0.3	0.005	0
12	海水域	1.0	0.03	0.001	0



(1) CASE1  
(現状の場合, 7月下旬)



(2) CASE2  
(水田を埋め立てて舗装面にした場合, 7月下旬)



(3) 観測データ  
(1985年夏の50日間の平均, 桑形<sup>13)</sup>)  
図3 水平面内の風速ベクトル  
(午後3時, 高さ100m)

(2) 温度分布(図4, 5, 6)

図4に1989年から1993年までの8月の新潟管区気象台観測データ(測定高さ1.5m)の平均値<sup>14)</sup>と同地点を含むメッシュでのCASE1(現状)の気温(高さ10m)の時間変化の比較を示す。観測データの場合、観測値が8月の各時刻の平均値であるのに対して、数値解析(CASE1)の場合は、7月下旬の1時刻の値であり、完全に比較することはできないが、現状の土地利用を考慮したCASE1の結果は、概ね観測データと一致している。一方、水田を埋め立てて舗装面に変更した状況を想定したCASE2では、現状の土地利用を反映したCASE1に比べて、日中は1°C程度の気温の上昇がみられる。

図5、図6に図3と同時刻の地表面温度分布と高さ10mの気温分布を示す。水田からの蒸発の有無により地表面温度は大きく変化する。CASE1では、地表面温度は最大でも35°C程度(新潟市付近)であるのに対して水田を埋め立てて舗装面に変更した状況を想定したCASE2では、現状の土地利用を反映したCASE1に比べて地表面温度が4~10°C高い。また高さ10mでの気温もCASE2の方が2°C程度高い。これらの差は次に述べる熱収支の差によるものである。

(3) 地表面の熱収支(図7, 表3)

図7に新潟市の建物密集地域(地点A)と三条市の水田密集地域(地点B)の地表面の熱収支の時間変化を示す。ここで、正の値は地表面への流入を、負の値は地表面からの流出を表す。又、表3に両地点で地表面境界条件として与えた各パラメータの値や午後3時の地表面温度の予測結果を示す。

地点A(新潟市の建物密集地域)では、現状の場合を想定したCASE1(図7(1)①)と水田を舗装面にしたCASE2(図7(1)②)を比較しても、地表面熱収支に大き

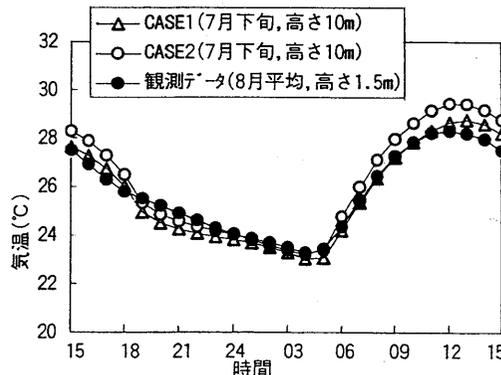
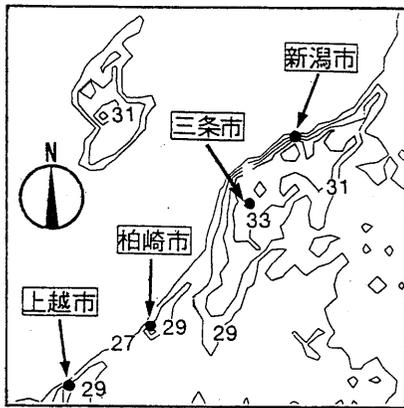
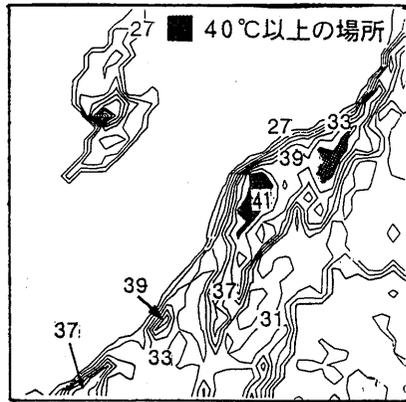


図4 新潟市の気温の時間変化  
(気象台観測データは8月の平均)

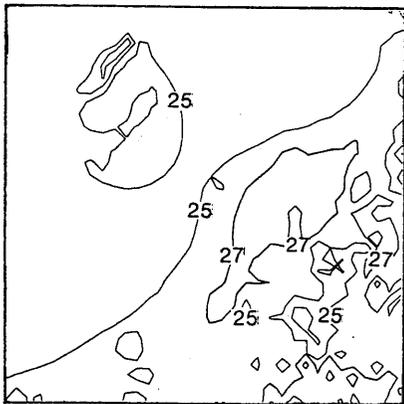


(1) CASE1  
(現状の場合)

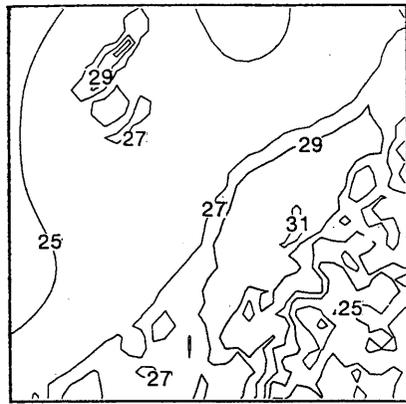


(2) CASE2  
(水田を埋め立てて舗装面にした場合)

図5 地表面温度分布(7月下旬,午後3時)



(1) CASE1  
(現状の場合)



(2) CASE2  
(水田を埋め立てて舗装面にした場合)

図6 高さ10mでの気温分布(7月下旬,午後3時)

な変化が見られない。一方、地点 B(三条市の水田密集地域)では、CASE2(図 7(2)②)の場合、CASE1(図 7(2)①)と比べて、負値を示す潜熱輸送量の絶対値が午後 3 時において約  $400(\text{W}/\text{m}^2)$  減少し、逆に顕熱輸送量の絶対値が約  $300(\text{W}/\text{m}^2)$  増加している。すなわち、CASE2 では潜熱輸送量の減少の方が顕熱輸送量の増加よりも大きくなっており、2つのケースに大きな違いが見られる。地点 B で CASE2(図 7(2)②)の場合に負値を示す潜熱輸送量の絶対値が大幅に減少するのは、水田が舗装面に変わる状況を想定しているので、蒸発効率  $\beta$  が大幅に減少するためである。これにより、地点 B では CASE2 の地表面温度が CASE1 よりも約  $8^\circ\text{C}$  上昇する結果になっている(表 3)。

#### 4. まとめ

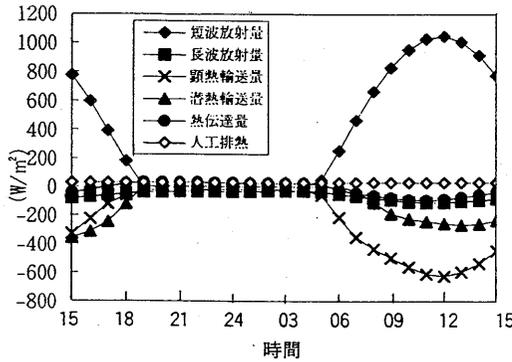
- 1) 水田からの水蒸気発生の有無が新潟の夏季の局地気象に及ぼす影響を調べた。現状の土地利用を計算に反映させた CASE1 では、海風発生時の風速分布に関して、実測データと定性的に一致する結果が得られた。
- 2) 水田からの蒸発散の効果がなくなった場合を想定した CASE2 では、夏季の午後 3 時の地表面温度が  $4\sim 10^\circ\text{C}$ 、高さ 10m での気温が約  $2^\circ\text{C}$  上昇した。又、これに伴い、CASE2 では CASE1 に比べて全般に風速が増加した。
- 3) 潜熱輸送量の大小は地表面温度に大きく影響する。潜熱輸送量の大きい水田は夏季の地表面温度上昇の抑制に大きく貢献していることが確認された。

<謝辞> 本研究の実施にあたり、二宮秀興博士(長岡造形大学講師)より、気象観測データのご提供をいただいた。記して謝意を表します。

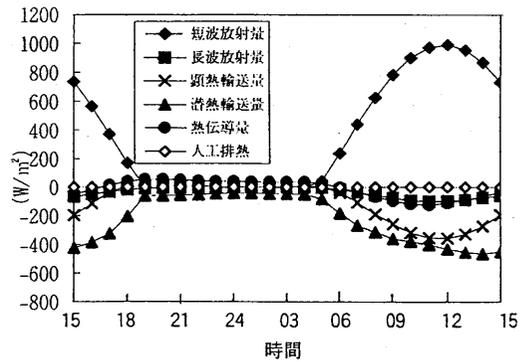
表 3 地点 A, B で与えた各パラメータの値と地表面温度

地点	CASE	地表面の蒸発効率 $\beta$	アルベド	粗度長 $Z_0$ (m)	人工排熱 ( $W/m^2$ )	地表面温度 ( $^{\circ}C$ ) (午後 3 時の予測結果)
地点 A (新潟市)	CASE1	0.21	0.14	0.59	29.2	35.1
	CASE2	0.17	0.14	0.59	29.2	34.9
地点 B (三条市)	CASE1	0.56	0.19	0.09	2.1	35.0
	CASE2	0.03	0.10	0.09	2.1	43.3

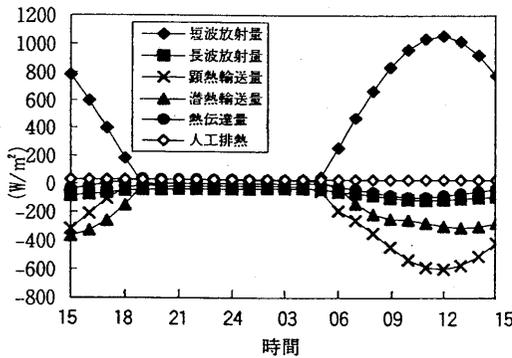
(上記の数値は  $\Delta x = \Delta y = 4km$  メッシュの平均値、地点 A、B の位置は図 1 参照)



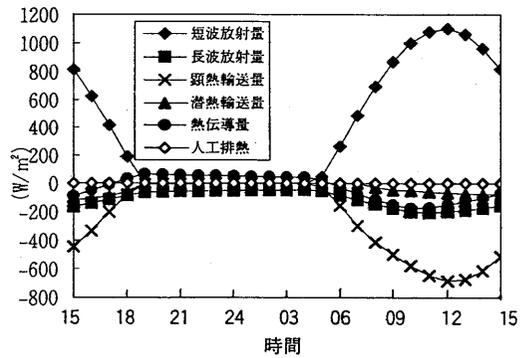
① CASE1 (現状の場合)



① CASE1 (現状の場合)



② CASE2 (水田を舗装面にした場合)  
(1) 地点 A (新潟市の建物密集地域)



② CASE2 (水田を舗装面にした場合)  
(2) 地点 B (三条市の水田密集地域)

図 7 地表面熱収支 (7 月下旬, 午後 3 時)

注 1) CASE2 では、水田の蒸発効率  $\beta$ 、アルベドを幹線交通用地と同じ値にしているが、粗度長は元の水田と同じ  $Z_0=0.05(m)$  としている。CASE2 において水田の  $Z_0$  を幹線交通用地の値 (幹線交通用地では、CASE1, 2 ともに  $Z_0=0.01m$ ) としなかったのは粗度長も変化させると、熱的要因と力学的要因の各々が相互に影響し合うために、熱的要因の影響を単独で分析するのが困難となるためである。今回は熱的要因の影響のみを明らかにするために、CASE1 で水田の部分は、CASE2 においても水田と同じ  $Z_0$  の値とした。又、比熱  $C_p$ 、密度  $\rho$  の値は、両ケース共通の地表面において各々  $C_p=1256(J/kg K)$ 、 $\rho=1500(kg/m^3)$  とした。これについては今後検討を加えたい。  
注 2) 同行ルは  $\Delta t=4$ まで階層化されており、 $\Delta t=4$  が工学分野で用いられる乱流  $\Delta t$  の場合の Differential Second-moment Closure Model に対応し、 $\Delta t=2.5$  は代数応力  $\Delta t$  (Algebraic Second-moment Closure Model) に対応する。Yamada 等は  $\Delta t=2.5$  を中心として複雑地形上にも適用可能な形に大気乱流  $\Delta t$  を拡張した <sup>9)</sup>(表 4)。この方程式系ではブジンスク近似を採用し、気圧については静力学平衡を仮定して

いる。また鉛直方向の座標系は地形の起伏に対応するために、次式に示す  $z^*$  で定義される座標を用いる。

$$z^* = \bar{H}(z - z_g) / (H - z_g)$$

ここで、 $H$  と  $\bar{H}$  はそれぞれ  $z$  と  $z^*$  に基づく座標系での計算領域上限の座標値、 $z_g$  は地表面の高さである (本計算では  $\bar{H}=5000m$ 、 $H=\bar{H}+z_{gmax}$ 。但し、 $z_{gmax}=2774m$ )。

注 3) 地表面の比湿  $q_G$  を次式より与えた。

$$q_G = q(z) + \beta(q_{sat} - q(z))$$

$q_G$ : 地表面の比湿 ( $kg/kg$ )、 $\beta$ : 地表面の蒸発効率<sup>11), 12)</sup>

$q(z)$ : 高さ  $z$  での比湿 (水蒸気混合比、 $kg/kg$ )

$q_{sat}$ : 地表面初期温度 (陸地で  $18^{\circ}C$ 、水面で  $25^{\circ}C$ ) に対する飽和比湿

注 4) 本解析では静穏な場合の海陸風に及ぼす水田の効果を調べることを目的としているので上空境界の風速を  $0.5m/s$  とした。

表4 複雑地形上の大気乱流モデル(Mellor-Yamada のレベル 2.5)の基礎方程式 (6), (8), (9)

<p>①水平方向の運動方程式</p> $\frac{DU}{Dt} = f(V - V_g) + g \frac{H-z}{H} \left( 1 - \frac{\Theta_v}{\Theta_s} \right) \frac{\partial z_g}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xy} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{H}{H-z_g} \frac{\partial}{\partial z} (-wv) \quad (1)$ $\frac{DV}{Dt} = -f(U - U_g) + g \frac{H-z}{H} \left( 1 - \frac{\Theta_v}{\Theta_s} \right) \frac{\partial z_g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xy} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{xy} \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{H}{H-z_g} \frac{\partial}{\partial z} (-vw) \quad (2)$ <p>ここで、<math>g</math> は重力加速度、<math>K_{xx}</math>、<math>K_{yy}</math> (<math>=K_{xy}</math>)、<math>K_{xy}</math> は水平方向の拡散に関する渦動粘性係数。</p> $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} + W \frac{\partial}{\partial z} \quad (3)$ <p>②地衡風成分の <math>U_g(z^*)</math> と <math>V_g(z^*)</math></p> $f U_g(z^*) = f U_g(\bar{H}) \frac{\Theta_v}{\Theta_s(\bar{H})} + g \frac{H-z_g}{H} \frac{1}{\Theta_s(\bar{H})} \frac{\partial}{\partial y} \Delta \Theta_v dz^* - \frac{g}{H} \frac{\partial z_g}{\partial y} \frac{1}{\Theta_s(\bar{H})} \frac{\partial \Theta_v}{\partial x} dz^* \quad (4)$ $f V_g(z^*) = f V_g(\bar{H}) \frac{\Theta_v}{\Theta_s(\bar{H})} - g \frac{H-z_g}{H} \frac{1}{\Theta_s(\bar{H})} \frac{\partial}{\partial x} \Delta \Theta_v dz^* + \frac{g}{H} \frac{\partial z_g}{\partial x} \frac{1}{\Theta_s(\bar{H})} \frac{\partial \Theta_v}{\partial y} dz^* \quad (5)$ <p>ここで、<math>\Delta \Theta_v = \Theta_v - \langle \Theta_v \rangle</math> であり、<math>\langle \rangle</math> は水平面内の平均。</p> <p>③連続の式</p> $\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} - \frac{1}{H-z_g} \left( U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) = 0 \quad (6)$ $\text{ここで、 } W^* = \frac{H}{H-z_g} W + \frac{z^* - H}{H-z_g} \left( U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) \quad (7)$	<p>④乱流エネルギー <math>-q^2/2</math></p> $\frac{D}{Dt} \left( \frac{q^2}{2} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_q} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_q} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{2} \right) \right] + \left( \frac{H}{H-z_g} \right)^2 \times \frac{\partial}{\partial z} \left[ q l S_q \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{q^2}{2} \right) \right] - \frac{H}{H-z_g} \left( \overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z} + \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z} \right) + \beta_1 g \overline{w\theta_v} - \frac{q^3}{B_1 l} \quad (8)$ <p>ここで、<math>q^2 = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}</math>。 <math>S_q = 0.2</math>、<math>B_1 = 16.6</math>、<math>\sigma_q = 1.0</math>。</p> <p>⑤乱れ長さスケール</p> $\frac{D(q^2 l)}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_l} \frac{\partial (q^2 l)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_l} \frac{\partial (q^2 l)}{\partial y} \right] + \left( \frac{H}{H-z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z} \left[ q l S_l \frac{\partial (q^2 l)}{\partial z} \right] - F_1 \left[ \frac{H}{H-z_g} \left( \overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z} + \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z} \right) - \beta_1 g \overline{w\theta_v} \right] - \frac{q^3}{B_1} \left[ 1 + F_2 \left( \frac{l}{Kz} \right)^2 \right] \quad (9)$ <p>ここで、<math>S_l = 0.2</math>、<math>F_1 = 1.8</math>、<math>F_2 = 1.33</math>、<math>\sigma_l = 1.0</math>。</p> <p>⑥内部エネルギー (相当温位 <math>\Theta_v</math>)</p> $\frac{D \Delta \Theta_v}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_{\Theta_v}} \frac{\partial \Delta \Theta_v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_{\Theta_v}} \frac{\partial \Delta \Theta_v}{\partial y} \right] + \frac{H}{H-z_g} \left[ \frac{\partial}{\partial z} (-w\theta_v) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial R_v}{\partial z} - W^* \frac{\partial \langle \Theta_v \rangle}{\partial z} \right] \quad (10)$ <p>ここで、<math>\sigma_{\Theta_v} = 1.0</math>。 <math>R_v</math> は正味の長波放射量。</p> <p>⑦総水分混合比 <math>Q_w</math></p> $\frac{D Q_w}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_{Q_w}} \frac{\partial Q_w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{K_{xy}}{\sigma_{Q_w}} \frac{\partial Q_w}{\partial y} \right] + \frac{H}{H-z_g} \frac{\partial}{\partial z} (-wq_w) \quad (11)$ <p>ここで、<math>\sigma_{Q_w} = 1.0</math>。</p> <p>⑧鉛直方向の乱流フラックス</p> $\overline{uw} = -l q \bar{S}_M (\partial U / \partial z) \quad (12a) \quad \overline{vw} = -l q \bar{S}_M (\partial V / \partial z) \quad (12b)$ $\overline{w\theta_v} = -l q \bar{S}_H (\partial \Theta_v / \partial z) \quad (13a) \quad \overline{wq_w} = -l q \bar{S}_H (\partial Q_w / \partial z) \quad (13b)$ <p><math>\bar{S}_M</math>、<math>\bar{S}_H</math> : 浮力による補正項。</p>
--	--

注5) 今回の計算は7月下旬の気象条件で行っているため、本来は7月下旬の実測データと比較すべきであるが、7月の気象データには欠損値が多く、有意な比較ができない。従って、今回は8月の気象観測データを用いた。傾向的には7月下旬と8月では大きな差はないものと考えられる。

<主な記号>

- $x, y, z$ : 空間座標の3成分  
( $x$ : 東西方向,  $y$ : 南北方向,  $z$ : 鉛直方向)
- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ :  $x, y, z$  各方向のメッシュ分割幅
- $U, V, W$ : 風速の  $x, y, z$  成分のアンガール平均
- $u, v, w$ : 風速変動の各成分、 $U_g, V_g$ : 地衡風成分
- $q = (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2})^{1/2}$
- $T$ : 絶対温度、 $\Theta$ : 温位 ( $\Theta = (P_0/P)^{R/C_p} T$ )
- $\Theta_v$ : 相当温位、 $\theta_v$ :  $\Theta_v$  の変動成分、 $P_0 = 1000 \text{ mb}$
- $Q_w$ : 総水分混合比 (水蒸気+液水)、 $q_w = Q_w$  の変動成分
- $\beta$ : 地表面の蒸発効率、 $f$ : コリオリパラメータ
- $l$ : 乱れ長さスケール、 $g$ : 重力加速度 ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )
- $\beta_V$ : 体積膨張率 ( $\beta_V = 1/\langle \Theta_v \rangle$ )
- $z_g$ : 地面の標高、 $z^*$ : 座標変換後の鉛直座標
- $C_p$ : 比熱 ( $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ )、 $\rho$ : 密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

<参考文献>

[1] Fujio Kimura and Shunji Takahashi, 1991, Atmospheric Environment, Vol.25, No.2, 155~164.  
 [2] Hiroshi Yoshikado, October 1992, Journal of Applied Meteorology, Vol.31, No.10, 1145~1164.  
 [3] 鶴野伊津志, 1995, 大気環境学会誌, 351~366.  
 [4] 藤野毅, 浅枝隆, 和気亜紀夫, 1995年2月, 水工学論文集,

第39巻, 153~158.  
 [5] 森川泰成, 浦野明, 西村正和, 1994, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (その1)69~70, (その2)71~72.  
 [6] 村上周三, 持田灯, 金相理, 1996, 日本風工学会年次研究発表会梗概集, 71~78.  
 [7] Mellor, G.L., and Yamada, T., 1974, J of Applied Meteorology, Vol.13, No.7, 1791~1806.  
 [8] Mellor, G.L., and Yamada, T., 1982, Rev. Geophys. Space Phys., Vol.20, No.4, 851~875.  
 [9] Yamada, T., and S. Bunker, 1989, J of Applied Meteorology, 28, 545~554.  
 [10] 村上周三, 持田灯, 金相理, 1994, 日本建築学会関東支部研究報告集, 77~80.  
 [11] 渡辺, 1992, 水文・水資源学会誌, Vol.5, 39~45.  
 [12] Kondo, J., and Watanabe, T., 1992, J of Atmospheric Sciences, Vol.49, 2183~2199.  
 [13] 桑形, 近藤, 1990年3月, 天気, 55~59.  
 [14] 三浦, 尾島, 1993年12月, 日本建築学会計画系論文報告集, 35~44.  
 [15] 気象庁, 1992年3月, 北太平洋海洋気候図(1987~1990).  
 [16] 高, 三浦, 尾島, 1994年2月, 日本建築学会計画系論文集, 75~83.  
 [17] 国土庁計画・調整局, 建設省国土地理院, 1992, 国土数値情報.  
 [18] 村上周三, 持田灯, 金相理, 大岡龍三, 1995, 生産研究, 42巻2号, 75~81.  
 [19] Pielke, R.A., 1984, Mesoscale Meteorological Modeling, Academic Press.  
 [20] 藤野毅, 浅枝隆, 和気亜紀夫, 1995年2月, 水工学論文集, 第39巻, 153~158.