

数値気候モデルによる新潟地方の局地気象解析

—水田の有無が夏季の環境に及ぼす影響—

Large Eddn of Flow ectangder

—Numerical Analysis of Local Climate in Niigata Area

Effects of Rice Paddy on Outdoor Environment in Summer—

村上周三*・持田 灯**・赤林伸一**

吉田伸治**・金 相 璣**

Shuzo MURAKAMI, Akashi MOCHIDA, Shin-ichi AKABAYASHI

Shinji YOSHIDA and Sangjin KIM

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^{1)~7)}。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^{8)~10)}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たと仮定した場合についての解析を行い、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

2.1 計算ケース(表1, 表2)

CASE 1(表1)では国土庁の国土数値情報¹⁷⁾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1に解析領域を、図2にCASE 1で用いた新潟地方の現状の土地利用分布を示す。図2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ことが分かる。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。一方、CASE 2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CASE 1の水田の領域に、表1に示す舗装面に対応する値を与えた^{注1)}。本解析では、両ケースで地表面の蒸発効率 β ^{注2)}とアルベドの値を変更しているが、日中の地表面の熱収支を調べると、 β の変化の影響の方がはるかに大きい。従って後述するCASE 1とCASE 2の結果の差異は主として、水田か

らの蒸発の有無によるものである。

2.2 乱流モデル・基礎方程式

Mellor-Yamada モデル^{5), 8), 9), 10)}等のレベル2.5を使用した。

2.3 設定条件

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×

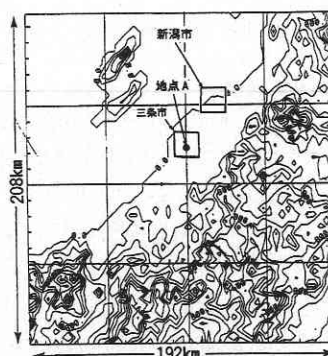


図1 解析領域

・図中の等値線は標高を表す

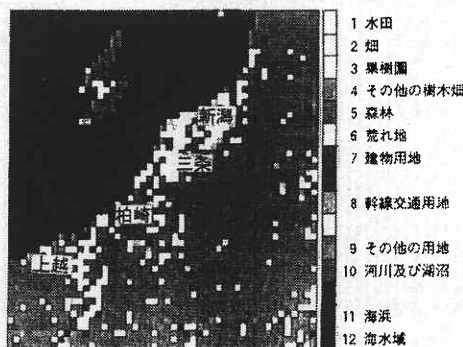


図2 現状の土地利用分布
(図中の白い部分が水田)

*東京大学生産技術研究所 計測技術開発センター

**東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報
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。

2.4 初期条件・境界条件

地表面温度は既往の文献^{1),5),6),10)}等と同様に1次元熱収支モデルより求めた。ここで、地表面の摩擦応力、顕熱輸送量はモニン・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5)}。又、地表面の水蒸気輸送量はβ法により与え、各土地利用に対応する蒸発効率βは大上らの水田からの蒸発量の測定結果(7月下旬)²⁰⁾や、渡辺¹¹⁾、近藤¹²⁾の研究を参考に表2のように与えた^{注2)}。上空面境界上では風速0.5m/sの南風(U=0m/s, V=0.5m/s)^{注3)}、 $\Delta\theta_w=0$, $Q_w \cong 0$, $q^2=0$, $l=0$ とした。上空面、下面以外の計算領域外周でのU, V, θ , Q, q^2 , q^2/l 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℃¹⁴⁾、水面温度は25℃¹⁵⁾とした。初期条件については、文献5,6と同様である。

3. 解析結果

3.1 風速分布(図3)

図3に計算開始から33時間後の15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、水田からの水蒸気発生が無い状況を想定したCASE2(図3(2))は全般的にCASE1よりも風速が約0.5~1m/s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。

3.2 温度分布(図4, 5)

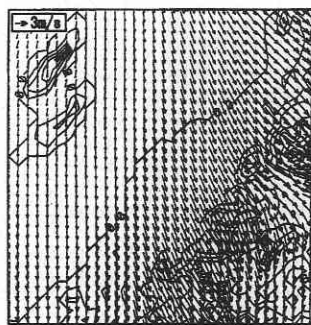
図4に1989年から1993年までの8月の新潟管区気象台観測データ(測定高さ1.5m)の平均値と計算より得られた同地点を含むメッシュの気温(高さ10m)の時間変化の比較を示す。現状の土地利用を考慮したCASE1の結果は、概ね観測データと一致している。一方、水田を埋め立てた状況を想定したCASE2では、CASE1に比べて、日中は

表1 計算ケース及び解析条件^{注1)}

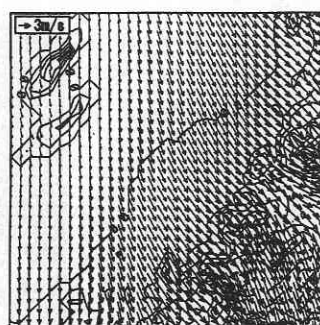
CASE	計算ケース	水田部分の蒸発効率β	水田部分のアルベド	水田部分の粗度長	水田部分の人工排熱
CASE 1	現状の土地利用形態の場合(図2)(国土庁の国土数値情報の土地利用データを利用)	0.6	0.2	0.05	0
CASE 2	水田を埋め立て舗装面にした場合(土地利用データの水田部分の蒸発効率β、アルベドを舗装面と同じ値に変更)	0	0.1	0.05	0

表2 CASE1の場合の土地利用分類によるパラメータの設定^{18),19)}

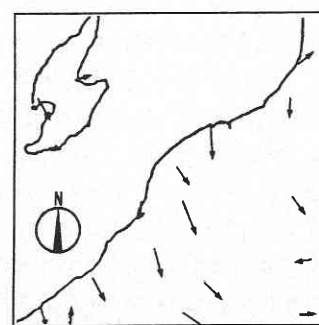
No.	土地利用分類	地表面の蒸発効率β	アルベド	粗度長 Z ₀ (m)	人工排熱 (W/m ²)
1	水田	0.6	0.2	0.05	0
2	畑	0.3	0.1	0.01	0
3	果樹園	0.4	0.2	1	0
4	その他の樹木畑	0.3	0.2	0.5	0
5	森林	0.3	0.15	2	0
6	荒地	0.4	0.2	0.01	0
7	建物用地	0	0.15	1	50
8	幹線交通用地	0	0.1	0.01	4
9	その他の用地	0.3	0.2	0.01	0
10	河川及び湖沼	1.0	0.03	0.001	0
11	海浜	0.6	0.3	0.005	0
12	海水域	1.0	0.03	0.001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



(1) 数値解析: CASE 1 (現状の場合, 7月下旬)



(2) 数値解析: CASE 2 (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¹³⁾)

図3 水平面内の風速ベクトル (15時,高さ100m)

1℃程度の気温の上昇がみられる。

図5に図3と同時刻の地表面温度分布を示す。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。CASE 1では、地表面温度は最大でも35℃程度（新潟市付近）であるのに対して、CASE 2では、CASE 1に比べて地表面温度が4～10℃高い。図は省略するが、高さ10mの気温の水平分布を比較すると、CASE 2の方がCASE 1に比べて、全般に1～2℃の気温の上昇が生じた。これらの差は次に述べる地表面からの顕熱及び潜熱輸送量の変化による影響が大きい。

3.3 地表面からの顕熱及び潜熱輸送量の変化（図6，表3）

図6はCASE 1とCASE 2の潜熱及び顕熱輸送量の差を示している。図中の解析結果は、三条市の水田密集地域（図1に示す地点A）を含む水平方向4km×4kmのメッシュにおける、15時の潜熱及び顕熱輸送量に関する両ケース間の差（CASE 2-CASE 1）を示す。ここで、正の値は水田を埋め立てたことによる地表面からの流出の増加を、負値は減少を示す。又、図中の実測から推定される変化は、大上らの水田の実測結果²⁰と、浅枝らの舗装面の実測結果²¹、並びに地点Aを含むメッシュ内に水田の占める割合（90%）から推定した。図6よりCASE 2の場合、CASE 1と比べて、15時の潜熱輸送量が約370(W/m²)減少し、逆に顕熱輸送量が約330(W/m²)増加している。すなわち、CASE 2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いる。この傾向は、図6に示すように文献20, 21の実測結果から推定される輸送量の変化とよく対応している。

表3に本解析で地点Aを含む水平方向メッシュにおいて地表面境界条件として与えた各パラメータの値と15時の地表面温度の解析結果を示す。地点AでCASE 2の場合に潜熱輸送量が大幅に減少するのは、主として蒸発効率 β が大幅に減少するためである。これにより、地点AではCASE 2の地表面温度がCASE 1よりも約8℃上昇する結果になっている（表3）。

4. ま と め

- (1) 水田からの蒸発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CASE 1では、海風発生時の風速分布や新潟市中心部の気温の時間変化等に関して、実測データと定性的に一致する結果が得られた。
- (2) 水田からの水蒸気発生効果がなくなった場合を想定したCASE 2では、7月下旬の15時の地表面温度が4～10℃、高さ10mでの気温が約1～2℃上昇

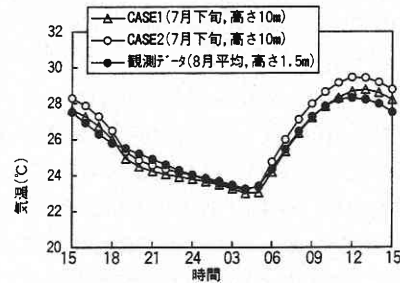
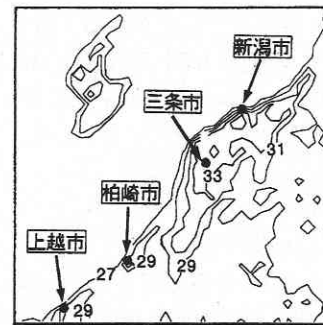
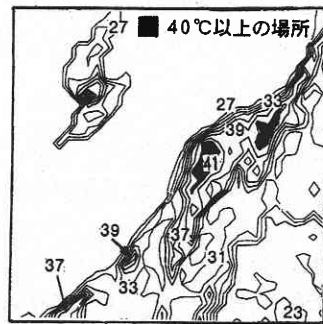


図4 新潟市の気温の時間変化
(気象台観測データは1989～93年までの5年間の8月の気温を平均)



(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，15時）

する結果となった。又、これに伴う海面と内陸部の温度差の増加より、CASE2ではCASE 1に比べて全般に海風の風速が約0.5～1m/s増加した。

- (3) 水田の有無による潜熱輸送量の変化は地表面温度に大きく影響する。本解析により、水田は新潟地方の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、二宮秀與博士（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

研究速報

謝意を表します。

注1) CASE 2では、水田の蒸発効率 β 、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。CASE 2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、CASE 1で水田の部分は、CASE 2においても水田と同じ Z_0 の値とした。又、比熱 C_p 、密度 ρ の値は、両ケース共全ての地表面において各々 $C_p=1256(J/kgK)$ 、 $\rho=1500(kg/m^3)$ とした。これについては今後検討を加えたい。

注2) 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)

β : 地表面の蒸発効率^{(11), (12), (20)}

q_G : 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℃, 水面で25℃) に対する飽和比湿

注3) 本解析では、静穏な場合の海陸風に及ぼす水田の効果の調査を目的としているので、上空境界の風速を0.5m/sとした。

<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 成分のアンサンブル平均

u, v, w : 風速変動の各成分, U_g, V_g : 地衡風成分

$$q = (\langle u^2 \rangle + \langle v^2 \rangle + \langle w^2 \rangle)^{1/2}$$

T : 絶対温度, Θ : 温位 ($\Theta = (P_0/P)^{R/C_p} T$)

Θ_v : 相当温位, $\theta_v = \Theta_v$: の変動成分, $P_0=1000mb$

Q_w : 総水分混合比 (水蒸気+液水), q_w : Q_w の変動成分

β : 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 ($9.8m/s^2$)

β_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 ($J/kg \cdot K$), ρ : 密度 (kg/m^3)

(1997年1月21日受理)

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

表3 地点A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 β	アルベド	粗度長 $Z_0(m)$	人工排熱(W/m^2)	地表面温度(°C) (15時の予測結果)
地点A	CASE 1	0.56	0.19	0.09	2.1	35.0
(三条)	CASE 2	0.03	0.10	0.09	2.1	43.3

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

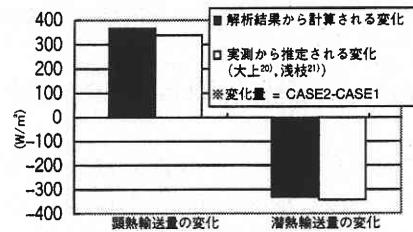


図6 水田を埋め立てたことによる顕熱及び潜熱輸送量の変化

(地点A (三条市の水田密集地域), 15時)

Meteorology, Vol. 31, No. 10, 1145~1164.

3) 鶴野, 1995, 大気環境学会誌, 351~366.
 4) 藤野, 浅枝, 和気, 1995年2月, 水工学論文集, 第39巻, 153~158.
 5) 村上, 持田, 金, 大岡, 1995, 生産研究, 42巻2号, 75~81.
 6) 村上, 持田, 金, 1997.1, 日本建築学会計画系論文報告集, 第491号31~39.
 7) 尾島, 村上, 持田, 杉山, 金, 1997.4, 生産研究.
 8) Mellor, G.L., and Yamada.T., 1974, J of Applied Meteorology, Vol. 13, No. 7, 1791~1806.
 9) Mellor, G.L., and Yamada. T., 1982, Rev. Geophys. Space Phys., Vol. 20, No. 4, 851~875.
 10) Yamada, T., and S.Bunker, 1989, J of Applied Meteorology, 28, 545~554.
 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報告集, 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) Pielke, R.A., 1984, Mesoscale Meteorological Modeling, Academic Press.
 19) 藤野, 浅枝, 和気, 1995年2月, 水工学論文集, 第39巻, 153~158.
 20) 大上, 田頭, 大槻, 丸山, 1993年4月, 農業土木学会論文報告集, 第164号, 97~104.
 21) 浅枝, 藤野, 1992, 水文・水資源学会誌, 第5巻4号, 3~7.