

京阪地域での局地循環による熱・水蒸気輸送について

大橋唯太*・木田秀次*

* 京都大学大学院理学研究科

要旨

京阪地域での局地循環による熱、水蒸気、汚染物質の輸送について、メソスケール大気モデルを用いて調べた。この地域では、海岸、山地、都市域の配置が局地気象にとって重要な役割をしており、海風、谷風、都市循環の3つが混在する。実験の結果、以下のことが示唆された：大阪都市域のさらに内陸に京都都市域があることで、大阪と京都を結ぶ流れ(chain flow)が海風前線の前面で形成される。この流れは、海風前線に先行して大阪都市域から排出された汚染物質を内陸下層へと輸送する。大阪・京都都市間に位置する郊外域(高槻市、枚方市など)では、高温位で乾燥し、かつ低汚染濃度を持った上層空気の谷風循環による下層への輸送が、地上付近にまで影響を及ぼしている。

キーワード：京阪地域、局地循環、熱・水蒸気輸送、数値実験

1. はじめに

近年、都市化の急速な進展に伴い、都市域の存在や拡大が気象現象に与える影響に関して注目されるようになってきた。そのような状況の中で、1980年代から、世界でも有数の大都市地帯である東京都市周辺での観測と数値実験が精力的に行なわれ、ヒートアイランド現象と局地循環との相互作用についての実態とその機構が明らかにされた(例えば Yoshikado and Kondo, 1989; Yoshikado, 1992; Kusaka et al., 2000)。一方、大都市の一つに挙げられる名古屋市を持つ濃尾平野についても数値実験等が行われ(Kitada et al., 1998)、局地循環による都市起源の熱の内陸輸送など、興味深い結果が得られた。

これらのヒートアイランドと局地循環の相互作用に関する研究は海岸に隣接する都市を対象としたものであった。実際、海風循環によって海岸都市の存在が重要になるのは午後早い段階までであり、その後日没から夜間にかけてまでは内陸の環境場が重要になってくる。もし内陸にさらに都市域が存在したならば、2次的な相互作用も予想されるであろう。

都市域が、ある距離を隔てて複数存在する状況というのは決して特異なものではない。我々はその代表例として、海

岸に大阪と内陸に京都という2つの都市を持つ大阪平野での観測・数値的研究を行ない、複数の都市が局地循環に与える影響について明らかにしていくことを目的としている。本論文では、それに関する数値実験の結果をまとめる。

2. 複数の都市循環と海風循環の相互作用 (レビュー)

2.1 数値実験

現在に至るまでに、都市化とそれに伴う気象現象の変化について数多くの研究がなされてきた。その中で特筆すべき例として、日中の海風循環と都市循環の相互作用についての Yoshikado (1992)の研究が挙げられる。Yoshikado は、東京都市域を含む関東平野を想定した2次元平面モデルを用いて、数値実験を行なった。その結果、都市の存在による海風循環の変形・変質が起こり、①都市が存在しないケースでの海風循環よりも前線が明瞭であり、鉛直スケールも大きくなる、②海風前線の上層前面に、内陸に先行するような風が存在する、③海風の侵入速度が都市周縁部で極端に遅くなる、といった特徴が見られた。これらは関東平野で行なわれた実測(Yoshikado and Kondo, 1989)におおむね一致していた。風の場の性質が変わることは、気温・湿度だけでなく汚染物質濃度にまで影響を及ぼすことになるであろう。

(我々の住む)京都市は人口約150万人を有しており、内陸盆地に位置する大都市である。そこから南西方向に約30km程離れた海沿いには、日本を代表する大阪都市集中地域(大阪市、吹田市、茨木市、豊中市など)が存在している。このように、海岸都市の他に別の都市が内陸に存在するケースは珍しくはない。日中、海岸都市域上で変形・変質した海風循環は、内陸都市の存在によってもう一度変形・変質するかもしれない。即ち、Yoshikadoの単一都市で得られた結果とは異なる風、温度場、さらには汚染物質分布になることが予想される。

Ohashi and Kida(2002)はこれを単純化した形として、海と海岸都市(URBAN A)、さらに内陸都市(URBAN B)を設定した数値実験を行なった(Fig.1)。その結果以下のことが明らかになった。①海岸都市と内陸都市を結ぶような(海風循環とは異なった)風が形成される、②その風は海岸都市から排出された汚染物質を内陸都市下層へと効率よく輸送する、③都市間距離が循環の強度と維持、内陸都市に輸送される汚染物質量を定める大きな要因になる。ここでシミュレートされた都市間に形成される流れは、*chain flow*と命名された。

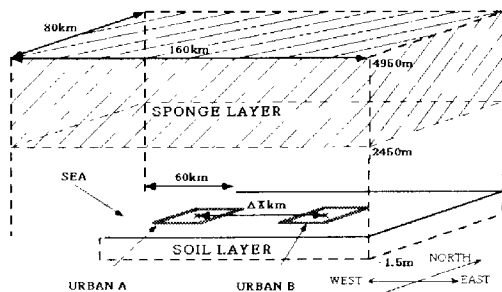


Fig.1 Schematic diagram illustrating the Ohashi and Kida (2002)'s model. The oblique lined area corresponds to the sponge layer.

2. 2 chain flow の形成とその機構

前節で述べたように、内陸に都市が存在することによって、海岸付近で発達する循環と内陸で発達する循環を結合するような流れ *chain flow* が、都市間郊外で形成される(Fig.2)。*chain flow* は、海岸都市から排出された汚染物質を海風前線よりも先に都市間郊外下層、さらには内陸都市下層へと輸送を行なう。このことは内陸都市の有無を比べた実験結果からも明らかになる(Fig.3)。

次に *chain flow* の形成機構が調べられた。海岸都市で

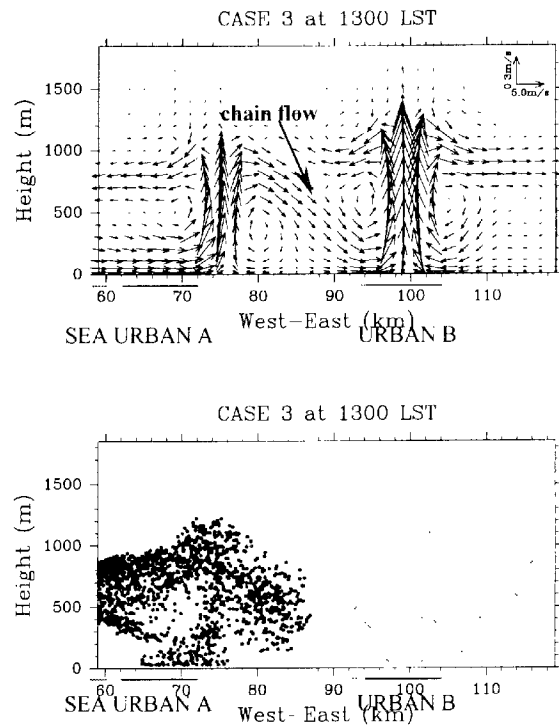


Fig.2 Vertical cross-section, cutting across the center of urban areas, of the wind vectors (the upper side) and vertical projection (the lower side) of the simulated Lagrangian particles at 1300 LST (Ohashi and Kida, 2002). Dark and light dots are particles continuously emitted from the URBAN A and URBAN B areas, respectively.

発達する循環系と内陸の都市循環の重ね合わせとして、*chain flow* は基本的に表現され得るが、それに比べれば水平風成分としては約1.5倍、鉛直風成分は約3倍程度の強化が見られた。この強化は、汚染物質の内陸下層への輸送に大きく関与することが示唆された。

3. 数値モデル

本研究で使用されたメソスケール大気モデルは、大橋・木田(2000)によって開発された DRYARD(DRY Atmospheric Regional Demonstration)であり、非圧縮性流体及び静力学平衡を仮定したものである。支配方程式系の詳細については大橋・木田(2000)を参照して頂くこととして、ここではそのモデルに組み込まれている LPDM(Lagrangian Particle Dispersion Model)について説明していく。

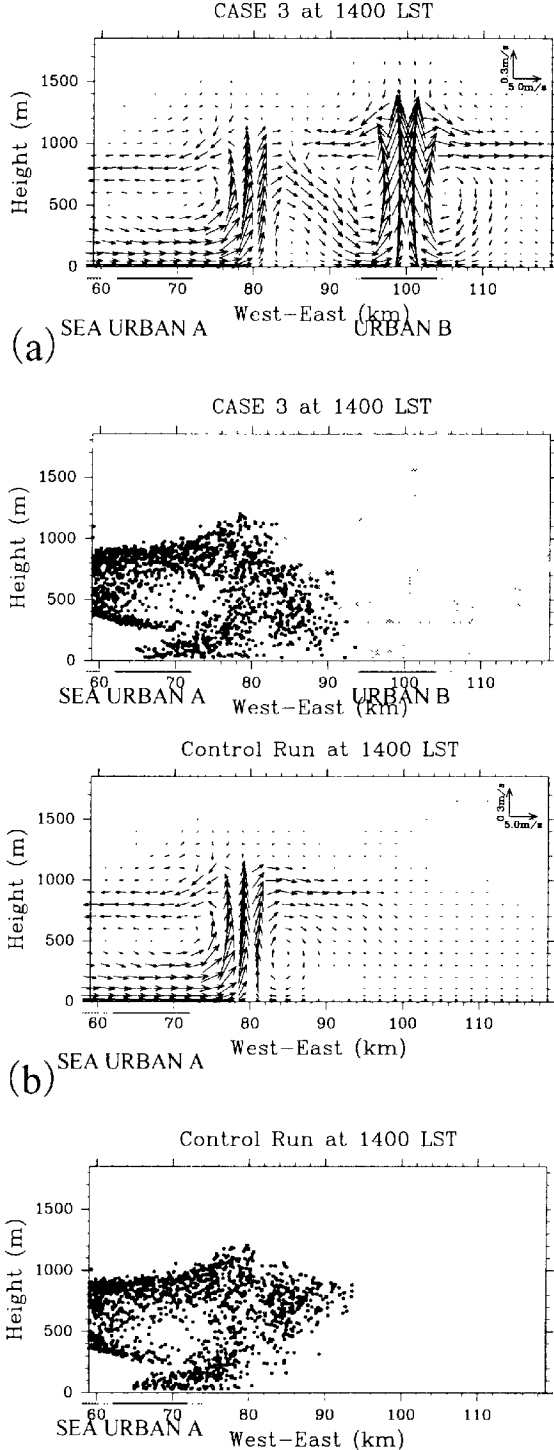


Fig.3 The same as in Fig. 2 except at 1400 LST (Ohashi and Kida, 2002). (a) is the case with no inland URBAN B and (b) is with URBAN B.

LPDM (McNider, 1981; McNider et al., 1988) はラグランジュ式に Passive Parcel を追跡していくモデルであり、グリッドスケールの風だけでなくサブグリッドスケールの乱流成分による拡散効果も考慮した以下の式で与えられる。

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + \left[u_i^{grid}(t) + u_i^{sub}(t) + \delta_i u_i^{diff}(t) \right] \Delta t \quad (1)$$

$i=1,2,3$

ここで $(x_1, x_2, x_3) = (x, y, z)$, $(u_1, u_2, u_3) = (u, v, w)$ である。 $u_i^{grid}(t)$ はグリッドスケール成分, $u_i^{sub}(t)$ はサブグリッド成分を表す。 $u_i^{diff}(t)$ は、乱流エネルギーの低い方へと粒子が流れていく非現実的な状況を抑える為に付加された、ドリフト補正項である (Legg and Raupach, 1982)。

サブグリッドスケール成分は Markov-chain 過程に従って、 $u_i^{sub}(t + \Delta t) = R_i(\Delta t) u_i^{sub}(t) + [1 - R_i(\Delta t)]^{1/2} \sigma_i \gamma$ (2) で与えられる。 σ_i はオイラー的乱流速度の標準偏差, γ は平均 0, 標準偏差 1 で与えられる正規乱数である。ラグランジュ的乱流速度の自己相関係数 $R_i(\Delta t)$ は、

$$R_i(\Delta t) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_i^L}\right) \quad (3)$$

で与えられ (Gifford, 1982), ここで T_i^L はラグランジュ的乱流速度の積分時間スケールである。

T_i^L はオイラー的積分時間スケール T_i^E と比例関係にある (Pasquill, 1974)。

$$T_i^L = \beta_i T_i^E \quad (4)$$

その比例係数 β_i は、

$$\beta_i = \frac{0.6 U_{grid}}{\sigma_i} \quad (5)$$

(ただし $\beta_i \leq 10$) で表される。 U_{grid} はグリッドスケールのスカラ風速である。また式 (4) のオイラー的積分時間スケール T_i^E は次式で与えられる。

$$T_i^E = \frac{0.2 \lambda_i}{U_{grid}} \quad (6)$$

ここで λ_i は乱流の長さスケール (即ち i 方向の乱流スペクトルでピークを持つ波長を示す) で、

水平成分は

$$\begin{aligned} \lambda_1 = \lambda_2 = 1.5h & \quad \text{for } \frac{x_3}{L} \leq 0 \\ & \quad \text{(Kaimal et al., 1976)} \\ = 0.7 \left(\frac{z}{h}\right)^{1/2} h & \quad \text{for } \frac{x_3}{L} > 0 \end{aligned} \quad (7)$$

(Caughy et al., 1979)

鉛直成分に関しては

$$\text{for } \frac{x_3}{L} \leq 0$$

$$\begin{aligned} \lambda_3 = \frac{z}{0.55 + 0.38 \frac{z}{L}} & \quad ; 0 \leq z \leq |L| \\ = 5.9z & \quad ; |L| < z \leq 0.1h \end{aligned} \quad \text{(Kaimal et al., 1976)}$$

$$= 1.8h \left[1 - \exp\left(-\frac{4z}{h}\right) - 0.0003 \exp\left(\frac{8z}{h}\right) \right] \quad (8)$$

$$\text{(Caughy and Palmer, 1979)} \quad ; 0.1h < z < h$$

$$\text{for } \frac{x_3}{L} > 0 \quad (\text{Caughey et al., 1979})$$

$$\lambda_3 = z \quad (\lambda_3 \leq 2.9l) \quad (9)$$

でそれぞれ与えられる。式(9)中の混合距離 l については McNider and Pielke (1981) の次式を用いる。

$$l = 0.35z \quad ; \quad z < 205m \\ = 70 \quad ; \quad z \geq 205m \quad (10)$$

式(2)及び(5)で必要となる乱流速度の標準偏差は水平成分に対して(Panofsky et al., 1977)

$$\sigma_1 = \sigma_2 = u. \left(12 - 0.5 \frac{h}{L} \right)^{1/3} \quad \text{for } \frac{x_3}{L} \leq 0 \\ = 2.3u. \quad \text{for } \frac{x_3}{L} > 0 \quad (11)$$

(h は混合層高度を表す)

鉛直成分は

$$\sigma_3 = \frac{K_m}{A\lambda_3} \quad \text{for } \frac{x_3}{L} \leq 0 \quad \text{Hanna (1968)} \\ = 1.2l \left(\frac{Ri_c - Ri}{Ri_c} \right)^{0.58} \left[\left(\frac{\partial u_1^{grid}}{\partial x_3} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_2^{grid}}{\partial x_3} \right)^2 \right]^{1/2} \\ \text{for } \frac{x_3}{L} > 0 \quad \text{Blackadar (1979)} \quad (12)$$

(Ri は勾配 Richardson 数, Ri_c は臨界 Richardson 数を表す) で与えられる。式(12)中の A は次式で与えられる。

$$A = 0.31 \left(1 - \frac{3z}{L} \right)^{-1/3} \left(1 - \frac{15z}{L} \right)^{1/4} \left(0.55 + \frac{0.38z}{L} \right) \\ ; \quad \left| \frac{z}{L} \right| \leq 1 \\ = 0.05 \left(1 - \frac{3z}{L} \right)^{-1/3} \left(1 - \frac{15z}{L} \right)^{1/4} ; \quad 0.1 \left| \frac{h}{L} \right| > \left| \frac{z}{L} \right| > 1 \\ (\text{McNider, 1981}) \quad (13)$$

式(12)中の Ri_c は McNider and Pielke (1981) による

$$Ri_c = 0.115\Delta z^{*0.175} \quad (\text{with } \Delta z^* \text{ in centimeters}) \quad (14)$$

を使用する。

4. 京阪地域の数値実験

4.1 計算領域等

計算開始日時は夏季7月29日午前3時としており、1992年同日の播磨灘東部及び大阪湾周辺の時空間平均された海面温度の値が、衛星 NOAA-AVHRR データから選択されている。初期値は、同日の NCEP 客観解析データの温位及び比湿プロファイルを水平一様に与えている。なお、本研究では一般風のない状態で議論を進めていく。

計算領域を Fig.4 に示す。地形起伏の情報は 1km メッシュ平均標高データ(国土地理院)、また土地利用のそれは 100m メッシュ 15 カテゴリーデータ(国土地理院 1988 年版)を使用している。土地利用データは各種地表面フラックスを計算する際に必要とされ、その方法に関しては Kimura (1989)に従っている。また土地利用毎の粗度長や蒸発効率といった特性パラメータも当然必要となってくるが、それらの値は一ノ瀬他(1997)・近藤(1994)・Seaman et al.(1989)を参考に決定した。対象地域における建物用地(大)のカテゴリー(高層ビルや住宅団地など)の被覆率を Fig.5 に示しておく。

モデルの再現性・精度等に関しては概ね良好であり、その詳細については大橋・木田(2000)を参照して頂きたい。

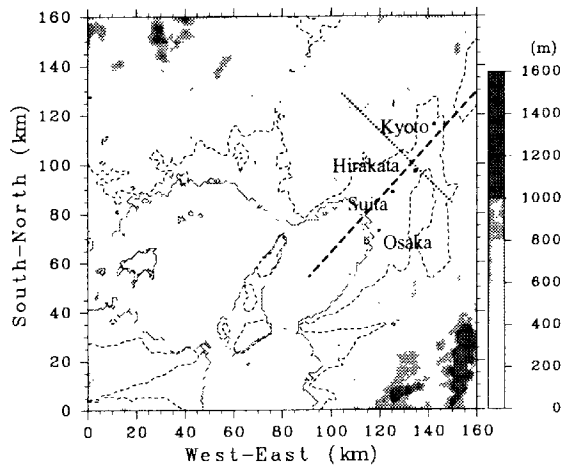


Fig.4 Calculation domain and topography in the present study. The tones indicate 200m interval ASL (above sea level).

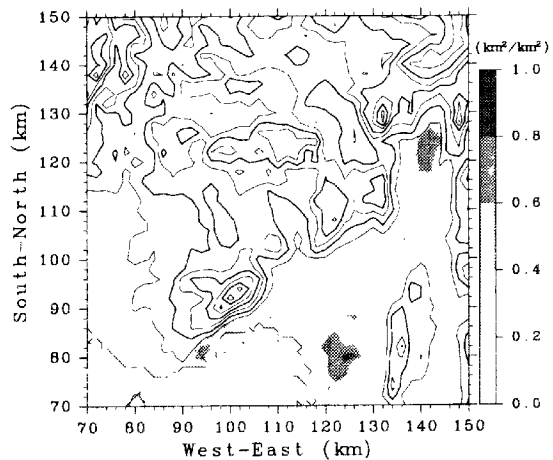


Fig.5 Covering rate of the tall and big buildings.

4. 2 chain flow と汚染物質の輸送

Fig.4 で示した実地形を考慮したシミュレーションで、前節で述べた chain flow が形成されるかどうかについてを中心に、ここでは触れていく。

Fig.6 は Fig.4 で示された破線位置での 14 時の風ベクトル鉛直断面図と、LPDM で計算されたパールの流跡線を示す(排出点は図中の矢印)。ただし、パールの流跡線が断面位置を中心に水平 10km の幅から外れた場合には、追跡を中止(図に描かない)している。都市効果を調べる為に、通常の実験(3Dall)と土地利用を全て森林にした実験(3Dno)を比較してみた。その結果、海風循環に対する都市効果を以下のようにまとめることができる。

- ① 都市の存在によって、海風循環の鉛直スケールの増大及び前線強化、明瞭化が生じている。その結果として、汚染物質はより上層の広範囲にわたって拡散される。この特徴は関東平野の結果と類似している。
- ② 海風前線の前面に、内陸の京都方向に向かう下降流が存在している。これが第2章で述べられた chain flow に相当するものと考えられる。ただし、その形成場所がちょうど谷風循環の下降流の位置と重なっている為に、(単純な線形和かどうかは置いて)その重ね合わせとして現れている。この chain flow は、大阪都市域から排出された汚染物質を効率よく内陸京都域へと輸送する。このことは、海風前線の到達以前の時刻に、大阪からの汚染物質を京都域で観測できることを意味している。

実地形の場合においても、京都都市域が存在することで chain flow が形成され、そのことによって、大阪都市域から排出された汚染物質が内陸に早く輸送されることが考えられる。京都都市域の都市化の程度がこの内陸輸送にどの程度寄与するのか、蒸発効率の変動という観点から、その感度実験を行なって調べてみる。厳密には都市/緑地面積の増減に対する感度を見るべきかもしれないが、ここでは単純化の為に、先にも述べたように単に蒸発効率の増減だけに帰着させた。その結果が Fig.7 に示されている。京都都市域内の蒸発効率 β を 0 から 0.7 まで変化させている。図を見てのとおりに、京都盆地内に流れ込む汚染物質の量が蒸発効率の変動に大きく依存することがわかる。おおざっぱに言えば、京都の都市化(=蒸発効率下がる)は大阪方面から流れ込んでくる汚染物質質量を増やし、逆に京都の緑地化(=蒸発効率上がる)はそれを減らすことになる。

4. 3 谷風循環による熱・水蒸気輸送とその効果

京阪地域では、都市間で形成される chain flow の他にもう一つ関東や濃尾平野では見られない特有な現象がある。そ

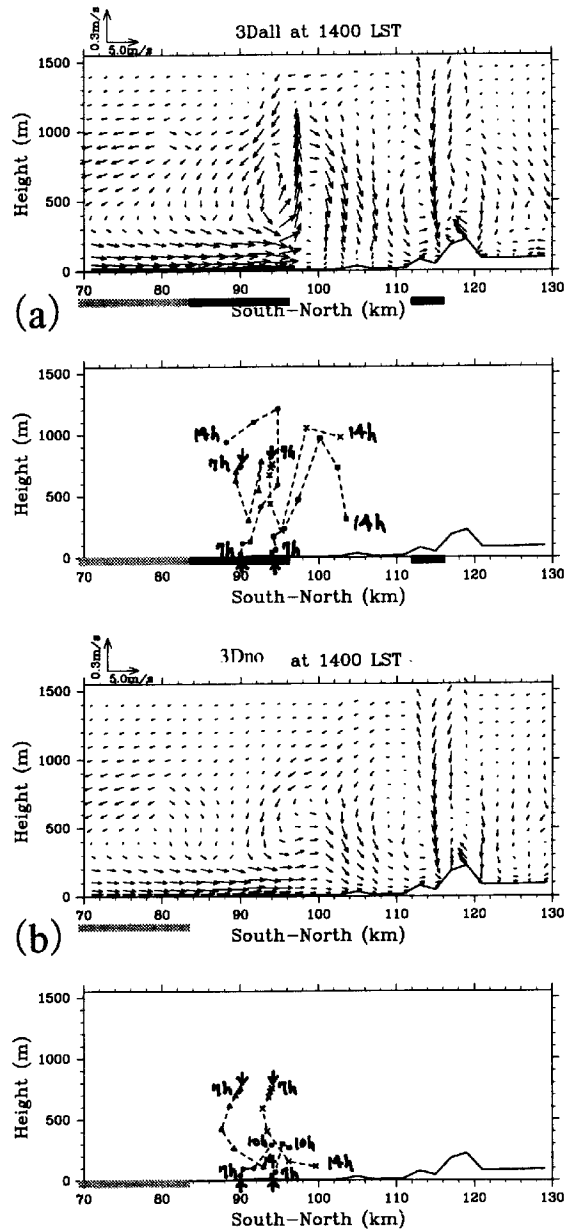


Fig.6 Vertical cross-sections of the wind vectors (the upper side) and vertical trajectories of parcels (the lower side) emitted from four sources which are indicated by the arrows, for the (a) 3Dall and (b) 3Dno cases at 1400 LST. When the parcel is out within the horizontal width of 10 km as the center of cross-section line, the trajectory (denoted from 0700 to 1400 LST) of the parcel is not drawn. The location of cross-section is indicated in Fig. 4 (the dashed line). Dark and light lines denote the locations of urban areas (left is Osaka and right is Kyoto) and Osaka Bay, respectively.

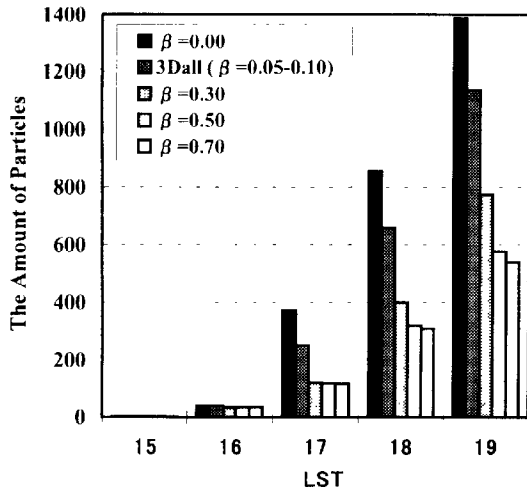


Fig.7 Sensitivity of the amount of particles flowing into within the Kyoto basin area to the variation of moisture availability β in the Kyoto urban area.

これは、日中における郊外域の乾燥化現象である。Fig.8 に、大阪平野内の大気汚染常時監視データで得られた日中の水蒸気圧変動を示す。これを見てもわかるように、大阪・京都市間の郊外にある観測点では、日中の水蒸気圧の低下量が非常に大きい(Fig.8b)。通常、地表面被覆の物性差に起因して都市域の方が郊外よりも乾燥化する傾向にあるが、京阪地域ではその逆になっている。大阪湾に近い観測点では日中は海風の影響を受けやすいので、内陸に比べて湿潤になりやすいのは理解できる。しかし、内陸都市の京都付近と比べても内陸郊外に相当する枚方付近の方が乾燥する傾向にある。数値シミュレーションで計算された地上での気温と比湿の時空間変化を追っていても同様に、都市間郊外に当たる大阪府枚方市や高槻市、京都府八幡市の付近で日中に比湿の急激な減少が確認された(図省略)。そして海風の内陸への侵入に伴い、その低比湿領域は海側の方から徐々に消えていく様子も見られた。

この都市間郊外域での日中の空気塊の動きを調べる為に、LPDM を利用する。パーセルを郊外平野部とその北に位置する山地に置いてみた。海風がこの地域に覆われるまでの時間帯における流跡線を Fig.9 に示す。山地の地上付近にあったパーセルは次第に上昇していき、12 時には海拔高度 1500m にまで達している。一方で、平野部の上空 1000m 付近にあったパーセルは徐々に下降していき、13 時には地上付近にまで下りてきている。そして、平野部地上付近にあったパーセルは北の山地へと移動していき、12~13

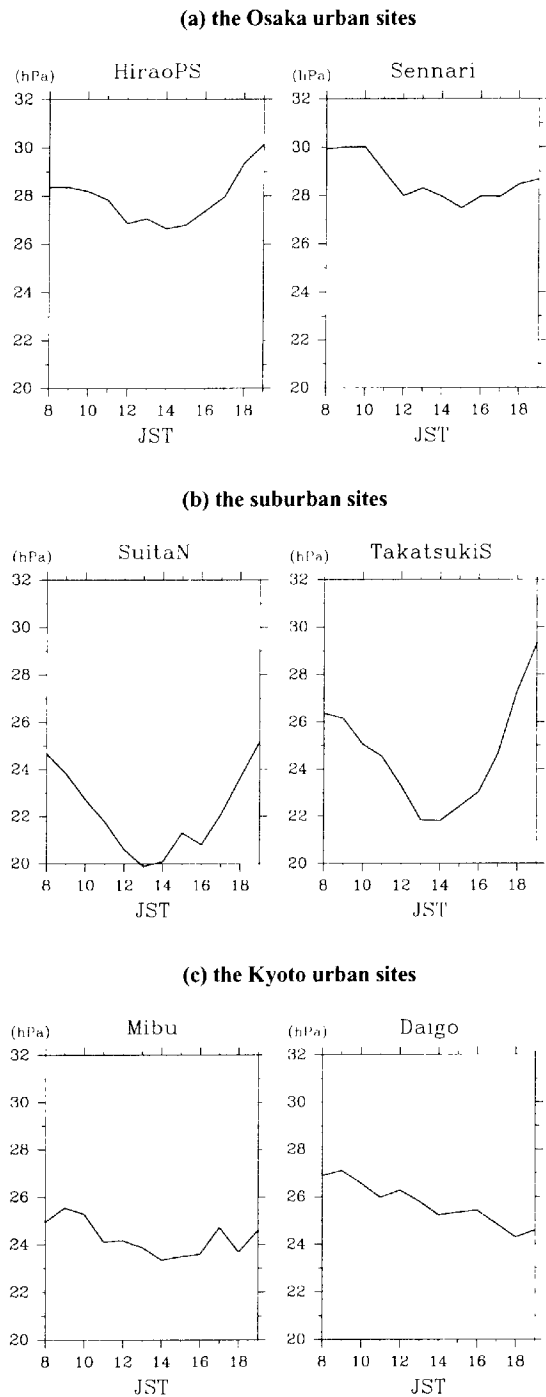


Fig.8 Temporal variations of the water vapor pressure at the (a) Osaka urban, (b) suburban, and (c) Kyoto urban sites, shown as an ensemble average of the calm days in summer.

時には山頂付近に到着する。この一連の動きは、日中の斜面上昇風そして谷風循環への発達に伴うもので、山地にあった空気塊が上層へと上昇していくことによって、平野部地上から山地への空気の補償が起り、そして平野部地上の損失をその上層から補償している。平野部の上層は下層の空気よりも乾燥しており、今述べた補償によって地上が徐々に乾燥していくものと考えられる。

山地と平野部との間で形成されるこの循環は、温度場や大気汚染濃度にも影響を与えていることがわかった。谷風循環は、上層の相対的に高温位である空気塊を地上付近に運んでくる。平坦な地形の場合と実地形を入れた場合を比較した結果、約1℃程度の昇温が確認された。また、上層の空気は地上付近に比べて汚染濃度が低い為、地上付近で直接排出される1次汚染物質や化学反応によって生成される2次汚染物質の濃度を希釈して、日中の高濃度現象を防いでいることが考えられる。実際、この郊外域では他の地域に比べて午前中の濃度上昇率が非常に小さいことが大気汚染常時監視データの解析から得られている(図省略)。

以上のような谷風循環による熱・水蒸気の輸送過程とその概念は、例えば Kuwagata and Kimura (1997) が詳しい。

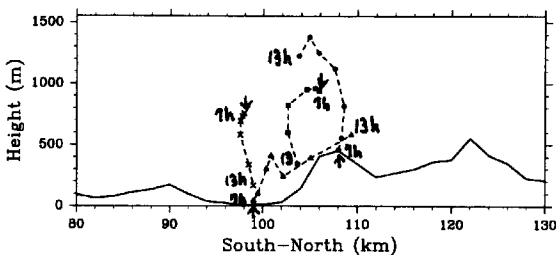


Fig.9 Trajectories of air parcels emitted from four sources which are indicated by the arrows. The first emission starts at 0600 LST. The location of cross-section is indicated in Fig.1 (the dotted line).

5. おわりに

以上述べてきたように、京阪地域では海風、谷風、都市循環が共存することによって、他の大都市地域とは少し異なった気象状態が作られているようである。大都市が複数存在することが原因となって形成される風 chain flow は、汚染物質の内陸先行を許し、都市間郊外域で発達する谷風循環は、高温位で乾燥し、かつ低汚染濃度を持った空気を地上付近にまでもたらす。

上述3つの局地循環が共存することは、それらの相互作

用という観点からもう少し深く考察する必要があるが、これについては今後の課題とする。

謝辞

本研究の遂行に際し、京都市・京都府・大阪府・大阪市の大気汚染常時監視局、並びに気象庁からデータを提供して頂きました。また、神戸商船大学・海洋機械工学講座・海洋情報科学研究室 (<http://misa.kaiyou.kshosen.ac.jp/>) から海面温度のデータ提供をして頂きました。この場を借りて深謝致します。

参考文献

- 一ノ瀬俊明・下堂 薫和宏・鶴野伊津志・花木啓祐 (1997): 細密地理情報にもとづく都市気候数値シミュレーション地表面境界条件の高精度化, 天気, Vol.44, pp.785-797.
- 大橋唯太・木田秀次 (2000): 京阪神地域の海陸風・山谷風の数値シミュレーションについて—大都市と山地の効果について—, 京都大学防災研究所年報, Vol.43B-1, pp.249-257.
- 近藤純正 (1994): 水環境の気象学, 朝倉書店, 348pp.
- Blackadar, A. K. (1979): High resolution models of the planetary boundary layer. *Adv. Environ. Sci. Eng.*, Vol.1, pp.50-85.
- Caughey, S. J., Wyngaard, J. C. and Kaimal, J. C. (1979): Turbulence in the evolving stable boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, Vol.36, pp.1041-1052.
- Caughey, S. J., and Palmer, S. G. (1979): Some aspects of turbulence structure through the depth of the convective boundary layer. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol.105, pp.811-827.
- Gifford, F. A. (1982): Horizontal diffusion in the atmosphere — A Lagrangian-dynamical theory. *Atmos. Environ.*, Vol.12, pp.349-362.
- Hanna, S. R. (1968): A method of estimating vertical eddy transport in the planetary boundary layer using characteristics of the vertical velocity spectrum. *J. Atmos. Sci.*, Vol.25, pp.1026-1033.
- Kaimal, J. C., Wyngaard, J. C., Hauger, D. A., Cote, O. R., Izumi, Y., Caughey, S. J., and Readings, C. J. (1976): Turbulence structure in the convective boundary-Layer. *J. Atmos. Sci.*, Vol.33, pp.2152-2169.
- Kimura, F. (1989): Heat flux on mixtures of different land-use surface—Test of a new parameterization scheme, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.67, pp.401-409.
- Kitada, T., Okamura, K. and Tanaka, S. (1998): Effects of

- topography and urbanization on local winds and thermal environment in the Nohbi Plain, coastal region of Central Japan—A numerical analysis by mesoscale meteorological model with a $k-\epsilon$ turbulence model. *J. Appl. Meteor.*, Vol.37, pp.1026-1046.
- Kusaka, H., Kimura, F., Hirakuchi, H. and Mizutori, M. (2000): The effects of land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo metropolitan area. *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.78, pp.405-420.
- Kuwagata, T. and Kimura, F. (1997): Daytime boundary layer evolution in a deep valley. Part II—Numerical simulation of the cross-valley circulation. *J. Appl. Meteor.*, Vol.36, pp.883-895.
- Legg, B. J. and Raupach, M. R. (1982): Markov-chain simulations of particle dispersion in homogeneous flows—The mean drift velocity induced by a gradient in Eulerian velocity variance. *Bound.-Layer Meteor.*, Vol.24, pp.3-13.
- McNider, R. T. (1981): Investigation of the impact of topographic circulations on the transport and dispersion of air pollutants. Ph.D. Dissertation, Department of Environmental Science, University of Virginia, Charlottesville.
- McNider, R. T. and Pielke, R. A. (1981): Diurnal boundary-layer development over sloping terrain. *J. Atmos. Sci.*, Vol.38, pp.2198–2212.
- McNider, R. T., Moran, M. D. and Pielke, R. A. (1988): Influence of diurnal and inertial boundary-layer oscillations on long-range dispersion. *Atmos. Environ.*, Vol.22, pp.2445-2462.
- Ohashi, Y. and Kida, H. (2002): Local circulations developed in the vicinity of both coastal and inland urban area—A numerical study with the mesoscale atmospheric model. *J. Appl. Meteor.* (in press)
- Panofsky, H. A., Tennekes, H., Lenschow, D. H. and Wyngaard, J. C. (1977): The characteristics of turbulent velocity components in the surface layer under convective conditions. *Bound.-Layer Meteor.*, Vol.11, pp.355–361.
- Pasquill, F. (1974): *Atmospheric diffusion*. Wiley, New York.
- Seaman, N. L., Ludwig, F. L., Donall, E. G., Warner, T. T. and Bhumralkar, C. M. (1989): Numerical studies of urban planetary boundary-layer structure under realistic synoptic conditions. *J. Appl. Meteor.*, Vol.28, pp.760-781.
- Yoshikado, H. (1992): Numerical study of the daytime urban effect and its interaction with the sea breeze. *J. Appl. Meteor.*, Vol.31, pp.1146–1164.
- Yoshikado, H. and Kondo, H. (1989): Inland penetration of the sea breeze in the suburban area of Tokyo. *Bound.-Layer Meteor.*, Vol.48, pp.389–407.

Heat and Moisture Transports by the Local Circulations in the Keihan Region

Yukitaka OHASHI* and Hideji KIDA*

*Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

Heat and moisture transports by the local circulations were investigated in the Keihan region, using the mesoscale atmospheric model. In this region, existences of coast, mountain and urban areas are important for the local meteorology; the sea breeze, valley, and urban circulations develop in the daytime. Results obtained from the present study are indicated as follows: The chain flow, which is a wind system blowing from the Osaka to Kyoto urban areas, is formed ahead of the sea breeze front. This flow transports pollutants emitted from the Osaka urban area into the inland lower layer prior to the transport by the sea breeze front. In the suburban area (Takatsuki and Hirakata Cities etc.) between the Osaka and Kyoto urban areas, the high potential temperature, dry, and less polluted air of the upper layer are downward transported by the valley circulation, and affect the meteorological condition near the ground surface.

Keywords: Keihan region, local circulation, heat and moisture transports, numerical experiment