

## 都市郊外における建物近傍の野外拡散実験

老 川 進\*・孟 岩\*・上 原 清\*\*・大 原 利 眞\*\*\*

## A Field Study on Diffusion Around a Model Cube In a Suburban Canopy

Susumu OIKAWA\*, Yan MENG\*,  
Kiyoshi UEHARA\*\* and Toshimasa OHARA\*\*\*

乱れの大きな都市キャノピー内での建物近傍の拡散場を明らかにすることを目的とし、都市郊外にて立方体モデル建物を用いた野外拡散実験を行った。

都市キャノピー内の流れ場は非常に大きな乱れが存在し、屋根面上の濃度分布は、屋根面全体に広く平均的に拡散しており、乱れの小さな風洞実験で得られたものとは異なっている。屋上面の瞬間濃度と速度変動との関係を明らかにするために、高応答性の濃度分析計と2台の超音波風速計とを用いて計測を行った。その結果、屋上の逆流と上流の組織運動の間には強い相関がみられ、また、屋上中央から排出されたガスは、屋根面上の逆流によって上流側に輸送されていることが明らかとなった。これらは、上流の組織的運動が屋根面上の拡散場に大きな影響をあたえていることを示唆する。

## 1. はじめに

近年、これまで都市郊外に設置されていたコ・ジェネレーションシステム(熱電併給システム)が高いエネルギー効率をもつことから、都市域に設置される機会がふえてきた。その排気ガス中には、高濃度の窒素酸化物がふくまれ、建物近傍への大気汚染問題が懸念されている。

建物近傍においては、建物表面や地表面に高濃度を生じさせる downdraft の現象がよく知られており、多くの風洞実験が行われてきた (Halitsky<sup>1)</sup>, Wilson<sup>2)</sup>, Meroney and Yang<sup>3)</sup>, Robins and Castro<sup>4)</sup>, Thompson and Lombardi<sup>5)</sup>, 鎌田<sup>6)</sup>, 柿島ら<sup>7)</sup>, Thompson<sup>8)</sup>。最も初期の風洞実験において、Halitsky<sup>1)</sup> は、乱れの少ない一様な流れの場に立方体モデルを設置し、屋根面上に逆流域が生じていることを濃度分布にて示唆した。一方、Wilson<sup>2)</sup> は、乱流境界層中にモデルを設置し、屋根面上に流れが再付着 (reattach) している現象を見出している。この再付着は、上流の乱れが小さ

な流れ場であった Halitsky の実験では見られなかったものである。その後、上流乱れ特性と建物近傍拡散場の関係は、老川ら<sup>9,10)</sup>, Ogawa *et al.*<sup>11,12)</sup> の風洞実験により示された。これらの研究は、上流の乱流特性が、屋根面上の再付着点の存在やその位置を決定していること、また、屋根面上に形成される逆流が排出源の位置との関連で屋根面上や建物背後の濃度分布に大きな影響を与えることを示している。こうした研究は、実都市に較べると上流の乱れが小さな風洞実験を中心にして行われてきた。また、実大気での建物近傍を対象とした拡散実験の多くは、乱れの小さな平坦地で行われている (Daivas and Shair<sup>13)</sup>, Smith<sup>14)</sup>, Ogawa and Oikawa<sup>15)</sup>, Ogawa *et al.*<sup>11,12)</sup>, Jones *et al.*<sup>16)</sup>, 大場ら<sup>17)</sup>。

一方、都市域における乱流観測により、都市下層には非常に大きな乱れが存在することが知られている (Bowne and Ball<sup>18)</sup>, Jackson<sup>19)</sup>, Uno *et al.*<sup>20)</sup>, Rotach<sup>21)</sup>。また、著者らは、都市キャノピー(建物高さ以下の層)内および上層の乱れの多くは、組織運

\* 清水建設(株)技術研究所 〒135 東京都江東区越中島 3-4-17

\*\* 国立環境研究所 〒305 茨城県つくば市小野川 16-2

\*\*\* 財計量計画研究所 〒162 東京都新宿区市ヶ谷本村町 2-19

動によって作られていることを明らかにした<sup>22,23)</sup>。この様な大きな乱れが存在する都市キャノピー内における建物近傍の拡散性状に関しては、観測が少なく十分な知見が得られていない。また、都市キャノピー内における組織運動と拡散場との関連を同時に明らかにした研究例は従来ほとんどみられない。

本研究の目的は、(i) 大きな乱れをもつ都市キャノピー内での建物近傍の拡散場を明らかにすること、および(ii) キャノピー内外の組織的な運動が建物屋根面の拡散場へ及ぼす影響を検討することにある。観測は、均一な建物が連なる都市郊外で行い、立方体モデル建物の屋根面中央よりトレーサーガスを放出し、近傍の濃度計測を行った。

## 2. 観測方法

観測は、札幌市中心より北西10 kmに位置する住宅地(平均建物高さ7 m)にて1992年9月~11月に実施した。住宅地より30 m離れた地点(北海道工業大学のグラウンド内)に高さ5.4 mの立方体のモデル建物を設置した。Fig. 1に観測地点から北西側を撮影した写真を示す。均一な高さの建物が連なっている状況がみられる。Fig. 2には、立方体のモデル建物を示す。建物屋上中央には、トレーサーガス放出口(30 cm $\phi$ )を備え、放出口から六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)およびエチレン(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)の2種類のトレーサーガスを放出した。濃度1000 ppmのSF<sub>6</sub>(2 l/min)と純C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(10 l/min)を窒素ガスで希釈し合計70 l/minの排出量で観測の5分前より放出した。排出速度は1.6 cm/sであり、トレーサーガスの流れへの影響は少ない。

SF<sub>6</sub>濃度は、建物表面および地上表面に50台のオートエアサンプラーを設置し、250 cc/minの割合でバックに空気を10分間捕集した。バック中のSF<sub>6</sub>濃

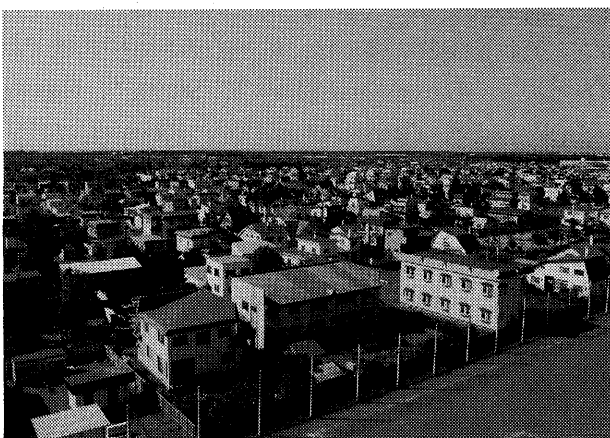


Fig. 1. Photograph view from the site looking to the northwest

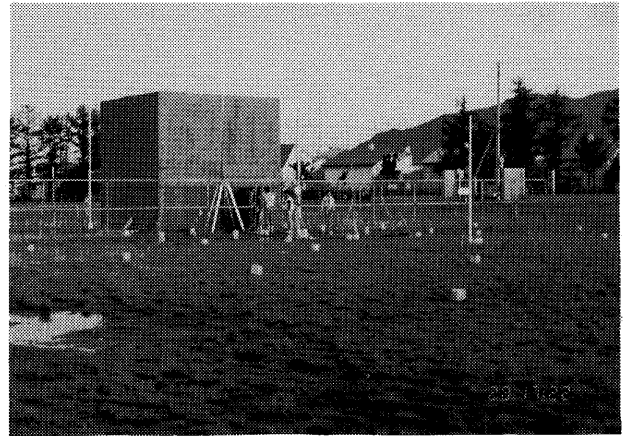


Fig. 2. Model cube ( $H=5.4$  m)

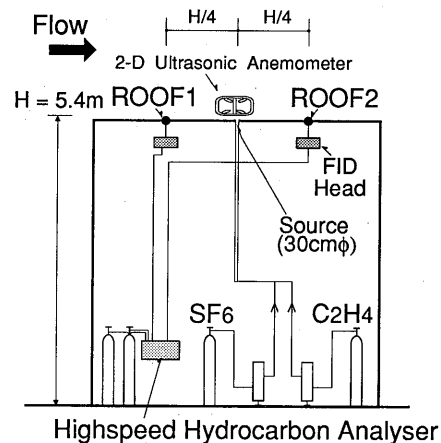


Fig. 3. Tracer gas release system and fast-response concentration detectors setup

度は、後日、実験室にてECDガスクロマトグラフにより分析した。

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>濃度は、屋上に設けた2点の測定点(Fig. 3のROOF1とROOF2)にて、高速炭化水素計(Cambustion社, HFR-400; 測定範囲: 数ppm~10,000 ppm; 応答性: 約80 Hz)を用い、瞬間濃度を測定した。測定した濃度は無次元化濃度 $C^*(=CUH^2/Q)$ で表示した。ここで $C$ :トレーサーガス濃度(ppm);  $U$ :高さ $H$ での風速(m/s);  $H$ :モデル建物高さ(m);  $Q$ :トレーサーガス排出量(cc/s)を表わす。Fig. 4に屋上面(ROOF1とROOF2)にて同時に測定したSF<sub>6</sub>とC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>の無次元化濃度を比較する(平均化時間: 10分間)。おおむね両者の値はよい一致を示す。

上流の乱流量は、高さ5.4 m, 10.3 mおよび18 mの3高度で超音波風速計を用いて計測し、平均風速は、4高度(13 m, 8 m, 4 m, 2 m)に設置した3杯風速

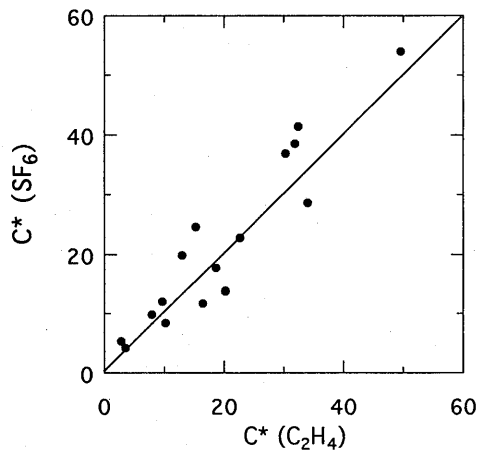


Fig. 4. Comparison of the normalized concentrations between  $C_2H_4$  and  $SF_6$  tracer measured on roof positions

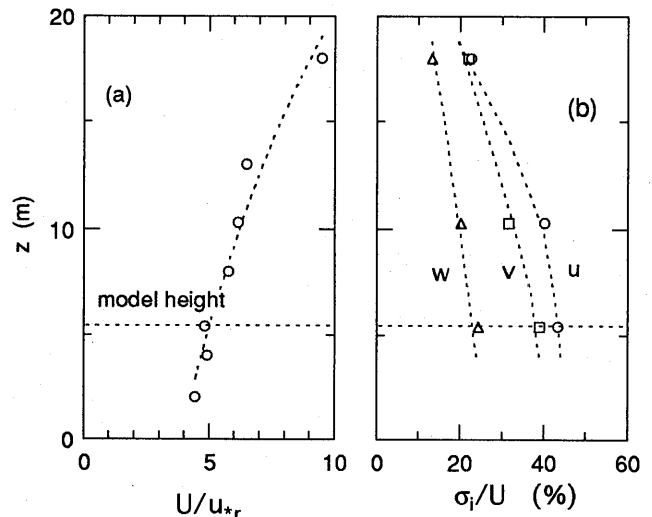


Fig. 6. The profiles of (a) normalized meanwind velocity and (b)  $\sigma_u U$ ,  $\sigma_v U$  and  $\sigma_w/U$ .

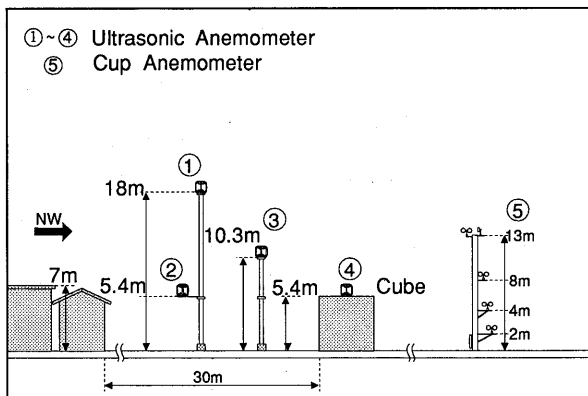


Fig. 5. Schematic of experimental setup

計と併せて測定した。また、モデル建物の屋上風速は、屋上中央 ( $z=5.5\text{ m}$ ) に設置した2次元超音波風速計により測定した。流れおよび瞬間濃度のサンプリングは  $10\text{ Hz}$  で行い、10分間における6000個のデータを1Runとして用いた。Fig. 5に観測状況を示す。

### 3. 観測結果

#### 3.1 上流の流れ

Fig. 6に観測期間の代表的な平均風速および乱流強度分布の例を示す。ここで、 $z$ は地表からの測定高さ、 $U$ は各高さの風速を表し、 $\sigma_u$ ,  $\sigma_v$ ,  $\sigma_w$ は平均風向方向、水平直角方向、鉛直方向の風速変動量 ( $u'$ ,  $v'$ ,  $w'$ ) の標準偏差を表わす。また、 $u_{*r}$ は、高さ18mの摩擦速度 ( $u_* = \sqrt{-\overline{u'w'}}$ ) を示す。キャノピー内 ( $z=7\text{ m}$ 以下) では大きな平均風速の勾配変化がないこと (Fig. 6a) および乱流強度  $\sigma_u/U$  が約40%と非常に大きな値を示していること (Fig. 6b) などキャノピーの流れ場の特徴<sup>24)</sup>を示している。トレーサガス拡散実験は、全16Run実施し、そのうち、日中に実施した大気の状態が中立からやや不安定であり、かつ平均風向  $\theta$  (建物前面に直角にあたる風向を  $0^\circ$  と

Table 1. Summary of the flow characteristics of the oncoming wind (at  $z=5.4\text{ m}$ )

Run	U (m/s)	$\sigma_u$ (m/s)	$\sigma_v$ (m/s)	$\sigma_w$ (m/s)	$u_*$ (m/s)	$\overline{w' l}$ (m/s · K)	L (m)	$\theta$ (deg)	$\sigma_\theta$ (deg)
1	1.8	0.70	0.57	0.32	0.25	0.02	-55	-5	20
6	1.3	0.64	0.64	0.30	0.27	0.03	-54	3	31
9	2.8	1.05	1.08	0.72	0.58	0.08	-167	8	23
10	2.3	1.18	0.97	0.68	0.59	0.06	-230	8	27
11	2.4	1.00	0.74	0.53	0.45	0.03	-191	-15	20
15	5.8	1.94	1.58	0.95	0.70	0.02	-1041	13	15
16	1.2	0.46	0.50	0.30	0.21	0.00	-138	-8	25

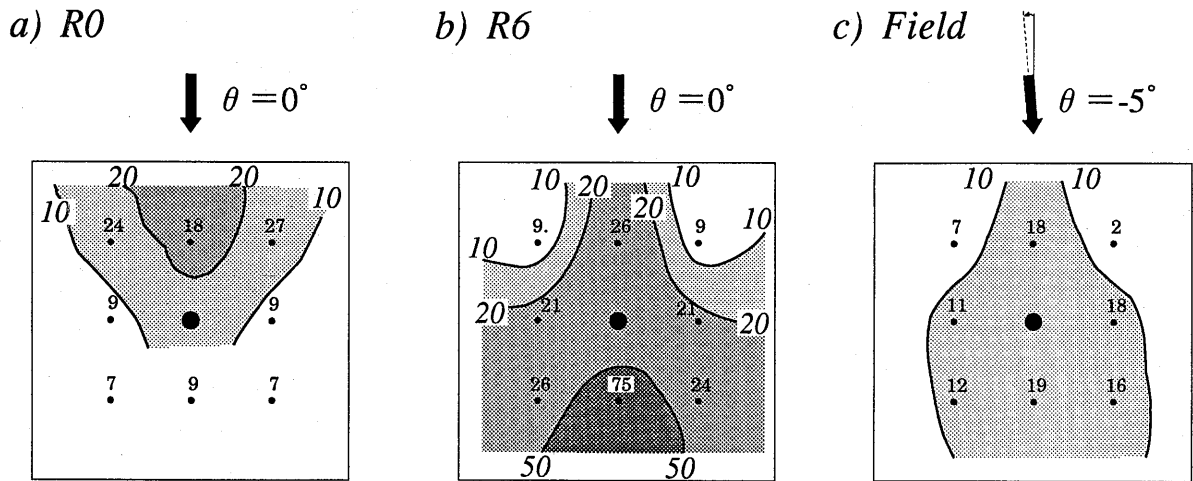


Fig. 7. Normalized concentration patterns on the roof.

(a) R0 (smooth) case,  $\theta=0^\circ$  (after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup>) (b) R6 (rough) case,  $\theta=0^\circ$  (after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup>) (c) Field data Run 01,  $\theta=-5^\circ$

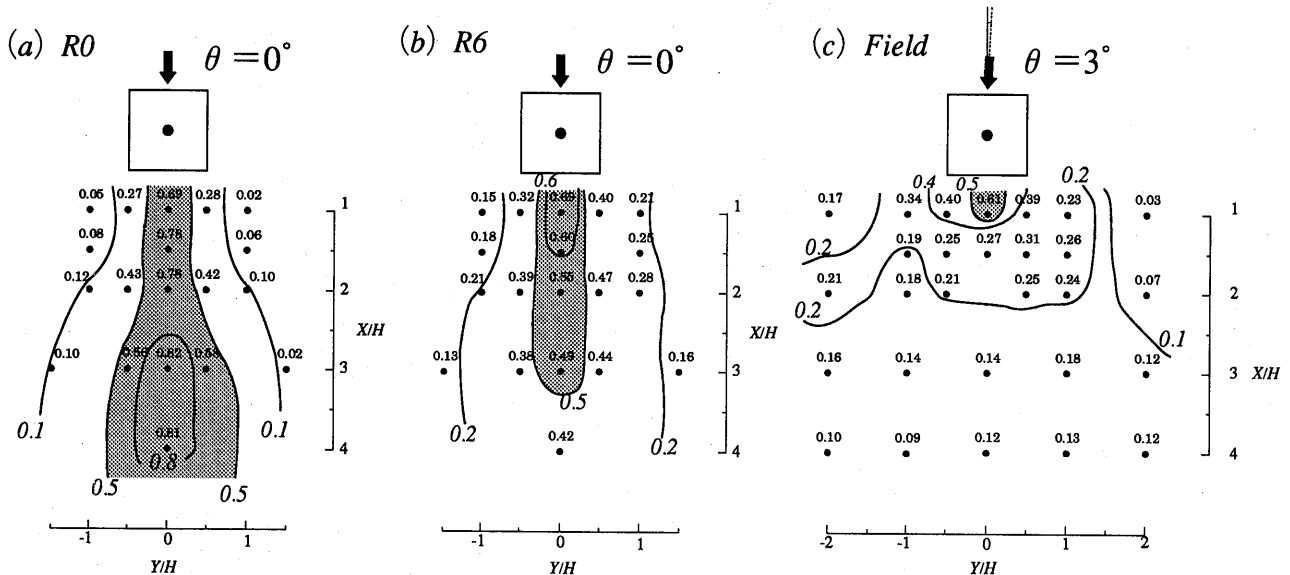


Fig. 8. Normalized concentration patterns on the ground.

(a) R0 (smooth) case,  $\theta=0^\circ$  (after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup>) (b) R6 (rough) case,  $\theta=0^\circ$  (after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup>) (c) Field data Run 06,  $\theta=3^\circ$

する)が $\pm 15^\circ$ 以内であるRunを今回の解析対象とした。Table 1に、各Runの流れの特性を示す。ここで、 $v'$ は温度変動成分を、 $L$ はMonin-Obukhovの長さを示し、 $\sigma_\theta$ は風向変動の標準偏差を表わす。この中でRun1およびRun15は南東方向からの風であり比較的乱れが小さく、他のRunは住宅地側(北西方向)から吹く風である。

### 3.2 屋上の濃度分布

Fig. 7に屋根面上の無次元化濃度 $C^*$ ( $=CUH^2/Q$ )

の分布を示す。今回の野外観察データと比較するため老川ら<sup>9,10)</sup>、Ogawa *et al.*<sup>11,12)</sup>の風洞実験結果を用いた。大気安定度は、風洞実験が中立であり、野外観測は弱い不安定の状態にある。Fig. 7a, 7bは、風洞実験の値である。R0のケース(Fig. 7a)は、上流の乱れが小さな場合であり( $\sigma_u/U=6.7\%$ ,  $\sigma_v/U=5.3\%$ ,  $\sigma_w/U=4.6\%$  at  $z=H$ )、R6のケース(Fig. 7b)は、上流の乱れが比較的大きな場合である( $\sigma_u/U=26.5\%$ ,  $\sigma_v/U=23.7\%$ ,  $\sigma_w/U=22.4\%$ )。上流の流れの小さな場合は(R0)、排出源の上流に高濃度が検出さ

れ下流側は低濃度である (Fig. 7a)。また、上流の乱れが比較的大きな場合は (R6), 排出源の下流に高濃度が検出され上流側は低濃度である (Fig. 7b)。Fig. 7cには、野外観測の結果を示した ( $\sigma_u/U=39\%$ ,  $\sigma_v/U=32\%$ ,  $\sigma_w/U=18\%$  at  $z=5.4$  m)。屋上中央から排出されたトレーサーガスは、排出源の上流および下流側の両方に拡散され、上流側、下流側ともに顕著な高濃度域が形成されていないのが特徴である。

### 3.3 地上の濃度分布

Fig. 8a~cには、立方体の風下地面の無次元化濃度分布を示す。R0の場合は (Fig. 8a), 地上の最大濃度が風下  $X/H=2.5$  近辺に生じている。R6 (Fig. 8b) および野外観測 (Fig. 8c) の場合は、最大濃度が立方体の直後に出現している。Fig. 9には、立方体背後の中心軸上  $Y/H=0$  の地表面濃度を示した。R0のケースでは風下距離が増大するとともに濃度が増加し、濃度ピークが建物から離れた風下に生じている。一方、R6のケースおよび今回の野外観測の場合は風下距離の増加とともに濃度が減少し、ピークが建物のそばに生じている。濃度の風下方向の変化については、野外観測データがR6のデータに比べ、かなり急に減少していることがわかる。

これら地上濃度分布の差異は、屋上の流れ場の違いによるものと説明される。すなわち、R0の場合、屋上から排出されたトレーサーガスは、屋上面に形成された逆流により排出源の上流側に高濃度のガスが運ばれる。その高濃度のガスは屋根面の剝離流に添って移動し風下に流された後、地面に降下する。そのため

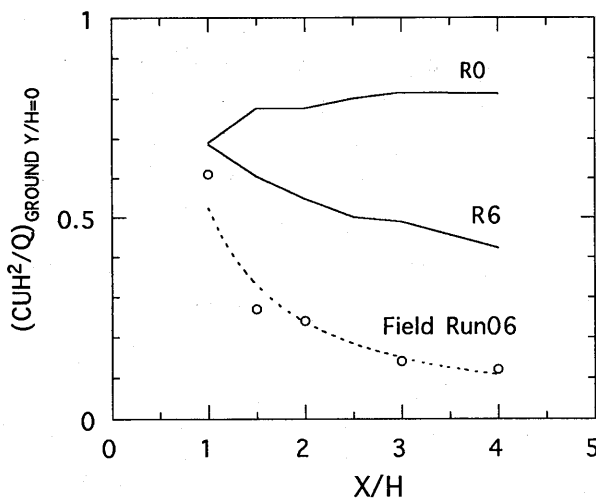


Fig. 9. The normalized concentration along the model center line on the ground, wind tunnel data R0, R6 (after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup> and field data Run 06.

R0の場合は、立方体から離れた地点の地面濃度が最大となる<sup>12)</sup>。

一方、R6と野外観測の場合は、屋根面上に逆流域が形成されにくいいため、高濃度のガスが排出源の風下へ運ばれる。屋根面で直接風下方向に運ばれたガスは、建物背後の逆流域に巻き込まれ、立方体の近くの風下地面に高濃度を発生する。また、野外観測の場合は、上流の乱れが風洞実験 R6 の場合よりもさらに大きく、地表上の濃度分布も広範囲に低濃度となる。

### 3.4 上流乱れの効果

Fig. 10には、屋根面の ROOF1 (上流点), ROOF2 (下流点) および地表面の最大濃度値と上流の乱流強度との対応を示した。ここで地表面上における最大濃度の値は濃度分布から内挿した。野外観測データは平均風向が  $9\sim 15^\circ$  のデータをプロットし、風洞実験結果 ( $\theta=0^\circ$ ; 乱流強度  $\sigma_u/U: 6.7\%\sim 26.5\%$ ) は実線で示した。図中の数字は野外観測の Run 番号を表わす。ROOF1 (Fig. 10a) では、上流の乱流強度が増加するに従い、濃度が減少する。一方、ROOF2 (Fig. 10b) では、乱れの小さな時は濃度が低く、その後乱れ強度が増加するに従い濃度も増加し、乱流強度が30%前後でピークを持つ。その後、さらに乱れ強度が増加すると濃度が減少する。

これらの現象は次のように説明される。上流の乱れ強度が小さい時は、逆流が生じ排出源の上流側にガスが運ばれ ROOF1 が高濃度となり、下流の ROOF2 が低濃度となる。さらに乱れ強度が増加し  $20\%\sim 30\%$  の乱流強度では、屋上面の逆流が消え (平均風速から見た場合)、中央の排出源から放出されたガスは、直接、下流側に流され ROOF2 で高濃度となり、上流の ROOF1 では低濃度となる<sup>12)</sup>。さらに乱れ強度が大きくなると ROOF2 の値は乱流強度が増加しても、風洞実験から外挿される様な高濃度を生じず、逆に濃度が減少する。これは、自然風の大きな乱れが屋根面上の初期拡散を増大させ、排出源の下流側の濃度を低下させたためである。いずれの Run においても屋根面の平均風速は正の値であるにもかかわらず上流に濃度が検出される。これら上流点 ROOF1 で濃度が検出されるメカニズムおよび上流の流れ場との関係は 3.6 節で述べる。Fig. 10c は地表面の最大濃度を示した。最大濃度の地表面上の出現位置は乱れ強度により異なるが (Fig. 8), その値は大きく変化しない。

### 3.5 平均風向変化の効果

Fig. 11には、屋根面濃度および最大地表面濃度の

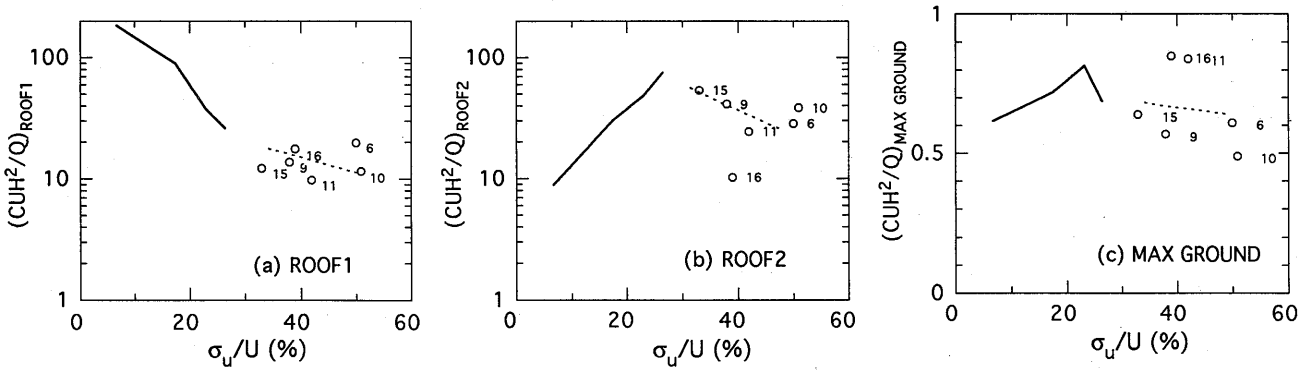


Fig. 10. Normalized concentration vs  $\sigma_u/U$ . Solid lines indicate wind tunnel data ( $\theta=0^\circ$ , after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup>). Number represent Run numbers.

(a) ROOF1 (upwind), (b) ROOF2 (downwind), (c) maximum ground level

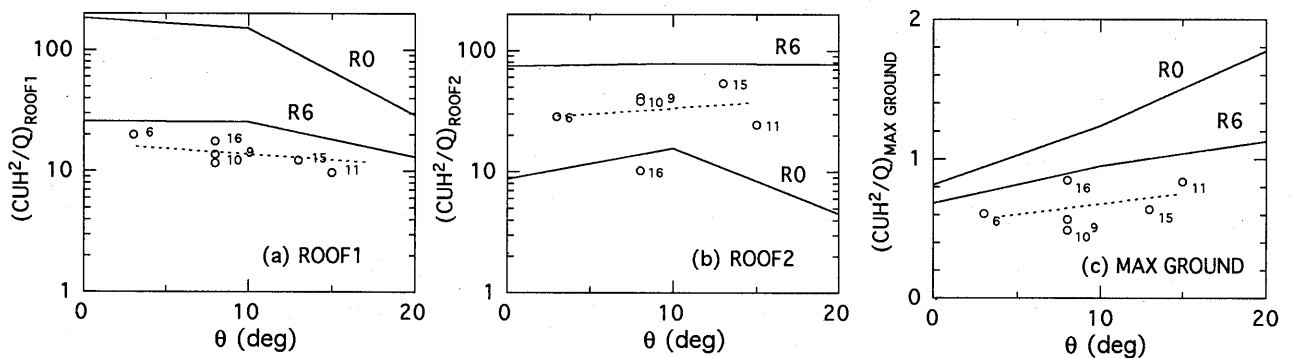


Fig. 11. Normalized concentration vs wind direction. Solid lines indicate wind tunnel data (after Ogawa *et al.*<sup>12)</sup>) of R0 and R6 cases. Number represent Run numbers.

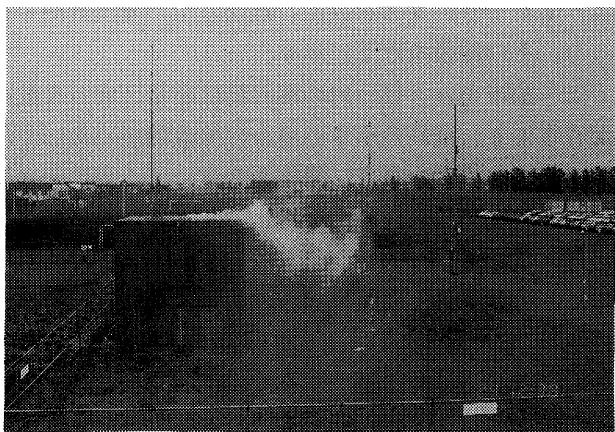
(a) ROOF1 (upwind), (b) ROOF2 (downwind), (c) maximum ground level

風向による変化を示した。実線は風洞実験のR0とR6の場合を示し、図中の数字は野外観測のRun番号を表わす。屋上のROOF1 (Fig. 11a) のR0の場合は、風向の増加とともに濃度が減少傾向にあるが、R6と野外観測のデータは減少傾向が小さい。これは、R0では風向角が小さい時に逆流が生じ濃度が高くなり、風向角が大きくなるにつれ逆流が小さくなることによる。一方、乱れ強度の大きなR6と野外観測のデータでは逆流域が小さく、かつ乱れが大きいためトレーサーガスの拡がり幅が大きく、風向が変化しても大きな濃度の変化がない。また、ROOF2 (Fig. 11b) では、風向の増加とともにR0の濃度は減少傾向にあるが、R6および野外観測の濃度はあまり変化しない。乱れの小さなR0の場合、風向が増大するとトレーサーガスの拡がり幅が測定点より外れ濃度は減少する。一方、R6および野外観測のデータは、乱れが大きいため下流点では十分に混合されたトレーサーガスが測定点に達し、風向が変化しても大きな濃度の変化がない。地面最大濃度 (Fig. 11c) のR0の場合、風

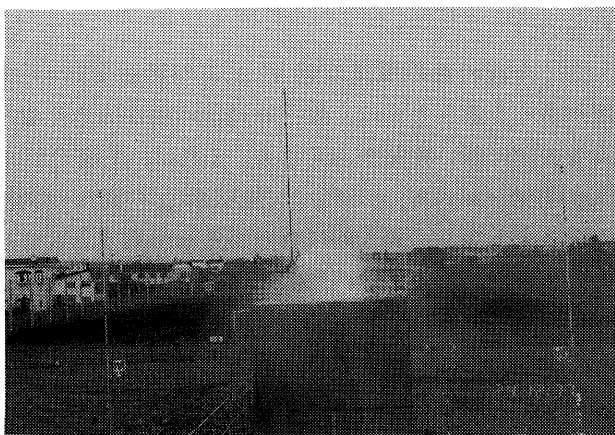
向の増加とともに濃度が増加傾向にある。R6および野外観測のデータは風向の増加とともに微増傾向にある。

### 3.6 上流の組織的な運動と屋根面上の拡散現象との関係

都市キャノピーにおける組織的な乱流構造については、著者らによる報告がある<sup>22,23)</sup>。ここでは、都市キャノピー内外における組織運動と建物屋根面上の瞬間濃度との関係を調べ、トレーサーガスの屋根面上の初期拡散過程を明らかにする。瞬間的な屋上の煙のダイナミックな動きをみるために、屋上のトレーサーガス放出口より煙を排出し可視化した。ここで、2つの代表的な可視化例を示す。Fig. 12aには、屋上中央より排出された煙が、屋根面表面に抑えられながら風下に直接流されている様子が示されている。この煙は建物の後流に巻き込まれ、downdraft現象がはっきり生じている。一方、Fig. 12bでは、屋上中央より排出された煙は屋上の上流側にも流れて、屋上が煙に覆われ



(a) smoke on the roof was transported downwind directly



(b) smoke on the roof was transported upwind

Fig. 12. Smoke released from cube rooftop center

ている様子がみられる。この場合は downdraft 現象がはっきり生じていない。

これらの可視化で示された動きを、建物前方 5.4 m、高さ 10.3 m に設置した超音波風速計と建物屋上  $z = 5.5$  m に設置した超音波風速計により詳細を調べた。さらに、2 台の高速炭化水素計を屋上に設置し、屋上の濃度変動と屋上の瞬間速度変動との関係を調べた。Fig. 13 には屋上の風速と上流（立方体前面より風上に 5.4 m ;  $z = 10.3$  m）の風速変動の  $u'$ 、 $w'$  成分の時系列プロットを示す。図示したプロットは 1 秒間の移動平均値である。屋上における負の風速値は、屋根面上で逆流が生じていることを表す。ここで注目すべきことは、上流流れに伴う速度変動  $u'$  が負でかつ  $w'$  が正になっている時 (ejection motion) に屋上の風速が負の値を示すことである。ただし、上流点と屋上点の超音波風速計の空間的な設置位置の差があるため ejection 運動と屋根面上の流れの剥離の出現に時間ずれがみられる。

次に、屋上で逆流 ( $U_{\text{ROOF}} < 0$ ) が生じた時と上流点の風速変動  $u'$ 、 $w'$  との相関を調べる。上流と屋上の超音波風速計の水平距離  $X_n$  は 8.1 m 離れているため、ここで時間ずれ  $T_n (= X_n / U_n)$  が生じる。これを補正するために屋上の負の風速の検出点から 10 秒前までの上流風速  $U_n$  を用いた。たとえば、 $U_n = 1.5$  m/s の場合  $T_n$  は 5.4 秒となる。Fig. 14 には、屋上の逆流と上流点の風速変動  $u'$ 、 $w'$  との関係を示した。これらから、負の風速変動  $u'$  と正の風速変動  $w'$  の値が大きくなるとともに、屋上の逆流の値が大きくなることわかる。すなわち、上流の ejection 運動

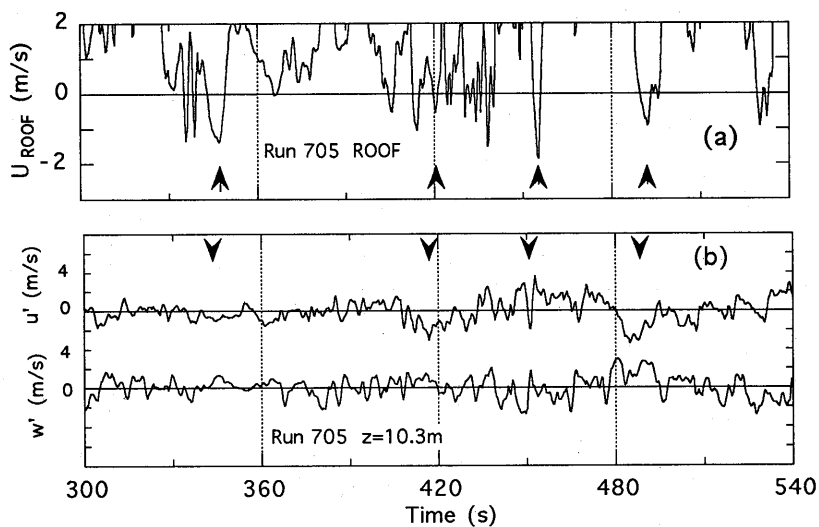


Fig. 13. Time series of (a) wind speed on the roof and (b) upwind wind fluctuating  $u'$ 、 $w'$  at  $z = 10.3$  m.

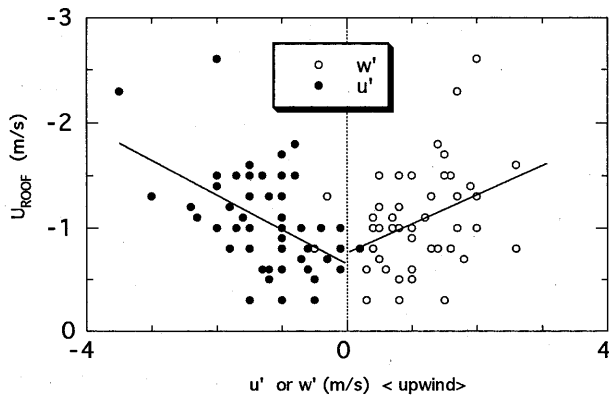


Fig. 14. Relationship between reverse flow on the roof and upwind wind fluctuating  $u'$  and  $w'$  at  $z=10.3$  m.

( $u' < 0$ ,  $w' > 0$ ) にともなう上昇流は、屋根面上の流れの剥離の引き金となっている。

Fig. 15 は屋上の逆流（負の風速）と ROOF1 点（上流点）における  $C_2H_4$  の瞬間濃度の関係を示す。屋上風速の逆流時に、ROOF1 にガスが検出され、両者の対応がよい。すなわち、上流点で検出される濃度は、ほとんど逆流によって運ばれていることを示している。Fig. 15a に示した屋上の平均風速 ( $U_{ROOF}=1.8$  m/s) の値は正であるにもかかわらず、排出源の上流側に濃度が検出されるのは、上流の組織的な運動 (ejection motion) によって、屋根面上に間欠的に負の風速が形成されたことによる。このことは上流の組織的な運動が、屋上面上の拡散場に大きな影響を与えていることを示唆する。

#### 4. まとめ

都市郊外において、立方体のモデル建物の屋上中央

よりトレーサガスを放出し建物近傍の濃度計測を行った。その結果を以下に示す。

(1) 都市キャノピー内の流れ場は非常に大きな乱れが存在する。乱れの小さい場合の拡散状況に比べて、屋根面上の濃度分布は、屋根面全体に広く平均的に拡散しており、地表面濃度は建物のすぐ背後に高濃度域が形成されている。

(2) 上流乱れと濃度性状との関係において、排出源の上流の屋根面濃度 (ROOF1) は上流乱れ強度が増加するとともに濃度が減少する。排出源の下流点 (ROOF2) の濃度は、乱流強度の増加とともに濃度は増加し、乱流強度  $\sigma_u/U$  が 20~30% の所でピークを持ち、さらに乱流強度が増加すると濃度は減少する。一方、地表面最大濃度は、上流乱れ強さにあまり依存しない。

(3) 上流の負の風速変動  $u'$  と正の風速変動  $w'$  の値が多くなるとともに、屋上の逆流の値が大きくなり、両者の間に強い相関がみられる。これは、上流の ejection 運動 ( $u' < 0$ ,  $w' > 0$ ) が屋根面上の流れの剥離の引き金となり、間欠的に負の風速を形成することによる。また、屋上風速の逆流時に排出源の上流点に濃度が検出される。これらの結果は、上流の組織的な運動が屋根面上の拡散場に大きな影響をあたえていることを示唆している。

(受稿 1994.7.7)

#### 謝 辞

北海道工業大学建築工学科 苫米地助教授には現地の観測に際し、観測場所および数々のご協力を頂き厚くお礼を申し上げます。また、国立環境研究所 都市大気保全研究チーム総合研究官 若松伸司博士には、観測に際しいろいろご協力頂き深く感謝を表わします。

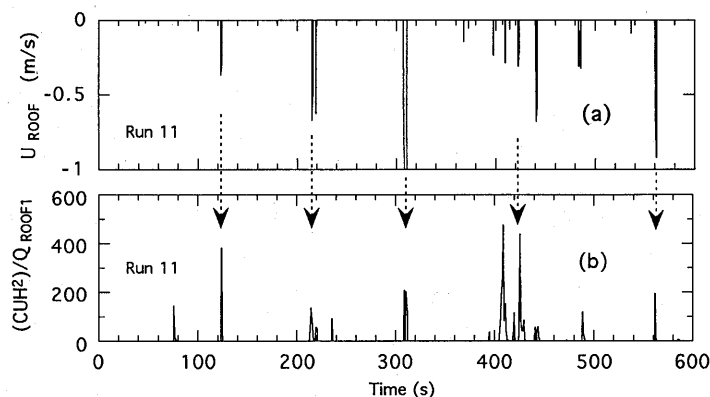


Fig. 15. Time series of (a) reverse flow on the roof and (b) normalized concentration fluctuations on the central upwind rooftop location (ROOF1)



## 文 献

- 1) Halitsky, J.: Gas Diffusion near Buildings, *ASHRAE Trans.*, **69**, 464~485 (1963).
- 2) Wilson, D. J.: Concentration of Air Intakes from Roof Exhaust Vents, *ibid.*, **82**, 1024~1038 (1976).
- 3) Meroney, R. N. and Yang, B. T.: Wind Tunnel Study on Gaseous Mixing due to Various Stack Heights and Injection Rates above an Isolated Structure, Colorado State Univ. Fluid Dynamics and Diffusion Lab. CER71-72RNM-BTY 16 (1971).
- 4) Rabins, A. G. and Castro, I. P.: A Wind Tunnel Investigation of Plume Dispersion in the Vicinity of a Surface-mounted Cube -II. The Concentration Field., *Atmos. Environ.*, **11**, 299~311 (1977).
- 5) Thompson, R. S. and Lombardi, D. J.: Dispersion on Roof-top Emissions from Isolated Buildings a Wind Tunnel Study, EPA-600/4-77-006, (1977).
- 6) 鎌田元康; 建物近傍における汚染物質拡散に関する実験的研究(2), 日本建築学会論文報告集, **281**, 109~119 (1979).
- 7) 柿島伸次, 通地克三, 中井真行, 千秋鋭夫, 大場良二, 西島茂行: 発電用原子炉施設の安全解析のための風洞実験手法の研究, 電力中央研究所報告・総合報告, 219 (1985).
- 8) Thompson, R. S.: Building Amplification Factors for Sources near Buildings: A Wind-Tunnel Study, *Atmos. Environ.*, **27A**, 2313~2325 (1993).
- 9) 老川 進, 小川 靖, 小川フィリス: 建物周囲の流れと拡散 (その3) モデル背後の渦領域の大きさ, 第22回大気汚染学会, 316 (1981).
- 10) 小川 靖, 老川 進, 上原 清: 建物周囲の流れと拡散 (その4) 濃度・屋上面の流れ, 第22回大気汚染学会, 317 (1981).
- 11) Ogawa, Y., Okiwa, S. and Uehara, K.: Field and Wind Tunnel Study of the Flow and Diffusion around a Model Cube-I. Flow Measurements, *Atmos. Environ.*, **17**, 1145~1159 (1983).
- 12) Ogawa, Y., Oikawa, S. and Uehara, K.: Field and Wind Tunnel Study of the Flow and Diffusion around a Model Cube-II. Nearfield and Cube Surface Flow and Concentration Patterns, *ibid.*, **17**, 1161~1171 (1983).
- 13) Daivas, P. J. and Shair, F. H. Probing the Air Flow within the Wake Downwind of a Building by Means of a Tracer Technique, *ibid.*, **8**, 1165~1175 (1974).
- 14) Smith, D. G.: Influence of Meteorological Factors upon Effluents Concentrations on and near Buildings with Short Stacks, Proc. 68th Annual APCA Meeting, Paper No. 75~26.2 (1975).
- 15) Ogawa, Y. and Oikawa, S.: A Field Investigation of the Flow and Diffusion around a Model Cube, *Atmos. Environ.*, **16**, 207~222 (1982).
- 16) Jones, C. D. and Griffiths, R. F.: Full-Scale Experiments on Dispersion around an Isolated Building using an Ionized Air Tracer Technique with Very Short Averaging Time, *ibid.*, **18**, 903~916 (1984).
- 17) 大場正昭, 小林信行: 風向の出現頻度を考慮した重ね合わせ法による建物近傍濃度の予測方法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, **368**, 10~20 (1986).
- 18) Bowne, N. E. and Ball, J. T.: Observational Comparison of Rural and Urban Boundary Layer Turbulence, *J. Applied Meteorology*, **9**, 862~873 (1970).
- 19) Jackson, P. S.: Wind Structure Near a City Center, *Boundary-Layer Meteorol.*, **15**, 323~340 (1978).
- 20) Uno, I., Wakamatsu, S., Ueda, H., and Nakamura, A.: An Observational Study of the Structure of the Nocturnal Urban Boundary Layer, *ibid.*, **45**, 59~82 (1988).
- 21) Rotach, M. W.: Turbulence Close to a Rough Urban Surface. Part I: Reynolds Stress, *ibid.*, **65**, 1~28 (1993).
- 22) 老川 進: 都市キャノピーにおける乱れ場の垂直乱流構造, 大気汚染学会誌, **28**, 348~358 (1993).
- 23) 孟 岩, 老川 進, 若松伸司: 都市キャノピーにおける組織的乱流構造, 第25回乱流シンポジウム講演論文集, 47~50 (1993).
- 24) Raupach, M. R.: Stand Overstorey Processes, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **B324**, 175~190 (1989).

## A Field Study on Diffusion Around a Model Cube In a Suburban Canopy

Susumu OIKAWA\*, Yan MENG\*,  
Kiyoshi UEHARA\*\* and Toshimasa OHARA\*\*\*

\* Environmental Engineering Department Institute of Technology SHIMIZU CORPORATION  
No. 4-17, Etchujima, 3-chome, Koto-ku, Tokyo 135, JAPAN

\*\* National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305, JAPAN

\*\*\* The Institute of Behavioral Science, Ichigaya, Tokyo 162, JAPAN

A field study on the diffusion around a cube was conducted in the urban canopy in Sep. and Nov., 1992 in Sapporo, Japan. It was found that in the urban canopy turbulence intensities were very strong, and the concentration patterns on the rooftop of the cube and on the ground level differed from those obtained from wind tunnel studies with low turbulence intensities. The relationship between the velocity fluctuations and the concentration variations was also investigated using two ultrasonic anemometers and fast-response concentration detectors. The results show that the reverse flow on the roof was caused by the ejection motions, which exist in the upwind velocity field, and also that the tracer gas released from the center of the cube roof was transported upwind by this reverse flow on the roof.

**Key words:** urban canopy, field study, diffusion, building, concentration variations, ejection motions