## 都市接地境界層における運動量、熱、水蒸気、CO2の乱流輸送特性

東京工業大学	学生会員	渡邊	倫樹
東京工業大学	正会員	森脇	亮
東京工業大学	正会員	神田	学
東京工業大学		松永	和章

1.はじめに

地表面 - 大気間における運動量、熱、物質の乱流輸送特性を見出すことは工学的に重要なことである。草 原や森林においては、数々の観測・研究結果から各種乱流統計量がモニン - オブコフ相似則(以下 M.O.S.)に 則ることが示されている。一方、都市を対象とした観測例は様々な制約条件により数が少なく乱流輸送特性は 明確化されていない。また Roth (2000) <sup>1)</sup>や神田ら (2000) <sup>2)</sup>は平原観測に基づき規定された相似関数の一部が 都市において適用出来ないことを指摘している。これらの研究は短期的な観測に基づくもので、都市上空の乱 流輸送はいまだ未解明な点が多いのが現状である。そこで我々は日本の代表的な都市である低層住宅地上空に て長期的な観測を実施し、運動量、熱、水蒸気、二酸化炭素(以下、CO2)の乱流輸送特性の把握を試みた。

## 2. 観測概要

(1) 観測場所および測定項目

観測は東京都大田区久が原の住宅街である。この住宅地は 1km 四方に渡り建物の殆どが 2 階建住宅である。 現地計測の結果、建物の平均高さは 7.3m、建蔽率は約 48%であった。観測は 2001 年 5 月から継続的に行っ ている。住宅地の一角に観測用のタワーを設置し、高度29.0mおよび21.0mにおいて3次元風速、気温、水 蒸気、CO2濃度(8Hz)を測定した。観測場所周辺ならびに観測タワーの様子を**写真 - 1**に示す。 (2) データ処理

本解析で取り扱う乱流統計量の平均化時間は1時間を採用した。M.O.S.について議論する前に、コンスタ ント・フラックス層 (以下 C.F.L.)の成立について検討した。高度 29.0m 及び 21.0m の 2 高度のフラックス 比を大気安定度で整理したのが図-1である。これから判断すると各フラックスについてプロットで表した平 均値が1付近に収まることから本測定データがC.F.L.で測定されたものであると言える。

(1)

本稿で取り扱う乱流統計量は以下に示す乱流相 関係数の比(鉛直輸送効率比)である。

 $r_{wT}/r_{uw} = \frac{|\overline{w'T'}|/\sigma_w\sigma_T}{|\overline{u'w'}|/\sigma_u\sigma_w}$ 熱と運動量の輸送効率比

CO<sub>2</sub>と熱の輸送効率比

水蒸気と熱の輸送効率比  $r_{wq}/r_{wT} = \frac{|\overline{w'q'}|/\sigma_w\sigma_q}{|\overline{w'T'}|/\sigma_w\sigma_T}$ (2)  $r_{wc}/r_{wT} = \frac{|\overline{w'c'}|/\sigma_w\sigma_c}{|\overline{w'T'}|/\sigma_w\sigma_T}$ (3)

ここで *u*、*w* はそれぞれ風速の主流方向成分と鉛直 方向成分、Tは温度、qは水蒸気濃度、cは CO<sub>2</sub> 濃度、 $\sigma$ 



写真-1 観測タワーの位置並びにその周辺、観測タワーの様子

|は標準偏差を示す。' は時間平均値からの瞬間的な偏差を示している。 以下の解析では 29.0m で測定されたデ ータのみを用いている。また M.O.S.は定常な気象場で成立すると仮定されているため晴天日の 11 時から 13 時のみのデータを用いるなどデータの品質管理に努めた。

キーワード 乱流輸送、モニン-オブコフ相似則、都市境界層、長期観測、ウェーブレット解析 連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2丁目12-1 東京工業大学土木工学専攻 TEL03-5734-2597



図-2 大気安定度に対する輸送効率比 (1)熱と運動量,(2a)水蒸気と熱,(2b)CO2と熱

## 3.結果と考察

図-2に大気安定度に対する輸送効率比を示す。(1) は熱と運動量の輸送効率比を整理したものである。図中、 破線で示す乱流相似関数は平原観測に基づき提案され たものであり、実線は本観測と同様、低層住宅地上空に おける観測(東京都世田谷区)を基にして提案された乱 流相似関数である。本測定結果は平原観測で得られた既 存関数を下回る傾向が見て取れる。これは都市において 熱と比較し運動量の輸送効率が高いことを示している。 建物から発生した wake が運動量のみを効率良く輸送し ているためだと考察される。(2a)は水蒸気と熱、(2b) は CO2 と熱というスカラー間の輸送効率比を示してい るが、M.O.S.においてスカラーは大気安定度によらず全 て同等に輸送されると仮定されているため、スカラー間 の輸送効率比は1になることが期待される。しかし測定 結果は1を下回り、熱に比べて水蒸気や CO2の輸送効 率が低い傾向が見られた。このことを詳細に検討するた



めウェーブレット解析を行った。例として 7 月 11 日 13:00~14:00 の熱及び水蒸気の輸送効率に対するウェ ーブレット係数のコンターを図-3 に示す。実線と破線で囲んだ円は、それぞれサーマルと組織渦であり、熱 はこれらの渦によって常に効率良く輸送されている。一方、水蒸気や CO2 は同様に輸送される場合と、輸送 されなかったり逆輸送されたりする場合があることが見出せた。原因として、 熱はそれ自体が輸送を生み出 すアクティブスカラーであるのに対し、水蒸気や CO2 は受動的に輸送されるパッシブスカラーであること、

都市において水蒸気、CO2の発生吸収源が点在し濃度分布に非均一性が生じやすいこと、などが考察される。

## 参考文献

・Roth,M.,:Review of atmospheric turbulence over cities, *Quart. J.Roy.Meteor.Soc.*,126, 941- 990, 2000.
・神田学,森脇亮,鈴木譲,Roth,M.,Oke,T.R.:都市の接地境界層における乱流相似関数について,天気, 47,493-501,2000.