

中立に近い大気境界層における組織的乱流構造の出現状況の変化

堀口光章・林泰一・足立アホロ⁽¹⁾・小野木茂⁽¹⁾

(1) 気象庁気象研究所

要 旨

大気境界層における組織的な乱流構造について、つくば市気象研究所気象観測鉄塔（高さ213m）での乱流観測データを使用し、安定度が中立に近い状態でのその出現状況の変化を調べた。ウェイブレット分散スペクトルにより、中立に近い状態で、ほぼ中立と言えるような条件の場合と不安定寄りの場合に大きな規模の乱流構造が顕著に出現することが示された。強風の乱流構造の前方に位置する弱風域は中立に近い状態でも不安定寄りの場合に正の温度偏差を示し、大気下層が熱せられ浮力により生じるプリュームの構造に良く似ている。

キーワード：大気境界層，気象観測鉄塔，ウェイブレット，乱流構造，プリューム

1. はじめに

大気境界層において、大きな規模で秩序だった運動を示す組織的な乱流構造は、熱・運動量の鉛直輸送や乱れの増大に対して重要な役割を担っていると考えられている。これに関して、風のシアーによる乱れの生成が支配的となり浮力による影響が小さい中立に近い場合について、音波を使用したリモートセンシング機器であるドップラーソーダを使用した観測から比較的大きな時間スケールを持った下降する強風の乱流構造が示された（Horiguchi et al., 2010）。この乱流構造は例えばGao et al. (1989) により森林上で観測された構造と良く似ており、より大きな規模で構造の様相をとらえたものと考えられる。さらに、組織的乱流構造のより詳細な構造と接地層より上の高度を含めての運動量輸送や乱れへの影響を調べるために気象研究所気象観測鉄塔（高さ213m）（茨城県つくば市）での観測データを解析している（堀口ら，2008，2010；Horiguchi et al., 2012）。

今回は、観測例間で組織的乱流構造の出現状況を比較し、また一日における時間変化を調べる。そして、中立に近い状態での乱流構造と不安定な時に発生する構造との関連についても調べる。

2. 観測の概要と解析の方法

気象庁気象研究所はつくば市にあり、広大な関東平野のほぼ中央部に位置している。気象観測鉄塔は研究所の敷地内に1975年に建設され、周囲の土地は比較的平坦であるが、高いもので20～30m程度の林や建物が点在している。

気象観測鉄塔は一辺が4mの正三角形をしており、高さは213mである。6高度（10，25，50，100，150，200m）の各高度に鉄塔本体各辺に沿って水平支柱が3本設けられ、塔体の端から長さ6m突き出たその各先端に観測機器が設置されている（花房ら，1979）。乱流測定は、6高度に設置された三次元超音波風速温度計によりサンプリング周波数10Hzで風速3成分と温度の変動についての測定がなされた。なお、鉄塔による影響を避けるため、三方向に伸ばされた各水平支柱の先端に同じ測器を設置、高度213mの鉄塔頂部に設置された二次元超音波風速計により測定される風向に応じて切り替えを行い、その風向に向けた位置の測器のデータを記録している。ただし、以降の解析では、測器の問題で150m高度の乱流測定データが使用できていない場合がある。また各高度には、プロペラ型風向風速計、白金抵抗温度計、容量型湿度計が設置され平均的気象要素が測定された。

この研究での解析は1999年12月から2000年3月ま

での冬季から早春にかけての期間についてのデータに対して行い、30分間を平均化時間として各種統計量の解析を行い、この30分ごとのデータを1パートとして取り扱う。また、水平方向の風速成分を扱う際には50m高度における（水平面内）平均流方向に各高度での風速成分 u を取るが、各種フラックスについては各高度での三次元的な平均流方向を考えて、平均流ベクトルを含む鉛直断面内でその平均流ベクトルに直交する上向き方向へのフラックスを計算している。なお、堀口ら（2008, 2010）では25m高度の風を基準にしていたが、この高さでは上下の高度に比べて乱れが大きくなっており観測鉄塔周辺の粗度物体（林や建物）によると考えられる。そこで、今回はその高度より高い50mでの風を基準とし、以下のように安定度も同じ50m高度で評価している。

境界層乱流の解析において重要なパラメータとなる接地層での安定度の指標 z/L （ z は測定高度、 L はObukhovの長さ）は次式(1)により定義され、ここでは上記の通り50m高度での測定値によって評価する。

$$z/L = -\frac{(g/\bar{T})(\overline{w'T'})_0}{u_*^3/kz} \quad (1)$$

ただし、 $'$ は変動成分、 $\bar{}$ は時間平均、 g は重力加速度、 T は気温、 w は鉛直方向風速成分、 k はvon Karman定数（ $=0.4$ ）、添え字 $_0$ は地表面での値を示す。 u_* は次式(2)のように定義され下向き運動量輸送の大きさに対応し、接地層における特徴的な速度の尺度であり摩擦速度と呼ばれる。

$$u_* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} = [-\overline{(u'w')}]^{1/2} \quad (2)$$

なお、 τ は運動量フラックス、 ρ は空気密度である。

この安定度の指標 z/L の値は、風速鉛直分布が対数則を満たすような場合には浮力による乱流生成率とシアーによる乱流生成率の比に相当し、浮力による寄与が小さい場合にはその値が0に近くなる。この研究で「中立に近い」というのは、この浮力による影響が小さく安定でも不安定でもないという状況を示している。

3. 解析結果

3.1 中立に近い観測例における大きな規模の乱流構造

解析期間中に、高度50mでの z/L の大きさ（絶対値）が0.2未満で中立に近い状態（各パート30分ごとに評価）が継続したそれぞれ3時間30分の長さを持つ31個の観測例が得られている。なお、大きな規模（時間スケール）の乱流構造を多数解析できるよう、比較的長い時間で一つの観測例としている。

これらの観測例から、6高度全ての観測データがそろっていて、最もその例が多い（20例）昼間の午後の観測時間（開始時刻が12時30分から16時の範囲）であり z/L の絶対値の平均が一番小さい場合としてケースNo. 29（2000年3月29日13時30分～17時）を典型例として選ぶ。Fig. 1に例として14時から14時30分の時間帯における超音波風速温度計による各高度での（水平面内）風速成分 u の時間変化を示す。

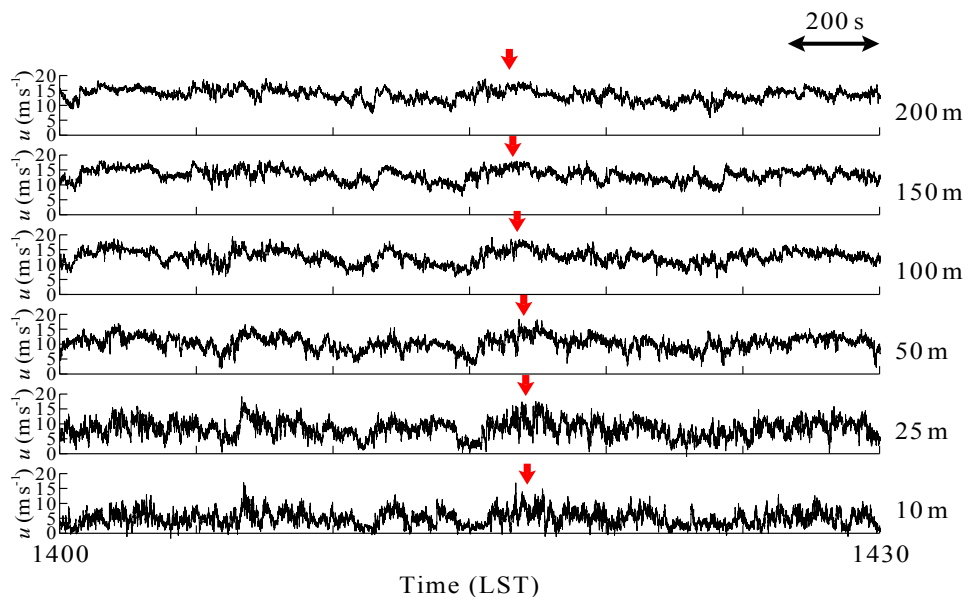


Fig. 1 Time series of streamwise velocity components (u) observed by sonic anemometers at each level during 1400–1430 LST on March 29, 2000. The black arrow denotes a time scale of 200 s and red arrows denote typical large-scale regions of high-speed velocity

各高度で100～200秒程度の大きな時間スケールを持った強風域が見られ（図中、赤の矢印でその例を示す）、それはおおそ同時刻に出現しており、鉛直方向に広がった構造であることが分かる。

連続したデータ中に不規則に現れる変動を抽出するために連続ウェーブレット変換を使用する。変数 t についてのデータ列 $x(t)$ に対して、変動の大きさに対応するスケールパラメータ a 、変動の位置に対応するトランスレーションパラメータ b についてのウェーブレット係数 $T(a, b)$ は次式(3)に示す通りである。

$$T(a, b) = \left(\frac{1}{a} \right) \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi \left(\frac{t-b}{a} \right) x(t) dt \quad (3)$$

ただし、 $\Psi(t)$ は変数 t についてのマザーウェーブレットであり、 $*$ は複素共役を示す。

各高度の風速成分 u データからその標準偏差で規格化した（平均値からの）変動成分についてのデータを作成し、さらにスケールのごく小さな変動を除くために20個ずつのブロック平均を施す。このデータに対して次式(4)で定義される“Mexican Hat”関数をマザーウェーブレットとした連続ウェーブレット変換を行う。

$$\Psi(t) = (1-t^2) \exp(-t^2/2) \quad (4)$$

“Mexican Hat”関数はなめらかでその中心（ $t = 0$ ）について対称な形をしている。

不規則に現れる変動のスケール分布を調べるためにウェーブレット変換によるウェーブレット分散スペクトル（ $W(a)$ ）を作成する（Collineau and Brunet, 1993; Thomas and Foken, 2007）。その定義は次式(5)の通りである。

$$W(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |T(a, b)|^2 db \quad (5)$$

ウェーブレット解析において、スケールパラメータ a の2倍の大きさに相当する「時間スケール」がスケール分布を調べるときに使用され、“Mexican Hat”関数の場合にはその関数の中心（ $t = 0$ ）前後の値がプラスの範囲の長さに相当する。ウェーブレット変換ではスケールパラメータ a に1, 2, ... という整数値を与えるが、今回の解析では、20個ずつのブロック平均を施したデータについてウェーブレット変換を行っており、最小の時間スケールは4秒となる。

各高度の u データに対するウェーブレット分散スペクトルから、大きな時間スケール（100～300秒の

間とする）を持った乱流構造が特に上方の高度において顕著に出現しているかどうかを調べる。実際には、ウェーブレット分散スペクトルにおいて、この時間スケール内で大きな分散の値、さらに、卓越したスケールとしてスペクトルピークを持つかどうかを調べる。上方の高度に注目するのは、上記のように Horiguchi et al. (2010) で下降する強風の乱流構造が示されており、ここでもまず上方の高度で乱流構造を見るためである。

Fig. 2に例としてケースNo. 29（2000年3月29日13時30分～17時）におけるウェーブレット分散スペクトルを示す。この場合には、高度200mにおいて時間スケール180秒にピークが存在している。なお、フーリエ変換によるパワースペクトルでも同じようにスケール分布を調べることが出来る。ウェーブレット変換での“Mexican Hat”関数とフーリエ変換での正弦関数では形が異なることもあり明確ではないものの、近似的に対応する周波数付近で大きな変動が解析される。ただし、フーリエ変換によるパワースペクトルでは明確なピークを示すことは少ない。それに対してウェーブレット分散スペクトルではピークの位置をはっきりと決めることが出来る場合が多いので、この研究ではウェーブレット分散スペクトルによって特徴的なスケールを調べる。

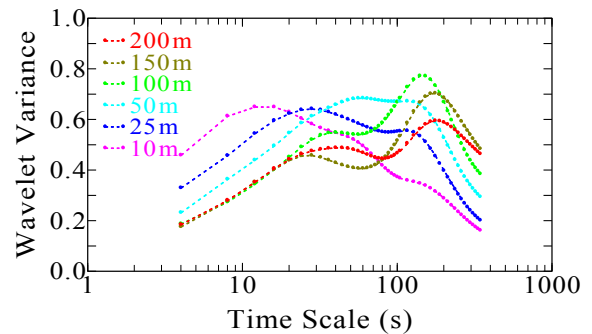


Fig. 2 Wavelet variance spectra for the u velocity component (case No. 29, 1330–1700 LST on March 29, 2000)

ウェーブレット分散スペクトルのピークには調べた時間スケール（4～352秒）の中で最大となる場合と全体での最大ではないがスペクトル分布で極大となる場合の二通りがあり、Table 1では200m高度でのスペクトル分布についてそれらを区別して示す。また安定度を比較するため、 z/L の値の各例7パートでの平均値も示す。

Table 1 Time scale of the peak in the wavelet variance spectrum at the 200-m level for analyzed cases. Average values of z/L are also shown

No.	Date	Time (LST)	Average z/L	Time scale of the peak in the wavelet variance spectrum (s)	
				global maximum	local maximum
1	3 Dec 1999	0730–1100	0.00	72	
2	3 Dec 1999	1230–1600	−0.04	–	28
3	7 Dec 1999	1330–1700	−0.01	80	
4	12 Dec 1999	1000–1330	−0.13	236	
5	26 Dec 1999	1430–1800	0.03	44	232
6	4 Jan 2000	1230–1600	−0.09	–	48
7	11 Jan 2000	1230–1600	−0.08	–	80
8	20 Jan 2000	1330–1700	−0.03	–	52, 156
9	20 Jan 2000	1830–2200	0.08	28	
10	21 Jan 2000	1430–1800	0.00	72	240
11	31 Jan 2000	1500–1830	0.03	–	108
12	9 Feb 2000	0600–0930	0.01	24	
13	10 Feb 2000	0000–0330	0.11	16	
14	10 Feb 2000	0630–1000	−0.04	40	316
15	16 Feb 2000	1530–1900	0.03	44	
16	21 Feb 2000	1430–1800	−0.02	140	
17	22 Feb 2000	1400–1730	−0.04	112	
18	29 Feb 2000	0630–1000	−0.07	180	60
19	29 Feb 2000	1600–1930	0.03	–	20, 84
20	9 Mar 2000	1600–1930	0.03	220	
21	17 Mar 2000	1500–1830	−0.02	–	40, 112
22	18 Mar 2000	1530–1900	0.01	32	124
23	19 Mar 2000	1530–1900	0.03	40	172
24	20 Mar 2000	1430–1800	−0.07	260	
25	24 Mar 2000	1530–1900	0.05	196	40, 76
26	26 Mar 2000	1500–1830	−0.05	–	
27	29 Mar 2000	0000–0330	0.05	24	
28	29 Mar 2000	0630–1000	−0.05	172	92
29	29 Mar 2000	1330–1700	−0.05	180	40
30	29 Mar 2000	2030–2400	0.06	20	
31	30 Mar 2000	0830–1200	−0.14	240	

Table 1の31例のうち、大きな時間スケール（100～300秒の間）にピーク（最大あるいは極大）が見られるのは17例である。この解析から、大きな規模の乱流構造の出現について以下のようにまとめられる。

- ・夜間（開始時刻18時30分以降，終了時刻3時30分までの間にある4例）の安定寄り（ z/L の値が正の値）の時，大きな規模の乱流構造が顕著に現れることはない。
- ・不安定寄りの時，大きな規模の乱流構造が顕著に

現れるか，あるいは，ここで決めた時間スケール（100～300秒の間）にピークは見られず分散の値は時間スケールと共に徐々に大きくなっていくという二つの場合がある。後者の場合，時間スケール100～300秒よりも大きなスケールの変動が存在していることを示している。この例としてケースNo. 6（2000年1月4日12時30分～16時）についてのウェーブレット分散スペクトルをFig. 3に示す。高度200mでのスペクトルを見ると，時間スケール

120秒より大きな時間スケールで徐々に大きな値となる。

- ・大きな規模の乱流構造は不安定寄りの時に顕著に現れることが多いが、ほぼ中立と言えるような場合にも現れている（最大のピークとしてはケース No. 20, 25）。

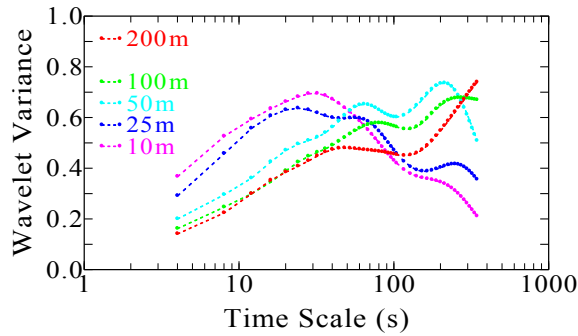


Fig. 3 Wavelet variance spectra for the u velocity component (case No. 6, 1230–1600 LST on January 4, 2000). The data at the 150-m level was not measured

3.2 中立に近い状態での乱流構造の時間変化

前節で主には異なる日の観測例間で乱流構造の比較を行ったので、この節では中立に近い状態が継続した時の乱流構造の出現状況について、その（一日における）時間変化を調べる。まず最も長く中立に近い状態が継続した2000年2月9日5時から22時30分の期間についての例を扱う。この日の天候は午前9時に快晴であったのが15時には曇天となった（つくば市館野の気象庁高層気象台における観測より）。

2000年2月9日（5時～22時30分）における安定度の指標 z/L の値は8時30分までわずかに正の値（安定寄り）、その後16時30分まではわずかに負の値（不安定寄り）、そしてその後また正の値を示している（Fig. 4）。50m高度での摩擦速度の値については、200m, 50m各高度の風速の変化とも対応して、徐々に減少する傾向を示している。

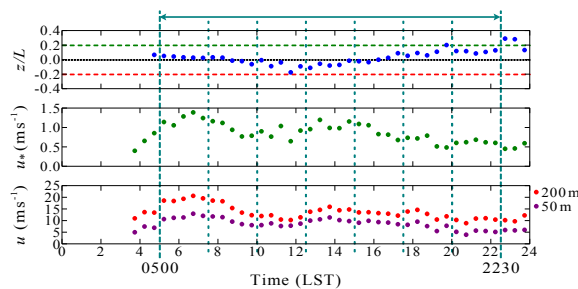


Fig. 4 z/L , friction velocity (u_*), and u velocity component at the 200 and 50-m levels (February 9, 2000). A period for the analysis and subcases are also shown

大きな規模の乱流構造は30分の平均化時間中にそれほど多く出現しないので、これ以降は5パートを連続し2時間30分ごとのサブケースに分けて解析を行う（Fig. 4に点線で示す）。なお、前節の一例3時間30分の長さよりは時間変化をとらえることを考えて短くしている。

各サブケースでウェーブレット分散スペクトルを調べると（Table 2），中立に近いが安定寄りの状態あるいはほぼ中立に近い5時以降10時までのサブケースでは各高度とも大きな時間スケールでのウェーブレット分散の値は小さく顕著なピークは見られない。例えば5時からサブケースでは200m高度において時間スケール20秒に最大のピークが見られる（Fig. 5）。296秒に極大のピークもあるが、分散の値はかなり小さい。

Table 2 Time scale of the peak in the wavelet variance spectrum at the 200-m level for subcases on February 9, 2000. The values of z/L are also shown

No.	Time (LST)	z/L	Time scale of the peak in the wavelet variance spectrum (s)	
			global maximum	local maximum
1	0500–0730	0.03	20	296
2	0730–1000	−0.01	24	124
3	1000–1230	−0.09	160	
4	1230–1500	−0.07	124	
5	1500–1730	0.01	100	
6	1730–2000	0.10	40	
7	2000–2230	0.11	68	28

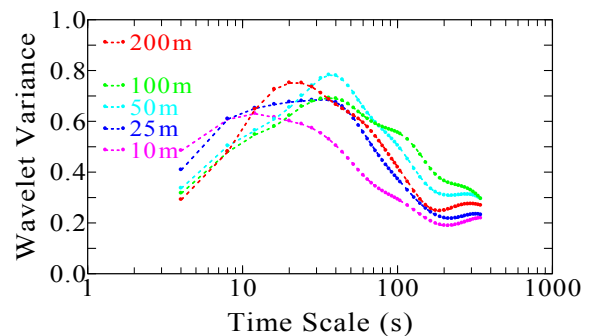


Fig. 5 As Fig. 3, but for the subcase during 0500–0730 LST on February 9, 2000

その後、不安定寄りの状態となった10時以降15時までの二つのサブケースにおいて、上方の高度で100

秒以上の時間スケールに明瞭なピークが見られ、大きな規模の乱流構造が卓越して出現している。例えば10時からのサブケースにおいては z/L 値の平均は -0.09 であり、200m高度で時間スケール160秒にピークが見られ (Fig. 6) , 風速成分 u の平均値から空間スケールに換算すると1,800mに相当する。より低い高度 (100, 50m) でもピークが見られるが、その時間スケールは徐々に小さくなっている。その後、12時30分からのサブケースについては z/L 値の平均が -0.07 であり、200m高度において時間スケール124秒にピークが見られる。なお、その後の15時からのサブケースでも200m高度で100秒にそれほど顕著ではないがピークが見られる。この時間帯での z/L 値の平均は 0.01 とかなり中立に近い状態であった。

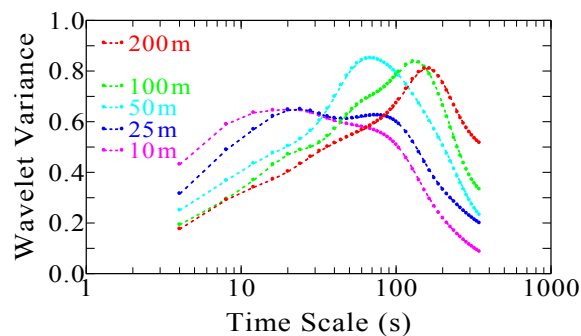


Fig. 6 As Fig. 3, but for the subcase during 1000–1230 LST on February 9, 2000

中立に近い状態が継続した別の日の例 (1月21日4時30分から19時30分) を示す。この日の天候は9時、15時とも快晴であった (気象庁高層気象台の観測より)。

z/L の値は8時までわずかに正の値 (安定寄り), その後16時30分まではわずかに負の値 (不安定寄り), そしてその後また正の値を示している (Fig. 7)。摩擦速度の値の時間変化については真昼ごろ (9時から16時頃) に少し大きく、上空200m高度の風速は朝方 (5時~7時ごろ) に少し強いという傾向が見られる。

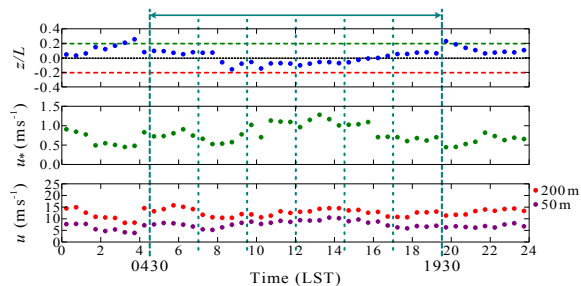


Fig. 7 As Fig. 4, but for the day on January 21, 2000

前の例と同様に5パートを連続した2時間30分ごとのサブケースに分けて解析を行う。その各サブケースでウェーブレット分散スペクトルを調べると、不安定寄りの状態である9時30分以降17時までの三つのサブケースにおいて、上方の高度で100秒以上の時間スケールに明瞭なピークが見られ、大きな規模の乱流構造が卓越して出現している (Table 3)。

Table 3 As Table 2, but for the day on January 21, 2000

No.	Time (LST)	z/L	Time scale of the peak in the wavelet variance spectrum (s)	
			global maximum	local maximum
1	0430–0700	0.07	16	
2	0700–0930	-0.04	36	
3	0930–1200	-0.09	296	
4	1200–1430	-0.08	192	
5	1430–1700	-0.02	244	60
6	1700–1930	0.06	28	

前節で示したように、ほぼ中立と言えるような条件でも大きな規模の乱流構造が出現している場合もあるが、上記二つの例のように一日のうちの時間変化を調べると、大きな規模の乱流構造は安定度が不安定寄りの時に特に顕著に出現していることが分かる。

3.3 不安定時の構造との関連

中立に近い状態でも、前節で示したように昼間のやや不安定寄りの場合で大きな規模の乱流構造が出現しているので、より不安定な時に大気下層が熱せられ浮力により生じる構造との関連を調べる。

3.1節のケースNo. 29 (2000年3月29日13時30分~17時) では z/L の平均値は -0.05 であり、中立に近いがやや不安定寄りの状態であった。この時、高度200mの風速成分 u に対するウェーブレット分散スペクトルのピークは時間スケール180秒に位置している。そこで、高度200mでの風速成分 u に対するこの時間スケールでのウェーブレット係数の時間変化から、それがしきい値 (この例では1.3) を越えて極大になる時間をイベントとして抽出し、そのイベント中心から前後した時間での風速成分 u , w について全イベントでの平均構造を横軸に時間、縦軸に高度をとって作成する。この際にはそれぞれの風速成分を標準偏差で規格化した値について平均を取っている。6個のイベントから作成した平均構造では、下降する強風の

乱流構造（暖色系の色で示す）の前方（図では右側にあたる）に上昇する弱風域（寒色系の色で示す）が存在し、その場所では正の温度偏差を示す（Fig. 8）。正の温度偏差は標準偏差で規格化した値として高度50mで1.4、100mでも同じ値になる。なお、50mでの温度の標準偏差は0.5から0.1℃へと各パートで変化し、100mでの温度の標準偏差も同様に0.4から0.1℃へと各パートで変化している。なお、超音波風速計で測定される温度は、厳密には音速が気温 $T(K)$ と水蒸気圧 $e(hPa)$ 、気圧 $P(hPa)$ によって変化することから測定される音仮温度（ T_{sv} 、単位はK）と呼ばれる量であり、次式(6)の関係がある（文字、2003）。

$$T_{sv} = T(1 + 0.32e/P) \quad (6)$$

気温あるいは湿度が低い場合には、この音仮温度と気温との差はあまり大きくない。

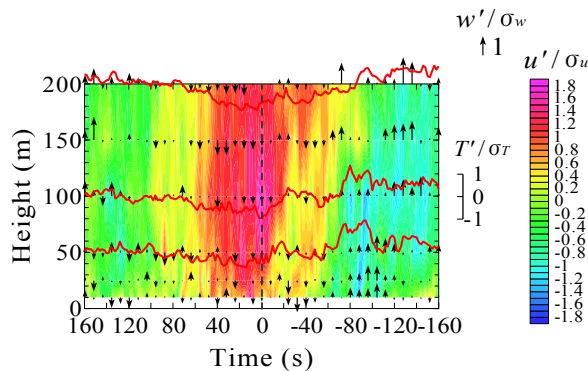


Fig. 8 Conditionally-averaged wind pattern on a time–height cross-section (zero corresponds to the time of the events) for case No. 29 (1330–1700 LST on March 29, 2000). Contours indicate the normalized u' values and arrows denote the normalized w' values. Red lines at each level show the normalized values of temperature deviation

この上昇する弱風で正の温度偏差の部分は日中に大気下層が熱せられ浮力により生じるプリュームの構造と良く似ている（Stull, 1988）。このプリュームは観測により、水平および鉛直に接地層の厚さ（100m）程度の規模を持つ（周囲よりも）高温の上昇流の構造であることが示されている。また、プリュームは平均風によって移動するが、風下側と比較してその風上側は急激な風速（水平および鉛直風）と温度の勾配がある。

今回の中立に近い状態においては、大気下層の加熱によるものではなく、大きな規模の強風の乱流構造（下降流の領域）が侵入することによってその前方の空気が（少し不安定な成層をした大気中を）上

昇し、その空気の温度が相対的に高くなったと考えることが出来る。しかし、実際に不安定時の構造とどのような相違があるのかを調べるために、 z/L の値が -0.2 以下で不安定な状態が継続した例（2000年2月28日11時～14時30分）を示す。この時の z/L の値の平均は -0.57 である。

この不安定な状態の場合、高度200mの風速成分 u に対するウェーブレット分散スペクトルのピークは時間スケール104秒に位置している。この時、高度200mでの風速成分 u の平均は 9.0ms^{-1} であり、空間スケールとしては900mに相当している。中立に近い状態での例と同様に高度200mでの風速成分 u に対するこの時間スケールでのウェーブレット係数の時間変化からイベントを抽出し、イベント時の風速変動の平均構造を作成する（Fig. 9）。この不安定な状態の場合にも下降する強風の乱流構造と、その前方に上昇する弱風域が抽出され、その弱風域では正の温度偏差を示している。正の温度偏差（規格化した値）は高度50mで0.9、100mでは1.0となる。50mでの温度の標準偏差は0.5から0.2℃へと各パートで変化し、100mでの温度の標準偏差も同様に0.5から0.2℃へと各パートで変化している。

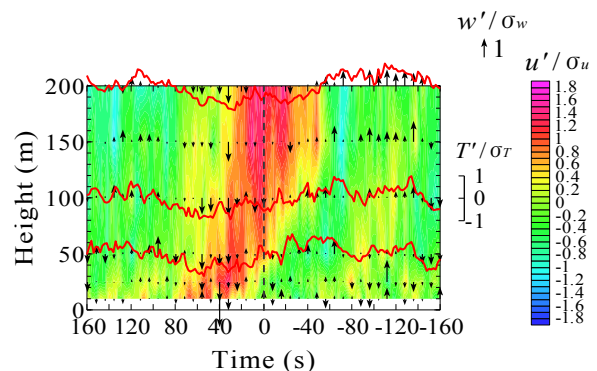


Fig. 9 As Fig. 8, but for the case during 1100–1430 LST on February 28, 2000

不安定な状態であるから、この例の場合の弱風域はプリュームの構造に相当していると考えられる。中立に近い状態での例と比較すると、構造の風下方向への傾きが下層で大きくなっているという特徴が見られる。

別の日の例として、1999年12月8日10時から13時30分の場合を示す。この時の平均の z/L は -0.69 である。この場合、風速が弱い（高度200mで $u = 3.6\text{ms}^{-1}$ ）ためであることも考えられるが、平均構造はこれまでの例と比べて不明瞭である（Fig. 10）。例えば高度100mでの強風域はイベント中心時間（ $t = 0$ ）より前の時間へも大きく広がっている。

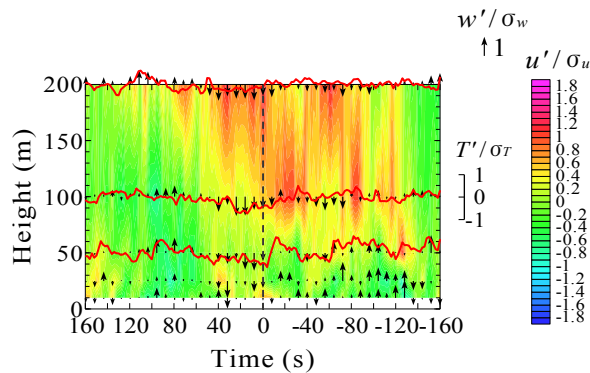


Fig. 10 As Fig. 8, but for the case during 1000–1330 LST on December 8, 1999

この例での風速成分 u に対するウェーブレット分散スペクトルでは、高度50m以上で大きな時間スケールにピークが見られスケールは上空の高度の方が大きい、分散の値は低い高度の方が大きく構造が顕著に現れている（Fig. 11）。

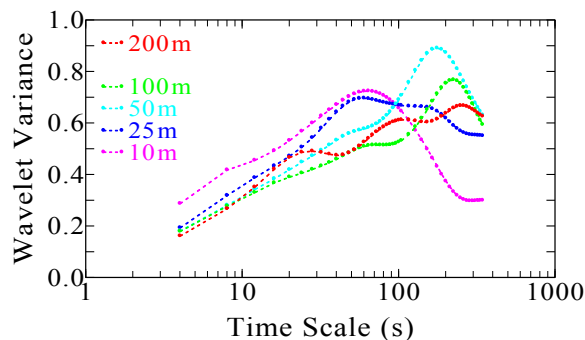


Fig. 11 As Fig. 3, but for the case during 1000–1330 LST on December 8, 1999

以上の例のように、不安定時の構造には中立に近い状態の場合とは異なる特徴が見られる。中立に近い状態の場合には、大きな規模の強風の乱流構造によって乱れとそれに伴う構造が引き起こされているのに対して、不安定時には大気下層からの上昇流の方が主体的になって乱れが引き起こされているという違いによるものと考えられる。

4. おわりに

中立に近い状態で、ほぼ中立と言えるような条件の場合と不安定寄りの場合には時間スケールで100秒以上の大きな規模の乱流構造が顕著に出現することが示された。今後の課題として、中立に近い状態での乱流構造と不安定時の構造について、その鉛直方向への拡がり、構造のスケールの高度変化などを

比較し、大気境界層における流れに対する組織的乱流構造の寄与（役割）についてさらに検討する必要がある。

また、中立に近い状態での大きな規模の乱流構造と浮力によって生じる構造との関連性、特に中立から少し不安定寄りの状態で、強風の乱流構造が上昇する（浮力を持った）気流構造の発生に寄与している可能性についても今後検討する。

謝 辞

気象研究所気象観測鉄塔の建設、維持、および観測に携われた気象研究所の皆様へ謝意を表する。

参考文献

- 花房龍男・藤谷徳之助・伴野 登・魚津 博 (1979) : 筑波研究学園都市に新設された気象観測用鉄塔施設, 気象研究所技術報告, 第3号, 50 pp.
- 堀口光章・林 泰一・足立アホロ・小野木 茂 (2008) : 大気境界層における乱流構造—気象研究所気象観測鉄塔（つくば）による観測—, 京都大学防災研究所年報, 第51号B, pp. 449-455.
- 堀口光章・林 泰一・足立アホロ・小野木 茂 (2010) : 中立に近い大気境界層における組織的乱流構造—気象研究所気象観測鉄塔での観測例—, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, pp. 329-336.
- 文字信貴 (2003) : 植物と微気象—群落大気の乱れとフラックス—, 大阪公立大学共同出版会, 140 pp.
- Collineau, S. and Brunet, Y. (1993): Detection of turbulent coherent motions in a forest canopy. Part I: Wavelet analysis, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 65, pp. 357-379.
- Gao, W., Shaw, R.H. and Paw, U.K.T. (1989): Observation of organized structure in turbulent flow within and above a forest canopy, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 47, pp. 349-377.
- Horiguchi, M., Hayashi, T., Hashiguchi, H., Ito, Y. and Ueda, H. (2010): Observations of coherent turbulence structures in the near-neutral atmospheric boundary layer, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 136, pp. 25-44.
- Horiguchi, M., Hayashi, T., Adachi, A. and Onogi, S. (2012): Large-scale turbulence structures and their contributions to the momentum flux and turbulence in the near-neutral atmospheric boundary layer observed from a 213-m tall meteorological tower, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 144, pp. 179-198.
- Stull, R.B. (1988): *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers, 670 pp.

Thomas, C. and Foken, T. (2007): Organised motion in a tall spruce canopy: temporal scales, structure spacing and terrain effects, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 122, pp. 123-147.

(論文受理日 : 2012年6月8日)

Variation in Emergence Properties of Coherent Turbulence Structures in the Near-Neutral Atmospheric Boundary Layer

Mitsuaki Horiguchi, Taiichi Hayashi, Ahoro Adachi⁽¹⁾ and Shigeru Onogi⁽¹⁾

(1) Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Synopsis

Variation in emergence properties of coherent turbulence structures in the near-neutral atmospheric boundary layer is investigated on the basis of the turbulence data observed from a 213-m tall meteorological tower at the Meteorological Research Institute in Tsukuba City. Under near-neutral conditions, large-scale turbulence structures are notably identified from the wavelet variance spectra in almost neutral or slightly unstable conditions. In near-neutral and slightly unstable conditions, the low-speed region in advance of the high-speed structure shows a positive deviation of temperature and is similar to the plume structure that is forced by buoyancy in the heated lower layer.

Keywords: atmospheric boundary layer, meteorological tower, wavelet, turbulence structure, plume