気象研究所技術報告 第3号 1979

5. 観測結果例

気象観測塔に設置した測定器およびデータ処理装置を利用した観測は、それぞれの機器の試験を兼ねて、 その都度実施し、解析しているが、ここではその中の2、3の解析結果の概要について報告する。なお、 これらの結果の詳しい考察については、近々別の論文で報告される予定である。

(i) 接地逆転層消滅時における気象要素の変化

1977 年 12 月 4 日に測定された接地逆転層消滅時における気温の時間変化を示したのが第 5.1 図である。 接地逆転層が形成されているのは,ほぼ 100 m位の層で,その温度差は最大 8 ℃にも達していることがわ かる。この逆転層も10時過ぎにはほとんど解消されている。この時間帯の平均風速 U,温度変動の標準偏 差 σ_t,風の鉛直成分の標準偏差 σ_wを10分毎に計算してその分布を示したものが第 5.2 図(a)(b)(c)である。 なお、これらの図中で、ハッチで示した部分が逆転層(ここでは気温が上層の気温より低い)の存在する



第5.1 図 接地逆転層解消時における気温変化例



第5.2 図 接地逆転層解消時における気象要素の分布の変化

領域を示している。

風速の分布についてみると,逆転層を境にして,風速のギャップが認められ,相対的に逆転層内部は風 速が弱くなっており,逆転層下部が風速分布の極大に対応していることがわかる。

逆転内部で σ_w が最大となる高さは25m近傍であるのに対し、 σ_t の最大値をとる高さは 50mと異なっていることは興味ある現象である。

10分毎に求めた顕熱および運動量の時間変化を示したのが第5.3図(a)(b)である。顕熱についてみると、



第5.3図 接地逆転層解消時における鉛直乱流輸送量の時間変化

大気の成層状態が不安定になるにつれて、下層から徐々に顕熱の鉛直乱流輸送量の値が増加していく傾向 が認められると同時に、比較的周期の長い変化がその上に重畳して変化していることがわかる。さらに 100 mの層では顕熱輸送量は間欠的に上方へ運ばれている様子がうかがえる。

一方,運動輸送量の変化は顕熱乱流輸送に比較して複雑で、特に逆転層解消時の100m,150m,200 m層での変化は興味深いものがあるので、この解析については、現在生データから詳細なデータ処理の方 法も含めて再解析を行なっている。

10mと200mの間の層を考え、温度変化に関する方程式を考えると、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (F_{\theta})$$
(31)

ここで θ は温度, F $_{\theta}$ は顕熱のフラックスである。 熱の水平移流は小さいとして無視すると

- 45 -

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (F_{\theta})$$

(32)

したがって、ある層の気温の時間変化は、その層における顕熱のdivergenceに等しいことになる。 6時から10時までの資料を使い、各層の平均気温の時間変化量と、顕熱のdivergenceから求めた各 層の気温の時間変化を示したのが第5.1表である。

100 mと150 mの層の間から求めたものは 両者の間に大きな差が認められるけれど,そ の他の層では,両者の一致は非常に良好であ る。100 mと150 mの層を使った場合に両者 の差が大きいのは丁度100 m高度が逆転層の 上部附近に対応することと,逆転層が解消さ れる際に150 m層で大きな負の輸送量が算定 されており,非常に複雑な輸送機構となって いるためと考えられる。

第5.1表 層の温度変化Trとflux divergence から算定された温度変化Tcの比較

Height (m)	Air temperature		7	m
	06:00	11:00	¹ r	¹ c
	(°C)	(°C)		
10	0.4	10.5		
25	1.0	9. 7	9.4	9.4
50	5.1	9.4	6.5	4.8
100	7.8	9. 3	2.9	3.1
150	8.2	8.6	1.0	5.5
200	8.0	8.2	0.3	0.0

したがって、今回の解析例についてのみであるが、6時間位の顕熱の鉛直輸送量に関しては、10分毎の 積算値で200m位の層までの気温の時間変化は充分説明できることが確認された。

(ji) 顕熱輸送量の観測時間の差による変化

eddy correlation 法で乱流輸送量の評価を行なう場合,大きな問題となるのは,観測時間(sampling duration)を如何にして決定するかである。従来の接地境界層では10分~30分が比較的多く採用されているが,必ずしも明確な物理的根拠によっているわけではない。

ここでは1例として,日中の不安定成層時の資料を使って観測時間の変化に対して算定される輸送量の 値の変化について調べてみた。第54図は観測時間を1,5,10,30分と変化させて求めた輸送量の,基



第5.4図 観測時間(sampling duration)の変化による顕熱輸送量の変化 (w'T')₂: sampling durationを2時間とした場合の平均の顕熱輸送量

準の輸送量(観測時間2時間)に対する比を示したものである。

この図から25,50mでは10分程度,100mでは30分程度で約10%の差で輸送量の評価ができることがわ かる。しかし150m,200mでは30分でも2時間値の80%位にしかなっていないことがわかる。このよう に測定高度が高くなると対象とするスケールも大きくなることもあって,場の定常性を保ちながら適切な 観測時間を決定することは非常に難かしい問題となる。したがって,この解決法としては各高度における 気温の時間変化に限界を設定して(これは場の定常性に対応する)各高度毎に sampling durationと 考えていくしか方法はないと考えられる。

(iii) 平均風速の時間変化と運動量の高度変化

第5.3図(b)にも見られるように,運動量輸 送の変化の様子が100 m以下とそれ以上では 異なっているように見うけられる。この変化 の様子を詳しく見るために他の例について1 分毎にブロットした値を示したのが第5.5図 である。この図からも明らかなように25,50, 100 mの層の変化と150 mと200 mの層の変 化との間にはっきりした差が認められる。 150 mと200 m層では u'とw'に正の相関が 比較的長期間にわたって見うけられることが 特徴的なことである。したがって以下の考察 は100 m以下の層に限って行なうこととする。



平均風向方向の運動方程式はよく知られているように次の式で表わされる。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{t}} + \mathbf{u} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{v} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{y}} + \mathbf{w} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{z}} - \mathbf{f} \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\mathbf{x}}}{\partial \mathbf{z}}$$
(33)

ここでfはコリオリパラメータ、て、はu方向のシャーストレスである。

上式において水平方向の移流,気圧傾度力,コリオリ力に関する項は他の項に比較して小さいとして無 視すると(33)式は次のようになる。

$$\frac{\partial \overline{u}}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{x}}{\partial z}$$
(34)

ここでuは平均風速, ρは空気の密度, τは平均風向方向の運動量輸送量, zは高度である。

 $で の値として25 m と 100 m 高度での10分間の平均値を使い、<math>\frac{\partial u}{\partial t}$ の算定には観測時間(10分)の最初の 1分間の平均風速値と最後の1分間の平均風速値を使用した。

結果を第5.6図に示す。値は多少ばらついてはいるが、ほぼ上式の関係が満足されているものと考えられる。

- 47 -

気象研究所技術報告 第3号 1979



第5.6図 風速の時間変化と運動量の高度変化の比較

(V) 風の鉛直成分のパワースペクトル

風の鉛直成分のパワースペクトルは,低周波数側領 域でのスケールが地表面によってほぼ決定されること もあって,風の水平成分に比較して相対的によくまと まることが知られている。

気象観測鉄塔の6高度に加えて,25mの高さにも 同型の超音波風速計を設置して,7高度における風の 鉛直成分のパワースペクトルをTukeyの方法に従っ

て求めた。高周波数側は30分の観測時間を短かく区切ってスペクトルを計算して各々の値を平均して,スペクトル密度とし低周波数側はデータを平均してからスペクトル解析を行なった。その結果を眼でなめらかにしてプロットしたものが第5.7図である。



第5.7図 7高度における風の鉛直成分のパワースペクトル

パワースペクトル密度に周波数 n を乗じた値が最大 となる周波数 (図中に↓印で示す) n_m は,測定高度 が 100 m までは単調に減少していく傾向が認められる が, 150 m および 200 m での値はほぼ一定となってい る。

スペクトラルスケール、 $\lambda_{m} \left(= \frac{U_{z}}{n_{m}}, \overline{u}_{z} \right)$ 高 さ、z での平均風速、 n_{m} : $nF_{(n)}$ が最大値を持つ 周波数)と高さとの関係は $\lambda_{m}/z = 4$ でよく近似 され、Pasquill(1974)の結果とよく一致してい る。(第5.8図)



第5.8図 風の鉛直成分のスペクトラルスケールと 高度の関係,直線は $\lambda m/z = 4$ の線である

- 48 -