

花巻空港付近の気流の特性について

光田 寧・岩田 徹

CHARACTERISTICS OF AIRFLOW OVER HANANOMAKI AIR PORT

By Yasushi MITSUTA and Tohru IWATA

Synopsis

On April 18th, 1993, there happened a hard landing accident of a DC-9 passenger craft at Hananomaki Air Port, Iwate. As some doubts, that severe air turbulences near the ground had caused the accident, arose, a boundary layer wind survey had been undertaken, by the use of an acoustic sounder (Sodar, Kaijo AR-410). The results are explained briefly in the present paper. It is suggested that the mountain range to the west induced turbulence in the free atmosphere have been transported the lower layer.

1. はじめに

1993年4月18日岩手県花巻空港においてJAS DC-9旅客機が着陸に失敗し滑走路上で炎上するという事故が生じた。この事故の原因には着陸時の悪気流が影響しているのではないかとの疑問があったので、1994年1月から4月までの期間花巻空港周辺で風の観測を行い、この付近の風の変動の特徴について調査が行われた。その結果、空港西方に存在する奥羽山脈のために西風時にこの空港の上空では山脈の風下波動に伴う乱れが存在し(Fig. 1参照)、地表付近までその影響が認められることが解った。以下にその概要を示す。

2. 問題点とその観測

大気最下層地表面近くの気流は地表面摩擦によるシアーのため乱流状態にあることが普通である。しかし、このような乱れは地表面近くで最も大きく、高さと共に減少していき、上空では乱れの少ない風が吹いていると

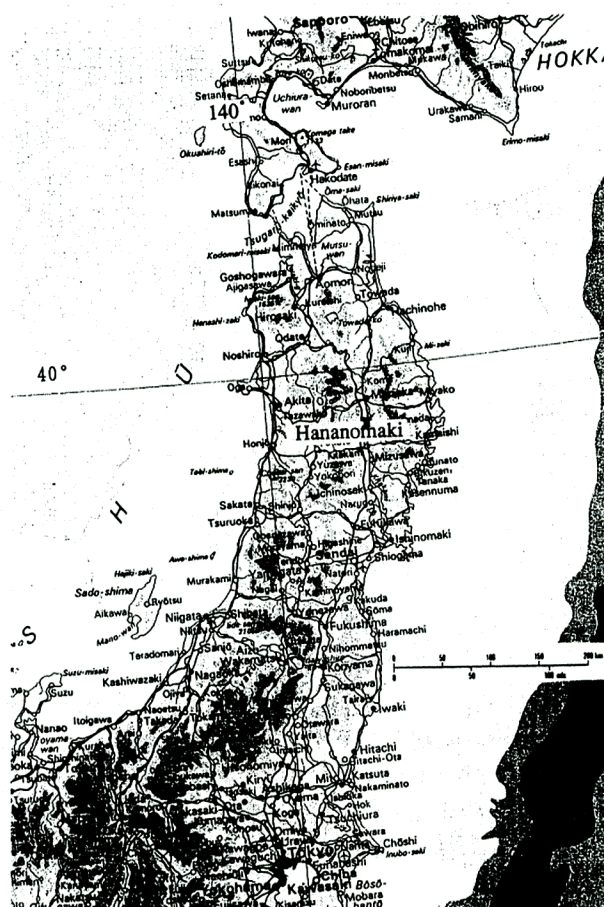


Fig. 1. Topographic map.

考えるのが普通であり、微気象における考えもそのような立場に立ったものである。しかし、風上側に山などの障害物が存在する場合、その風下乱れが高い高度において存在し、その乱れが上空から地表付近に伝播し地表付近で風の比較的周期の長い不規則な変動を生ぜしめることがあるとの考えもある。このような乱れは突風前線 (gust front) を形成して降下してきて、地表のシアで生じる乱れが定常的な短周期の変動で統計的に取扱えるのとは異なり、比較的長い間隔で不規則な強風を生じることになる。このような乱れは従来の乱流理論では取り扱いが困難である。

このような現象を観測するためには地表から 1,000 m ぐらいまでの高さの範囲の風の数十秒単位での変動を数十 m 毎ぐらいの高度分解能で測定する必要がある。この種の観測は今迄は高い塔を建てて実施する以外に方法が無かったのであるが、最近開発されたドップラーソーダでは音響信号を用いた遠隔測定によって高さ数百 m ぐらいまでの風速の 3 次元的成分を計測することが可能である。この研究でもカイジョー AR-410 型のドップラーソーダを滑走路の近くに設置して、強風が期待される時に記録を取った。地表での風は、超音波風速計を別に用いて連続的に記録を取った。

ソーダの観測は 1994 年 1 月 18 日から 4 月 26 日までの間風の強い時に 1 時間ないし 2 時間単位で計 32 回実施し、地上 40 m から 300 m ぐらいまで高さ 20 m 毎に 15 sec 間隔で 3 次元的風速成分を記録した。同じ期間、超音波風速計によりソーダ観測点の近く 2 点で高さ 15 m の塔上で 1 sec 毎の風速 3 成分を連続記録している。

3. 観測結果の概要

ソーダ観測の行われた 32 回のうち、風向が北西または西北西の場合が 23 回あり全てが北から南西の間に分布している。すなわち強風は空港のある北上川の谷の走向、北～南に平行ではなく、それに直角な向きの風の場合に現れていることになる。これは山脈に直角に吹く風にもなるが、山脈が南北に長く連なっていることによるものと考えられる。

航空機の離着陸に際して全体的に風の強い時には空港が閉鎖されるので、實際上問題となるのは風の強さそのものよりも、風の変動が大きく、平常な状態だとして離着陸しようとした時に急に風が変化して危険な状態が発生するというような場合であり、風の変動に注目する必要があると考えられる。ここでは風の変動値として、a) (10 分間) 平均風速と瞬間値との差 (変動値)、b) 瞬間風速の時間変化、および、c) 高度間の風の差を考えた。

航空機 (DC-9) の運航状態などから考えて、危険が生じ始める限界値を乗員組合連絡会議の意見により各々の条件について設定し、そのような状態の生じる確率について調べてみた。この限界値としては滑走路平行成分の変動値として 20 m/s、時間変化値としては 15 sec の間に 20 m/s 以上の向かい風成分の減少、高度差としては 20 m について 10 m/s を越える向かい風成分の減少を考え、鉛直風速成分については変動値 6 m/s、時間変化について 15 sec に 6 m/s とし、高度差は 20 m について 3 m/s の差の時を限界値とした。

このように定めた限界を越える確率がソーダの観測期間にどれだけあったかを調べた結果のうち、高度 60 m の場合について示したものが Table 1 である。各々の場合は地上 15 m の超音波風速計の 10 分平均風速により 4 つの場合に分類してある。単位はパーセントで、横線はその風速階級の場合がなかったことを示し、0 はその階級で限界を越えることがなかったことを示すが、特に 0 はその風速階級に属する全データ数が 100 未満であったことを示している。

滑走路平行成分の変動値および時間差が限界値を越えたのは 2 月 22 日、23 日および 4 月 3 日のみであり、風が強いといってもいつも変動が大きくなるわけではないようである。風速の高度差の方は比較的多く発現している。

Table 1. The occurrence probability (percent) of super critical value of wind turbulence at the height of 60 m. (Wind Speed Range (at 15 m) A: 2.5 ~ 4.9, B: 5.0 ~ 7.4, C: 7.5 ~ 9.7, D; 10.0 ~ 14.9 m/sec)

(a) Run Way Parallel Wind Speed

Critical Value:

Wind deviation (gust- 10 min mean wind speed); 20 m/s.

Time changes of wind speed in 15 sec; 20 m/s,

Wind shear; 10 m/s per 20 m

Date	WSR	Deviations				Time Changes				Shear			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
I / 24		0	0	0	—	0	0	0	—	0	0.46	0.50	—
I / 27		0	0	—	—	0	0	—	—	0	0.73	—	—
II / 2		0	0	0	—	0	0	0	—	0	0.42	0	—
II / 15		0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
II / 22		0	0	0.15	0.89	0	0	0.32	0	0.80	0.76	1.07	1.79
II / 23		0	0.13	0	0	0	0.26	0	0	0.50	1.40	2.10	0
III / 18		0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—
III / 24		0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
III / 25		0	0	0	0	0	0	0	0	1.28	0.99	1.37	3.64
IV / 3		—	0	0	0	—	0	0	1.17	—	0.90	2.18	2.99
IV / 13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42	1.21	0

(b) Vertical wind component

Critical Value:

Deviations; 6 m/s,

Time changes; 6 m/s 15 sec,

Vertical Shear; 3 m/s per 20 m.

Date	WSR	Deviations				Time Changes				Shear			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
I / 24		0	0	0	—	0	0	0	—	0	0	0	—
I / 27		0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
II / 2		0	0	0	—	0	0.43	0	—	0	0	0	—
II / 15		0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
II / 22		0	0	0.15	0	0.13	0.39	0.79	0.46	0	0	0	0
II / 23		0	0	0	0	1.02	0	0.24	0	0	0	0	0
III / 18		0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—
III / 24		0	0	—	—	0.84	0	—	—	0	0	—	—
III / 25		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV / 3		—	0.18	0	0	—	0.18	0.44	0.55	—	0	0	0
IV / 13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

風速の鉛直成分については、高度差について限界を越えることはなかったが、変動値および時間差では前述の3日間以外に2月2日、3月24日にも限界を越える場合が生じた。時間変化については、地上での平均風速が5 m/s 未満の場合においても鉛直風速成分の変動が限界値を越えているのは注意しなければならない。

このように、上空での変動の大きさは必ずしも地表付近の平均風速だけで決定されるものではない。観

測期間中の平均風速の高さ方向の分布を作成すると Fig. 2 のようになる。この図からも明らかなように、風速の勾配は2月22, 23日および4月3日の先に調べた変動の大きかった時に特に大きいようで、これらの日には風速が z^n に比例すると考えるとその n の値は $1/5$ ぐらいとなる。一方、他の日にはおよそ $1/8$ ぐらいとなり、他の平地での観測結果に近い値を示す。上空の乱れの大きい日と小さい日の差ははっきりとしている。

また地表付近の超音波風速計の15 sec 平均値の変動を比較してみると、Fig. 3 のようになり上でみた n の値の大きい日には地表風速の低周波変動成分が大きく見られ、 n の値の小さい日には地表風速の長周期

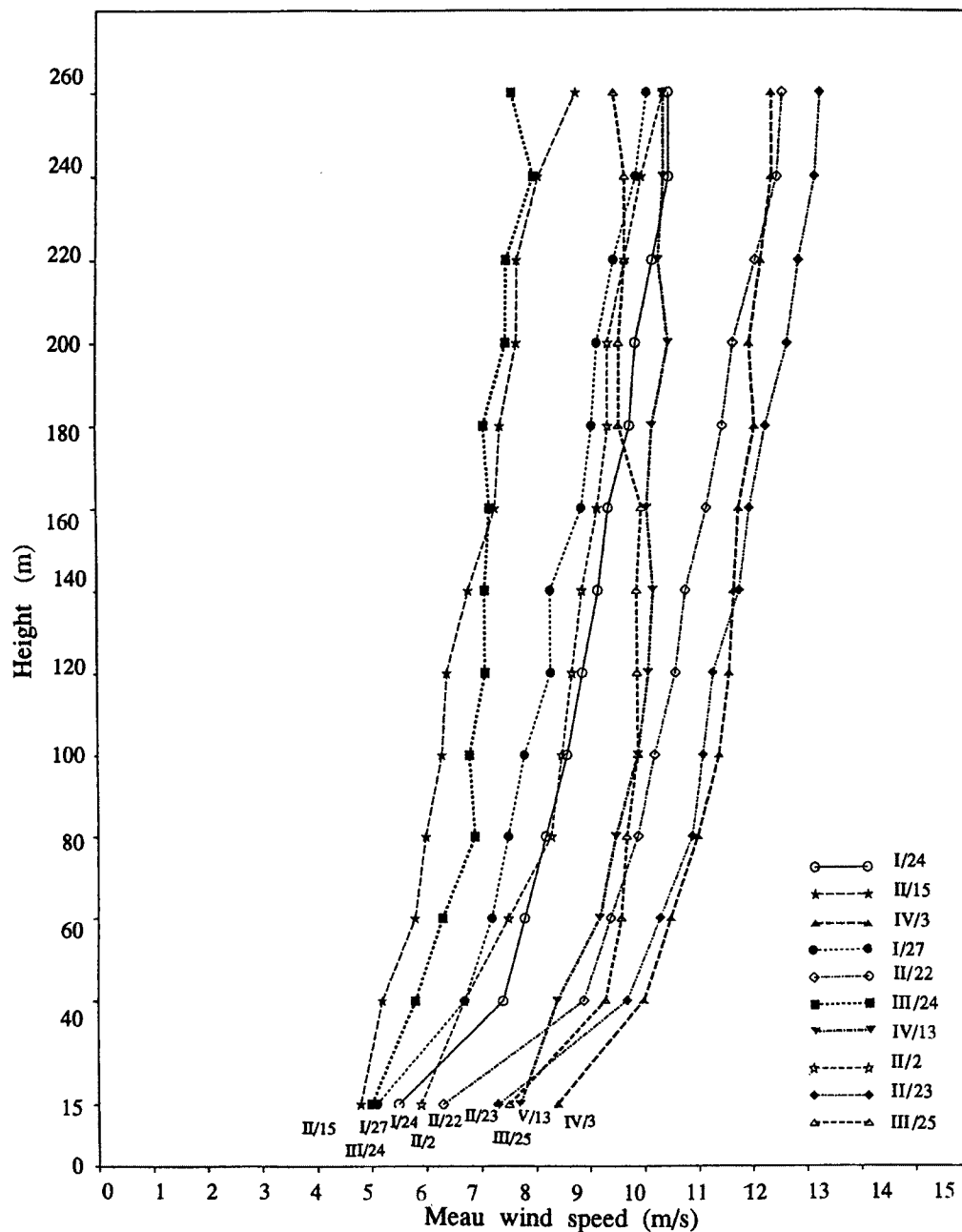


Fig. 2. Vertical profiles of daily mean wind speed.

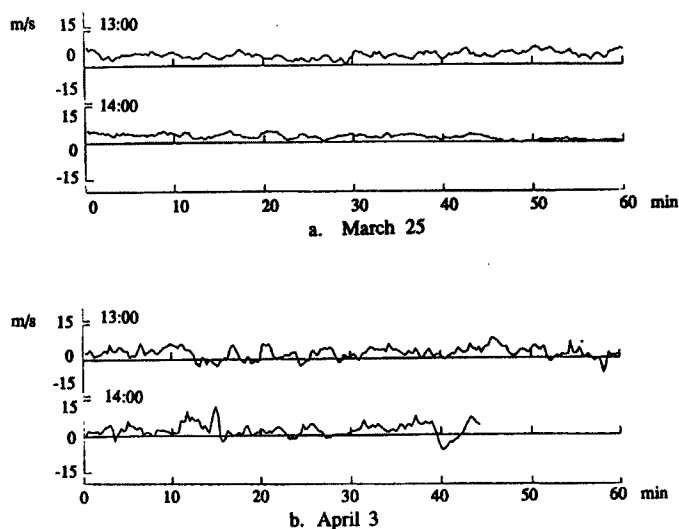


Fig. 3. Comparison of fluctuation of 15 sec run way parallel mean wind speed at the surface (15 m). a) March 25, 1994, the day with less turbulence in the free atmosphere. b) April 4, 1994, the day with much turbulence in the free atmosphere.

Table 2. The peak values of wind turbulence at 60 m high.

Wind Component	Item	Extreme	Equivalent
Run Way Prallel Wind Speed	Time Change	- 37.1 m/s (per 15 sec)	- 2.47 m/s ²
	Shear	- 19.8 m/s (per 20 m)	- 0.99/s
Vertical wind Component	Time Change	- 8.13 m/s (per 15 sec)	- 0.54 m/s ²
	do	+ 8.12 m/s (per 15 sec)	+ 0.54 m/s ²
	Shear	+ 4.43 m/s (per 20 m)	+ 0.22/s

変動は少なく風速変動は滑らかである。すなわち、上空で風速変動の大きい時は平均風速の勾配は普通よりも大きくなり、地表の風速の 15 sec 程度以上の長周期の変動が大きくなると言えそうである。

参考までに低高度での風速変動の最大値をまとめたものが **Table 2** である。これらの値はいずれも先に示した限界値を大きく上回っている。これらの状態は実際には飛行場が閉鎖された状態で生じているので、これから直接飛行の安全性を論ずることは困難であるが、このような状態が生じる時には事前に運行を中止するなどの処置を適切に取ることを考えねばならない。

4. 上空風速の変動特性

上空の風速変動の大きい日の各高度での風速変動の統計特性を **Figs. 4, 5** に示す。全体としてみると、滑走路平行成分の時間変化および鉛直風速成分の変動は共に低い高度では正規分布に近いが、上空に行くに従い分布は単純ではなくなり、また拡がりも大きく、かえって上空ほど乱れが大きくなっているとも見られる。このことは、上空での風速の変動は単に偶然の支配する乱れの性質とは異なっていることを示しており、風上側に存在する山脈の影響で何か別のシステマティックな変動が生じていると考えなければならないようである。

このような場合、上空に発生した乱れが下方に伝播し地表に達するという形の変動が生じる可能性が考

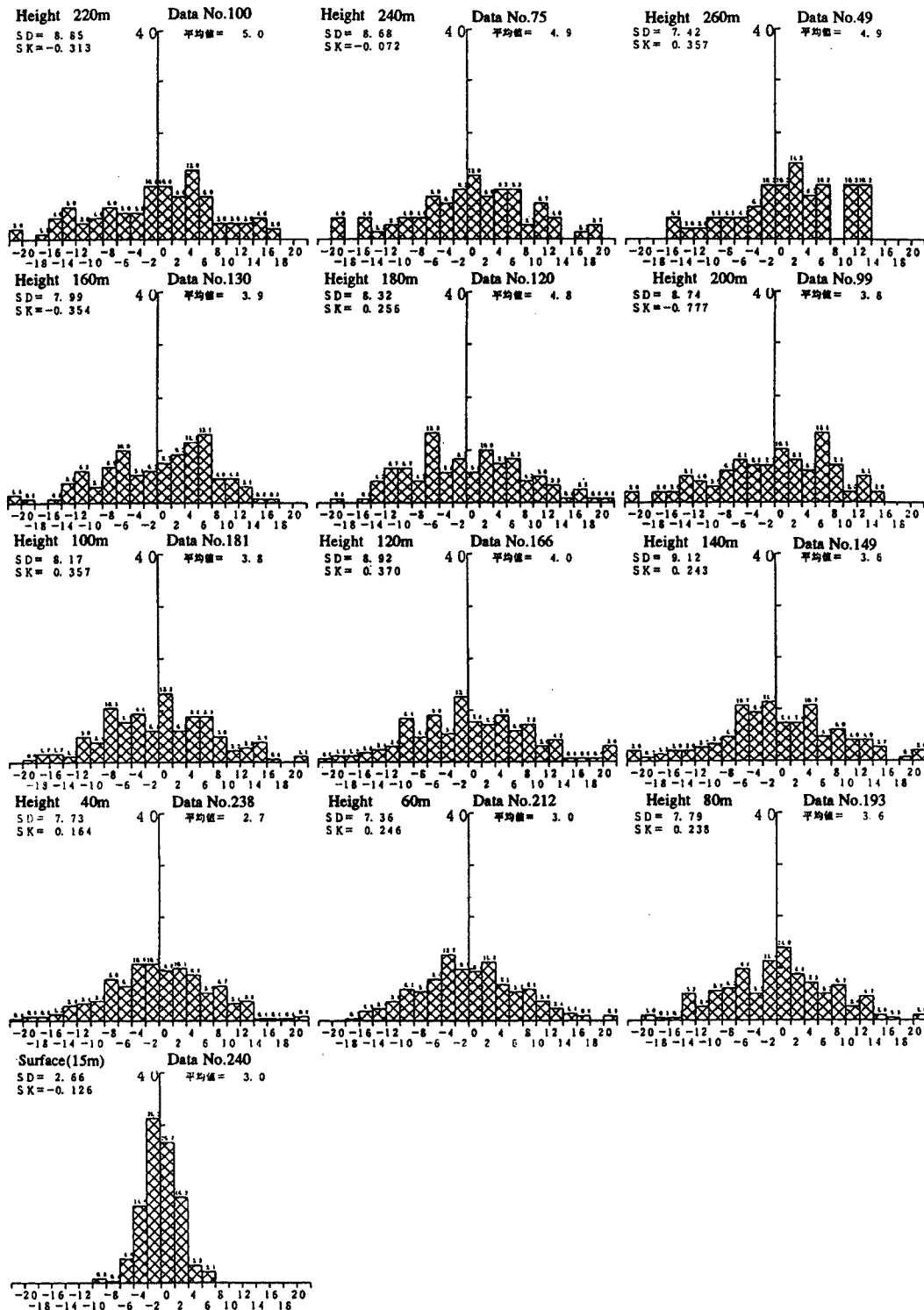


Fig. 4. Distribution of 15 sec time changes of horizontal run way parallel wind speed at each level on February 22, 1994.

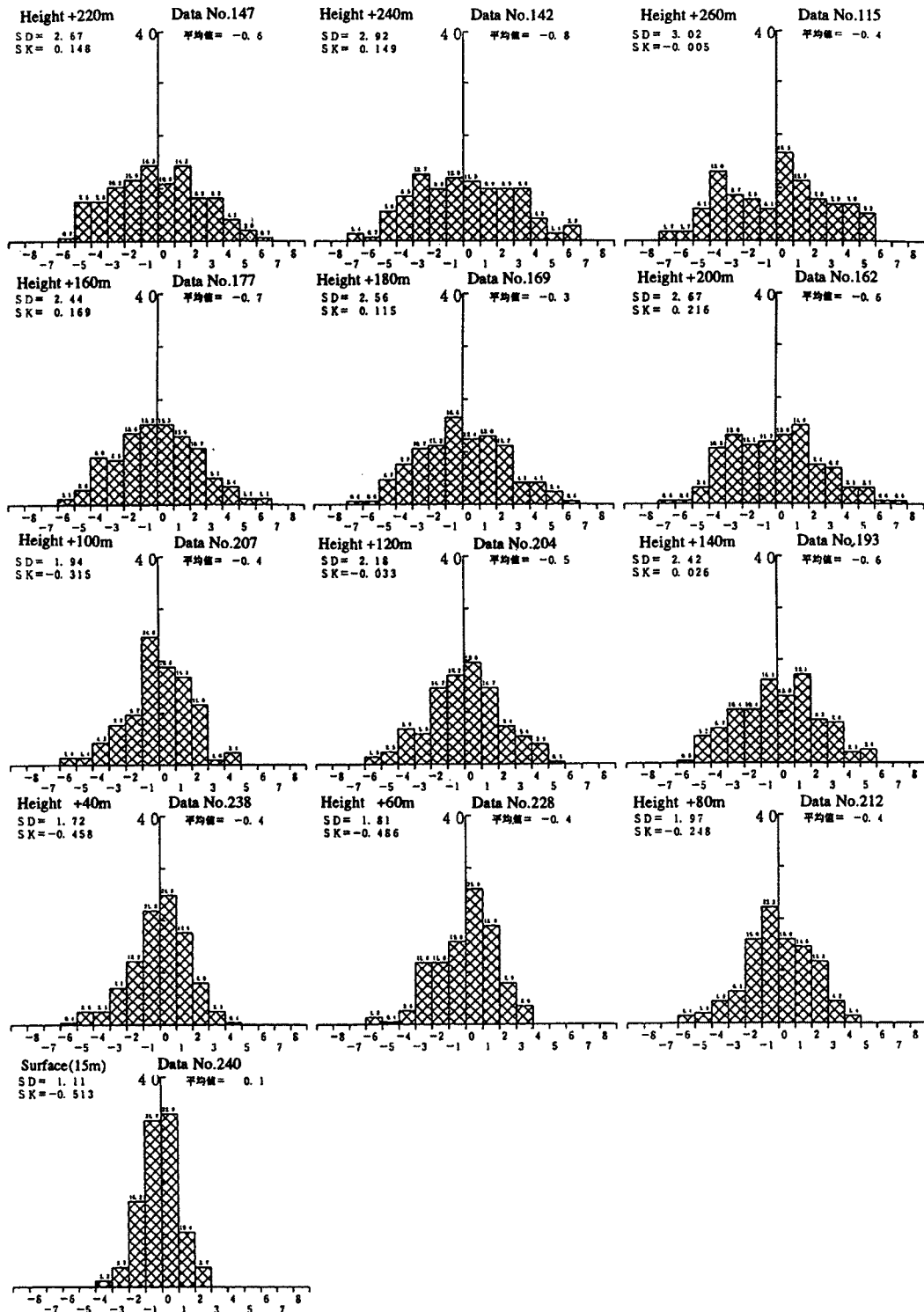


Fig. 5. Distribution of deviation of vertical wind speed at each level on February 22, 1994.

えられる。Figs. 6, 7 に滑走路平行成分と鉛直風成分の時刻変化の例を高度別に示してある。この図からも上空の変動が下向きに 200 m の高度差を数分の間に降下してくる様子を見ることができる。このことはソーダの観測値が各高度で平均 -0.5 m/s 程度の値を示すことと関係があるかもしれないが、乱れの下

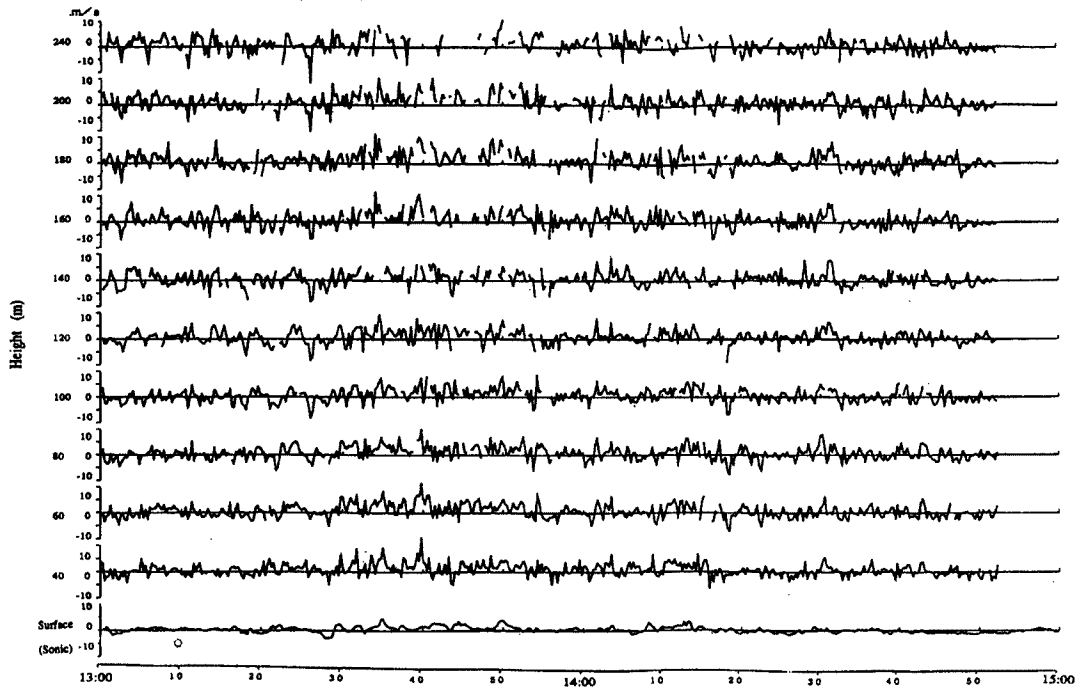


Fig. 6. Time changes of run way parallel wind speed at each level on February 22, 13 : 00 – 15 : 00.

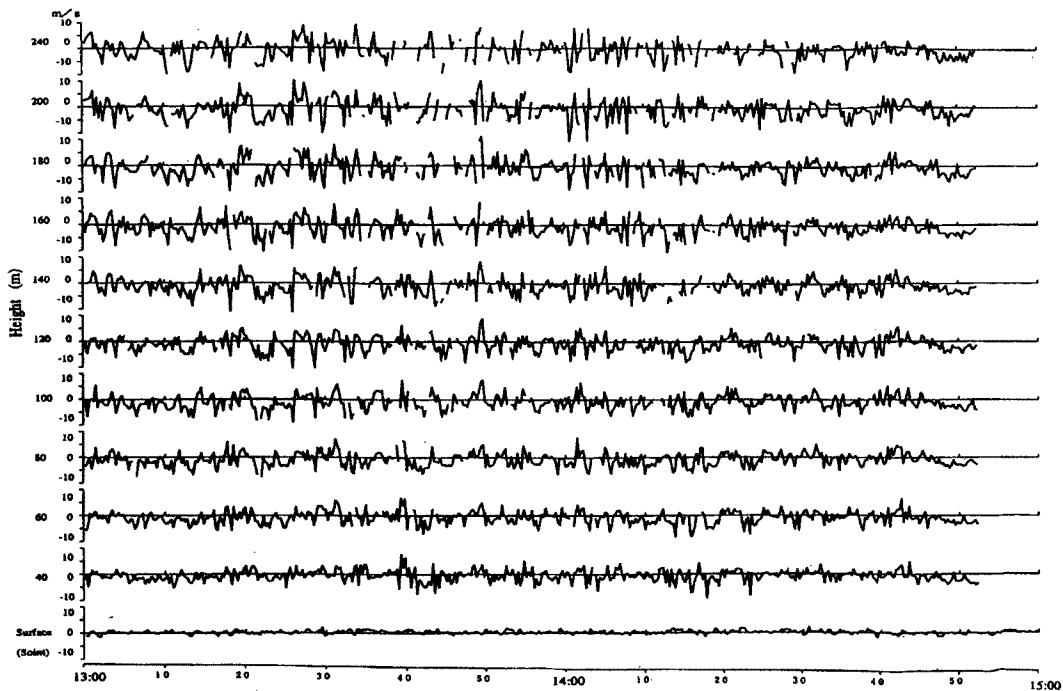


Fig. 7. Time changes of vertical wind speed on February 22, 13 : 00 – 15 : 00.

伝播はもっと別な機構を考えねばならないであろう。これらについてはさらにスペクトル解析等によって調べを進めることにしたい。

5. 鉛直軸渦の存在

これまでに示した変動は鉛直面内の風の変動であり、上空での風の変動が地表近くまで下降してくることによって生じる比較的長周期の変動が地表面のシアによって生じる風の乱れ（短周期）と重ね合わさったものとして境界層の風の変動が生じるというものであった。このような変動では風向の変動は小さいが、Fig. 8に示した変動は風速のみでなく風向にも大きな変化を伴っている。変動は全体としては乱れの場合とは異なって20～30分の短時間に終わってしまう現象であるが、詳しく見るとこれは鉛直に軸を持った小さな渦によって生じたものと考えられる。これはその時の風速から考えて数km程度の直径の渦で、水平面内で廻転していると考えられる。このような小さな渦は海岸においても観測された例¹⁾があり、上空の積雲に関連したものか、あるいは風下波動の一種であるとの考えられる。回転風速10 m/s前後、鉛直風速でも数 m/sで大きなものではないが、飛行機の操縦者の判断を誤らせる可能性は充分あり注意を要する現象である。さらに多くの例を集め解析を進めたい。

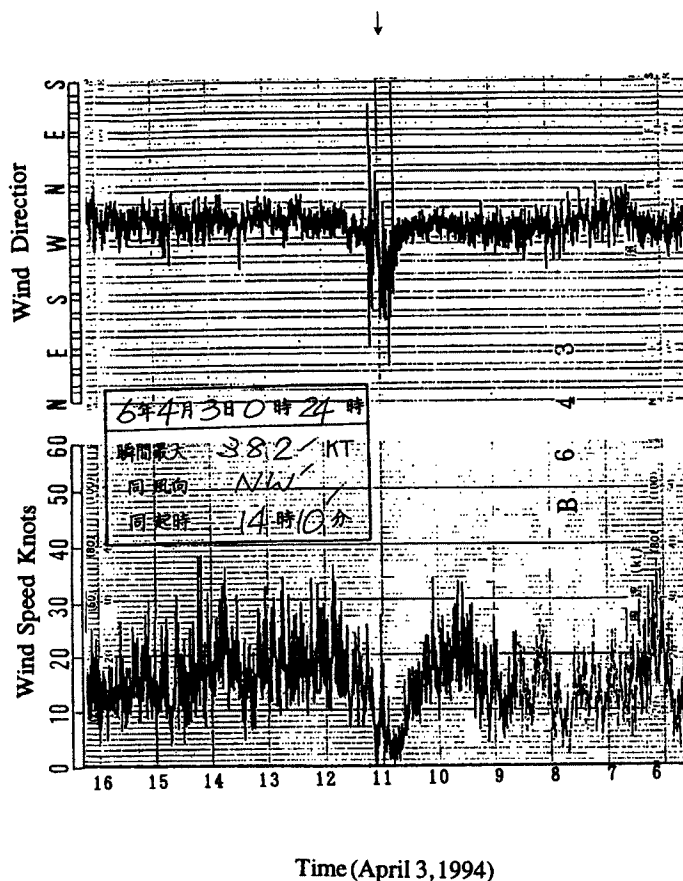


Fig. 8. An example of whirl wind with vertical axis at 11 : 00, April 4 at Hananomaki Air Port Office.

6. 結 語

花巻空港においては西の強風時西側に南北に走る奥羽山脈の風下側に乱れが上空に生じ、これが地表付近にまで下降してきて大きな風の乱れを生ぜしめる可能性が見出された。その統計的解析等については今後引続いて行う予定である。

謝 辞

この観測は日本エアシステム乗員組合の要請によって行われたものであり、観測の実行は関西環境センターによってなされたものである関係者の御努力に感謝したい。

参 考 文 献

- 1) 光田 寧：鳴門海峡付近の小旋風について，海と空，38巻2号，pp. 7-31, 1962.