

六甲おろしに伴う風下側のロール雲*

横田 寛伸・中島 肇**

1. はじめに

六甲おろしは六甲山地の南側で観測される局地風で、台風が南海上を東進するときなどに発生する強い北風である。山越え気流に伴って風下側に発生するロール雲の存在を指摘した報告は、Lilly and Zipser (1972) の Boulder おろしの観測結果にみられるほか、日本では広島風についての報告(佐橋, 1988) などがあるが、六甲おろしについての報告は見当たらない。

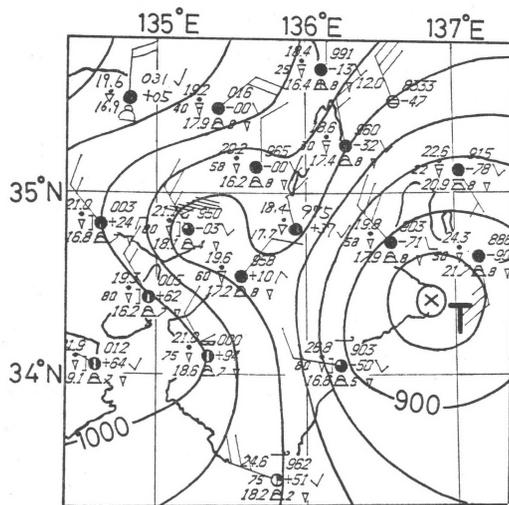
1990年10月8日、台風第21号が紀伊半島に上陸して東進し(第1図)、六甲おろしが発生した(神戸海洋気象台で北の風最大瞬間風速 32.3 m/s)。このとき筆者らは六甲山地の風下側に殆ど停滞して現れた雲を観察し写真撮影した。写真と当時の気象条件を解析し、この雲は六甲山地を取り巻くように風下側に発生した internal hydraulic jump に伴う雲である可能性が高いことが判ったので報告する。

解析には、米子測候所の台風臨時高層観測、各気象官署とアメダス観測点の地上観測記録、神戸市内(ポートタワー、ポートアイランド、六甲アイランド、六甲山頂)の観測記録などを用いた。

2. 結果と考察

2.1 ロール雲の写真とその解析

1990年10月8日の13時15分頃からその約10分後にあたる13時25分頃(写真1)にかけて、大阪管区気象台(第2図P点)から西に向かって、時間をおきながら4回の写真撮影をした。六甲山地には雲が掛かっている(写真1および第2図でAと示した)。風下側には問題の雲がある(B)。さらに風下側には層積雲が広がっている(C)。AとBの間には下層雲は無く、Cの領域の雲は疎



第1図 1990年10月8日13時の天気図と台風第21号の経路
等圧線の間隔は2 mb 毎。陰影は六甲山。

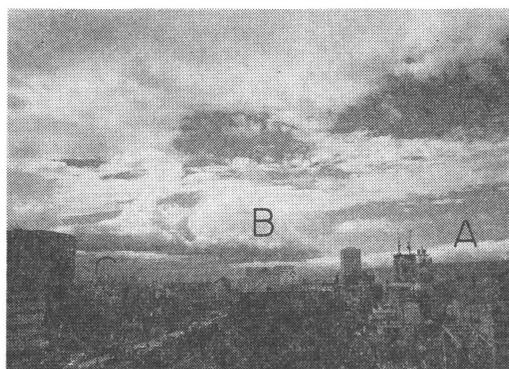


写真1 1990年10月8日13時25分頃撮影

* A roll cloud accompanied by the local down-slope wind "ROKKO-OROSHI."

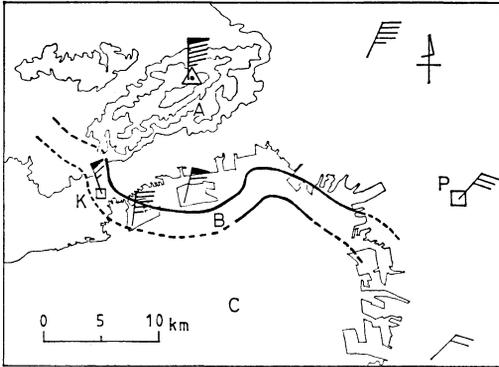
** Hironobu Yokota, Hajime Nakajima, 大阪管区気象台。

—1991年11月1日受領—

—1992年4月14日受理—

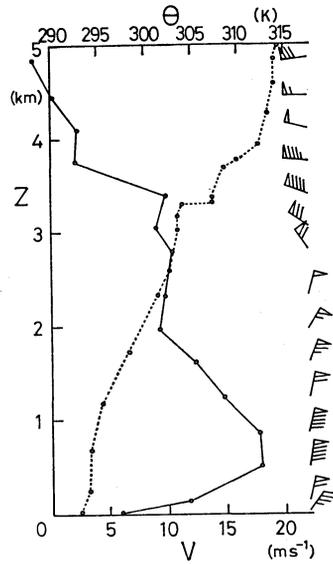
らで所々で晴れ間がみられる。

AとBの雲底高度が等しい(凝結高度が等しい)という仮定のもとで、主な地物の方位角と高度角を経緯儀で測定しておき、さらに晴れた日に映した写真と比較しな



第2図 写真1から読み取ったロール雲の分布

ロール雲は太い線で挟まれたBの領域。実線は写真から確実に解析できる部分、破線は写真からは読み取りづらい部分。Pは写真を撮影した地点(大阪管区気象台)、Kは神戸海洋気象台。等高線は標高200m毎。大きな三角が六甲山頂(標高931m)。矢羽は13時の地上風。一本の矢羽は風速2m/s。



第3図 1990年10月8日15時の米子の鉛直分布
実線は風速の北風成分(V)、点線は温位(θ)。一本の矢羽は風速2m/s。

がら、写真をもとに簡単な幾何学によってロール雲Bの位置と形状を求めた。その結果が第2図に示した領域Bである。ロール雲Bは六甲山地を取り囲むようにして風下側で弓状に存在した。ロール雲Bの幅は約1.8kmである。六甲山頂(標高931m)からロール雲Bの北端までの距離は、南へ約11.6km、南東へ約9.2km、南西へ約10.0kmの位置にある。なお、雲底高度は約800m、雲頂高度は約1,800mである。

なお、筆者らがこのロール雲を見つけ写真撮影した時(13時すぎ)は、すでにおろしの最盛期(神戸海洋気象台で12時41分に最大瞬間風速を観測)を過ぎて間もない頃にあたる。

2.2 ロール雲の移動

筆者らが遠望観察したロール雲の様子は次の通りである。ロール雲を構成している個々の気塊は北風に流されて南に動いていた。ところがロール雲の北端の位置はゆっくりと北(六甲山地に近づく方向)に移動した(写真解析では10分間につき約1km)。

ロール雲の北端の位置が北(山に近づく方向)に移動した原因は、時間と共に一般場の風速が弱まったことが挙げられる。

2.3 鉛直分布

おろしや hydraulic jump の発生は山岳波の砕波と深く関わっていることが知られている(e.g. Peltier and Clark, 1979, Smith, 1985)。線形論(e.g. Long, 1953)

による砕波の発生条件は、

$$l \cdot hm > 1$$

である。ただし hm は山の高さで、

$$l^2 = -\frac{1}{V^2} \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

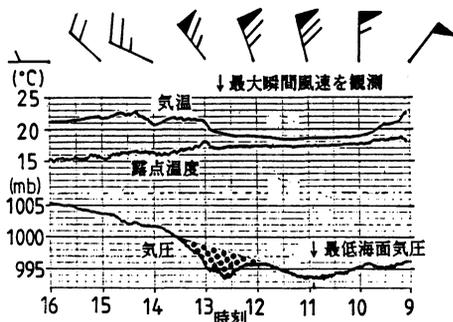
ここで g は重力加速度、 ρ は空気密度、 z は高度、 V は風速の北風成分である(六甲山地は南北方向に2次元性があるとみてよいので、2次元性を仮定して北風成分だけを考えた)。

そこで、10月8日15時の米子(六甲山地の風上側約190kmの所)における鉛直分布(第3図)を用いて l^{-1} を計算したところ、 l^{-1} の値は高だか590mであり、六甲山地の高さ(六甲山の標高931m)は l^{-1} よりも大きい。すなわち、当時の気象状態は砕波の発生条件 $l \cdot hm > 1$ を満たしており、hydraulic jump が生じていた可能性が高い。

以上のことから、観測されたロール雲は、おろしに伴った大気中の internal hydraulic jump の上昇流の部分に生じたものと考えられる。

2.4 地上解析

10月8日13時の地上風(第1図や第2図)は、その前後の時間帯に比べて、六甲山地を迂回するような風が現れている。すなわち、六甲山地の東側で北東風が、六甲



第4図 神戸海洋気象台における連続記録

風向風速, 気温, 露点温度, 気圧. 陰影は, 大規模な気圧のトレンドからのずれ. 最大瞬間風速は12時41分に観測 (北の風32.3 m/s).

山地の西側では北西風が吹き, これらの風が大阪湾で収束している. この地上風の収束によって引き起こされた上昇流が, おろしに伴っている局在化した上昇流 (internal hydraulic jump の上昇流とみなせる) をさらに強化していると思われる.

六甲おろしの吹いた13時前後の神戸海洋気象台の連続記録を第4図に示す. まず気圧の変化をみると12時頃から13時30分頃までの間は, 台風が遠ざかりつつあるにもかかわらず, 気圧が異常に低い. 実際, 神戸の気圧は周囲よりも低い (第1図を見ると, 台風からはほぼ等距離にある洲本よりも5.5 mbも低い). これは山地の風下側のおろしの部分に局地的に現われた風下低気圧で, 風下側で上昇気流が発生していることと矛盾しない. 次に気温と露点温度の変化をみると, 12時50分頃からは気温が上昇し, 露点温度は一旦上昇したあとすぐに下降傾向を示している. これはフェーン現象および降雨の終了 (12時52分) による変化であると考えられる.

3. 結論

六甲おろしに伴って風下側に発生したロール雲は, 六甲山地を取り囲むようにして弓状に存在した. ロール雲の位置は, 一般風の弱まりと共に, 六甲山地に近づく方向にゆっくりと移動した.

ロール雲が見られた当時の米子における鉛直状態は, 砕波の発生条件 $L \cdot hm > 1$ を満たしていた.

地上では六甲山地を迂回するような風が現れ, 六甲山地の東側では北東風が, 六甲山地の西側では北西風が吹いた. 大阪湾では地上風の収束があり, 六甲山地の南側では風下低気圧がみられたが, これらは風下側の局在化した上昇気流域の存在 (ロール雲の存在) と矛盾しない.

謝辞

資料提供頂いた米子測候所の岸田和博氏, 神戸海洋気象台の中川英彦氏に謝意を表します.

参考文献

- Lilly and Zipser, 1972: The front range wind-storm of 11 January 1972. *Weatherwise*, 11, 56-63.
- Long, R.R., 1953: Some aspects of the flow of stratified fluids. I. A theoretical investigation, *Tellus*, 5, 42-58.
- Peltier, W.R. and T.L. Clark, 1979: The evolution and stability of finite-amplitude mountain waves. Part II: Surface wave drag and severe downslope windstorms. *J. Atmos. Sci.*, 36, 1498-1529.
- 佐藤 謙, 1988: 広戸風 (岡山県の局地風) に伴うロール雲, *天気*, 35, 8, 497-499.
- Smith, R.B., 1985: On severe downslope winds, *J. Atmos. Sci.*, 42, 2597-2603.