

船首波形の波状雲*

小花 隆 司**

1. まえがき

山越え気流による波状雲は、衛星画像の上でかなり頻繁に見られる現象の一つであり、山脈の風下側に山脈と平行の走向を持つ数多くの雲列からなる波状の雲として現われる(第2図)。しかし、中には異なった形態のものもある。ここに挙げた例もその一つで、船の「へさき」にできる波の形によく似ている。この形の雲は、島や弧峰の風下側に発生するらしいが観測についての報告例は少ない(Bowley *et al.*, 1952; Veltishchev, 1978)。

2. 現象の経過

1978年5月27~29日にかけて、山越え気流によると思われる波状雲が、中国、ソビエト連邦シベリア、日本北部、千島列島の広い地域にわたって発生している。この期間中、ここに報告する船首波形の波状雲や上下2段に発生した波状雲など珍種も現われている。

船首波形の波状雲は、28日06時(日本標準時、以下、時刻はすべて日本標準時)千島列島の西側の二つの島の風下側に初めて現われたが、時間の経過と共に発生域が次第に東へ移り、09時になると千島列島中央部以西の島の風下側でも見られるようになり、同時に現象も顕著になった。第1図は、29日09時の可視画像である。この画像から、多数の船首波状の雲がかなり規則正しく並んでいることがわかる。なお、風下へいくほど波長が次第に短かくなり、また、各々の波の間で干渉を起こしているかのような波紋が見えることは注目される。

これらの雲の雲頂温度は、GMSの赤外資料によると -16°C で、29日09時のウルップ島(地点番号32186)の状態曲線により高度に変換すると、650mb(3.6km)となるが、雲頂温度を求める際に、雲からの放射を黒体放射に等しい(射出率を1と仮定)としているため、実際

の高度はこれよりやや高いものと考えられる。雲は中層雲(Ac)であろう。

発生域は、この後次第に東へ移り15時には千島列島の東半分の島々で見られるのみとなったが、現象は21時まで続いていた。

3. 状態曲線、風の鉛直分布

現象が発生したとき、千島列島はオホーツク海南部にある閉そく低気圧の南~南西側にあり、全層にわたり西風が卓越していた。

このときのウルップ島(地点番号32186)の風の鉛直分布を見ると(第3図)、他の風下波発生時と同様に全層にわたって風が強く、波状雲を発生させていたと見られるウルップ島の山頂付近の1,300mで19m/secとなっていた。風向はおおむね西風であるが、中層以下ではやや西北西寄りであり、船首波状雲の航跡(wake)の方向と一致している(第4図)。

気温の鉛直分布については、特異点資料の入手が不可能なため詳細は不明であるが、地表より850mbまではほぼ乾燥断熱減率に等しく不安定層、850~700mbは等温層に近い絶対安定層、700mb以高も安定層となっていた。

4. l^2 分布

Scorer(1949)によると、山越え気流によって生ずる波動、すなわち風下波は l が高さと共に減少していく大気中に発生する。 l はScorerパラメータと呼ばれ、次式で表わされる。

$$l^2 = \frac{g\beta}{u^2} - \frac{1}{u} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\beta = \frac{1}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

ただし、 g は重力加速度、 u は風速で障害物に直角な成分、 θ は温位である。

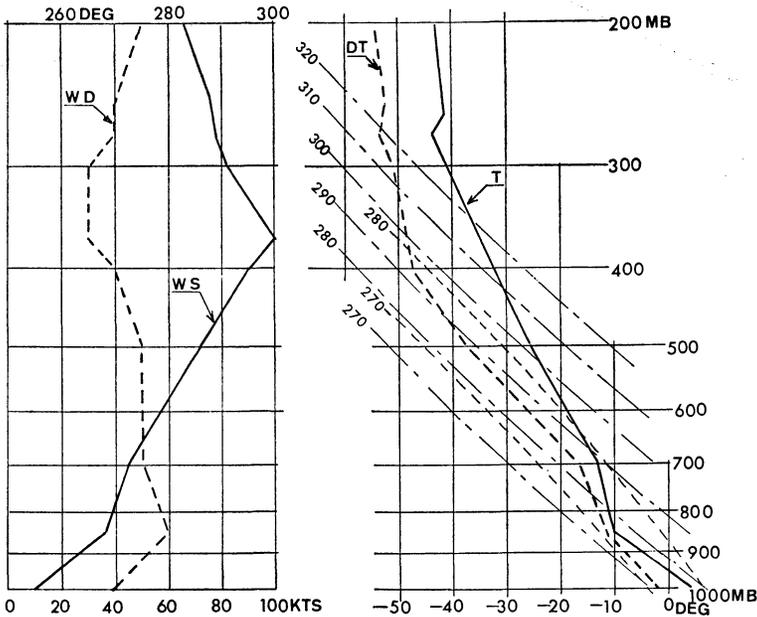
ウルップ島の資料を使って計算した l^2 の鉛直分布を、第5図に示す。1.5km, 4.5km, 9.5km付近を境にした4

* The ship-wave-like billow clouds due to lee waves.

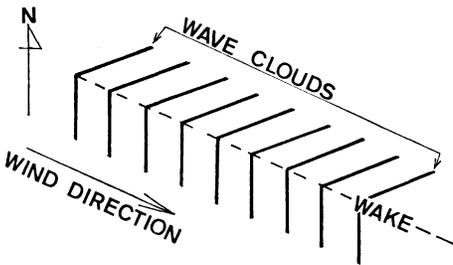
** R. Obana, 気象衛星センター解析課

32 186

09JST 29TH MAY 1978



第3図 ウルップ島 (32186) の状態曲線および風の鉛直分布。1978年5月29日09時。右側の図で、太実線(T)は気温、太破線(DT)は露点温度、鎖線は乾燥断熱線、細破線は湿潤断熱線を表わしている。また、左側の図で太実線(WS)は風速、太破線(WD)は風向を示している。



第4図 船首波形状波状雲のモデル図。波状雲の風上側先端付近に島(山)がある。

層に分けることができる。

1.5km 以下は絶対不安定層に近い状態にあり、 l^2 はほぼ零か負数傾向である。1.5 km~4.5 km では l^2 は高さと共に明瞭に減少している。すでに述べたように、この波状雲は中層雲(雲頂高度3.6km)でこの層(1.5~4.5km)の中で発達したものと考えられる。4.5km~9.5 km では l^2 は減少傾向が小さく、ほぼ等値である。また、9.5 km 以上の成層圏では l^2 は増加している。

なお、 l^2 の計算で、第2項(風の鉛直シアーの鉛直傾度)は第1項にくらべて小さいため省略してある。

5. 波長

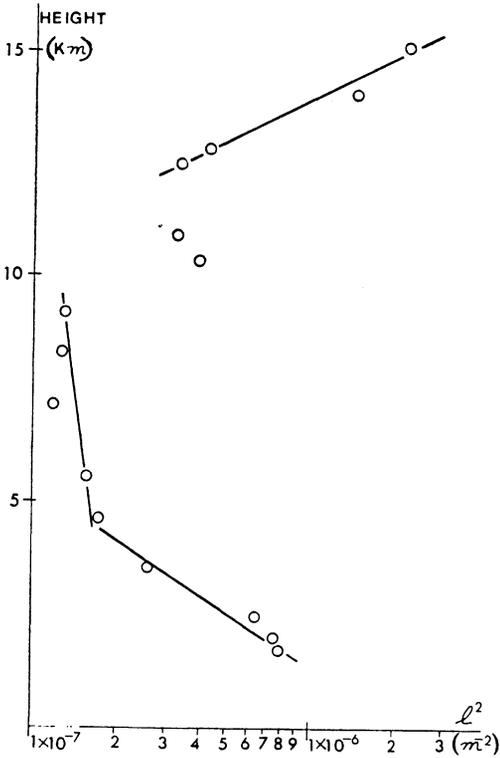
画像上で見える波長は風下ほど短くなっているが、島のすぐ風下側ではほぼ等間隔に並んでいる。ウルップ島のすぐ風下側における10個の波状雲の平均波長は、14.1 km であった。

一方、風下波の理論波長は $\lambda = 2\pi/l$ の最大値と最小値の間にある (Scorer, 1949; Starr・Browning, 1972)。1.5km~4.5km の層内での l を使い波長を計算すると、 $\lambda_{max} \approx 15.2\text{km}$ 、 $\lambda_{min} \approx 7.2\text{km}$ で観測値の14.1km はこの間に入る。

6. あとがき

Anderson *et al.* (1974) によると、風下波は次の条件のときに発生発達する。

- (1) 風向は大気の厚い層にわたって山脈にほぼ直交している。
- (2) 山頂の風速は少なくとも25ノットあること。
- (3) 300mb 付近まで高さとともに風速が増加すること。



第5図 l^2 (Scorer パラメータ) の鉛直分布.

と.

- (4) 気塊が鉛直変位に対して安定であること.
 - (5) 雲を生ずるに足る十分な水蒸気があること.
- すでに述べたように、本例はこれらの条件に合致して

いる.

これらのことより、また Scorerパラメータ l の鉛直分布や観測波長が風下波の理論から期待される波長と矛盾しないことより、この船首波形の波状雲は風下波の一種と考えられる。このような船首波形波状雲が発生する条件について、最近 Gjevik・Marthinsen (1978) は4層モデルによって数値実験し、特定の l, u の分布のとき計算値の波形が観測波形と一致することを見出している。

文献

Anderson, R.K., *et al.*, 1974: Application of meteorological satellite data in analysis and forecasting, ESSA Technical Report NES-51.

Bowley, C. J., A.H. Glaser, R. J. Newcomb and R. Wexler, 1962: Satellite observation of wake formation beneath an inversion, *J. Atmos. Sci.*, **19**, 52-55.

Gjevik, B., T. Marthinsen, 1978: Three-dimensional lee-wave pattern, *Quart. J.R. Met. Soc.*, **104**, 947-957.

Scorer, R.S., 1949: Theory of waves in the lee of mountains, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **75**, 41-56.

Starr, J.R. and K.A. Browning, 1972: Observations of lee waves by high-power radar, *Quart. J.R. Met. Soc.*, **98**, 73-85.

Veltishchev, N. F., 1978: Interpretation of orographic cloud system, WMO/UN regional training seminar on the interpretation, Analysis and use of meteorological satellite data, Tokyo Japan, 23 Oct. to 2 Nov. 1978, SAT/L6B (25x1978).