

AAMP 98 観測期間中のレーダー観測

小西啓之¹・和田 誠²・塩原匡貴²

Characteristics of radar echo during AAMP 98

Hiroyuki Konishi¹, Makoto Wada² and Masataka Shiobara²

Abstract: Precipitation clouds were classified by vertical pointing radar data measured at Ny-Ålesund, Arctic from December 1997 to March 1998 including the AAMP period. The results show that the apparent radar echo frequency averaged 23% over the period and increased to roughly 50% in a warmer period. The ratio of apparent time between layer and convective clouds was 64% to 36%. The proportion of layer clouds increased in the colder period and exceeded 80% in February when the averaged temperature at the ground was lower than -20°C .

The radar echo data were also compared with Micro-pulse Lidar (MPL) data during the AAMP period. The apparent MPL echo frequency reached 70%; on the other hand, that of the radar echo was 15%. The results suggest that the area of clouds was much larger than that of precipitation.

要旨: AAMP 期間中を含む 1997 年 12 月から 1998 年 3 月の Ny-Ålesund の冬季の雲の特徴をレーダーエコーから分類した。その結果、降水エコー出現頻度は、気温の高低とよく対応し、気温が高くなると降水エコーの出現頻度は、50% 近くになった。観測期間平均の降水エコー出現頻度は 23% であった。また、降水エコーが層状性であるか対流性であるかを調べた結果、層状性の降水エコーが全体の 64% を占めた。この割合は、気温が低下すると大きくなり、平均気温が -20°C より低かった 2 月には、80% を越えた。

AAMP 期間中は、マイクロパルスライダー (MPL) による雲エコーとの比較も行った。レーダーによる降水エコーの出現頻度は 15% と少なかったが、雲エコーの出現頻度は 70% もあり、降水域と雲域に大きな差があることが示唆された。

1. はじめに

垂直レーダーを用いた Ny-Ålesund 上空の雲の出現頻度、出現高度の観測は、1992 年以来続けられている (Wada *et al.*, 1996)。本項では、1997 年 12 月から 1998 年 3 月までの冬季の雲について、この垂直レーダーで観測された特徴を述べる。また特に、AAMP 期間中については、垂直レーダーだけでなく、薄い雲を観測できるマイクロパルスライダー (MPL) も観測に用い

¹大阪教育大学, Osaka Kyoiku University, 698-1, Asahigaoka 4-chome, Kashiwara 582-8582.

²国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

たので、その結果も合わせて比較し、これらの期間の雲の特徴について述べる。

2. 観測期間および方法

使用したレーダーは、Xバンドの垂直レーダーで、高度方向に50 m分解能で10秒間隔で、高度6.4 kmまでのエコー強度を測定できるものである。レーダーの仕様の詳細はWada and Konishi (1992) を参照されたい。垂直レーダーは1992年8月以来、Ny-Ålesundで観測を断続的に続けているが、本項で使用したデータは1997年から1998年にかけての冬期の1997年12月12日から1998年3月31日までである。一方、レーダー観測との比較を行ったMPLの観測期間は1998年3月3日から同11日である。MPLは波長523 nmのNd:YLFレーザーを用いた簡易型ライダー装置で、雲とエアロゾルを対象に、その後方散乱強度のプロファイルデータを長期間蓄積するためにSpinhirne (1993) により開発された。北極でも同様の観測を実施するため、1997年12月にラベン観測所内に初めて設置されたが、故障したためしばらく中断し、1998年3月に観測を再開した。ここで用いたMPLは米国SESI社が製造販売する同型のMPLである。このMPLの詳しい仕様および観測については塩原・柴田 (2002) を参照されたい。

3. レーダーエコーの出現頻度

観測期間中の垂直レーダーの2 dBZ以上のエコー出現時間は、全観測期間の23%、のべ602時間であった。旬別の出現頻度を平均気温と合わせて図1に示したが、気温の高低とエコー出

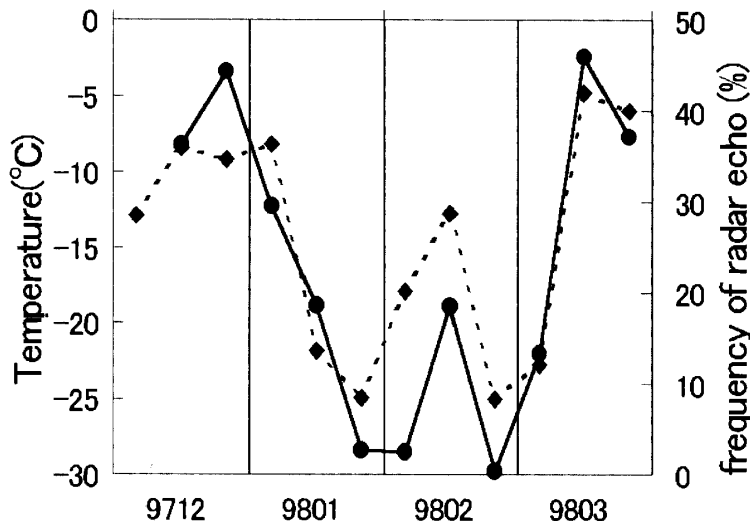


図1 旬別のレーダーエコー出現頻度および旬別平均気温。
実線は降水エコーの出現割合、破線は旬別平均気温

Fig. 1. Apparent frequency of radar echo (solid line) and averaged temperature (dashed line) every 10 days.

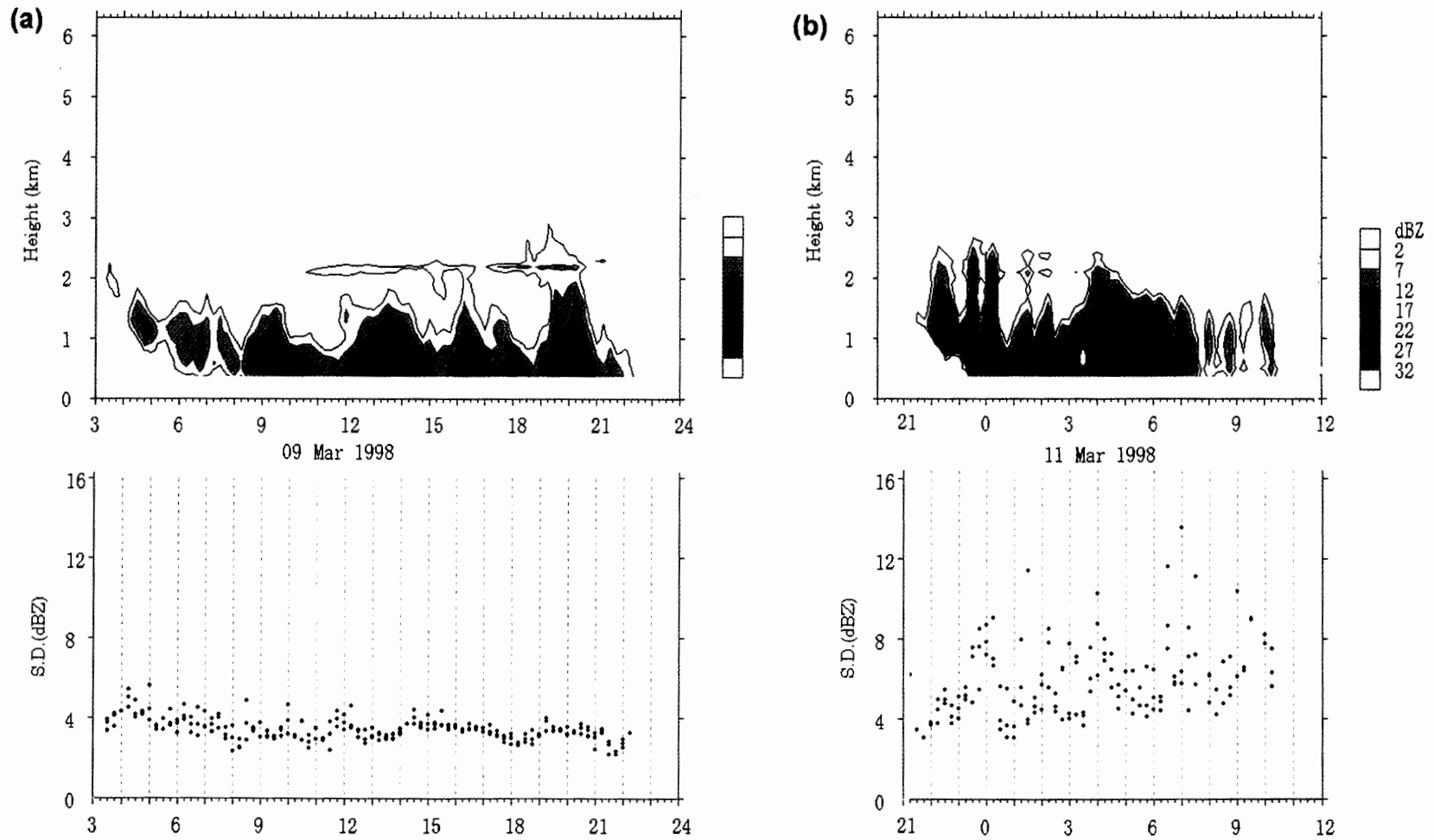


図2 垂直レーダーの時間高度断面とエコー強度の時間変化の偏差

(a) 層状性の降水エコーの例 (1998年3月9日). (b) 対流性の降水エコーの例 (1998年3月11日)

Fig. 2. Time height cross section of the vertical pointing radar (upper panel) and the deviation of the echo intensity averaged for 10 min (lower panel). (a) Example of layer clouds (9 March 1998). (b) Example of convective clouds (11 March 1998)

現頻度の高低がよく対応し、気温の高いときと降水が生じるときが一致している。これは、この付近の降水エコーをもたらす水蒸気の流入の原因が、相対的に暖かい低緯度から近づいた低気圧をもたらす雲であることが多い (Wada and Konishi, 1998) ので、降水エコーが現れるときと暖気の流入が同時に起こっているためと考えられる。したがって、極域の高気圧の勢力が強く、中緯度から北東進する温帯低気圧がスバルバルに接近できず、遙か南で停滞することが多かった1月中旬から3月上旬までは、平均気温が -10°C 以下の低温となり、かつ、エコーの出現割合が30%以下と少なかった。特に1月下旬や2月下旬の -25°C 以下の低温であった時は、エコーの出現割合は、数%以下となり、ほとんど降水エコーは現れなかった。

次に、得られた垂直レーダーデータを使って、エコーが層状性であるか対流性であるかの分類をエコー強度の時間変化から試みた。層状性と対流性の雲の違いは、発生時の気象条件や雲の活動度の違いだけでなく、気候問題に影響する放射特性も異なると考えられ、極域では観測例が少ないので、その実態の解明が求められる。

図2は、層状性エコー、対流性エコーの例として、(a) 1998年3月9日と (b) 1998年3月11日のレーダーエコーの時間高度断面である。層状性のエコーは、降水エコーの時間変化が小さいのに対して、対流性のエコーは、時間変化が大きく、10分程度でエコー強度の強弱を繰り返している。したがって、10分程度のエコー強度の平均およびその偏差を両者の降水エコーで比較すると、層状のエコーは時間変化が小さいため、その偏差は小さく、対流性のエコーは時間変動が大きいため、その偏差は大きくなる。図2の下段は、エコー強度の10分間平均からの偏差であるが、(a)の層状性の降水の場合は、エコー強度の時間平均からの偏差は、ほとんど4 dBz以下であったのに対し、(b)の対流性の降水の場合は、偏差が4 dBz以下になることは稀で、ほとんどが5 dBz以上であった。他のエコーについても同様にエコー強度の時間平均からの偏差を求めた結果、層状性降水エコーと対流性降水エコーは、約4.5 dBzを閾値にして分かれることがわかった。この結果を基に、4.5 dBzを閾値にして観測期間の全降水エコーを分類すると、層状性のエコーがのべ387時間 (64%)、対流性のエコーがのべ215時間 (36%) となった。タイプごとの旬別の出現割合を調べると、降水エコーの出現頻度が高かった12月下旬

表1 層状性と対流性のエコーのエコー頂と最大エコー強度ごとの出現割合(%)
Table 1. Apparent frequency for layer clouds and convective clouds (%).

層状性	10	20	30	40	計	対流性	10	20	30	40	計
	dBZ						dBZ				
5 km	1.0	2.4	2.7	6.6	12.8	5 km	0.2	0.6	0.5	0.0	1.3
4 km	2.6	4.6	3.5	10.1	20.7	4 km	0.1	2.4	3.3	0.5	6.2
3 km	5.2	5.2	7.6	8.7	26.7	3 km	1.9	8.7	5.8	3.0	19.4
2 km	7.0	15.9	10.1	4.2	37.2	2 km	5.6	24.0	32.8	5.6	67.9
1 km	1.0	1.5	0.1	0.0	2.7	1 km	0.6	3.1	1.5	0.0	5.2
計	16.8	29.6	24.0	29.5	100.0	計	8.3	38.8	43.8	9.1	100.0

や3月中旬は、層状性が55%程度であったのに対し、降水エコーの出現頻度が少ない低温の2月は、層状性が80%以上と多くなった。比較的気温が高く降水エコーが多く現れるときは、対流性の割合も多くなるが、低温で降水エコーが少ないときは、層状性の雲の割合が多かった。

次に、層状性と対流性のエコーごとに、その高度および最大エコー強度を調べた。表1にエコー頂高度、最大エコー強度ごとのエコーの出現頻度を示した。層状性の降水エコーは、エコー頂が1 km から6 km 程度までとさまざまな高度に広く分布していたのに対し、対流性の降水エコーはほとんどのエコー頂が3 km 以下と低かった。しかしながら、各タイプの最大エコー強度を比較すると、10 dBZ 以下の弱いエコー強度のものは、層状性では全体の16.8%であったのに対し、対流性のエコーは8.3%と半分以下であり、対流性のエコーは、背が低いけれども降水の寄与は大きい。特に、対流性のエコーの中で2 km 以下の低い降水エコーでも20 dBZ を越えるものが38%もあることから、対流性のエコーは効率的に降水を形成している。

4. レーダーと MPL のエコーの比較

AAMP 期間中の3月3日から3月11日は、レーダーと MPL の比較を行った。この間、レーダーによる2 dBZ 以上のエコー強度を示す降水エコーは、全観測時間の15%にあたるのべ29時間しか観測されなかったのに対し、MPL の雲エコーは、全観測時間の70%にあたる134時間も観測された。したがって、降水はあまり無かったが、雲はかなり出ていたことになる。一例として、3月8日の例を図3に示す。上段がレーダーエコー、下段が MPL のエコーである。

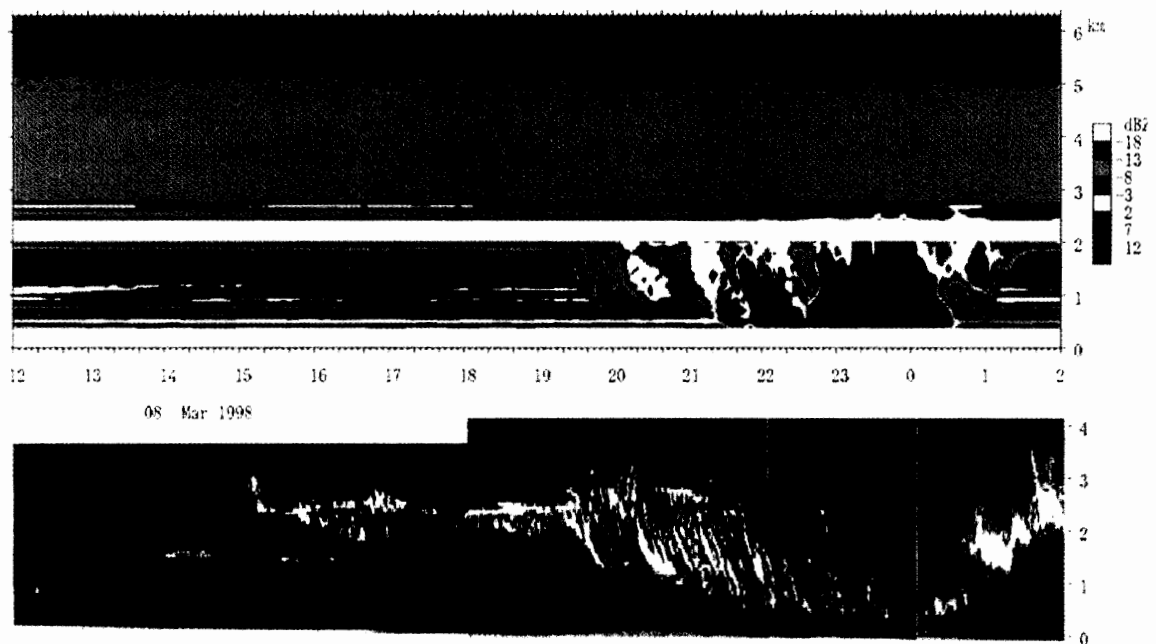


図3 降水エコーと雲エコーの比較

Fig. 3. Comparison of echoes measured by vertical pointing radar and Micro-pulse Lidar.

レーダーエコーは、感度のよい MPL と比較するためノイズレベル以下の -18 dBZ まで等値線で示した。レーダーエコーの高度 2 km から 3 km および 500 m 付近の水平なエコーは、ノイズによるもので実際の降水エコーではない。MPL のエコーは受信信号に距離補正を施した後方散乱強度を色別に表示したもので、赤や白が強いエコー、濃紺が弱いエコーを示す。図の上段のレーダーによる降水エコーは、 19 時頃に高度 2 km 付近に現れ、 24 時までの間に、数個、通過している。一方、下段の MPL の雲エコーは、降水エコーが現れる 4 時間も前の 15 時頃から高度 2 km 付近に現れている。したがって、ジェネレーティングセルのような弱い雲は MPL で観測できるが、レーダーではできないことを示しており、降水域より、雲域はかなり広がっていたことがわかる。弱い降水エコーが現れた 19 時頃から 22 時頃までは、雲エコーはレーダーエコーとよく対応し、どちらのエコーからも雲の内部構造を見ることができると期待される。

さらに降水エコーが 10 dBZ 以上と強くなった 22 時以降は、MPL による雲エコーは減衰が極端に大きいため、最下層は見えるが上層が見えなくなっている。一般にライダーで観測できるのは光学的厚さが 2 程度までと考えられ、このように降水を伴うような光学的にも厚い雲の場合は、雲エコーは雲底付近でほとんど減衰し、雲頂は見えない。ただし、雲が厚いにも関わらず、その雲底部のエコー強度のピーク値が比較的小さい値を示しているのは、雪結晶による異方散乱により、見かけ上吸収があるように見えるためではないかと考えられる。

5. ま と め

観測期間平均の降水エコー出現頻度は、 23% で、旬別の出現頻度を気温と比較すると気温の高低に対応して、出現頻度が増減していることがわかった。気温が高い 12 月や 3 月には、降水エコーの出現頻度は、 50% 近くになったが、気温が低い 2 月には、降水エコーの出現頻度は、 10% 以下になることもあった。また、降水エコーのタイプ別の出現頻度を調べた結果、層状性の降水エコーが全体の 64% を占め、気温が低下すると、この割合は大きくなった。平均気温が -20°C より低かった 2 月には、層状性の降水エコーの割合が 80% を越えた。

AAMP 期間中は、マイクロパルスライダー (MPL) による雲エコーとの比較も行った。レーダーによる降水エコーの出現頻度は 15% と少なかったが、雲エコーの出現頻度は 70% もあり、降水域と雲域に大きな差があることが示唆された。また、レーダーでは観測されないような薄い雲の内部構造についても、MPL により詳細に観測できることがわかった。しかし、一方では、降水を伴う厚い雲については、MPL では内部が見えないばかりでなく、見かけ上弱いエコーしか得られない場合があることもわかった。

文 献

- 塩原匡貴・柴田隆 (2002): AAMP 98 観測期間中のニーオルスンでのマイクロパルス・ライダー観測, 南極資料, **46 (1A)**, 269-279.
- Spinhirne, J.D. (1993): Micro pulse lidar. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **31**, 48-55.
- Wada, M. and Konishi, H. (1992): A study of precipitation in the coastal area of Antarctica as observed at Syowa Station using a vertical pointing radar. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec)*, **36**, 341-349.
- Wada, M. and Konishi, H. (1998): A study of precipitating clouds close to fronts using microwave radiometry and radar in Svarbard, Arctic. *Atmos. Res.*, **49**, 253-265.
- Wada, M., Konishi, H. and Yamanouchi, T. (1996): Variation of monthly precipitation and frequency of radar echo existence at some altitudes in Ny-Ålesund, Svalbard, Arctic. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **51**, 239-246.

(2001年6月21日受付; 2002年1月23日受理)