

### 3. アンテナ面への着雪と受信電界変動

小田 忠<sup>\*1</sup> 岡本 智<sup>\*1</sup> 山崎 一郎<sup>\*2</sup> 大山 治男<sup>\*3</sup>  
根本長四郎<sup>\*4</sup> 森 哲造<sup>\*5</sup>

(昭和59年11月20日受理)

## SNOW ACCRETION ON THE SURFACE OF ANTENNA AND ITS EFFECT UPON RECEIVING LEVEL

By

Tadashi ODA, Satoshi OKAMOTO, Ichiro YAMAZAKI, Haruo OHYAMA,  
Choshiro NEMOTO, and Tetsuzo MORI

In the area with much snow, the effect due to snow accretion on the surface of antennas cannot be neglected.

Wakkanai and Akita radio wave observatories carried out the BSE TV reception experiment from 1978 to 1980. During the experiment, snow accretion on the surface of antenna caused much attenuation and several attenuation measurements and artificial snow accretion tests were made, in order to solve the attenuation mechanism. Those tests proved the important factors which caused attenuation to be mainly snow density and its temporal change and the areas occupied on the surface of antenna. Several measures against snow accretion were devised, and tested to be very effective.

#### 1. はじめに

雪国における 12GHz 帯での放送衛星システムの設計に資するために降雪や着雪の影響を明らかにし、定量的なデータを得ることを目的としてこの実験を行った。具体的には、衛星電波の受信電界強度と降雪強度並びにアンテナ面への着雪の割合を測定しつつ、降雪と伝搬損失についての関係を調査した。

#### 2. 実験の経過

この実験の目的は降雪が電波伝搬に及ぼす影響を調査解析することであったが、その第一段階として多雪地帯におけるアンテナ面への着雪の影響をまず十分に調査することとした。その後降雪による伝搬路上の減衰についても調査する予定であったが、1979年11月の衛星の不

具合によりその計画は実行できなかった。しかし、空間の雪による減衰は 20 GHz 帯においても降雪雲によるもの以外はっきりした減衰が観測されていない。したがって 12 GHz 帯においても伝搬路上の雪による減衰はごく少なく、主としてアンテナ面への着雪が問題になると思われる。

冬の期間(11月～翌年3月)においては1, 2の例外を除きほとんどが降雪になる。したがって冬期、衛星電波の減衰要因として、降雪は重要な地位を占めている。

解析の手段として風向、風速、天候状況の観測はもちろん外気温、積雪強度、雪質の測定等をその都度実施した。測定は1978年～1980年にかけての二冬を中心に行ったが、精密な測定ができたのは一冬だけであった。

#### 3. 実験結果

##### 3.1 アンテナへの着雪状況とその減衰

降雪地帯においては、パラボラアンテナの鏡面上に雪が積りやすいため、冬期間の電波受信に大きな障害を与

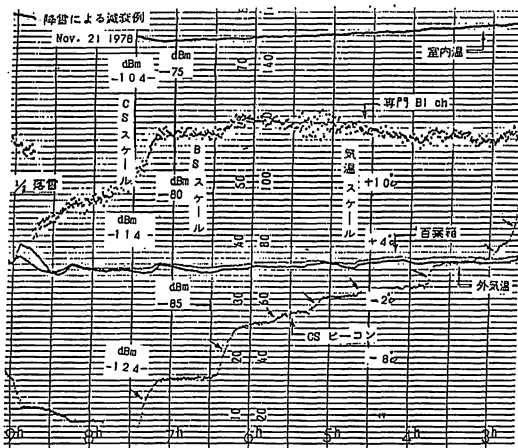
<sup>\*1</sup>稚内電波観測所, <sup>\*2</sup>衛星通信部 第一衛星通信研究室,

<sup>\*3</sup>山川電波観測所, <sup>\*4</sup>平磯支所 超高層研究室,

<sup>\*5</sup>(元)秋田電波観測所

第1表 降雪の種類

区分	季節と天候	形状	構造	密度	特徴
乾雪	初冬と終冬 降雪の初めと終り 0°C付近, -6°C以上	2~5mm	微小結晶の塊	0.06~0.16	溶けると同時に1mm以下の水滴に変わる
	大部分の降雪, -14°C~-18°Cで形成され, 落下中雪片に発達する	2~10mm 形とならない	結晶 微小あられ 不規則粒子の塊	0.01~0.03	溶けると同時に直径1~2mmの水滴に変わる
	雪あらし, -5°C~-6°C 雪片にはなっていない	1~2mm か 1mm以下	2又は多結晶, あるいは不規則粒子	?	溶けると同時に霧滴サイズの粒子に変わる
やや湿雪状	0°C近辺で落下比が大きい	10mm以上 形状不定	グレースノの塊	0.09	2~4mmの水滴と等積
湿雪	乾雪の溶けかかった状態 初冬, 終冬	形状不定 大きさが変わる	氷, 水の粒子, 水膜の湿合	0.09から 0.126	スノーボールとなる。アイスブリッジを形成する
ぬれ雪	湿雪が半分溶けた状態	同上	含水量大	0.257	雪塊状の雪片落下
びしょびしょ雪	ぬれ雪が雨に変わりつつある状態	数cm以下	雨水中に氷がみられる	0.257以上	雨に近い



第1図 降雪による12GHz受信入力減衰例

えることが確認された。実験の結果では、アンテナ面への着雪の着雪高が乾雪では3~4cm以上、また、湿雪では2cm以上になると減衰が始まる。乾雪が湿雪と比較してアンテナ面に付着しにくいように思われたが、大きな差はみられなかった。また、アンテナ面への着雪

は、アンテナ面の方位、仰角にもよるが風向、風速に大きく左右され、稚内の場合わりと低仰角(29度)に設置されているにもかかわらず、着雪を避けることは不可能であった。無風時にはアンテナ全面に着雪するが、実験期間中には雪が少なかったこともあり、アンテナ全体(ホーンを含め)が完全に雪に覆われるという状態はなかった<sup>(1)</sup>。

雪質については稚内の場合、冬期に入ると急激に気温が低下するため、初冬と晩冬の一時期を除き降雪の種類は乾雪である(平均体積含水率0.06%以下第1表参照)。

第1図に、アンテナ着雪による12GHz波B1チャンネル受信電力の減衰例を示す。図は1978年11月21日に2.5mφアンテナによって得られた初冬における降雪の記録で、雪質は湿雪であった。

この日の降雪は午前2時に始まったが、同時に記録されているCSのビーコンレベルの矢印部分に対応して、B1chにも明らかに減衰がみられる。この例ではアンテナ面上の着雪の最深は10cmで7時15分ごろからの太陽輻射により積雪が融解し急激に減衰を起こし、受信レベルは平常値に比べ約7.5dB低下したが、8時45分ごろ

アンテナ面上の積雪の1/2が自然落雪したため約4.5dB上昇した。

この記録は12GHz波(仰角29°)と20GHz波(仰角37°)の同時記録を行ったものだが、着雪による減衰効果の周波数特性を明確に表している1例である。

このときの降雪状態は無風で自然着雪と考えられ、外気温が比較的高いことからパラボラ面に付着した雪は、かなり融解が進行し、その結果が20GHzの電波のパラボラ面での減衰効果を生み、時間経過とともにその効果が増長されていったものと考えられる<sup>(2)</sup>。

一方12GHzにおいては、20GHz帯ほど顕著ではないが小さい電界変動はあるものの電界が階段状に低下していることがわかる。このような気象条件での観測例がほかにはないのははっきりした結論はいえないが、アンテナ着雪による減衰効果を究明するのに興味あるデータといえよう。

パラボラ面の下半面が1波長以内の雪又は水で覆われただけで、正面方向の利得減少は10dB以上にもなるといわれている<sup>(3)</sup>が、稚内においては乾雪の場合1波長(2.5cm)以上のときでも、深い減衰はなく、アンテナの積雪が(3~4cm)になると減衰効果が顕著になった。

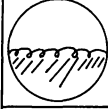
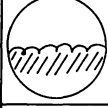

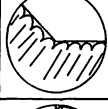

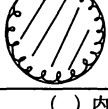
稚内では湿雪があまり降らないため実験はできなかったが、秋田観測所で実施された湿雪による人工着雪の実験結果では、自然着雪が2cmを超すと減衰効果が現れると報告されている。これは上述の文献のとおりである(第2図参照)。

アンテナ着雪と減衰量の関係については、その時点における自然環境や条件が常に異なるため、画一的な結果を見いだすことは難しい。1978年冬~1979年春までの実験によって得られた、アンテナ除雪効果の一部を第2表、第3表に掲載した。

これまでのアンテナ除雪実験、アンテナへの人工着雪実験の結果、次のようなことが明らかになった。

- 1) 雪質による減衰効果は、明らかに乾雪より湿雪の影響が大きい。
- 2) 乾雪でも長時間の積雪により締まってくると(締まり雪、体積含水率0.1以上)大きな減衰を与える。
- 3) 着雪表面に風等により凹凸ができると、鏡面劣化による減衰と思われる効果が表れる<sup>(4)</sup>。

降雪の強度を表現するには、即応型雨量計の受雨部にヒータを巻いて暖め、捕そくした雪片を溶かした水滴の落下量を計測する方法をとっているが、この方法は無風時には効果があるが、受雨部の直径が13.8cmと小さいためまた置く場所との関係で、強風時には雪の捕そく率が低下する現象が生じ、正確な計測ができないことがわ

1mφパラボラ	積雪量(人工的)	受信入力	画質	備考
	1/2面に 1cmの雪。 (2~3cm)推定。	-84 dBm 平均より -2 dBm	4	ベタ雪に近い。 雪密度 0.1以上
	1/2面に 2cmの雪。 (4~6cm)推定。	-87.5 dBm 平均より -5.5 dBm	4~3+	
	1/2面に 4cmの雪。 (8~16cm)推定	-89.5 dBm 平均より -7.5 dBm	3	
	5/8面に 約4cmの雪。 (8~16cm)推定。	-94 dBm 平均より -12 dBm	2	
	7/8面に 約4cmの雪。 (8~16cm)推定	-103 dBm 平均より -21 dBm	1	
	全面に 約4cmの雪。 (8~16cm)推定。	-105 dBm 以下	1	

( ) 内は自然着雪の推定値 人工着雪(秋田)

第2図 秋田電波観測所で実施した人工着雪による電界強度と画像評価

かった。

### 3.2 アンテナ面上の雪の除雪効果

アンテナ着雪がどのような形で12GHz帯の受信電力の減衰に寄与しているかを調べる第1段階として、除雪実験を試みた。その方法は鏡面上の雪を、あるブロックごとに除雪し、これに対応する受信電力の変化を調べてみた。第2表の1月16日のアンテナ着雪状態とそのときの受信画像を写真1に示す。この日の実験はアンテナ特性を考慮して、アンテナ外周から25cmずつ同心円的に除雪を行い、受信電界の回復状態を調べてみると第3図(a)に示す結果が得られた<sup>(5)</sup>。

この図から当然の結果であるが、パラボラ面の除雪面積が大きいほど受信電力の回復が大きいことがわかる、と同時にパラボラ面の凹凸による影響は、図から見るかぎり除雪による効果に比してあまり大きくないものと判断される。

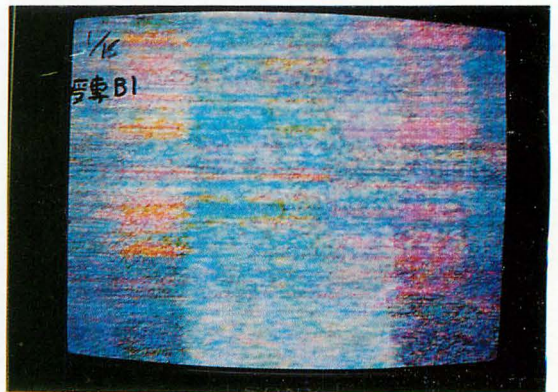
一方、第3表の12月19日の例は無風状態の自然着雪で、雪質も乾雪であった。この日の受信電力は、積雪10cmにもかかわらずわずか2dB程度であり、除雪を扇形状に行ってみたが、比較的直線的に回復している。このような実験を数回行ったが、回復傾向はほぼ同じで

第2表 アンテナ(2.5)の除雪効果

月日	時刻	減衰量	最大積雪高	雪質	備考
11/21	09時	約 3.0 dB	約 10 cm	湿雪	自然落下 1/2残
12/5	10時	9.0	10	乾雪	
12/19	10時	2.5	9	乾雪	
1/10	21時	4.0	—	乾雪	強風による落雪
1/16	16時	14.0	16	乾雪	着雪表面の不均一



a. 1月16日のアンテナ着雪状態最深16cm



b. 左のアンテナ状態の受信画像



c. 1月16日のアンテナ積雪を同心円に50cm除雪した状態



d. 左のアンテナ状態の受信画像

あった。これら一連の実験からも、パラボラ面に着雪する雪質(含水率)が受信電力に大きく影響を及ぼしているといえよう。

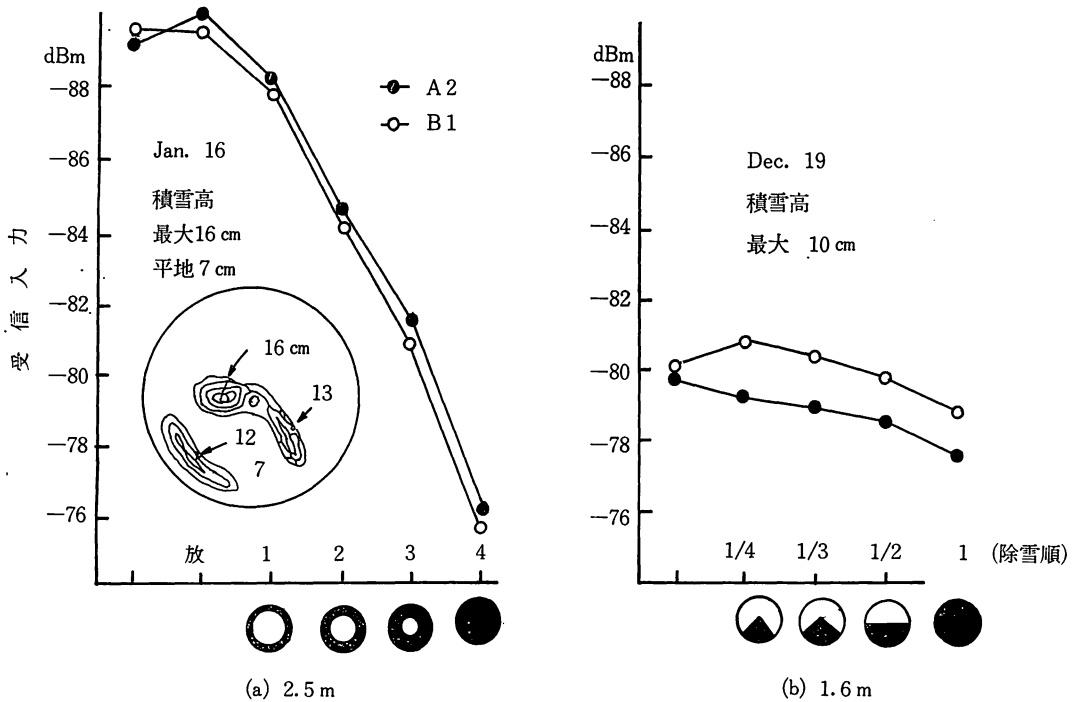
### 3.3 アンテナへの人工着雪実験

1.6mφアンテナの鏡面下部へ、等しい厚さで人工着雪を行い、これによる減衰量の変化を調査した結果を第4図に示す。アンテナの着雪を下半分として乾雪を順次

着雪させたとき、第4図の例では雪厚2cmで0.5dB、5cmで3.5dBの減衰がみられ、8cmで測定不能となったが、これは着雪して行くうちに締まり雪(雪密度0.1以上)の状態になったため、大きな損失を起こしたものである。また、着雪面積を鏡面全体の1/2より1/4に減じても雪厚5cmまでは、減衰量はさほど変化しないが、5cm以上になると鏡面を覆う着雪面の広が

第3表 アンテナ (1.6) の除雪効果

月 日	時刻	減衰量	最大積雪高	雪質	備考
12/5	10時	約 4.5 dB	約 10 cm	乾雪	A 2 ch
12/5	10時	5.0	10	乾雪	B 1 ch
12/19	10時	1.5	10	乾雪	A 2 ch
12/19	10時	1.5	10	乾雪	B 1 ch
1/10	16時	3.5	6.5	乾雪	B 1 ch
1/17	15時	13.0	8	乾雪	A 2 ch
1/17	15時	12.5	8	乾雪	B 1 ch



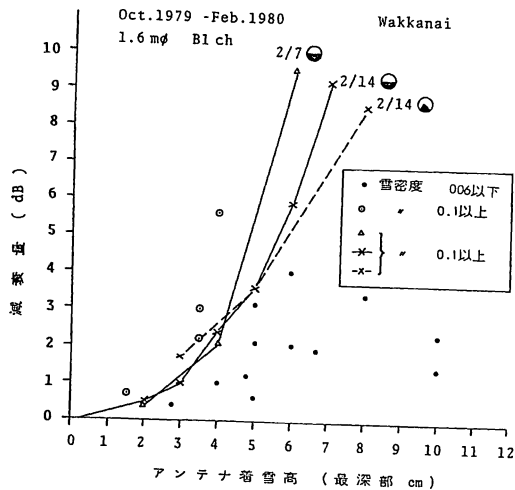
第3図 アンテナの除雪効果

りの大小が減衰量に影響を及ぼしている。これは除雪効果と同じ結果である。图中、黒丸は1979年10月から翌年2月までに得られたもので、鏡面上着雪面積が全体の40%以上の場合の減衰量の実測値(除雪前後の受信電力値差)を示す。なお、面積率40%以下のときは、ほとんど減衰がないことが経験的に確認されているため、上記のようなデータの取得を行った。

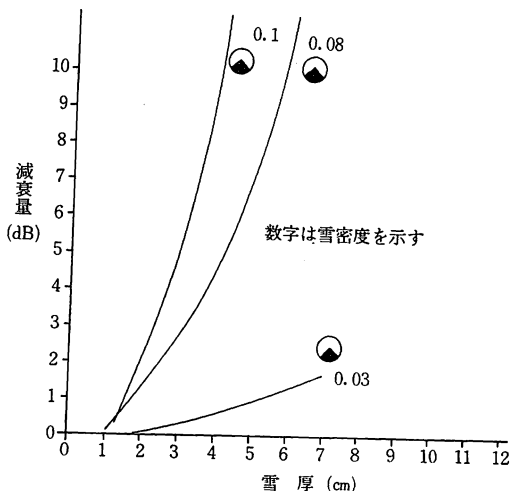
通常の降雪時稚内地方は雪密度が0.06以下の乾雪が

多く、また、アンテナへの着雪は実験のときのように等厚とはならず、下縁に近いほど雪厚は大きい。自然着雪時に乾雪であれば雪厚(最深部)が大きいても減衰量は大半が3 dB以下であった。しかし、◎に示した湿雪や締めり雪のように雪密度が高い場合、雪厚はさほどなくとも大きい減衰量を示した。

北海道大学の応用電気研究所で20 GHz帯で計算された一様雪厚と減衰の計算値を第5図に示す。周波数的な



第4図 アンテナ着雪と減衰量



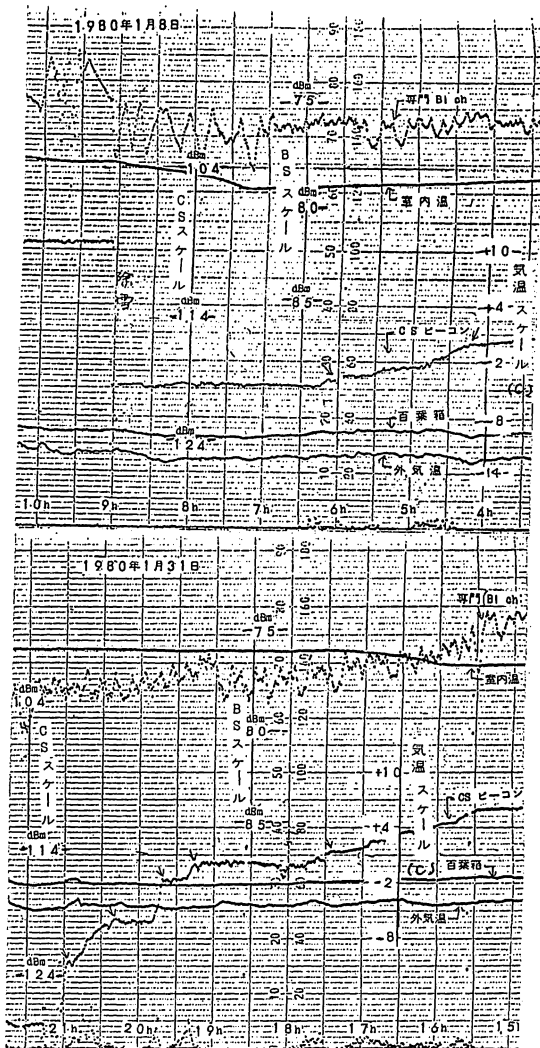
第5図 20GHz 波のアンテナ着雪と減衰量の計算値

効果を考慮に入れて考えると、第4図の実験値は第5図のと大体傾向が似ていることがわかる。

3.4 ヒータによる融雪効果

寒冷多雪地帯での除雪の一策として、パラボラアンテナに融雪ヒータを着装した実験を試みた。すなわち、稚内にはBS 実験の中で、受信専門局として2.5mのアンテナ<sup>(6)</sup>が設置され、パラボラ面下部1/3に扇形状にヒータが取り付けられ、積雪センサ(直径30cmの開口面を持った箱にヒータを組み込み、開口面で捕そくされた雪片を溶かし落下量を計測し、ある一定の量以上になると、リレーを働かしてヒータをオンにする)を付けて融雪実験を行った。

鏡面の下側の雪(全面積の1/3)を溶かして落とすと、受信電界は元の電界の6割程度まで復帰するが、一方溶



第6図 ヒータによる融雪効果2例

けた雪のために、上の雪がずり落ちる現象がみられ、この場合は再度減衰を生ずることもあった。

この方式による実験結果の一部を第6図に示す。この例では、同時記録されているCSビーコン波(ヒータなし)の矢印に相当するBSの電波に減衰が全然見られないことから、第1図のところで述べた周波数効果を考慮に入れても、ヒータの効果はかなり上っていることが分かる。(BSの受信値が変動や減衰しているようにみえるが、これは衛星の姿勢変動によるものである)。しかし、ヒータの装置部以外の領域に対しての除雪は全く効果がなく、すなわち装置部の境界に凍結が生じて上部の落雪を妨げる結果となり、また、 $-15^{\circ}\text{C}$ 以下の温度では、積雪センサの受信部が凍りついて作動しないこともわかった。その他、溶けた水分により鏡面がぬれ、これが受信レベルを変動させた。細かい変化を問題とする測

定には、ヒータ付アンテナは適当でないと思われる。単に受信評価のように画像を受信するだけであれば、あまり問題はなかった<sup>(6)</sup>。

### 3.5 アンテナ前面への遮へい物による除雪効果

降雪時にアンテナ着雪を防ぎ、一定の受信レベルで衛星電波を受信するには、アンテナをレドームに入れて受信するのが有効であろうと思われるが、稚内では屋内に1mφのアンテナを設置しアンテナの前面、衛星電波の伝搬到来方向にガラス戸、ビニール波板、ビニール等を設置し、減衰量を測定した結果、ビニール波板で0.5dB程度の減衰があり、ガラス戸3mm厚1枚物で2.5～2.9dB程度の減衰があった。

ビニール波板でアンテナ前面を囲うことにすれば、除雪はしなくともよく、一定レベルでの受信が可能であろうと思われる<sup>(7)</sup>。

## 4. あとがき

アンテナ着雪減衰に関して2年間にわたって測定したが、降雪が放送実験時間帯と一致しなかったことや、後半の冬期の衛星の不具合による受信レベル変動が大きかったことにより、データは限られた例しか取得できなかった。しかし、アンテナへの着雪がどのくらい減衰を起こすかについてデータを取得、一部除雪実験、人工着雪実験においてデータを解析しある程度その原因がわかった。

それによれば、アンテナ面への着雪による受信電界への影響は付着した雪の雪質と雪質の時間的変化、更に占有面積等によるものであることがわかった。

したがって、冬期降雪の多い地方で衛星電波を受信しようとするときは十分な防雪対策が重要であり、今後その対策に関連した実験も行っていく必要がある。

最後に、この稿をまとめるにあたり、御指導いただきました、城元稚内電波観測所長に深く感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 宇宙通信連絡会議開発実験部会；“BS実験総合報告書”，1982年3月。
- (2) 実験用中型放送衛星（BS）実験報告（No.1）電波季，27，143，May 1981。
- (3) 伊藤精彦，中岡快二郎，松本正；“寒冷地スロットアンテナの開発”，信学会，環境電磁工学，1978年5月，EMCJ-78-5。
- (4) 比留間光一，西辻昭他；“パラボラ着雪と除雪特性について”電気四学会北海道支部連合会。
- (5) 実験用中型放送衛星（BS「ゆり」）実験中間報告書 No.1（非公開）。
- (6) 実験用中型放送衛星（BS「ゆり」）実験中間報告書 No.2（非公開）。
- (7) 実験用中型放送衛星（BS「ゆり」）実験中間報告書 No.4（非公開）。

