

昭和基地における EXOS-D の受信計画

芳野起夫*・福西 浩**

The Telemetry Reception of EXOS-D Satellite at Syowa Station

Takeo YOSHINO* and Hiroshi FUKUNISHI**

Abstract: The semi-polar orbital and the polar aeronomy observation satellite "EXOS-D", will be launched in February 1989 by the Institute of Space and Astronautical Science. The National Institute of Polar Research is planning to carry out coordinated ground and satellite observations by real-time EXOS-D data acquisition. In this paper, the size of a 10-meter dish which is determined by the results of the network analysis on the EXOS-D orbit data of 10 000 km apogee, and various technical conditions when it is constructed at Syowa Station are described.

By the construction of this new 10-meter dish antenna at Syowa Station, it will become possible for us to track and observe not only the EXOS-D but also LANDSAT, MOS and other remote sensing satellites. And if it is used as one point in a VLBI system, a precise measurement of the global continental drift will be made.

要旨: 1989年、極域超高層現象の探査を目的とした準極軌道科学衛星 EXOS-D が宇宙科学研究所によって打ち上げられる。これに伴い、昭和基地でもこの衛星の観測データを直接テレメトリー受信し、地上データとの同時観測を行うことが計画されている。本論文では遠地点 10 000 km の衛星と昭和基地間の回線設計を行い、これに基づき算出された直径 10 m のパラボラアンテナを、実際に昭和基地に設置する場合の諸条件について考察を試みた。

10 m アンテナを昭和基地に設置することにより、地球観測衛星 LANDSAT、海洋観測衛星 MOS などの多種目の衛星のデータ取得が可能となる。また、超長基線干渉計 (VLBI) として使用することによりプレート移動の精密測定も可能となるので、今後の衛星による南極観測の研究範囲を多部門にわたり飛躍的に拡大させることができる。

1. はじめに

1976年、第17次南極地域観測隊越冬隊は、国際磁気圏観測計画に対応し、極域における人工衛星観測を目的とする 136 MHz および 400 MHz 帯地上局設備を昭和基地に設置し、カナダの電離層観測衛星 ISIS-1 号および 2 号、気象衛星の旧 NOAA シリーズ (3, 4, 5 号) の受信を開始した。

この装置は今日まで順調に作動を続け、1984年3月30日までの8年間に、ISIS-1 号を1 082 軌道、ISIS-2 号を1 117 軌道受信した。これらデータの約半数がトップサイドサウンダー、残りが VLF データであった。特に VLF データでは幾多の重要なイベントの観測に成功し、

* 電気通信大学. University of Electro-Communications, 5-1, Chofugaoka 1-chome, Chofu, Tokyo 182.

** 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

オーロラ帯を中心とした極域超高層のプラズマ波動物理現象の解明に多大の成果を残すことができた。

この受信装置では、さらに1978年2月4日に打ち上げられた東京大学宇宙航空研究所（現宇宙科学研究所）の科学衛星 EXOS-A “極光” の受信も行い、極軌道の ISIS 衛星と極域で直交する軌道を飛ぶ EXOS-A との同時観測により、経度方向への現象の広がりを観測することに成功した。

気象衛星については、1978年に旧 NOAA シリーズの性能向上型である TIROS-N 系が打ち上げられたため、第21次観測隊より 1.7 GHz の L バンド帯受信設備を昭和基地に増設した。これによって TIROS-N 系気象衛星に搭載された高精度放射計 (AVHR) による高精度雲分布、海氷分布、地表温度分布、オゾン分布などの観測が可能となった。さらに旧 NOAA シリーズでは不可能であった垂直温度分布の観測が、地表より約 65 km の高さまで可能となり、極域の気象学研究上画期的な進歩をもたらした。

宇宙科学研究所では、1984年2月14日、中層大気国際協同観測 (MAP) に対応する科学衛星 EXOS-C “大空” の打ち上げを行ったが、この衛星の観測データは現在昭和基地において 400 MHz 帯受信装置によって取得されている。

宇宙科学研究所では、現在までの研究結果をもとに機器の改良を行い、オーロラ粒子の加速領域の解明を目的とした準極軌道科学衛星 EXOS-D を1989年に打ち上げることを計画している。この打ち上げは、同時に行われる太陽地球系物理国際協同観測計画 (ISTP 計画) の一部門を担うものとして計画されている。この衛星の軌道は遠地点は約 10 000 km、近地点は約 300 km (予定) の長楕円軌道で、地上 3 000–10 000 km 付近に存在するオーロラ粒子加速領域を直接観測することにより、オーロラの発生機構および電離圏・磁気圏における電磁現象と太陽活動との関係の解明を行うことを目的としている。

EXOS-D は従来の ISIS, EXOS-A などでは解明されなかったオーロラ粒子加速に関する諸現象をより精密かつ広範囲に研究するという重大な意味を持っている。そこで昭和基地で EXOS-D 観測データをテレメトリー受信することができれば、オーロラ現象に対する衛星と地上の直接比較が可能になり、極域超高層物理研究に大きな進歩がもたらされるであろう。こうした意味での昭和基地での EXOS-D 受信の実現が強く要望されている。その他、衛星を用いた南極観測の将来計画としては、1) わが国の宇宙開発事業団が打ち上げを予定している海洋観測衛星 MOS の受信、2) アメリカの地球探査衛星 LANDSTAT の受信、3) 電波星を受信して他大陸との間に超長距離基線干渉計 (ULBI) を設置して、大陸プレートの位置移動の精密測定を行う、などの計画案が検討されている。

以上の将来計画を実現させるためには、昭和基地に新たに上記の衛星の受信を可能とする大型アンテナを設置する必要がある。本論文では、上記の各目的を満足させる大型アンテナの目安として、EXOS-D の受信を代表例とする、新大型アンテナの性能仕様の決定と、それ

を昭和基地に設置するための諸条件について研究考察を進め、その結果について述べる。

2. EXOS-D 衛星について

EXOS-D 衛星は1984年度にプロトタイプモデル (PM) の設計予算が内示され、設計が開始されている。この内容の詳細については既に宇宙科学研究所のシンポジウムで報告されている (大家, 1984) ので、ここでは昭和基地で EXOS-D 衛星をテレメトリー受信するために必要なデータを示すにとどめる。表 1 にの主要項目を示す。

表 1 EXOS-D 衛星の主要諸元
Table 1. The principal parameters of the EXOS-D satellite.

項 目	諸 元
打ち上げ日	1989年夏
衛星軌道	軌道傾斜角 75° 遠地点 8 000 km-10 000 km 近地点 500 km-300 km
姿勢制御方式	スピン, 太陽指向
テレメトリーシステム	(1) 周波数 ・ S バンド 2 280.50 MHz ・ UHF 400.45 MHz (2) テレメトリー ・ PCM-PM ビットレート 131 kbps/65.5 kbps 変調指数 1.2 rad ・ FM アナログ バンド帯 100 kHz (3) S バンド送信出力 (S-band output) 2 W (4) S バンド送信アンテナ利得 (S-band Ant. Gain) -10 dB 以上
重 量	約 310 kg
搭載観測機器	磁場・電場, 低エネルギー粒子, 高周波域プラズマ波動, 低周波域プラズマ波動可視域オーロラ, 紫外域オーロラ, プラズマ波動起およびインピーダンス, イオン組成, 電子およびイオン温度の各計測装置

3. EXOS-D-昭和基地間の回線設計

3.1. 受信電界強度の算定

3.1.1. 自由空間電波伝搬損失

自由空間伝搬損失 (free space attenuation) は、周波数 2.2 GHz とすると、

距離 (Range)	損失 (Attenuation)
10 000 km	-179.2 dB
13 280 km	-181.7 dB
16 700 km	-183.3 dB

となる。なお、13 280 km は、遠地点 8 000 km の時の最大レンジ、16 700 km は遠地点 10 000 km の時の最大レンジで、昭和基地で北側（海側）EL=2° の時を想定した値である。

3.1.2. 衛星送信電力レベル (EIRP)

送信電力は 2 W, 33.0 dBm で衛星搭載の送信アンテナの利得は現在の予定では、

送信アンテナ利得 -10.0 dB (全方向平均)

送信フィーダー損失 -2.6 dB

とすると送信電力レベルは、

EIRP +20.4 dBm

となる。

3.1.3. 受信点の受信電力レベル

前節の値によって算出した受信点における信号レベルは、

距離 (Range) 損失 (Attenuation)

10 000 km -158.8 dBm

13 280 km -161.3 dBm

16 700 km -162.9 dBm

となる。

3.1.4. 利得不足分

今日用いられている衛星受信システムは、一般に図 1 に示すように、アンテナの直後に自動追尾のための誤差電圧を検出するモノパルストラッキングコンバーターが置かれ、続いて低雑音前置増幅機 (LNA), 入力信号を第 1 中間周波数に変換するダウンコンバーターが順次配置されている。この回路によって、2.2 GHz (X バンドを付加するときは 8 GHz) の入力信号が第 1 中間周波数 250 MHz に変換され、アンテナから局舎に伝送された後、250 MHz 帯の主受信機に入力される。

現在の衛星通信用受信機の 250 MHz 帯における入力レベルは、S/N=0dB において、

入力レベル -105 dBm

であり、したがって各レンジの利得不足分は、

10 000 km で 53.8 dB

13 280 km で 56.8 dB

16 700 km で 57.9 dB

と算出される。

なお、不足利得は次のような項目から構成されている。

不足利得 = 回線マージン - アンテナ利得 + 自動追尾・偏波選択機構挿入損失 + ダウンコンバーターの変換損失 + フィーダー損失 + 変調方式による側帯波電力損失 - 低雑音前置増幅機利得

で、これにアトモスフェリックロス、アンテナポインティングロス、アンテナアイシングロスなどを含めて決定される。

3.2. RF 回路およびアンテナの利得決定

3.2.1. RF (高周波) 系における利得と NF (ノイズフィギュア)

通常の S バンド (2.2 GHz 帯) の RF 回路構成を図 1 に示す。アンテナ給電出力端子 (A) から第 1 中間周波出力端子 (B) までの高周波部分における利得と雑音指数 (NF) は、現在国外および国内で生産されている標準形の S バンド RF システムを比較すると以下のようになる。

A 社	34.7 dB	NF	1.0 dB 以下
B 社	36.1 dB	NF	2.1 dB 以下
C 社	31.2 dB	NF	2.2 dB
D 社	30.5 dB	NF	2.5 dB

以上のデータを基準にアンテナの利得を決定する。RF 回路の設計にあたっては上記の各社の製品の中で、ガリウムヒ素系の FET 低雑音増幅器をプリアンプに用いた A 社のものが、現在の利用できる製品中で今回の目的に最適と考えられるので、これを基準に今後の設計を進めてゆく。また、A 社では上記のもの以外に NF および利得が若干良好なパラメトリック増幅器が生産されており、X バンドに対してはこれを用いることが考えられる。ただし、S バンドに対しては、将来大型アンテナを多目的に使用することを考えると、パラメトリック増幅器の帯域幅以上の広帯域性が必要となる。したがって S バンドに対しては、Ga-AsFET の LNA を用いた場合について計算を進める。

3.2.2. 受信雑音温度の推定算出

受信に必要なアンテナ利得は 3.1.4. で求められたように、各レンジで 10 000 km で 53.8 dB, 13 280 km で 56.8 dB, 16 700 km で 57.9 dB である。

S/N=0dB の時の受信機の感度は、アンテナの直後にある LNA の入力端子の NF 雑音指数で決定される。この点を考慮して、受信雑音電力を搬送波無変調の時に求める。これは前節における NF \approx 1.0 dB と NF \approx 2.0 dB が今日の受信入力雑音指数の最良最適値として計算

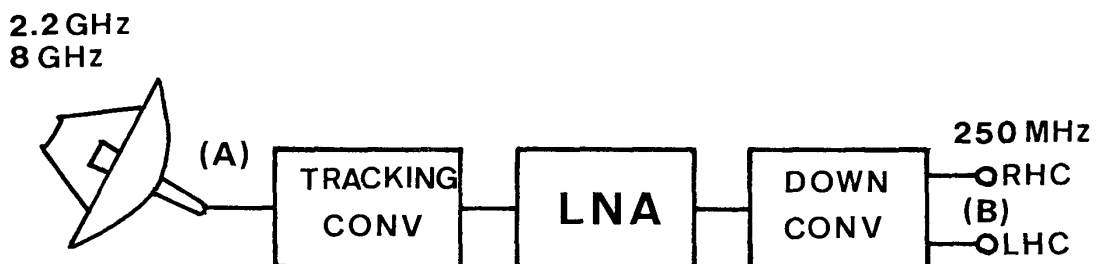


図 1 高周波回路の構成

Fig. 1. A typical structure of RF units of the satellite tracking receiver.

すると、受信雑音電力は -178.0 dBm/Hz 程度に見積もることができる。すなわち、アンテナ雑音等価温度 T_a は通常

$$T_a \doteq 70^\circ\text{K}$$

受信機入力端子の雑音等価温度 T_R は

$$T_R \doteq 60^\circ\text{K}$$

程度に見積もれば、アンテナ系の G/T は 23.5 dB/K 程度とすればよい。したがって、この系の C/N_0 は

$$C/N_0 = 58.2 \text{ dB}$$

となる。

3.2.3. 変調によるマージンの低下

前述までの計算はすべて無変調搬送波について行ってきた。EXOS-D は 2 つの S バンドテレメータ回線を持っており、その一つは

PCM-PM 変調

ビットレート	131.0 または 65.5 kbps
変調指数	1.2 rad (ラジアン)
変調損失	3.0 dB
バンド幅	51.2 dB · Hz (131.0 kbps)
	48.2 dB · Hz (65.5 kbps)

$E/N_0 = 10^{-5}$ とした時のコンボリューショナルエンコードによる極限マージンを 2.5 dB とした時の所要 C/N_0 は 7 dB となる。したがって、所要 C/N_0 値は

61.2 dB · Hz	(131.0 kbps)
58.2 dB · Hz	(65.5 kbps)

第 2 の回線の変調は PM または FM 変調で、現在の予定では 400 MHz 帯を用い、S バンドで送信する予定はないが、仕様変更に対し、その C/N_0 値を PM 変調アナログ信号について算出する。

PM (または FM) アナログテレメトリー

変調指数	1.2 rad (ラジアン)
変調損失	3.5 dB
バンド幅	30.0 dB · Hz
所要 S/N	10.0 dB
所要 S/N_0	40.0 dB · Hz

したがって所要 C/N_0 は 43.5 dB · Hz となる。

3.2.4. アンテナ系の利得決定とアンテナ寸法の決定

以上の各項目の数値により、マージン 0 dB の時のアンテナ系の利得を算出すると、それ

表 2 アンテナ系利得
Table 2. Antenna gain.

アンテナ系利得	ビットレート	レンジ (距離)
42 dB	131.0 kbps	10 000 km レンジ
39 dB	65.5 kbps	同 上
45 dB	131.0 kbps	13 280 km レンジ
42 dB	65.5 kbps	同 上
46 dB	131.0 kbps	16 700 km レンジ
43 dB	65.5 kbps	同 上

それぞれの数値間に次のような関係がある。

$$\text{アンテナ系利得} = \text{アンテナ地点受信電力 (dBm)} + C/N_0 - \text{受信雑音電力 (dBm)}$$

上記の関連から、PCM-PM のビットレートが 131 および 65.5 kbps のときのアンテナ系利得を算出すると表 2 のようになる。

アンテナ系の利得には、

- | | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| (1) アンテナ純利得 | +G _{av} (dB) |
| (2) アンテナ能率 | η : サブディッシュシャドー損失, サポート用ステ
ー損失, スピルオーバー損失 (サブ・メイン両ディ
ッシュの合計) などが含まれる。 |
| (3) アトモスフェリックロス | -L _A (dB) |
| (4) アンテナアイジングロス | -L _B (dB) |
| (5) ポインティングロス | -L _P (dB) |
| (6) フィーダーロス | -L _F (dB) (フィードホーン, ミスマッチングロス
を含む) |
| (7) LNA 利得 | +G _{LNA} (dB) |
| (8) 偏波切り換え機挿入損失 | -L _{pol} (dB) |
| (9) モノパルス自動追尾挿入損失 | -L _M (dB) |
| (10) フィーダーロス (IF 段) | -L _F (dB) |
| (11) その他の損失 | -L _N (dB) |

が含まれている。

アンテナ利得は不足利得 -RF 部利得であり、カセグレイン式パラボラアンテナのアンテナ能率は、10 mφ において最もよく見積もっても 70% を超えることはない。したがって

$$\eta = 0.70$$

とする。次に通常の計算値および A-D 社のカタログから、大体の損失および利得を算出すると、

- (1) $-L_A = -0.2 \text{ dB}$
- (2) $-L_B = -1.9 \text{ dB}$
- (3) $-L_P = -0.2 \text{ dB}$
- (4) $-L_F = -3.0 \text{ dB}$ (長さ 5.0 m)
- (5) $+G_{LNA} = +32.0 \text{ dB}$ (A 社を基準)
- (6) $-L_{p01} = -6.1 \text{ dB}$
- (7) $-L_M = -3.2 \text{ dB}$
- (8) $-L_F = -15.2 \text{ dB}$ (長さ 200 m)
- (9) $-L_N = -3.0 \text{ dB}$ (誘電体損など)

その総計は

$$+32.0 \text{ dB} (G_{LNA}) - 32.8 \text{ dB} (\text{損失系}) = -0.8 \text{ dB}$$

したがってアンテナに必要な利得は、

Apogee 8 000 km で最大レンジ 13 280 km では、

45.8 dB	131.0 kbps
42.8 dB	65.6 kbps

Apogee 10 000 km で最大レンジ 16 700 km では、

46.8 dB	131.0 kbps
43.8 dB	65.5 kbps

能率 $\eta=0.7$ とすれば、アンテナ直径は、

45.8 dB	10.3 m ϕ
42.8 dB	7.3 m ϕ
46.8 dB	11.5 m ϕ
43.8 dB	8.1 m ϕ

が得られる。

以上の値は、マージンを 0 dB として算出したものであり、この他にも極域においては、オーロラ発生時にオーロラを通過する電波が、オーロラのプラズマによって吸収を受けるシンチレーション損失なども -10 dB 程度見込まれるので、その点を考慮して、アンテナ直径を 10 m ϕ とした時のマージン値を算出する。

3.2.5. 10 m ϕ アンテナの性能

10 m ϕ ディッシュの絶対利得は、

2.2 GHz においては、

$$G_A = 47.3 \text{ (dB)}$$

$\eta=0.7$ では、

$$G_{AV} = 45.7 \text{ (dB)}$$

である。

したがって回線マージンは、

Apogee 8 000 km で最大レンジ 13 280 km では、

-0.1 dB	131.0 kbps の時
+2.9 dB	65.5 kbps の時

Apogee 10 000 km で最大レンジ 16 700 km では、

-1.1 dB	131.0 kbps の時
+1.9 dB	65.5 kbps の時

となり、10 mφ で最悪の諸条件を考慮した場合には、apogee 8 000 km, PCM-PM のビットレートが 65.5 kbps, または apogee が 10 000 km の場合ビットレートが 65.6 kbps の時のみ、全軌道の完全なトラッキングが可能となる。

したがって、最大レンジにおける 131.0 kbps における完全追尾を行う場合には、アンテナ直径を 11 mφ 以上にする必要がある。

なお、本計算ではアンテナ系の損失を大目に見積もってあるので、各社の最良のカタログ値を用いた場合、この損失を約 4.0 dB 改善することが可能と考えられる。

3.3. 昭和基地において EXOS-D を受信する場合のアンテナ寸法と問題点

前節までの計算結果から、昭和基地に 10 mφ のパラボラアンテナを設置する場合には、11 mφ または 12 mφ のディッシュを用いるか、LNA (低雑音前置増幅機)、その他の高周波部に挿入する機器に挿入損失の少ない良質なものを選び、よく整合をとる必要があると同時に、もしアンテナが 10 mφ に制限された場合には、EXOS-D 側に以下の性能向上をはかる必要がある。

- (1) 遠地点近傍の送信電力を S バンドで 5 W 程度まで増加させる (4.5 dB 向上)。
- (2) 衛星搭載用の送信アンテナ利得を -3-0 dB (現在は -10 dB) まで性能を向上させる。

4. 10 mφ パラボラアンテナの昭和基地設置上の問題点

4.1. 昭和基地の気象条件

昭和基地に 10 mφ のパラボラアンテナを設置する場合の問題点の一つは、昭和基地の気象条件に対するアンテナの機械的対候性能を決定することにある。昭和基地の過去24回の越冬隊のデータから、アンテナ設計にあたっての基本対候仕様を算出すると、

最大平均風速	60 m/s
運用可能最大風速	25-30 m/s
対候温度	-45-+10°C
夏季の融氷期間	1-3 カ月

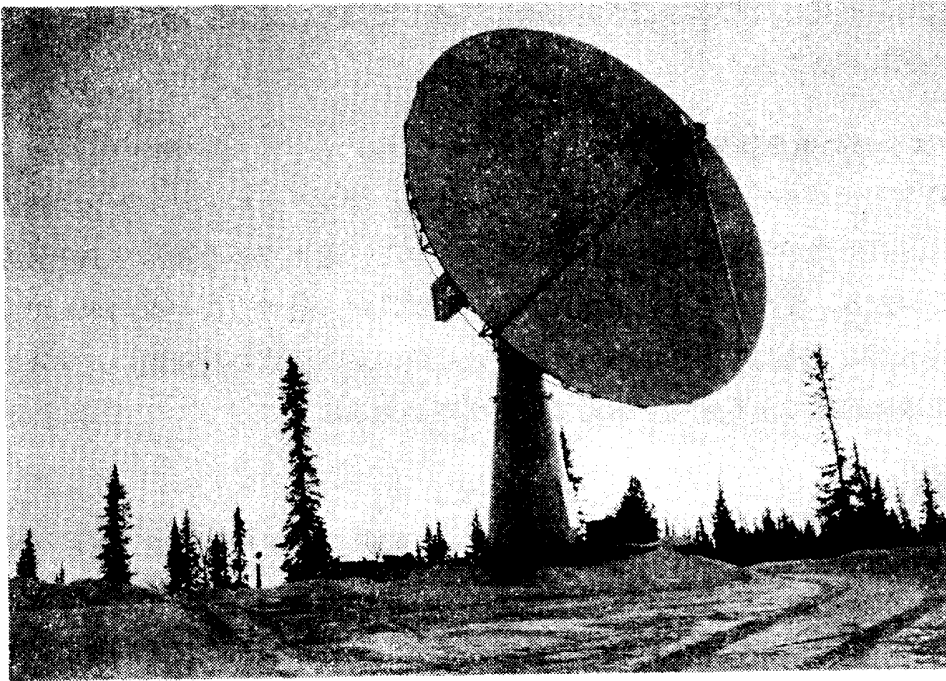


図 2 極域の冬季における大型パラボラアンテナの一例。スウェーデン宇宙公社 (Swedish Space Corporation) Esrange (北緯 68°) に設置された S・X バンド人工衛星追尾アンテナ。直径 9 m, 気温マイナス 19°C, B 社製

Fig. 2. An example of the 9-meter dish in Arctic winter, the S and X band dual feed type satellite tracking antenna set up at Esrange, Sweden (68°N).

主風向

N-E-N

である。

強風に対する問題を解決するためには、アンテナをレドームで覆う方式が考えられるが、レドームの建設には大型クレーン車の可動できる地形と、最低直径 16 m の平坦なスペースが必要である。さらにレドーム建設中の悪天候（ブリザード）の襲来、レドームとその内部結氷による高周波の透過損失などの影響が考えられる。したがって昭和基地に建設する大型アンテナはレドームなしで、上記の気象条件を満足する設計を行うこととした。

4.2. 輸送ユニットの軽量化

本アンテナシステムの昭和基地への輸送は、原則として「しらせ」接岸が不可能な最悪の事態を考え、ヘリコプターによる空輸と現地での荷役輸送の容易性が重要な要素となってくる。したがってアルミニウムを主体としたアンテナ構成により、アンテナシステムの軽量化を考慮したい。

4.3. 機構の単純化

昭和基地のような環境の中では、組み立ての容易性も最重要の要素となってくる。専門家でない隊員の手によって容易、正確、敏速かつ安全に組み立てが行われ、無調整にて所期の設計性能が得られなければならない。

特に機構の単純化は故障率の低下と密接に関連しており、昭和基地での作業性ととも十分考慮する必要がある。

4.4. ペDESTALの追尾速度について

EXOS-D 衛星は長楕円軌道を飛ぶ衛星であるため、アンテナのトラッキング速度に要求される性能は、近地点が昭和基地上空付近にあるときと、遠地点が昭和基地上空付近にあるときで大きく異なる。すなわち1軌道当たりの可視時間は、近地点側 (perigee) で8分、遠地点側 (apogee) で3時間であり、ペDESTALは高速および低速の両極端の追尾速度に応じて、それぞれ正確に追尾できる性能を備えている必要がある。

4.5. 追尾方式について

10 mφ パラボラアンテナの 2.2 GHz 帯のビーム幅は通常 0.88° 程度である (X バンド帯では 0.26°)。したがって、追尾を確実にを行うためには、計算機のバックアップによる自動追尾方式のほか、遠地点近傍では高精度のプログラム追尾方式による超低速追尾が不可欠の要素となる。

以上の諸点を考慮し、今回の目的に対する 10 mφ アンテナによる追尾に必要と思われる追尾方式は、

- (a) Manual search—auto (手動検索—自動追尾)
- (b) Program search—auto (プログラム検索—自動追尾)
- (c) Program track (プログラム追尾)

の3種であろう。

(a) の manual search—auto システムは、主として非常時およびテスト用に用意されるべきもので、ルーチンでの使用ほとんど考えていない。

(b) の program search—auto システムは、計算機によって計算された軌道に沿ってアンテナが駆動され、信号が入感 (aquisition) すると同時に自動的に auto モードに切り換わる。自動追尾し、信号の受信が終了すると再び計算機によるプログラム追尾に切り換わり、追尾が終了すると正規の stow position に戻って次の追尾に備える。この方式では自動追尾途中で信号強度が低下し、受信機の入感が外れると自動的に追尾に切り換わり、予定方向に追尾を続け、再び信号強度レベルが回復すると自動的に auto モードに切り換わる機能を備えることが可能である。

(c) の program track 方式は、衛星軌道が安定し軌道計算の精度が常に高く保たれる場合にのみ可能な方式であるが、昭和基地のように小人数 (通常1名)、または完全無人化によって受信を行う場合には、非常に重要な追尾方式となる。しかし、この方式は正確な軌道要素が定期的に得られ、また非常に正確な軌道計算プログラムが開発された場合にのみ初めて可能となる方式である。

以上の諸点を考慮すると、昭和基地用 10 mφ アンテナに対しては、上記の3つの追尾方式を全部可能とするシステムを設計しなければならない。

5. 昭和基地に設置する場合のバックアップ機器について

5.1. 追尾計算用コンピューター

10 mφ アンテナによって EXOS-D 衛星を正確にプログラム追尾するためには、遠地点付近に衛星がいる時は2秒ごとに、レンジが 10 000–3 000 km の間では1秒ごとに、3 000 km 以下では 0.5 秒ごとに新計算値を出してアンテナを駆動できる計算能力を持った追尾用計算機が必要である。通常はこの計算機に同時に全システムのオペレーション、およびテレメトリー信号の処理なども行わせる場合が多い。したがってコンピュータシステムの規模は、大形ミニコン、またはスーパーミニコン程度のものである。

5.2. 電源の安定化

10 mφ アンテナの駆動時のピークパワーは、仰角 (E_L)、方位角 (A_z) を同時に動かす場合には、無風時で約 30 kVA、風速 20 m/s で 55 kVA が必要である。アンテナ駆動初動時、瞬時の電源電圧低下によるアンテナの起動力低下、発振器の発振停止などが考えられるので、この駆動時のラッシュ電流と負荷の急変に対応できる容量を持った電源が必要である。したがって、60 kVA 程度の専用電源を持つことが最も望ましいが、これが不可能な場合、少なくとも十分太い専用送電系統が発電棟間に用意されなければならない。

5.3. クィックルック (quick look) の範囲

受信直後に昭和基地で行うテレメトリー信号データの解析、すなわちクィックルックをどの程度まで行うかについては、1日当たりの EXOS-D およびそれ以外の衛星のトラッキング数と、それに伴う隊員の負担などを十分考慮して決定しなければならない。この運用計画の問題は今後十分な検討が必要である。

5.4. 現用機器の活用

昭和基地には前述のように、すでに 136 MHz 帯、400 MHz 帯および L バンド (1.7 GHz) 帯用の受信装置が設置され運用されている。したがってこれらのシステムの中には新しい 10 mφ アンテナ受信システムに共用できる部分が多くあり、これらを共用することによって輸送量の減少、メンテナンスの簡素化、隊員訓練の時間短縮などのメリットも多い。同時に費用の低減化にも役立つであろう。

5.5. 設置場所

昭和基地における 10 mφ アンテナの設置予定場所選定には、地形および建設の容易性、在来の衛星テレメトリー受信棟との距離、これを建設することによる基地の積雪、光学観測

に与える影響，その他の観測との干渉，およびアンテナ―受信機間のフィーダー損失などを考慮する必要がある。観測棟東側の現在 1.7 GHz 用衛星受信アンテナの上部の岩山上に設置することが最も適切と考えられ，ここを第 1 候補地としたい。

5.6. 対応人員

設計にあたっては，10 mφ アンテナによる人工衛星の追尾は，従来の VHF および L バンド受信と同様に，通常のオペレーションを 1 名の隊員で行えるように十分に配慮しなければならない。同時に建設中および建設後の定期点検整備，また万一故障を起こした場合の修理などは，アンテナが大型であるために 10 名程度の応援隊員を動員できることが必要である。それに，高所での作業も必要となるので，あらかじめメンテナンス要員を隊員の中に確保しておくことが望ましい。そのため隊員の対応人員などに対して事前に十分な準備が必要である。

6. 本アンテナを活用した EXOS-D 以外の人工衛星観測

本アンテナの計画は，当初 EXOS-D 衛星の受信を主目的として発足したが，昭和基地に 10 mφ の高感度アンテナシステムを新設することによって，他の有用な衛星の受信が可能となり，その設置による効果は計り知れないものがある。本アンテナシステムを用いることによって受信可能となる人工衛星としては，

- (1) 地球観測衛星 LANDSAT-D, -E (アメリカ)
- (2) 海洋資源探査衛星 MOS (日本)
- (3) 測地衛星 SPOT (ヨーロッパ)

がある。さらに，

- (4) 超長基線干渉計 (VLBI) によるプレートテクトニクスの移動測定

が考えられる。超長基線干渉計 (VLBI) 観測は，本アンテナシステムに若干の補助システムを付加することによって，他大陸の大形アンテナとの間で超長基線干渉計を構成し，南極大陸プレートおよび他大陸プレートの移動を精密測定することを可能にする新しい提案である。

6.1. LANDSAT 衛星の受信

アメリカ NASA の地球観測衛星 LANDSAT は，高解像度の可視および近赤外の放射計を搭載した衛星で，18 日ごとに地球上の同一地点上空を通過する。放射計は 30 m 以下の解像度を持っており，極域においては海氷の消長，氷河の流動，氷山の移動，海岸および奥地地形の変動などの極めて詳細なデータを取得することが可能である。表 3 にこの衛星の諸元を示す。

LANDSAT 衛星は，画像データの送信は S バンド (2.2 GHz) のほかに X バンド (8 GHz) 帯の超高速 PCM (60 Mbps) の送信機を搭載している。したがって地上局側には大容量の専

表 3 本アンテナで受信を希望されている衛星の主要項目
 Table 3. The characteristics of the LANDSAT-D, MOS-1 and SPOT satellites.

項 目	諸 元		
	LANDSAT-D	MOS-1	SPOT
衛星軌道	高度 705 km 円軌道 太陽同期軌道 周期 (period) 98.88分 軌道傾斜角 (Inc) 98.21° 回帰日数 18日 1日当たり周回数 15周 降交点地方太陽時 0930 a.m.	高度 909 km 円軌道 太陽同期軌道 周期 (period) 103分 軌道傾斜角 (Inc) 99° 回帰日数 17日 1日当たり周回数 14周 降交点地方太陽時 1000-1100 a.m.	
姿勢制御方式 テレメトリーシステム	三軸制御 Xバンド (TM データ) TM: PCM bit rate 84.9 Mbps Sバンド (PCM-FSK) MSS: bit rate 15.06 Mbps	三軸制御 Xバンド 2 channel MESSR, VTIR 画像 bit rate 8.78 Mbps Sバンド MSR 画像 bit rate 2 kbps (Lバンド DCS 100 bps)	Xバンド bit rate 50 Mbps
重 量 搭載観測機器	1 644 kg TM (thematic mapper) MSS (multi spectral scanner)	750 kg MESSR (可視近赤外放射計) VTIR (可視熱赤外放射計) MSR (マイクロ波放射計) DCS (データ収集中継器)	

用データ解析設備を必要とする。

6.2. 海洋資源探査衛星 (MOS)

わが国の宇宙開発事業団 (NASDA) が1985年秋に第1号の打ち上げを、その後も数年ごとにシリーズで打ち上げを予定している衛星で、主として海洋の表面温度、海流、波高、海洋資源探査などを目的としている。昭和基地では、この衛星から南極海の海洋構造、海流、海氷、冰山移動、大陸岸の変動などのデータが得られる。また、海面温度分布と南極気象、海流、氷山の成長、消滅などの相関も求められる。その他、南極大陸沿岸の海洋資源の開発にも役立つと考えられる。本衛星の諸元は表3に示す通りで、テレメトリーはSバンドおよびXバンドの共用である。

6.3. その他の衛星

ヨーロッパ宇宙機構 (ESA) の SPOT 衛星、スウェーデンの VIKING 衛星などの受信か

らも南極域における科学研究に有用な情報が得られるであろう。これらの衛星もまた高ビットレートの X および S バンドテレメーターを使用している。

6.4. VLBI (超長基線干渉計) による大陸プレート移動の研究

現在のプレートテクトニクスによれば、世界の各大陸はそれぞれのプレートにのって移動していることが予想されている。例えば太平洋海底は年間数センチメートルの速度で西に移動し、日本海溝で日本の地下にもぐり込んでいる。この移動量を精密に観測するため、日本では郵政省電波研究所が中心となって、茨城県鹿島とアメリカのカリフォルニア州モハービの大形アンテナとの間に超長基線干渉計を構成することによって、電波星による精密相対位置観測を開始している。現在は世界中に観測網が広げられつつある。10 mφ アンテナが昭和基地に設置された場合には、南極大陸における唯一の VLBI 観測点となるので、大陸移動、特に南極大陸移動の研究上最も重要な意義を持つ観測が成し得ることになる。

現在、人工衛星受信用アンテナとして計画中の 10 mφ アンテナが、VLBI 用として使用可能かどうかについて検討を進めている。2.1 GHz および 7.9 GHz 帯の VLBI 用周波数帯の高周波部の改造、特に第 1 局部発振器の発振周波数安定度の向上を施す改造を行うことにより、アンテナ部は十分に使用可能であろうとの結論に達した。ただしこの場合、受信系は専用系統の増設を必要とする。

6.5. 8 GHz 帯の付加について

10 mφ アンテナは、受信等価温度の低下をはかり、G/T の低減のためカセグレイン方式を使用している。このため第 1 給電部に多重周波数の給電を行うことが可能であり、ほとんどのメーカーでは S バンド、X バンド共同給電部を製作している。オプションとしてこれを組み付ければ、1つのアンテナで、S バンドおよび X バンドの 2 波の受信が可能となる。

もし 10 mφ アンテナに、S・X 共同給電部を取り付けた時の X バンドの性能は、A 社の場合、

アンテナ利得	55-57 dB
ビーム幅	0.26°

が得られ、X バンド用パラメトリック LNA をプリアンプに装着した場合の入力部の雑音指数 (NF) は 0.8-1.0 dB に低下できる。試算したところ電波星による VLBI をはじめ、LANDSAT, MOS などの衛星受信は、10 dB 以上のマージンをもって行えることがわかった。したがって最初の設計時から、X バンド 8 GHz 帯の受信を考慮して S・X バンド受信用ホーンを組み込むべきであると考えられる。

7. 結 論

南極昭和基地に人工衛星追尾用 10 mφ アンテナを設置することができれば、単にオーロ

ラ観測衛星 EXOS-D のテレメトリー受信が可能となるばかりでなく、地球観測衛星 LANDSAT による南極大陸および周辺海域の地形探査、海洋探査衛星 MOS による海洋資源探査、海氷・流氷などの探査が実現される。南極大陸にただ一つ存在する大形アンテナとして、昭和基地における受信データの学術上の価値は測り知れないものがある。

また、VLBI による大陸移動の測定においても、本アンテナが南極大陸唯一の受信点となるため、地球全体の観測ネットワークの中で重要な観測拠点となるであろう。以上のように本アンテナを昭和基地に設置することにおける学術上の価値の重要性を考えると、その実現が強く望まれる。

(1984年11月20日受理；1985年1月14日改訂稿受理)