

南 極 衛 星 計 画

福 西 浩*

Antarctic Satellite Project

Hiroshi FUKUNISHI*

Abstract: Observations and communications in the Antarctic region will be greatly developed by using satellites. The satellite technology is applied to:

1) communications between the stations in the Antarctic region and their mother countries, 2) domestic communications in the Antarctic region, 3) remote sensings of the Antarctic region, 4) observations of the ionosphere and the magnetosphere in the polar region.

In this paper, possibilities of these applications are discussed, and an Antarctic satellite project is proposed.

要旨: 南極地域の観測は、近年急速に進歩しつつある人工衛星の応用技術を取り入れることにより、飛躍的に発展する可能性がある。当面応用できるものとして、1) 南極地域から自国への通信手段、2) 南極地域内での通信手段、3) 南極地域のリモートセンシング、4) 電離圏・磁気圏の直接観測、が考えられる。この論文では、それらの内容を検討し、実現可能な衛星計画を提案する。

1. は じ め に

極地域を人工衛星で探査し、合わせて日本との通信手段も確保しようとする計画は、1974年10月4日に開かれた宙空専門委員会において初めて提案されたが、その後具体化されぬままになっていた。しかし、IMS（国際磁気圏観測計画）の一環として、1976年1月昭和基地に自動追尾型人工衛星受信装置が建設され、同年4月より衛星のテレメトリー受信がルーチン的に行われるようになってから、この問題をより具体的に考える資料が集まりつつある。そこでこれらの資料をもとに、南極観測に対する人工衛星の有用性を検討し、新たな南極衛星計画を提案する。

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

2. 南極衛星の目的

人工衛星を利用することによって、南極地域での観測に数々の新しい試みを実施することができ、中でも以下の4点は当面衛星によって行わなければならない重点項目と考えられる。

- 1) 南極地域から自国への通信手段
- 2) 南極地域内での通信手段
- 3) 南極地域のリモートセンシング
- 4) 電離圏・磁気圏の直接観測

以下、各項目ごとにその内容を詳しくみていこう。

2.1. 南極から自国への通信手段

国際間の通信は、衛星通信の時代を迎えており、INTELSAT 通信網により電話、テレックス、データ通信、テレビ中継等の通信手段が確保されている。しかし、南極地域と自国との通信手段として衛星を用いたことのある国は、アメリカ一国だけであり（アメリカは自国の実験衛星 ATS を使用している）、他の国は短波無線に頼っているのが現状である。しかし、短波無線は電離層の状態により大きく左右される。とりわけ極地域は中低緯度地方と異なり、オーロラを起こす高速の荷電粒子の影響が大きく、しばしば通信がまったくできなくなるブラックアウトの現象が現われる。冬期は通信状態が特に悪く、日本との電報が一月近く滞ることもある。今後ますます南極との通信量が増えることを考えれば、南極地域と自国との間に安定した通信回線を確保することは、南極観測発展のために不可欠の条件と思われる。

もし衛星通信により日本と昭和基地が結ばれば、電話やテレックスがいつでも使用できるようになるばかりでなく、データ通信チャンネルを使用することにより、国立極地研究所のコンピュータと昭和基地に設置したコンピュータをオンライン化することが可能になる。こうしたオンライン化により、昭和基地観測データを実時間で日本でも取得することが可能となり、今までのように観測する場所と研究する場所という役割分担がなくなり、観測しつつ研究することが、昭和基地でも日本でも自由に行えるようになるであろう。こうした状態は、南極のように、好きなときに自由に行くことができない地域での研究では、とりわけ重要であろう。

静止衛星によって日本と昭和基地が通信可能なことは、19次の夏隊によって明らかにされた。すなわち、19次隊は1977年11月に晴海を出発した「ふじ」に、マリサット衛星通信装置をのせ、日本と南極との静止衛星による通信状態をテストした。マリサットは、図1に示されるように、3つの衛星（インド洋衛星、太平洋衛星、大西洋衛星）により世界の海の大部分をカバーしようとする船舶用通信衛星である。テストは、現在まだインド洋衛星が働いていないので、より条件の悪い大西洋衛星を用い、アメリカ経由で日本と結ぶ経路で行われた。「ふじ」は1978年1月昭和基地に接岸した。その際、大西洋衛星の

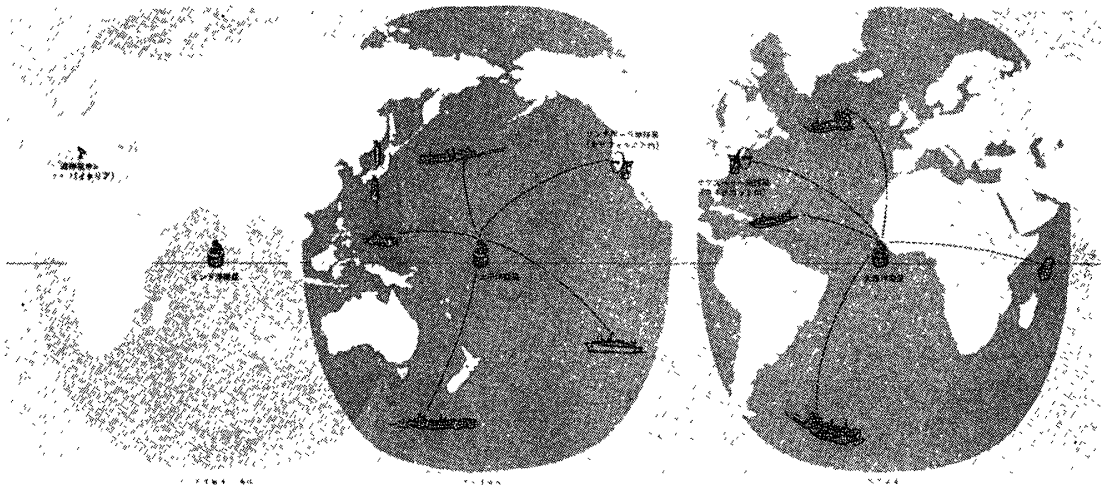


図1 海事衛星マリサットの通信可能範囲

Fig. 1. Coverage of the three maritime satellites (MARISAT'S) located at the longitudes of 73° E, 176.5° E and 15° W.

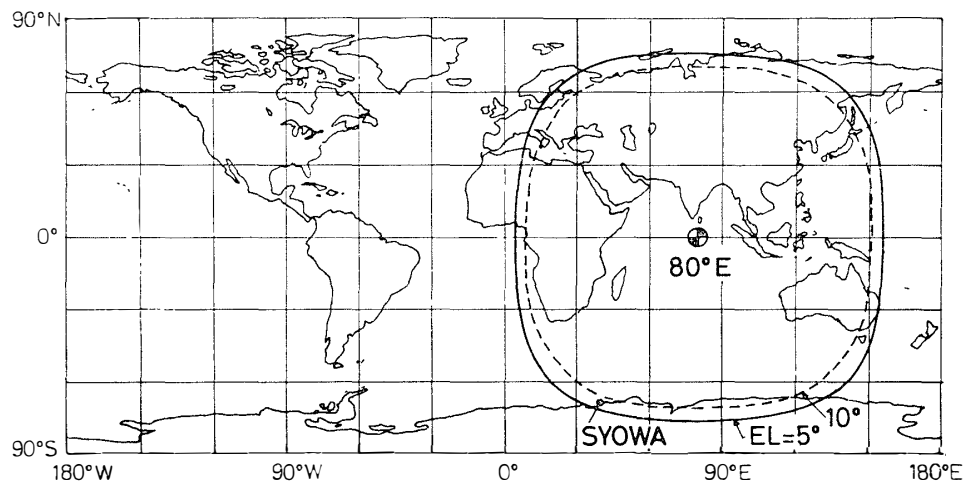


図2 経度 80° E に位置した際の静止衛星による通信可能範囲

Fig. 2. Coverage of a geostationary satellite which is located at the longitude of 80° E.

仰角は 3° であったが、日本と良好な衛星通信を行うことができた。

図2は、インド洋衛星が 80°E に位置したときの通信できる範囲を示したものである。破線は仰角が 10° 、実線は 5° の範囲である。この図から、日本も昭和基地も仰角 5° の範囲に入り、1つの静止衛星で昭和基地と日本を結ぶことができることが分かる。

2.2. 南極地域での通信手段

南極地域で各国ステーション間の通信手段は、現在短波無線に頼っているが、先に述べた理由により、安定した通信回線を確保するのが非常に困難な状態にある。これを衛星通信化すれば飛躍的に便利になることは明らかであろう。しかし、静止衛星は赤道上空に位置するので、高緯度地方では仰角が小さくなる。したがって、どの緯度まで利用できるかは検討が必要と思われる。図3は静止衛星が仰角 5° および 0° で見ることが出来る範囲

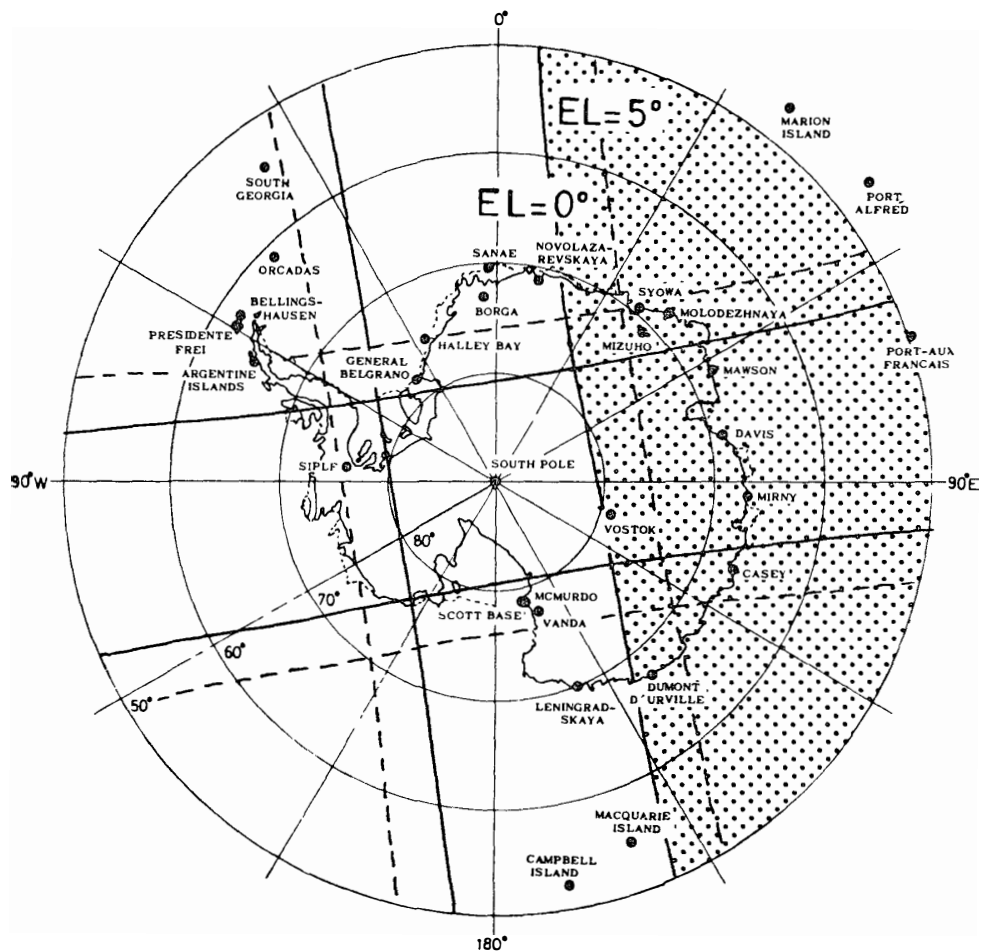


図3 経度 80°E , 170°E , 110°W , 10°W に位置する4つの静止衛星による通信可能範囲
 Fig. 3. Coverage of four geostationary satellites which are located at the longitudes of 80°E , 170°E , 110°W and 10°W .

を示したもので、4つの静止衛星により、南緯 75° 以上に存在する5つの基地以外のすべての南極基地が、 5° の範囲に入ることが分かる。

先に述べた日本と南極を結ぶ経度 80°E に位置する静止衛星は、 20°E から 140°E までの広い地域をカバーできることが分かる。このように静止衛星は、南極と自国との通信に用いることができるばかりでなく、南極地域内での通信衛星、すなわち Domestic Communication Satellite としても有効である。

南極地域内での通信衛星は、各国ステーション間の通信手段として重要なばかりでなく、観測データの取得という面でも重要な役割を果たす。現在昭和基地周辺では無人観測所網を建設し、超高層現象や気象などを同時観測する計画が進んでいるが、無人観測所と昭和基地を結ぶ通信手段がないため、データを磁気テープに記録し、3ヵ月に一回程度の割合でテープの交換を行っている。このため、無人観測所の機器が正常に働いているかどうかを監視することもできないし、また、観測データをすぐに利用することができないので、真の無人観測網とは言えない状態である。テレメータ方式で、無人観測所と昭和基地を結ぶことが重要と思われるが、地上のテレメータでは、150–500 km の範囲にわたる地域をカバーするには、途中に多数の中継所が必要とされ、実現は大変むずかしいと思われる。しかし、衛星を用いればこれらの問題はすべて解決され、無人観測網を現在建設しつつあるものよりも大幅に拡大することも可能となろう。図3に示されるように、 80°E に位置した静止衛星では、地磁気軸極に位置するボストークまでが通信可能範囲に入り、地磁気子午線に沿ったネットワーク観測のデータ取得用として有効であることが分かる。

静止衛星を用いる代わりに、極軌道衛星を用いれば、常時通信することはできない代わりに、南極地域のすべてが通信可能な範囲に入る。したがって、観測データをバッファメモリに蓄えておき、衛星の通過時に伝送するという方法を用いれば、南極のどの地点からもデータを取得することができる。こうしたデータの集録システムは、アラスカのアンカレッジ（地磁気緯度 61° ）から地磁気子午線に沿って極点まで設置された12ヵ所の地磁気観測所（無人も含む）からのデータ収集に利用されており、よい結果が得られている。無人観測所の電源はバッテリーにより維持されており、定期的な交換がなされている。

北極地域は飛行機による交通が発達しているため、バッテリーの定期的交換は可能であるが、南極地域はそうした方法を用いることができない。しかし、昭和基地周辺で現在建設を進めている無人観測所では、カタバティックウインド（斜面下降風）が常時吹いていることを利用し、電源として1 kW の風力発電機を用い、よい結果を得ている。衛星通

信の地上設備に関しては、最近の技術的進歩はめざましく、低消費電力型の装置が次々と開発されている。たとえば以下のような仕様の装置は、中低緯度ではすでに実用化されている。

1) 電話，テレックス，データ通信用（インテルサット用）

アンテナ直径 1.8—3 m

周波数 送信 6 GHz

受信 4 GHz

シグナル帯域幅 30 kHz

送信出力 1 W

消費電力 50 W

2) テレビ通信用（ATS-6 用，送信のみ）

アンテナ直径 3 m

周波数 2.6 GHz

シグナル帯域幅 23.5 MHz

送信出力 20 W

消費電力 200 W

極地では、衛星からの電波は低角度入射になるため、直距離の増加や電離層、大気層による吸収等によるパソスの増大が見込まれる。したがって極地用の装置は、上に記したものよりも送信パワーとアンテナゲインを上げることが必要であろう。

2.3. 南極地域のリモートセンシング

極軌道衛星によるリモートセンシングは、近年急速な進歩をとげ、気象観測、地学・資源探査、電離層監視等に大きな成果を上げつつある。図4は昭和基地で受信した気象衛星NOAA-4のIR（赤外線）による低気圧の写真の図で、南極地域のほぼ全域の様子を見ることができる。

図5はISIS-2で観測された電子密度分布の緯度変化の図で、緯度45°-90°にわたる広範囲の電離層の状態が分かる。図6は、極軌道衛星の高度が、1000, 2000, 3000 kmの場合の昭和基地から受信できる範囲を示したもので、衛星高度が2000 kmになると南極のほぼ全域の情報が、昭和基地での受信により得られることが分かる。

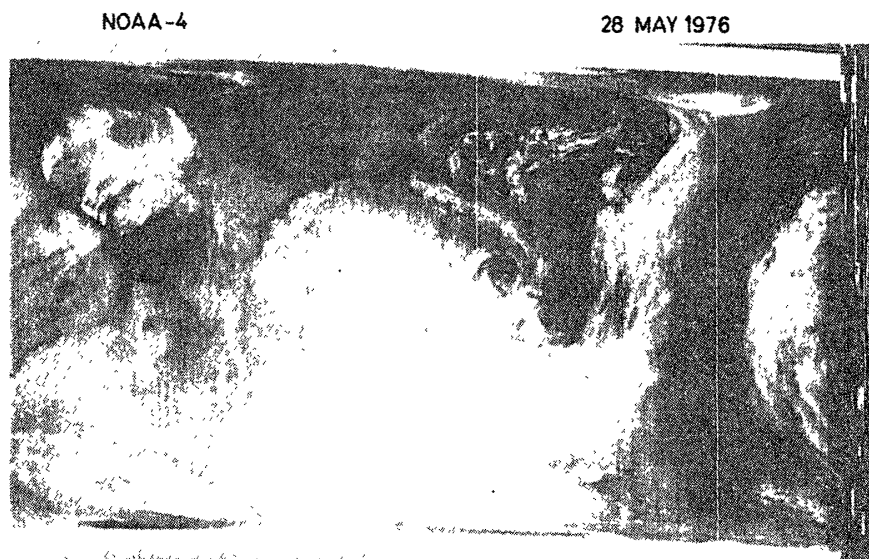


図 4 気象衛星 NOAA-4 の IR (赤外線) による南極大陸の温度分布図
 Fig. 4. Example of NOAA-4 IR radiometer photograph of the Antarctic region.

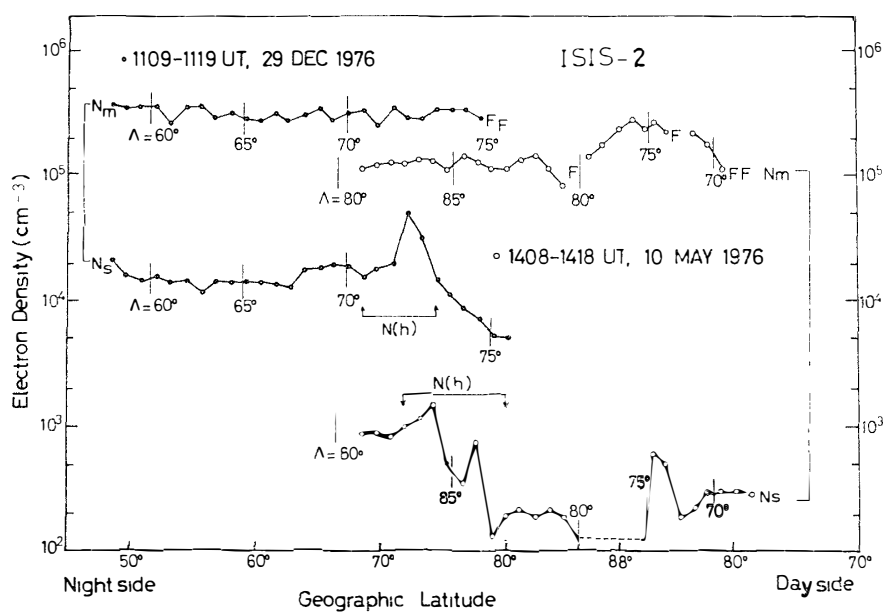


図 5 ISIS-2 で観測された電子密度の緯度変化 (松浦他, 1977)
 Fig. 5. Example of latitude dependence of electron density observed on ISIS-2 in the polar region (MATUURA et al., 1977).

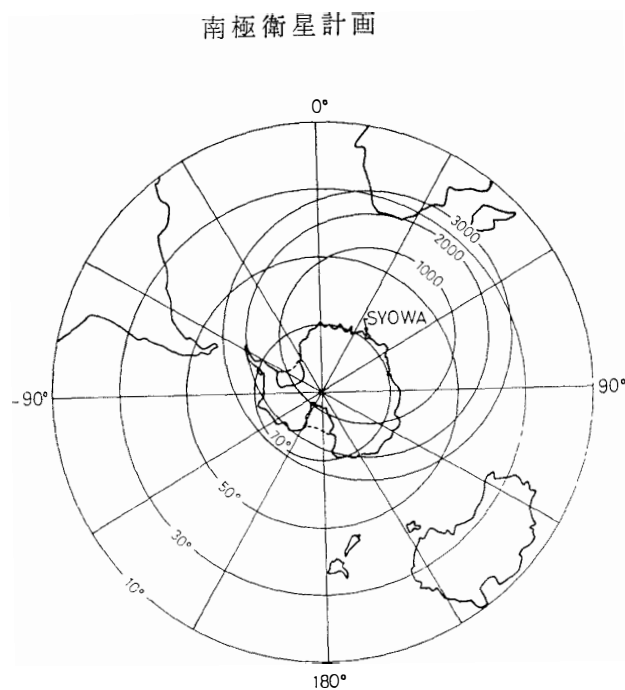


図 6 高度 1000, 2000, 3000 km の極軌道衛星の昭和基地からの受信可能範囲

Fig. 6. Regions in which the telemetry signals from polar-orbiting satellites at heights of 1000, 2000 and 3000 km can be received at Syowa Station.

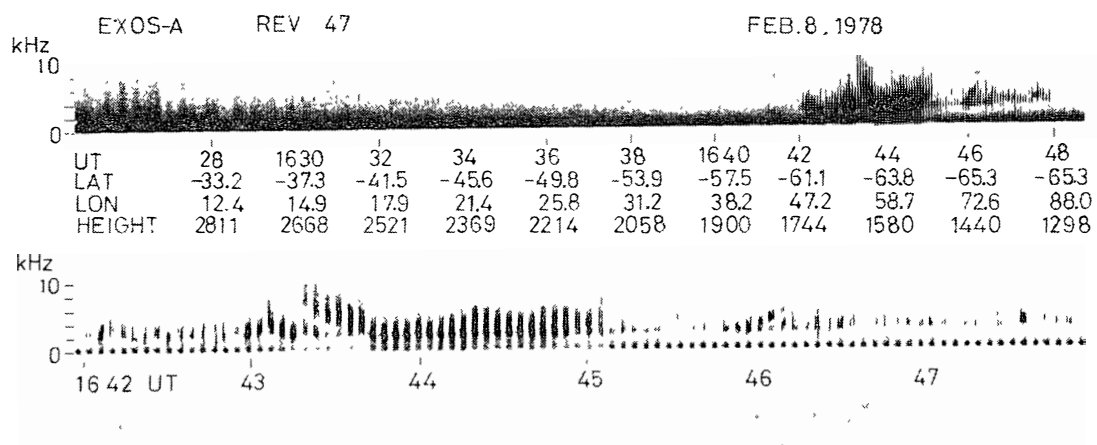


図 7 昭和基地で受信された EXOS-A の VLF スペクトルの例

Fig. 7. Example of EXOS-A VLF spectrum which was received at Syowa Station.

2.4. 電離層・磁気圏の直接観測

人工衛星は、地球をとりまく電離圏や磁気圏を直接観測するのに最も適した手段である。図7は、1978年2月に打ち上げられた EXOS-A の昭和基地で受信された VLF 帯自然電波データの例である。VLF 帯の自然電波は地上でも観測されるが、それらは電離圏や磁気圏で発生したものが伝搬してきたものである。そこで、地上と衛星のデータを比較することにより、その発生や伝搬機構を解明する手がかりを得ることができる。

こうした波動の観測に加え、オーロラ粒子や電場、磁場などの物理量を観測することも、地球周辺の空間の状態を解明する上で重要である。電離圏や磁気圏は場所によってその性質が異なるので、極軌道でしかも楕円軌道をもつ衛星での観測が最も効果的と考えられる。また、静止衛星での磁気圏の観測は、場所が一定であるという利点があり、時間的変化と空間的变化を分離して観測することが可能となる。さらに、静止衛星の位置を通る磁力線は、地磁気緯度 65° 付近のオーロラ帯に入り込んでおり、オーロラ粒子は静止衛星付近で作り出され、磁力線に沿って南北両半球の大気層に降り注ぎオーロラを発光させると考えられている。そこで静止衛星と極軌道衛星とで同時観測すれば、オーロラ粒子の振舞いと、オーロラ粒子によって起こされる各種の電磁波動の発生伝搬機構が、より明らかになって行くであろう。

3. 南極衛星計画

前節であげた4つの目的の中で、2.1. と 2.2. の大部分は静止衛星によって実現される。この目的の静止衛星は、国際的な性格をもつことから、南極条約加盟国で分担して4つ上げれば、南極のほぼ全域をカバーすることができる。2.2. の一部および 2.3. の目的のためには、高度 1000–2000 km の円軌道の極軌道衛星が適当であろう。2.4. のためには、静止衛星と近地点 500 km 遠地点 10000 km 程度の楕円軌道の極軌道衛星が適当であろう。

以下南極衛星 (Antarctic Satellite) のもう少し具体的な構想について述べる。

1) 静止衛星 (ANTSAT-A)

目 的	通信および地球環境モニタ
静止経度	70°E
重 量	350 kg
姿 勢	3 軸制御

通 信 電話 10 回線, テレックス 20 回線, データ通信 50 回線,
テレビ 2 回線

観 測 器 磁場, 電場, プラズマ粒子, プラズマ波動, 太陽 UV 強度測定器

2) 極軌道衛星 (ANTSAT-B)

目 的 リモートセンシングおよび無人観測所からのデータ取得

軌道傾斜角 90°

軌道(高度) 円軌道 (1000-2000 km)

重 量 500 kg

姿 勢 3 軸制御

通 信 データ通信 50 回線

観 測 器 気象: スキャンニングラジオメータ, オゾン, エアロゾル測定器

地学: マルチスペクトル・スキャナ

電離層: トップサイド・サウンダー

3) 極軌道衛星 (ANTSAT-C)

目 的 電離圏・磁気圏直接観測

軌道傾斜角 90°

近 地 点 500 km

遠 地 点 10000 km

重 量 500 kg

姿 勢 3 軸制御

観 測 器 電場, 磁場, プラズマ粒子, プラズマ波動測定器, フォトメータ,

オーロラ TV カメラ

4. お わ り に

ここで提案した衛星計画は、まだ、まったくの試案の段階にすぎない。しかし、南極での衛星受信が軌道に乗った現在、南極衛星計画は今後一層の具体化を行い、精力的に進めて行く必要があろう。とりわけ、現在の短波無線による通信手段は、南極観測発展の上で大きな障害となっており、衛星通信手段の開発を早急に行うことが必要であると思われる。その際、南極条約の精神に基づき、国際的な南極衛星計画を作り上げていくことが重要であらう。

文 献

松浦延夫・緒方隆信・西崎 良 (1977): 南極域における ISIS トップサイド・サウンディング (速報). IMS シンポジウム 1977 年, 東京大学宇宙航空研究所. 122-127.

(1978 年 6 月 10 日受理)