

南極通信の現状と将来計画

芳野 赳夫*・福西 浩**

A Present Condition and Future Plan of Communication Network at Antarctica

Takeo YOSHINO* and Hiroshi FUKUNISHI**

Abstract: The operation of Syowa Station has been maintained by the help of radio communications since 1957. The traffic capacity in Antarctica has increased rapidly due to the expansion of the station, increased members, substantial research items and establishment of advance stations. In the first decade, the A1 and A4 for PIX and FAX modulation system occupied the main stream of radio communication system between Syowa Station and Japan and the intra-Antarctic communications. But the increased traffic caused the shortage of circuit margin. The long distance bus link has to change the high speed PCM system through the geostationary satellites from HF link as if via Marisat. Much improvements are required in the following points: the intra-Antarctic system, the radiowave propagation between 300 and 500 km, technical research on the local communication, and the data collection system of orbital satellites.

The present situation and the future improvement of Antarctic communication are described in this paper.

要旨: 南極観測が開始されて以来、昭和基地の運営は常に通信連絡によって支えられ今日に至っている。この間、基地規模の拡大、隊員増、研究内容の充実、前進基地の設置などに伴っていろいろな問題点が指摘され、また通信の内容も拡大の一途をたどってきた。したがって、最初は短波による A1, FAX, PIX が対内地通信の主流であったが、通信量の増加に伴って必然的に急激な回線量の不足を招き、マリサット経由の衛星通信の実用化、南極大陸内の通信網の確保と改善、基地近くの通信の問題、特に 300-500 km の通信の問題点など、今日解決すべき点が増してきている。本論文では南極通信の現状と将来の解決案などについて述べる。

1. はじめに

1957年1月29日、第1次南極地域観測隊によって、東オングル島に昭和基地が開設されて以来、途中3年間の中断期間があったが、今日まで無事運営が続けられている。今日の南極基地において、本国と基地間および隣接基地との通信連絡、気象情報の伝送、旅行隊との連絡の確保など、無線通信による通信連絡網を設置することが重要であり、南極条約による通信網に加盟することが義務づけられている。これらの通信連絡を確実に保つことによって、南極観測基地の効率的な運営と安全が確保されている。

南極における通信回線を大別すると、

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

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

- 1) 他大陸間との通信網 (intercontinental communication network),
 - 2) 南極大陸内の相互通信網 (intra-continental communication network),
 - 3) 局地 (基地周辺, 旅行隊を含む) および局地テレメトリーシステム (local communication network around station and local telemetry system),
 - 4) 無人基地からのデータ収集システム (data collection system for unmanned station),
- に分類される。

本論文においては、現在の南極地域における通信網の現状をわが国の場合を中心に述べ、またわが国をはじめ各国において試みられている、より高度な通信システムの開発と南極の通信網の将来について大要を述べたい。

2. 他大陸間との通信網

2.1. 各国の対本国通信網

南極大陸 (周辺島しょを含む) に存在する基地と南極洋を隔てて他大陸にある本国との間の通信は、最短の基地間でも 3 000 km 以上の長距離通信で、南極観測が開始されて以来短波帯が使用されている。わが国では、日本電信電話公社の銚子無線電報局との間を、短波の A1 (電信) による回線を開設して現在に至っている。また、同時に国際電信電話株式会社 (KDD) 小山送信所、小室受信所間に A9A 変調の写真伝送 (PIX)、ファクシミリ (FAX) および A3J の SSB 電話の短波回線を開設して今日に至っている。

外国基地も同様で、それぞれの本国との間に短波回線を開設しているが、短波回線はその大部分の電波通路がオーロラ帯を横切るか、その近傍を通るため、極域地磁気擾乱の影響を受けて、回線状態は非常に不安定である。

回線距離も通常は非常に長距離となり、北半球にある日本、アメリカ、イギリス、ソ連、フランス、ポーランド、西ドイツでは、通信回線が赤道を越える長距離回線で、その中でもわが国の昭和基地-東京間は約 14 000 km と、これらの諸国の中でも最長の通信回線距離で、時差も最大で、回線安定度は最も悪い。

各国の基地の整備が進むにつれて、伝送すべき情報量が急速に増加し、1970年代初めには情報伝送に要する短波回線が著しく不足するに至った。これを解決する手段として、1968年よりアメリカではハワイの南の赤道上に静止している応用技術衛星 ATS-1 の 136 MHz の VHF 帯を利用して、マクマード基地-ATS-1-カリフォルニア間に電話、FAX、データ回線を開設して実験を開始した。しかし、マクマード基地の緯度が高いため、回線状態が期待したほど良くなりず、一時は 70°S 付近に艦船を配置して中継を行っていた。その後は緯度の低いサイプル基地とアメリカ東海岸の間に ATS-6 の 136 MHz 帯を利用した通信網を開設して、現在でも応急用として使用されている。

静止衛星による南極大陸と他大陸間の通信は、1970年代後半になると、主としてアメリカ

によって、静止気象衛星 SMS-1 などを用いて実験が続けられた。1979年1月には NHK が、昭和基地-インテルサットのインド洋衛星-KDD 山口地球局を經由して日本への TV 中継を行った。また、1978年には砕氷船「ふじ」に海事衛星マリサットの送受信装置を搭載し、日本内地との通信実験に良好な成果を得ている。次いで昭和基地沖においても、日本との間の通信に成功した。1978年の通信テストでは、まだマリサットのインド洋衛星が商用化されていなかったため、昭和基地からは地平線すれすれの大西洋衛星を經由した通信を行ったが、良好な結果が得られた。

1981年にはマリサットの、1982年から現在に至るまでマリサットから引き継がれたインマルサットのインド洋衛星を經由して、昭和基地沖の海氷上に設置した海上固定台と日本との間に回線が設置され、HF 回線では不可能な情報量の通信回線に使用されている。なお、インテルサットおよびインマルサットの信号は、それぞれアップリンクおよびダウンリンクに 4 および 6 GHz 帯の SHF 帯の PCM 変調波を使用している。

アメリカの現用通信回線は、マクマード基地-クライストチャーチ-アメリカの短波回線、気象情報はマクマード基地-サイプル基地-ロテラ基地-グリュートビケン基地經由 GTS (global telecommunication system) 回線に入りワシントンに送られる。グリュートビケン基地以後はイギリスの通信回線を利用している。そのほかに予備用としてマクマード基地-クライストチャーチ-メルボルンを通して東京経由で GTS 回線に送り込まれる回線を持っているが、ATS-6 号、SMS などの静止衛星経由の直接回線は特殊目的以外には常時通信は行っていない。

ソ連は、1960年代まではミールヌイ基地が中心で、気象回線はケーシー基地経由の GTS 回線で送られていたが、1970年以降マラジョージナヤ基地が主基地となるにしたがって、全南極のソ連基地の情報はすべて独自の短波回線でマラジョージナヤ基地に集められ、50 kW と称せられる大電力短波送信機を使用して直接ソ連本土と交信を行っている。気象回線は、マラジョージナヤ基地はモーション基地を親局とする回線網に属していたが、1978年秋以降は、1978年8月にワシントンで開催された南極条約会議通信委員会専門家会議で独立することを強く主張した結果、直接モスクワに送られ、現在は他の南極大陸内回線とは定期的な気象情報の交換は行っていない。

その他の国々は、それぞれの短波回線を有しており、それぞれ本国との連絡を直接とっているが、気象情報に関しては後述する南極大陸内回線を通じて GTS 回線に接続され、ワシントンに送られている。

2.2. 気象 GTS 回線

気象 GTS 回線は、世界各地の気象データをワシントンの世界気象データセンター(WDC)に送ると同時に、世界気象機関(WMO)の運営する情報回線である。通信回線の幹線として、

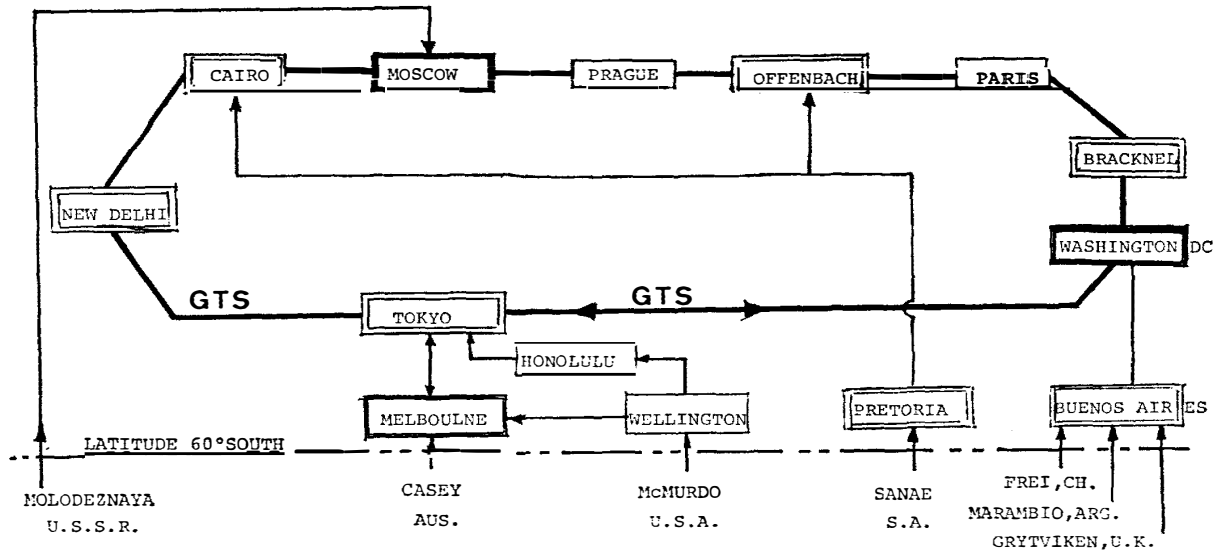


図1 気象 GTS (世界通信網) のルート
 Fig. 1. The principal routes of GTS.

図1に示すように北半球を一周する両方向自動通信回線が設置され、その回線に入出力する親局としては、東京、ニューデリー、カイロ、モスクワ、オッフエンバッハ、ブラックネルがあり、ワシントンの中央局と結ばれている。各親局にはそれぞれコンピューターが置かれ、受け持ちの地方端局と接続され、全世界の各国の気象通信センターと結ばれている。南半球にはサブ端子局があり、その中心はメルボルンにあり、またその子局としてプレトリア、ブエノスアイレスがある。なお、メルボルンのデータは東京を經由し、GTS回線に結ばれている(図1参照)。

南極の各基地は6つの母局 (mother station) を通じて南半球のサブ端子局 (マラジョージヤ基地-モスクワ回線を除く) に短波回線で結ばれ、サブ端子局からは通常の気象回線を通して北半球に送られ、親局のコンピューターを通して GTS 回線に送り込まれ、WDC に送られる。昭和基地の気象データは母局であるモーソン基地局にテレタイプで送信され、モーソン基地ではサナエ基地などのデータを集めてケーシー基地局を通じて、短波でメルボルン端局に送られ、ここより東京の GTS 端子局に送られる。東京では GTS 回線の東側と西側にそれぞれ送信され、先にワシントンに到着した信号が WDC に登録される。

GTS 回線はすべてコンピューターでコントロールされており、自動中継ぎで着信は GTS 回線に入力される。例えば、東京ではメルボルンからの PCM・TELEX 信号は東京のコンピューターを通して GTS 回線に送り出され、東京での読み出しは通常行わない。同様にアメリカの例をあげると、1978年までは、マクマード基地が西南極の中央通信基地として運用されていたが、カーター政権の緊縮財政に伴い、南極観測費の大幅な縮小が行われ、その結果マクマード基地は単なる親局として南極点のデータを中継ぎするのみとなった。南極半島のサイプル基地はイギリスのロテラ基地へ、パーマー基地はイギリスのファラデー基地を経

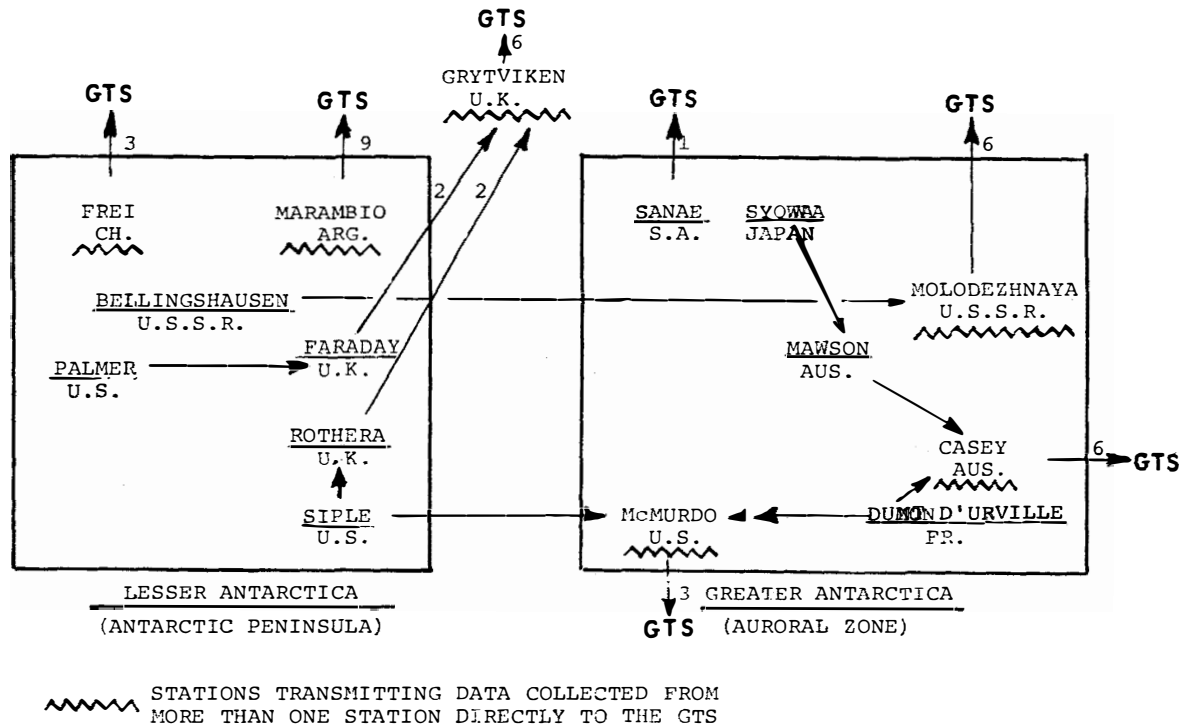


図 2 南極からデータを GTS に送り出すルート

Fig. 2. Existing links for the daily international exchange of meteorological data within Antarctica.

由してイギリスの回線によりグリュートビケン基地経由で GTS 回線に結ばれている。フランスのデュモン・デュルビル基地は、オーストラリアのケーシー基地を通じ、イギリスのハレー基地はソ連のベリングスハウゼンを通すルートを持っている。

ケーシー基地およびグリュートビケン基地経由の母局から送り出される信号は、他大陸間に短波回線を含み、この回線はオーロラオーヴァルを横切るためもある通信確保率は若干低く、時々60%以下に低下することが問題化し、1978年の南極条約通信専門家会議でその改善が重要議題の一つとして討議され、改善についての研究が行われた。1978年9月から現在まで南極からデータを GTS に送り出す回線を図2に示す。

3. 南極大陸内の通信回路

3.1. 南極条約による HF 回線

南極条約によって、南極大陸内の各基地間は安全、相互情報交換、気象連絡のため母局間の定時通信が義務づけられており、同時に各局間の通信も常時確保できるように指定周波数が割り当てられ、各基地はその周波数の通信装置を設置することが義務づけられている。

しかし、この通信回線の通信達成率は一般に極域地磁気擾乱の影響を受けやすく、また南極大陸を横断する回線が雪面反射時の吸収を受けるため電界強度が低下し (YOSHINO, 1967)、その現象の少ない海岸沿いの回線で達成率は90%がやっとという実情である。

3.2. 気象回線

南極条約による大陸内の通信回線は、主として地上気象データおよび高層気象データの伝送を目的として、毎日定時通信を行い、これと同時にいろいろな観測データの交換、基地相互間の情報伝達、ロケットおよびバルーンなどの打ち上げに伴う事前通告、飛行機の運航に関する通信網の依頼などが行われ、各基地の安全の確保にも使用されている。1978年9月から現在まで運用されている南極大陸内の定常気象交換回線は図3に示すとおりである。

図3に示した南極大陸内の気象通信回線により各基地から母局に集められた気象データは、図4に示す幹線通信網を通して大陸外に送り出され、GTS回線に連結される。図2に示されるように、南極条約による短波回線は、6つの母局間にA1およびテレタイプの専用回線による定時運用を行い、各母局に連結された支局である各基地は、他の南極の全基地に対し母局を通して情報の交換が確実に可能であるよう義務づけられている。この基地間通信網は現在活発に行われており、長年の経験による周波数の適切な選択も通信専門家会議にて取り上げられ、オーロラ帯および極冠電離層通信という悪条件下にもかかわらず、90%以上の通信達成率が保たれている。

1978年8月の南極条約通信専門家会議において、南極大陸から大陸外への短波回線の通信達成率の改善について討議がなされた結果、図3および図4に示す回線の改良が行われ、気象データの伝送時間は昭和基地の例をみると、1983年8月現在で、昭和基地-モーンソン-ケー

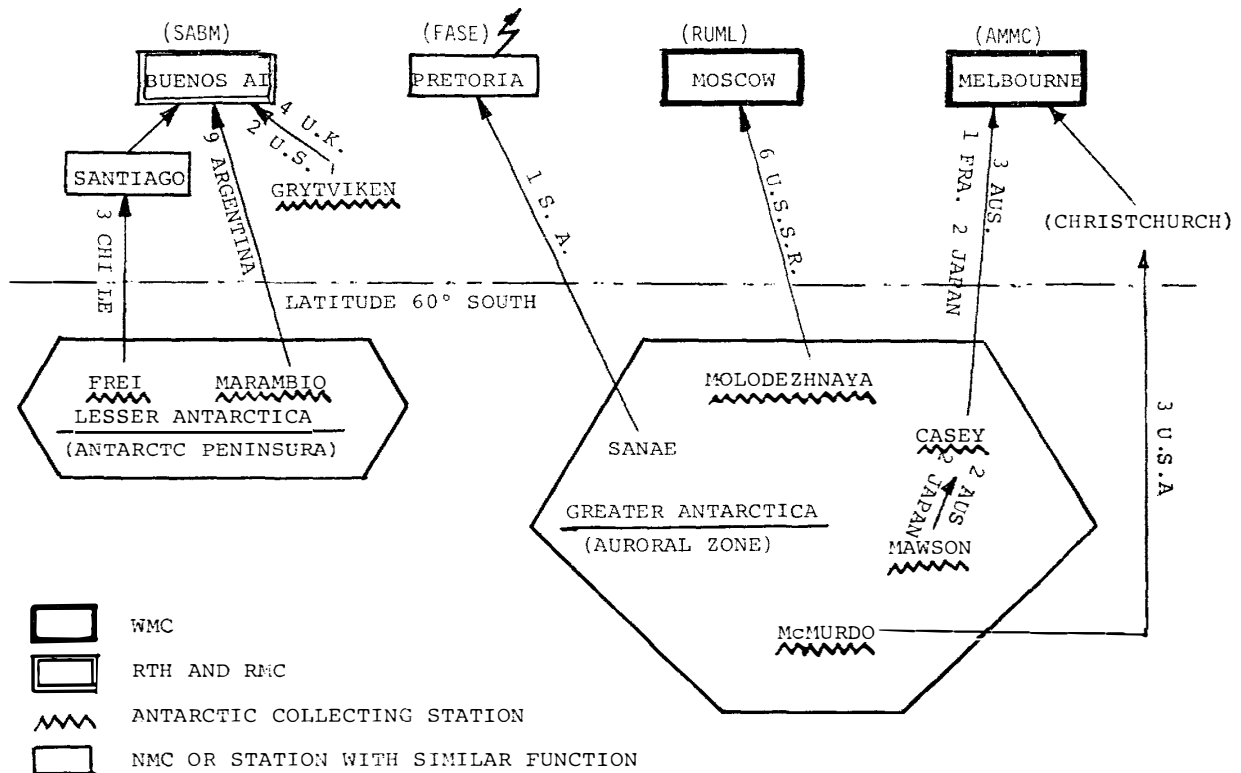


図3 南極大陸内の定常気象交換回線

Fig. 3. Principal routes by which Antarctic data enter GTS, as of September 1978.

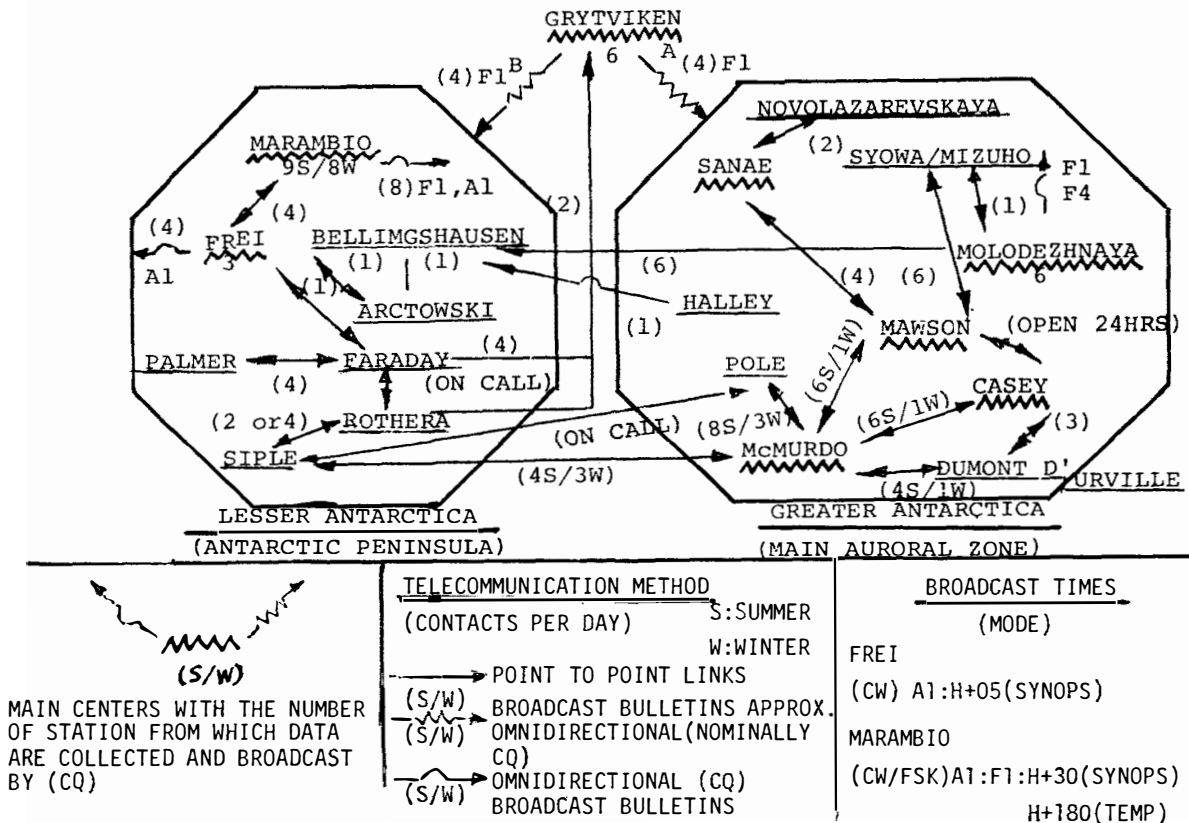


図 4 南極気象回線の GTS 送り出し回線
 Fig. 4. Principal intra-Antarctic international routes by which Antarctic meteorological data leaves Antarctica, as of September 1978.

シー-メルボルン-東京-(GTS)-ワシントンの世界気象センターに登録されるまでの平均所要時間は、全回線をテレタイプで伝送した場合、定時観測後約 2 分、通信達成率は 92% を超えている。

3.3. 将来の新通信方式・回線について

将来に対する問題点としては、極域地磁気擾乱、オーロラサブストームによる短波通信回線の不安定性の問題、大陸を横断する回線では電波の雪面反射の際の吸収が非常に大きい問題 (YOSHINO, 1967) があり、これが南極大陸内の基地間通信の悩みとなっている。特に太陽静穏時の極域電離層の F 層の電子密度が、低緯度地方に比べて低いため、使用できる周波数範囲が通常の短波通信に比較して低く、そのため E 層 (オーロラ高度) の高電子密度を突き抜ける際の電波吸収が大きくなるため、短波による通信安定性を著しく低下させる。

これを改善するために、各国では 1970 年代後半よりいろいろな研究を行っており、その中でも現在研究が行われている主なものとして (1) 対流圏散乱伝搬、(2) オーロラ散乱伝搬、(3) モルニヤ型極軌道通信衛星方式、をあげることができる。

3.3.1. 対流圏散乱伝搬

この研究は、既に 1973 年にアメリカのマクマード基地周辺で実験が行われ、次いで 1975 年、

日本の第16次観測隊で近江によって近距離用の実験を開始し、引き続いて1976年の第17次観測隊では芳野・仁木によって昭和基地-みずほ基地間のルート上において、830 MHzの UHF 帯による基礎実験が開始された。この時には利得 16 dB のバックファイア型アンテナと、出力 5 W の送信電力によって約 60 km の通信に成功し、同時に運用した出力 25 W の FM-VHF の KD 60 型雪上車搭載通信装置と比較して約 2 倍の距離までの運用が可能であることが実証され、今後の出力増による対流圏散乱伝搬の実用可能性を立証することができた。また、1978年にはオーストラリア隊が、モーション基地周辺で基礎実験を行い、3者とも将来の実用可能性を実証することができたが、現在のところ、各国ともその後の研究は行われていない。

3.3.2. オーロラ散乱伝搬

1974年以降、アメリカではオーロラの発生時に、オーロラの発光部の高電子密度領域に向かって、50-60 MHz 帯の VHF 電波を放射し、オーロラ高度での激しい電子密度擾乱による散乱伝搬の可能性を研究している。

NSF に提出された米海軍の研究結果によると (U.S. NAVAL LABORATORY, 1978), この実験は1982年まで続けられ、オーロラの発生高度の高いことから、有効距離約 1 000 km 程度の散乱通信に成功しているようであるが、通信可能時間は夜間に確率が高く、太陽活動度によって通信状況に若干の差があるなどの問題があり、現在まで実用化に至っていないが、対流圏散乱伝搬と比較して伝搬距離が長く、低電力でよいなどの利点があり、この点で将来性があると述べられている。

3.3.3. モルニヤ方式の衛星通信

ソ連では、国土が極域を含む高緯度に存在するため、南の地域を除いて赤道上に静止する通常の通信衛星を可視範囲内に見ることはできない。そのため、図5に示すように、北極上空 30 000 km 以上の遠地点を設定した極軌道に通信衛星を打ち上げることにより、その衛星の可視範囲を 73° 、可視時間を 8 時間以上にとって、3 個以上の衛星によって、北半球全極域をカバーする衛星通信システムを作って東欧圏を含めた運用を行っている。この運用は 1967年より開始され、地上局は静止衛星と異なって若干の追尾機構を付加する必要はあるが、一つの衛星が地平線に沈むと同時に他の一つが上昇し始め、次から次へと 8 時間ごとに切れ目なく上空に衛星があるようにして通信を行う方式である。

現在、ソ連はこの通信衛星システムをモルニヤシステムと称して、共産圏諸国における独自の衛星通信網を確立し実用中である。ソ連を中心とするモルニヤシステムは、北半球に遠地点を設定した北極域用の通信システムであるが、これと同様な方法で南半球側に遠地点を持った衛星システムを完成することにより、南極大陸およびその周辺地域における通信量・情報交換量を飛躍的に増加できることは明らかである。しかしこの方式は、(1) 極めて高価、(2) 地上局の設備の複雑化、(3) 地上局の電力が大型アンテナの駆動のため必要となる、など

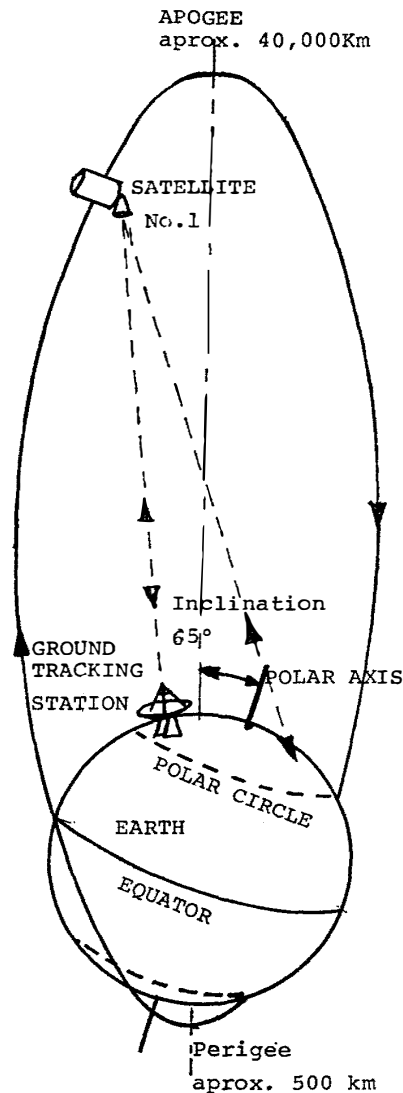


図 5 ソ連のモルニヤ方式通信衛星

Fig. 5. The Molnia style satellite communication system of USSR.

の点で、現在急速な実用化に若干の問題が残る。

4. 局地通信システム

4.1. 基地周辺

主として基地周辺の可視範囲の通信系統の問題について考察する。1960年代までは 2-5 MHz の中短波帯が用いられていた。しかしこの周波数範囲では、150-50 m の波長に対するアンテナの実用寸法が短くなって放射能率が極めて低くなるため、また雪氷上での接地不良の問題もあって、近距離にかかわらず通信状態は不良であった。1960年代に入って VHF・UHF 帯の小形通信機の耐寒性能が向上し、以後日本の観測隊ではすべて 65 MHz 帯などの VHF 帯の車載用（出力 25 W）、携帯用（出力 1-5 W）の通信機が使用されるようになり、今日まで幾多の改良が加えられながら使用されている。

昭和基地では、1980年より通信用のほか、人工雑音電波の混信の影響を防止するため、一部の観測センサーを西オングル島に移し、東オングル島との約 5 km の間を VHF および UHF 帯の PCM テレメトリーシステムによってデータ伝送する方法が実用化されており、良好な結果を得ている。

現在、基地周辺の通信回線で最大の問題点は、昭和基地が極めて電気伝導度の低いプレカンプリア期の片麻岩上に建設されており、また内陸のみずほ基地も同様に極めて電気伝導度の低い雪面上にあるために、接地不良による電波ノイズの混信を受け易いことである。

4.2. 300-500 km の距離間の通信

300-500 km の距離は、通常短波伝搬の跳躍距離（スキップ領域）内にあたり、この距離内で短波通信を行うには電離層への入射角が大きくなるので、最大使用可能周波数（MUF）が 7 MHz 以下の中短波帯に限定されてしまう。そのため、D・E 層突き抜け吸収が非常に大きくなり、通常短波通信の非常にやりにくい距離とされている。しかし、この距離は南極では旅行隊、前進基地との通信の際に非常によく使われる距離で、各国ともいろいろと研究を行っているが、現在までに常時通信ができる状態を確保できた成功例はない。

昭和基地の例をみても、みずほ基地-マラジョージナヤ基地間が約 300 km で、この間の通信は、主に 2-8 MHz 帯を使用し通信回線を組んでいる。しかし、みずほ基地-昭和基地間の通信達成率は 55-60% に過ぎない。対みずほ通信では、オーロラの出ない地磁気の静穏時には通信状態が悪く、弱いオーロラアークが両基地の中間に出現した時に良好な通信ができることが多い。しかし、オーロラ活動が盛んになるにつれて再び通信は不能になる。

一方、この距離における VHF 帯の伝搬状態は、回折損失が大きく使用できない。このような困難性を改善する対策は、現在は 3.3. で述べた方法のうち (1) 対流圏散乱伝播、(2) モルニヤ型極地通信衛星方式、などを応用することが考えられる。また、(3) 極軌道の低高度衛星を利用し、1 日数回、それぞれ 10 分程度の交信を行う方法も考えられる。しかし、(2) は直径 10 m 以上の大型アンテナで追尾し、大電力送信機が必要となるので、旅行隊および前進基地では使用できない。(3) の方法ではアップリンク・ダウンリンクとも VHF 帯を用いれば、アンテナの追尾精度を上げる必要も少なく、送信電力も比較的少なくてすむので実用化の可能性も非常に高いが、現在専用衛星打ち上げに対する計画はまったく立案されていない。その他 (4) LF または VLF を用いる方法も考えられるが、波長が長過ぎるため十分な長さを持つアンテナを建設することができない。これらの中でも (1) の方式が最も可能性が高いと考えられるが、今後さらに詳しい研究が必要である。ただし、今回新設されるセールロUNDERネの観測拠点と昭和基地間の短波回線の通信状態は、300 km の場合に比較して距離的にかなり高い電界強度が得られると考えられる。

5. 無人基地からのデータ収集システム

現在、NOAA系、NIMBUS系気象衛星、およびSMS気象静止衛星などの数種類の衛星にデータ収集システム(data collection system: DCS)が搭載されている。DCSは衛星が可視範囲内にある時、地上から送信されたPCMデータを衛星上のRAMメモリー上に記憶させ、この衛星が地上管制局の上空に達した時、コマンドによって地上にテレメトリー伝送され、受信されたデータはフランスのツールーズにあるフランス国立宇宙研究センター(CNES)に送られて解析され、ユーザーにテレックス回線を通して送られる。このシステムはARGOSシステムと呼ばれ、この方法によって、データ回収の困難な地点でのデータ収録などが可能となった。また、このシステムは送信点の正確な位置の測定が可能で、植村直己がグリーンランド横断の際に毎日の位置を正確に把握することに成功した経験を持つ。このシステムは、東洋通信機株式会社がすべてのサポートを行った。

南極での応用は1978年よりチリの南極観測隊が大陸内に数個の無人気象観測点を設置し、この測定データ(主として地上気象データ)をNOAAのDCSに送信記録させて、後にブエノスアイレスなどで回収することに成功している。

このほか、ARGOSシステムの応用は広い範囲で行われており、気象観測のほか、流水の運動、氷山の移動、ラジオブイのデータ回収、ポーラー・パトロール気球からのデータ回収などへの応用が広く考えられる。今後は、わが国でも無人観測点のいろいろなデータの回収、雪氷・海洋観測などに積極的な活用が望まれ、この応用によって南極における観測範囲を格段に拡張することが可能である。1984年9月、筆者は北太平洋においてPLR測定の実験において、放球後約3000km、50時間にわたり、NOAA衛星によるデータ収録を続けることができた。

6. 結 論

以上、南極通信の現状と将来計画について概要を述べた。また、同時に南極通信システムを、

- (1) 南極大陸と他大陸間との通信網、
- (2) 南極大陸内の相互通信網、
- (3) 基地周辺(旅行隊を含む)および局地テレメトリーシステム、
- (4) 無人基地からのデータ収集システム、

の4項目に分類し、それぞれの現状と将来像について問題点と改善方法について解説を試みた。

また、今日の南極通信においては、衛星を利用することにより、格段の通信量の増加が見込まれるとともに、多額の開発費を含む巨額な経費が必要であり、その実現に今後努力を続

けねばならない。特に、現在の通信網は1978年9月にワシントンにおいて開催された南極条約通信専門家会議によって改訂されたものであるが、この会議の席上においても国際的な問題点が討議され、南極通信の前途に幾多の困難があることが浮き彫りにされた。

謝 辞

本文を記するにあたり、いろいろのデータを提供していただいた歴代の通信担当隊員諸兄に深甚なる謝意を表す。

文 献

- U.S. NAVAL LABORATORY (1978): On the ionospheric and auroral scattering communication experiments in the Antarctic area. NSF Sci. Rep., **111** (1978年南極条約通信専門家会議資料, No. 6).
YOSHINO, T. (1967): The reflection properties of radio waves on the ice cap. IEEE Trans. Antennas Propag., **15**(4), 542-551.

(1984年10月13日受理)