

衛星を利用した気象通信の検討

A study of the meteorological data communication network with a satellite link

高橋 達雄*

Tatsuo Takahashi

Abstract

Satellite communication systems today make great strides because of their flexible applications, such as broadcasting services and data communication services.

Especially, a VSAT (Very Small Aperture Terminal) system using small scale earth stations is very attractive system as a new style satellite communication. The VSAT system is optimum system for connecting many remote terminals which scattered over a wide geographical area with their host computer system.

In this paper, a case study of the data communication network system for meteorological services and their future possibilities are described.

1. まえがき

衛星通信が実用化されて以来約20年が経過し、その間インテルサットによる国際衛星通信や、インマルサットによる海事衛星通信などにより、衛星通信の利用範囲は拡大してきている。

衛星通信は、同報性、広域性及び通信コストが距離に依存しない等の特長を有しており、これらを生かして送信：受信が、1：n、n：n、n：1となるような回線を容易に構成することができる。最近では、衛星の性能向上、衛星回線（中継器）使用料の低下ともあいまって、VSAT (Very Small Aperture Terminal) と呼ばれる超小型衛星通信用地球局を用いた衛星通信網が米国、日本などで急速に展開されてきており、国際的な規格統一の動きも活発である。

本稿では、気象通信の特徴を踏まえ、このVSATシステムを応用して、気象データの伝送を衛星回線で行う場合の、通信方式、ネットワーク構成等について検討を行ったので紹介する。

2. 衛星通信の特徴

衛星を利用した通信ネットワークを構成するにあたって、衛星通信の有効性及び固有の問題等について検討を行った。

2.1 衛星回線の有効性

衛星回線には以下のような有効性がある。

1) 同報回線に有効

データを多数の局へ同時に伝送する場合に適している。

2) 広範囲な通信が可能

衛星通信においては、通信距離や地形に関係なく高品質な回線が確保出来るので、サービスエリアが広範囲になる。

3) 耐災害性がある

自然災害等によって地上通信系が破壊された場合でも、衛星回線を利用することによって安定した通信回線が確保できる。

4) 広帯域伝送が可能

高速で大容量のデータを高品質で伝送することができるので、画像及びデータ通信等に適している。

5) マルチプルアクセスが容易

周波数分割方式 (FDMA) 及び時分割方式 (TDMA) 等のマルチプルアクセスを用いて、広範囲に点在した多数局との間で、効率良く自由に通信を行うことが出来る。

6) ネットワークの構築が容易

任意の地点に地球局を設置することにより、即

* 気象衛星センター施設管理課

座に通信を始めることが出来るので、ネットワークの構築及び拡張が容易である。

2.2 衛星通信固有の問題と対策

衛星通信を行う場合、回線品質に影響を与える要因として、次の様なことが考えられる。

1) 人工衛星の食

衛星と太陽の間に地球が入る期間を人工衛星の食といい、年2回、春分・秋分時前後に発生する。食の間中は、衛星の太陽電池から電力が供給されなくなるので、蓄電池（バッテリー）電源のみとなり、この間の衛星運用は特別な形態をとらなければならない。しかし、最近では大容量のバッテリーを搭載することが可能となってきたので、最大食時でも負荷電力量を十分まかなえる様になった。

2) 太陽雑音妨害

春分と秋分のころ数日間、太陽が衛星の後方を通過するとき、地球局のアンテナの視野内に太陽が入り、受信機の雑音入力が増加し、回線品質が低下する。このため最悪時には、回線断となることも予想される。しかし、太陽雑音妨害を受ける時間は1日数分間であるので、太陽雑音妨害について地球局のアンテナパターン及び回線マージン等を十分考慮すれば、回避することは可能である。

3) 降雨減衰

降雨による電波の減衰は、比較的低い周波数ではほとんど問題にならないが、数GHz以上の周波数においては大きな問題となる。現在、VSATシステムで使用されている周波数帯（Kuバンド：12/14GHz）では、降雨強度が50mm/hの場合、約2dB/kmの減衰を受けることが予想されている。このため、回線設計を行う際は、その地域における降雨量を考慮した回線マージンをとる必要がある。

4) シンチレーション

太陽活動の活発化により、電離層内の電子密度等が不規則となり、そこを電波が通過するとこの影響を受け、受信レベルが大きく変動する。しかし、運用に支障をきたすものは極めて少なく、回線設定を行う際、シンチレーションについて回線マージン等を十分に考慮すれば、その影響を軽減することができる。

5) 伝送遅延

地球局から衛星までの距離が約38,000kmあるため、往復で約0.25秒の伝送遅延が生じる。しかし、

デジタル伝送の場合はプロトコル変換等を行うことにより、伝送遅延をほとんど吸収することができる。

2.3 衛星通信の経済性

衛星通信は、ポイントーポイント（1：1）通信の分野において、地上回線（光ファイバ通信）と比較される。通信コストを表す場合、光ファイバ通信は、伝送容量と伝送距離の関数で表され、衛星通信は、伝送容量だけの関数で表される。Fig. 1は、衛星通信と光ファイバ通信の適用領域を伝送容量と伝送距離の関係を表したものである。この図から光ファイバ通信は、伝送容量が大きい場合、衛星通信は伝送容量が小さく長距離の場合に有利であるといえる。

ポイントーポイント通信の経済性比較では、衛星通信の特長が十分生かされていないため、光ファイバ通信のほうが有利に見られる傾向がある。しかし、衛星通信は、ネットワークを構成する局数が多くなると通信コストが低下するので、ポイントーマルチポイント（1：n）分野では、衛星通信の方が有利であるといえる。一般に、衛星を用いて通信回線を構成する場合、全システムのなかで衛星コストの占める割合が大きいため、衛星コストの低減が衛星通信の利用を拡大するうえで重要となる。

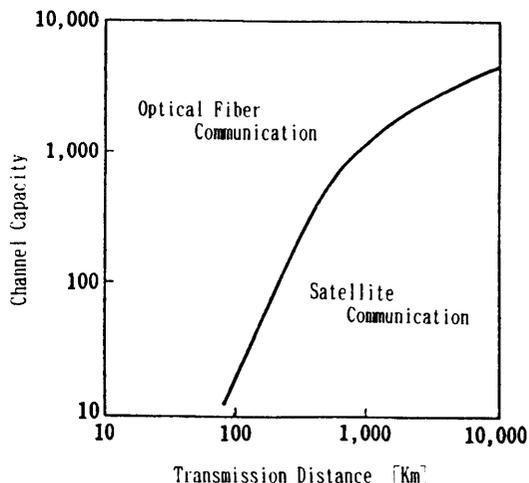


Fig. 1 Applicable bounds of Satellite Communication and Optical Fiber Communication

3. 衛星通信方式の検討

3.1 多元接続

衛星通信において、複数の地球局が1つの中継器を

介して同時にそれぞれ別々の通信路(回線)を設定することを多元接続(Multiple Access)という。多元接続方式は、周波数分割方式(FDMA)と時分割方式(TDMA)が一般的である。

1) 周波数分割多元接続方式(FDMA)

この方式は、各地球局にそれぞれ異なった周波数を割当て、衛星内の1つの中継器を共有する方式であり、現在最も広く用いられている。この方式では中継器が複数の搬送波を同時に増幅するため、中継器の振幅特性及び位相特性の非直線性により、混変調雑音を生じ伝送特性が劣化する。このため、中継器の動作点を飽和点よりも十分小さくして混変調を許容される値以下に抑えなければならず、衛星電力を効率的に使用することが出来ない。

しかしこの方式では、各チャンネルにそれぞれ独立したキャリアを割当てるため、チャンネル割当てに柔軟性があり、通信容量の少ない多数の地球局によって構成される通信に適している。

2) 時分割多元接続方式(TDMA)

この方式は、共通の搬送波を持った多数の地球

局が、時分割で衛星中継器を共有する方式であり、中継器を原理的に飽和点で動作させることができるので、衛星電力の有効利用が図れる。Fig. 2に示すようにTDMAによる信号の伝送は、TDMAフレームと呼ばれる時間を周期とし、各局は、そのフレーム内で自局に割当てられた時間(タイムスロット)に、TDMAバーストと呼ばれる信号を送信する。TDMAバーストはタイムスロットが厳密に制御されており、高度のバーストタイミングをとる必要がある。これをバースト同期といい、TDMA方式における基本的機能である。各地球局が正しくバースト同期をとるために、地球局の中の1局を基準局に指定し、この局から発射される基準バースト信号を、他の地球局が受信することによって、TDMAフレームの始まりがわかる。また、各地球局におけるデータの受信は、フレーム同期とバースト同期をとり、いくつかのバースト信号の中から自局に必要なデータのみを取り出す方式である。

表-1にFDMAとTDMAの特長を示す。

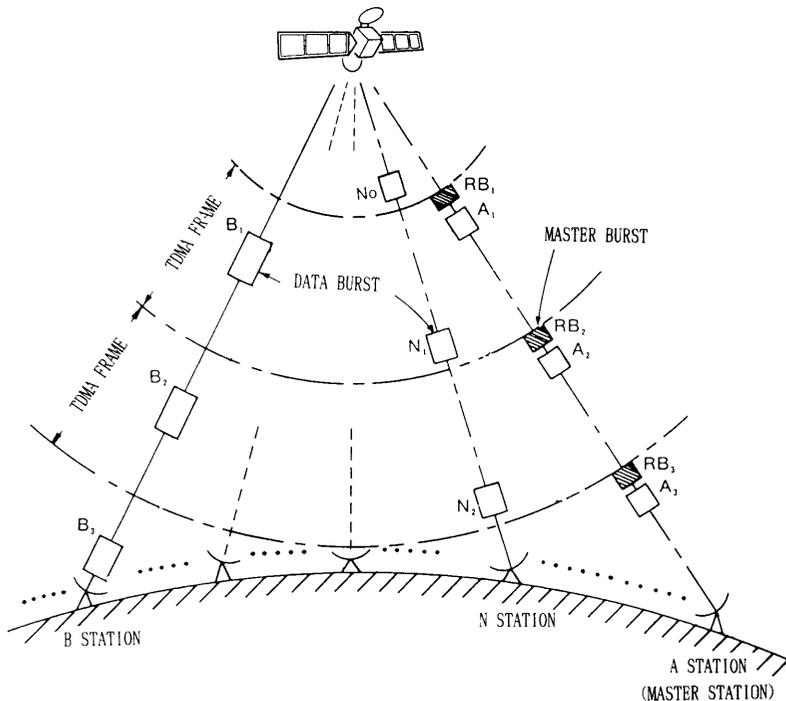


Fig. 2 Concept of TDMA

表-1 FDMAとTDMAの比較

通信方式	長 所	短 所
FDMA	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星へのアクセスが容易である。 ・回線割り当てに柔軟性がある。 ・衛星中継器の群遅延歪みによる影響が少ない。 ・地球局設備が経済的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの搬送波を同時に増幅するので混変調による影響が大きい。 ・混変調の影響を抑えるため、衛星電力の有効利用が図れない。 ・地球局のEIRPを厳しく管理する必要がある。
TDMA	<ul style="list-style-type: none"> ・混変調による影響が少ない。 ・地球局の送信EIRP変動許容範囲広い。 ・衛星中継器を飽和状態で使用出来るので衛星電力の利用効率が良い。 ・衛星中継器の帯域幅が少なくてすむ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・送信バースト時間を厳しく管理する必要がある。 ・地球局の設備が複雑になる。

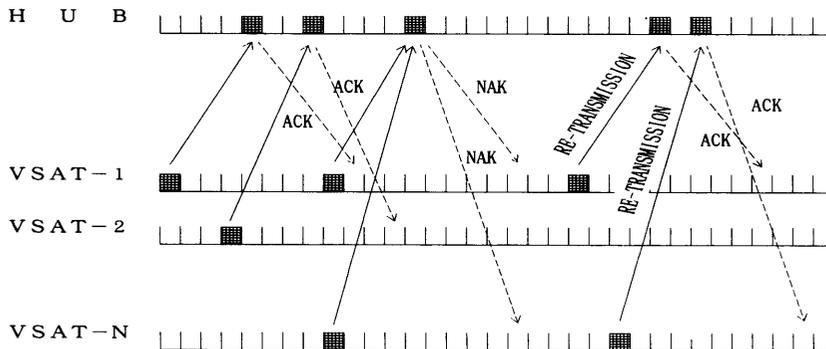


Fig. 3 Random access mode transmission

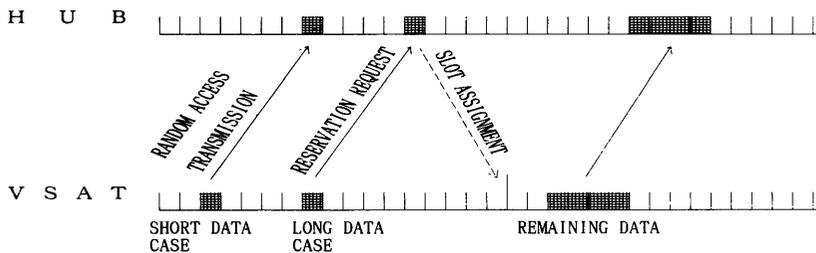


Fig. 4 Reservation mode transmission

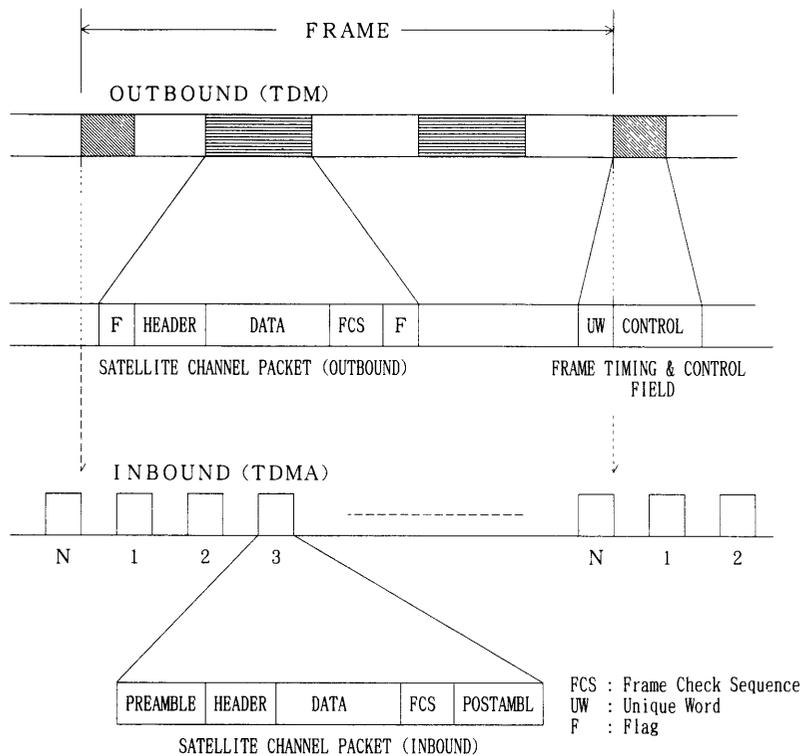


Fig. 5 AA/TDMA frame format and packet format

3.2 回線の割当方式

衛星通信において、各地球局が使用する回線の割当方法は、予め回線を専用として割当てておく固定割当方式 (Pre-Assignment又はFixed-Assignment) と、通信を行う時だけ回線を割当てる予約方式 (Demand-Assignment) 等があり、次の様な方式が一般的に使用されている。

1) 固定割当方式

FDMAでは、各地球局に対してあらかじめ専用のチャンネルを割当てる方式で、各チャンネルにはそれぞれ独立した搬送波が使用される。(SC PC : Singl channel per carrier) この方式は、チャンネル割当に柔軟性があるが、局数が多くなると広帯域の衛星中継器が必要となる。

TDMAでは、各地球局に対して予めタイムスロットを固定的に割当る方式で (PA/TDMA : Pre-assignment TDMA)、送信したデータの衝突は発生しないが、地球局のデータの有無にかかわらずタイムスロットが割当てられるので、回線の

使用率が低くなる。

2) 予約方式

予約方式は、DAMA (Demand Assignment Multiple Access) と呼ばれ、一般的にTDMAで用いられている。この方式では、各地球局で送信するデータが発生すると、そのデータを送信するために必要なタイムスロットを基準局に要求し、基準局からタイムスロットの割当てを受けた後、データを割当られたタイムスロットに送信する。

また、基準局は予約に関する情報をすべての地球局に対して伝え、各地球局は、既に割当てられているタイムスロットへは送信をしない。このため、送信したデータは衝突なく伝送され、回線の使用率を上げることができる。しかし伝送遅延は、予約のやりとりを行う分だけ長くなり、最小でもタイムスロットの割当要求、割当及び実際のデータ送信の3ホップ分の時間が必要になる。

3) ランダムアクセス方式

ランダムアクセス方式はTDMAで用いられ、各

地球局で送信するデータが発生次第、TDMAフレームにデータを送信する方式である。(Fig. 3)

したがって、複数の地球局が同じタイムスロットにデータを送信した場合はデータの衝突が生じ、この場合は地球局側でデータの再送が必要になる。この方式は、トラフィック量が少ない場合、衝突確率が低く、伝送遅延を少なくすることができるので、伝送遅延の少ないことが要求される場合に有効である。

4) AA/TDMA

AA/TDMA (Adaptive Assignment TDMA) 方式は、上述のランダム方式と予約方式を複合した方式で、基準局から各地球局への回線（アウトバンド回線）は、時分割多重の同報回線で、各地球局から基準局への回線（インバンド回線）は、TDMAで各地球局からデータが送信される。この方式では、ランダムアクセス方式及び予約方式のどちらでデータが衛星回線に送信されるかは、データの長さによって各地球局で自動的に選択される。

データの長さが1タイムスロット以下の場合、ランダムモードで送信される。データ長が1タイムスロットより長い場合は、データを1タイムスロット長単位に分割し、その先頭パケットでは、1タイムスロット分のデータに残りのデータを送信するために必要なタイムスロット数を付加したものを、ランダムアクセスモードで送信する。

(Fig. 4) 基準局は要求されたタイムスロットの割当てを行い、割当てたタイムスロットを地球局に伝える。割当てを受けた地球局は、そのタイムスロットに残りのデータを送信する。

AA/TDMAのフレームフォーマット及びデータフォーマットをFig. 5に示す。

4. VSATシステム

VSATシステムは、広範囲に点在したコンピュータ端末と中央のホストコンピュータとの間で、衛星を介して効率的な通信回線を構成することを目的として開発されたものである。近年企業内のコンピュータ通信、銀行・金融機関等のオンライン業務及びテレメータ等、広範囲に利用されている。このシステムは、基本的にパケット通信システムであり、既存のコンピュータネットワークを置き換えるため、従来使われている各種のデータ通信プロトコルをサポートしている。

VSATシステムでは、多数のVSATとネットワークの中心となる中心局（HUB局）とが衛星回線を通して結ばれている。一般的に、衛星電力を効率的に使用するため、HUB局は比較的大型のアンテナを有し、HUB局を中心とした星型（スター型）ネットワークとなっている。VSATシステムの一般的な構成をFig. 6に示す。

VSATは直径が1.2m～1.8mの小型アンテナと屋外ユニット（ODU：Out Door Unit）及び屋内ユニット（IDU：In Door Unit）から構成され、地方の支店、営業所等に設置し、コンピュータ端末、電話、FAX等と接続される。

HUB局はアンテナ直径が3.5m～11mの比較的大型アンテナを持ち、本社及び本店等のホストコンピュータと接続され、衛星回線を通してデータの送受及び回線制御等、システム全体の監視・制御を行う。

通信形態は、通常HUB局とVSAT間で双方向通信が行われ、VSAT相互間の通信は、HUB局を経由するダブルホップとなる。

また、衛星回線特有の現象である伝送遅延を補償するため、HUB局及びVSAT局では、ユーザプロトコルと衛星回線内プロトコルの変換等を行っている。

5. 気象データ伝送への応用

前記VSATシステムを応用して、気象データの伝送について検討を行ったので以下に述べる。

5.1 前提条件

本検討を行うにあたり、気象データの伝送形態は現状のままとし、以下の様な前提条件で検討を行った。

- ・ 中枢局：1局

VSATシステムにおけるHUB局の機能を有し、気象データ伝送に関して中枢となる局。

- ・ 地方中枢局：数局

地震・火山等のアナログデータを受信・処理し、処理されたデータを中枢局へ伝送する。また、数値データ等のデジタルデータを送・受信する局で、地方における中枢となる局。

- ・ 地方局—I：80局

地方局のコンピュータ端末と（4.8kbps）接続され、数値データ等のデジタルデータを送・受信する局。

- ・ 地方局—II：120局

数値データ等のデジタルデータの送・受信及び、地震・火山等の観測装置と接続され（4.8

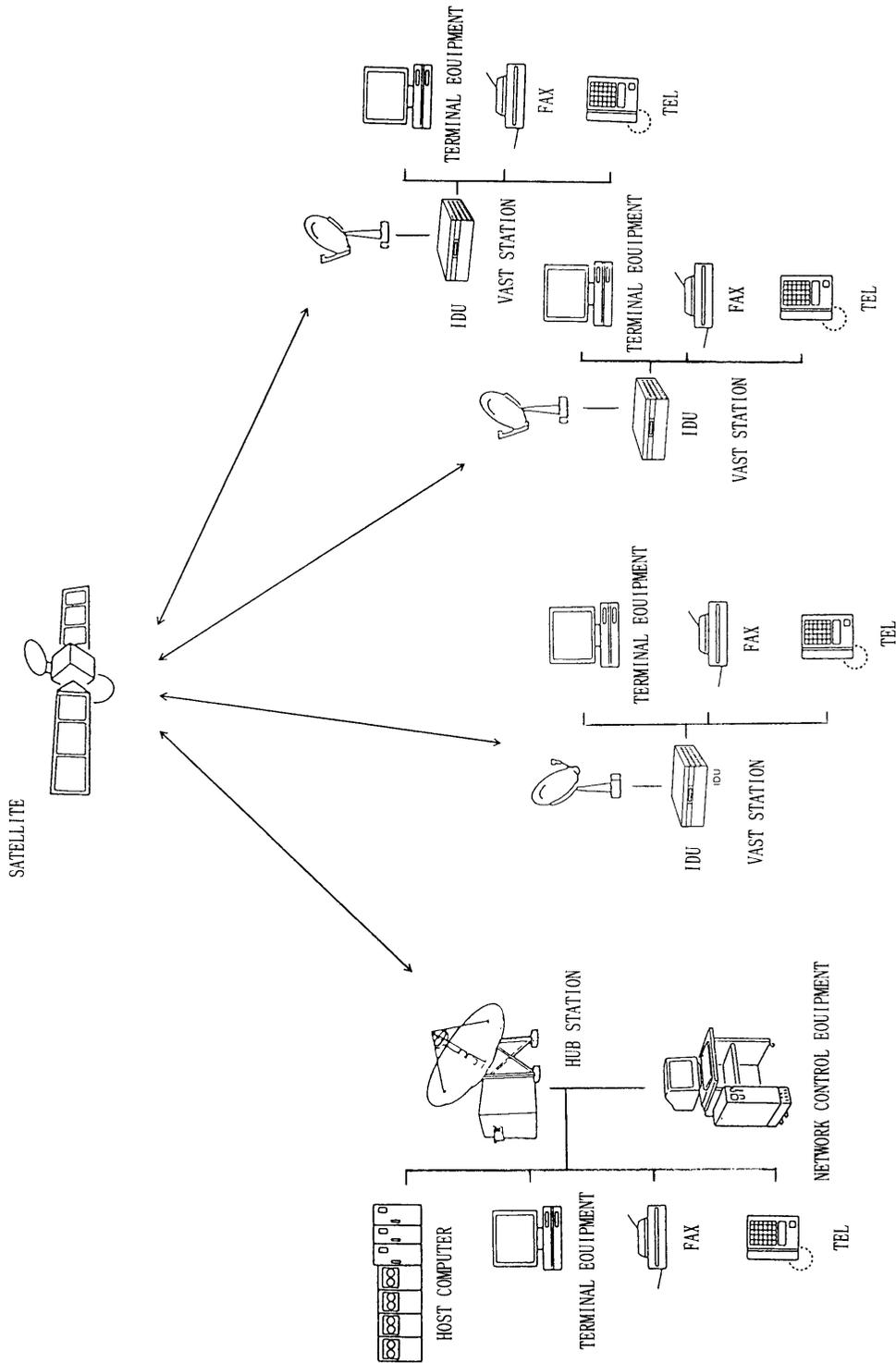


Fig. 6 VAST Network System

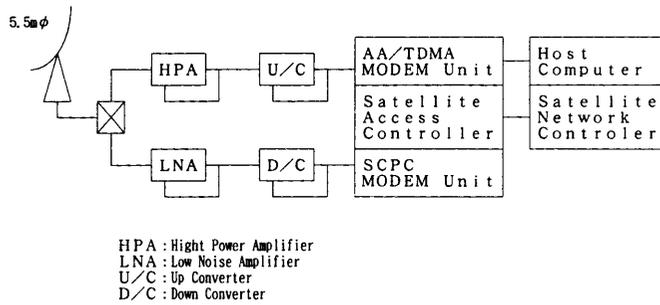


Fig. 7 HUB Station

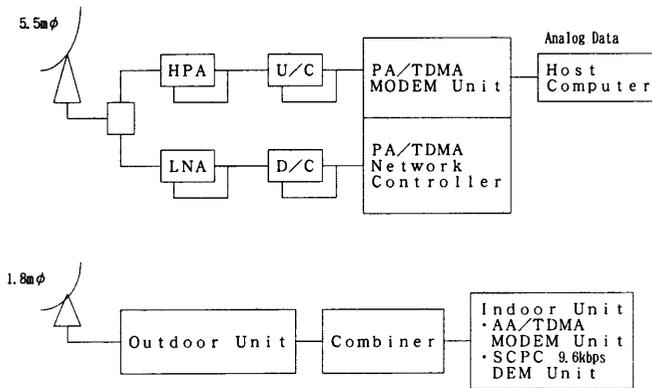


Fig. 8 Analog Data Processing Station

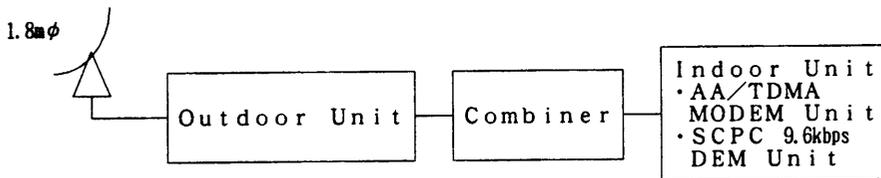


Fig. 9 VSAT-I Station

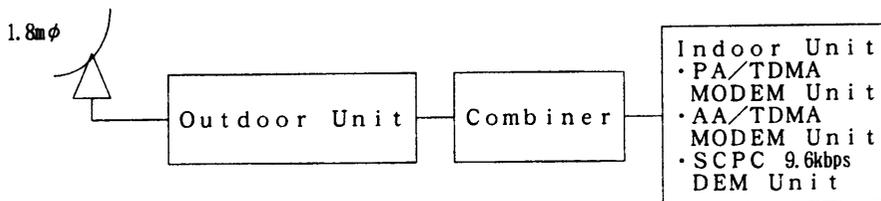


Fig. 10 VAST-II Station

kbps)、アナログデータを地方中枢局へ送信をする局。

5.2 地球局の構成

1) 中枢局 (HUB局)

中枢局は、ホストコンピュータと接続され、デジタルデータの収集を行い、編集・処理したデータを全ての局へ配信する。中枢局の構成は、約5.5mφのアンテナを含むRF部、ベースバンド部及び衛星ネットワーク制御部(回線制御部)等によって構成される。(Fig. 7)

2) 地方中枢局

地方中枢局は、アナログデータ処理用のホストコンピュータと接続され、地震・火山等のアナログデータの収集・処理を行い、処理したデータを中枢局へ伝送する。

局の構成は、約5.5mφのアンテナ装置を含むRF部、ベースバンド部等からなるアナログデータ処理用の装置と、デジタルデータ送・受信用の約1.8mφのアンテナ装置、室外装置(ODU)及び室内装置(IDU)等からなっている。(Fig. 8)

3) 地方局-I (デジタルデータのみを伝送する局: VSAT-I)

地方局-Iはコンピュータ端末と接続され、デジタルデータを中枢局に伝送する超小型地球局であり、約1.8mφのアンテナ装置、室外装置(ODU)及び室内装置(IDU)等からなっている。(Fig. 9)

4) 地方局-II (デジタルデータとアナログデータを伝送する局: VSAT-II)

地方局-IIは、地震・火山等の観測に用いられているセンサ及びテレメータ装置等と接続され、また、コンピュータ端末とも接続され、アナログデータ及びデジタルデータの伝送を行う。

局の構成は、約1.8mφのアンテナ装置、アナログデータとデジタルデータの伝送を行うための、室外装置(ODU)および室内装置(IDU)等からなる。(Fig. 10)

5.3 回線構成

気象データの伝送回線を次の3種類に分類して、回線構成及び伝送方法の検討を行った。

1) 同報データ伝送回線

同報データの伝送は、中枢局が作成した各種気象データ(数値データ、デジタルFAX等)をパケット化して、地方局へ一斉に配信する回線であ

る。この回線は、衛星通信の特長の一つである同報性を生かしたものであり、伝送時間の短縮が図れる。

この回線は、SCPCの回線を1ch割当て、データにはヘッダを付加し、地方局側に必要なデータのみを抽出する形態とした。(Fig. 11)

2) デジタルデータ伝送回線

本回線は、地方局から数値データ等のデジタルデータを中枢局に伝送する回線であり、1局当たりのデータは比較的小容量で連続性は少ないが、特定の時間帯に多数局からデータが集中する回線である。

このためデジタルデータの伝送は、データをパケット化してAA/TDMAで伝送する方法とした。したがって、データ量の少ないデータは、衛星中継器上で衝突する確率が少ないので、ランダムアクセス方式となり、データ量の多いデータは、衛星中継器で衝突する確率が高いため予約方式となり、回線効率の向上が図られる。(Fig. 12)

3) アナログデータ伝送回線

本回線は、地方局の地震・火山等の観測に用いられている各種センサ及びテレメータ等のアナログデータを伝送する回線である。

一般にアナログデータを伝送する方法としては、アナログのまま伝送する方法と、デジタルに変換して伝送する方法がある。アナログデータのまま伝送する場合には、専用チャンネルを割り当てて伝送する必要があるが、局数が多くなると衛星中継器の所要帯域幅が広がりネットワークの構成が困難となる。

このデータは常時連続して伝送する必要があるため、回線構成等をできるだけ簡単にしなければならず、このためアナログ/デジタル変換した後、PA/TDMAで伝送する。(Fig. 13)

この場合、送信側はあらかじめ決められたタイムスロットにデータを送信し、受信側では規則的に送られてくるデータを受信して、必要な処理を行い連続データとして再生する。

5.4 ネットワークの容量

1) デジタルデータ回線

1局当たりの平均伝送時間を1分として、地方局(200局)からのデータを10分間で集信するとした場合、データの伝送速度X (bps)は、

$$X(\text{bps}) = 200 \times 4800 \times 60 / (10 \times 60)$$

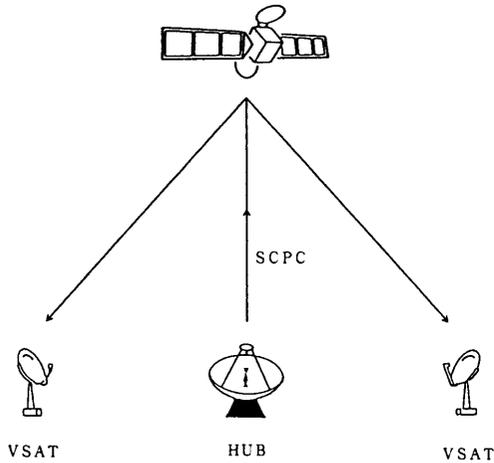


Fig. 11 Broadcasting Network

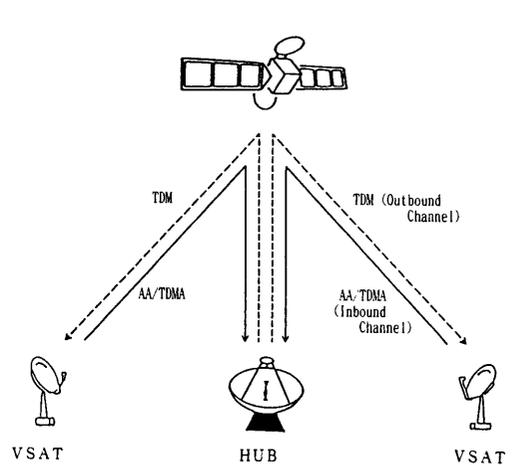


Fig. 12 Digital Data Network

=96000bps(96kbps)

となる。

これに送信予約時間及びガードタイム等を考慮して、一般に使用されている回線で考えると、64kbpsの回線が2ch必要となる。これに、中継局からの回線制御用として1ch必要になるので、64kbpsの回線は3ch必要となる。

2) アナログデータ回線

アナログデータの伝送速度を64kbpsとした場合、端末からのアナログデータを1回線で10局分伝送することが出来る。(4.8k×10+ガードタイム等≒64k)したがって120局をカバーするためには、64kbpsの回線が12ch必要になる。

3) 同報回線

現在のADESS回線を考慮にいれて、9.6kbps回線を1chとして検討した。

以上の検討結果から回線数をまとめると表-2のようになる。

5.5 衛星中継器の所要帯域幅

所要帯域幅は、変調方式を2相位相変調とし、誤り訂正符号等を考慮に入れて検討した。

各回線の所要帯域幅は次のとおりである。

- 同報回線：SCPC
9.6kbps、2 相位相変調 (BPSK)：約50KHz
- デジタルデータ回線：AA/TDMA
64kbps、2 相位相変調 (BPSK)：約250KHz
- アナログデータ回線：PA/TDMA

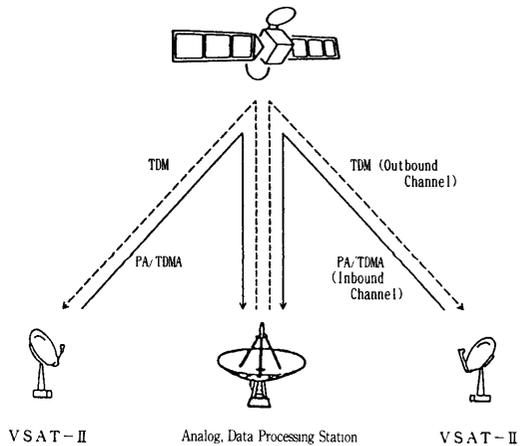


Fig. 13 Analog Data Network

64kbps、2 相位相変調 (BPSK)：約250KHzとなる。

したがって、全体の所要帯域幅は、

$50(KHz) \times 1 + 250(KHz) \times 3 + 250(KHz) \times 12 = 3,800KHz$ となり、約4MHzの帯域幅があれば伝送可能となる。衛星中継器上の各キャリアの配列はFig. 14の様になる。

また、4 相位相変調 (QPSK) 方式等を採用して所要帯域幅を狭くすることも考えられるが、回線設計等詳細に検討を行って諸元の決定を行う必要がある。

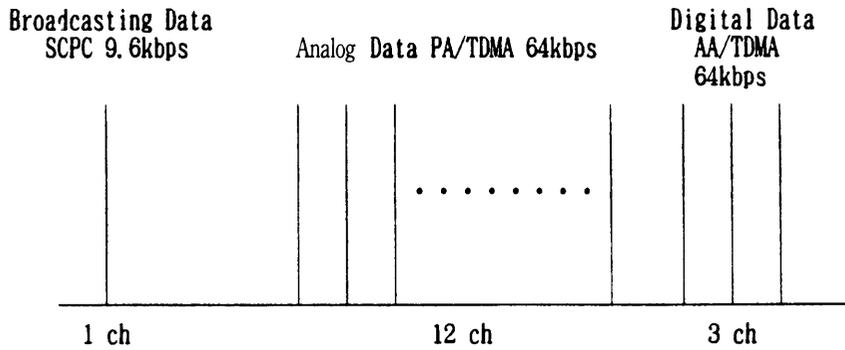


Fig. 14 Carrier assignment on Satellite Transponder

表-2 各局間の回線数

局 間	AA/TDMA 64kbps BPSK (デジタルデータ)	PA/TDMA 64kbps BPSK (アナログデータ)	SCPC 9.6kbps (同報データ)
中枢局 ⇨ 地方中枢局 地方局	1 ch	—	1 ch
中枢局 ⇐ 地方中枢局 地方局	2 ch	—	—
アナログデータ ⇐ 地方局-Ⅱ 処理局	—	12 ch	—

5.6 回線設計

現在VSATシステムでは、12/14GHzの周波数が使用されており、汎用のVSATシステムの諸元をもとに、気象データ伝送回線の回線計算について検討を行った。(表-3)

この回線設計では、降雨減衰を考慮していないので、実際には各地球局における降雨量等を考慮した降雨マージンを含めて計算する必要がある。

5. まとめ

これまでの検討結果からVSATシステムを用いて、現在の気象データ伝送を衛星回線で行うことは、技術的に可能であると考えられる。更に、ネットワークを

構成する地球局設備等は、これから多様化するユーザーのニーズに対応させるため、より柔軟で経済的なものとなることが予想されるので、既存の地上回線を衛星回線で構成することが現在より容易になると思われる。

衛星回線を利用するにあたっては、使用周波数帯、中継器の帯域幅、既存の地上システムとのインターフェース及び地上回線から衛星回線への移行方法等検討しなければならない問題が多く残っている。

本検討では、気象データの伝送形態等は現状のままで行われることを前提としているので、伝送するデータ量及び伝送形態等が変化した場合は、これに適した衛星通信による伝送方式等をさらに検討する必要がある。

表-3 回線設計表

	項 目	単 位	VSAT-I →HUB	HUB→ VSAT-I	VSAT-II→ アナログデータ処理局
(A)	上り回線				
1.	地球局送信周波数	MHz	14,250	14,250	14,250
2.	送信機飽和出力	W	3.0	200.0	3.0
3.	送信機出力バックオフ	dB	5.0	12.0	5.0
4.	送信機出力	dBW	-0.2	11.0	-0.2
5.	フィーダー損失	dB	-0.5	-2.0	-0.5
6.	アンテナ直径	m	1.8	5.5	1.8
7.	送信アンテナ利得	dB	46.5	56.6	46.5
8.	送信EIRP	dBW	45.8	65.6	45.8
9.	自由空間損失	dB	-206.9	-206.9	-206.9
10.	アンテナポインティングエラー	dB	-0.5	-0.1	-0.5
11.	衛星G/T	dB/K	0.0	0.0	0.0
12.	上り回線C/T	dBW/K	-161.6	-141.4	-161.6
(B)	下り回線				
1.	衛星送信周波数	MHz	12,500	12,500	12,500
2.	衛星飽和EIRP	dBW	49.5	49.5	49.5
3.	出力バックオフ	dB	15.0	15.0	15.0
4.	衛星EIRP	dBW	34.5	34.5	34.5
5.	自由空間損失	dB	-205.9	-205.9	-205.9
6.	アンテナ直径	m	5.5	1.8	5.5
7.	アンテナポインティングエラー	dB	-0.1	-0.4	-0.1
8.	受信アンテナ利得	dB	55.1	45.3	55.1
9.	受信雑音温度	K	246.0	278.0	246.0
10.	地球局G/T	dB/K	31.2	20.9	31.2
11.	下り回線C/T	dBW/K	-140.3	-150.9	-140.3
(C)	トータルC/T	dBW/K	-161.6	-151.4	-161.6
(D)	ボルツマン定数	dBW/K	228.6	228.6	228.6
(E)	トータルC/N。	dBW/K	67.0	77.2	67.0
(F)	所要 C/N。(BER:10 ⁻⁶)				
1.	64 Kbps 1波伝送	dB・K	55.1	55.1	55.1
2.	9.6 Kbps 1波伝送	dB・K	—	46.9	—
(E)	マージン				
1	64 Kbps 1波伝送	dB	11.9	22.1	11.9
2	9.6 Kbps 1波伝送	dB	—	30.3	—

*使用パラメータ

- ・使用周波数帯 12/14 GHz (Ku帯)
- ・衛星
 - EIRP 34.5 dBW
 - G/T 0.0 dBW/K
 - 静止位置 140° E
- ・中枢局、地方中枢局 (アナログデータ処理局)
 - アンテナ径 5.5 mφ
 - EIRP 65.6 dBW
 - G/T 31.2 dB/K
- ・地方局 (VSAT-I, II)
 - アンテナ径 1.8 mφ
 - EIRP 45.8 dBW
 - G/T 20.9 dB/K

謝 辞

本検討を行うに際し、御指導、御協力していただいた気象衛星センター施設管理課、桜井課長、松田調査官、杉沢係長ならびに施設管理課員に感謝の意を表します。

《参考文献》

- 宮 憲一：衛星通信工学（1974）、丸善
宮 憲一：衛星通信技術（1981）、電子通信学会
西田昌弘：国際通信システムの基礎知識（1986）、丸善
榛葉 實、進士昌明：電波応用工学（1986）、オーム社
小野欽司：国際通信（1990）、丸善
NEC技報：Vol. 41、No. 6、VSATシステム特集
（1988. 7）
三菱電機技報：Vol. 65、No. 10、宇宙開発特集（1991.
10）
更田博昭、正村達郎：電子情報通信学会誌（1989. 1、
Vol. 72）
日本電気編：静止運輸多目的衛星に係わる地上系シス
テム調査 成果報告書（1990）