CCIR 第 4 研究委員会(宇宙通信)と アメリカの宇宙通信実験計画

NHK 技術研究所 藤 田 徳 弥

本年春、アメリカで開かれた CCIR 宇宙通信委員会の模様をのべ、この会できめられた宇宙通信用の周波数帯、地上マイクロ回線との共用の問題、また 2 段全世界中継のやり方、人工衛星からの直接放送の問題にふれ、アメリカの通信衛星実験計画の概要とアクチブ中継、パッシブ中継についての解説をなし、最後に地上局委員会の活動についてのべてある。

1. CCIR 第 4 研究委員会

この春、アメリカのワシントンで開かれた CCIR の第 4 研究委員会(宇宙通信委員会)に出席した。

この委員会は宇宙通信に関する技術基準についての意見をまとめるためのもので、今回がはじめての会合である。現在、宇宙通信についてはアメリカがもっとも実力があり、したがって、この最初の委員会がアメリカのワシントンで開かれたことも、意義があるといえよう。

参加した国は 28 개국で、いつも CCIR に出席している、かなりの後進国まで集ったわけで、参加者総数は 200 名くらいであった。宇宙通信ということは現実に目の前にせまった問題で、出席した人は各国の相当な大物であり、各国ともこの問題の国際的な重要性を十分に認識していることが認められた。この委員会に提出されたドキュメントの主なものはイギリス、アメリカ、フランス、日本などで、あとはドイツ、カナダが若干出しており、ソビエトはたった 1 件出している程度で、重大な問題ではあるが各国とも十分な資料はまだ持っていないという現状のようであった。

会議の期間は 3 月 12 日から 23 日までの 9 日間で、ワシントンの国務省で行なわれた。これは、新しく増築された非常に大きな立派な建物で、中に国際大会議場もあるし、小さなグループに分かれて会議をする室が数室あり、このような会を行なうには好都合のところであった。アメリカもこの会議を重要視して、12 日の開会式には副大統領ジョンソン氏が来てあいさつをされ、大へん盛大であった。

この会議の目的は、将来の宇宙通信の周波数割当方針を作ったり、国際間の技術上の調整、連絡をすることを

ねらいとしているが、今回は、はじめての会合だったのであらかじめ重要なこと、あるいは考えられるだけのことを考えて、将来にそなえようということであった。

まず宇宙通信をやるにはどういう問題があり、いまからどのようなことをきめておかないと将来、混乱がおきるだろうか、また現在までの資料、つまり地上で使っているマイクロウェーブ多重回線の方式、電波伝はん、テレビの遠距離伝送の問題などの研究成果を、どのように取り入れて行くかということ。それから、宇宙通信独特のおこり得る問題を考えておき、ある規準を決めて行くということである。

提出したドキュメントの数からいっても、日本は世界で第 4 番目で、宇宙通信に対してかなり積極的だったといえる。ソ連からも 13 人ほど出席した。

2. 5 つのサブグループに分かれて

それで、提出されたドキュメントは、いろいろな種類のものがあるので、それを整理すると、おのずからこの委員会での取り扱い問題の区分けが出てくる。チェアマンはイタリーの Ranzi 教授であったが、これをつぎつぎにやっていると時間がかかるので、相談の結果つぎの 5 つのサブグループに分けた。

(サブグループ A)

人工衛星を中継局として使って、地上同志の通信をする問題。人工衛星から直接放送をする問題。

(サブグループ B)

地上と人工衛星船との通信、衛星船同志の通信の問題、テレコマンドなどの補助装置用の狭帯域通信の問題。

(サブグループ C)

航海衛星、気象衛星についての問題。

(サブグループ D)

電波天文学、つまり地球以外から来る電波の観測。

“CCIR SG 4 held in Washington and the satellite communication project of NASA” by Tokuya Fujita.

写真 1 米国防務省国際会議場での開会式、ジョンソン副大統領の挨拶

(サブグループ E)

電波の伝はん特性、ノイズの問題。

ということになる。このように分けると、どの問題でもこの中に含まれてしまうことになる。

サブグループ A は、ハイキャパシティの多重通信を行なうもので、B は通信のキャパシティの多くないものである。また B は打ち上げた人工衛星のテレメータリング、地上からの指令、制御などを含んでいる。サブグループ D は、地球外の天体からの電波の観測に人工衛星の通信がじゃましてはいけなないので、これに対する処置の問題である。サブグループ E は、伝搬特性の問題、ノイズの問題で、伝搬関係の委員会は宇宙通信以外に専門の委員会があるので、宇宙通信独特の問題をとりあげて、他のスタディグループと協力して研究することになるので、いろいろな問題をみつけるということが主となる。

アメリカはもちろん、イギリスも非常に熱心で、とくに宇宙通信の周波数共用の問題、伝送基準の問題などについてのレコメンデーションの草案は、イギリスが作って持ってきた。しかしこの 5 つの小委員会でみんながいちばん興味を持ったものは、やはりサブグループ A で、これは人工衛星を中継局として多重通信やテレビの中継を行なう場合の問題である。これには、いちばん多くの人が出席して、筆者もこれに出たわけで、つぎにそのことをかんたんに紹介する。

3. 100 Mc~1 Gc をコントロールなどに、 1 Gc~10 Gc を広帯域通信に

人工衛星は電離層のはるか上の方にあるので、地上か

ら通信をするには電離層を容易につき抜ける電波でなくてはならないし、また大気中で減衰してしまう周波数ではいけない。そういうことから、地上から対衛星通信に使うに適した周波数は大体 100 Mc~10 Gc の間ということである。これは電波の伝搬特性の問題と、現在の技術の問題から、この範囲がよいというものである。

電離層を垂直につき抜けることなら 10 Mc 以上の電波でよいが、衛星が水平線の近くに来たときは電離層を斜につき抜けることになり、また宇宙雑音の問題、とくに北極の近くではオーロラによるノイズを受けないように 100 Mc~10 Gc ということになる。このように低い周波数の方は、電波の伝搬特性とノイズで決まってしまう。

電離層を含めて、アトモスフェアーという言葉で呼んでいる（トロポスフェアーと、アイオノスフェアーを合せて）が、これをつき抜けるときに減衰が少ないことで周波数の限界が決まってしまう。周波数の上の方は対流圏の中で、雨などで大きな吸収を受けることで決まる。そういうことからいえば、20 Gc ぐらいまでは使えそうであるが、現在の通信機の技術からいうと、地上から遠い衛星に届かすためには強い電力の電波を出さなくてはならず、また衛星の方からも、大きな電力で強い電波をおろしたい。

地上の送信機についても、10 Gc 以上で大きな電力を出すことは、寸法の小さなもので大きな電力になるので、現在の技術では困難だから、100 Mc から 10 Gc の間で考えようということになった。

しかし、人工衛星通信の中味の広帯域通信を考えると

テレビを送り、多重電話回線を送るとなると、低い周波数は向かない。それで広帯域通信、つまり多重電話とかテレビジョンのような中継には、1 Gc~10 Gc の間を使う。

また、100Mc から 1 Gc については、地上からの指令、衛星からのテレメータリング、このなかには、たとば不用電波が出たときに、これを地上から止めるといような制御にも使おうというのである。もう一つ、トラッキング（追跡）に都合のよい電波を出していないのではならないので、その用途には 1 Gc 以下 100 Mc までの周波数を使おうというのである。

このトラッキングは、まず衛星から電波を出して、それを地上のアンテナが追跡するのであるが、衛星につけるアンテナは、無指向性が望ましい。無指向で能率よく電波を出すには、低い周波数の方がよいことと、また地上のアンテナがはじめ衛星の電波をさがすとき、あまりシャープなアンテナでは、見つかりにくい。受信アンテナで受ける電波のエネルギーは、開口面積の大きい方が大であるが、その割合に指向性が鋭くない周波数といえば、低い周波数ということになるから、テレメータ、テレコマンドと同じような 100 Mc から 1 Gc の電波を使うことになっている。

したがって広帯域通信には 1 Gc から 10 Gc を使うことになり、信号通信などの狭帯域通信には 100 Mc から 1 Gc を使うという、ざっとしたことが決まった。それ以上の細かいことになる、今すぐにきめるということにはならない。

4. 地上の固定マイクロ通信周波数と共同

それで 1 Gc~10 Gc を広帯域通信に使うことになると、地上で使っているマイクロウェーブと混信をおこす危険がある。それで地上通信に使っているマイクロ通信の周波数とちか合う場合はどの周波数をえらべばよいかということになるが、固定の見越しマイクロ通信回線の周波数と共用するのが、いちばん害がないということである。地上ではマイクロウェーブを、固定の見越し通信以外に移動通信、ラジオロケーション、スカット通信（山越え、不可視範囲の通信）などにも使っている。このようなものは、宇宙通信との間の混信をさけることは、なかなかむずかしい。

見越し範囲のマイクロ固定通信は、送受信の場所が固定していること、比較的小電力送信機で指向性の非常に

第1図 地宙通信の上一字混信経路 (a, b, c, d) 角仰 ϕ

鋭いアンテナを使っているから、これと宇宙通信の周波数を共用するのは、やりやすいであろうということである。宇宙通信の周波数としては 1~10 Gc を CCIR 第4研究委員会としては支持しようということである。しかしその決定は来年1月ニューデリーで開かれる CCIR の本会議で決められるわけで、第4部会ではそのレコメンデーションの草案だけをつくった。

そこで、地上のマイクロウェーブとの共用の問題であるが、CCIR としては、すでに地上のマイクロ回線用としてレコメンドしている周波数がある。それは電話の多重回線と、テレビを送る回線用としての3つの帯域、つまり

2,000 Mc 付近を中心として、上下に 400 Mc

4,000 Mc 付近を中心として、上下に 400 Mc

6,000 Mc 付近を中心として、上下に 500 Mc

を CCIR としてレコメンドしている。

いまアメリカで計画している通信衛星は、この3つの帯域の電波を使うことになっている。NASA のリレー衛星は 2000 Mc と 4000 Mc、テルスターが 4000 Mc と 6000 Mc を使うことになっている。

地上の周波数と共用した場合に、混信をおこすルートとして第1図のように4つがあり、それについて研究しなくてはならないと報告された。地上から強い電波を出してこれを人工衛星で受信するが、一方、地上にマイクロウェーブの局があると、大体つぎのようないろいろな混信のコンビネーションが考えられる。

衛星通信のための地上局からの強い電波のために、地上の固定マイクロに混信が入ってくるについて、現在まである資料をもとにして計算すると、宇宙通信のための局と、現在あるマイクロ局との距離なども簡単に出てきそうであるが、途中の地形によって異なり、またその国の気候などによって時間的な変化がある。このよ

うにマイクロ局と地上局との関係や距離をたんに計算した例もあるが、データ不充分で、決まらない。あとの研究にまつということになった。

マイクロの中継所や、地上局を設置した場所に他の電波が来たときに混信がおきるが、その地点の混信の許容し得る電界強度レベルの勧告原案が作ってある。これは、すでに地上設備の場合も、そのような許容限界がつけられているので、大体その数値に合わせてある。

5. 2 段中継で全世界中継を

それから、人工衛星を使う通信の無線周波数帯域については、将来多重電話回線の標準設計をしなくてはならないので、1チャンネルを 50 Mc にとり、そこで伝送される信号帯域は 5 Mc にしておこうということになった。5 Mc というのはテレビを送るためである。多重通信の場合は電話 1200 回線、テレビはさしあたりモノクロームで、将来はカラー信号も通るように 5 Mc にとっておくことになった。5 Mc というのはアメリカ方式 (525 本 60 サイクル) と、ヨーロッパ方式 (625 本 50 サイクル) の両方に対してその帯域でよいし、必要以上の帯域をとるとノイズの点その他で損だから、必要にして充分という、ギリギリのところの 5 Mc 帯域帯を決めたわけである。

それから、地上回線になぞらえてレファレンス回路を考えている。遠距離の国際電話回線は 2500 km が標準長さになっているが、宇宙通信の場合には、やはり全世界通信の規模で考えなくてはならないので、世界中どこでも、ポイント通信ができるようにするため、地上から一度電波を出し、それを人工衛星にあてて地上に戻し、地上の中継所で受信し、地上マイクロでつながった送信所からもう一度衛星にあて、地上におとすという 2 段中継をすることを標準とし、このときの標準規格をきめるわけである。

ノイズについては、テレビについてウエートしたときのノイズの値が -52 dB に決めようということになっている。このように、すべて全世界中継という大きな規

模で物を考えるのである。

したがって普通の地上通信だとアメリカとかアジアとかのゾーンに分かれているが、空の方からいけば世界中同じことになってしまうので、ゾーンは 1 つに考えられてしまう。そのため世界的に通信方式を統一する方向に向かっている。

6. 人工衛星から直接放送の夢

つぎに興味のあるのは、人工衛星から直接放送をしようという問題である。これは昨年あたりからいい出されたことで、すでに昨年開かれたバリの URSI の会議でも、アメリカから資料が提出されている。アメリカから出されたドキュメントは、人工衛星にかなり強力な送信機をのせて、これから放送をしようというものである。地上の送信機から電波を出して人工衛星で中継をするものであるから、大きな中継機を考えればよい。そこから放送して、地上の受信者に受けさせようというものである。

この場合、地上の普通の放送受信者に受けさせるものだから、たとえばテレビについて考えてみても、相当に電界強度が強くないと受からない。また一般の受信者は大きなパラボラアンテナを持っているわけではなく、人工衛星を追いかけることもできない。

この場合の人工衛星は静止衛星で、24 時間で赤道の上を円形軌道でまわり、地球から見ると相対的に止まって見えるようなものを使おうというのである。この場合、電源電力を計算してみると、人工衛星には数 10 kW の電源をのせることになる。

この放送は上から下に、ほとんどまっすぐにおろすのであるから、電離層をつき抜けさえすればよく、17 Mc くらいから上の短波、100 Mc 近所の FM 放送、その上のテレビジョン放送など、どれでもよく、また同時にでもよい。このような人工衛星を使えば、1 つで地球の 1/3 をカバーできることになる。

フランスから出たドキュメントは、人工衛星に大きな送信機をつける代りに、地上に大きな送信機をおき、アンテナの等価開口面積は数百メートルにもなるような高利得アンテナを使用する。これはたくさんのアンテナを位相コントロールしてできるわけである。このようなアンテナを使って、地上から鋭い電波を出し、いま計画しているエコー衛星のようなものを反映体に使おうというものである。これには電波を反射するブリズムのようなものをたくさんはりつけておき、これに電波をあてるとちらばらずに、

第 2 図 基準回路の構成

電波をあてた方向にもどってくるような光学的になぞらえたものを使おうというものである。このようなものを使えば、地上で 10 MW の送信機で 10 cm の電波を出せば、実現できないことはないだろうというものである。

このように、いろいろ技術上困難な問題があり、今すぐに議論する問題ではなさそうで、今後の技術発展に伴って、さらに研究しようということになった。

7. アメリカの通信衛星計画

人工衛星にはアクチブサテライトとパッシブサテライトがある。パッシブの方は地上からの電波の反射を利用するもの、アクチブの方は衛星の中に中継装置をのせているものである。このどちらにも利点、欠点があり、用途によりどちらがよいという断定はできない。パッシブサテライトというのは電波を反射する風船のようなもので、この方は機械的強度の問題さえかたづけばロングライフで、問題はシンプルである。しかし低い軌道でとばし、伝搬路の長くない場合に向いているものである。1960 年 8 月にあげたエコー 1 形がそれで、直径が約 30m の薄いマイラーの風船にアルミニウムを蒸着して、マイクロウェーブを反射させるようにしたものである。

これをあげるときにはたただんであげ、それをガスでふくらませるのだが、真空中でガスが抜けていくと、もとの状態にしばもうとする。現在は、これがしわになってしまって、満足な通信には使えないわけで、実用になったのはごくわずかの期間であった。これを、いかにして、しばまないようにするかということが、今後の研究問題である。

現在計画中のエコー衛星第 2 形は、ごくうすいマイラーを使い、裏と表にアルミ箔を張ってしばまないようにするものである。ふくらますときアルミのイールド・ポイント以上にのばすようにすると、アルミが堅くなってマイラーがしわになるのに、打ちかつだけの強さができる。

またエコー 2 形を使って、つぎのような実験をやろうとしている。人工衛星を中継に使うときには、どれか 1 つの衛星が送受信局から見える空にとんでいなくてはならない。アトランダムに人工衛星を打ち上げると、うまい位置に衛星がいることもあり、いないこともあるので、規則正しくある間隔をもって、つぎつぎと人工衛星を打ち上げるようにすると人工衛星の数が少なくてすむ。規則正しく、きまった間隔で打ち上げるようにするには、どうするかということで考えられたことは、まず母船として楕円軌道の衛星を打ちあげる。その母船の中に、風船が 3 つ入れてあって、楕円軌円軌道のいちばん高いところにきたときに、第 1 の風船が自分のジェット

によって水平にとび出し、それが円形軌道をとぶようになる。母船と風船とは軌道がちがうので、適当にまわったのち、つぎの風船を打ち出すようにすると、風船同志を任意の角度で打ち出し、風船と風船とを等間隔に保つことができる。今後の実験では、風船同志を 40 度ずつの間隔に保つようにすることを今年中にやりたいということであった。

パッシブ中継に関して、針の細いものをたくさん打ちあげて電波の反射面を作ってやる方法が報ぜられたが、これは地上からのトラッキングというやっかいな問題を除くために考えられたことである。地球をとりまく針のベルトのようなマイクロウェーブの反射体を、ある極限された位置におくようにすると、トラッキングの心配がなくてよいというのである。しかし、これは一種のスカッタ通信であるから、これに伴う波形ひずみと、針が非常に速さでとんでいるので、それに伴うドプラー効果で周波数のひろがりがあるって、伝送帯域幅がおのずと制限されてしまい、 10^6 ビット毎秒の通信がせいぜいだというのである。したがって、残念ながらテレビには向かない。

8. 中継機を積んだアクチブ中継衛星

アクチブ中継衛星の方は、衛星のまわりに太陽電池の半導体素子をたくさんはりつけておき、中にはニッケル、カドミウム電池を入れて、これをチャージしながら使うようにする。また衛星がバンアレン帯を通過するので、ラジエーションエフェクトのカウンタが入っていて、テレメータで地上に測定結果を送る。中継機は進行波管を使い、テレメータやテレコマンドの端局装置などは全部シリコン・トランジスタを使っている。またトラッキングやテレメータ送信用の無指向アンテナをつけているが、これは人工衛星を打ち上げてから飛び出すようになっている。トラッキング用には 136 Mc の小さな送信機を積んでいる。

地球に対する衛星の姿勢は大切なことで、いつも同じ姿勢が保てれば指向アンテナが使える。しかし現在のところでは、それがうまく行かないので無指向性アンテナを使っている。この姿勢をスタビライズするには軸のまわりに自転させるのであるが、リレー衛星ではコイルをまいてときどき電流を流し、地球磁気との相互作用で向きが補正できるようにしてある。姿勢をある方向にきちんと向かせるということは、高度の高い衛星ではきわめて必要なことである。高いところでは地球の視角は小さいし、小さな電力で電波を出しているので、利得の高いアンテナを使う必要があるからである。

テルスターの重さは 80 kg 近いのであるが、リレー衛

星は少し軽い。リレーとテルスターのちがいは、リレーの方は中継機を2個積んでいて、どちらかに切換えて常時1個は働らくようにして、信頼度をあげている。またリレーは地上からの電波を受信して、中間周波でトリップラを使い、周波数を3倍に広げて地上に送るようにしている。このようなことは、将来の通信方式としては、充分考えなくてはならないということが、CCIRの報告にも書いてある。というのは、衛星に積む送信機はそう大きなものはのせられないので、地上との通信のS/Nをよくするには広い周波数帯をとって、周波数スペクトルの方でかせがなくてはならない。

星から地上への通信は、スペクトルが広がった方が得なわけで、そのようなことをリレーの方ではやろうとしている。地上で受けるのには広い帯域のものを低雑音で受ける受信機が必要である。残念ながらテルスターの方はメーザを使うので、25 Mcしか帯域がない。しかしリレーの方は14 Mcの帯域幅で打ち上げて、40 Mc以上に広がって地上に落ちてくることになるので、パラメトリック増幅器を用いた受信機を使って、そのような実験をする。

人工衛星で世界通信をするとすると、地上の送信局からの距離によって衛星の中継機へ入る電波のレベル差が

出てくる。多数の地上局を同時に中継する場合には、よわい電波の方が殺されてしまうので、強い電波による非直線ひずみをおこさないようにする実験を、リレーの方でやることになっている。

9. 地上局委員会の活動

アメリカは通信衛星に対しては、きわめて慎重な態度をとっている。そして、いまやっているのは将来通信衛星ができて、そこで使う方式や、また、どのような現業用の人工衛星を作るかということを決める資料を得るための実験をするのだといっている。そして国際的にそれに協力しようということで、NASAが音頭をとって、地上局委員会 (Ground Station Committee) を作って各国の意志によって、これに参加するようにしている。

すでにイギリス、フランス、ドイツなどがこれに参加して、そのより合いで実験計画をまとめているわけである。それぞれの国は地上局を持って、NASAが打ち上げる人工衛星についての実験に協力できるように努力している。

日本はその点、ちょっと立ちおくれたが、地上局委員会に参加するよう手続きが進められている。

(昭和37年7月11日受付)

(42頁より続く)

その他、微小運動をしらべるには反射鏡を付したコンタクトレンズを用いる方法 (角膜反射の方法にくらべて約8倍の感度¹⁶⁾) などがあるが、いずれもテレビジョン・アイマーカとしては利用しにくい。

6. む す び

テレビ画面の尖鋭度、雑音、妨害などの評価試験を行なうさいに、被験者がどこを注視して評価しているか、注視点 (Center of Interest) 以外の部分は尖鋭度がどの程度必要か、カメラのパン操作や画面構成はどうあるべきかなどは、テレビ技術者や演出者がつねに研究する必要がある問題である。うこれらの問題をしらべるのにテレビジョン・アイマーカが利用できると考えられるので調査を行ない、要点だけをのべたが、少しでも役に立てば筆者の幸いとするところである。(昭和37年3月6日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 16) Lorrin A. Riggs & Floyd Ratliff: Motions of the Retinal Image during Fixation, J. Opt. Soc. Amer. 44, (1954), 315-321.
- 2) Olof Bryngdahl: Effect of Retinal Image Motion on

- Visual Acuity, Opt. Acta, 8, No. 1. (1961), 1-16.
- 3) Ditchburn R. W. & Fender D. H.: The Stabilized Retinal Image, Opt. Acta, 2, No. 2, (1955), 128.
- 4) 12) Elwin Marg: Development of Electro-Oculography, Amer. Med. Association Archives of Ophthalmology, 49, (1951), 169-185.
- 5) H. F. Brandt: The Psychology of Seeing (Philosophical Library, New York, 1945)
- 6) 14) E. Lewellyn-Thomas, N. H. Mackworth & M. R. Howat: The Television Eye Marker as a Recording and Control Mechanism, IRE Trans. M. E., July, 1960, 196-199.
- 同上: TV Tracker Records Eye Focus Points, Electronics, April 22, 1960, 57-59.
- 7) Fenn. W. O. & Hursh J. B.: Movements of the Eyes When the Lids are Closed, Amer. J. Physiol. 118, (1937), 8-14.
- 8) Miles. W. R.: Modification of the Human-Eye Potential by Dark and Light Adaptation, Science, 91, (1940), 456.
- 9) Powsner. E. R. & Lion K. S.: Testing Eye Muscles, Electronics 23, (1950), 96-99.
- 10) A. Ford, C. T. White, & M. Lichtenstein: Analysis of Eye Movements during Free Search, J. Opt. Soc. Amer., 49, No. 3, (1959), 287-292.
- 11) B. Schackel: Note on Mobile Eye Viewpoint Recording, J. Opt. Soc. Amer. 50, No. 8, (1960), 763-768.
- 13) R. Dodge: An Experimental Study of Visual Fixation, Psychol. Monogr. 35, (1907).
- 15) Cyril Rashbass: New Method for Recording Eye Movements, J. Opt. Soc. Amer., 50 No. 7, (1960), 642-644.