

通信系の運用計画と通信途絶現象

宇宙開発事業団 ○稲葉基之, 山脇功次, 原島 治, 首藤泰雄
(株)三菱スペースソフトウェア 若宮正男

軌道再突入実験においては、実験機での計測データは全てテレメータデータとして受信し取得することを計画したが、その中で例えば再突入時にアンテナが曝される高温環境、プラズマによる通信途絶、予想される広い着水範囲等、データ取得の観点においても克服すべき課題が少なくはなかった。ここでは軌道再突入実験における通信・データ取得の設計の考え方とその計画について述べるとともに、実際のデータ取得運用結果を示すこととする。

また、本実験では大気圏再突入時のプラズマによる通信途絶現象が観測されたのでその結果の概要についても述べる。

Design and performance of data acquisition system of OREX and observed RF black out during atmospheric re-entry

NASDA Motoyuki Inaba, Kohji Yamawaki, Osamu Harashima, Yasuo Sudoh
MITSUBISHI SPACE SOFTWARE Co., LTD Masao Wakamiya

At OREX flight experiment, all data collected from on-board sensors were planned to be acquired by telemetry acquisition stations set along the trajectory of OREX vehicle. In this paper, outline of data acquisition system of OREX is shown with its performance including observed RF blackout caused by plasmas during atmospheric re-entry.

1. はじめに

軌道再突入実験では、その飛行中のデータはすべてテレメータデータとして地上あるいは海上の受信局で取得することを計画した。実験の目的からいって当然データの取得がその鍵をにぎっていることとなるため、本実験における通信・データ取得計画においても細心の注意を払ってその開発に当たり、また実際の運用も行うよう計画した。

ここでは、OREXにおける通信・データ取得に関し考慮した点を踏まえてそのシステムを紹介し、併せて実際の運用結果について、大気圏再突入時に観測された通信途絶現象（通信ブラックアウト*）も含めて報告する。

なお、本文中用いた $X + \bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc$ 秒という表現はリフトオフ以降のトータル時間をいうものである。

*一般的に電波が受信できなくなるときにブラックアウトという言葉を用いるが、以下では特に大気圏再突入時の高温プラズマにおける電波の途絶について「通信ブラックアウト」もしくは単に「ブラックアウト」ということとする。

2. 通信・データ取得系のシステム設計

ここでは、実験機搭載系と地上データ取得系についてそれぞれのシステム設計について紹介する。

2.1 実験機搭載系

実験機搭載系についてはFig. 1に示すように、1台のテレメータパッケージとその出力がつながる2台のテレメータ送信機、2台のホイップアンテナ、および1台のレーダトランスポンダおよびアンテナから構成した。

テレメータパッケージは実験機の各センサおよび搭載計算機から種々のデータを集め、PCM化し、2台の送信機へ同一のデータを送出する。PCMのフォーマットについては、全データ領域の4分の1をリアルタイム領域としてリアルタイムで地上へ送信することとし、残りの4分の3はパッケージ内蔵のRAMメモリに記録したデータを搭載計算機からの指令で3倍速で再生・フォーマットへの埋め込みを行わせ送出させた。メモリの記録時間および再生の速度については、1) 大気圏再突入時の通信途絶期間のデータがすべて収録できること、2) 通信ブラックアウト終了後の受信局によるデータ取得可能期間内に確実性を考え再生データが3回以上取得で

きること、から記録時間は211.2秒間、再生時間は3倍速で70.4秒間とした。このメモリ再生機能は、軌道離脱フェーズにおけるGPS実験データの再生でも使用することを計画した。なお、ブラックアウト期間の予測に関しては文献調査での最悪値を用いて設定した。またPCMのビットレートについては、データ点数、必要サンプリングレート、受信機側のRFリンクマージン、およびロケットで開発・製作したコンポーネントを流用することから設計変更・改修の容易性を考慮し10.24kbp/sとしている。なお各温度センサのデータサンプリングレートは0.8秒に1データとなっており、十分な周期であると考えられる。

テレメータ送信機は2台搭載したが何れも295.0MHz、296.2MHzのVHF帯であり、周波数ダイバーシティ、スパンロスの低減、無線局免許取得の容易性、ロケットでの既開発製作品の流用を考慮し、ロケットで使用している周波数でも低い周波数を選定した。テレメータアンテナについては、当初セラミックタイルの下に配置することも検討したが、最終的にはパターンの劣化を避けるため、ロケットで開発製作したホイップアンテナをそのまま流用してOREXの背面に機軸に対し対角線上に2個配置した。(Fig. 1参照)ただし、再突入時の耐高温環境性を持たせるため、断熱材の保護カバーを開発して熱の流入を防ぐとともに、アンテナ単体で再突入時を模擬した熱衝撃試験を行って性能を確認した。またアンテナ配置については、アンテナ放射パターン試験の結果で最も良好なパターンを有する場所を選定し、さらに軌道離脱時のOREX姿勢と地上局との位置関係を考慮し、機体姿勢のシーケンスと併せて電波リンクが途切れることのないよう配置した。

レーダトランスポンダは、種子島・小笠原の地上のレーダ局からの質問パルス(5586MHz)に対して応答し(5636MHz)、地上局ではそのパルスを受信しOREXのその時刻での位置・軌道を測定するためのものである。これにより軌道離脱後に測定したOREXの軌道は、運用時にOREXの着水点を予測するのに用いられたのに加え、飛行実験後の評価解析段階でGPS実験の評価にも用いられた。

なお、再突入ブラックアウト終了後のデータ取得可能時間を引き延ばすため、落下速度減速用のパラシュートを搭載し、高度約20kmで開傘させるこ

とした。これにより着水までで約100秒間、データ取得時間の延長を図ることができる。

2.2 地上データ取得系

地上データ取得系はFig. 2に示すように、大きくOREX軌道離脱時の軌道離脱フェーズの取得系と大気圏再突入時の再突入フェーズの取得系の2つから成り立っている。

軌道離脱フェーズのデータ取得系では、種子島宇宙センターおよび小笠原追跡管制所に設置されたH-IIロケット追尾用の各地上局（中之山テレメータ受信局、増田テレメータ受信局、小笠原テレメータ受信局、野木精測レーダ、小笠原精測レーダ）をロケットの打上げフェーズでの追尾を終了した後使用したのに加えて、野木、小笠原のレーダの計測データからカルマンフィルタを用いてOREXの軌道を推定し、OREXの着水点を予測する装置を開発し、運用に供した。この装置で予測された着水点の位置は、クリスマス局を経由して船舶テレメータ受信局・航空機テレメータ受信局に伝えられ、航空機はその着水点に向けて進路をとるのに使用された。また中之山テレメータ局には、OREXのテレメータデータから計算したOREXの現在位置から、野木・小笠原のレーダ局に対しアンテナ方向を知らせるためのスレーブデータ生成装置が付加された。これは、レーダ局のOREXの捕捉を容易にさせるためのものである。

再突入フェーズにおけるデータ取得系としては、上でも述べた船舶テレメータ受信局1隻、航空機テレメータ受信局1機を使用して冗長系を組み、さらにロケットで使用しているキリバス共和国クリスマス島のテレメータ受信局をバックアップとして使用した。（Fig. 2参照）

船舶テレメータ受信局には、グロストン1千トンの第二静波丸上に、アンテナとして半値幅60度の5素子クロスハムアンテナを4台用意し、アンテナの空間ダイバーシティを考慮して、うち2台を喫水線から10.4m（上部アンテナ）、残る2台を12.5m（下部アンテナ）に設置した。（Fig. 3参照）すべてのアンテナについて、アンテナ偏波は事前のリンク解析で受信レベルが良好だと予想された右旋偏波に設定した。また同じ高さのアンテナ2台は、広い着水予想域に備えてお互いのアンテナパターンを補って120度の広い覆域を確保すべく左右に60度ずらし、OREXの軌道、海面反射の

軽減、船舶の揺れを考慮して上方15度に指向させた。受信機はFig. 4のようにそれぞれのアンテナに対して1台ずつ計4台とし、上部アンテナ2台からは295.0MHzを、下部アンテナ2台からは296.2MHzを受信した。また295MHzの右と左のアンテナ、296.2MHzの右と左のアンテナからの受信データをそれぞれビデオ合成を行い、2台のデジタル・オーディオ・テープレコーダにビデオ合成前のデータとともに記録した。各受信機の受信レベルはペンレコーダに出力させた。

航空機テレメータ受信局にはFig. 3にみるように、航空機MU-300の上部と下部にそれぞれ直線偏波のアンテナを設置し、それぞれから2台の受信機で295.0MHzおよび296.2MHzのデータを受信させる構成とした。（Fig. 5参照）また上部アンテナは上部アンテナ同士、下部アンテナは下部アンテナ同士でビデオ合成を行って、船舶局と同様にDATに記録し、受信レベルはペンレコーダに出力させた。

クリスマス受信局（Fig. 6）は、H-IIロケットの追尾終了後OREXの電波を受信するパラボラアンテナの受信設備であり、295.0MHzのデータを右旋偏波、左旋偏波それぞれで受信しデータを記録するとともに、受信レベルをペンレコーダに記録させた。クリスマス局からはOREX着水予想範囲が約500km程度離れており、アンテナエレベーションも低くなることが予想され通信ブラックアウト後のデータ取得時間が十分取れないことも懸念されたためバックアップとして位置づけた。

3. 通信・データ取得系の運用結果

OREXの通信・データ取得系については、軌道離脱フェーズ、再突入フェーズを通して極めて良好に機能し、データ取得期間を含め予想を上回る成果を挙げた。以下ではそれら運用結果を得られたデータを踏まえて再突入フェーズを中心に紹介する。

Fig. 7はOREXの軌道離脱フェーズから再突入フェーズまでのデータ取得状況を示したものである。

3.1 軌道離脱フェーズ

軌道離脱フェーズにおいては、増田、中之山の両テレメータ受信局のテレメータ受信に始まり、野木、小笠原両レーダによる位置計測および軌道推定、さらに着水点予測が良好に行われた。続いて小笠原に

おけるテレメータ受信、レーダによる位置計測も良好であった。その間OREXの軌道離脱の状況を中之山テレメータ受信局でモニタし良好だったことを確認した。小笠原においては、OREXの軌道がアンテナ天頂付近を通過したため、アンテナが追従できなくなるレーダの方は一端追尾を中断し通過後再び追尾を行ったが、テレメータ受信に関してはアンテナビーム幅が広がったため受信レベルは落ち込んだもののデータは連続的に取得できた。

レーダによる着水点の予測も良好に実施され、結果はFig. 8に示す位置となりクリスマス局へはインマルサット回線、船舶受信局と航空機局へは懸念された電波障害もなくクリスマス局からの無線により良好に伝えられた。

また、軌道離脱フェーズにおいては、テレメータパッケージのメモリに収録してきた日本上空から直接見えない軌道上で実施した宇宙用GPSに関する実験データを、搭載計算機からの自動コマンドで再生・送信させた。結果的に増田局で受信し始めたX+5945秒から小笠原局でロスするX+6794秒までの849秒間に12回以上受信することができた。

なお、実験機は本軌道離脱フェーズ中も軌道離脱用の姿勢やGPS実験用の姿勢をとる等姿勢変更を行う必要があるため、アンテナ配置、アンテナ放射パターンから通信リンクの途切れない姿勢変更を実施し初期の目的を達成した。

3.2 再突入フェーズ

(1) データ受信体制

再突入フェーズにおいては、Fig. 8のようにテレメータ受信局を配置し、OREX大気圏再突入時のデータ取得に臨んだ。基本的な考え方は、1) 受信アンテナゲインは比較的高いものの機動性に優れない船舶テレメータ受信局は、OREXの接近をほぼ定位置にいて待ち受けて着水予想域の全域をカバーし、2) 一方の航空機テレメータ受信局は受信アンテナゲインは低いもののその機動性を生かし、種子島からの着水点予測結果を受けた後予想される着水分散域の中心に近い短軸端の待機点からOREXの方へ接近するよう飛行する、というものである。

待機方法については、船舶テレメータ受信局は船体の安定を図るためX+6910秒に10ktsで方位角270度(東→西)で運行を開始し、OREXの受信を待ち受けた。また航空機テレメータ受信

局については、ロケットのリフトオフを確認した後X+35分でクリスマス島の滑走路を離陸し、X+1時間30分頃にFig. 8に示す位置、高度32、000ftの待機場所にてOREX受信に備えた。

クリスマス島受信局についても、予測されるOREX軌道に基づいて、アンテナを待ち受け角度に設定し待機した。

(2) データ受信状況全般

Fig. 9に再突入フェーズでの各テレメータ受信局のデータ受信時間およびデータメモリの記録時間・再生時間の概略を示す。受信時間としては航空機テレメータ受信局296.2MHzによるキャリアの確認が最初であり、X+7229秒、高度約160kmであったと思われる。(ただしその後一端キャリアロックができなかった状態が続いた。)PCMデータとしてはその後X+7294秒、高度約132.5kmから取得することができたが、これは当初の計画であったデータ取得高度で120kmからという要求を上回るものであった。通信ブラックアウト前のデータについては、船舶局、航空機局、クリスマス局それぞれすべての受信機において問題なく受信できた。

また、大気圏再突入時の高温プラズマによる通信ブラックアウトについても、船舶局、航空機局、クリスマス局全受信局で観測された。詳しい内容については後の章で述べることとする。

ブラックアウト後のデータについては、予測通りクリスマス局、船舶局、航空機局の順でキャリアがロックオフしたが、最終的に航空機局に関してはOREXの着水直前まで取得できた。これについても予測を遙かに上回る結果であった。

PCMデータに関しては、ブラックアウト期間中を含む高度120.2kmから36.9kmまでのデータがテレメータパッケージのメモリに正しく記録され、その後再生も予定通り行われた結果高度132.5kmから高度ほぼ0kmまでの約682秒間のデータが連続的に取得できた。記録・再生データに関しては1回の再生時間が70.2秒であるため、当初計画した最低3回の受信をこれもまた上回り、再生開始のX+7537秒からX+7976秒までの間に約6.2回受信できた。

(3) データ受信結果その1(リンク解析との比較)

Fig. 10には、一例として船舶局とクリスマ

ス受信局の受信結果を飛行後のリンク解析結果とともに示した。船舶局の結果では、解析ではブラックアウトを考慮していないためその期間が観測データと異なっているもののその他の期間では傾向としては比較的良い一致を示した。クリスマス局に関しては解析結果を下回る受信レベルになったが、原因としては、1) ブラックアウト直後はアンテナを手動で追尾しており、アンテナビームの中心でOREXを捉えていた訳ではないこと、2) アンテナエレベーション角が $X+7500$ 秒付近で 6.5 度、 7570 秒付近で 3.0 度と低く、さらにOREXの方向である南には建屋が建っておりその影響が受信レベルに現れたもの、などと推定される。

航空機局については、次に述べるフェージングによる受信レベルの変動が激しかったものの、リンク解析結果よりは 10 dB 程度強く受信された。これは、航空機のアンテナゲインが解析値よりも高かったことなどが挙げられる。

(4) データ受信結果その2 (受信時のフェージング)

データ受信時の受信レベルに影響を及ぼす要因の一つとして無視できないのがフェージングである。フェージングの発生メカニズムとしては、OREXから送信された電波が直接受信局のアンテナで受信されるだけでなく、海面で反射して受信局に到達する電波も存在するためそれらの電波の相互干渉によって発生するものと考えられる。従って受信局での受信レベルは直接波と海面反射波との位相によっては強めあったり、弱めあったりするため、設計段階のRFリンク解析でどの程度フェージング・マージンをみる必要があるかが重要なポイントとなる。

Fig. 11に船舶局と航空機局それぞれの受信レベルのペンレコーダ出力の一例を示すが、基本的な傾向として船舶局のフェージングは航空機局のフェージングに比べて周期が遅いことがわかる。その理由を明らかにするため、フェージングの周期をシミュレーションで算出した結果がTable. 1である。計算した時刻は航空機の位置、高度、飛行速度、飛行方向の明らかになっているところを選んだものであり、地球の丸みも考慮して計算した。これによっても、船舶局のフェージング周期は航空機局のフェージング周期と比べて極めて遅く、約 20 秒に一回程度起こることがわかる。航空機局のフェージングについては、ペンレコーダからその周期を読

みとりシミュレーション結果と比較してみたところ極めてよく一致することがわかり (Fig. 12)、航空機局における受信レベルの短周期の変動は海面反射によるフェージングによるものと結論づけられた。ただし、OREX着水直前のフェージング周期についてはシミュレーション結果と合っていない。これについてはシミュレーションで使ったOREXの推定落下速度と実際の落下速度とが違っていること等も原因として考えられる。なお、フェージングによる受信レベルの変動幅としてはほぼ 20 dB 以内と観測されたが、 10 秒から 20 秒程度に一回は 30 dB 以上落ち込むこともみられた。これは、航空機局のアンテナもOREX搭載アンテナもともに直線偏波アンテナによることがその原因とも考えられるが、落ち込む時間が極めて短く (0.1 秒程度)、 295.0 MHz と 296.2 MHz の2つの周波数で落ち込む時刻がずれているため、周波数ダイバーシティでビデオ合成を行った結果、問題なく復調されたものと考えられる。

また、船舶局のフェージングについては際だった周期は見られないものの、ところどころ数十秒に一回程度最低受信感度ぎりぎりまで受信レベルが落ち込む現象が見られた。これも海面反射の影響と思われるが、船舶局のアンテナビーム幅が比較的広く、エレベーション角が 20 度 ~ 0 度 (最終的には見通し外) と低いところでの受信を余儀なくされたことで海面の波の影響を受け安かったこと等がその原因と考えられる。

船舶局、航空機局ともにフェージングによる受信レベルの変動幅としては、通常 $15\sim 20\text{ dB}$ 、場合によっては数十秒に一回程度 30 dB 以上にもなることもあるものの、従来から使用されてきた周波数ダイバーシティ、空間ダイバーシティ、偏波ダイバーシティ等の対策を講じれば問題ない程度のものであることがわかった。RFリンク解析上は 30 dB ものフェージングマージンをとることは現実的ではないと思われるため、このような対策を講じることの重要性が改めて認識される結果となった。

4. 大気圏再突入時の通信途絶現象の観測結果

大気圏再突入時のプラズマによる通信途絶現象すなわち通信ブラックアウトは、米国でも 1960 年代始めから再突入時の通信における主要課題として研究が行われてきた。ここではそういった米国での

観測結果も踏まえてOREXで観測された大気圏再突入時のプラズマによる通信ブラックアウト現象について報告する。

4.1 ブラックアウト観測結果

Fig. 13 (a)には、船舶、航空機、クリスマス島の各テレメータ受信局で観測されたブラックアウト前後の受信レベルのペンレコーダ出力を示し、(b)にはテレメータデータで取得されたGPS受信機の受信レベルを示した。またTable. 2にはブラックアウト開始時刻およびその時点での高度推定値を数値として示した。なお、受信レベルが受信機のノイズレベルまで落ちたところをブラックアウトとした。ただし、高度に関しては推定軌道の誤差が1~2 kmはあると考えられるので注意を要する。

4.2 考察

(1) ブラックアウト開始/終了高度の予測と観測結果

ブラックアウト開始は、295.0 MHz、296.2 MHzのVHFに関しては船舶局、航空機局、クリスマス局とも100 km弱より開始しているが、GPS受信機のUHFである1575.42 MHzに関しては約93 kmから始まっている。

ブラックアウトの開始/終了の指標については米国の数々の文献⁽¹⁾にもみられるように、従来から高度-速度線図上に表現されてきており、OREXにおいても高度-速度線図上に飛行軌道およびブラックアウトの領域を示したのがFig. 14である。円弧上に示した2本の線はこの領域より下側に飛行経路が入る時にブラックアウトを起こすという境界である。ここでhighのラインは、調査した文献の範囲ではVHFにおいては（あるいはUHFにおいては）これより上でブラックアウトを起こすことはないという境界であり、lowのラインは同じくこれより下回る時VHFでは（あるいはUHFでは）必ずブラックアウトを起こすというラインである。

（ただし、米国RAM-Cのケースでは、lowラインより下からブラックアウトを開始しかつ終了している。⁽²⁾）OREXではVHFもUHFも共にhighラインとlowラインの間でブラックアウトが開始する結果となった。データのメモリへの記録開始時間の設定においては、設計条件として最悪

ケースのhigh側を考慮したわけであるが、基本的にはhigh側の条件を考慮するという設計方針をとったことが正しかったということがわかる。ただしブラックアウト開始時刻のそれ以上のより厳密な予測という意味では、機体の形状、大気の状態、機体の材質、アンテナの形式、地上局の方向その他様々な要因がかかわり合うものと思われるため極めて困難かと思われる。従って、今後もFig. 14に示したブラックアウト領域の予測範囲に従って設計を行う方が無難であると思われる。

ブラックアウト終了高度については、次に述べるような理由で、その高度等が明確に推定するのが難しいと考えられる。

船舶局、航空機局のブラックアウト終了時に関しては、Fig. 13 (a)からも見て取れるように受信レベルが急峻に立ち上がっているが、これは受信機のキャリアサーチによりロックまでに多少の時間がかかっていることによる影響と考えられる。従ってプラズマによるブラックアウトはもう少し前で終了していたものと思われる。また、クリスマス局のブラックアウト終了時に関しても、種子島でのアンテナ指向方向予測計算結果に基づいてアンテナを駆動させていたため実際の軌道とのずれにより再捕捉が遅れたと推測される。ちなみに、飛行後推定された軌道とこの予測計算結果を比較すると、ブラックアウト終了時点でアジマス方向で約10度、エlevation方向で約0.6度のずれが生じており、クリスマス局のアンテナビーム幅が片側3.5度程度であることを考えれば十分有意差があるといえる。

以上のような理由により、VHFに関しては受信レベルより読みとった高度よりも若干高い高度でブラックアウトが終了したものと思われる。

GPS受信機のブラックアウト終了高度については、データが得られていない。

(2) ブラックアウト開始高度の電波の周波数による依存性

ブラックアウトはまた周波数が高い方が発生しにくいことが知られており、Fig. 14の(a)、(b)でもわかるように、その発生領域もVHFよりもUHFの方が高度でも低くなっている。実際OREXにおいても、GPS受信機のブラックアウト開始（ロックロス）高度はどのVHF局の高度より

も低くなるという結果が得られ、定性的に一致している。

なお、VHFでの295.0MHzと296.2MHzとの周波数の違いについては、船舶局で若干295.0MHzが早くブラックアウトを開始しているようにも見えるが、両周波数の実験機側のアンテナパターンなどがはっきりしないことなど不確定な要素が多くははっきりしたことはいえないと思われる。

(3) ブラックアウト開始高度の電波の送出方向による依存性

VHFのブラックアウト開始高度については、船舶局、航空機局にはそれほどの有意差は認められないものの、クリスマス局とは時間で約9秒、高度にして約3.5kmほどの隔りがある。この原因として考えられるのが各受信局から実験機を臨んだ時の、ノーズ方向すなわち淀み点方向からの角度である。今、ブラックアウト開始時の各受信局を臨む角度をFig. 15に示すが(ロール方向は無視している)、ノーズ方向からみて航空機局が7度、船舶局が10度、クリスマス局が33度に当たっている。従って、ノーズ部淀み点付近から発生したプラズマシースが、時間とともにノーズ部から広がっていったと考えれば定性的には説明がつく可能性はあると考えられる。定量的な説明が待たれる。

(4) その他

その他、注意深く受信レベルの時間変化を観察すると、ブラックアウト前後で受信レベルに細かい周期のノイズが増えている点、あるいはブラックアウトが1秒弱の間に開始している点などに気がつく。これらの現象については、諸文献でみる結果とも定性的にはよく一致していることがわかった。

5. まとめ

以上OREXにおける通信・データ取得系の設計方針とその具体的な実現方法、および運用結果を示したものであるが、データ整理・解析の時間等が十分ではなかったため、今後課題を残した部分も少なからずあると思われる。今後同様な実験を行うに際し、これらのデータあるいは経験を有効に活用しあるいは再評価していただければ幸いである。

なお最後になったが、OREXの通信・データ取得システムの設計、製作、運用、取得したデータの

処理、解析に携わってこられた関係諸氏諸兄に衷心から感謝の意を表して結語としたい。

参考文献

(1) Proceedings of the NASA conference on communication through plasma as of atmospheric entry and rocket exhaust, NASA SP-52, 1964

Conference on Langley research related to APOLLO mission, NASA SP-101, 1965

STS-1 operational flight profile, NASA JSC-14483, 1980 等

(2) Flight results of a 25000-foot-per-second reentry experiment using microwave reflectometers to measure plasma electron density and standoff distance, NASA TN D-6062, 1970

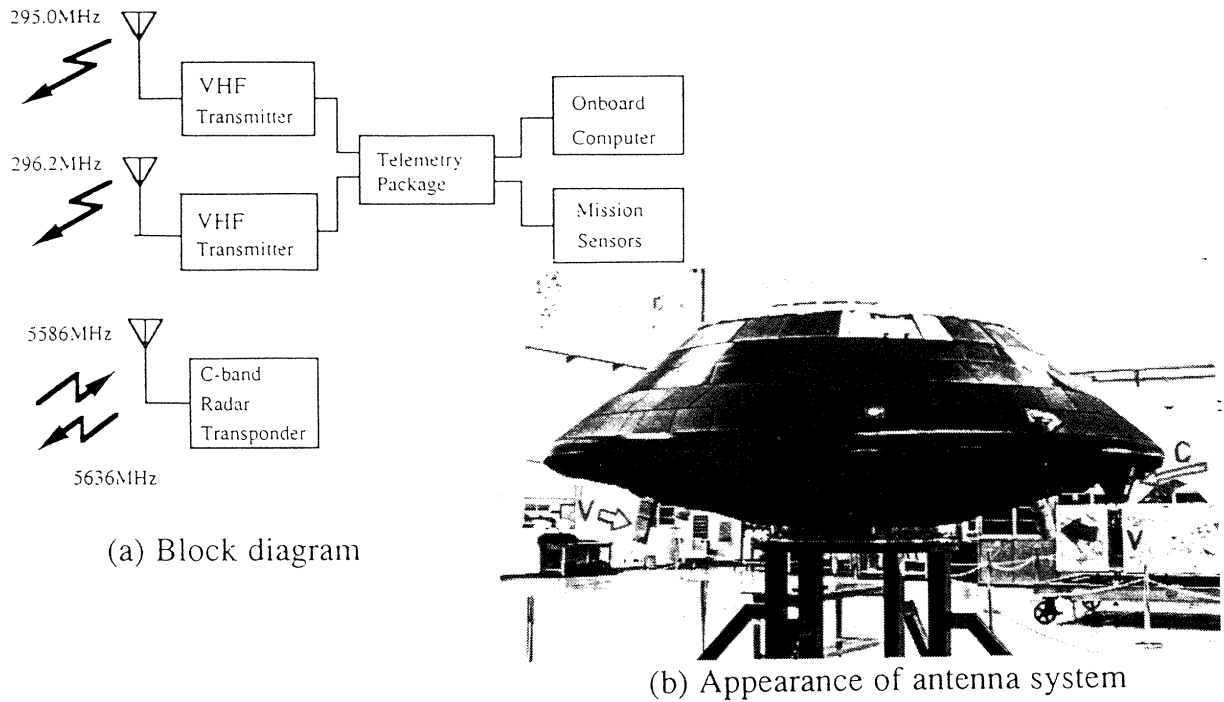


Fig.1 Outline of communication system of OREX vehicle

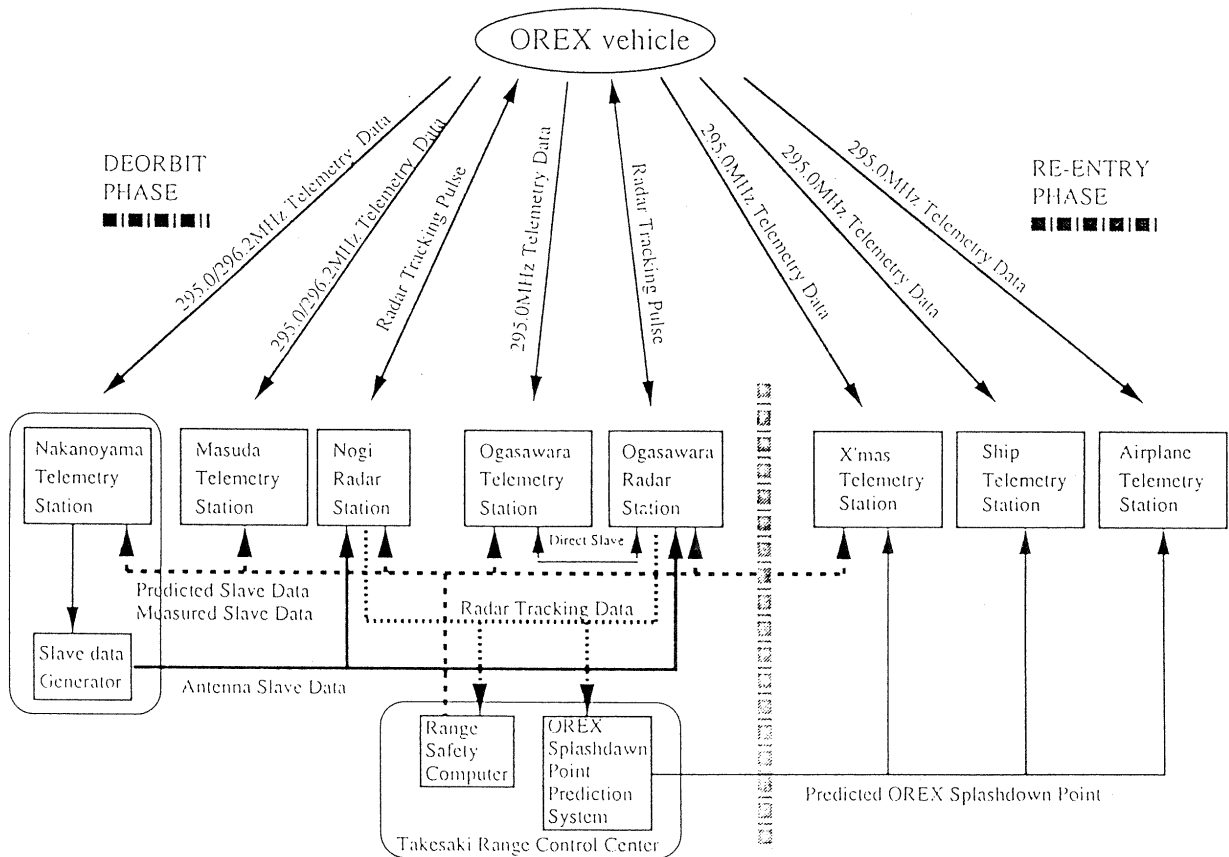
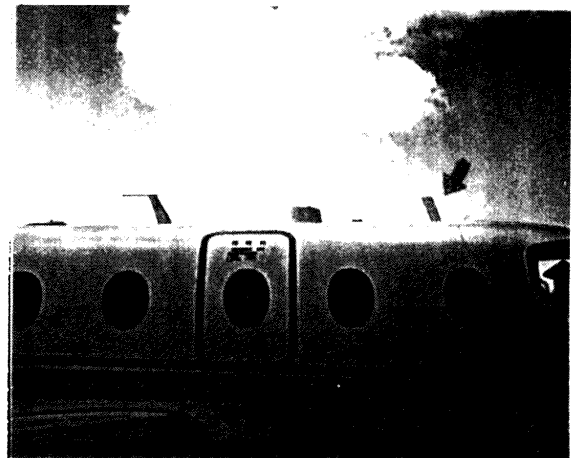


Fig.2 Outline of communication and data acquisition system of OREX flight experiment



(a) Ship telemetry station and its antenna
The ship whose name is DAINI-SEIHA-MARU(2nd calm-wave)
is about 1000 gross tonnage.
Four 5-elements cross-Yagi-antenna were installed.



(b) Airplane telemetry station and its antenna
The airplane MITSUBISHI MU-300,
took its flight from Japan to X'mas island.
2 blade type antenna were installed:
one at the top and another at the
bottom of the fuselage.

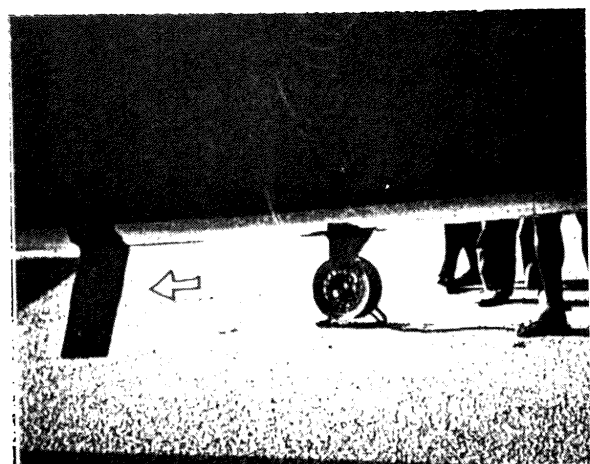


Fig.3 Mobile data acquisition stations

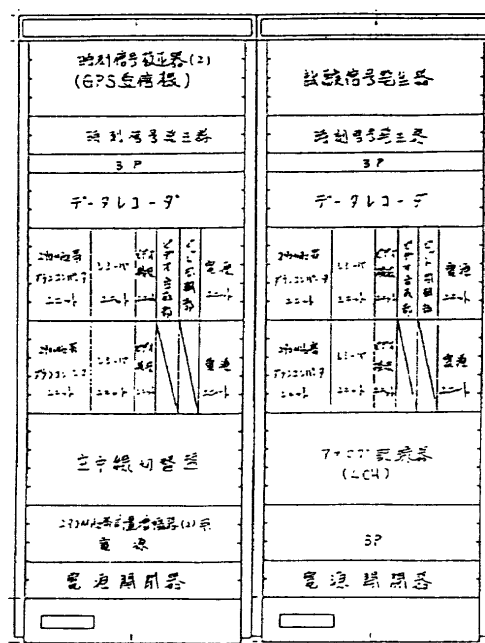
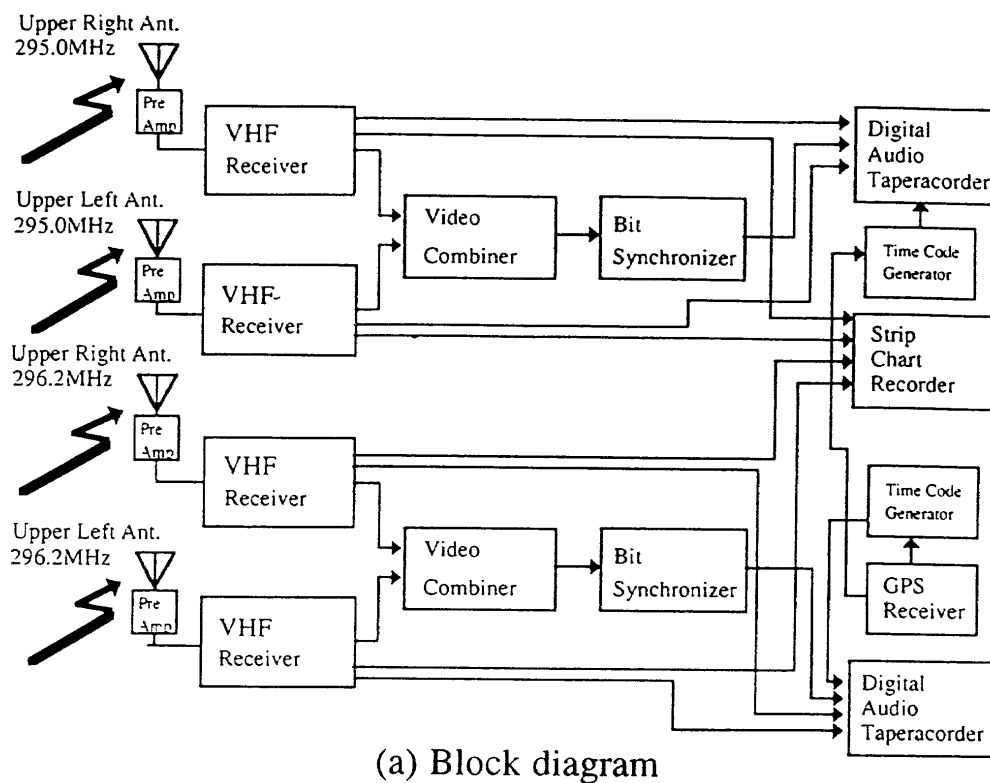
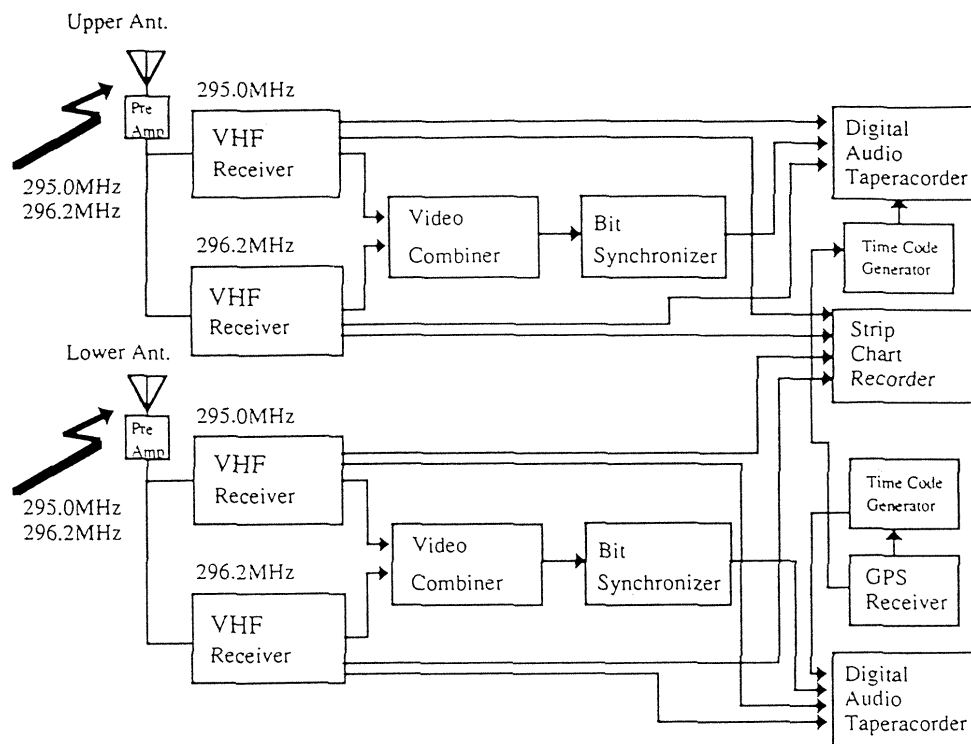
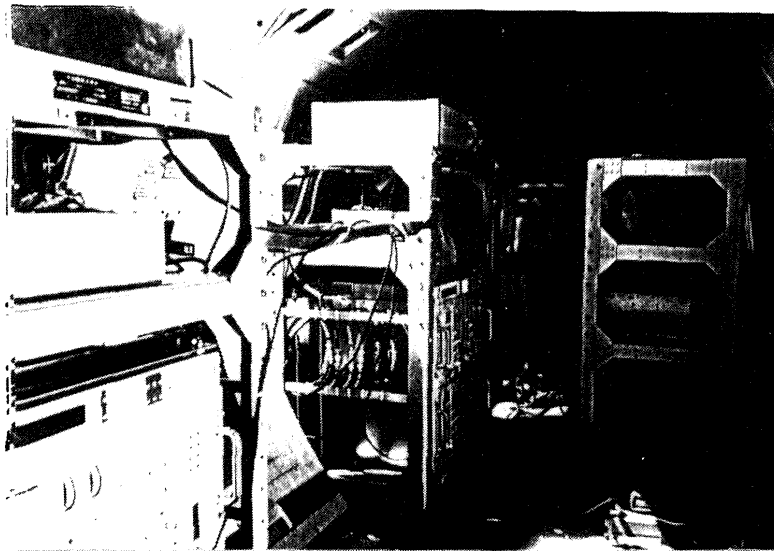


Fig.4 Outline of ship telemetry acquisition system

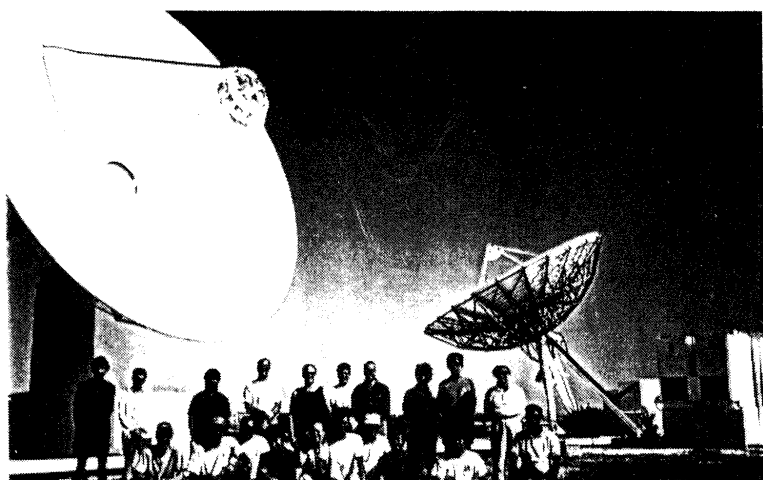
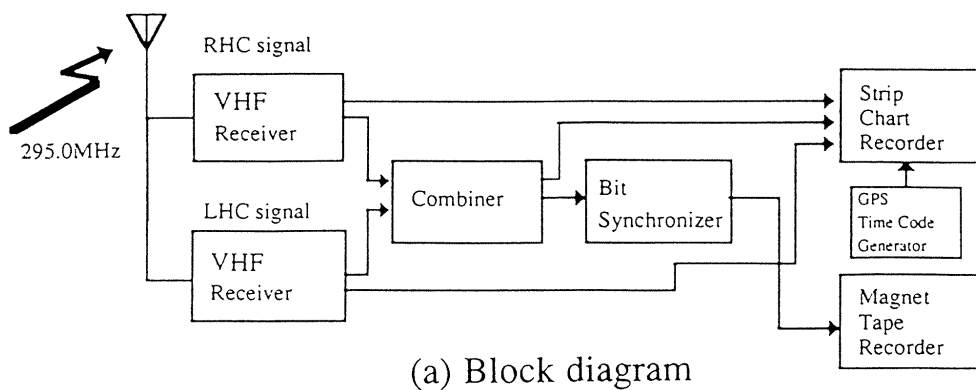


(a) Block diagram



(b) Appearance of data acquisition equipments inside the airplane

Fig.5 Outline of airplane telemetry acquisition system



(b) Appearance of antenna and staff for H-II Rocket and OREX with the blue sky at X'mas island.

Fig.6 Outline of X'mas telemetry acquisition system

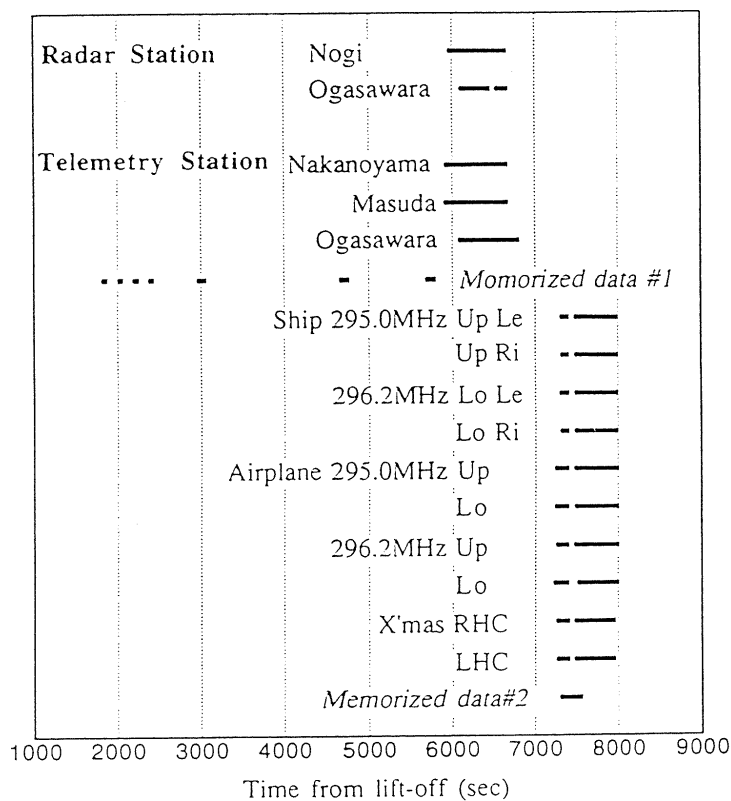


Fig.7 Data acquisition period through both deorbit and reentry phase
Data was recorded in the memory of telemetry package and reproduced in two times, first time is on orbit and second during re-entry.

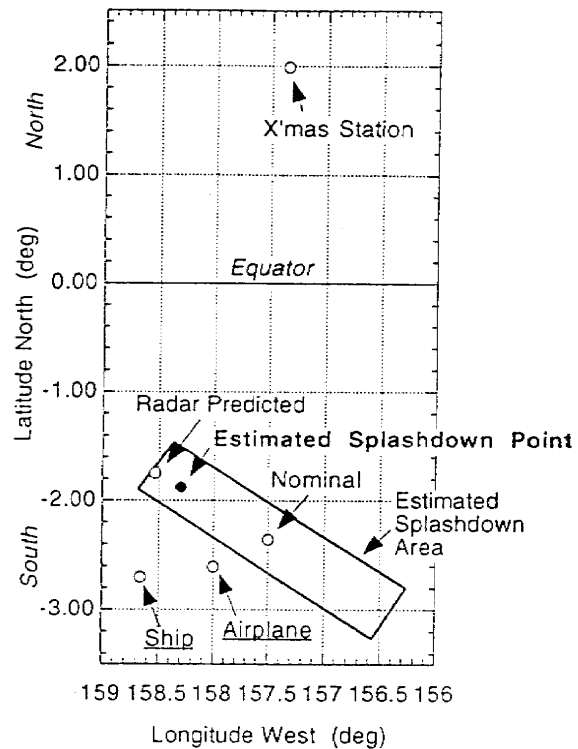


Fig.8 Waiting location of data acquisition stations during the re-entry of OREX vehicle

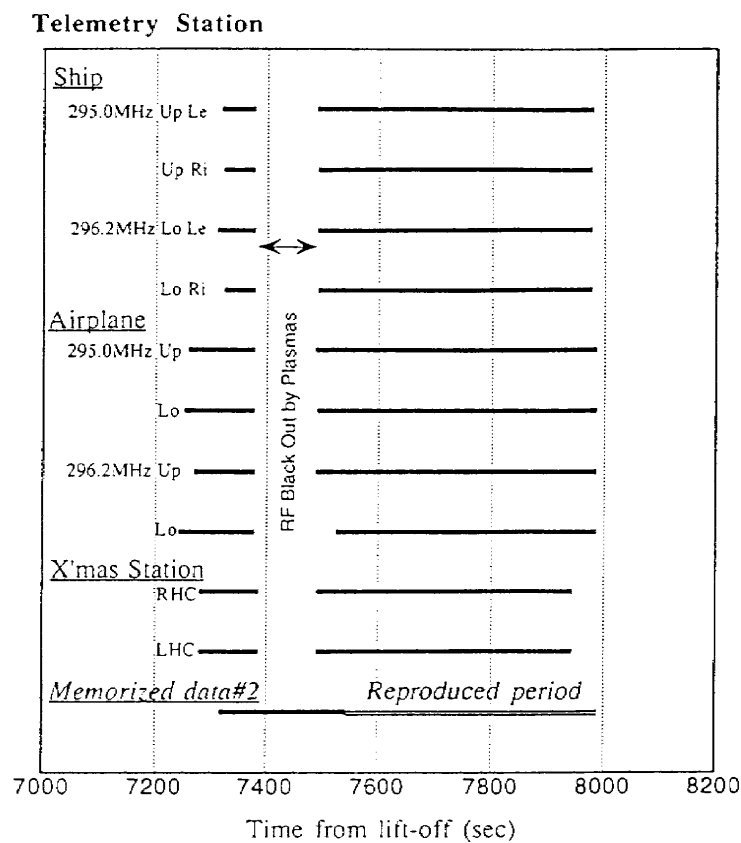
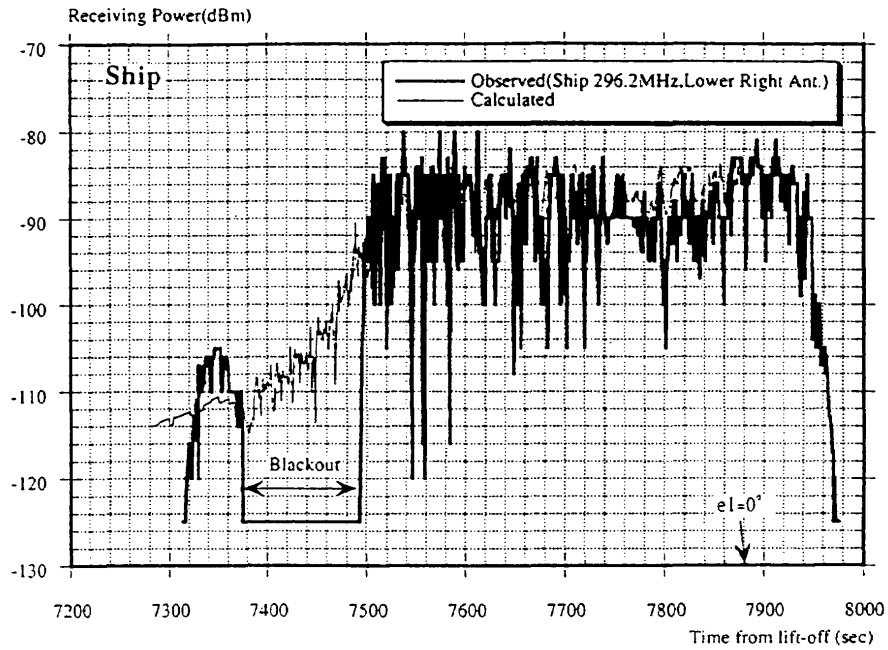
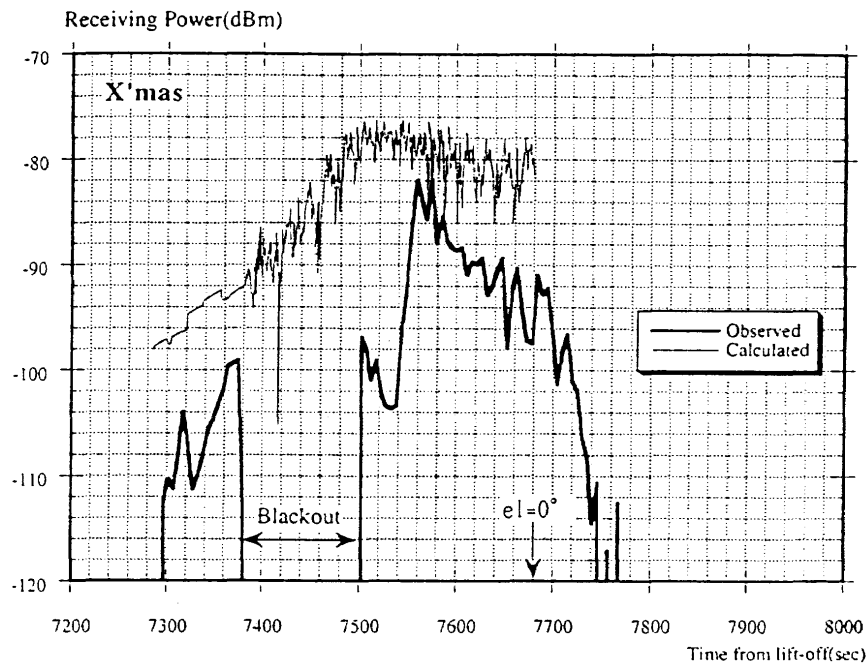


Fig.9 Data acquired period during re-entry
On-board recorded data covered the whole time of black out.



(a) Ship



(b) X'mas station

Difference of two lines are thought mainly to be caused by the low elevation angle of X'mas antenna.

Fig.10 Examples of AGC level observed at the mobile stations comparing with the results of RF link analyses

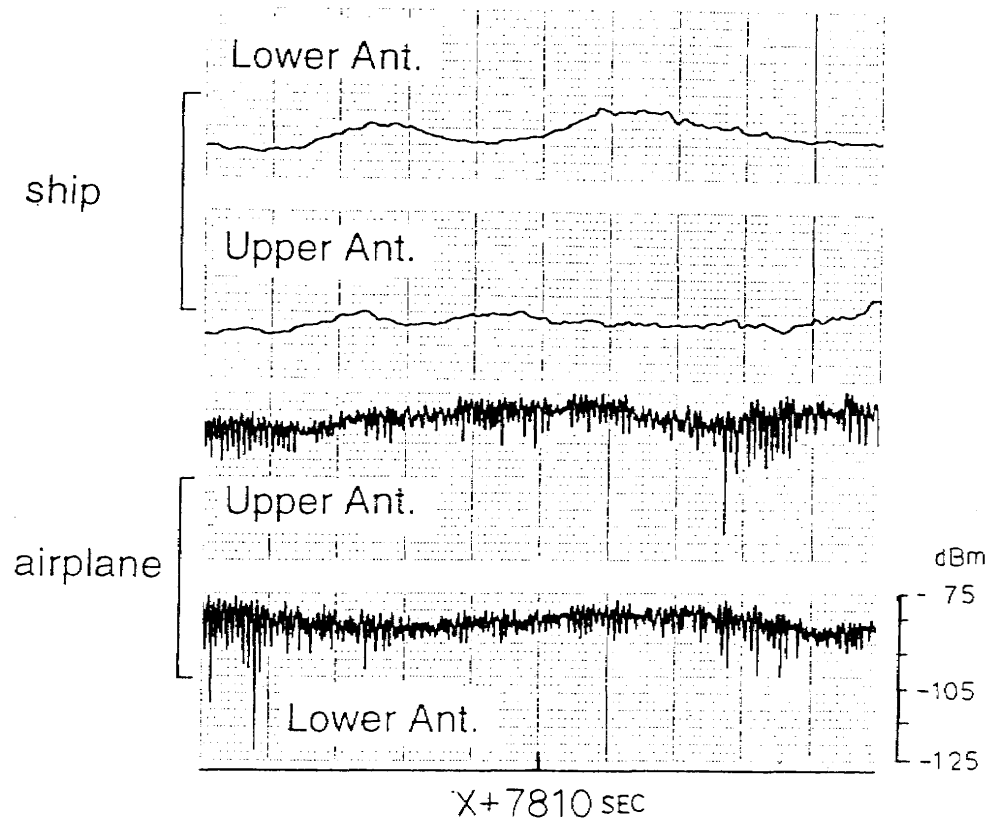


Fig.11 Example of output of strip chart recorders.
Comparing with ship data, airplane AGC level
is varying in a shorter period because of phasing.

Table 1 Calculated phasing cycles of receiver AGC levels.

X+Time (sec)	Event	Phasing cycle (Hz)			
		Airplane		Ship	
		295.0	296.2	Upper Ant.	Lower Ant.
7293	OREX AOS	6.276	6.250	-	-
7373	Before Black Out	18.695	18.620	0.026	0.022
7503	After Black Out	270.739	269.642	0.058	0.048
7740	-	17.272	17.202	0.013	0.013
7982	Before splashdown	8.310	8.276	-	-

Note: Concerning about ship, there is no significant difference between the calculated results of two receiving frequencies.
X+Time = Time from lift-off

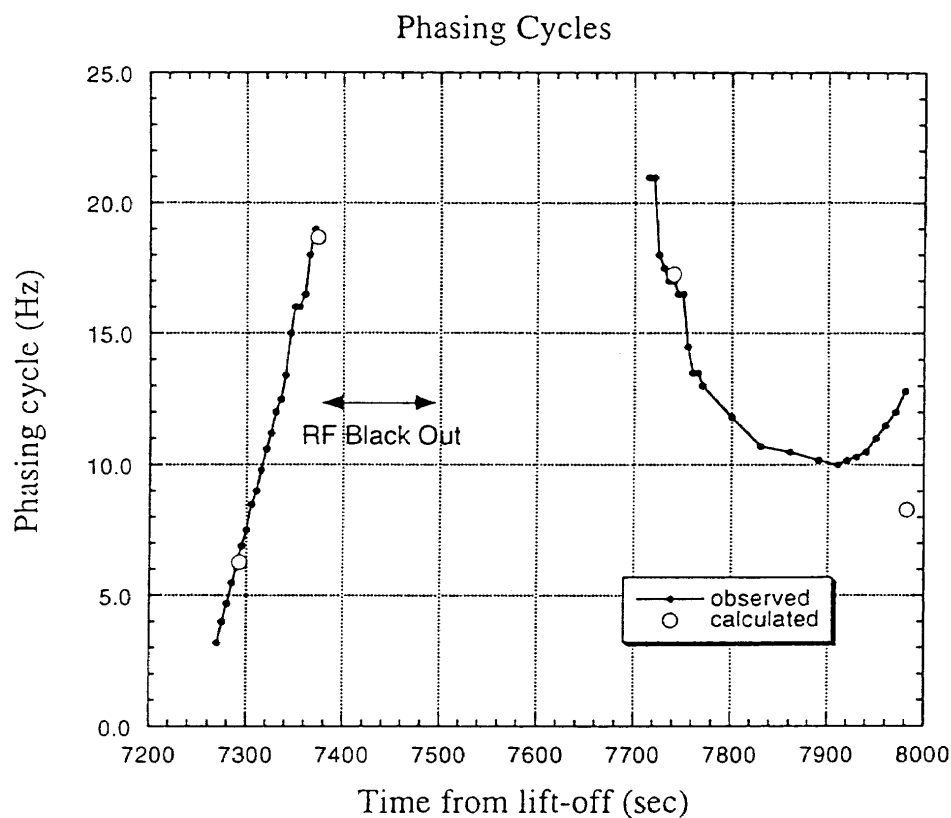
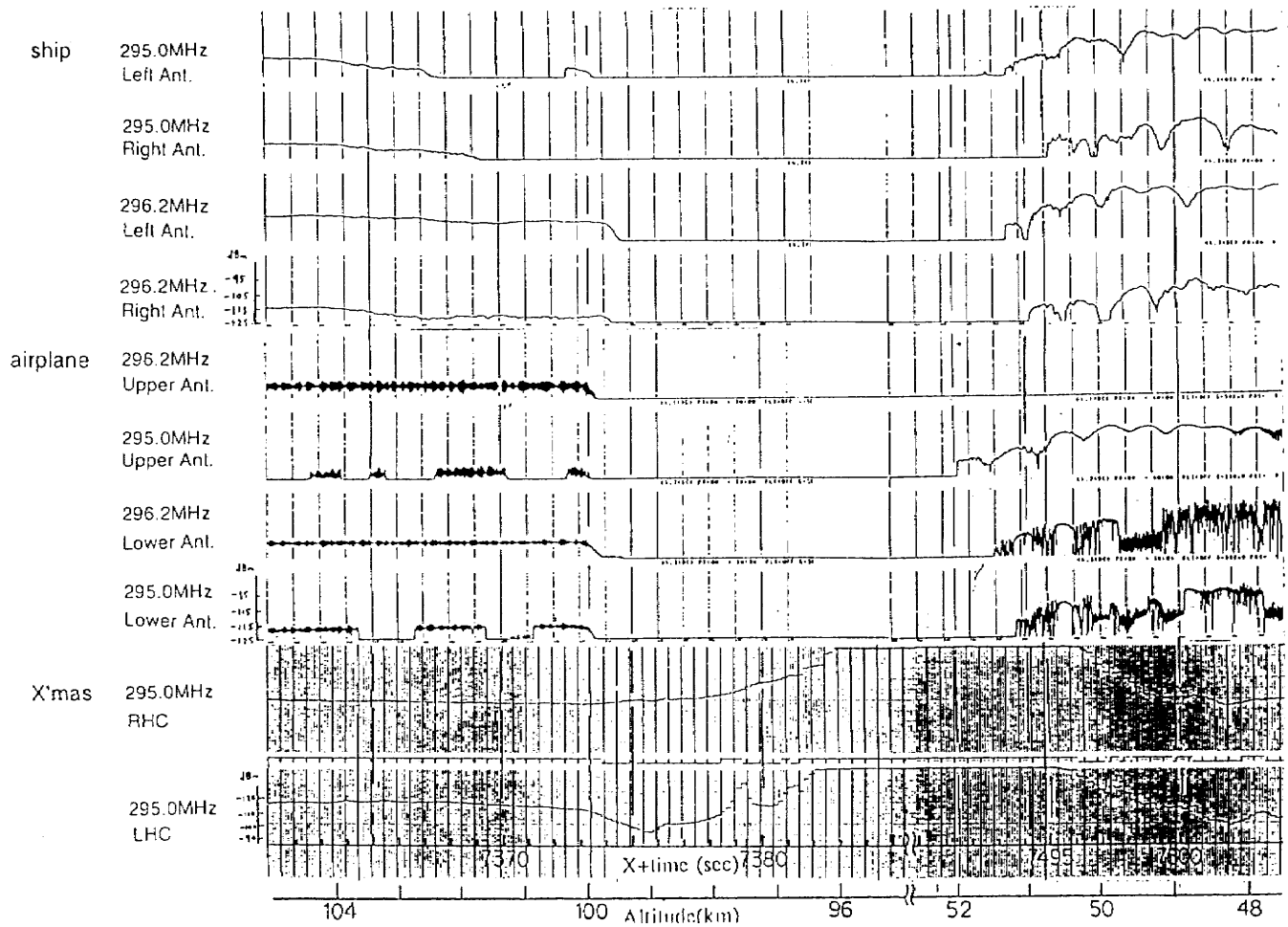
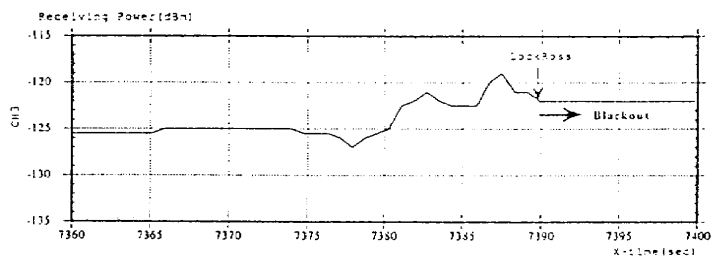
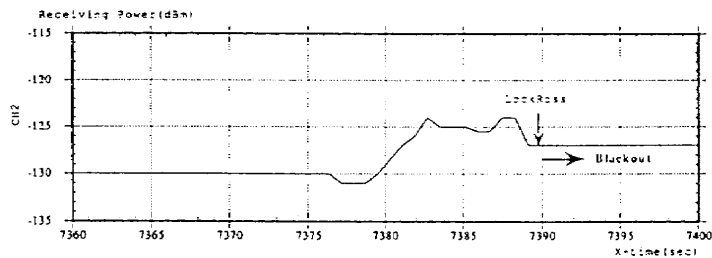


Fig.12 Phasing cycles of AGC data of the airplane receiver
Observed and calculated data are very well coincident
except for a data just before splashdown of OREX vehicle.



(a) VHF(295.0MHz, 296.2MHz)



(b) UHF(GPS receiver)

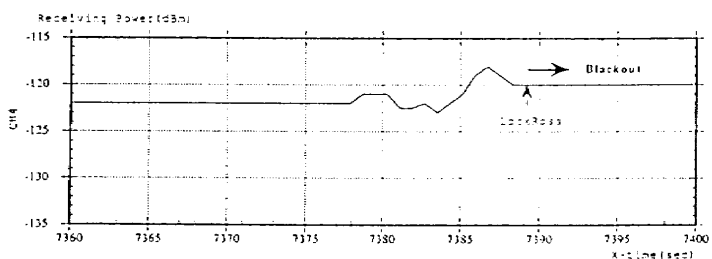


Fig.13 Black out results

X+time means time from lift-off

Table 2 Observed beginning/ending times and heights
of RF black out

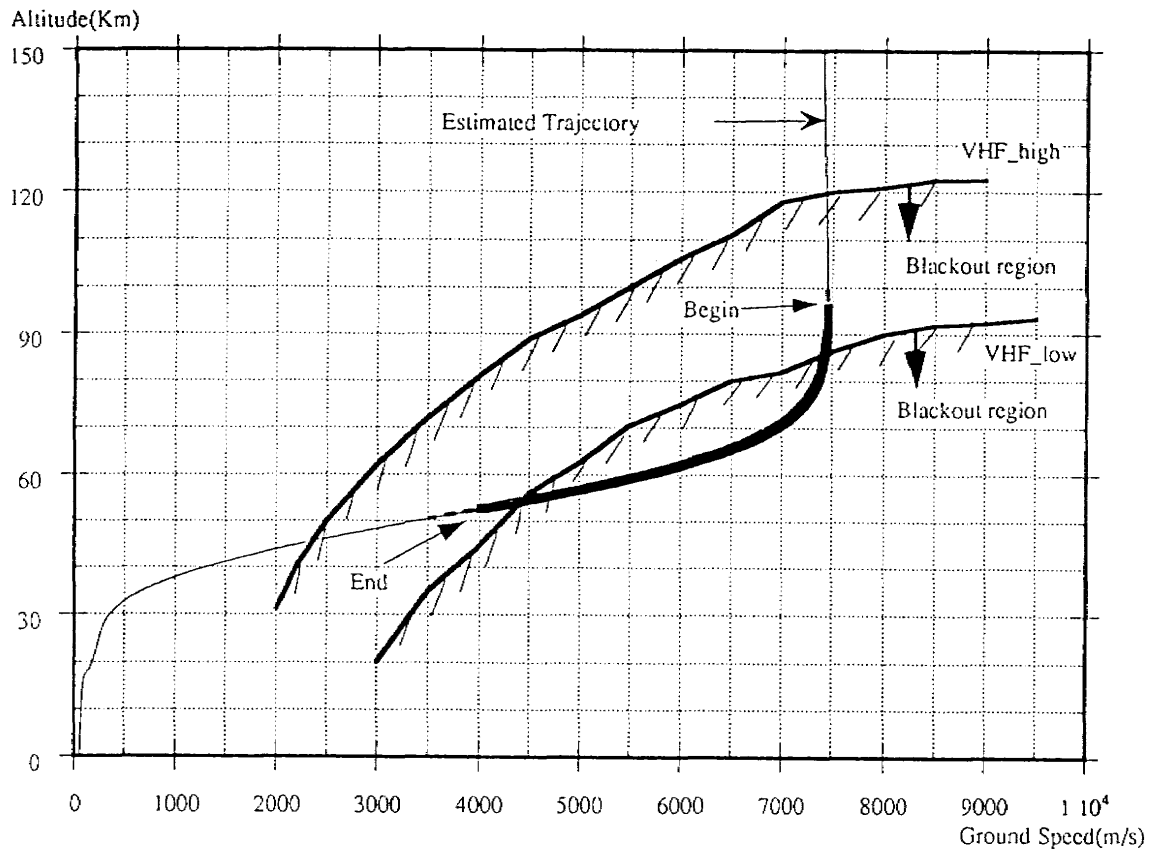
Acquisition station	Frequency	Attr.	Beginning time from lift-off / height (sec)	Ending height (km)
ship	295.0MHz	Left Ant	7373.7 / 99.8	7492.4 / 51.6
		Right Ant	7373.9 / 99.7	7495.1 / 50.6
	296.2MHz	Left Ant	7374.7 / 99.4	7493.5 / 51.3
		Right Ant	7374.2 / 99.5	7494.3 / 51.0
airplane	295.0MHz	Upper Ant	7373.8 / 99.8	7491.5 / 52.0
		Lower Ant	7373.5 / 99.9	7493.8 / 51.2
	296.2MHz	Upper Ant	7374.7 / 99.4	7527.8 / - *1
		Lower Ant	7373.6 / 99.9	7492.9 / 51.4
X'mas station	295.0MHz	RHC	7382.8 / 96.1	7495.3/50.6*2
		LHC	7383.4 / 95.8	7495.3/50.6*2
GPSreceiver	1575.42MHz	CH2	7389.9 / 93.1	- *3
		CH3	7389.9 / 93.1	- *3
		CH4	7389.1 / 93.5	- *3

*1 cause of delay is owing to missing lock by receiver.

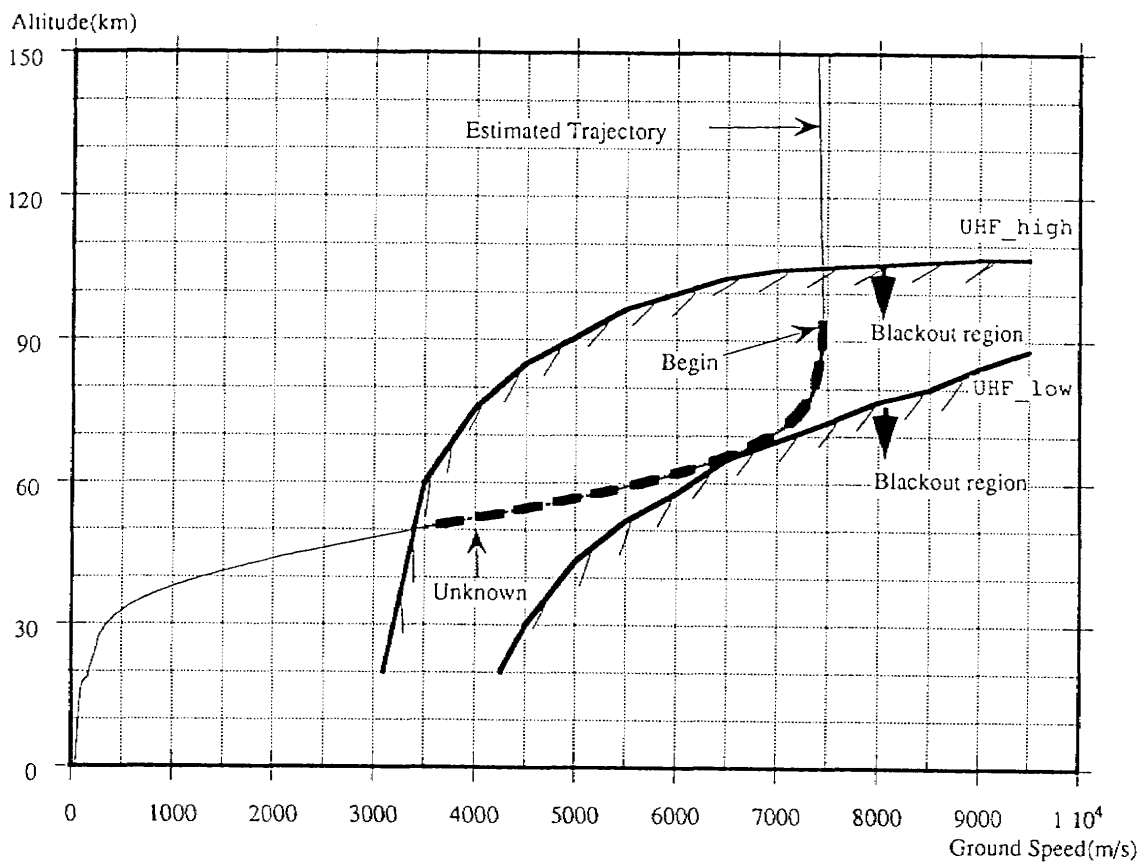
*2 time of relock after black out is considered to be delayed owing to tracking by manual operation.

*3 no data ; receiver missed signal after black out

Note: height estimation error is under 4km(H=100km), 3.3km(H=50km).



(a) VHF



(b) UHF(GPS receiver;1575.42MHz)

Fig. 14 RF black out region on H-V plane.

VHF_high region means the fastest case of black out shown in the references about VHF. Low means the latest case.

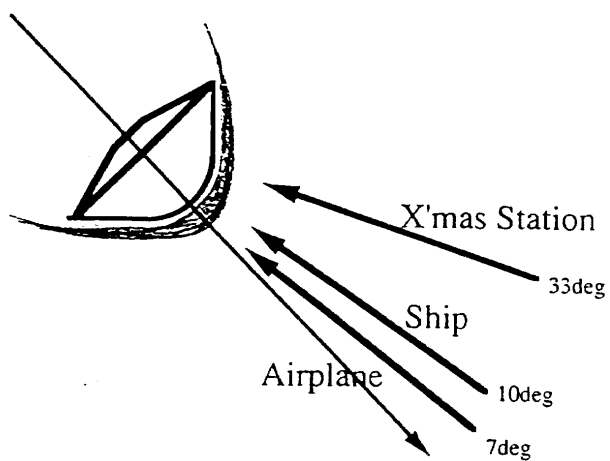


Fig.15 Schema of direction of data acquisition stations from OREX vehicle at the time of the beginning of RF black out