

静止気象衛星 (GMS) 回線に影響を及ぼす 電離層シンチレーション

Ionospheric Scintillation which Disturbed the GMS-2 Communication Link

上田真也*・松尾正利*・佐藤勝志*・桃井保清**
阿部伝家**・井手和夫**・橋 薫**

Shinya Ueda*, Masatoshi Matuo*, Masashi Sato*,
Yasukiyo Momoi**, Tsutoya Abe**, Kazuo Ide**
and Kaoru Tachibana**

Abstract

Large scale and severe ionospheric scintillation occurred in the GMS-2 communication links from 13:30 to 23:00z(UT), Sep, 6th, 1982. The fluctuation of the receiving level at the CDAS reached maximum of more than 25dB and the GMS-2 operation was considerably disturbed such as missing of many data lines in the 21z VISSR image and interruption of ranging operation.

This paper is the review of the trouble records on each communication link with discussion of the relation between ionospheric scintillation, solar activity and geomagnetic activity.

1. はしがき

GMS 回線に発生する電離圏の異常現象であるシンチレーション (Scintillation) の発生回数は年間大小を合わせて数十回にも及び、特に太陽爆発が顕著な場合は受信レベルが著しく低下 (変動) するため、回線が中断し、運用に支障をきたす場合がある。

1982年9月6日に発生したシンチレーションはこの中でも最大級のものの1つであり、GMS 回線における各ダウンリンク信号のレベル変動は 25 dB_{p-p} 以上にも及び、VISSR 回線をはじめとするほぼ全回線が中断した。

ここでは、このシンチレーションの発生状況とこれに伴う障害状況、及び太陽活動との関係等について考察したものである。

* 気象衛星センター施設管理課, Meteorological Satellite Center

** 気象衛星センター気象衛星通信所 Meteorological Satellite Center

2. 背 景

気象衛星通信所 (CDAS) では1977年7月における GMS の打ち上げ以来、回線の質の監視及び調査を行なう必要性からテレメトリ信号の受信レベルを連続的に記録しているが、1978年2月15日20時 (JST) 過ぎ突然そのレベルが 15 dB 以上も低下したため、アンテナの自動追尾が不可能となり、また画像の取得も一時不能になるなどの影響を受けた。この現象の発生以来、CDASではシンチレーションのデータを収集する一方、太陽活動や超高層物理の専門機関である東京天文台や電波研究所等の協力を得てシンチレーションに関する調査、及び技術的検討を行なってきた。その結果をまとめた第一報を本誌第4号 (1981.11. 福井, 松尾) に、また静止気象衛星調整会議 (CGMS) 及び国際無線諮問委員会 (CCIR) に報告している。

GMS の下り回線は 1.7 GHz 帯の電波を使用しており、従来この周波数帯は電波の窓 (Radio Window 100

MHz~10 GHz) と言われ、電離層及び対流圏(降雨等)での減衰は比較的受けがたいものとされていたが、この周波数帯を使用する数多くの衛星が打ち上げられたことにより、この周波数帯においても大きなレベル変動(シンチレーション)が発生することが判明した。シンチレーションはその発生が夏に集中しているものの、通信回線に重大な影響を及ぼすものは春・秋に多い。発生機構については電波研究所など各国の研究機関で調査研究が進められているがまだ全てが解明された訳ではなく今後の研究に負うところが多い。

現在気象衛星センターにおいては、電波研究所から太陽地球環境予報(太陽活動と地磁気嵐等)の提供を受けGMSS回線運用の参考資料にしているが、シンチレーションの予報が完全に出来る迄には至っていない。

3. 1982年9月6日のシンチレーション

3-1 レベル変動と継続時間

1982年9月6日に発生したシンチレーションは、過去5年間に発生したシンチレーションの中で最も大規模なものであり、図1に示すようにレベル変動の最大値はプラス側で約20 dB、マイナス側では15 dB以上と25 dB_{p-p}以上にも達した。継続時間は22時30分~08時00分(JST)と9時間30分にも及びこれも最長のものであった。

この中でも04時30分頃より05時50分頃までは大きなレベル変動が頻発したため、この時刻に行なわれた次の回線が障害を受けた。

3-2 障害状況

(1) VISSR 回線

VISSR 画像の取得は GMS システムで最も重要な業務であるが、21z の VISSR 観測時(特に 20:30~20:40z の間)、受信レベルの変動が激しく、シンクロナイザ/データ・バッファ装置(S/DB)は56回もの復調同期外れを生じ、データの欠落が頻発した。

VISSR 画像データを基に作成された HR-FAXは図2に示すようにライン抜けが多く、特にレベル変動の大きい時間に一致した北半球部分に多い。LR-FAX 画像は放送局、新聞社などで利用されているため、受画品質の悪化した原因について多くの問い合わせがあった。

(2) 測距回線

測距業務はスケジュールに沿って開始されたが、ダウンリンク信号の受信が正常に行われなかったため、間もなく信号捕捉エラーが発生し、業務の継続が不可能となり中止した。

(3) アンテナ追尾機能

このシンチレーションの発生時間帯には、アンテナ自

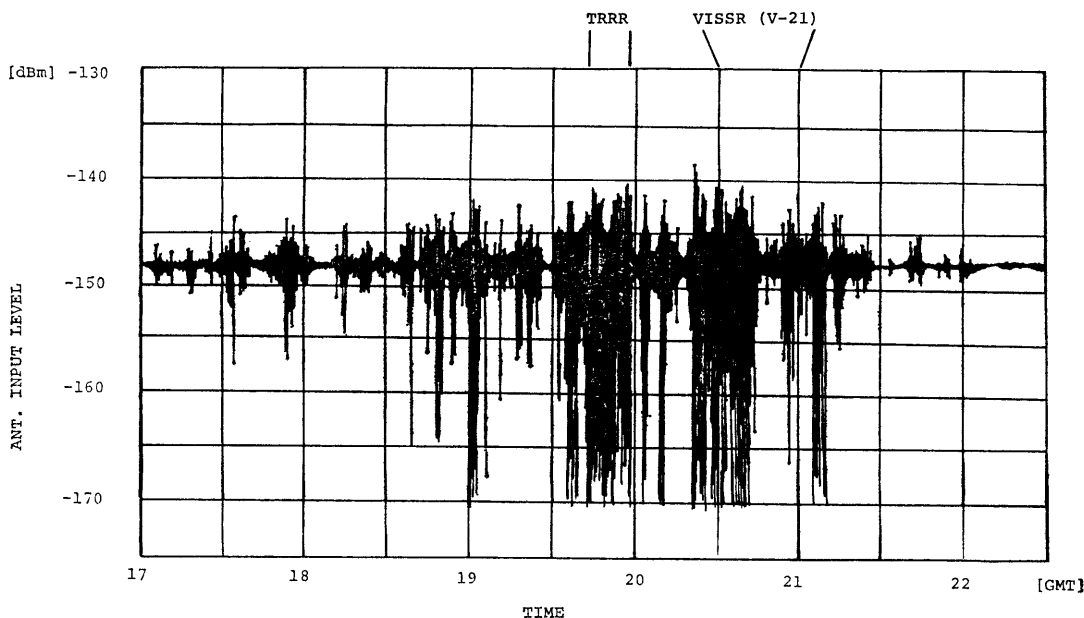


図1 1982年9月6日、シンチレーション発生時のテレメトリ信号受信レベル

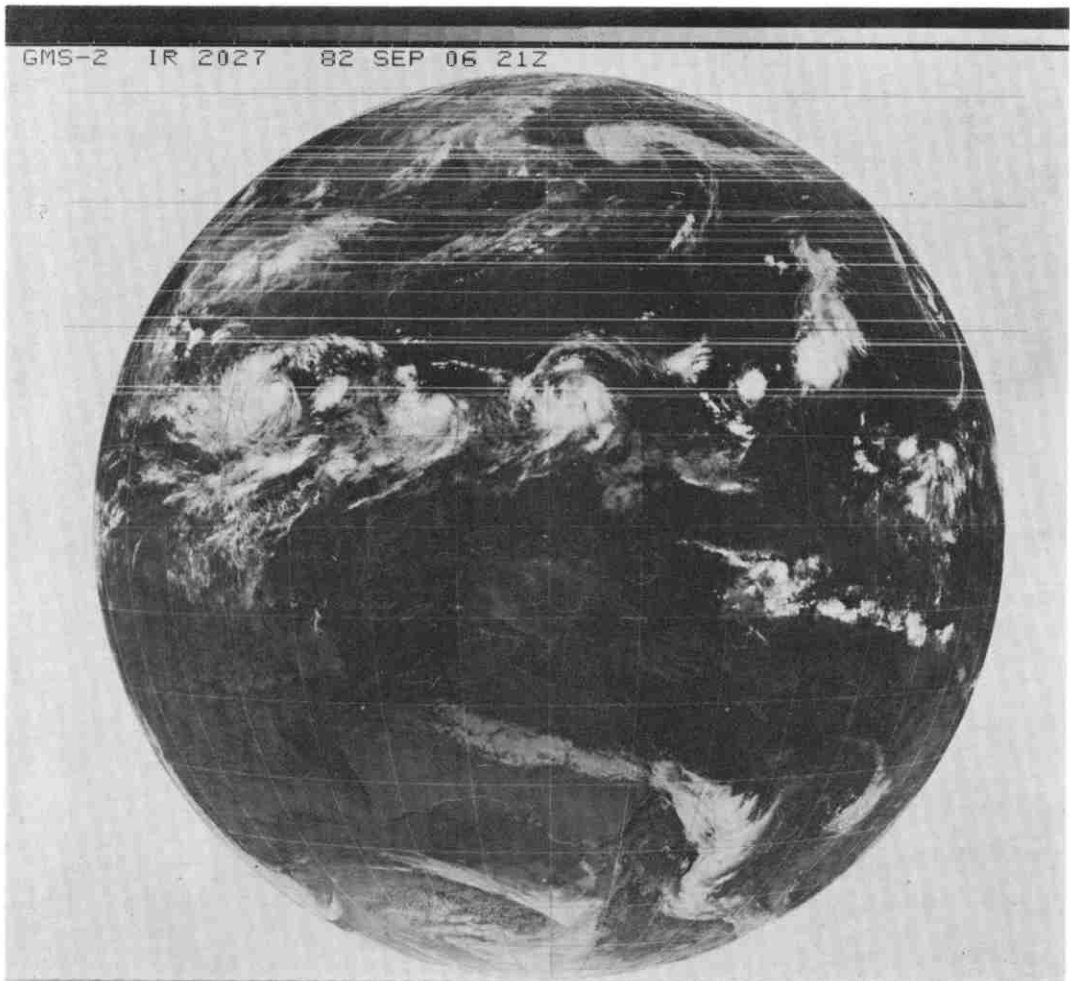


図 2 1982年9月6日 21Z の HR-FAX (赤外円形) 画像

動追尾受信機の入力信号レベルは低下し、衛星方向指向の追尾機能は頻繁に失なわれた。このためシンチレーションのレベルを監視しながら9時間にわたり23回に及ぶ自動追尾復起作業を実施した

(4) 通報局データ収集回線

通報局データは04時~06時(JST)の2時間にわたり入電しなかったり、入電しても不良のものが見受けられた。

(5) FAX

小規模利用局(SDUS)および中規模利用局(MDUS)での受信状況については照会中であるが、シンチレーションによるレベル低下はSDUS, MDUSの回線マージンをはるかに越える値であったため(表1参照)おそらく受画状況は最悪のケースだったものと推定される。な

お、地理的な違いにより影響の程度も異なるので、現在MDUS, SDUS 受信局等に照会しており、この結果は次回に報告したい。

(6) その他の回線

シンチレーションはGMS通信回線のアップリンクにも影響を及ぼすために、アップリンクのコマンド履歴データも調査したが、これには不具合は発見されなかった。また、テレメトリデータにも異常は認められなかったが、これ等の回線は表1に示すように、回線のマージンが大きくなっているためと思われる。

3-3 シンチレーションデータの取得方法

シンチレーションのデータはテレメトリ信号の搬送波を同期検波して得られるAGC(Automatic Gain

表 1. GMS-2 各回線の特徴

	VISSR		HR-FAX		LR-FAX		DCPI		DPCR		TRRR				TLM (PCM)	CMD
	DOWN-LINK	UP	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN	MRS		TARS		DOWN	UP	
										UP	DOWN	UP	DOWN			
E.I.R.P. * (dbm)	58.0	107.0	55.0	100.0	54.8	84.0	43.9	43.0	35.7	**	97.0	57.1	82.0	34.2	43.2	84.0
Space Loss (db)	-188.3	-189.9	-189.2	-190.0	-189.3	-190.1	-178.1	-176.8	-188.3	-189.9	-188.3	-190.0	-188.4	-188.4	-190.1	-190.1
Required C/N _e (db/Hz)	88.5	69.0		63.1		34.8		34.8			47.7		47.7		55.8	58.2
Margin (db)	6.3	3.7		3.0		1.2		7.0			7.0		34.8		24.1	11.4

* : Effective Isotropic Radiation Power
 ** : FIST Data

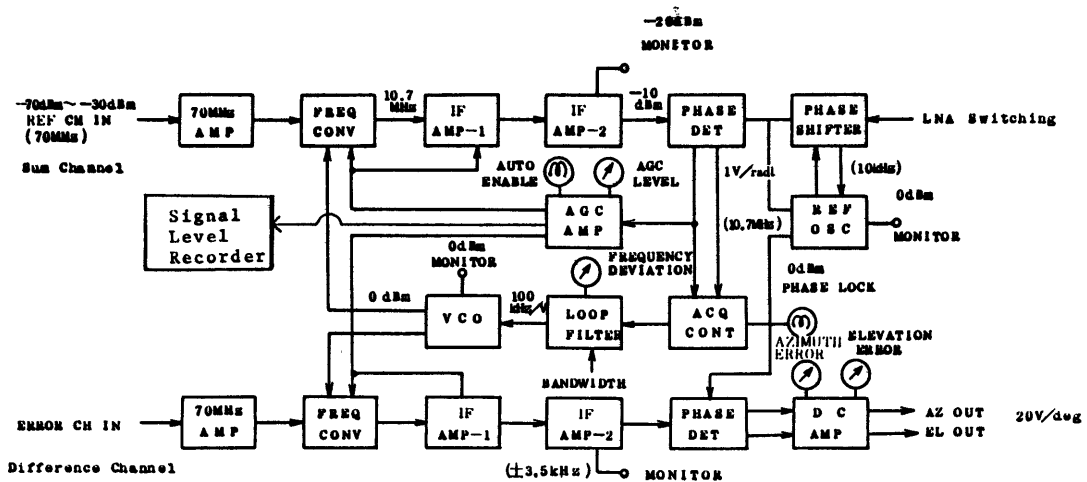


図 3 テレメトリ AGC レベル記録系

Control) レベルをペンレコーダで連続的に記録することにより取得できる。図 3 と図 4 にそれぞれ記録系と CDAS 総合のブロックダイアグラムを示す。

4. 考 察

4-1 シンチレーション発生時の太陽地球環境

(1) 1982年9月6日のシンチレーション時
 電波研究所平磯支所が発令した9月6日付けの太陽地球環境予報によると、この頃ホルダー黒点群 No. 3886 の活動が連日活発に続き、4日に発生した一連のフレアに伴う地磁気嵐が6日07時47分 (JST) に発生した。また図5に SEM と地磁気及び GMS のシンチレーションを示す。SEM のデータは地磁気と同じ頃からプロトン流等に増加が見られ、23時 (JST) 頃収束している。この時の地磁気変動分の水平分力は 330γ (γ : 磁束密度の単位 $1\gamma=10^{-5}$ Gamma) で、磁気活動としては中の

上程度の規模の磁気嵐であった。図6は電離層 F_2 の臨界周波数 f_oF_2 の観測データであるが、22時過ぎからスプレッドF層の発生が見られる。このようにシンチレーションは、SEM データ (プロトン流) が収束する23時頃からスプレッドFを伴って発生していることがわかる。また図7は同じ時間帯の実験用中容量静止通信衛星 CS の 4GHz における受信 AGC 記録であるが、この周波数帯にも大きな影響が見られ、その傾向は GMS によるものとよく一致している。

(2) 1978年2月15日のシンチレーション時

図8は CDAS で最初に経験した大規模なシンチレーションの記録 (AGC レベル) で、1978年2月15日のものである。この時の地磁気、電離層および我が国の他の静止衛星を含む衛星電波シンチレーションの状況を図9に示す。また図10はその時に GMS で得た SEM データであるが発生状況は9月6日のものとよく類似している。なおこれらの詳細は本誌第4号を参照されたい。

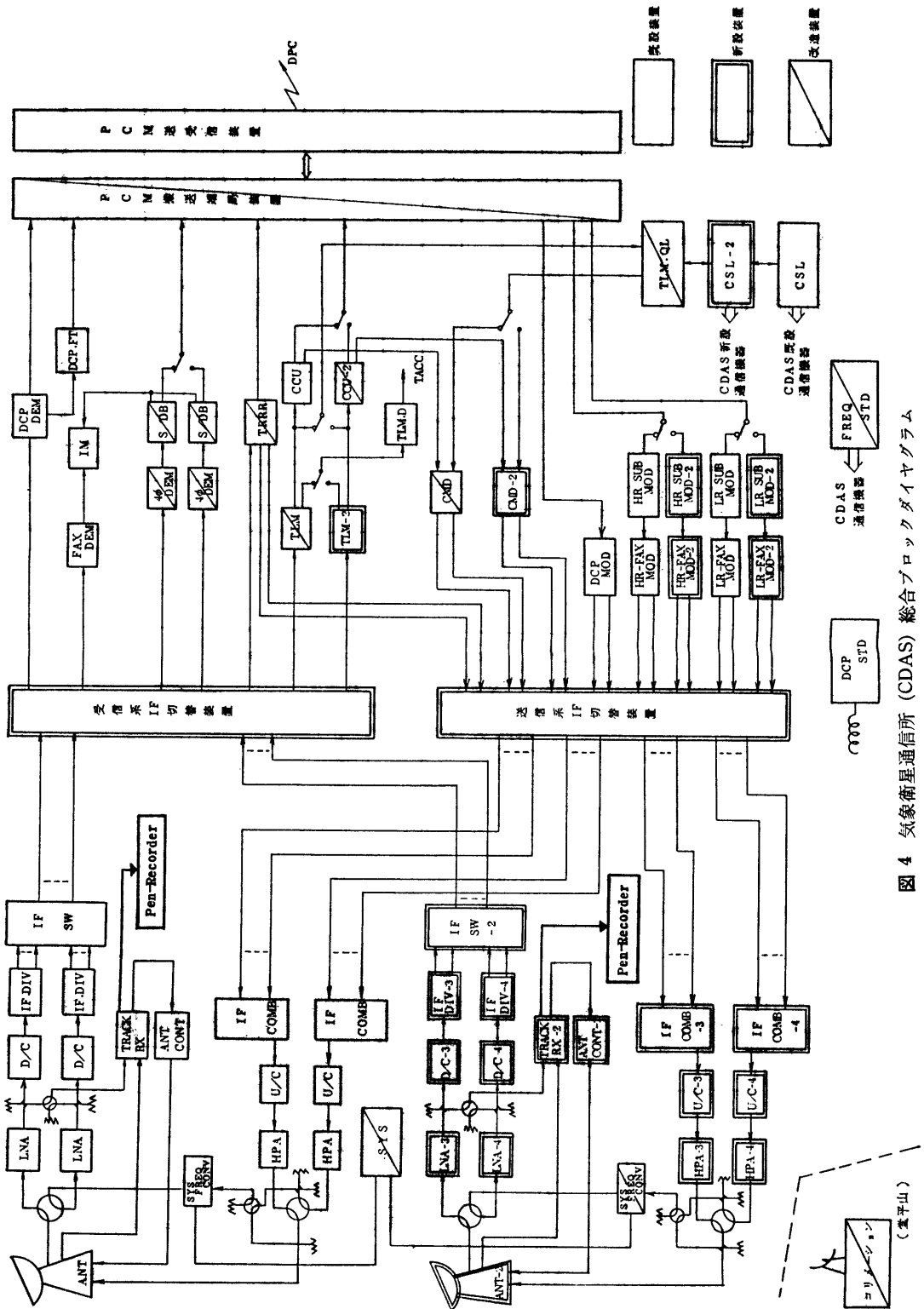


図 4 気象衛星通信所 (CDAS) 総合ブロックダイアグラム

GMS-2/SEM TWO-MIN. AVERAGES

PROTONS P1:0.80- 4.0MEV P2: 4.0- 8.0MEV P3: 8.0- 16.MEV
 P4: 16.- 30.MEV P5: 30.- 68.MEV P6: 68.-100.MEV
 ALPHAS A1: 8.- 66.MEV A2: 32.- 66.MEV A3: 64.-120.MEV
 A4:120.-240.MEV A5:270.-370.MEV
 ELECTRONS E1: - 2.0MEV

COUNTS/(CM². SEC.ST.MEV)

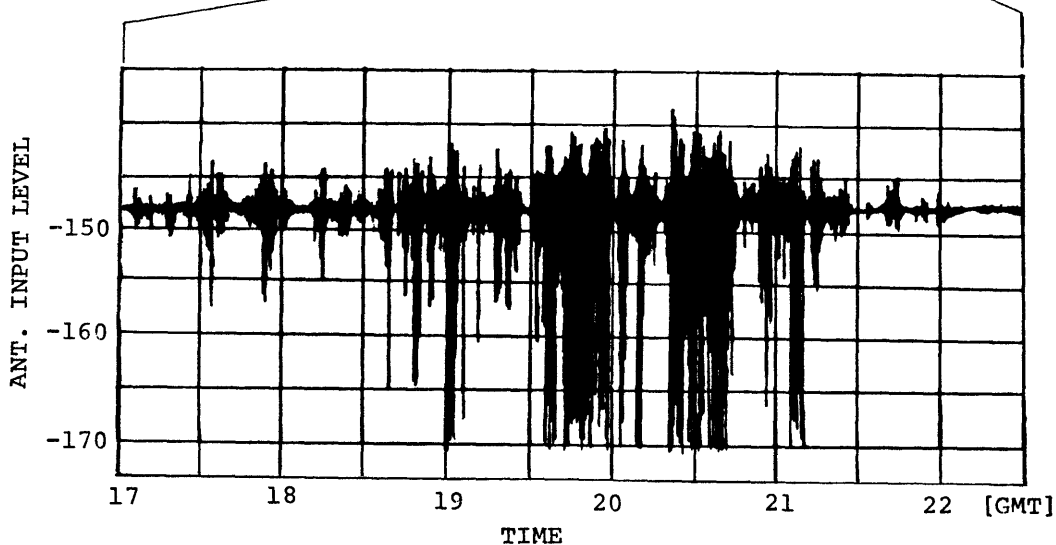
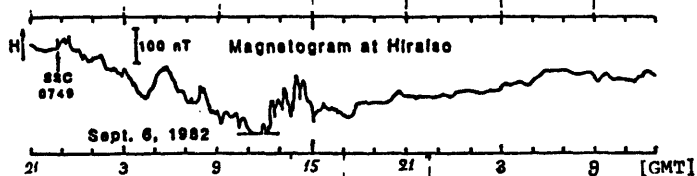
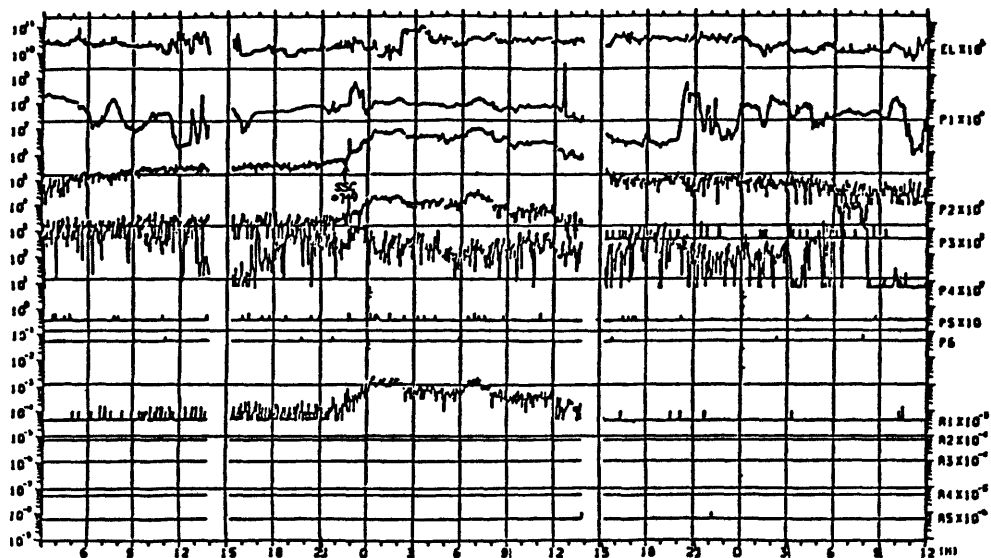


図5 シンチレーション発生時の SEM データおよび地磁気データ

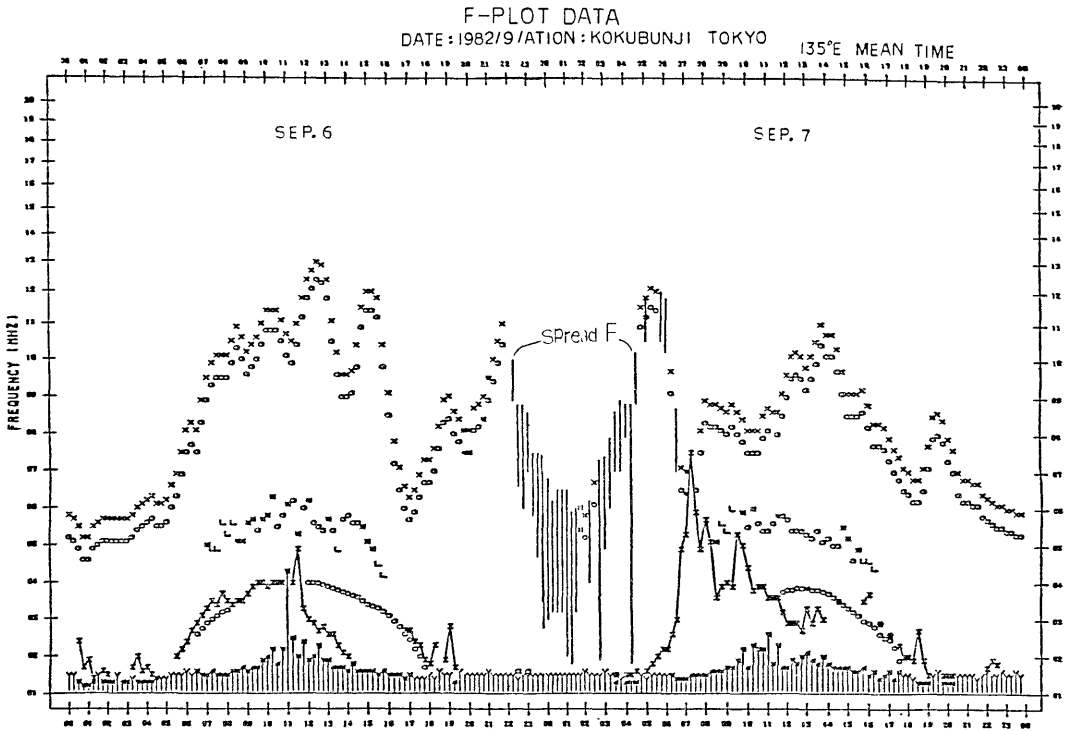


図 6 電離層 F₂ 層の臨界周波数 (f₀F₂) 観測値

CS 4 GHz Scintillation at Kashima

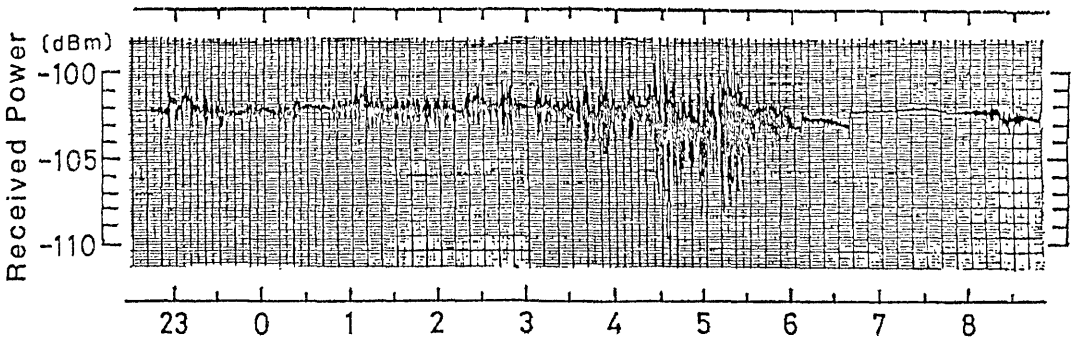


図 7 実験中容量静止通信衛星 (CS) のシンチレーション記録

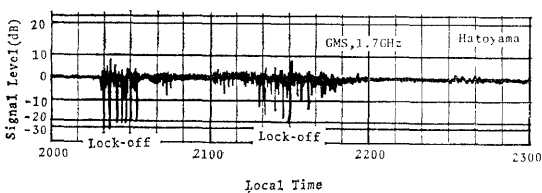


図 8 1978年2月15日のシンチレーション

4-2 シンチレーション発生メカニズム

電離層シンチレーションは、その発生原因が電離層内に存在するものをいい、電離層を貫通して伝搬する電波に観測される。電離層は、高層の地球大気が太陽光に含まれる紫外線などのエネルギーにより電離し、プラズマ化した層と考えられており、安定な状態では地球磁場に従って整理している、しかし、太陽活動により安定状態

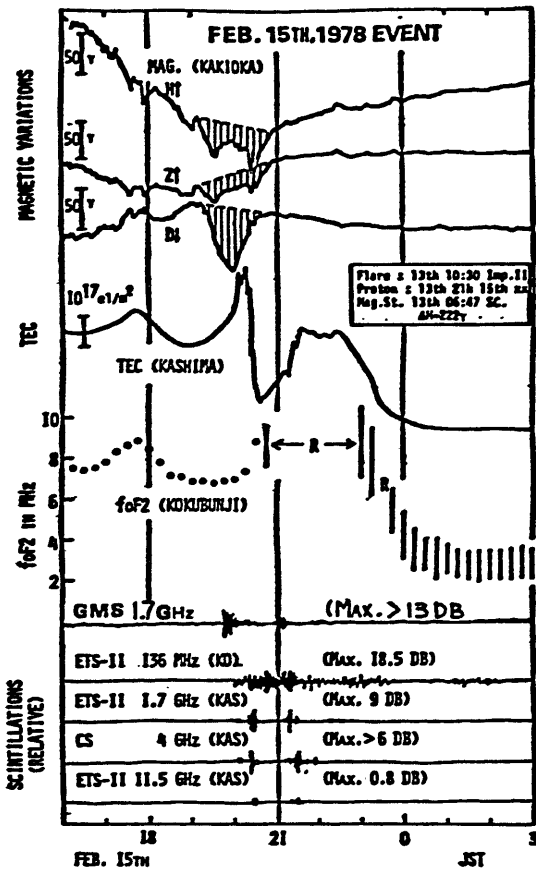


図 9 1978年2月15日のシンチレーション発生状況

が失われると、電離層内の電子密度は不規則となり、伝搬媒質としての誘電率はそれぞれに対応して均一ではなくなる。このような構造の電離層内では電波伝搬路が多重屈折し、いわゆるマルチパスを生じるとともに複雑な位相回転を受け、その結果は振幅変化となって現われる。このような不規則構造がその形を保ったまま伝搬路を横切るように移動するため振幅は時間的に変化して、シンチレーションとして観測されるのである。

4-3 シンチレーションの一般的特性

中低緯度地域で高々度の衛星からの電波を受信する場合で、電波通路と地磁気の磁力線が電離圏内で平行関係になるようなときは、電子は磁力線の周囲に沿って（沿磁力線）分布するため、シンチレーションは増加すると考えられている。電離層内電子のこのような性質はホイッスラー空電の伝搬や電離層観測衛星のデータからも確認されている。シンチレーションの沿磁力線分布による

増大については電離圏媒質による電波の異方性散乱としてすでに Brrigs 等により理論的に論じられている。

図11は GMS と CDAS 間の電波通路と磁力線の交差角度 ϕ の等値線を、また図12には静止衛星について、南北両半球の交差角 $\phi \leq 10^\circ$ のベルトを示す。このベルト内の地球局ではシンチレーション指数（振幅の大きさ）は沿磁力線効果のない場合に比べて昼間と夜間でそれぞれ2倍および5倍以上に増大する。

気象衛星通信所の地理的緯経度は $35^\circ 58'N, 139^\circ 19'E$ であり図12からも明らかのように、GMS 回線は地磁気によるシンチレーションの増幅作用を最も受けるような位置に静止していることになる。

本紙第4号で報告したように、シンチレーションの発生には明らかに季節依存性があり、ピーク値 0.5 dB をこえる比較的小さなものは5月から8月の間に集中している。また時間的には18時から05時（JST）に頻度が高い。しかし前述の2月15日の例や今回のように通信障害を起すほどの事例は数回程度で、これらには下にまとめたような特性の共通点が見られる。

〈通信障害を起こすような大きなシンチレーションの特性〉

- (1) 発生季節：春・秋、特に春秋に多発する傾向がある。
- (2) 発生時刻：日没後から夜間まで。
- (3) 関連現象：地磁気活動の上昇期。SEM データの高エネルギー粒子が増加して収束する時。電離層全電子密度 (TEC) の急激な変化と電離圏又スプレッド F 層の発生を伴う。
- (4) 周波数特性：10 GHz 前後まで及ぶことがわかっている。特に高い周波数域まで大きな影響を与えることが特徴である。

なお、この考察部分については巻末の参考文献資料を参考に記した。

5. むすび

シンチレーションの研究は1950年頃から世界的に行なわれてきたが、我が国でも電波研究所の研究グループを中心に行なわれおり、着実に成果を成げている。しかしシンチレーションについてはまだ不明な点も多く、発生予測の精度もまだ十分なものではない。当センターでも今後調査活動を続ける一方、入手できる資料に基づいて将来はある程度の発生予測が可能かどうか検討している。このため当初から蓄積している記録データ等を整理するとともに、考察で述べたように太陽活動や電離層異常現象との関連、あるいはシンチレーションの発生分布

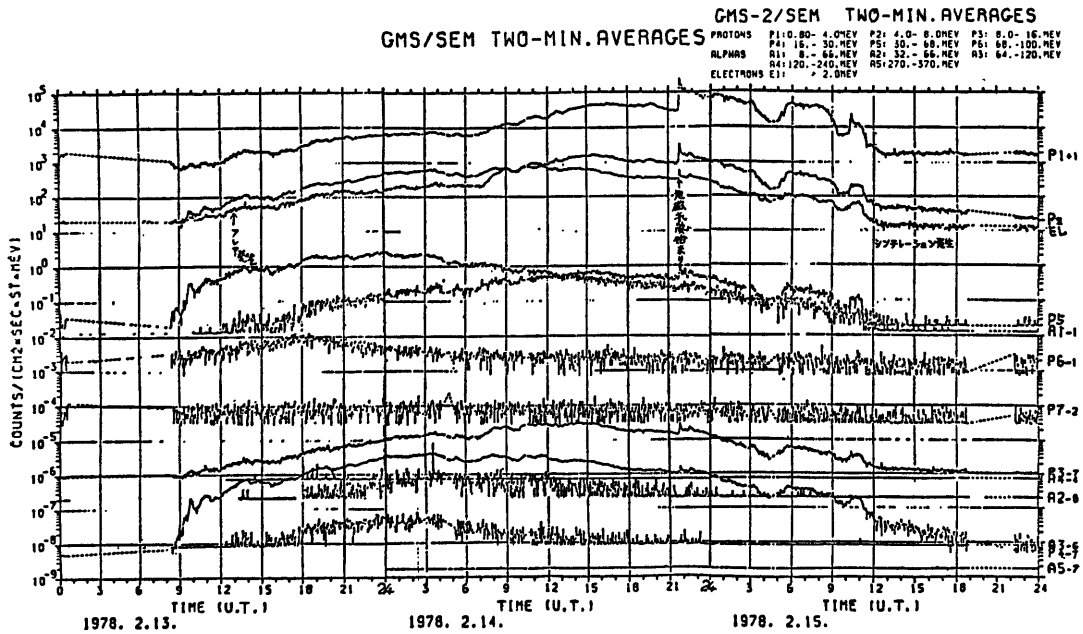


図 10 1978年2月15日の SEM データ

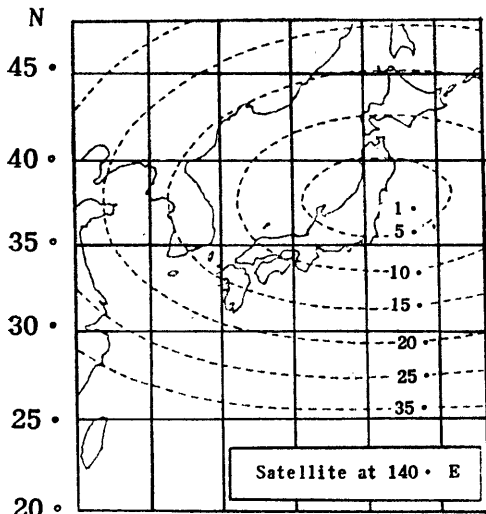


図 11 CDAS-GMS-2 間電波通路と磁力線との交差角 (ϕ) 等値線

や特性について調査を進めている。今後の課題としては、1.7 GHz 帯のみならず、通報局 (DCP) で使用している 400 MHz 帯でのデータも収集し、沿磁力線分布との関係や、発生するシンチレーションの特性を調査することなどがある。特に 400 MHz 帯でのシンチレーションの影響は、その周波数依存性のために 1.7 GHz 帯

よりも先に影響を受けることがわかっており、この周波数帯を観測することは、回線障害を起こさせるようなシンチレーションの発生を予測する上での有効な方法と考えられる。また今後も関連研究機関との協力関係を深め調査を続けて行く必要がある。

現時点でのシンチレーション対策としては次の3点が考えられる。

- (1) GMS 回線マージンを増加させてシンチレーションの影響を緩和させること。
- (2) GMS の静止位置を、沿磁力線分布によるシンチレーション増幅作用を受けにくいような経度に変更すること。
- (3) データ中継衛星を利用して、電離層内のシンチレーション発生区域を迂回する電波通路を確保しておくこと。

しかしいずれについても、技術的経済的な面、画像利用上の問題、あるいは他の宇宙開発計画との調整など難しい問題を含んでおり、直ちに実行できるものではない。当面は運用面でのカバーも含め現実的な対応策も検討していく必要がある。

最後に本稿をまとめるにあたって、その必要性を指摘していただいた気象衛星センターの門脇俊一郎データ処理部長ならびに成井満男情報伝送部長に対して、また適切な助言と指導をしていただいた相原保広施設管理課長

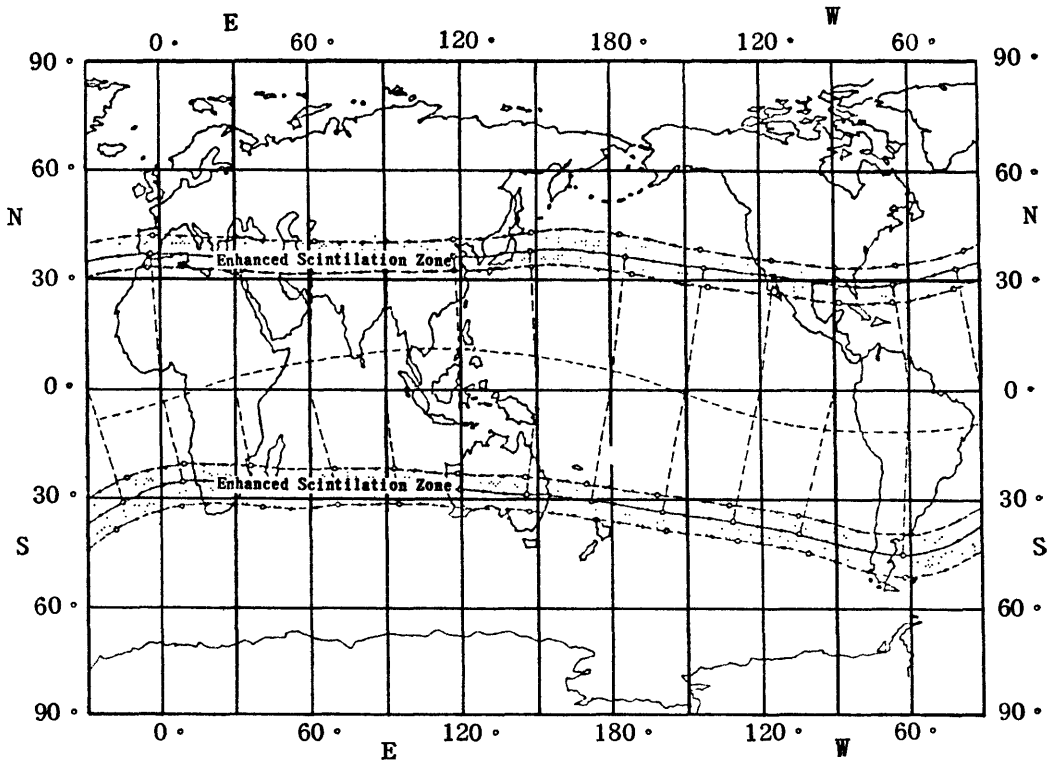


図 12 静止衛星から見た南北両半球の $\phi \leq 10^\circ$ 地帯

と宮沢泰男気象衛星通信所長に対して、感謝の意を表わします。また、電離層データなど観測資料を頂いた電波研究所の関係者に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 福井徹郎, 松尾正利: “電離層シンチレーションがGMS 回線に及ぼす影響” 気象衛星センター技術報告, 第4号, 1981.
- (2) 新野賢爾, 他 “静止衛星電波に及ぼす電離圏効果” 電波研究所季報, 3, 1981.
- (3) Aarns, J. 1971: Global morphology of ionospheric scintillations. Proc. IEEE, 59.
- (4) Balsley, B.B. Haerendel, G. 1972: Equatorial spread F, J. Geophys. Res., 77.
- (5) Skinner, N.J., Kelleher, R.F., 1971: Scintillation fading of signals in the SHF band. Nature (Physical Science).
- (6) Wright *et al.*, 1956: Speed F layer Echoes and Radiostar Scintillation, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.