
 解 説

電波警報業務の概要

木所 常一*, 森 弘隆**

(昭和60年4月25日受理)

OUTLINES OF RADIO DISTURBANCES PREDICTION SERVICE

By

Tsuneichi KIDOKORO and Hirotaka MORI

目 次

- I. はじめに
- II. 電波警報発令業務と資料の収集
 - 1. 電波警報業務の変遷
 - 2. 電波警報業務の目的
 - 3. 電波警報の内容
 - 3.1 世界日警報
 - 3.2 短期電波じょう乱予報
 - 3.3 週間電波じょう乱予報
 - 3.4 太陽地球環境予報
 - 3.5 電離層特別観測通報
 - 4. SWF 現象の検出
 - 5. 平磯支所の観測資料
 - 5.1 通信じょう乱, 地磁気じょう乱を監視する観測
 - 5.2 太陽面現象を監視する観測
 - 6. 国内の各種観測資料
 - 6.1 電波研究所の観測資料
 - 6.2 気象衛星センタの資料
 - 7. IUWDS 関係資料
 - 8. 警報判定資料の整理
 - 8.1 太陽記録簿
 - 8.2 太陽黒点簿
 - 8.3 警報日誌
 - 8.4 観測簿
 - 8.5 警報発令簿
 - 8.6 週間予報発令簿
 - 8.7 太陽面現象記録ノート
 - 8.8 現象記録簿
 - 8.9 平均相対電界強度 \bar{E} の逐日変化曲線
- 9. 観測資料の報告
 - 9.1 電離層月報 (Ionospheric Data in Japan) に掲載される資料
 - 9.2 Radio and Space Data に掲載される資料
- III. 電波警報発令の基礎
 - 1. 太陽
 - 1.1 太陽概観
 - 1.2 太陽黒点
 - 1.3 太陽黒点変動周期と黒点相対数
 - 1.4 太陽電波
 - 1.5 太陽電波の URANJ 報告
 - 2. 地磁気
 - 2.1 静穏時における地磁気の季節変化
 - 2.2 地磁気じょう乱の背景
 - 2.3 地磁気じょう乱の種類
 - 3. 通信じょう乱
 - 3.1 通信じょう乱の背景
 - 3.2 急始電離層じょう乱
 - 3.2.1 SWF
 - 3.2.2 SWF 以外のD領域異常現象
 - 3.3 F層嵐による通信じょう乱
 - 4. 電界強度
 - 4.1 電界強度の測定
 - 4.2 電界強度値と黒点相対数との関係
 - 5. 通信状態の指数表示
 - 5.1 電界強度測定値の指数化
 - 5.2 実況指数
 - 5.3 総合実況指数
 - 5.4 総合実況指数算出対象回線の変遷
 - 6. 地磁気嵐と通信じょう乱
 - 6.1 地磁気嵐と通信じょう乱の関係

* 元平磯支所 超高層研究室

** 平磯支所 通信障害予報研究室 (元超高層研究室)

- 6.2 地磁気嵐の最大変化量及び継続時間と通信じょう乱との関係
 - 6.3 WWV, WWVH 回線における地磁気嵐の影響度合
 - 6.4 地磁気嵐と受信電界強度の日変化
 7. 太陽フレア, 地磁気嵐, 通信じょう乱の発生予測
 - 7.1 太陽フレア発生予測
 - 7.2 地磁気嵐の発生予測
 - 7.3 短波帯通信じょう乱の予測
 8. 週間, 短期電波じょう乱予報の評価
 - 8.1 評価方法の概要
 - 8.2 週間電波じょう乱予報の評価
 - 8.3 短期電波じょう乱予報の評価
 9. おわりに
- 謝 辞
参考文献
付 録
1. GEOALERT コードの説明
 2. USIDS コードの説明

I. はじめに

短波通信は, 宇宙通信の発達した現在においても, 簡便な遠距離通信手段としての価値は依然変りなく, 海外通信や放送, 移動業務等種々の業務に使用されている。これらの通信は短波の電離層反射特性を利用しているので, 安定な通信を行うためには電離層状態の変化に対応した運用が必要となる。本文で紹介する電波警報業務は, 短波通信利用者に対して通信状態に関する現況・予報情報を提供することを目的としている。

これらの予報を常時円滑に行うためには, 国内はもとより国外における太陽活動, 地磁気活動, 電離層変化, 電波伝搬状態等に関する最新の観測データを, より速く, より多く, 収集することが必要である。このような目的のために, 1957—1958年の国際地球観測年 (IGY) を契機に国際ウルシグラム世界日業務機関 (IUWDS; International Ursigram and World Days Service)⁽¹⁾,⁽²⁾が整備され, 国際的な情報交換業務が開始された。この組織は米国のボルダー市にある世界警報本部 (WWA; World Warning Agency) を中心に世界各地に設置された地域警報センタ (RWC; Regional Warning Center) から構成されており, 各国で観測された種々のデータがウルシグラムコードという特殊なコードにより IUWDS を通じて毎日交換されている。電波研究所は西太平洋地域警報センタとしてこの活動に参加しており, 平磯支所においてその実際の業務が行われている。支所ではこの役割を果たすために, IUWDS を通じて国内外

の観測データを収集するとともに, 太陽黒点, 太陽電波, 地磁気等の観測と長波及び短波帯の各種回線のモニタを行い, これらのデータを基に, 太陽活動及び地磁気活動に関する世界日警報 (GEOALERT), 短波通信利用者に対する短期及び週間電波じょう乱予報並びに大規模異常現象を予報する太陽地球環境予報等の発令と, 太陽電波バースト及びデリンジャー現象の報告等の業務を毎日休みなく実施している。

以上のように, 電波警報業務を実施するには多種多様な資料の系統的な整理及び解析を行う必要があり, その上, 現象の発生予報に関する経験的な知識が多分に要求される。本文の II. では, 電波警報業務の内容を理解していただくために定常業務の仕組みを紹介し, III. では, 長年にわたり業務に関連してなされた多く研究の蓄積である, 電波警報発令のための基礎知識について簡潔にまとめた。なお, 本文で使用した資料は発表, 未発表を含めすべて結果のみを引用した。

II. 電波警報発令業務と資料の収集

1. 電波警報業務の変遷

我が国の電波警報 (短期電波じょう乱予報)⁽³⁾,⁽⁴⁾は昭和20年 (1945年) 7月ごろに, 文部省学術研究会議の短波無線障害予知班により始められた。これは間もなく終戦を迎えるとともに中断された。

昭和24年 (1949年) 12月に電波庁電波部資料課 (国分寺) において電波警報が再開され, 通信じょう乱が予想されるときには標準電波 JJY に “W” のモールス符号を重畳し発射されるようになった。電波警報発令の判定には, 平磯電波観測所 (現平磯支所) において当時, 既に受信を開始していた標準電波 WWV (米国ワシントン市) 局と WWVH (ハワイ) 局及び商用回線の電界強度, 山川電波観測所と平磯電波観測所における地電流, 東京天文台における太陽面現象, 地磁気観測所の地磁気活動等の諸観測資料が使われた。

昭和26年 (1951年) 5月4日 (金曜日) に中央電波観測所 (現電波研究所) 電波資料課から短波通信利用者に対して, 週間予報の第1号が第1.1図に示した形式により発令された。予報期間は発令日の翌日から7日間である。第2号からは毎週土曜日に発令された。第23号までは週間予報の名称で発令されたが, 第24号から週間電波予報と改名され, 予報日は木曜日に変更された。

昭和26年6月, 平磯電波観測所に警報係が設置され, さらに昭和27年 (1952年) 3月ごろ, 電波警報業務を強力に推進するため, 太陽電波強度 (200 MHz) の定常観測が開始された。

週 間 予 報 № 1 中央電波観測所

5 月 第 2 週 5 月 4 日 発 令

曜 日	日 6	月 7	火 8	水 9	木 10	金 11	土 12
指 数	1	1	1	1	1	2	2

(摘 要)

第 1.1 図 昭和26年5月4日に中央電波観測所(現電波研究所)電波資料課から出された週間予報の第1号

昭和27年4月からは標準電波に重畳している警報内容(W, U)に“N”(平穏な状態)が追加され、発射されるようになった。

昭和29年(1954年)6月17日木曜日の週間電波予報第162号は平磯電波観測所から発令され、これが平磯における週間電波予報の第1号である。予報期間は発令日の翌日から10日間(発令日は週1回、木曜日)である。予報内容は短波の通信状態を; 1(極めて平穏); 2(概して平穏); 3(やや不安定); 4(不安定); 5(非常に不安定、じょう乱の恐れあり)の5段階に分けて表示した。この予報は平磯電波観測所の地磁気、地電流、電界強度、太陽面光学観測、太陽電波雑音、東京天文台の単色光太陽観測及び太陽電波雑音、米国クライマックス及びサクラメントピークにおけるコロナ観測等の諸資料を基にして行われた。

昭和31年(1956年)4月26日発令の第259号からデリンジャー現象発生予報が始められ、星印記号で表現された。星印1個の場合は“やや可能性あり”2個は“可能性あり”の2種類である。

昭和32年(1957年)12月5日木曜日の第343号から発令日が木、月曜日の週2回となり、予報期間は共に発令日の翌日から7日間に改められた。

昭和36年(1961年)7月6日木曜日の第530-1号から通信状態を表す指数の表示が1→(5), 2→(4), 3→(3), 4→(2), 5→(1)のように逆転して表すように変更された。

昭和38年(1963年)6月10日月曜日発令の第630-2号から週間電波予報の名称が週間電波じょう乱予報と改名された。また、7月3日発令の第643号からは発令日が週1回となり、水曜日に変更された。予報期間は発令日の翌日から7日間である。

昭和41年(1966年)4月6日水曜日の第778号から平磯支所(4月1日から平磯電波観測所は支所に昇格)の名称で発令され、同年7月27日水曜日の第794-1号から発令日が木、月曜日の週2回に変更された。

昭和45年(1970年)7月9日木曜の発令日には、昭和26年5月4日に中央電波観測所電波資料課から週間予報

第1号が発令されて以来、1回の休みもなく続けられてきた週間電波じょう乱予報が1000号に達し、それを記念するため、特別記念号が発行された。

昭和50年(1975年)3月13日発令の第1244-1号からタイプ打ちの新形式によるはがきに変更された。これは電波警報発令用自動情報処理装置(RADWIS)の導入による変革である。

昭和50年7月4日発令の第1260-1号から従来の発令日木、月曜日が金、火曜日に変更された。予報期間は従前どおりである。

昭和54年(1979年)2月16日に太陽地球環境予報の第1号が発令された。内容は太陽活動の現況とフレア等の発生予想、地磁気活動の現況と地磁気じょう乱の発生予想、太陽電波雑音、フレア、デリンジャー現象等の最新の現象報告であり、気象衛星センタに初めて通報された。

昭和55年(1980年)2月8日に週間電波じょう乱予報1500号が発令された。

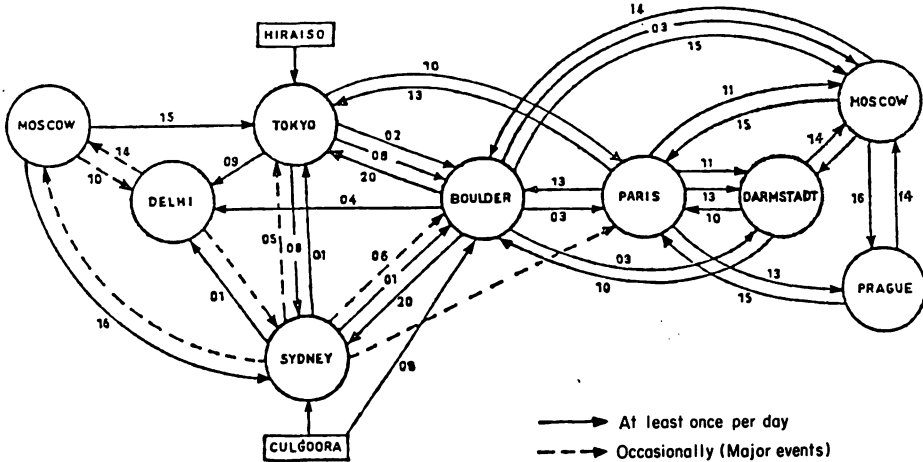
太陽地球環境予報は、昭和56年(1981年)5月11日発令の第6号(通算24号、昭和56年から発令番号が通算ではなく年ごとに変わるようになった)から鹿島支所衛星管制課にも送られるようになり、同年6月29日発令の第9号(通算27号)からは電波研究所本所内5か所、鹿島支所、電波研究所の各地方観測所の計12か所に送られるようになった。

昭和57年(1982年)1月8日に週間電波じょう乱予報の第1600号を発令するに当たり、記念号として1600-1と赤字で記入し、発令された。

週間電波じょう乱予報(昭和59年3月27日現在第1715-2号に至る)、短期電波じょう乱予報、世界日警報、デリンジャー予報、太陽地球環境予報は1日の休みもなく現在も続けられている。

2. 電波警報業務の目的

I. で述べたように、平磯支所における電波警報業務の目的は、短波通信利用者に対して通信じょう乱に関する予報を行うとともに、IUWDSの地域警報センタとし



第 1.2 図 IUWDS のネットワーク，実線上の数字はおよその通報時刻 (UT)

ての日常業務を果たすことである。支所では IUWDS の情報交換網 (第 1.2 図) を通じて収集された資料と支所独自で観測している種々のデータを基に太陽フレア，地磁気嵐，通信じょう乱等の発生を予想し，その予報とじょう乱の現況を各通信機関及び研究機関の予報利用者に対して伝達している。

なお，電波研究所には電波予報業務⁽³⁾ (電波部電波予報研究室*) と電波警報業務 (平磯支所担当) があり，両者は混同されやすいが，前者は，予想太陽黒点数を用いて特定回線の 3 か月先の MUF (最高使用可能周波数) と LUF (最低有効周波数) の時間変化を予報するものである。この予報は，短波通信回線の最適使用周波数の選定や，通信時間帯の設定等回線利用のために重要な役割を持っている。一方，後者はこの予報曲線からのずれを予測し，通信に障害を与えるような大きなずれを予想，又は観測した場合に，短波通信利用者に通報するものである。

3. 電波警報の内容

平磯支所では電波警報として世界日警報，短期電波じょう乱予報，週間電波じょう乱予報，電離層特別観測通報及び太陽地球環境予報を発令している。ここではこれらの内容について順に説明する。

3.1 世界日警報

この警報は IUWDS が GEOALERT という名の下で発令しているものである。GEOALERT は世界警報本部 (WWA) から発令されるものと，各地域警報センタ (RWC) からアドバイスの目的で発令されるものとの 2 種類があるが，基本的には内容は同じで，太陽活動に伴う諸現象と地磁気じょう乱に関する実況データ報告及

びこれらに基づいた警報を伝達するものである。これらの情報はモールス符号により日本から東南アジア向けに放送されているので，誰でもこの放送を受信すれば，内容を知ることができる。GEOALERT コードの一般形式及び内容については，付録 I に示してある。

3.2 短期電波じょう乱予報

この予報は，平磯支所におけるモニタ回線の受信状況及びその他の観測データを基に，今後 12 時間以内の通信状態を N (平穏)，U (やや不安定)，W (非常に不安定) の 3 段階で発令するものである。発令内容は，標準電波 JJY (日本) により，毎時 6 回 (00 分から 10 分間隔) 時刻表示の後に N，U，W のいずれかがモールス符号で放送されている。予報は状況の変化に応じて随時変更されるが，その場合の放送内容の変更は，平磯支所備え付けの専用電話の番号操作によって自動的に行われる。

3.3 週間電波じょう乱予報

この予報は，毎週火曜日と金曜日に発令されるもので，予報期間は発令日の翌日から 1 週間である。予報の内容は，地磁気嵐による通信じょう乱予報と，太陽フレアにより引き起こされるデリンジャー現象の予報とから成る。前者は，太陽面に起こる諸現象を基に地磁気じょう乱の発生の可能性を予測し，発生が予想される場合には，その開始日，大きさ，継続日数，季節による通信状態への影響度合等を考慮して，予報期間内の毎日の通信状態を以下に示す 1 から 5 までの指数表示で予報する。

- 5：きわめて平穏
- 4：概して平穏
- 3：やや不安定
- 2：不安定
- 1：非常に不安定

* 現情報管理部電波観測管理室



郵便はがき

WEEKLY FORECAST		NO.1716-1 ISSUED MAR 30					
DATE	31	01	02	03	04	05	06
INDEX	** 4	** 4	** 4	** 3	* 3	* 3	* 4

郵政省電波研究所 平磯支所 超高層研究室
11-12 茨城県那珂湊市磯崎町 電話那珂湊(02926)5-7121

「備考」

この予報は毎週火曜日と金曜日に、次の一週間の電波通信状況を五段階に分けて予報しております。

五段階の指数は次の通りです。

- 5) きわめて平穩。
- 4) 概して平穩。
- 3) やや不安定。
- 2) 不安定。
- 1) 非常に不安定。

デリンジャー現象の予報

- *) やや可能性あり。
- **) 可能性あり。

この予報は当所の太陽面観測、太陽電波観測、地磁気、地電流、電界強度並びに東京天文台、神岡地磁気観測所等の観測資料を基にして判定しております。

(NOTE)

Weekly Radio Telecommunications Forecast issued on every Tuesday and Friday.

Quality Indices

- 5) very good
- 4) good
- 3) slightly poor
- 2) poor
- 1) very poor

SWF

- *) slight possibility
- **) high possibility

(表 面)

(裏 面)

第 1.3 図 通信機関及び研究機関に通報するはがき形式の週間電波じょう乱予報

一方、後者は太陽活動が活発になり大きなフレアの発生が予想される場合に、デリンジャー現象発生の可能性を以下に示す 2 段階の星印表示で予想する。

* : やや可能性あり

** : 可能性あり

これらの予報は、第 1.3 図に示されるはがきを用いて、短波通信利用機関及び研究機関に伝達されている。

3.4 太陽地球環境予報

この予報は、大きなフレア又は地磁気嵐の発生が予想される場合、又は発生した場合に不定期に発令されるものである。発令規準は以下のとおりである。

(1) 太陽活動が非常に活発でプロトンフレアの発生が予

想される場合。

(2) フレア現象に伴って大きな地磁気嵐の発生が予想される場合。

(3) フレア現象に伴って地磁気嵐の発生が予想されなかったにもかかわらず、大きな地磁気嵐が発生、又は進行中の場合。

(4) フレア以外の原因(コロナホール、フィラメント崩壊)で大きな地磁気嵐の発生が予想される、又は既に進行中の場合。

この予報は、1972年2月16日の第1号以来、ファックスで関係利用機関に伝達されている。

以上をまとめると第1表のようになる。ただし、表中

第 1 表 電波警報の内容及び伝達先

名 称	伝 達 形 式	内 容	期 間	発 令 日 時	伝 達 先
実 況 報 告 (URANJ) (USIDS)	JJD 放送 国際テレックス	太陽じょう乱	1 日間	随 時	通信機関 (JJD 放送)
		地磁気じょう乱		毎 日 10 時 30 分	世界及び地域 警報センタ
短 期 電 波 じょう乱予報	JJY 放送	短波無線	12時間	随 時	通信機関 (JJY 放送)
週 間 電 波 じょう乱予報 (RATEF)	国際テレックス JJD 放送 はがき	通信じょう乱	1 週間	毎 週 火、金曜日	通信機関 (郵便) 世界及び地域警報センタ
太 陽 地 球 環 境 予 報	ファックス	太陽じょう乱 地磁気じょう乱	不 定	随 時	電波研究所 各電波観測所 気象衛星センタ

の実況報告のうち、URANJ は平磯支所の太陽電波研究室による太陽電波バーストの絶対強度のウルシグラム報告である。USIDS に関しては 4. で詳しく述べる。

3.5 電離層特別観測通報

太陽活動が非常に活発で大きなフレアが発生した場合、又はフレアが頻発し、大きな地磁気嵐の発生が予想される場合に 超高層研究室長（現 通信障害予報研究室長）が本所の電波予報研究室長（現電波観測管理室長）と協議の上、本所（電波研究所、国分寺）及び稚内、秋田、山川、沖縄の各地方観測所に対し電離層 5 分間隔観測（通常は 15 分間隔観測）を依頼するものである。この 5 分間隔観測は状況に応じて数日間続けられ、日本付近の電離層じょう乱現象に関する詳しいデータが取得される。

4. SWF 現象の検出

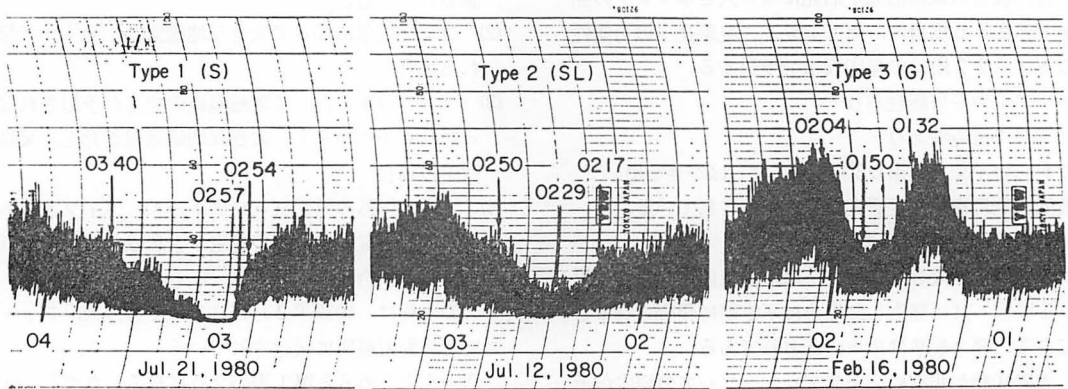
太陽フレアの発生に伴って日照半球の下部電離層に起こる異常電離現象を SID (Sudden Ionospheric Disturbances) と呼び、短波及び長波・超長波の伝搬にまで影響を及ぼす。特に、短波帯では数十分にわたり電波がとだえる短波消失現象 (SWF) が現れる。SWF の形は

千差万別で簡単に分類することは難しいが、超高層研究室では USIDS コードを組む場合のタイプとして、SWF の開始から減衰が最大になるまでに要する時間に従って、次の 3 種類を定義している。

- タイプ 1 : SWF が始まった時刻から最大の減衰量を示す時刻までの時間が 5 分以内 (S).
- タイプ 2 : 上記の時間が 5 分から 15 分の間 (SL).
- タイプ 3 : 上記の時間が 15 分以上 (G).

第 1.4 図は平磯支所で観測した 3 種類のタイプの SWF の例である。短波帯受信電界強度のチャート記録からの SWF の確認、及び SWF の開始時刻、最大減衰量を示した時刻、終了時刻の決定には、ある程度の熟練を要する。SWF の重要度は、現象の始まる前の電界強度 (dB) と最大減衰量を示したときの電界強度値 (dB) との差を 9 段階 (観測簿へ記入する場合) 若しくは 7 段階 (USIDS コードを組む場合) に分けて表している。平磯支所で用いている、回線別の減衰量に対する重要度の決定規準を第 2 表に示す。

一般にウルシグラムコード USIDS で報告される SID 現象としては、SWF のほかに SEA (Sudden Enhancement of Atmospherics), SPA (Sudden Phase



第 1.4 図 平磯支所で観測した SWF の 3 種類のタイプ、左からタイプ 1 (S), タイプ 2 (SL), タイプ 3 (G), 矢印右から発生時刻, 最大時刻, 終了時刻を示す。

第 2 表 SWF の重要度分類。SWF について各回線別に定めた減衰量によって区分した重要度 (Imp.) と USIDS コードで現象を報告する場合の重要度分類を示す。

回線	Imp.	観測簿	1-	1	1+	2-	2	2+	3-	3	3+
	USIDS		0	1	7	2	8	3	9		
WWV 15 MHz	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
			0~10	11~14	15~18	19~22	23~26	27~30	31~34	35~39	40<
WWVH 15 MHz			0~3	4~7	8~11	12~15	16~19	20~23	24~27	28~32	33<
Australia New Zealand			0~11	12~15	16~19	20~23	24~27	28~31	32~35	36~40	41<
Moscow BBC			0~12	13~17	18~22	23~27	28~32	33~37	38~42	43~49	50<

Anomaly-Phase Advance), SCNA (Sudden Cosmic Noise Absorption), SES (Sudden Enhancement of Signal) 及び SPA (Sudden Phase Anomaly-Phase Retardation) があるが、平磯支所では SWF の報告のみを行っている。USIDS コードの一般形式と内容については、付録Ⅱに示してある。

5. 平磯支所の観測資料

現在、平磯支所において警報業務のために定常的に取得している観測資料は、次のようなものである。

5.1 通信じょう乱、地磁気じょう乱を監視する観測

(1) 短波電界強度の測定回線

1984年4月現在平磯支所で受信している短波帯モニタ回線を第3表に示す。第1.5図は WWV, WWVH 15 MHz の受信例 (1984年5月27日), 第1.6図は太平洋ボルメットの放送局位置と受信例 (1984年4月28日) である。太平洋ボルメット放送は航空移動業務のための通信網で、太平洋地域の6局が5分間ずつ順に放送を行っている。これらの回線の電界強度をモニタすることにより、

地球上の広範囲にわたる通信状態の現況を把握することができる。ただし、現在はオークランド (米国) 及びアンカレッジの情報もホノルルから放送しているようである。外国放送は時々周波数や放送時間の変更等があるので、常に目的にかなった回線を探す努力がなされている。第1.7図は、1965年から1983年1月までに受信した回線を示したものである。図中で陰影を施した部分は、毎日の通信状態の良否を実況指数 (Ⅲ.5参照) で表すために使用した回線である。

(2) チャープサウンダによる通信状態の観測

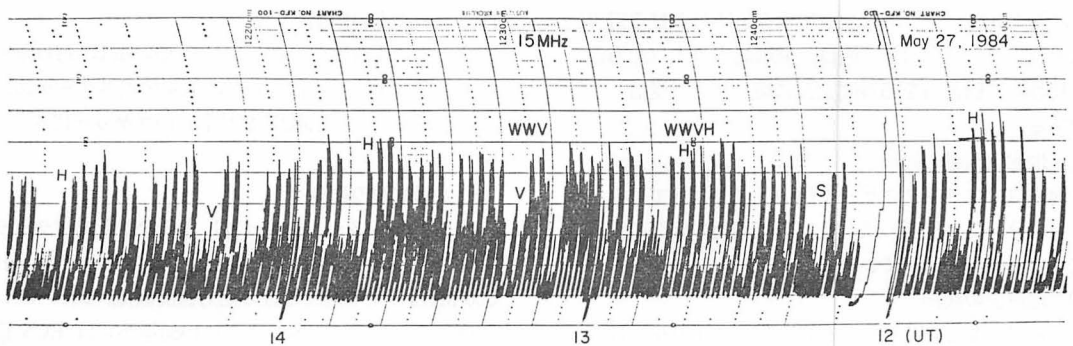
チャープサウンダは周波数 2 MHz から 30 MHz まで周波数を掃引しながら送信し、同期受信を行う装置で、送受信点間の通信可能周波数範囲が実時間で表示される。平磯支所には受信機が設置されており、外国から送信されるチャープ信号の定常受信を行っている。

(3) ロランC短波の連続受信

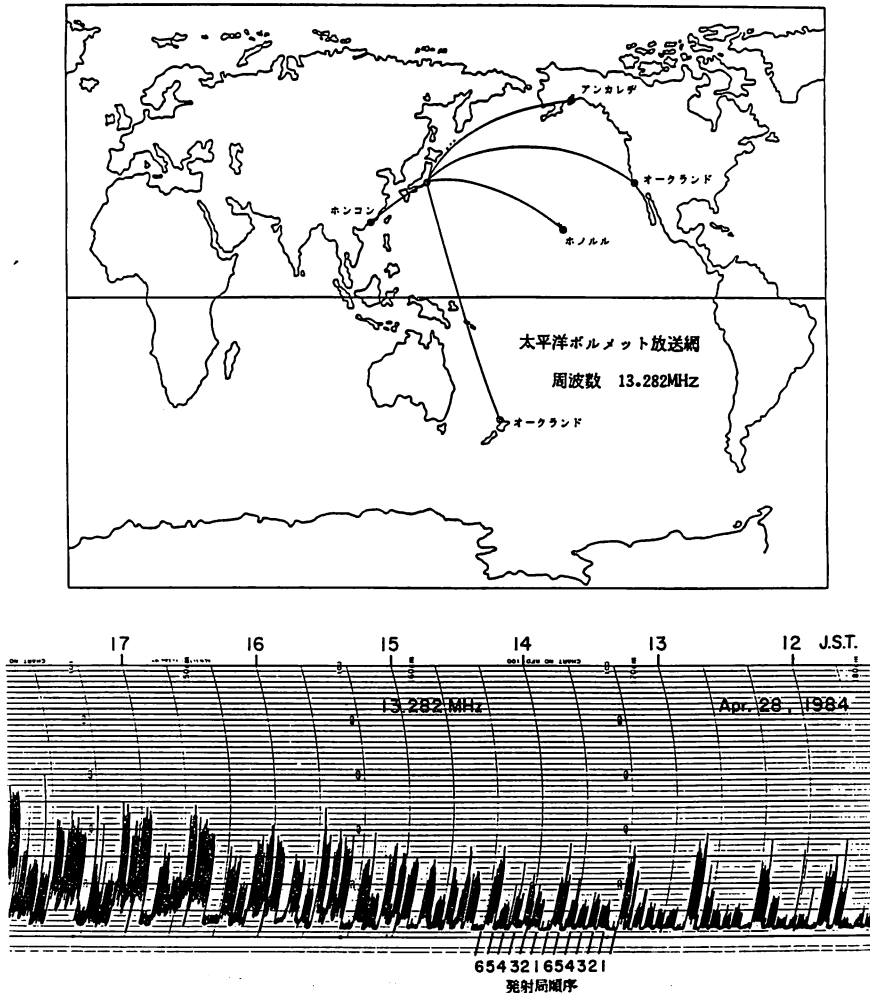
ロランC電波は船舶の測位用電波で周波数 100 kHzで送信されている。この電波はデリンジャー現象の検出感度が良好なので、その電界強度と位相の観測を行って

第3表 1984年4月現在の短波帯モニタ回線

回線	周波数 (MHz)	送信局	地理的位置
米国標準電波 WWV	10, 15	フォトコリンズ, 米国	40°41'N, 105°02'W
米国標準電波 WWVH (ハワイ)	10, 15	カウアイ, 米国	21°59'N, 159°46'W
チューレ回線	12.0365	チューレ, グリーンランド	76°33'N, 68°50'W
ラジオオーストラリア	15.165	シェパートン, オーストラリア	38°20'S, 145°25'E
ラジオニュージーランド	15.485	ウェリントン, ニュージーランド	41°05'S, 174°50'E
BBC 放送	12.095	ロンドン, 英国	51°28'N, 00°19'W
太平洋ボルメット	13.282	ホノルル, 米国 オークランド, ニュージーランド 東京, 日本 オークランド, 米国 アンカレッジ, 米国	



第1.5図 平磯支所において1984年5月27日に標準電波 WWV, WWVH 局の周波数 15 MHz を狭帯域受信機で受信した記録例。図中のSは混信を意味する。



第1.6図 太平洋ボルメット放送. 航空移動業務のための通信網の電波で、周波数は 13.282 MHz である。上図は発射場所を示し、下図は各局が30分を単位に5分間ずつ発射している電波を平磯支所で昭和59年4月28日に受信した記録例。発射順序は、1；ホノルル（米国）、2；オークランド（ニュージーランド）、3；東京、4；ホンコン、5；オークランド（米国）、6；アンカレッジ（米国）

る。第1.8図にデリンジャー現象発生時における電界強度の急上昇の例を示す。図は、発信局十勝太（北海道）を15秒間、硫黄島を45秒間交互に切り替えて受信した例である。

(4) 地磁気活動の観測

地磁気はフラックスゲート磁力計を用いて、H（水平）成分、Z（鉛直）成分及びD（偏角）成分の3成分について観測を行っている。

(5) 地電流の観測

地磁気観測との比較のために、東西に100mの間隔で探極を埋設して観測を行っている。

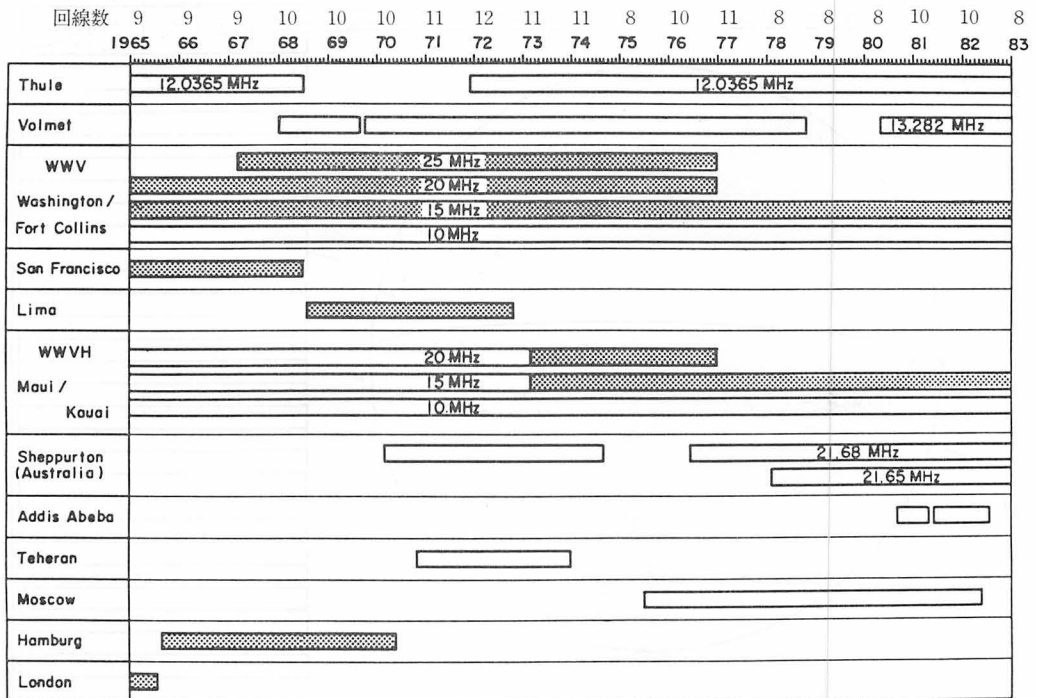
5.2 太陽面現象を監視する観測

(1) 太陽黒点の観測

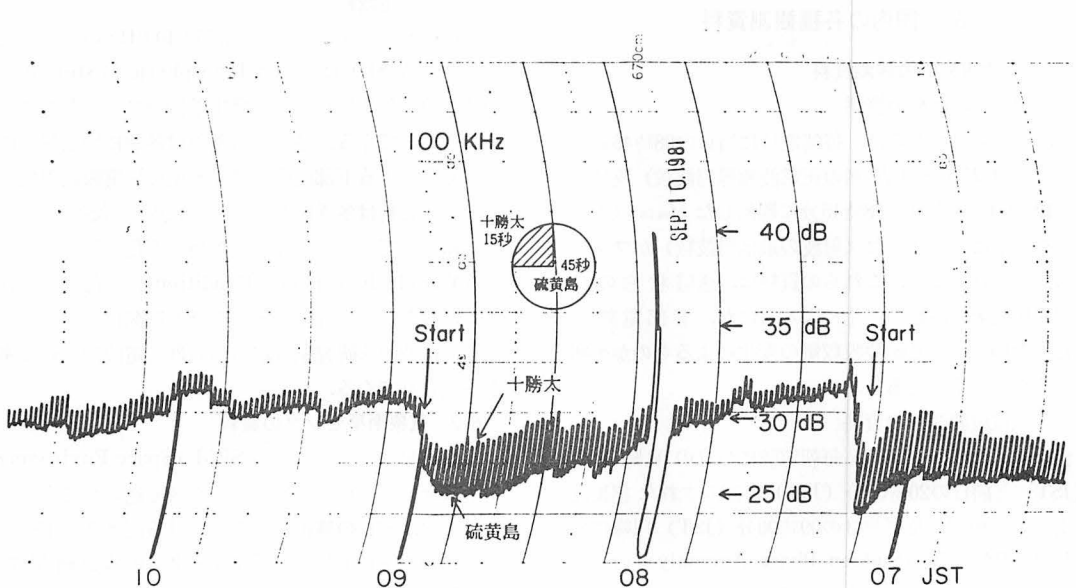
白色光による黒点の観測は、晴天ならば、毎日原則として UT 00 時ごろに行われ、太陽黒点スケッチ図が作られる。例として1982年2月7日のスケッチ図を第1.9図に示す。

(2) 太陽電波の観測

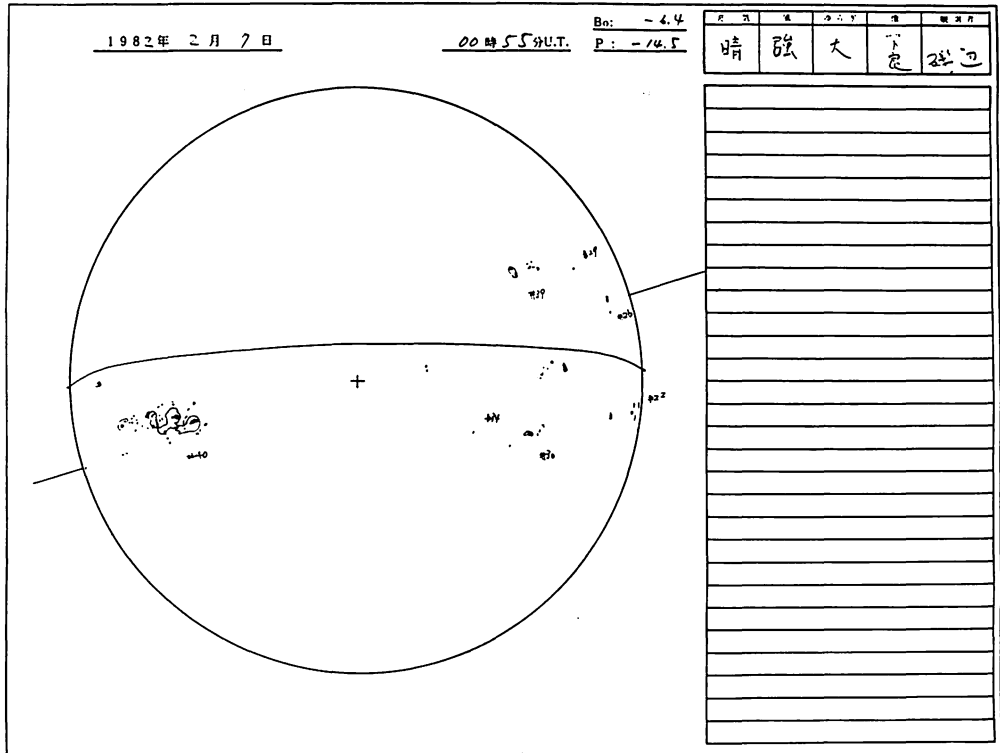
直径10m、6m、1.1mの3基の赤道儀式パラボラアンテナを用いて、それぞれ周波数100MHz・200MHz、500MHzの太陽電波雑音の絶対強度観測、9500MHzの強度観測を行っている。さらに1980年からはECS副局アンテナ（直径10mパラボラ）を転用して32GHzの太陽面輝度分布観測を行っている。



第 1.7 図 1965年から1983年1月までに平磯支所において受信した短波帯モニタ回線。陰影の部分は通信状態の良否を決定するための実況指数算出に使用した回線を表す。



第 1.8 図 ロランC電波において、デリンジャー現象が発生した場合に受信電界強度が急上昇した記録例を示す。图中的十勝太(北海道)、硫黄島はロランC電波の発射局で、硫黄島を45秒間、十勝太を15秒間ずつ切り替えて受信している。



第1.9図 1982年2月7日に平磯支所で観測した白色光による太陽黒点スケッチ図

6. 国内の各種観測資料

6.1 電波研究所の観測資料

(1) 稚内電波観測所の資料

稚内電波観測所からは、毎朝定時に当日の08時45分に観測した f_oE (正規 E 層の正常波臨界周波数) 及び前日の12時00分と当日の08時45分に観測した f_{min} (イオノグラム上に記録された反射波の最低周波数) がファックスで送られてくる。これらの資料は、通信状態の良否がF層反射周波数の変化によるものか、下部電離層 (E, D層) による短波吸収量の変化によるものかを判定するために重要である。

(2) 犬吠電波観測所の資料

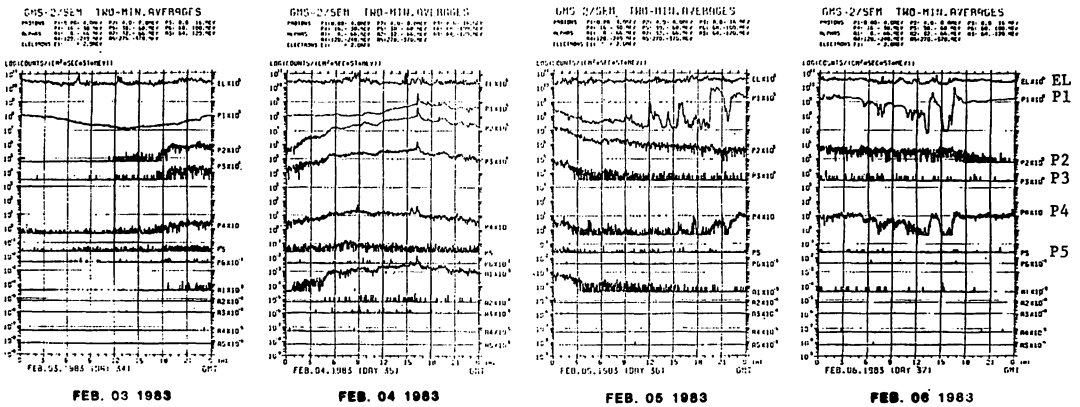
犬吠電波観測所からは、毎朝定時に当日の08時00分 (JST) と前日の20時00分 (JST) に観測された超長波帯電波の位相変化及び前日の09時00分 (JST) 以降に発生した SPA 現象 (Sudden Phase Anomaly) の報告がファックスで送られてくる。この報告は、SPA 現象が頻発しているときは午後でも送られてくることがある。位相変化の資料は、下部電離層による短波吸収量の変化を推定するために利用される。一方、SPA 現象はデリンジャー現象と対応がよく、その検出のために利用される。

(3) 秋田電波観測所の資料

秋田電波観測所からは、周波数 40 kHz の標準電波の観測による SID (Sudden Ionospheric Disturbances) の情報及び冬季異常現象の発生予測がファックスにより随時送られてくる。冬季異常現象は冬季に地磁嵐に関係なく発生する下部電離層による短波異常吸収現象で、その予測資料は冬季における通信状態の判定資料として非常に重要である。また、電離層の変化の状態を示す週報 (Weekly Ionospheric Conditions) が毎週送られてくる。なお、国分寺のイオノグラム観測による週報も、毎週、電波予報研究室 (現情報管理部電波観測管理室) から送られてくる。

6.2 気象衛星センタの資料

気象衛星「ひまわり」の SEM (Space Environment Monitor) の資料が毎朝ファックスで送られてくる。その内容は、前日の静止軌道上における高エネルギーの陽子、アルファ粒子及び電子フラックスの観測結果である。第1.10図は1983年2月3日から6日までの4日間の資料を例示したものである。この期間の、3日05時39分 (UT) に太陽面上の第3象限、経度08度、緯度19度の場所で重要度 X4/3B (X線強度 X4, 光学的重要度 3B) の大きなフレアが発生し、これに伴って同日17時 (UT) ごろから静止軌道上でプロトン現象、すなわち太陽風中



第1.10図 気象衛星センタから毎朝平磯支所に送られてくる気象衛星「ひまわり」のSEM資料で、1983年2月3日05時39分(UT)に発生した重要度 X4/3B の大きなフレアに伴って、3日の17時ごろに始まったプロトンの増加現象及び2月4日の16時15分に起こった急始型地磁気嵐によってP₁, P₂, P₃に急峻な増加現象が見られる例

の高エネルギー陽子を観測するチャンネル P₂, P₃, P₄ 及び P₅ の強度増加が観測されている。さらに、4日16時15分(UT)には急始型地磁気嵐(SSc)の開始を示す立ち上がり陽子チャンネル P₁, P₂ 及び P₃ で観測されている。その後地磁気嵐の進行に伴い地球磁気圏に捕捉されている陽子を観測するチャンネル P₁ は、6日の18時(UT)ごろまで大きく変動していることがわかる。このように、SEM 資料は静止軌道上の高エネルギー粒子と地磁気じょう乱との間に密接なかわりがあることを示している。

なお、平磯支所から気象衛星センタに対しては「太陽地球環境予報」が随時送られている。

7. IUWDS 関係資料

IUWDS 網により入手している国内の各観測所の資料

を第4表に示す。国外資料に関しては、日本時間の午前10時ごろまでに入手し得るものは

- i MOSCOW (モスクワ, ソ連)
UMAGE, USIDS, UABSE, UFLAE, UFOFS, USSPI, USSPS, URANJ
- ii MEUTOK (ムードン, 仏国→東京)
GEOALERT, UMAGE, USSPS, UCOSE, UABSE, USIDS, URALN, UFOFH
- iii BOUTOK (ボルダー, 米国→東京)
URANJ, URASP, USSPS, UFLAE, UMAGE, UABSE, USIDS, UFOFH, UMUFH, AFRED, TENCM
- iv SYDTOK (シドニー, オーストラリア→東京)
URALN, URANJ, URAHG, URASP, UPATV, UFLAE, (Culgoora evening report)

第4表 USIDS 網により入手する国内資料

コード名	観測所	内容
URALR	豊川, 名古屋大学空電研究所	太陽活動域における波長 3 cm と 8 cm の電波のフラックス比. 太陽電波から推定されるプロトンフレア発生の可能性
URANJ	平磯, 電波研究所	固定周波数 4 波 (100, 200, 500, 9500 MHz) による太陽電波バースト
USSPS	三鷹, 東京天文台	太陽黒点
UPATP	三鷹, 東京天文台	H α 線による太陽フレアパトロール
UCORE	乗鞍, 東京天文台	太陽コロナ
UCOSE	板橋, 理化学研究所	宇宙線強度
UMAGE	柿岡, 地磁気観測所	地磁気活動
UFOFS	国分寺, 電波研究所	F _o F ₂ の 6 時間ごとの最大, 最小値
USIDS	平磯, 電波研究所	急始電離層じょう乱
RATEF	平磯, 電波研究所	週間電波じょう乱予報
MAGNE KA	柿岡, 地磁気観測所	柿岡における地磁気の 3 時間ごとの K-指数

第5表 主なウルシグラムコードとそれらの内容
(第4表に示されているものを除く)

コード名	内 容
GEOALERT	世界日警報
PRESTO	緊急現象報告
USSPI	太陽黒点磁場
UPATV	太陽フレアパトロール実視観測
UPLAK	太陽カルシウムプラージュ
UFLAE	太陽フレア
URASP	太陽電波スペクトル
URALN	固定周波数による太陽電波源及びコロナホールの位置と強度
URAHG	太陽電波の偏波, フラックス強度とその発生源
UFOFH	電離層 (毎時の f_oF2 の値)
UMUFH	電離層 (毎時の最高使用周波数の係数)
UABSE	電離層吸収
TENCM	太陽電波 10 cm 波フラックス予報
AFRED	地磁気予報

日本時間の午前10時以後に入手し得るものは、

- i WWA (ボルダー, 米国)
GEOALERT

- ii SYDTOK (シドニー, オーストラリア→東京)
GEOALERT, URANJ, URAHG, URASP,
UPATV, UFLAE, URALN
(Culgoora morning report)

などである。そのほかに、緊急現象報告 (PRESTO) が随時入電する。第4表に示されていないウルシグラムコードの概要を第5表にまとめた。

第1.11図は各種資料の入手と伝達経路を示したものである。

8. 警報判定資料の整理

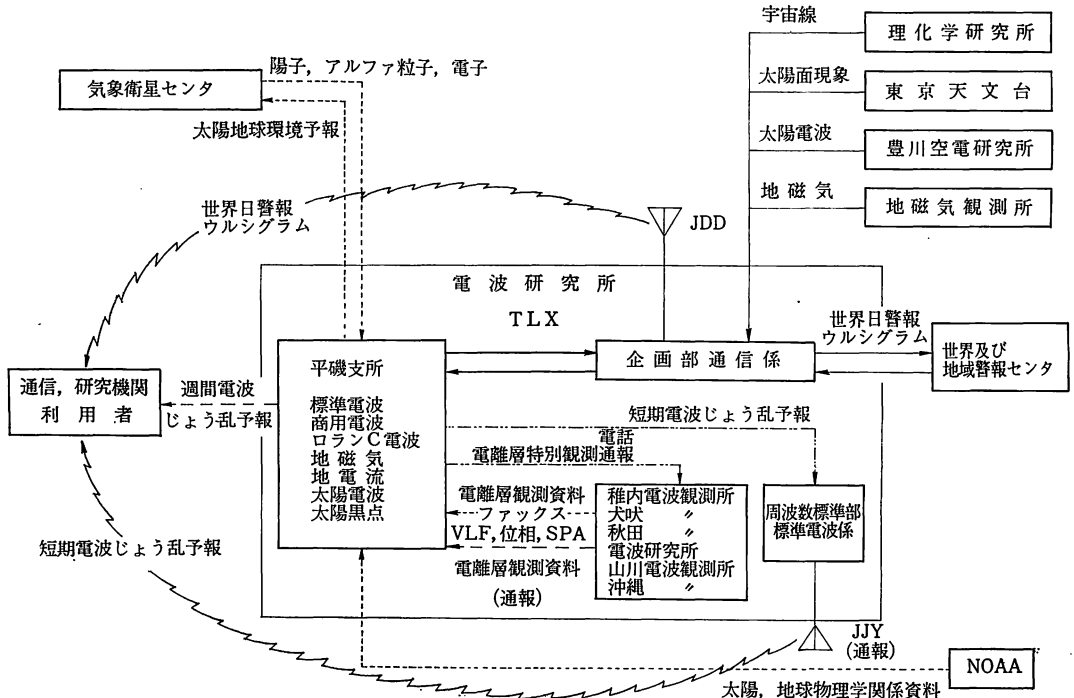
5. から7. までに紹介した各種の資料は、毎日午前10時に行われる警報判定会議において検討資料として有効に活用されるために、事前に以下に述べる各種の記録簿及び図表に整理される。

8.1 太陽記録簿

国内外からウルシグラムコードで入電した太陽電波、太陽フレア等の現象の発生位置や時刻、及び SID の発生時刻を図表に記入する。これによって、太陽面上のどの位置にどのような現象が何時に起こったかが一目でわかる。

8.2 太陽黒点簿

平磯支所の光学観測による太陽面スケッチ図をとじたもので、黒点の場所、大きさ、数、型等の毎日の変化を見ることができる。スケッチ図にはボルダーで定めた黒



第1.11図 電波警報判定資料の入手及び警報の伝達経路図

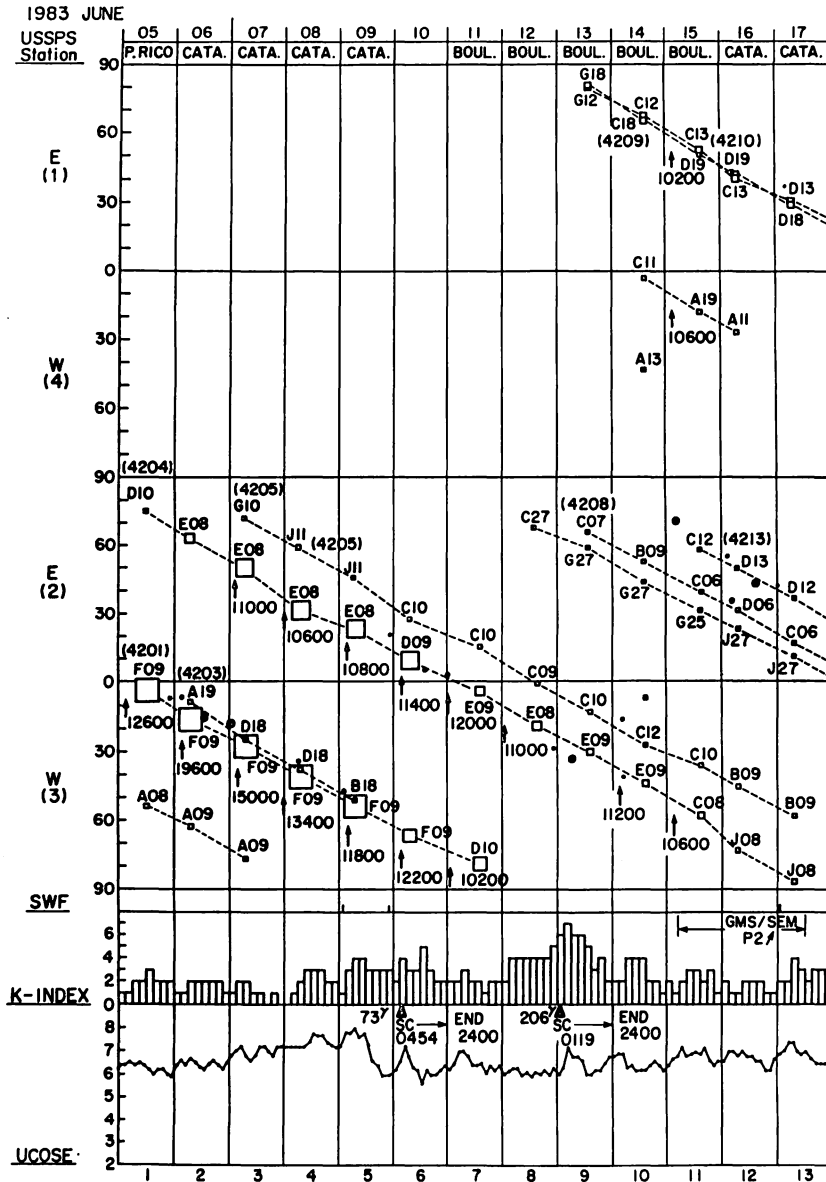
点群の番号、及び豊川の URALR による電波で見た活動領域の活動状況が数字で併記されている。

8.3 警報日誌

毎日の太陽、地磁気活動と通信状態の概況、及び平磯支所で発令した GEOALERT、短期電波じょう乱予報、週間電波じょう乱予報を WWA 発令の GEOALERT とともに記入する。

8.4 観測簿

平磯支所で観測した SWF (Short Wave Fade-out, デリンジャー現象) とそれに対応する SES (Sudden Enhancement of Signal 15-200 kHz), 太陽電波バースト, TENFLARE, 太陽フレア, 豊川の太陽電波 (3750 MHz) のフラックス強度, 柿岡の地磁気, 6時間ごとの通信状態の予報, 及び実況指数 (Ⅲ, 5. 参照)



第1.12図 現象記録簿のSolar Rotation No. 2048, 1983年6月5日から17日までのカット図で、上から日付、記入黒点観測局名、太陽面での象限、SWF、地磁気観測所のK指数、理化学研究所の宇宙線強度、4角印は黒点の大きさ、4角印の上部に黒点の型と緯度、括弧内の数字は黒点No., 上向き矢印とその下の5けたの数字は平磯支所で観測した32 GHz太陽電波の観測時刻と輝度温度、黒丸印はフレアの発生場所と大きさ(黒丸の大小)、GMS/SEMは気象衛星「ひまわり」のプロトン現象を表す。

を記入する。

8.5 警報発令簿

短期電波じょう乱予報を変更した場合、変更内容及び変更の理由を記入する。

8.6 週間予報発令簿

週間電波じょう乱予報の発令内容及び予報決定の理由を記入する。

8.7 太陽面現象記録ノート

毎日テレックスで入電するウルシグラム情報のうち、黒点 (USSPS), フレア (UFLAE), 及びテンフレア (TENFLARE) の資料を抜き出して整理する。

8.8 現象記録簿

これは、毎日入電する太陽、地磁気、宇宙線、太陽電波、SWF 現象等に関するウルシグラム情報を太陽回転周期番号 (Solar Rotation Number) ごとに整理したものである。これによって各現象の関連と過去の経過が明瞭に把握できるので、今後の推移を予想する上で非常に便利である。第1.12図に1983年6月5日~17日 (Rotation No. 2048) のカット図を示す。用紙には500×700 mm の方眼紙を使用している。図の縦軸は太陽面の各象限の経度、横軸は日時を表し、毎日の黒点群の経度上の位置が正方形で記入されている。正方形の大きさは黒点群の面積を表し、黒点数によって正方形内の色を塗り分けている。黒点の型と緯度は正方形の上部か下部に記入される。フレアは赤く塗った円で表し、その大きさは重要度により4段階に描かれる。この図によって、各黒点群の盛衰の様子及びどの黒点群からフレアが発生しているのか等が一目で分かる。図の下部には、平磯支所の SWF、地磁気観測所の地磁気 K- 指数 (MAGNE KA)、理化学研究所の宇宙線 (UCOSE) がグラフ表示されている。

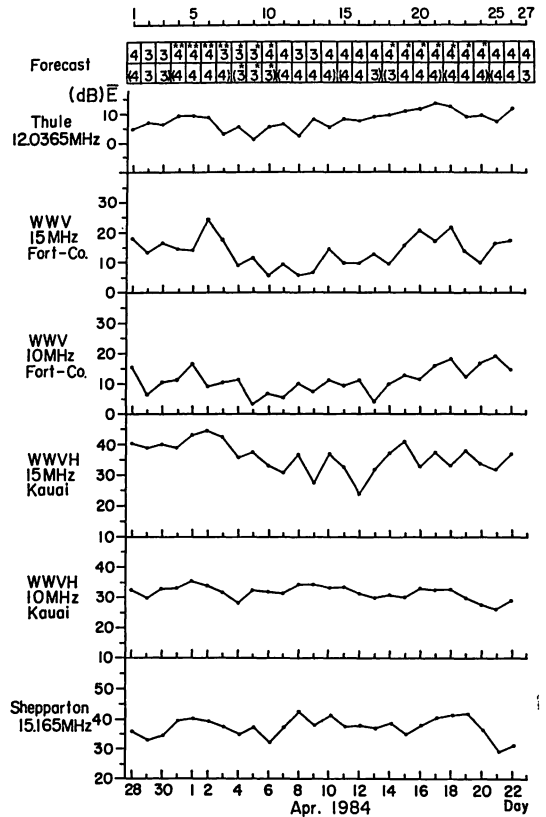
8.9 平均相対電界強度 \bar{E} の逐日変化曲線

毎日の通信状態を掌握するため、各短波モニタ回線の受信電界強度を、前日の09時 (JST) から当日の08時 (JST) まで毎時間読み取り、それらを時間平均することによって、前日の各回線の平均相対電界強度 \bar{E} を算出している⁽⁵⁾。このようにして毎日計算された電界強度の逐日変化曲線は、各回線の通信状態の変化傾向をつかむ上で重要である。第1.13図に1984年3月28日~4月23日 (Rotation No. 2059) の \bar{E} の逐日変化曲線を示す。

9. 観測資料の報告

平磯支所における各種の観測結果は、電波研究所発行の電離層月報及び Radio and Space Data 誌の中に掲載されている。

9.1 電離層月報 (Ionospheric Data in Japan) に



第1.13図 1984年3月28日から4月23日 (Solar Rotation No. 2059) の間における平均相対電界強度 \bar{E} (縦軸, dB) の各回線における日変化と週間予報

掲載される資料

(1) 標準電波の電界強度測定値

米国標準電波 WWV 15 MHz 及び WWVH 15 MHz の2回線について、受信電界強度の毎時間読み取り値から計算機処理により絶対電界強度値が算出され、各1か月分が表の形で掲載される。

(2) 実況指数と短期電波じょう乱予報

毎日受信している短波回線の通信状態の良否を表す手段として、毎時の受信電界強度の月中央値と測定値を比較し、その差を定められた規準に従って1 (最も悪い) から5 (最も良い) までの5段階の数字で表した実況指数 (詳細は III, 5. 参照) と各回線ごとに求めたこれらの指数を平均することにより、一日の通信状態を表す総合実況指数が決定される。電離層月報には、このようにして決められた毎日の総合実況指数及び WWV 回線と WWVH 回線の6時間ごとの実況指数が、短期電波じょう乱予報、地磁気観測所報告の地磁気嵐の開始と終了時刻及び地磁気水平成分の最大変化量とともに掲載され

USSPS コードには観測局，観測日，時刻，黒点位置，黒点相対数，型，観測所で固有に付けた黒点番号等が，USSPI には観測局，観測日，時刻，単極性，双極性，磁場勾配，多極性について報告されている。大きな黒点群では色々な極性を持つ黒点が混じっている。このようなときにはその一つ一つについて位置と極性が示されている。

上述した黒点群の分類は発達，衰退の過程を表しているとも考えられるが，かならずしもA型で太陽面上に現れFに発達し，G以下になって衰退していくという過程をたどるものではない。太陽面上にA型で出現しそのままの型で終わるものもあれば，活動しながら大きくなるもの，また太陽裏面で発達し，表面に現れ衰退していくものなど，その出現，消失は様々である。毎日のように変化している黒点群の活動の程度を推定する場合，A型からF型に向かって型が変化しているもの，E，F型で構造変化を繰り返しているもの，あるいは黒点の面積，数が増加傾向にあるものは大きなフレア（地磁気嵐を引き起こすようなもの）を起こす可能性が大きく，それ以外の型は衰退性のものである。G，H，J型の黒点群でフレアが全然発生しないわけではないが，大きなフレアの発生はごく少なく，単発で終わる場合が多いので，こ

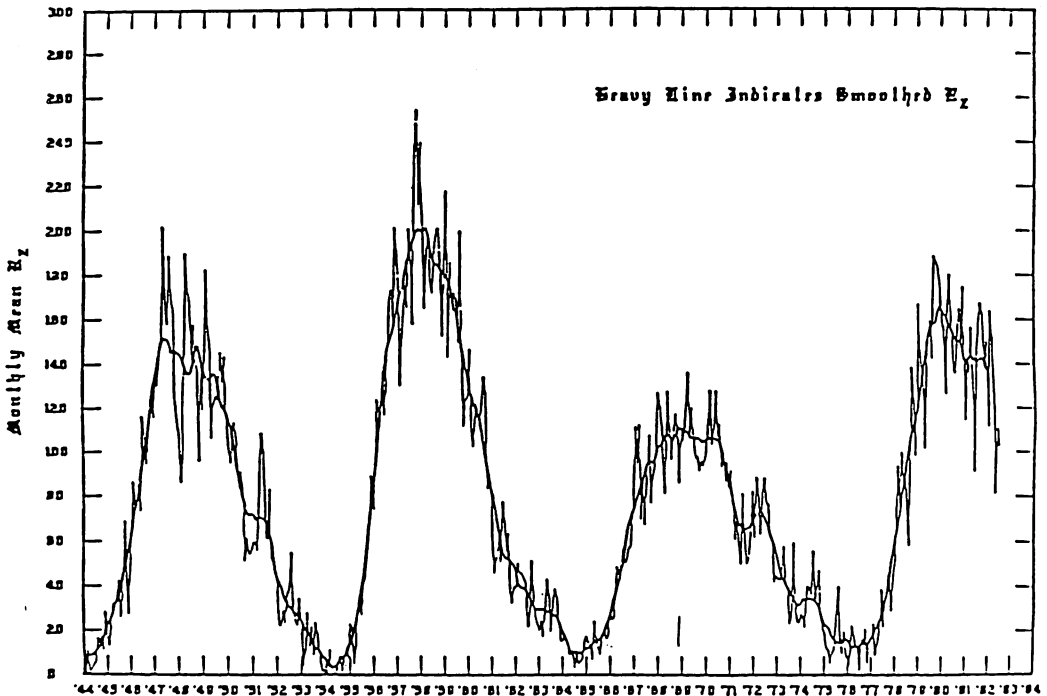
れらの型に伴うフレアの発生は予想が難しい。

1.3 太陽黒点変動周期と黒点相対数

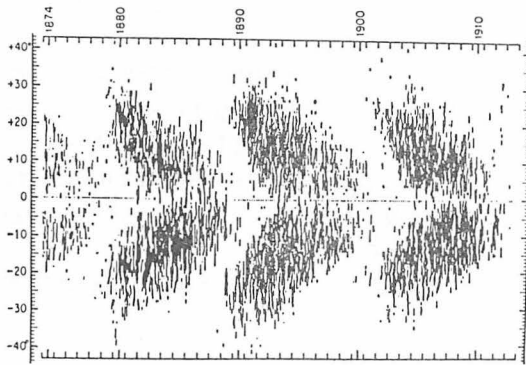
太陽黒点群は太陽活動の度合いを表し，黒点数の多寡により予報時点での太陽活動度を知ることができる。黒点数は約11年で増減し，22年周期で類似した変化傾向を示す。第2.2図に1944年1月から1982年7月までのチューリッヒの太陽黒点月平均値の変化傾向を示す⁽⁷⁾。このほかに，活動の静かな期間と活発な期間とでは，太陽面上に現れる黒点の日面緯度が異なる。太陽活動が静かになり日面緯度の低い場所（10度以下）に多く現れていた黒点が，次の太陽活動周期に入ると緯度の高い場所（30度～40度）付近に多く現れるようになり，活動が活発になると中緯度（20度付近）に移り，活動が低下するに従って低緯度に移って行く。このような変化を太陽周期ごとに繰り返している。

この法則をよく表したものがマウンダー（Maunder）の蝶々図でマウンダーの蝶形分布と呼ばれている。これを第2.3図に示す。太陽活動度を表す尺度として黒点相対数が用いられている。これは1848年ウォルフにより初めて指数化されたもので，ウォルフ黒点数とも呼ばれ，次に示す式により与えられる。

Monthly Mean Zürich Sunspot Numbers
January 1944 - July 1982



第2.2図 1944年1月から1982年7月までのチューリッヒ太陽黒点数の月平均値の変化傾向を示す。



第 2.3 図 マウンダーの蝶形分布

$$R = k(10g + s)$$

k = 観測器や観測者のくせを考慮に入れた補正係数

g = 黒点群の数

s = 個々の観測可能な黒点数

1.4 太陽電波

太陽電波はコロナ領域から定常的に輻射されている熱輻射によるものと、フレア等の発生時の超熱輻射によるものがある。前者は平常時における太陽電波雑音で、後者は太陽活動が活発となりフレア等が発生したときに電波バーストとして観測される。太陽電波の観測方法には固定周波数観測とスペクトル観測があるが、平磯支所では 100 MHz, 200 MHz, 500 MHz, 9500 MHz 及び 32 GHz の 5 波の固定周波数で観測を行っている。これらの電波によってコロナ領域及び彩層領域を監視することに

より、異常現象（フレア等）が発生したとき、電波的に見てどの程度のフレアが起こったかが推定され、その結果、地磁気嵐発生 の 予測が 可能となる。これらの電波にバーストが観測され、特に 100 MHz, 200 MHz 帯での強度が大きく、継続時間が長い場合には地磁気嵐を起こす可能性が強い。更にダイナミックスペクトルの観測で II 型あるいは IV 型と呼ばれるバーストが観測されたかどうかにより、最終的に地磁気嵐発生 の 可能性が決定される。一般に電波バーストは、周波数特性、継続時間等により大別して、次に示す 5 種類に分類される。

(1) I 型バースト

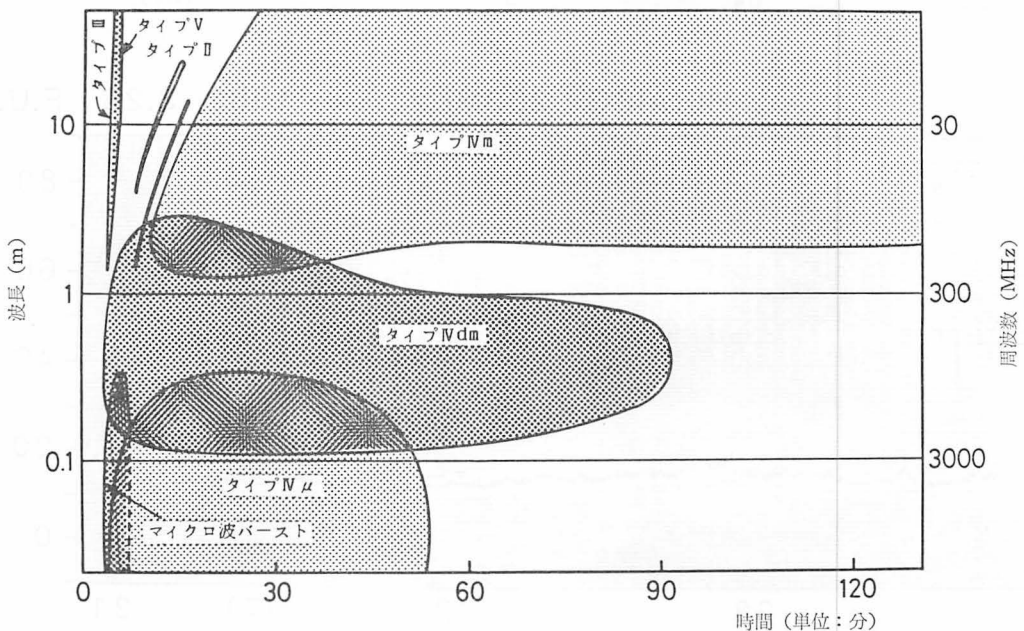
多数のインパルス性のバーストが広い周波数帯域 (30 MHz ~ 200 MHz) にわたり連続スペクトルとなって発生するもので、ノイズストーム (数時間以上にわたり、電波強度がノイズ状に増加する) と呼ばれている。活動的な黒点群から放射され、数時間、時としては数日間続くこともある。この現象はフレアと直接的関係はない。

(2) II 型バースト

大きなフレアが発生したときに現れる現象で、III 型、V 型バーストに続いて狭いバンドをもち、中心周波数が高い周波数から低い周波数の方へゆっくりと変化していく。継続時間は 5 ~ 30 分ぐらいで周波数範囲は 30 ~ 300 MHz にわたるが、基本波の 2 倍の高調波を必ず伴っている特徴がある。この現象が現れると地磁気嵐発生 の 可能性が大きい。

(3) III 型バースト

この型はマイクロ波帯域及びメートル波帯域のインパ



第 2.4 図 太陽フレアに伴って発生する電波バーストの時間変化による周波数ドリフトの様相 [大林⁽⁸⁾]

ルス性バーストで、II型バーストに比べ極めて速い周波数ドリフトを持っている。この型が発生する頻度は他の型のものに比べて非常に多く、フレア発生中にもしばしば認められる。

(4) IV型バースト

大きなフレアが発生したときに、その主相から終相に現れ、広帯域の連続スペクトルを持っている。現象の大きさにもよるが地磁気嵐の前触れとなることが多い。

(5) V型バースト

III型バーストの延長として低周波数(100 MHz)に短時間発生する連続スペクトルを持ったバーストである。

フレアに伴って発生するそれぞれの電波バーストのダイナミックスペクトルを第2.4図に示す。

1.5 太陽電波の URANJ 報告

IUWDS の固定周波数による観測報告は URANJ で

なされ、現象の型は次の6種類に分けて報告される。

(1) メートル波のノイズストーム。

平磯支所で観測した 200 MHz の例を第 2.5 図に示す。

(2) 基準レベル強度の増加 (普通はメートル波で、レベルは太陽活動周期でやや変化するが 10 F. U. 程度)。

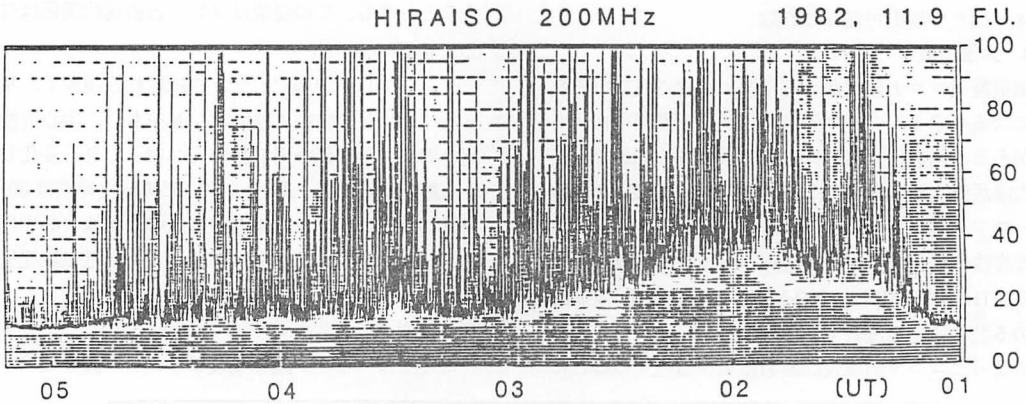
平磯支所で観測した 200 MHz の例を第 2.6 図に示す。

(3) メートル波の小さなバースト, あるいはマイクロ波の単純なバースト。

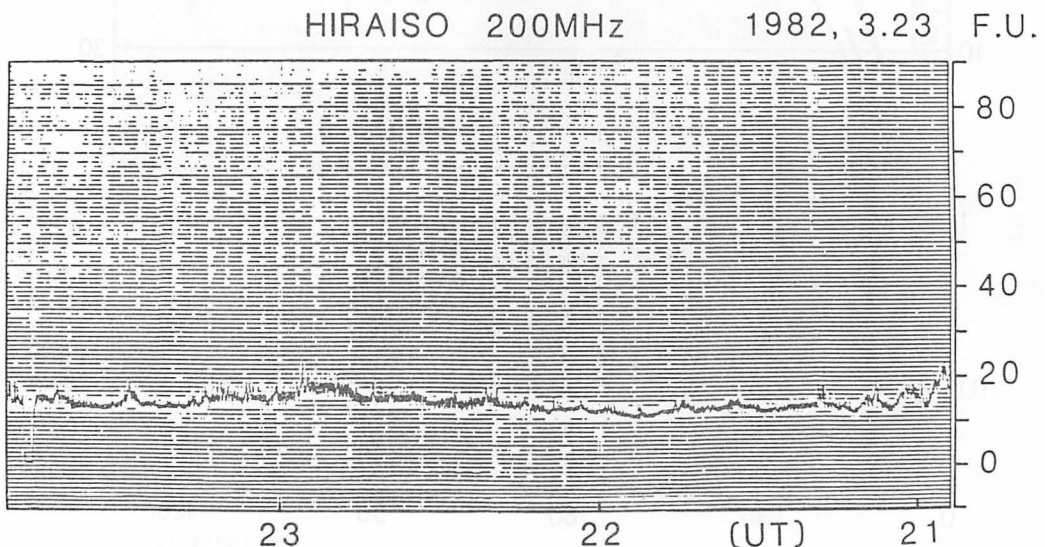
(4) 群バースト (幾つかのバーストが群状になっている)。

平磯支所で観測した 200 MHz の例を第 2.8 図に示す。

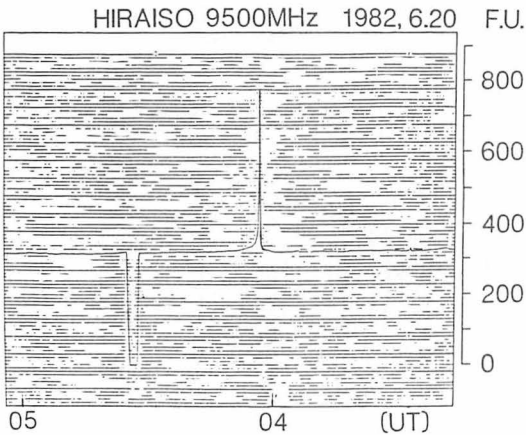
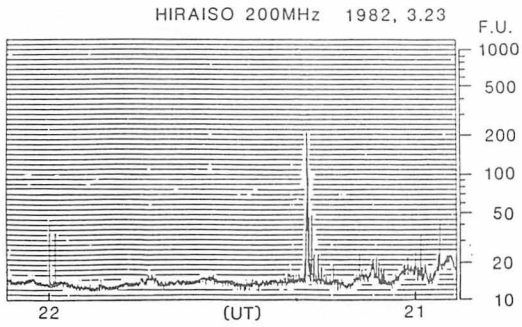
(5) メートル波の大きなバースト, あるいはマイクロ波の複雑な型をしたバースト。



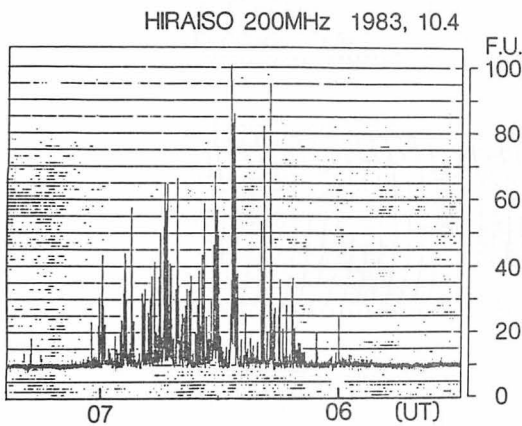
第 2.5 図 平磯支所で観測した太陽電波 200 MHz (メートル波) のノイズストームの例



第 2.6 図 平磯支所で観測した 200 MHz (メートル波) の基準レベル強度が増加した例。平常レベルは 10 F.U. 程度



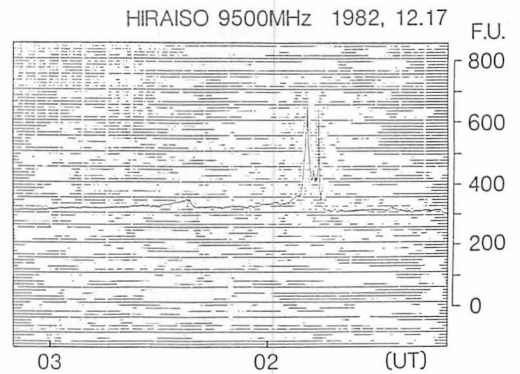
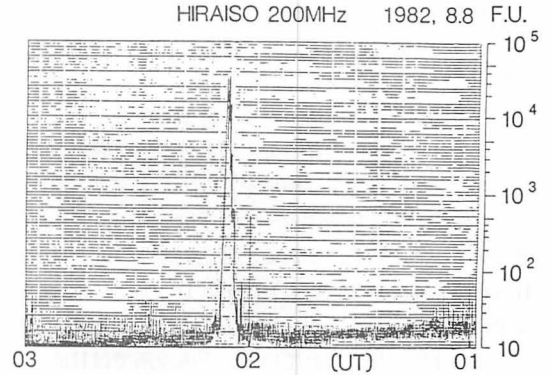
第 2.7 図 平磯支所で観測した 200 MHz (メートル波, 上図) の小さなバーストと 9500 MHz (マイクロ波, 下図) における単純なバーストの例



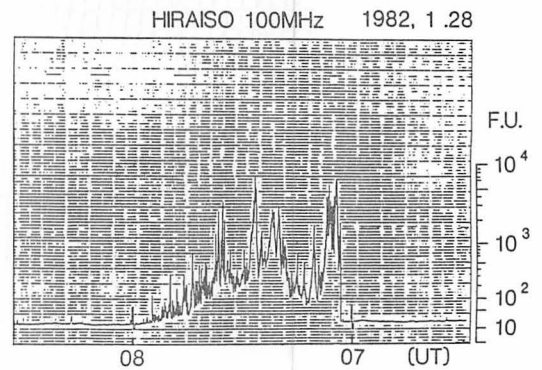
第 2.8 図 平磯支所で観測した 200 MHz (メートル波) の群バーストの例

平磯支所で観測した 200 MHz と 9500 MHz の例を第 2.9 図に示す。

(6) メジャープラスバースト (一つの現象の中に二つの極大値を持っている), あるいはマイクロ波のすそ野の部分が観測される。



第 2.9 図 平磯支所で観測した 200 MHz (メートル波, 上図) の大きなバーストと 9500 MHz (マイクロ波, 下図) の複雑なバーストの例



第 2.10 図 平磯支所で観測した 100 MHz (メートル波) のメジャープラスバーストの例

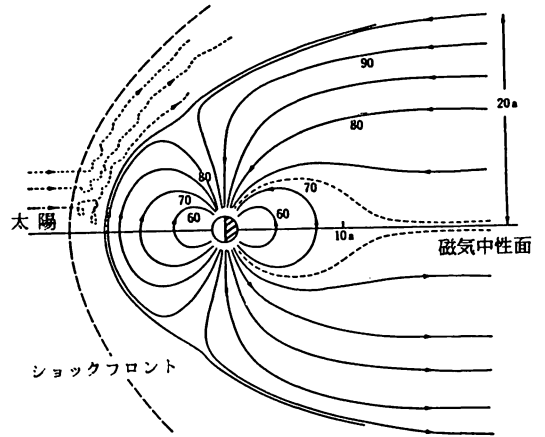
平磯支所で観測した 100 MHz の例を第 2.10 図に示す。

2. 地 磁 気

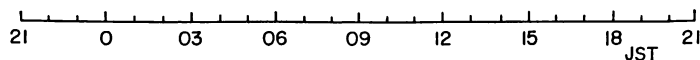
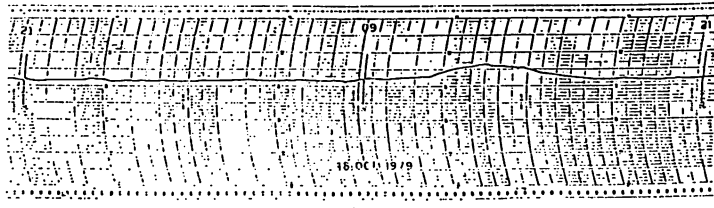
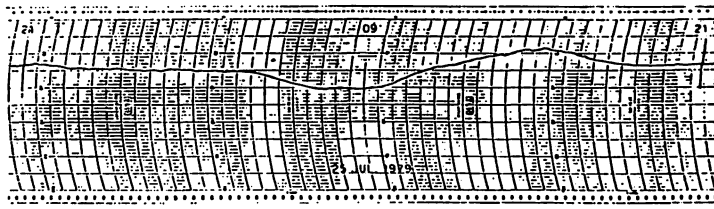
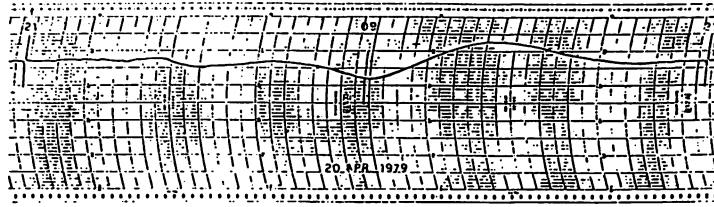
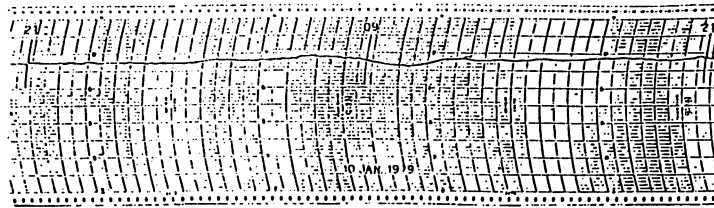
2.1 静穏時における地磁気の季節変化

太陽から常時放射されている太陽風 (太陽 プラズマ流) により, 地球磁場は双極子軸に対して対称ではな

く、太陽に面した半球（昼間の部分）では太陽風と地球磁場の圧力が等しくなる地球半径の約10倍の範囲に圧縮され、反対側の半球（夜間の部分）では長く吹き流されて、その尾部は月の軌道辺りまで伸びていると考えられている⁽⁶⁾。平常時における太陽風と地球磁気圏の磁力線分布を第2.11図に示す。地球上において太陽風と地球磁場の平衡状態の変化を知る一つの手段として、常時地磁気変化を観測する方法がある。地磁気変化の観測は通常H（水平）成分、Z（鉛直）成分、D（偏角）成分の三要素について行われるが、IUWDSの地磁気報告ではH成分の変化量が報告されている。平磯支所ではH成分磁力計観測に加え、1981年から3成分磁力計（昭和56年11月17日から）による観測も行っている。この観測は絶対量よりもむしろ相対的な変化量測定に重点を置いてい



第2.11図 平常時における太陽風と地球磁気圏の磁力線分布【大林⁽⁶⁾】



第2.12図 平磯支所で観測した各季節における静穏日の地磁気の時間変化

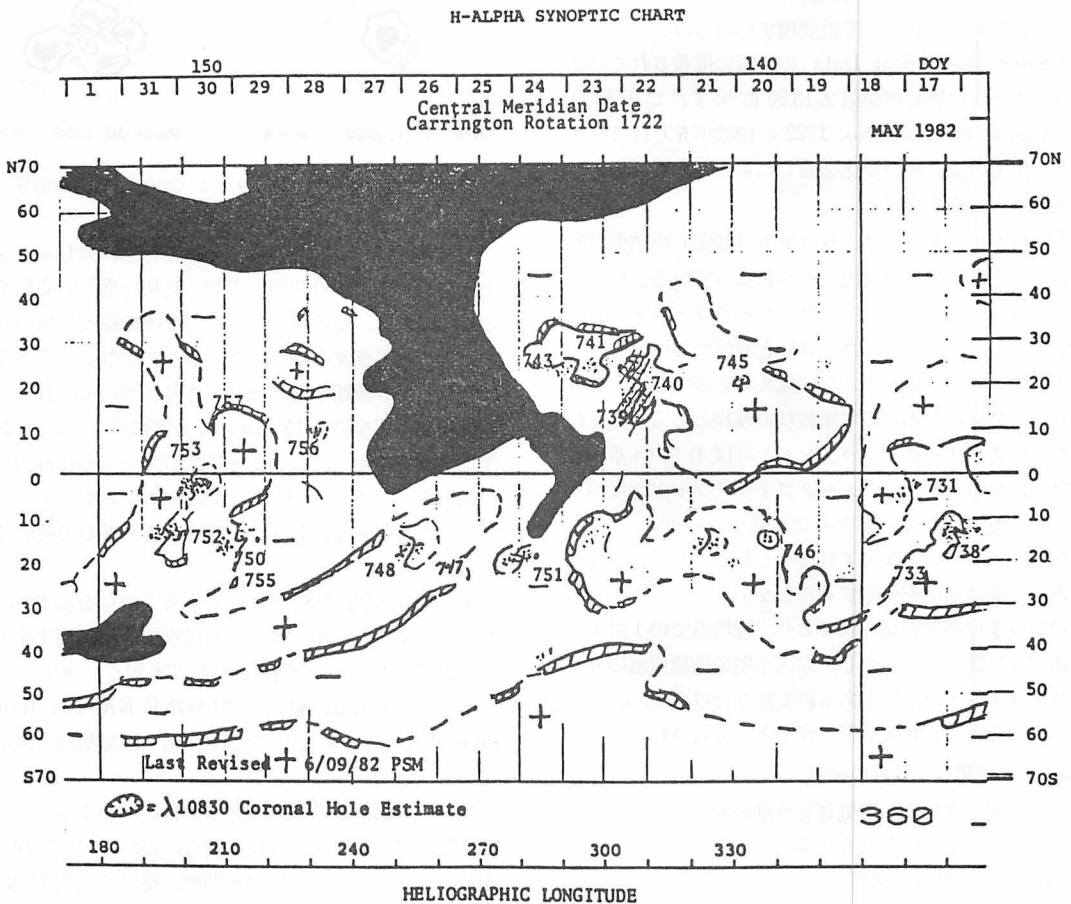
る。地磁気の変化傾向は年間を通じて一定ではなく、観測所の位置（高緯度、中低緯度）や季節により、その様相が変わる。平磯支所で観測したH成分の1979年1月、4月、7月、10月の、四季を代表する各月における静穏日の代表例を第2.12図 a, b, c, d に示す。ここでは地磁気観測所の報告による1日のK指数の和が8以下の日を静穏日とした。冬期（Jan.の例）では、日本時間の12時～03時ごろまではほぼ一定で、03時ごろよりゆっくり上昇し07時ごろまで続く。それ以後は下降を始め10時30分ごろに最低となり、再び上昇を始め12時ごろ最高となり、その高さではほぼ一定になっている。相対的な1日の最大変化量は20ガンマ程度で、比較的小さな変化である。それに反し夏期（Jul.の例）では、日本時間の21時ごろからゆっくり下降を始め04時ごろよりは急速に低下し、07時30分ごろに最低となり、その状態が09時30分ごろまで続く。その後は急上昇し15時～16時ごろに頂点に達し、18時ごろまで下降が続いた後、21時～22時ごろまでほぼ一定のレベルを持続する。21時ごろのレベル

を0ガンマとすれば15～16時ごろの上昇分の最大は約50ガンマ、07時30分ごろの降下分の最大は約70ガンマとなるので、相対的な1日の変化量は120ガンマにも達し、冬期に比べ約6倍の変化を示す。春秋は中程度の変化をするが、春期は夏期に、秋期は冬期に近い変化傾向を示す。

静穏日には、上述した日変化を繰り返し推移していくのが普通である。日変化が大きく乱された場合には、何らかの原因によって地球磁場が影響を受けていると考えられる。観測データから異常な変化を見いだすには、季節変化の上に細かな変化が含まれているのか、季節変化から外れたものであるのかを見分け、それによって地磁気じょう乱の判定をしなければならない。

2.2 地磁気じょう乱の背景

地磁気じょう乱の原因には、直接太陽面現象と結び付けやすいものと関係づけの難しいものがある。結び付けやすい現象の一つに、太陽活動が活発な時期に多く発生するフレアによる地磁気じょう乱がある。これはフレ



第2.13図 H α 線で観測した1982年5月17日から6月1日までの太陽面の様相。黒の部分は10830 Å線観測で推定されるコロナホール、斜線はフィラメントを表す。

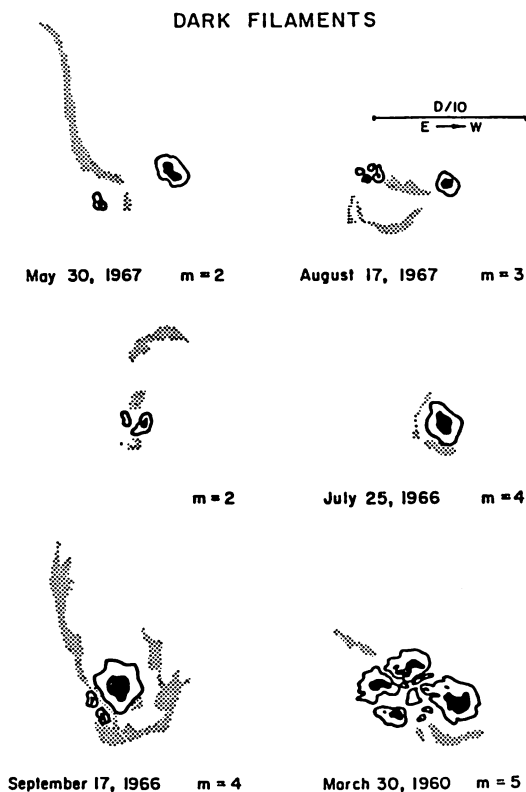
アによって放出されたプラズマ粒子群が発生後2~3日(ときにはこれより早いこともある。)して地球近傍に到達し、磁場を圧縮して地磁気じょう乱を起こすものである。太陽活動が比較的静かな時期(黒点相対数が小さい)には、太陽自転周期に伴って何周期にもわたり繰り返し発生する回帰性地磁気じょう乱がある。この発生機構を説明するため Bartels は太陽面上に仮想的なM領域なるものを考え、そこから高エネルギー粒子が絶えず流出し、その流れが太陽自転に伴って地球を掃引するというモデルを提唱した⁽⁹⁾。以後、このM領域の本質について多くの議論がなされたが、明確な解答は得られなかった。しかし、1962年に惑星探査機マリナ2号が104日間(太陽周期で4.5回に相当)にわたり太陽風の観測を行った結果、今まで想像の域を脱し得なかった太陽風とM領域の関係が結び付けられた。現在ではM領域がコロナホールであることが結論づけられるに至った⁽¹⁰⁾。しかし、コロナホールが存在すれば、必ず回帰性地磁気じょう乱が発生するとは断言できないのが現状である。地磁気嵐との関係づけは今後の研究に待つことが大であるが、予報の判定資料として重要視すべきものと考えられる。Solar Geophysical Data の速報に掲載されているコロナホールの資料例を第2.13図に示す。この例はCarrington Rotation No. 1722の1982年5月17日~6月1日までの太陽面の変化を表したもので、黒い部分がコロナホールを表す⁽¹¹⁾。

このほかに、ダークフィラメント(暗条)の消失が地磁気じょう乱を起こす原因の一つになっているという報告があり、最近注目されてきた。ダークフィラメントは太陽周辺で紅炎(プロミネンス)と呼ばれている彩層現象で、アーチ状や噴水のように見えるものである。これを光球上で見ると不規則な繊維状の模様として観測されることから、ダークフィラメントと呼ばれている。第2.14図にその例を示す。ダークフィラメントが急に消えてしまう現象を消失、若しくは崩壊といい⁽¹²⁾、この現象が観測されてから3~4日後(これよりも早いこともある)に地磁気嵐が発生することがある。フィラメントの消失現象は頻繁に見られており、現時点での1対1の対応づけは難しい。しかし、原因不明の地磁気嵐の発生がフィラメントの消失とある程度結び付けられており⁽¹³⁾、⁽¹⁴⁾、今後の興味ある研究課題として残されている。

2.3 地磁気じょう乱の種類

地上で観測される地磁気じょう乱の変化のタイプを分類すると次のように大別できる。

- (1) S_e (急始)型地磁気嵐
- (2) S_i (衝撃)型地磁気嵐
- (3) S_g (緩始)型地磁気嵐

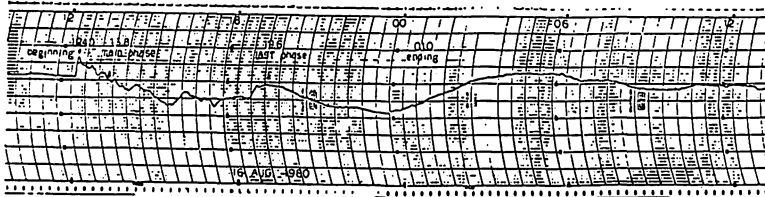


第2.14図 ダークフィラメント(暗条), 陰影の部分

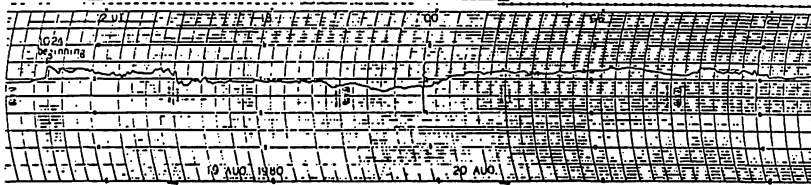
S_e 型地磁気嵐の特徴は、地磁気変動が急しゅんな立上りをもって始まり初相、主相、終相と激しい変化をすることである。この嵐の形態は観測所の緯度、嵐の始まった地方時等個々の条件により様々に異なる。平磯支所で観測した3種類の地磁気じょう乱について、H成分の時間変化の例を第2.15図a, b, c図に示す。a図は S_e 型地磁気嵐を示し、最大変化量は87ガンマの比較的小きな嵐である。 S_e 型地磁気嵐は太陽フレアによって、発生することが多く、じょう乱期間は1~2日で終わるのが多い。

S_i 型地磁気嵐は S_e 型と同じ立ち上がりを示すが、初相だけで主相、終相がはっきり区別できない変化を示す(第2.15図b)。この嵐は継続時間も短く、規模も小さいのが普通である。柿岡のMAGNE KAではImpulsive disturbanceとして報告され、地磁気嵐と区別している。

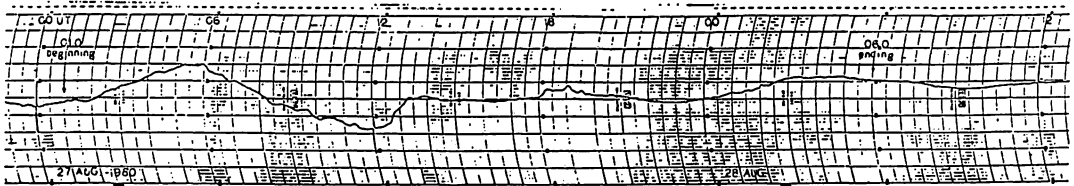
S_g 型地磁気嵐(第2.15図c)はいつ始まるともなく始まり、だだらした変化が続き、長いものでは10日以上続くことがある。それゆえ開始、終了の時刻を明確に表すことが難しく、Irregular disturbanceとして報告されるものが多い。この嵐は低太陽活動期に多くの発



(a) S_c型地磁気じょう乱

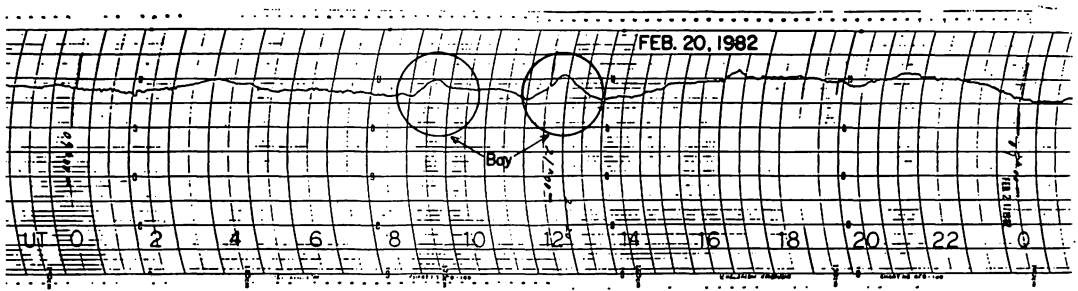


(b) S_i型地磁気じょう乱



(c) S_g型地磁気じょう乱

第2.15図 平磯支所で観測した地磁気じょう乱の種類によって異なるH成分の時間変化の例



第2.16図 平磯支所で観測した Bay (湾状) 現象の例

生が見られ、その間隔が太陽自転周期に見合って現れることから帰周期性地磁気嵐とも呼ばれている。この嵐の特徴を要約すると次の6項目にまとめられる。

- (1) 約27日の周期で繰り返し発生する。長いものは半年以上も繰り返すことがある。
- (2) 太陽活動極小期付近において卓越する。
- (3) 嵐の発生数は太陽黒点相対数と負相関の関係にある。
- (4) 嵐の大きさ(最大変化量)は中程度(最大が150ガンマ程度)で、その継続時間は数日程度、長いものは10日以上に及ぶ。
- (5) 嵐の始まりは常にゆるやかで開始、終了がはっきりせず、がたがたした変化が続く。

(6) 年間を通じて嵐の大きさが最高値を示すのは春秋付近が多い。

以上述べたことは太陽面現象と何らかの形で関係づけられる地磁気じょう乱であるが、このほかに、一般にサブストームと呼ばれている極域じょう乱がある⁽¹⁵⁾。しかし平磯支所の観測結果から直接にその原因を求めることは難しく、発生予想は不可能に近い。サブストームに伴う特徴的な地磁気変動としては Bay (湾型) 現象がある。この現象は夜間により多く発生し、地磁気嵐 (S_c, S_i, S_g) が終了した後で見られることが多い。1982年2月20日の08時40分 (UT) と11時30分 (UT) ごろに発生した Bay 現象を平磯支所で観測した例を第2.16図に示す。

3. 通信じょう乱

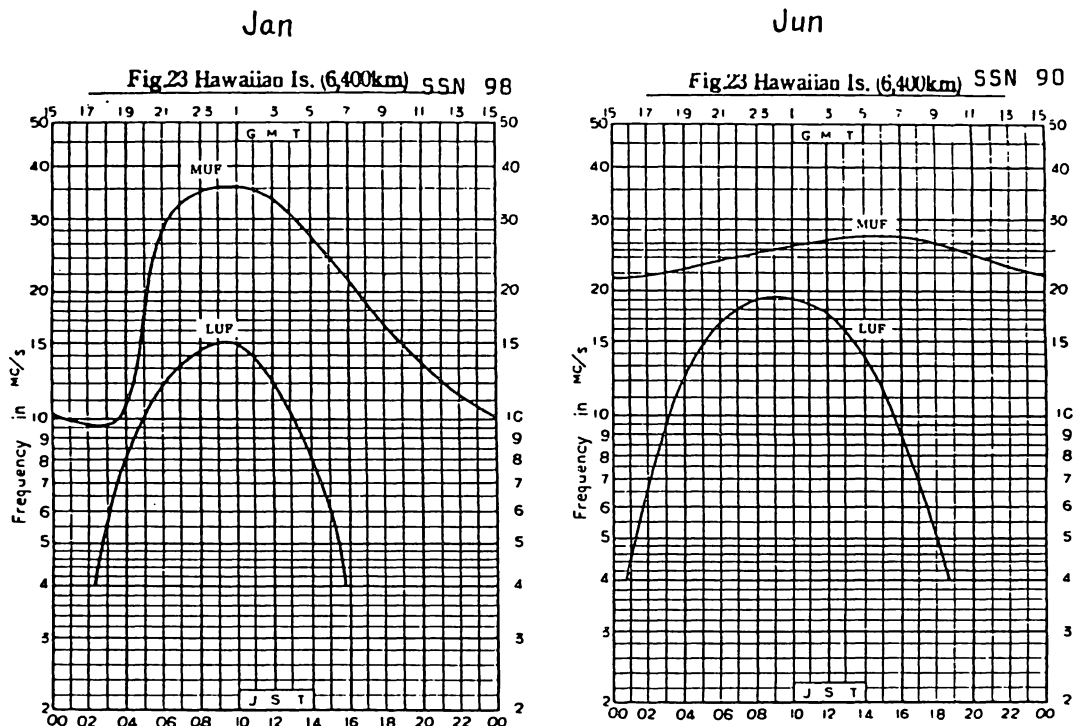
3.1 通信じょう乱の背景

短波帯における通信は電離層を媒体として可能となる。平常時における電離層は太陽活動（11年周期変化）に従って年変化、季節変化、日変化をしている。このように変化している電離層に対して安定した通信状態を保つためには、あらかじめその変化を予測する必要がある。電波研究所では電離層の変化を予測し、その結果を毎月“電波予報”として発表している。これには回線別、地域別に計算した MUF（最高使用可能周波数）、LUF（最低有効周波数）が示されており、それによって通信可能な周波数、時間帯等の選定が可能となる。第2.17図にハワイ回線の Jan., June の予報曲線を示す。左図は太陽黒点数 (SSN) で表示する 98 の冬期における代表例で、右図は SSN 90 の夏期におけるものである。冬期の MUF は山が高く 35 MHz に達している。これに比べ、夏期は平坦で MUF は 27 MHz と低い。LUF は夏期に高く冬期は低い。このようにほぼ同じような太陽活動期でも季節的な変化は大きい。

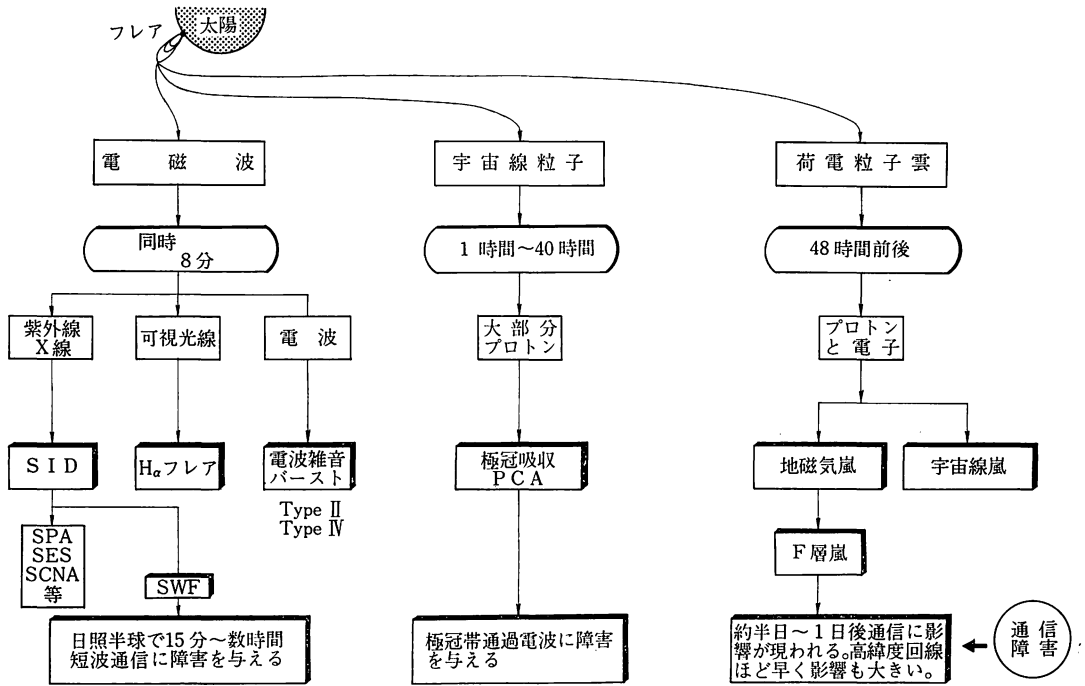
平常の電離層は地球に近い順から D, E, F 層に分かれて成層している。E 層及び F 層は短波帯の電波を反射し、F 層は遠距離通信を、E 層は近距離通信（低い周波数帯）を可能にする。D 層は、そこを通過（突抜ける）

する電波を吸収し、通信を妨げる方向に作用する。静穏状態を保っている電離層も太陽フレアの発生、高速太陽風の到来等の原因により異常変化をする。太陽フレアが発生するとほとんど同時に D 層の吸収量が急増し、数十分から数時間にわたり一時的に通信がとだえるデリンジャー現象が生じる。フレア発生時刻よりやや遅れて（1時間～40時間位）極冠帯に異常電離が起こり極域吸収現象 (PCA; Polar Cap Absorption) が生じる^{(9),(16)}。そのため極域を反射点として通過する電波は、大きな吸収を受けデリンジャー現象と同様な結果をもたらすが、継続時間がデリンジャー現象より長い。フレアの発生した時刻から約2日～3日（30時間から72時間ぐらい）後に地磁気嵐が発生し、その影響で F 層嵐が半日～1日後に起き、通信じょう乱が始まる（地磁気嵐の発生時刻及び通信回線により影響を受けるまでの時間が異なる）。高緯度回線ほどその影響度が大きく、じょう乱期間も長い。通信じょう乱は普通2～3日で回復するが、ときには数日間続くこともある。第2.18図に太陽フレアに伴う通信じょう乱の発生過程を示す。

高速太陽風によって起こされる通信じょう乱は低太陽活動期に多く見られ、大きな通信じょう乱はまれである。しかし、地磁気嵐が終わっても、通信状態の回復が～2日ぐらい遅れることがあったり、若しくは地磁気嵐が終わった後で通信状態が悪くなることもある。



第2.17図 ハワイ回線の太陽黒点数 98 の Jan. と 90 の June における電波予報曲線の季節による違い



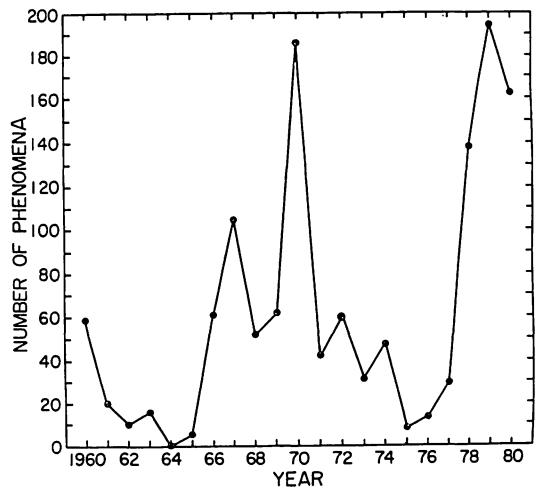
第2.18図 太陽フレアによって引き起こされる通信障害の発生過程

通信じょう乱の原因としては、上述のもの以外に、冬期に発生し、電離層の f_{min} の異常上昇によって、その発生が検知される電波の吸収現象（冬季異常吸収現象）⁽¹⁷⁾がある。

3.2 急始電離層じょう乱

3.2.1 SWF

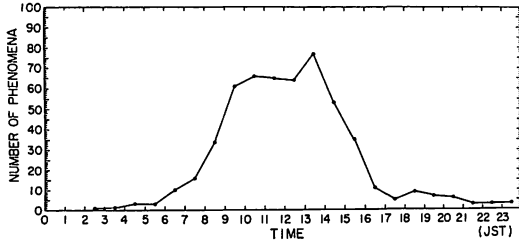
SWF（短波消失現象，デリンジャー現象）は、太陽フレアが発生するとほとんど同時に日照半球の短波回線に見られる現象である。これはフレアに伴って放射される強い紫外線又はX線のためにD層の電子密度が異常に増大することにより、そこを通過する電波が吸収され、一時的に通信がとだえる現象である。継続時間は1時間以内で終わるものがほとんどであるが、頻発した場合には数時間に及ぶことがある。ここでは観測結果から見たSWFの諸特性について述べる。第2.19図は1960年から1980年の21年間に平磯支所で観測したSWFの年別の発生頻度を表したものである。太陽低活動期（1964年，1976年前後，第2.2図参照）にはSWFの発生数も少なく，活動が活発になるに従い，その発生数も増加傾向を示しているが，1968年，1969年には太陽活動最盛期にもかかわらずSWFの発生数は極小になっている。その原因を探るために，日本の昼間の時間帯に当たる日本時間06時から18時の間に発生した重要度2以上のフレアの年間発生数を調べると1968年は220件，1969年は269件，



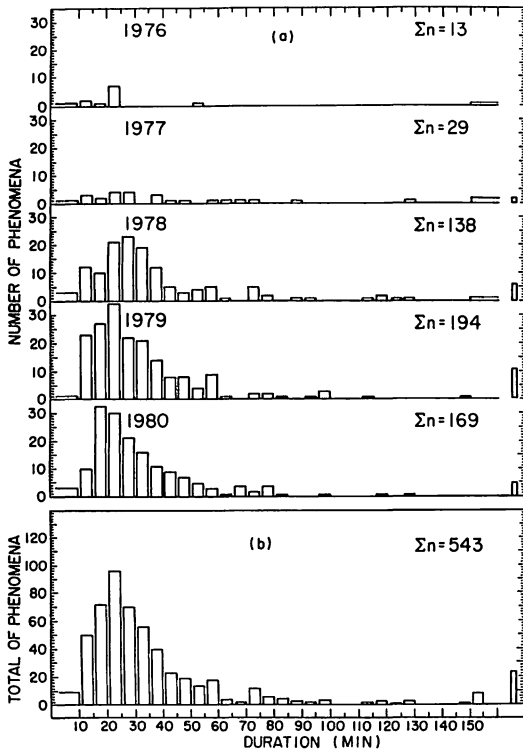
第2.19図 1960年から1980年まで21年間に平磯支所で観測したSWFの年別変化

1970年は306件であり，SWFの発生傾向とはほぼ一致している。このことから，1968—1969年のSWFの発生数の落ち込みは，この時期にフレアの発生数自体が少なかったためと推定できる。

1976年（太陽活動サイクル21）の太陽活動極小期から1980年までの5年間に観測した543個のSWFについて，各時間別に発生頻度を求めた結果を第2.20図に示



第2.20図 1976年から1980年までの5年間に平磯支所で観測した543個のSWFの時間別発生頻度分布



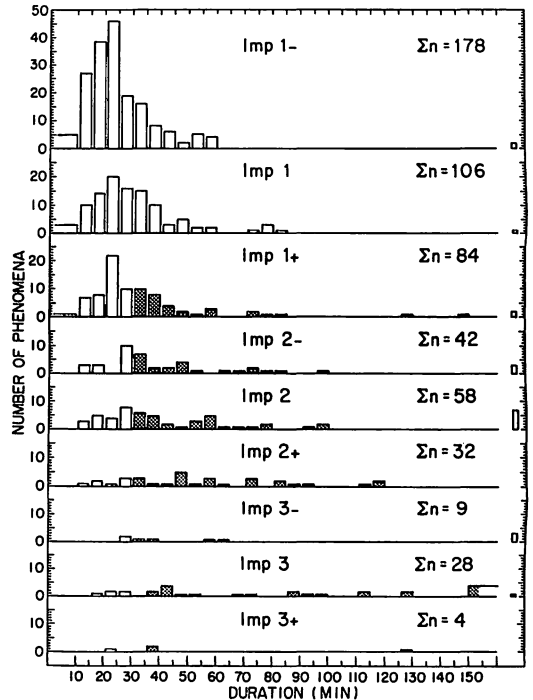
第2.21図 1976年から1980年までの5年間に平磯支所で観測した543個のSWFについて、継続時間を10分以下、それ以上を5分間隔で区切り、それぞれの継続時間に対する発生頻度分布を表す。(a)図は各年別、(b)図は5年間の統計結果である。

す。日本時間の00時から02時の時間帯を除き、全時間帯にわたり観測されている。夜間においてもSWFが観測されているのは、受信電波が日照地域を通過してきたためである。発生頻度の高い時間帯は日本時間の09時から15時の間に集中し、全体の71%を占めている。

次にSWFの継続時間を10分以下、11分～15分、16分～20分のように5分単位で区切り、区分別発生回数を年別に求めた結果を第2.21図aに示す。1978年から急に発生数が増加し、継続時間は26分～30分の間が最も多い。この時間を中心にほぼ左右対称の分布をしている。さら

に1979年には21分～25分の間が最も高く、1980年には16分～20分の間で最高を示しており、発生回数の多い時間帯が年とともに継続時間の短い方向に移動している。このことは太陽活動が活発になるに従って継続時間の短いSWFが多く発生していることを物語っている。5年間の資料による頻度分布を第2.21図bに示す。継続時間が21分から25分の間で終わっているものが最も多く、10分以内は極めて少ない。30分以内で終わっているものが全体の56.9%を占め、31分から60分以内が32.8%なので、ほとんどのSWF現象が60分以内で終わっている。

次に上述した継続時間の区分で重要度 (Imp., 最大減衰量からII. 第4表の基準に従って決められる) との関係性を求めた結果が第2.22図である。Imp 1- (減衰量が10 dB以下、受信回線により減衰量の区分が多少変わる) では継続時間が25分以内で終わっているものが65.7% (有効観測数175)、60分以内では全部の現象が終わっている。Imp 1 (減衰量が11 dBから15 dBの間) では25分以内で終わっているものが44.8%で、ほぼ半数に近い値を示している。Imp 1+, 2-では25分以内で終わるSWFの比率は更に少なくなっている。そこで継続時間と減衰量がどのくらいの値になったならば通信に大きな影響を与えるか、条件を入れて検討する。まず平均的な



第2.22図 重要度の違いによる継続時間の頻度分布及び通信障害との関係。陰影の部分は通信に大きな影響を与えたことを表す。観測期間、SWFの数、継続時間の区分は第2.21図と同じである。

受信状態より 15 dB以上 (Imp 1+ 以上) 減衰し, 継続時間が30分以上の場合を影響大として, 整理すると第2.22図の陰影で示した部分となる. この部分は全有効観測数の27%を占め, 約1/3が影響大となる. 次に継続時間を考えずに減衰量だけを三つに分割して比率を求めると, 次のようになる.

- (1) あまり影響を与えない. 10 dB以下 (Imp 1-), 比率33%
- (2) 影響を与える. 11 dB~20 dBの間 (Imp 1, 1+), 比率35%
- (3) 大きな影響を与える. 21 dB以上 (Imp 2-以上), 比率32%

いつれの方法でも現象数の1/3が通信に大きな影響を与えている. 通信利用者の SWF に関する問い合わせは Imp 2- 以上の場合に集中し, 上記の結果と符号する.

3.2.2 SWF 以外のD領域異常現象

SWF 現象は短波通信に影響を与えるが, フレアに伴うD領域の異常電離は, その他の周波数帯の電波の利用に対しても障害を与えている. 例えばロランC電波に対しても影響を与え, これを航法に使用している船舶にとってはやっかいな現象となっている.

(1) SPA (Sudden Phase Anomaly)

長波及び超長波の周波数帯で位相及び振幅に影響を与える. 異常電離により平常時の実効反射高が低下する結果, 受信電波の位相が平常時よりも進む. この観測は犬吠電波観測所で行われ, 平磯支所に毎朝報告されている.

(2) SES (Sudden Enhancement of Signal Strength)

信号強度の異常増加現象で, 平磯支所ではこの現象の観測をロランC電波を連続受信することにより行っている.

(3) SEA (Sudden Enhancement of Atmospherics)

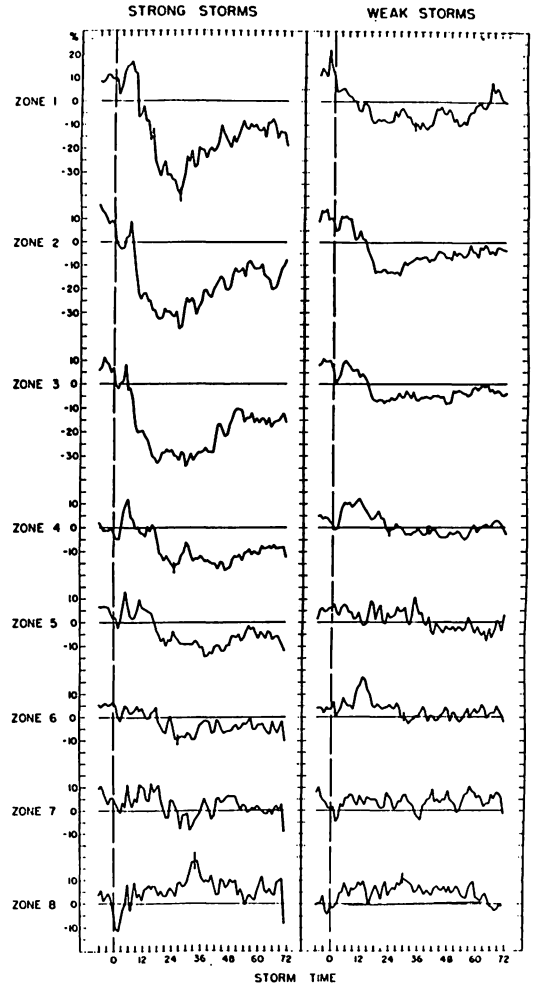
30 kHz 以下の周波数における 大気雑音電波強度の異常上昇現象である.

(4) SCNA (Sudden Cosmic Noise Absorption)

宇宙電波雑音の異常吸収現象.

3.3 F層嵐による通信じょう乱

地磁気嵐に伴って起こるF層じょう乱は, 嵐の進行につれてF層の電子密度分布に激しい変動が起こり, 電子密度の増減が生ずる現象である. f_oF2 (臨界周波数) に及ぼす地磁気嵐の影響は, その大きさ, 発生時刻 (地方時), 季節, 磁気緯度等が複雑にからみ合い一義的に結論づけることは難しい. この関係づけについての研究が Matsushita により行われ, F層嵐の形態的な特性の統計結果が発表されている⁽¹⁸⁾. 第2.23図にその結果を示す. これは世界を磁気緯度で8地帯に分け, 地磁気嵐



第2.23図 世界を磁気緯度で8地帯に分け地磁気嵐に伴う f_oF2 の変化を示す (Matsushita⁽¹⁸⁾)

の発生時刻を0とし, それからの時間経過に対しての f_oF2 の増減量を%で表したものである. 第5地帯以下では, 強い嵐と弱い嵐では f_oF2 の変化傾向が異なっている. 我が国は第6地帯にほとんど含まれるが, 図から明らかなように, 地磁気嵐の強弱による電子密度の増減変化が通信状態に及ぼす影響の度合は, 回線により異なってくるので, 警報の発令には地磁気嵐の強弱の適切な判断が必要とされる.

4. 電界強度

4.1 電界強度の測定

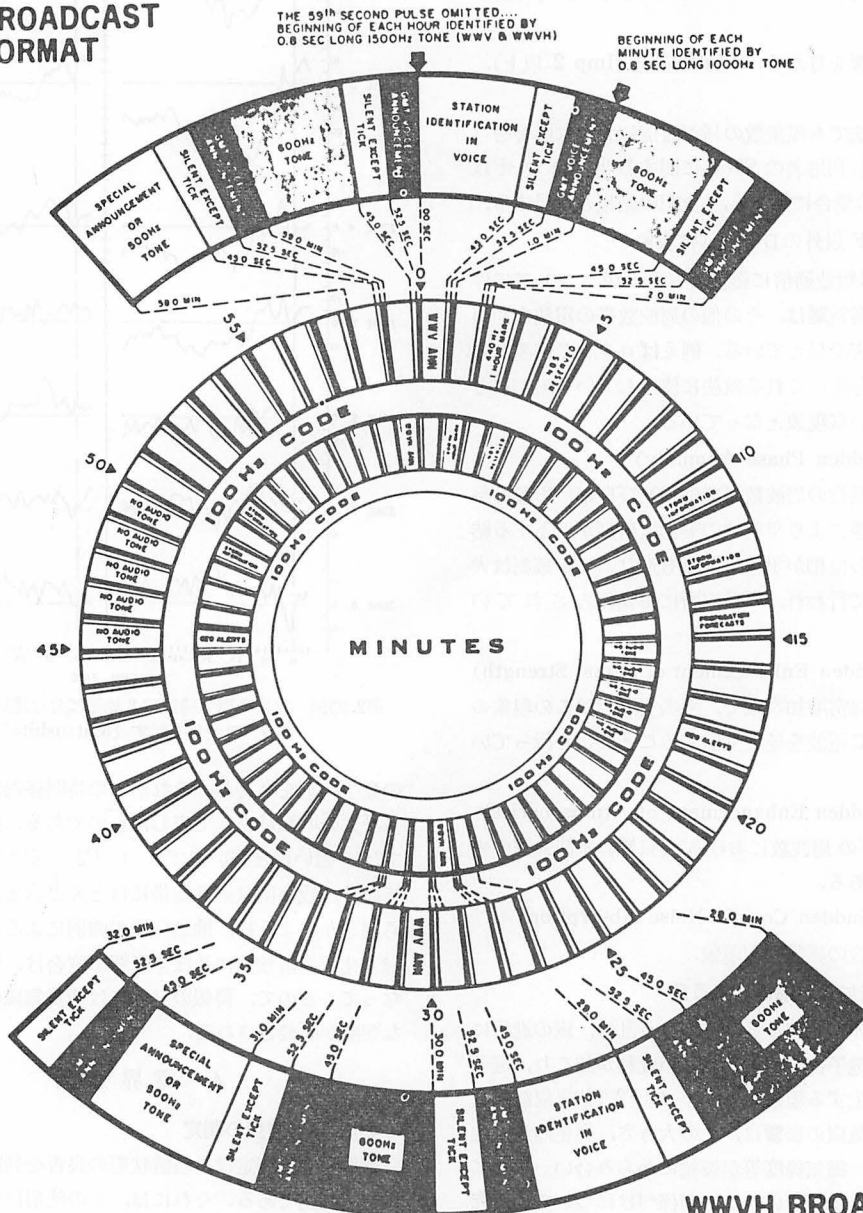
電界強度の測定は, 通信状態の良否を判断するために必要な観測である. それには, その使用目的に合った観測方法及び回線を選ばなければならない. 観測を大別すると絶対電界強度及び相対電界強度の観測に分けられる. 平磯支所で受信しているモニタ回線 (II.4.1参照)

のうち絶対強度値が必要とされるのは、CCIR の決定に基づき標準電界強度測定局指定の対象局になっている標準電波 WWV 及び WWVH 局の 15 MHz である。その他の回線については、相対電界強度の観測を行っている。しかし、WWV、WWVH 回線も絶対強度が直接測定されるのではなく、相対強度の観測値を基に後日諸定数を加えて絶対強度値が計算されるのである。

ここでは WWV、WWVH 局 15 MHz の受信方法に

ついて述べる。一般に標準電波は 5 MHz シリーズで発射されているので、単に受信したのではどの国から発射された標準電波であるか判別することができないが、電波の変調周波数や発射スケジュールが国によって異なることを利用して特定の標準電波を選別することは可能である。第2.24図は WWV、WWVH 局の発射スケジュールであるが⁽¹⁹⁾、この図によると、WWV 局から発射される電波は毎時01分00秒から2分ごとに45秒間600Hz

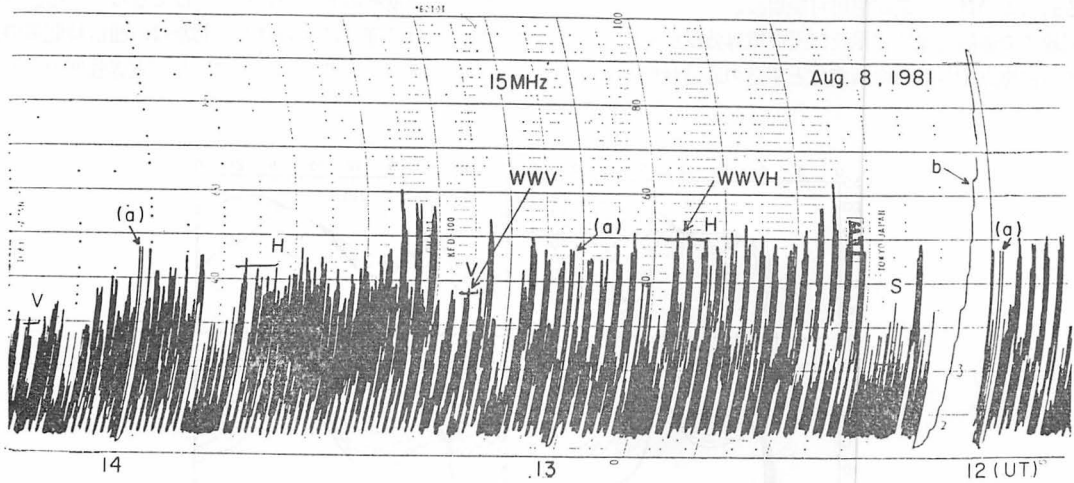
WWV BROADCAST FORMAT



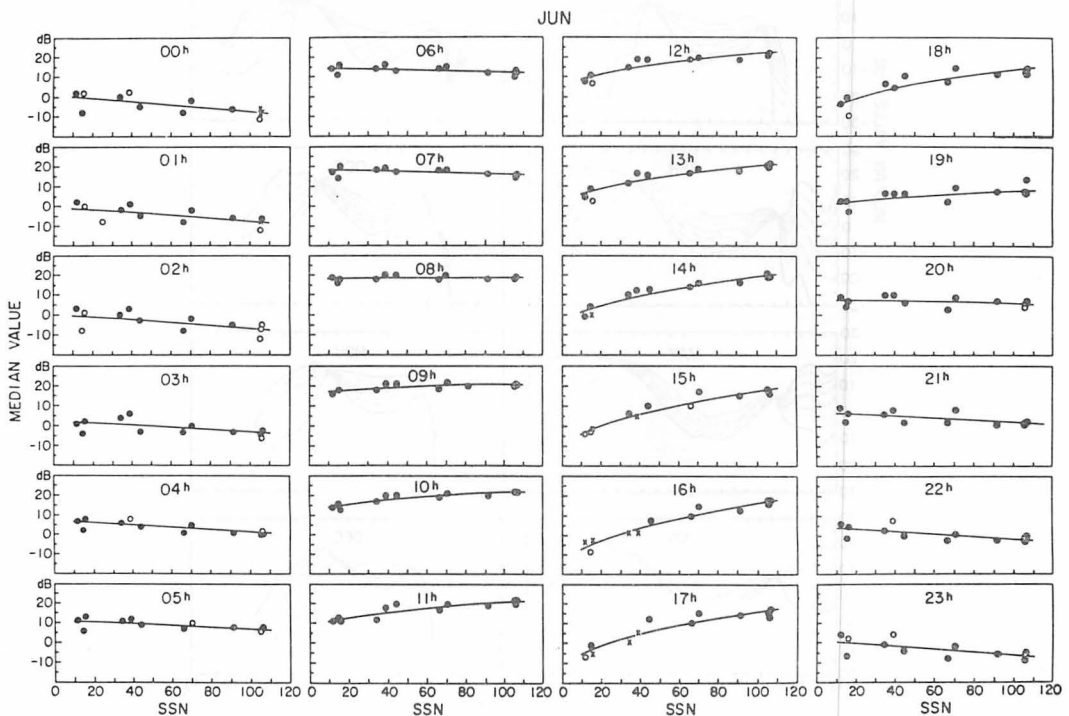
第2.24図 標準電波 WWV、WWVH 局の発射スケジュール

で変調されており、WWVH 局からの電波は毎時00分00秒から2分ごとに45秒間600 Hz で変調されている。平磯支所ではこの特徴を利用して、SSB方式の狭帯域受信機⁽²⁰⁾で変調周波数600 Hz の側波成分を検出し、その電界強度値をチャートレコーダに記録している。第2.25図はその記録例である。図中の(a)は受信機全体を校正するための基準電界強度値、bは対数増幅器の校正値目盛

(dB)を示し、Sは混信信号を表す。WWV、WWVH 局の送信電波はそれぞれ毎時45分から50分、15分から20分の間無変調となるので、WWV局の無変調の時間帯にWWVH 局の信号を確認し、WWVH 局の無変調の時間帯にWWV 局の信号を確認すれば、より明確な判別ができる。平磯支所における電界強度値は、これらの時間帯における観測値の準尖頭値(定められた時間内にお



第2.25図 平磯支所において、狭帯域受信機によって標準電波 15 MHz を受信した記録例。図中の(a)は空中線入力端からの校正信号強度、bは対数増幅器の入力端から校正信号を入力した場合の出力端の dB 目盛、S は非信号、V は WWV 局からの信号、H は WWVH 局の信号を表す。



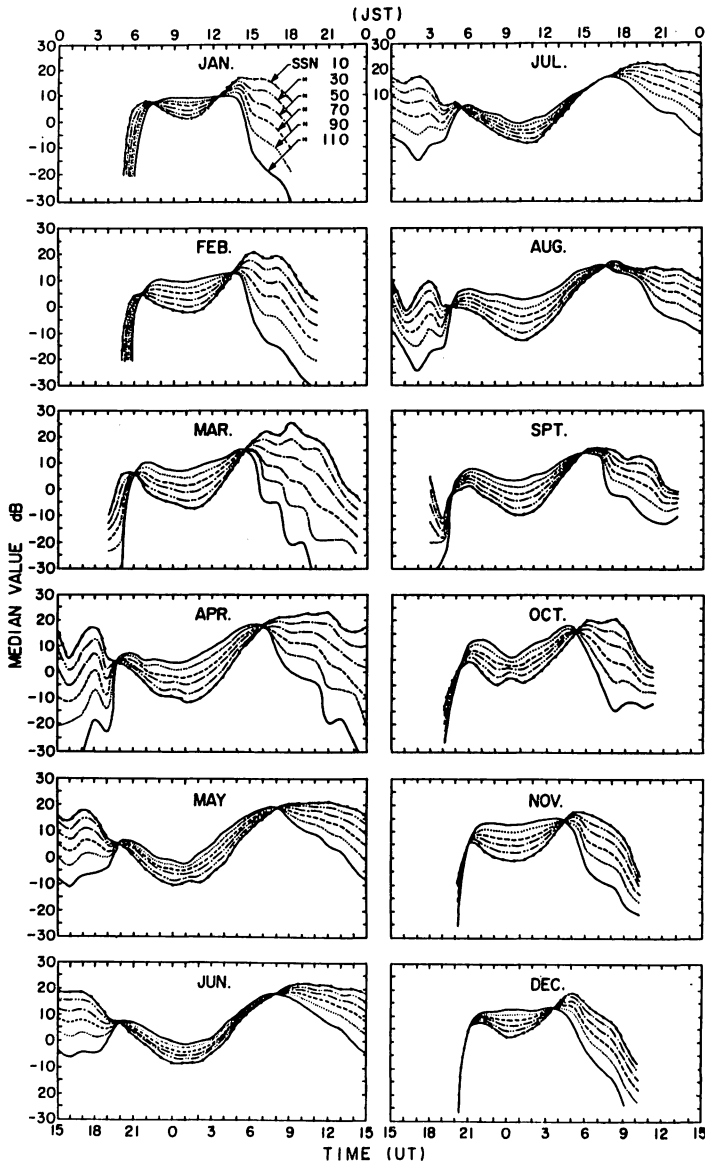
第2.26図 1965年から1976年の12年間における6月の各時間についての平均太陽黒点相対数(SSN)とWWVHの電界強度月中央値(dB)との関係。実線は近似曲線を表す。

ける最大値の平均)で表される。

4.2 電界強度値と黒点相対数との関係

平常時におけるF2層(昼間のF層はF1, F2層に分けられ, F1層は季節によっては成層として見られないが, F2層は定常的に観測される)の f_oF2 (臨界周波数, 突抜周波数)は黒点相対数の増減変化に伴って大きくなったり小さくなったりする。これに伴い f_oF2 に依存する回線のMUF(最高使用可能周波数)が変化し, その回線での通信可能時間帯及び受信電界強度が変る。このように黒点相対数の増減変化と平常の通信状態とは深

い関係にある。また, この関係は季節, 地方時, 通信回線の送受信の場所によっても異なってくる。これらの変化を表したものが3.1に述べた電波予報(第2.17図参照)である。この予報により, ある回線の使用周波数に対する通信可能時間帯を知ることができる。しかしながら, 受信電界強度の変化については, この予報曲線のMUFの大きさからある程度予想することはできるが, 受信電界強度そのものを知ることはできない。電波警報業務における通信状態の良否の判断は, 通信時間帯の長短(普通の通信時間帯に比べて)及び電界強度の高低に

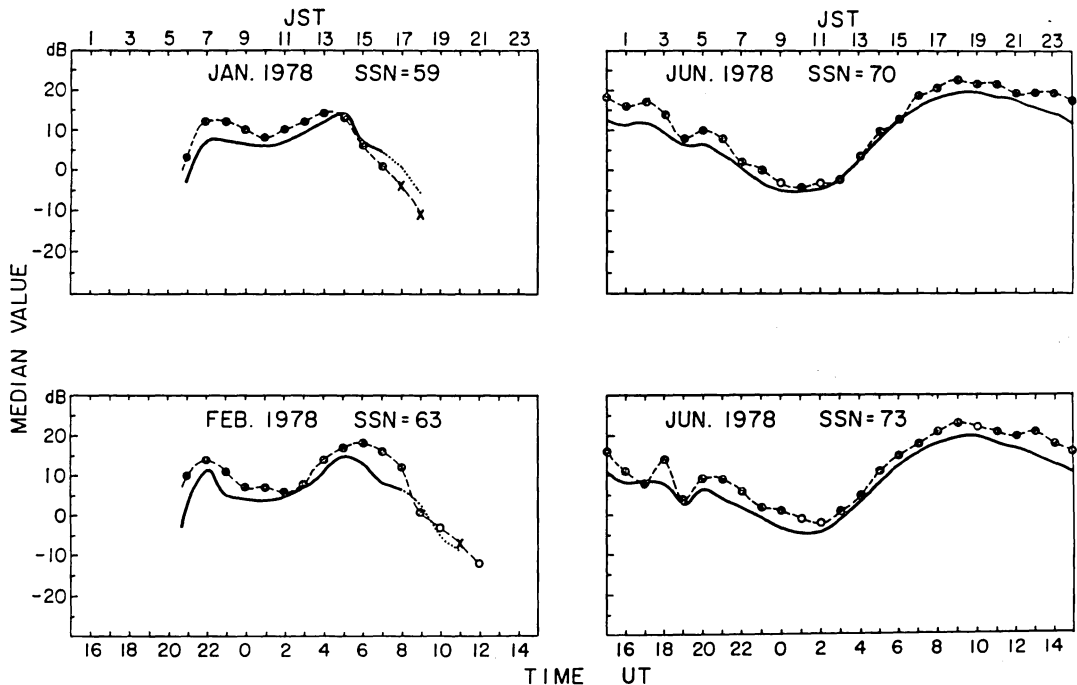


第2.27図 黒点相対数 SSN を変化させた場合の各月ごとの各時間に対する WWVH 回線における電界強度月中央値の予想曲線を示す。

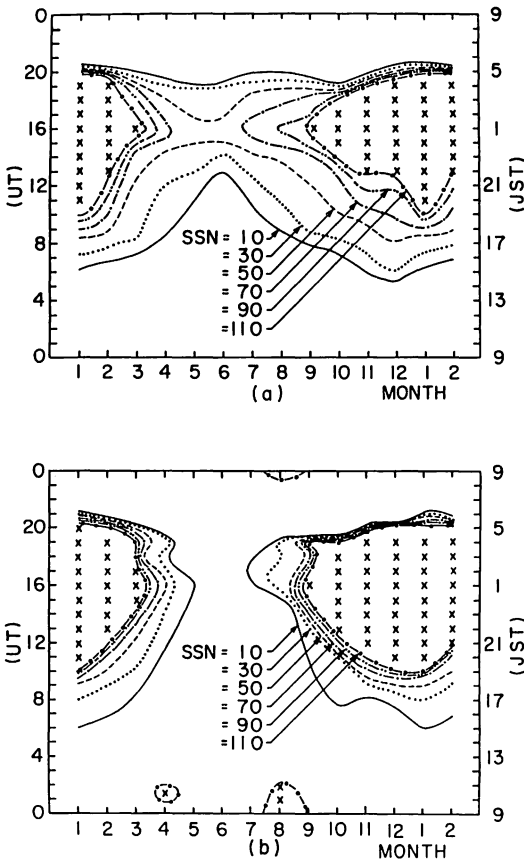
よって決められる。通信時間帯は電波予報を基準として決定しているが、実際にはこの予報と実測した通信時間帯の間に多少のずれがある。これをある程度改善するための手段として、WWVH 回線 15 MHz について黒点相対数と実測強度値を基に平均的な季節による電界強度の日変化を求めた結果が報告されているので⁽²¹⁾、それについて以下に述べる。

平均黒点相対数 (\bar{R} 又は SSN と記述) に対する電界強度月中央値 (電離層月報に掲載されている月中央値) との関係は1965年から1976年までの12年間について、各月ごとに時間別に求めた結果の代表例 (6月) を第2.26図に示す。図中の黒丸は1か月間のデータの半数以上が信号で、しかも月中央値から上位に混信及び雑音電波が含まれてない場合、白丸は1か月間のデータの半数以上が信号で、月中央値の上位に混信及び雑音電波が1~3個含まれている場合、×印は信号が1か月間のデータの半数以下の場合、又は混信及び雑音電波が月中央値の上位に4個以上含まれている場合である。実線は直線若しくは二次曲線による信号値分布の近似曲線を示す。近似式を基に SSN 10, 30, 50, 70, 90, 110 の6段階で月別に各時間 (横軸) に対する月中央値 (縦軸, dB) を計算した予想曲線を第2.27図に示す。プロットのない時間帯は信号が受信されないか、若しくは絶対強度が -20 dB (1 μ V/m) 以下の場合を示す。この曲線から希望する黒点相対数に対する各月における各時間についての強度の予

測が可能となる。この予測電界強度値と実測値を比較、検討した結果の代表例を第2.28図に示す。実線は予測値、丸印破線は実測値を示す。両者の時間変化の傾向は非常に類似しており、誤差も最大で数 dB の範囲内に収まっており、予測値としては良好な結果であり、実用に十分満足する結果が得られたと考えられる。そこで、黒点相対数を6段階に分けて、CCIR方式で計算した WWVH 15 MHz の各月ごとの通信可能時間帯と、上述した方法によって求めた通信可能時間帯の予想結果を第2.29図、a, bに示す。a, b図の SSN はそれぞれ異なった線で表し、それらの線で囲んだ内側は通信不可能な時間 (黒点相対数が110のときのみ×印で示してある)、外側は通信可能な時間を表す。両者を比較すると SSN の70付近で最も差が少ない。SSN が50以下になると a 図における通信可能な時間帯は、b 図のそれより短かく、SSN が70より大きくなると a 図の方が長くなる。また、大きな差異が認められる季節は夏期に顕著であり、日本時間の日出、日没を含んだ夜間に集中している。これらの原因については電離層の不安定要素が複雑にからみ合い、一概に説明することはできない。a 図の通信可能時間帯を b 図に近づけるため、電波予報曲線の MUF (CCIR方式での計算) を第6表の q の値で周波数の補正 [通信可能な周波数 (この場合は 15 MHz 以上) = 電波予報曲線の MUF \times q] をすると、WWVH 15 MHz の電波については黒点相対数の変化に対する平均的な通



第2.28図 予想した WWVH 回線の電界強度月中央値 (実線) と実測値の月中央値 (破線) との比較



第2.29図 (a) WWVH 回線 15 MHz について、SSN を 10, 30, 50, 70, 90, 110 とした場合の MUF を CCIR 方式で計算し、それから求めた各 SSN に対する受信可能時間帯 (各 SSN を異なった線で表し、それらの線で囲んだ外側の部分) 及び不可能な時間帯 (各線の内側、SSN 110 のみ×印) の各月における変化を示す。
 (b) 第2.27図の予想電界強度月中央値から求めた受信可能時間帯及び不可能時間帯の各月における変化を示す。与えた SSN は(a)図と同じ

信可能時間帯のより正確な予測が可能となり、強度変化 (第2.27図) の予測結果と合わせ考えることにより、通信状態の良否判定の標準的な基礎資料が得られる。この方法を他のモニタ回線 (II, 4.1 参照) にも適用するならば、各回線についての平均的な通信状態の基礎資料が得られ、経験的要素を多分に必要とする通信状態の良否の判定を、ある程度定量的に表すことが可能になるのではないかと考えられる。

5. 通信状態の指数表示

5.1 電界強度測定値の指数化

通信状態の良否を判定するためには、これらの状態を何らかの形で単純化し表現する必要がある。その一つの方法として、測定した電界強度値の変動幅を指数化し、これを用いる方法がある。そのためには年変化、季節変化、使用周波数、回線による日変化等を考慮して、平常状態における基準レベルの設定をしなければならない。しかし、これらの諸条件を十分に満足させるための作業は複雑で一義的に決定することは困難である。1970年以前は、これらの作業は過去に蓄積された多くの資料と豊富な経験を基に行われ、指数が決定されていた。この作業は非常に複雑で熟練を要し一般的ではない。そこで、できるだけ本来の主旨を変えないで、主観的操作を省き、実用的にはあまり差し障りのないよう工夫と改善が進められた結果、次に示す基準で単純化された。1970年以後はこの基準に従って指数が決定されている⁽²²⁾。

- (1) 各月について毎時間ごとに求めた電界強度の月中央値を平穩レベル値とする。
- (2) 測定値 E (dB) が月中央値 E_m (dB) に対して $E_m - 4(\text{dB}) \leq E \leq E_m + 5(\text{dB})$ の範囲にある場合を平穩とし、指数は 4 を与える。これより強度が高い場合には 5 とし、強度が低い場合には 10 dB 間隔で 3, 2, 1 をそれぞれ与える。

第6表 予報 MUF の補正。WWVH 回線の MUF (CCIR 方式で計算) から求めた 15 MHz の通信可能時間帯を実測値に近づけるための補正值 q 。通信可能な周波数 (15 MHz 以上) = 電波予報曲線の MUF $\times q$ 。斜線は補正を必要としない。

SSN	q											
110	1.1	1.1	1.1	1.1	/	/	/	/	1.1	1.2	1.2	1.2
90	/	/	1.1	/	/	/	/	/	1.1	1.2	1.2	1.2
70	/	/	1.1	0.9	/	/	/	0.8	0.8	1.1	1.1	1.1
50	/	/	/	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	/	/	/	/
30	/	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8
10	/	/	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9
MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

- (3) 月中央値が実信号で、比較しようとする測定値が混信電波等の非信号の場合
 - i 月中央値より非信号の値が大きい場合は指数を与えない。
 - ii 非信号値が月中央値と等しいか、あるいは小さい場合は(2)に従って指数を与え、指数に括弧若しくはU記号を付ける。
- (4) 月中央値が非信号値で、比較しようとする値が実信号の場合
 - i 月中央値と信号値が等しいか、若しくは信号値が大きい場合は(2)に従って4, 5の指数を与え、指数に括弧若しくはU記号を付ける。
 - ii 月中央値より信号値が小さい場合は指数を与えない。
- (5) 月中央値と比較しようとする測定値が共に非信号値の場合は指数を与えない。

5.2 実況指数

5.1で述べた条件により求めた各時間における指数を00時~06時(UT), 06時~12時, 12時~18時, 18時~24時の4つの時間帯に分けて、それぞれの時間帯における通信状態を指数表示する。これを実況指数と呼んでいる。各時間帯の終わりとは始めが重複しているが、これは各時間帯での区切の較差を少なくするために特に深い意味はない。各時間帯で使用する指数は原則として7個となる。実況指数の算出には次に示す取り決めがなされている。

- (1) 各時間帯に含まれる信号の指数及びU符号の付いた指数を算術平均し、小数点以下2けた目を4捨5入する。
- (2) 各時間帯に含まれる信号の指数が4個以上あれば、その算術平均で実況指数を与える。
- (3) 信号の指数3~2個の場合及びU符号の付いた指数が半数以上ある場合は実況指数にU符号を付ける。
- (4) 信号の指数又はU符号の付いた指数が1個の場合は、その時間帯の通信状態は不明とし、実況指数を与えない。表示はSとする。
- (5) 信号の指数又はU符号の付いた指数が1個で、他がC記号(欠測)2個以上ならば、その時間帯の通信状態の表示はCとし、1個ならば(4)と同様な取扱いをする。
- (6) 信号の指数及びU符号の付いた指数が1個もない場合はSと表示する。

上述した条件を基に算出した各時間帯内の平均値と実況指数との関係は次のようになっている。

平均値	実況指数
1.0~1.5	1

1.6~2.5	2
2.6~3.5	3
3.6~4.5	4
4.6~5.0	5

5.3 総合実況指数

総合実況指数は、短波通信回線の総合的な通信状態を表すものである。これは指数算出対象回線全部の1日の実況指数を算術平均し、その値を13段階に分けて表現するものである。現在は短波帯の商用通信回線が数多く廃止されたため、やむなく標準電波15MHzのWWV, WWVHの2局により総合実況指数を算出している。平均値と総合実況指数との関係を次に示す。

平均値	総合実況指数
1.00~1.16	1 _o
1.16~1.50	1 ₊
1.50~1.83	2 ₋
1.83~2.16	2 _o
2.16~2.50	2 ₊
2.50~2.83	3 ₋
2.83~3.16	3 _o
3.16~3.50	3 ₊
3.50~3.83	4 ₋
3.83~4.16	4 _o
4.16~4.50	4 ₊
4.50~4.83	5 ₋
4.83~5.00	5 _o

上記の平均値区分で上位値と次の下位値が同じであるが、総合実況指数は常に下位の指数を取る。

5.4 総合実況指数算出対象回線の変遷

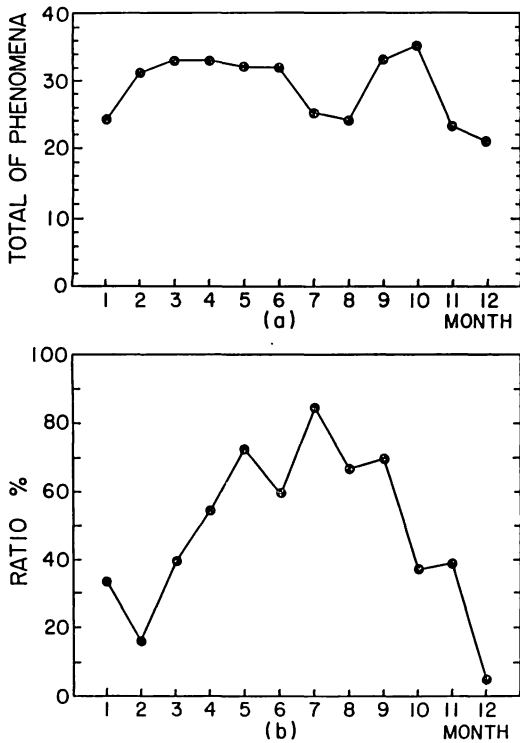
1965年ごろから遠距離短波商用回線が次第に他の通信手段に置き換えられ、廃止あるいは縮小されて来た。それに伴って電界強度測定局及び総合実況指数の算出対象回線も変更され、1971年11月以降は標準電波WWV, WWVHの2局に頼らざるをえない結果となった。1965年以降における総合実況指数算出回線の変遷は、第1.7図に示されているとおりである。

標準電波WWV局は1967年1月から、それまでワシントン(Washington)から発射されていたものがフォートコリンズ(Fort Collins)に、また、WWVH局は1971年よりマウイ(Maui)からカウアイ(Kauai)に、それぞれ発射場所が変更され、現在に至っている。

6. 地磁気嵐と通信じょう乱

6.1 地磁気嵐と通信じょう乱の関係

通信じょう乱の原因については、既にⅢ, 3.1において述べたが、ここでは1965年~1980年の16年間に発生し



第2.30図 (a) 1965年から1980年までの16年間に地磁気観測所で地磁気嵐と発表した各月別の発生回数
(b) (a)図の地磁気嵐に起因する通信じょう乱の月別の発生比率

た 346 個の地磁気嵐について、通信じょう乱の有無を総合実況指数で決定し、その結果を検討する。比較の方法は、地磁気嵐が始まった日から終わったと報告された次の日までの間に総合実況指数で3+以下になった日があったか、なかったかにより、影響の有無を決定する方法を用いた。一つの嵐が終わらぬうちに次の嵐が起きた場合には1個の嵐として処理した。第2.30図aは16年間に発生した地磁気嵐の月別発生数を表す。発生数の最高は10月の35個、最低は12月の21個で、年平均21.6個、月平均1.8個である。第2.30図bは地磁気嵐のため通信じょう乱が起きた比率を表す。年間を通じ7月が84%と最も高く、5、9月が70%台、6、8月が60%台である。5~9月までの平均比率は70.5%と高い。3、4月、10、11月の春秋期の平均は42.3%と地磁気嵐の影響が半分以下になる。12、1、2月の平均は18.2%であるが12月の5%はほとんど影響なしと考えられる。この結果は、夏期には地磁気嵐の影響が大きく現れ、冬期は地磁気嵐の発生数に対して1/3程度しか影響を受けないことを示している。

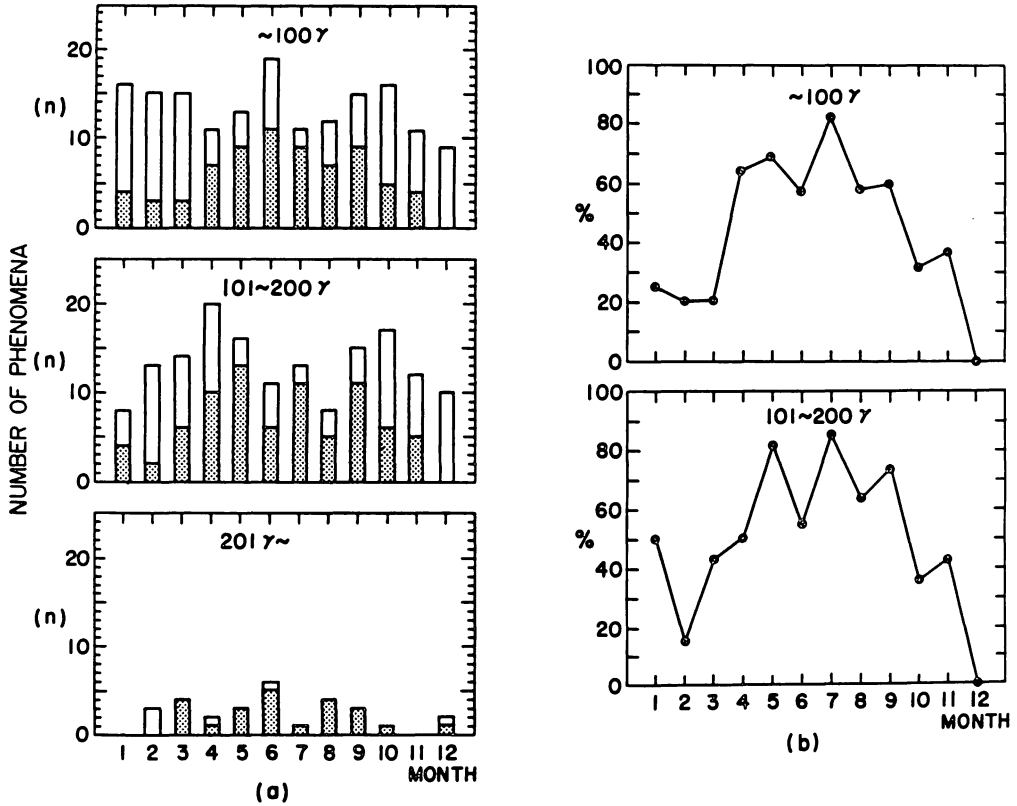
6.2 地磁気嵐の最大変化量及び継続時間と通信じょう乱との関係

1965年~1980年の16年間について、嵐のH成分の最大変化量を100ガンマ以下(小さな嵐)、101~200ガンマ(中程度)、201ガンマ以上(大きな嵐)の三つに区分し、それぞれの区分で、どの程度通信に障害を与えたかを総合実況指数と比較し、その結果を月別に表したものが第2.31図a、bである。a図は各区分での各月の発生回数を示し、陰影の部分は障害を受けた回数を表す。b図は障害の割合を比率で表した。201ガンマ以上の嵐については、各月における発生回数が僅少のため図示しなかった。最大変化量が100ガンマ以下の嵐では、通信障害を起こした年間比率は44.1%、101~200ガンマの中程度の嵐では50.0%である。両者はほとんど傾向に変化はない。201ガンマ以上の大きな嵐では、その影響を大きく受け、比率は約80%に達している。

次に最大変化量の大きさと継続時間(嵐の開始から終了までの時間数)がそれぞれ通信状態にどのような影響を与えているかについて、月別に求めた結果を第2.32図に示す。横軸が最大変化量(ΔH, γ)、縦軸は継続時間(hours)を表す。図中の黒丸印は急始地磁気嵐(S₀)、白丸印は緩始地磁気嵐(S₀)によって通信障害を受けた場合で、×印は受けなかった場合を示す。第2.32図から明らかなごとく、継続時間の長い地磁気嵐ほど通信障害を与えているとは考えられない。同様なことが最大変化量についてもいえる。

6.3 WWV, WWVH 回線における地磁気嵐の影響度合

1973年~1980年の8年間に発生した地磁気嵐とWWV(以後Vと記す)、WWVH(以後Hと記す)回線の両方で求めた総合実況指数及びV、H回線ごとに求めた1日の実況指数とを比較し、通信状態に対する地磁気嵐の影響度合を求めた結果を第2.33図a、bに示す。a図は比較ができた月別の有効個数で、白丸印はV、Hが同数、黒丸印はVのみ、×印はHのみの場合を示す。Vの有効総個数は163個、Hは169個である。b図は、地磁気嵐と総合実況指数との比較により、通信障害を起こした各月ごとの比率を黒の大丸印、V回線の実況指数との比較による比率を黒の小丸印、H回線のそれを白の小丸印で示す。図によれば、V回線では12月を除き各月共に60%を超え、年平均比率は72.4%と高い。夏期(4月~9月までとする)の6か月間の平均比率は81.3%で、この期間に発生した地磁気嵐のほとんどが通信状態に影響を与えていることがわかる。冬期(10月~3月までとする)の平均比率は63.9%で、この期間でも高い値を示している。これに対しH回線では5、7、8月の3か月は60%を超えているが他の月はそれ以下である。夏期(4月~9月)の平均比率は58.1%、冬期(10月~3月)は24.1



第2.31図 (a) 1965年から1980年までの16年間に発生した地磁気嵐の H 成分の最大変化量を 100 ガンマ以下, 101~200ガンマ, 201ガンマ以上の三つに区分し, 各月ごとに求めた発生頻度分布を示し, 陰影の部分は通信じょう乱を起こした回数を表す.
 (b) 通信じょう乱を起こした月別の比率

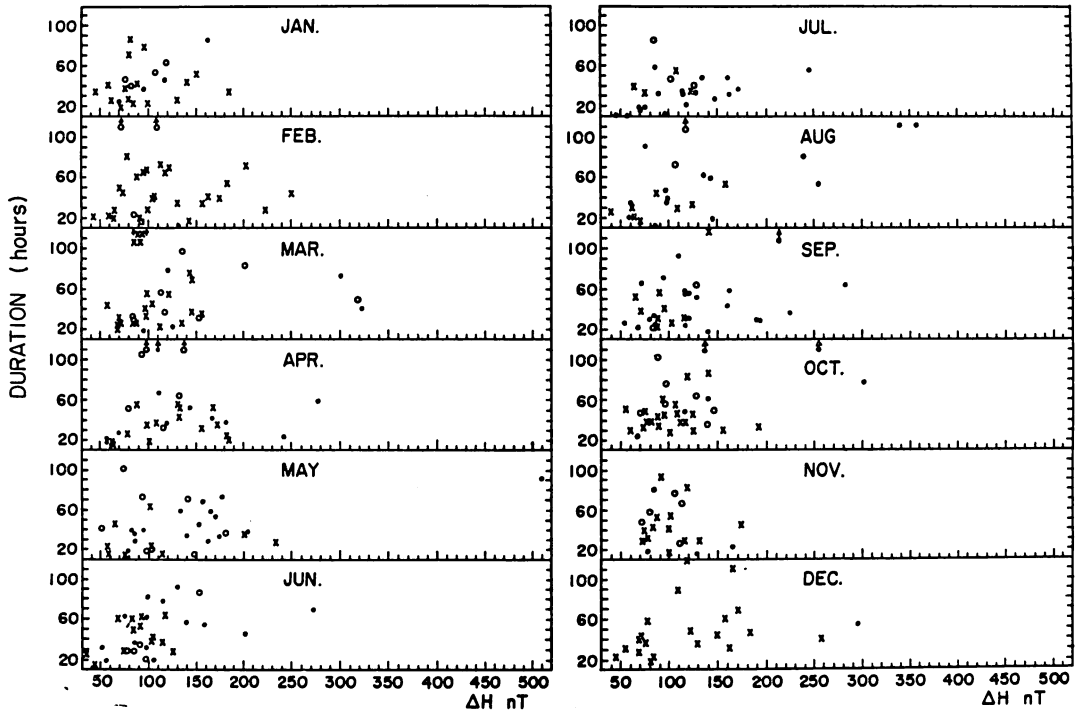
％と影響度合は低い. 総合実況指数を V 回線指数及び H 回線指数と比較すると, その変化傾向は H 回線に近いので, この回線の通信状態によって地磁気嵐の影響度合がほとんど決められていると考えられる.

6.4 地磁気嵐と受信電界強度の日変化

1981年7月23日06時47分 (UT) に始まり24日の00時に終わった, 地磁気水平成分の静穏レベルからの最大変化量 $\Delta H=107$ ガンマの比較的小さな地磁気嵐と, 25日の05時15分 (UT, $\Delta H=101$ ガンマ) と同日の13時23分 (UT, $\Delta H=298$ ガンマ) の2回にわたり発生した地磁気嵐によって起こされた通信じょう乱の日変化を V, H 回線について調べた. 第2.34図 b 及び第2.35図 b は1981年7月21日から31日までの11日間の V, H 回線の受信電界強度の1時間値と各時間の月中央値を示す. 第2.34図 a は7月23日06時47分に発生した地磁気嵐の時間変化 (平磯支所の観測) を示し, b 図は21日から24日までの毎時の強度を, 信号値を黒丸印, 混信等の非信号値を×印で示し, 毎時の月中央値を破線で示す. V 回線では S_c の始まる以前から月中央値に比べ, ある時間帯で強度の

異常変化が見られる. これは22日に発生した弱い地磁気じょう乱によるものではないかと考えられる. S_c が始まるとほとんど同時にわずかの強度低下が見られ, 4時間後の11時からは信号が全く受信されていない. この時刻はちょうど地磁気嵐の主相 (柿岡報告, 11.4時) に入った時刻に対応する. 嵐は00時で終わっているが, 24日も嵐の影響が残っており, 07時~11時 (UT) の間を除きほとんどの時間で月中央値より 10 dB 程度の低下が見られる. H 回線では, 嵐の開始から約7時間遅れた14時 (UT) ごろより影響が大きく現れている. この時刻は嵐の主相から終相に移る最低レベルの時刻に相当し, V 回線よりも3時間ほど遅れている. 24日にはやや影響は残っているもののほとんど回復している.

第2.35図 a は数時間離れて発生した二つの大きな地磁気嵐の時間変化を示す. 第2.35図 b は25日から31日までの V, H 回線の受信電界強度の日変化を示す. V 回線では S_c が始まるとほとんど同時に信号が受信されなくなり, 次の日の26日もこの状態が続いている. 27日も信号の受信されない時間が多く, 強度も低い. 28日の15時に



第2.32図 1965年から1980年までの16年間に発生した地磁気嵐のH成分の最大変化量と継続時間の長短によって通信じょう乱を起こした月別変化を示し、黒丸は S_e 型、白丸は S_g 型地磁気嵐によって通信じょう乱を起こした場合で、×印は起こさなかった場合である。矢印は継続時間がその値より長いことを表す。

嵐は終わっているが、29日もその影響が残り強度変化が激しい。このような状態は31日まで続いている。H回線では二回目の嵐の主相（柿岡報告，14.8時）のころより影響が大きく現れてきている。26日も嵐の影響を受け、月中央値に比べほとんどの時間で大きな強度低下が見られる。27日は00時～05時（UT），19時～24時（UT）の間でやや強度低下が見られるものの、他の時間では平常に戻っている。28日の00時～05時（UT）の間で大きな強度低下が見られるが嵐の終わった後は平常（月中央値に近い）に戻っている。

以上の結果から、高緯度地域を通過する通信回線では地磁気嵐の大小にかかわらず、嵐の初相から主相にかけて通信状態に影響が現れ、嵐の終わった後1日～3日程度電界強度変化が激しく、不安定な通信状態が続く。中低緯度になるに従い嵐の主相から終相にかけてその影響が現れ、嵐が終わればほとんど回復することが分かる。

7. 太陽フレア，地磁気嵐，通信じょう乱の発生予測

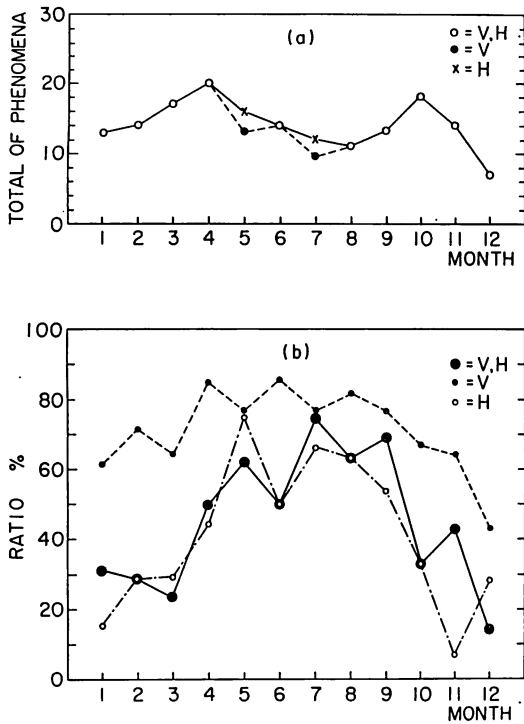
7.1 太陽フレア発生予測

太陽活動期には数多くのフレアが毎日観測されるが、

これらの中で通信じょう乱を起こす原因となるようなフレアは数少ない。フレアの的確な予測は非常に難しく、不可能に近い。第2.36図は重要度1以上のフレアが発生するであろうと考えられる場合の予測過程の概要を示す。フレアの発生予報日の前日までの太陽面全体の活動経過及び各黒点群一つ一つについての発達、衰退の傾向(Ⅲ.1.2参照)を把握することから始まる。それにはウルシグラムコードによって入電する黒点資料、太陽電波資料と平磯支所で観測した黒点の光学観測資料、太陽電波4周波の観測結果が基になる。フレアの発生頻度の高い黒点群はE、F型で、特にA～D型から急速（1～2日）に生長し、面積、数が毎日のように増加し、かつデルタ型、若しくは複雑な磁場構造を持っている場合、又は黒点群の構造（光学観測から）が毎日のように大きな変化をしている場合もフレア発生の確度は高い。これらの判断には経験的感覚を多く要求される。フレアの発生予測は SOLALERT の発令及びデリンジャー予報に重要である。

7.2 地磁気嵐の発生予測

地磁気嵐は太陽フレア、コロナホール、フィラメントの崩壊等によって引き起こされる。太陽活動が活発な時期にはフレアによる地磁気じょう乱が卓越して発生す



第2.33図 (a) 1973年から1980年までの8年間に発生した磁気嵐と WWV, WWVH 回線の通信状態を比較できた月別の有効個数
 (b) WWV, WWVH 回線で地磁気嵐によって通じよう乱を起こした月別の比率を表し、大黒丸はV, H回線ともに通じよう乱を起こした場合、小黒丸はV回線のみ、白丸はH回線の場合である。

る。しかし、地磁気嵐を引き起こすほど大きなフレアは数少ない。一般的には大きなフレアが観測された時刻より40時間から72時間ぐらゐ経過して、 S_c 型の地磁気嵐が起こることが多い。しかし、大きなフレアが発生したからといって必ず地磁気嵐が発生するものでもない。太陽面上でのフレアの発生場所、フレアの大きさ(面積及び明るさ)、継続時間の長短、フレア時における太陽電波の周波数スペクトル、太陽プロトンの放出の有無及び強弱、更には惑星間空間磁場構造等により地磁気嵐の発生や発達の様子は大きく異なり、それらの判断には経験的要素を多分に必要とされるが、概略、次に示す条件を満足するようなフレア現象が観測された場合に、地磁気嵐を起こす確度が高い。

- (1) 2N (重要度2, フレア強度普通) 以上のフレア。
- (2) 平磯支所の太陽電波 200 MHz の観測で、ピークフラックス強度が $500 \times 10^{-22} \text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$ 以上、継続時間が15分以上のバーストを観測した場合。他の観測所の資料でも、上記の基準で考えて差し支えないが200

MHz 付近の周波数帯を選ぶことが必要である。

- (3) 平磯支所の太陽電波 9500 MHz, 500 MHz, 200 MHz, 100 MHz の4周波数で電波バーストが観測され、特に200 MHz, 100 MHz のバーストが大きく、二つの極大値を持っている場合。9500 MHz の電波バース強度が大きく、200 MHz, 100 MHz の強度が比較的小さい場合にはデリンジャー現象発生型のフレアで、地磁気嵐を起こす可能性は少ない。
- (4) 太陽電波スペクトルの観測で、タイプII, タイプIV が観測された場合
- (5) 太陽中央子午線に対して ± 30 度以内の場所でフレアが観測された場合に、もっとも地磁気嵐を起こす確率が高く、 ± 60 度以内がこれに次ぐ。これ以外での確率は低くなるが、太陽面東側よりも西側の方がやや発生頻度が高い。

上述した5項目の条件は平磯支所におけるもので、他のRWCではX線強度を重視し、判断しているところもあるので特に付言する。

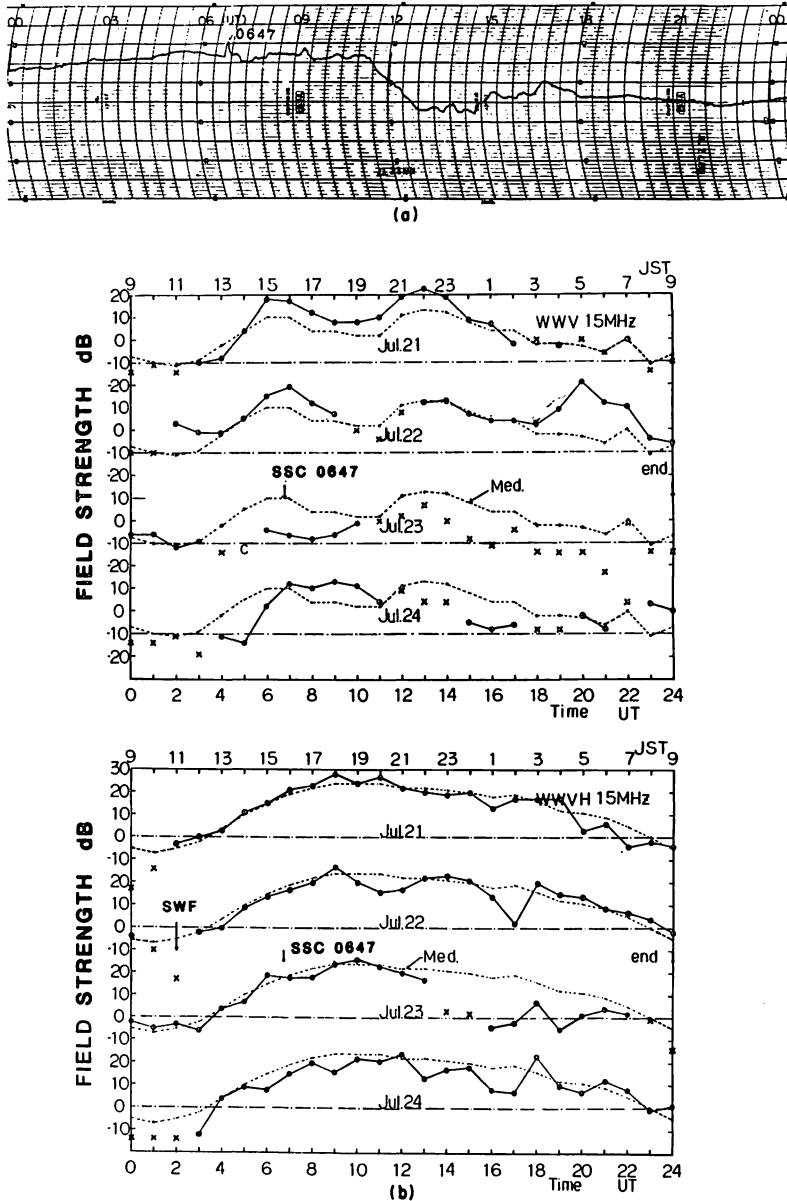
低太陽活動期には、太陽フレアと無関係に約27日の間隔で周期的に発生する S_g 型、あるいは回帰性地磁気嵐が卓越してくる。この嵐は回帰性のためフレア性の地磁気嵐の発生予測より容易であるが、嵐の開始日及び継続日数の予測はあまり容易ではない。回帰性地磁気嵐の発生は、コロナホール(Ⅲ, 2.2)が太陽中央子午線を通過するであろうと予想される日から3日~5日後(これより早い場合もある)に起こることが多い。コロナホールの発達、衰退、位置の移動等は前周期の観測資料と第2.13図に示した新しい資料を基に、予報時点での太陽面上の黒点の位置、黒点群の数、各黒点群についての発達、衰退の程度、カルシウムプラージュ(彩層白斑)の面積強度、位置等の比較によって予想し、その結果から地磁気嵐の発生日、継続日数等を予測する。

上述した嵐のほかにサブストームと呼ばれている極域の地磁気じょう乱もあるが、平磯支所ではこのじょう乱の発生、発達の予測は困難で、現象の確認程度にとどまっている。さらに近年になって太陽フィラメントの崩壊によって地磁気嵐が引き起こされることが分ってきた。しかし、この崩壊現象は数多く発生しており、どの現象に結び付けて考えれば良いか、現時点での結論は困難であり、今後の研究に依存しなければならない。

地磁気嵐の発生予測は MAGALERT 及び週間、短期電波じょう乱予報の発令に重要である。

7.3 短波帯通信じょう乱の予測

F層じょう乱に伴って起こる通信じょう乱は、地磁気嵐の発生後半日~1日して、その影響を受け始めるのが一般的である。短波帯の通信じょう乱は地磁気嵐によ

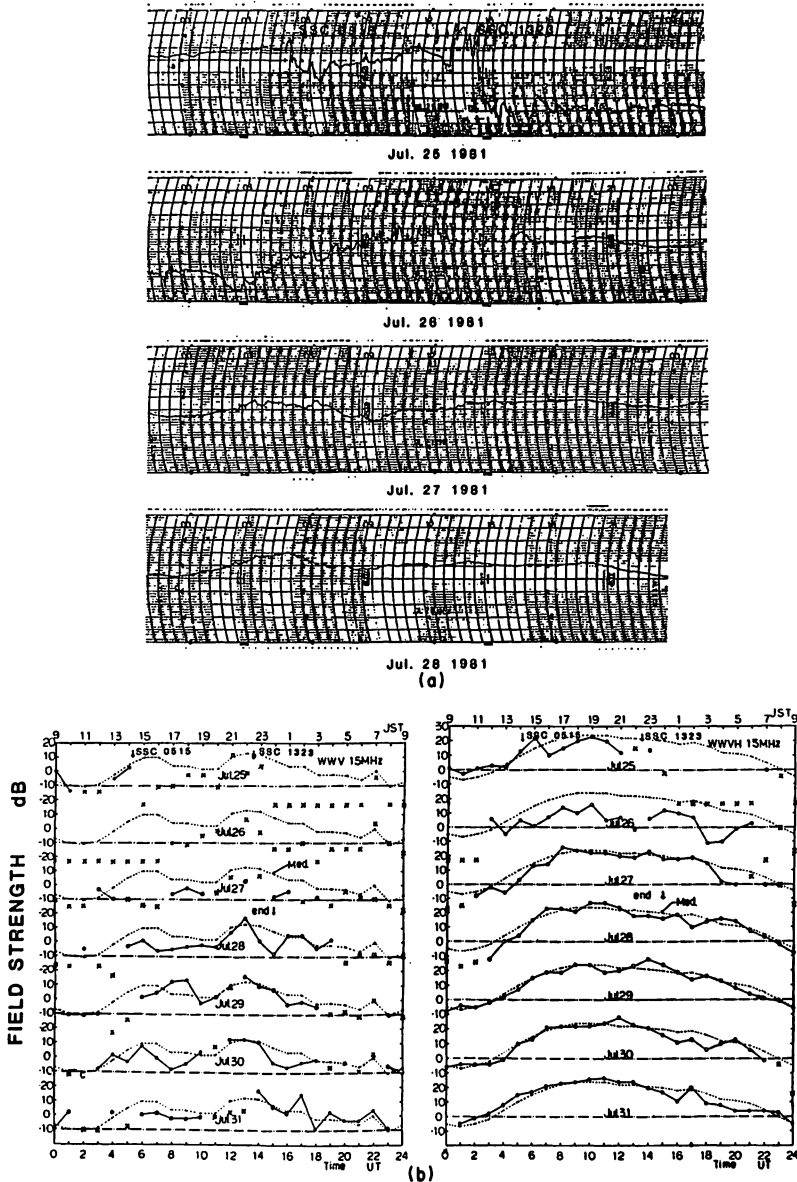


第2.34図 1991年7月23日06時47分(UT)に始まった地磁気嵐によって、WWV、WWVH回線が受けた影響を示す。

(a) 図はマグネトグラムで、地磁気は最大107ガンマ変化した。(b) 図は両回線の受信電界強度の時間変化特性である。図中の黒丸は信号値、×印は非信号値、破線は月中央値を示す。

て起こされるものが大半を占めている。しかし、地磁気嵐では説明できない通信じょう乱もあり、その予測は複雑である。週間電波じょう乱予報では地磁気じょう乱の発生日を予測し、そのじょう乱がどの程度通信状態に影響を与えるかを検討し予報する。短期じょう乱予報では短波帯モニタ回線の受信結果を基に、その回線での通信状態の良否を判断し予報するが、良い悪いが相半ばして

いと判断された場合に、それを良いとするか、悪いとするかによりじょう乱予報数が異なってくる。前者を取ればじょう乱予報数は少なくなり、後者を取れば多くなる。どちらが良いかは利用者の利用目的に関係し、いずれが良いとも決めかねるが、通信状態が悪い方向に向かっているという警告の意味に考えれば、後者を取った方が良いのではないかと考えられる。



第2.35図 1981年7月25日05時15分(UT)と13時23分に始まった地磁気嵐(H=101ガンマ, 298ガンマ)によって, WWV, WWVH 回線が受けた影響度を電界強度の時間変化で表した. 黒丸は信号値, ×印は非信号値, 破線は月中央値

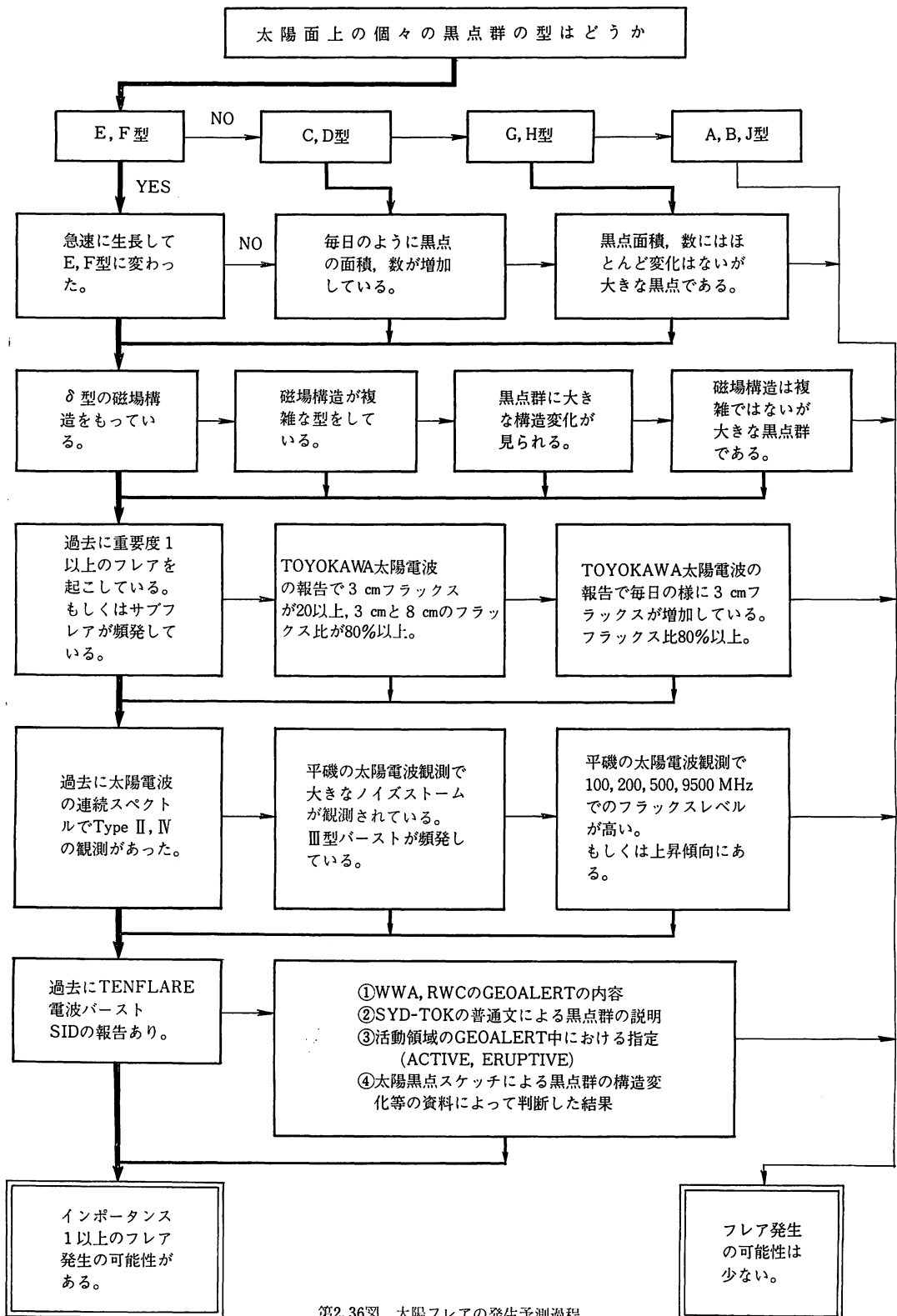
8. 週間, 短期電波じょう乱予報の評価

8.1 評価方法の概要

週間, 短期電波じょう乱予報で発令したじょう乱日と実際の通信状態とを比較し, 適中, 不適中の評価を行った. 毎日の通信状態は総合実況指数(Ⅲ, 5.3)で表し, 指数が3+以下になった日をじょう乱日, 4-以上を平穩日とし, これを予報の評価対象とした. じょう乱日にじょう乱予報が出されており, 適中した日数をdで表し,

出さなかった日数(不適中日)をbとする. 平穩日に予報を出した(誤った予報をした)日数をcとする. 平穩日に予報を出さなかった(適中)日数をaとし, これは評価対象から除いた. じょう乱日となった日数はd+b日, じょう乱日になると予測してじょう乱予報を出した日数はd+c日, じょう乱予報適中日数はd日となる. 通信状態が悪い日にどの程度じょう乱予報が出されていたかの割合を, じょう乱予報率Aとして表せば $A = d / (d + b)$ となる. じょう乱予報を出したがどの程度適中

太陽フレアの発生予測



第2.36図 太陽フレアの発生予測過程

しているかを、じょう乱予報適中率 B で表せば $B=d/(d+c)$ となる。この両者から予報総合評価指数 R を定義し ($R=\sqrt{A \times B}$)、これらの値を評価の対象とした⁽²²⁾。

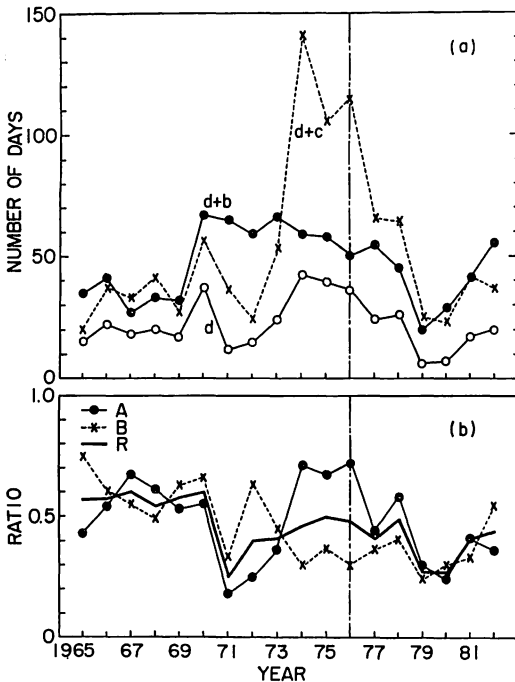
8.2 週間電波じょう乱予報の評価

通信じょう乱は1日で終わるものから数日間続くものまで多種多様であるが、1日で終わっている回数は1965年から1982年の18年間における全じょう乱回数⁽²²⁾の62%を占め、このじょう乱を正確に予報するためには1日～2日の精度で予測する必要がある。しかし、現在の週間予報の技術では、この精度の要求に応じることは困難である。1965年から1982年までの週間電波じょう乱予報の評価結果を第2.37図 a, b に示す。a 図はじょう乱予報適中日数 (白丸実線, d), じょう乱日数 (黒丸実線, d+b), じょう乱予報日数 (×印破線, d+c) の年別日数を表す。じょう乱日数が1970年から急激に増加しているが、これは実況指数の算出方法の違い (Ⅲ, 5.1) から比較的小さなじょう乱が、じょう乱日として浮上した結果ではないかと考えられる。1979年, 80年はじょう乱日が他の年 (1969年以前を除く) に比べ約半分であ

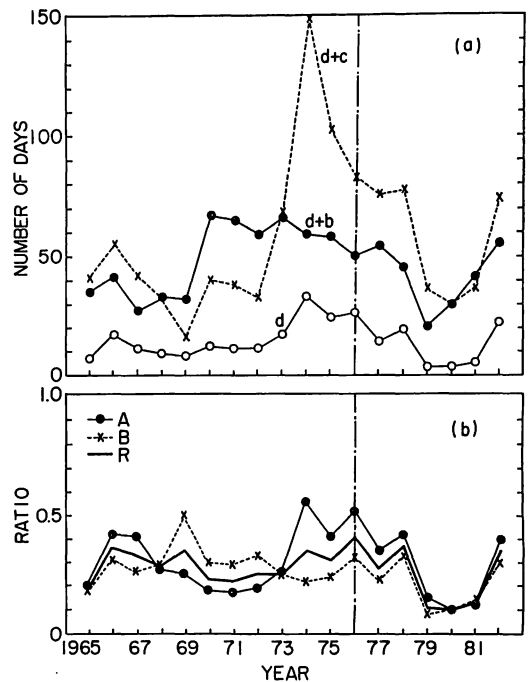
ったことを示している。適中じょう乱日数は1974年～78年の期間と1982年が比較的多く、1979年～81年の3年間は18年間の最低である。じょう乱予報日数については1965年～67年, 1974年～79年の期間及び82年でじょう乱日数に対し予報が多めに出されている。1974年はこの傾向が強く、1969年～72年期間は少なめ、1968年, 73年, 79年～81年は同程度若しくは少なめである。第2.37図 b は a 図を基に算出した じょう乱予報率 A (黒丸実線), じょう乱予報適中率 B (×印破線), 予報総合評価指数 R (実線) の値を年別に示した。1974年～78年期間の R の平均は0.35で最も良く、1966年～69年期間の平均0.33より優れている。1979年～81年の3年間は0.11と全期間を通じ最低である。

8.3 短期電波じょう乱予報の評価

8.2 で述べたのと同様な方法により、短期電波じょう乱予報について評価した結果を第2.38図 a, b に示す。図中の各々の表示は第2.37図 a, b と同様である。図から明らかに週間電波じょう乱予報より全体的に良い傾向にある。これは通信状態の変化に対し、随時じょう乱予報を変更できることから当然な結果であると考えられる。b 図の1965年～70年期間の R の平均は0.57で18年間を通じ最も良く、1974年～78年期間の0.47がこれに次ぎ、他の年はこれ以下である。1971年, 79年, 80年は0.3以下で特に悪い。評価結果の悪い原因については、



第2.37図 (a) 1965年から1982年までの18年間における週間電波じょう乱予報の評価基礎資料。黒丸は実況じょう乱日数 (d+b), ×印はじょう乱予報日数 (d+c), 白丸は適中したじょう乱予報日数 (d) を表す。
(b) 週間電波じょう乱予報におけるじょう乱予報率 (A), じょう乱予報適中率 (B) 及び予報総合評価指数 (R) の年別の値



第2.38図 1965年から1982年までの18年間における短期電波じょう乱予報の評価結果。表現方法と記号の意味は第2.37図と同じである。

毎日の通信状態を監視するためのモニタ回線の減少及び通信じょう乱が長く続くと月中央値が低下し、実際に通信状態が悪いと判断した日が平穏日となり、総合実況指数とじょう乱予報日との間に差が生じ、悪い評価結果になっているとも考えられる。

9. おわりに

以上で現在における電波警報業務の内容について解説したが、これらはあくまで基本的なことであり、個々の問題についてはそれぞれ知識を深め肉付けする必要がある。

電波警報業務は太陽惑星間空間、地球磁気圏、電離圏に関するすべての物理学に関係し、その上に立って予報が進められている。この20年間はこれらの物理学は格段に進歩し、予報にも種々な考え方が導入され改善されてきたが、太陽地球間じょう乱と通信じょう乱とが一對一に対応しないことに予報の難しさがあがり、多分に経験的な要素を必要としている。

電波警報業務が始められた当初（昭和20年～30年）は短波通信の全盛期であり、電波警報に対する依存度が非常に高かったが、現在は通信機器の目ざましい発達と通信手段の多様化につれ短波通信に対する依存度は低下している。しかし、この反面周波数の利用範囲の拡大に伴い、予報利用者も多様になり、短波帯の通信に関することはもとより、広い周波数範囲、かつ多方面にわたり細かな情報提供（太陽活動、地磁気活動の様子、電離層じょう乱等）を求められる現状にある。今後はこれら利用者の利用目的に合った予報及び情報提供を心掛けるとともに通信回線の多様化に対する資料の蓄積とそれらを解析することにより、電波警報の範囲を拡大することも必要ではないかと考える。

終わりに当り、本稿により電波警報業務の内容が幾分でも理解していただければ幸いである。

謝 辞

本稿は平磯支所超高層研究室（現通信障害予報研究室）を代表して筆者等が取りまとめたものである。このような機会をいただき、なおかつ、多大の御援助と御指導を賜った石嶺平磯支所長、有益な御助言をいただいた小川主任研究官（電波部）、丸橋電波伝搬研究室長（現電磁圏伝搬研究室長）、並びに超高層研究室（現通信障害予報研究室）の皆様、太陽電波研究室の皆様、特に資料の提供及び御助言をいただいた磯辺武研究官、図面の清書と整理に多大の御援助をいただいた磯崎光枝技官に深くお礼申し上げます。

（後記）

本文中に記されているように、週間電波じょう乱予報は従来はがき形式により利用者に通知してきたが、この周知方式は今年の3月で廃止し、これに替わって4月から新しく自動応答方式の電話によるサービスを実施することになった。サービス用電話は国分寺本所、平磯支所及び稚内、秋田、山川、沖縄の各電波観測所に設置されるので、利用者は平磯支所で毎日発令する予報情報をこれらの電話を通じていつでも気軽に知ることができる。予報情報の内容は、短波通信状態に加えて太陽活動及び地磁気活動の概況と週間予報、大きな異常現象の速報、並びに太陽黒点数情報から成る。この新しいサービスが、短波通信をはじめ、宇宙開発及び研究等の関連分野にも広く利用されることを願っている。（1986年3月）

参 考 文 献

- (1) "Synoptic Codes for Solar and Geophysical Data", Published by International Ursigram and World Days Service, NOAA, 1973.
- (2) 電波研究所企画部, "ウルシグラム放送のあゆみ" 電波研究所ニュース, 第66号, pp. 5-8, 1981年9月.
- (3) 若井登, "電波研究所における電波予報, 警報の研究と業務の展望", 電波時報, No. 3, pp. 12-38, 昭和56年6月.
- (4) 電波研究所, "電波研究所二十年史", pp. 94-104, 昭和50年.
- (5) 木所常一, 大塩光夫, "低太陽活動期における遠距離短波電界強度の変動の様相とそれの電波警報への応用" 電波季, 24, 128, pp. 251-266, June 1978.
- (6) 野附誠夫, "太陽", 新天文学講座第3巻, 恒星社厚生閣, 昭和40年.
- (7) Solar-Geophysical Data prompt reports, NOAA, Number 462-February Part 1, 1983.
- (8) 大林辰蔵, "宇宙空間物理学" 物理科学選書5, 裳華房, 昭和45年.
- (9) Bartels, J., "Terrestrial-magnetic activity and its relation to solar phenomena", Terr. Magnet. Atmos. Electr., 37, pp. 1-52, 1932.
- (10) Cook F.E. and C.G. McCue, "Solar-terrestrial relations and short-term ionospheric forecasting", Radio Electr. Eng., 45, 1/2, pp. 11-30, January/February 1975.
- (11) Preliminary Report and Forecast of SOLAR GEOPHYSICAL DATA, published Weekly by the Joint NOAA-USAF Space Environment Services Center, SESC PRF 354, June 1982.
- (12) 川口市郎, "飛驒天文台のドームレス太陽望遠鏡",

天文月報, 75, 7, pp. 188-194, 1982.

- (13) Joselyn J. A. and McIntosh P. S., "Disappearing Solar Filament: A Useful Predictor of Geomagnetic Activity", J. Geophys. Res., **86**, A6, pp. 4555-4564, June 1, 1981.
- (14) 丸橋克英, 石井隆広雄, "Geomagnetic Storms and Related Solar Phenomena", 南極資料, **68**, pp. 47-62, 1980.
- (15) 赤祖父俊一, "磁気嵐はなぜ起きるか", 自然, 第**36**巻, 第1号, 中央公論社, 1981年1月.
- (16) 羽倉幸雄, "電離層嵐の研究", 電波季, 臨時特集号, Feb. pp. 65-134, 1961.
- (17) 越前谷喜松, 竹内鉄雄, 竹之下裕五郎, "検見川—秋田間長波電界強度に現れる冬期異常現象", 電波季, **20**, 109, pp. 439-445, Jul. 1974.
- (18) S. Matsushita, "A Study of the Morphology of Ionospheric Storms", J. Geophys. Res., **64**, 3, pp. 305-321, 1959.
- (19) U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Bureau of Standards, "NBS FREQUENCY AND TIME BROADCAST SERVICES", NBS SPECIAL PUBLICATION 432, 1980.
- (20) 若井登, 藤井周, 宮本善行, "夜間の電離層吸収 I. 狭帯域受信機による 南極船上電界強度の測定", 電波季, **17**, 91, pp. 297-301, Jul. 1971.
- (21) 木所常一, "受信結果より求めた標準電波 (WWVH 15 MHz) の伝搬特性", 第255回研究談話会資料, 昭和56年10月.
- (22) 木所常一, 小川忠彦, 丸橋克英, 大内三千子, "1965年—1982年にわたる電波警報の適中率評価とその改善", 電波季, **30**, 156, pp. 223-232, Sep. 1984.

付録1. GEOALERT コードの説明

一般形式

GEOALERT IIINNN DDHHmm
 9HHJJ laaab 2cccd 3eeef 4gggh 5iijj
 QXXYY nnijk QXXYY nnijk
 FLARE JJHHmm QXXYY
 MAGSTORM JJHHmm
 8HHJJ 7777C QXXYY ZZZ ... ZZZ
 ---ALERT
 FIN

コードの内容

GEOALERT IIINNN DDHHmm
 III : 各警報センタの略名
 WWA=Boulder (World Warning Agency),

(米国)

- TOK =Tokyo (日本)
- SYD =Sydney (オーストラリア)
- MEU =Meudon (フランス)
- MOS =Moscow (ソ連)
- DAR =Darmstadt (西ドイツ)

NNN:各センタにおける1月1日を001とした GEOALERT 発令の通算日を表す.

DD : 報告の日付 (UT)

HHmm : 報告の時刻; 時, 分 (UT)

現象報告

9HHJJ laaab 2cccd 3eeef 4gggh 5iijj

9HHJJ

9 : 現象報告を表すキー番号

HH : 24時間の観測時間範囲の中間の時間. 以下の報告内容は, HH±12時間のデータである

JJ : 報告の日付

laaab

1 : 太陽黒点のキー番号

aaa : 黒点相対数 (ウォルフ黒点数)

b : 上記の HHJJ 期間内に新しく現れた黒点グループの数

2cccd

2 : 波長 10 cm 太陽電波のキー番号

ccc : フラックスの値 ($10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$ 単位)

d : 重要な 10 cm 波バーストの数

3eeef

3 : 地磁気活動のキー番号

eee : 1日分の A_k 指数

f : 現象の型

f=0 現象なし

=1 地磁気嵐の終り

=2 嵐が進行中

=6 緩始型地磁気嵐の始まり (S_g)

=7 急始型地磁気嵐の始まり (S_e)

=8 非常に顕著な急始型地磁気嵐の始まり

4gggh

4 : ニュートロンモニタ (中性子計) で測定された宇宙線強度のキー番号

ggg : 宇宙線強度の変動の中央値. 任意に定めた基準強度に対して, 中央値が gg.g% であることを意味する. 100% を超える場合は100を差し引いた値を用いる

h : 現象の型

h=0 現象なし

=1 減少の前段階

- =2 フォーブッシュ (発見者の名前) 減少の開始
- =3 フォーブッシュ減少が進行中
- =4 フォーブッシュ減少の終り
- =5 太陽プロトン粒子の到達

5iijj

5 : 太陽X線のキー番号

ii : MクラスのX線フレアの数

jj : XクラスのX線フレアの数

QXXYY nnijk QXXYY nnijk ……

QXXYY

Q : 活動領域の太陽面上の象限

Q=1 第1象限 (北東)

=2 第2象限 (南東)

=3 第3象限 (南西)

=4 第4象限 (北西)

XX : 度単位で表した中央子午線からの距離 (日面経度差, 太陽中央子午線が0度)

YY : 度単位で表した日面緯度 (太陽赤道が0度)

nnijk

nn : QXXYY の領域で発生したフレアの総数

i : 重要度が1より大きなフレアの数

j : MクラスのX線フレアの数

k : XクラスのX線フレアの数

活動領域が数多くある場合には QXXYY nnijk が活動領域の数だけ報告される。

顕著な現象についての報告

FLARE JJHHmm QXXYY

: フレアが JJ 日 HH 時 mm 分に太陽面上の位置 QXXYY で発生した。

MAGSTORM JJHHmm

: JJ 日 HH 時 mm 分に地磁気嵐が発生した。

PROTON FLARE JJHHmm QXXYY

: 太陽面上の位置 QXXYY で発生したフレアによるプロトンが地球近傍で JJ 日 HH 時 mm 分に観測された。

MAJOR FLARE JJHHmm QXXYY

: 地磁気嵐, 宇宙線嵐, プロトン現象が発生すると思われるような大きなフレアが, JJ 日 HH 時 mm 分に太陽面上の位置 QXXYY で発生した。

MAGFLARE JJHHmm QXXYY

: 地磁気嵐, 宇宙線嵐を発生すると思われるようなフレアが JJ 日 HH 時 mm 分に太陽面上の位置 QXXYY で観測された。

顕著な現象がない場合には上記の報告は省かれる。また上記の分類に属さない現象報告は, その項目を明記する。PRESTO 報告はこれに含まれる。

予報の詳細

8HHJJ 7777C QXXYY ZZZ … ZZZ ……

---ALERT

FIN

8HHJJ

8 : 予報を表すキー番号

HH : 以下に述べる24時間の予報の有効開始時刻

JJ : 予報日

7777C

7777 : 常に7777で変わらない

C : 予報に使用した自局の観測資料の内容を表す

C=0 観測資料なし

=1 太陽電波の観測あり

=2 光学観測 (例えば黒点観測) が一部含まれている

=3 すべての光学観測と電波観測あり

=4 太陽磁場観測を含めたすべての観測あり

QXXYY ZZZ … ZZZ

太陽面上の位置 QXXYY に存在する黒点群の活動の度合を ZZZ … ZZZ で表す。ZZZ … ZZZ は次の4種類の表現で示される。

QUIET : 一日中を通じて太陽の彩層現象 [cm 波バースト, 急始電離層じょう乱 (SID), CクラスのX線フレア等] の起こる可能性は少ない。

ERUPTIVE : 一日中を通じ電波現象 (10 cm 波) が少なくとも1回と, 幾つかの彩層現象 (Cクラスフレア) の起こる可能性がある。

ACTIVE : 一日中を通じて地球物理学上の現象 [重要度2以上のフレア, cm 波バースト (継続時間10分以上), 大きなSID, 小さな極冠吸収現象 (PCA)] が少なくとも1回, あるいは幾つかの大きな電波現象 (10 cm 波), MクラスのX線フレアの起こる可能性がある。

PROTON : 一日中を通じて高エネルギー粒子の放出現象 (XクラスのX線フレア) が少なくとも1回ありそうである。

上記4種類のほかにCAUTIONあるいはDOUBTFULという言葉が挿入されることがある。予報基準は次のような順序になる。

DOUBTFUL ERUPTIVE

CAUTION ERUPTIVE

ERUPTIVE

DOUBTFUL ACTIVE

CAUTION ACTIVE

ACTIVE

PROTON

アドバイスと警報

---ALERT

予報の有効開始時刻(8HHJJで示された日と時刻)以後24時間、又はそれ以上の期間におけるアドバイスの内容。

SOLNIL : 太陽活動の終わり、又は大変低い活動期間の始まり

MAGNIL : 地磁気活動の終わり、又は大変低い活動期間の始まり

PROTON NIL : 太陽プロトン現象の終わり、又は大変低い活動期間の始まり

SOLQUIET : 太陽面上には活動的な領域はない

MAGQUIET : 地磁気は静かである(突発的な弱い地磁気じょう乱は含まれる)

SOLALERT JJ/KK or JJ/××

: JJ日からKK日の間、太陽活動の増加、若しくは活発な活動の継続が予想される。活動の終わりを予想することが難しい場合にはKKが××で示される。

MAGALERT JJ/KK or JJ/××

: JJ日からKK日の間、地磁気活動が活発になる。若しくはじょう乱が続くと予想される。活動の終わりを予想することが難しい場合にはKKが××で示される。

MAGALERT JJ/KK RECURRENCE

: JJ日からKK日の間に地磁気じょう乱の発生が予想されるが、このじょう乱は回帰性地磁気じょう乱(約27日の周期で現れる地磁気じょう乱)であると考えられる場合にRECURRENCEと明記される。KKが××で示されることが多い。

MAGALERT MINOR JJ/KK

: 地磁気じょう乱は発生するが大きく発達することはないと予想される場合、若しくは小さなじょう乱が続いている場合

MAJOR FLARE ALERT JJ/KK QXXYY

: JJ日からKK日の間にQXXYYの活動領域で大きなフレア(XクラスのX線フレア)の発生が予想される。

PROTON FLARE ALERT JJ/KK QXXYY

: JJ日からKK日の間にQXXYYの活動領域でプロトンフレア発生の可能性があり、地球近傍でプロトンが検出されるかも知れない。

PROTON FLARE ARRIVAL ALERT KK/JJHHmm

: JJ日のHH時mm分に発生したフレアによってKK

日にプロトンが地球付近に到達することが予想される。

STRATWARM STARTS

STRATWARM EXISTS

STRATWARM ENDS

: これらは成層圏内における温暖気団の出現、消滅に関する情報で、発生場所、日、時刻等は普通文形式で報告される。

FIN

: 報告の終わりを示す

PRESTOによる現象報告

PRESTO コードは顕著な現象を観測した場合に観測結果を速やかに報告するため随時使用されるコードであるが、GEOALERTの現象報告の中にも、前日のPRESTOがまとめて報告されている。ただし現在平磯支所から出されているGEOALERTには、国内で出されたPRESTO報告は挿入されていない。PRESTOの一般形式を次に示す。

PRESTO observatory JJHHmm report

緊急現象報告、観測所名、現象報告の日、時、分、報告する現象の内容を表す。内容は4種類に分けられ、それぞれ細部にわたって報告される。

(1) 地磁気活動

i MAGSTORM BEGINS JJHHmm

: 地磁気嵐がJJ日、HH時、mm分(UT)に始まった

ii STRONG MAGSTORM IN PROGRESS JJHHmm

: 大きな地磁気嵐がJJ日、HH時、mm分現在進行中

iii WEAK MAGSTORM IN PROGRESS JJHHmm

: 弱い地磁気嵐がJJ日、HH時、mm分現在進行中

(2) 太陽フレア

SOFLARE IMPORTANCE CLASS QXXYY JJHHmm DURATION or IN PROGRESS

: 太陽フレアがQXXYYの場所でJJ日HH時mm分に重要度(大きさにより0から4までに分けられている)、明るさ(F, N, Bの3種類に分けられている)、X線強度M, Xで観測され、現象が終わった場合は継続時間、終わっていない時には進行中

(3) テンフレア(波長10cmの太陽電波バースト)

TENFLARE XX UNITS JJHHmm DURATION

: XX単位の太陽電波バーストがJJ時HH分mmに、継続時間〇分間観測された。

XX UNIT : 輻射強度を表す単位

1 Flux Unit (F.U) = 10^{-22} Watt m⁻²

正 誤 表

電波研究所季報 Vol. 32 No. 162 March 1986

頁	項 目	誤	正
41	第 2.37 図 第 2.38 図		図のみ左右入れ替え