

HF Propagation, Solar Activity & Ionospheric Disturbances (rev. 3)

JA1VJQ

Rev.3について

新たな知見

2004年に初版、2005年にRev.2をリリースしてから自分の知識も増え、丸山先生から頂いたコメントの意味も大まかに理解できるようになりました。

しかしながら、それから7年の月日が流れ科学者さえも知らなかった新たな事実が判ってきたり、自分の書き込みにも追加や訂正が必要な箇所に気付いたため今回のREV.3のリリースとなりました。最初のRev.1の時は記載された事実が、日々のアマチュア無線の運用にどう関わるのか？とか、Dxerとしてどう活用したら良いかが判りにくいとのコメントがあったので2005年にRev.2として大幅に加筆しました

最近でこそ日本のCQ誌にも、JAXAとかNICTなどと関係していそうな高層大気や太陽物理学の科学者や研究者の記事がようやく掲載されるようになりました。しかし、日本の閉鎖社会では専門の研究者がアマチュア無線誌に記事など書くと、『ああ、彼もアマチュアしか相手に出来なくなったか、、、』など沽券にかかると非常にネガティブな見方をされてしまう傾向があるようです。原子力村の金には群がるくせにね。さらに問題なのは、日本の学者はDXコンテストに参加した経験もなければ、メンコ集めに血道を上げて夜な夜なバンドをワッチしてコンディションの推移を肌で理解する無線家としての深い経験がない。でも、米国では全然状況が異なり、アマチュア無線の集會にHPの研究者やカリフォルニア工科大学CALTECHの一線級の教授がアマチュアと分け隔てなくミーティングに参加し、プレゼンテーションや情報交換しています。

残念ながら、日本ではプロとアマチュア無線家の交流が殆んど無いのが現状です。自分もそうでしたが、電波伝搬に関しての深い知識がほとんどなく、頭の中に蜘蛛の巣が張っていて誤解や伝説が蔓延っています。本資料はその両者の間を結ぶミッシング・リングの役割を果たすものだと思います。ただの事実を伝えるだけでなく、どうしてそうなるのか？アマチュア無線家にとってどう役立てるか？を中心になるべく普通の言葉で、なるべく多くの図を使って判り易く書いたつもりです。

殆んど一人で調べ上げましたが、最初のトリガがIBCRLの丸山先生、途中でJ8AJE笠原OMの貴重なアドバイス、2012年になってから偶然知り合ったNONBH Paul Herrman氏とのメールのやりとりが参考になりました。この場を借りて御礼申し上げます

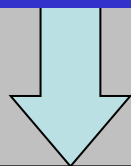
Hiroshi "Ted" Mochimaru / JA1VJQ

April 2012

最初のきっかけ

IBCRL、丸山先生からのメール

すぐわかることですが、磁気嵐は電流の変化です。オーロラ帯のジェット電流と赤道環電流です。電流は荷電粒子の流れですからその粒子がどこからやってくるか考えなければなりません。よく皆さんが勘違いするのですが、太陽風から直接入ってくるわけではありません。磁気圏のなかで加速されて生じます。・電離層嵐（負層）は中性大気の酸素原子密度と窒素分子密度の比が変わることでおきます。比が変わること電離大気の生成と消滅のバランスが崩れます。その結果が電離層嵐です。磁気嵐に伴うオーロラジェット電流による大気加熱が主な原因です。加熱され組成の変わった大気は極域から赤道に向かうので、高緯度ほど電離層嵐になる可能性が高くなるわけです。・ご存知かと思いますが、電離層嵐には正相もあり、F層電子密度が増えます。高い周波数の通信ができることとなります。スプレッドFはF層の中の不規則構造で、VHF帯の電波を散乱します。特に磁気赤道にできるスプレッドF（プラズマバブル）は50MHzの赤道横断伝播（TEP）の原因となります。



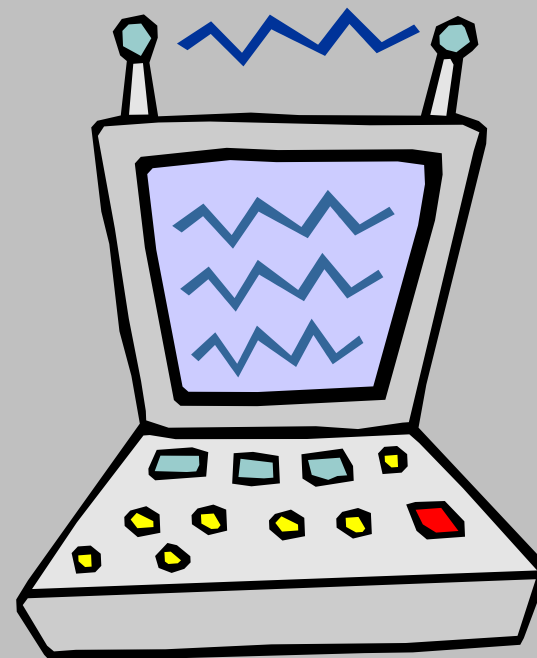
先日CRLにe-mailにて、電波伝搬などの質問をしたところ、かたじけなくも、丸山先生からご丁寧なお返事を上記のとおり頂いた。ところがその中で、『すぐわかることですが、、、』が良く判らないのが気になって、**2004年の始め**ごろ、久しぶりMLも無線も二ヶ月くらい停止し、『とうちゃんがんばるよ』と独学で調べ始めた
数式をなるべく押さえ、言葉でつたえるのは数式より大変



ゴゴゴゴ



- 電波伝搬およびトピックス
- 主な太陽活動
- 磁気嵐・電離層擾乱



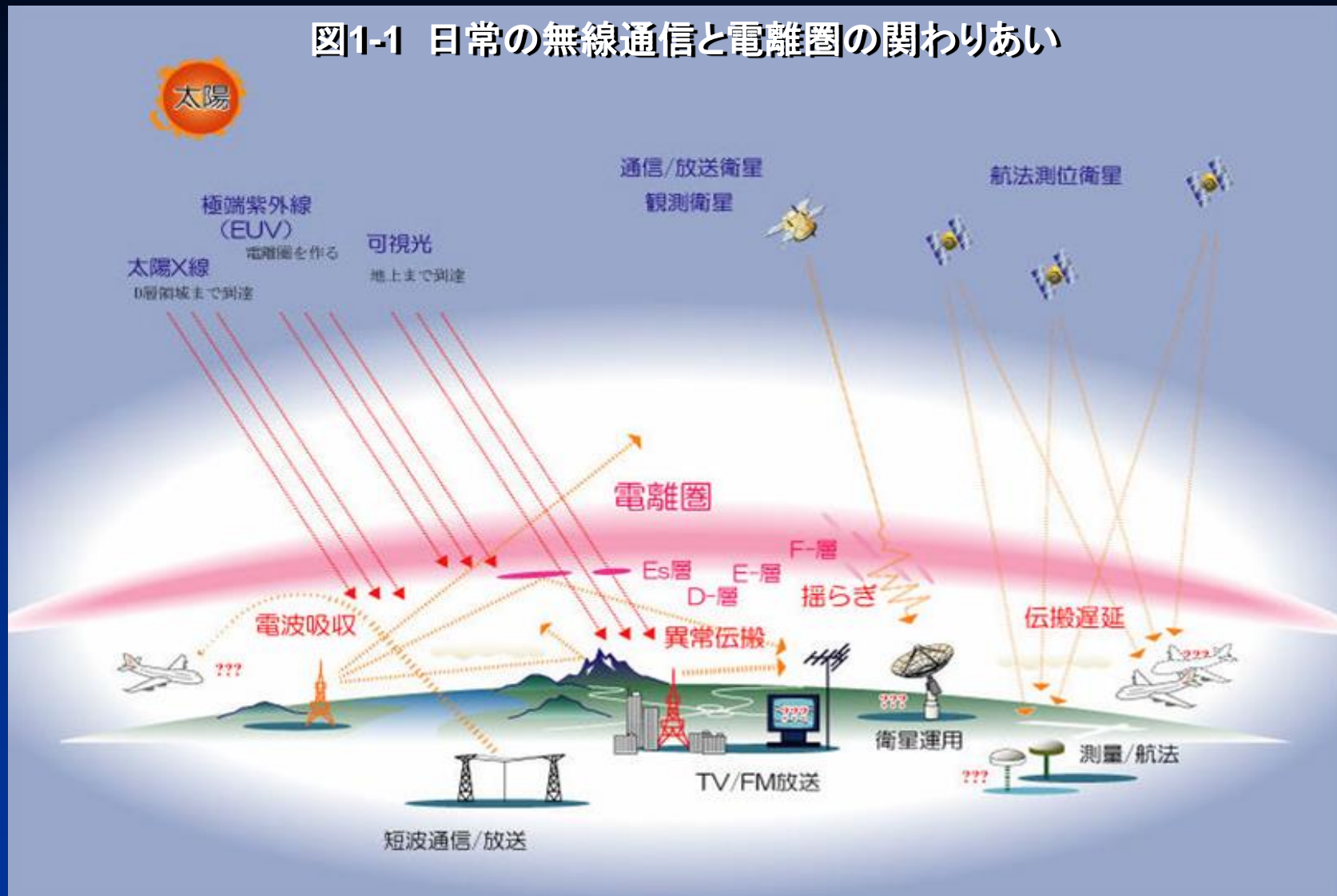
SECTION I

HF Propagation & Ionosphere

Ionosphere, Ionogram, Propagation

電波伝搬と電離圏効果

図1-1 日常の無線通信と電離圏の関わりあい



電波の種類と伝搬モード

Courtesy of N0NBH / Mr. Paul Herrman

表1-1 電波の分類と伝搬モード

BAND	Frequency	ガイドド	地表波	直接波	電離層 (Ionosphere)					スキヤッタ	トロポポ	EME
		Guided Wave	Ground Wave	Direct Wave	D	E	Es	F1	F2	Scatter	Tropospheric Ducting	
VLF	3-30KHz	Red	Teal	Teal	Red	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal
LF	30-300KHz	Red	Red	Teal	Red	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal
MF	300-3000KHz	Red	Red	Teal	Teal	Yellow	Teal	Teal	Yellow	Teal	Teal	Teal
HF	3-30MHz	Teal	Teal	Red	Teal	Teal	Red	Red	Red	Red	Teal	Teal
VHF	30-300MHz	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red
UHF	300-3000MHz	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Red	Red	Red
SHF	3-30GHz	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Red	Red
EHF	30-300GHz	Teal	Teal	Red	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Teal	Red

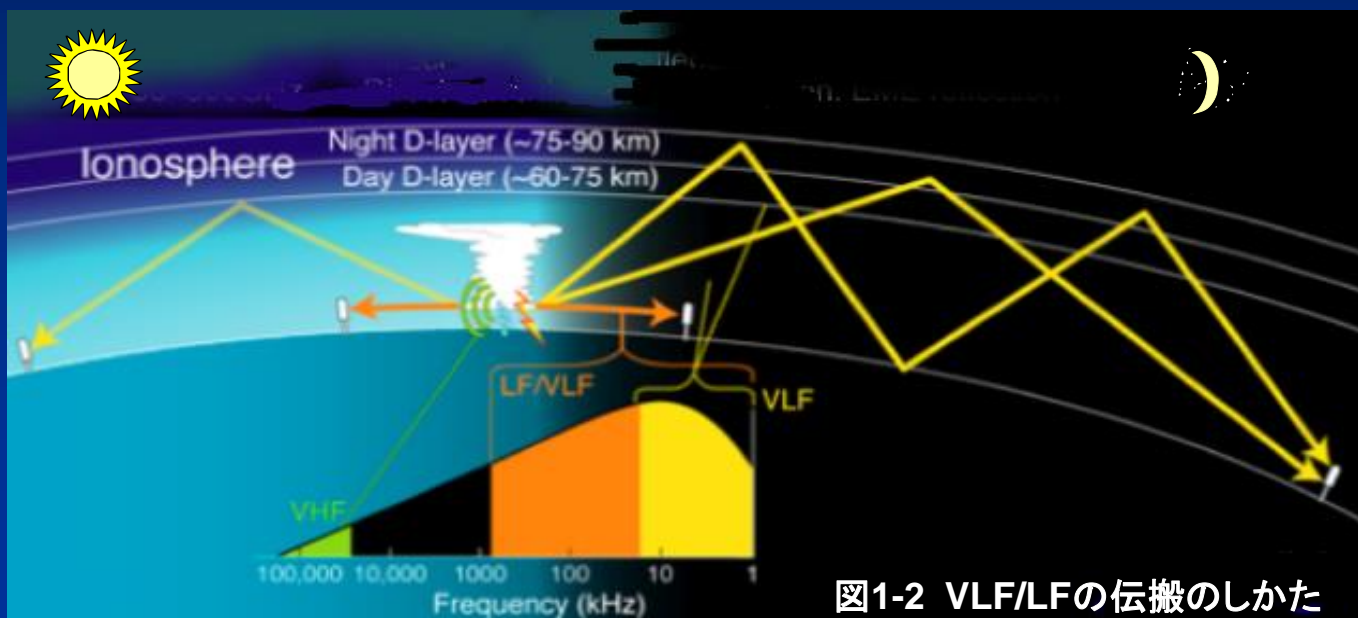


図1-2 VLF/LFの伝搬のしかた

Possible 可能

Conditional 条件付

上記の表はおおまかな目安となる

VLF/LFの電波から見ると地表と電離層は非常に電気を通し易いので上下に銅版を挟んだようなもの。電界がショートしないように垂直偏波を使う。これが中波以下で垂直トッピングANTを見る理由

潜水艦では海中にKm単位の長いワイヤーを引っ張り、70KHzあたりのVLF電波で通信する手段を持つ。到達距離は地球規模で非常に長い

電波の伝搬モード（空間波以外）

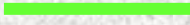

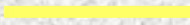
Courtesy of NONBH / Mr. Paul Herrman

Guided Wave [ガイドド・ウエーブ]

- VLF/LF帯の電波は波長が極めて長いので『ガイドド・ウエーブ』で伝搬する
- このバンドでは大地・海面と電離層は極めて導電性が高い
- 上下が大地と電離層からなる銅板に挟まれた球形をした巨大な導波管のように電波をガイドする
- 常に垂直偏頗を使う
 - 波長が極めてながいので水平系のアンテナは実用的でない
 - 導電性の高い大地による電界のショートを防ぐため

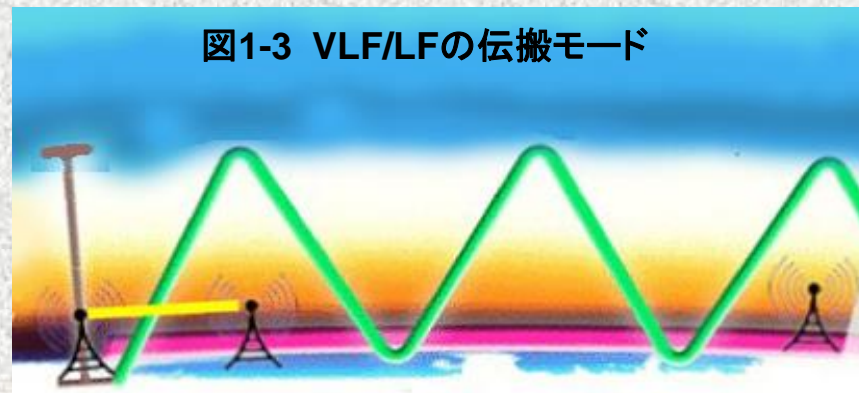
Ground Wave [グラウンド・ウエーブ：地表波]

- LF/MF帯では効率的に地表波が伝搬する
- 地球の曲率に沿って伝わる特性をもつ
- 表面の電気伝導率は地表波の伝搬に影響する
(水面のようなさらに導電率の高い表面は良好な伝搬となり減衰も少ない)
- 大地は完全な導体ではないので、地表を伝わるうちに減衰を受ける
- このモードは電離層伝搬や対流圏伝搬は含まない

ガイドド 
地表波 
直接波 

Direct Wave [ダイレクト・ウエーブ：直接波]

- アンテナどうしが相互に目視できる範囲の伝搬である
- VHF以上の周波数で最も一般的な伝搬モード
- 壁のような非金属物体をとおりぬけるラジオ信号も含む
- この伝搬では大地反射も重要なファクターになる



電離層の形成

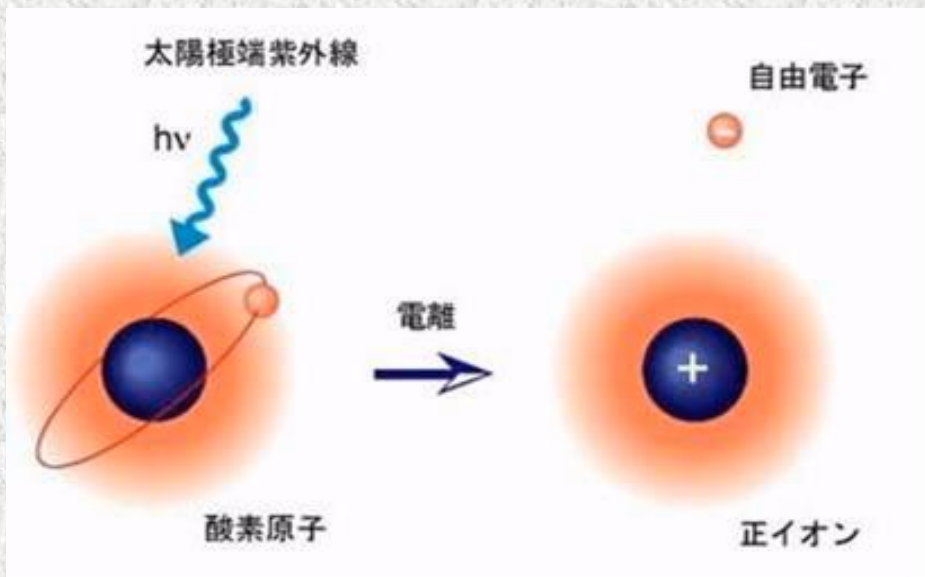


図1-4 中性大気の紫外線による電離

地上数百kmに達する熱圏中性大気内では、太陽からの紫外線のエネルギーを受け、酸素原子が O^+ のイオンと自由電子に分かれる電離という過程を経て、プラズマガスが存在している。このイオンと自由電子によって電離層が形成される

イオンと自由電子の生成・消滅過程は以下の化学式によって説明されている。生成と消滅のどちらかの過程が大きいかで、電離層の電離密度や反射可能な最大周波数がきまる

$O + h\nu \longrightarrow O^+ + e$	電離生成
$N_2 + h\nu \longrightarrow N_2^+ + e$	電離生成
$O_2 + h\nu \longrightarrow O_2^+ + e$	電離生成
<hr/>	
$O^+ + N_2 \xrightarrow{k_1} NO^+ + N$	組換え衝突
$O^+ + O_2 \xrightarrow{k_2} O_2^+ + O$	組換え衝突
$N_2^+ + O \xrightarrow{k_3} NO^+ + N$	組換え衝突
<hr/>	
$NO^+ + e \xrightarrow{a_1} N + O$	解離再結合によるイオン消滅
$O_2^+ + e \xrightarrow{a_2} O + O$	解離再結合によるイオン消滅
$N_2^+ + e \xrightarrow{a_3} N + N$	解離再結合によるイオン消滅

表1-2 イオンと電子の生成消滅化学反応

電離層の形成

電離層形成のしくみ

- 成層圏の上空、数十Kmから数百Kmの**熱圏中性大気**の酸素、窒素ガスに太陽からの紫外線（**UV, EUV**）やX線が降り注ぐ
- **そのエネルギーを受け、電子が原子や分子から飛び出ることによって電離が起きる**
- その結果、酸素・窒素ガスが、自由電子と正イオンとなる原子イオンや分子イオンに変化する→電離、**プラズマガス化**
- 昼間に電離が生じ、夜間は再結合の過程が主要（ドミナント）になる
- 前ページの表はF層での代表的イオン化学反応で、
1) 電離、2) 衝突による組み換え、3) 再結合を示す
- 電離大気と**中性大気**の比はF層で最大でも1000倍が上限。従って、電離していない中性大気の量と振る舞いが電離層の性質を決める

電離層の形成

電離層高度が決まる理由

- 電離のエネルギーとなる**UV**は上空では強く、地表に近くなると弱まる
→赤のカーブ
- 電離ガスの材料は主に**酸素と窒素**だが地表では多く上空では少ない
→緑のカーブ
- このため、上空の何処かで電離ガス生成率のピークが生じ、電離層の高さになる
→青のカーブ
- 図のように、電離層には明確な境目はない
- このように、紫外線(**UV**)の有無という条件で(即ち昼と夜)生成消滅が比較的シンプルに決る電離層を**Chapman Layer**と呼ぶ
→E層、F1層など

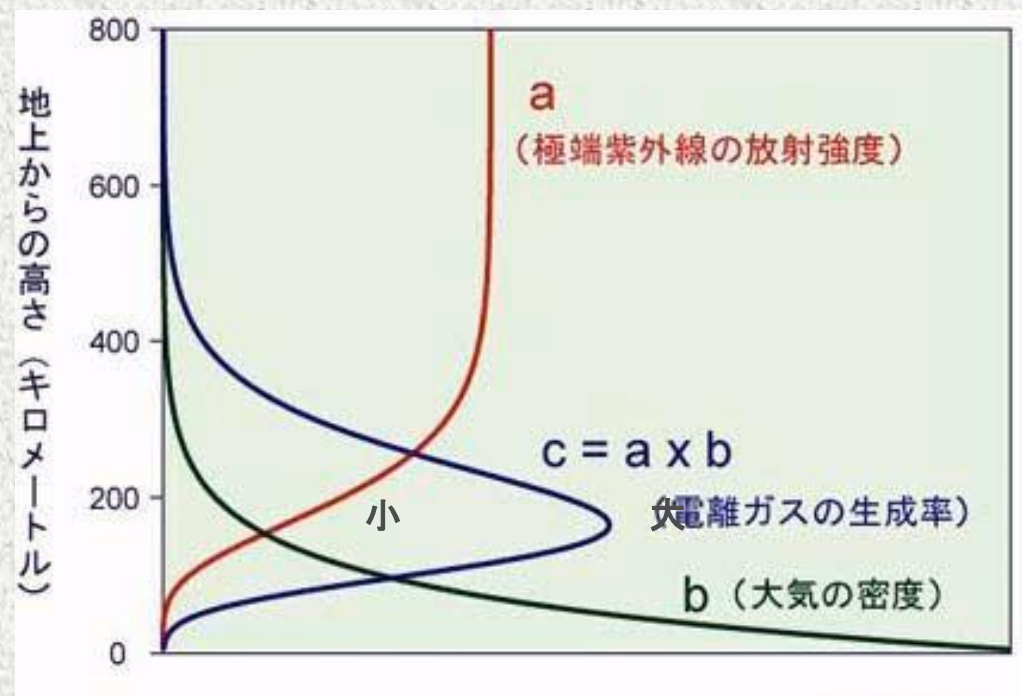


図1-5 電離ガスの分布とその高度

電離層の形成

複数の電離層が形成される理由

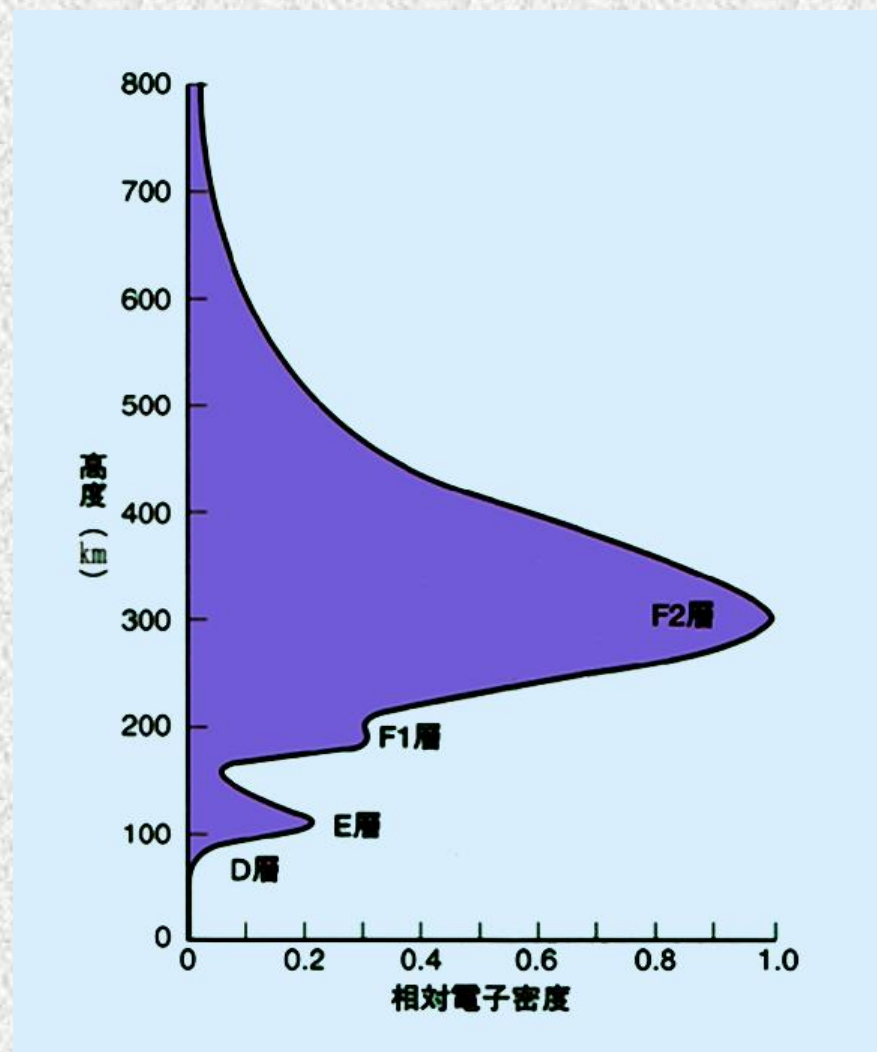
- 主な電離のエネルギーを与えるのは紫外線だが、紫外線自体も**UV** から**EUV**域までのスペクトルを持ち、その波長によって**中性大気圏（電離圏）への透過率が異なる**
- 電離エネルギーを与えるのは**紫外線だけではない**X線(フレア発生時特に増大)や2次宇宙線散乱
- 主なプレーヤーは酸素**O**と窒素**N**だが、若干だがアルゴン**Ar**, 水素**H**, ヘリウム**He**等の希ガスや窒素酸化物**NOx**, 水の分子**H₂O**なども関与する（反応・重量の違い）**中性大気も含め、それらの分布も密度も高度によって異なる**
- 夜昼、季節、緯度、太陽活動などで**各電離層の受けるエネルギーは変化する**
- **このような複数のパラメータがあるので、電離層は複数の層に分かれ生成消滅を繰り返す**

電離層の形成

電離層の電子密度の相対値

- **F₂の電離度が特に大きい点に注目**
- 電離密度の大きさが臨界周波数を決める
- E層は電離度が低いので、反射に関与するのは40m Band以下
- 北半球の冬は、太陽の照射が少ないため大気が収縮し濃くなるため、最大のF₂電離度になる
- 電離度が最高のF₂層でさえもプラズマ化しているのはせいぜい熱圏中性大気の1/1000程度。従って、まだ電離していないで大量に存在する中性大気の濃さが電離層の性格を決める大きな要素になっている

図1-6 各電離層の電子密度相対比較



電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

屈折・反射する事実の紹介はあるが、その説明を無線雑誌で見た事がない！

- 電離層内の自由電子が励起されると、“**プラズマ振動**”を起こす
- その励起を起こすエネルギーの元は、貴局の発射した電波であり、電離層に到達した電磁界が、電子のプラズマ振動を起こす
- 電氣的・物理的に振動する電子は、電磁波を再輻射するので反射が起きる
- 別の見方としては、電磁波が異なる媒質を通過するため、屈折や反射が起きる
- 光（電磁波）が、異なる媒質に入ると（空気中からガラスへ）屈折するのはプリズムでお馴染みの現象で、媒質は異なるが同じ現象が起きている。但し、かたやプラズマガスなので、**媒質の性質は大分異なる**

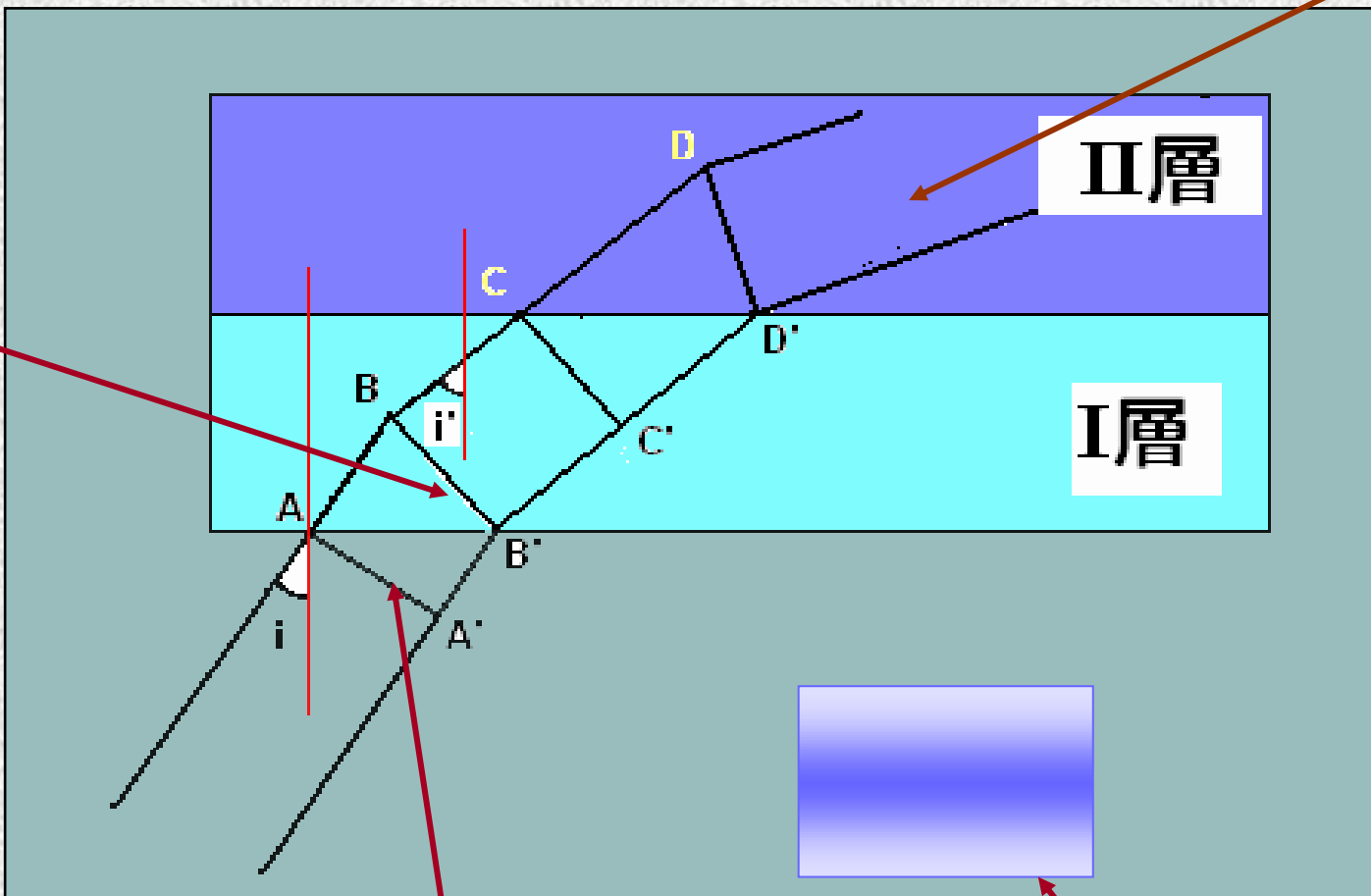
電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

図1-7 電波の屈折と反射 スネルの法則

プラズマという異なる媒質に突入すると電波の(位相)速度が変わり、この場合早くなる

このために、空気中ではA'-B'しか進まない間に電離層内ではA-B進む

結果的に同一波面B-B'の角度が*i*'まで変化し屈折が生じる



同じ電離層のさらに電離度の高い上層部に行くにつれ、さらに連続的に屈折を受け、ついには水平になる

そこでは上部のプラズマ密度が高く、少し下部では低いため同一波面が上部で早く、下側で遅い即ち反射が起き、入射と反対の過程で屈折し、地上に到達

送信局から離れた電波は平面波(A-A')として入射角*i*で電離層 I に到達する

電離層内で連続的に変化するプラズマ密度を単純に2層だけで表しているが、実際はこんな感じ

電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

スネルの法則による解説

- 13ページに解説するように、電離層、例えばF2層はその中心高度で電離度が最大、上下方向に連続的に減少するが、15ページでは2層に簡略図化している
- 屈折から反射の過程は、最大密度に達する前に生じている
- 電磁波が異なる媒質に入ると、その（位相）速度が変わるため、その同一波面の角度が変わる ⇒ 屈折
- 位相速度はエネルギーの伝搬速度（常に光速以下）とは異なる
- 前図で示した微小領域での屈折率を μ とすると：

$$\mu = \sin i / \sin i' (< 1)$$

- 臨界周波数が f_0 のとき、斜めに入射した反射可能周波数 f は：

$$f = f_0 \sec i (= f_0 / \sin i)$$

電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

電離層での電波の屈折・反射・吸収に関するパラメータは以下が考えられる

- 屈折・反射・吸収に関するのは、以下のパラメータと思われる

プラズマ周波数

電波の周波数電子密度

電子の平均走行距離＝衝突周波数（中性原子、分子の量）

電波の入射角（入射角 i によっては f_0 より高い周波数でも反射）

- 正確な記述には、大昔勉強した電磁方程式が必要だが、この文書の主旨に外れる
- 次ページからは、屈折反射をプラズマ振動から捉えてみる。貴局電波のエネルギーを受けてプラズマガスが振動し再輻射するから電波が反射される

電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

プラズマ周波数 (21ページ図参照)

- プラズマ状態の電離層を電氣的に中性の薄いシートと考える
- 正イオンと電子の数は共にN個で中性を保っている
- ここで、真空中の誘電率を ϵ_0 、電子の質量 m 電荷量を $-e$ とする
- 何かの拍子に電子が x だけ動くと、右に $-$ 左に $+$ の電荷が起きる
- するとそこには正から負を向いた電界 E が生じる。その電界 E は：

$$E = Nex / \epsilon \text{ -----(1)}$$

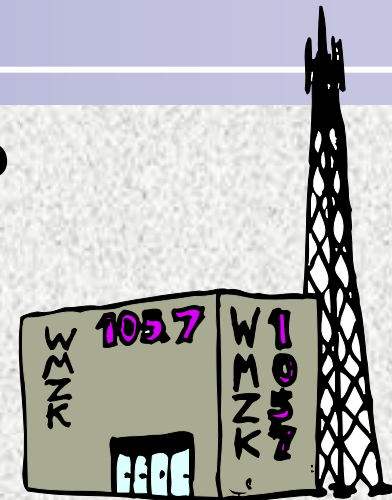
- この電界に引き戻された電子は、単振動を始めその運動方程式は：

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -eE \text{ -----(2)} \quad (\text{高校物理の} F=ma \text{と同じ})$$

- 質量 m 、距離 x の2階の時間微分は加速度、 E の項は力となる

電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

プラズマ周波数 (21ページ図1-8参照)



- (1)(2)式からEの項を消去すると単振動の式になる

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \left(\frac{Ne^2}{m\epsilon_0} \right) x = 0 \text{ -----(3)} \quad (\text{高校物理のバネ運動を思い出す})$$

- この式の角周波数 ω_p は、 $\omega_p = [Ne^2 / (m \epsilon_0)]^{1/2}$ で表され、その周波数 $f_p = \omega_p / 2\pi$ となり、電子のプラズマ周波数という
- 電波がプラズマ密度が薄い場所から濃い所（電離層）に伝わる時、位相速度の変化により屈折が起き、 **$f = f_p$ のとき全反射が起きる**
- 式からわかるように、 **f_p は電子の数Nに比例する。例えば、プラズマ密度が濃い電子の多いEs層では、高い周波数も反射する**経験的事実と一致する

電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

プラズマ周波数 (21ページ図1-8参照)

- 周波数がプラズマ周波数 f_p を超えると、プラズマ集合体としてフェーズを合わせた電気振動が出来ないので、何事も起こらずそのまま電離層を通過する
⇒周波数の高い電波が電離層を突き抜けてしまう理由
- 電波とプラズマ周波数が一致すると、電離層が励起されてプラズマ振動が起き、地上に再輻射される
- 一つの電離層は、プラズマ周波数が異なるプラズマ・シートを重ね合わせた物と考えられるので、低い周波数の電波は、電離層の低い領域が持つ、低いプラズマ周波数と一致して、下の周波数でも反射する
- 周波数が低いと（黒点が多いとか太陽が南中でE層の電離が高い場合）E層辺りでプラズマ振動が起き、そこで反射してしまうのでF層には達しない
⇒ブラケット効果
- 電離層内では、電波の電磁界とそれによって振動する電子の作る電磁界が合成されて電波は進行する

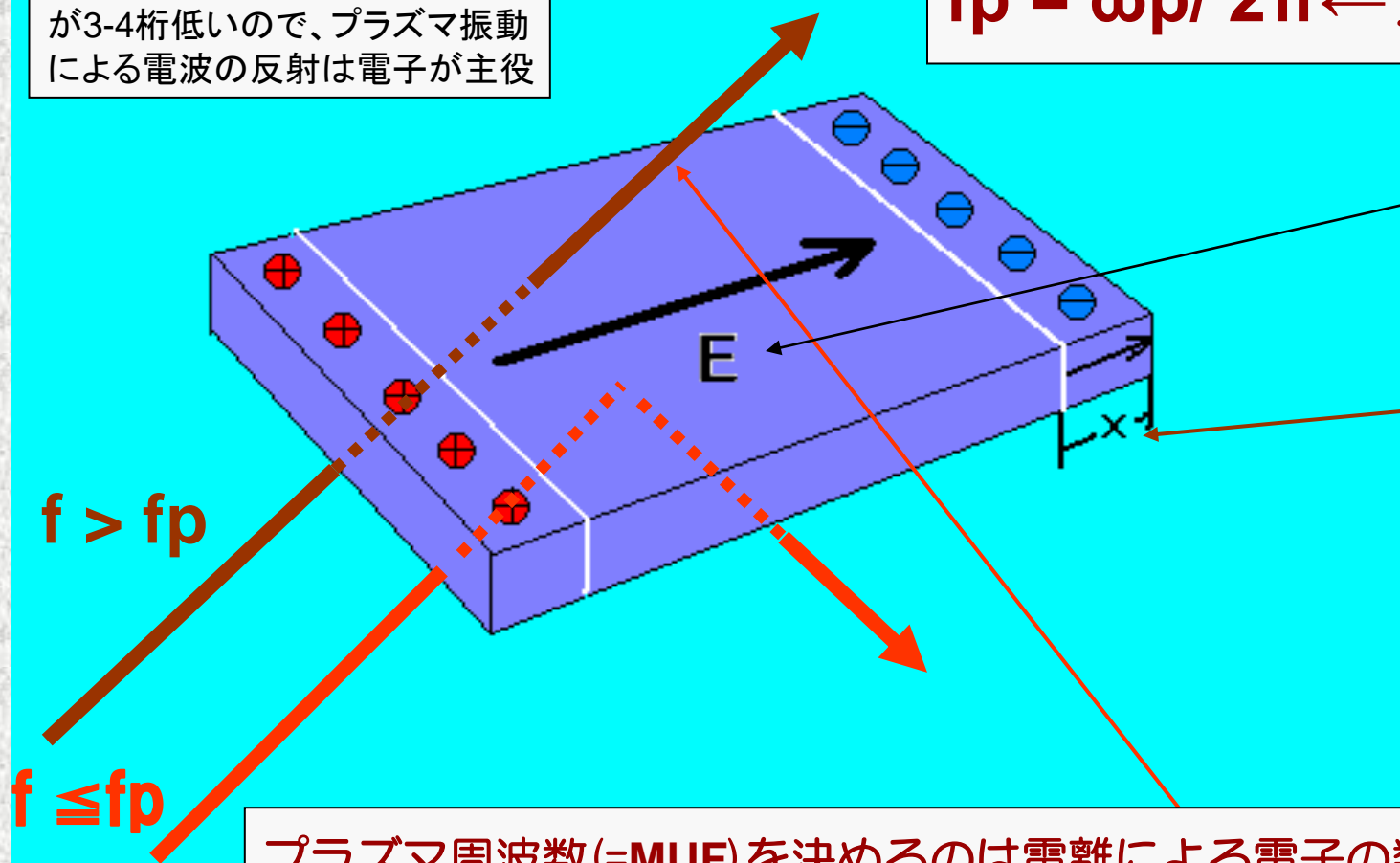
電離層は何故電波を屈折・反射するのか？

図1-8 電波の屈折と反射 プラズマ振動

+イオンは、電子と比べ動き易さが3-4桁低いので、プラズマ振動による電波の反射は電子が主役

$$\omega_p = [Ne^2 / (m \epsilon_0)]^{1/2}$$

$f_p = \omega_p / 2\pi$ ← プラズマ周波数



両端に電荷が現れたので、それに従う電界Eが発生する

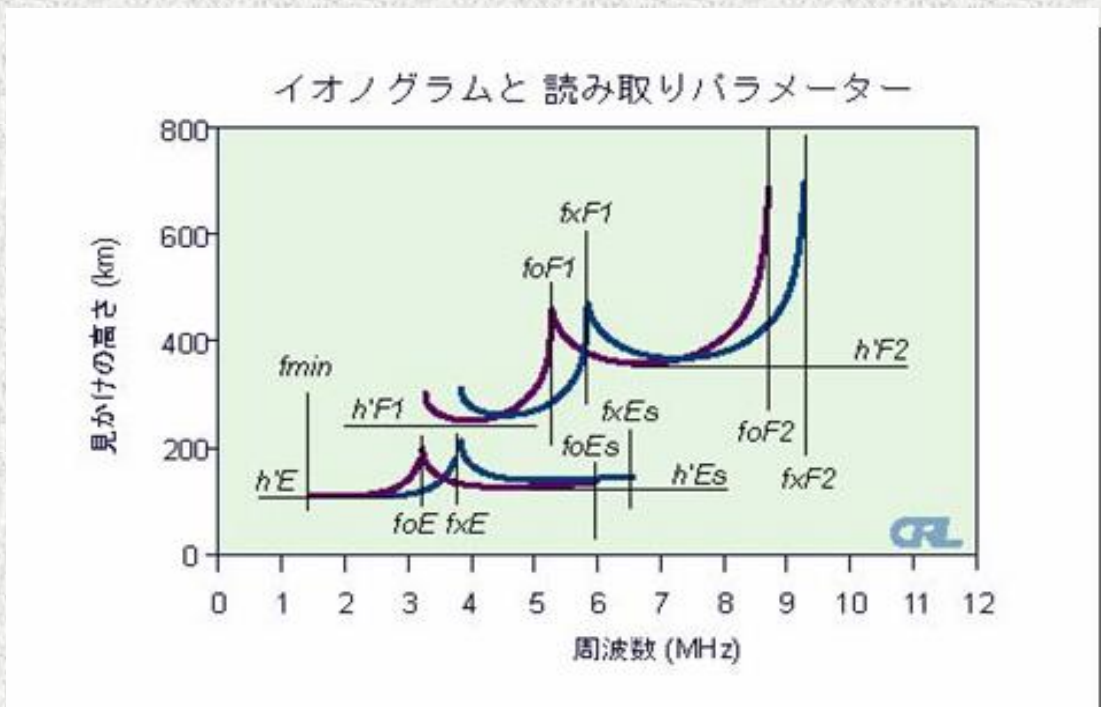
何らかの理由で電子が右方向にxだけ動いたため、両端に正負の電荷が発生する

電離層を薄いシート状のプラズマの板と考える。+イオンと電子の数Nは同じなのでマクロ的には電気的中性が保たれる

プラズマ周波数(=MUF)を決めるのは電離による電子の数N。プラズマ集合体としての電子はこの周波数以上の振動は出来ない→単に透過

電離層の高度測定

図1-9 イオノグラムとその読み取り

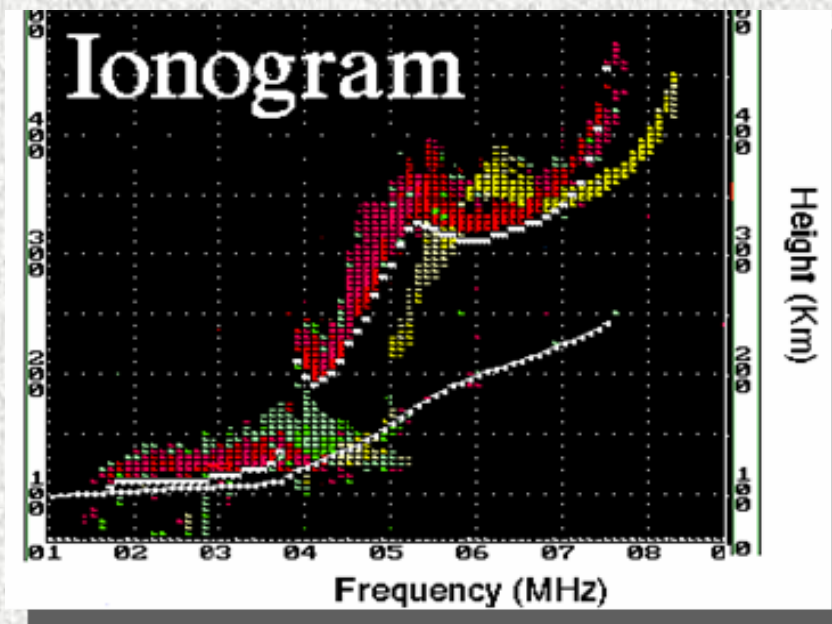


電離層の高度測定はサウンダーで計測する。
垂直方向に打ち上げた電波は、電離層で反射して地上に戻ってくる。
その時間を計測し、高度を計算する。そして反射が戻ってこない周波数を臨界周波数 f_0 という

最大電子密度(N_{max})と臨界周波数の関係は:

$$N_{max} = 1.24 \times 10^{10} (f_0)^2 \text{ m}^{-3}$$

図1-10 イオノグラムの実測データ



上は実際にサウンダーで計測した測定値のプロット
左下の赤と緑はE層からの反射
右上の中央はF1、右上はF2からの反射oとxはそれぞれ正常波と異常波成分を表し約600-700KHzの差がでる
<何故2つのプロットが生じるか？>
プラズマ内を進む電波は、元の電波の電磁界と電子が振動して起きる電磁界の合成で進むので屈折率 μ の式内に±が入る。そのためプラズマ振動周波数と一致した所での反射を正常波 f_0 、そこに達する以前に反射が起きてしまったのを異常波 f_x と呼んでいる

電離層の高度測定

図1-11 実際のサウンダー



オーストラリア製の実際のVIS (Vertical Incidence Sounder) サウンダー最近のサウンダーは FM/CW両波を使い、"Chirpers"と呼ばれる。また衛星搭載のサウンダーも飛んでいる本機は 50W機。 アンテナは地上高の低いターンスタイルのアレーの写真を見たことがある

D-Layer (Day time only)

D層

- 電離圏の最も下部（**60-90km**）の領域をD層と呼ぶ。この領域は常にHF電波の吸収層で無線家にとって通信には役立たないはた迷惑な電離層である（生物生存には必須）
- D層は、昼間太陽の上層の酸素Oとは反応せず、下層まで透過可能な波長の長い紫外線（ライマン- α 線, $\lambda=121.6\text{nm}$ ）によってNOが電離して形成される
- D層は昼間だけ出現し、短波帯から見て夜間はほぼ消滅する。但し、極薄のD層は多少高度を上げ、夜間でも**LF/VLF**の長波長域では伝搬に関与している
- 正午に電離が最大になり、D層での（E層でも）電波吸収のピークを向かえて40mバンドも減衰を受けるので『道の駅おじさん』は正午前後の飛びの悪化に気付いている。80m以下のバンドではより強く電波を吸収するため状態はさらに悪く、極近距離（500Km以下）の国内かグラウンドウエーブでしか回線が開かない
- この領域の電子密度はE層やF層と比べて低く、大量にある中性大気との電子の衝突が激しいため、常に短波帯の電波を吸収して減衰させる働きがある

D-Layer (Day time only)

D層

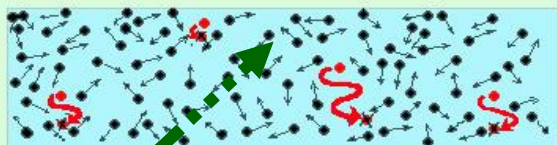
- 高度が低い層なので中性原子/分子 (NO_x) が非常に多く、**電子の平均自由行程が短いので (歌舞伎町を歩くよっぱらいのように呼び込みにすぐぶつかる) コライド (衝突) 周波数がとても高い**
- 圧倒的な量の中性大気との平均的な電子衝突から決まる振動数は、D層の電子イオン密度から想定される f_oD より遥かに高い
 $f \text{ collide} \gg f_oD \rightarrow$ 低い周波数で電子が振動しにくい
- その結果、**透過又は吸収となりD層からのサウンダーでの電波反射波が見えない**
 \Rightarrow イオノグラム・データ参照
- 周波数が上がると、波長が短くなり、電子と中性大気との衝突が減る。
従って電波の**吸収量はLow Bandほど大きく、周波数の二乗に反比例する**
 \Rightarrow 吸収量 = $1/f^2$
- さらに巨大フレアの強力なX線の影響で電離度が上がれば、プラズマ周波数つまり振動可能な周波数も上がり、HF全域の電波のエネルギーを受け取れるだけ受け取り、全部衝突に費やし**HF全電波を完全に吸収する『やらずぼったくり状態』**
 \Rightarrow これがSID or デリンジャー現象

D-Layer HF吸収の図による直感的理解

- 1) 80m以下のバンド
これらのバンドは、昼のD層のプラズマ周波数以下なので、中の電子は振動を開始する（図の赤矢印） しかし黒い点で表される電離していない大気が低高度の領域では大量に存在するので、すぐぶつかり電波のエネルギーを消費吸収されてしまう
- 2) 40mバンド
40mはプラズマ周波数に近いので少しだけ電子を揺り動かす。その分電波が弱まるが突き抜けてFまで行って反射する
- 3) 20m以上のバンド
D層のプラズマ周波数よりはるかに高いので電子の振動は起こらずそのままFへ

どの場合でもD層の赤い点、電子は元々少なく、振動して地上に再輻射しようにも黒い点の中性大気に衝突してつぶされる（+イオンは大きすぎて関与しないので図では省略）

1)80m / 160m D-Layer Day



盛大に振動、でも、、、、消失

2)40m D-Layer Day



一部のエネルギーを消費する

3) 20m D-Layer Day



電子は動けないので、伝搬に関わらない

図1-12 D層のHF電波吸収

D-Layer (Day time only)

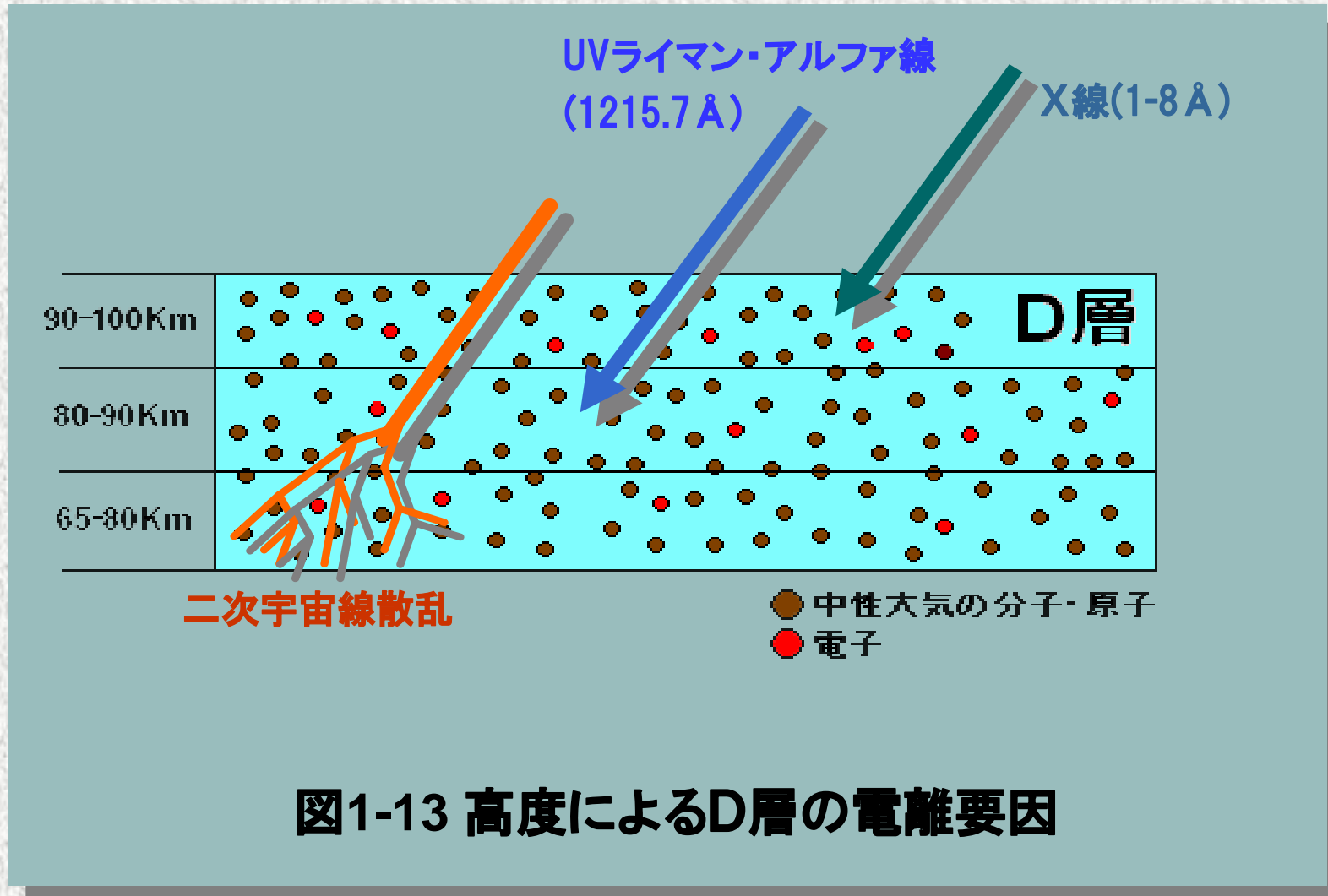


図1-13 高度によるD層の電離要因

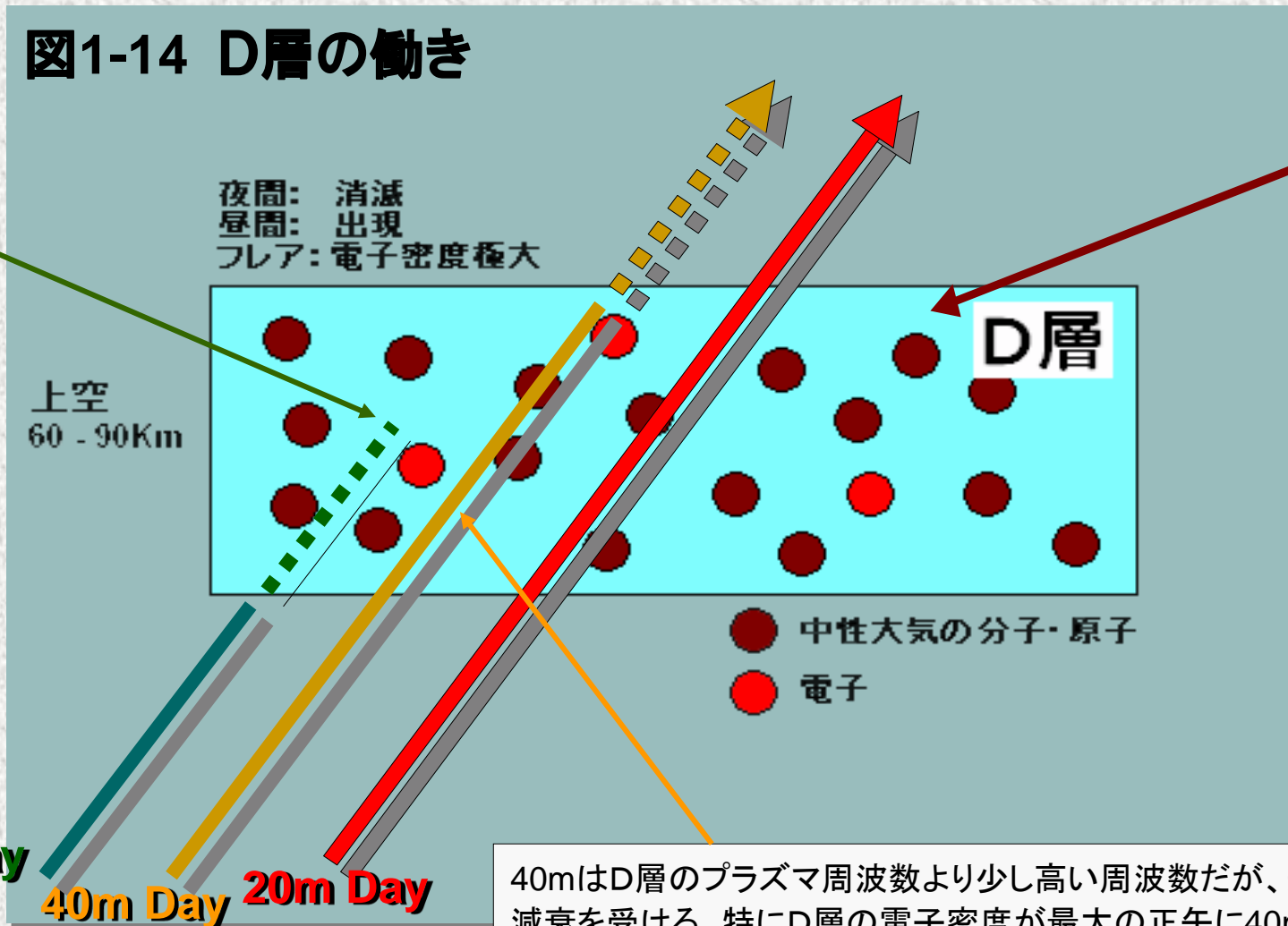
D-Layer (Day time only)

20mはD層のプラズマ周波数より遙かに高い周波数なので電子が振動不能。減衰を受けずそのまま通過

80mはD層のプラズマ周波数に近い周波数なのでプラズマ振動を起こすしかし、電子は莫大な量の中性大気とすぐ衝突を起こし電波は全て吸収されるのでノイズだらけ

80mバンドは昼間は地上波のみで夜間はF層の反射

図1-14 D層の働き



巨大太陽フレアが起きるとX線放射が増大し、D層の電子密度を極端に上げ、D層のプラズマ周波数が上がり、HFの周波数を上回る。すると、短波の全周波数でプラズマ振動がおきるところが中性大気の数が電子より遙かに多いので、すぐ衝突を起こしエネルギーを失い電波消失 → デリンジャー現象

40mはD層のプラズマ周波数より少し高い周波数だが、近い周波数なので若干減衰を受ける。特にD層の電子密度が最大の正午に40m国内DXが弱まるのはこの影響。F2で反射後、再度D層通過で再度減衰を受ける

E-Layer (Day time only) --- (1)

E層

- EUVの波長選択性により電離圏の**90-150kmの領域**にある電離ピークをE層と呼ぶ
- 波長が**90nmより長い極端紫外線(EUV)**は、上層で酸素Oを電離したり、酸素Oに吸収を受けずに90-150Kmまで直接到達し、分子密度の高い低高度まで達する
⇒**5MHz以下の反射**
- E層は、比較的薄い層で、**5-10Km**の厚みを持ち**昼間出現し、夜間も完全には消滅しない**が**1/10**程度になり短波帯通信には効果がなくなる。
- D層のような吸収帯的性格も持つが、夏の（太陽の天頂角が最大となる）正午やSSNが最大の時期には電離度が上がり、**40m以下で低打ち上げ角の電波をたまに反射する**（ブランケット効果）ことがある ⇒**1ホップ2000Km以下**
- 電離する分子は**N₂⁺**や**O₂⁺**および**O⁺**が主な一次イオンだが、生成と消滅の光化学平衡によって、**NO⁺**、**O₂⁺**が主に存在する正イオンになる。負はもちろん電子

E-Layer (Day time only) --- (2)

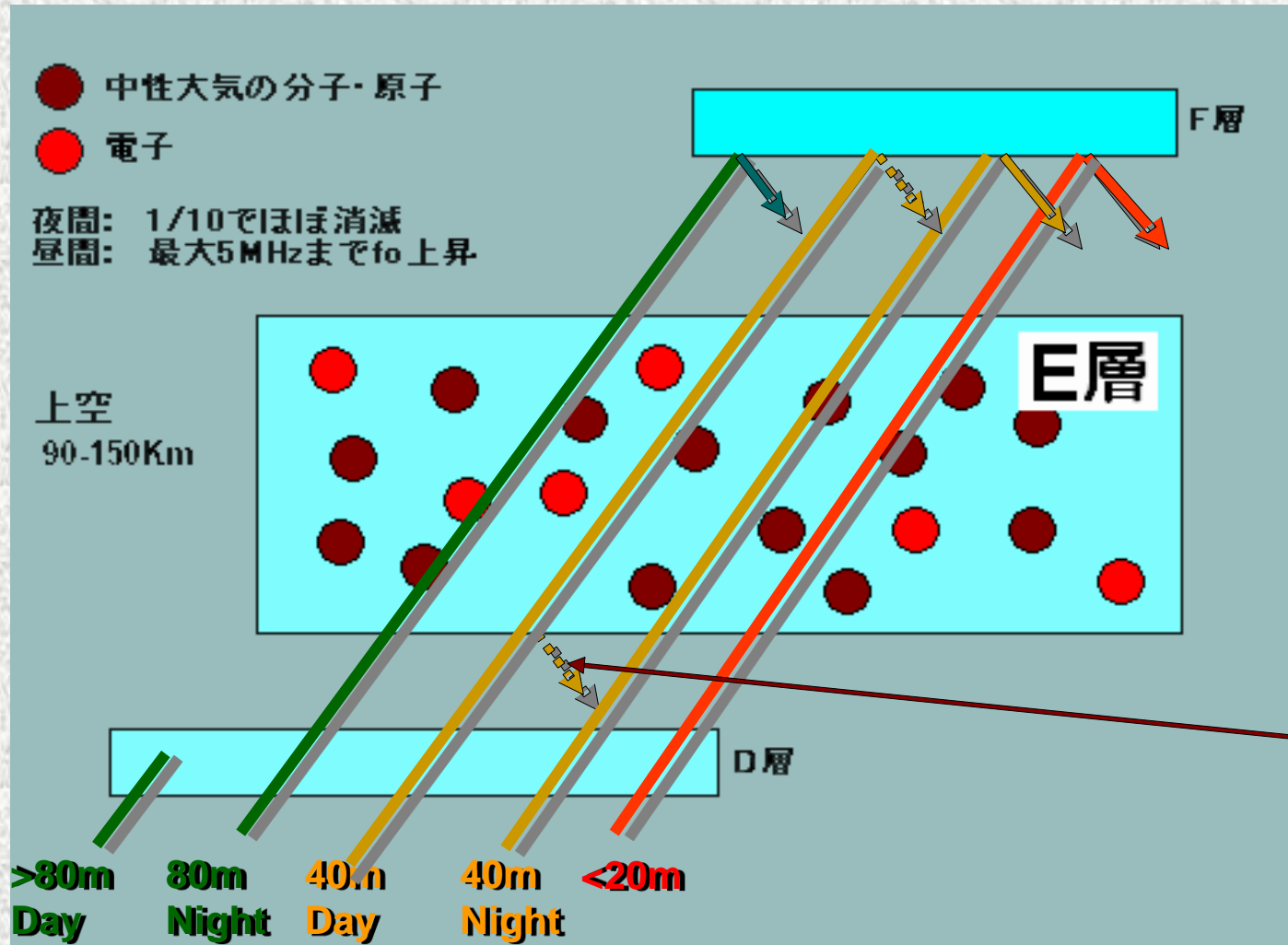
E層

- (オーロラ) サブストーム時に、磁気圏外殻部の還流による電場が電離層に押し付けられる、その時F層では正負のイオンが同方向に動くので (Appendix 1 参照) 電流は流れない。E層でも正負のイオンが同方向に動くが、中性大気密度が高いので、大きな+イオンは中性大気との衝突で動きにくく、小さな電子の方が早く動きその電荷量の差分の電流を生じる
- 以上の理由で、**E層は電離層の中で一番電流を通しやすい層**なので、上空の電離圏を流れる電流の主な通路、即ち地球磁気圏の回路的な負荷となる
→ (数十Kmの厚みと数百Kmの幅、30万~数百万アンペア) は極域磁場を変動させるに足りる電流となる。送電網などの社会インフラに与える影響が大きい
- 伝搬的にはオーロラジェットの**Es**伝搬がある。臨界周波数が**50MHz**を越える強い**Es**で、北欧で通信がさかんのようです
- **NHK**が好きな上空**100Km**『宇宙の渚』の領域です。『**SPRITE**現象』の放電を受け止める層になります

E-Layer (Day time only) --- (3)

どの電離層でも
+イオンは電子と
比べ動きが3-4
桁低いので電波
の反射には直接
には影響しない

E層はF₁層と同じ
Chapman型の
電離層であり、太
陽からの紫外線
UVの有無で生成、
消滅がきまる単
純な層 正午に電
離のピークを迎え
る



E層で大事なものは、
1) Es層の発生と
2) オーロラジェット
電流などの担い
手で電流を通し易
い性質があること
の2点になる

E層は、太陽活動
が活発なときの
正午あたりで
40mを反射する
ことがある。
それ以外は電波
の吸収層で、伝
播にはEs以外あ
まり影響しない電
離層である

図1-15 E層の電離

Sporadic-E --- (1)

- 無線家にとって**Low Band**でマルチホップの元凶（**F**で反射の方が反射回数による損失が少ない）となるE層も、ひとたび**Sporadic-E**（通称Eスポ）ともなれば臨界周波数も高く、近距離から中距離通信の品質の良い通信に大変役立つ
- **TEP**伝搬に有効な**赤道型**、我々になじみ深い**中緯度型**、極圏での**オーロラ型**に分類され、**臨界周波数 $f_oE_s > 20\text{MHz}$** を楽に越えることがある
- 比較的薄い層で、通常**5-10Km**の厚みを持ち**100Km**前後のクラウドであり、**200-400Km / hr**の速度で西から北西方向にドリフトしていく。無線家は急速な交信相手の変化、**Fade-in /out**の仕方で実感している

Sporadic-E --- (2)

スプラディックE

- E領域の主イオンは**NO+**、**O2+**である。この領域では濃い中性大気の下側で東風、上側で西風があるとき、中性大気との衝突で押されたイオンは風の境界面の狭い範囲にドリフトして集まってくるこれを**ウインドシア**という →複雑な川の水流に落ち葉やゴミが集まる
- **NO+**、**O2+**は密度が上がると、再結合も活発になり電子密度はあがらない。しかし、その時一緒に集まった**E層に僅か存在する金属イオン**（おそらくメテオ起源?）は、イオンとしての寿命が長いので高い電離密度を保つ
- サイクル**23**で見られた**50MHz**の驚異的な世界的オープンは**SSN max**としし座流星群の当たり年で、ばら撒かれた金属イオン起源の**Es**がマルチホップに関与したと見る人が多い。こうした微粒子は月等と違い、地球には大気があるので年単位で漂うことが知られている

Sporadic-E --- (3)

スプラディック-E

- **Short Skip**が基本の**Es**だが、**10m/15m**では少なくとも3回以上**6m**では2回以上のホップで大陸間の通信が可能になる場合がある
F2が使えない場合にも**Es**のマルチホップで**DX**に貢献する
- また、**Back Scatter, Side Scatter**通信が可能になり、その時は両局のビームを**Es**層に向けることになる
- 夏場の中緯度地方に置いては、午前**10**時頃と夕方**18-20**時頃にピークがあり、冬でも同じ発生の傾向が認められるが、真夜中に掛けて発生時間が広がる
- 電離度が極めて高いので、反射そのものの損失も少ない

Sporadic-E --- (4)

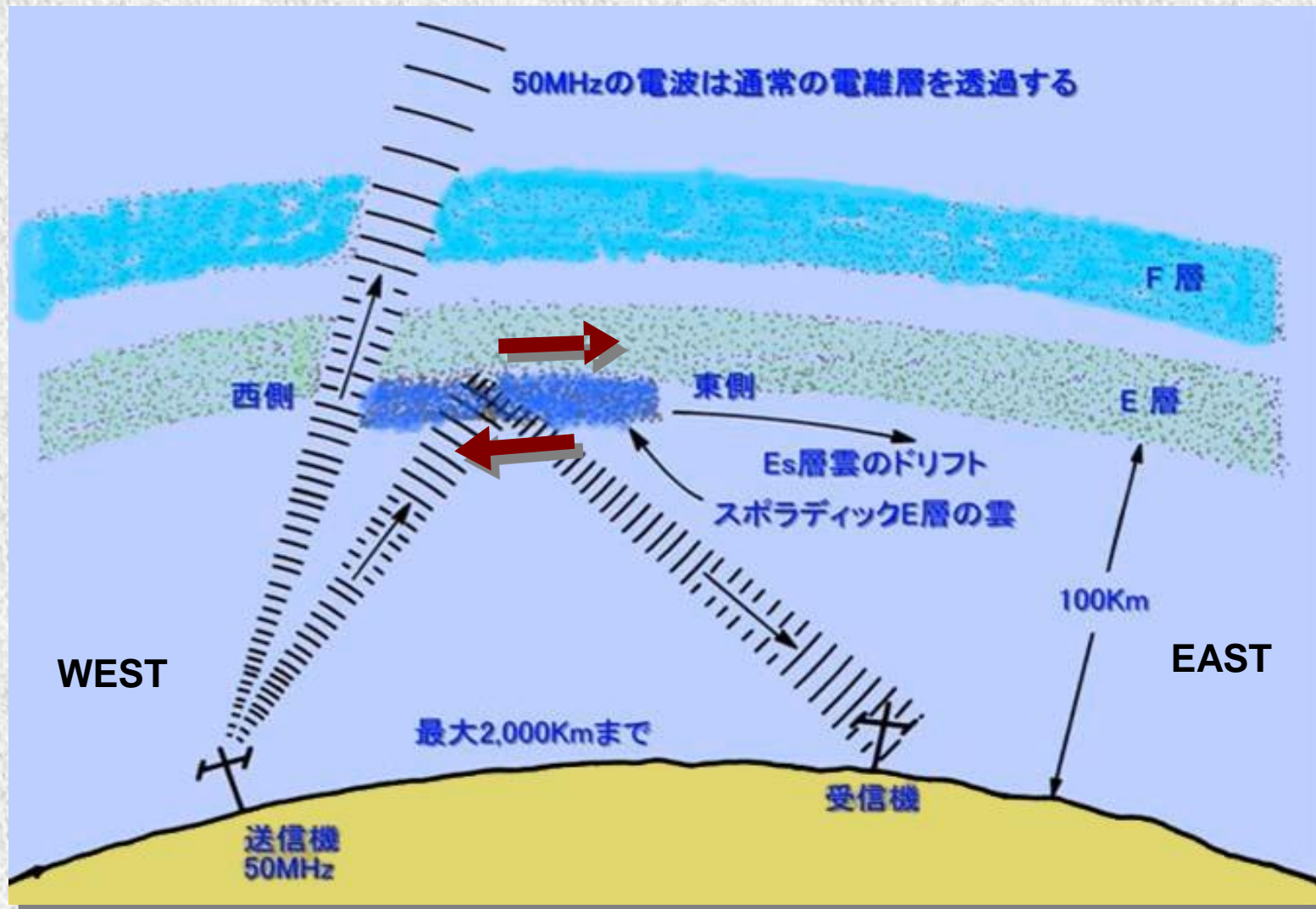
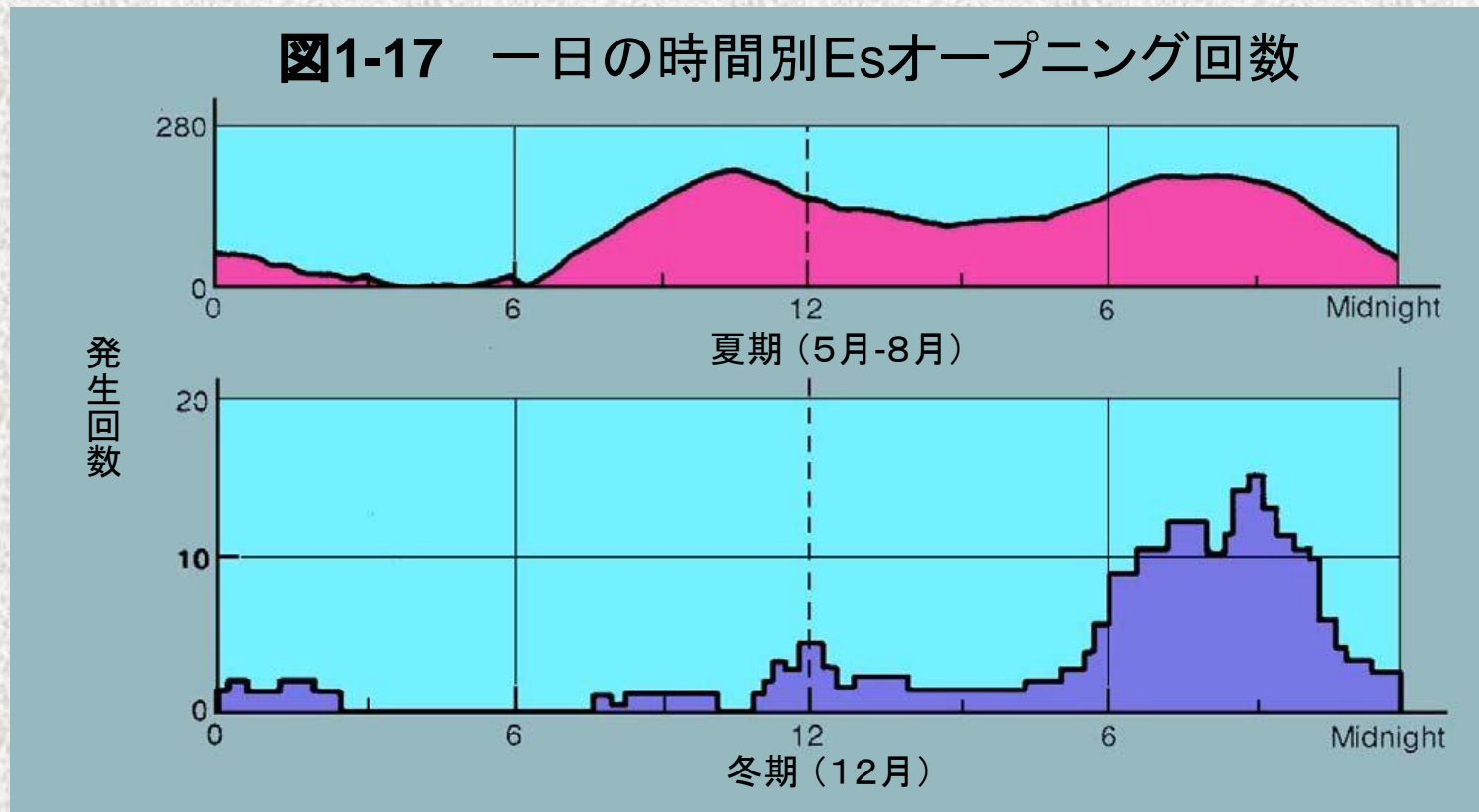


図1-16 Es層

Sporadic-E --- (5)

図1-17 一日の時間別Esオープニング回数

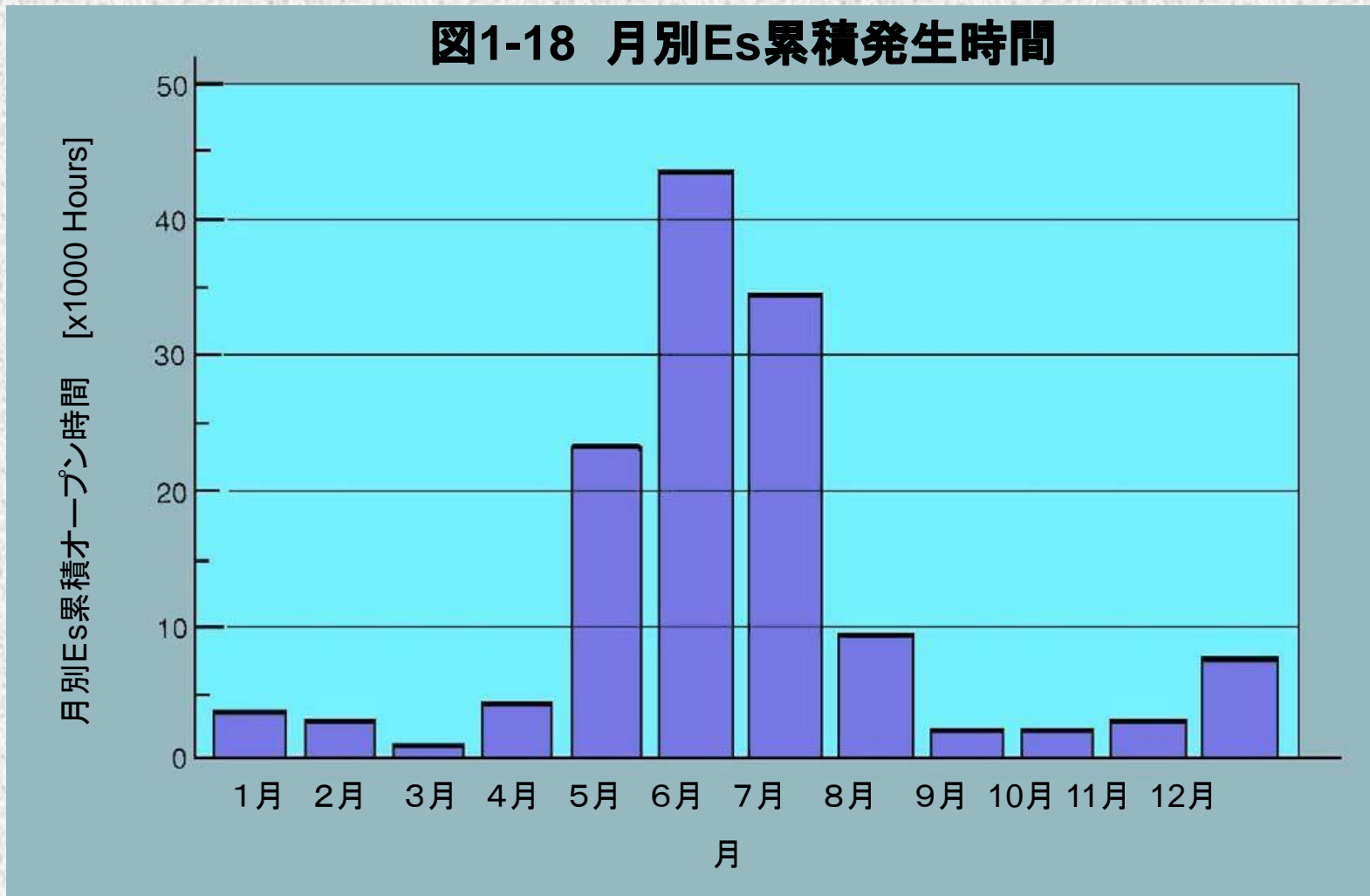


夏期には正午前と夕方にピークがある

冬期には夕方から夜にかけてピークがある

一日の時間別Esオープニング回数
1964-1970年の7年間

Sporadic-E --- (6)



この例は、中緯度地方の月別Esの発生累積時間を示す
6月を中心としたピークと、冬季に小さなピークがあることがわかる

Coffee Break - Sprite妖精



90年代に入ってから『サイエンス』などの外国の科学雑誌に『スプライト』という奇妙な光が観測されたという報告が掲載されるようになった。普通カミナリは雷雲から地上に向けて落ちるけど、『スプライト』は雷雲から宇宙に向けて発光する逆さカミナリ。その形状は様々で『ニンジン型』とか『くらげ型』など様々な名前が付けられている。

つい最近になって決定的なレポートがメディアに流れた。2012/2/28にNHKのBS3チャンネルで放映された『コスミックフロント』に最新の『スプライト』に関する情報です。それによれば：

- 今回はISS衛星から古川飛行士が、北米ではNHKのスタッフが高感度HVTVカメラと高速高感度HVTVカメラを2組用意し、2機のJET機で科学者と共に雷雲を追った
- 特に大きな積乱雲に溜まった電荷の放電現象だった。積乱雲は対流圏10Kmが上限で発達しても空気が無いので上昇できず横に伸びて『かなとこ雲』になる。その上の極めて空気の薄い『熱圏』というE電離層(100Km)のある領域に向けての放電
- 電荷の行き先は『宇宙のなぎさ』の領域（注---NHKはなんて文学的な表現するんだ!）
- 数十Km単位の非常に大規模な領域が光る。山手線のループより大きく、中に見える小さな光点でさえ直径1kmはある
- 発光時間はとても短いけど、電流の経路はもう少し長く継続
- ジェット機とか衛星からの観測が理想だが、地上定点観測も可能で日本の高校の地学部のネットワークがあり、2点観測で若狭湾上空の『スプライト』を捕らえている
- 上空に溜まった電荷は最終的に地上に降り注ぎ、その過程で世界的な気象に影響する。微小水滴に電荷が溜まり、極性が同じなので互いに反発して大きな雨粒にならず、雲だけが日照を妨げ寒冷化する
- 古来、山の端が光る『狐火伝説』は上空から還流された電流による放電現象の可能性が大。人工光のほとんど無い昔は、山奥で尖った山頂・尾根で良く見えたときと古老が昔の恐怖体験を語った。（注---セントヘレナの火もそうではないか？）



図1-19 スプライト

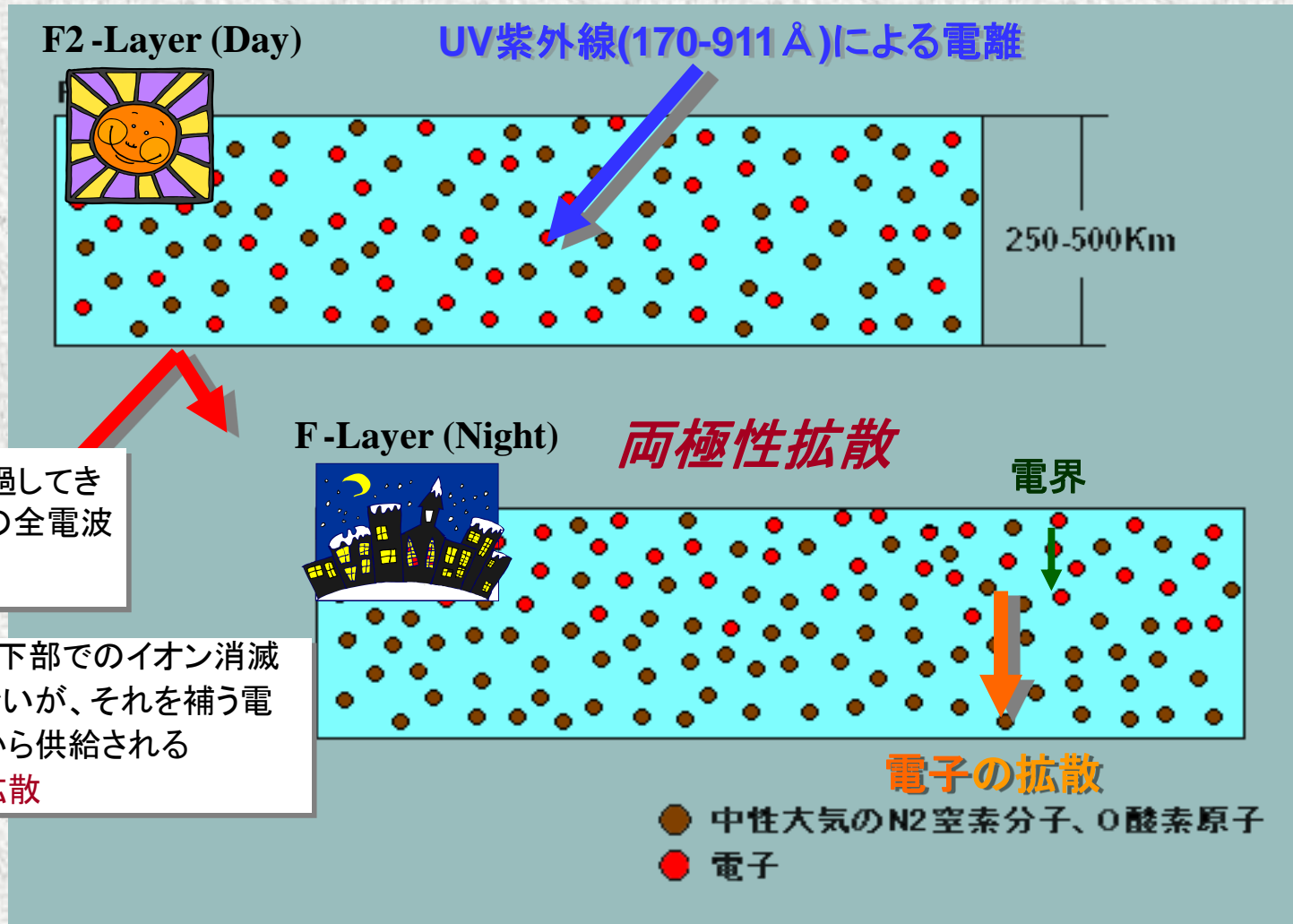
不思議なのは 地球周回軌道に乗った宇宙飛行士は相当居るのに何故か報告が無い。メインのミッションの遂行でそんな余裕はなかったか？ 雷が多発しているとき80mの電波がやけに強くなることもある

F2-Layer (Night & Day) you are the one.....

F2層

- 電離圏の**250-300km**の領域にできる電離圏の中でも**最も高い電離密度をもつ**ピークを**F2層**と呼ぶ。酸素イオンO⁺が中心
- **UV** 波長**170-911 Å**が**酸素原子O**, **窒素分子N₂**を電離。夜間は下部での電離密度の低下が激しいが、その為生じる電界により、上部からのイオンの**両極性拡散**による補給が起き、**24時間存在**する
- 昼間の**F層**のイオン化は**E層**の**10倍**にも達するが、夜の密度低下は**1/5程度**に低下、しかし、**24時間**を通じてどこかの周波数で**1ホップ最大4000Km**の空間波（電離層反射波のこと）をサポートする安定した電離層である
- 我々アマチュア無線家にとって、**短波通信を行う上でDXに最も大切な電離層**で、ほとんどの短波通信はこの層を介す
- **F2層**の高さは季節で変わり、冬では**350Km**夏では**500Km**

F/F2-Layer (Night & Day)



D, E層を通過してきた f_0F_2 以下の全電波を反射する

夜間はF層下部でのイオン消滅過程が大きい、それを補う電子が上部から供給される
→両極性拡散

<両極性拡散>
プラズマは、常に+イオンと電子が対になった数量で存在し、常にそのバランスを取ろうという性質を持つ
その結果、電離層下部の電子の消滅などでF層内のプラズマ分布のバランスが崩れると、それを補間するように電子と+イオンが上部から拡散してくる
図には書いていない+イオンはプラズマ状態では電気的中性を保つため一緒に動かなくては(両極性)ならないので電界が生じ、通常より自由空間より電子の拡散係数が小さくなって、ゆっくりとした下部への電子の供給になる。
この供給が一晩中保たれるので夜間もF層が消えない理由

図1-20 両極性拡散

F1 - Layer (Day time only) --- (1)

- **Chapman Type**の電離層なので、E層と似ている。**150-250Km**に現れ昼間正午に電離のピークを迎え、夜間に消滅する
- **高度、約180Kmの遷移高度を境にして**、イオンの消滅の機構が異なってくる。それより高い高度では O^+ イオンが主になり**付着型**（電子密度に比例して消滅-- 遅い）低い高度では NO^+ O_2^+ の**再結合型**（電子密度の二乗に比例して消滅-- 早い）そのため上部では電離度が高く、下部では低い
- ところが夏の正午など強い**UV**で透過率が高く、電離生成率（酸素 O ）のピーク高度が遷移高度以下に下がるので、**F1**が出現する。つまり遷移高度を境にして上層の方がイオン消滅速度が遅いので電離度が高い傾向があるが、**UV**が強くなる夏には、酸素 O を主体にした通常の**F**層を構成する電離のピーク自体が下がってしまうので**F**層に2つピークが出来る

⇒F1層の生成理由

- **Solar Minimum**では、遷移高度自体が上昇するので**F1**が出現しやすい
- 冬の日中には、**F1**層はE層の僅か上**150-250Km**に出来る。夏の日中ではそれより少し上に**F1**層は出来る。**E層を突き抜ける電波は、通常F1も突きぬける**ので**F1**層は、短波を日中に偶発的に反射するにすぎない

F1 - Layer (Day time only) --- (2)

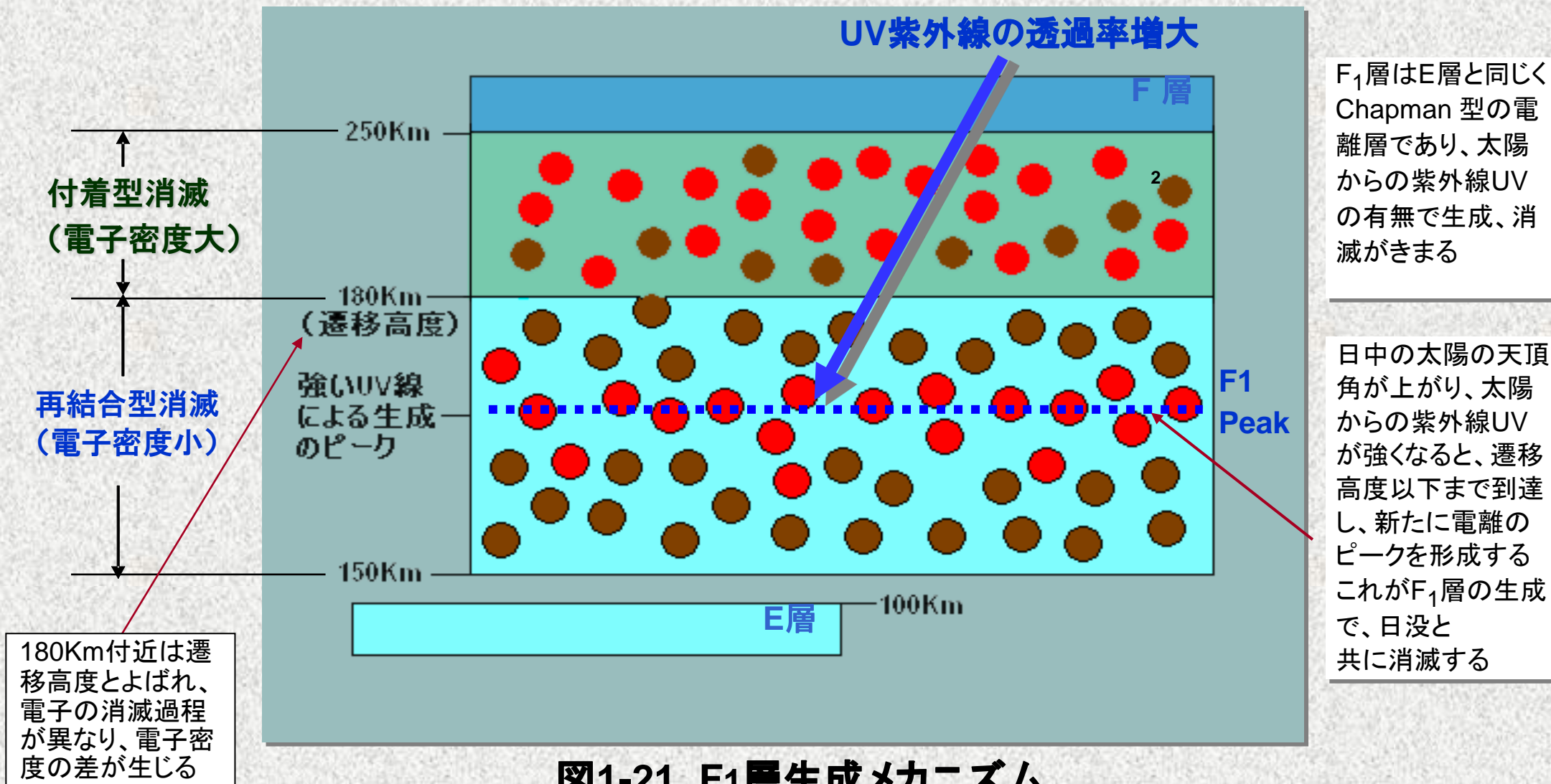
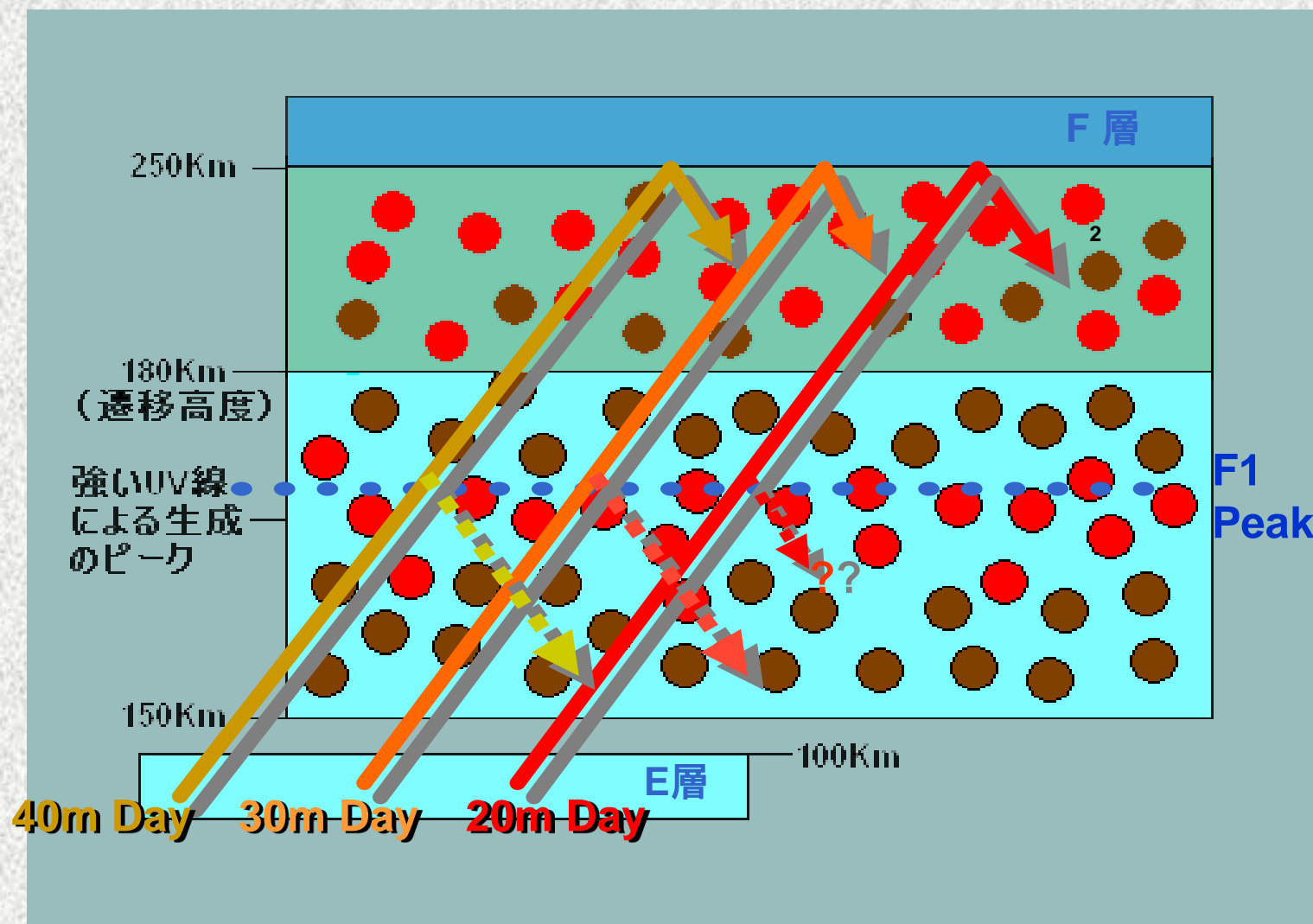


図1-21 F1層生成メカニズム

F1 - Layer (Day time only) --- (3)



F₁層の臨界周波foは最大でも4~5MHzなので、赤道方面とか太陽活動が高いときを除いて、通常は40mと30mバンドの電波を時々反射する程度と思われる

F₁層は日中だけの電離層なので80m以下の電波は、D層で吸収されF₁層に到達することはない

20mバンド以上はF₁層を通過しF₂層での反射となる

図1-22 F1層での反射・透過

Beyond F-Layer

F Layerのさらに上空

- 電離圏のはるか上空は、プラズマ圏又はプロトン圏と呼ばれ、通常は電波の反射には関与しない
- しかし、昼間電離圏で起きる電離生成が上部にプラズマを供給し、夜間のFでの電離生成がなくなるとH⁺が磁力線に沿って下降し、F層の夜間持続に貢献する



- 赤道スプレッドFは、磁気赤道から南北10-15°に夜間発生するFAI構造(赤道異常)だが、そのときのプラズマバブルは1000Km 上空まで達し、電波伝搬に関与する
⇒TEP, 磁気赤道Scatter, もしかしたらSkewed Pathも?

電波の吸収 (Absorption of Radio Wave)

- 電波の減衰・吸収は、主にD層とE層を通過と大地反射時に生じる
- **DE電離層の減衰量は周波数の二乗に逆比例する→ $1 / f^2$**
- これは、**20m**と**10m**の二つのバンドが同時に**Open**していた場合、同じ電界強度を得るのに、**20m**バンドでは、**10m**バンドの4倍の電力を必要とすることを意味する。
- 逆の見方をすれば、オープンさえすれば**10m**が比較的小電力で世界中に飛んでいく理由であり、昔、大学クラブの**JH1CKE**がさかんに**TX88D(A3 10W)**でアフリカが取れたと自慢してたなあ
- 勘違いしやすいが、**10mの電波がよく飛ぶのは電離層での反射効率が良いわけではなく、ひとえにD層とE層を通過時の損失が少ないからである**
(遠距離通信で**HOP**するたびに**D,E**の出と入りを何回も繰り返すから)
- 他の例は、**80m**ではD層が消失する夜中に**F**反射で国内**DX**が開け、オールナイトで国内ラウンド**QSO** (絶滅危惧種) が楽しめる。しかし、昼間は日射によって活性化したD層の吸収で**80m**はノイズだけになる

電離層の変化

電離層を変化させる主な要因は以下のとおり:

- 日周変化 (Day and Night)
- 季節変化 (Seasonal)
- 地理的変化 (Geographical)
- 太陽活動周期 (Cyclical)



電離層の日周変化(1)

日周変化 (Day and Night)

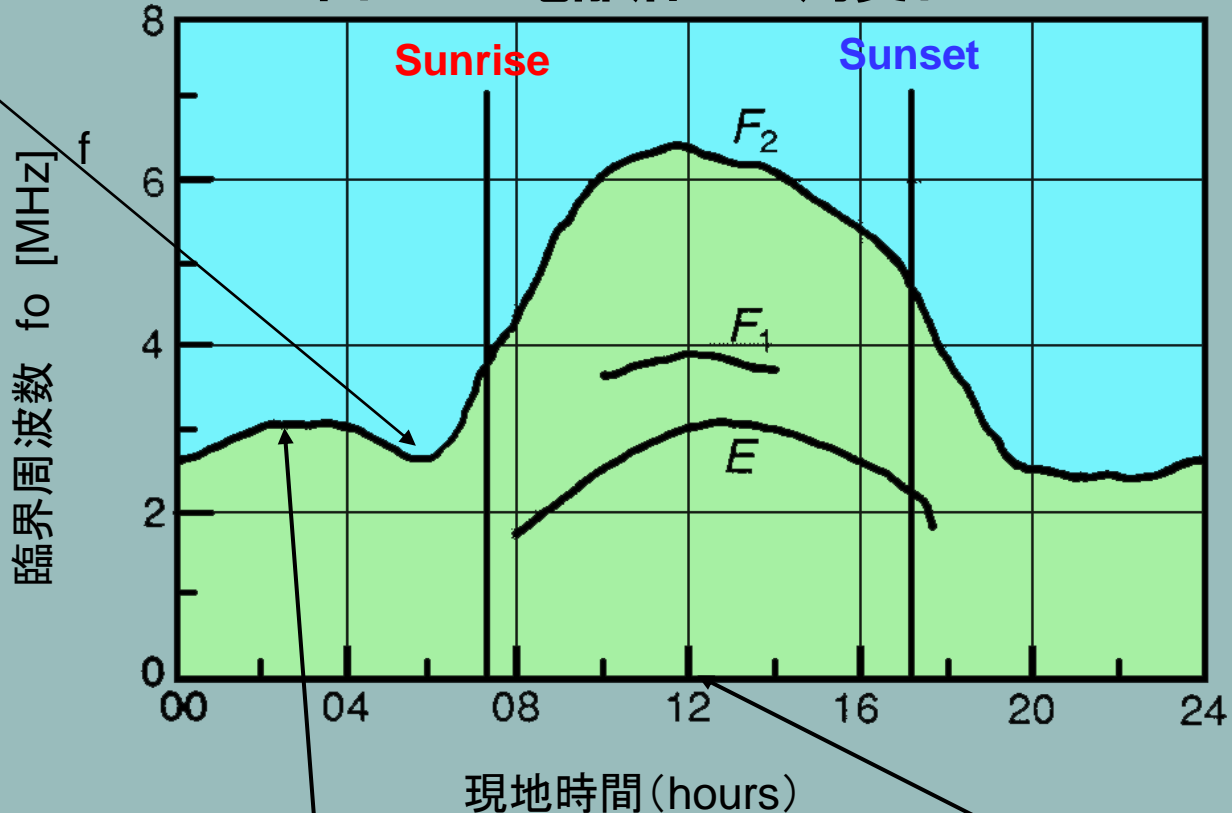
- 地球の自転と共にUV紫外線の強さが変化する
- D, E, F1層では、既に述べたように太陽の高度(天頂角Zenith Angle)に従う日周変化の定型がある
- 即ち、D, E, F1層の電離は日の出から増加し始め、正午に最大、日の入りに向けて減少し、夜間にはほぼ消滅する。短波通信の有効性からの見地では夜間消滅だが、物理的には**どの層も100%完全消滅はしない**
- 24時間の電離度(=臨界周波数)の変化は、次ページのような変化を示す

電離層の日周変化(2)

朝方に向けてFの電離はさがり夜明け前に一番下がる

冬場の明け方には電子が枯渇しMUFが下がりすぎて80m国内近距離でさえSKIPLして聞こえなくなることがある

図1-23 電離層の日周変化



- MUFは日照の為昼間に高く夜に下がる
- 各層は太陽の南中で電離=MUFのピークを迎え、夕暮れ以降はFを除きほぼ消滅
- 夜はF層だけの反射による通信になるがDEの吸収層がないのでMUF以下なら効率のよい通信が可能

F2層だけは両極性拡散により、F2層上部からの電子の拡散がじわじわ起こるので、夜間も存在する

現地時間の正午に太陽の高度が最大になり電離層の受けるエネルギーが最大で各電離層も電離のピークを迎え、臨界周波数も最大になる

電離層の日周変化(3)

日周変化 (Day and Night)

- F層だけが太陽の位置・天頂角に依存しない日周変化をする
- F層では、夜明けと共に電離が急激に増大し、その地方時の正午に最大になり、夕方までに減少し続けた後、夜間低い一定値を保つ
- F層の電離度は高いためHF High Bandまで利用でき両極性拡散によりイオン消失の再結合レートは低いので、**夜間にも存在する**
- 日中F1,F2に分かれていた場合でも、夜間にはF層は一つになる

電離層の短時間変化 (TID)

TID (Traveling Ionospheric Disturbances)

- 大きな電離層の日周変化の中に、およそ2時間程度の細かい変動がある
- これは熱圏中性大気中の波動に起因するもので、それによって引き起こされる細かい変動を、**伝搬性電離圏擾乱(TID)**と呼び、日周変化に明瞭に現れる場合がある（次ページ参照）
- 電離層反射を使う**HF Band**の運用においては、およそ2時間単位で刻々とコンディションが変化して行くことを念頭において道の駅オジサンも**Dxer**も運用するべき

電離層の短時間変化 (TID)

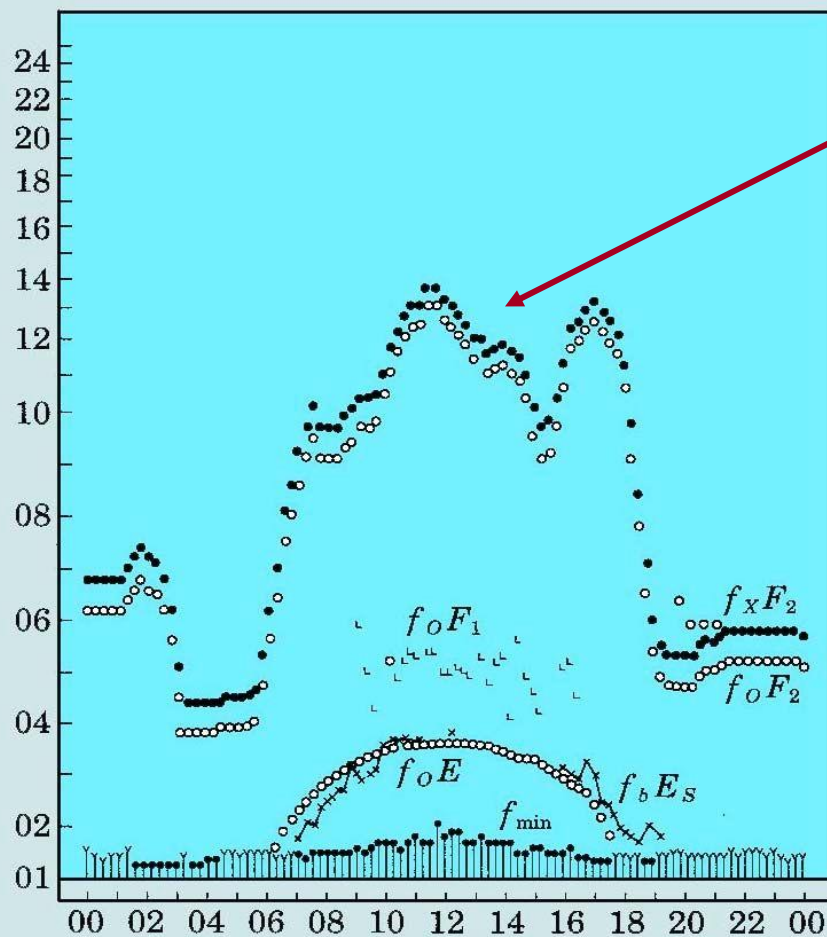


図1-24 TID

熱圏中性大気内の周期的な風(TID)の波動により、電離層が磁力線に沿って押し上げられたり、下げられたりする

磁力線に沿って押し上げられると、体積が増して電子と中性大気との衝突が減り、衝突周波数が下がるので、プラズマは磁力線の沿って拡散しやすくなる。すると電子密度が下がり、臨界周波数 f_o も下がる

図に見られる約2時間周期の山谷はTIDの影響である

つまり短波のコンディションは2時間ごとに変るといふこと

電離層の季節変化(1)

季節変化 (Seasonal)

- E層に関しては太陽の高度で電離度が決まり、夏場は太陽の高度が上がるので電離が高い
- F1層の電離度、臨界周波数 f_oF1 はE層と同じ推移を辿るが、赤道地帯を除き冬期は太陽高度が低いので F2層に取り込まれ、識別ができない
- 北半球のF2層は、冬期熱圏大気が冷え込んで収縮して密度が上がり、物理的に太陽と近くなるので、昼間は電離が極めて強く、臨界周波数上がる。その反面、冬の夜長から電子の消滅時間が長く、結果的に臨界周波数が非常に低いレベルまで落ち込む
- 冬の40mの国内がスキップするのは良く認知されているが、冬の朝方F層の自由電子が枯渇して、80mバンドさえ反射できなくなり国内（特に近距離）が完全にスキップしてしまうことがある。日の出で即解消だが

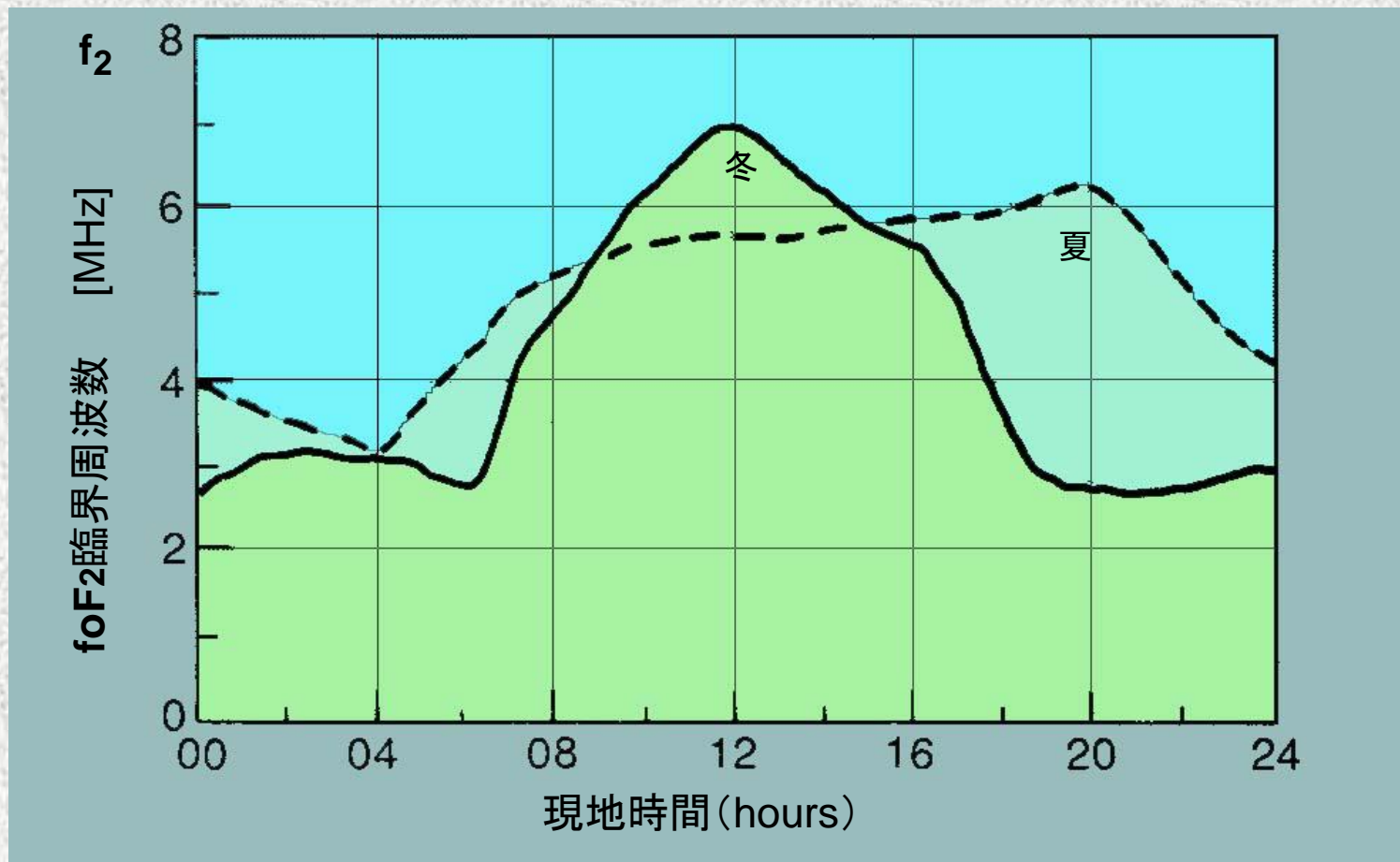
電離層の季節変化(2)

季節変化 (Seasonal)

- 夏場のF2層は、日中に上層大気の加熱膨張が進み広がるため、冬場に見られる電離度までは上がらず結果的にF2層の臨界周波数は冬場より低い
- その一方で、夏場は昼間が長いので、冬場のようなレベルの夜間の再結合は起こらず、夜間のF2層の臨界周波数は、冬場に比べてかなり高いレベルを維持する
- F2層の季節変化を次ページに示す



電離層の季節変化(3)



冬季には日中の電離が高く臨界周波数も上昇するが、夜間は夜長のため落ち込みが激しい夏場は中性大気の膨張により密度が上がらないが、昼が長いので減少が緩やかになる

図1-25 F(2)電離層の季節変化

電離層の地理的变化 (1)

地理的变化 (Geographical)

- 太陽が頭上にくることの多い赤道・低緯度地方では、電離度がかなり上がる
- 電離が太陽の高さに (天頂角Zenith Angle) に直接比例するF1層E層では赤道地方で電離が最大になり、南北に向けて対称的に減少する
- 全緯度によるF2の変化は事情が複雑になり、地磁気がF2の電離に大きな影響を与えている証拠がある。FAIのプラズマバブル、同じ電離圏嵐でも正相/負相の緯度による変化など
- 次ページの図のように、原則として低緯度では電離が高く高緯度では低くなる
- F2の電離度は経度方向でも若干の差があり、これは地磁気の差と考えられている。アジア・オーストラリアでは高く、欧州、アフリカの西半球では低い傾向がある

電離層の地理的変化 (2)

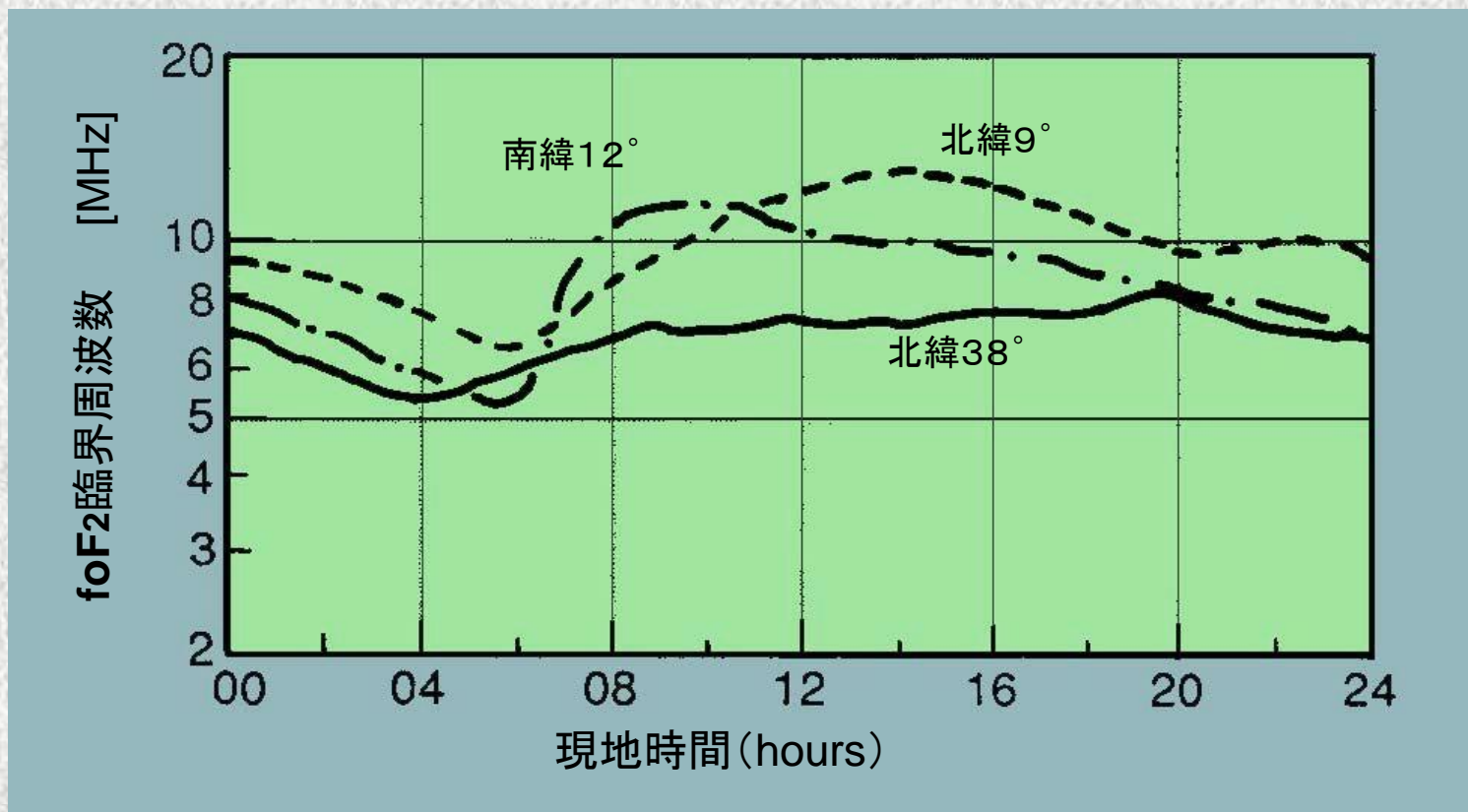
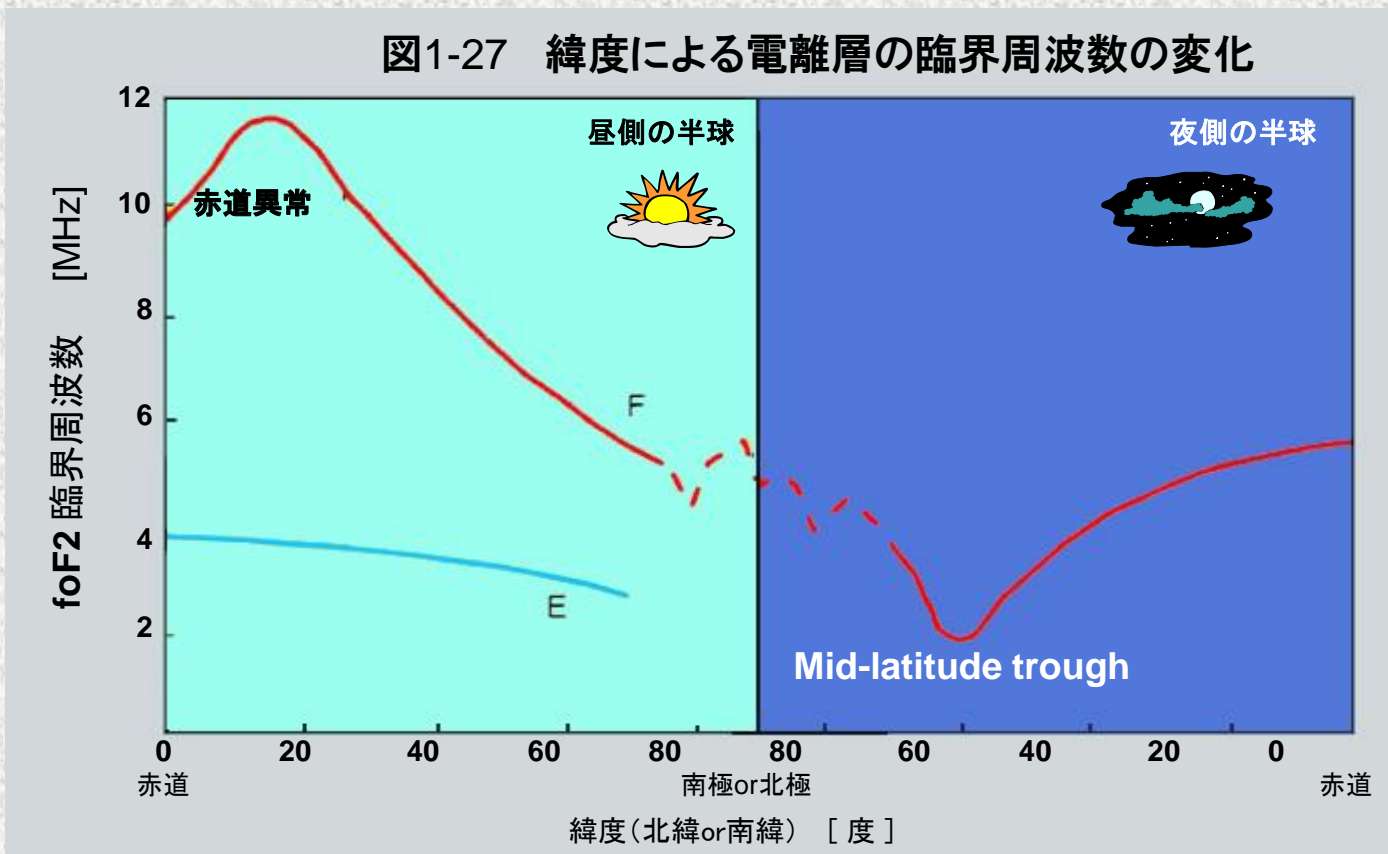


図1-26 F(2)電離層の地理的変化

赤道近傍の低緯度地帯では、太陽が高いので強い紫外線が降り注ぎ、平均的に高い電子密度になり、比例して臨界周波数も上昇する

電離層の地理的变化 (3)

Courtesy of N0NBH / Mr. Paul Herrman



- 緯度の上昇に従い太陽から受けるエネルギーは斜めからの入射で低下するので日々の自由電子生成は低下する。そのため高緯度地帯の臨界周波数も下がる
- F層の緯度によるfoの変化傾向は、昼間側から夜側への高層大気の流れにより夜間でも持続する(両極性拡散参照)
- 昼間のF層には『赤道異常』という赤道から±15~20°の緯度にプラズマ・バブルができ(ExB Drift参照)TEPや Scatterの原因になる
- 夜側のF層では北緯/南緯60°付近に『Mid-latitude trough』という臨界周波数最低値が観測される
- 極域が点線のようにあまり下がっていないのは荷電粒子に叩かれてエネルギーを受けるから、ただしPCAなどで極域を通過する電波はブロックされ易い

電離層の太陽活動による変化(1)

太陽活動周期 (Cyclical)

- 11-12年周期の太陽活動が、電離層に最大の影響を与える
- 次ページの図は、Solar Maximum と Solar Minimum でのF2層とE層の臨界周波数の変化をしめす
- 全体に渡り、臨界周波数には太陽周期の最大・最小でおよそ2倍の差があることがわかり $f_o = K(N)^{1/2}$ なので両者の電離密度の差は 約4倍におよぶ
- 斜めに入射される電波は、臨界周波数を越える電波も反射するので、MaxではHigh Bandがオープンする
(暗算では臨界周波数の2倍までが使える周波数)

電離層の太陽活動による変化(2)

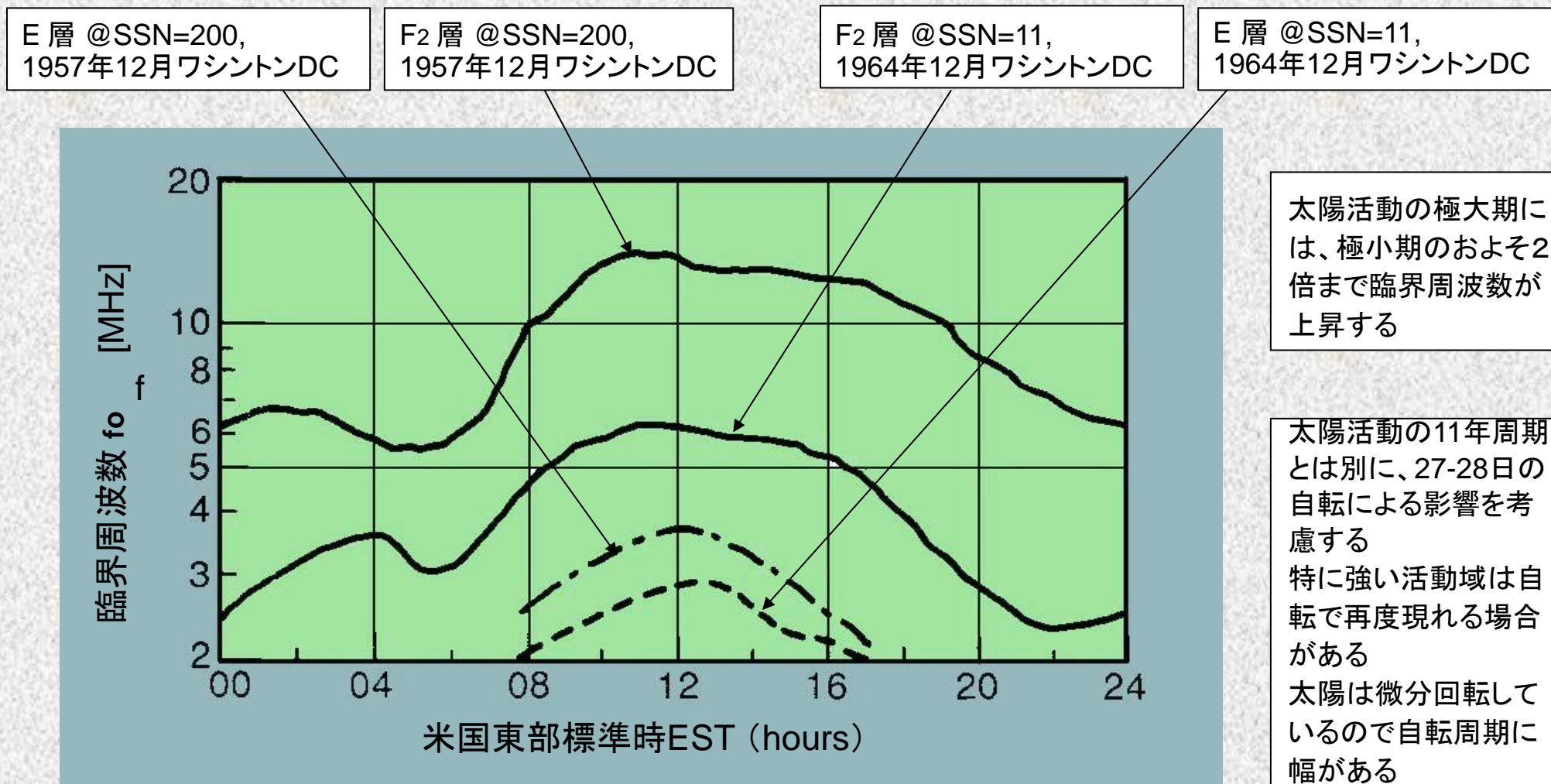
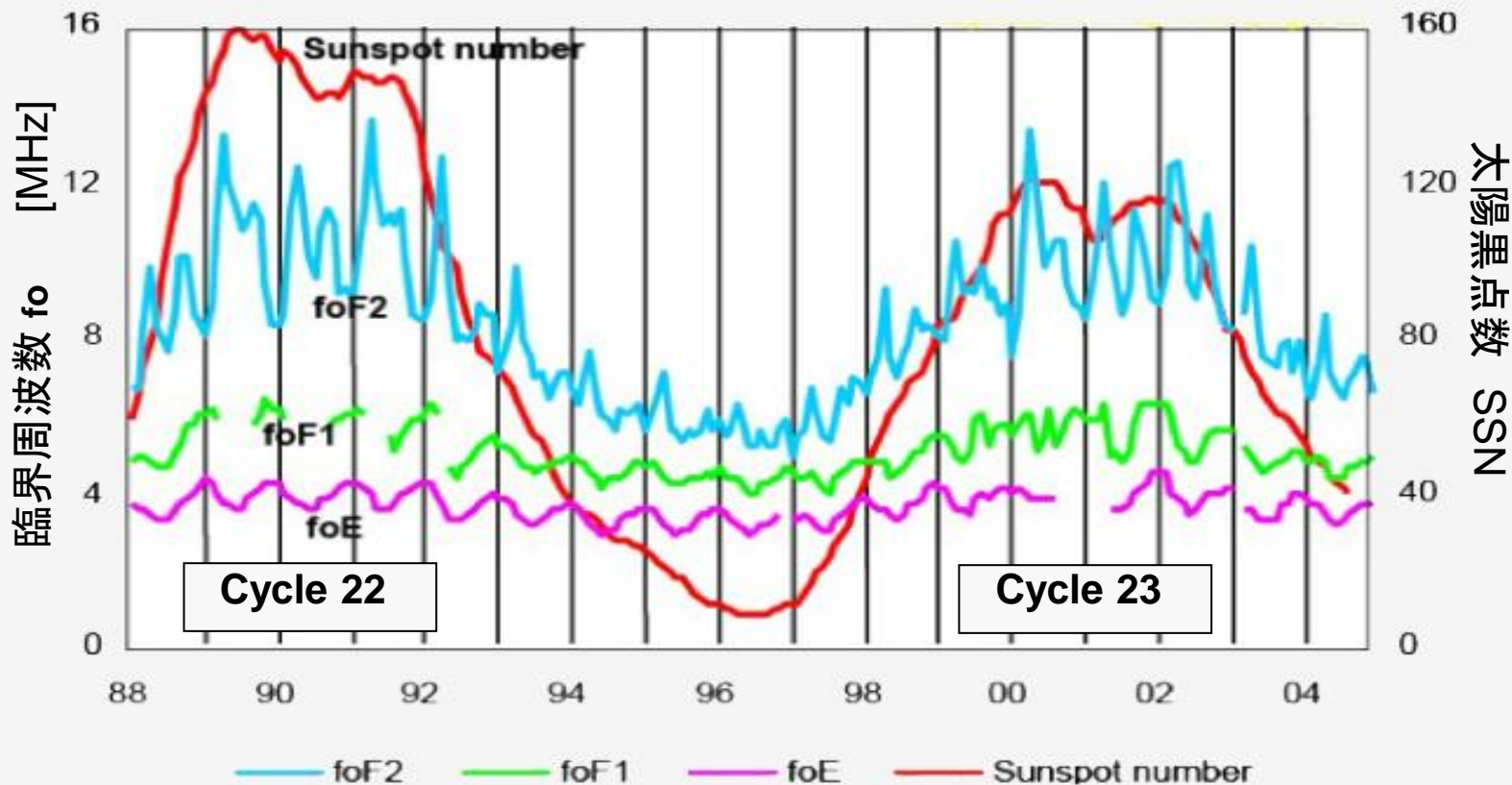


図1-28 F(2)電離層臨界の太陽活動による変化

電離層の太陽活動による変化(3)

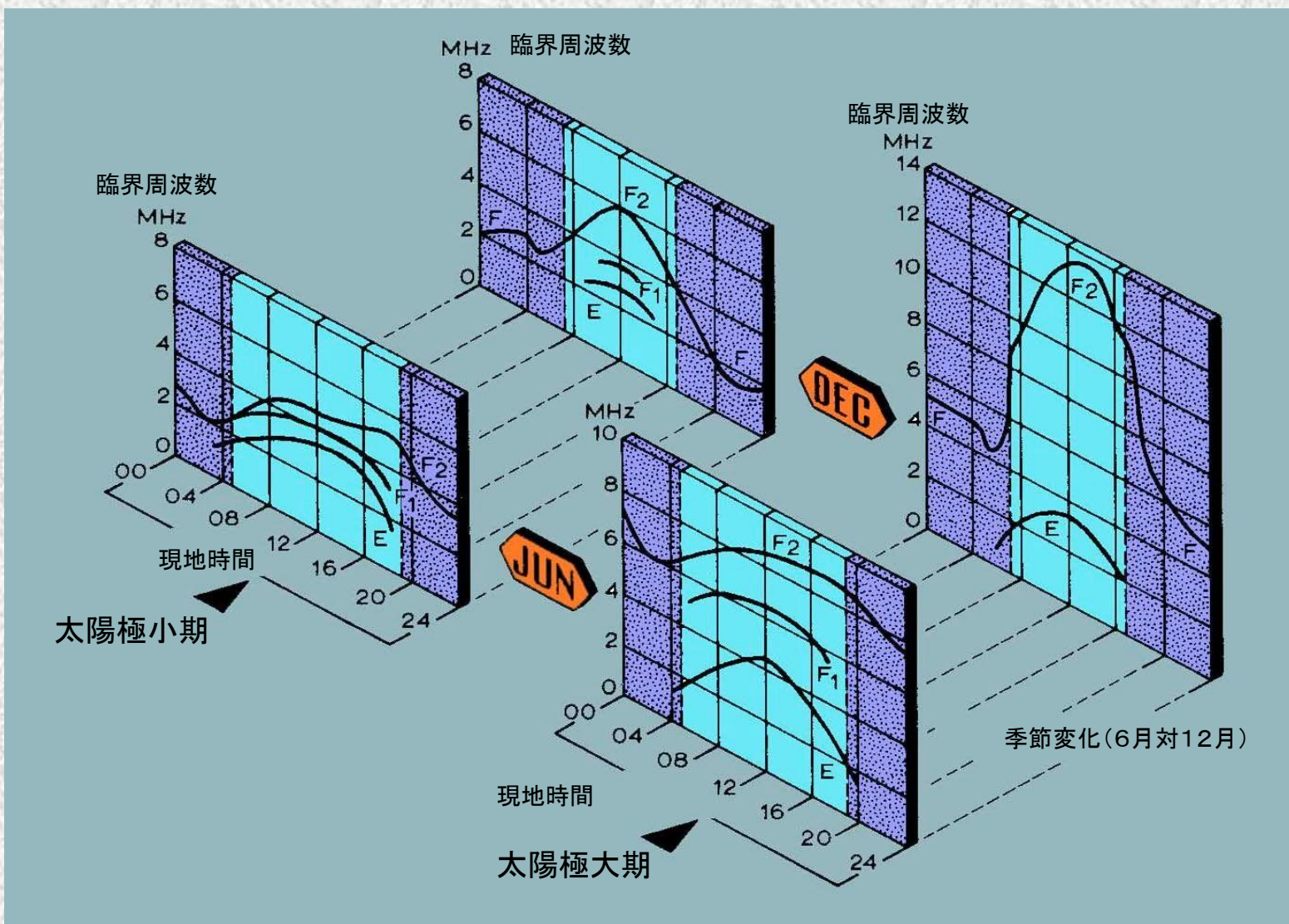
図1-29 電離層臨界周波数foの太陽活動周期による年変化



- 太陽活動は11年前後の周期で活性が変化し、短波通信に影響する
- 活動が上がるほど太陽からの輻射は増加し、電離層の自由電子も増加しより高いHF帯が使える
- 太陽極小期では低い周波数しか反射せず、太陽極大期では高いHF周波数まで伝搬に寄与する

電離層の変化のまとめ（日周、季節、太陽）

図1-30 電離層変化のまとめ



この図では、経度による変化を除いた、季節周期、太陽活動周期、日周変化の3つのパラメータを纏めて図で表した

縦軸は各電離層の臨界周波数で横軸は24時間の変化を表す

紫色は夜、水色は昼を表す

Aug. 2005は太陽活動の極小期で夏だから、一番左の図が現在を示すコンディションが悪いわけだ

各電離層高度の季節変化

図1-31 電離層高度の季節変化

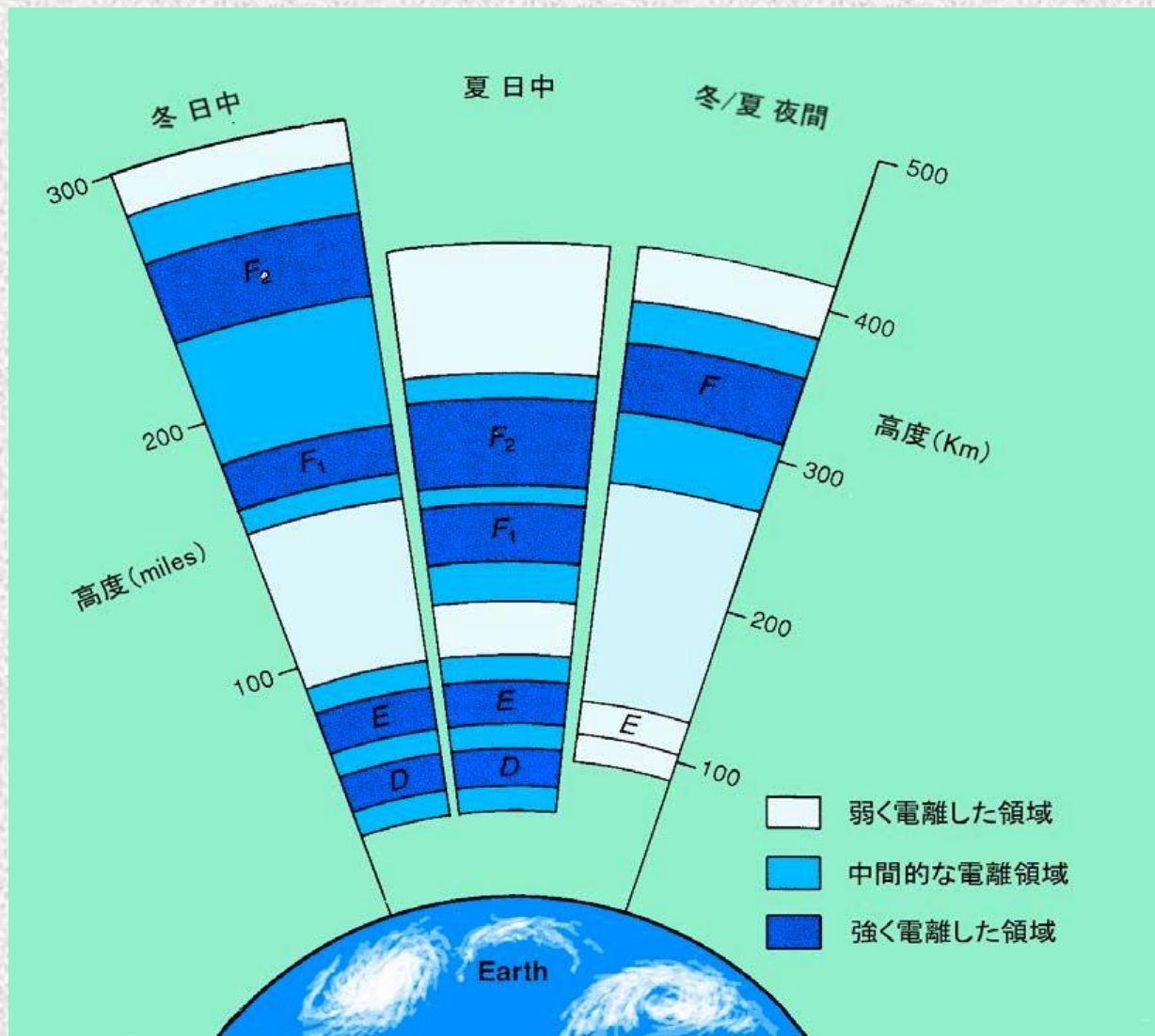


表1-3 各電離層の特徴一覧表

タイプ	高度(Km)		生成・消滅・電離度				主イオン	電離度	特徴	
	昼	夜	24時間	季節	地域	太陽周期				
D	60-90	—	日中のみ	常時	全世界	11年周期 のSSNに 対しfoは 直接比例	NOx 水分子	低い	電波吸収帯 自由走行距離小	
E	90-150	—	日中のみ	常時	赤道域で 強い		NO ⁺ O ₂ ⁺	中	電流を良く流す Chapman type	
Es	中緯度型	90-150	90-150	突発的	夏		中緯度	NO ⁺ O ₂ ⁺ 金属イオン	極めて高い	短時間、交信域移動
	赤道型			常時	春-秋		赤道	プラズマバブル	極めて高い	FAI, 赤道横断伝播TEP
	極域型			サブストーム 発生時	突発的		極地方	大規模電子流	極めて高い	オーロラジェット反射
F1	150-250	—	日中のみ	春-秋 冬消滅	赤道域で 強い		NO ⁺ O ₂ ⁺	高い	Chapman type	
F	F2	250-500	250-500	常時	夏電離度小だが、 冬より変化小 冬、電離度の 変化大		全世界	O ⁺ N ₂ ⁺	かなり高い	ほとんどのDX通信を 担う

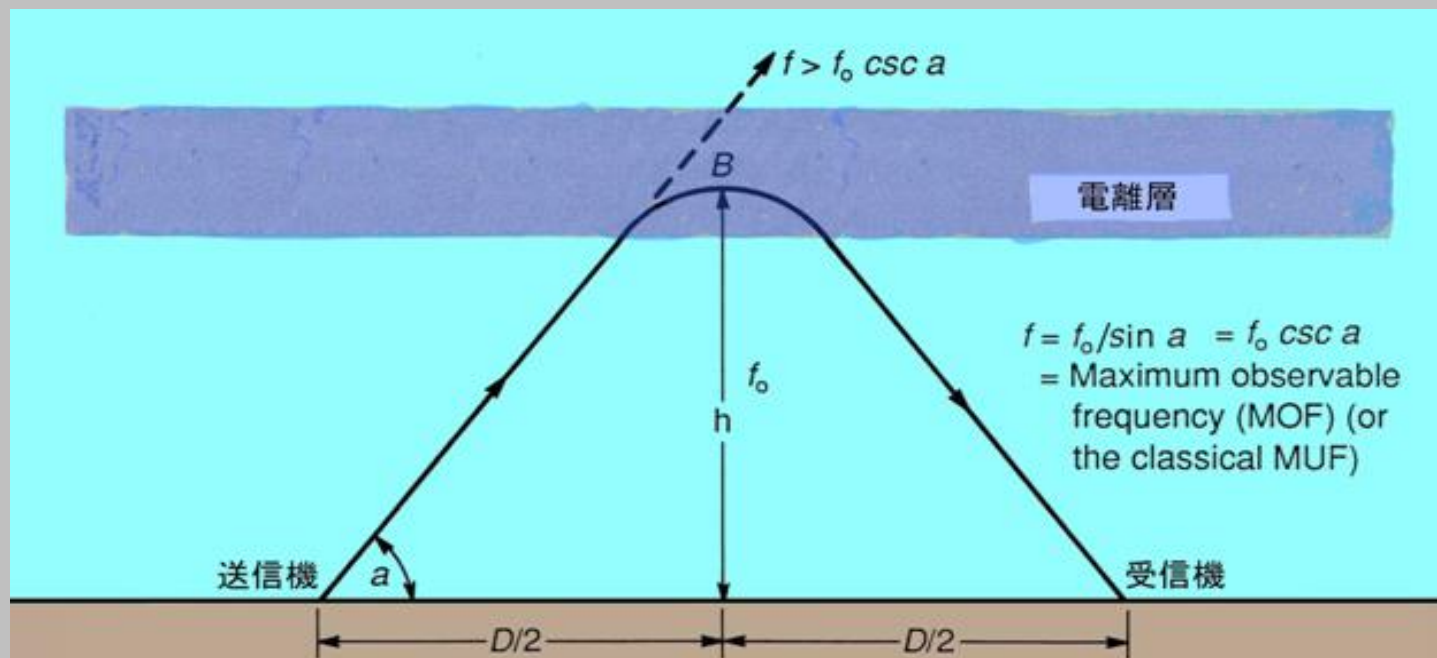


DXerは永遠に謎の人種？

DXCCとメンコ集めに血道をあげた経験の全くない、IRCも見たことないSASEも送ったことのないVJQにとって(DXは面白い)彼らは永遠の謎であります。私の観測によれば:

- メンコを一枚でも多く持っていた方が偉い。盾などを飾ればさらに完璧
- 娘がサンディエゴに留学するので情報集め中。『お前何回もそこと交信してるだろ?』『何回も交信したけど.....いや良く知らん』59 QSL via buroの果てがこの有様
- ブーベなどに行った、南極越冬隊長にすりすり手揉みしながら接近する
- 電波は強いほど、序列的に高い位置を得るように見える。昔並み居るDxerが西海岸の局を捕まえて強さを競う。小学生のときの河原でオシッコの飛ばしと同じレベル
- 一部で小錦級アンプを隠し持ち、一声数十万のコストパフォーマンスの悪い使い方を
する
- KWアンプを紹介すると、『あー、それは中押しですね』なんて言われてしまう
- 昔、日本を代表する2大DX Clubのどちらかで、会長さんが珍局をgetした際に仲間への電話連絡を怠り、会長の座を追われる。理解不能
- ハムフェアなどのField checkに、大DXerが恥ずかしそうに並ぶ。さすがジャパーンと怒鳴って先頭には行かないな
- Dayton辺りのDX Dinnerで立たされるのに無上の喜びを感じる。早く座って飯くえや

MOF (Maximum Observable Frequency)



注:

> = より大

h = 200マイル (Bでの反射高度)

D = 1000マイル (送受信間の距離)

f_0 = 5MHz (臨界周波数)

よって:

MOF = 13.3 MHz

打ち上げ角 (a) = 22°

図1-32 最大観測可能周波数 (MOF)

ある2点間の通信をするために受信点で観測可能な最高周波数 (MOF) を決めるには、様々なパラメータがある

f₀: 反射点での臨界周波数

h: 電離層高度

D: 2局間の距離

a: 打ち上げ角

ポイントは常に電離層に斜めに電波は入るので、臨界周波数 **f₀** 以上でも反射は起こり **DX** と交信可能であること

MOF (Maximum Observable Frequency)

最大観測可能周波数MOF

- 臨界周波数 f_o は、そのままではあまり役に立たず、前頁のような式をたてるが、その式をさらに変形して直接解を求めると：

$$f(\text{MOF}) = f_o \sqrt{(D^2/4h^2)+1}$$

- このMOFは古典的なMUFと同じで、ある時間ある与えられたパスに対する周波数の上限を示す
つまり、距離 D と電離層の高さ h 臨界周波数 f_o だけの単純な式
- **ここでのMOF/MUFの値は電波伝搬予測プログラムからのMUFとは異なる。伝播予測のMUFでは、長い期間での観測値の集積をデータベース化して考慮に入れてあり、それに基づく中央値をとっている**

MUF (Maximum Usable Frequency)

MUF (最高使用可能周波数)

- 従来からのMUFは、臨界周波数 f_0 と直接関連するので、地球上層大気電離度の関数になり、あるパスに関して考えたとき、臨界周波数が日変化、季節、地域、太陽周期が変わるに従って変化する
- MUFには、その決定要因に電力が入らず、**周波数と電子密度だけできまる**点に注意する
- 通常状態しか考えていなく、数百KW入れて散乱のような異常伝播が起きたような場合は考慮していない
- MUFは重要だが予測が難しい。しかし、数学を使わず比較的簡単な図による解法に基づく中央値をとっている
- **MUFの少し下のHFバンドが最良のパスを提供する**→20m不感、30mではEUの奥深くまで大賑わい—晩中呼ばれる、40mでは東EUがちらほら、などの現象は良く経験し、 f_0 が6MHz前後にある*事が判る

(*電波は斜めに電離層に入るので実際には f_0 の約2倍=12MHzが実効的なMUFになり10MHzが最良のバンド選択になる)

LUF (Lowest Usable Frequency)

LUF (最低使用可能周波数)

- LUFの定義は、ある伝播経路と時間を決めたとき、問題なく通信が可能な信号強度を得られる一番低い周波数をいう
- この受信信号強度は、送信出力、送受信アンテナの利得と指向性、伝播距離、**伝播上の吸収**による
- 別の言い方をすれば**S/Nから見た限界周波数**で、受信点でのノイズレベルと変調形式にも依存してくる
- S/Nの限界点は、手送りCWだと3:1(5dB)、3KHz帯域のSSBでは7:1(8dB)、6KHz帯域のAMでは15:1(12dB---以上電力比), が必要でLUF以下の周波数では信号がノイズに埋もれる
- **実戦的にはMUFの近傍でコンディションもS/Nも良く最高の通信の信頼性が得られる**
- 電離層状態に依存するMUFとは異なり、限度はあるが電力や変調形式での調整が可能で**電力を10倍すると2MHzほど下がり (逆も真) DSPなども改善要因になる**
→80mの西海岸で某JA局だけが小型トランジスタラジオでも海外放送のように浮かび上がっている おいおいどれだけパワー入れてんだよ！
- 太陽活動期ではD/E層の電離度が上昇し吸収の関係でLUFは少し上昇する傾向がある

SKIP

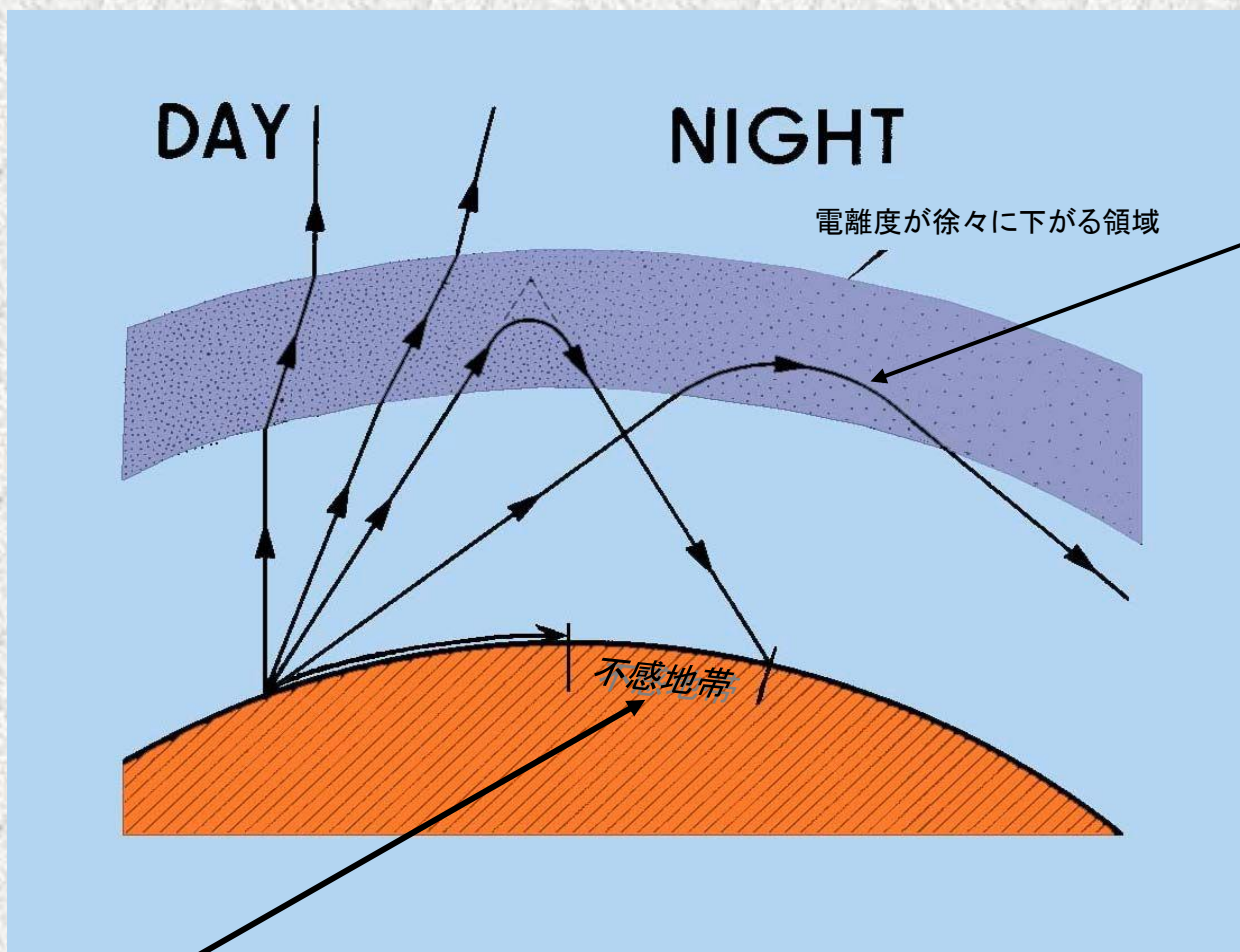
Skip Zone（不感地帯） / Skip Distance（跳躍距離）

- One Hopで届く最短距離と直接波の届く最短距離の間に、不感地帯Skip Zoneがあることは、経験的に良く知られている
- 近くに落ちる打ち上げ角の高い成分は、臨界角を超えているので突き抜けてしまうので近距離には届かない
- スキップに関わるパラメータは以下のとおり；
 - 1)周波数
 - 2)電離層の臨界周波数
 - 3)アンテナの打ち上げ角
- 国内通信でスキップ・ゾーンを減らすため、意図的にアンテナの地上高を下げ、打ち上げ角を意図的に上げてスキップ・ゾーンを減らすことがある
⇒コンテストのテクニック（その時の臨界周波数に注意すること）
- 電離層や山岳に電波が当たると、その偏波面は変わってしまう。以前Quadを回転させて偏波面を変えて飛びを検討した強者がいたが、多少打上げ角は変化してもDXは空間波を使うので偏波面はあまり意味がない。Quadは何やっても飛んでしまうアンテナだしね。しかし、その心意気やよし

SKIP ZONE & TILT

最初にTILTという言葉を知ったのは無線でなくてPIN BALL GAMEをしたとき

ズルをして台を傾けるとTILTの表示ランプが付いて器械が停止してしまう
投入したコインが全てやわになるでかんわ :p)



電離の薄い部分、変化する部分では、入射角と反射角が変わる

この電波の方向の変化をTILTと呼ぶ。

特に電離圏ダクトとか弓状ホップのような地上反射の無い伝搬モードに突入するきっかけとなる

そのモードにならなくてもDXに向かない高打ち上げ角のアンテナが低アングルで飛び込んでくるDX信号を捕らえる助けになる

地上波も空間波も届かない領域をSKIP ZONEという

図1-33 跳躍距離とTILT

Circuit Analysis Curve (伝播予測カーブ)

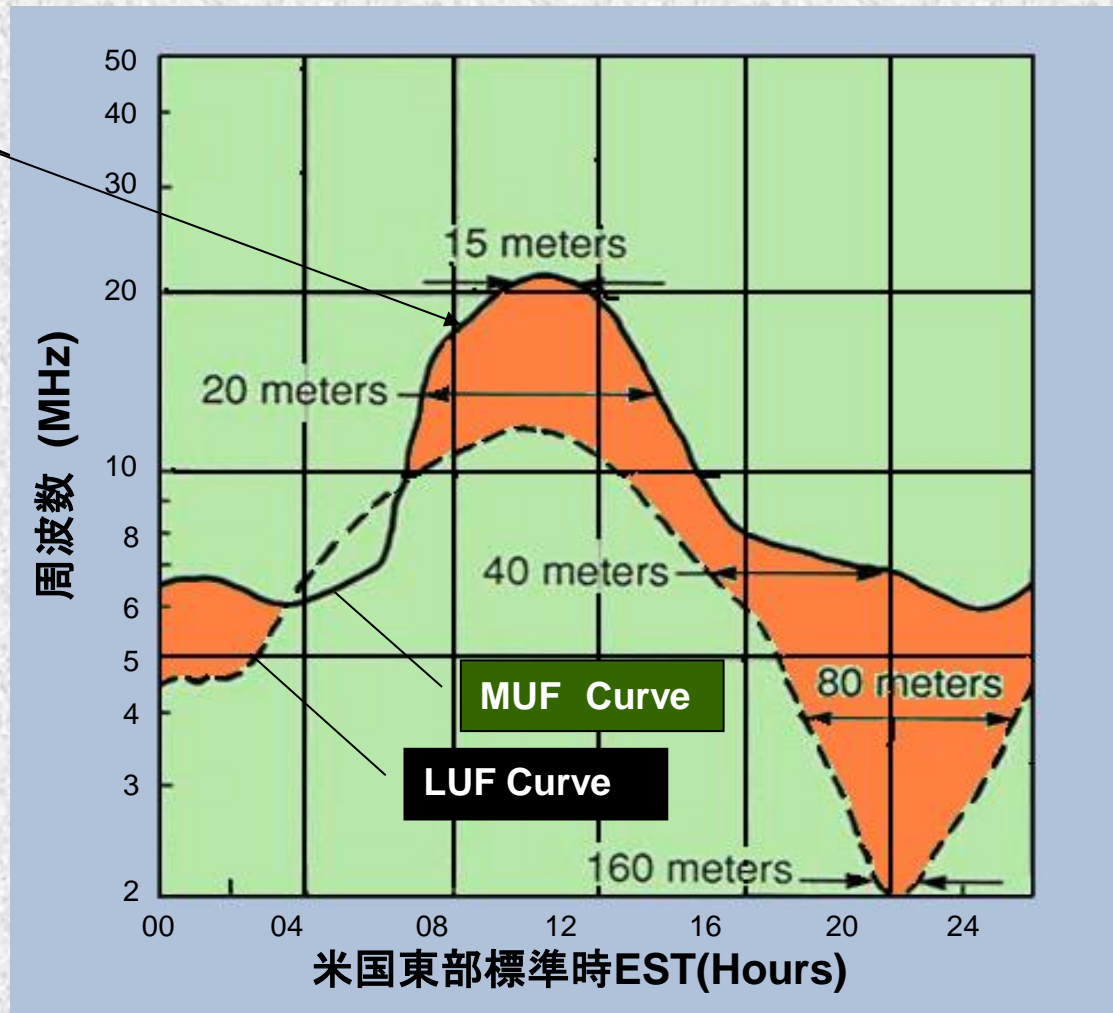
このMUFカーブは、中央値を意味し、月の50%はこの値を越え、残りの半分はこのライン以下に位置すると予測される

MUFカーブに0.85を掛けると月の90%はオープンする意味で、Frequency of Optimum Traffic, FOTと呼ばれる

逆にMUFに1.15を掛けると月に10%の可能性で、HPF Highest Possible Frequencyという

FOT,HPFに関してはHFxの伝搬予測ソフトで解説

CQ誌ではおみくじと呼ばれJA1COさんがご担当でした



このカーブは、米国東海岸とヨーロッパの伝播予測で

SSN:10

季節: 冬

月: 12月

電力: 250W

モード: CW

という条件での予想

MUFとLUFにはさまれ、かつMUF>LUFを満足するオレンジ色のエリアがパスの存在を示唆

図1-34 伝搬予測カーブ

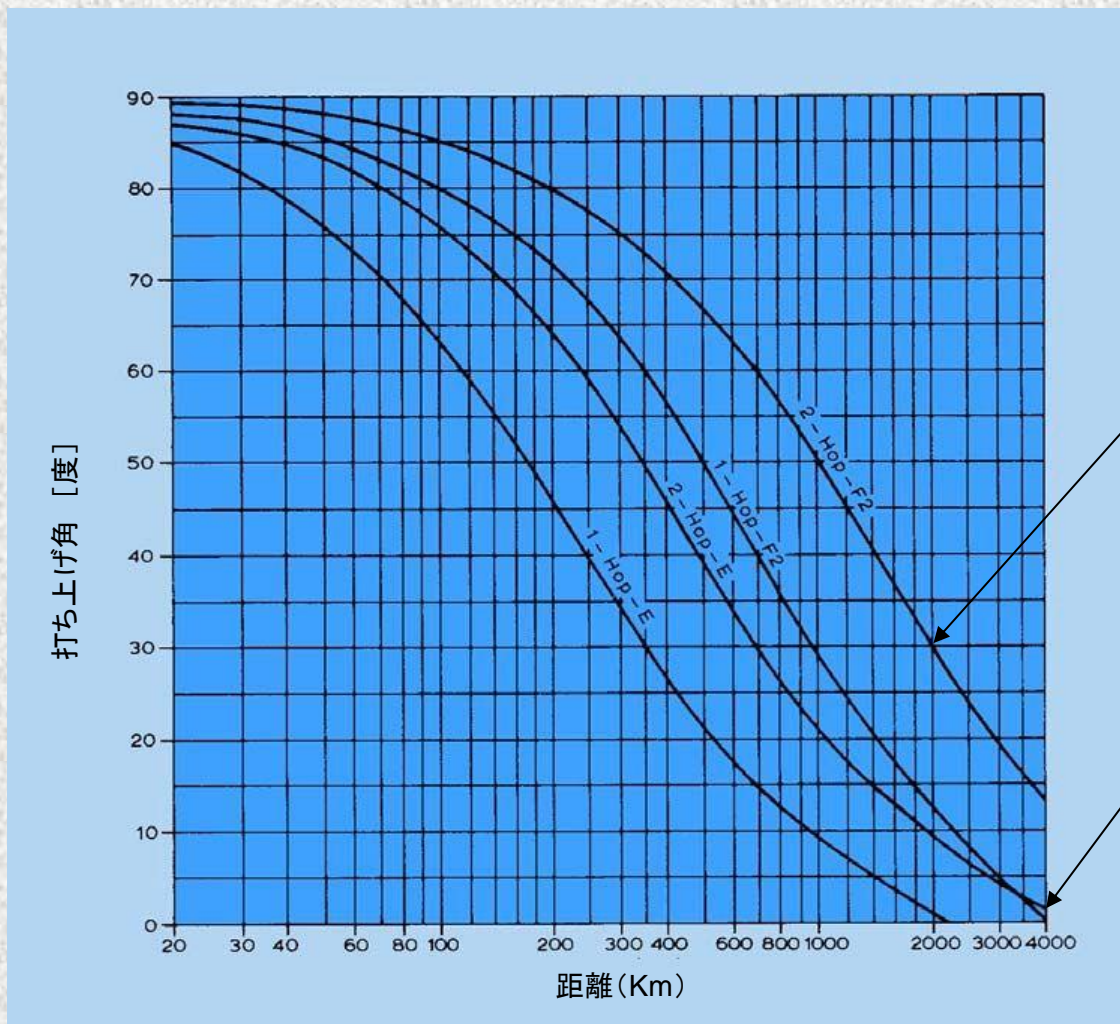
Optimum Radiation Angle (最適打ち上げ角)

図1-35 最適打ち上げ角度

距離が各曲線の1ホップでの最大送信距離以内なら、相手の距離に対応した打ち上げ角の調整を、クランクアップタワーなどで行う

普通の3エレ八木で実効高が 1.5λ なら10度 λ なら15度の打ち上げ角、 $\lambda/2$ なら30度くらいが目安になる

これらは中心角でそれ以外の角度にも輻射がある



例えば、F層2回反射で2000km離れた地点と交信するのに適する打ち上げ角は30度と読める

さらに遠くを狙うならマルチホップになり基本的に打ち上げ角をできるだけ低くすることは言うまでもない

5000-8000Kmを越える伝搬はQSBが少なく強いので、大地/海上反射ではなくChordal (Ducted) Hopに入っていると考えられている

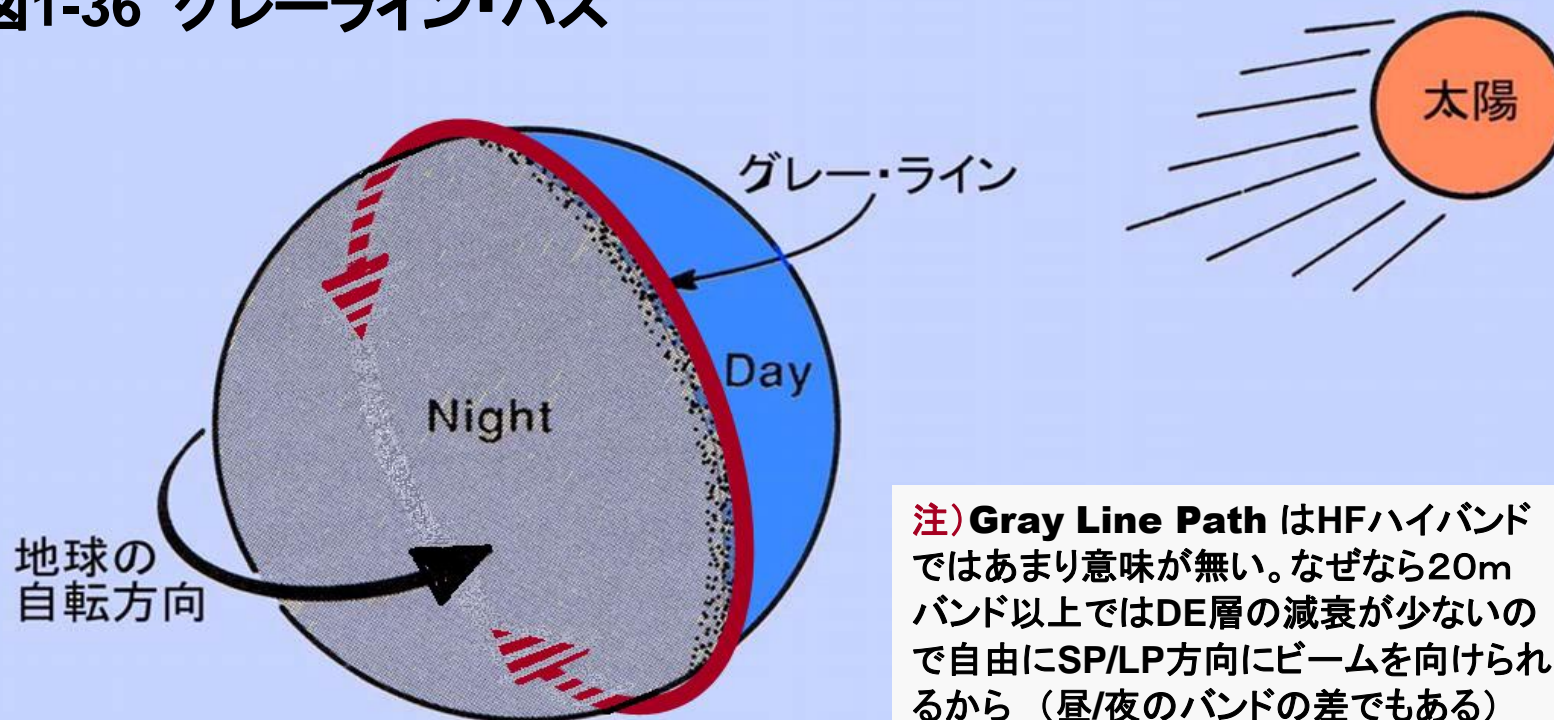
Long Path Propagation

LP (Long Path) & SP (Short Path)

- 地球の任意の2点間を最短距離で結ぶと**大圏コース**になる。この線に沿ったパスは減衰が少なく通常の回線となる。これは、距離に反比例する自由空間での減衰、昼間の回線によるD層の通過の減衰 (**-6dB**) や極域でのオーロラなどによる減衰、ホップ毎のグランド反射による減衰 (**-6dB**) の減衰回数が如何に少ないかによる
 - ⇒ **Short Path**
- それにも関わらず、大圏コースの**180度**反対側からの遠い距離からの信号の方が強いことが良く起る事を**DXer**は誰でも知っている
 - ⇒ **Long Path**
- **Long Path**の方が強い場合がある理由はあまり知られていない
 - ⇒ **Pathが夜**であることが多く、D/E層の減衰がない
 - ⇒ **Ducted効果**による、大地反射の無い**Low Loss**特殊伝播

Gray Line Propagation (1)

図1-36 グレーライン・パス



地球上で昼の部分と夜の部分の境目、つまり朝方か夕方を迎える薄明期の領域が存在する。この地域は地球上を南北にベルトのように取り巻くラインを、**Gray Line Path** (グレーラインパス)と呼んでいる。従って、このラインは大圏コースに沿ったものになる。経験を積んだDXerは、**ローバンドで明け方と夕方の地域を結ぶ良好なパス**の存在を知っている。ここではそのパスについて検証する。

Gray Line Propagation (2)

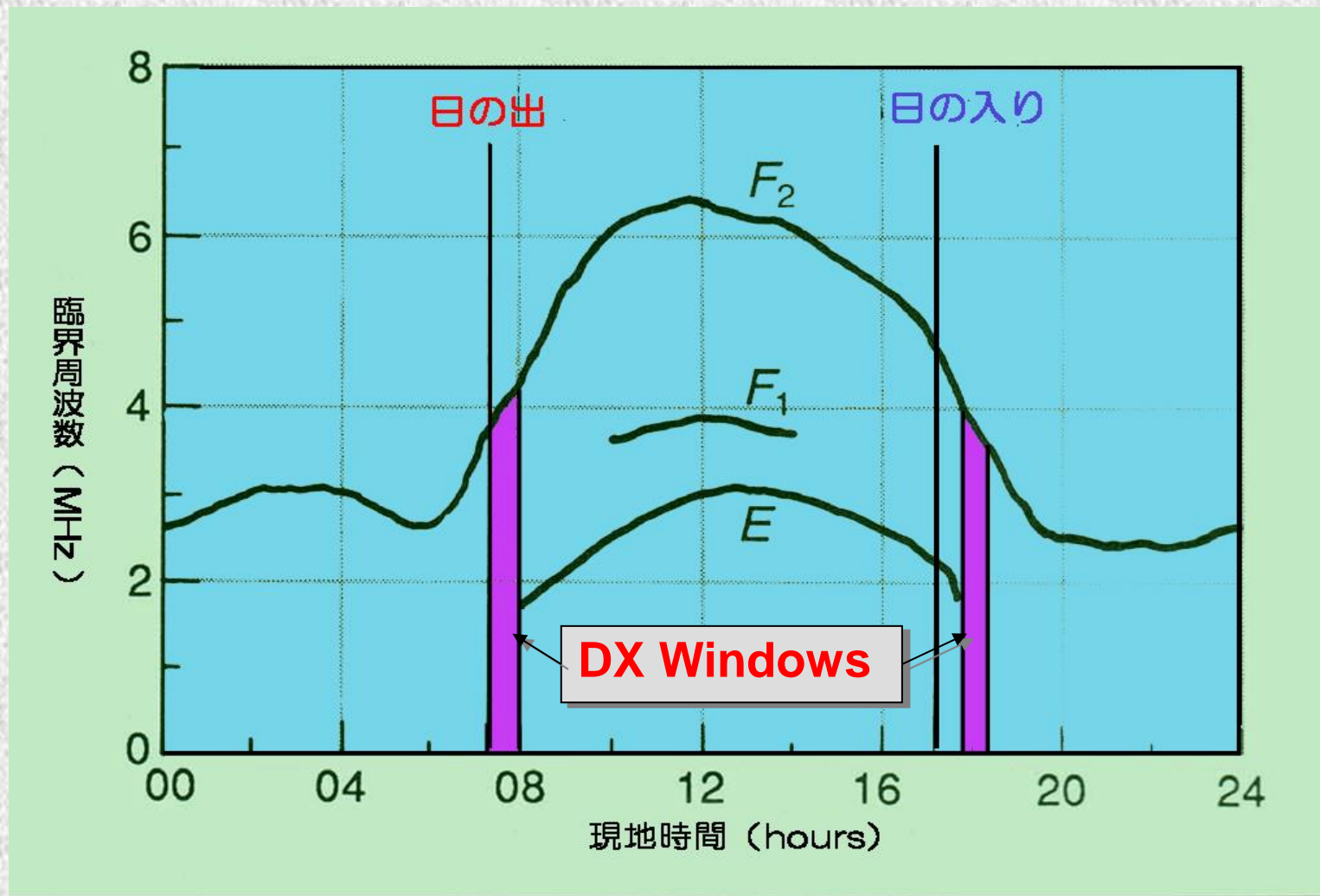


図1-37 臨界周波数の日周変化とLow Band DX Windows

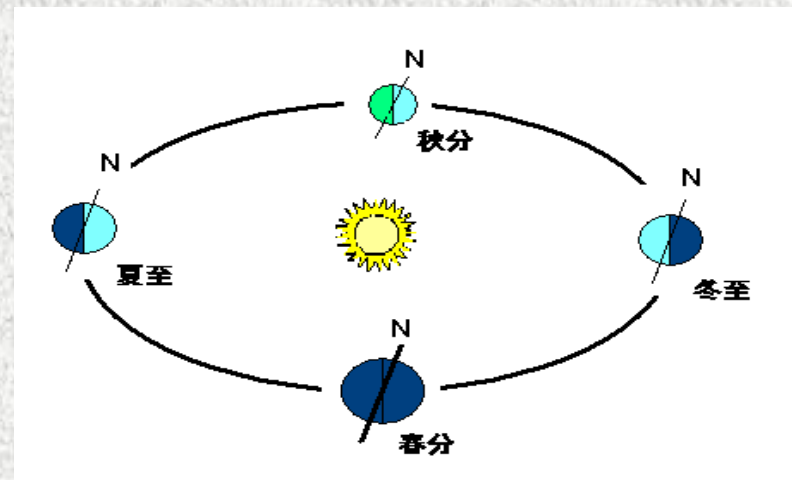
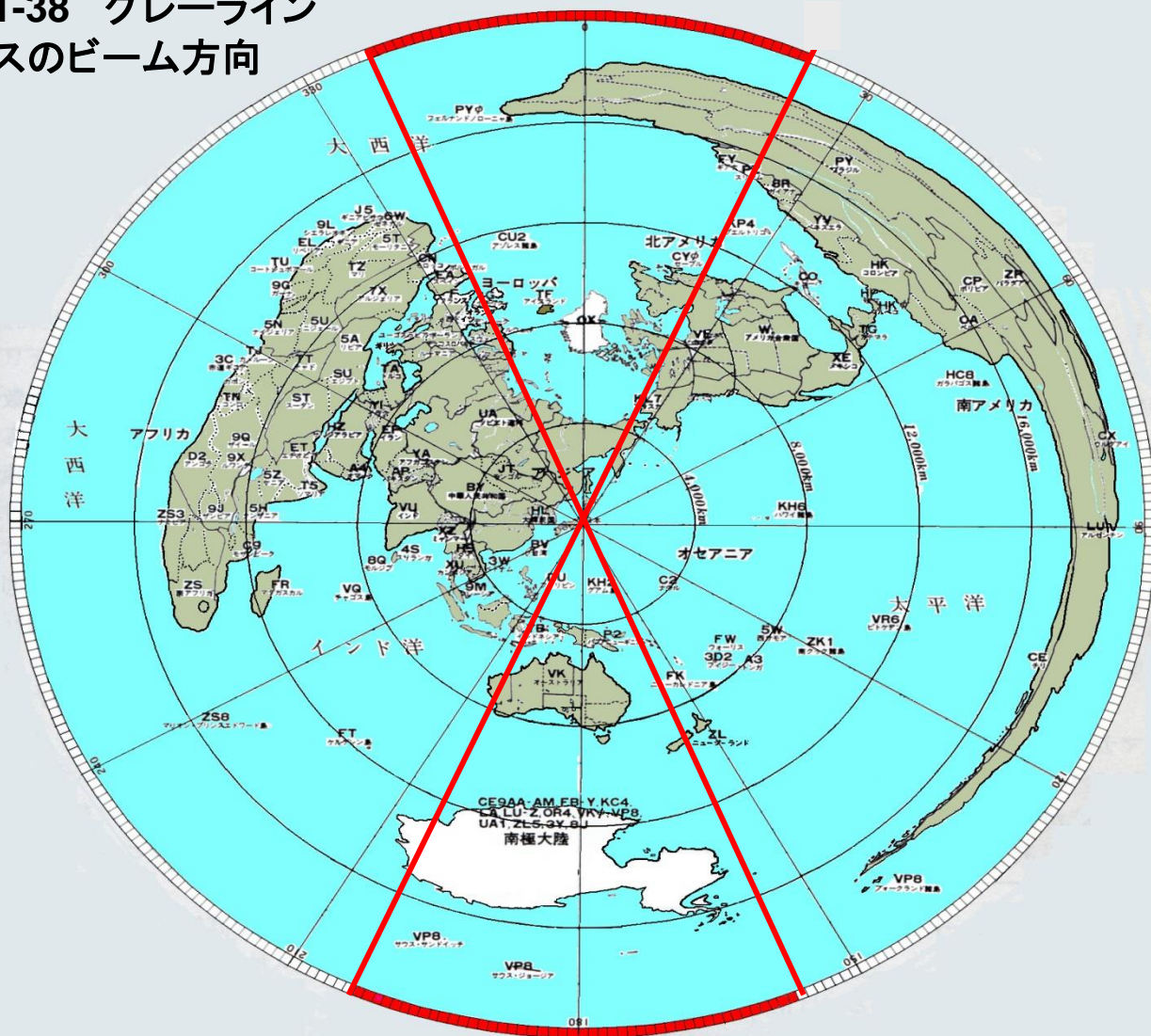
紫色で囲まれた狭い時間帯が40m以下のローバンドでの朝夕のDXチャンス**Gray Line Path**になる。これは.....

- 1) Low Bandにとって特に邪魔なD/E層が無い
- 2) F2の電離度がまずまず高いのでMUFも高い
- 3) この薄明状態の電離層の絶好条件が大圏方向の地球の裏側まで壮大な距離を延々と連続して続いているから
- 4) Low Lossの**Chordal Hop (Ducted) Mode**です

チャンスは短時間だが信号は強い場合がある。
特に、従来言われていたように南米は、対照点効果があるので、ビームの効果は薄いと思われるが、積極的にGray Lineにビームを向けるとS1-2程度の差がある

Gray Line Propagation (3) --- ビームの向け方

図1-38 グレーライン
パスのビーム方向



地軸は約23度公転面に対し傾いて自転しながら公転しているため春夏秋冬の季節が生じる。基本は南北のパスだが、季節に応じてグレイライン方向も左図の赤い範囲内で東西に最大 $\pm 23^\circ$ まで振れる \Rightarrow 常に南北のパスですが

典型的なパスは冬の朝に南南西に向けて北米東海岸、夕方に南南東に向けて**ZL, PY, PJ, GM**あたりを連続でシバく！ この例では**LP**と**Gray Line**がたまたま一致しているので信号はさらに強い。夕方**40m**で南からカリブが聞こえ段々東にビームが変り、午後**8時**ごろパタッと**Short Path**に変化するの面白い

Gray Line Propagation (4)

臨界周波数の日周変化とGray Line

- 75項の図は、各電離層の臨界周波数 f_oF2 , f_oF1 , f_oE の日周変化を表すこれは、とりもなおさず各電離層の電離度の強さを表す。夜明けと共に紫外線UVの照射を受けてD,E,F1層が形成され、F2もそれに伴い夜間より電離度が上がり、臨界周波数も上がり20mや15mの交信に貢献する
- 特に40mバンド以下のLow Bandで有効になるが、グレーライン・パスで重要なのは、朝方と夕方にD層もE層もない短い時間帯が存在する事、そしてこの短い時間に、地球の2点間で明け方と夕方を迎えた2局は、（相互に大圏コース上にある）D層の減衰もなく夜間帯と比較して電離度の高い、減衰の少ないF2 Chordal Highwayを利用できる
- 冬の朝、40mのローエッジで、南南西方面から599+20dBの強烈な信号が米国東海岸から入感する。LPの有利さとGray Lineのタイミングが重なり合っている相乗効果である。4ele八木以上の耳では東海岸を越え、なお深くMid-Westの米国内QSOまで貫通する

注1) LP方向が常にGray Lineと重なるわけではない。両者を混同しないように

注2) Gray Lineは常に大圏コースだが、少しのずれはOK。特にパスが夜するとき

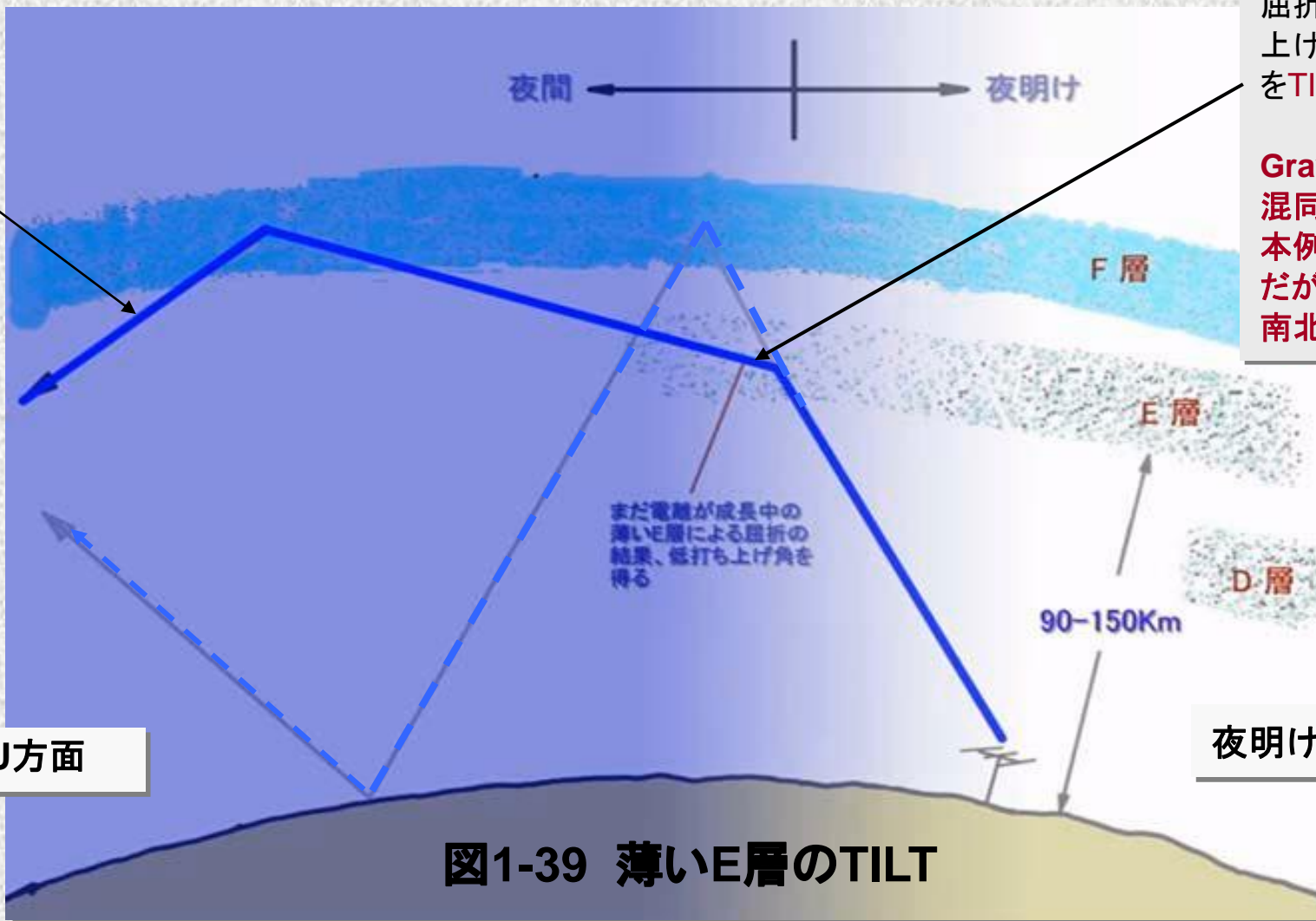
Gray Line Propagation (5)

Gray Line のまとめ

- 地軸の傾きは約23度なので基本的に南北のパス
- 主に40m以下、**Low Bands**で特に有効なPathである
- Gray Lineの幅は赤道で狭く緯度が上がるにつれ時間的、面積的に広がる
冬の太陽は斜めに上がるので、D層の変化も遅れるため
- 日本では40mでは1時間、80mで数十分、160mでは数分のOPEN
- 条件が合うと、通常経験するShort Path/Long Pathよりも強く入感
→朝の南南西からのEast Coast、夕方南南東からのEU
- Low Bandで**Beamが無理な場合、東西にDipoleを張れば**Gray Lineの恩恵にあずかる事が可能。Dipoleはビームと違い元々パターンがブロードであり、地上高を $M/2$ 以上に上げピンと張ったときだけにワイヤー方向に僅かにNullがでる程度なので、張る方向にあまり神経質にならないこと。**それよりバンドが開ける時間を知るほうがよっぽど重要**
- Gray Lineは、計算式よりDX Web SiteやSoftwareを利用して確認すること

Thin E-Layer Effect (TILT効果)

低打ち上げ角の電波は、EUに向けてHop 回数の減少するかChordal Hop Mode に移行する元々打ち上げ角の高いアンテナがあたかも低打ち上げ角のDX 向きアンテナの働きをする



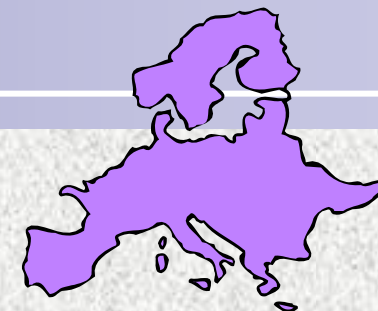
まだ電離が成長中の薄いE層による屈折の結果低打ち上げ角を得るこれをTILTと呼ぶ

Gray Line Pathと混同しないこと
本例は東西のパスだがGray Lineは南北のパス

←西 EU方面

夜明けの日本

図1-39 薄いE層のTILT



Thin E-Layer Effect (TILT)

40m で、明け方ヨーロッパの信号が強くなる理由

- 夜から明け方にかけてヨーロッパを狙っていると、夜明けのある時間帯、吸収層の **D層もなくE層がゆっくりと電離密度を上げてくる**
- その時、比較的打ち上げ角が高くても、**薄いE層での屈折(TILT)**が生じ、結果的に非常に**低い打ち上げ角の電波になる**
- その結果、**ホップの回数が減るか、Chordal Hop**（後述）に入る
- 東の夜明け側で受信する場合、日本の東方向では完全に夜が明けてD層があり、東方向からの電波を吸収遮断するので**S/N比が上がり**、EUからの信号が浮かび上がる
- **基本的に東西のパス**だが、**NW-SE, NE-SW**方向にも有効
- 原理的に東側（朝方）にいる局のほうが、**S/N**と混信の関係から運用上、受信・送信共に有利になる

Antipodal Effect (対蹠点効果)



JAでPY等南米の信号が強く入感する理由

- 昔40m Bandで10Wとたった5meter高のダイポールで、CX3から応答があり、家族の寝ている朝方に大興奮したことがある
- 対蹠点効果は、送信点から地球の反対側で電界強度が上昇する現象で、地球のどの地点で発射した電波も、ちょうど裏側の地点に対しては、複数のパスを経由して電波が同時に一点に集中するために起きる
- また、武道館などの丸い大きな建物では、丁度反対側の席にいる人たちのささやき声が良く聞こえて驚くことがある ⇒ **Whisper's Corridor**
- 南米が強く入感する現象は、JAでDX通信を行っている人には良く知られた現象で、その抜群の効果は通常の伝搬に対し、**電力比で16dB！のゲイン**を得ている ⇒ **対蹠点効果 + Chordal (or Ducted) Hop**

Antipodal Effect (対蹠点効果)

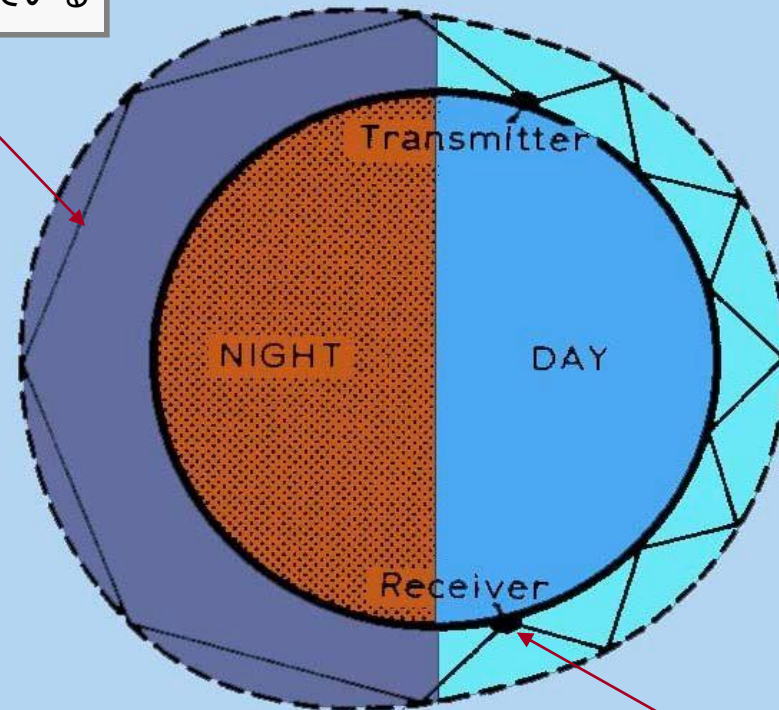
JAでPY等南米の信号が強く入感する理由 (続き)

- もしも、電離層が完全な導体ならば、送信点で点灯した**100W**の電球の光が、遙か2万キロ離れた地球の裏側でそのまま輝くことを意味する。実際にはそこまで至らない理由は、電離層そのものが完全な導体ではないし、電離層の形状も完全な球体ではないためである。また、送受信は電離層の下側で行われているのに、話を単純化しすぎている
- それでも、実際に得られるこの**+16dB (40倍の電力比)**の効果は抜群であり、大地反射で予想される伝搬の減衰量**-15dB**を上回る
- 対蹠点で得られる利得は、理論上では無限大だが実際の値としては**30dBが上限**となる (84ページグラフ参照)
- 対蹠点効果は、後述の弦状ホップ伝搬が共に起きるのが前提で地上反射時の散乱がなく、かつ電離層に低入射角で入る事が必要

Antipodal Effect (対蹠点効果)

対蹠点効果がある場合、伝搬は Chordal Hop Model になっている

図1-40 対蹠点効果(1)



送信地点から見て地球の裏側に当たる部分で受信すると、大地反射に基づく理論値上より強い信号強度で入感する

Antipodal Effect (対蹠点効果)

理論上は無限大の利得だが30dB程度が限界

通常25dB程度が期待できる

対蹠点効果ができるには、弦状ホップが必須で地上反射の伝搬では起きない太陽光をレンズで焦点に集めるとき、レンズ面が凸凹だと焦点にエネルギーが集まらない
地上反射は均一な反射をしないので、対蹠点での効果が薄まる

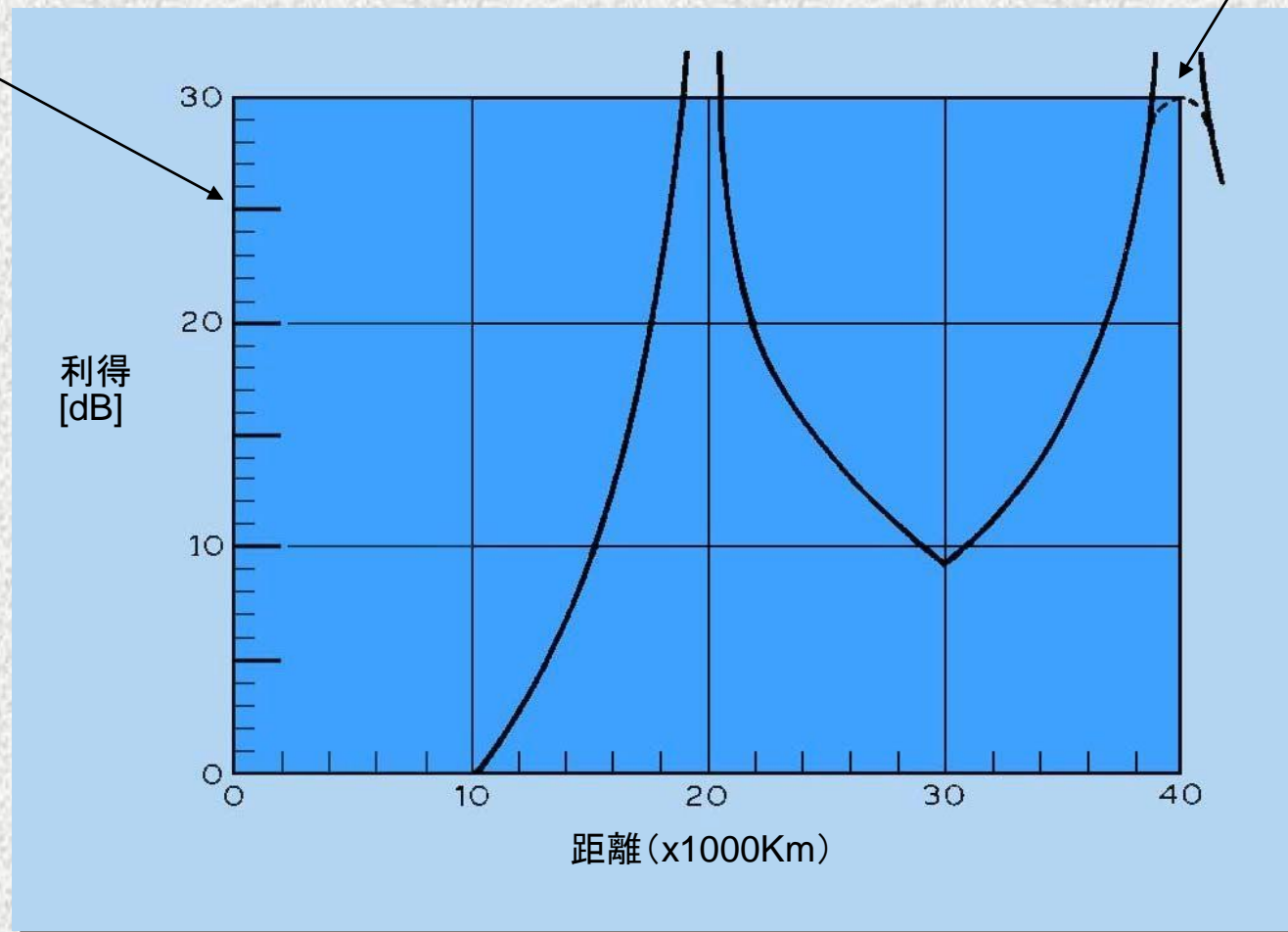
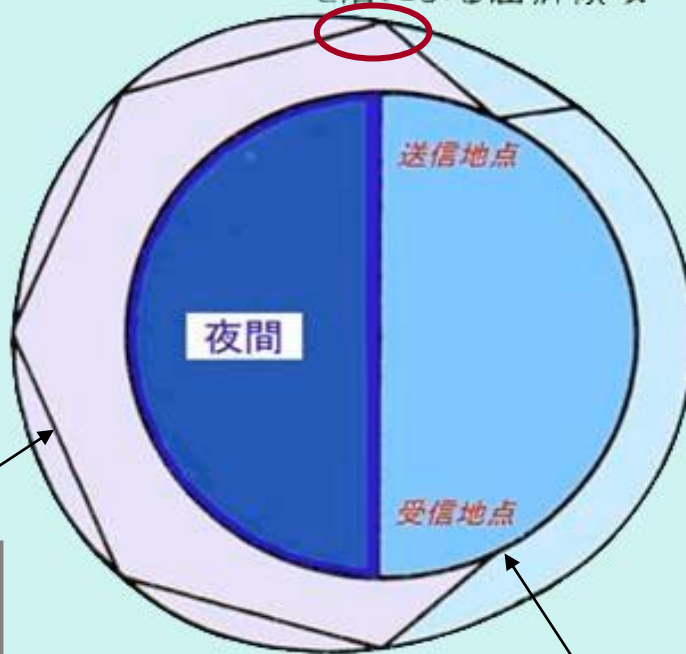


図1-41 対蹠点効果(2)

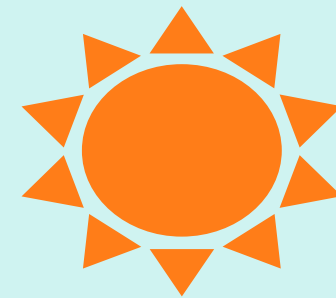
Chordal-hop (Ducted) Propagation

図1-42 超低ロス伝播

E層による屈折領域



夜間のパス
で起きる



Ducted というのはE層とF層間に挟まれた伝搬のイメージだが、Chordal Hopも含め**大地反射がない伝播をまとめてDuctedと呼んでいるように思えます**

通常のエ離層・グランド間のホップでは説明不可能な強い信号強度

Chordal-hop (Ducted) Propagation

電離圏ダクト伝搬（弦状ホップ伝搬）

- これまでの電波伝搬の研究成果から、電波のホップの際自由空間・陸上・海上などでのそれぞれの減衰量はわかっている。しかし、**通常のホップでは説明不能な強い信号強度**で入感する場合がある
- 1940年から1950年代にかけて研究が行われ、1953年になって H. J. Albrechtが “Investigations on great-circle propagation between Eastern Australia and Western Europe”でその成果を発表した。この研究データは多くのアマチュア無線家から集められた
- 西ヨーロッパと東オーストラリアは、相互にほぼ地球の裏側にあたり、対蹠点の位置関係でJAとLU/CXと同じ関係になる

Chordal-hop (Ducted) Propagation

電離圏ダクト伝播（弦状ホップ伝播）

- このWest EU vs. East VKの伝搬経路に、IRCC (International Radio Consultative Committee) が推奨する手法による電界強度予想を当てはめて計算したところ、実際の電波の強さより**25dB**も低い計算結果を得た。（電力に換算すると**300倍の差**になる）
- この内訳は、すでに解説した**対蹠（せき）点効果により16dBかせぎ残りの9dBを大地反射がないことで得ている**
- この**9dBの利得**が得られる伝搬モードは**電離圏ダクト伝播（弦状ホップ伝播）**と呼ばれ、夜間領域を信号が陸・海上での反射が無く**電離層のみを經由して受信点に到達していると考えられている**
- 強力な信号の他に、このモードのもう一つの特徴は、ゆっくりしたフェージングがない。北太平洋横断のF2反射のように**2Hop 3Hop**の複数の大地反射モード波の干渉によるQSBが混在しない、単一モードの伝搬だから

Chordal-hop (Ducted) Propagation

電離圏ダクト伝播（弦状ホップ伝播）

- QSBの状態や、5000Km程の中距離伝搬ではそれ程強い信号は普通まれである事実からみて、アマチュア無線で**8000Kmを越える超長距離通信ではマルチホップモード(地上反射)は存在しない可能性が大**
- 1970年代の旧ソビエトでの研究では：
 - 1) このモードの**最適周波数は13MHz-18MHz**
 - 2) 送受の**打ち上げ角Windowが2-5度以内を要求される**
 - 3) 赤道上のプラズマやFAIのような電離層の不規則構造（irregularity）が電子密度を変え、そこで**屈折した電波がダクトモードに入り**、ほぼ損失ゼロで地球の曲率に沿って進み、次の不規則構造で屈折し受信される

FAI (Field Aligned Irregularities)

FAI (沿磁力線不規則構造)

- 電波伝搬に影響する電離層の性質に**不規則構造(irregularities)**があり、様々な異常伝播の原因となっている
- 電離層内に僅かな疎密が生じて、磁力線を横切る電流が生じたとき分極電場が生じる。これによって電離層の疎密がさらに拡大する傾向があり、これを **電離圏不安定 (Ionospheric Instability)** という
- 一方、電離した気体は、磁力線に沿って動きやすく、直角方向には動きにくいので、地球磁場と並行する方向には均一で、直交する方向に電離層の不規則な粗密構造ができる
- その結果、**スプレッドF (Spread F)** や、この現象が劇的に発展して赤道上空1000Kmにまで達する**プラズマバブル (Plasma Bubble)** ができ、電波の散乱、屈折、位相や強度の変化が起きる
- FAIモードで通信したと言うよりも、波及効果による異常伝播が的確と思う。そうは言っても、言葉だから我々アマチュアで通用すればOKとも思う

FAI (Field Aligned Irregularities)

最初のきっかけとして磁力線と直角の微小電流 j が流れる
そしてプラズマガスは電場 (青) と磁場 (白) と直角方向 (緑) に動く
その結果、東西方向にうねる電離密度の揺らぎが、局所電場 E_1, E_1' によってさらに増幅される

この $x-y$ 平面の切り口は金太郎飴のように電離密度が同一即ち Field Aligned

電離層の疎密をうねりで表現。赤道異常などを考える上で最も重要な図

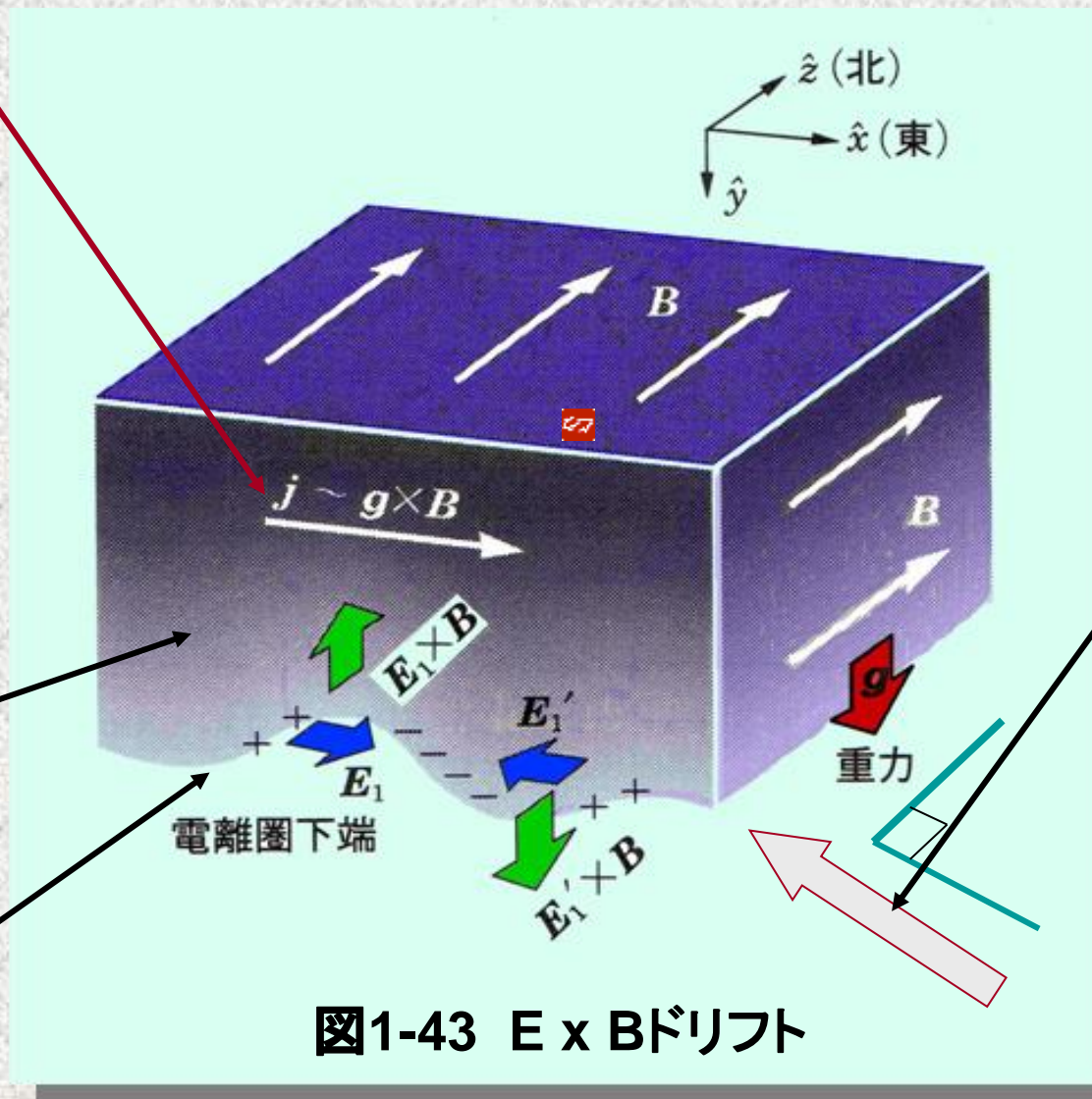


図1-43 E x Bドリフト

FAIのような不規則構造は、電波の散乱スプレッドF、赤道バブルによるTEPなど色々な波及的現象を起こす

磁力線Bに直角な方向からの電波の入射が散乱などの大きな影響を受ける

よくFAIモードで通信したと言う人がいるが、FAIは電離圏で起きるIrregularity構造であり伝搬モードではないので、FAIによるプラズマバブルで通信出来たとかFAIによるスキヤッタで通信できたと言ったほうが良いかも

TEP (Trans Equatorial Propagation) or Scatter

赤道横断伝搬

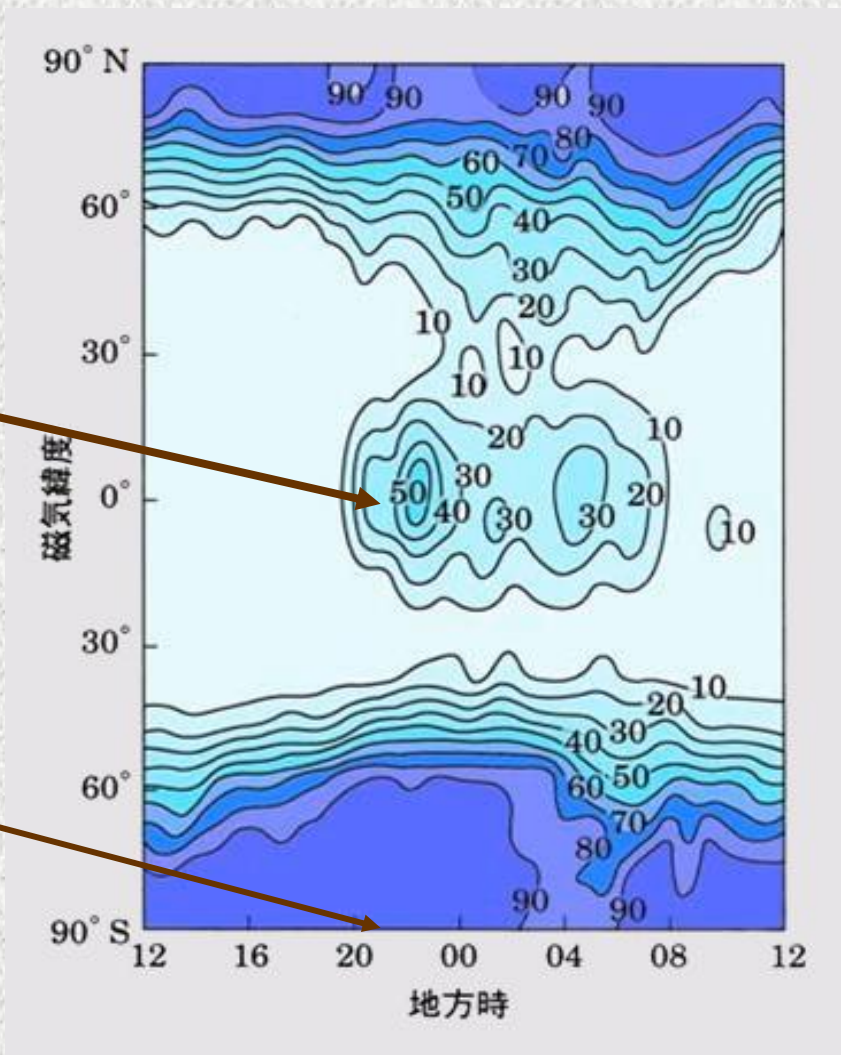
- FAIによる赤道上の電離圏の不規則構造(irregularities)が、赤道上空1000Kmのプラズマバブルまでに発達し、ダクトモードの伝播や散乱を起こす
- この伝播はVHFでの日本対オーストリアの交信でなじみ深くこれで50MHzやDXに目覚めた人も多い。VKのビーコン電波あり
- TEPの可能性が高くなる条件は：
 - 1) 夜間が良く、午後11時ごろにピークがある
 - 2) 季節は春と秋
 - 3) Solar Maximum
 - 4) 同一子午線上にあり、磁気赤道を挟む磁気緯度が同じ

TEP (Trans Equatorial Propagation) or Scatter

磁気赤道上に発達した赤道スプレッドF(プラズマバブル)が、JA-VK間の交信を可能にする。発生確率が50%にもおよぶ。

後述のサイドスキヤットも、このプラズマバブルに電波を当てている

発生頻度の高さが夜間20時から23時にピークを迎えるのをVHFマンは良くご存じ



太陽活動の極大期に発生し易い。経度的にインドから日本では春と秋、大西洋方面では北半球の冬、太平洋方面では北半球の夏に多く発生する
高層大気の風向きや電場の季節変動が影響していると考えられている

図1-44 プラズマバブルの発生確率

Spread F (スプレッドF)

- **FAI**による電離層の**不規則構造(irregularities)**即ち、電離度の粗密が生じ、場所によってサウンダーからの電波の反射位置、反射角、通過遅延に差が生じて**F₂**層からの反射の測定結果が幾つもの層に分かれる
- 電離層の疎密に従う鏡面反射で複数の反射が得られる場合と、サウンダー波長の**1/2**の疎密構造からのスキッタ反射もある
- スプレッド**F**による電波の散乱は、2ページ前の**FAI**の図で判るように**磁力線方向の電離密度の疎密は一定**なので、磁力線に垂直に電波が入ると散乱が起き易い
- **F**層は普段の均一性を失い、強い疎密を持つため、通過中に内部で複数のパスができ、通過時間の差で**信号が歪んだり、弱まったり、フラッタや2 - 4msほどのディレーを伴うようになる**
- スプレッド**F**は、磁気赤道から**±20度以内 (TEP)**と40度以上の緯度で発生しやすいが、中緯度でも起きる

Spread-Fの二つの模式図

図1-45-b スプレッドF

この模式図では、電子密度の差を、等電子密度面の高度差、うねりで表現している

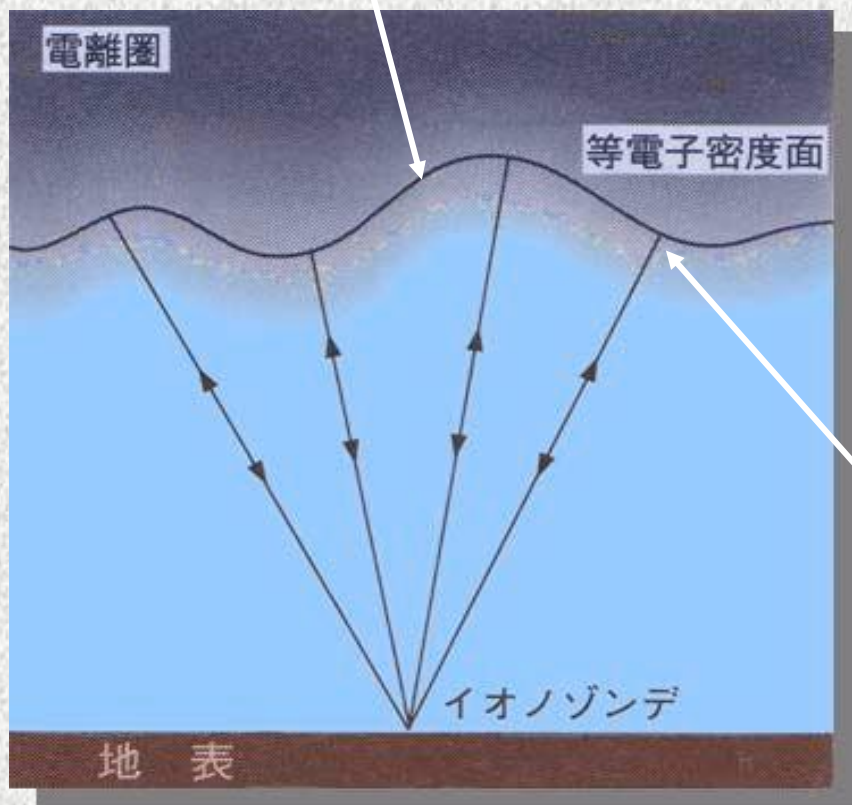
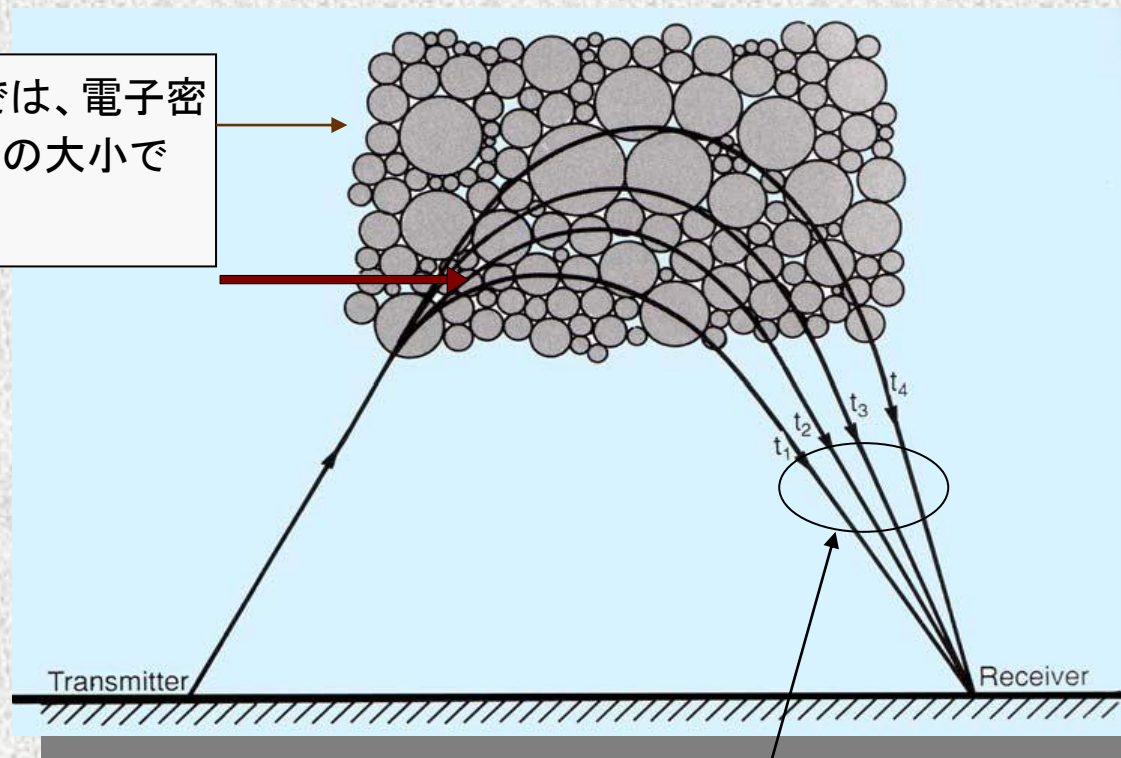


図1-45-a スプレッドF

この模式図では、電子密度の差を、粒の大小で表現している

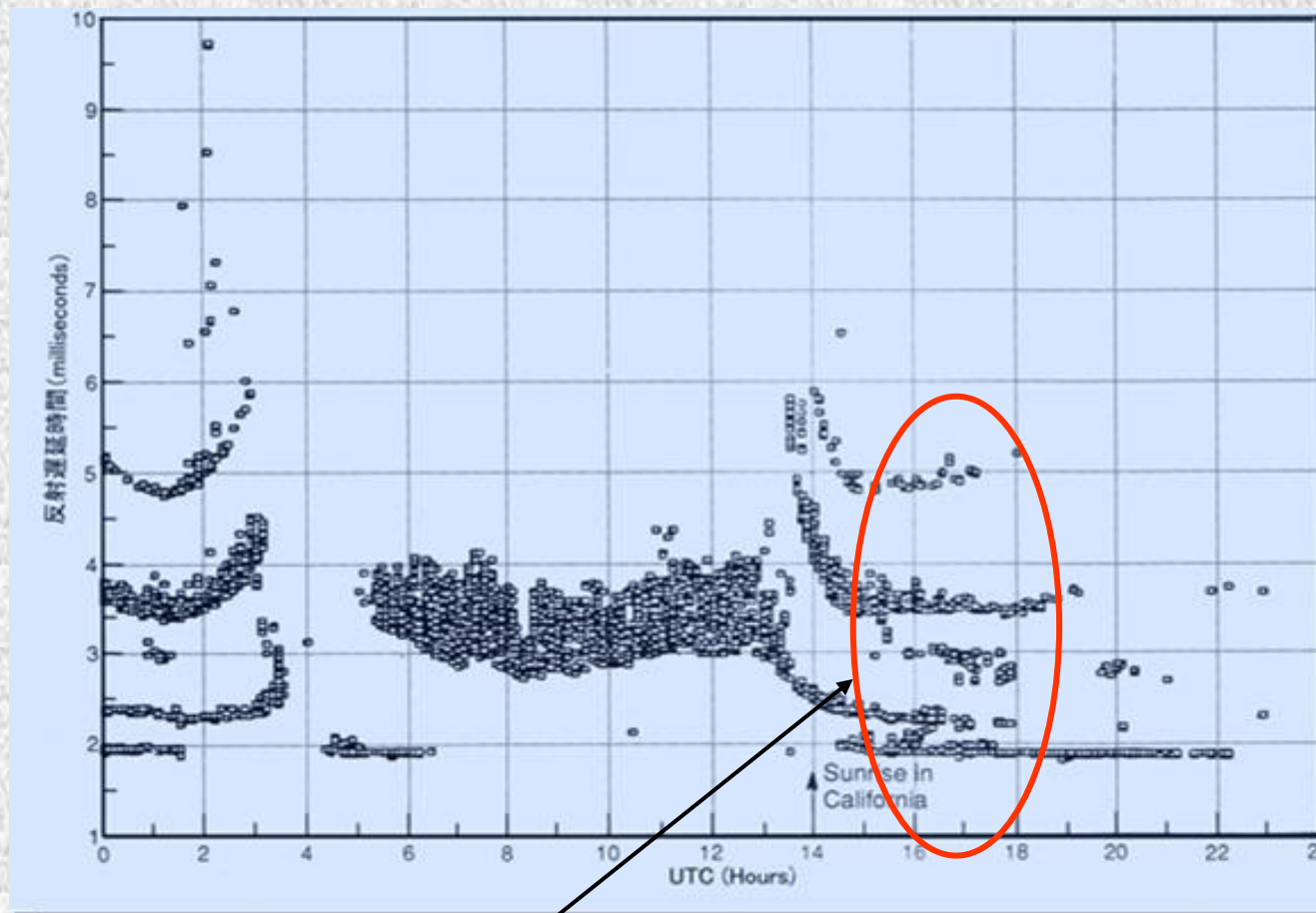


反射は、サウンダーの周波数と電離層のプラズマ周波数が一致したところでおきる

様々な電波の経路が生じることで、遅延による音の品質が劣化する

Spread-F の実測波形

図1-46 スプレッドF実測データ



FAIが原因でサウンダ(イオノグラム)のF層のプロットが何層にも広がって見える影を見ているのではなく、バブル内に実際にある電子雲の粗密を反映している

Ionospheric Scatter

前方散乱、後方散乱、サイドスキヤッタ

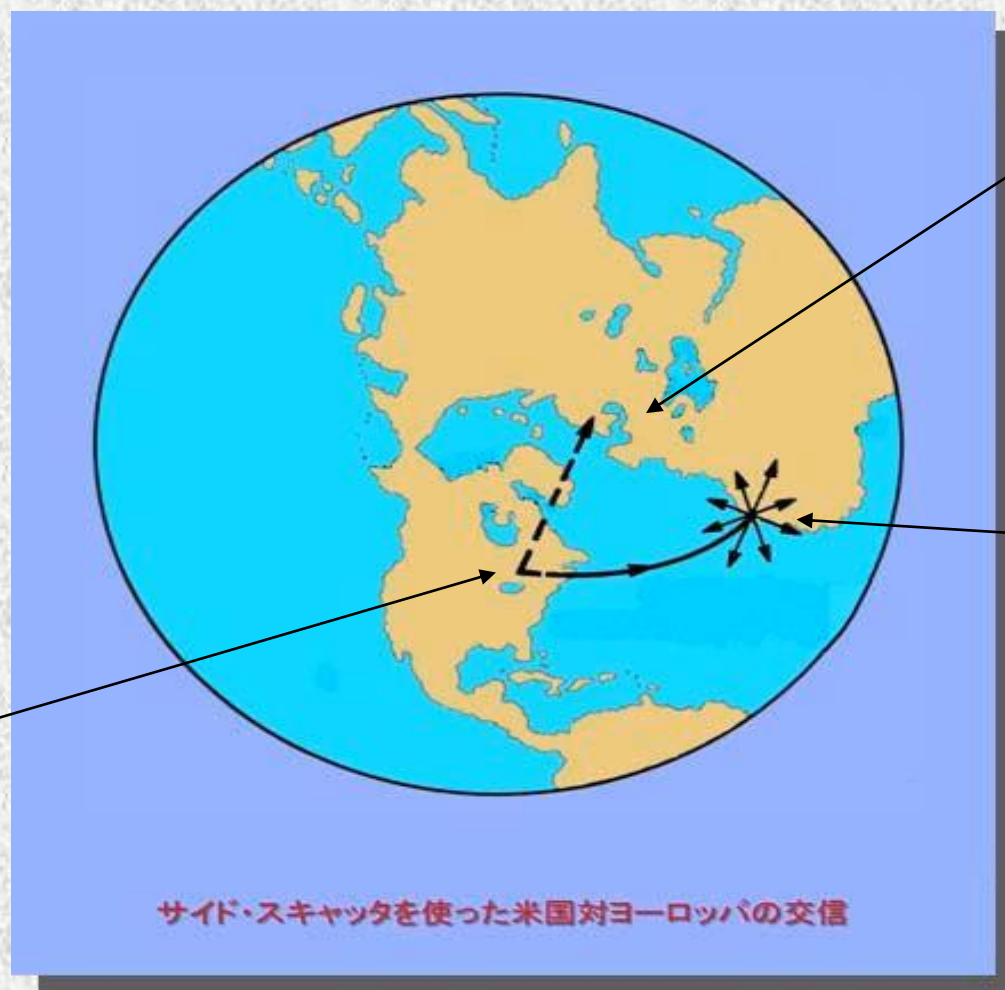
- MUFに関係なく、D層も含め全ての電離層は、反射したり通過したりした電波のうち、**ごく一部をランダムな方向に反射**する
- 戦後、高感度受信機、高利得アンテナ、高電力を使いMUFを越える21MHz - 50MHzでの通信が行われているが、50MHzではいつでも起り、春秋の夜、太陽活動が中から高にかけて発生のピークがある
- スキヤッタは磁気赤道に近接した電離圏でよく発生し、北部や温暖な中緯度 にかけては、磁気活動や電離圏嵐が活発なとき発生する
- 前方散乱を使う場合は、両局は**大圏コースにビームを向ける**のに対し後方散乱やサイドスキヤッタでは、**スキヤッタ発生地点に両者はビームを向ける**のが最良で、大圏コースから大きく外れることが多い
- 50MHzでE層の前方散乱では1000-2000Km、F層ではもう少し伸び、後方やサイドの散乱では距離は短い

Ionospheric Side Scatter

欧州対北米と全く同種のパスが、日本対北米の15m 10mのパスで認められる。北米局は南に日本は南東にビームを向ける。信号強度は弱いのでハイパワー高利得アンテナが有利

10mや15mバンドで、米国東海岸から欧州に対して、本来期待されるショートパス(点線)が、例えば極冠異常吸収PCAやF₂の電離度が低くオープンしていない場合

米国からは中央アフリカ方面にビームを向け磁気赤道方面を狙う(実線)



南西ヨーロッパの局は南にビームを向けて、散乱波を受信する

磁気赤道周辺では**赤道異常**で高い電離が起きている場合が多くこの部分でスキヤッタが起き、各方向に散乱する
太陽活動が極大期ほど有利

図1-47 サイド・スキヤッタ

Ionospheric Side Scatter

サイドスキヤッタ（日本での例）

- 北米にショートパスが開けていないとき、HF High Bands 15mバンドのDxerは南東にビームを向けると北米と交信できることがあることを知っている
- これはサイドスキヤッタであり、磁気赤道に近接した電離圏バブルで反射が起きるためオープンするパスです
- 散乱波なので信号自体が弱いので、ビームやハイパワーが断然有利です。北米局は南から南西方向、JAは南東の磁気赤道地点にビームをあわせませす
- VJQはこの伝搬モードの経験がないため（Low Banderなのだ）HFハイバンドのベテランにOn the airで確認したところ、かなりありふれた通信モードだそうです

Non-Reciprocal Communications

非双方向性通信(One Way Skip)

- 比較的単純なことだがDXerは頭に入れておいた方がよい
- 東南アジアや赤道に近い方面に移動してPeditonを運用している人たちのオペレーションが、どうももたもたしている、どうして？
- 普通AB2点間の通信は、双方向性でAからB、逆にBからAは同じパスを通ると考えられる（ほんとにヘボだったこともある 笑）
- 一つの原因として、AB両局の受信S/Nの差が無視できない
- 大気ノイズレベルは、周波数、運用ロケーション、時間帯、季節、さらに人工ノイズでもかわり、**AB両局の差が20dBを越えることは良くあり、結果的に片方だけが信号を確認する**
- こうしたことは、北半球と南半球の夏(雷のStatics大)冬(ノイズ小)の差で起りやすいので注意。40mの梅雨時もある傾向あり

Fading

フェージング(QSB)

- QSBの一番単純な原因は送受信局間を結ぶ経路に複数のパスがあるので時間と共に相互に強めあったり弱めあったりするから。電波強度の変化は電離層反射を使う全ての信号に現れる
- ゆっくりしたフェージングは数分以上、早いフェージングは数秒以下の周期で起き、実際にはそれらが混在する
- LF Bands（中波放送や160m）で見られるような周期の長いフェージングは、主にD層の（E層も少し関与）電波吸収率の変化、またはD層のランダムな高度の変化が関与している。この変化は、太陽風などの高エネルギー粒子の流れが地球磁気圏や熱圏中性大気（電離層）を押しているから
- 周期の早いフェージングは、電離層に内在する不規則構造や不安定性の為に生じ、赤道地帯、極域、ラジオストームが起きているときに聞かれる →フラッタ
こうした不規則構造(Irregularity) はマルチパスを生じ、位相、強度がばらばらで個別信号として受信機に入るので、聞きにくくなる →スプレッドF参照



QSBは懐かしい

昔々、インターネットも衛星通信も無かったその昔、国際実況中継は短波帯を使った回線で中波ラジオに中継が行われていた。大陸間を挟んだ通信で音の品質も確保しなくてはならないので、当然送信電力は大きく日本の受信側でもダイバーシティ・アンテナといって、同じアンテナを位置的に離して2つ以上設置したり周波数を2波使用して、QSBの影響を出来るだけ抑える技術を使っていた。この古い技術がUHFのデジタル通信で復活。時代は巡る

今でも耳に焼き付いているのは、『前畑勝った、勝った、カタカタカタ』、、、ではなくて(そこまで古くない)我が長距離自由形水泳界の雄『山中毅選手』であったな。メルボルンオリンピックのローズ選手などとの一騎打ちを、実況短波中継で全国民が応援していた。あの独特のQSBを伴った中継音はもう聴けない。

ラジオの深夜放送で中山千夏(ひよっこりひょうたん島の博士の声)がやっていた『まだ宵の口』という番組で凄く面白い人を紹介すると言われて出てきたのが『タモリ』。あの北京放送のQSBを伴う口真似は、新しい芸風で馬鹿受け。たぶん東京に来たばかりで赤塚不二夫の家に転がり込んだり、新宿の『ジャックの豆の木』いた頃だと思う。その後しばらく聞かなかったけど『うわさのチャンネル』でイグアナ芸を披露していたり、寮の先輩が面白い番組があるよと言うので聞いてみたら、オールナイト日本のレギュラーをやっていたりして快進撃は続く

東北の仲間の正式な発音はQSB(クーエス・ベ)。最初なんの事か判らなかったよw

Propagation Distances (到達距離)

Courtesy of NONBH

伝搬到達距離

伝搬距離(Hop)は、電波が電離に反射して地上に戻ってきたときカバーした地上での到達距離

最大跳躍距離は電離層の高度と地球表面の曲率により決まる

ここで示した最大跳躍距離は以下の条件での値：

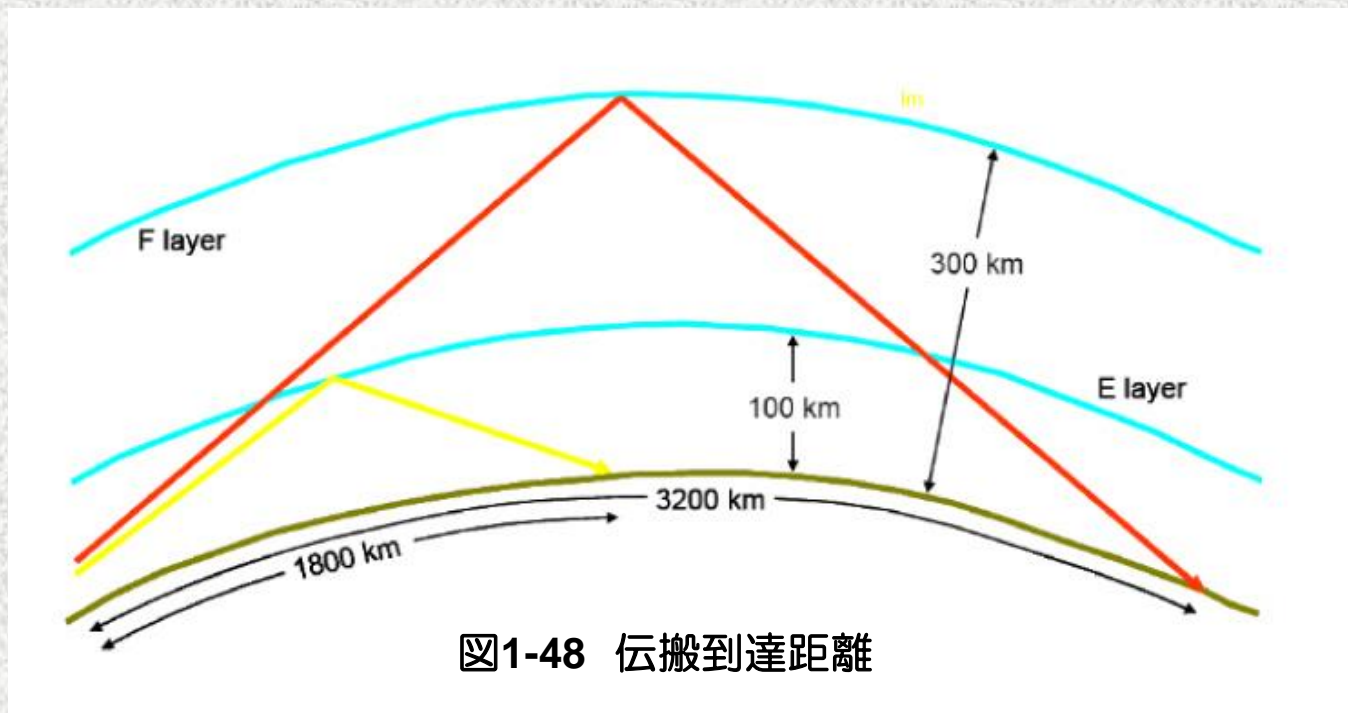
⇒ 打上げ角を 4° で計算

(この値が大きくなると跳躍距離は短くなる)

⇒ E/Fの二つの電離層の高度を図に示した値とみなした

これ以上の距離に到達させるには2回以上の跳躍が必要になる

⇒ その結果受信機で受ける信号は弱まる (D層通過回数と大地反射の回数が増える)



Simple Propagation (単純な電波伝搬)

Courtesy of N0NBH

単純な伝搬モード：

- 単一電離層で伝わる
- 大地反射を1回以上反射する場合もある
- 全てではないが多くの伝搬予測が単純予測で行える
- 電波が伝わる複数のパスは：

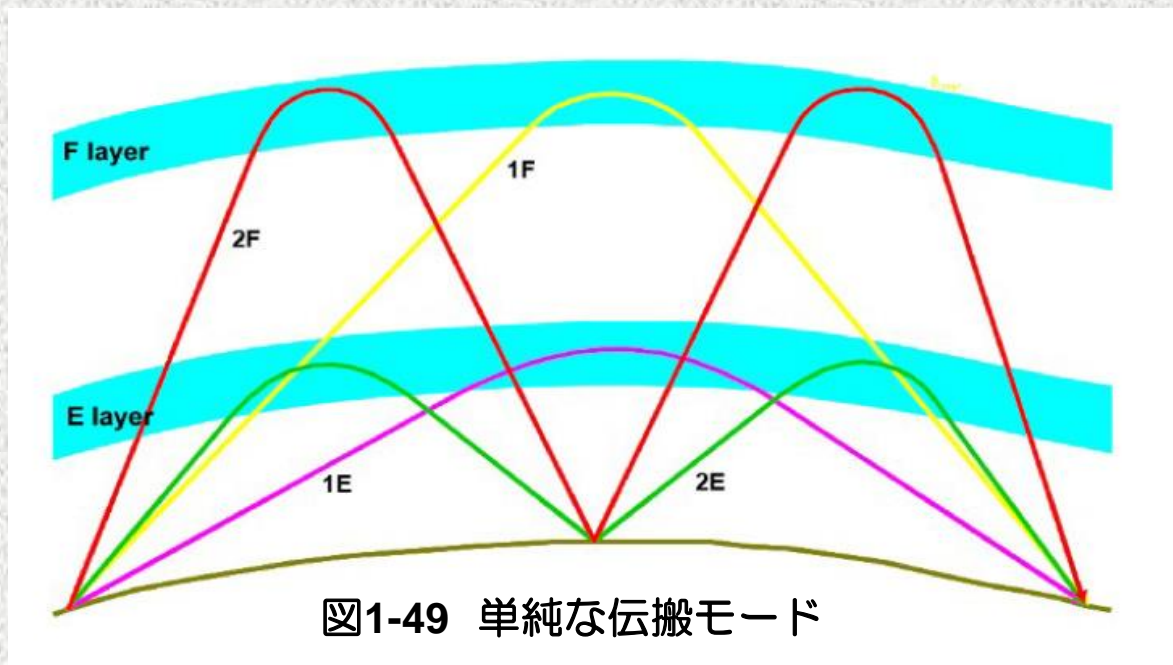
--- 1st Order mode

(1x)電波は電離層1回反射され最小反射回数での伝搬

--- 2nd Order mode

(2x) さらにもう一回の跳躍(Hop)

が必要な伝播→(図のような1F,1E,2F,2Eのような表記が普通)



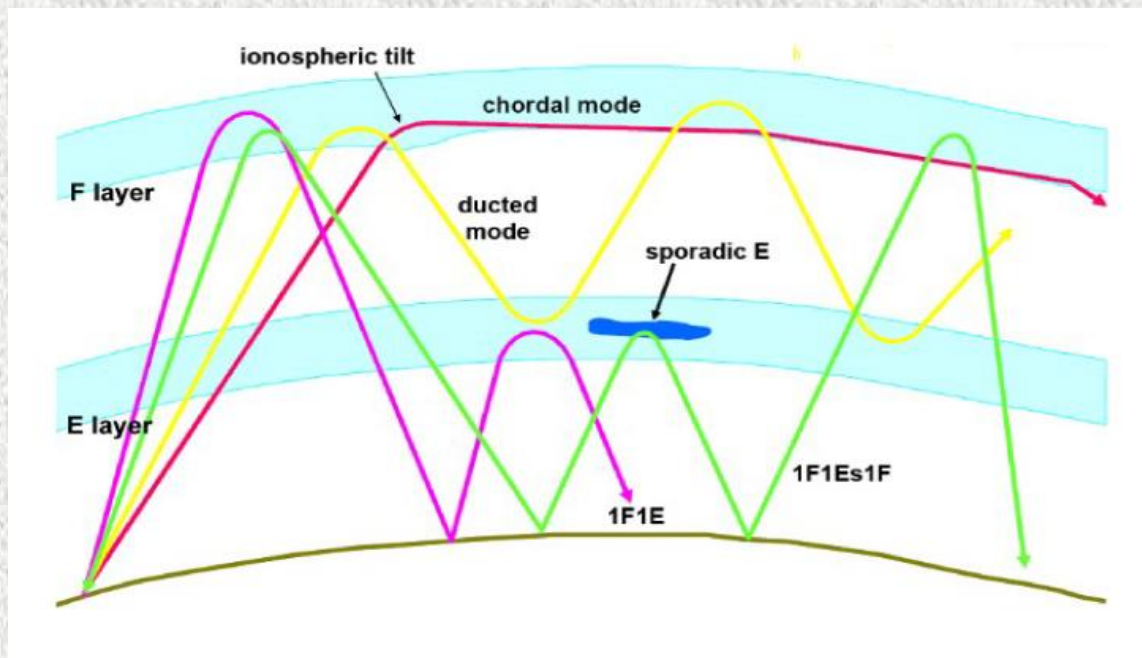
注) ここでは臨界周波数 f_o については検討していないで、反射の単純な組み合わせについてのみ議論している。後述の伝播予測HFxソフトでもこの表記を使っている

Multi Hop (Complex Propagation) Courtesy of NONBH

複雑なマルチホップ伝搬

複雑な伝搬モードはE/F層と大地で起きる反射・屈折の組み合わせで生じる

各電離層は常にスムーズで均一な構造ではなく、それが電波の反射・屈折に影響を与える

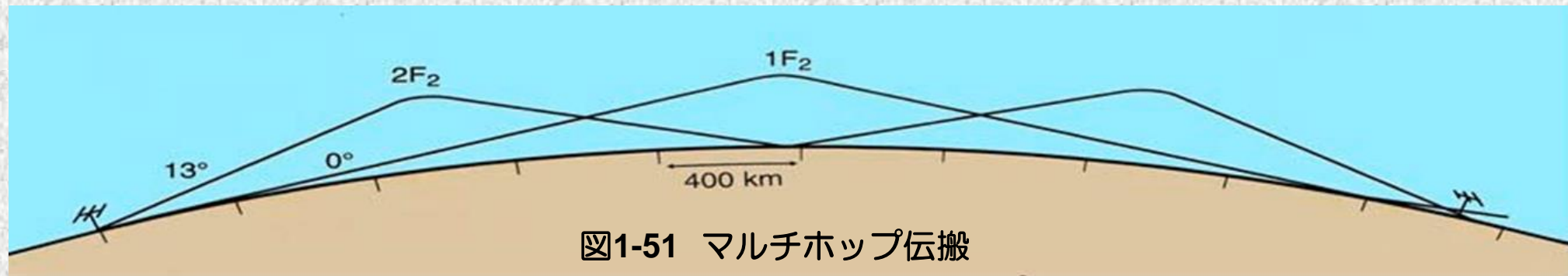


- 地球上で起きている赤道異常 (Equatorial Anomaly)、中緯度で起きる電離度の低下 (Mid-latitude trough)そして、夜明け・日没の地域などが、電波を折り曲げ(TILT)て『弓状ホップ伝搬(Chordal Mode)』や『電離圏ダクト伝播(Ducted Mode)』が発生している可能性が高い
- 『電離圏ダクト伝搬(Ducted Mode)』は、電離層間での電波の反射・屈折が起きる伝搬モード。Eの臨界周波数は低いのでEsの関与が無い限りLowBandの話と思う
- 『弓状ホップ伝搬(Chordal Mode)』はひとつの電離層だけが関与するダクト伝搬モードで、途中でD層通過や大地反射の減衰を受けず単一パスなので、信号は強力でかつQSBが少ない

Multi Hop (Propagation Distances)

マルチホップ伝搬

- ホップの回数は打ち上げ角に依存し、E層かF₂での反射となる
- 但し、E層は電離度の上がる 1)日中の正午やSSNが高い時 2)40m以下のバンド 3)打ち上げ角が低い3条件が揃った時のみ関与し、この場合20 - 40 Kmでの1ホップは不可能になる
- 昼夜をまたぐ伝搬では、E層F層の両方がマルチホップに関与し、各反射層の状態は、場所によって異なるので複雑化する
- 長距離通信のホップ回数を減らすには、低打ち上げ角が必要



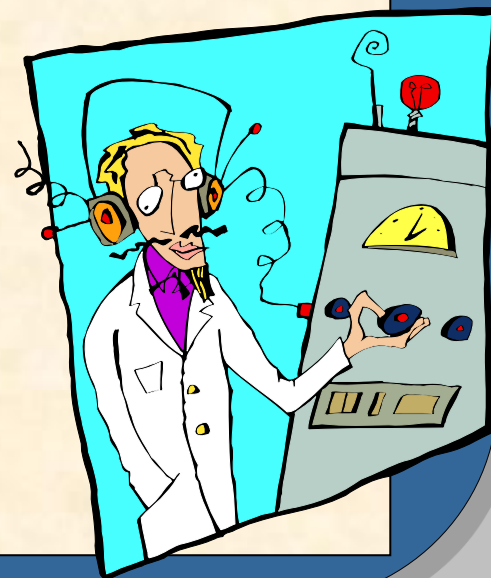


SKEWED PATH?

スキュード・パスに関する以下のコメントは殆んど想像の域をでません。お茶でもシバキながら読んでね

- 文献見てもローバンダーが議論しているからMFから160mの話と思われる
- 彼らはビバレッジというゲインはないが、SNが良く指向性の強いアンテナで大圏コースから外れた奇妙な方向から入感することがあると言っている
- MF/LFの低い電波は『ガイドド・モード』といって、電離層と大地(長波にとって両者とも電流を良く流す銅版)に挟まれてそれに沿って進む。導波管に沿って進むマイクロ波と同じ
- それなら導波管を90度回転させ、長辺を水平から垂直に立てたらどうか？
- ちまちましたEsなんかではなく、入道雲のように大規模な赤道1000Kmまで湧き上がる赤道プラズマバブルの関与ではないのか？
壁のように立ち上がる、こうした大規模構造にガイドされる？
- JA1A00のH氏が**北欧Low Band DXの大御所**のローカル局を尋ね、彼の話題を出したら、世界共通の『指を頭に向けてクルクル回した』
まあそう言われるくらいご熱心なんでしょう

なにか起きているのは確実だけど学者先生方が議論するにはデータが少なすぎ



HF Communication Link

DX Openingの基本条件

- 周波数は、送受信点間の電離層状態に基づきMUFを下回ること
 - 有効レンジの上限を既定する→**10KW入れても無理よ**😊
 - オープンの可能性自体を決める要素になる
- D層とE層を通過する際の吸収が大き過ぎず、受信点での信号レベルが、周囲の大気雑音レベル以下にならないよう、十分なS/N比を確保できていること（**電力10倍で、2MHzほどLUFを下げられる**）
 - 有効周波数レンジの下限を決め、LUF以上の周波数で運用
 - 送信電力の増加、アンテナ利得を上げることで部分的に克服可
- アンテナパターンが必要とされる伝搬モードの打ち上げ角に適したもの
 - 送信電力の大部分が、適切な仰角で打ち出されること
 - 打ち上げ角が高い場合、1ホップより2ホップの方が良い場合もある（次ページ参照）

HF Communication Link

但し、F層の臨界周波数が低く $f > f_o / \sin a$ の場合2ホップは成立せず赤い点線をたどるので悲惨
この場合アンテナに残る低打ち上げ角成分を使い1Fモードに頼るしかない

国内コンテストで近距離との交信数を増やすため、タワーを下げたり低くワイヤーを張り打ち上げ角を上げる特殊な例はあるけど、やはり総合的なアンテナ性能を考えたら打ち上げ角は低い方が良いよね

この図の例ではアンテナの打ち上げ角が高いので、点線で示す2Fモードの方が強い

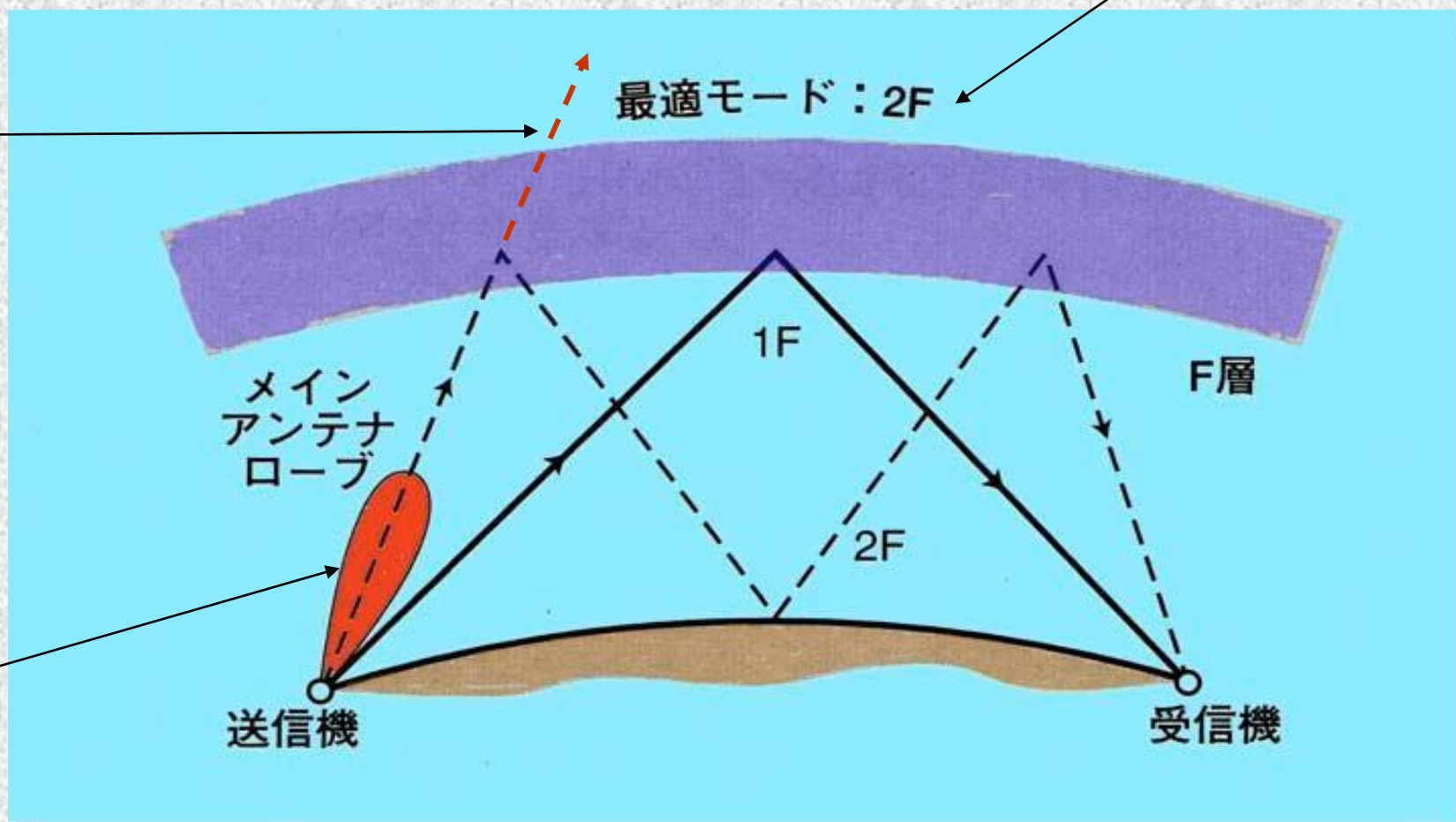


図1-52 最適ホップモード：自局のアンテナ打ち上げ角でも変わる

Fresnel Zones

フレネル・ゾーンの概念（大地反射ゲイン）

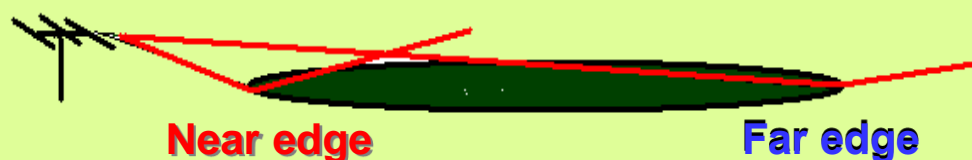
- 大地反射波を示すとき、よく1点で反射するような作図を行うが、**実は点ではなく前方に伸びた細長い楕円面が反射範囲となり、これをFresnel Zoneと呼ぶ**
- このゾーンは、アンテナの地上高があるほど、打ち上げ角が低いほど広くなり（次項の表参照）地上反射波のゲインが得られるチャンスが増えるので当然有利になる
- 移動運用などでFBなロケーションで広いゾーンを取れても、谷や丘の影響でこの反射ゾーンが無くなる場合があるが、後述の傾斜地からの運用ではゾーンは狭いが複雑性が増してくる
- フレネル・ゾーンは前方に細長い楕円形の形状をしていて、その**幅は地上高 h に対して $5.6 h$ となる**
- ビームアンテナの上空から見た半値角が広いと、この反射ゾーンをフルに反射に使えない場合があり、若干損失を生じる

Fresnel Zones

表1-4 フレネル・ゾーンの影響範囲

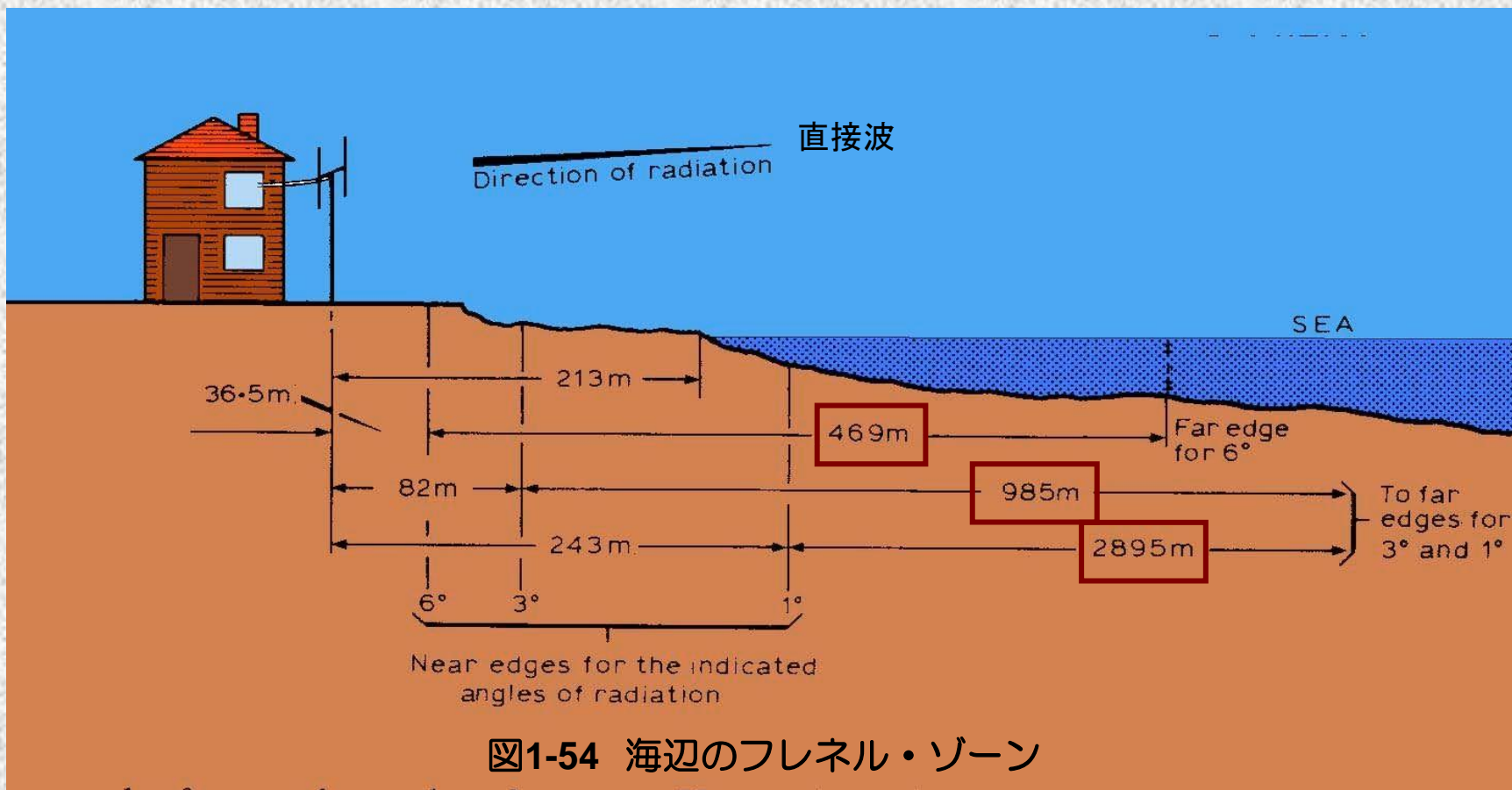
アンテナ打上げ角〔度〕	アンテナ大地反射点(最近端)	アンテナ大地反射点(最遠端)
<i>Radiation Angle</i> [degrees]	Near Edge [m]	Far Edge [m]
1	224	3136
3	83	1067
6	36	506
10	18	305
20	0	140
30	(-6)	97
45	(-15)	64

図1-53 フレネル・ゾーン概念図



打ち上げ角が1°と低いとフレネルゾーンは、244mから3Kmを越える広い範囲での大地反射が可能になる。ここでの大地反射の数dBのゲインは大きい。昔からアンテナはなるべく高く、打上げ角はなるべく低くが良い飛びの秘訣だった

QRV at the Seaside



地上高15mの垂直系アンテナで、打ち上げ角が1度, 3度, 6度の場合のFresnel Zoneの楕円長径の長さを示す

水平系アンテナでは、地上高が低いと打ち上げ角が15度, 30度程度になるので、ここまで広い反射エリアは取れない。QRP DX Pedit局が垂直系を使う理由の1つと思われる

QRV at the Seaside

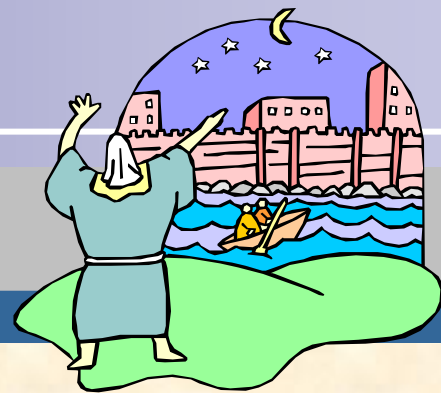
水辺、海岸からの運用

●海岸からの運用は、強い電波を送ることが出来る

1. 海岸から1-2 λ 離れた位置に垂直系のアンテナを設置
2. 地上高はそれほどいらぬ（かえって100mの海岸崖直上はよくない）
3. いわゆる軽いスロープを経由してからの、平地（又は海面）反射波がアンテナのゲインを上げる →6dB~10dB
4. 田の水や近くに川があると伏流水の効果で大地反射効率が上がる

●実際にこうした効果を利用している

1. 幾つかの軽装備のDX Peditonにて、岸辺にGPを建て運用し成果をあげている。
NCJ(National Contest Journal)のBack Numberに一部解説あり
2. JAの移動局の中にも、内容は知らずにこの現象を利用して運用している局がいる
3. まだ、効果については知られているが詳しい実験や解析がなされていない



間諜ゾルゲ

最近430MHz帯でラグチュー友達になったJI1OQ-局の話。

彼は6mマンで富津市の海岸近くに住んでいる。 サイクル23のピークの頃、他の関東地方の6mマンを尻目に、アフリカ方面と5W程度のQRPでガンガン交信していた。そんなとある日、彼の家の庭に1台の白いバンが乗りつけてきた。車から降りて彼のタワーの上に載った多素子の6m八木アンテナをしげしげと観察している。一体何かかと思って声を掛けると、なんとF社の塩畑さん(仮名)。特にアンテナ工事の依頼はしていないけど、何の用だろう??よくよく話を聞くと、某大DXerのJA1BO氏から塩畑氏への御下命で:『汝は仕事柄、千葉方面の顧客に出かけることがあるだろう。そのとき富津のJI1OQ某の所へ行ってどんなアンテナでやっているか調べて来い』

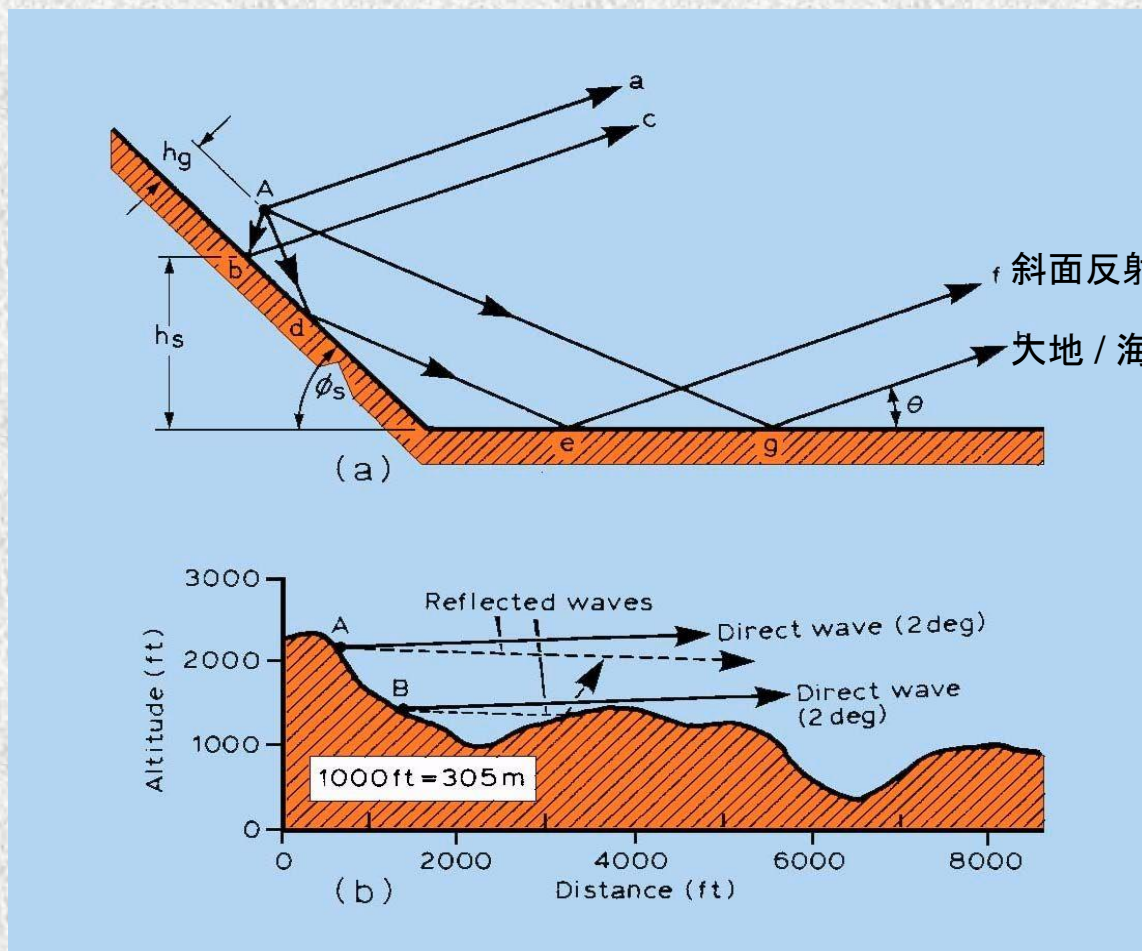
まあ優良顧客で影響力の大きい大DXerの命令では仕方が無い、仕事の合間を見て彼の家に乗り付けたわけ。某F氏がやりたくも無いMCを80mSSBでやるのと同じ。商売商売 サイクル23当時の彼は、こと6mアフリカ方面に関しては飛ぶ鳥を落とす勢い。アフリカ方面のオープニングは関東各局より30分も早いし、フェイド・アウトは30分も遅い。そして5WのQRPに下げてもアフリカと交信可能。傍で見ている某大DXerにとっては、まっこと気になる存在。あいつは一体どんなアンテナ・システム使ってるんだ? そして間諜ゾルゲを放ったわけ(笑)

富津の彼の家に遊びに行ったことは無いけど、話を聞いてその飛びの良さを簡単に理解できた。

- フレネル・ゾーン:これは本資料にあるので詳しくはそこで。地上反射波は教科書に書いてあるように地中のイメージから1点で反射するわけではなく、細長い楕円面であり、彼の場合アンテナ高があるのでその楕円の長径は数Kmに及ぶ。6dB以上のゲイン! 普通はせいぜい数百メートル
- ソルト・ウォーター:塩水なので反射効率は極めて良いし、水面は基本的に地上より平らなのでFBな反射が得られる
- 実効高:海側の土手下から見ると6λ以上の高さがあり、超低打上げ角と長いフレネル・ゾーンが得られる
- 傾斜地の効果:海岸まで数百メートルあり、なだらかに下がっているので傾斜地反射(2段階反射)が期待でき数dBのゲインとなる

塩畑さん、当時の某大DXerにちゃんと説明できたかなあ?

Ground Bounce Effect



斜面反射波の美味しさに気付いていない人は結構多い

無線別荘は海の断崖の上でなく遠くに海が見えるなだらかな丘の上にしましょう

斜面反射波

矢地 / 海面反射波

図1-55 様々な大地反射波概念図

Ground Bounce Effect

傾斜地からのオンエア

- 前ページの図(a)は、傾斜地そのものが電波を反射し、さらに前方の平地や海面に反射することで非常に高いマスト h_s として働き、とても有利な状況になることを示します

- 直接波 a と3つの反射波 c, f, h が、

1) $h_g = \lambda / (4 \sin \phi_s)$

2) $h_s = \lambda / (4 \sin \theta)$

h_s : 送信点Aにおける平地/海面からの高さ

h_g : アンテナの地上高

これらを満足した場合、全ての電波の位相が揃い絶大な効果を発揮する
またはアンテナとそのイメージが高さ h_s の2 Ele Arrayとして働く

- 以前から傾斜地の有利さに関して言及され、自宅の傾斜地の北米に対する抜群の威力を実感してきましたが、以上の原理が働いているようです

Ground Bounce Effect

傾斜地からのオンエア（つづき）

- 理想的な条件では、スロープからの反射で**6dB**、平地・海面からの反射でさらに**6dB**、**トータルで12dB!**の効果が得られる
- 図の(b)は、山岳地帯でのA局とB局の状況を示します。両者の場合とも非常に低打ち上げ角を期待できる。B局の場合は地上反射波は期待できないがFresnel zonesの効果があるので、さほど重要ではない
- 図(b)で見られる、超低打ち上げ角は通常より**10-15dBほどDXに対する伝搬損失を軽減**できる。

Effect of Obstructions

様々な障害物のある場合



- 2003年のA1 Clubの全市全郡コンテストでは、木立の生える森の中に移動地上反射波が減衰を受けるので不利。全体で**3dB以下**の損失が見込まれる常識あるアマチュアはこんな所は選ばない（笑）しかし、優勝もしたし、ロッジの台所から飛び出たヤマネにも会えた
(とっここハム太郎と命名 写真は捕らわれ中のハム太郎)
- 前方の丘は、やはり地上反射波の関係で不利。こうした場合、地上高とアンテナの設置場所が重要だが、おおむね結果は良くないとされる。しかし当局はEU方面に対しこの状態だがそれほど酷い感じはしない
- その他、障害になり得るものは、
家とその内部配線 電話線 トロリーバス架線
電力線と支持構造物 街灯とその支持物 避雷針
などときりがない

Effect of Obstructions 様々な障害物

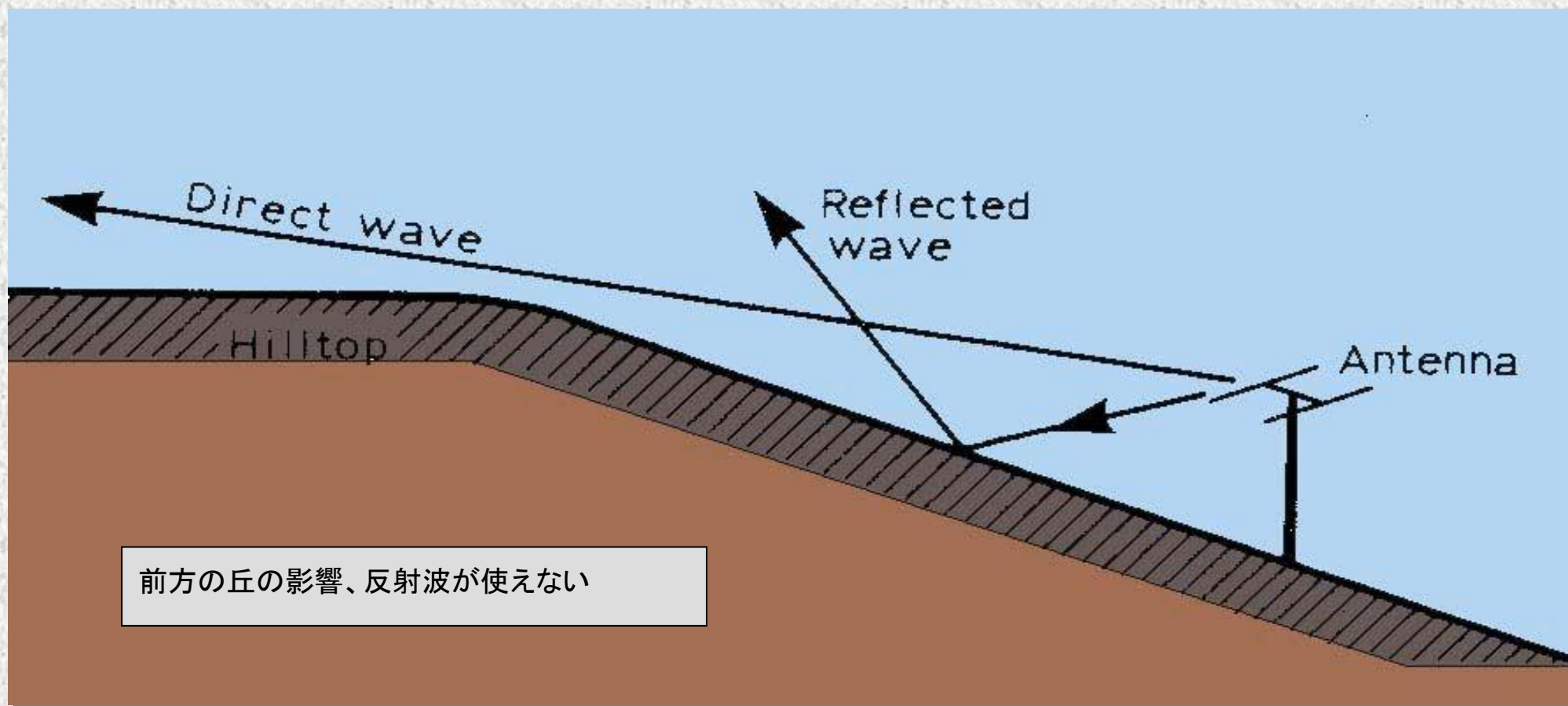


図1-56 前方の丘の影響

Effect of Obstructions 様々な障害物

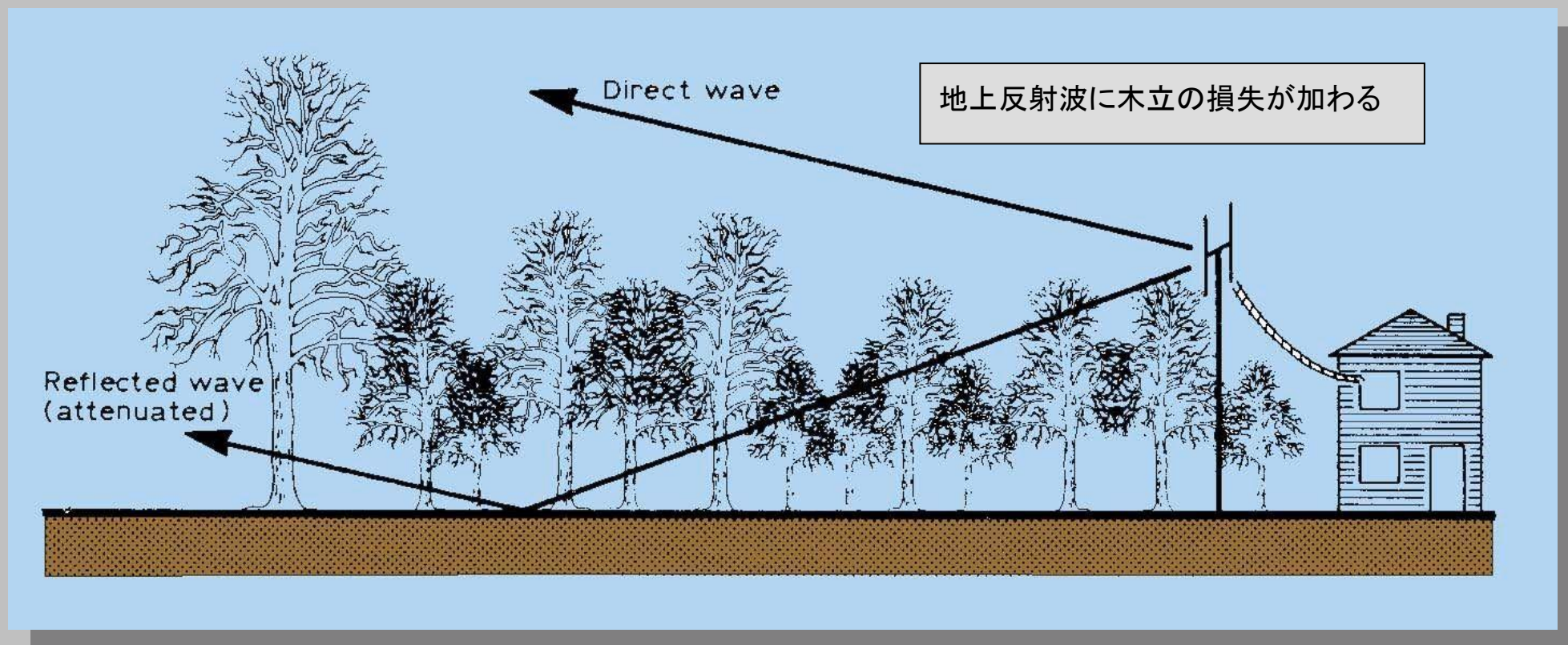


図1-57 木立による大地反射波の吸収

Ground Wave Propagation

グラウンドウェーブ

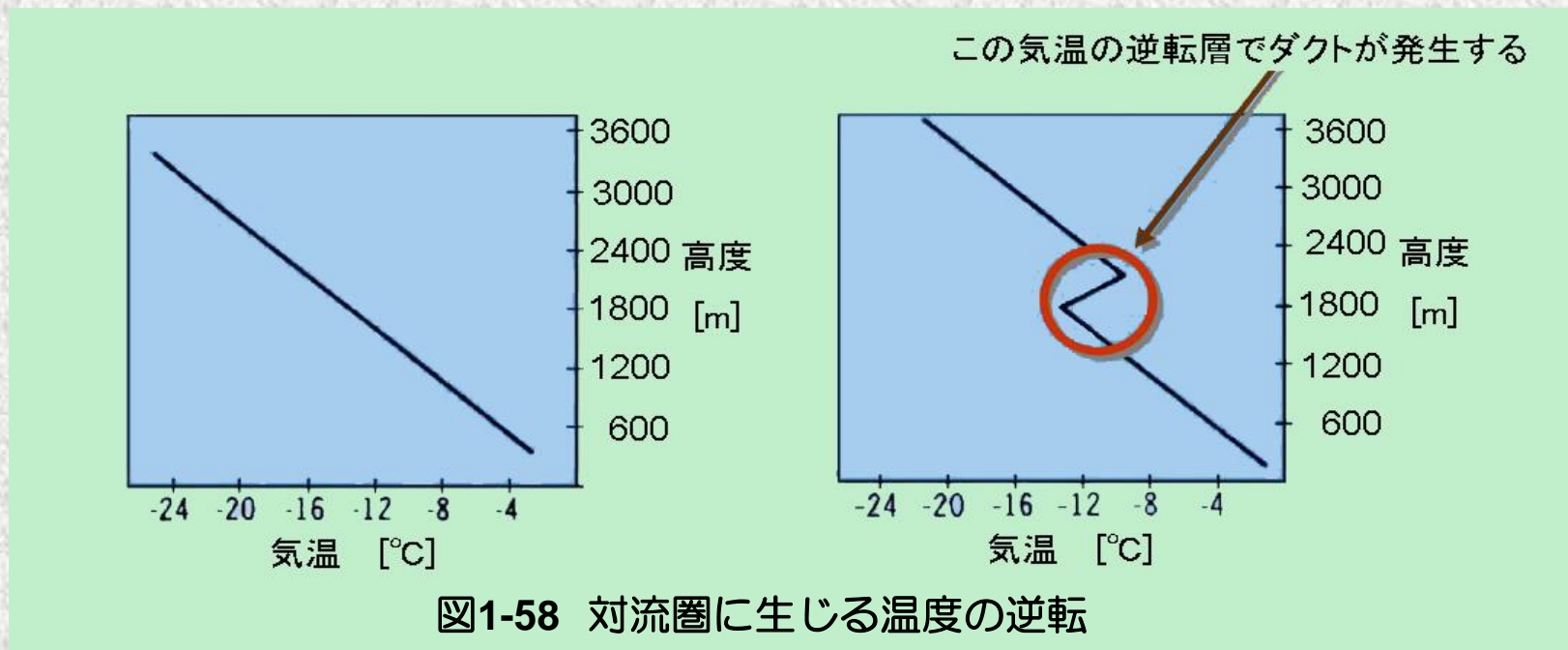
- VHF / UHFの電波は、地球を取り巻き、いわゆる気象変化が見られる対流圏上空10Km大気の変化によって、見とうし範囲外との通信が可能になる
- V/UHFの電波は、光学的地平線(Optical Horizon)よりさらに地球の曲率に沿って**1.3倍**ほど届き、これを**Radio Horizon**と呼ぶ
- 一般に、送信電力、アンテナ利得、受信機のS/N比等のファクタが一定だと周波数が上がるにつれ、地上波の到達レンジが短くなる
- 10Wと普通の設備でV/UHFは十分楽しめるが、すぐにその限界に気付くこれが、V/UHF manを大きなアンテナ、S/N比の良い低ノイズレベルの受信機、ハイパワー、良いロケーションに駆り立てる理由になる

Tropospheric Bending Propagation

対流圏ダクト伝搬 (Atmospheric Duct)

- 対流圏の通常の温度や水蒸気圧の変化は、その屈折率に変化を与えVHF / UHFの電波の到達範囲を変える
- 暑い日の後に、冷たい空気が横から流れ込んできたり、気象変化で熱帯性の暑い空気が表面の空気に乗ったとき、高度の上昇と共に温度が急激に上昇する**逆転層(Temperature Inversion)**が生じる
- この逆転層は前線と共に数千Kmも伸びてゆっくりと動き、ここを通過する電波は地球の曲率と沿って屈折する
- この逆転層が比較的小さく地表に近い場合600Kmまで伸び、数千フィートの高度のある逆転層では数千Kmの長さになる。その上下には正常な大気があって挟み込まれている →**対流圏ダクトの形成**
- ダクト高は900m-1800mあり、これによるVHF / UHF伝搬は4000Kmを越える

Tropospheric Radio Duct Propagation



ダクトは、よくアクション映画やSF映画の主人公が通気口の中をはいずり回りますが、あのダクトです。無線の場合は空気ではなく電波がああ通路を通して伝搬していきます。夏場の太平洋高気圧で発生する太平洋ダクトは、数千キロにわたって安定した通路を提供するので小笠原対国内の通信がVUHFで可能になります。世界各地で同様なパスが生じ、メキシコ湾でもダクト通信が盛んに行われています。伝わる媒質の特性の変化(この場合空気の温度)境界面が電磁波を曲げる

これは気象の変化が起きる対流圏の低い高度の伝搬ですが、さらに高い熱圏中性大気層(電離層で)もF層とE層の間を伝搬する非常に低ロスの電離圏ダクトモードの伝搬や、Fだけをスキップして跳んで行くChordal Hop Modeもあります

Tropospheric Radio Duct Propagation

トロポ伝搬(ラジオ・ダクト)の原因は何か？

- 大量の冷たい空気塊の上に暖かい空気が乗り上げ、温度の逆転層を作る対流圏内の気象条件によって発生
- 停滞する前線に沿って発生することが多い
- 海のような大量の水のある沿岸域にそって最もよく現れる
- 日の出によって上層の空気が暖められ、朝方に逆転層が発生する場合がある

対流圏伝播(ラジオ・ダクト)の補足情報

- この異なる空気の境界線は1600Km以上に達する場合がある
- 90MHz以上の周波数の伝搬に適している
- その信号には非常にゆっくりしたフェージングQSBを伴い、ときには非常に強い信号レベルになる場合がある
- 2局間に高い山の連なる高地や起伏の多い場所があると対流圏伝搬の信号はブロックされる
- 2局間が比較的平らな土地になっている場合が理想的な対流圏伝搬が期待できる
- パスが海上の場合、非常に良好な伝播が得られる場合が多い

図1-59 ラジオダクト概念図
(courtesy of N0NBH)





キング・ソロモンの法則 JA1KS

JA1KS 故栗山OMは我々より2世代前の大OMで鎌田の無線クラブに所属されていた。当時VJQは世田谷の宇奈根町の貧乏長屋に住んでいた。誘われて老舗の城南クラブのミーティングに出席したときお会いしたJA1KM福士OMなどと同世代で、両者の面識はたぶんあったのだろうと思われる

自分の聞き覚えている『キング・ソロモンの法則』は少しネットなどの情報と異なっている。

『日本周辺に**閉塞前線が停滞**したとき、VHF(6m)がオープンしやすい』

であり、寒冷前線とか単に前線とは仰っていなかったような記憶がある。もちろん記憶違いもあると思うが閉塞前線がずっと頭の中に残っている。それと彼は6mメインだったのではなからうか？

上層大気や電離圏の研究がまだ未発達の当時、新聞の天気予報片手に、6mの運用で傾向を掴んで行った努力は半端ではない[現代若者用語＝パネッスよ] トロポ(ダクト)の伝搬はVHF帯ではUHF帯より通信品質がはるかに劣るのと、おりしも梅雨の閉塞前線とEsの発生ピークは近いことを考えれば6mのEs伝搬も統計にカウントされていたと思う。

彼の発表レポートを見たこと無いが、ダクトは緩やかなQSBを伴い弱いが比較的安定した信号、かたやS9+でアップダウンが強くサービスエリアもどんどん変る。果たして明らかに受信特性の違うこの二つの伝播モードを先輩が区別なさっていたかは今になっては不明

Tropospheric Scatter Communication

対流圏スキャッタ通信

- 高出力の送信機、大きなビームアンテナシステム、高感度受信機の出現で、VHF / UHFの電波が地平線を越えて、驚くべき距離まで飛んでいく事が理解されるようになった
- 信号強度そのものは弱いですが、天候や電離層に左右されず極めて一定の受信が可能で、低層大気中にランダムに存在する不規則構造に反射する
→これを**対流圏スキャッタ (Tropo-Scatter)**と呼んでいる
- こうした不規則構造は、地平線を遙かに越えて微かな信号を屈折する
- 到達距離に理論上の制限はないが、アマチュア無線レベルでの実用上は800Km-1100Kmの通信距離となり、この際CWを使い、高パワー、高利得のアンテナ、S/Nの良い受信機、ロケーションに配慮が必要になる
- 光通信海底ケーブル・衛星通信の発展で過去の技術になっていると思われる

Tropospheric Scatter Communication

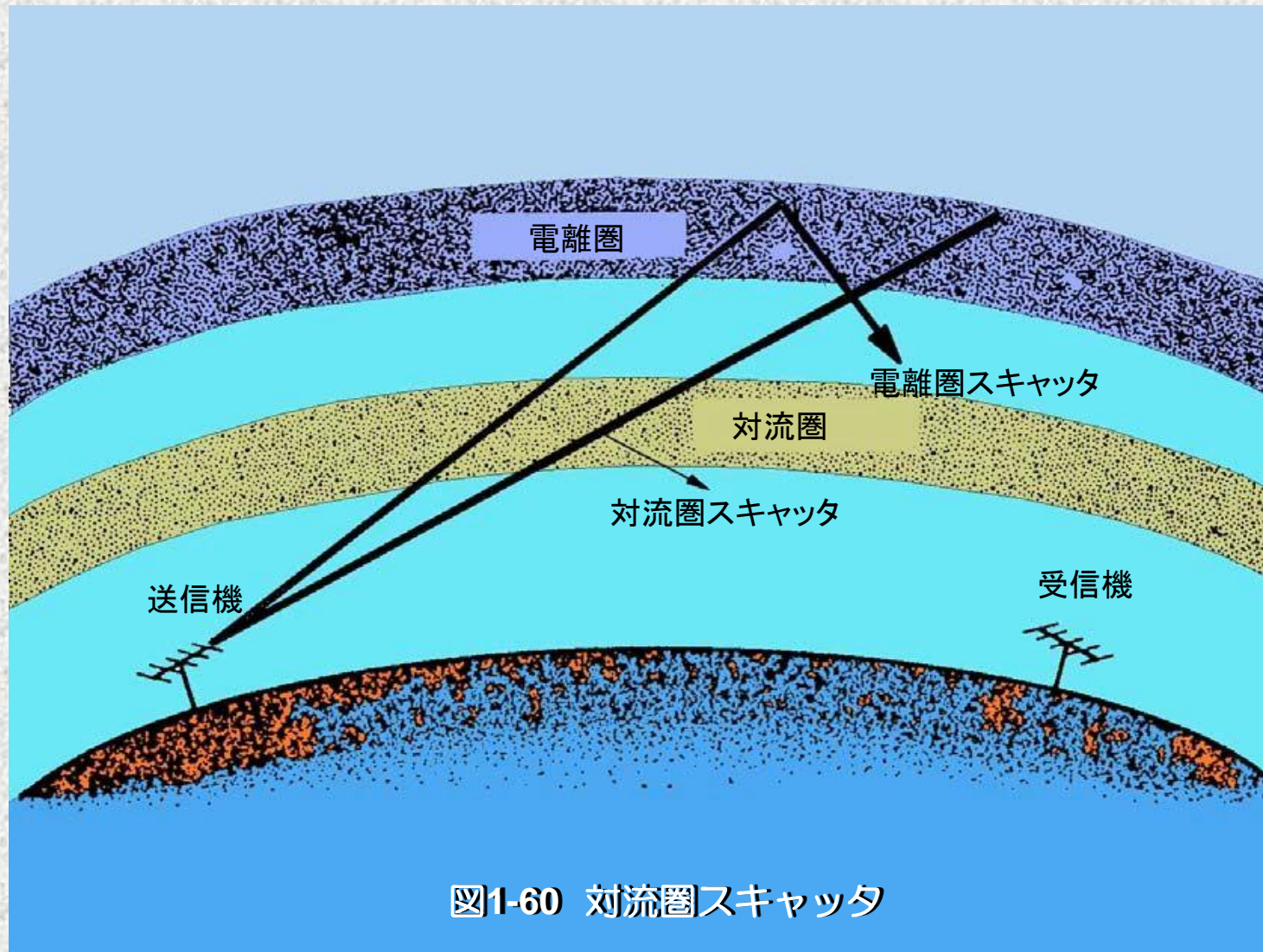


図1-60 対流圏スカッタ

非常に弱いながらも安定した対流圏で起きるVHF/UHFのスカッタを高性能受信システムで受信する

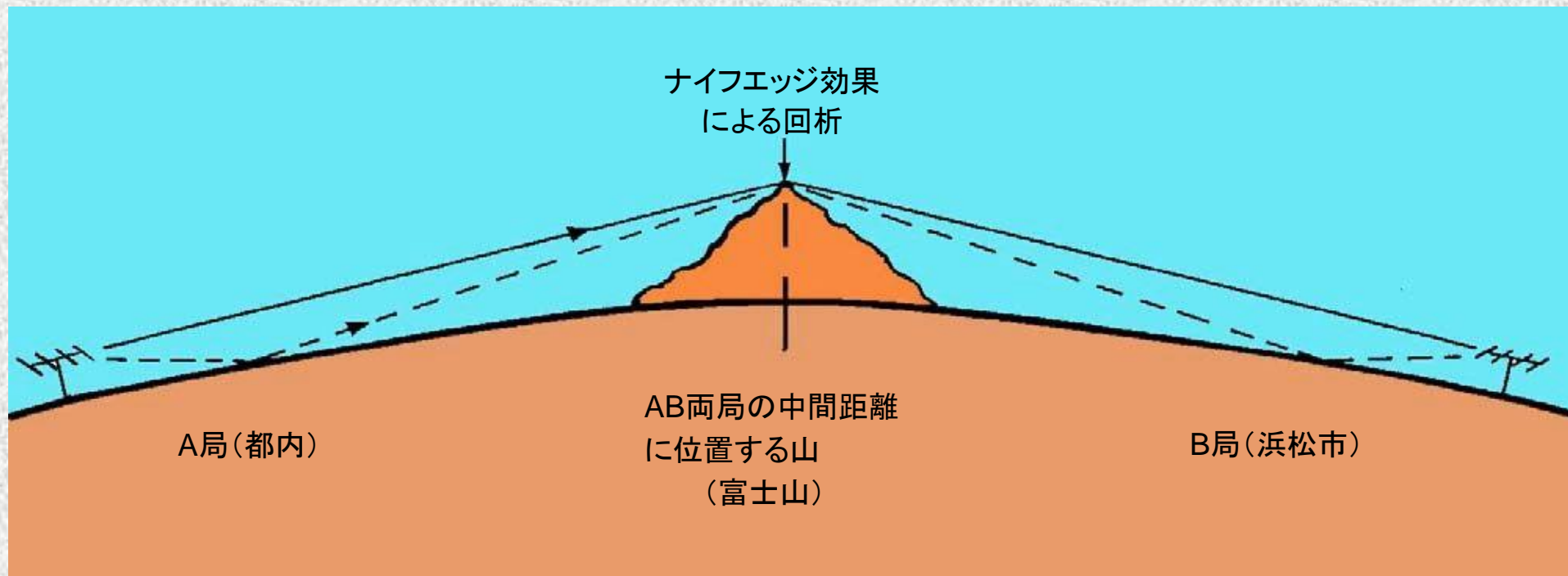
以前パラボラを使って九州と韓国を結ぶ商用回線の成功が伝えられたが、恐らく光海底ケーブルに変わっているのではと思う

Knife-edge Diffraction

ナイフエッジ効果

- VHF / UHFの電波が山岳の頂上に当たると、そこで回折が起き山の向こうに回り込みを起こして、見とうし範囲外との通信が可能になる
- これには幾つかの条件があり、
 - 山岳がA, B両局の間距離にあること
 - A局、山岳、B局がほぼ一直線上に並んでいること
- 関東地方で一番有名なのは、都内と浜松市の富士山のナイフエッジを使った交信で、59を送ることが可能になる
- 一直線の条件があるので、都内ローカル局同士でも浜松の相手が聞こえない場合がある

Knife-edge Diffraction



富士山のナイフエッジ効果は、VHF/UHFでは昔からよく知られていて、大いに利用されている。通常よりも何dBも強い信号を送ることができる

当時はNew Comerだったので、大OMの6mナイフエッジ交信を世田谷で指くわえて聞いていた

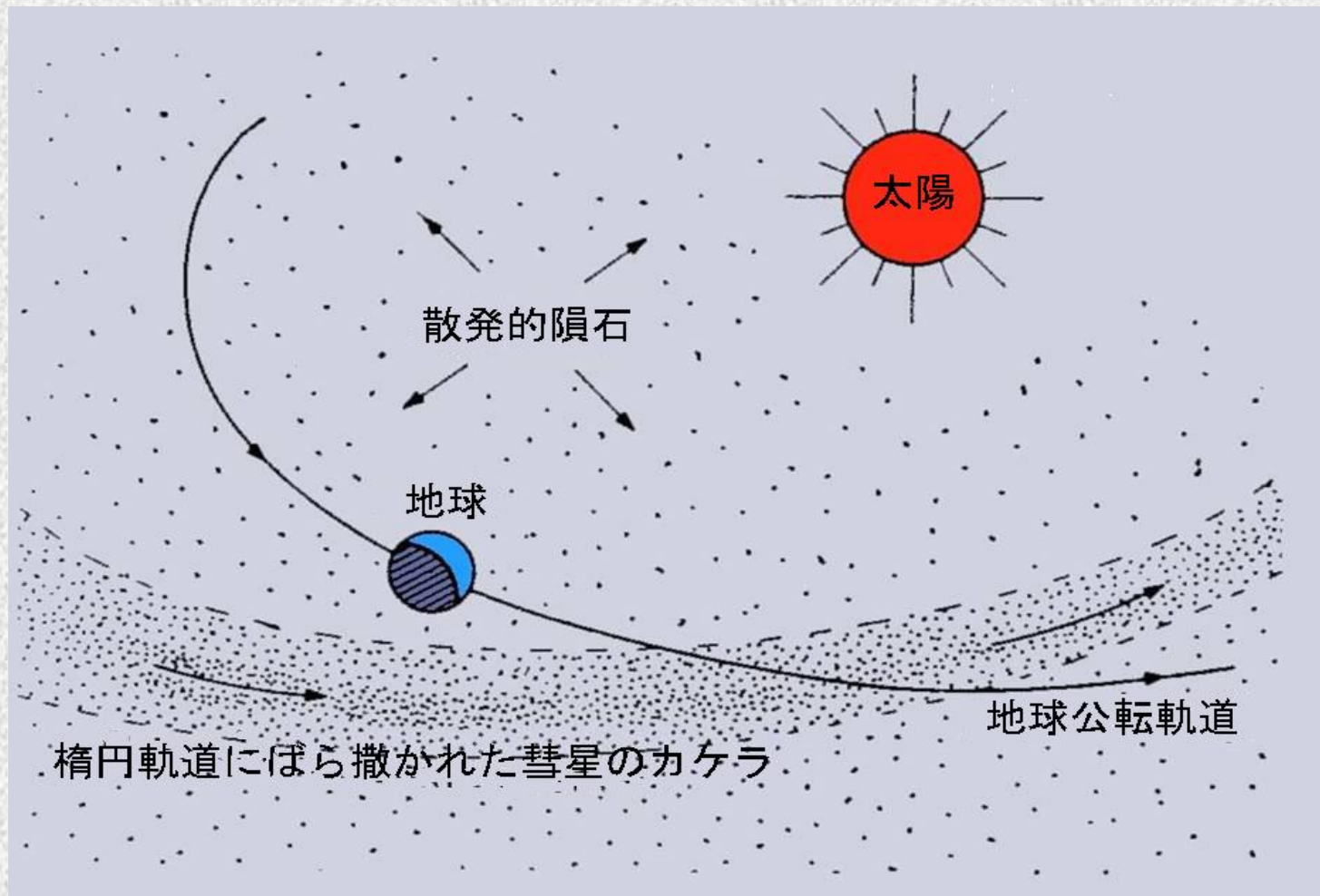
図1-61 ナイフエッジ効果

Meteor Scatter Propagation

メテオ・スキヤッタ

- 地球には顕微鏡レベルの大きさも含め、一日に120億個を超える多くの隕石が降り注いでいるが、年間を通じて様々な期間大きな隕石が集中する場合がある
大気圏への突入スピードは60Km/sec程度だが、当たったら痛そう
- 隕石が大気圏に突入すると、大気との強い摩擦による高熱のため、その通過経路に電離したトンネルを作り、これが電波を反射する。火球と呼ばれるような明るい流星でも大きさは1cm以下で、平均の大きさは数mmしかない
- 一般に、こうした現象は夜間徐々に増加し、夜明け前にピークを迎える。そして、夜明けと共に減少する傾向がある
- メテオ・スキヤッタによる伝搬のピークは、6月から8月に掛けて発生するがこのモードに最も適した流星群はペルセウスと双子座の流星群である
- オープニングはせいぜい10秒から30秒程度なので、信号をPSKなどで圧縮したり、スケジュール交信などの工夫が必要となる

Meteor Scatter Propagation



彗星の軌道に撒き散らされた彗星の欠片の中に、地球が通過して流星群の出現となる

毎年必ず通過する幾つかの主要な彗星軌道があり、放射点の星座の名前を付けられている

次ページに主要な流星群のリストと極大を示す

広大な彗星軌道と地球の公転軌道が交わる部分は極限られた領域なので、両者はほぼ直線的に進んでいる。

雨上がりに雲の切れ間から平行光線であるはずの太陽光線が放射状に見えるのと同様で、これが流星群が天球上の一点から放射状に流れ出るように見える理由

図1-62 地球公転軌道と彗星楕円軌道の交差

Meteor Scatter Propagation

メテオ・スカッター通信の可能性

- 隕石が大気圏に突入したとき、その経路に沿ってイオン化した粒子からなる流星痕を残す
- 太陽活動が電離層に影響を与えるのと同様にイオン化した粒子によって通信回線が開ける
- 最大2250Kmに達する通信距離は以下の要因が影響する

イオン化が生じた高度(流星が燃え尽きた場所)

流星が落下した地球上の位置

大気への進入角度

通信を試みる各局の位置

- 通信は普通長くても数秒間しか持続しない
- 1日数万個以上の隕石が大気圏に突入してくることに注意(流星雨より多い数)

メテオ・スカッター通信の利用方法

- 普通は無線局どうしで事前に計画したスケジュールで運用する
- 一般的なのはこの通信モードは予測が難しいのでPCのプログラムを利用して自動化した受信を行う
- メテオ・スカッターにはどのような通信モードでも使うことができる
 - SSBIによる音声送信がよく行われる
 - 最大800wpmの送信速度でのモールスコードがより良い(後に遅い速度でプレイバックしてコピーする)
 - 幾つかのデジタル・モード(コンピュータ・プログラム)が入手可能(WSJTのプログラムを入手する)

図1-63 メテオスカッター
(courtesy of N0NBH)

主な流星群と特徴 (Meteor Showers Table)

表1-5 流星群一覧表

流星群	平均極大日	期間	Burst/時間	最適時間	方向	その他
四分儀座	1月3日	1月1-4日	50	0200-08000800-09000900-1430	NW-SE SSE	強いシャワー 高速いん石
水瓶座	5月4日	5月1-6日	15	0500-06000630-08300830-1000	NE-SWE-WNW-SE	高速粒子
牡羊座	6月7-8日	6月1-15日	60	0500-07000715-09000900-10001030-12001230-1415	N-SNE-SWE-WNW-SEN-S	昼間のシャワー強 小型で低速粒子
ペルセウス	8月11-12日	8月10-14日	50	2230-04000500-07000800-1300	NW-SEE-WNE-SW	大型いん石 最良のシャワー
オリオン座	10月21-22日	10月18-23日	20	0030-01300130-03300330-05000500-07300730-0830	N-SNE-SWE-WNW-SEN-S	-
獅子座	11月16-17日	11月14-18日	15	0200-03300330-05300530-07000700-09000900-1100	N-SNE-SWE-WNW-SEN-S	-
双子座	12月12-13日	12月10-14日	60	2100-23302330-01300130-02300230-04000400-0730	N-SNE-SWE-WNW-SEN-S	活動が確実 最良のシャワーが期待できる
こぐま座	12月22日	12月21-22日	15	2300-1600	S	-

VHF/UHF Propagation

最後にVHF/UHFで見られる伝搬モードを表にした

伝搬モード	50MHz	144MHz	220MHz	430MHz	1215MHz
地表波・直接波	通常モード240Km	通常モード160Km	通常モード120Km	通常モード120Km	通常モード80Km
スカッター	良800Km	良400Km	可	不良	劣悪
メテオ・スカッター	最良2400Km	最良2400Km	良	不良	無し
オーロラJET反射	最良	最良	良	可	無し
トロツポ	不良	良	最良	最良	最良
F2電離層反射	最良(@Solar Max)	無し	無し	無し	無し
Es電離層反射	最良	良好だが稀	無し	無し	無し
EME	可能だが困難	活動活発	活動あり	活動活発	活動あり
衛星通信	-	可能	-	可能	-

表1-6 V/UHF伝搬モード一覧表

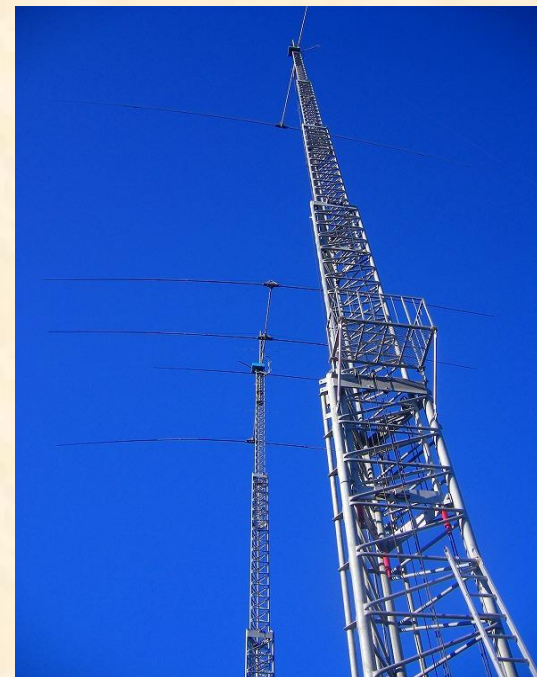


最強のシャックとロケーション Jx1xxx

私のお友達を紹介します。クイズ私は誰でしょう：

- 他のどの局より先にDXが聞こえ交信できるのが好きです
他に他意はありません、それだけです(私が尊敬の理由)
- 珍局のカードは集めますが単なる結果です
- 性格は底抜けに陽気です
- ビッグガンクラブに誘われてますが遠慮し続けています
(あまりややこしい人たちと関わるしがらみが面倒でヤダと
思っていると見ている---VJQの観測)
- 千葉鹿野山山頂320m/900坪に40m高のルソータワーを
2本上げ、モンスターIRと80m2エレ(写真)
- モンスターの水平スタックとタワー基部での回転を計画中
- 短点ばかりのコールサインなので、VJQがDXを呼び終える
前にスタンバイしています
- 兄貴は秋葉原商店街の会長さんしていて、そっくりな顔し
てます(秋葉ホコ天再開でNHKインタビューにご出演)
- 某F社が日本のTOP3に入る総合システムと言ってた

実際、この最強のロケーションと設備には圧倒されます



最もお手軽なコンディション確認

NCDXF (Northern California DX Foundation) Beaconの利用

- 世界各国が順番でCW/連続波のビーコンを連続的に18箇所から発射している
- コールサイン(3秒間)と4段階(100/10/1/0.1W)にパワーを切り替えながらキャリアを送信(4秒間)します
- 1局10秒の持ち時間 但し停波中の局あり
- 一周までの時間待ちはあるがこれほど単純で直接的な手段はない
- こういうアイデアを出せる発想力が凄い We are the worldと同じ



20m	14.100MHz
17m	18.110MHz
15m	21.150MHz
12m	24.930MHz
10m	

図1-64 NCDXF Beacon

市販の伝播予測プログラムの利用

HFxの使用例(基本入力)

The image displays two windows from the HFx software. The main window is titled "Basic Inputs" and contains the following fields:

- Date and Time:** Year (1995), Month (9), Day (26), Time (1200) UT, and a "Current Date" button.
- Miscellaneous:** Transmitter Power (100.0 Watts), Minimum Take-Off Angle (3.00 Deg), K Index (0), and a checked "E-Layer Bending" option.
- Path:** Radio buttons for "Short" and "Long".
- SSN/Flux:** A numeric input (100.0) and radio buttons for "SSN" and "Flux".
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help".

The "Temporal MUF Inputs" window is overlaid on the bottom right and contains:

- Transmitter Location:** Latitude (34.10 deg N), Longitude (118.20 deg W), and Callsign (W6).
- Receiver Location:** Latitude (48.80 deg N), Longitude (-2.30 deg W), and Callsign (F).
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help".

Annotations in Japanese point to specific fields:

- "日付・時間の入力" (Date and time input) points to the Date and Time section.
- "Short Path or Long Path?" points to the Path radio buttons.
- "太陽黒点数SSN or SFI (Solar Flux)" points to the SSN/Flux input.
- "E層でのTILTや極域での減衰を配慮" (Consider TILT in the E layer or attenuation in the polar region) points to the "E-Layer Bending" checkbox.
- "送信電力とアンテナ打ち上げ角" (Transmitting power and antenna elevation angle) points to the Transmitter Power and Minimum Take-Off Angle fields.
- "地磁気情報 K-Index" (Geomagnetic information K-Index) points to the K Index field.
- "自局位置の入力" (Transmitter location input) points to the Transmitter Location fields.
- "相手局位置の入力" (Receiver location input) points to the Receiver Location fields.

図1-65-A/B HFx入力画面

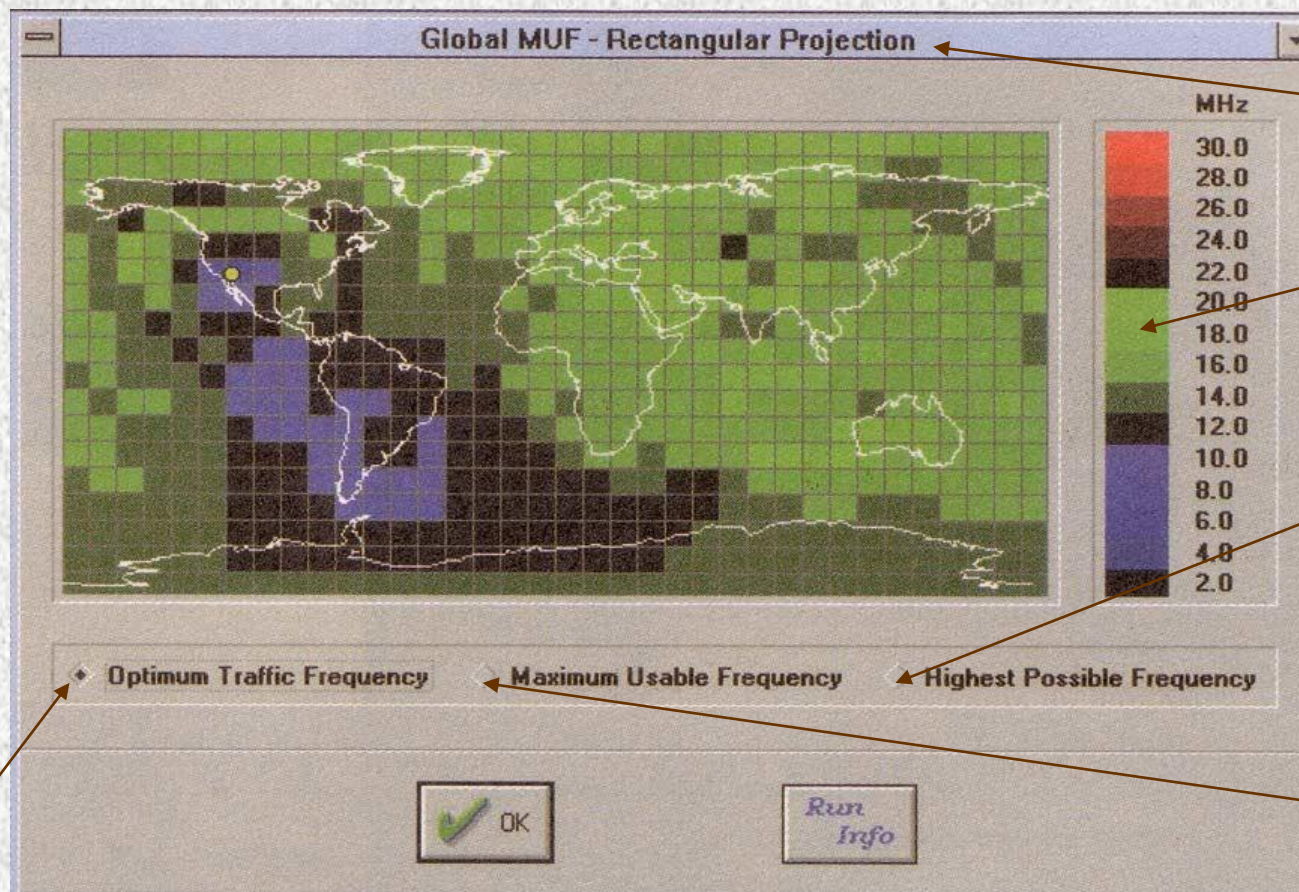
市販の伝播予測プログラムの利用

HFxの使用例(3種の実出力情報-- Global MUF)

最高の通信品質はMUF近傍で得られるのでMUFは伝搬予測に必須の出力情報となる

こうした予測ソフトで得られる情報は、長年の電離層観測から得られたデータベースに基づく予測値で、リアルタイムでは無いのに注意

FOT表示への切り替えボタン
90%の確実性



自局対全世界へのMUF情報

MUFの周波数別色分け

HPF表示への切り替えボタン
10%の確実性

MUF表示への切り替えボタン
50%の確実性

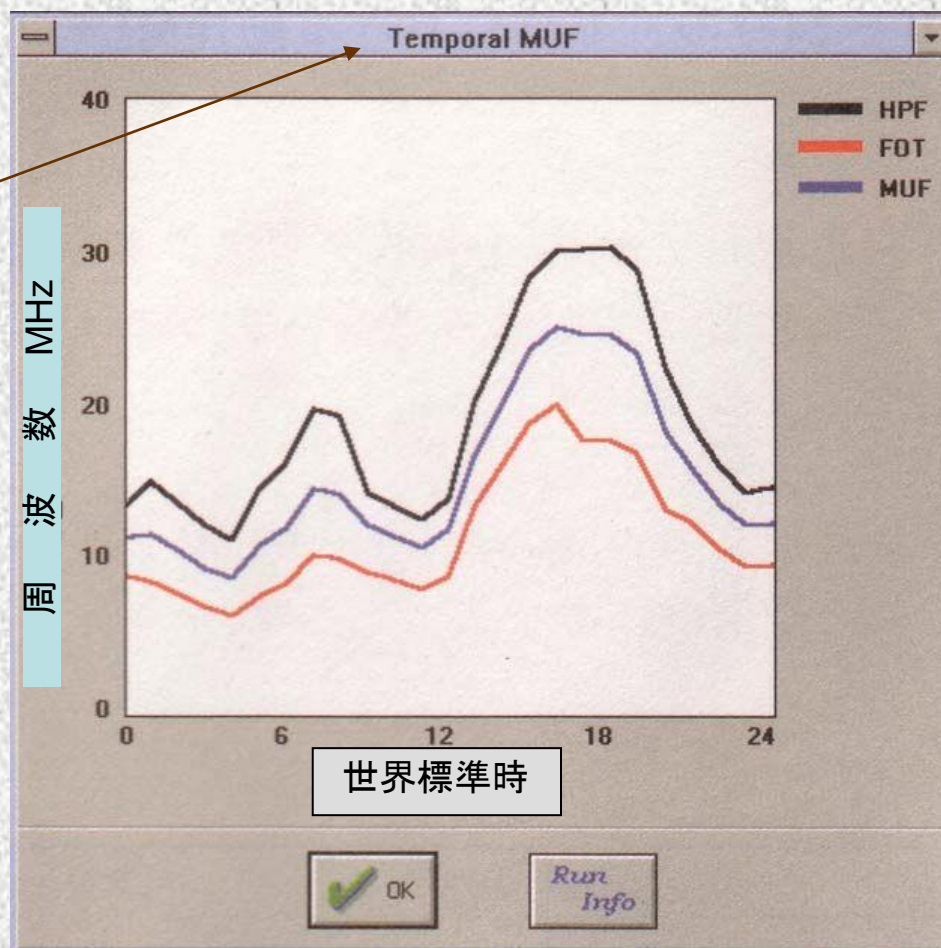
図1-65-C HFx出力画面

市販の伝播予測プログラムの利用

HFxの使用例(3種の実出力情報---Temporal MUF)

自局対特定地域へのMUFの時間的推移

図1-65-D
HFx出力画面



MUFの結果からHPFとFOTを自動表示する

市販の伝播予測プログラムの利用

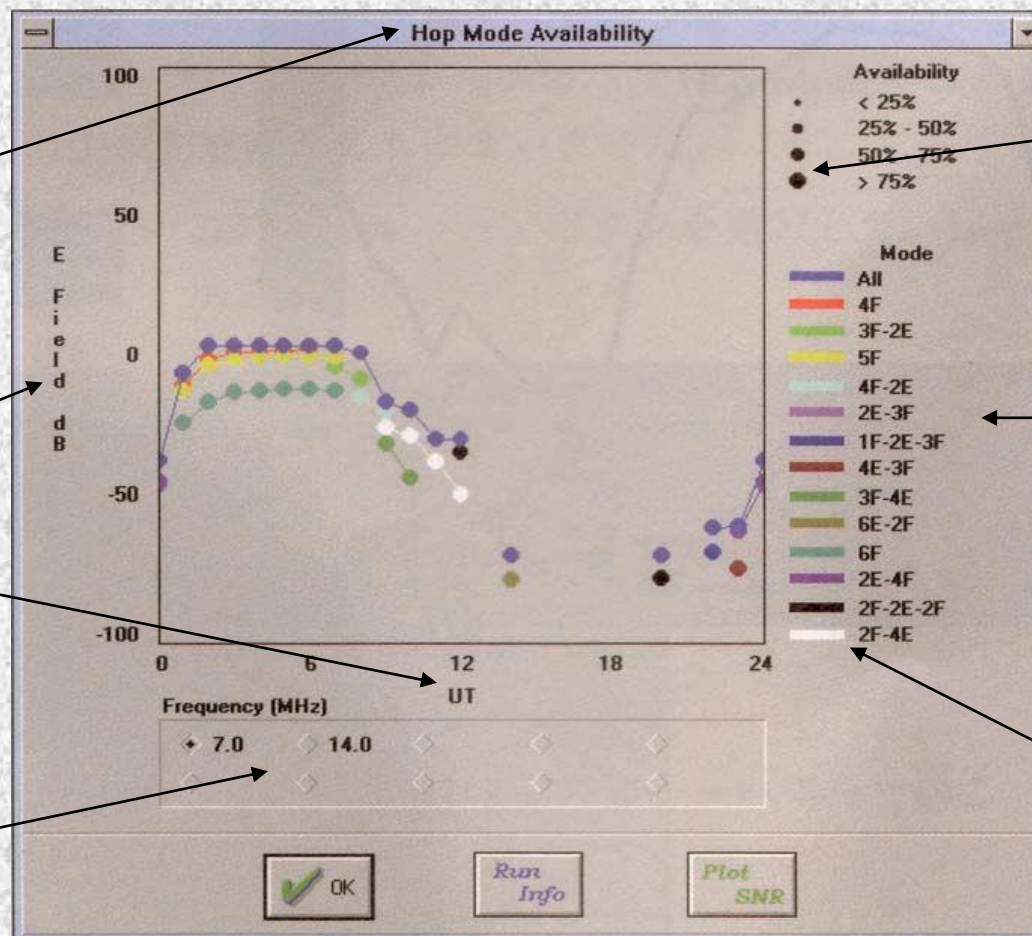
HfXの使用例(3種の実出力情報---Hop Mode Availability)

自局対特定地域への電界強度の時間的推移と可能性のあるHop Mode

電界強度

世界標準時

10個までの各バンドでの計算結果を表示することが可能



ドットの大きさはパスの可能性を%で表す

最大13種類までのHop Modeを検討してくれる

例えば、白の2F-4EだとF層2回E層4回のホップによる通信の可能性を検討する

図1-65-E HfX出力画面

市販の伝播予測プログラムの利用

Ham CAPの使用例

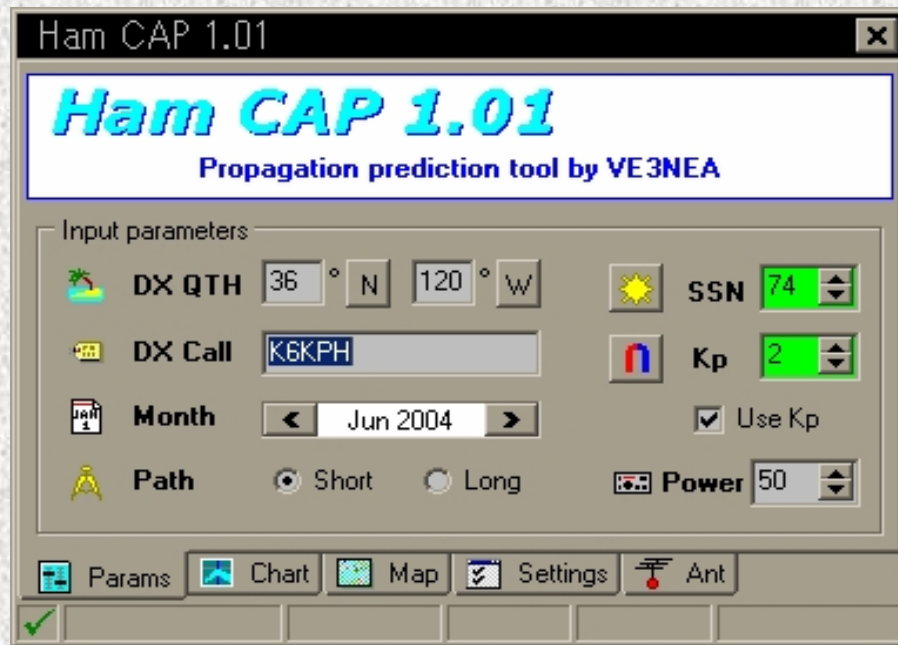
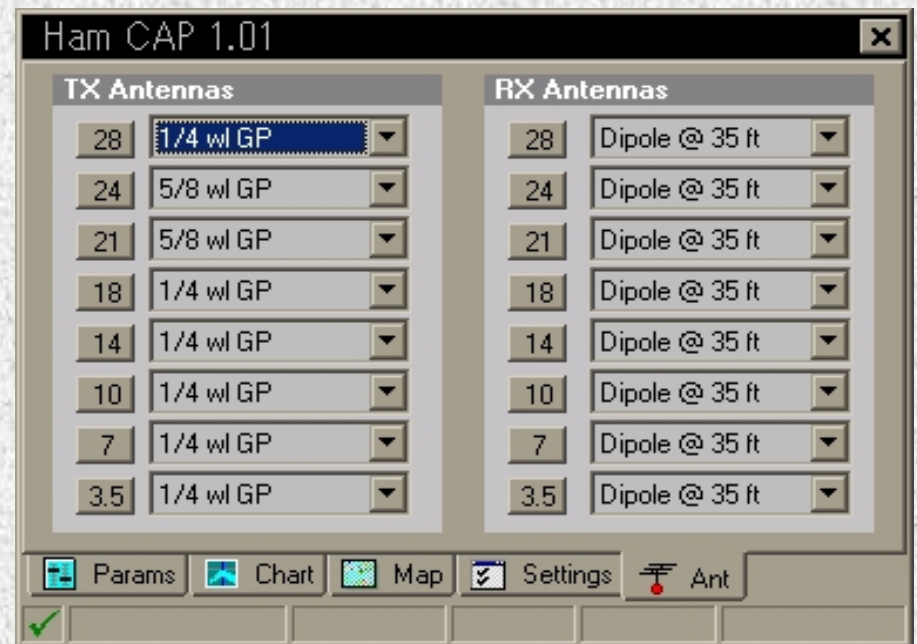


図1-66-A Ham Cap基本入力画面

図1-66-B Ham Capアンテナ入力画面

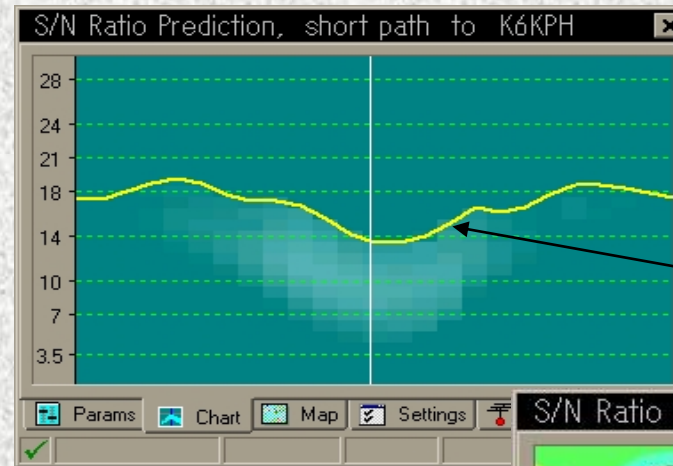
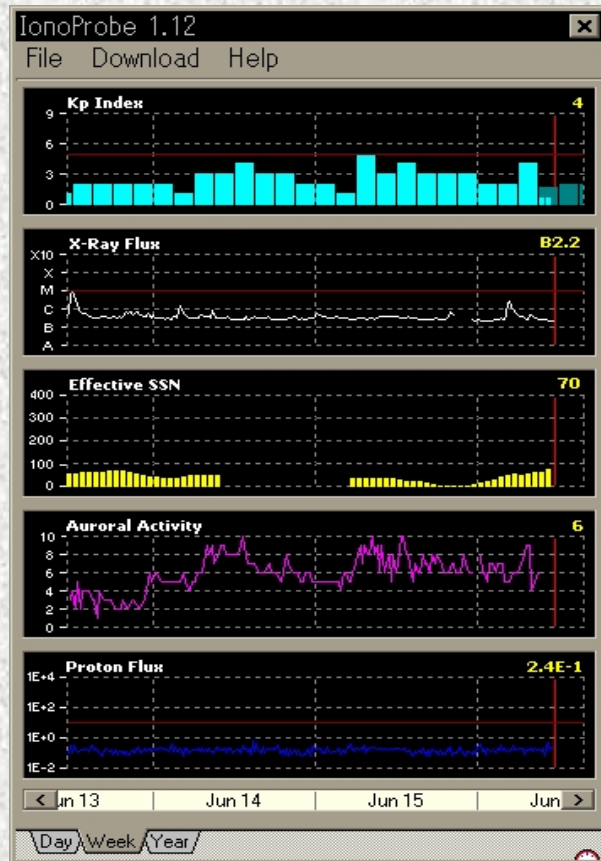


電波伝搬トピックス

市販の伝播予測プログラムの利用

Ham CAPの使用例

図1-66-C Ham Cap各種出力情報

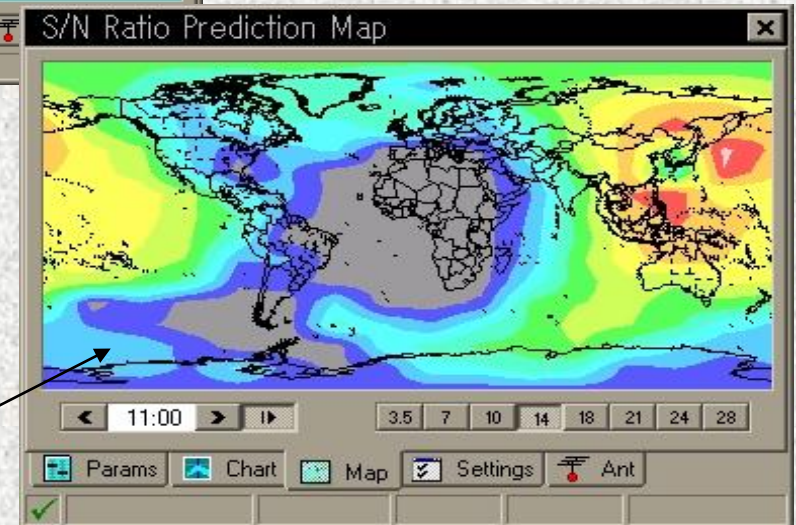


こうしたプログラムは進化するので、最新のものを選ぼう

特定地点との交信予想もできる 西海岸とのパスはもっぱら日本の夕方から深夜に限定されることがわかる

左は太陽・地磁気情報の窓
K-インディックス
X線強度
太陽黒点数SSN
オーロラ情報
太陽風情報

11:00UTC時点での
14MHzの予想をMUFで
表示



宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-A 宇宙天気予報の利用

Propagation

The current time is: 12:45 UTC on Wednesday, April 11, 2012

Current Solar Indices from WWV ←リアルタイムで推移するWWVからの観測結果

11-Apr-2012 at 1205 UTC
SFI = 93 A = 8 K = 2

Conditions during the last 24 hours ←過去24時間のストーム観測結果

No space weather storms were observed for the past 24 hours.

Forecast for the next 24 hours ←今後24時間のストーム予測

No space weather storms were observed for the past 24 hours.

Color: このWebでの各数値は緑は静穏、黄色は不安定、赤は警告(ストームレベル)

SFI: Solar Flux Index 10.7cm波の電波強度であり、太陽黒点数と直接比例相関する

A: 3時間ごとに測定される地磁気変動の水平成分の測定値a-Indexの24時間平均値

A、K共に大きいほど強い磁気嵐を示す

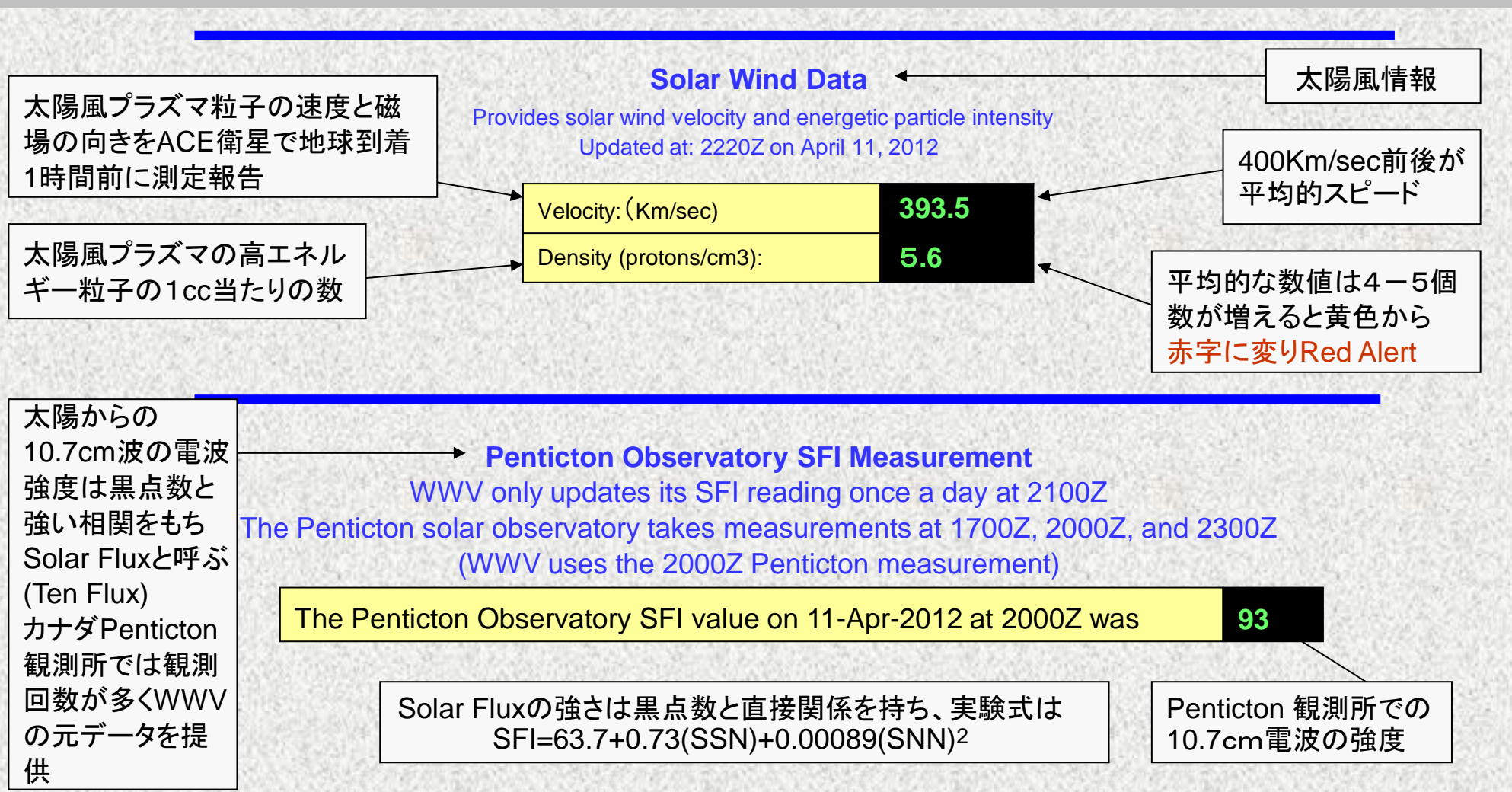
K: 3時間ごとに地磁気変動の水平成分a-indexの準対数を取り0-9までの数値であらわす

K 値	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a 値	0	3	7	15	27	48	80	140	240	400

宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-B 宇宙天気予報の利用



宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-C 宇宙天気予報の利用

黒点数と相関する10.7cm波の強度指標SFIと、地磁気活動指数Aの3日間予測

Three Day SFI and A-index Forecast
(updated daily after 2200Z)
This report issued on Apr 11, 2012 at 2200Z

Date	SFI	A-Index
11 Apr	090	12
12 Apr	090	12
13 Apr	090	12

Solar Activity Forecast

← 太陽活動予測

Solar activity is expected to be at very low levels with a slight chance for C-class events for the next three days (12-14 April).

Geophysical Activity Forecast

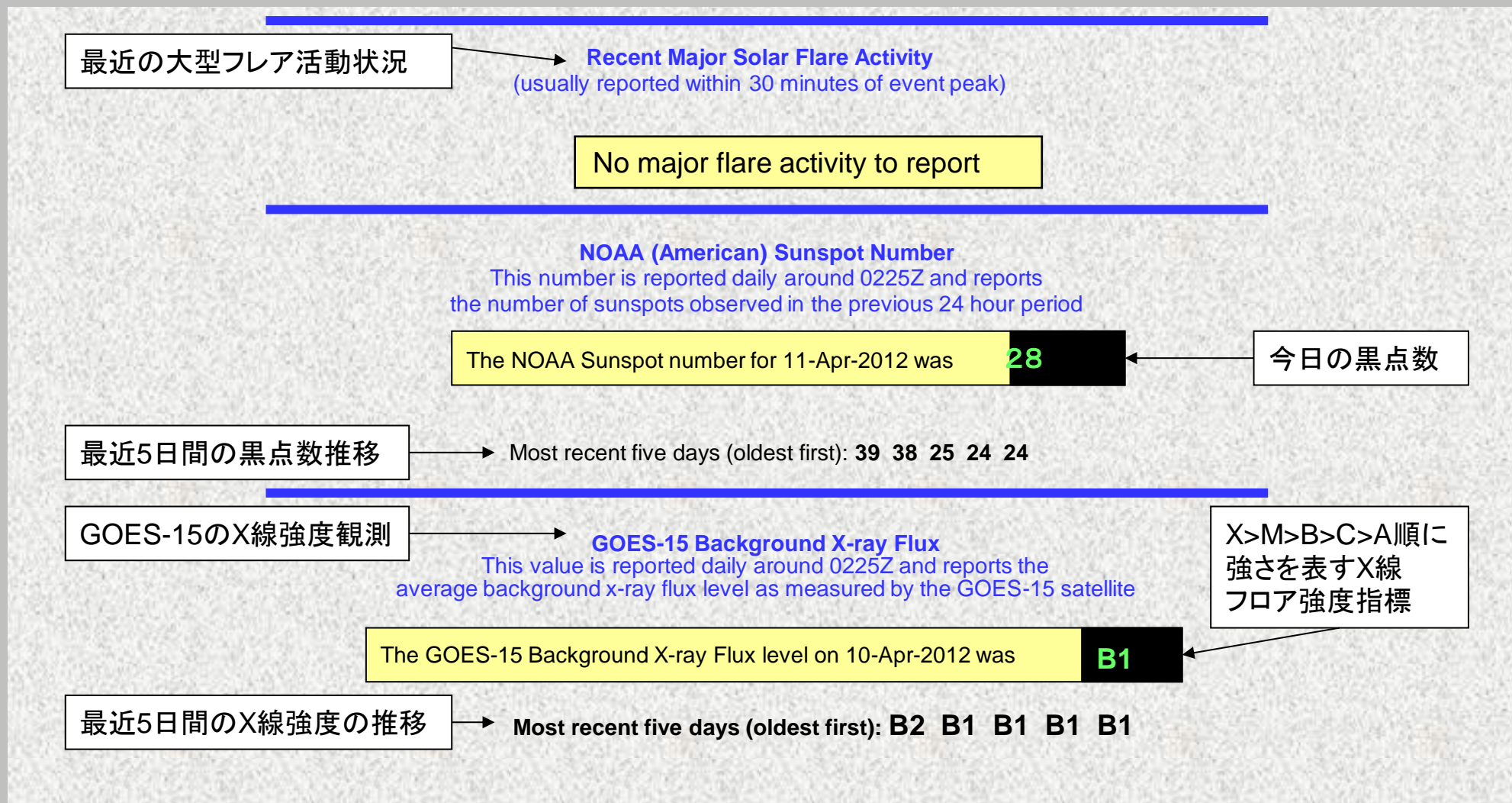
← 地磁気活動予測

The geomagnetic field is expected to be at quiet to unsettled levels with a slight chance for active conditions for the next three days (12-14 April) as a coronal hole high speed stream becomes geoeffective

宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-D 宇宙天気予報の利用



宇宙天気予報サイトと情報の見方

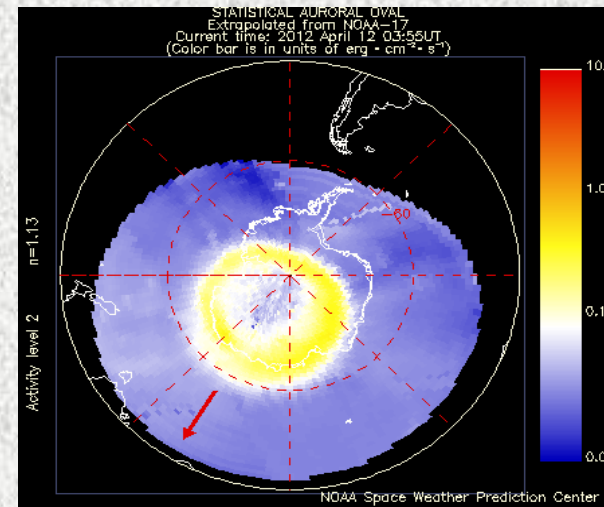
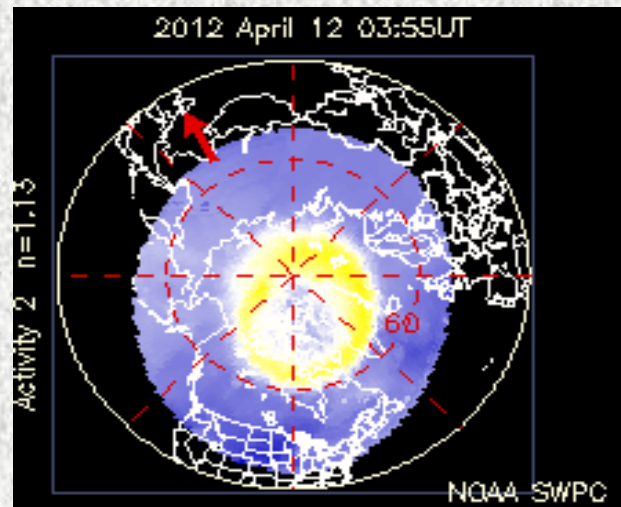
<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-E 宇宙天気予報の利用

Auroral Activity

Aurora (also known as "aurora borealis" or "northern lights") is caused by interaction between the Earth's magnetic field and the solar wind (a mix of charged particles blowing away from the sun). During storms, enough of these charged particles make it through to the Earth's upper atmosphere that they interact with the earth's natural magnetic field lines. When enough of these particles collide, energy is released in the form of auroral light. In addition to creating a pretty light show (mostly in upper latitudes), ham radio signals scatter off of these particles and can greatly enhance propagation on the VHF and UHF ham radio bands. High levels of aurora can also make HF ham radio propagation via polar routes difficult

あかは太陽の方向



北極、南極のオーロラ・オーバルを通過する信号はブロックされる可能性が高い
普段からオーロラ・オーバルの大きさ見慣れておけば、オーロラサブストームの発生に気づきやすい

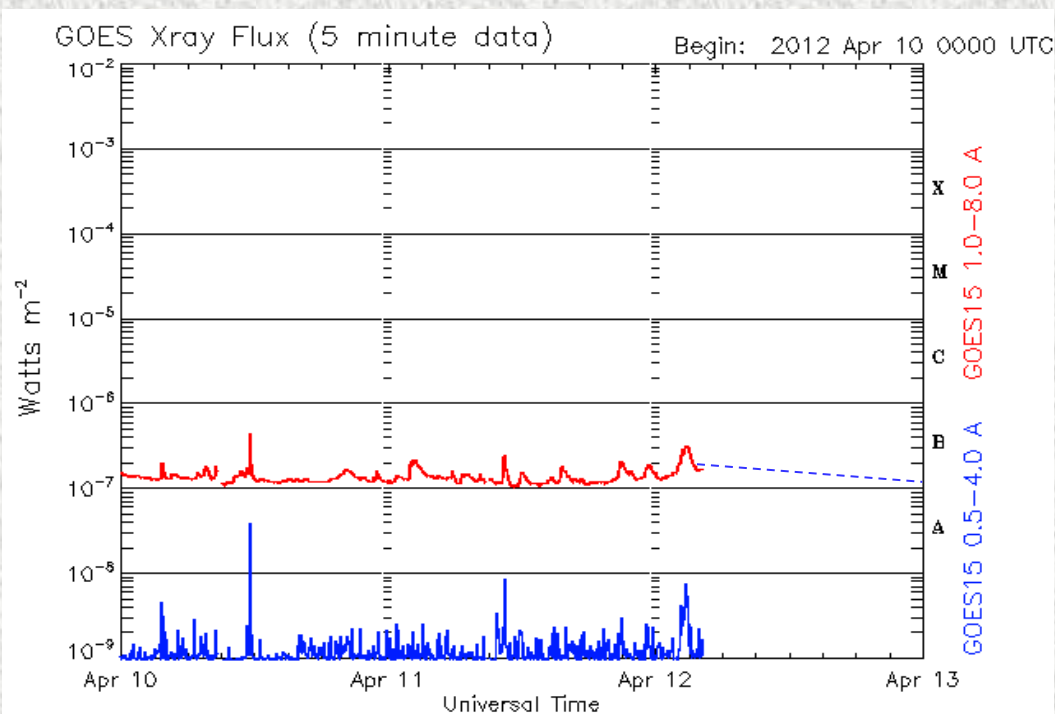
宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-F 宇宙天気予報の利用

Solar X-ray Flux

This chart shows X-ray flux levels as measured by the GOES-15 satellite. The measurements (shown in red) are used to issue alerts when X-ray flux levels exceed certain levels. Spikes on the chart correspond to solar flares. Flares are considered "significant" when flux levels rise above the "M" level (as shown on the right side of the chart). These large flares can often wipe out the ham radio and shortwave bands almost immediately and it can take minutes to hours for the bands to recover. If the ham radio bands seem to go dead all of a sudden, it is always a good idea to check this chart to see if a large flare has occurred recently..



Updated 2012 Apr 12 04:25:12 UTC

NOAA/SWPC Boulder, CO USA

- 8分前の状況なので『今』のコンディションを反映
Dxerは必ず見るべきデータの一つです
- GOES15衛星によりモニターされている1-8オン グ
ストロームの波長域での強度は対数でA,B,C,M,Xの順
につよくなる (赤のカーブ)
- Aの範囲では弱すぎてHFハイバンドでの良いオープン
は期待できず、逆にXまで跳ね上がると確実に SID(デ
リリンジャー現象)が発生している
- ハイバンドが期待できるのはC-Mの範囲での推移
- カーブがC以上の範囲にいないと15m以上はむり
- Aの範囲だと40mも駄目になるほどMUF低下
- X線強度を、 $A \times 10^{-B}$ (W/m²)と表したとき、Bのべき
乗の値が6ならクラスC、5ならクラスM、4ならクラスXの
特大フレア。 $A \times 10^{-B}$ のA値はグラフを直接のリードア
ウトした数字。左図の例では読みが『1』で範囲がBだから
『B1』とレポートされる
- 赤と青の差は観測X線波長の差。赤ラインが重要
- 細かなスパイクは、小さなフレアに対応し、これらが平
常時の太陽風の源となる

宇宙天気予報サイトと情報の見方

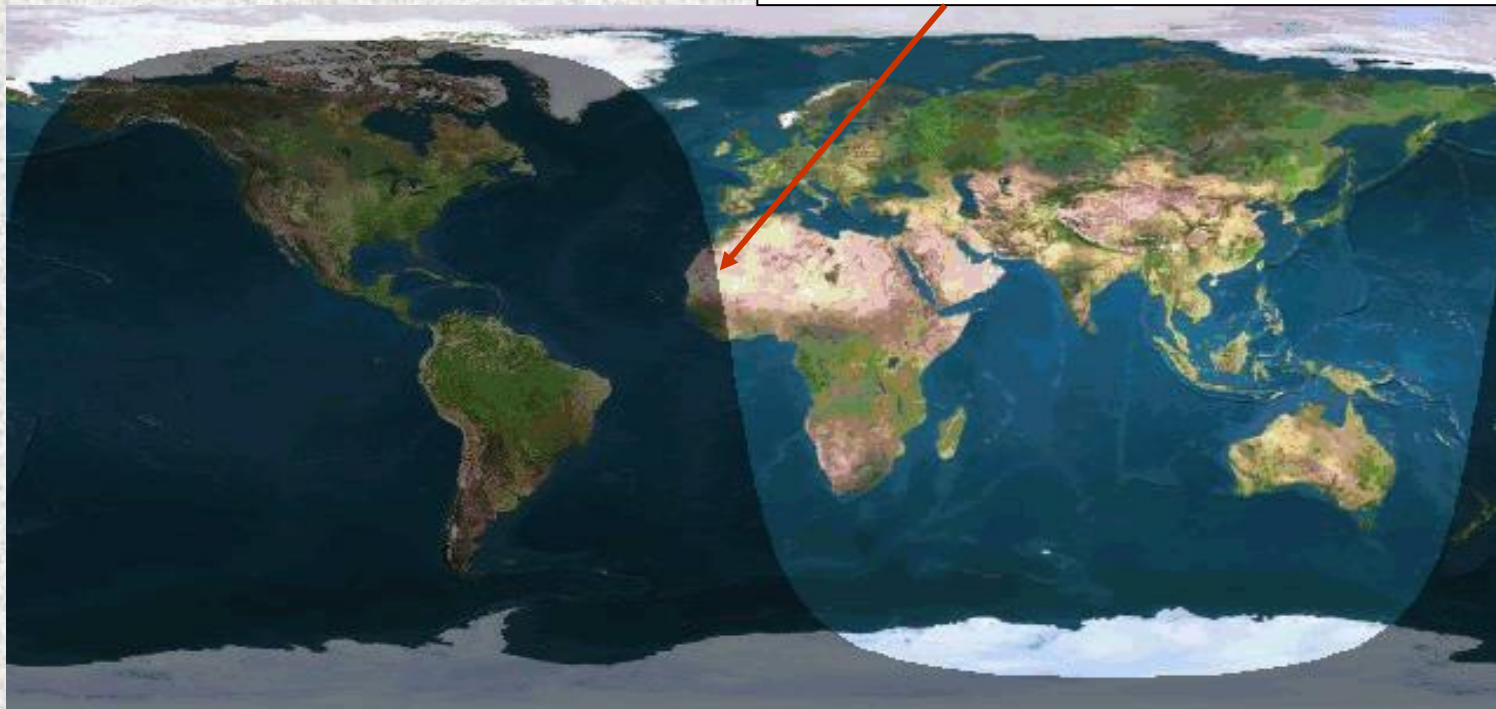
<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-G 宇宙天気予報の利用

Grey Line Map

The grey line is a band around the Earth that separates the daylight from darkness. Radio propagation along the grey line is very efficient. One major reason for this is that the D layer, which absorbs HF signals, disappears rapidly on the sunset side of the grey line, and it has not yet built upon the sunrise side. Ham radio operators and shortwave listeners can optimize long distance communications to various areas of the world by monitoring this area as it moves around the globe. This map shows the current position of the grey line terminator

グレーラインに自局とDXが乗っているかどうかを確認



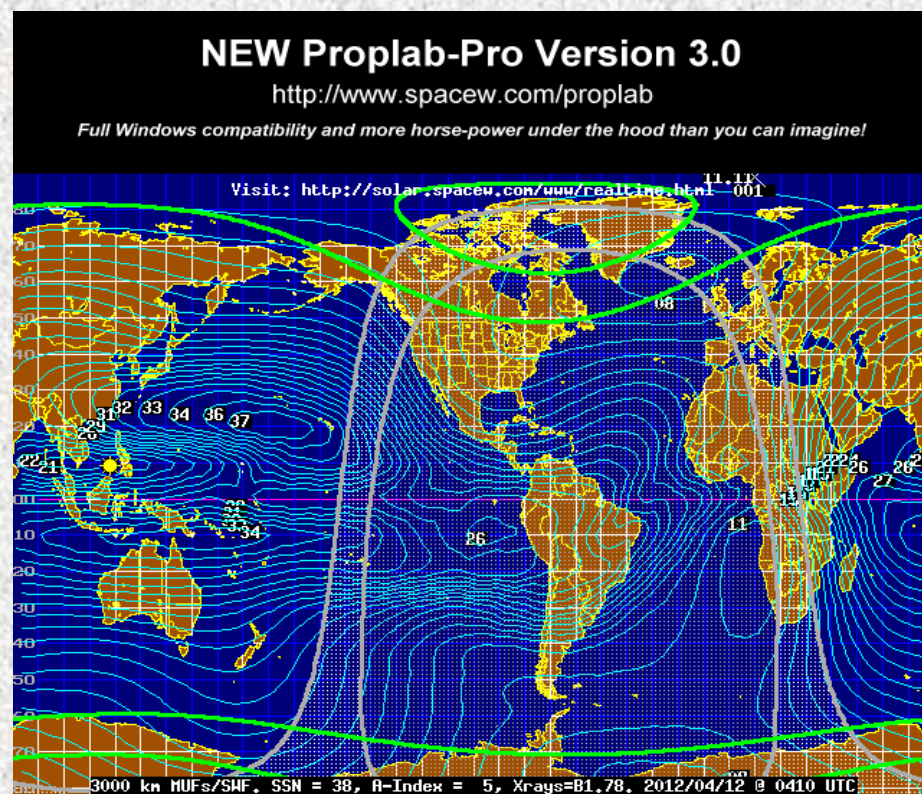
宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-H 宇宙天気予報の利用

Near-Real-Time MUF map

The following map shows Maximum Usable Frequencies (MUFs) for 3000 kilometer radio signal paths. More importantly, the current sunspot number (SSN) and Planetary A-index are updated every 30 minutes on the bottom of this image. Additionally, the grey line position, auroral ovals, and sun position are provided. Click on the map for more details on how to use it.



MUFの確認から、パスの存在をチェックする

このデータは30分毎にデータの元になるSSNとAインデックス入れ替えて計算しているのでリアルに近い

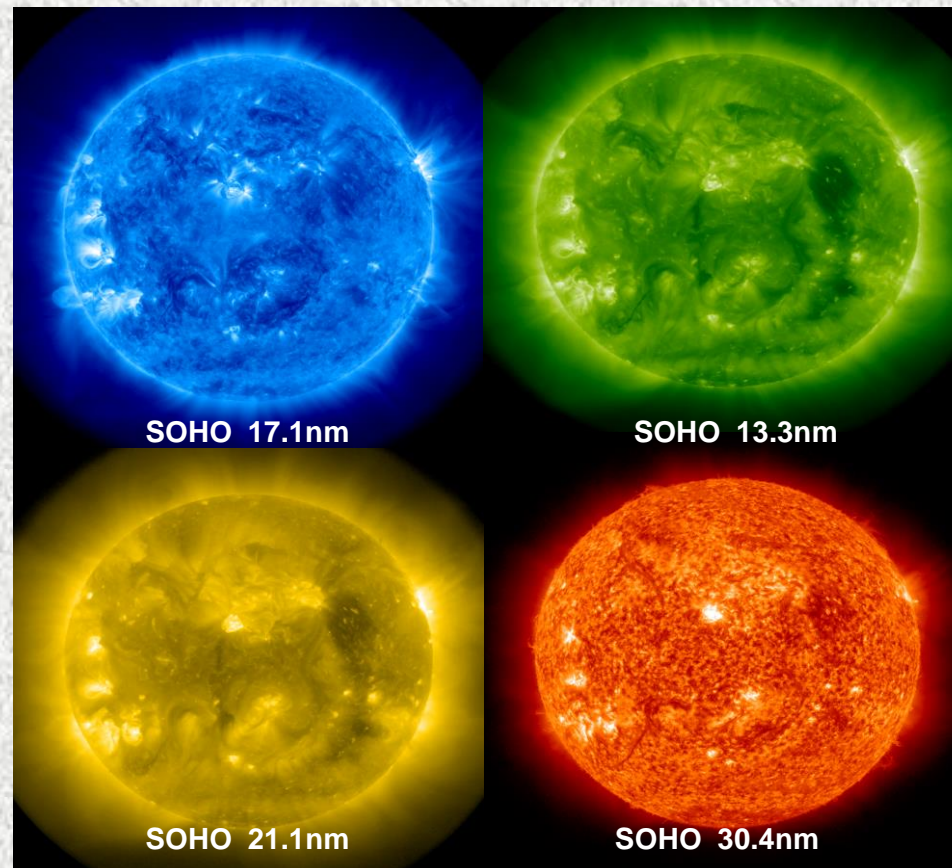
宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://dx.qsl.net/propagation/index.html> の例

図1-67-I 宇宙天気予報の利用

Current Sun Images

The images below are current views of the sun shown at different wavelengths of light as taken by SOHO and the Yohkoh soft-X-ray telescope. Generally, more bright regions on the disk indicates more solar activity, which usually leads to higher flux levels (which also often leads to better ham radio and shortwave propagation). Click on any thumbnail to view a larger image.



現在の太陽を波長を変えて観測

- 白い部分はアクティブ領域でこうした部分から大きなフレアが起きる
- 黒い部分はコロナホールでこうした部分から定常的な太陽風が噴出し、時にはCMEという巨大質量のガスを噴出する

こうした映像を従来の写真でみても平らな光球が見えるだけ、太陽物理学者がSOHOなどの従来得られなかったこうした映像を最初に見たとき、あまりの荒々しさにびっくりしたとのコメントがある

DXerは、白い点の数をちょっと気に留めておくだけでよい

時々メンテナンスするので映像がえられないことがある

ところで太陽の場合、右手が西で左が東になる。白斑や黒点は左から右に流れる

最良の宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://www.hamqsl.com/solar3.html>: Courtesy of N0NBH / Mr. Paul Herrman

この緑色のデータ群が伝搬予測に使う生データ

その結果、HF/VHF各バンドの予測が簡単に要約されている

Solar-Terrestrial Data
25 Apr 2012 2216 GMT
SFI: 127 SN: 169
A: 21 K: 4
X-Ray: B5.2
304A: 157.3 @ SEM
Ptn Flx: 0.14
Etc Flx: 5350.00
Aurora: 7 / n=1.15
Bz: 4.2 SW: 704.2

HF Conditions		
Band	Day	Night
80m-40m	Poor	Fair
30m-20m	Fair	Fair
17m-15m	Fair	Fair
12m-10m	Fair	Poor

VHF Conditions
Aur Lat 58.6°
Aurora MID LAT AUR
6m EsEU Band Closed
4m EsEU Band Closed
2m EsEU Band Closed
2m EsNA Band Closed
EME Deg Moderate

MUF
MS 0 MIN 6 12 18 UTC MAX

Geomag Field ACTIVE
Sig Noise Lvl S3-S4
MUF US Boulder 22.01

Current Solar Image

<http://www.n0nbh.com>
Copyright Paul L Herrman 2012

図1-68
宇宙天気予報の
早見表を利用

PaulとはNet Surfingをしてたら、2012年の3月にひよんな事から彼のサイトを発見し、メールをいくつやりとりするようになった。そして彼のプレゼンの一部を使用する許可をもらった

この宇宙天気予報サイトは素晴らしく、その特徴は:

- 左図にあるQuick ViewでWeb内の左側にいつでも表示されていて QTL親父でもDX Condiが一目瞭然
- 非常に奥行きが深く、様々な宇宙天気最新情報を網羅
- 内容がDeepなので読み解くには相当な知識となれが必要
- ステレオAB観測結果からのSolar windの動画は実に感動的 サイトTopの左から2番目[CME/Wind]のボタンを押すと太陽系内を流れてくる太陽風の予報アニメがみれる

153ページの一覧表は、元の英文の表がとて一発ではわかりにくいので少し書き直したが、これでもまだ判りにくい(笑)

153ページでは:

- 水色の各項目は左図のサマリー表の元になる各観測項目であり
 - 赤字の様々な文字・数値は各項目の指標値 or レンジ (Range)
 - 緑の記入はそのイベントが1ソーラーサイクルで普通何回起きるか
 - 青色はその値をとったとき、無線通信にどんな影響がでるか
- といった一段深い知識が身につくFB

最良の宇宙天気予報サイトと情報の見方

<http://www.hamqsl.com/solar3.html>: N0NBH / Paul Herrman氏提供

153 Page 表の測定項目

X-Ray:	GOES-15衛星で測定されている太陽からの単位面積当りを通過するX線強度。太陽面のフレア爆発で一気に上昇し爆発の大きさの直接的な指標になる。強度が極端にあがると必ず昼間側でHF通信の障害が起きる→SID
Proton Flux:	プロトン現象と呼ばれ、主にLDE (Long Duration Event)型フレアによって大量のプロトン(陽子)が放出される。無線に与える一番大きな影響は、エネルギー的に大きなプラズマガス塊なので、通常は侵入しにくかったカस्प領域を經由して直接極域に侵入しPCA(Polar Cap Absorption)を起して極域の短波通信がブロックされる →PCA
K-Index	K-Index は後述(略) K-nT は磁気嵐に伴う地磁気の変動の指標 数百nT(ナノテスラ)単位で減少する
Aurora Index:	オーロラ・サブストーム強さを示す指標。AEと関連した値である
Solar Wind Speed:	HSSWS (High Speed Solar Wind System) フレアとかCMEで太陽面から飛んでくる高速荷電粒子のスピードをL1やL5ポイントに投入した衛星が事前に知らせてくる。この速さで爆発が定常的か大規模かが判る爆風の速度のようなもの。200Km/secでそよ風、300-400Km/secが通常速度、>700-800Km/secだと上限に近い
Bz Value & Polarity:	地球磁場の鉛直成分の変化量と向きの測定値。磁気嵐の規模による地磁気の変化で大きさが判る
SFI & (SSN):	10.7cmの太陽電波強度と黒点数は密接に相関している。これが多いと甘茶無線家はカッポレを踊りだす
Electron Flux:	これは『LDE型フレア』によるProton Flux値と似ている。電子の場合は『インパルス型フレア』といって電子の放出が多い(僅かに鉄)時間幅の短いフレアからでる電子の量を測定している。極域に飛び込み易いので『極冠異常吸収』の原因になり短波通信の障害になる。ベネルックス3国の無線家はPCAとかこうした障害に悩まされる

電波伝搬トピックス

表1-7 電波伝搬の各種イベント一覧表

赤字は警報名 指標値 or レンジ (Range) 緑はそのイベントのソーラーサイクル毎の発生回数 青字は予測される現象

警報 ランク	無線通信 ブラックアウト	太陽輻射 ストーム	電離圏嵐(電離層擾乱) 又は 磁気嵐				バンド・オープン の可能性	高エネルギー 電子アラート
	X-Ray Data from NOAA / GOSE-15	Proton Flux	K-Index / K-nT	Aurora Index	Solar Wind Speed [Km/sec]	Bz Value & Polarity	SFI & (SSN)	Electron Flux
激 (Extreme)	X20 (1回)	1.0e+06 (1回)	K=9 / K-nT -->500	Aur=10++	SW=>800Km/s	Bz= - 40 to - 50	SFI=200-300 (SSN=160-250)	>1.0e+03 Alert
	昼間側でのHF通信の 完全途絶何時間も続く	極域でのHF通信 の完全途絶	HF使用不能 / オーロラ域が南北40° まで低下 / Noise S30+ . (4回)					
烈 (Severe)	X10 (8回)	1.0e+05 (3回)	K=8 / nT=330-500	Aur=10+	SW=700-800Km/S	Bz= - 30 to -40	6mまでの全バンドで 良好な通信回線を確保	極域での部分的 又は完全なHF 通信の途絶
	殆どの昼間側でHF通信の 完全途絶が1-2時間続く	極域でのHF通信 の部分的な途絶	HFは突発的に使用可能 / オーロラ域が南北45° まで低下 / Noise S30+ (100回)					
強 (Strong)	X1 (175回)	1.0e+04 (10回)	K=7 / nT=200-330	Aur=10	SW=600-700Km/S	Bz= -20 to -30	SFI=150-200 (SSN=105-160)	10mまでの全バンドで良 好な通信回線を確保し 6mもオープンする
	昼間側の広範囲でHF 通信の完全途絶が 約1時間続く	極域でのHF伝搬 の悪化	HFは間欠的に使用可能 / オーロラ域が南北50° まで低下 / Noise S9-S20 . (200回)					
中 (Moderate)	M5 (350回)	1.0e+03 (25回)	K=6 / nT=120-200	Aur=9	SW=500-600Km/S	Bz= -10 to -20	SFI=120-150 (SSN=70 -105)	<1.0e+03 Active
	昼間側の半球で限定的な HFの通信途絶が数十分 程度続く	極域のHF伝搬に 多少の影響あり	高緯度地方でHFはフェイド・アウト / オーロラ域が南北55° まで低下 / Noise S6-S9 . (600回)				10mまでの全バンドで 普通もしくは良いコンディ ションを期待できる	極域でのHF伝搬 の劣化
弱 (Minor)	M1 (2000回)	1.0e+02 (50回)	K=5 / nT=70-120 Minor Storm	Aur=8	SW=400-500Km/S	Bz=0 to -10	SFI=90-120 (SSN=35 -70)	<1.0e+02 Active
	日照側の半球で場合に より通信不能	極域のHF伝搬に 僅かに影響する	高緯度地方でHFはフェイド・アウト / オーロラ域が南北56° まで低下 / Noise S4-S6 . (1700回)				15mまでの全バンドで 普通のコンディション	極域でのHF伝搬 に僅かに影響する
活性化 (Active)	C1 Moderate Flare	1.0e+01 Active	K=3-4 / nT=20-70 Active	Aur=6-7	SW=200-400Km/S	Bz=0 to +50	SFI=70-90 (SSN=10 -35)	<1.0e+01 Normal
	短波信号の低い吸収	極域を通過する 短波に極僅かの 影響を与える	緯度地方でHF高は多少フェイド・アウト/オーロラ域が南北60-58° まで低下 / Noise S2-3 . Unsettled/Active				80mから20mまでは 不良から普通程度の コンディション	短波通信に影響 なし
静穏 (Normal)	A1-B9 No/ Small Flare	1.0e+00 Normal	K=0-2 / nT=0-20 Quiet	Aur=<5	SW=200-400Km/S	Bz=0 to +50	SFI=64-70 (SSN=0 -10)	<1.0e+00 Normal
	影響なし又は極僅かな 影響しかない	HFに影響なし	HFに影響なし / オーロラ域は南北67-62° まで低下 / Noise S0-S2 . Inactive / Quiet				40mを越えるバンドが 使い物にならない	短波通信に影響 なし

宇宙天気予報サイトの用語のまとめ

Glossary

- ap:** ある一日の、地球規模での地磁気活動の一般レベルの指標。地磁気緯度46度から63度までに分布し、北半球で11箇所、南半球で2箇所ある地磁気観測所から、3時間毎に送られてくるK Index情報に基づく地磁気活動の”等価/実際的大きさ”の平均値。K値は準対数なので平均が取りにくいいため、A Indexが導入された
- Ap:** 8個のap Index値から決まる、地磁気活動の1日毎の指標
- Kp:** 地球規模の3時間毎のKp Indexは、北半球と南半球の地磁気緯度44度から60度にある地磁気観測所からのK Indexの正規化平均値。0から9までの値をとるが、その間に5-、5、5+と言った中間値もある。Kは局地的指数なので、地球規模での指標としてKp Indexが導入され、太陽粒子の磁気的影響による放射線を観測するために作られた。
- k:** ひとつの地磁気観測所で、静穏時のカーブとの相対比較で得られる、3時間毎の地磁気の水平面の乱れを準対数表示したローカルインデックス。ap Indexの基になる

ap	0	2	3	4	7	15	27	48	80	132	208	400
K	0	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Quiet		Quiet to unsettled	Unsettled	Active		Minor storm		Major storm	Severe storm	Very major storm

宇宙天気予報サイトとDXコンディション

RULE OF THUM

最高のコンディションは

RULE 1: “ $K < 2$ 、かつ $SFI > 150$ が数日続く”

と短波の各バンドが賑わう

- **Kが低い** ⇒ 磁気活動低い ⇒ 磁気嵐、サブストームなし、空間ノイズ小
⇒ 極圏の熱圏中性大気正常 ⇒ 電離層正常
- **SFIが高い** ⇒ 黒点が多い ⇒ 太陽からの輻射大 ⇒ 電離層の電離大
⇒ 臨界周波数 f_o 上昇 ⇒ MUF 上昇

プロセスが複雑すぎて『風が吹くと桶屋が儲かる』に近い

宇宙天気予報サイトとDXコンディション

RULE OF THUM

RULE2: “紹介した伝搬予測ソフトは目安”

- 予測だから外れることがあるのは誰でも理解している。雑誌の予測でも、専用ソフトで得られるMUF, HPF, MOF, LUFの予測でも、過去の膨大なデータベースを参照しているので、現在のSSNやK値を入力しても、**真にリアルタイムではない**ことを理解する。つまり、過去色々なインディックス値がある値をとったとき、このようなMUFになっていたことが多かったですよと言っているだけ
- 上記の予測だけでなく、リアルタイムで状況報告しているNOAAやNICTの宇宙天気予報や観測結果、また個人で開設しているN6RT,N0NBHなどのサイトに行くと、例えば30分毎のリアルタイムに近い更新情報があるので予測プログラムと併用すると良い。昨晚予測ソフトを起動し、翌朝張り切って電源入れたけどデリンジャー現象が出ていたなんてことは無くなる ⇒**併用することが大事**
- やはり情報に溺れずに、夜中暗い部屋でコーヒーを入れてローエッジからゆっくりバンドをスイープしていくなんてのが一番渋い無線家じゃないかなあ

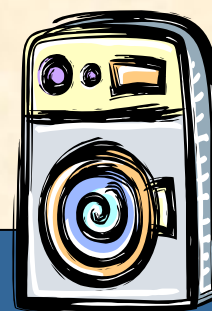
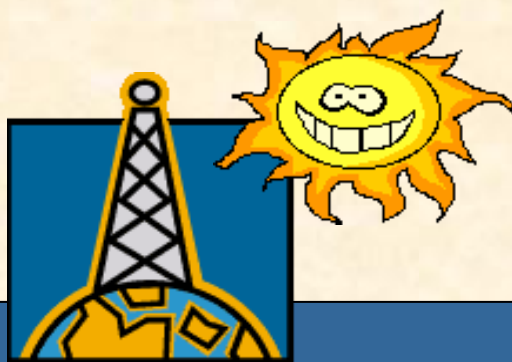


もっとCONDIX確認が簡単にならない？ QTL: Operator is too lazy

七面倒くさい理屈はよういらんわ、とにかくDXが欲しいねん
(メンコ集め、オナーロール死守親父談)

実際、こういう文言を年賀状
に書くDX親父がいる

- とにかくK-Indexだけに着目するだけ
- K値が1-3なら無線機の電源オン、5を越えていたら寝る*



*How about K=4? Who care !

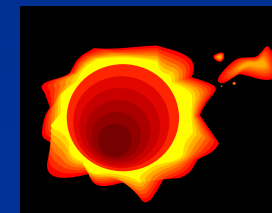
SECTION II

Solar Activity

Sun Spot, Flare, Solar Wind, HSSWS, CME,

太陽・宇宙が電波伝搬に影響を与える事象は4つ

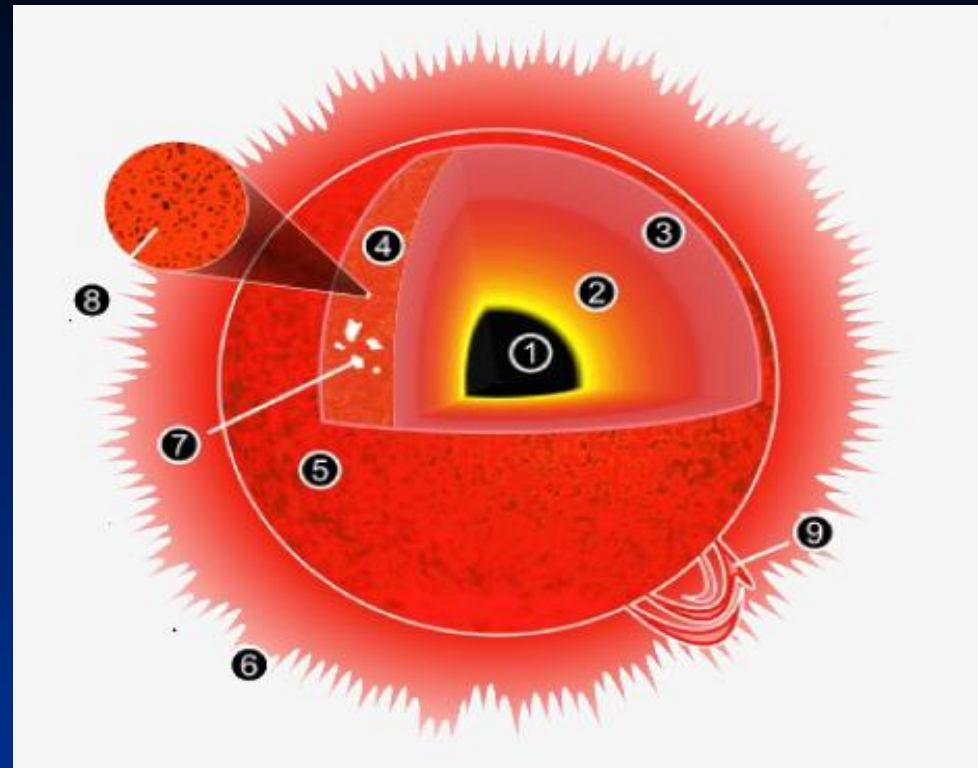
- **電磁波** (定常的・突発的・光速) ----- 8分23秒後
 - UV(紫外線)、EUV(極端紫外線)
 - X線
- **超高速・超高エネルギープラズマ塊** (突発的・亜光速) ---15分~2時間
 - α 線(He原子核) ----- 18%
 - 超高速プロトン (陽子) ----- 80%
- **太陽風/ HSSWS**(定常的・ $<700\text{Km/sec}$) ----- 1~3日後
 - 低速プロトン(5-9個/cm³)
 - 電子
- 太陽系外から超高エネルギー**宇宙線 (プロトン粒子)** ----- 常時
 - 超新星爆発に起源の陽子やガンマ線
 - 熱圏中性大気には二次宇宙線シャワーとして降り注ぐ



太陽の構造

- ①コア(Core) 温度:15M K
- ②放射層(Radiative Zone) 温度:7M K
- ③対流層(Convective Zone) 温度:2M K
- ④光球(Photosphere) 肉眼で見える太陽 温度:4k-6k K
- ⑤彩層(Chromosphere) 厚さ2000Kmの水素層 温度:4k-20k K
- ⑥コロナ(Corona) 太陽のプラズマ大気 スペクトル解析では強くイオン化した鉄まで確認されている 温度:>1M K
- ⑦黒点(Sunspots) 光球内の磁力線の集中した部分(0.4-1.0 tesla) 直径2500Km-50000Km, 深さ5000Kmで周りより温度は低い 温度:1.5-2.5k K
- ⑧粒状班(Granules) 光球内。対流層からの対流によって生じる 直径1000-30000Km 寿命は8分~24時間
- ⑨紅炎(Prominence) 明るい磁力線に沿ったループ状、噴出型(spray)、ジェット噴流(surge)などがある 光球から出てコロナにまで達する コロナより低温 温度:10k K
- ⑩その他 彩層とコロナ間のヘリウム層(遷移層)やフレアは示していない

図2-1 太陽内部構造 Courtesy of NONBH



太陽はG型の主系列のど真ん中にある凡庸な恒星で100億年の寿命の半分に達している 水素・ヘリウムの核融合で外部にエネルギーを供給し、自重も支えている 地球軌道を飲み込む赤色巨星に変化し、反応が鉄まで進むともはやエネルギーが枯渇して重力を支えきれず数秒で中心に落下して、新星爆発後に中性子星か矮星になる

太陽黒点(Sun Spot)

Sun Spotの特徴

- その増減は、電波伝搬に大きく影響する
- 巨大な磁場のチューブの断面であり、暗部、班暗部を持ち温度が周辺部より低いので黒く見える
- 太陽磁力線が外にはみ出たもので通常NSペアになり、強力な磁力線ループを形成してその中にエネルギーを蓄える
- およそ11-12年周期で増減を繰り返す
- 出現は高緯度地方から始まり、低緯度に広がる

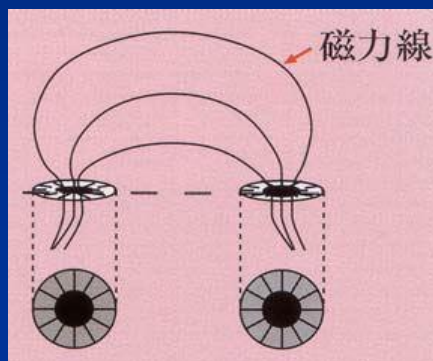


図2-2-(a) 太陽黒点構造

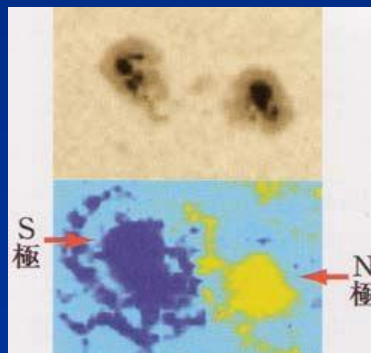


図2-2-(b) 太陽黒点写真



図2-2-(c) 太陽光球写真

太陽黒点(Sun Spot)拡大写真

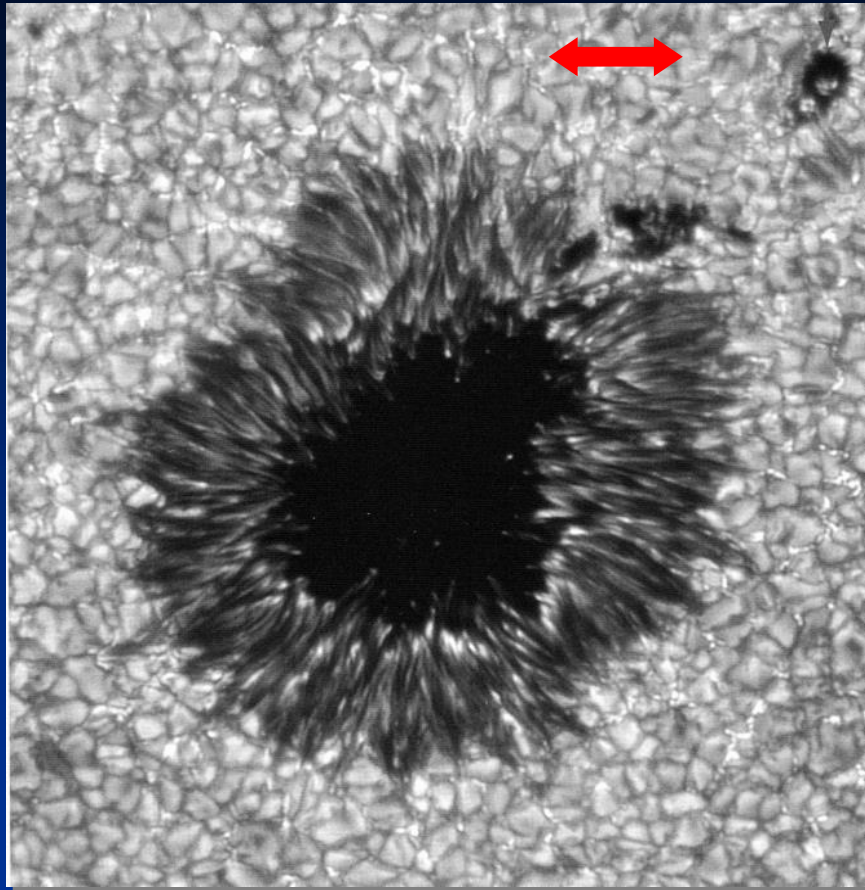


図2-3 太陽黒点拡大写真

黒点の微細構造

- 細かい粒状班が見えるこれらは細かい磁束管に対応している。ここには強い磁力線が貫通している。熱対流の見地からは熱い味噌汁の表面と同じ
- 班暗部は太さ数百Kmのフィラメントからなり、5Km/secの外向きの流れがある
- 赤矢印は5000Kmの長さ
- 大西洋、カナリー諸島ラ・パルマで撮られた高分解能写真。最近では地上望遠鏡でもより高性能の太陽望遠鏡が発達している

Butterfly Diagram / SSN (Sun Spot Number)

太陽黒点数 (SSN) の推移は、
次のような特徴がある

- 増減に蝶のはね型が見られる
- 9 -13年周期で増減する
- 200年以上の観測記録がある
- 黒点数は各国の観測で得た数値の平均を取っている
- 数の増加は、10.7cm FLUX (Ten Flux)と直接相関する

$$\text{SFI}=73.4+0.62 \text{ SSN}$$

- 増加すると、UVの増加でF層の電離度が上がり、臨界周波数F2f0が上昇するため、黒点の増加でDX通信が可能になる

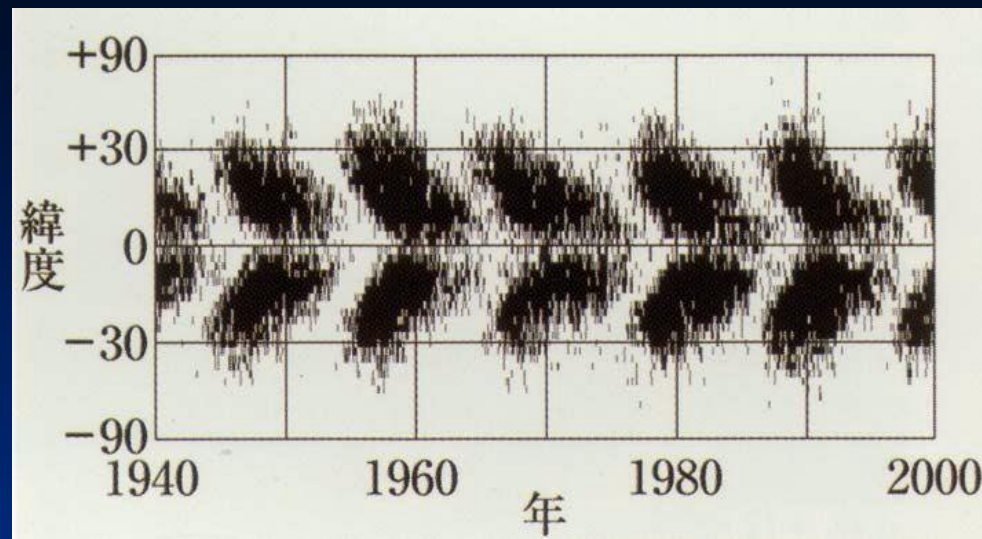
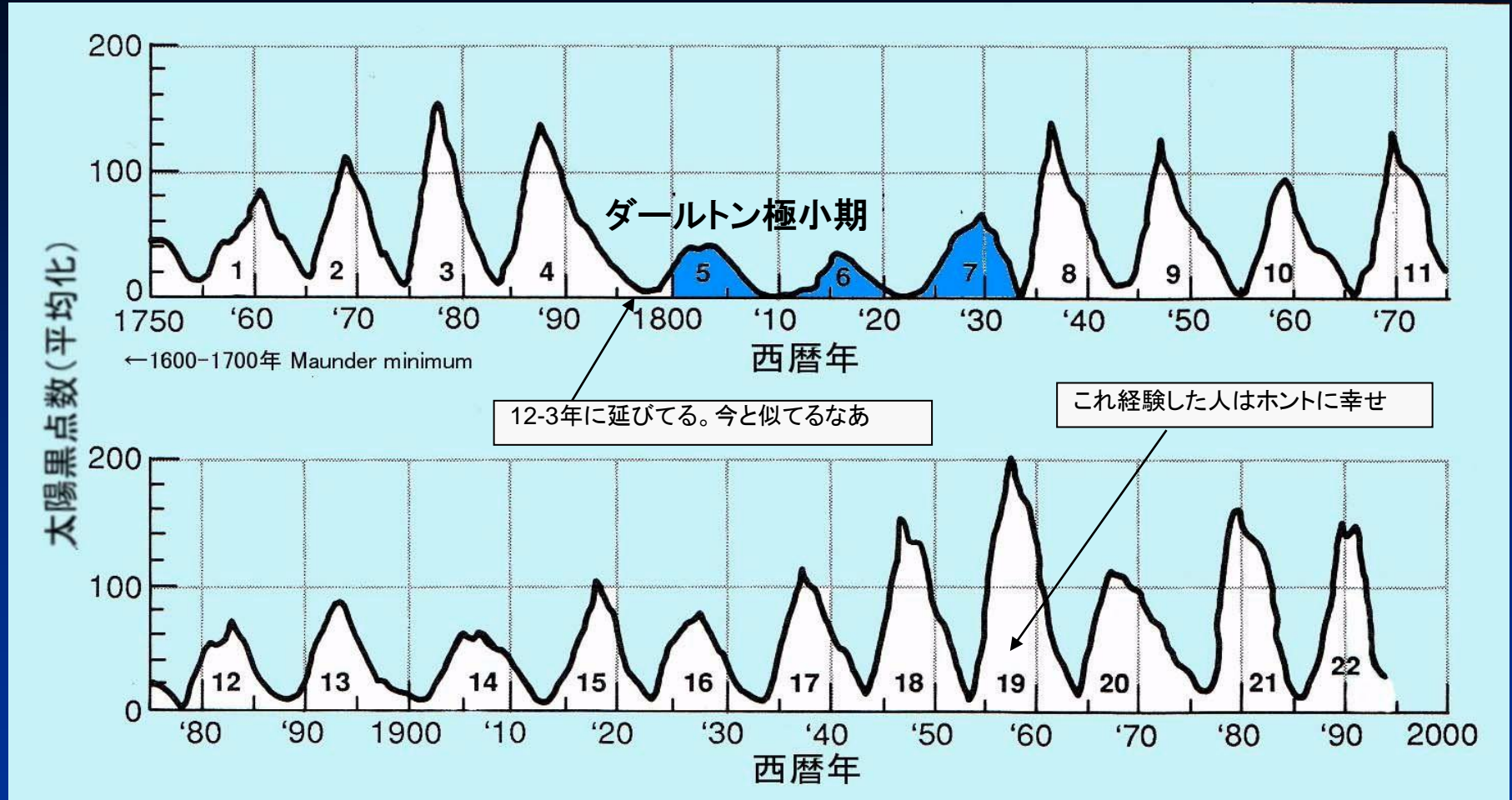


Fig. 2-4 Butterfly Diagram

太陽活動の上昇期には、太陽の高緯度地方から黒点が発生し始め、Solar Maximumに向かって 中緯度から赤道方面へと発生箇所が推移する そのプロットが蝶に似ているのでこの名前がある

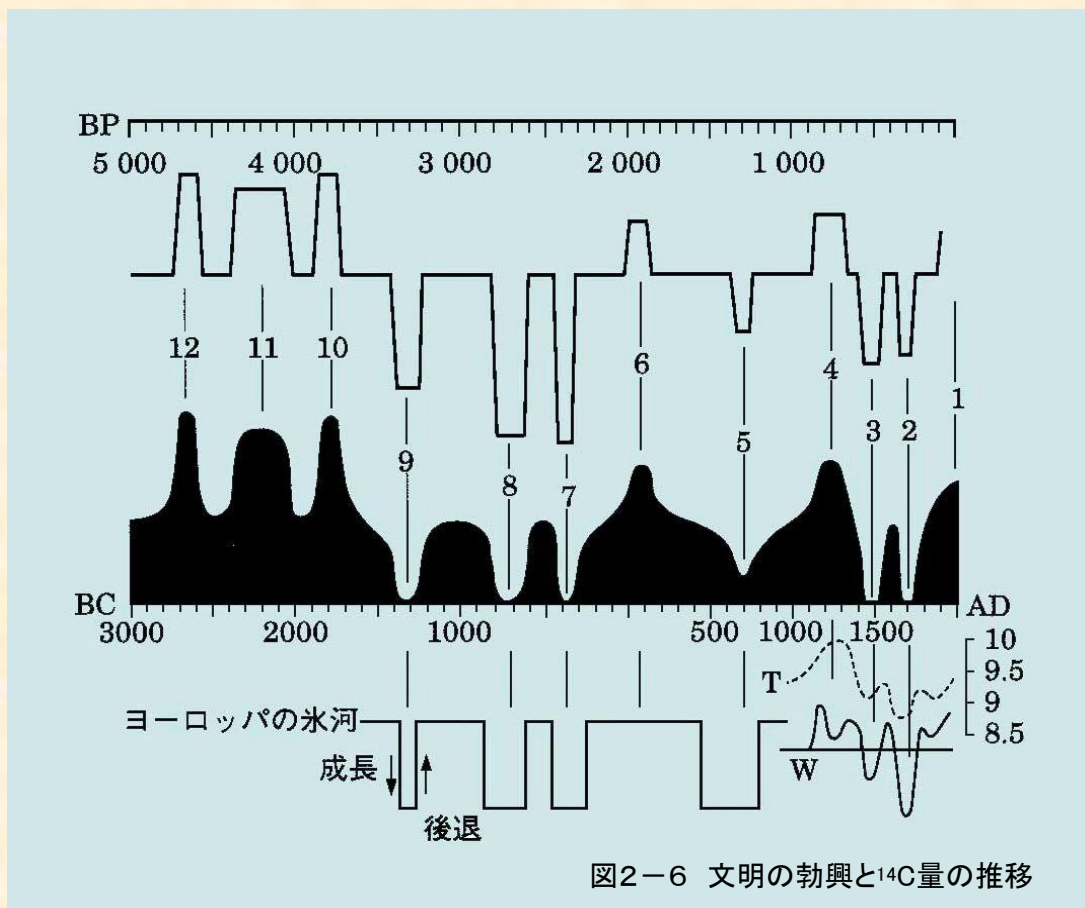
SSN (Sun Spot Number) の推移

図2-5 太陽黒点数の推移





炭素同位体と文明・気候変化



黒は各時代の炭素同位体 ^{14}C の量を示す。 ^{14}C は生物起源であり、宇宙線では出来ないため、その時代の太陽活動の強さと植生の繁栄を示す。

2の落ち込みはダールトン極小期、3のDipが、有名なマウンダー・ミニマムでテムス川が全面凍結し馬車が走る絵画が残っている。この間約100年間、黒点はゼロを記録し隣の親父のようにこっぱげ状態だった
こうした極小期の前には、例外なく太陽周期が12年以上に延びている。前サイクル23もそうだった、ということは……

12がシュメール文明、11がエジプト文明、10がストーンヘンジ、6はローマ帝国の隆盛期と重なるこの相関は偶然だろうか？

太陽フレア(Solar Flare)

太陽のフレア現象

- 非常に強力で、数分から数時間に渡る、一時的なエネルギーの開放
- その中身は、電磁波、高速プラズマ流（10-100億トン）
- 10^{33} エルグ（ 10^{26} ジュール）のエネルギーが放出されるが、広島型原爆400億個分に匹敵
- 光学的には太陽面の白斑部分で起きる
- 磁束に蓄えられていたエネルギーが磁束の再結合により解放される
- 活動領域：特に強力なX線を出している。活発にフレア現象が起きる領域

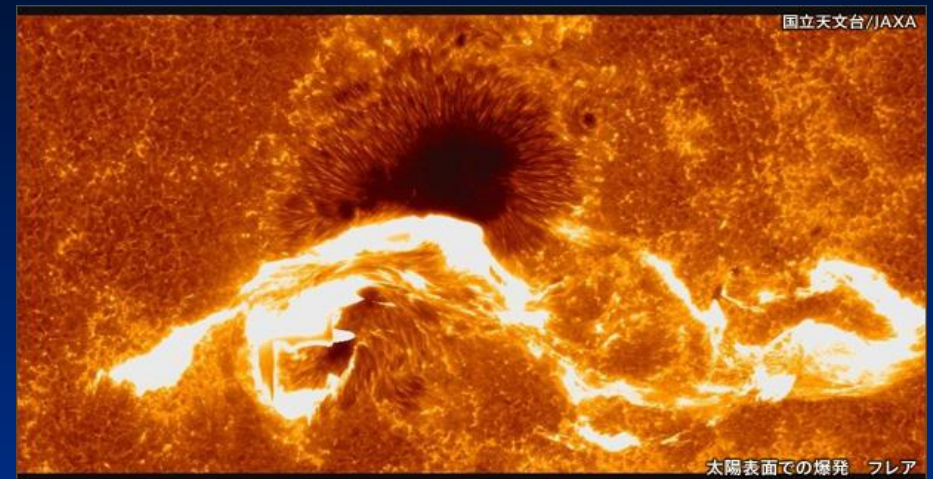


図2-7 観測史上最大の太陽フレア

フレアが発生すると電磁波の強度が増加し、超高速プラズマが発生

太陽の磁力線分布

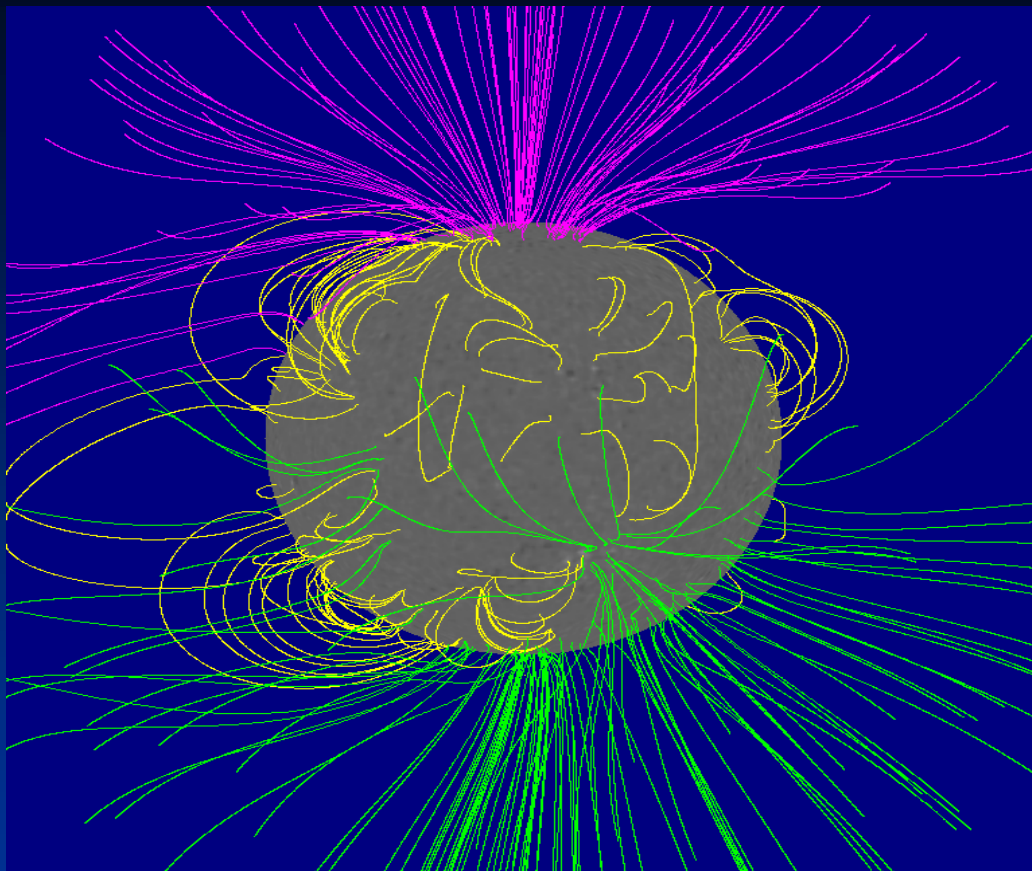


図2-8-a 太陽磁力線コンピュータ計算

太陽磁場

- 太陽の自転は、赤道で早く高緯度では遅くなるという微分回転（下図）しているので、内部の磁力線は捻じれに捻じれ机の上に置いた棒磁石のような整然としたラインではない
- 内部の磁力線が外に飛び出てしまったのが黒点。コロナホールからは直線状に立った磁力線が惑星空間に飛び出す複雑な構造になっている（左図） 極性は11年で反転する
- 磁場が複雑に絡み合っって極限に達し、それがリセットされる周期が太陽周期だという意見もある

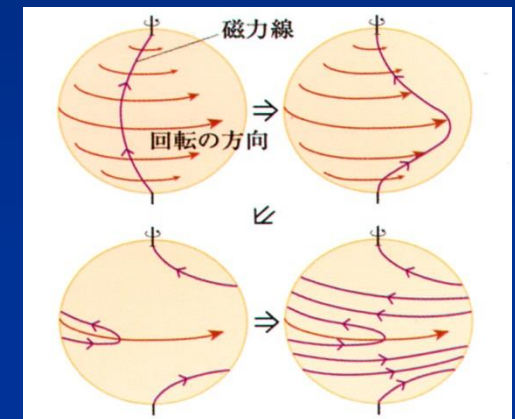
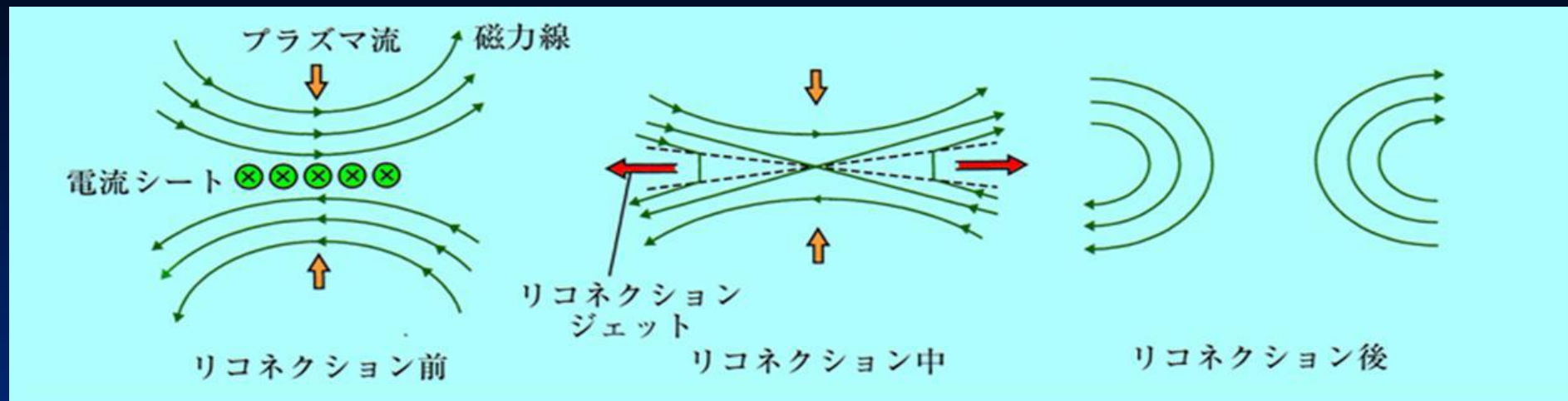


図2-8-b 太陽微分回転

フレア(Flare)発生のメカニズム

図2-9 磁気再結合

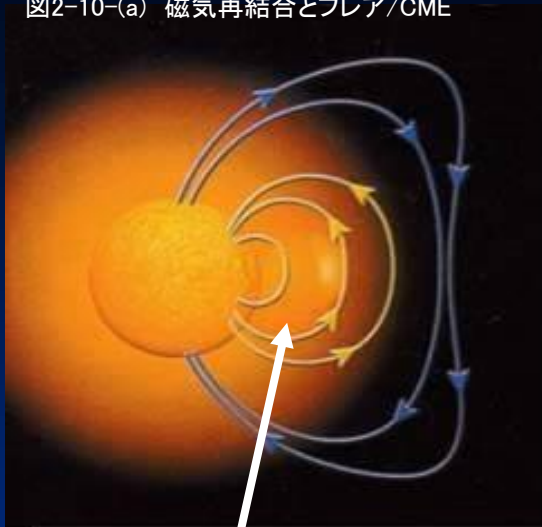


磁気再結合 (Magnetic Reconnection)

- Flare現象で2つの逆向きの磁力線が押し付けられると、その間（磁気中性面）に強い電流が流れる
- 何らかの理由で、電流抵抗が上がると電流は散逸し、磁力線のつなぎ替えが起る
- すると磁力線の張力によりプラズマが加速され、猛スピードになり、最終的には熱に変わる
- こうして磁場のエネルギーがプラズマの運動・熱エネルギーに変換される

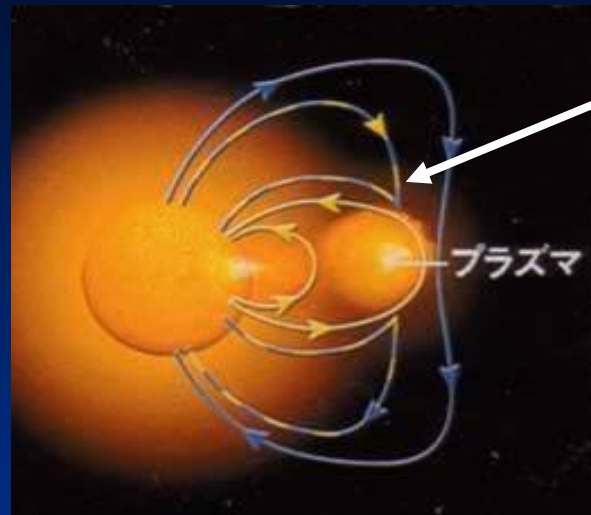
磁気再結合の模式図(Magnetic Reconnection)

図2-10-(a) 磁気再結合とフレア/CME



複数の磁力線が磁力線そのものに莫大なエネルギーを蓄えると共に、ネットのように内部のプラズマを押し込め込む

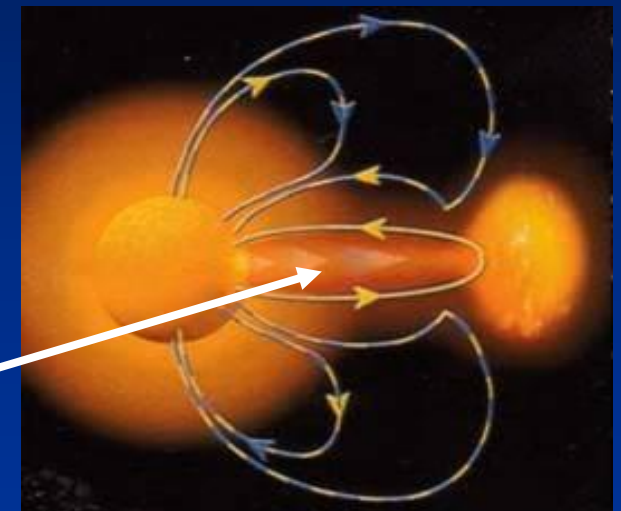
図2-10-(b) 磁気再結合とフレア/CME



このプラズマガスが、通常の太陽風の中を進むとき、衝撃波が生じて、荷電粒子のエネルギーとX線など電磁放射エネルギーがすざましいレベルにまで高まる

磁力線は激しく動き、磁気再結合という過程で、別の磁力線と合体し、そのエネルギーを開放するとともに、数十億トンのプラズマが時速150-万キロものスピードで磁気ネットを突き破り何千万キロに広がる

図2-10-(c) 磁気再結合とフレア/CME



<http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=stereoimages&iid=170>

このサイトの“Halloween’s Erupting Prominence”と銘打った動画で、磁力線とか磁気再結合の様子がよく見える

Active Flare発生の写真



図2-11 フレア写真

- 磁気リコネクションの模式図でも明らかなように、磁場に蓄えられていたエネルギー（パチンコの伸びきったゴム）が、磁気再結合（パチンコの発射）という過程をへてプラズマガスの猛烈な運動エネルギー（パチンコの玉）に変換され、フレアに起因する大きな太陽風に発展して惑星間空間に飛び出す
- そのときついでにプラズマガスは磁場も引きちぎって持ってくる。これを発見した科学者はノーベル賞を受けている
- この磁気再結合過程は地球磁気圏内部でも起きていて、オーロラ・サブストーム/オーロラの原因になっている
- 右下の水色の点は地球の大きさ

フレア(Flare)による電磁波タイプとクラス

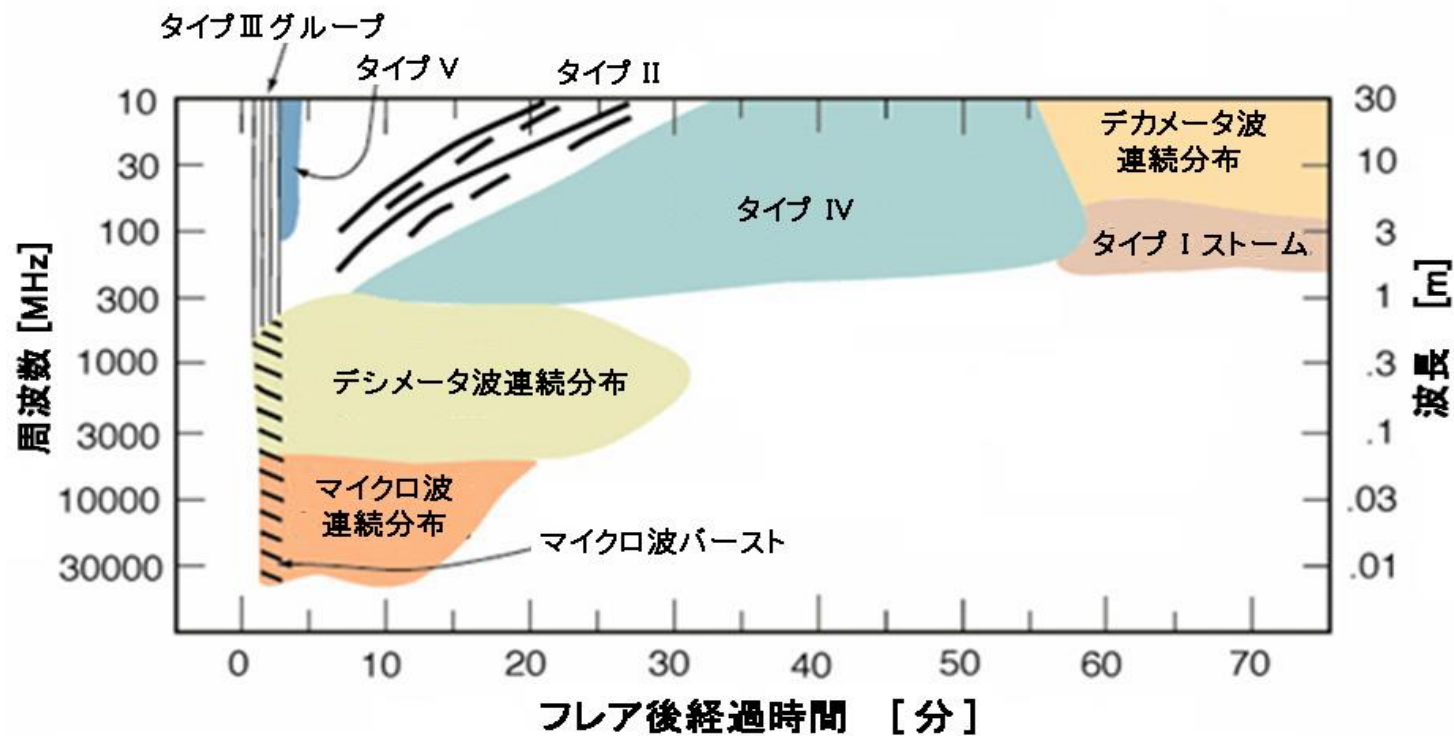


図2-12 大型フレア（2B 以上）で発生する可能性のある典型的ダイナミック・スペクトラム
source: Solar-Geophysical Data, July, 1987

フレア電磁波バーストとダイナミックスペクトラム☒



不思議な大工さん雑音

時はサイクル23の最盛期。本資料でも紹介しているクラスXの記録的巨大フレアがドカンドカンとバブル経済のように景気良く太陽面で爆発していたころの話

いつもの日曜日グータラに遅く起き出してきた。飯能市の美杉台は新興住宅地で新築ラッシュだった。義理の兄貴も近くに住んでいて『埼玉の田園調布』と豪語していた。『なに言ってるんだい、田園調布に住むようなRICHな人は、こんな片田舎の山の上まで追いやられないよ』。でも、今日の日曜日はとにかく朝から電気カンナの音がうるさい。ベランダに出て何処に新築がまた建ったのかと眺めてみたがそれらしい建物は見えない

変だなあと思いながらシャックに戻ったら、430のリグが消し忘れていてそこからチューンという電気カンナの音が鳴り響いていた。何だこりゃ？また新手の妨害君かい？不思議なことにこの電気カンナ音どのFMチャンネルを回しても聞こえる。妨害君が100人結束してもこんなこと出来ないぞ。リグの故障でないことは後に確認

いま考えるとこれは巨大フレアと共に発生した電磁波バーストを聞いていたんだなと結論付けている。数時間続いていたが、めったにない不思議な体験をした。電気カンナそっくり

太陽風(Solar Wind)

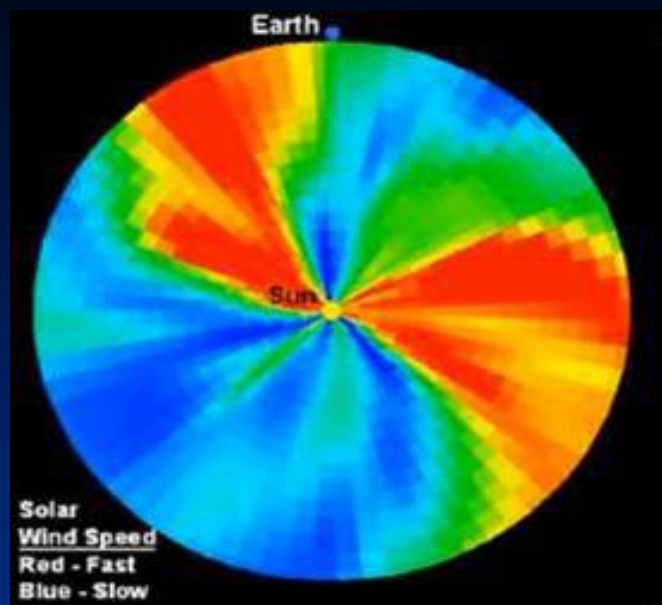


図2-13-(a) 太陽風モデル

太陽からは、定常的にHSSWS (High Speed Solar Wind System)というコロナ起源の低速プロトン(300-700Km/sec)や電子が惑星間空間を流れている。その密度は1ccあたり平均5個くらいのプロトンを含む。フレア起源のもっと高速なプラズマガスも流れる。左と下の図にもあるように、太陽は自転しながら太陽風を噴出すので、ちょうど傘を回転させて水を切るような流れが起きる。両図の赤い部分は、高速の太陽風をしめし、それがたまたま地球に当たるかどうかで、磁気嵐の発生に影響するので、色々な太陽風のモデルが考えられている。

高速なプラズマ(磁場を持つ)に地球が遭遇し、かつ磁場が南を向いていると、大きな磁気圏嵐や(オーロラ)サブストームが発生し、電波伝搬や社会生活にも影響が出る。地球がホットなプラズマに当たるのは1/6位の確率。

Wang-Sheely Model ⇒

このモデルでは、地磁気活動(磁気嵐)を予測するために必要な2つの重要なパラメータである、太陽風の速度と地球における太陽系磁場の極性を予測する。中心に太陽、上に地球。赤が高速で青が遅い

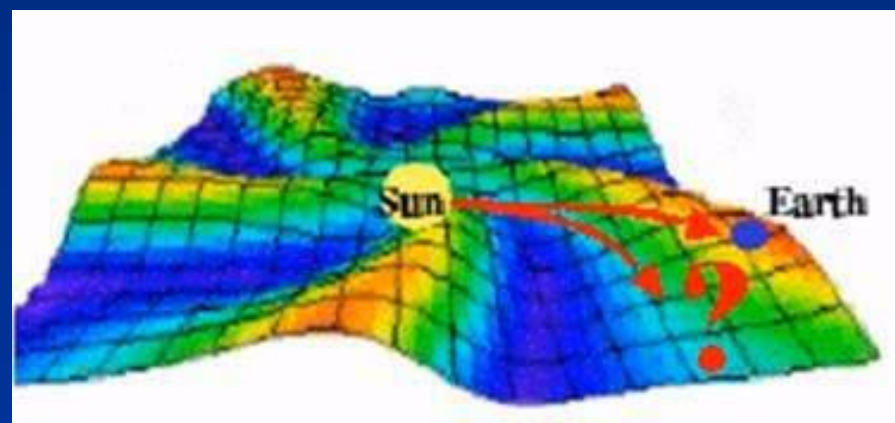
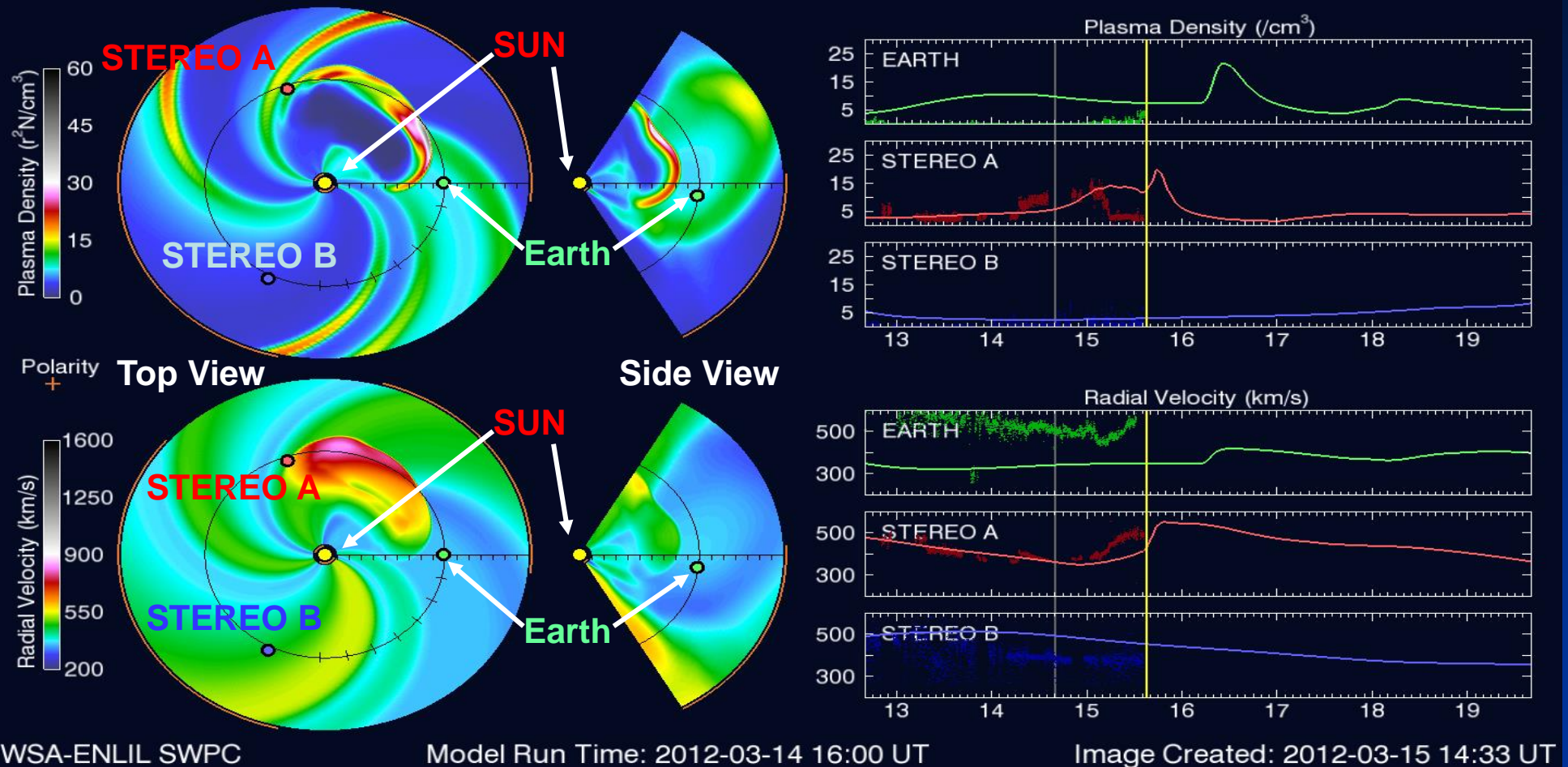


図2-13-(b) 太陽風モデル

地球公転軌道に2つの衛星を投入し、太陽系内の3箇所で太陽風を観測中。サンプルデータは電子、陽子などの高速荷電粒子の速度[Km/S]と1cc当たりの個数。左はこれらのデータを基に計算したアニメ画像で太陽風が渦をまきながら周辺部に流れてゆく様子がWebsiteで確認できる。赤や白はホットな粒子で地球磁気圏に飛び込むと衛星通信や社会インフラに危険。(オーロラ観光にはFB) 超巨大フレアの太陽風をすれすれでかわす事もある

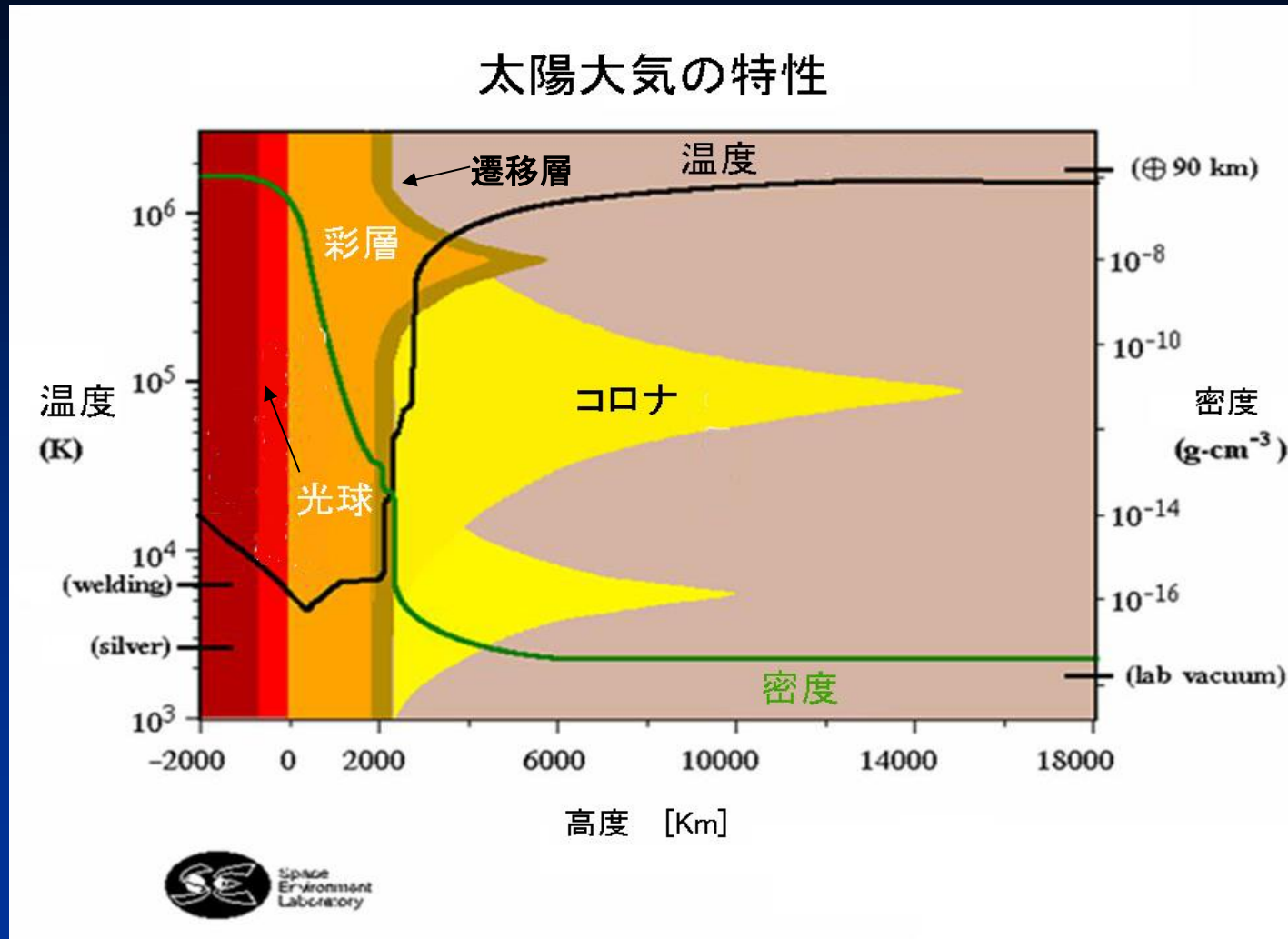
2012-03-15 15:00:00

図2-14 STEREO衛星データ



太陽上層大気と特性

図2-14 太陽大気構造



太陽コロナは磁力線を通じてのエネルギー供給を受け100万度の超高温になる

CME (Coronal Mass Ejection)

- フレア以外の太陽風のソースとして、コロナ・ホールがある。最近の研究ではフレアよりCMEの方が、磁気嵐に強く影響する可能性が高いと考えられている
- コロナホールはX線観測で確認でき、黒い部分がコロナホールで（白丸印）白が活動領域（黒丸印）
- 単極の磁力線が惑星空間に出る場合がある
- コロナホールからは、大量のプロトン（陽子）と電子の荷電粒子が、平穏時の太陽風として定常的に吹き出す →HSSWS
- CMEはフレアと一緒に発生するが、単独でも発生し広島型爆弾の2000億倍のエネルギーを持つ
- 大規模なCMEは、一度に10-100億トンに達する質量を惑星間空間に吐き出す
- CMEは比較的最近、70年代に判って来た現象

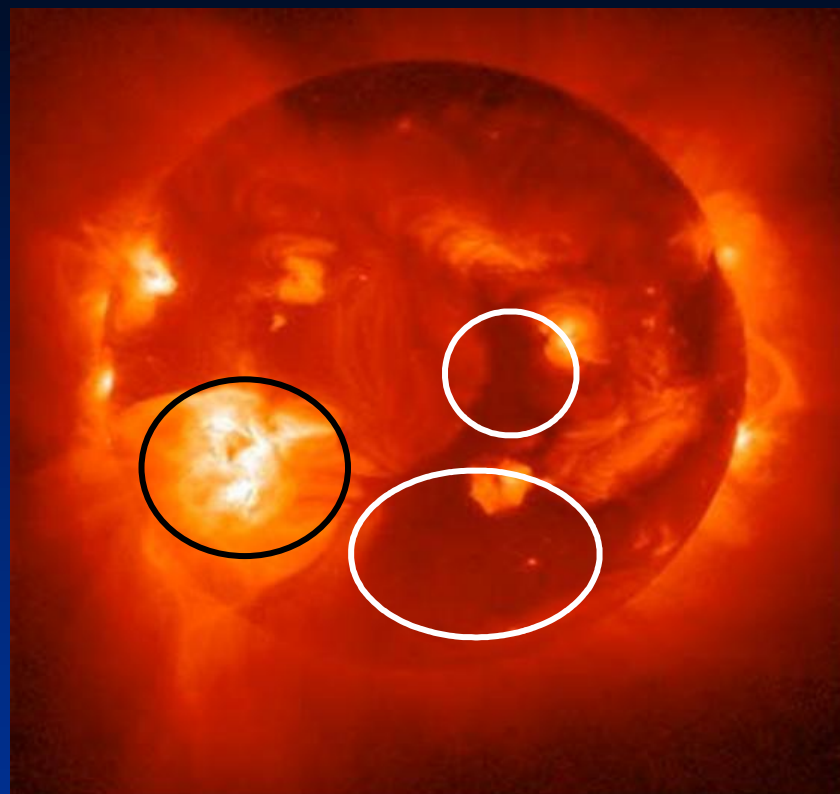


図2-15 X線で見えたCorona Holeと活動領域

CME (Coronal Mass Ejection)



図2-16 CME発生現場(1)

CMEは単独でも発生するが、上の写真のように、フレア爆発と連動する場合もある

SOHO衛星の丸い光球遮蔽版が見える
1970年の初頭まで、CMEはその存在すら知られていなかった

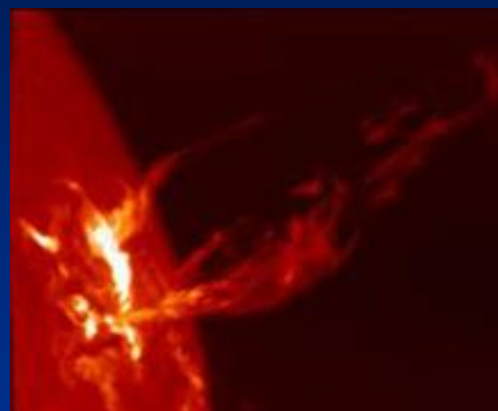
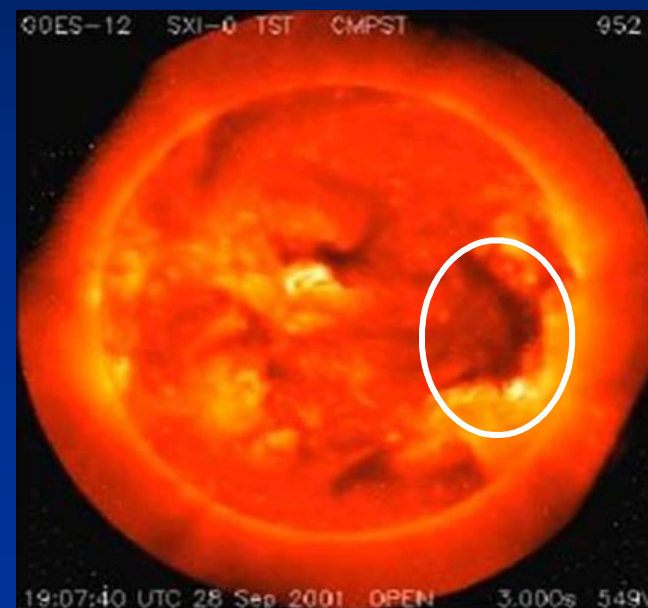


図2-16 CME発生現場(2)

図2-16 Corona Hole (3)

3時方向の縦長の黒い部分がコロナホール 中央付近の白い部分はアクティブエリアを示す

普段は高速の太陽風が定期的に吹き出されている太陽の領域。開いた磁場構造をしており、密度が低いため、X線や紫外線では、暗い領域として観測される



地球磁気圏のコンピュータ・シミュレーション

図2-17 地球磁気圏のシミュレーション

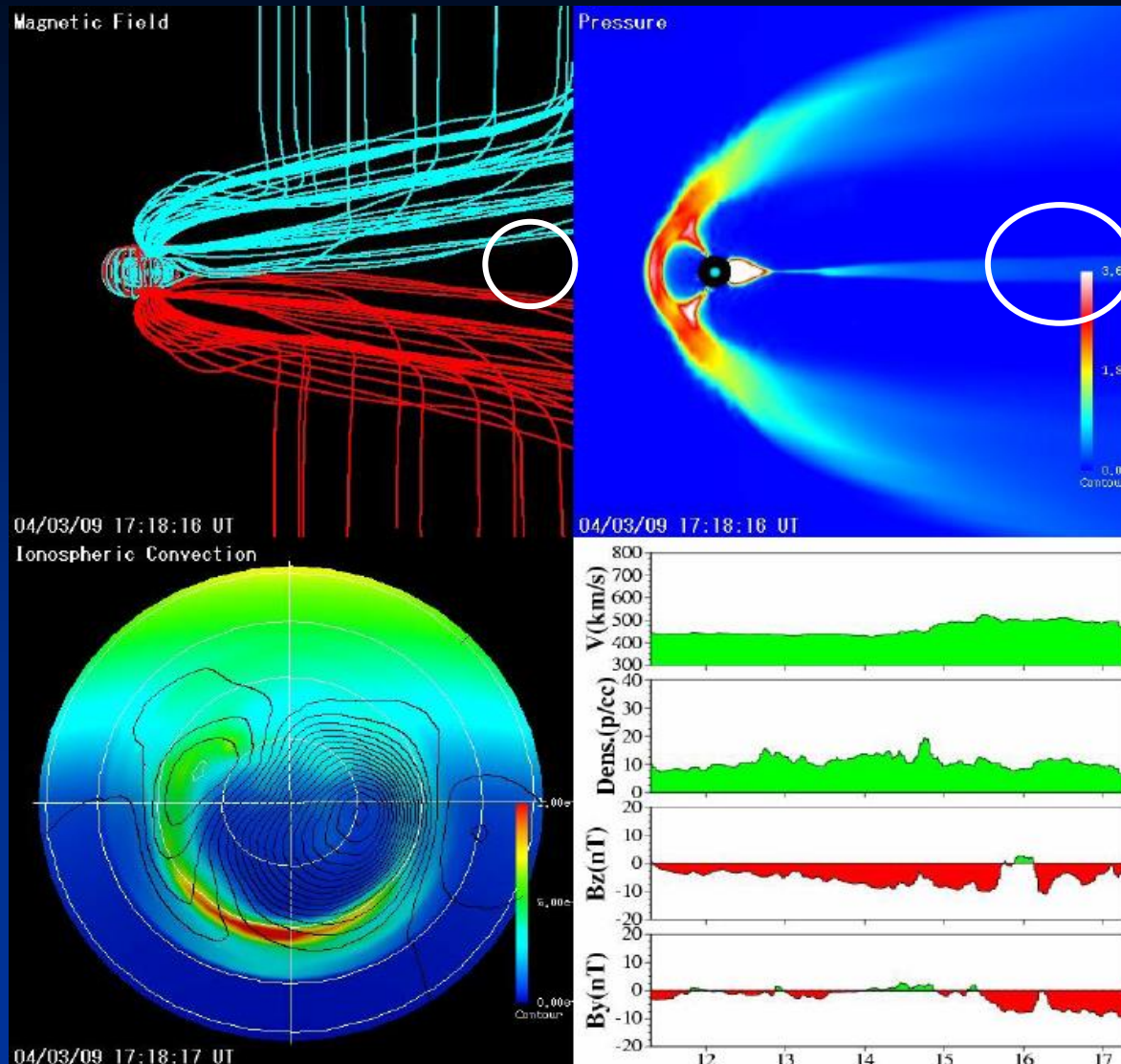
地球を取り巻く
磁力線の変化

地球の近傍では磁力線は閉じてループになっているが他は無限遠に伸びている

太陽風のプラズマガスの磁力線が南向き（図で上から下の方向）だと地球の磁力線とバッチンと吸い付き、磁力線を介して図面白丸より後方に溜まる。それが後にオーロラの元になる

プラズマガスが超高速でエネルギーが高いと、上記のパスを取らず、カスプ領域を經由してそのまま極地方に流れ込みPCAなどの極域の無線障害を起こす

極地方から見た電離層の電離度の変化



太陽風が地球磁気圏と衝突しショックウエーブで生じるプラズマガス圧の変化

バウ・ショックとも言い船の船首に波頭があたり Nano Pascal [np]レベルの圧を生じる

この4つのグラフは実際の観測データで、上から
●太陽風の速度
-----[Km/sec]

●太陽風の1cc当たりの陽子の個数
---[N/cc]

●地球磁場の時間変化、磁気嵐が起きると二つの角度成分とも大きく減少する
---[nT]

太陽/地球観測衛星

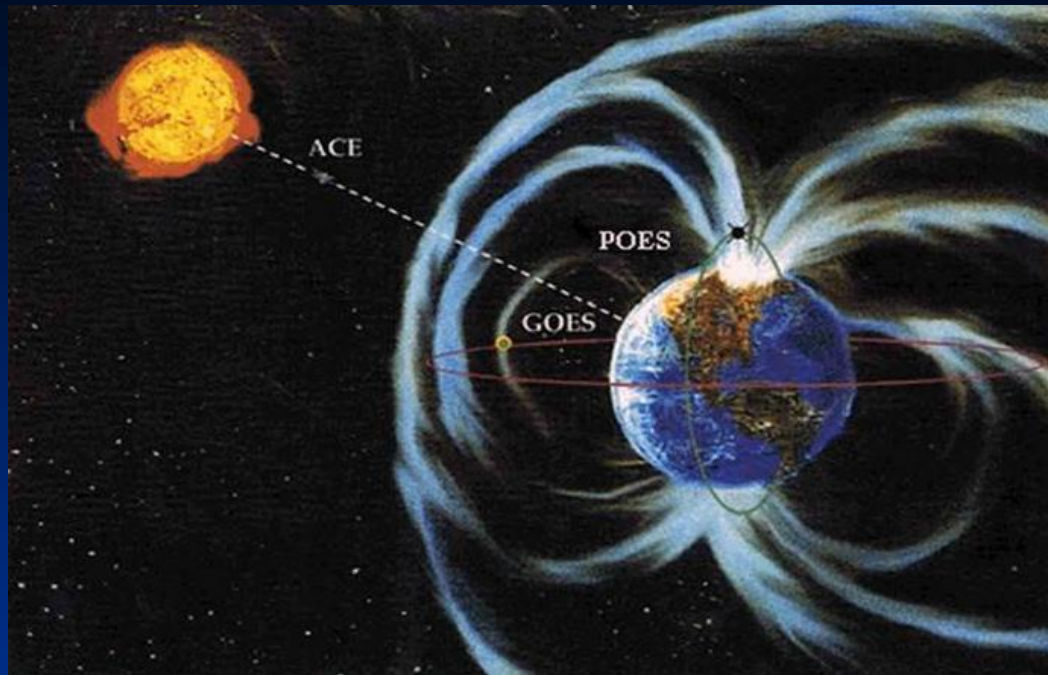


図2-18 太陽・地球観測衛星

ここではACE衛星、GOES衛星、極域を調べているPOES衛星が図示されている

太陽・地球観測衛星

50年代にスプートニクが初めての人工衛星として上がって以来、我々素人でも目を見張るような進歩をとげた

観測衛星には知る限りでは：

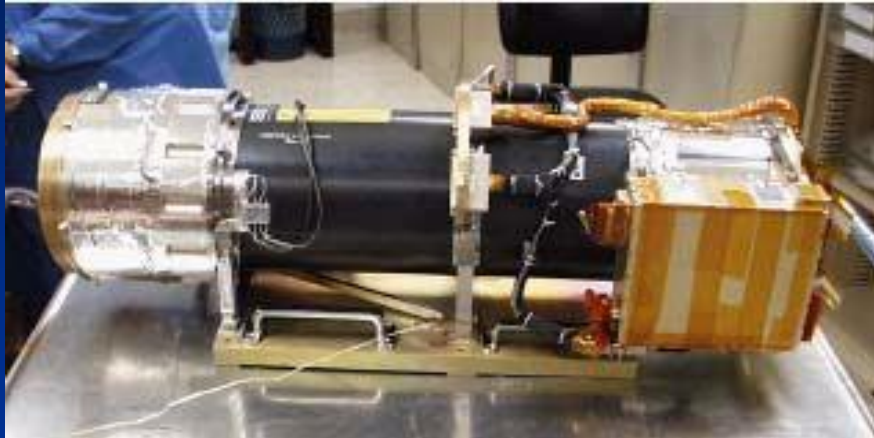
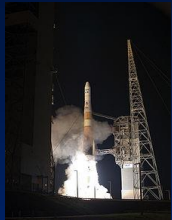
- 地球周回軌道
- 地球静止軌道
- 地球極地方周回軌道
- ラグランジュ点投入衛星

あたりが活躍しています

計測器も電磁波スペクトルのどこかを観測したり、粒子の数や速度を計数したり、その場所の電界・磁界・重力を計測などします。アクティブなものでは、レーダー電波で地表の高さを計測したり、とても高精度で精密です

アマチュア無線では電波伝搬が一番気になる部分なので一番お世話になっている衛星はACE、SOHO、GOESの3つがメインです。もちろん地上観測のデータも重要です

太陽/X線観測衛星GOES



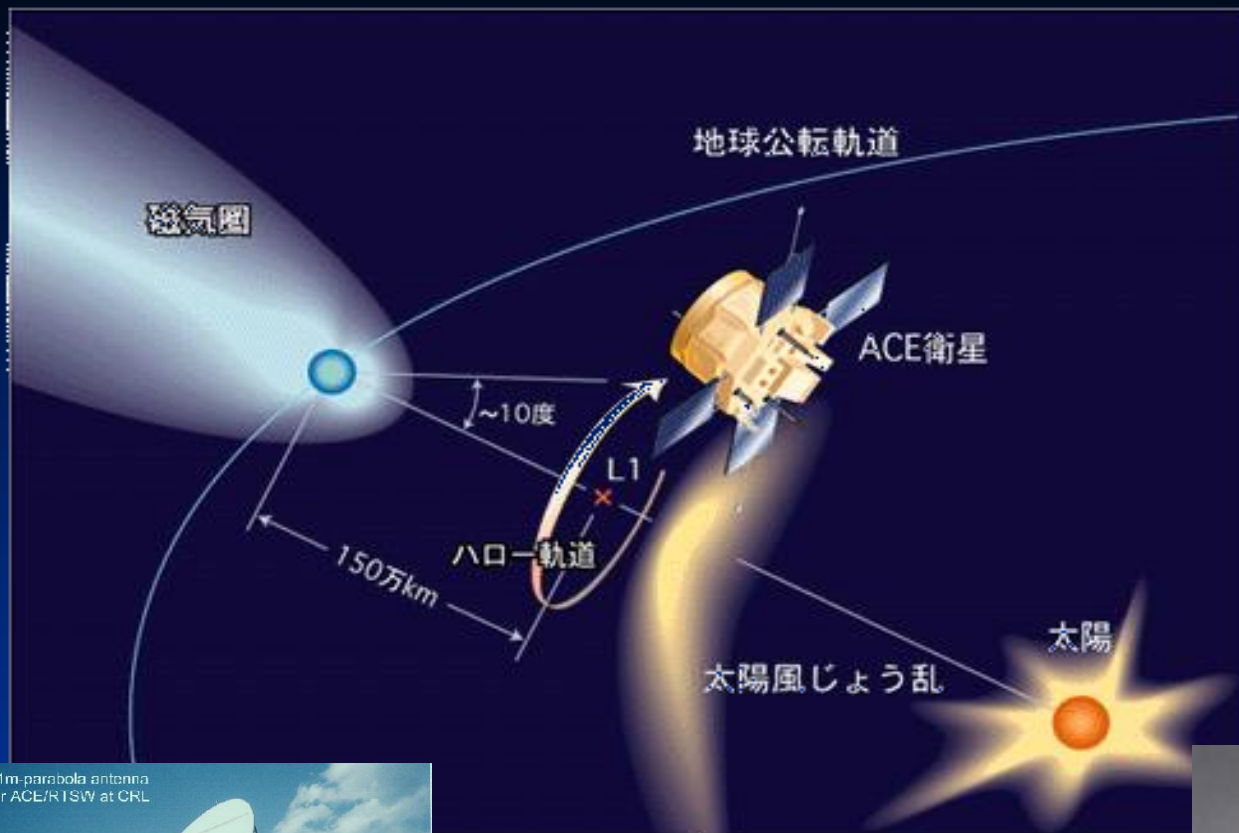
ロッキード・マーチン社製最新GOES 太陽X線撮像管
Solar X-Ray Imager (SXI)

Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) --- 太陽X線観測衛星

このシリーズは既に15機目で機能を終えて大気圏再突入した衛星もある
太陽X線と赤外線での地球観測が主な任務であり、この衛星が2種類の波長のX線で行った観測データは至る所で目にする。無線家にとっても重要な衛星

図2-19 GOES太陽X線観測衛星

太陽/太陽風観測衛星ACE



ACE (Advanced Composition Explorer)衛星は太陽風のリアルタイムデータを観測し続けている

CMEプラズマの極性判定はACEが行って警報の元データをすばやく地球に送り込んでいる

地球の引力と太陽からの引力がほぼ等しくなる安定点ラグランジュ1に投入されている。そこでさらに円軌道を描いているのは電波通信的に太陽がまぶしいから



図2-19 ACE太陽風観測衛星



太陽観測衛星STEREO A/B

どうせなら2つ打ち上げて、太陽に対して良く見通しが効く安定したL4L5に投入し、ついでに3Dで見てしまおうという発想がすごい

これによって今まで太陽風の警報がACE衛星の1時間前だったのが、この2つの衛星によって数日前から正確な警報が出せるようになったし、CMEのような現象を3Dで研究できるようになった

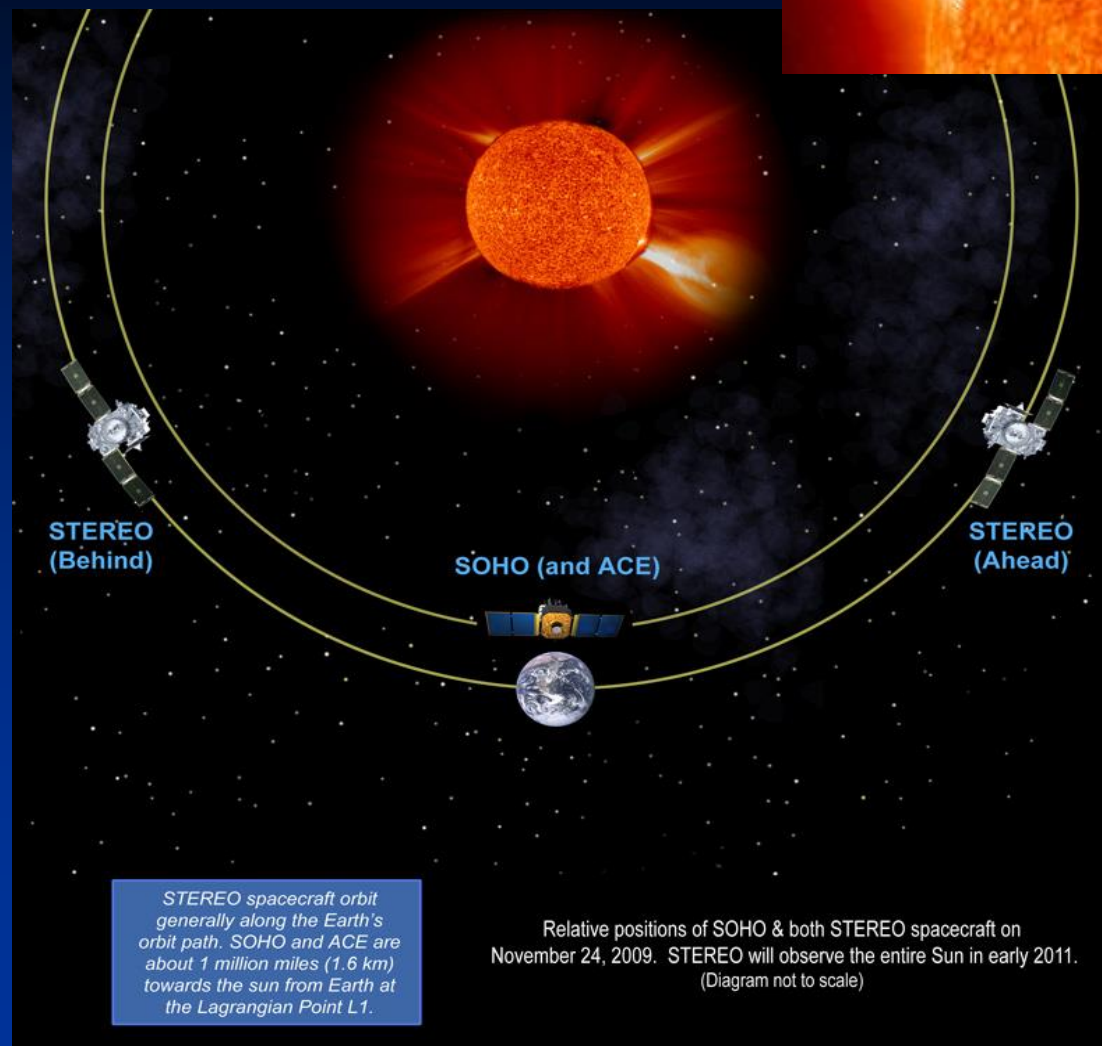


図2-20-b STEREO衛星外観

X2 Flare & CME



図2-20-a STEREO太陽観測衛星軌道



太陽・地球・惑星間空間観測主要衛星一覧表

表2-1 太陽地球観測衛星軌一覧

衛星名称	打上げ年/ロケット	衛星軌道	測定項目	特徴・他
ACE	1997年/ デルタII	ラグランジュ1周辺/ ハロー軌道	太陽風速度 太陽風磁場強度・方向	太陽風はACE通過後1時間かけて地球に到達するので、事前に磁気嵐や衛星防護の警報を出せる
SOHO	1995年/ アトラス	ラグランジュ1周辺/ リサーチ軌道、	太陽コロナ・彩層・遷移層 太陽風 日震学	当初2年稼働する計画だったが、今年になって2012年12月までは運用すると決定
GOSE-15	2010年/ デルタIV	135° W 太平洋上/ 地球静止軌道	赤外線地球探査 / 太陽X線測定 Solar X-Ray Imager (SXI)	気象用とX線観測の共用 非常に多くのシリーズが打ち上げられた 故障したのが南極基地と米国本土の通信だけに使われていたりする
STEREO A/B	2006年/ デルタII	ラグランジュ4/5 公転軌道	CME及び 太陽風立体観測	3D観測と測定軌道により太陽風観測がより精密に行われている。太陽風の予報もより正確になった
ASCA	1993年/ M-3SIIロケット	地球周回軌道/ 500Km-600Km / 95分で一周	宇宙X線天文衛星観測 イメージ分光観測器	ブラックホールからのX線確認やダーククラスタの発見など非常に多くの科学的成果を上げた アスカのデータで博士号を取った人は70人以上、論文は1000件を越え非常に多い 残念ながら強力な太陽風の直撃で姿勢制御を失い2001年に墜落
HINODE	2006年/ M-V-7ロケット	地球周回軌道/ 680Km / 98分	太陽観測衛星 X線観測、 EUV観測	2012になってから太陽の極域の11年周期の磁極反転が北極でしか起きていないことを発見 マウンダーミニマム再来か？地球で起きたらオリエンテーリング競技は不可能(笑)



Lagrangian points

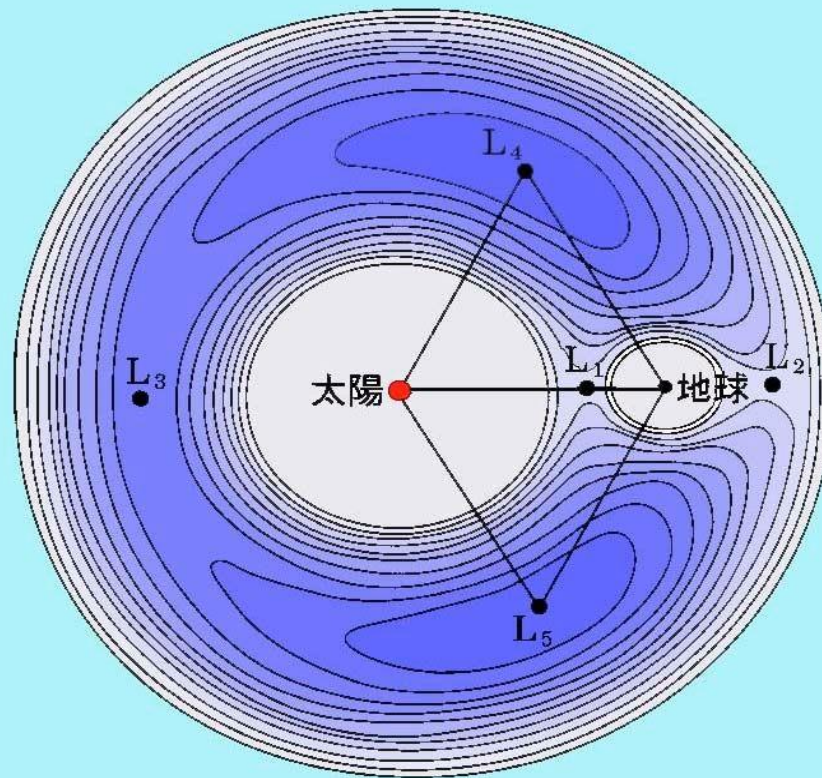


図2-21 ラグランジュ点

ラグランジュ・ポイント

これは天体力学的に、安定した位置なので人工衛星がよく投入される場所になる。三体問題として天体力学計算で有名な、太陽・巨大惑星と3角形をなす位置は重力的に安定し、小惑星群などが太陽を周回している

このような力学的に安定した場所に衛星を入れると、位置制御の為に噴射ガスの量が少なくて済み、衛星の寿命が延びる

ラグランジュ・ポイントは、L1からL5まであり、エース衛星はL1にいて太陽風を監視し、通常1時間位前に警報をだせる。L5に投入すると強い太陽風の到来を4-5日前に警報を出せる。(その後2006年にL4,L5にSTEREO衛星を投入することで実現した)

太陽活動の人工衛星への影響

衛星の寿命の低下

- 帯電によるESD
- 加熱, Battery life太陽電池のしきい値の変化
- Single Event Upsets
- Dragの増加で衛星墜落
国際宇宙ステーションも
極大期では1日300m
軌道が低下する事がある

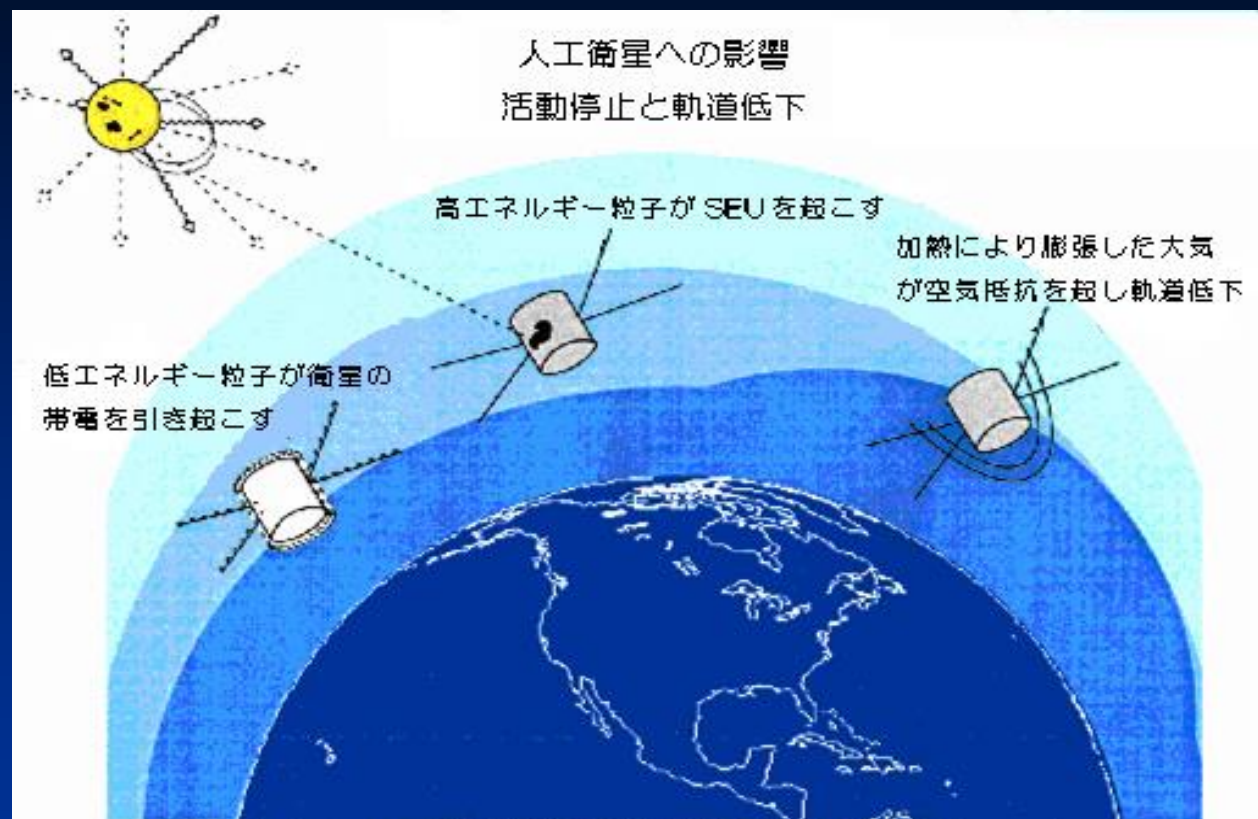


図2-22 衛星寿命の低下原因

太陽活動の人工衛星への影響

二次宇宙線の散乱



図2-23 二次宇宙線シャワー

Single Event Upsets

- 衛星内部の半導体が中性子に被爆
- イオン化によりシリコン内に電荷が生じる
- 0-1論理の反転が起きる
- デジタル回路の動作不良

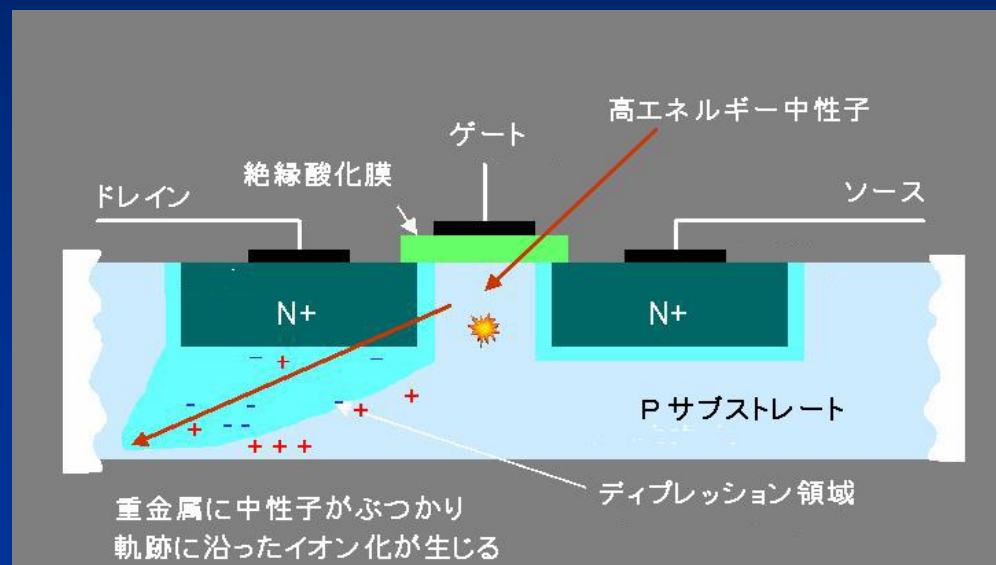
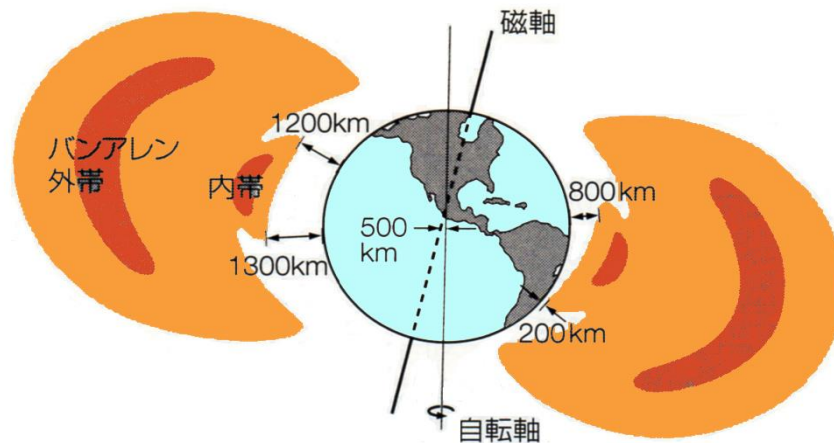


図2-24 SEU

Coffee Break (ブラジル異常)



図2-25 ブラジル異常



ブラジル人は異常にサンバが好きで、毎年2月のリオのカーニバルではサンバで盛り上がっている。ワールドカップでも応援はサンバ。お嫁サンバとかまつけん・サンバよりはるかにノリが良い TV中継でも試合よりこの応援のサンバを聴いてます。一度行きたい国の一つ。サンバ大好き

さて、国土地理院の地図を見ると偏角6度なんて小さく書いてある。つまり地図上の北極と地磁気上の北極は違って、実際の地磁気の北極はグリーンランドの辺りにある

さらに、地球を磁石に見立てたときも地球内部で中心から500Kmも位置がずれている。日本に近く、裏側のブラジルでは500Kmも離れている。磁力は距離の二乗に反比例するから、この500Kmは大きくブラジル上空では磁力が極めて弱まっている

その結果、バンアレン帯が上空200Kmまで下がってきている。バンアレン帯内には他の解説ページにもあるように超高エネルギーの荷電粒子がトラップされて飛び回っているし、磁力が弱いので外部からの粒子も飛び込みやすい

問題はその200Kmという高度で、多くの地球周回軌道の人工衛星はこれ以上の高さを通るので、衛星内の半導体を中心とした機器はSEUのような障害を受け故障しやすくなる。極軌道を通る衛星故障の75%はブラジル上空で起きている。これを『ブラジル異常』とか『南大西洋異常』と呼んでいる

なお左の『パツンパツン』はBrazil, Rioでは正常

太陽活動の異変(1)

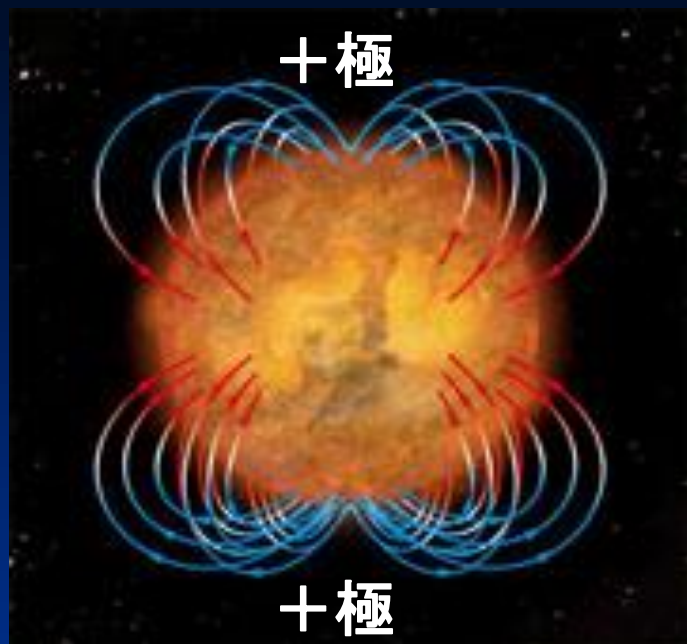


図2-26 太陽磁極の反転異常

磁極の南北反転が起きていない! ?

南極地方の磁極が負極に反転しない!

現サイクルでは非活発な時期が長く、周期が延びていた。ここ1、2年でようやく活動が上昇に転じ黒点やフレアが見られるようになってきたが、その活動レベルは必ずしも高くなく、上述の観測結果を含めて、むしろ長期的に見ると太陽活動は低下していく兆候がはっきりしてきた。

これは2012年春に新聞でも大々的に報道され一般にも知られることになった

長期的に見ると太陽活動は低下していく兆候がはっきりしてきた。

太陽活動の異変(2)

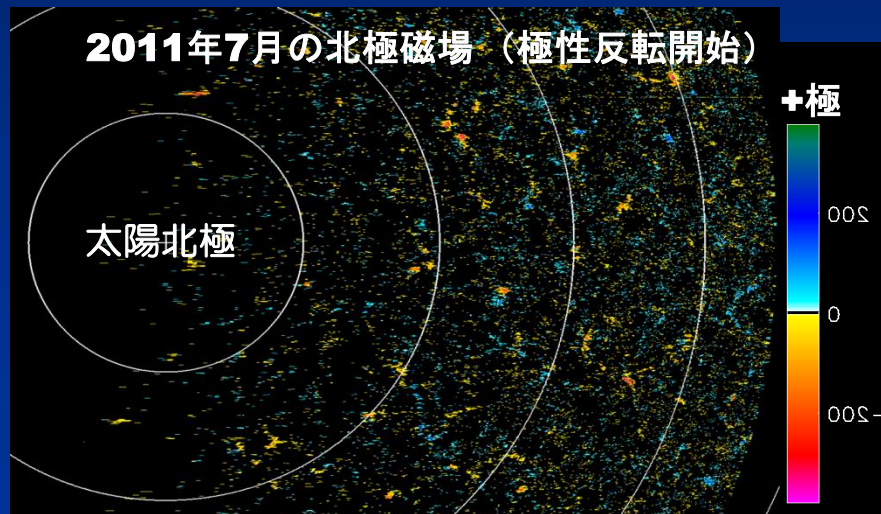
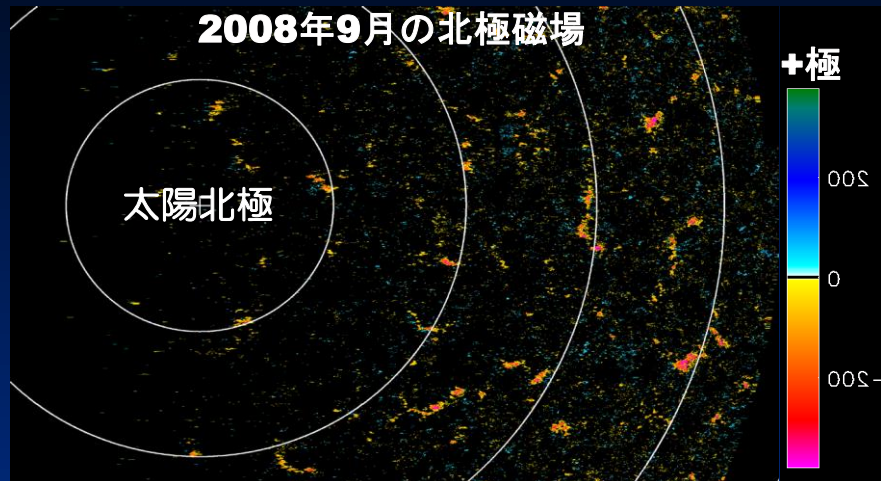


図2-27 太陽北極磁極の反転

磁極の反転が起きない

- 太陽は約11年周期で南極と北極の磁極の反転が起き、N-S極が入れ替わる。従って、普通の太陽周期は約22年になる
- 太陽の北極では2011年7月+極に反転開始
- ところが南極では反転が起きていない
結果的に南北両極ともに極性が+極になる。
こんなことは太陽観測史上始めて以来の現象
- ひので衛星の高分解能機器で観測の難しい極地方の磁場を測定可能になり、左の写真のような精密な変化を捉えている。ところが、皮肉なことにその原因がさっぱりわからない!

太陽活動の異変(3)

日本の太陽観測衛星ひのでの成果

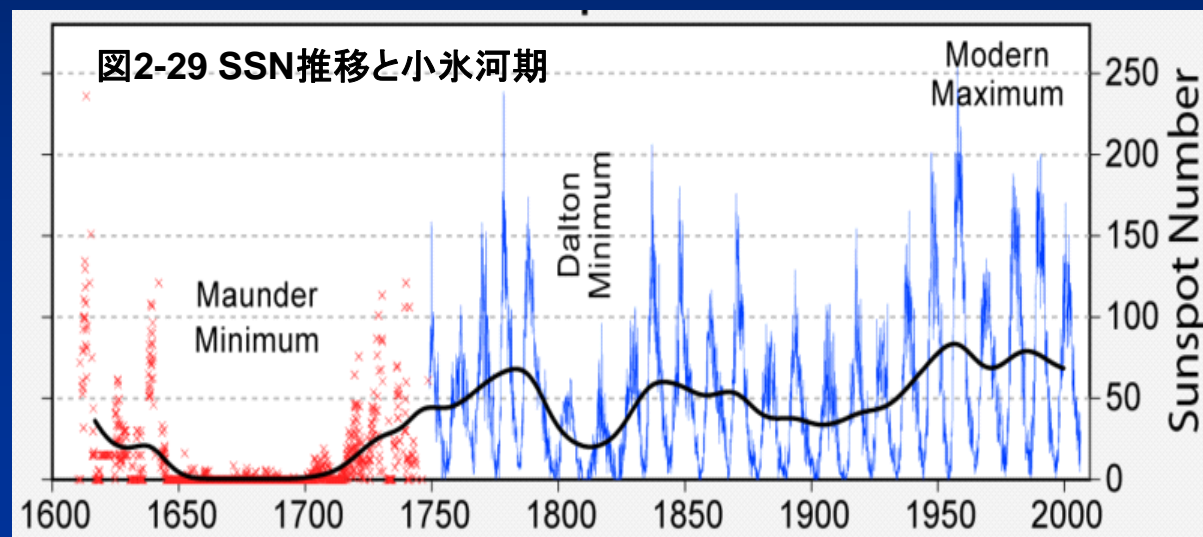


図2-28 高分解能のひので衛星

太陽活動の異変(4)

過去の太陽周期を振り返ってみると.....

- 過去何回かあった極小期のうち、マウンダー極小期とダルトン極小期が図に示されている
- マウンダー極小期の頃は14年周期、ダルトン極小期では13年周期まで太陽周期が延びている
このように活動が低下する際は太陽周期が延びることが知られている
- そして現在12.6年と太陽周期が相当延びているので太陽活動が低下のきざしと受け止める太陽物理の科学者が多い
- JAXAのプレゼンではダルトン極小期に丸印をしてあったが、何のコメントも付いていない
実は164ページの『似てるなあ』とのコメントはこの文献を見る前に書いた 見解一致(笑)
- ダルトン期の13年、現在も約13年周期。もしかしたら、マウンダー期のように無黒点ではなく、ダルトン極小期のようにSSNのピークが低い太陽サイクルが数サイクル続く時期に突入したのかも
- いずれにせよ寒冷化数十年単位の寒冷化はありそうだが、、、



太陽活動の異変(5)

屋久杉の年輪をコリコリ削ってみると.....

東京大宇宙線研究所の宮原ひろ子特任助教は以前から屋久島の大きな杉からとった試料から、1本ずつの西暦年を割り出し、炭素同位体 ^{14}C を調べていました。彼女無線やってる。できたら根掘り葉掘り聞いてください。炭素同位体 ^{14}C は宇宙線で生成され生物に蓄積される。過多は太陽活動の大きさの良い指標になる。研究で得られた内容は『過去複数回あったマウンダー極小期やダルトン小氷河期の前には、ソーラーサイクルが13年前後に伸び、数サイクル返して小氷河期に例外なく毎回突入している事実を発見』そして、一般向けプレゼンの結論には：

- 太陽サイクルの期間は通常11年程度であるが、1996年に始まった太陽サイクル23の期間は12~13年程度に伸びておりダルトン極小期が発生する直前の様相に似ている。今後、黒点が増えていったとしても、通常の1/3程度の数の黒点しか現れない可能性がある。
- 太陽サイクル24の期間が再び12~13年程度に伸びた場合は、マウンダー極小期やシュペラー極小期などのような70年以上の無黒点期が発生する可能性がある。

マウンダーミニマムの再来時には、太陽は無黒点状態が続きHFハイバンドは完全にNGですが、さすが殆ど無線の現役メンバーがScilent Keyになっていると思います。黒点ゼロに突入する以前の数十年間(数サイクル)は、黒点の増減はあるため短波のハイバンドの無線通信は期待できるので、今アンテナ系のグレードアップ計画をしてるなら無駄にはならないと思う。無黒点だと電離層の電離をさせるX線/UV線が弱くなるので、F2の電離が少なくハイバンドが全滅する。サイクル23の無黒点状態が続いたとき、HFハイバンドが全滅しただけでなく、40mDXまで極端に弱く80mがかえって強かった、MUFが極端に落ち込んだCycle23後期、数年前のあの状態です。無黒点期に入ると、一番DX通信に適したバンドは80mなんてことになる。(俺たちやあ、いい時期に甘茶無線を楽しんだもんだなあ)

そういえば宮原先生、室生寺の倒れた杉もコリコリしてる。女人高野だから許可とりやすかったかな？

図2-30 宮原特任助教



太陽活動の異変(6)

雲量と太陽周期の相関の発見 (地球寒冷化はありそうだ)

2-3年前までの学者先生の研究では、これまでの小氷河期でさえ太陽輻射エネルギーは0.15%前後しか低下していない。従って無黒点期に入ってもこの程度輻射エネルギーの低下では地球の寒冷化はありえないとする科学者もいました。しかし、今回の新たな発見では：

- ⇒ 太陽活動が低下すると太陽磁気圏が弱まり、太陽風の速度と量も減るのでオールの雲が小さく薄くなる
- ⇒ すると(大気中のオゾン層がUV線の遮蔽効果があるのに似て)、超新星起源の超高エネルギー宇宙線(ガンマ線)が太陽系に進入するのを阻止していた太陽磁気圏とオールの雲(太陽風圏)が弱まり、宇宙線が進入しやすくなる。これは、地球磁気圏が太陽風の荷電粒子が直接地球大気圏に飛び込むのを防ぐ障壁になっているのと同じです。高エネルギーの宇宙線1個が持つエネルギーは大変大きく、隕石を鏡面ラップして酸処理すると、線香花火が直線的に貫いた物理的の傷が見られます。量子レベルの粒子が目に見える傷を付けるのでその1個の宇宙線が持つエネルギーが如何に大きいかわかる
- ⇒ その結果、1次宇宙線が大気に突入して生じる2次宇宙線のシャワーも増えて大気を叩く量も増える。
- ⇒ そして、その2次シャワーに叩かれた細かい分子が微粒子となり、水蒸気の核となって周囲の水蒸気を吸着する。2次宇宙線のシャワーが少ない(大量極大期)とすぐくっ付き合っって降雨となり雲は消え易い。
- ⇒ しかし、太陽極小期では、大量の2次宇宙線シャワーのため微粒子自体が小さく付着する水分も小さいので、相互にくっついて大きな雨粒になりにくく、雲としてそのまま残り年間の平均雲量が増える。
- ⇒ そして雲が太陽光をさえぎり寒冷化する、、、

と、まことしやかに『風が吹くと桶屋が儲かる』的な話しが展開されています。

しかし、来るべき太陽活動低迷期に数十年間もあれだけ大量の雲にカバーされると『核の冬効果』がきついのと思います。しかも、

太陽極小期に世界的に平均雲量が増え、極大期に平均雲量が減るのは、観測記録にももの見事に一致してます。加速器を持つ欧州のセルンでの実験も検証されてます。

ハイバンドが飛ばないのでハムも絶滅危惧種間違いのないね。以上1) 太陽磁場の変調 2) ^{14}C の変化 3) 雲量の変化 という3の新たな証拠が、小氷河期の再来を支持しています。CO₂の温室効果を凌ぐか不明

Section III

Ionospheric Disturbances

**SID, Van Allen Belt, Magnetosphere, MHD, PCA,
Aurora Sub-Storm, Aurora Jet Current, Geomagnetic Storm,
Ionosphere Disturbances**

SID (Sudden Ionospheric Disturbances)

太陽面でフレアの影響でD層でHF電波の吸収が高まり通信が途絶

- フレアの強力な電磁波のバーストが原因
 - 普段より100-1000倍の強度のUV, EUV, X線、（直接原因）
 - その後、光速の数分の一の速度で飛来する太陽宇宙線、
 - 普段より早いプラズマガス塊が太陽風として流れる
- 電磁波のエネルギーでD層の電離度が一気に高まる
- 大量の自由電子発生によりプラズマ周波数が一気に上昇し、普段は通過するだけのHFハイバンドの周波数でも振動できるようになる。ところが受けた電波が電子の運動エネルギーになるが、D層は低高度なので周囲に大量に存在する中性原子ガス（電離していない普通の酸素や窒素など）との衝突でエネルギーを消費して完全に吸収してしまう →短波全域での通信途絶
- 電磁波なので、巨大フレア発生後8分23秒で到達
- 昼間(Sunlit)半球だけの現象でデリンジャー現象とも言う

SID (Sudden Ionospheric Disturbances)

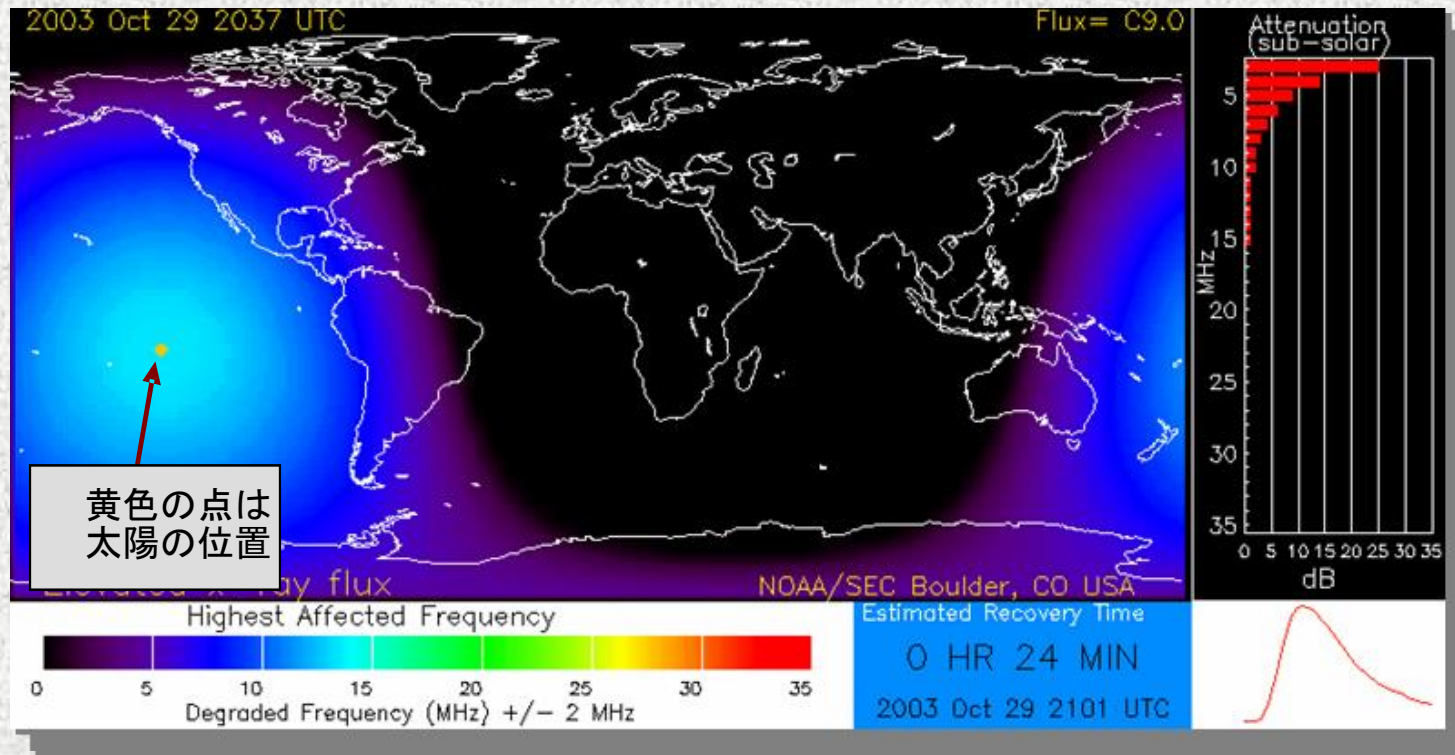
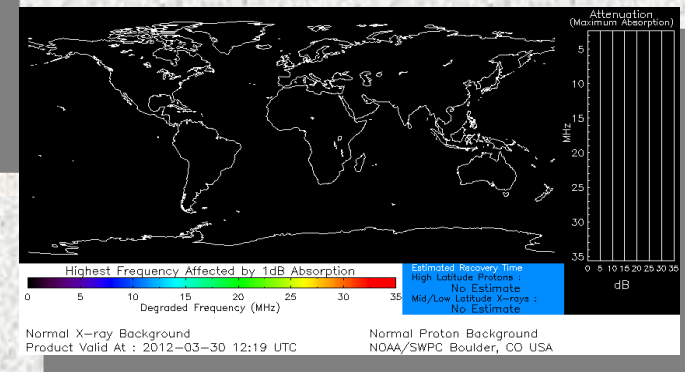


図3-1 SID Monitor

昼間の領域に、カラーでD層の異常に大きな吸収が生じている様子を示している
SIDがない普段のこの画面は、黒地に白い線で世界地図があるだけ



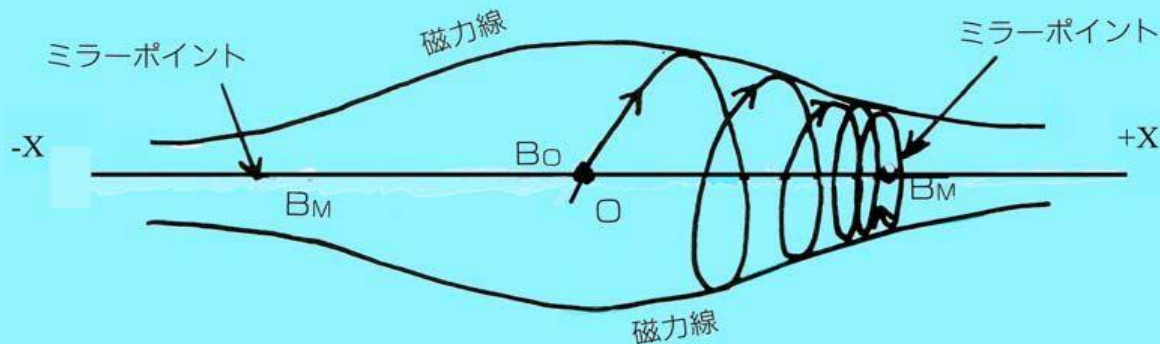
平穏時のグラフ

Magnetic Bottle

マグネチック・ボトル

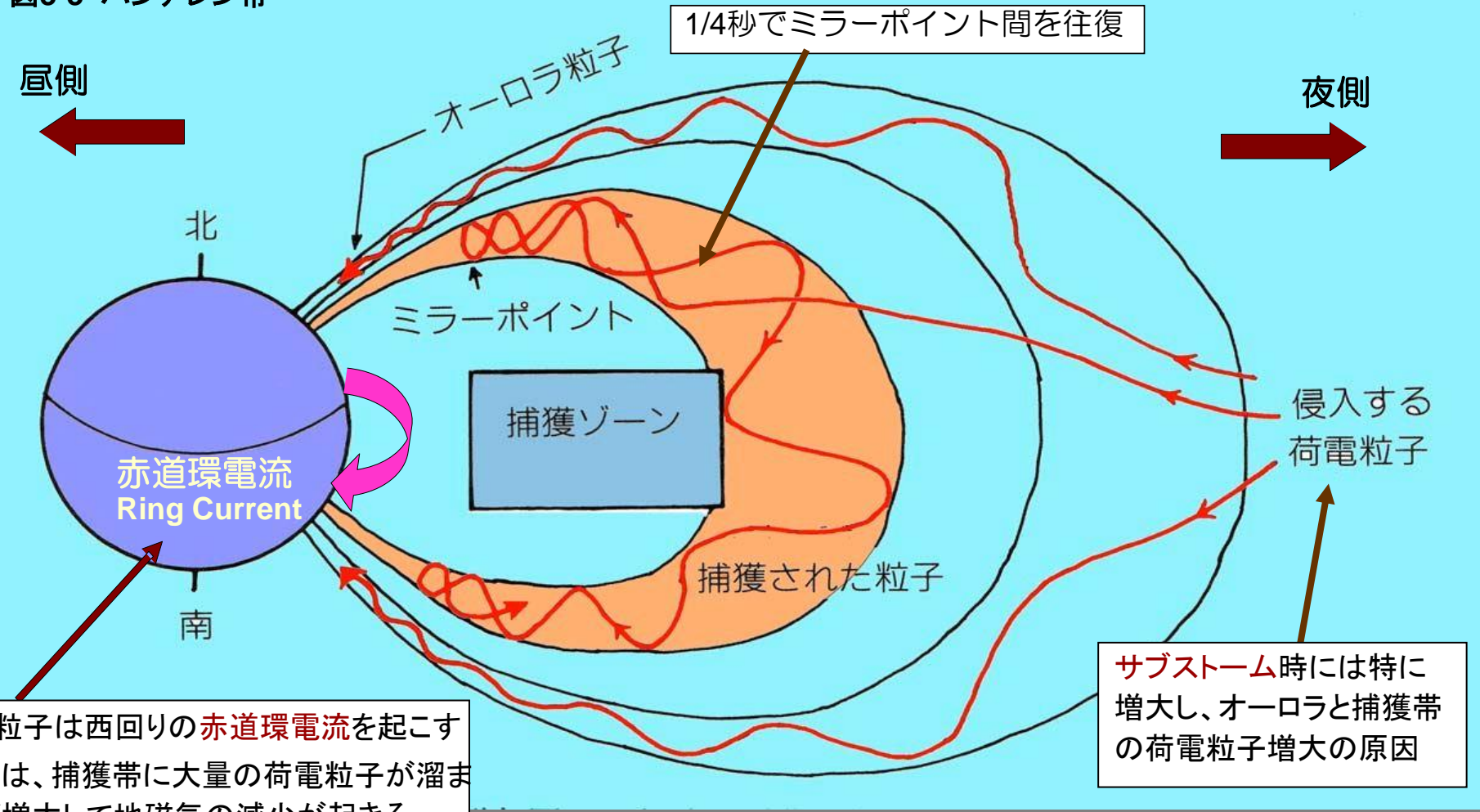
- 磁界中を動く荷電粒子は**必ずSPIN**しながら進行する（左手の法則）
- 両端の狭まった磁界に荷電粒子が飛び込むと、そこで**トラップ**されてしまう
- ボトルの端では口径が狭まり磁束密度が上がるので、円運動の回転量が上昇するが、運動エネルギーは $1/2mv^2$ で一定なので、最後には速度がゼロになる**ミラーポイント**に到達する
- そこから今度は反射して反対方向に同じ運動を繰り返す
- このボトルの両端を持って弓のように曲げ、地軸を中心に1回転させると次ページの図になる
⇒**バンアレン帯、捕捉帯とも言う**

図3-2 Magnetic Bottle



Van Allen Belt (バン・アレン帯) & Ring Current

図3-3 バンアレン帯

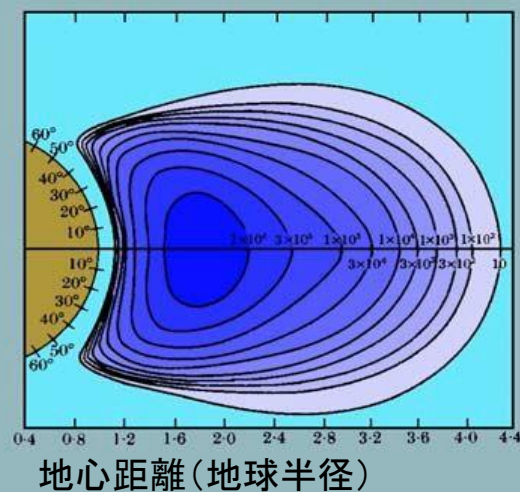


捕獲帯の荷電粒子は西回りの赤道環電流を起こす
サブストームでは、捕獲帯に大量の荷電粒子が溜まり
リング電流が増大して地磁気の減少が起きる →
磁気嵐

サブストーム時には特に増大し、オーロラと捕獲帯の荷電粒子増大の原因

Van Allen Belt (バン・アレン帯) の断面構造

上の青の図は、4MeV以上の陽子の分布を示す



下の赤の図は、50MeV以上の陽子の分布を示す

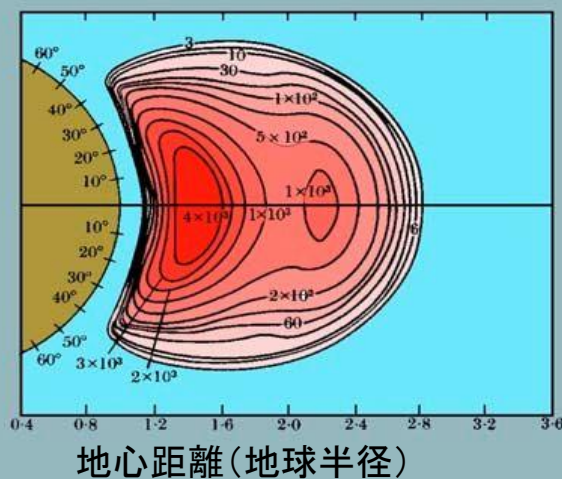


図3-4 バンアレン帯の陽子エネルギー分布

バンアレン帯の正体は巨大なマグネチック・ボトルであり、太陽風に起因する高エネルギー粒子をトラップする

その過程で磁気嵐という地磁気の減少をもたらす

茶色の中の数値は経度を表す
赤、青内の数値は、陽子の単位時間当たりのカウント数で単位は $\text{cm}^{-2}\text{S}^{-1}$

バンアレン帯は、捕捉帯、放射線帯とも呼ばれ、実際放射能を帯びた領域で、このようなドーナツ状の形状をしている危険な領域

子供の頃、晴海の宇宙博覧会で、バンアレン帯を初めて紹介され、有人宇宙旅行の障害になる可能性があると言われていた。

宇宙旅行で、空を駆け上がる夢をみていたガキにとっては、大いにショックだったが、今では階段もかけあがれない

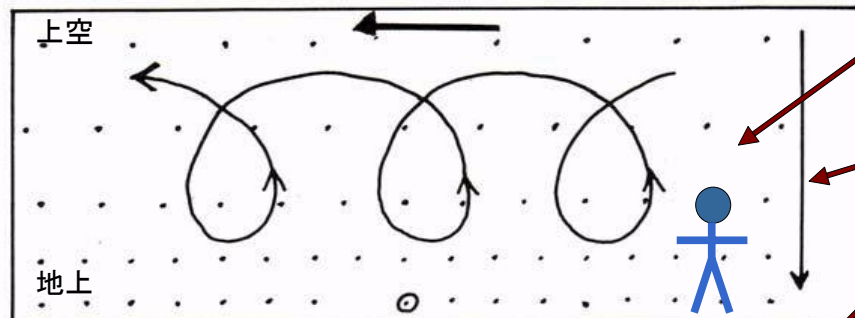
Van Allen Belt (バン・アレン帯)

東

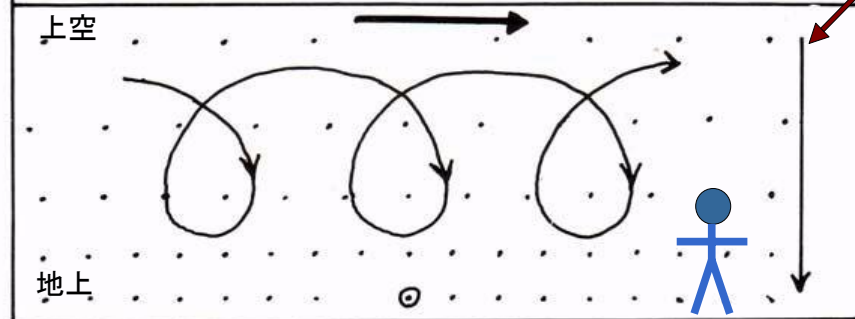


西

電子の動き



+イオンの動き



赤道上で南を向いて立っている状態を想定する

地表に近づくに従って、地磁気の磁束密度が増えていることに注意

磁力線が比較的粗で均等だと、荷電粒子は磁力線に沿って螺旋運動するつまり、磁力線が電線のような働きをする

しかし、この場合のように地上に向けて磁束密度に勾配があると、磁力線のくびきから外れ、スピンしながらツマグネチック・ボトルを南北に往復し、全体としては電子は東側に、+イオンは西側に動いてゆく

こうしてバンアレン帯の中を飛び回っている高エネルギー荷電粒子が巨大な赤道環電流の源になる

図3-5 バンアレン帯の荷電粒子の動き

Van Allen Belt (バン・アレン帯)

バンアレン帯の特徴

- 地球の磁気圏に飛び込んだ荷電粒子の一部は、磁力線に沿ってらせん軌道を描きながらオーロラゾーンに飛び込み、**大気と衝突してオーロラを発生させる**
- その他は、磁気圏の奥深く侵入して**荷電粒子の捕獲帯 (バンアレン帯)**に入る
- その**本質はマグネチックボトル**であり、地球を取り巻くドーナツのような形状をしている
- 超高エネルギーの荷電粒子は、そこで 1)円運動、2)ミラーポイントで反射される往復運動 3) 磁場強度の勾配 (地表からの高度差, Appendix 1参照) により数秒から10時間の地球周回運動 (電流西周り) を起こす **⇒赤道環電流 (Ring Current)**
- +粒子が西、-粒子が東に流れるので、ドーナツの殻を流れる西回りの環電流となり、**地球内部からの磁界を打ち消す方向なので、低・中緯度地方の磁場を減少させる**
- 荷電粒子がなくなるには数日掛かるが、減少率も減るので空にはならない
- 磁気嵐に伴う**サブストーム**発生時に、エネルギーが充填され外形も増える
- 宇宙線→O₂, N₂に衝突→中性子発生→散乱により上空へ→バンアレン帯で陽子と電子に変換という補充もある
- バンアレン帯内の質量は、せいぜい数十Kgだがエネルギーはマグニチュード7の地震や1メガトンの核爆弾に匹敵するエネルギーを持つ **⇒超高エネルギー荷電粒子**



Light Flash Phenomenon

ライト・フラッシュ現象

アポロ11号のオールドリン飛行士(写真)から最初に報告された。飛行中に目をつぶっても暗闇の中に居ても閃光を感じる

その後の調査で宇宙線が直接人間の中枢神経を叩いているからだろうという見解が出た。その後ミールではシリコンの検出装置Sileye-2(黄色い箱)で調査が行われ、ISSでも同様の装置・部屋Sileye-3を設置し研究が続行されている

凄いのはその宇宙線1個(陽子)の巨大エネルギーだ。隕石を鏡のように研磨し酸処理すると直線の筋が見え、直線の周辺に線香花火が光ったような傷も付いている。目に見えないたった一個の素粒子が物理的な傷を隕石に刻む

そうした巨大エネルギーの粒子が神経系に飛び込んで半導体のSingle Event Upsetと同様なチャージを作り、それが神経電気信号になって閃光を認識する

最後のグラフはミールでの実験で閃光を認識した場所のプロット。緯度が高いほど極域の高エネルギー粒子が飛び交う場所だから認識が多いのは判る。例外はブラジル異常の場所でここは磁場が弱いので検出が多い。バンアレン帯内にトラップされている高エネルギー荷電粒子と地球外部からの宇宙線の2種類あるようだ。いずれにせよ危険



図3-6-a Buzz Aldrin
Apollo 11

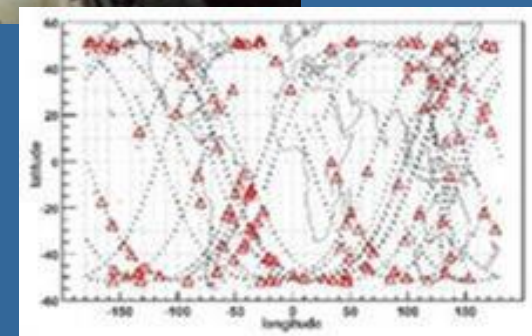
図3-6-b Sileye-2 /MIR



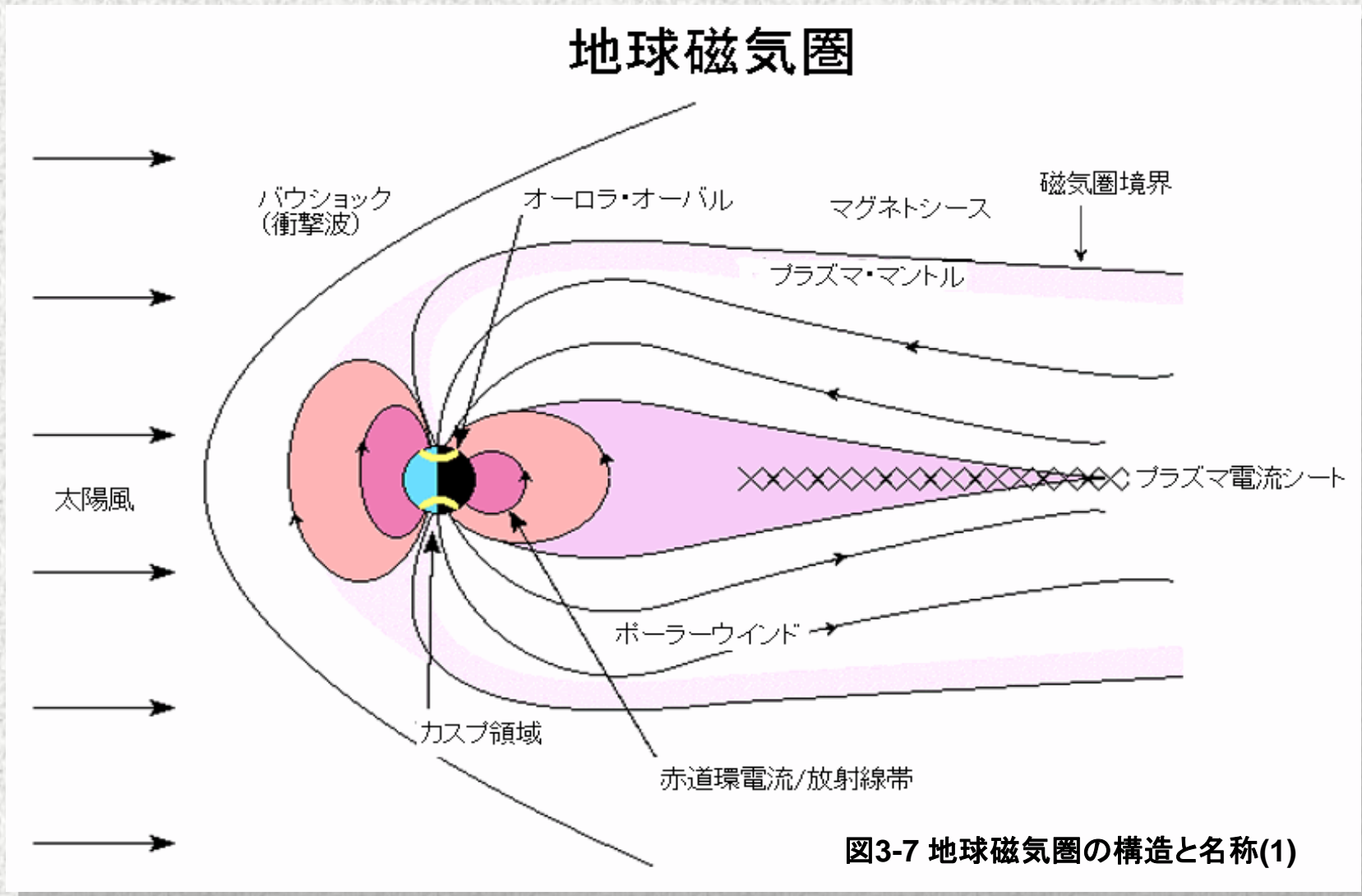
図3-6-c Sileye-3 ISS



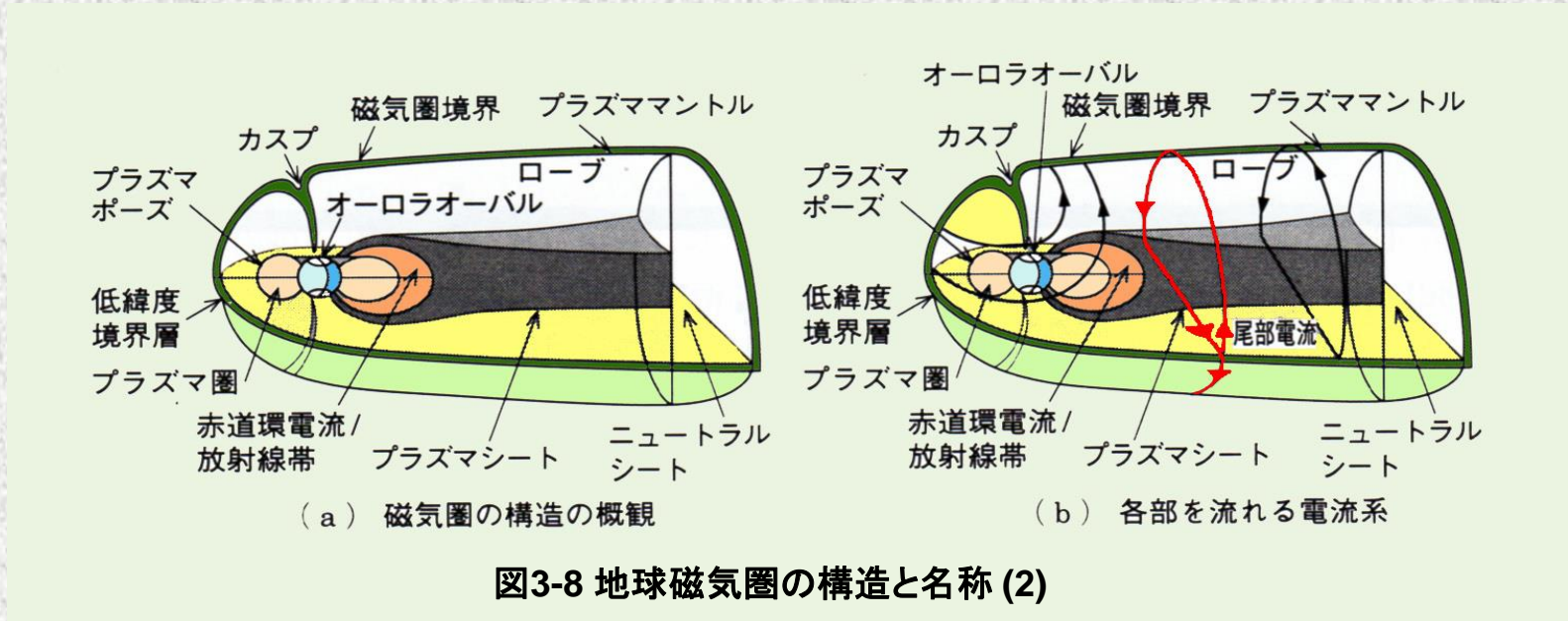
図3-6-d テスト結果



地球磁気圏の構造と名称 (1)



地球磁気圏の構造と名称 (2)



- 磁気圏境界: 地磁気の磁力線は磁気を帯びた太陽風に晒され吹流しのように変形している。その防護壁の最外郭面
- プラズマ・マントル: 岩石のマントルと同様に、この外郭部をとおしてプラズマガス(荷電粒子)が移動している。このエネルギーを磁気圏に伝える
- 赤道環電流/放射能帯: バンアレン帯のこと。高エネルギープラズマ帯でプラズマ・シートから磁気圏対流で地球周辺に侵入し加熱された高温低密度プラズマの領域。原発事故で学んだように高エネルギー粒子は放射能の一種。木星はより酷く探検には放射能防護は必須
- プラズマ圏: 電離圏で生成され上部に拡散してきた低温(運動量が低い)高密度プラズマの領域
- ローブ: プラズマ・マントルから磁気圏対流によってプラズマが徐々に侵入する領域で、赤道面(中心方向)に向けて濃度が下がる
- プラズマ・シート: プラズマがだんだん蓄積されてエネルギーの高いホットな[数KeV]粒子でできた領域
- 低緯度境界層: 黄色く色づけされた、地球磁気圏の低緯度地方で2対のプラズマが対流して流れる層(LLBL)
- オーロラ・オーバル: オーロラ活動域。太陽活動期には低緯度まで広がり、北海道でオーロラが見えるのはオーロラ・オーバルが広がるから
- 尾部電流: プラズマ・シート内を明け方側(図の向こう側)から夕方側(手前側)方向に**西向きに流れた後**、南北に分岐して磁気境界面をぐるりと回るようにして流れる電流 (図の赤矢印)
- カスプ: 右図(b)左上のループ状の電流は磁気圏境界電流。磁気圏前方の太陽風磁場と結合しない磁場の中性ホール

地球磁気圏の詳細(1)

地球磁気圏(地球を横から見る)

左から流れ込む太陽風プラズマは、太陽離脱の際に、磁場を持ち込む。荷電粒子は、『磁場を凍結』する

つまり太陽風は磁場を持ち、図のA-A'のように南向きの磁場だと2個の磁石どうしがパチンと吸い付くようになり、太陽風の荷電粒子は地球に飛び込みやすくなる

D-D'では太陽風磁場と地球磁場が完全に繋がっている。逆に磁場が北向きだと反発しあって逆に影響は少ない

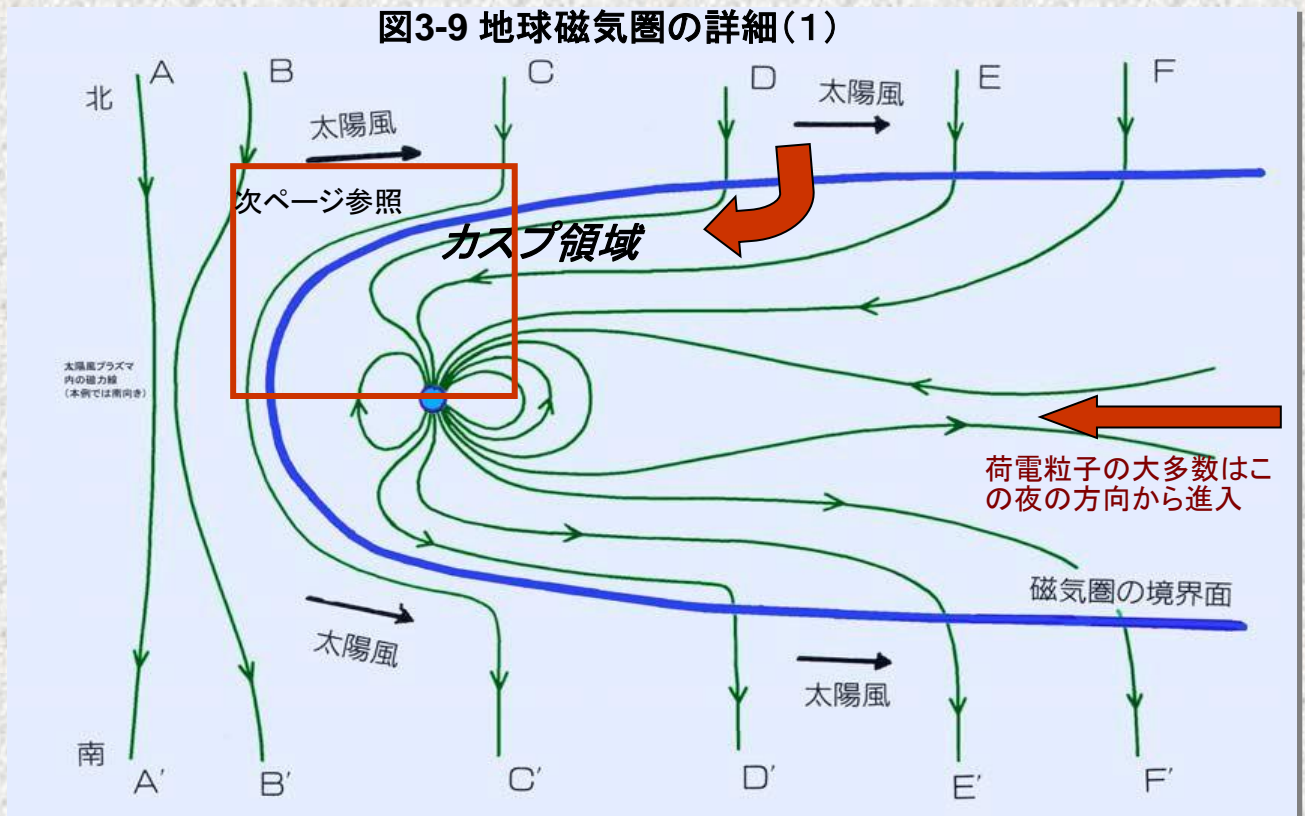
フレミングの左手法則で、正のイオンは東へ負の荷電粒子は西へ流れるため、東回りの環電流が発生し、磁界をさらに強め地球磁気圏を形成する結果的に太陽風が地球磁場を圧縮し明確な磁気圏という境界を形成する

プラズマ磁界の向きが南向きだと、地球近傍では強かった磁力線も、磁気圏境界面では弱いので、地球磁界と結合するこのため、地球磁力線は惑星間空間までに広がる

注) 地球磁場は南極がN極、北極側がS極なので磁力線の向きは下から上

カusp領域では磁場が弱いので、太陽風の影響で磁力線が引き伸ばされ太陽(系)磁場と地球磁場が一体となる。一部の荷電粒子はこの磁力線に沿って進入可能

図3-9 地球磁気圏の詳細(1)



地球には強力な磁場があるため太陽風の侵入を妨げ、荷電粒子の98%はそのまま宇宙に流れ去る 侵入出来た粒子の極一部がカusp領域から直接極圏に入るが運良く飛び込めた大半の残りは地球磁気圏の尾部に流れていき一旦蓄積される

地球磁気圏の詳細(2)

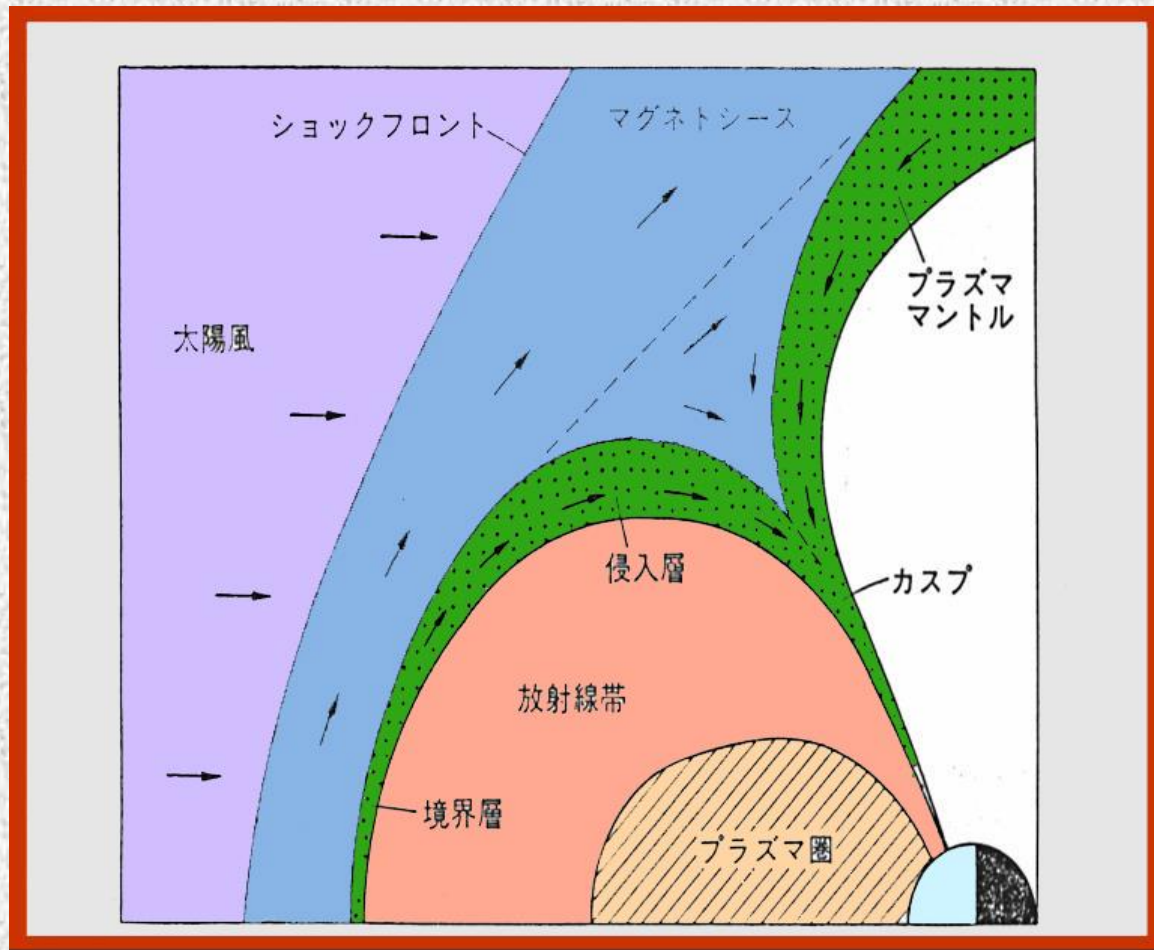


図3-10 地球磁気圏の詳細(2)

図面は前ページの赤枠部分の拡大

流入したプラズマの一部はカスプ領域を通過して磁力線にそって昼間側の高緯度電離圏に降下し、大気と衝突してこの領域にオーロラを光らせる。

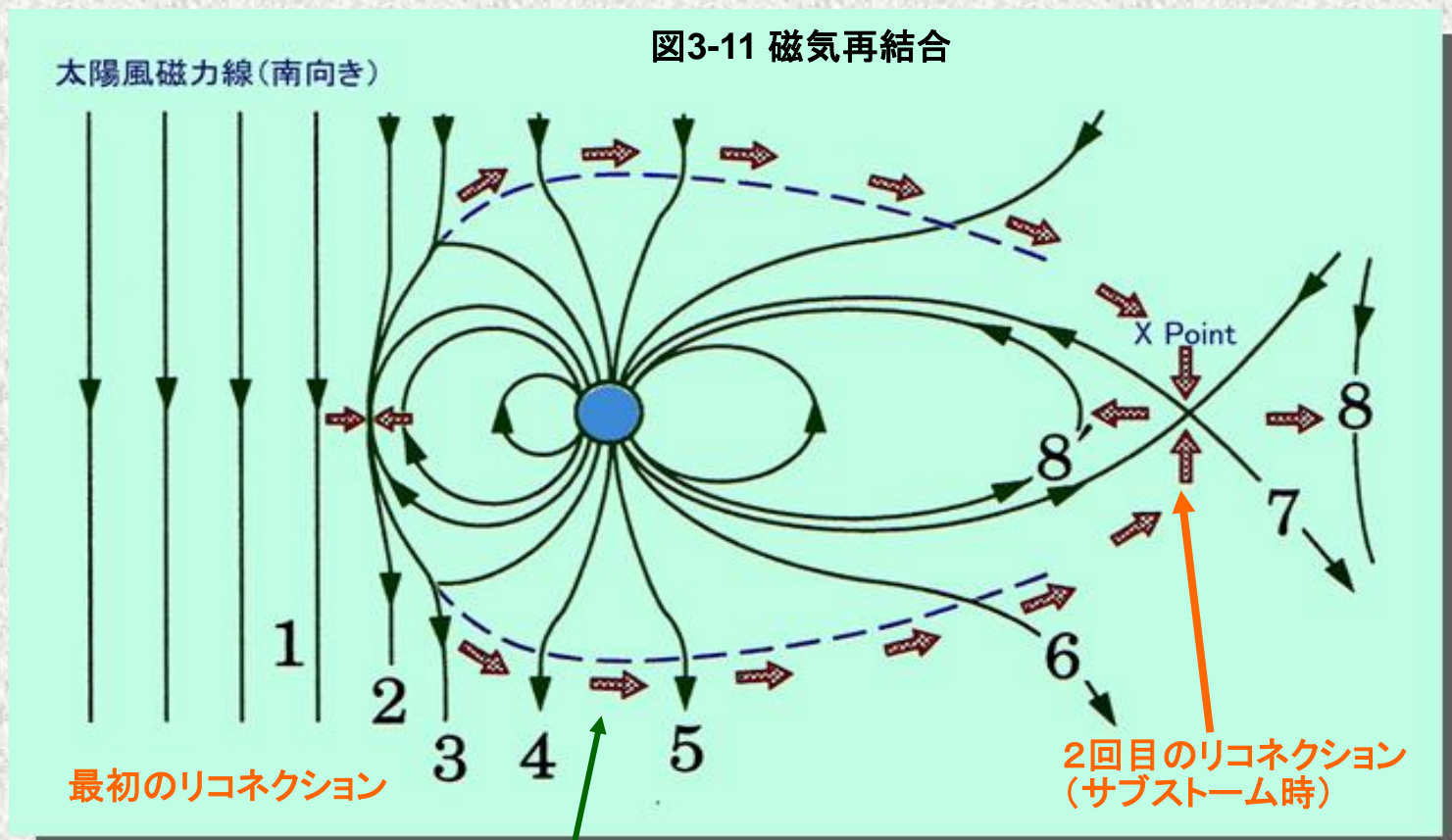
カスプ領域は、夜側の尾部に向う開いた磁力線領域(ポーラーローブ:極冠帯)と昼間側に向う閉じた磁力線の境界領域である

右方向は開いてプラズマガスの磁場と連結して粒子の通常の侵入経路になるが、左(昼側)の磁力線は北極と南極を結んでいて太陽風磁場との関わりを持たない。

注意すべき点は、カスプ領域を通過して電離圏まで流入するプラズマは、太陽風から磁気圏内に流入したプラズマのほんの一部であり、残りの大部分は磁気圏の尾部に流れていくという点です

プラズマ磁場と地球磁気圏の結合

図3-11 磁気再結合



磁気再結合

7まで達すると、差交する磁力線はXポイントで磁気再結合を起こし、片方は閉じた磁力線8として磁力線の張力により地球に引き戻され、片方は開いた磁力線として惑星間空間に流れ去る

X点近傍で上下の磁力線に挟み込まれた部分には、プラズマシートが存在する。またこの部分でプラズマの加速や、太陽風エネルギーの蓄積が行われる

この過程は太陽風の磁力線が南向きのとき効率よく発生する、つまり磁気嵐が起き易い

太陽風と繋がった地球磁力線は、開いた磁力線として夜側に流れてゆく

MHD (Magneto-Hydro-Dynamics)

図3-12 磁気流体発電 MHD

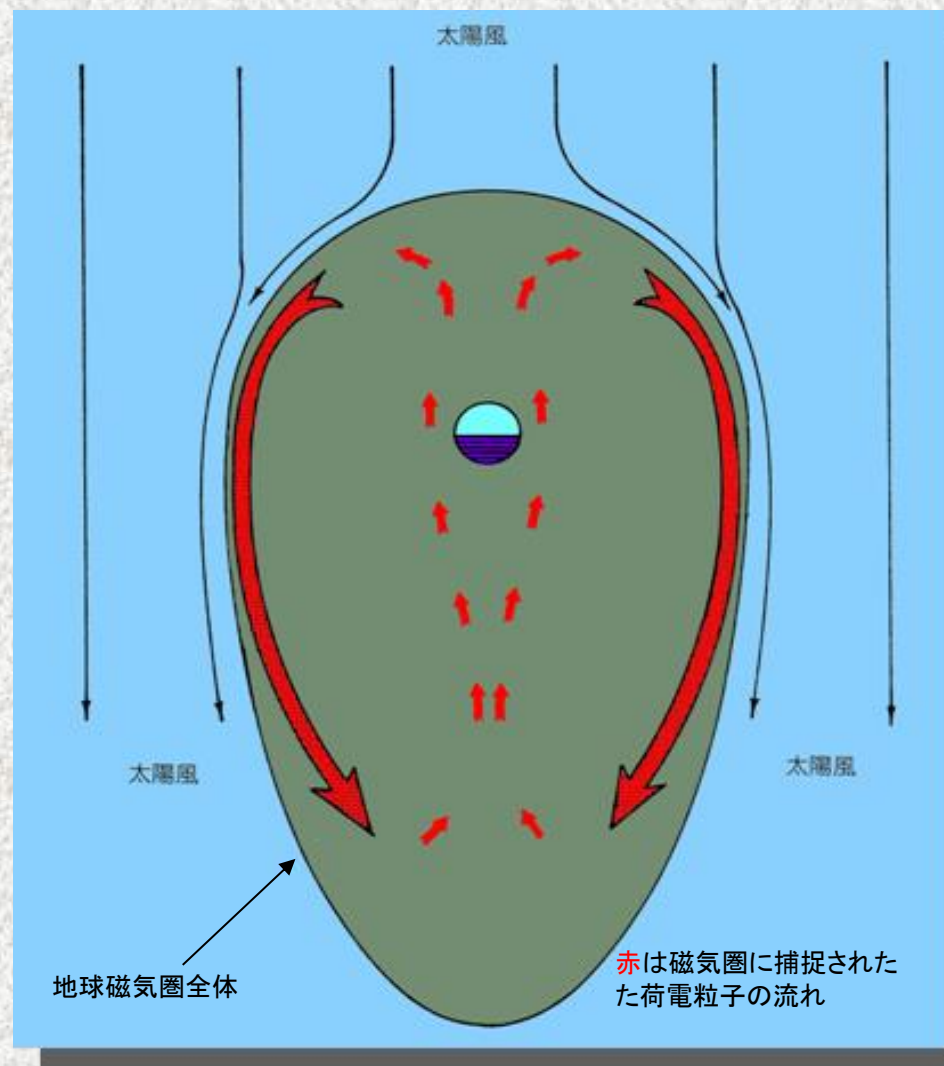
磁気流体発電による起電力と荷電粒子の対流

MHDは、磁場の中を高速の荷電粒子が動くだけで起電力を生じる。磁場を流れる荷電粒子を『動く電線』と考えれば、普通の発電機と同様に起電力を生じる。

最もその働きが大きくなる、磁気嵐では10万V、何兆ワットにも達する。このMHDは、磁気圏の尻尾の両端に電圧を発生させるとともに、磁気圏外殻の荷電粒子を循環させ、一対の還流を作る。

この図は、北極の真上から対流をみたもので、赤いラインが荷電粒子の流れを表す。

次ページの図は、それをさらに3Dで描いた図になる。



MHD, Aurora & E-layer Jet Current

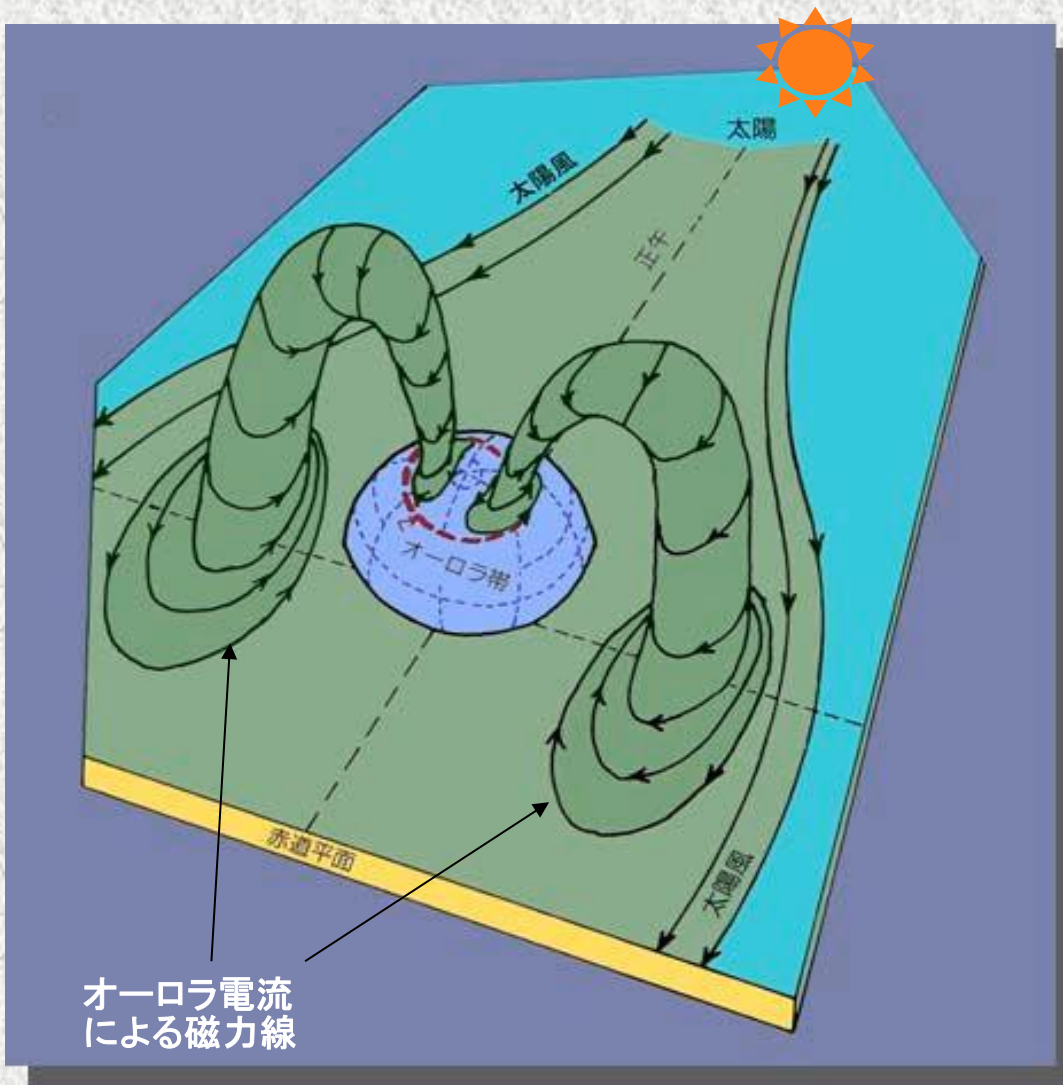


図3-13 磁気流体発電 MHDとオーロラ電流

磁気流体発電とオーロラ電流

この赤道面における磁気圏外殻での還流は互いに繋がっている粒子と磁力線の両方を含んでいる。その還流は、地表面とつながった磁力線に沿って、オーロラ帯の内側のPolar Capに向かって投げ出される(左図)

図のループ状の矢印はオーロラ電流で出来た磁力線の向きを表す。左から地球磁場にそう沿磁力線電流として極圏に入りオーロラを光らせ、E層電流となってから右の地球磁力線に沿って沿磁力線電流となり、最後は尾部電流となりもどる荷電粒子は磁力線方向には自由に動くので、地球磁場の磁力線は電気の良導体となる。

MHDで生まれた電源と、地球上空の電離層を磁力線でつなぐと、一つの電気回路が出来る。つまり電離層が、MHDの負荷となる

太陽風エネルギーは、磁気圏尾部で電気エネルギー又は磁気エネルギーとして一時的に蓄えられるが、それはすぐ加速されて、荷電粒子の運動エネルギーとして持ち去られ、極域の大気に突入してオーロラになるか、捕獲帯に進入する

結果的に、太陽風のエネルギーは、放電現象でオーロラを作り、同時に極域の高層大気を加熱し、イオン化させ、循環させることで、電離層擾乱(電離圏嵐)につながる。



LDE: Long Delayed Echo

DXerの間で時々話題になるのが、ロング・ディレイド・エコー(Long Delayed Echo)という案件で、のん兵衛DXerの与太話のような内容だ。このLDEの典型的なレポートは、自分の送信電波がスタンバイしてから数秒から数十秒後に自分の電波が聞こえる。中には1日経ってから聞こえたなんてレポートもある。以下の表は代表例で、かなり昔から話題になっていた事象であることが判る。

周波数は短波帯から、なかには430MHz帯から1.2GHzでも聞こえたという報告もある。森の木霊は木々に反射して聞こえるが、エコーなんだから、電波の場合でも何か反射する媒体があるはずだ。これまで、言われている反射の媒体は：

- 電離層(途中の反射が聞こえないのはおかしい)
- 月(1.3秒の倍数になっているはずだ)
- 彗星の塵からの反射(隕石は普段はイオン化していない。流星になってイオン化したときは近すぎる)
- ローカル局(デジタル録音の発達でありえます)
- UFOの工作(矢追さん・蕪沢さん出番です)

=====

● 地球磁気圏周辺のプラズマ・シート

これが一番可能性が高い。その理由は

- 1) 磁気圏内のプラズマガスの距離と遅延時間が符合する
- 2) 電離ガスだから十分反射能力あり
- 3) 太陽活動期の記録が多い(右表)
磁気圏へのガス蓄積が多い時期
- 4) 他に反射体が見当たらない

地球に向けて突進しているガスだとドップラーシフトがあるかもしれない。スペアナ付きリグで『わっ』と怒鳴って上にピーク山がでるか見る。どう思いますか？



Year	Call Sign	Band	Delay Time	Mode	Echo Signal
1932	W6ADP	28 MHz	18 s	CW	Own
1950/51	W5LUU	7 MHz	5 s	CW	Own
1965	K6EV	14 MHz	3 - 4 s	SSB	Own
1967	W5VY	28 MHz	3 s	SSB	Own
1968	W5LFM	10 MHz	0.5 s	Time Marking	Station RID
1968	W6KPC	28 MHz	1 s	SSB	Other
1969	W6OL	14 MHz	6 - 10 s	SSB	Other
1969	K6CAZ	2 MHz	2 s	SSB	Other/Own

PCA (Polar Cap Absorption)

PCA ?
VJQ ?



極冠異常吸収PCA

- 特に強力なFlareで生じた高いエネルギーの荷電粒子を含む太陽風 が、普段は一旦地球磁気圏後方に溜まるが、量とエネルギーが高いのでいつもと異なり直接極地方に進入し降り注ぐため、荷電粒子が極域の**D層に強い電離**を起こし吸収帯となる→SIDと似ている(Proton Event)
- 極域の吸収はもともと存在するが、PCAの場合極端に強くなり完全に電波を吸収してしまうため、極圏を通過するパスがなくなる
- **SIDはX線、PCAは荷電粒子が原因**
- PCAの範囲は極域、SIDは昼の領域で、両方とも最大でも数時間以内に収まる。フレア爆発から8分後がSID、PCAは1-2日後
- OH,SM局は入感するのに**SAC (Scandinavia Activity Contest)**中、僅か北のLAが全く聞こえない！ 北欧対全世界のHFコンテストなのに

オーロラ(Aurora)

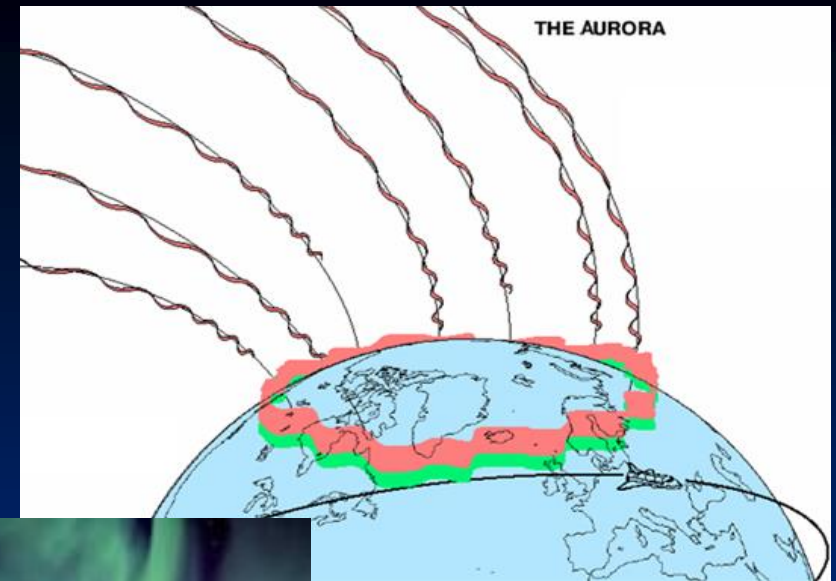


図3-14 オーロラ(Aurora)はNorthern lightともよばれる。最上空で酸素の赤、酸素の緑、下部で窒素が赤ピンクに光る

Auroral Sub-storm (地磁気変動)

オーロラ・サブストーム

- **磁気嵐中、又は磁気嵐前の前駆現象**として（オーロラ）サブストームがあり、サブストーム中は、オーロラが輝く事が多い。バンアレン帯（捕獲帯）に溜まった荷電粒子による赤道環電流の増大により、はじめて磁気嵐にまで発展する→オーロラが出てもDelayがあり、即時に磁気嵐にはならない
- 極域のE層に大電流が流れるので、**極域の地磁気が増加**が観測される。またその大電流が地上インフラに損害を与えることもある。同時にその莫大な電流が上層大気を加熱し**電離圏嵐の原因**になる
- 太陽風の運動エネルギーが、磁気エネルギーとして地球の夜側に長大にたなびく磁気圏外殻に溜まり、磁気的リコネクションの過程で、そのエネルギーが突然運動エネルギーになって捕獲帯やオーロラ域に走り出す現象→100%は解明されていない

Auroral Sub-storm (地磁気変動)

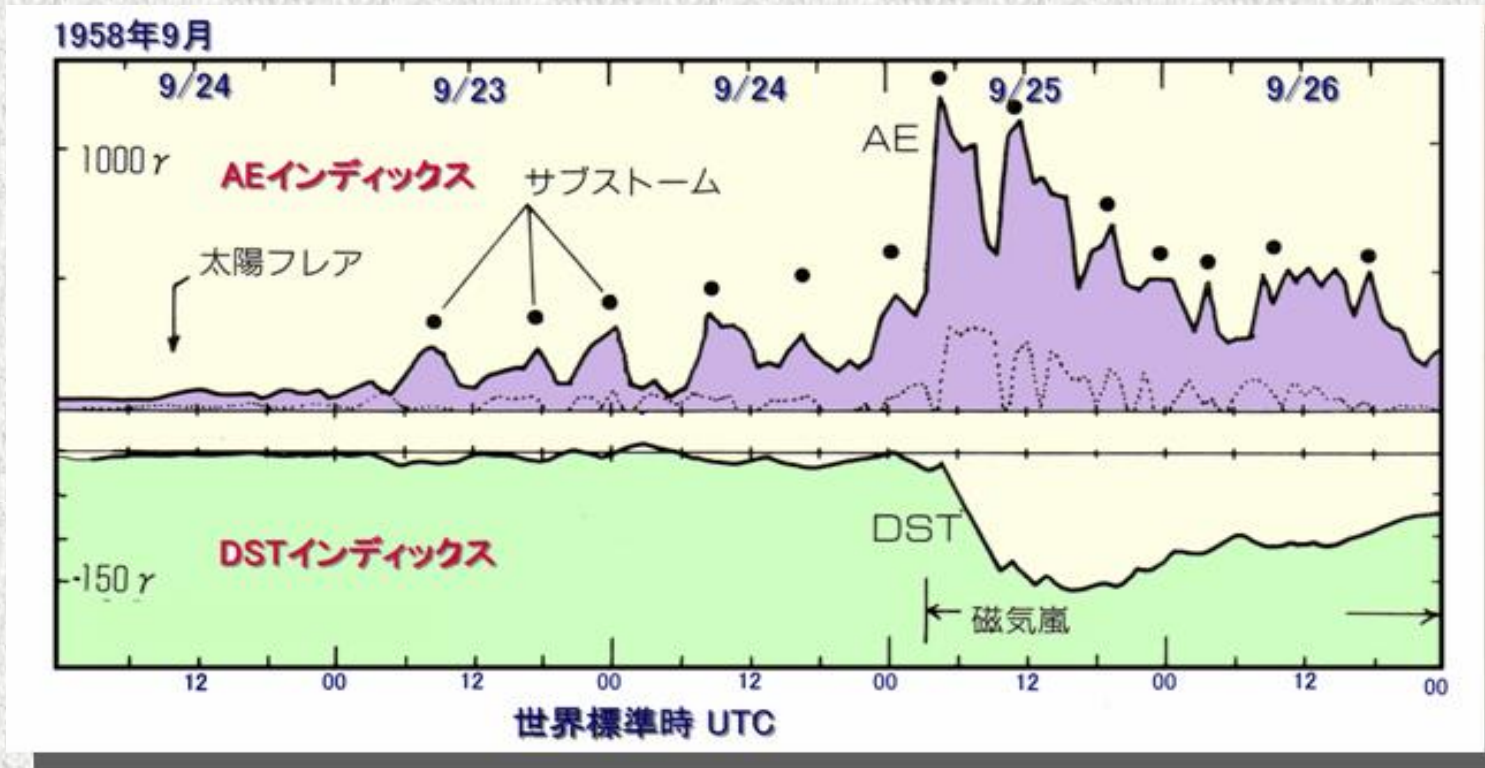


図3-15 オーロラ・サブストーム

-DST Index

DSTは、中・低緯度地域の磁気観測から得た指標で、磁場の乱れや磁気嵐の時間などを示す。また、捕獲帯に溜まったエネルギーの定量的データとなる ($1\gamma=1\text{nT}=10^{-5}$ Gauss)

AE, DST共に磁気圏の一般的状态とサブストームをリアルタイムで示す

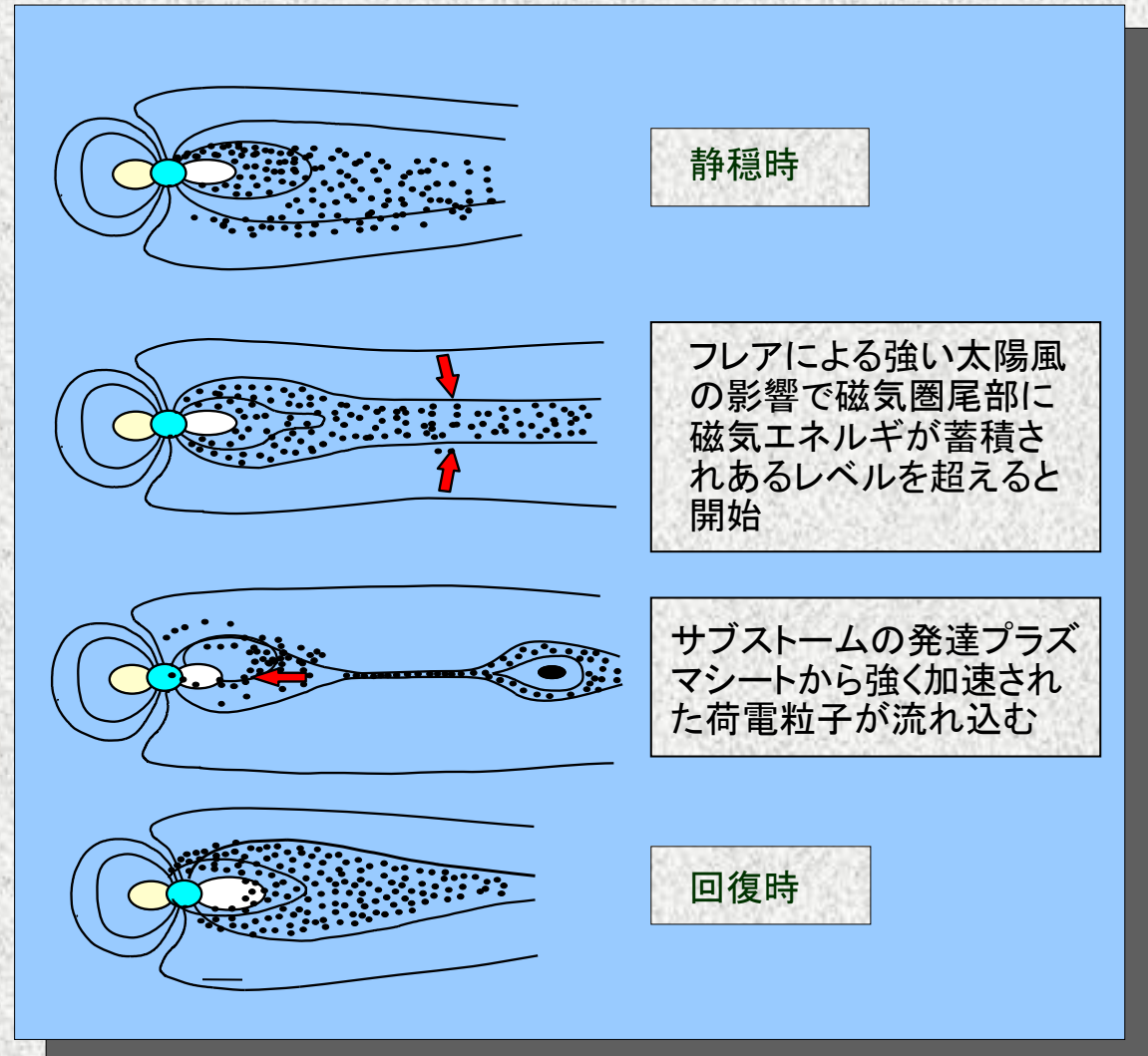
AE (Aurora Electro-jet) Index

AEインデックスは、北半球のオーロラ帯の定点磁気計からの指標で、オーロラジェット電流の大きさや、捕獲帯へのエネルギー補充を定性的に示す

Auroral Sub-storm (地磁気変動)

図3-16 オーロラ・サブストームのメカニズム(1)

磁気リコネクションによる
高速荷電粒子の発生



Auroral Sub-storm (地磁気変動)

リコネクションによる沿磁力線電流 と オーロラ電流

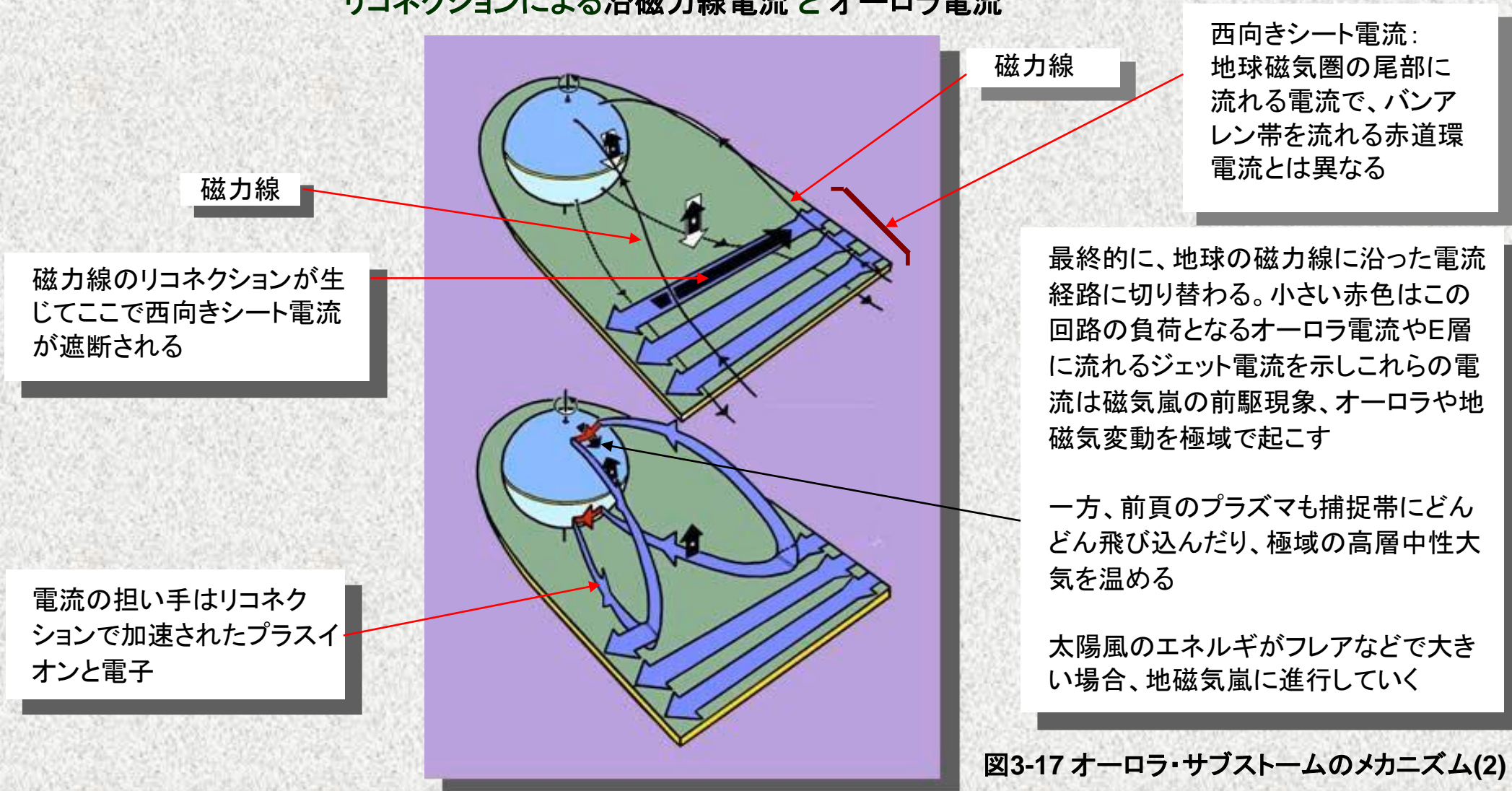
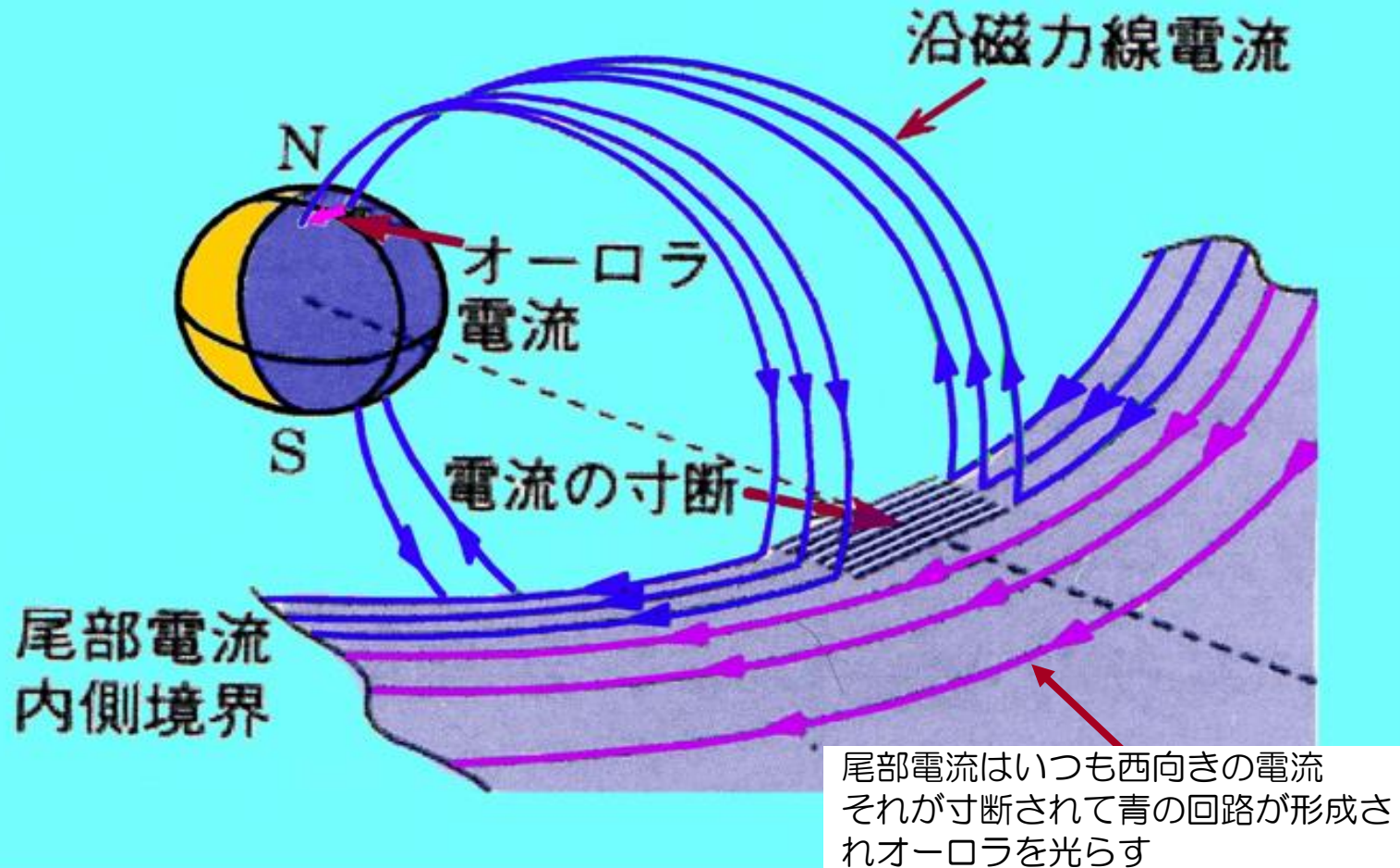


図3-17 オーロラ・サブストームのメカニズム(2)

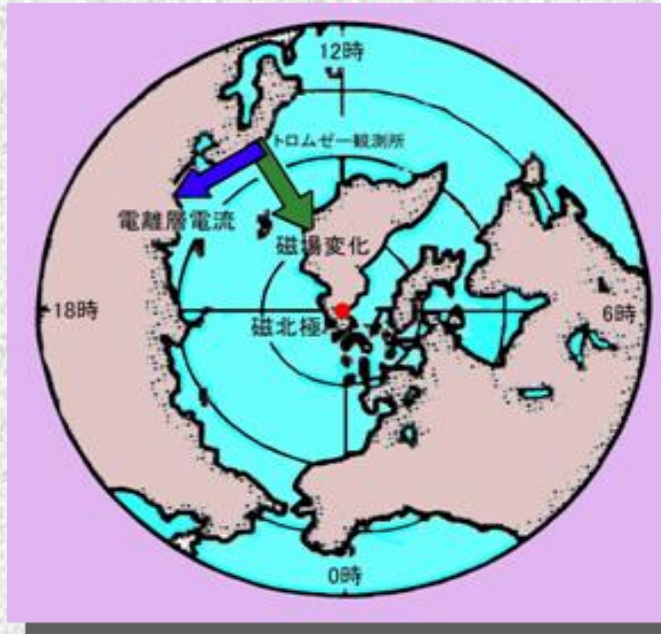
Auroral Sub-storm (地磁気変動)

図3-18 オーロラ・サブストームのメカニズム(3)



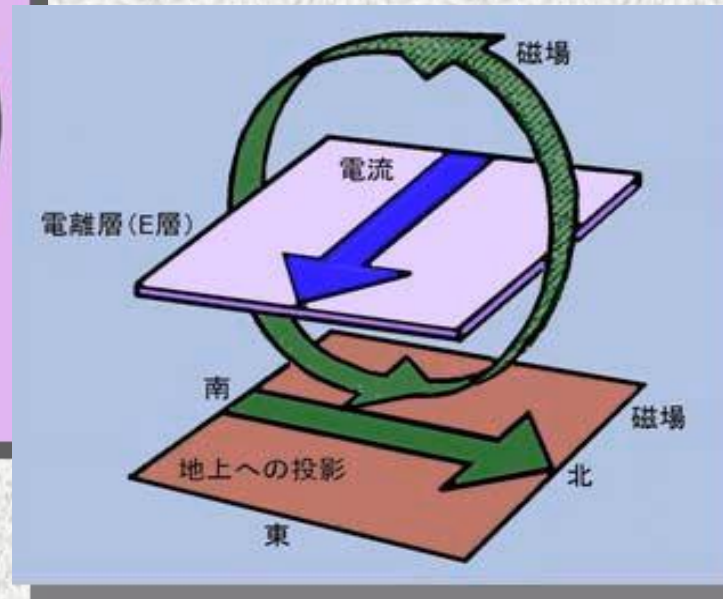
Auroral Sub-storm (地磁気変動時の観測)

図3-19 地磁気変動 (1)



トロムゼー観測所
オーロラジェット電流はオーロラオーバルに沿って東西方向に流れる

図3-19 地磁気変動 (2)



極域の地磁気に影響を与えるに十分な、30万アンペアを越す莫大な電流がE層を流れ、送電線やパイプラインに大きな誘導電流を流し回路不具合や腐食を起こす

- +150nTに及ぶ強い地磁気変動を観測
- **磁気嵐**が世界規模の地磁気の**減少**であるのに対し、**地磁気変動**は極域に限られる局地的な地磁気の**増加**
- 磁気方位の変化も観測

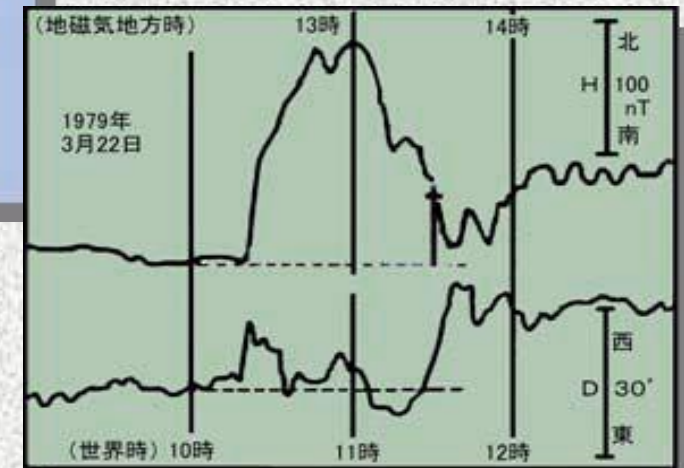


図3-19 地磁気変動 (3)

オーロラ・ジェット電流 Aurora Jet Current

オーロラからの反射

- 右図は、オーロラからのVHF電波の強い反射を示す。横軸は時間、縦軸は距離
- オーロラからの強い電子ジェットは、スプラディックEのような、**HF High Bands/VHF**の強い伝播を引き起こす
欧州では盛んな通信モード
- **JetはE層を經由して流れ出る。**
電流値は数百万アンペアに達する
- オーロラ起源の強烈なEs層が出来た
わけで、**15m Band**が国内外共に完全に死んでいる午前2時のとんでもない時間に、隣国のOHもSMも聞こえず一番高緯度のLA局だけがフラッタを伴いポツリと聞こえた経験がある。このEsの可能性が高い。6mDXのベテランも北極方向の不思議なパスに気付いている

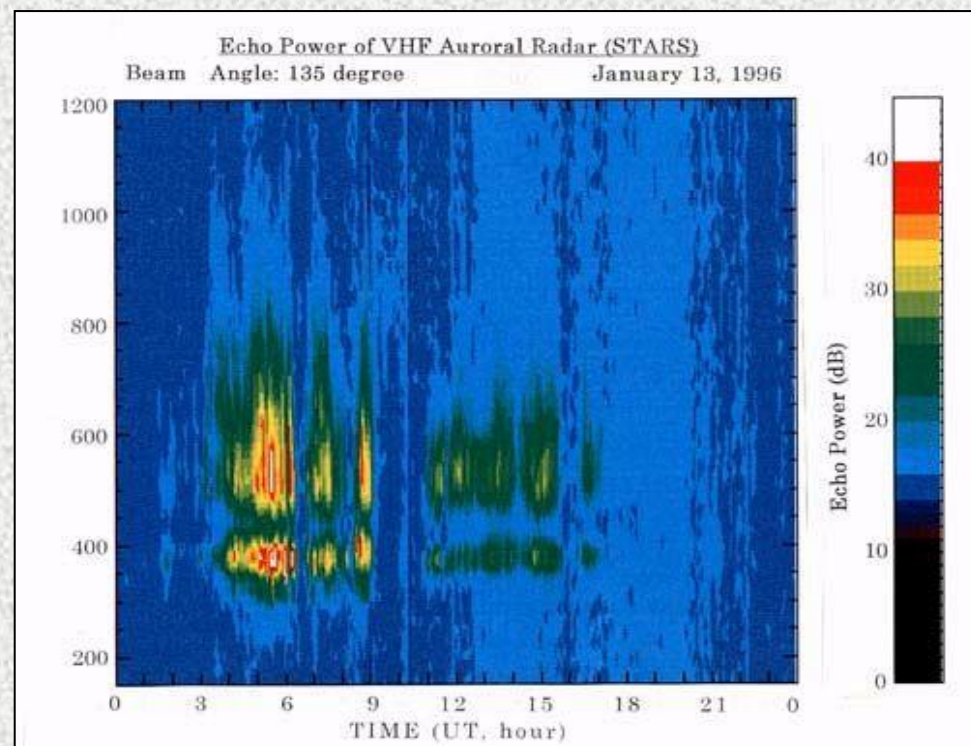


図3-20 オーロラ・ジェット電流起原のEs反射

オーロラ・ジェット電流 Aurora Jet Current

オーロラからの反射

- サブストーム中のオーロラ粒子はE層の電離度を上げ電流を流れ易くする
- そのうえ、磁気圏外殻部分の還流から来る電場が電離層に押し付けられ、磁場と繋がってイオンと電子を同じ方向に動かす。F層では中性大気量が少なく正イオンと電子の動き易さに差が無い [電流=0@F層]
しかし、E層では大気密度が高く、プラスイオンは衝突で動きが悪く、電子の方が早く動いて、イオンが運んだ電荷量と電子が運んだ電荷量の差分が電流になる
- オーロラ・オーバルとその近傍では、E層中を厚さ数十Km 幅数百Kmでオーロラに沿って東西方向に30万～数百万アンペアを超える大量の電流が流れ、**オーロラジェット電流**と呼ばれる →AE Index
- オーロラ型のEsではPhoneの場合はSSBが最良、CWの方が良い
- ドップラーシフトが生じて2m Band で5KHzの周波数シフトがある



太陽活動が社会インフラに与える影響

オーロラ・ジェット電流の被害

1989年3月に起きた地磁気変動のJET電流により送電線に乗った誘導電流が、ニュージャージー州の電カトランスを焼損させた（右の写真）

同時にカナダのケベック州でも同様なトランスの焼損が起き、600万人が9時間の停電被害にあっている。カナダの電カトランスは少し前の同様な事故で、トランスを新調したばかりだった（気の毒に）

この事故は、社会に与えたインパクトの大きさで有名な事例になっている。パイプラインにも千アンペアを越す電流が流れ腐食の原因になっている



PJM Public Service
Step Up Transformer
Severe internal damage caused by
the space storm of 13 March, 1989



図3-21 変電所トランスの焼損

磁気嵐 (Geomagnetic Storm)の正体

- 既に説明したように、大きなフレアに伴う太陽風の磁場が南を向いていると、地球磁場と結びついて太陽風荷電粒子が磁気圏に大量に飛び込む
- MHDによる磁気圏対流と電場の作用で、プラズマシートのプラズマが加熱され加速を受ける
- それらは捕獲帯に飛び込んで、赤道環電流を強め、世界規模の地磁気の減少を起こす。これが磁気嵐の実態で、その現象は古くから知られていた
- 同時に、一部は極圏でオーロラとなって強い電流、オーロラジェット電流を流し、これも地磁気に局地的な増加方向の変動を与える
- さらに極圏高層大気を加熱してプラズマの分布・性質を変え、その影響が極圏から低緯度に達しF層の電離度を下げ電離圏嵐（または電離層擾乱）を起こし短波通信の障害に発展する
- 磁気嵐のときは空間ノイズが上昇する。パワーラインノイズのような『ジャー』という明確な連続音や機器からのパルシブで断続的とは少し異なる音で、『全体に少しざわついている』『QSBが多く妙に不安定』と感ずることが多い。バンドスコープが有効かも？

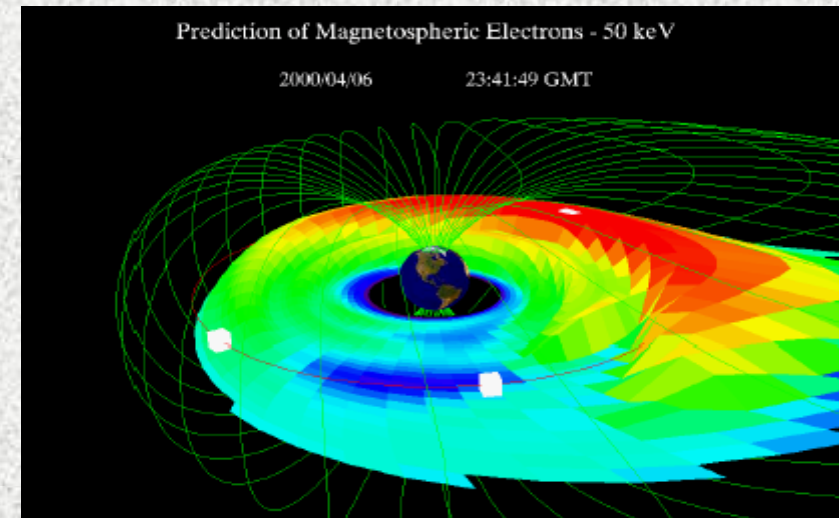
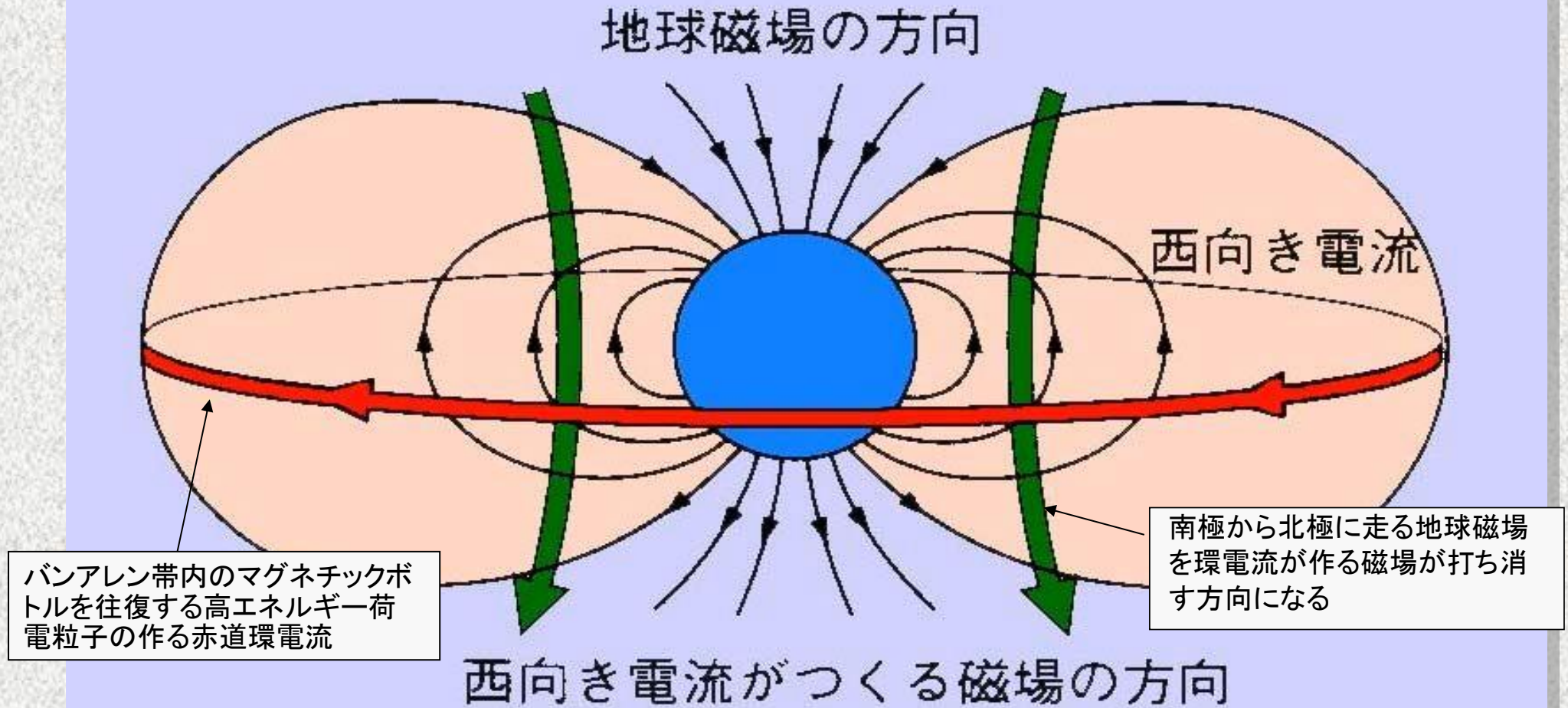


図3-22プラズマガス内の、電子の加熱状況の予測 [eV]

磁気嵐 (Geomagnetic Storm) の地磁気減少

図3-23 西向きリング電流



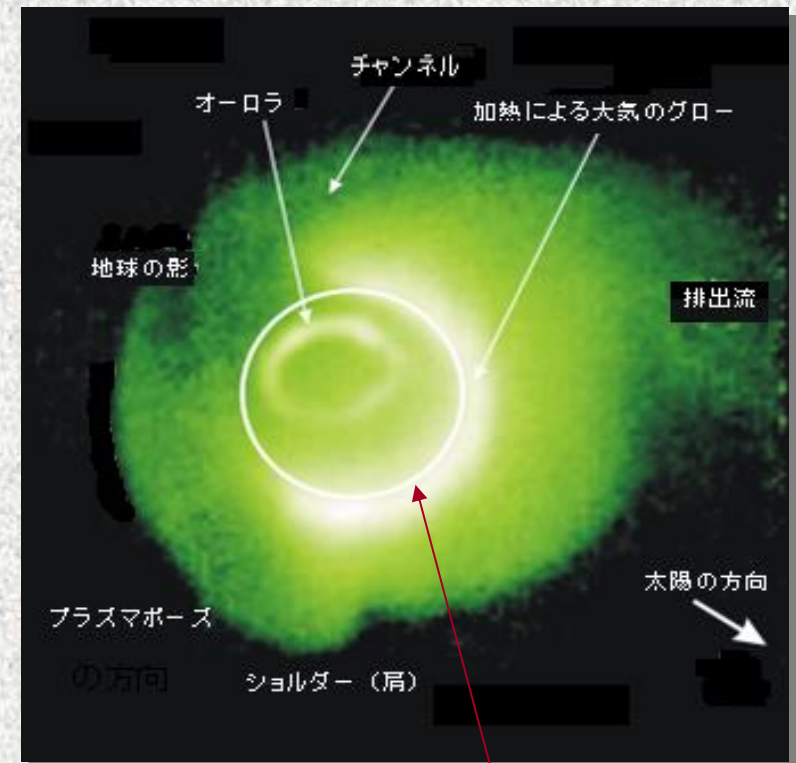
磁気嵐 の地球プラズマ圏への影響

地球プラズマ圏の変形

- 右のプラズマ圏全体写真（白丸は地球）では、荷電粒子が大気との激しい衝突を起こし、グローで光輝いている。
- この写真はIMAGE衛星が2000年5月に撮った磁気嵐の写真で、仮説だった磁気圏尾部から地球に向かったプラズマが、地球を取り巻くプラズマ圏に侵入し、荷電粒子を昼側 磁気圏境界面に向けて吐き出す。この流れが写真右端の流れ。プラズマ圏は地球上層大気からのイオン流出で再び満たされる。
- 肩という未知の構造も発見された

40年間仮説だった荷電粒子の昼側への流れを証明。そのまま太陽風と一緒に流れ去る

図3-24 地球プラズマ圏へのプラズマの流入



荷電粒子との衝突による上層大気の加熱

電離層擾乱 (Ionosphere Disturbances)

Ionosphere Disturbancesの発生

- 太陽フレア→太陽風エネルギーの増大→磁気嵐→電離圏嵐のパス
- 電離層嵐（**負相**）は、中性大気加熱により、酸素原子密度と窒素分子密度の比が変わるために生じる→**消滅に寄与する窒素Nの増大**
- この為に電離大気の生成と消滅のバランスが崩れ、**DX**通信の頼みの綱である**F層の電離度の減少・消滅**などが発生する→**MUF**の大幅な低下
- 大気の組成が変わる原因は、磁気嵐に伴う**オーロラジェット電流による中性大気加熱が主な原因**であり、過熱され組成が変わった大気は極域から赤道に向うので、高緯度ほど電離圏嵐の可能性が高い
- 関東から**10年20年**の長い目で見ると**JA8**各局より**JA6**局の方が平均的な**S**が強く、高緯度地域は多かれ少なかれ常時発生している電離圏嵐の影響を受けていることが判ります。**Rich**な貴局が無線別荘を建てる際は、北海道より九州をお勧めします



電離層擾乱 (Ionosphere Disturbances)

Ionosphere Disturbancesの発生（続き）

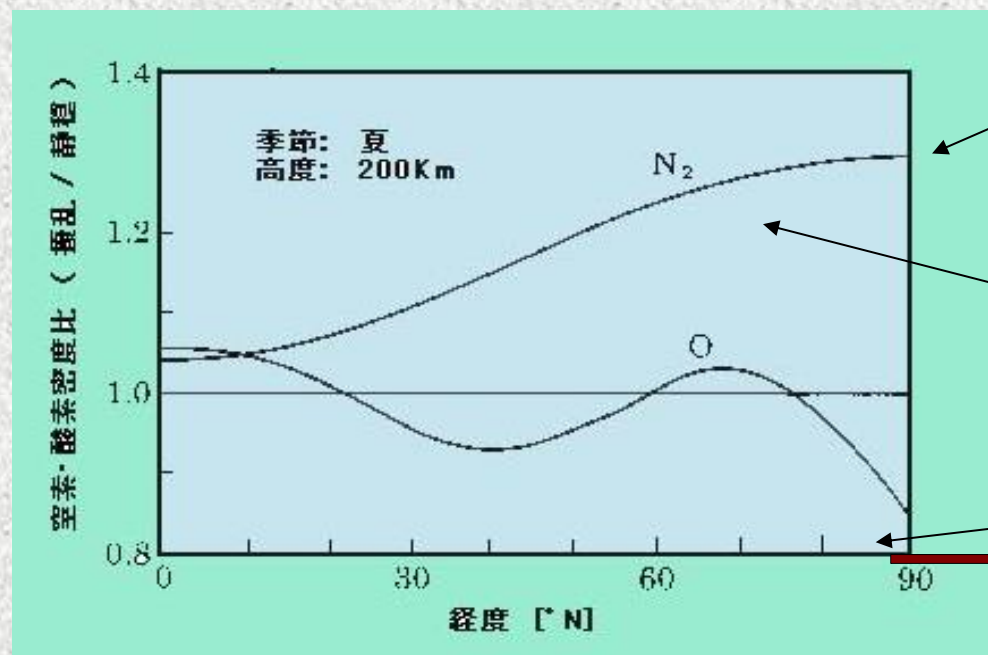
- 電離圏嵐は程度の差こそあれ、太陽風は常にあるため**定常的に発生し、K-Indexでその程度を知ることができる**
- 電離圏嵐には**正相**もあり、通常の太陽紫外線UV増加による電離に加え、サブストームによる高層大気に飛び込む荷電粒子により**F層の電離密度が上がり、HF High Bandの通信が可能になる**
(但しD層も電離密度が上がる)
- 磁気嵐が起きても、電離圏嵐は起きないこともよくある
- 言葉としては、**電離層擾乱より電離圏嵐の方が最近では一般的**であり、擾乱は数時間程度の短い時間、嵐は数日単位を示す

電離層擾乱 (Ionosphere Disturbances)

擾乱時の緯度によるN₂分子O原子の変化

図は、電離層嵐（負相）発生時、夜側に数十万Kmも長くたなびく磁気圏からのサブストームにより、荷電粒子の中性大気との衝突による加熱が生じ、静穏時を1としたときの酸素原子密度や窒素分子密度の比が緯度により変わる状況を示す

→上層大気加熱による、消滅に寄与する窒素分子N₂の増大



擾乱時に緯度が高いほど、平穏時に比べ2-3割もN₂が増える。これが元凶、私が電子密度を減らす犯人です

極域からの窒素分布の異常は南下し、結局世界規模になる場合もある→電離層擾乱

荷電粒子は磁力線沿って動きやすいので南北の磁極に飛び込み易い

図3-25 極域大気の変化

電離層擾乱 (Ionosphere Disturbances)

北海道は極域に近い高緯度の為、擾乱を受けやすい。しかし歯ざしりするJA1を尻目にWest Indiesと交信する楽しみもあり、いいんでないかい？ 台風もない。ただ、シリアスなDXer, Contesterの無線別荘には向かないな

沖縄では臨界周波数の上昇が見られる（正相）このように擾乱が起きてもコンディションが上昇する場合もある JA6方面断然有利

Kpは3時間後の集計値だからグラフに遅延があることに注意 Kpは3が平均値

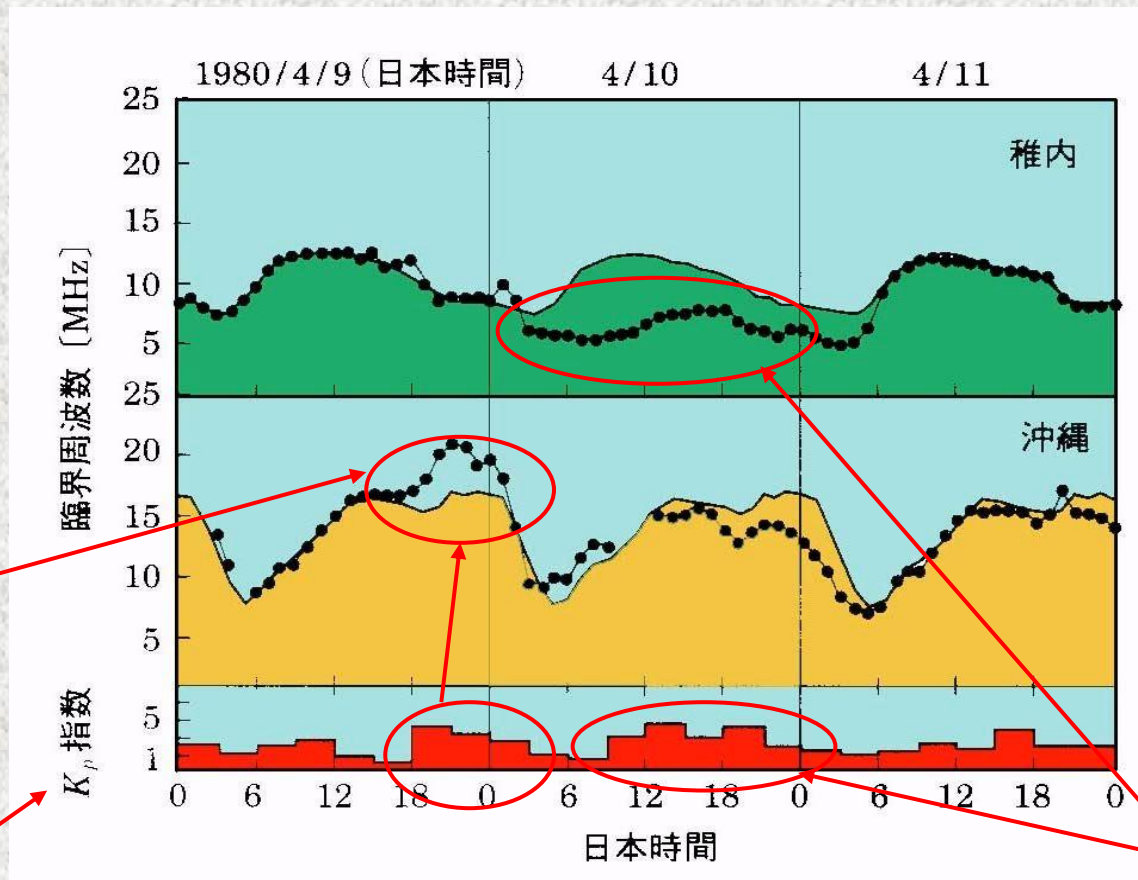


図3-26 擾乱時の緯度による臨界周波数foF2の観測例

緑と黄色の山は両地方での臨界周波数の1ヶ月の平均的日変化

点線は4/9~4/11日までの実際の観測値

沖縄は影響を受けていない。前ページのN2分布のように低緯度有利

ここで発生した擾乱が稚内のfoを低下させている
負相の電離圏嵐

電離層擾乱 (Ionosphere Disturbances)

Ionosphere Disturbancesの負相と正相

- 前ページの沖縄と稚内の観測例にあるように、電離圏嵐の際に沖縄で起きたF2層の臨界周波数foF2の上昇を電離圏嵐の正相(Positive Storm) 稚内で起きたfoF2の減少を電離圏嵐の負相(Negative Storm) という
- 負相はこれまで説明したように、N2の増加によりイオンの生成・消滅がトータルで消滅過程が勝るために起きる
- 正相では、極域から南下する熱圏風が中性大気と衝突し、磁力線に沿った上昇気流(150m/sec)が起き上空のイオン濃度が上昇する。さらに、FAI原因となるExBドリフトが荷電粒子を上部に押し上げる事により、電離生成率の高い180Km辺り（遷移高度）からさらに上空へプラズマが供給されイオン濃度が上がるので、foが上昇しHF High Bandのコンディションが上昇する



電離層擾乱 (Ionosphere Disturbances)

Ionosphere Disturbancesの（最悪のシナリオ）フローチャート

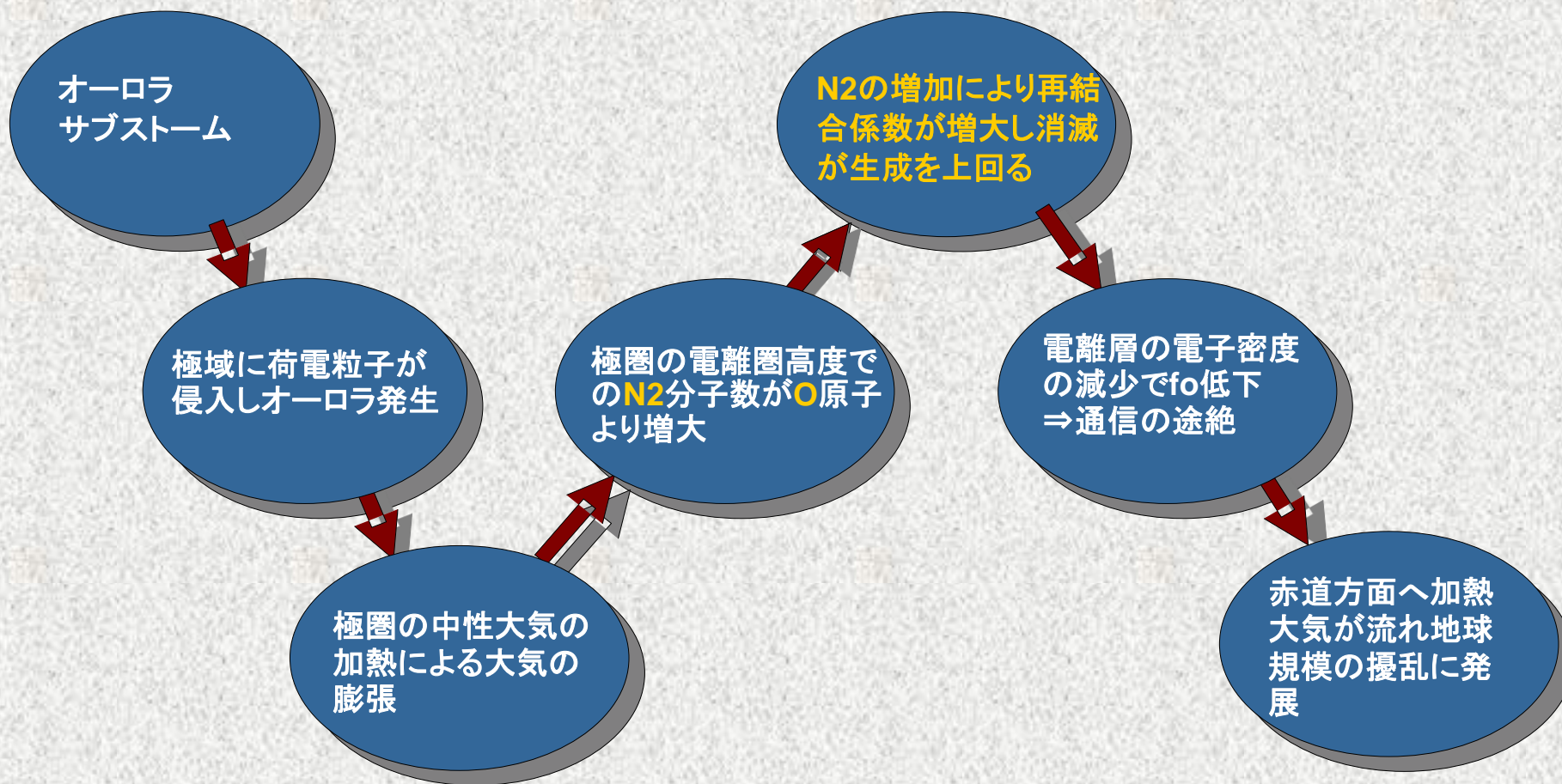


図3-27 電離層擾乱のフローチャート

太陽の影響とその時間スケール

次ページでは、フレア発生後の太陽からの影響を4つに分類している

1) **X-Ray** :

通常の100倍から1000倍の強さになる →SID

2) **無線電波** :

→電波障害、雑音、引き続く電離層擾乱

3) **太陽宇宙線** :

光速の1/3の速度で飛び出した高エネルギー陽子やアルファ粒子

→通信衛星などへの障害やPCA

4) **太陽プラズマ** :

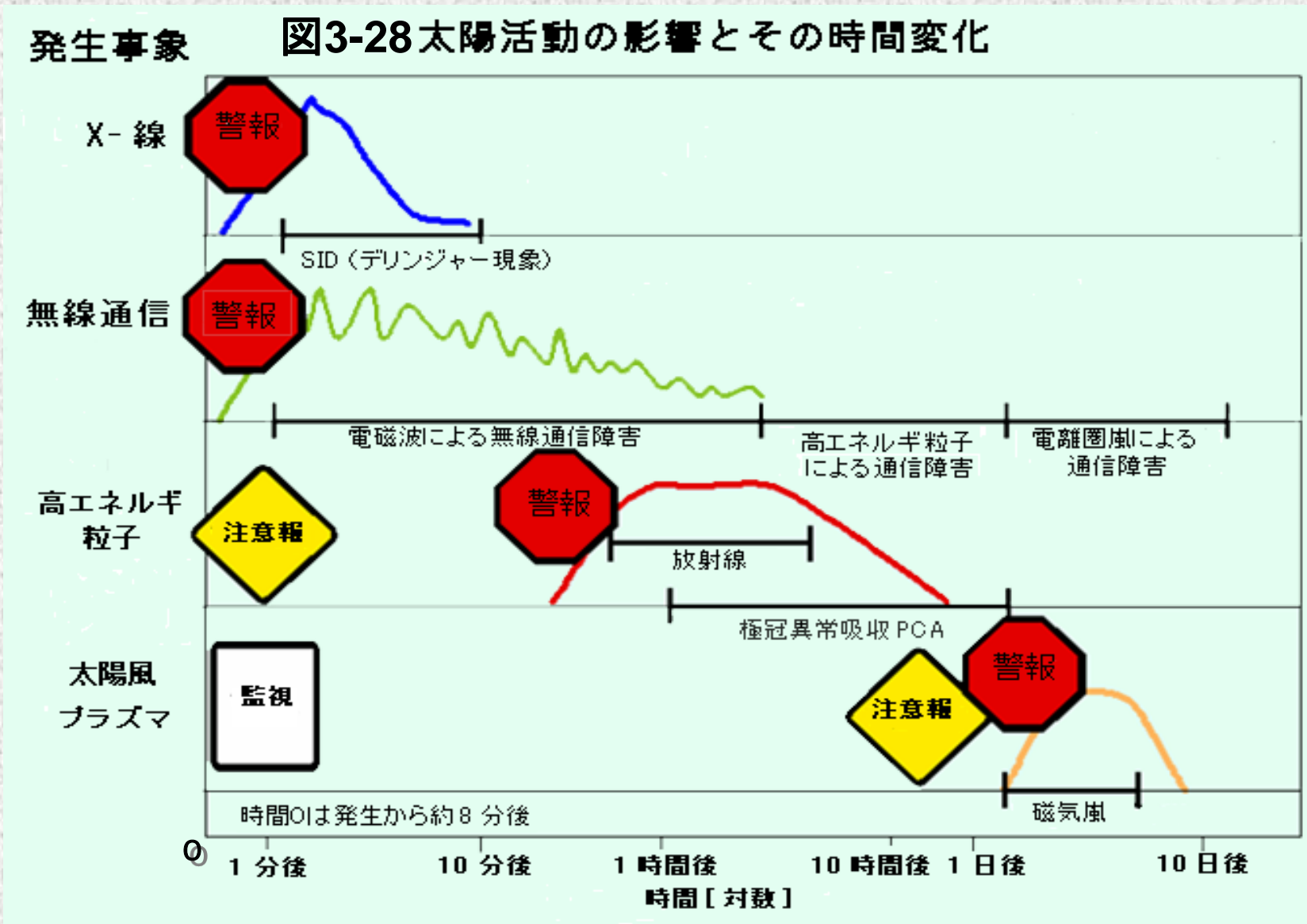
あとからゆっくり (700Km-1000Km/sec max) 1日~3日かけて

飛んでくる低エネルギー荷電粒子 (陽子と電子)

→磁気嵐、電離層擾乱の原因

SEC, NOAA, 平磯などでは、宇宙天気予報と称して、日々の観測データや次ページのような注意報や警報を提供している

太陽の影響とその時間スケール



電離層擾乱

表3-01 無線家の為の主な電離層擾乱とその特徴の一覧表

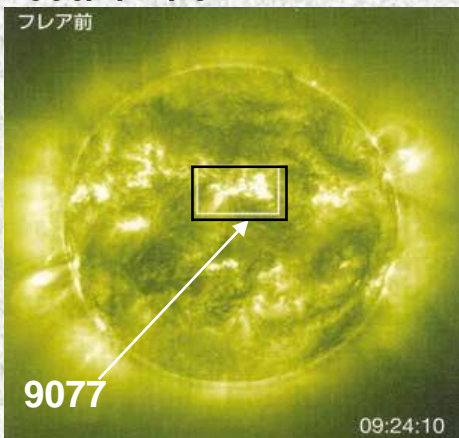
	SID デリンジャー現象	電離層擾乱	極冠異常吸収	極冠異常吸収
			(PCA)	(Auroral)
原因	クラスX級巨大フレアに伴うX線によるD層の過度な電離による電波吸収	フレアに伴う太陽風が運ぶ高エネルギー荷電粒子(プラズマ)による高層大気加熱	亜光速高エネルギー荷電粒子の極域への直接飛び込み、極域D層の過度な電離による吸収	フレアに伴う太陽風が運ぶ高エネルギー荷電粒子による極域の高層大気加熱
開始	突発的	徐々に始まる	突発的	徐々に始まる
持続期間	数分から数時間	数時間から数日	数分から数時間	数時間から数日
影響大地域	日中帯	極地方から中緯度地域 昼および夜	極地方 昼および夜	極地方から中緯度地域 昼および夜
影響小地域	夜間帯	低緯度地方と赤道域	中緯度地方から赤道域	低緯度地方と赤道域
影響大のバンド	20-160m	10-40m	15-160m	10-160m
影響小のバンド	10-15m	80-160m	—	—
季節要因	なし	初秋から春にかけて	なし	初秋から春にかけて
黒点周期との関連	SSNの多い期間	SSNの中から大の期間	SSNの多い期間	SSNの中から大の期間
対策*	<ul style="list-style-type: none"> ●夜間帯のパスを使用 ●ハイバンドの日中帯のパスを使用 	<ul style="list-style-type: none"> ●低緯度や赤道域のパスを使用 ●高緯度域や極圏回りのパスにはなるべく低い周波数を使う 	<ul style="list-style-type: none"> ●低緯度や赤道域のパスを使用 ●高緯度域や極圏回りのパスにはなるべく高い周波数を使う 	<ul style="list-style-type: none"> ●低緯度や赤道域のパスを使用

* For me? Turn off the radio, then go to bed

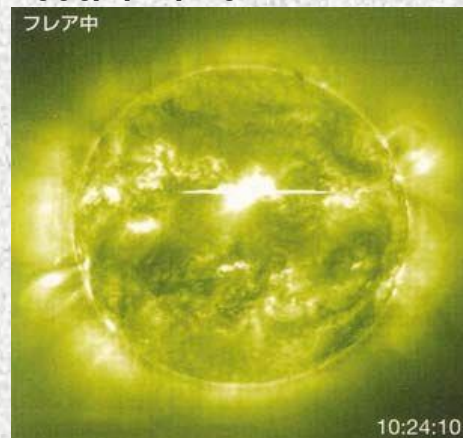
電離層擾乱

太陽の影響とその実例（2000年7月14日の事例：かなり強力CME）

2000/7/14/ 9:24



2000/7/14/ 10:24



←X線太陽面観測衛星

活動領域**9077**にフレア/CMEが発生した。恐らくClass-Xの特大級。フレア爆発のときに磁場から受け取ったエネルギーを受けて飛んできた陽子(Proton)が1時間後には地球に殺到している。

光でも8分掛かるところを60分で到着だから、光速の1/8くらいまでプラズマガスが加速される超巨大爆発だったことが判る

時間経過

SOHO衛星 →

2000/7/14/ 9:54



衛星が大規模なCMEを観測

2000/7/14/ 10:54



早くも亜光速プロトンが衛星に殺到

2000/7/14/ 11:55

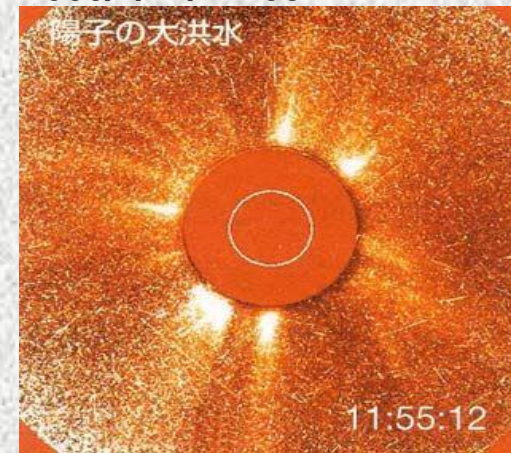
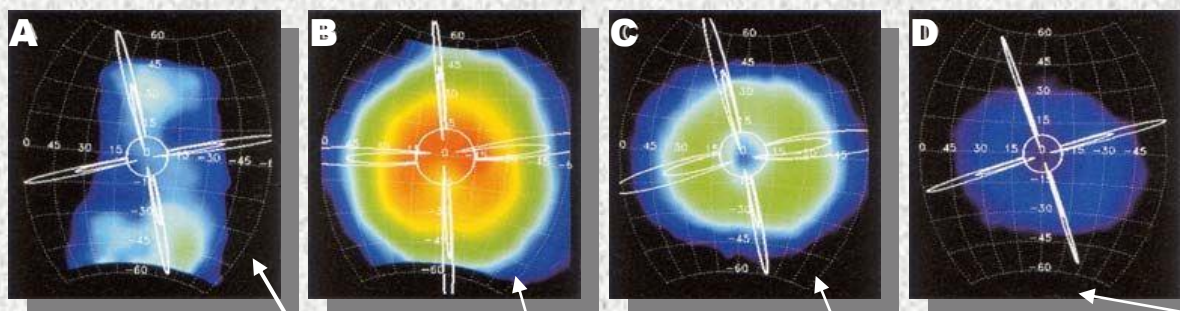


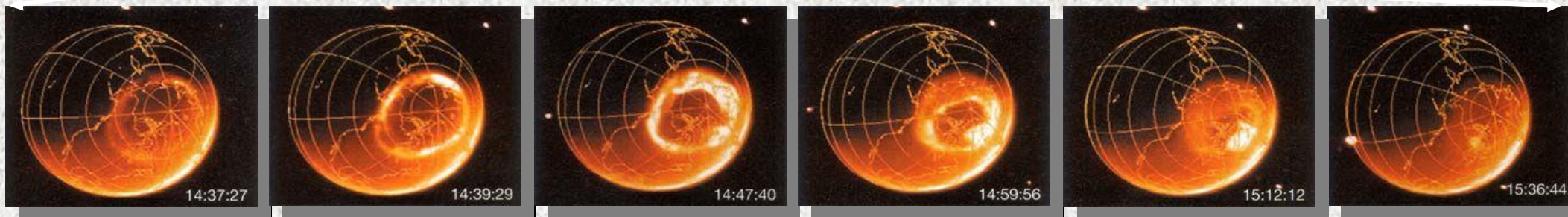
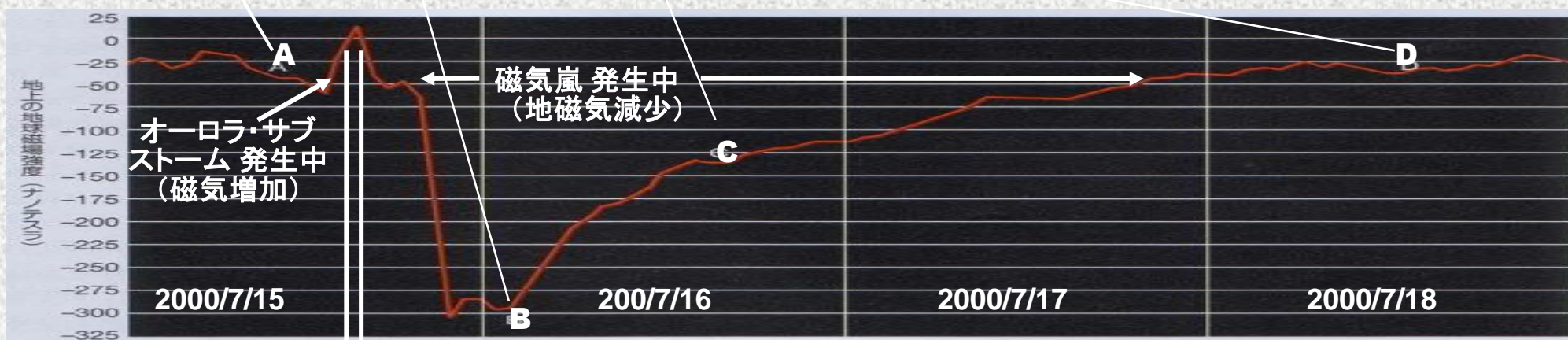
図3-29 CME観測例

電離層擾乱

図3-30 太陽の影響と磁気嵐の時間経過の実例(2000年7月15-18日)

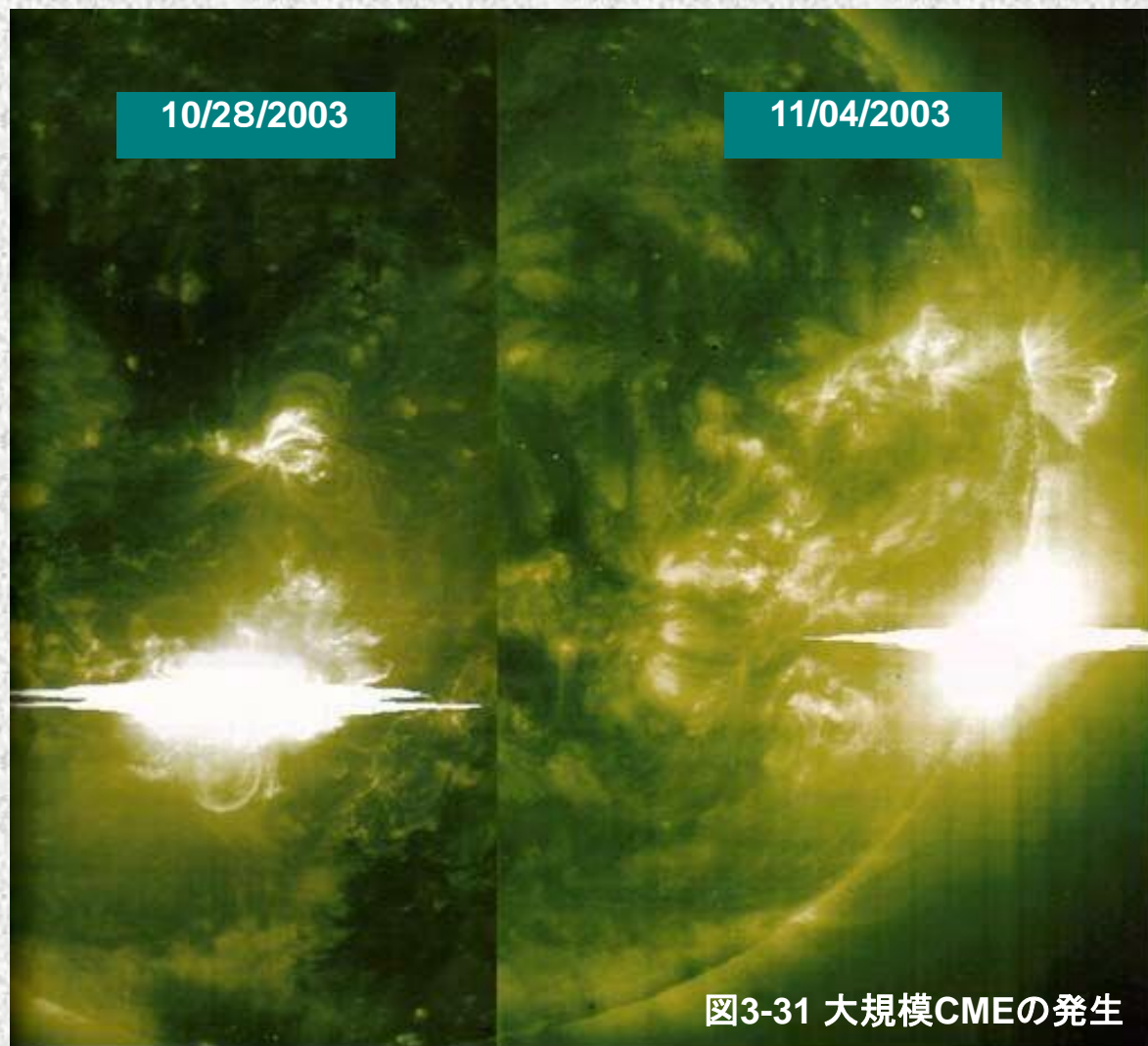


- 左の各図は特に強い太陽風プラズマが地球を襲い、その一部が終着点の捕獲帯(バンアレン帯)に溜る。そこに飛び交う高エネルギー中性原子を、IMAGE衛星が観測して間接的に赤道環電流(リングカレント)つまり磁気嵐の規模を測定している(左図A-D)中心の小さい白丸が地球
- このとき世界の各地で数百nTの地磁気の減少を観測
- 各事象の発生順序、時間幅、値の増減、収束の仕方が重要



2000/7/15の14時~15時UTC頃に発生したオーロラ・サブストームによるオーロラの変化

太陽の影響とその実例（2003年10月21日-11月4日）



2003年11月21日に活発な活動領域が出現

その後の観測で11回のフレアと地球に向かう15回のCMEが発生、このCMEは磁力線が北向きだったので地磁気との結合が起こりにくく被害は少なかった

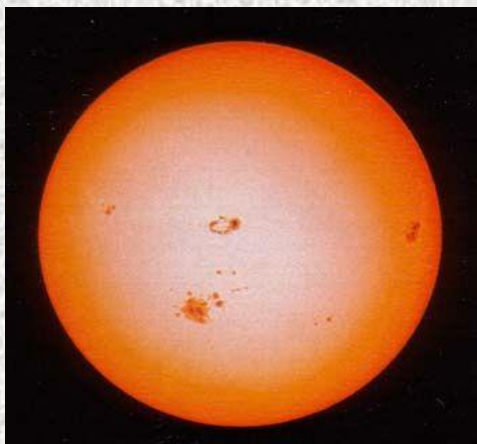
しかし、JETは南を飛び、スエーデンで小規模の停電、衛星の障害が発生

10月28日はデリンジャー現象が発生し40mバンドがグラドゥエーブしか聞こえなくなった7036の妨害波は関東地方東北部なのがバレバレになる。指摘したら直ぐ電波を止めた根性無し 😊

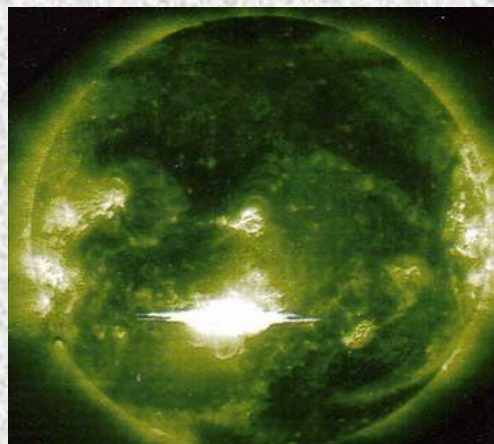
2003年11月4日には史上最大のフレアを観測、続くCMEは幸運にも地球をかすめて行った

どうも太陽物理学者は『史上最大』という言葉が大好きなようで、やたら目に付く

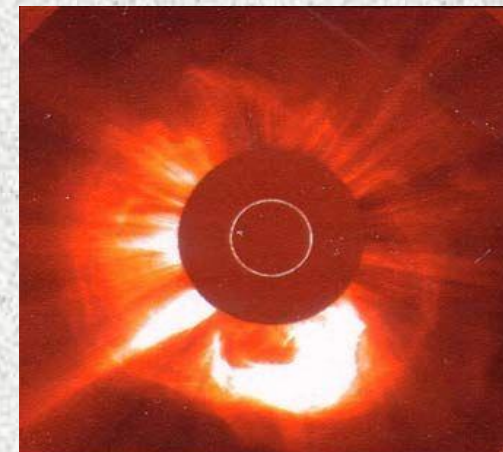
太陽の影響とその実例（2003年10月21日～11月4日）



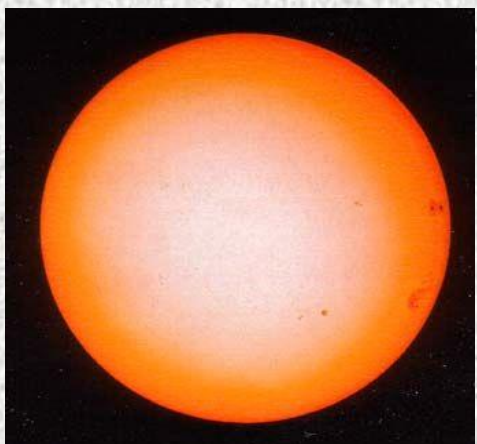
10/28/2003
過去13年間で最大の黒点に発達



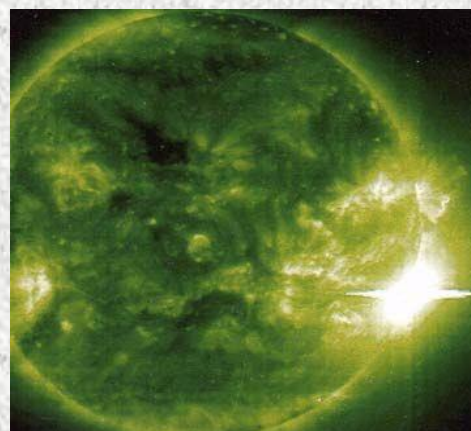
10/28/2003
観測史上4番目のフレア発生



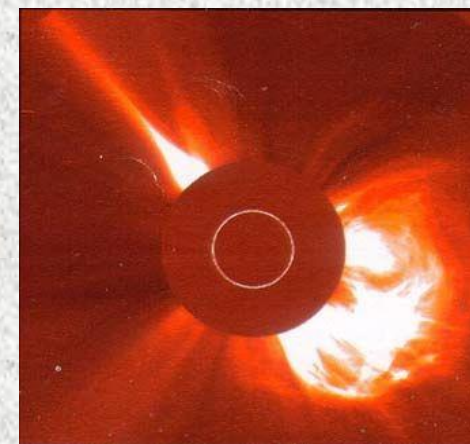
10/28/2003
20分後にSOHOがCMEを観測



11/02/2003
黒点は自転で移動するが爆発は続く



11/04/2003
観測史上最大のフレア発生



11/04/2003
CMEは地球をかすめただけ

図3-32 フレア・CME観測事例



キャリントン事象

1859年9月1日11時18分の超巨大フレア

1989年にカナダで被害を起こした爆発を遥かに超える巨大面フレア爆発が、1859年に起きている。英国のアマチュア天文家のリチャード・キャリントンがこの朝最初に発見した。右はそのときのスケッチ。巨大な黒点が観測され、その中に2つの眩い白色光が輝きを増した。その間5分

翌日の夜明け前、空は赤・緑・紫に染まり新聞が読める明るさに輝いた。このオーロラ現象はキューバ・バハマ・ハワイなどの熱帯地方までに及んだ。ロッキー山脈でキャンプしていたハイカーは朝と間違えて朝食を作り始めた

この超巨大フレアによる太陽風は、電信システム影響を与え、オペレータは感電するし印字テープは燃える。バッテリーを切ってもラインに乗った誘導電流で通信ができた。これは過去160年間で最大のフレアだった。これより遥かに小さいフレアでも1989年のカナダのように大きな災害となっているので、キャリントンが経験したようなフレアなら衛星等脆弱なインフラに与える影響は計り知れない。

天文学者は、銀河系内にある太陽と同じG型恒星を何万と観測したところ、似たような大型フレアを観測したため、数百年に一度の割合で起きる可能性が大と警告している

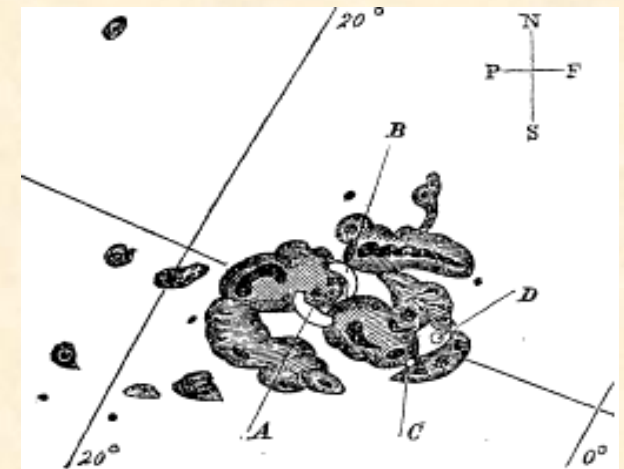


図3-33 キャリントンのスケッチ

太陽活動から主要イベントまでの全フローチャート

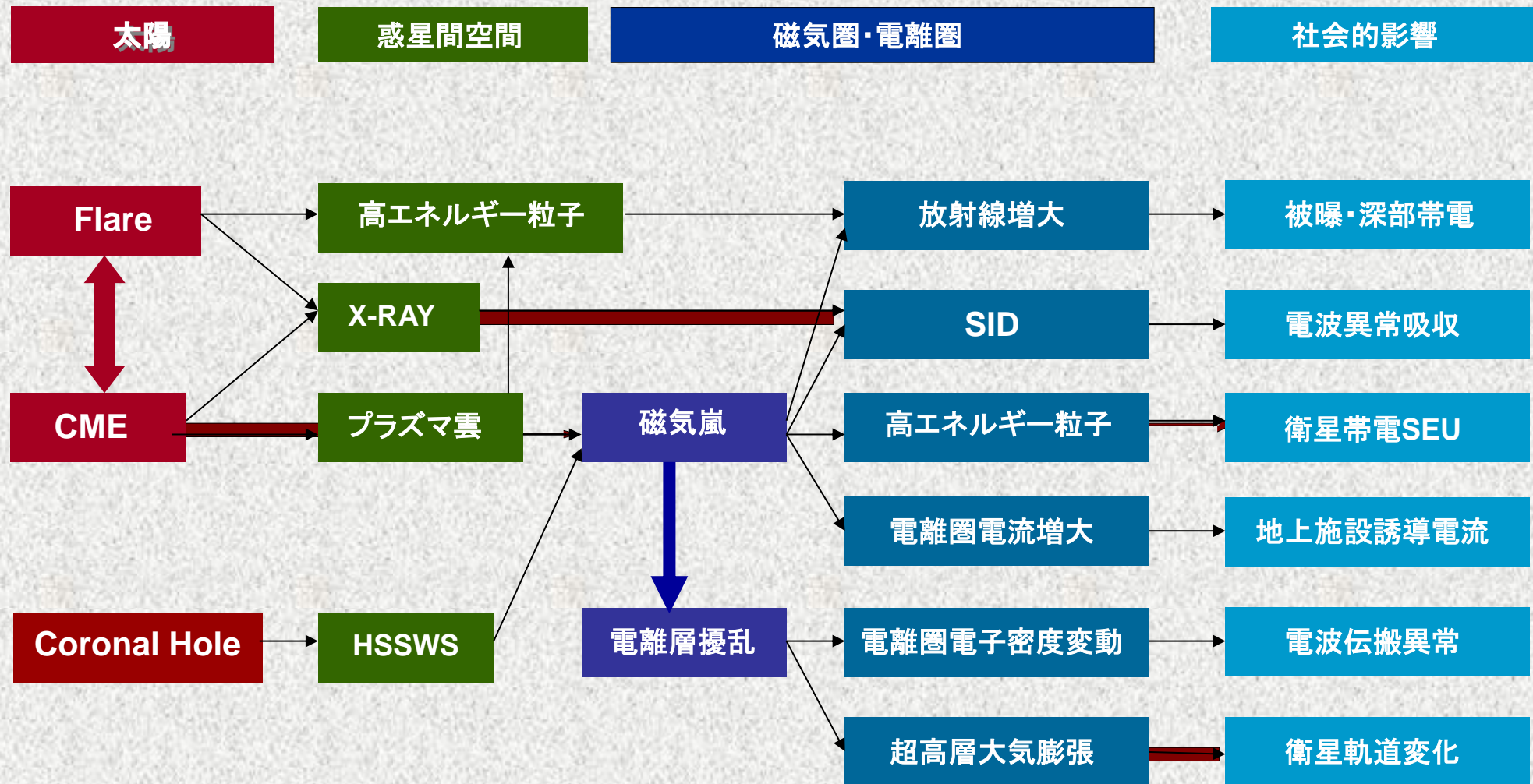
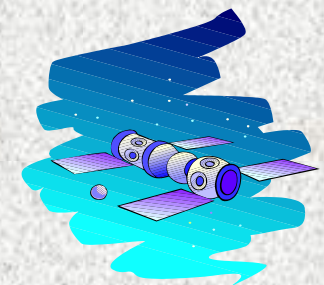


図3-34 太陽活動とイベント

まとめ

- 太陽で発生したエネルギーが、惑星間空間を伝い地球の磁気圏に入って起きる現象を、アマチュアの眼でまとめた
- インターネットが発達し、情報は溢れているが専門家とアマチュア無線家の間を取り持つまとまった資料が少ない、この資料が興味のトリガとなればと思う。このような壮大な太陽系内で起る太陽風やオーロラの、時に暴力的な、ある時は静々とした流れを考えると、2001 Space Odysseyのディスカバリー号のバックを流れる音楽や、シェラザードの深い弦の旋律を思い起こす



下記のサイト、文献を参考にさせていただきました

<文献>

宇宙環境科学 オーロラ 火星とその仲間たち 太陽(特集) 超高層大気物理学	恩藤忠典、丸橋克英編著 ニール・デイビス/山田卓訳 日経サイエンス編集部編 ナショナルジオグラフィック7月号 Aブレッケ著、奥澤・田口訳	オーム社 地人書館 日経サイエンス社 日経ナショナルジオグラフィック社 愛智出版
---	--	--

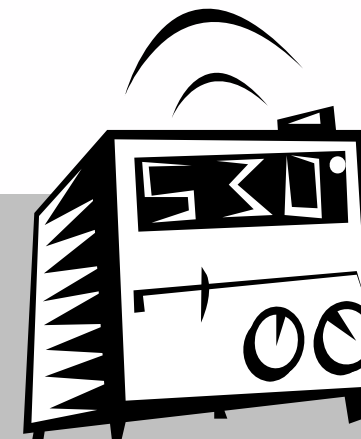
<Web Site>

独立行政法人情報通信研究機構
Space Environmental Center
スタンフォード大学教育センター
愛媛大学
N6RT Propagation Report Site

<http://crl.go.jp/>
<http://www.sec.noaa.gov/index.html>
<http://solar-center.stanford.edu/>
<http://sp.cs.ehime-u.ac.jp/lecture/2002/digital/>
<http://dx.qsl.net/propagation/index.html>

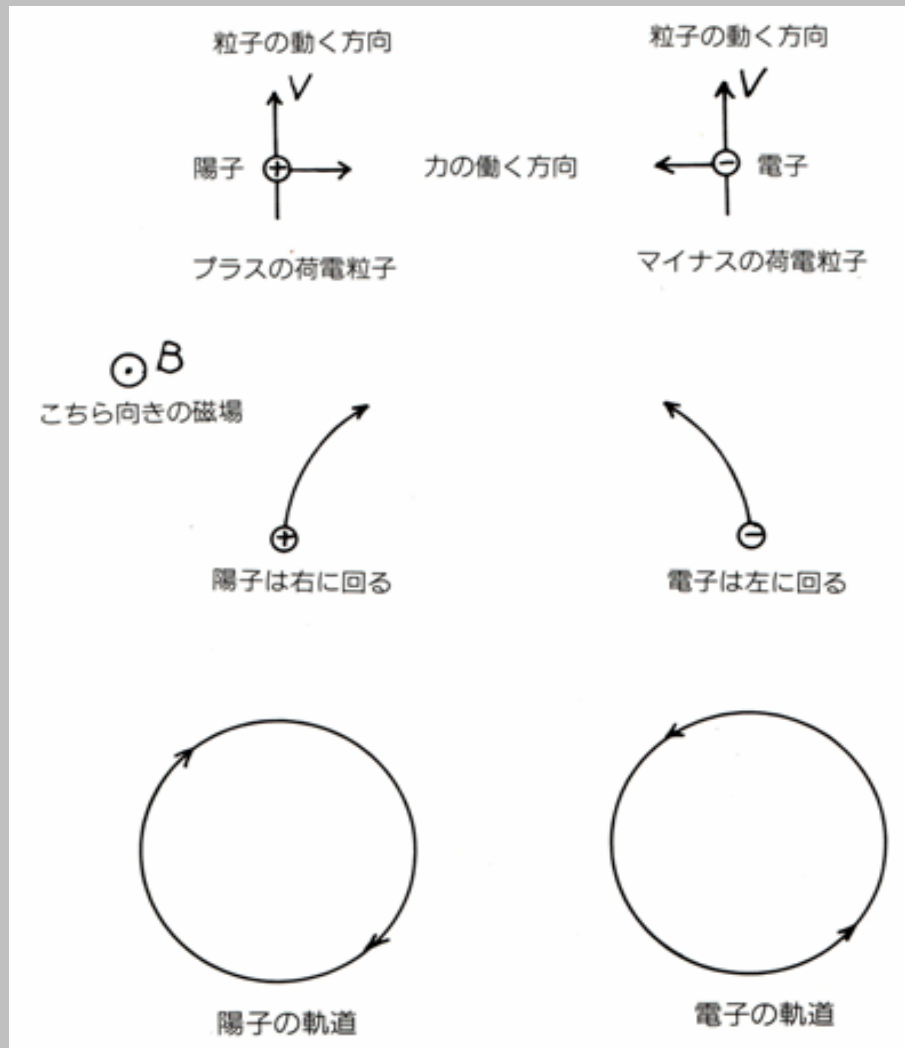
<Special Thanks to>

CRL Scientist	Mr. Maruyama
A1 Club JA8AJE	Mr. Kasahara
N0NBH	Mr. Paul Herrman



Appendix 1

磁場・電場の影響下の荷電粒子の動きのまとめ (1)



荷電粒子の受ける力

フレミングの左手で考える

磁場の中の荷電粒子の進行方向が、磁場の向きと同じなら、何の影響も受けずにそのまま進む

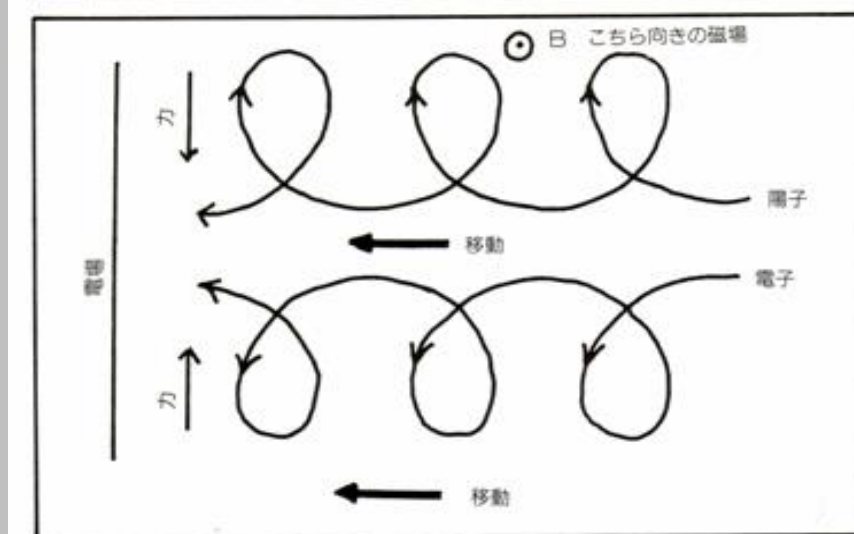
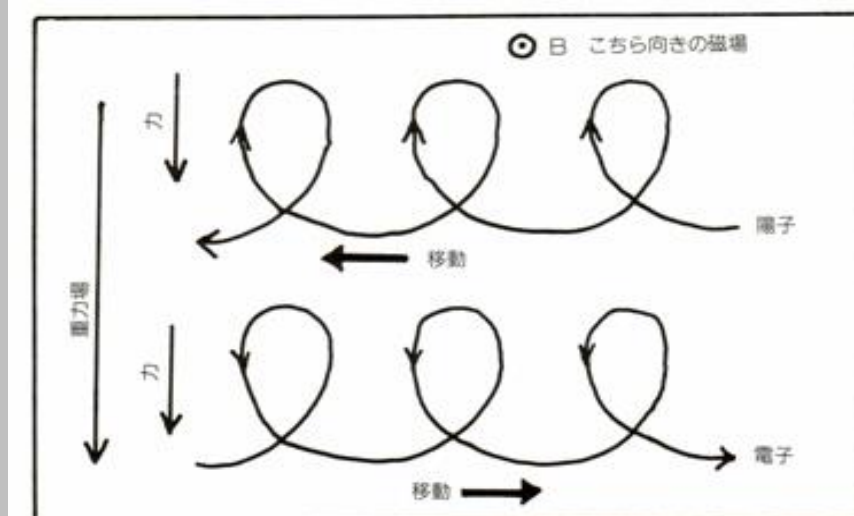
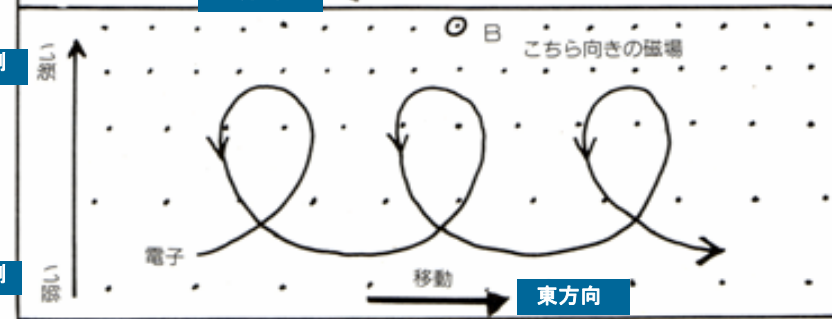
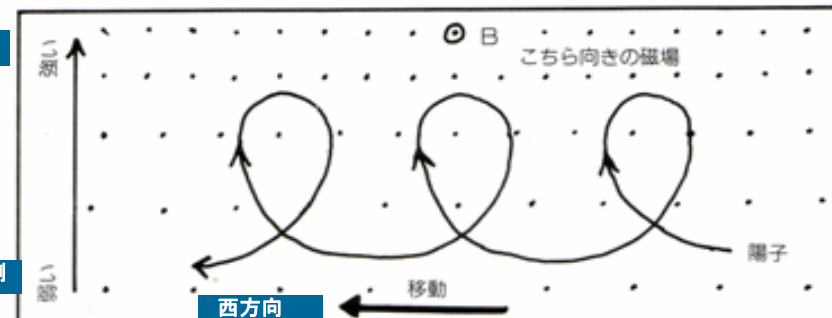
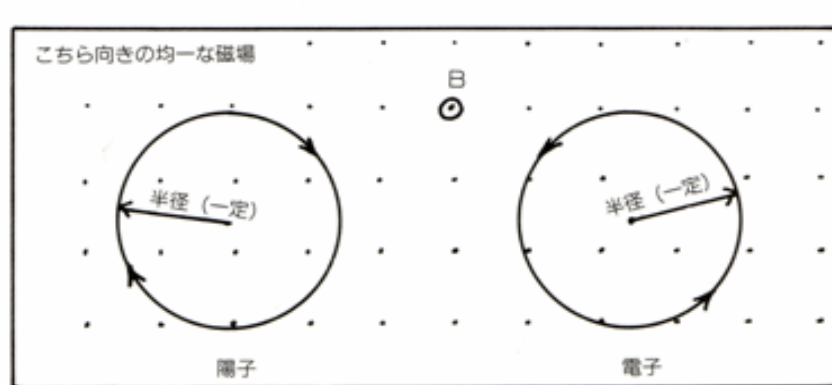
磁場の中の荷電粒子の進行方向が、磁場の向きと垂直なら、両方の向きに垂直な力が掛かり、円運動する

上記2つに当てはまらない場合は、らせん運動しながら進む

磁場があるとき、荷電粒子にスピンの掛かりながら進むのは、極めてありふれた現象である

Appendix 1

磁場・電場の影響下の荷電粒子の動きのまとめ(2)



バンアレン帯地表側

バンアレン帯宇宙側

バンアレン帯地表側

バンアレン帯宇宙側

