

赤道越え NWC-22.3KHz VLF 信号の受信Ⅱ

西脇彰*, 吉岡敏太郎*, 三上孝義*, 木下みつえ**

Tansequatorial Reception of NWC-22.3KHz VLF Signal Ⅱ

Akira NISHIWAKI*, Toshitarō YOSHIOKA*, Takayoshi MIKAMI*,
and Mitsue KINOSHITA**

(Received September 1, 1970)

The phase and amplitude of the 22.3 KHz signal NWC (North West Cape, Australia) have been recorded at Chubu Institute of Technology, Kasugai, Japan since November, 1968. It is found that the seasonal variation of the fading mode at sunrise or sunset depends appreciably upon the angle subtended by the propagation path and the sunrise or sunset line. In summer of the northern hemisphere, the nighttime amplitude falls down gradually toward sunrise, while in winter rises up. The SPA phenomena are found to be intimately correlated with solar flares and outbursts of solar radio waves.

1. 緒 言

オーストラリア North West Cape から発射される NWC-22.3KHz VLF 標準電波の、春日井市中部工業大学超高層研究所における受信データが、ほぼ1年間にわたって蓄積できた。前報告¹⁾では、1968年11月より1969年3月までの北半球冬期の記録について考察したが、本報は年間を通じての特徴を述べ、日出、日没時のフェージングについては、伝搬路と日照線との成す角への依存性を明らかにし、夜間の受信パターンについて季節的な特徴を示した。太陽フレアに関するVLFデータと太陽電波データとの対応は更に多くのSPAについて検討した。

2. 日出、日没時フェージングパターン

3,000km以上の遠距離伝搬路についてVLF信号を受信すると、日出、日没時に位相および強度に周期的な変化が記録される。この効果は Crombie^{2),3)} によって、伝搬路が夜に入ると第1次地球電離層導波管モードと、第2次モードが能率よく励起され、減衰も少く伝搬し、伝搬路が日中に入ると、第1次モードのみが遠距離で存在でき、かつ、伝搬路が日照、日没線に一致すると、そ

の不連続部は、モードの変換をひき起すと説明されている。このモデルは、いろいろな伝搬路について正当であると認められているが、NWC-春日井路にも成立するかどうかをしらべる。

Crombie のモデルによるフェージングパターンの説明は、伝搬路を日照、日没線がどのように横切るかという点を基礎としている。

図-1は、NWC-春日井路について、1年間を通じてそれがどう変化するかを示すものである。図は地理的赤道と伝搬路とが交わる点を中心とした、地球の正射影であり、この図上では、伝搬路および日照、日没線は、直線で考えることができる。地軸を固定して、太陽の赤緯変化を各月をパラメータにしてあらわしてある。図の上端のローマ数字は月をあらわし、日照線のかたむきを知る際に用い、下端の数字は日没線のかたむきを示している。この図でとくに注目されることは、北半球の夏は、伝搬路と日照線の交わり角が大きく、春日井(受信局)が早く夜が明け、長い時間をかけて日照線がNWC(送信局)へ移動するが、北半球の冬には、ちょうど、日照線と伝搬路が平行になる点があり、ほとんど全伝搬路が同時に太陽の照射をうけ、かつ、NWCの方が早く日の出を迎える期間も存在するということである。このことは対称的に、日没線についてもいえる。更に伝搬路のほ

*電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

**超高層研究所 (Research Institute of Magnetosphere)

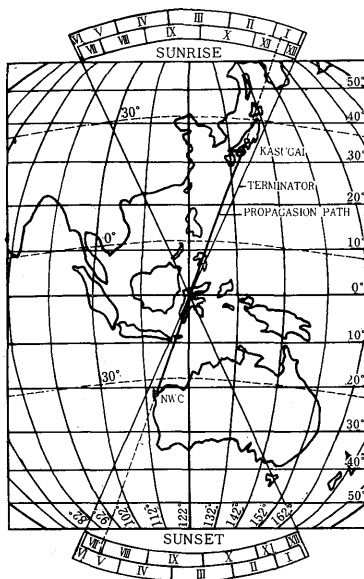


図-1 NWC-春日井路年間の日照, 日没線の動き
は中央を, 破線で示した地磁気赤道が横切っていることも重要である。

NWC-春日井路で記録された 22.3KHz 標準電波の強度と位相の, 四季の変化をあらわしている典型的パターンを図-2 に示す。

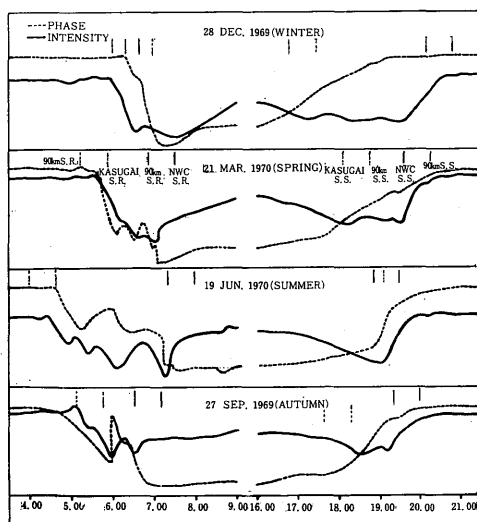


図-2 日出没時フェージングパターンの季節変化

実線は強度を, 破線は位相をあらわす。この記録の特徴は, 日出, 日没時に生ずるフェージングパターン強度の極小の1日当りの数が, 季節によらず一定で5つになることである。しかし, 日出時の極小の数は季節によってかわり, 北半球での春夏秋冬に, それぞれ3, 4, 3, 2

となる。日没時は, かなりパターンがゆっくりかわり, 判別しにくい, 春夏秋冬に対し, それぞれ2, 1, 2, 3と数えられる。図-1を参照することにより, 伝搬路と日照線とのなす角の大きい期間, すなわち北半球の夏側では, 日出時のフェージングが明りょうにあらわれるといえる。日出, 日没時のフェージングが, コヒーレントな複数モードの重ねあわせであることは, 強度記録の極小点が, 位相記録の最大時間変化点に常に対応することによって証明できる。この点, 後述する夜間のパターンは, 位相の変化と強度の変化とがほとんど無関係に動いている。

NWC-春日井伝搬路が日照, 日没線とそれぞれ一致する特別な日は日照線について, 11月20日および1月19

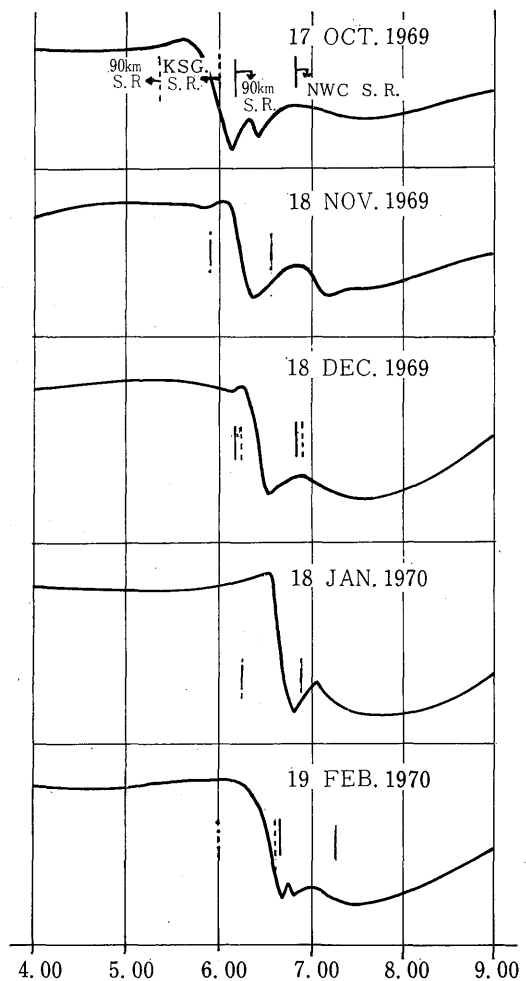


図-3 日照線と伝搬路が平行になる日とその前後1ヶ月間の日出時における強度のフェージングパターン

日、日没線については、5月20日および7月25日頃である。この日を境にして、送信側と受信側の日照、日没のはじまりが逆転するため、フェージングパターンも、うつりかわる。日出時について、11月18日と1月18日を中心に約1ヶ月間のパターンのうつりかわりを図-3に示した。

このパターンの特徴は事象の開始から最初の極小へのおちこみ時間が極めて短く、約12分となることである。更に11月20日から約1ヵ月以前から日出時パターンは2個の極小から1個の極小へかわっており、1月20日から約1ヵ月すぎると1個の極小から2個の極小をもつフェージングパターンに移り変ってゆく。日没時についても、同じようにしてとりあつかった。図-4に5月22日と7月24日から、5月については15日後、7月については1ヵ月後のパターンを示した。

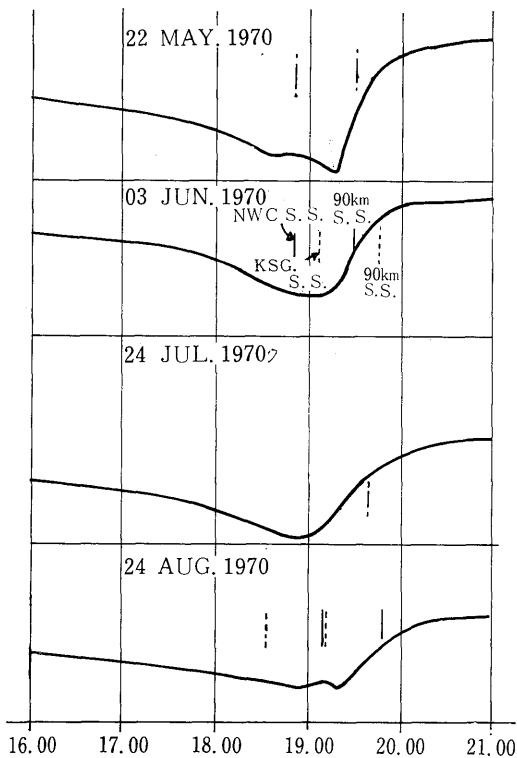


図-4 日没線と伝搬路が平行になる日とその後1ヵ月以内の日没時における強度のフェージングパターン

図-4は図-3と少しかわった様子を示している。すなわち5月においては2つの極小が約半月で1個となり、7月については1個の極小値が約1ヵ月後に2個になっていることである。次に極小値から事象の終る時間が、日出時にくらべ、およそ2倍の時間がかかってい

ることである。

日本標準時間でよんだ春日井とNWCとの、日出、日没の時刻の変化を図-5にプロットした。

図-5には更に、春日井、NWC90km上空での日出日没時刻（時間差は地上より約40分早い）、春日井とNWCとの間の日出、日没時間差、および、日照、日没線の伝搬路とのなす角度を示してある。日出時フェージングの開始時刻を年間を通じてプロットすると、図-5の日出時刻のカーブの間の点の連らなりとなる。これから、フェージングの開始は受信側か送信側かどちらか

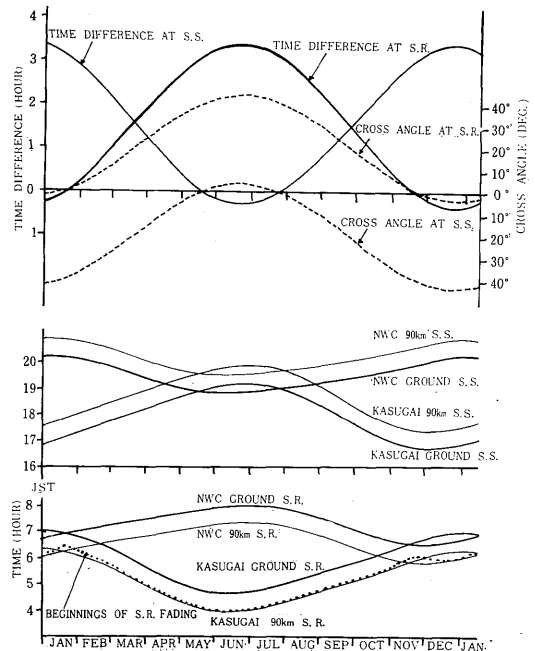


図-5 毎月の、日出、日入時刻と送受信局間の時間差および伝搬路と、日照、日没線との交わり角

方の上空の日出によってきまるといことができる。

3. 夜間の受信パターン

NWC-春日井 22.3KHzの、位相、強度の同時受信記録のうち年間の大きな変化をみるのが図-6である。

夜間は、ほぼ90km上空のE層を反射層とした地球-電離層導波管の内部伝搬モードを受信しているわけであるが、昼間のD層反射にくらべ、性質のつかめぬ受信記録変動が多い。図-6からいえることは、北半球夏の強度は、日没後のレベルより、日出前のレベルが低くなり、冬には真夜中から、明け方にかけてレベルが上昇することである。しかし位相の記録についてみると、強度にみられたような傾向は、はっきりつかめない。データにあ

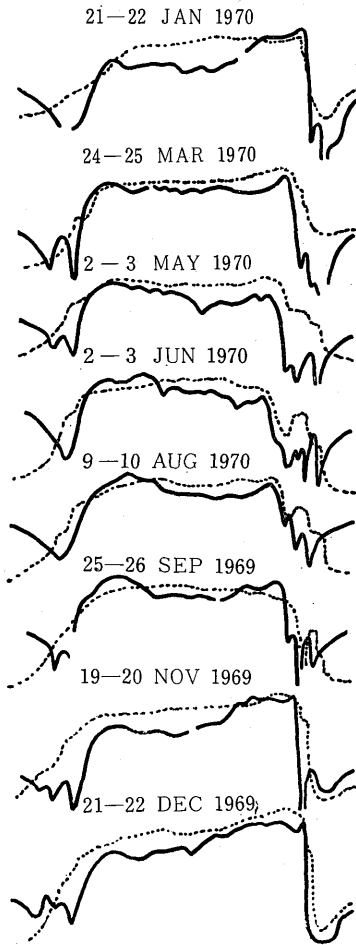


図-6 夜間パターンの季節変化

らわれた夜間の受信の特徴はそのほか、日没事象の終り日出事象の開始が、ランダムな夜間受信跡となめらかな規則性あるD層モードの跡とのうつりかわり点で、はっきり区別できることと、真夜中に、大きくみて強度のおちこみが認められること、更に強度の変動はほとんど位相の変動とベクトルの合成的な相関をもたず、位相はかなり安定したレベルを保つようにみえることである。とくに夜間強度レベルが変動しているのに、位層が比較的安定であることを示す例は大きな太陽フレアの発生と、相関性のある、強度レベルの落ちこみがみられる図-7である。

1970年6月中旬より下旬へかけて、フレアが頻発した時期のNWC-春日井路、夜間の記録であり、真夜中以後、明け方にかけて強度レベルが顕著に低下する点が注目される。

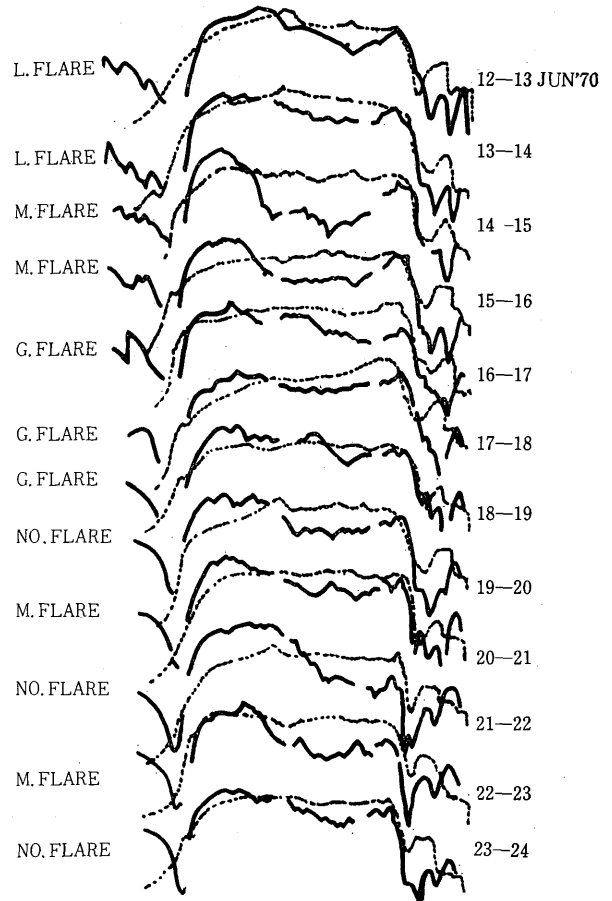


図-7 フレアー時の夜間パターン

4. SPA

NWC-春日井路の22.3KHz 信号の位相に及ぼす太陽面爆発の特徴について述べる。

豊川空電研究所の太陽電波データと、NWC-春日井

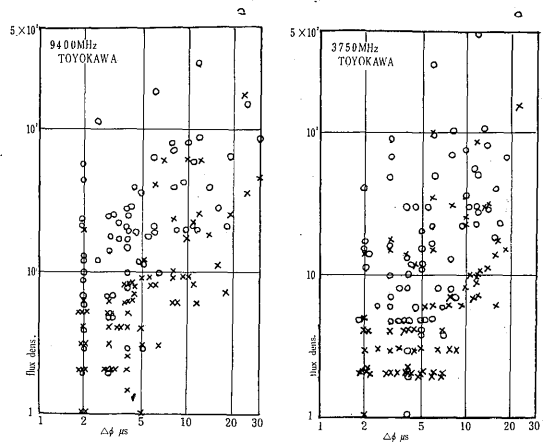


図-8 フレアーとSPAの対応関係

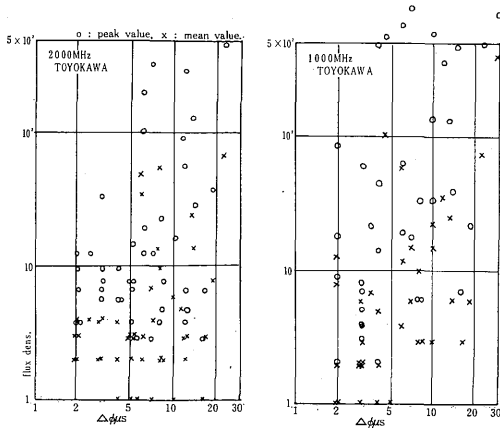


図-8 フレアとSPAの対応関係

路VLFデータとの比較を行なったのが図-8である。

太陽電波観測周波数1000MHz, 2000MHz, 3750MHzおよび9400MHzにおける強度のピーク値及び平均値を、横軸にSPA最大位相進み時間をとってプロットした。対応の際にいえることは9400MHzに、ある強度以上のアウトバーストの観測があると、ほとんど常にSPAに対応するが、1000MHzのみにあられる事象は対応が悪くなることである。図-8で9400MHzに点が多く、1000MHzには点の数が少なくちらばっていることがそれを示している。

表-1 9400MHzデータとNWC-春日井路VLFデータとの事象対応表

事象数	対応無し	対応有り	バーストのみ
64	39	25	9

表-1は、NWC-春日井路におけるSPAと同じ期間内の豊川太陽電波9400MHzのデータとの事象の対応割合を示すもので、SPAデータは太陽電波の事象をほとんどカバーしていて、9400MHzに確実にあらわれないフレアにも感じているが、9400MHzにあってSPAがあらわれぬ場合の数は少ないということがわかる。

表-2 一定時間時の各伝搬路でのSPAの事象数

NWC	NAA	GBR	WWVL	HAIKU
31	25	18	18	14

表-2は、NWC 春日井路についてSPA観測感度を、他のVLF観測路の感度と比較する目安をうるため

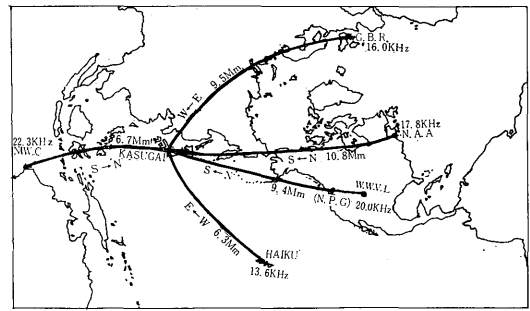
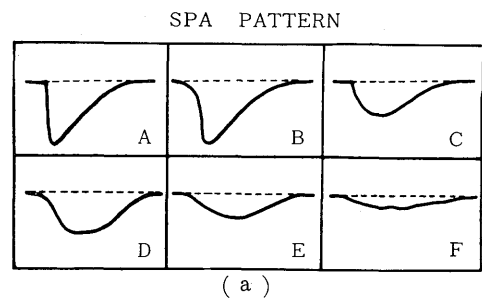


図-9 VLF標準電波送信局の位置

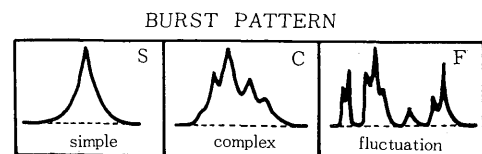
に、犬吠で受信しているデータを参考にして、同一期間内で各路でいくつの事象があらわれるかをもとめたものである。送信局の分布は図-9に示した。

それぞれの路は、周波数、伝搬方向、距離、陸上、海上の別、オーロラ帯を通る割合などの特徴をもっている。表-2についていえば、NWC局の受信感度がよくなっているが、HAIRU局の受信では、NWC路が日出フェージングを起こして、SPAが明確でない時間でも安定に観測出来る利点がある。SPAにはフレアの状況に依存すると考えられるパターンがいくつか観測される。それは太陽電波パターンの類推で図-10のようになる。SPAパターンと太陽電波パターンとの対応は表-3に示した。

またSPAの立上り、立下り時定数は、D層の、擾乱に対する応答時定数として意味をもつものと考えられるが、図-11に分布を示した。



(a)



(b)

図-10 (a) SPAの典型的パターン
(b) フレアの典型的パターン

表-3 フレアとSPAの対応表

VLF SPA type Solar radio wave type	A	B	C	D	E	F	Other
S	10	8	5	2	5	3	4
C	4	12	5	0	2	0	4
F	0	0	1	1	0	0	1
	14	20	11	3	7	3	9

JAN. MAR. MAY. JUN '69.

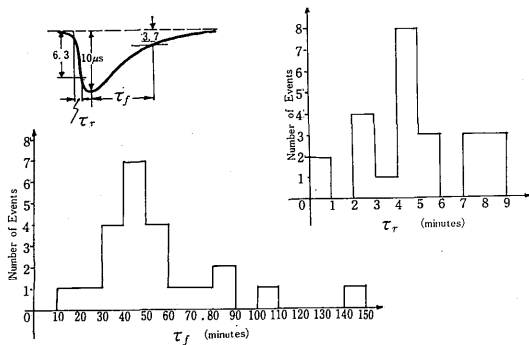


図-11 SPAの立上り, 立下り時定数に対する事象数

5. 結 言

NWC春日井22.3KHz標準電波の1年をカバーする受信データから, 特徴ある事柄をもとめた。日出没時フェ

ージングについては, 伝搬路と日照, 日没線とのなす角度と, 受信側か送信側か, どちらが先に日照, 日没に一致するかによって Crombie の理論によって説明ができた。交わり角ゼロの前後のフェージングパターンのうつりかわりもはっきりとらえられている。夜間の受信については, 位相がかなり安定であっても強度にレベル変動が目立ち, 季節的に北半球の夏では夜明け側に, 強度レベルの落ちがあり, 冬ではもち上る傾向が認められた。夜間の伝搬状況は, データによって明らかに昼間と異なることが推測されるが, この解明は今後の興味ある課題である。太陽電波データとの対応をとると, 9400MHzデータとよく合い, フレア生起のみに関してはSPAの方が感度が高いことがわかった。

おわりに本報告をまとめるにあたり, 終始御指導を賜った本学金原教授に, また御援助いただいた本学江口博之教授, 栗本講師に深く感謝いたします。あわせて, 名大豊川空電研究所田中教授, 高柳技官には貴重な太陽電波データを, また郵政省電波研究所大吠電波観測所中島前所長には, 貴重なVLF位相データを見せていただいたことを深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 西脇, 吉岡; 中部工業大学紀要, 5, 87-94, 1969.
- 2) D.D. Crombie; Radio Science, 680, 27-34, 1964.
- 3) R.R. Scarabucci and F. de Mendnca; Radio Science, 2, 373-378, 1967.
- 4) D.D. Crombie; Radio Science, 1, 47-51, 1966.