

UDC. 621.391.812.63.029

### V-3. 赤道横断伝搬

田尾 一彦\*

#### 1. はしがき

VHF帯の電波が5000kmから時によっては10000kmにも及ぶ遠距離まで、特に赤道を越えて日没後異常伝搬をし、そのため南北の半球にある国々のアマチュア無線家たちが、日没後主に50MHz帯の電波を用いて互いに交信できたことが20年ほど前から報告されている。特に1957~1958年のIGY期間中には、南北両アメリカ、日本とオーストラリアやニュージーランド、ヨーロッパと南アフリカとの間で50MHz帯での交信がしばしば可能であったことが数多くのアマチュア無線家によって報告された。またIGY期間中には多くの研究機関によって磁気赤道をはさんでVHF帯の伝搬実験が実施された。このように磁気赤道を越えて数千kmの遠距離まで電波が伝搬する現象は、その後赤道横断伝搬 (transequatorial propagation) と呼ばれるようになり、頭文字をとってTEPと略称されている。

伝搬機構については磁気赤道付近の複雑な電離層構造と相まって不明な点が多く、今後の研究にまつことが多いが、本文では太陽活動極大期のIGY期間中に実施されたいろいろな実験結果の概要を述べ、太陽活動極小期のIQSY期間中に実施された日本とオーストラリア間の実験もあわせて概説し、TEPと他現象との関連性についていままでに明らかにされてきた事柄を述べてみたいと思う。

#### 2. 50MHz帯のアマチュア無線家による観測

TEPが発見されたのは既に述べたように、アマチュア無線家による赤道越えの南北交信であった。IGY期間中には多くのアマチュア無線家によって日没後、南北両半球の国々の間で交信が行なわれ、伝搬距離は4000kmから10000kmくらいまでが多く、時には日本とアルゼンチンというような18000kmにも及ぶ超遠距離も含まれていた。これらのアマチュア無線家たちによる測定資料はアメリカのアマチュア無線連盟のSouthworth<sup>(1)</sup>

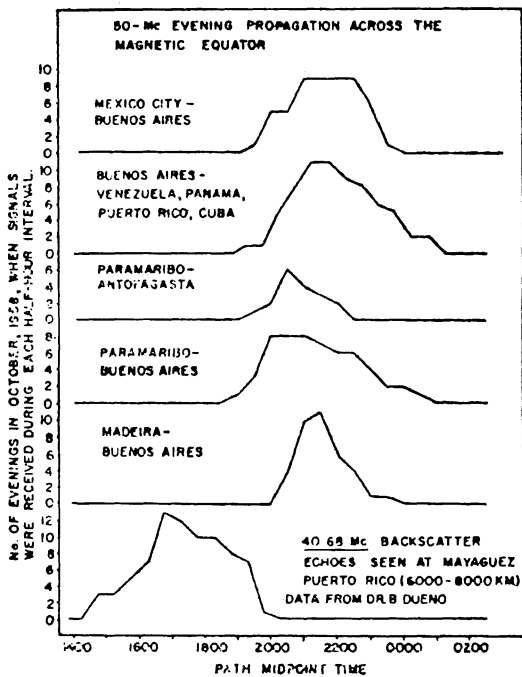
によってとりまとめられ次のような特徴が見出された。

(1) TEP信号は春分、秋分のころの夜間に最も頻繁に受信され、信号には二つのタイプがあり、一つは18~19時ころに受信され比較的定常的である。他のものは5~15Hz程度の速いフラッターと呼ばれるフェージングを伴うもので20~22時ころ受信される。

(2) 磁気赤道を直角に横切り、磁気赤道に対して共軌点になるような地点がTEPには都合がよい。信号が比較的安定に受信できる最適の距離は約6000kmである。日本とオーストラリアのクインズランド州、南ローデシアとキプロス島などの間は理想的なTEP回線である。

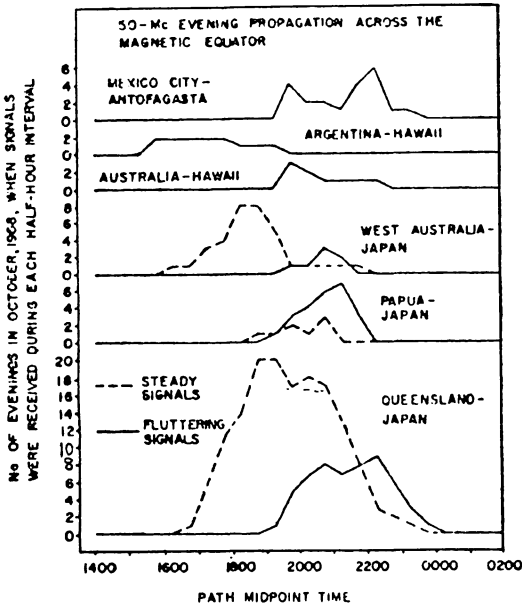
(3) 長い伝搬路の場合には定常的な信号が現われやすく、磁気緯度南北30度以内に送、受信点がある場合にはフラッターフェージングを伴う信号が受信される。

Southworth によってまとめられたアマチュア局によるTEPについての受信回数の日変化の例を第1図および第2図に示す。第3図は季節変化である。

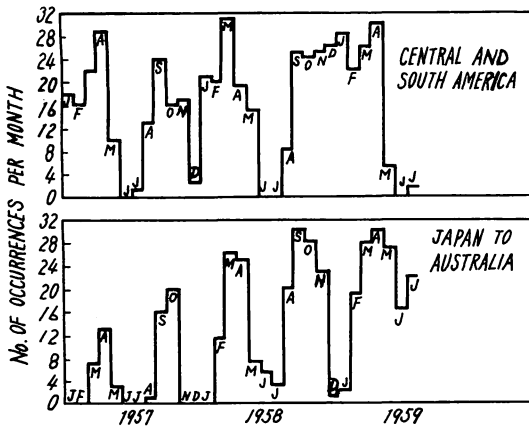


第1図 南アメリカのアマチュア無線家によって記録されたTEPの日変化

\* 電波部宇宙空間研究室



第2図 種々な地域でアマチュア無線家によって記録されたTEPの日変化



第3図 アマチュア無線家によって記録されたTEPの季節変化

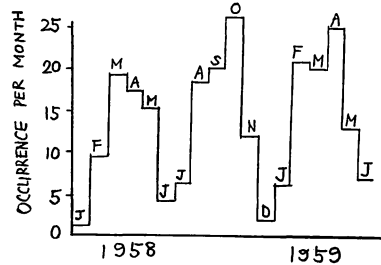
### 3. 後方散乱による TEP

#### 3.1. スタンフォード大学のグループによる研究<sup>(2)</sup>

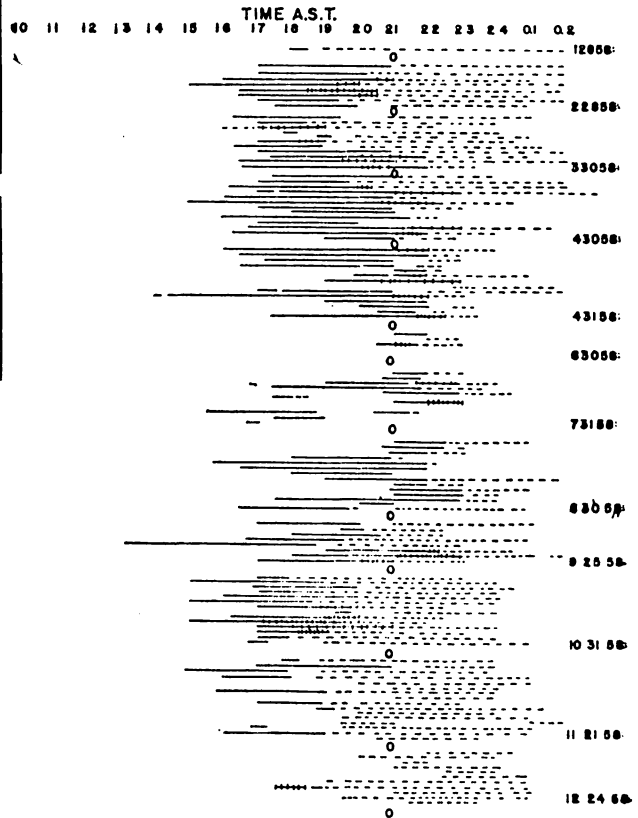
1956年8～9月の間に Villard たちはバージン島(64°45' W, 17°45' N)に後方散乱装置を設置して 23.1MHz によって実験を行ない、ときによっては 30.66, 40.68, 46.2 MHz の周波数が用いられた。特にこの実験では新しい事実として 5500～11000km に相当する遅延時間を持ったエコーがほとんど毎日南の方から受信され、TEP は後方散乱の実験からも確められた。Villard はこの TEP に対して後述するような "F" モードを提案した。

#### 3.2. プェルトリコでの測定結果<sup>(3)</sup>

Villard たちの実験に引きつづいてプェルトリコ大学の Buenō は 1958 年から 1959 年にかけて TEP を調べるために、21.6, 40.68, 49.68MHz の 3 波を用いて後方散乱実験を行なった。実験結果としては 21.6MHz では平均として 7000km の距離に対応する TEP が観測され、時間的には 16～17時ころで、方向は直南よりやや東の方向から受信され始め、次第に南の方へ移動する傾向があった。21.6MHz の方はほとんど毎日受信され明瞭な季節変化はなかったが、40.68MHz では第4図に示すように、春分および秋分期に受信率は多くなり、夏至および冬至のころは少ない。第5図は 40.68MHz によ



第4図 プェルトリコで測定された後方散乱によるTEPの季節変化

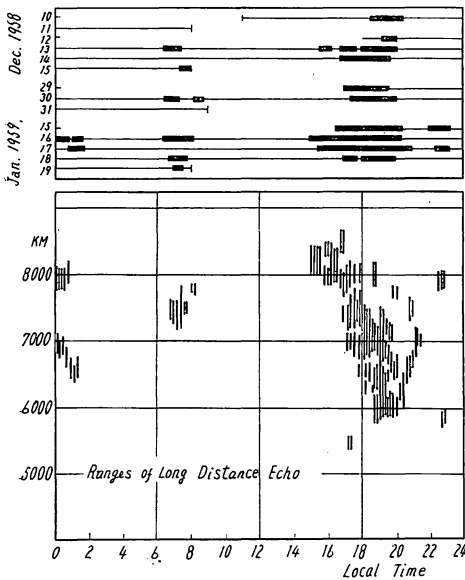


第5図 40.68MHzの後方散乱実験でプェルトリコで測定されたTEPの受信時間 (破線は実線の約半分の距離からのTEPをあらわす)

る1958年間の後方散乱による受信結果であるが、おもしろいことに二つの異なる信号が受信されている。すなわち実線で示されている16~21時にかけての信号は7000kmの伝搬距離を持つTEPであり、点線の20~02時の夜間の信号は遅延時間から夕方のTEPの約半分の伝搬距離をもつTEPであることがわかった。

3.3. 日本における測定

1958年夏以来、電波研究所平磯支所では27.12MHzで後方散乱の観測を実施しているが、しばしば南の方からTEPエコーと考えられる信号が受信され、その特徴は次のようなものであった。すなわち伝搬距離は平均して7500kmくらいで方向は南であり信号はかなり激しいフェージングを伴っていた。受信時間はだいたい16~22時で時間の経過とともに伝搬距離は第6図に示すように



第6図 27MHzの後方散乱実験で平磯で測定されたTEPエコーの受信時間並びに対距離

8000kmから6000kmくらいに減少する傾向があり、プエルトリコでの測定結果とも一致している。以上の結果からObayashi(4)はきわめて独創的な考え方を提案し、これらのTEPは電離層によるものでなく、外気圏内の地球磁力線に沿った電子密度のirregularitiesによって電波が誘導され南北両半球間に伝搬するのであろうと推論した。

KDDでも短波帯での後方散乱実験を実施したが、1959年4月上旬および7月中旬に東京で観測された南方からの後方散乱波は適当な傾斜を持った電離層によって仲介されたものであり、また太陽爆発に伴うフレアに関連していることが指摘された(5)。

3.4. オーストラリアにおける測定

1960年以来オーストラリアのプリズペンで16MHzによる後方散乱実験が実施され、55MHzでの実験もときどき行なわれた。この実験結果からJ.A. Thomas(6)はTEPについて次のように述べている。

TEPエコーは16~17時ころプリズペンの東の方向から受信され始め、時間の経過とともに北の方へ移動し、さらに西方向へ移動する。信号は午後における受信開始時間が早い場合には、信号強度が高く継続時間は長くなる。また新月および満月の時期には受信開始時間が遅れる。1961年12月から1962年1月にかけて16MHzと55MHzで入射角測定を行ない、外気圏の磁力線に沿うような伝搬モードの可能性が調べられたが、この期間中にはそのようなモードは検出できなかった。

3.5. ワシントンで行なった実験結果(8)

GalletとUtlautは外気圏伝搬を確めるため、1960年4月から6月にかけてワシントンで周波数13.8MHz、送信出力100kWで後方散乱の実験を行なった。遅延時間の測定から推定して、伝搬距離20000kmから25000kmに対応する超遠距離エコーがときどき観測され、受信時間は一般に数分程度のものが多かったが、ときには数十分にわたってエコーが受信された。伝搬距離が長いことと、エコーが広がっていないことから、Galletはこれらは外気圏の磁力線に沿って電波が赤道上空を横断して反対半球の共軌対称点で反射し、再び磁力線に沿って伝搬してきたものであると推論した。ワシントンは地磁気緯度で50度であるから、南半球での地磁気共軌点は南アメリカの南端近くの南太平洋上にあり、これらの共軌点を結ぶ磁力線の長さは33650km(赤道上空での通過高度は10460km)となり実際に測定されたものはこれよりも短い。

3.6. 王立レーダ研究機関で行なわれた実験(9)

Royal Radar Establishmentでは地磁気緯度55°Nの地点からの後方散乱によって外気圏伝搬を確めるために、1963年6月25日から7月19日にかけて、32MHzの周波数で25mのパラボラアンテナを使用して後方散乱の実験を実施した。この地点から南半球の地磁気共軌点までの地球磁力線に沿った距離は40400kmとなり、赤道上空での高度は13000kmである。しかしこの測定期間中にはそのようなエコーは検出されなかった。これをGalletらの実験と比較するとおもしろい。RREの装置はNBSのものに比べて1000倍も感度がよいにもかかわらず、エコーが検出されなかったということは、Galletによって観測されたエコーは外気圏伝搬エコーでな

かったのか、あるいはもし外気圏伝搬であったとすれば、Gallet が実験した時期は太陽活動度がこの実験の時期(黒点数 19)に比べて高く、外気圏伝搬に都合のよい条件にあったのかも知れない。周波数も 32MHz というのは外気圏伝搬には高すぎる周波数であるのかも知れない。このように種々の条件が異なるためエコーが検出されなかったからといって、Gallet たちの実験を必ずしも否定することはできない。

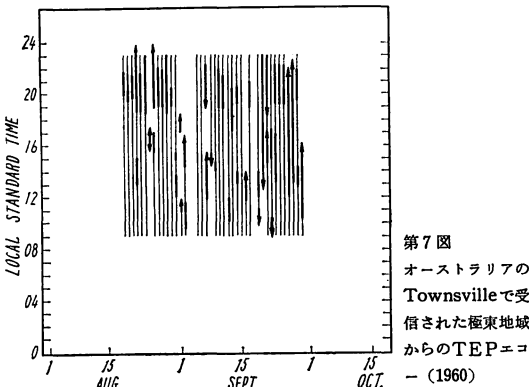
#### 4. 前方散乱による TEP

##### 4.1. 極東地域における磁気赤道近傍での実験<sup>(10)</sup>

これは磁気赤道を超えるいわゆる TEP ではないが、IGY および IGC 期間中に NBS によって、フィリピンを中心として種々の伝搬路で  $E_s$  の伝搬実験が行なわれた。その結果  $E_s$  が存在しない場合でも夜間に電界強度がかなり上昇する現象が見出され、方位測定並びにパルスの遅延時間の測定から、これらの信号が  $F$  領域からくることが明らかにされた。最初はこの現象のことを極東異常 (Far Eastern anomaly) とか evening anomaly と呼んでいたが、TEP とも密接な関連があり、極東のみでなく他の地域でも発見されたため、その後  $F$  散乱 ( $F$  scatter) と呼ばれるようになった。 $F$  scatter は磁気赤道に近づくにつれて多く現われることも明らかにされた。

##### 4.2. 極東—オーストラリア間の TEP

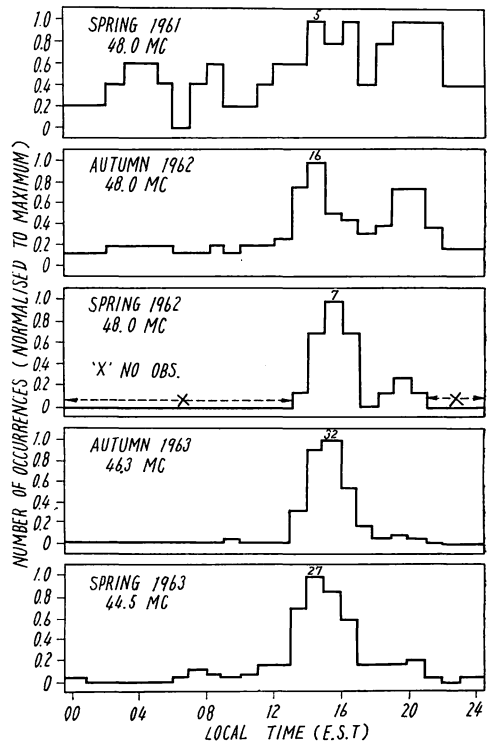
オーストラリアのタウンズビルでは 1960 年 8 ~ 9 月にかけて 49 ~ 56 MHz の TV や FM 信号の異常伝搬信号を受信したが、送信源はラジオストックおよびホノルルの TV や韓国の FM 放送が主であった<sup>(11) (12)</sup>。受信結果を第 7 図に示す。エコーは 14 時と 20 時ころに受信されているが、14 時のエコーに比べて 20 時のものが倍近く受信されている。第 8 図は 1961 年から 1963 年まで韓



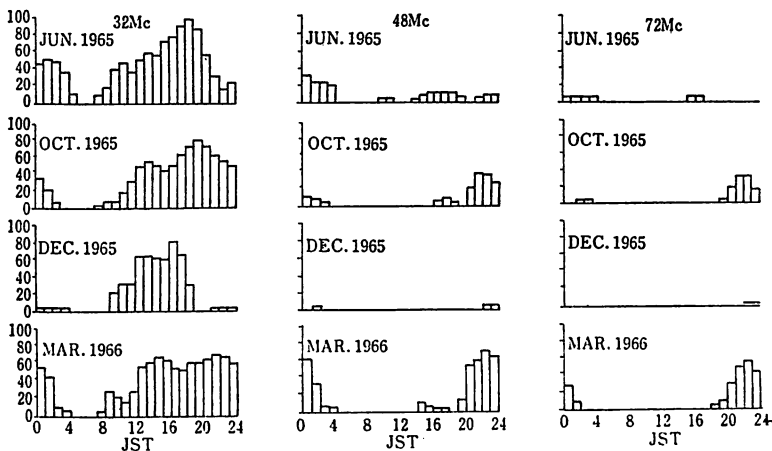
第 7 図  
オーストラリアの  
Townsville で受  
信された極東地  
域からの TEP エ  
コー (1960)

国からの 44 ~ 48 MHz の FM 放送をタウンズビルで受信した結果で、距離は 6600 km の TEP である。第 7 図と第 8 図とを比較してみるとおもしろい傾向がみられる。すなわち 14 時ころの受信率はほとんど変わらないが、20 時ころの受信率は 1960 年には昼間の受信率に比べて倍近くであったのが、1961 年春にはほとんど等しくなり、次第に減少してその比率は 1963 年には 1/10 程度となって太陽黒点数の減少とともに減っている。

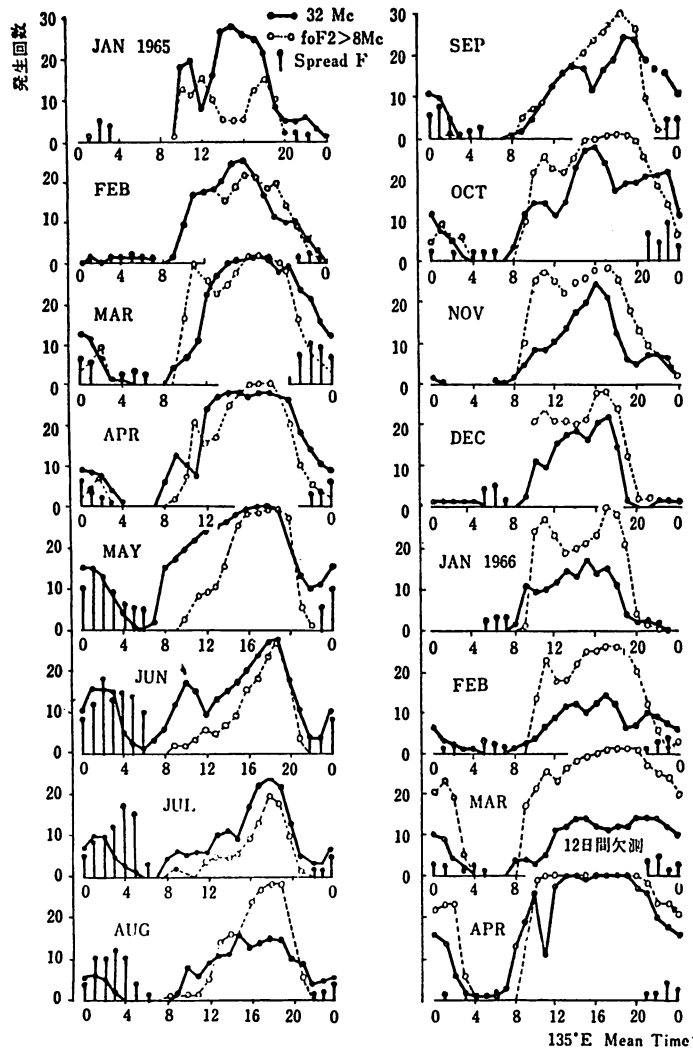
従来行なわれてきた TEP は主として太陽黒点極大期のものが多かったため、それと比較するため黒点数極小期の時期を選んで RRL とオーストラリアの WRE との間で実験計画が行なわれ、32, 48, 72 MHz の VHF 帯電波がオーストラリア北部のダーウィンから 1964 年 8 月以來送信され、山川および東京で受信され現在に至っている。ダーウィンと山川との距離は 4850 km である。いままでに得られた受信信号の統計的解析から概要は次のとおりである。フェージングは昼間と夜間とで異なり昼間は干渉性、夜間は散乱性で明らかに伝搬機構が異なるようである。ただし 48 MHz および 72 MHz は昼間はほとんど受信されず夜間にのみ受信される。各季節における受信率の日変化を第 9 図に示す。32 MHz については各季節とも日出時前後はほとんど受信されない。夏は 16 ~ 18 時



第 8 図 1961 ~ 1963 にかけて Townsville で受信された韓国からの FM 放送の受信時間



第9図 各季節における TEP (オーストラリア-日本) 信号の受信率日変化



第10図 32MHzの受信率とマニラにおける  $f_oF_2 > 8\text{MHz}$  の発生回数との関係 (棒線は spread F の出現頻度をあらわす)

に受信率の極大があり、春秋には14~16時と20~23時ころに極大があらわれる。冬を除いて他の季節では受信は午後から夜半まで継続する。48MHzおよび72MHzは春秋および夏の日没後から真夜中にかけて受信され、冬季は夜間でもほとんど受信されない。三つの周波数とも日没から夜間に受信される信号の受信時間は季節によって異なり夏は0時以降に、春秋には19時ころから真夜中にかけて受信される。伝搬路中点に近いマニラにおける  $f_oF_2 > 8\text{MHz}$  の発

生回数と32MHzの昼間の受信率とは第10図に示すように相関がある。また32MHzあるいは48MHzの夜間の受信率とspread Fとの相関もよい。伝搬機構についての考察は後でまとめて述べることにする。この実験に関連して沖縄からstep frequency (Granger 904)による4~64MHzの電波が送信されオーストラリア南部のセントキルダで受信が行なわれている。

4.3. 太平洋地域におけるTEP<sup>(13)</sup>

1962年ハワイ諸島に近いカウアイと、それとほとんど地磁気対称点に対応するクック諸島のラロトンガとの間でTEP実験が行なわれた。伝搬路は4800kmで4~64MHzのGrangerの斜入射装置が用いられた。他のTEP曲線と同様に、夜間になるとVHF帯での伝搬が可能となりspread Fと密接な関連性のあることがわかった。この伝搬路では地球磁力線に沿うようなダクト伝搬は認められなかった。

4.4. アフリカ地域におけるTEP<sup>(14)(15)</sup>

1961年10月、CRPLではアフリカのガーナ大学と協同でトリポリとアクラまでの3300kmの距離で19.9MHzの周波数を用いてTEPの実験を行なった。受信点から全通路の1/5くらいの距離で磁気赤道を横断するTEP回線であった。ドップラシフトによる測定が行なわれ、昼間には電離層からの正規反射と考えられるような0.2Hz程度の変移が観測され、日没後には様

子が変し18Hz程度のドップラシフトが観測され、信号はTEPに特有なフラッターフェージングを伴っておりspread F と関連のあることが示された。さらに1963年秋伝搬回線を増し、トリポリーアクラ回線に加えてモノロビア(リベリア)→ロタ(スペイン)(3408km)のTEP回線のほかに磁気赤道に平行した回線でも実験が行なわれ、固定周波数のほかにstep-frequency(1.05~48.95 MHz)の実験が行なわれた。TEPに及ぼす地磁気の効果も調べられた。すなわちstep-frequencyの実験から静穏日には日出とともにMOFは増加するが、日没とともに様相は大きく変化し、19時ころ比較的明瞭に現われていたnose echoは消滅しdiffused echoが現われる。擾乱日には昼間でもMOFはそれほど増大せず日没後のF散乱が現われなかった。

#### 4.5. 南アメリカにおけるTEP<sup>(16)</sup>

IGY期間中にCRPLのBowlesとCohenたちは南アメリカの磁気赤道近傍の様々な伝搬路で50MHz帯の電波を用いて実験を行なった。これらの伝搬路のうちで最長伝搬路はチリーのアントファガスタとエクアドルのグアヤキルとの間の2580kmの距離で、ほぼ中点で磁気赤道を横断し、その中点付近にはファンカイヨの観測所があるため、TEPの伝搬状況と電離層や地磁気との関連性を調べるにはきわめて好都合な条件であった。2年近い実験期間中に全測定時間の約10%が夜間に信号として受信された。この夜間の信号はSmithその他によって極東で発見されたF散乱であることが確められた。この場合は送、受信点からのビームの交叉領域が磁気赤道のほぼ真上にあるため、地表面に平行な地球磁力線に

沿うF領域の電子密度のirregularityからの散乱によって夜間の信号が受信されるとし、逆にこの実験から地球磁力線に沿うirregularityの大きさが推定され、磁力線に沿う鉛直方向に10m、磁力線に沿う方向に1000mくらいのスケールのもがF散乱に寄与することが示された。第11図に種々な場所で行なわれたTEP回線を図示しておく。

### 5. TEPのまとめ並びに他現象との関連性

いままではアマチュア無線、後方散乱、前方散乱の実験などからそれぞれの実験で得られた結果を記述してきたが、かなり共通している結果も多いので、それらを総合的にまとめてみると次のようになる<sup>(17)(18)</sup>。

(1) TEPとしては昼間も夜間も受信されるが、昼間および日没直後のものは比較的定常的な信号であるのに対し、夜間に受信されるものはフラッターフェージングと称する散乱性のフェージングを伴っている。このフェージングはequinox期間中の磁氣的に静穏な日に激しいことが数多く報告されている。またフラッターフェージングと電波星のシンチレーションの間にもよい相関が存在する。

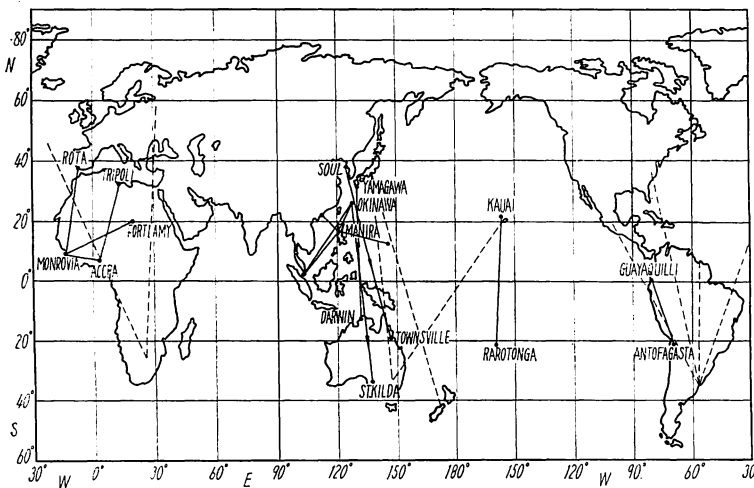
(2) 太陽黒点数との関係は午後の信号については余り変化がないが、夜間の信号については太陽黒点数の減少とともに減少する。ただし黒点数極小期にはだいたい50MHzより高い周波数帯では昼間は受信されず夜間のみである。

(3) 季節的には春分および秋分期に受信率が多くなる傾向があり冬期は少ない(北半球の場合)。

(4) 後方散乱の場合においては夕方方の信号は7000~8000km程度の伝搬距離に対応するエコーが受信され、時間の経過とともに伝搬距離が短くなる。

(5) 入射角は低く5~10°程度で、方位角は北半球での受信の場合は最初南東方向から受信され始め時間の経過とともに真南に移動する。南半球の場合は北東方向から北方向に変化し北西方向で終る。このことはTEPの反射あるいは散乱を与える実体が地方時とともに東から西へ移動していることを示している。

(6) 電離層との関連性については午後から夕方にかけての定常的な信号



第11図 いろいろな地域におけるTEP回線(破線はアマチュア無線による主なTEP)

は、赤道地域特有な  $f_oF2$  の大きな値 (赤道異常) との間にかなりよい相関がある。夜間の信号は赤道地域の  $F$  層の高さが著しく上昇し  $spread F$  が出現すると受信されやすい。多くの実験で夜間の TEP と  $spread F$  とのよい相関が報告されているが、継続時間に関しては TEP エコーが消滅してもなお  $spread F$  が出現していることが多い。

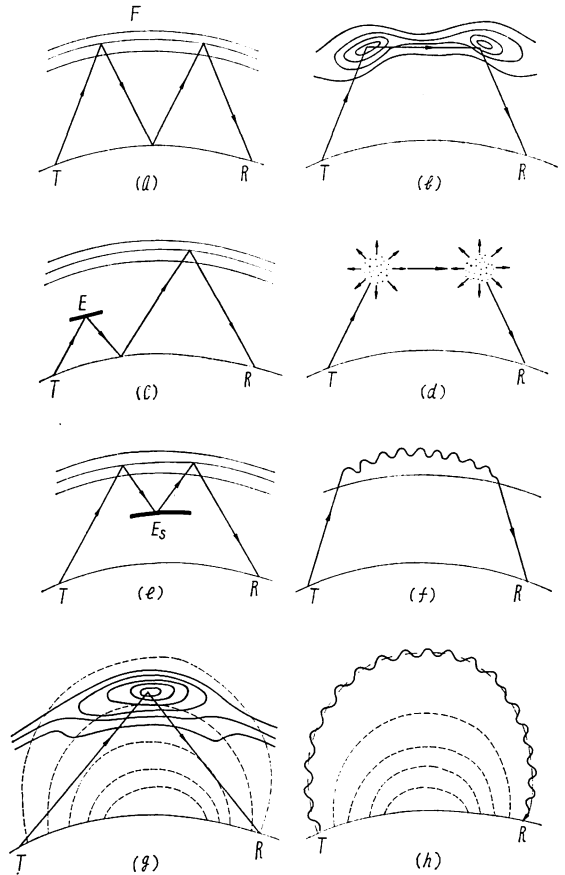
(7) 地磁気活動度との関連性は明瞭ではないけれども、一般に地磁気擾乱日には TEP およびフラッターフェージングは消滅する傾向があり高緯度とは逆の関係にある。

### 6. TEP の伝搬機構

上述したように TEP 信号の受信結果の統計的解析は次第に明らかにされつつある。このような TEP を説明する伝搬機構としては種々な考え方が提案されているが、大別すると電離層を仲介するとする考え方と、外気圏の地球磁力線に沿うダクト伝搬と考える二つの機構に分けることができる。

外気圏のダクト伝搬は最初 Obayashi<sup>(4)</sup> によって提案され、その後 Booker, Voge などによって理論的な解析がすすめられ、既に述べたように Gallet の測定例も報告されている。もし電波が外気圏を磁力線に沿って伝搬してくるとするならば、電離層を仲介する場合に比べて伝搬通路は長くなり、また緯度にもよるが一般に電波の到来方向は高角度であるはずである。いままで行なわれてきた多くの実験では、Gallet の実験を除いてはこの考え方には否定的のようである。

電離層に起因すると考えられる場合でも第12図に示すように、幾通りかの機構が可能である。(a) は  $F$  層での2回反射すなわち  $2F$  モード、(b) は途中で地上との反射なしに引きつづき  $F$  層で2回反射屈折を行なう  ${}^2F$  モード、(c) は  $E$  層と  $F$  層との結合した  $EF$  モード、(d) は  $F$  領域の二つの散乱域を通過する散乱モード (5000km の伝搬路とした場合には1回での反射あるいは散乱が可能であるためには  $F$  層は 400km 以上でなければならない)、(e) は中間にスボラディック  $E$  層からの反射を含む  $M$  型モード、(f) は  $F$  層に入射した電波が field aligned irregularities によって誘導されるモード、(g) はレッジによって反射あるいは散乱されるモード、(h) は既に述べた外気圏ダクトモードである。この中で (b) の  ${}^2F$  モードはスタンフォードの Villard<sup>(2)</sup> によって提案されたもので、午後から夕方にかけての TEP 信号を説明するには、最も適していると考えられる。すなわち赤道地域の電離層の構造はきわめて複雑であるが、



第12図 TEP のいろいろな伝搬機構

磁気緯度で南北  $15 \sim 20^\circ$  くらいの電離層の電子密度は午後から夕方にかけて著しく大きな値となり、これは赤道異常として知られている現象である。その結果磁気赤道の両側では  $F$  領域の等電子密度線が地表面と平行でなくなり傾斜をなし、換言すれば濃い電子密度の大きなかたまりが形成され、そのような際にはこの傾斜等電子密度面に入射した電波は地上へ戻ることなく、赤道を越えて反対半球側の傾斜等電子密度面に達し反射屈折して受信点に到達するようになる。これが Villard の  ${}^2F$  モードで電離層で引き続き2回反射屈折する場合は  ${}^2F$  モードと呼ばれる。またこれはピリヤード・モードともいわれている。(e) の  $M$  型モードも伝搬路が磁気赤道に対してほぼ対称にあるような場合には、磁気赤道上空にはエレクトロジェットに伴うかなり強い  $E_s$  層が出現するので TEP のモードとしては可能性のあるモードである。ただしこの  $E_s$  層は昼間しか現われないので、夜間のモードとしては不適当である。

夜間の TEP については  $spread F$  と関連のあることは明らかであるが、それがどのような機構であるかはま

だ判然としない。散乱源が  $F$  領域にあるとすると (d) のような 2 回の散乱を経てくることになるが、そのような場合には信号強度はきわめて微弱なものになってしまうであろう。

最近にはトップサイドサウンディングによって種々とおもしろい現象が発見されている。日本—オーストラリア上空の電離層上部についてはまだ解析が進められていないが、 $75^{\circ}\text{W}$  に沿う南北アメリカの上部電離層に関しては、アロウエット 1 号によってレッジ (ledge) が磁力線に沿って午後から形成され、午後形成されるレッジはその高さが平均して 500km くらいであるが、夕方から夜間にかけてはその高さが著しく高くなり 800km 程度に達する。したがってレッジによる散乱または反射が TEP に寄与するならば、5000km 程度の伝搬路ならば (g) のような 1 回反射のモードで信号が受信される<sup>(19)</sup>。spread  $F$  は field aligned irregularity であるから (f) のように  $F$  領域に入射した電波が field aligned irregularities に沿って電離層内をダクト伝搬をすることも可能なモードである。以上伝搬機構については不明な点が多いが、筆者の考えも入れてまとめてみると次のようにいうことができるであろう。TEP の実測値と最高使用周波数の計算値との比較、フェージングの様相、電離層データとの比較によって昼間と夜間の伝搬機構は異なることがわかる。昼間の TEP としては赤道異常に伴う等電子密度面の傾斜により  $^2F$  モードが卓越し、時には赤道型  $E_s$  を媒介とする  $M$  型反射によって信号が受信される。夜間の TEP については日没後  $F$  層の著しい上昇とともに Martyn が指摘したように、成層状態は不安定となり spread  $F$  を形成し、また 600~800km の高度にはレッジも形成され spread  $F$  は電離層上部においてレッジの高さまで地球磁力線に沿って配列し、散乱源としてあるいはダクトの境界として作用するようになる。これらからの散乱反射によって TEP の信号のフェージングは昼間の干渉型から夜間の散乱型に移行するものと思われる。夜間の TEP 受信の季節変化は spread  $F$  の季節変化と全く類似である。

## 7. あとがき

TEP の伝搬特性については IGY から IQSY にかけての前方散乱および後方散乱などの実験によって統計的な面については、第 5 章にまとめたようになり明らかにされたと思う。伝搬機構については、現在のところ中緯度で行なわれた実験結果からは電離層を仲介する考えの方が優勢であり、定性的には第 6 章で記述したようなことで説明できる。しかしながら磁気圏ダクト伝搬

の可能性も捨てられたわけではなく、太陽活動の高い時期に高緯度地域の磁気共軌点の間で、HF 帯か VHF 帯の低い周波数でこの種の伝搬の可能性を実証する実験が行なわれることが望ましい。地磁気による擾乱が赤道地域の電離層に及ぼす影響を与え、それが TEP のような電波の伝搬にどのように現われてくるかについても個々の例について、あるいは統計的に資料がほしい気がする。赤道地域の電離層の解明になれば幸いである。

最後に実用通信としての可能性について一言ふれてみると、TEP の実験によって MUF より高い周波数帯でも赤道をはさむ南北通信が可能であり、周波数が 30 MHz 以下の場合であるならば春、夏、秋の各季節において午後から夜にかけて 10 時間程度は利用することができるであろう。これらは太陽活動極小期の資料を基としたものであるから、太陽活動の増加とともにもっと長時間利用することが期待できる。

## 参考文献

- (1) Southworth, M. P., Night-time equatorial propagation at 50 Mc/s, Stanford Electronics Labs., Final Rept, AF 19 (604), 5235, 1960.
- (2) Villard, O. G., Stein, S. and Yeh, K. C., Studies of transequatorial ionospheric propagation by the scatter sounding method, J. Geophys. Res., 62, pp.399—412.
- (3) Duenõ, B., Peculiarities and seasonal variations of transequatorial backscatter echoes as observed at Mayagres, Puerto Rico, J. Geophys. Res., 65, pp.1691—1698, 1960.
- (4) Obayashi, T., A possibility of the long distance HF propagation along the exospheric field-aligned ionizations., J. Radio Res. Labs., 6, pp. 603—612, 1959.
- (5) 金谷澄夫, 磯村栄一, July 1959 Events に観測された異常後方散乱波について, 電気通信学会, 電波伝搬研究会資料, Feb. 1963.
- (6) Thomas, J. A. and McInnes, B. A., Observation and analysis of transequatorial propagation, Radio Sci., 68D, pp.1251—1259, 1964.
- (7) Thomas, J. A., Transequatorial backscatter observation of magnetically controlled ionization, Nature, 191, No.4790, p. 792, 1961.
- (8) Gallet, R. M. and Utlaut, W. F., Evidence on the laminar nature of the exosphere obtained by means of guided high-frequency wave propa-



- gation, Phys. Rev. Letters, 6, pp.591—594, 1961.
- (9) Watkins, C. D. and Sutcliffe, H. K., An attempt to detect transequatorial radio echoes propagated via the exosphere, J. Atmospheric Terrest. Phys., 27, pp.425—426, 1965.
- (10) Bateman, R., Finney, J. W., Smith, E. K., Tveten, L. H. and Watts, J. M., IGY observations of  $F$ -layer scatter in the Far East, J. Geophys. Res., 64, pp.403—405, 1959.
- (11) Carman, E. H., Gibson-Wilde, B. C. and Conway, R. J., Anomalous VHF transequatorial ionospheric propagation recorded at Townsville, Australian J. Phys., 16, pp.171—176, 1963.
- (12) Gibson-Wilde, B. C. and Carman, E. H., Further studies of long range transequatorial VHF radio signals at Townsville, J. Atmospheric Terrest. Phys., 26 pp. 1231—1238, 1964.
- (13) Nielson, D., Oblique sounding of a transequatorial path, AGAR Dograph 95, Spread  $F$  and its Effects upon Radio Wave Propagation and Communication, pp.467—490, 1966.
- (14) Calvert, W., Davies, K., Stiltner, E. and Brown, J. T., Equatorial spread  $F$  motions, Proceeding International Conference on the Ionosphere, pp. 316—322, 1963.
- (15) Davies, K. and Barghausen, A. F., The effect of spread  $F$  on the propagation of radio waves near the equator, AGAR Dograph 95, Spread  $F$  and its Effects upon Radio Wave Propagation and Communication, pp. 437—466, 1966.
- (16) Cohen, R. and Bowles, K. L., On the nature of equatorial spread  $F$ , J. Geophys. Res., 66 pp. 1081—1106, 1961.
- (17) McCue, C. G. and Fyfe, D. E., Transequatorial propagation; Task bridger, introductory review, Proc. I. R. E. E. Australia, pp. 1—10, 1965.
- (18) 山岡誠; 極東におけるVHF帯赤道横断遠距離伝搬について, 電気通信学会, 電波伝搬研究会資料, Jan.1966.
- (19) McCue, C. G., Proposal of a new theory of transequatorial VHF radio wave propagation anomalies., Technical Note CPD (T) 121. Apr. 1965.

