

昼間及び夜間の空電波形の分類と解釈

金 原 淳

I. 緒 言

著者は、昭和15年夏から5年間、空電の方位測定と同時に空電波形の観測を行い、その分類と解釈を行ったが、これは、主として昼間の波形であつて、夜間の電離層反射によるものは、僅かしか述べなかつた。(1)その後数年間は、測定機器性能の向上改善に時を費したが昭和27年に至り、熊本と豊川の2点で厳密な同時観測を行つたので、その結果の中で夜間電離層で反射されたと解しうる波形の解析を行い、距離1,000km前後に源を有する空電については、波形から距離と反射層の高さを求めるものが相当あることを明かにした(2)。昭和28年からは、秋田、熊本、豊川の3点で厳密な同時観測が行われる様になり、次第に立派な波形写真が取れるようになったので、特に夜間の空電波形について、伝播路の条件と、空電源の放電機構とが、如何なる割合で波形を支配するか、又それが、距離と共に如何に変わるかということ調べ、1,000km以下から4000km以上までを5階級に分けて、その特徴を明かにした(3)。

この数年来、波形の研究は、当所では、著者以外に佐尾、仲井の両君により、又海外では、英国の Budden, Schonland, Chapman, Hepburn, Pierce, Horner, Clarke, Carton, Bowe, 仏国の Rivault, Haubert, 米国の Helliwell, Kessler, スウェーデンの Norinder 等により、実験的並びに理論的に行われている。最近では、特に、反射型の空電波形の色々な分野について詳しい研究が次第に進んで行く傾向にある。即ち、在来定性的であつたものが、相当、定量的に進みつつあるのである。

本文では、現段階の一応の締め括りとして、昼間夜間全体にわたる空電波形の一切についての分類と解析を行い、次に細目に入つて行く為の出発点とし度いと思う。これに用いた資料は、最近改造した機器を用いて測定した昭和30年6月のもので、季節が夏である関係上、夜間の電離層の反射係数が比較的大きいという便宜をも利用した。方位測定には、在来の豊川(34°50' N, 137°22' E)、熊本(32°56' N, 130°48' E)の他に

八丈島(33°07' N, 139°47' E)を用いた。

II. 観 測 法

測定機器については、度々報告しているので、重複を避けるが、主要な事項だけ挙げる。

空電波形測定機は、50c/s—300kc/sの間、一定の利得を有する広帯域直線増巾器で、利得は80db、受信機入力5—500 μ Vの範囲内では直線性が保たれる。受信機出力は輝度変調を施されたブラウン管オツシログラフに導かれ、空電到達の折のみ輝る様にしてある。走引は、鋸歯状波形1回で、その速さは、1, 2, 5, 10 ms等に変更しうる。その前へ16mmの撮影機をおいて、フィルムを流す。ブラウン管上で波形が撮影されると、信号が方位測定機に送られ、方位測定機のブラウン管側のネオンランプが点火し、波形と方位測定の同期が保たれる。波形用ブラウン管側にはネオンランプがあつて、標準電波による秒信号で点火され、フィルム上に時間記号が入る。

空電源の位置決定の為の空電方位測定機は、十字形に組合せた2組の遮蔽枠型空中線と受信機よりなる。枠型空中線の内の1組は、北極星を観測して、南北方向に据え、これと十字形に組合せた他の1組は、南北方向のアンテナへ加えた電流による誘導の最も少い方向として東西方向を決める。これら2組の空中線出力は、各別に遮蔽ケーブルで受信機に導く。受信機は10kc/sに同調し、利得100db、帯域巾300c/sでその出力を輝度変調を施したブラウン管オツシログラフに導く。方向のみならず、向き(sense)も必要な場合は、垂直空中線とこれに附属した同様な受信機を用い、ブラウン管上の方向を示す影像の中心近くの一部を暗くすることになつている。ブラウン管側には、標準電波による秒信号を示すネオンランプと、波形観測との同期を保つ為の記号を示すネオンランプがついている。撮影には、16mmフィルムを用い、毎秒10mmの速さで流している。

観測時間表は下の通りである。時刻は何れもJST、走引時間は、10—13分は1.9ms、20—23分は5.4msである。

0010—0013	0020—0023
0910—0913	0920—0923
1210—1213	1220—1223
1510—1513	1520—1523
2110—2113	2120—2123

Ⅲ. 観測結果と解析

1. 昼間の空電波形

§ 1. 階段的先駆放電、雲内部分放電及び雲間放電に相当する空電波形.

図1 は、1955年6月18日 1220 JST 83号の波形で、フリッツピン群島ミンダナオ島の東方洋上に源を有し、距離約3,000kmである。シヨンランド⁽⁴⁾のいう β 型階段的先駆放電に相当する波形1.5ms継続後、1.58msの休止を経て、主放電型波形⁽¹⁾が続いている。走引が5.4msの為、詳しいことはわからないが、先駆に相当する波形のピーク間の間隔は平均91 μ s、周波数にして11kc/sである。

図2 は、1955年6月18日1220 JST 85号の波形で、台湾南西洋上に源を有し、距離は、方位測定の結果が三角形になるので明瞭を欠くが、重心の位置は2,200km、遠端及び近端は夫々1,800km及び3,100kmである。 α 型の階段的先駆放電に相当する波形2.22ms継続後、主放電型波形が現れている。走引は矢張5.4msであるが、先駆のピーク間隔は平均83 μ s、周波数にして12kc/sである。

図3 は、1955年6月18日 1210 JST 9号の波形で、満州に源を有し、距離2,000km、矢張階段的先駆放電に相当した波形で、主放電型波形は現れていないが β 型らしい、走引が1.9msである為、微細な点迄見られるが、ピーク間隔は平均46 μ s、周波数にして22kc/sである。

図4 は、1955年6月20日 1210 JST 29号の波形で、朝鮮中部に源を有し、距離約1,000kmである。矢張階段的先駆放電型の波形で、走引は1.9ms、ピーク間隔は平均33 μ s、周波数にして30kc/sである。図3と図4には続いておこるべき主放電型波形が現れていないから、雲内部分放電、又は、多数の雲の間で行われる雲間放電とも考えられる。これらは、何れも、先駆放電と同程度のパルス間隔を有する波形を生ずるからである。雲間でも、2ヶの雲間で放電する場合には必しもパルスが出るとは限らないが、多数の雲の間で次々と放電が行われると図4の様な波形を呈することは、著者も経験し⁽¹⁾、又当所の石川君⁽⁵⁾も詳しい報告を発表している。

以上の諸例でもわかる通り、階段的先駆放電、雲内部分放電、多数雲間の継続的な放電に相当した波形は昼間でも認められるが、その限度は大体海上3000km、陸上2,000kmであり、ピーク間隔は30~90 μ s、周波数にして30~10kc/s程度であるから、このパルス間隔から考えても、上記の放電に相当した波形であることは確かである。

§ 2. 主放電に相当する空電波形

A. 2,3番目にピークの最大が来るもの

図5 は、1955年6月18日 0910 JST 82号の波形である。琉球に源を有し、距離約1,000kmである。第2番目のピークが最大の振巾を有し、概して頗る滑らかな波形である。第7ピーク位迄は容易に認めうる。著者は、主放電型⁽¹⁾の波形と呼んで来たが、Pierce⁽⁶⁾は準正弦波形、又Rivault⁽⁷⁾は型Ⅲとも呼んでいる。第1ピークと第2ピークの間隔から求めた周期は90.5 μ s、周波数にして11kc/sに当り、次々と、後程間隔が延びて、第5と第6の間では5.5kc/sに相当し、この辺から先は略々一定の周波数になる。典型的な減巾電波で、周期の延びに応じて振巾が減少している。

図6 は、1955年6月18日 1510 JST 45号の波形である。満州に源を有し、距離1,700kmである。これは、第4番目のピークが振巾最大で稍々稀な方である。図5と比べると滑かさが劣り、所々に節の様なものが認められる。第1第2ピーク間隔は60.5 μ sで周波数16.5kc/sに相当する。第6ピーク迄は周期も振巾も余り変わらないが、第7ピークで振巾が急に減ると共に周期も121 μ sに延び、8.3kc/sに相当している。この型の波形は後述する様に夜も存在するが、特性は大分異う。昼のは概して滑かでピークが2つ以上に割れたり、途中で節を生じたり、高周波成分が重畳したりすることはないが、これが昼の特徴で、距離2,000km以内で認められることが多い。

B. 最初のピークが最大なるもの.

図7 は、1955年6月18日 1510 JST 69号の波形である。琉球に源を有し、距離約1,200kmである。頗る滑らかな減巾電波で、主放電型、準正弦波形、型Ⅲの代表的なものである。第1ピークから第4ピーク迄は明瞭である。振巾が速かに減少すると共に周期が延びている。即ち、第1第2ピークの間隔90.5 μ s、周波数にして11kc/s、第4第5ピークの間隔199 μ s、周波数5.0kc/s、第4第5ピーク間の谷には小山を生じ、第5ピークは2つに割れていて、その先は判然としない。

図8 は、1955年6月20日 1310 JST 12号の波形である。満州に源を有し、距離約1,800kmである。第1ピ

ークから第4ピーク迄急激に減衰し、その先は認めにくい。第1第2のピーク間隔 $141\mu\text{s}$ 、周波数にして 7.1kc/s である。ここから第4第5ピーク間の $329\mu\text{s}$ 、周波数 3.0kc/s に及んでいるが、始めから節があつたりして、滑かさの点では図7に劣る。第3第4ピーク間の谷辺から滑かさは失われている。

図9は、1955年6月18日1210 JST 7号の波形である。台湾の南西洋上に源を有し、距離約 $2,000\text{km}$ である。海上伝播のためか、減衰は前の2例よりもゆるやかで、第1ピークから第5迄は規則正しい滑らかな減衰電波になつている。第1第2ピーク間隔 $77\mu\text{s}$ 、周波数にして 13kc/s 、第5第6ピーク間 $142\mu\text{s}$ 、周波数 7kc/s で、周期の伸び方も、振巾の減り方も、共にゆるやかである。第6ピークは頂が平らで以後形が崩れ振巾が減つて認めにくい。この辺で空間波の位相が逆になる為、干渉を生じて、かような姿態を呈するのであろう。

図10は、1955年6月16日0910 JST 68号の波形である。印度デカン高原方面に源を有し、距離 $5,000\text{km}$ 以上である。第1から第4ピーク迄は滑かで第5には節がある。第2から第3に移るに当つて著しく減衰しているが、以後はゆるやかである。 $5,000\text{km}$ 以上の遠方にも拘らず海上伝播の為か、沢山のピークが認められる。第1第2ピーク間隔 $79\mu\text{s}$ 、周波数にして 12.7kc/s 、周期は次第に延びて、第5第6間では $210\mu\text{s}$ 、 4.8kc/s になつているが、周期の伸びも振巾の減少も、共に第2から第3へ移る折が著しい。

図11は、1955年6月22日1210 JST 45号の波形である。デカン高原方面に源を有し、距離 $5,000\text{km}$ 以上である。第1ピークからずつと滑かで、第6迄は明かに認められる。第1第2ピーク間 $111\mu\text{s}$ 、周波数にして 9kc/s 、第4第5間 $185\mu\text{s}$ 、 5.4kc/s 、周期の伸びも振巾の減少もゆるやかで、第6ピーク以下も、注意すれば、ずつと先まで認めうる。前例と同様海上伝播の為であらう。

この種の波形は $1,000\text{km}$ 以内の近距離から始めて、 $5,000\text{km}$ 以上の遠距離迄ずつと認められ、第1第2ピーク間隔に相当した周波数は $6\sim 17\text{kc/s}$ 程度であり、一般に距離は遠くても海上伝播の場合は沢山のピークが現れる。統計的に見ると、第1第2ピーク間隔に相当する周波数は、 $1,000\text{km}$ 附近では $6\sim 7\text{kc/s}$ 、 $3,000\text{km}$ 附近では $7\sim 11\text{kc/s}$ 、 $5,000\text{km}$ 附近では $7\sim 10\text{kc/s}$ が多い。何れも極めて滑かで、節や高周波の重畳を見ないのが特徴である。

この種の波形は、電離層の影響を受けることが比較

的少い為に、導体に近い地表を伝播し、距離と共に静電界、誘導電界、輻射電界の割合が変化して生じたもので、近距離については、放電機構の影響が現れていると解すべきであらう。

§ 3. 多重雷放電に相当する空電波形

図12は、1955年6月20日0910 JST 85号の空電波形である。朝鮮に源を有し、距離約 $1,000\text{km}$ である。初めと、 1.21ms の処に、相似形をなした波形が現れている。これは、所謂多重雷放電即ち、同じ放電路を通つて行われた第2回目の放電によるものである。夜間は空間波の干渉によつて崩されるので、この種の波形を認めることは困難であるから、多重雷放電に相当する波形は昼間に特有なものである。

図13は、1955年6月22日1210 JST 12号の波形である。満州に源を有し、距離 $2,000\text{km}$ である。走引の初めから $226\mu\text{s}$ の処と、 $632\mu\text{s}$ の処に相似形の波形が現れている。第1に比し、第2の方が振巾は少し小さい。又、同48号も略々同時に同所から出たもので、走引の初めと、 1.14ms の処に相似形の波形が現れている。12号程複雑な波形ではないが、相似であつて、振巾が減少していることが認められる。

図14は、1955年6月18日0910 JST 29号の波形である。フィリピン群島ルソン島南方洋上に源を有し、距離約 $2,800\text{km}$ である。走引の初めと、 $750\mu\text{s}$ の処に相似形の波形が現れている。振巾は第2の波形が第1のよりわずかに小さい。

以上の結果でも見る様に、多重雷放電に相当する空電波形は距離 $3,000\text{km}$ 迄認められ、第1、第2の波形が非常によい相似をなしている。振巾は第2の方が少し小さい程度で、これは雷放電における多重雷放電のことを考えても解しうる。以上の例では、走引時間 1.9ms のもののみを挙げたが、これは解析の便を考えたことで、第3、第4以下の多重放電に相当した波形の存在することは勿論である。1例として、次に第4番目迄認められる写真を示す。

図15は、1955年6月18日0920 JST 27号の波形である。フィリピン群島ミンダナオ東方洋上に源を有し、距離約 $3,200\text{km}$ である。走引の初めのは少しあやしい。 $635\mu\text{s}$ の処に第1、 $1,430\mu\text{s}$ の処に第2、 $3,020\mu\text{s}$ の処に第3、 $4,100\mu\text{s}$ の処に第4が現れている。その途中には他の波形が混入している。もう少し余計に他の波形が混入した例を次に挙げる。余り混み入つて来ると分離出来ないが、次の例はそれ程でない。

図16は、1955年6月18日0910 JST 52号の波形である。九州の豊後水道附近に源を有し、距離 540km であ

る。約5つの波群が現れているが、走引の初めと623 μ sの処即ち、第3番目に相似形の波形が出ている。これが、多重雷放電に相当するもので、他の3群は各々別の波形に属する。

§ 4. Slow tail 型の空電波形

これは主として夜間に現れる波形で、昼間には極めて少いが、次に1, 2の例を挙げる。

図17は、1955年6月18日1220 JST 53号の波形である。満州に源を有し、距離約2,000kmである。走引の始めに高周波成分が現れ、これにつづいて超低周波成分所謂 Slow tail 成分が現れている。高周波成分の周波数は平均10.3kc/sに当り、Slow tail は山と山の間隔を強いて求めれば、18ms。周波数にすると345c/sに当るが、第2の山を考えずに、高周波成分に続いて、非周期的な slow tail の成分が現れたと考えることも出来る。けれども、夜間沢山現れる slow tail は超低周波の振動の形式を取つて現れているから、昼間もこれに従つて周期を考えるのも一案である。高周波成分が先に現れるのは、高周波成分が slow tail よりも早い群速度で進む為、前者が後者よりも先に現れると一応は考えられている。(8)

図18は、1955年6月18日1510 JST 47号の波形である。黄河の河口附近に源を有し、距離1,700kmである。走引の始めに減巾波形の高周波成分が現れ、これに slow tail が続いている。高周波成分の平均周波数は11.6kc/s、slow tail は、非周期的である。

2. 夜間の空電波形

§ 1. 階段的先駆放電、雲内部分放電及び雲間放電に相当する空電波形

図19は、1955年6月18日2110 JST 70号の波形である。満州に源を有し、距離1,500kmである。ピーク間隔平均38 μ s、周波数にして26kc/sに相当する。特に振巾の大きいものみに着目すると、ピーク間隔90 μ sで11kc/s位である。これは、 α 型の階段的先駆放電に相当するものであるが、主放電が続いて現れていないので、雲内部分放電又は多数の雲間における継続的な放電と考えても差支えない。

図20は、1955年6月18日0010 JST 4号の波形である。満州に源を有し、距離1,600kmである。ピーク間隔平均46 μ s、周波数にして22kc/s、 α 型の階段的先駆放電に相当する波形である。

図21は、1955年6月18日0010 JST 29号の波形である。長江江口附近の洋上に源を有し、距離1,300kmである。ピーク間隔平均41 μ s、周波数にして24.2kc/s、始

め振巾の大きい振動が続いているが、間もなく減少して、 α 型の階段的先駆放電に相当する波形たることを示している。続いて主放電が現れている模様だが、明かではない。

図22は、1955年6月19日2110 JST 42号の波形である。満州に源を有し、距離約2,000kmである。ピーク間隔平均42.3 μ s、周波数にして24kc/s、 α 型階段的先駆放電又は、雲内部分放電或いは、数ケの雲間放電の継続に相当する波形と考えられる。小振巾の間へ大きな振巾が交つている。

図23は、1955年6月22日2110 JST 38号の波形である。台湾の南東洋上に源を有し、距離約2,000kmである。ピーク間隔の平均は60 μ s、周波数にして16.7kc/sである。数ケの雲間放電の継続による波形と思われる。

図24は、1955年6月18日0010 JST 24号の波形である。ビルマ山中に源を有し、距離3,600kmである。細かいパルスの周期は63.5 μ s、周波数にして15.7kc/s、大きな振巾のパルスの周期は120~130 μ s、周波数にして8kc/s位である。数ケの雲間放電の継続に相当する波形と思われる。

図25は、1955年6月20日0010 JST 47号の波形である。セイロン島方面に源を有し、距離5,000km以上である。パルス間隔の平均は87 μ s、周波数にして11.5kc/s、数ケの雲間放電の継続による波形と思われる。

以上を見ると、階段的先駆放電、雲内部分放電、数ケの雲間放電の継続に相当する波形は、その周波数範囲は、10~30kc/sで、昼間と同様であるが、夜間は伝播がよい為、5,000km以上の遠方からも到達している。唯3,000km以上からのものは周波数が低く、10~15kc/sのものが多い。昼間の場合と同様、周期から考えても、又近距離で取つた上記諸種の放電波形と比べてみても、上述の解釈は誤つていない。

§ 2. 主放電に相当する空電波形

図26は、1955年6月22日2110 JST 10号の波形である。九州西方洋上に源を有し、距離900kmである。第1第2ピーク間隔は183 μ s、周波数にして5.5kc/s、周期は次第に延びているが、第4ピークから先は滑かではなく、ピークの降りの処に脈動が加つている。一見反射型の様に見えるので、同計算図表にかけて見ると反射層の高さ60km、距離700kmで、第6ピーク迄略々一致するが、高さ60kmも夜間として適当でなく、距離700kmも実測と一致しないから、主放電型の波形として考える。

図27は、1955年6月18日2110 JST 60号の波形であ

る。九州西方洋上に源を有し、距離830kmである。これは反射型とも考えられるので、計算図表で当て見ると、正のピークでは出ないが、負のピークで求めると、反射層の高さ70kmに対し距離800kmとして、25 μ s以内の誤差で一致する。処がこの70kmという高さは、当日の太陽活動並びに地磁気の活動を考えても共にこの時刻は静穏であるから、此の様な値は考えにくい。主放電型と考えれば、第1第2ピーク間隔95 μ s周波数にして10.5kc/s、比較的速かに減衰しているが、可成り先迄認められる。

図28は、1955年6月19日2110 JST 43号の波形である。アフガニスタン方面に源を有し、距離5,000km以上である。極めて滑かな減巾電波を示し、第1第2ピーク間隔は、91.5 μ s、周波数にして10.9kc/sである。振巾は少々急速に減少している。

図29は、1955年6月22日2110 JST 33号の波形である。デカン高原方面に源を有し、距離5,000km以上である。極めて滑かな減巾電波で、第1第2ピーク間隔130 μ s、周波数にして7.7kc/s、第6第7間256 μ s、3.9kc/sである。よく見ると、第5ピークからはピークが2つに割れ、第7ピークからは2つに割れたピークの大きさの順が逆になっている。空間波による干渉の影響が出て来たのであろう。全体として周波数は低いが、夜間の関係か減衰は極めてゆるやかで周期の延び方も遅い。

昼間と比べると、3,000km以下の距離では昼間の様な滑かな波形とならないことが多く、反射型と解すべきか、主放電型と解すべきか判明しない波形も出て来る。反射型と考えても、必しも適当な反射層の高さと距離が出るとは限らない、Rivaultの型Vに当る⁽⁷⁾。従つて、明確に主放電型に入れうるものが案外少ないが、3,000km以上、更に5,000km以上という様な遠方になると昼間と同様な滑かなものや、滑かでない主放電波型が沢山現れる。3,000~5,000kmとなると、一見反射型と思われる波形でも、計算図表で当て見ると、これから反射高や、距離を求めることは出来ないことがわかる。逆にいうと、後述する反射型は、3,000km以下にしか認められないということが、本節からいえるのである。

§ 3. Slow tail 型の空電波形

図30は、1955年6月20日0020 JST 52号及び59号の波形である。琉球に源を有し、距離1,450kmである。初めに高周波成分、続いて slow tail 成分が現れている。高周波成分の平均周期は125 μ s、周波数にして8kc/s、後者の周期は山と谷の間を測つて2倍すると、

1.51ms、周波数にして660c/sである。この場合は高周波成分の主要部が終つてから slow tail に移つたという傾向が明かで、52号では、走引の始めから670 μ s後、59号では、880 μ s後に slow tail の開始が見られる。

図31は、1955年6月16日2120 JST 18号の波形である。台湾方面に源を有し、距離約2,000kmである。初めに高周波成分、続いて slow tail が認められる。前者の周期は平均106 μ s、周波数にして9.4kc/s、後者の周期は、山と谷の間を測つて2倍すると、1.75ms、周波数にして570c/sである。又slow tail の開始は走引の始めから825 μ s後になつている。

図32は、1955年6月16日2120 JST 6号の波形である。フィリピン群島方面に源を有し、距離約3,300kmである。初めに周期79 μ s、周波数にして12.6kc/sの高周波成分があり、続いて slow tail が現れている。後者の山と谷との間を測つて2倍すると、その周期は1.43ms、周波数にして700c/sである。又 slow tail は走引の始めから349 μ s後開始している。

図33は、1955年6月19日2120 JST 23号の波形である。ボルネオに源を有し、距離4,000kmである。周期2.71ms、周波数にして368c/sの slow tail 上2ヶ所、低周波の谷から山へ向う処に高周波成分が現れている。その周期は126 μ s、周波数にして7.9kc/sである。この例では前3例と異り、slow tail が高周波成分より遅れて到達した様な様子は考え難い。稀しい例である。

図34は、1955年6月22日2120 JST 31号の波形である。ボルネオ北東洋上に源を有し、距離3,300kmである。初めの高周波成分の周期は136 μ s、周波数にして7.4kc、これに続く slow tail の周期は山と谷の間を2倍すれば1.53ms、周波数にして655c/sである。この例でも slow tail が高周波成分より遅れて到達した模様は認めにくい。

図35は、1955年6月20日0020 JST 24号の波形である。デカン高原方面に源を有し、距離5,000km以上である。初めの高周波成分の周期は105 μ s、周波数にして9.5kc/s、これに継ぐ slow tail の周期は山と山の間を測つて、1.57ms、周波数にして640c/sで、slow tail の開始は走引の初めから、944 μ s後である。

図36は、1955年6月16日2110 JST 29号の波形である。ルソン島の東方洋上に源を有し、距離約2,500kmである。上例は何れも走引が5.4msであつたから全体の様子はわかるが、微細な構造はわからない。この例は走引が1.9msだから、部分的には詳細がわかる。この様な例も沢山あるが、slow tail では全貌の方が大

切だから、5.4msの例を示しておいた。

初めの高周波成分は反射型である。正のパルスは扱にくいのが、負のパルスを計算図表にかけてみると、反射層の高さ90kmで距離2,300kmとなる。slow tailの方は、山と谷の間を測つて2倍すると、周期は157 μ s周波数にして640c/sとなる。slow tailの開始時刻は走引開始後204 μ sである。尚slow tail上にも引続き高周波成分が重畳している。所謂long train型で、著者も沢山観測したが、この問題はPierce⁽⁹⁾が既に、詳しい研究を発表しているから、本報告では触れないことにする。

以上の諸例でもわかる様に、slow tailは、主として、夜間の海上伝播に現れ、空電源の距離は、1,000kmから5,000km乃至それ以上迄広範囲に亘っている。周期は、1.5~2.7ms、周波数にして、400~700c/sの低周波で、遠方からのものも、その振巾が案外大きい点は、注目すべきである。

先に、AppletonとChapman⁽⁸⁾が、比較的近距离の結果から推定し、計算した様に、静電界と輻射電界の伝播上に現れた周波数分散の結果というわけにもいかない節がある。又、Watson-Watt, Herd及びLutkin⁽¹²⁾や、HepburnとPierce⁽¹³⁾が詳しい研究をして、後者等は、slow tailの遅れの時間とその周期に関する実験式を出している次第であるが、著者の観測結果とは、必しも一致しない。

要するに、各観測者の結果は、或程度の一致も認められるが、差異も相当あつて、現段階では、容易に結論は出し難い、更に、此の後の研究に待つ所が大きいといわざるをえないのである。

§ 4. 電離層反射型の空電波形 (Rivaultの型IV)

図37は、1955年6月22日2110 JST 31号の波形である。九州北西沖に源を有し、距離は方位測定図形が1点でなく、三角形になつているので、一言で尽せないが、重心の位置は700km遠端と近端は、夫々1260kmと380kmである。反射層が入射角如何に拘らず一定で幾何光学的反射をすると仮定して、在来算定に用いられている計算図表を使えば*、反射高85kmで、距離1,000km(平均誤差5.5 μ s)、反射高80kmで距離900km(平均誤差5.2 μ s)になる。80kmでは少々低い嫌いはあるが、距離と誤差の方から、この辺が適当と思われる。

図38は、1955年6月18日0010 JST 3号の波形である。九州の南西洋上に源を有し、距離1,070kmである。この例では、正のパルス波形は扱にくいのが、負の

パルスは明かで、これを用いると、反射高85kmで距離1,270km(平均誤差6 μ s)、80kmで1,130km(平均誤差5 μ s)になる。80kmの方が方位測定による距離に近く、誤差も少いから、これを取ることとする。

図39は、1955年6月16日2110 JST 54号の波形である。フィリピン群島のルソン島東方洋上に源を有し距離は、方位測定図形が三角形になるので、明確にし難いが、重心の位置は2,300km、遠端と近端は夫々3,000km及び2,000kmである。正のパルスは始め不規則性を呈しているが、第3パルス辺から明かに独立したのが見られるので、これから先を計算図表にかけて見ると、誤差零で4点が全部一致する。それで反射高90kmに対し距離2,200km、85kmに対して1,950kmとなる。距離の点で一応90kmの方を取る。

図40は、1955年6月18日0010 JST 16号の波形である。満州に源を有し、距離1,500kmである。多少、波形の崩れはあるが、注意して求めて見ると、反射高90kmに対して、距離1,580km(平均誤差5.2 μ s)がえられる。

図41は、1955年6月18日0010 JST 33号の波形である。フィリピン群島ミンダナオ島に源を有し、距離は、方位測定結果が三角形になるので、明確に云い難いが、重心は3,200km、遠端と近端は夫々3,500km及び2,800kmである。計算図表にかけて見ると、反射高90kmに対し距離2,050kmで5点全部一致する。方位測定の結果との差が余りに大きいので、90kmを取つてよやかに疑問がある。一見、反射型に見えても、計算図表にかけると、一致点少く、反射高として尤もな値がえられない場合は頗る多い。処が、これは全体一致して而も反射高としても合理的な値が出ているから、方位測定の方を検討し直す必要があるかも知れない。

図42は、1955年6月18日2110 JST 27号の波形である。台湾の北方洋上に源を有するが、方位測定結果が三角形になつているから、距離の方は明確にし難い。重心は、1,800km遠端と近端は夫々3,200km及び1,380kmである。始めが切れているので、地表波はよくわからないが、第1反射パルス以後第6迄について求めて見ると、反射高90kmに対し、距離1,600km(平均誤差6.1 μ s)となる。これは正のパルスを用いたが、負のパルスについても大体同じ値がえられる。

図43は、1955年6月20日0010 JST 40号の波形である。セイロン島方面に源を有し、距離5,000km以上である。一見反射型の様に見えるが、実は主放電型である。反射型として計算図表へかけても交点が出ない。

*例えば(6)

初めのパルスを第6番目の反射パルスと考えれば、4点全部一致して、反射高90kmに対し距離3,700kmと出るが、第5番目迄のパルスが消失すべき理由がないから、これは無意味である。主放電型と考えれば、第1第2ピーク間隔から周期185 μ s、周波数にして5.4kc/sがえられる。距離3,000kmを越えると、この様なのが沢山現れ、特に4,000km乃至は5,000kmを越えるものになると、 $n=5$ とか6とかにすると各点一致するのは沢山ある。

図44は、1955年6月20日0010 JST 63号の波形である。フィリピン群島のルソン島南方洋上に源を有するが、方位測定結果が三角形になつていたので距離の方は明確にし難い。重心は3,000km、遠端は3,700km、近端は2,400kmである。始めが少し欠けていることが明かなので、第1の負のパルスを2回反射の空間波と考えて求めると、反射高90kmに対し、距離2,800km（4点全部一致し、誤差零）となる。この辺が波形から反射高及び距離を求めうる限界である。

図45は、1955年6月18日2110 JST 22号の波形である。九州西方洋上に源を有するが、方位測定結果が三角形になるので、距離の方は明確にし難い。重心は1,260km、遠端は1,500km、近端は1,160kmである。正のパルスについて求めると、反射高85kmに対し、距離1,200km（平均誤差14.2 μ s）をうる。

以上の諸例でもわかる様に、反射型として非常に明確に反射高や源迄の距離を求めうるものは、比較的少ないが、最大25 μ s、平均10 μ s以下の誤差を許し、正又は負のパルス、何れかわかりいい方を採用し、且つ初めが明かでないものは、途中から求めるといふ様に、色々工夫すれば、反射型として、これから反射層の高さや源の距離を求めうるものは沢山ある。距離的には、3,000kmが限度で、これより遠方では、合理的な値もえられないし、多くの場合には計算図表に乗らない。求めた結果は、反射高80~90km、距離も多くは方位測定によつてえた結果に近い値を示している。1点で波型と方位を測つて、これから空電源を求めるとは、極めて望ましいことであるが、現段階では、夜間3,000km以下で、好条件の場合に限られるといわねばならない。

IV. 結 論

空電の3点同時方位測定結果から空電源を求め、これと同期して動作している波形測定機からえた波形がこの空電源から出たものと考え、中緯度地方の観測所では適当である。熱帯地方では、余りに頻発するので、感度を余程絞つても、対応を取ることは不

可能であるが、当研究所は中緯度にある上、周辺が静穏で、日本全体から見ても雷は少い方であるから、その点好都合である。

空電の波形は、伝播の条件に左右されることが大きいので、昼夜で相当の差が現れる。

昼間の主なものは、(1)階段的先駆放電、雲内部分放電、多数雲間の継続放電、(2)主放電、(3)多重雷放電、等から発するもので、夜間の様な slow tail 型や、電離層反射型に属するものは比較的少ない。

(1)は、Rivault⁽⁷⁾の型Iで、陸上2,000km以内、海上3,000km以内に限られ、周波数は微細な高周波成分を除けば、10~30kc/sの範囲である。階段的先駆放電に続いて主放電が現れる時は勿論、後者が認められない場合でも、Schonlandの α 型と β 型を区別しうることが多く、100km以内の近距離で観測した結果と比べて見ても、階段的先駆放電又は雲内部分放電、或は多数雲間の継続放電であることを確認しうる。

(2)は、(2a)第1ピークが振巾最大なもの、(2b)第2又は第3ピークに最大が現れるものとする。Rivaultの型IIIに当り、何れも、極めて滑らかな減巾電波で、

(2b)は大体2,000km以内に認められるが、(2a)は1,000km以内の近距離から、5,000km以上の遠距離迄あらゆる場所で認められる。数は(2a)の方が多く、その周波数範囲は、6~17kc/sであるが、1,000km以内の近距離では、6~7kc/s、3,000km附近の中距離では、7~11kc/s、5,000km辺の遠距離では、7~10kc/cという工合である。

(3)は、距離3,000km迄認められ、波形が相互非常によく似ていて、方位及び時間間隔を併せ考えると、多重雷放電から発したものであることは明かである。この波形は昼間に特有で、夜間は電離層反射成分の干渉がある為、この種の波形を見別けることは、殆んど不可能である。

次に、夜間の主なものは、(1)階段的先駆放電、雲内部分放電及び多数雲間の継続放電、(2)主放電等に相当する波形と、(3) Slow tail 型及び、(4)電離層反射型である。

(1)は、昼間と同様、周波数範囲は、10~30kc/sであるが、夜間は伝播条件がよくなる為に、5,000km以上の遠方からも、海陸を問わずよく到達する。唯、3,000km以上のものは、周波数が少々低く、10~15kc/sのものが多い。その他については、昼間の場合と同様である。

(2)は、昼間と比べて見ると、3,000km以下の距離では、滑かではなく、波形の山や谷が割れたり、脈動が加

わつたりしていることが多い。昼間と同様 Rivault の型Ⅲに相当している。又、反射型とすべきか、主放電型とすべきかに迷うこともあるが、よく調べて見ると Rivault の型Ⅶに当り、反射型でないことは、算定された反射高及び距離からも判定しうるが、測定点が計算図表に乗らないことからわかる。要するに、夜間は、明確な主放電型が割合少ないのである。処が、3,000~5,000km又はそれ以上になると、昼間と同様な滑かなものとなり、譬え反射型の疑のある場合でも、計算図表にかけて見ると、反射型でないことがわかる。逆にいえば、夜間の反射型は3,000km以下に限ることになることを知る。

(3)は、昼間にも多少あるが、主として夜間の波形である。距離は1,000~5,000km又はそれ以上と、あらゆる場合に認められ、その周波数は、400~700c/sで、先行する高周波成分に続いて現れることが多いが、Appleton と Chapman⁽⁸⁾ が比較的近距离の結果から推定し、計算した様に、周波数分散の結果とは限らない、又、1.6~2kc/sよりも低い周波数成分が相当大きな振巾で受信される点は注意を要する。又、Watson-Watt, Herd, Lutkin⁽¹²⁾ 並びに Hepburn, Pierce⁽¹³⁾ は詳しく研究し、更に実験式迄出しているが、著者の結果は、必しも、これに適合してはいない。要するに、観測者によつて、一致している部分と一致していない部分とがあるから、最終的な結論を出す迄には更に研究が必要である。

これに関連して、Pierce⁽⁹⁾ が、long train 型について詳しい報告をしているので、本文では、この型についての記述は割愛した。

(4)は、昼間も1,000km附近に認められることが、少しはあるが、主として夜間のものである。主として3,000km以下の距離に認められ、Rivaultの型Ⅳに当るもので、電離層をば、入射角の如何に拘らず、表面で幾何光学的反射が行われるものと仮定してのことである。何等の工夫をしなくても、計算図表から頗る容易に反射層の高さと空電源迄の距離を求めうる場合は少ないが、図表上の値と測定値の間の差異を、最高25 μ s、平均10 μ s迄許し、正負のパルスの内では判定し易い側を採り、初めが消えていたり、不規則な場合は、明瞭なパルスの部分から、次数を判定して計算図表にかけ、出た値を、方位測定の結果や電離層の状況と考え合せて決めることにすれば、反射層の高さは80~90kmの範囲内であり、距離の方も方位測定結果とよく一致する様な信用すべき結果が相当えられる。1点で波形と方位を求めて、一挙に空電源の位置を知ることも、夜

間、距離3,000km以内ならば、良好な条件の折は可能である。

V. 謝 辞

本研究は、当研究所では岩井、佐尾両研究室が観測を行つて整理した結果に基き、著者の長年月の研究と海外の研究者からの文献、通信、討議等の結果を併せてまとめたもので、これ等の諸氏の好意を謝すると共に、渋沢初代総長及び勝沼総長の絶えざる御激励を深謝し、本文取まとめに当つて助力された当研究室の木村君の労を多とする。

VI. 文 献

- (1) 金原：J. Inst. Ele. Eng. Japan, 63 No. 659, June, 1943; J. G. G. Japan, 1, No. 1, 1949; Memoirs Fac. Eng. Nagoya Univ. 1, No. 1, 1949; Proc. Res. Inst. Atm. Nagoya Univ. 1, 1953. 空研報告 1, No. 1, 1950.
- (2) 金原：空研報告 3, No. 1-2, 1952.
- (3) 金原：空研報告 4, No. 2, 1953, Proc. Res. Inst. Atm. Nagoya Univ. 2, 1954.
- (4) B. F. J. Schonland: Proc. Roy. Soc. A. 166, 1938. p. 56.
- (5) 石川：空研報告 4, 5, 6, 1953~1956.
- (6) E. T. Pierce: Phil. Mag. Ser. 7. xliii, p. 393, 1952.
- (7) R. Rivault: Note Préliminaires. No. 65, 1945.
- (8) E. V. Appleton: Proc. Roy. Soc. A. CLVIII. 1937. p. 1. Proc. U.R.S.I. 6. 1947. p. 198.
- (9) E. T. Pierce: Phil. Mag. Ser. 7. 45. p. 917, 1954.
- (10) 佐尾：Proc. Res. Inst. Atm., Nagoya Univ. 3, 1955.
- (11) B. F. J. Schonland: Proc. Roy. Soc. A, 168, p. 455, 1938.
- (12) R. A. Watson-Watt, J. F. Herd and F. E. Lutkin: Proc. Roy. Soc. A, 162, 1937, p. 267.
- (13) F. Hepburn and E. T. Pierce: Nature, 171, p. 837, May, 9, 1953.

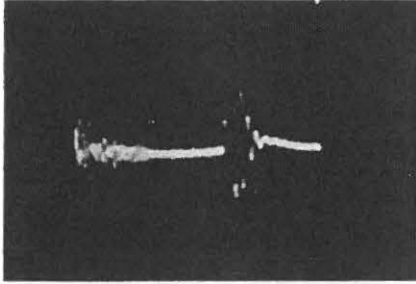


图 1

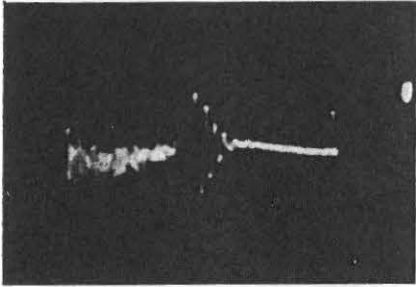


图 2

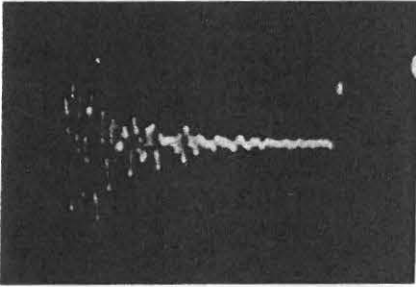


图 3

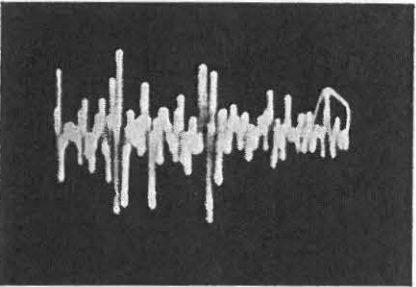


图 4

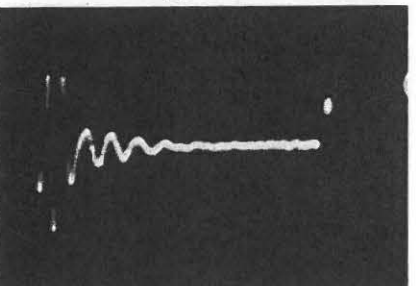


图 5

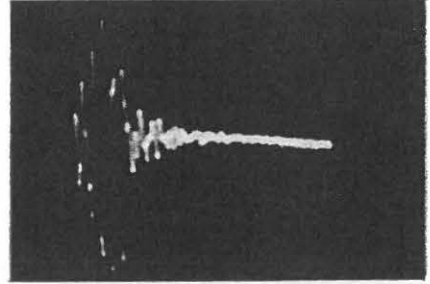


图 6

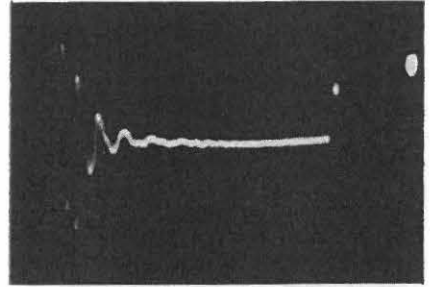


图 7

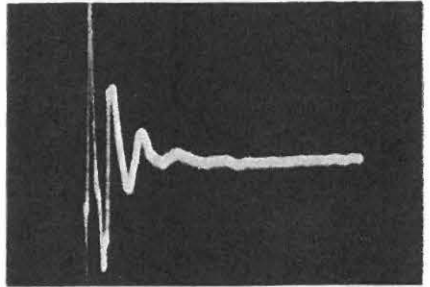


图 8

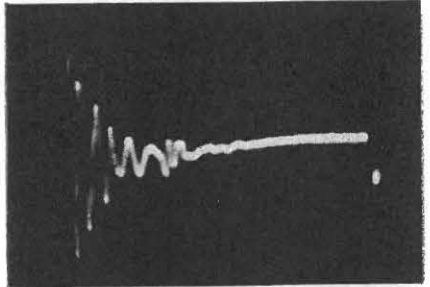


图 9

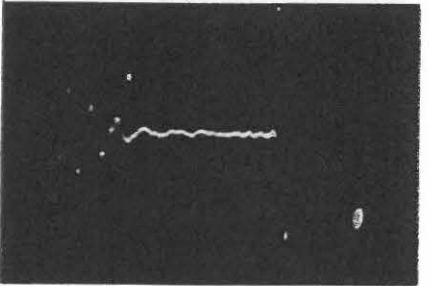


图 10

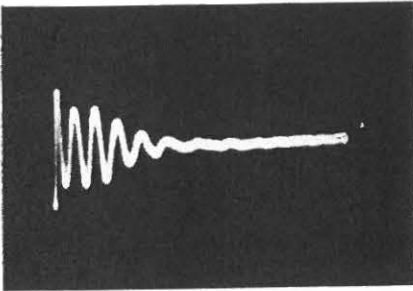


図 11

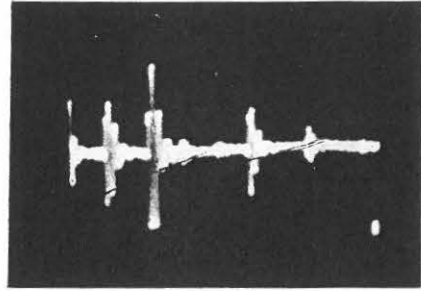


図 15

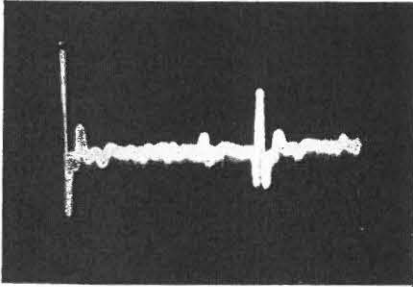


図 12

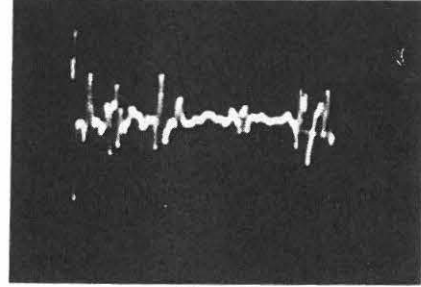


図 16

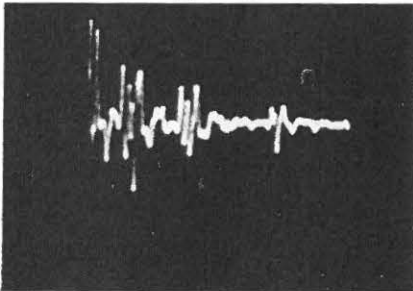


図13の12号

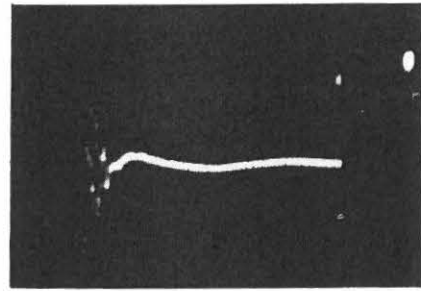


図 17

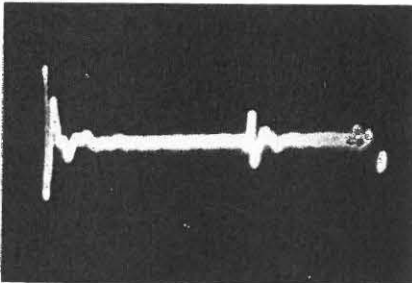


図13の48号

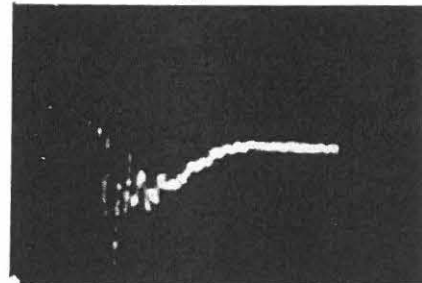


図 18

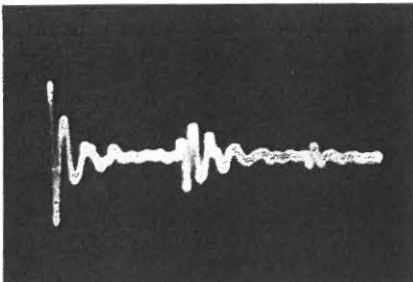


図 14

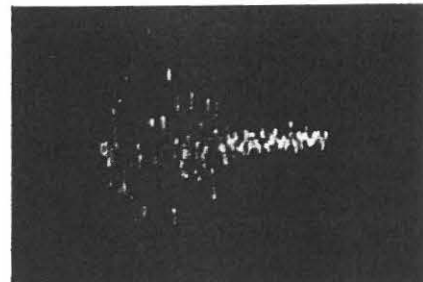


図 19

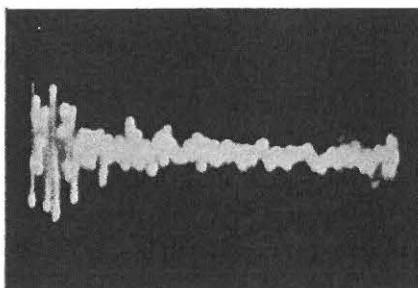


图 20



图 21

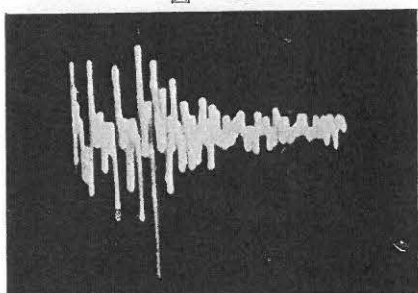


图 22

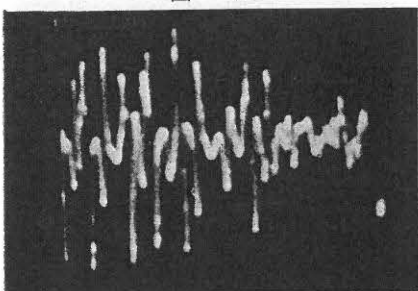


图 23

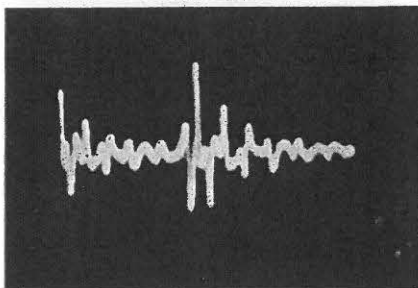


图 24

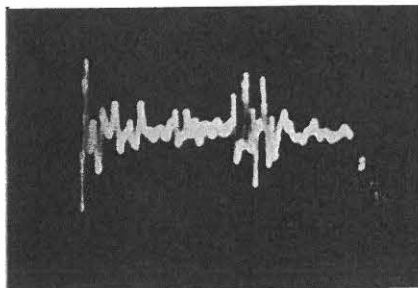


图 25

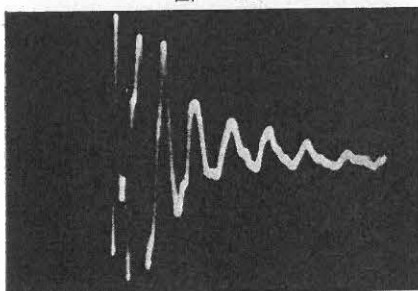


图 26

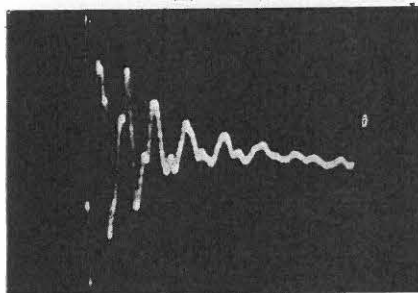


图 27

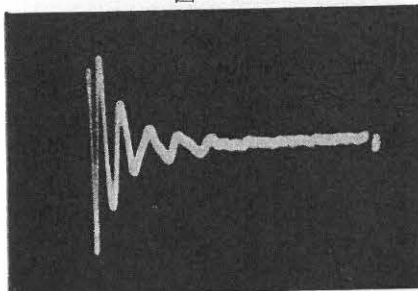


图 28

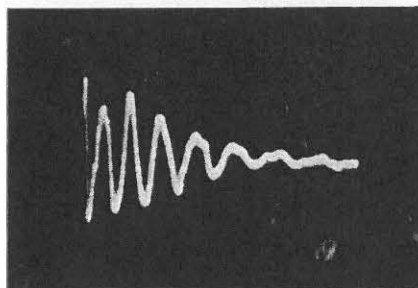


图 29

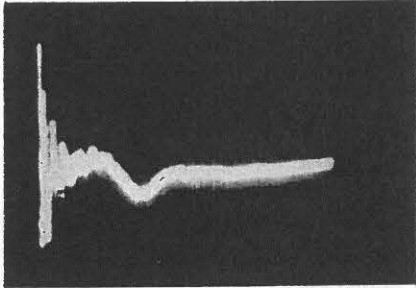


図30の52号

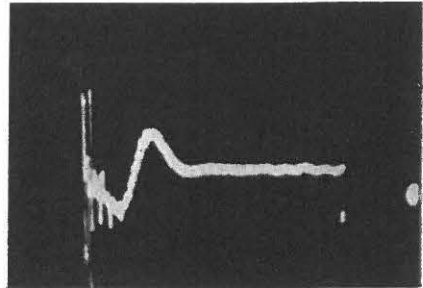


図 34

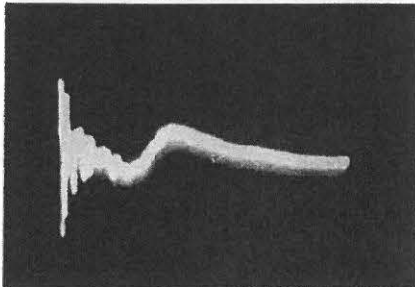


図30の59号

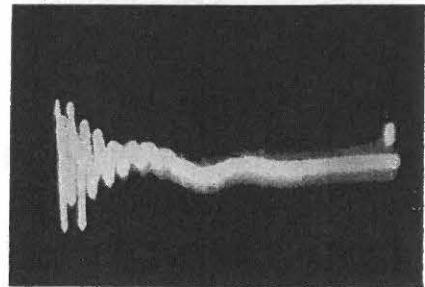


図 35

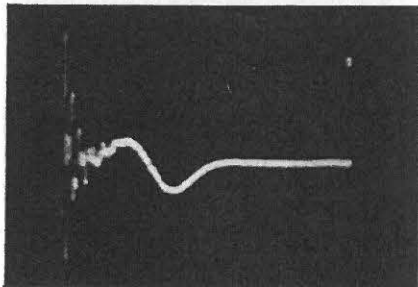


図 31

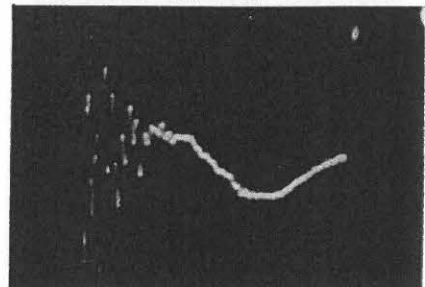


図 36

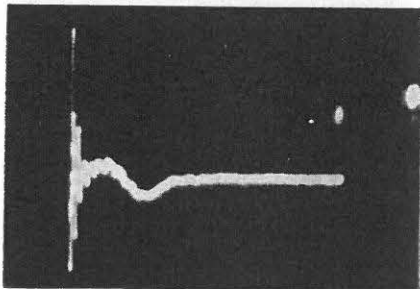


図 32

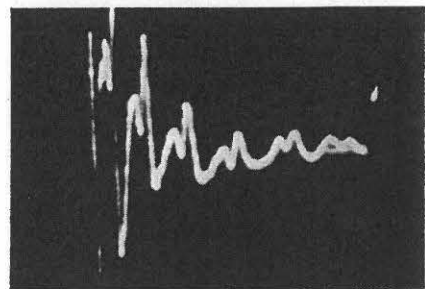


図 37

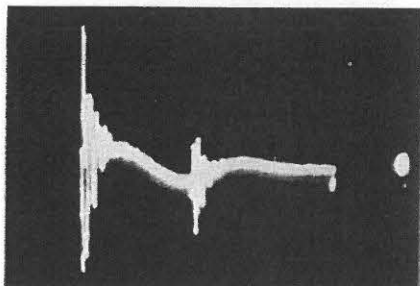


図 33

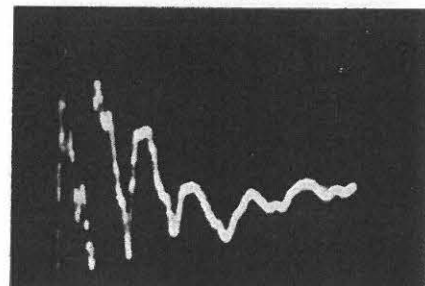
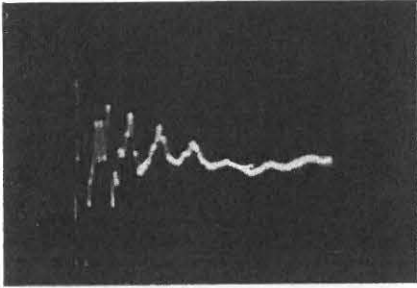
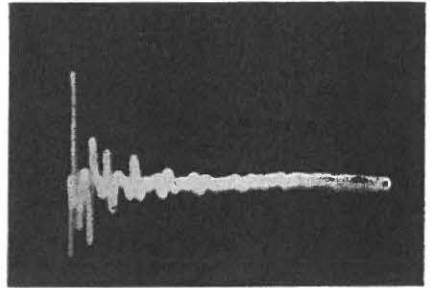


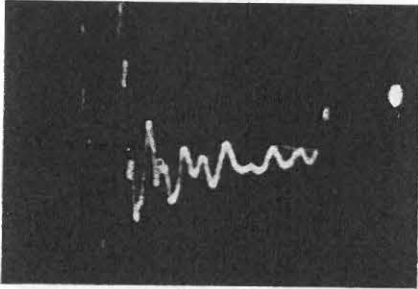
図 38



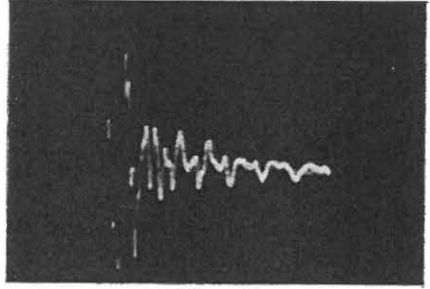
☒ 39



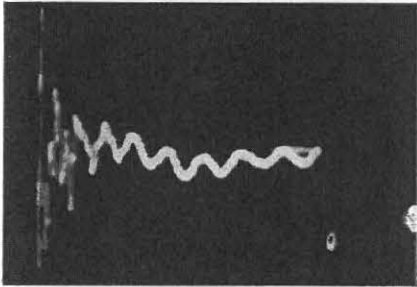
☒ 44



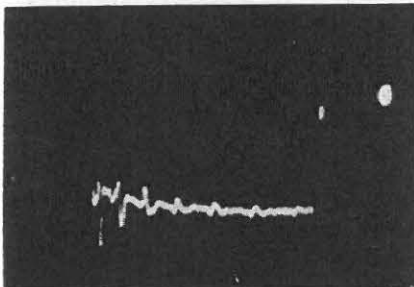
☒ 40



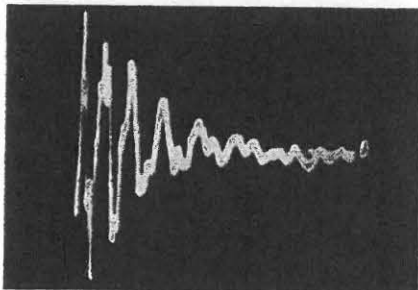
☒ 45



☒ 41



☒ 42



☒ 43