

# 可聴周波空電観測装置 (I)

岩井 章 伊藤吉之助 田中津太雄  
村田友司 加藤利郎

## I. 緒 言

数年来我々は空電の観測を続けて来たが、それ等は主として可聴周波以上即ち数千サイクル以上のものに対してであった。

可聴周波域の空電については、古くより海底ケーブル、長距離電話線等に妨害を及ぼす事よりして注目されていたが組織的な研究は行われなかった。最近この種の空電の伝播が他の電波とその様式を異にしている事が判明したため再び問題となり、昨年、オーストラリアより電離層委員会に共同観測を提案して来た。同委員会では空電研究所にこの仕事を依頼したので、空電研究の一環として当研究室で取上げ準備を進める事となった。

電光より発する空電は高い周波数においてはクリック音として聞かれるが、可聴周波位の低い周波数になると全く異なった musical character の空電が聞かれる。これ等可聴周波の空電の中、最も普通のものは whistling atmospherics, 又は whistlers と呼ばれている一定の descending pitch をもった whistling tone より成っている空電である。

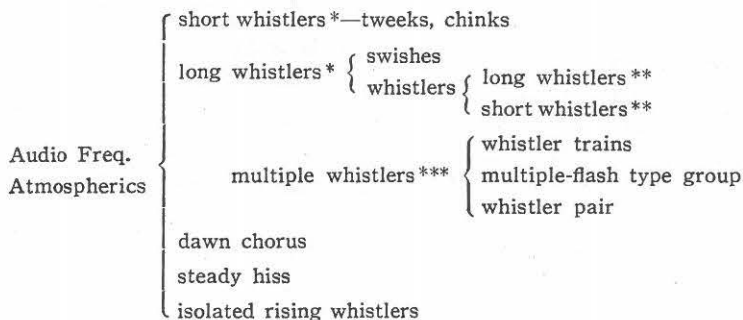
whistler は Barkhausen が地電流の研究中に発見したものであるが、<sup>(1)</sup> 後、英国において主に Eckersley により、<sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup> <sup>(7)</sup> 又米国において Burton 及び Board-

man によって研究が行われた。<sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup> その後暫く途絶えていたが、戦後、Potter がそれ等を sound spectrograph にかけて解析した。<sup>(13)</sup> 最近、Storey は空電源の観測網との同期観測により、これ等の whistlers が普通の型の電光放電に基づくものである事を確認し、又その分散の度を測定する事により whistlers を分類すると共に、Barkhausen, Eckersley の理論<sup>(2)</sup> を発展させて、地球磁界の力線に沿って電波が進み、その間に分散を受けるために whistling tone としての性質をもつものであるとして、電離層より上層の大気の電子密度の計算を行った。<sup>(14)</sup>

このため whistlers の研究は急に注目される処となり、来る 1957~58 年の Geophysical year においても重要度の高い研究であると認定され、当研究所においてその観測が行われる事に決定している。

## II. 可聴周波空電

大きな空中線に、高周波増幅回路、検波整流回路等を含まない直線型可聴周波増幅器を絡ぐと、musical character の擾乱を聞く事が出来る。これ等可聴周波帯における空電は総称して、whistlers と呼ぶ事があるが、<sup>(4)</sup> <sup>(14)</sup> それ等の特性より、次の如く分類される。



\* は Eckersley の分類命名によるものであり、

\*\* は Storey の分類命名によるものである。

\*\*\* のものは上の whistler が繰返して multiple となったものについての分類である。

これ等を少しく説明すれば次の通りである。

\*印の2つは共に高周波数より始まり, descending pitch を以て, 低い周波数まで下降するのであるが, 前者はその所要時間が短かく, 周波数の変化範囲も狭いが, 後者は継続時間も長く周波数範囲も広い。Eckersley は前者を short whistlers, 後者を long whistlers と名付けて区別している。(4) この分類による short whistlers は唯, 夜間のみになり,(5)(6) 'tweaks', (5)(7)(14) とか 'chinks', (7)(14) とか名付けられており, static kicks に始まる減衰振動である。継続時間は, Eckersleyによれば1/20~1/5秒,(7) Burtonによれば1/8秒,(5) Storeyによれば20ms(14) であり, 周波数範囲は4000 c/s 附近より急激に下降し, 2200~1600 c/s 位にまで達する。(5) 発生頻度は普通1分間に3~30個である。(5) この種の空電は static kicks に基因する擾乱が, 電離層と大地の間を, 多重反射する事により生ずるものであるとして説明し得る。(2)(5)(7) tweaks が昼間に発生しないのは, 電離層の吸収によると考えられている。(5)

他方, Eckersley の分類による long whistlers に対しては, 'swishes' と 'whistlers' とが, これに属する。(7) 両者共に, 高い周波数より始まり, 或る程度一定の割合で周波数が, 1, 2秒の間に数オクターブにわたり sweep down される。(6)(14) swishes は whistlers の如く明瞭な pitch が認められないが, 強い反射を受けた whistlers であると考えられている。(13)

Storeyによれば,(14) whistlers は 'long whistlers' と, 'short whistlers' と名付けられる二つの明瞭な群に分けられる(此処に云う, long 及び short の分類は, 前述の Eckersley の云うものとは, 全然別個のものである)。

この long whistlers は, クリック空電の数秒後に観測されるものであるが, short whistlers は全然空電に伴われない。long whistlers を伴っている空電は, 観測点より大略2000 km 以内に生ずる電光によるものである。

両型ともその周波数  $f$  と時間  $t$  との関係は

$$t = D \times f^{-1/2}$$

で表わされる。此処に  $D$  は whistlers の dispersion と呼ばれているものである。long whistlers に対する  $f^{-1/2} : t$  の直線は, それを伴った空電が起った時間において, 時間軸と交る。

尙, この descending pitch が終りにおいて, 急激

に ascending pitch に変化して急上昇する事がある。これを reversing tone と云っている。(6)(13)

これ等の whistlers が繰返す multiple whistlers の中, 規則正しく続いて来る whistler train においては, long whistlers の場合には, 各 whistlers の dispersion の比は 1:2:3:4 etc., となり, short whistlers の方は 1:3:5:7 etc., となる。

この whistler train は電光に基づく空電が, 電離層を突抜け, 地球磁界の力線方向に電波が伝播し, この間に分散を受け, 地表で反射して帰来し, 又反射すると云う事を繰返すために生ずると説明されている。

multiple flash type group は, 電光の multiple stroke によるものであり, whistler pair については whistler train の如き整然たる分散比を示さず, その発生機構は明らかではない。

これ等の上述の定量的に測定されて来たものの他, 稍い, 特殊なものとして, dawn chorus, steady hiss, isolated rising whistles, の如きものがあるが, これ等は非常に複雑で, 定量的記述は不可能であり, 又上述のもの程一般的ではない。

### III. 可聴周波空電観測装置

従来まで使用されて来た観測用装置については, 余り詳述されているものはないので, 細部の事が不明であり,(6)(14) 又研究者により, 可成り, 周波数範囲も増幅度も異なる様であるので, 新しく観測装置を設計する場合, 我々は whistlers 受信に対し, 全く経験がないので, どこを規準にしてよいのか大いに苦しむ所であるが, 大略, Storey(14) のものを基として, 次に述べる如きものを計画した。

第1図にその系統図を示す。

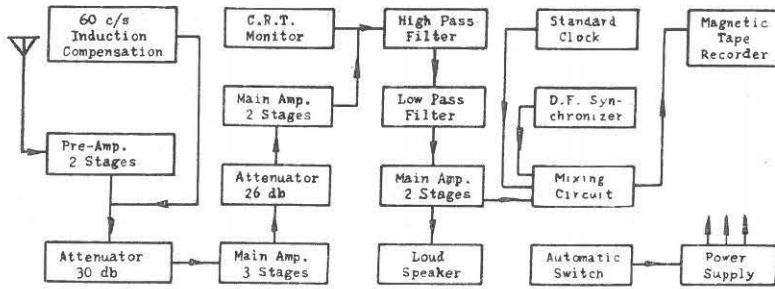
これ等を説明すれば次の通り。

#### 1) 空中線

whistler を受信するためには, 集電装置として各種のものが使われている。海底ケーブル,(5)(6) 電話線, 桿型空中線,(5) 及び垂直空中線(14) 等であるが, 我々は簡単のため垂直空中線を取る事にした。この場合, 如何程の実効高のものを使用するかが問題となるが, これに関するデータは全然ないので, 一応空電波形観測装置に倣い, 次の如きものを計画した。

空中線垂直高	10 m
実効高	5 m
空中線容量	200 pF
充電時定数	$2 \times 10^{-7}$ sec
放電時定数	$2 \times 10^{-2}$ sec
空中線結合利得	-20.1 db

第1図 可聴周波空電観測装置系統図



2) 増幅器

使用される増幅器は、直線型可聴周波増幅器<sup>(4)</sup><sup>(5)</sup><sup>(6)</sup><sup>(14)</sup>であるが、その周波数帯及び増幅度は研究者により異なり、Burton は 150~4000 c/s, 150 db (最高 200 db),<sup>(5)</sup><sup>(6)</sup> Storey は 400 c/s~10 kc/s, 80 db,<sup>(14)</sup> としている。whistler の電界強度と S/N が判明しておれば設計は簡単であるが、どの文献にもそれ等のデータの詳細がないので致し方なく、一応、最大利得約 100 db, 利得調整幅 50 db の直線型増幅器を設計した。この増幅器は他の目的にも使用出来る様、100 c/s~300 kc/s の帯域を持たしてあるが、whistler に使用する時は、次の濾波器を挿入して帯域を制限する事が可能であるが、通常は 300 c/s~15 kc/s にて使用する。

構成は、抵抗結合9段とし、前置増幅器において1段増幅し、後、75 Ω に impedance matching を行い、約 100 m の同軸ケーブルにて伝送して主増幅器に導

き、抵抗減衰器を経て、2段増幅後、2 db ステップ、26 db, 600 Ω の減衰器に整合するため陰極結合とし、更に1段増幅して後、次の高域、低域濾波器の挿入を可能ならしめるため再び陰極結合とし、尚1段増幅後、陰極結合にて low impedance として、ケーブルにて録音器に導く。

本増幅器の結線図は第2図の如くである。

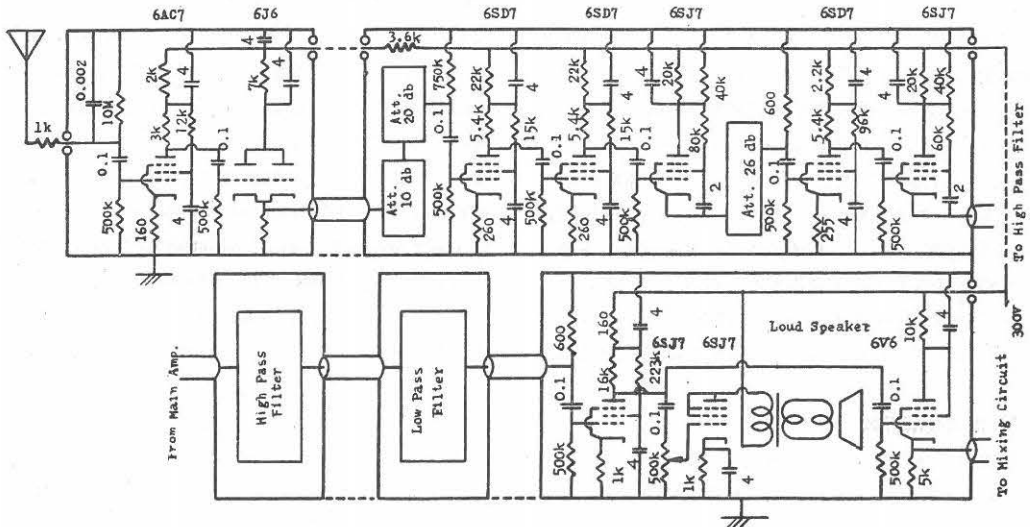
尚、本増幅器はルーチン観測に堪えるものとして、部品についてはその安定度を特に吟味してあり、又低周波における装置雑音(特に電源周波数及びその高調波)を極力減ずるために、初段4段は直流加熱すると共に、1点接地、by pass、電源回路、その他に特に厳重な注意が払われている。

3) 濾波器

従来までの測定には例外なく、低域及び高域濾波器が使用され、帯域を制限している。

前述の如く、Burton は 150~4000 c/s,<sup>(6)</sup> Storey

第2図 可聴周波空電観測用増幅器



は 400 c/s ~ 10 kc/s,<sup>(14)</sup> である。

今までの波形観測の経験から云えば、低周波特に電源周波数 60 c/s 及び、その第 3, 第 5 高調波、並びに依佐美 17.44 kc/s の長波通信の擾乱が非常に甚だしいので、これ等を避けて観測するためには、矢張り濾波器を必要とする。尙電源周波数 60 c/s の妨害は特に著しく、濾波器挿入点までに既に飽和する可能性があるので、主増幅器前部において、波形観測に依り誘導補償を行う事にした。

使用濾波器は両型とも遮断周波数可変型のもので、誘導 M 型 half section 2 個、定 K 型 1 section より成る。特に他の目的のために広帯域に使用するのに就いて、広帯域にわたり、image impedance の偏差少なく、又自由振動が少ない様考慮されたものである。

各濾波器の遮断周波数は次の通り。

高域濾波器

0.15 ~ 0.25 ~ 0.4 ~ 0.6 ~ 1.0 ~ 1.5 ~ 2.5 ~ 4.0 kc/s

低域濾波器

4.2 ~ 6 ~ 8.5 ~ 12 ~ 17 ~ 25 ~ 35 ~ 50 ~ 70 ~ 100 kc/s

上記定数を適当に択び帯域を制限する。この様に多くの可変範囲を与えたのは空電波形のスペクトル観測装置との関連を考慮したからである。

#### 4) 記録器

記録器としては各種のものが使われているが、代表的なものは、実効値指示に熱電対型自記録計、尖頭値指示に放電管等<sup>(6)</sup>があるが、一度記録を保存する意味で、磁気録音器が普通に使用せられている。<sup>(6) (14)</sup> 又 whistler が夜間に多いと云う事を考慮すれば、磁気録音器を使用して自動観測をするのが最も有利である。

使用録音器は 2 現象同時録音器とし、一方に whistler を、他方に時間マーク及び方位測定との同期信号を録音し、空電源及び他の同期観測との対応を明らかならしめる。現在 2 現象録音器が未だ入手出来ない所以、1 現象録音器により、時間マークは 400 c/s、方位同期マークは 500 c/s の短かい矩形波を whistler と同時に録音する。これは後にデーター解析のとき、これ等の信号は分離出来るものと期待している。

磁気録音器自身の周波数範囲は 200 c/s ~ 15 kc/s、テープ速度 15 吋/秒、10 $\frac{1}{2}$  吋リール 2400 呎 30 分連続録音可能である。<sup>(15)</sup>

#### 5) 周波数解析器<sup>(9) (10) (11) (12) (13)</sup>

磁気録音されたテープを再生し、whistler を拾い出して、これを解析するために、周波数解析器が必要である。

従来使用されたものは、Burton が 17 個の狭帯域濾波器、<sup>(6)</sup> Storey は 12 個の同調増幅器<sup>(14)</sup> を使用している。又 Potter は sona-graph を使用して、これ等のデーターを詳細なグラフにしている。<sup>(13)</sup>

これ等を総合してみると、統計的に研究するには、多数の濾波増幅器を並列に使用するのが簡便で、而もデーターが手軽に得られると云う利点があるけれども解析精度は悪い。これに比し、sona-graph 式に順次共振周波数を変えてゆく方式では、解析精度は高いが、データーを得るのに時間が掛り、多数のデーターの統計処理は不可能である。

勿論、両者を共に製作するのが良い事は当然であるが、予算の関係上不可能であるので、どの様な方式の周波数解析を行うか、空電スペクトル観測装置とも関連させて目下検討中である。

#### 6) 附属装置

本装置は空電方位測定網との同期観測を行うための装置及び他との同期観測のための時間マーク、又ルーチン観測は 24 時間観測のために automatic switching を行う装置を附加しなければならない。

automatic switching は精密な時計を使用し、その接点を利用して、一定時間毎に、一定時間観測を行う様な方式とする。

最初は、30 分毎に 1 分間観測を行う予定で準備中である。

## IV. 結 言

whistler の観測は我が国では未だ行われた事がなく、我々も全く無経験であり、空電波形の観測においても、それらしきものに気付かなかった。

whistler の観測を計画するに当って、最も困るのはその強度が予測出来ない事である。Burton が 150 db と云う様な増幅を行っている事を考えれば、非常に微弱なものではないかと思われる。この点が最も難点で、この様な周波数帯で本設計以上の増幅度は、外来雑音が当地の如き大きさでは不可能であり、whistler がこれら background noise にどの程度浮き上って受信出来るかが、whistler 受信の成否を決定する。特に当地においては、whistler にとっては最も重要な帯域である、3 ~ 4 kc/s 位に時々妨害雑音が受信される事が、波形観測において経験されているので、これ等がどの程度の妨害を及ぼすか、その点が最も大きな問題である。

本研究は、本年度より着手したもので、未だ準備段階に過ぎないのであるが、大体、周波数解析器を除く他の部分は、組立が完了し、これより調整を始める段

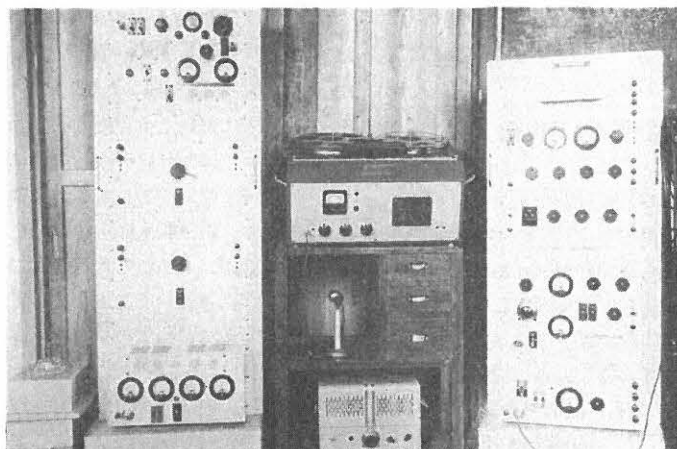
階にある。本年9月に行われる空電定期観測に、方位測定網と試験的に同期観測を行い得るものと期待している。ルーチン観測に入るまでには、未だ問題が多く、幾多の試験観測を続けなければならない。

終りに金原所長及び空電研究室各位の御指導、御援助に深く感謝する次第である。

### 文 献

- (1) Barkhausen H.: Phys. Z., **20**, 401, 1919.
- (2) Eckersley T. L.: Phil. Mag., **49**, 1250, 1925.
- (3) Eckersley T. L.: Nature, Lond., **117**, 821, 1926.
- (4) Eckersley T. L.: Nature, Lond., **122**, 768, 1928.
- (5) Burton E. T.: Nature, Lond., **126**, 55, 1930.
- (6) Burton E. T. and Boardman E. M.: Proc. I.R.E., **21**, 1476, 1933.
- (7) Eckersley T. L.: Nature, Lond., **135**, 104, 1935.
- (8) Appleton E. V. and Ingram L. J.: Nature, Lond., **136**, 548, 1935.
- (9) 染谷: 電通誌, **2**, 82, 昭17.
- (10) 染谷: 電通誌, **2**, 85, 昭17.
- (11) Barber N. F. and Ursell F.: Phil. Mag., **39**, 345, 1948.
- (12) Bowe P. W. A.: Phil. Mag., **42**, 121, 1951.
- (13) Potter R. K.: Proc. I.R.E., **39**, 1067, 1951.
- (14) Storey L. R. O.: Phil. Trans., **113**, July, 1953.
- (15) 多田: 磁気録音器, オーム社, 昭28.

写真 可聴周波空電観測装置



左より前置増幅、主増幅器部(上より増幅器、高域濾波器、低域濾波器、自働制御部、電源)、磁気録音器、較正用発振器。