

氏名・(本籍)	あら 荒	き 木	たかし 喬
学位の種類	理 学 博 士		
学位記番号	理博第 2 9 2 号		
学位授与年月日	昭和 47 年 3 月 24 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当		
研究科専門課程	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)地球物理学専攻修了		
学位論文題目	ホイスラー波の伝搬に関する研究		
論文審査委員	(主査) 教 授	上 山	弘 教 授 山 鈴 鳥 齋 本 木 羽 藤 義 次 良 尚 一 郎 明 生

## 論 文 目 次

概 要	
第一章	緒 論
第二章	ホイスラー波の磁気圏内伝搬
第一節	ホイスラーの微細構造
第二節	ダクト伝搬
第三章	ホイスラー波の電離層内伝搬
第一節	下部電離層内伝搬の理論
第二節	Wave guide mode の考慮
第四章	Tweek 型先行空電の Mode 伝搬
第一節	Tweek 型空電の解析
第二節	Mode 理論による Tweek の解析
第五章	検討と結論

# 論文内容要旨

## 第一章 緒 論

1953年にStoreyがホイスラー波は地球の磁力線に沿って電離圏と磁気圏内を伝搬する現象であることを理論的に提唱して以来、ホイスラーの観測にもとづく研究は地球磁気圏の構造解明に重要な役割を果たして来た。一方、その伝搬に関する理論的研究は、多くの人々によって推進され、最近では磁気圏内におけるホイスラー波の伝搬に関してノンダクト伝搬(Maeda and Kimura, 1956)とダクト伝搬(Smith et al., 1960)の2通りの理論が提唱されている。後者は磁気圏内に磁力線に沿って電子密度の高いダクトを仮定し、ホイスラー波がそのダクト内に捕捉されて伝搬するという理論であるのに対して、前者はダクトを仮定せず、従ってホイスラー波は磁力線に沿わずに伝搬するという理論である。理論から推測されるかぎり、ノンダクト伝搬ではホイスラー波が磁気圏から電離層に伝搬するにつれて、wave normal angleが大きくなり、大部分が再び磁気圏内にもどされてしまい、地上まで到達する事は困難である(Kimura et al., 1965)。このことから現在では、地上で受信されるホイスラーは、磁気圏ではダクト伝搬をしていると理論的には考えられている。然るに観測的には磁気圏内ではノンダクトとダクト伝搬の両方が存在していることがCarpenter(1968)により確かめられているものの、地上で受信されるホイスラーは、Diffuse whistlerのみがダクト伝搬をしているものであるということが推定されているに過ぎずその決めてはないのが現状である(Somayajulu and Tantry, 1968)。

現在残されている伝搬に関する未解決の問題として、地上で受信されるホイスラーは磁気圏ではどのような伝搬をしているかを実証的に確かめることと、電子と中性粒子との衝突が卓越する電離圏下部における伝搬がどのようにになっているかを調べる事が重要であり、この問題の解決にはホイスラーの源の位置がどれだけの精度で求めることができるかが最大の鍵となる。このホイスラーの源の位置決定に関して、Ohtsu(1960)はホイスラー群にまさって分散のきわめて小さいtweekと呼ばれているインパルスが重要な鍵になるという考えのもとに解析を行った。その結果、地磁気共軌点よりも約2000km磁気赤道よりも源が位置することになり、当時計算されていたMaeda and Kimura(1956)の低緯度での非対称性は2000kmになるというノンダクト伝搬理論を支持した。しかし前述のように現在の理論から、ノンダクト伝搬では地上の観測所までは到達困難なこと、さらに、解析的に伝搬径路を決定する上で重要な役割を果たすtweek型先行空電の解析精度に問題があること等を考えると、一段と改良された高精度の解析装置を利用した再検討が必要である。

この論文の目的は、以上のようなホイスラー波の伝搬の問題を、従来の解析装置に改良を加えた装置を使用することにより、ホイスラー波の微細構造とそのtweek型先行空電の解析を行い、磁気圏と電離圏の両面から総合的に検討することにある。

## 第二章 ホイスラー波の磁気圏内伝搬

磁気圏の伝搬機構を地上観測から明らかにするため、従来のソナグラフに改良を加えた高分解能解析装置(Hissa)を用いて、遠刈田超高層観測所で観測したホイスラーの微細構造の解析を行った。なおホイスラーは2KHz附近でのcutoffを受けないものに限った。その結果、

- (1) pure-tone whistler
- (2) diffuse whistler
- (3) multi-path whistler

の3つのtypeに分類されることがわかった。ここでwhistler traceの巾を $\Delta t$ と定義すると、type(1)は $\Delta t \sim 10$  msecの単純な構造のホイスラーであり、type(2)は $\Delta t \sim 15 \sim 20$  msecの複数個のホイスラーの複雑な重ね合わせであり、type(3)はtype(2)と同様 $\Delta t \sim 15 \sim 20$  msecぐらいの複数個が重ねあわさったものであるが、それぞれが独立したwhistler traceに分離でき、しかも同分散を示すものである。なおいずれのtypeのホイスラーも先行空電は1個しか存在していない。

一方、ダクト伝搬理論からは、遠刈田の緯度ではジャイロ周波数が約500KHzであり、磁力線に沿ったcrest typeの電子密度のirregularityによる伝搬だけが許されることになる。ここで磁気圏に実際存在可能と考えられる数%~10%程度の電子密度の増加がある場合について磁気圏における伝搬の理論計算を行った結果、 $\Delta t$ は最大数10 msecのdiffusenessまでしか期待し得ないことが明らかになった。このことは観測結果のいずれのtypeのホイスラーも $\Delta t$ が数10 msec以内であるという事実と一致する。又、先行空電が1つにもかかわらず、ホイスラーのもつ巾( $\Delta t$ )は先行空電のもつ巾より数倍大きく、そのホイスラーの微細構造が、解析装置の分解能(1 msecまで分解可能)以内におさまるか否かにより3つのtypeに分けられるが、本質的には複数個のホイスラーの集合体であることから、ホイスラーはノンダクト伝搬をするのではなく、いくつかの独立したダクトの中を同時に伝搬していると結論される。

以上のことは、地上で受信されるホイスラーは磁力線に沿った電子密度の高いダクトに捕捉されて伝搬しているという仮説の妥当性を示している。

## 第三章 ホイスラー波の電離層内伝搬

ホイスラー波の源から電離層への入射と、電子と中性粒子との衝突が卓越する下部電離層中の伝搬を調べる。

まず、1KHz~10KHzまでの電離層内におけるホイスラーモードの伝搬の問題について、Budden(1961)、Maeda and Oya(1963)の理論を拡張して理論計算を行った。電離層モデルはPrince and Bostick(1964)を使用した。その結果ホイスラー波の伝搬経路は、地上100 km以下では電子と中性粒子との衝突が大きいにもかかわらず磁力線に沿わないが、100 km以上では従来考えられて来たように急に磁力線に沿うことがわかった。

電離層入射の問題に関しては、地上に双極子輻射源を仮定し、球面電離層によるエネルギー集中

の効果と透過係数を計算して、どの角度でエネルギーが最も効果的に電離層に入るかを検討した。その結果、放射エネルギーは、その最も有効な突き抜け位置が源の真上であり、そこから電離層面に沿って900kmはなれると約20dbの減少を示すことがわかった。しかもホイスラー波は、源の真上から電離層面上で半径900kmの領域に入射して磁力線方向にまげられ、100km以上の高度では磁力線に沿って進むことが確かめられた。

前章の磁気圏内の伝搬に関する議論と考えあわせると、この様にして電離層内を伝搬したホイスラーは、上部電離層に存在すると考えられるダクトに捕捉され、反対半球の地磁気共転点にまで伝搬してくると考えることの妥当性を示すものである。

#### 第四章 Tweek型先行空電のMode伝搬

この章ではホイスラーの伝搬に関する上述の理論的な結論を実験的に実証するために、tweek型先行空電の観測結果の解析を行ない、ホイスラーの源の位置を明らかにした。ここでは今までのソナグラフに改良を加えた高分解能解析装置(Hissa)を使用して、精度上の困難さを大巾に解決することが出来た。これはソナグラフとシンクロスコープとの結合により、tweek型先行空電の分散( $f-t$ 曲線)を写真装置で見えるものである。解析データとしては、磁気圏内を伝搬した後に地表と電離層間を導波管モードで伝搬したホイスラーをとりのぞいて、2KHz附近でcutoffを受けていないホイスラーのみを用いた。先行空電を見つけるには、先づホイスラーの分散を調べ、理論が示す分散曲線の原点 $t=0$ の位置に存在するtweekを先行空電と見做した。その結果、遠刈田に到達するホイスラーの源は、遠刈田の地磁気共転点を中心にして約±800kmの範囲にあることを示した。又先行空電でないその他のtweekの解析からは、その源が一搬に広範囲にわたっていることが明らかになった。

以上のことは、第二、第三章で主張したホイスラー伝搬に関する理論的結論を、充分に実証するものである。

#### 第五章 検討と結論

ホイスラーの微細構造の解析結果とダクト伝搬理論による計算結果から、磁気圏では磁力線に沿って形成されている電子密度の高いダクトの中にホイスラーのエネルギーが捕捉されて伝搬していることが確かめられた。また、源から放射された電波は、その真上に最も効果的に入射し、そこから入射した電波は磁力線方向へ曲げられ、100km以上では完全に磁力線方向へ進むことが知られた。

以上のことから地上で受信されるホイスラーは、地磁気共転点近傍に発生源をもち、磁力線に沿ってダクト伝搬したものであると結論することが出来る。

## 論文審査結果の要旨

雷放電によるノイズ性電波は、電離圏・磁気圏を伝搬して反対半球の地上で分散性の電波（ホイスラー波）として受信されるが、ホイスラー波の諸特性は電離圏及び磁気圏の物理状態と密接に関連することから、この波の観測は地球を取巻く空間を研究する上に、重要な手段として注目されている。この論文の目的は、ホイスラー波の伝搬経路を実証的に研究しようとするものである。

ホイスラー波は磁気圏内で磁力線に沿う場合（ダクト伝搬）と、沿わぬ場合（ノンダクト伝搬）の二通りの伝搬をする事が理論的実験的に主張されており、このうち磁気圏でダクト伝搬したもののみが電離層を通過して地上に降下し得ることが理論から推定出来たが、実験的には未だ完全に確かめられていなかった。この問題を実証的に裏付けるために、著者は自らホイスラー波受信装置を製作して遠刈田観測所に設置し、昭和43年以来研究観測を続けその解析を行なった。先づ受信されたホイスラー波の微細構造を高性能動スペクトル解析装置を用いて分析した結果、1回の雷放電によって複数個のホイスラー波が受信される事実を挙げ、これらのホイスラー波がダクト伝搬した証拠であることを示した。

次に理論計算を行なって、雷放電から発する電波のエネルギーの大部分がほとんど電離層面に垂直に入射した後、磁力線方向に伝搬方向を変え磁気圏を伝搬する事を示した。この事は遠刈田で受信されるホイスラー波が若しダクト伝搬であるならば、発生源は遠刈田の磁気共軌点に位置することを意味する。一方若しノンダクト伝搬であるならば、磁気共軌点より約2000km低緯度側に偏よる事になる。このことを実験的に確かめるため、著者は、電離層と地表面とによって構成される一種の導波管の中を多重反射しながら、発生源から遠刈田まで到達する先行空電、即ちトイーク波の分散に着目し、これを高分解能解析装置で細かく分析した。その結果、トイークの発生源が磁気共軌点附近にあるもののみがホイスラーを伴い、共軌点から6～7百メートル離れて発生したトイークはホイスラーを伴わないことを明らかにし、遠刈田で受信されたホイスラー波は磁気圏内をダクト伝搬したものである事を確かめた。

ホイスラー波の伝搬に関するこの研究は、ダクト伝搬理論を実証的に裏付けるものとして貴重であり、また従来解析困難として見過ごされていたトイークが、研究上甚だ有用な役割を果すことを示すものとして特筆される。よって荒木喬提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。