

報告番号

第1099号

主論文の要旨

題名 磁気圏・電離層プラズマ中のホイッスル波の
伝播に関する研究

氏名 早川 正士

主論文の要旨

報告番号 ~~※~~^乙第1099号 氏名 早川 正士

Storey (1953) は、ホイツラが雷放電から出る低周波 < VLF 帯 (3 kHz ~ 30 kHz) と ELF 帯 (< 3 kHz) とを意味する > 電波が電離層を突抜け、磁気圏プラズマ中を伝搬する際に分散を受けたものであることを明らかにするとともに、ホイツラの分散から超高層大気電子密度を知ることを示唆した。Storey の論文は電離層から外側に広がる空間をなんとか探測しようとしていた人々に、ホイツラ的重要性を認識させ、それ以来ホイツラをはじめとする VLF 波動現象に関する研究は広範に展開された。ホイツラは宇宙通信の舞台となる電離層以上の磁気圏の開発において重要であるばかりでなく、異方性でも不均質なプラズマ中での電波伝搬の問題とも密接に関係し、電磁波動論や電波工学の基礎としてきわめて重要である。本論文は雷放電や VLF 局から出る低周波電波がホイツラモードとして電離層を透過し、さらに磁気圏内を伝播した後、反対半球の電離層において反射、吸収および透過を受ける機構を総合的に論じたものである。またホイツラを用いた磁気圏の探査にも言及している。

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川

正士

第1章では、まずホトツス研究の歴史的背景を述べ、その後従来の研究経過を述べている。これらの従来の研究経過をふまえて、本論文の意義および目的を簡単に記している。

第2章の前半では、電離層下からの電波の下部電離層中での伝搬特性を理論・実験の両面から詳細に考察している。ホトツスの発生数は磁気緯度 50° 前後で最大を示すことや、最近極地帯で波を磁気圏に打ち上げ、波と粒子との相互作用を励起する試みが行なわれていることを考え、まず高緯度でのホトツス波の電離層内伝搬を論ずる。高緯度の極限として極伝搬を想定した。下部電離層の電子密度分布とよく近似する双直線電子密度分布に対しては電磁界が解析的に解かれ、その数値計算の結果、次の諸点が明らかになった。(i) 下部電離層の電子密度勾配が VLF, ELF 電波の伝搬には著しい影響をもつこと、(ii) 下部電離層中では波の干渉効果が重要な働きをし、スペクトルの解釈には重要な要素であること等が挙げられる。

もう一つの極限として赤道帯伝搬を取り扱っている。赤道帯では雷活動がまわりの高いにもかかわらず、そのエネルギーの磁気圏への進入は全く考察されていなかった。下部

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川

正士

電離層の電子密度分布として直線電子密度分布を仮定すると、VLF, ELF異常波の電離層内での電磁界が解析的に解き得ることになった。解析解の数値計算の結果、(i)減衰域が存在するにもかかわらず、トンネル効果によりかなりのエネルギーが電離層を透過することや (ii)最大透過の起る周波数が1 kHz前後であることなどをはじめ明らかになった。さらに最近低緯度の低高度にELFヒスと呼ばれる現象が報告されているが、この源として本論文で論じたような雷放電エネルギーのトンネル効果が考えられることを示唆している。

次に中緯度帯ではいかなる電子密度分布に対しても解析的に電磁界を解くことはできず、数値解法による以外には方法はない。本論文ではPittewayと同様の方法を用いて、ホムスラ波の電離層透過の緯度変化、周波数特性を昼夜の電離層モデルに対して考察した。その結果、夜間には電離層透過の際の損失は緯度 30° 以上ではせいぜい数dB程度であり、それほど重要な因子とは考えられないところか、昼間時の電離層透過損失には明瞭な緯度効果が現われ、特に 30° 位から低緯度へ行くにつれ、急激に損失が増大する。また周波数特性も明瞭に認められ、高周波ほど強い透過損失を受けると理解できた。したがって昼間時には、夜間時に比

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川正士

伝搬特性がより複雑となる。また近年 VLF 電波の衛星受信を用いて磁気圏を探測することが盛んに行われているが、この際重要になると考えられるホムスラの電離層透過の際の方位角依存についても検討した。

以上によりホムスラ波の電離層内反射および透過特性が低緯度から高緯度まで全緯度範囲にあたってほぼ完全に理論的に検討した。本研究は将来の VLF 研究に有益なものとなる。

以上の理論的研究に比し、ホムスラ波の下部電離層中での伝搬特性に関する実験的研究はきわめて遅れている。本論文では K-GM-26 号ロケットによる観測結果を報告している。本機の打ち上げ時期が夏期であったため、電離層下の雷放電に起因する多数の電離層ホムスラが受信された。これらの電離層ホムスラの分散および強度特性から、(i) 磁気 20° の低緯度でも E 層以上高層は QL 近似が成立することや、(ii) ホムスラの捕捉は下部電離層内では起こっていないことや (iii) 電離層・地表導波管内をかなりの距離伝搬した後でもかなりの VLF エネルギーが電離層に進入することを示した。

第 2 章の後半は磁気圏内を伝搬してきたホムスラの電離層中での反射および透過問題を論じている。この問題

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川 正 士

は第3章の磁気圏内伝搬特性と密接に関連している。この問題は理論的にも実験的にもさわのこ遅れた研究分野で、本論文では理論・実験の両面から詳細に考察している。下降ホムスラ波の電離層透過問題は波面法線方向が透過円錐内にあるか否かによりその特性が著しく異なる。まず波面法線方向が透過円錐外にある場合には、下降ホムスラ波は全反射を受け、電離層下のエネルギー透過はさわのこ少なく、この際には反射レベルが重要な問題となる。そこで下降ホムスラ波の電離層内反射レベルが入射角によりいかに変化するかを種々の条件下で考察した。

次に波面法線方向が透過円錐内に入る時には、媒質の不均質に基づく全反射が主役となり、波動論的考察が必要となる。はじめに、地表の存在を考慮しない時の下降ホムスラ波の電離層透過係数を波動論を用いて評価した。その結果、かなりのエネルギー透過が起り得ることか理解され、地表からの反射の重要性を示唆した。この点と、高緯度伝搬に対して吟味し、事実理論的にも高緯度では下降ホムスラ波の地表からの反射が本質的な役割を果たしていることを示した。この高緯度での取扱いを任意の緯度に拡張する方法と述べるとともに、その数値計算結果も

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川 正 士

示した。磁場の傾角が 40° 以下の低緯度では、下部電離層中での吸収がきわめて強く、地表反射の影響は無視してよい。ところが、高緯度ではほとんど下部電離層中での吸収が少なく、地表の存在は重要な因子となってくるようになった。このことは、高緯度でのホイッスルや VLF 放射を取り扱う際には、地表反射に充分注意する必要があることを意味している。さらに電磁界の高度分布の検討から、地表を含め、電離層内での下降ホイッスル波の反射機構を詳細に吟味している。

第3章では、ホイッスル波の磁気圏内伝搬を取り扱っており、本論文の最も重要な部分である。ホイッスル波の磁気圏内伝搬には、ダクトに捕捉されたダクト伝搬とダクトに捕捉されず磁場による誘導効果だけによる非ダクト伝搬とがある。ダクト伝搬は Smith による、1961年に提唱されたが、ダクトの存在の直接的検証はごく最近の Angerami (1970) の高緯度における衛星観測以外にはない。特に低緯度ではいまだにダクト伝搬の実証されるに至っていない。ダクトは電波伝搬の問題として重要であるばかりでなく、その形成が電離層と磁気圏との相互作用と関係により重要視されている。一方非ダクト伝搬モード

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川

正士

のホムスラは最近飛翔体観測により多数発見され、磁気圏探査に盛んに用いられている。

本論文では中、低緯度ホムスラダクトの存在及びその特性を詳細に検討している。まず空電研究所の三観測所における同時観測で得られた中、低緯度ホムスラダクトの存在を強く暗示するデータを示す。これに対する理論的考察から、これらの結果はダクト伝搬によるのみ説明し得ることを明らかにした。この間接的検証をさらにほゞりさせるため、電離層内においてホムスラ波の波面法線方向の測定を計画し、その実験に成功した。その結果、低緯度の日没時のホムスラはダクトに捕捉されていることが確かめられた。かつてのショートホムスラの電離層内での波面法線方向の測定は世界でもはじめてで、その意義は大きい。さらに、従来概念的に示されていた第2章で述べた透過円錐や捕捉円錐の存在も実験的に明らかにしたことも重要な点である。

以上のダクトの検証をふまえて、地上観測のホムスラ分散を、衛星による磁気圏電子密度分布と比較することにより、低緯度ホムスラダクトの enhancement factor やダクト間距離等の特性を調べた。その結果、日没時

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川 正士

のホムスラダクトは100%以上の enhancement factor をもち、低緯度特有の電子密度の赤道異常との関連性をはじめの2指摘している。また夜間の低緯度ダクトはせいぜい10%程度の enhancement factor であり、かゝる小さな enhancement factor のダクトによる捕捉機構も考察した。

以上の中、低緯度ホムスラダクトの総合的研究は磁気圏内のホムスラ波のダクト伝搬の研究において貴重な成果と考えられる。

次に第3章の3-5節では、低緯度の内部磁気圏中を非ダクト伝搬したホムスラのロケット観測結果を報告している。夏期のロケット観測であったため、北半球の雷放電に起因する分散の大きな、しかも分散の広域りの大きなホムスラ群が観測された。理論的考察から、これらのホムスラは磁気圏を一周し、しかもその伝搬が非ダクト伝搬によること明らかになった。さらにこの非ダクト伝搬では電子密度の赤道異常による緯度効果が重要な因子であることもわかった。

最後の第4章では、ホムスラによる磁気圏の探査を取り扱っている。まず北海道における1958年から

主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川 正士

1968年までの一太陽年周期にあたるホムスラの分散および発生数の特性と報告している。分散の季節変化の解析から、内部磁気圏電子密度は外部磁気圏電子密度とはその変動に顕著な差があることが見い出された。また発生数の経年変化は太陽活動とは逆相関にあり、発生数を決定する最大の要因は電離層の吸収であることなどが理解された。

次に磁気嵐の磁気圏への影響は、中、低緯度ホムスラに顕著な変化として現われることが知られている。本論文では Otsu and Iwai (1962) の仕事をさらに多くの磁気嵐の場合に発展させ、中緯度ではホムスラ分散の減少と発生数の上昇が磁気嵐の数日後に起こることを確かめた。しかも発生数の上昇はホムスラダクトの生成によることと明らかにするとともに、磁気嵐時のダクトの特性の変化および電離層中の不規則領域 (Spread-F) との関連性をはじめに検討した。