

昭和基地における狭帯域オーロラヒス放射の 到来方向観測結果

西野正徳*・田中義人*・平沢威男**

Arrival Direction Finding for Narrow-Band Auroral Hiss at Syowa Station

Masanori NISHINO*, Yoshihito TANAKA*
and Takeo HIRASAWA**

Abstract: From the direction finding (DF) observations based on the measurement of wave arrival time differences among three spaced points around Syowa Station (geomagnetic lat. -70.0°), the arrival direction of narrow-band auroral hiss was examined. It is found that the ionospheric exit from which the narrow-band auroral hiss comes out is usually located in the lower latitude side than the position of quiet auroral arcs. These results demonstrate that the propagation path of auroral hiss is deviated from the geomagnetic field lines along which auroral particles precipitate. Therefore, it is concluded that the waves propagate downwards to the ionosphere in a non-ducted mode. Comparing the location of the ionospheric exit of auroral hiss with the ratio of 8 kHz hiss intensity at Syowa to that at Mizuho, it is estimated that the loss rate of auroral hiss is, on the average, 2-3 dB/100 km with respect to the horizontal direction.

要旨: 1978 年南極昭和基地で開発された 3 点時間差計測によるオーロラヒスの到来方向観測結果から、通常、地磁気変化静穏時に昭和基地の磁南方向約 200 km 以上の領域で出現するオーロラアークにとまわられて発生する狭帯域オーロラヒス (≤ 20 kHz) の到来方向の特性を得た。昭和基地で観測される狭帯域オーロラヒスは、昭和基地の磁南方向 200 km 以内の電離層から透過することが多く、その透過口の大きさは数十 km 以内である。また透過口はオーロラ発光領域より 300~500 km 低緯度側に位置することが多い。これらの結果は、狭帯域オーロラヒスが地球磁力線から離れ非ダクト伝搬で電離層に下降することを示唆している。

オーロラヒスの電離層透過口の位置と、昭和、みずほ基地での 8 kHz ヒス強度比との比較から、オーロラヒスが電離層透過口から地上へ伝搬する時、下部電離層で受ける減衰率は地上水平距離に対して 2~3 dB/100 km であると推定される。

* 名古屋大学空電研究所. Research Institute of Atmospherics, Nagoya University, 13, Honohara 3-chome, Toyokawa 442.

** 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

1. 緒 言

極域で受信される VLF 帯電磁放射のうち、オーロラとよい相関があるオーロラヒスの観測は、極域における超高層物理現象の解明に大きな役割を担っている。オーロラヒスの発生に関する波動としての諸特性の多くは、これまでの南極昭和基地における観測から明らかにされた (NISHINO and TANAKA, 1969; TANAKA *et al.*, 1970, 1976)。また、オーロラヒスには 2 つのタイプが存在し、これらの発生とオーロラの空間位置との関係も統計的に解析された (巻田・福西, 1973)。このような観測に加え、オーロラヒスの到来方向を測定 (Direction Finding, DF) することは、その発生、伝搬を議論するうえに重要な要素であり、1978 年、昭和基地を中心に約 20 km 離れた 3 点でオーロラヒスの伝搬時間差を測定する DF 法を用いた観測が実施された (西野・平沢, 1981)。この DF 法では、3 点間の伝搬時間差がオーロラヒスの波形の相互相関を演算することによって求められる点が特徴である。VLF 局電波 (17.8 kHz) を受信して方位角較正した結果、この DF システムは、入射角 20–70 度の範囲では方位角、入射角とも約 10 度の測定精度となり、従来の電磁界解析法を用いた DF 法 (TANAKA, 1972; TSURUDA and HAYASHI, 1975) に比べ高精度測定が可能になった。本時間差法 DF による観測結果のうち、オーロラブレイクアップ時に発生する impulsive な広帯域オーロラヒスの到来方向は、オーロラ発光領域の中で活動的な部分とよい一致を示す結果が得られた (NISHINO *et al.*, 1981)。

本論文は 1978 年、昭和基地における DF 観測結果のうち、地磁気変化の静穏時に、比較的発光強度の弱いオーロラアークにともなり狭帯域オーロラヒス (≤ 20 kHz) を対象に、まず、典型的な DF 観測結果を示し、これらの観測結果の統計から狭帯域オーロラヒスの到来方向の特性を記す。次に、昭和基地 (geomag. lat. -70.0° , long. 79.4°) とそこから磁南方向に約 270 km 離れたみずほ基地 (geomag. lat. -72.3° , long. 80.6°) とで同時に受信されたオーロラヒスの強度測定値と DF データとの関連を調べ、その電離層透過における伝搬特性を考察する。

2. 狭帯域オーロラヒス DF 観測結果

狭帯域オーロラヒスは昭和基地の磁南方向で比較的発光強度の弱いオーロラアークにともなわれて観測されることが多い。このようなオーロラヒスの DF 観測結果を、オーロラ全天写真および昭和、みずほ基地の 8 kHz オーロラヒス強度と対比して以下に示す。

2.1. July 30, 1978 (図 1)

オーロラは昭和基地の磁南南東方向の水平線上で位置を変えず弱く、わずかに光度を変えて光っていた。この間、昭和基地では間欠的に、みずほ基地では連続してオーロラヒスが観測された。昭和基地で測定されたオーロラヒスの到来方向は、21 時 07 分 (UT) (図 1a 中, 1, subevent 1) では磁南方向の入射角 $45\sim 55$ 度 (図 1b 中, 1), 21 時 12 分 (UT) (図 1a 中, 2, subevent 2) では入射角 $40\sim 70$ 度を示す (図 1b 中, 2). オーロラヒスの電離層透過口の高さを 100 km と仮定すると, オーロラヒスは昭和基地よりもみずほ基地 (図 1b 中, MI) に近い電離層から降下したことになり, みずほ基地の方が昭和基地よりもオーロラヒスの強度は強い (図 1a). 図 1b から明らかなように, オーロラヒスの電離層透過口はオーロラ発光領域よりも低緯度側に位置している。

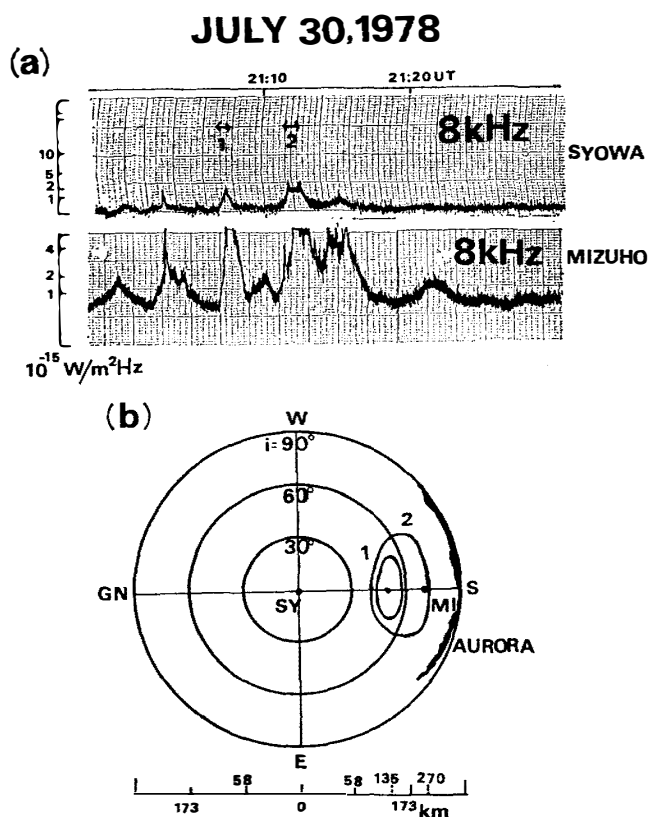


図 1 1978 年 7 月 30 日 21–22 時 (UT) の観測結果, (a) 昭和基地とみずほ基地のオーロラヒス 8 kHz 強度, (b) オーロラヒスの到来方向

Fig. 1. Temporal evolution of observed results at 21–22 h UT, July 30, 1978. (a) Hiss intensity at 8 kHz at Syowa and Mizuho Stations. (b) Estimated arrival direction of auroral hiss at $5\text{--}8\text{ kHz}$.

2.2. July 5, 1978 (図 2)

図 2c の全天写真から, オーロラは昭和基地の磁南方向で発生し, 発光強度の比較的強い

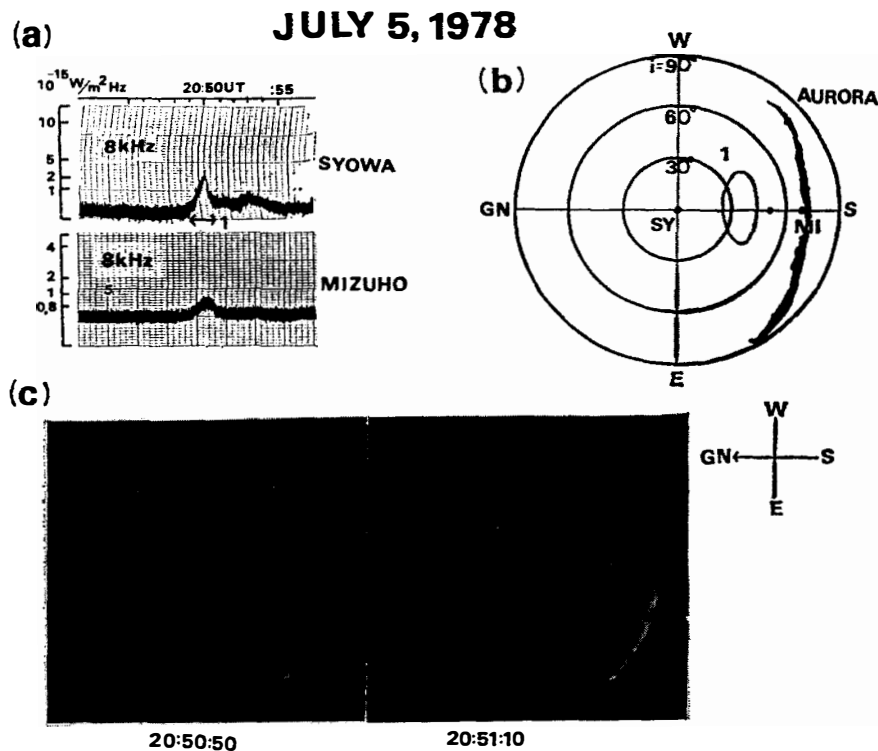


図 2 1978 年 7 月 5 日 20-21 時 (UT) の観測結果. (a) 昭和基地とみずほ基地のオーロラヒス 8 kHz 強度, (b) オーロラヒスの到来方向, (c) オーロラの全天写真
 Fig. 2. Temporal evolution of observed results at 20-21 h UT, July 5, 1978. (a) Hiss intensity at 8 kHz at Syowa and Mizuho Stations. (b) Estimated arrival direction of auroral hiss at 5-8 kHz. (c) All-sky photographs of aurora.

領域が 20~30 秒の短時間で東から西へと広がっている. この時, 持続時間 2 分程度のオーロラヒスが昭和基地とみずほ基地で同時に観測された (図 2a). このオーロラヒスの到来方向は, 磁南の入射角 20~45 度を示す (図 2b). すなわち, 電離層透過口の位置は昭和とみずほの中間点 (入射角約 53 度) より昭和基地側にあり, 昭和基地のオーロラヒス強度は, みずほ基地のそれよりやや強い (図 2a). この event においてもオーロラヒスの電離層透過口は, オーロラ発光領域よりも低緯度側に位置している.

2.3. September 3, 1978 (図 3)

オーロラは, 昭和基地の磁南方向の水平線上で位置を変えず, 弱く光ったり消えたりしていた. この間, オーロラヒスは昭和, みずほ基地とも連続して観測され, オーロラの出没に同期して, その強度が変動した (図 3a). 昭和基地における 8 kHz オーロラヒスの強度記録の各ピークを 4 つの subevent に分けて DF 結果を図 3b に示す. また, 図 4 に両基地で得られたオーロラヒスのダイナミックスペクトルを示す. Subevent 1 では, オーロラヒスの到

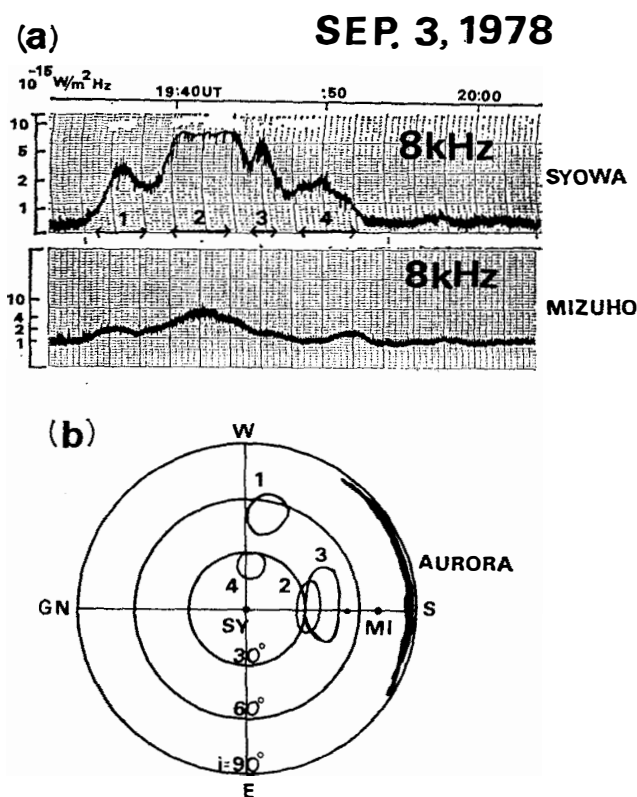


図 3 1978 年 9 月 3 日 19-20 時 (UT) の観測結果. (a) 昭和基地とみずほ基地のオーロラヒス 8 kHz 強度, (b) オーロラヒスの到来方向

Fig. 3. Temporal evolution of observed results at 19-20 h UT, September 3, 1978. (a) Hiss intensity at 8 kHz at Syowa and Mizuho Stations. (b) Estimated arrival direction of auroral hiss at 5-8 kHz.

来方向は磁西の入射角 40~65 度を示し、電離層透過口はみずほ基地より昭和基地側に近い位置を示す。したがって昭和基地におけるオーロラヒスの強度はみずほ基地のそれより強い。このことは図 4 のスペクトルにおいても昭和基地の方がみずほ基地よりも濃く現れている。この subevent 1 は、19 時 37 分頃から、そのスペクトルの低周波数域が 5 kHz まで広がり、19 時 38 分頃に終わる。Subevent 2 は subevent 1 が終わる頃から発生し、その到来方向は昭和基地の磁南方向の入射角 20~40 度を示す。すなわち、subevent 2 のオーロラヒスの電離層透過口は昭和基地側に近く位置し、昭和基地でのオーロラヒス強度はみずほ基地のそれよりも強い。19 時 44 分頃には subevent 2 のオーロラヒスの発生は終わるが、その後、ひき続いて subevent 3 のオーロラヒスが subevent 2 の到来方向よりもやや磁南方向の中間点より昭和基地側から現れ、その強度は、やはり昭和基地の方がみずほ基地より強い。19 時 47 分頃から subevent 4 のオーロラヒスが発生し、その到来方向は昭和基地の磁西方向の頭上

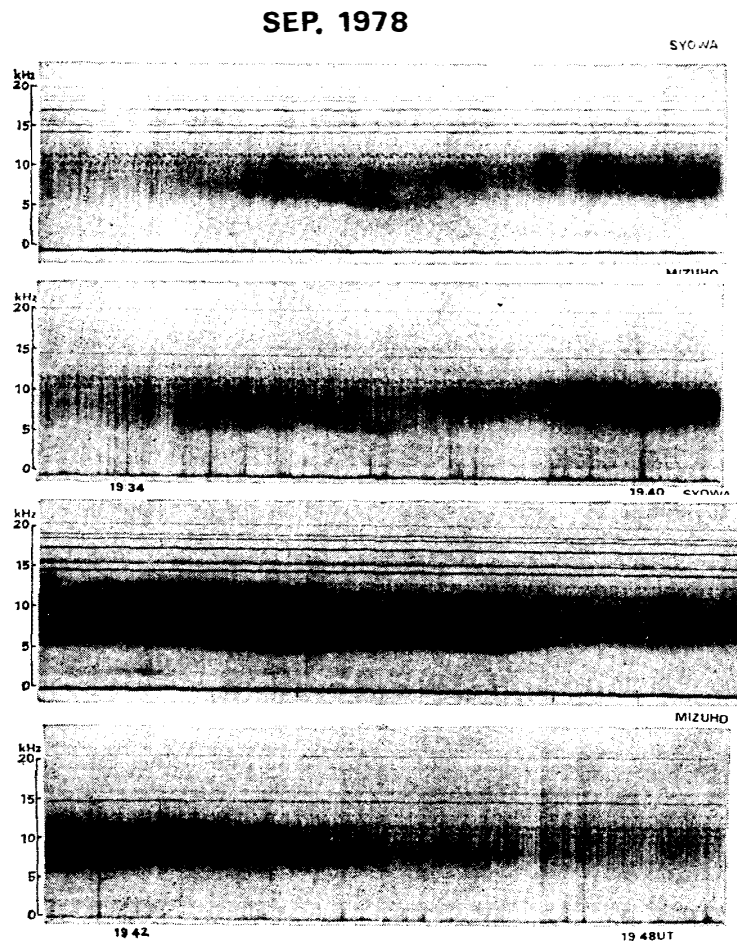


図 4 昭和基地とみずほ基地で観測されたオーロラヒスのダイナミックスペクトル, 1978年9月3日 19-20時 (UT)

Fig. 4. The frequency-time spectra of auroral hiss observed at Syowa and Mizuho Stations at 19-20 h UT, September 3, 1978.

を示す。昭和基地では、その強度は上昇するが、みずほ基地では、その強度上昇はほとんど見られない。19時52分頃、みずほ基地のオーロラヒス強度に若干の上昇が見られるがこれに対応する上昇は昭和基地では見られない。Subevent 4 以後のオーロラヒスの透過口はみずほ基地周辺またはその極側と考えられる。以上、この event においても、オーロラヒスの電離層透過口はオーロラ発光領域よりも低緯度側に位置し、昭和基地の頭上近くにくることもある。

2.4. June 28, 1978 (図 5)

20時10分前後、オーロラは昭和基地の磁南方向の水平線近くで、位置を変えず弱く光っ

ていた。しかし、その後上空は曇り、オーロラ全天写真は得られていない。20 時頃から 20 時 40 分過ぎまで間に欠けて発生したオーロラヒスのうち、強度の強い発生を 5 つの subevent に分けて (図 5a), それぞれの到来方向を図 5b に示す。Subevent 1 のオーロラヒスは昭和基地では持続時間数分以内で弱く観測され、その到来方向は昭和基地の磁北の入射角 $30\sim 50$ 度を示す。すなわち、このオーロラヒスの電離層透過口はみずほ基地より遠く離れ、みずほ基地では観測されていない。22 時 29 分頃、impulsive な subevent 2 のオーロラヒスが昭和基地の磁北の入射角 $30\sim 40$ 度の方向から観測される。その後、22 時 32 分頃から数分間以上 subevent 3~5 の強いオーロラヒスが昭和、みずほ基地で同時に観測されている。これらのオーロラヒスの到来方向は初め磁北方向を示すが、subevent 4 ではその到来方向は磁東方向に移り、最後の subevent 5 では、その到来方向は磁南方向の入射角 $30\sim 55$ 度を示す。以上の event においてもオーロラヒスの電離層透過口はオーロラ発光領域よりも低緯度側に

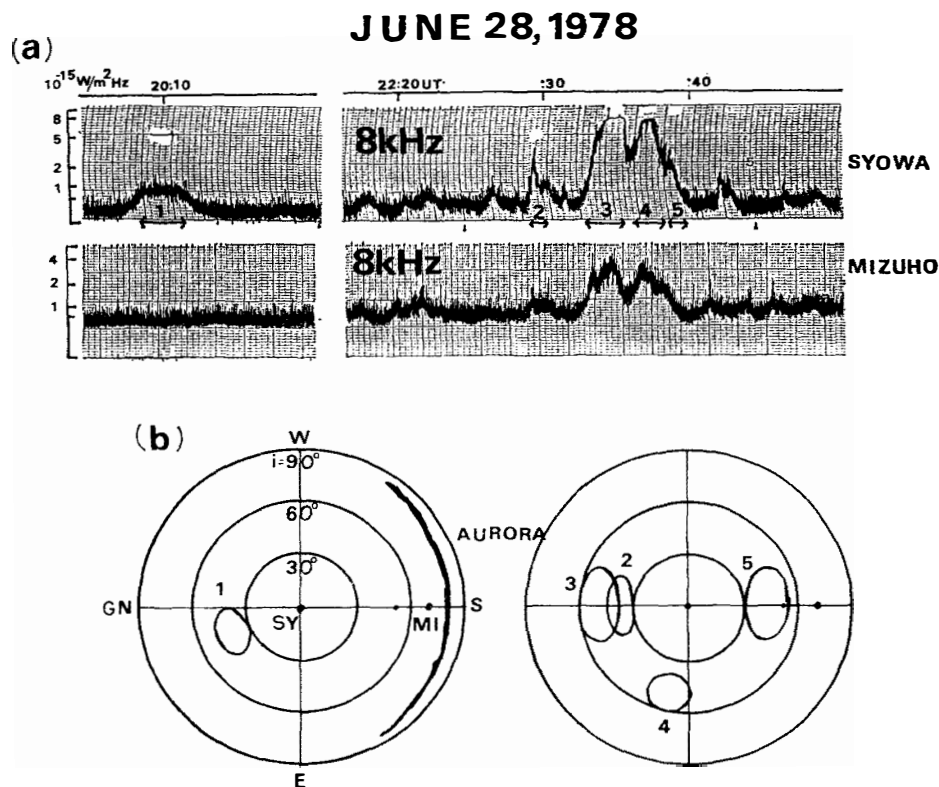


図 5 1978 年 6 月 28 日 20-23 時 (UT) の観測結果。(a) 昭和基地とみずほ基地のオーロラヒス 8 kHz 強度, (b) オーロラヒスの到来方向

Fig. 5. Temporal evolution of observed results at 20-23 h UT, June 28, 1978. (a) Hiss intensity at 8 kHz at Syowa and Mizuho Stations. (b) Estimated arrival direction of auroral hiss at 5-8 kHz.

位置することが認められる。しかし、到来方向が昭和基地の磁北側にある点は、これまで記した3つの観測結果と異なる。

3. 狭帯域オーロラヒスの到来方向の特性

前節の DF 観測結果においては、昭和基地の磁南方向 200~300 km 以遠に出現する弱いオーロラアークにともなわれて発生する狭帯域オーロラヒスの電離層透過口の位置は、オーロラ発光領域より低緯度側にあることを示した。図6は、このような観測結果 20 例を集めた統計結果を示す。横軸の距離は、オーロラ発光領域とオーロラヒスの電離層透過領域（中央の位置）との間の距離を示す。ここでオーロラの発光位置は、オーロラの発光高度を 100 km と仮定すると全天写真では昭和基地を中心に半径約 1100 km（入射角約 85 度）の距離まで撮影されるものとして求めた。また解析した 20 例のオーロラはすべて昭和基地の磁南方向約 200 km 以上はなれた領域に位置している。図6から両者の距離は 300~500 km のものが多いとわかる。つまり、狭帯域オーロラヒスの電離層透過口の位置は、地球磁力線に沿って約 100 km の高さまで降下するオーロラ電子によって生起されるオーロラの発光位置より 300~500 km 低緯度側にあることが多い。このことは、オーロラヒスの電離層上層部までの伝搬路が地球磁力線から離れることを示唆している。

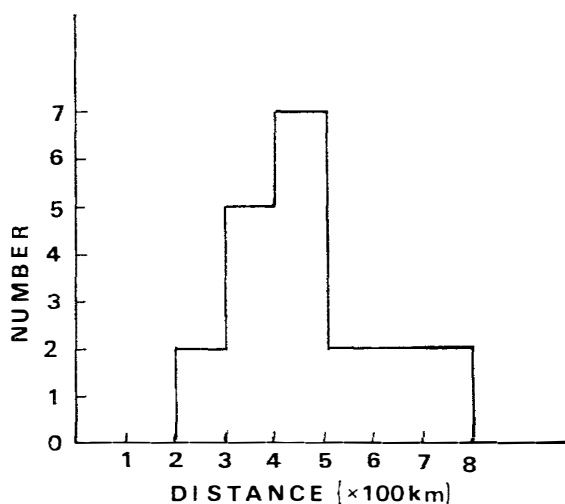


図6 高度 100 km におけるオーロラヒスの電離層透過口とオーロラ発光領域との間の距離の発生頻度分布

Fig. 6. Histogram of the distance between the central position of the exit region of auroral hiss and the location of auroras at the ionospheric height of 100 km.

次に、狭帯域オーロラヒスの電離層透過口の位置の分布を図7に示す。この統計は、昭和基地の地磁気子午線方向で求められたDFデータが用いられた。実線は透過口の領域の中央位置に対する分布を示し、点線は透過口の領域の広がりを含めた分布を示す。この図では、昭和基地で観測される狭帯域オーロラヒスの電離層透過口の位置は、昭和基地の磁南方向200 km 以内の領域に多いことを示す。ところで、本DF解析では、背景雑音に対するオーロラヒスの強度比 (S/N) の点から、昭和基地における8 kHz ヒスの強度がおよそ 10^{-15} W/m² Hz 以上のものを選んでDF解析を行っている。つまり、昭和基地から遠く離れた領域から到来するオーロラヒスを検出する割合が小さくなる。したがって、本DFシステムで観測できる範囲は昭和基地を中心にある距離内に限られる。しかしながら、図7で示すごとく、昭和基地の磁南方向200 km 以内の領域で透過口の位置の頻度が高いということは、少なくとも、狭帯域オーロラヒスの電離層透過口の位置は昭和基地の磁南側に多いことを意味する。

図8は、狭帯域オーロラヒスの透過領域の入射方向の広がり大きさの頻度分布を示し、電離層高100 km の高さでの大きさで表されている。透過口の広がりには1つ1つの subevent ごとに集計されたものである。この図から、狭帯域オーロラヒスのそれぞれの subevent における電離層透過口の広がりには100 km 以内のものが多く、平均(図中・印)で78 km になる。ところで、この広がりには、DF測定における測定誤差が含まれる。したがって、上

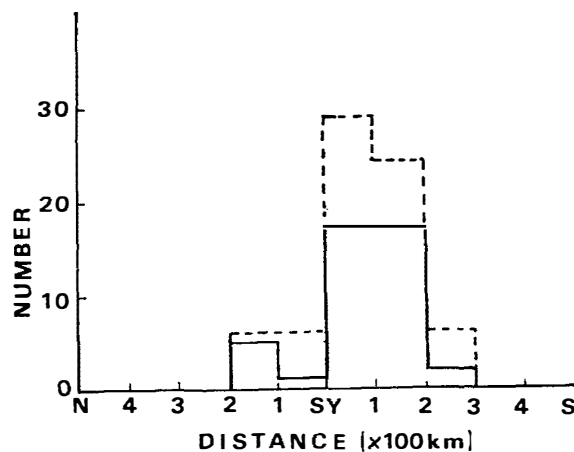


図7 昭和基地の子午線方向で求められたオーロラヒスの電離層透過口の位置分布。実線は透過口領域の中央位置の分布、点線は透過口領域を含めた分布を示す。

Fig. 7. Histogram of the exit region of auroral hiss. Solid lines show the histogram for the central position of the exit region, and broken lines show the histogram containing the spread of the exit region.

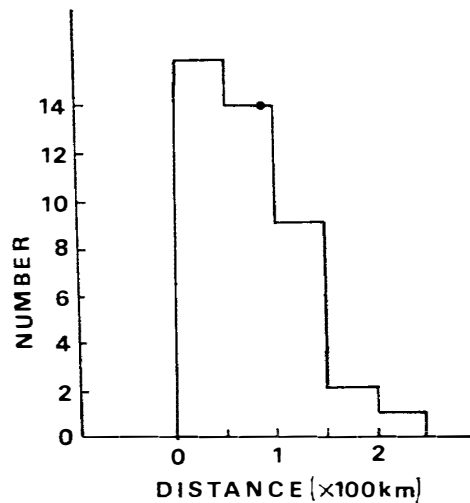


図 8 昭和基地の子午線方向で求められたオーロラヒスの、電離層透過口の入射角方向の広がりの頻度分布。黒点は平均値を示す。

Fig. 8. Histogram of the incidental spread of the exit region. A spot represents the average value.

記大きさは真の広がりではない。しかし、もし、昭和基地の磁南方向約 200 km 以内の領域に、数十 km 以上の有限の大きさを持った波が地上に到来すれば、DF システムの 3 点間（間隔は約 20 km）でオーロラヒス波形の相互相関は得られないと考えられる。本 DF 解析では 3 点間の相互相関があったもののみを解析しているので、図 8 で記したオーロラヒスの透過口の広がりには、もっと小さく局所化された透過口が、subevent の継続時間の中に時間的に移動したものの集合と解釈される。

4. 電離層透過口の位置と昭和、みずほ基地の

オーロラヒス 8 kHz 強度比との関係

地上で観測されるオーロラヒスは、電離層の上層に垂直に近い角度で入射した波が電離層内を下降し、電離層下端で大きく屈折して電離層下部を透過し、地上に到来する波である。本節では、電離層下部の透過で受ける減衰特性を知るために、DF 観測で得られたオーロラヒスの電離層透過口の位置と、昭和、みずほ基地で観測されたオーロラヒス 8 kHz 強度比との関係を調べる。

図 9 は、電離層高 100 km と仮定した時の透過口の位置と、昭和、みずほ基地で同時に観測された 8 kHz 強度比 (dB) との関係を示す。解析されたデータは昭和基地の地磁気子午線方向で求められた DF データである。図中の横線は subevent ごとの透過口の広がりを

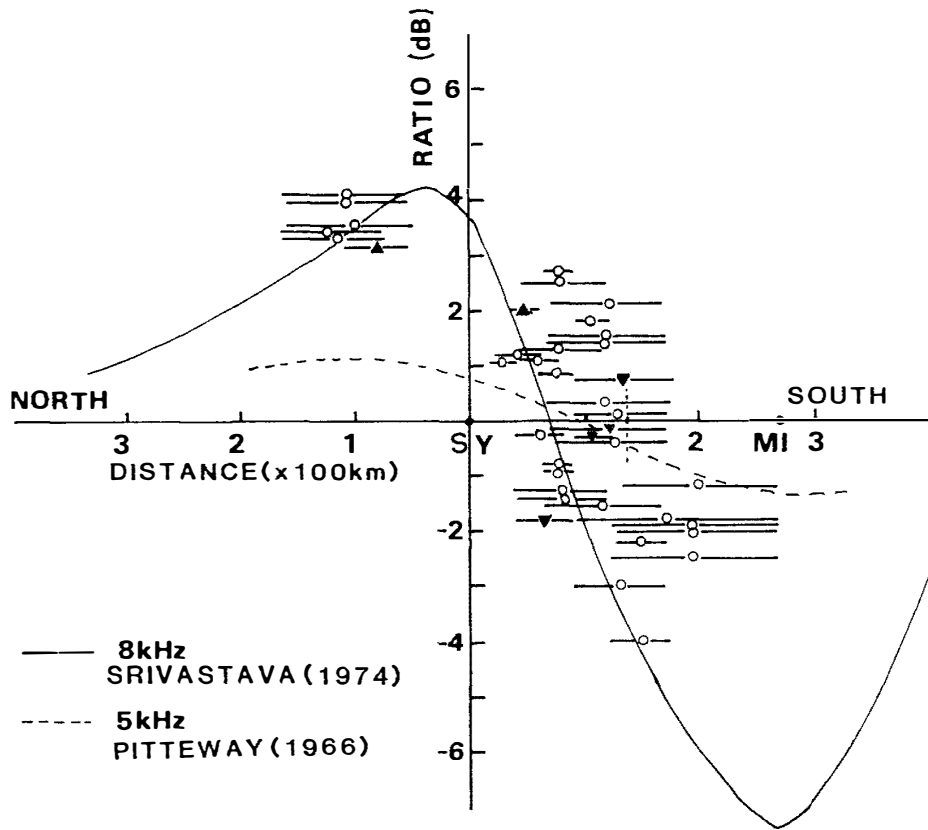


図 9 昭和基地の子午線方向で求められたオーロラヒスの電離層透過口の位置と、昭和、みずほ基地のオーロラヒス 8 kHz の強度比との関係。横線は透過口領域の広がりを示し、記号は広がりの中点位置を示す。○印は正しい強度比であるが、▲印は昭和基地の強度記録が飽和し、▼印はみずほ基地の強度記録が飽和している比である。点線は図 11 の電離層モデル (a) を用いた数値計算から求められた透過係数の両基地のエミッタンス方向の比、実線は図 11 の電離層モデル (b) を用いた数値計算から求められた absorption の両基地のエミッタンス方向の比。

Fig. 9. Relation between the position of the exit region of auroral hiss and the ratio (SY/MI) of 8 kHz hiss intensity observed at Syowa to that at Mizuho. Horizontal bars indicate the spread of the exit region, and each mark located at the center of the bars indicates that the mark ○ represents the normal ratio, the mark ▲ represents the ratio for the saturation on 8 kHz intensity record at Syowa, and the mark ▼ for that at Mizuho. A broken curve indicates the ratio of the transmitted wave emerging towards Syowa to that towards Mizuho below the ionosphere, calculated from the full wave method by using the lower ionospheric model (a) shown in Fig. 11. A solid curve indicates the ratio of the total absorption at the angle of the transmitted wave emission towards Syowa to that towards Mizuho, calculated from the WKB method by using the lower ionospheric model (b) shown in Fig. 11.

示し、その中央位置に強度比を表す記号が記されている。○印は正常な強度比を示すが、▼印はみずほ基地の強度が飽和したので、実際の強度比はより小さくなる。逆に▲印は昭和基地の強度が飽和したので、実際の強度比はより大きくなる。ここでは両基地で観測されたヒス強度は、それぞれの到来入射角で補正され入射方向の強度に換算されてある。一見したところ、昭和基地の磁北側から到来したオーロラヒスの強度は、明らかに昭和基地の方がみずほ基地より大きい。一方、磁南側では、昭和基地とみずほ基地の中間点より昭和基地側において、強度比は 3 dB ~ -2 dB の間に分散している。また中間点からみずほ基地側では明らかにみずほ基地の方が昭和基地よりその強度は大きい。昭和基地から中間点までの間の強度比の分散は、昭和基地頭上近辺における DF 測定の分解能低下に起因するものと考えられるが、全般的にみて、強度比は右下がりの傾向を示すことは明らかである。また、その傾きは、平均的には 2~3dB/100 km を示す。すなわち、オーロラヒスが電離層を下降し、電離層下部で受ける透過方向の伝搬における減衰率は、地上水平距離で表して 2~3 dB/100 km となる。

ホイッスラ波の電離層透過に関しては、SRIVASTAVA (1974) が WKB 法で、電離層下端からの射出角(垂直からの角度)に対する吸収を計算している。また、PITTEWAY and JESPERSEN (1966) は full wave 計算法で、電離層射出角に対する波の透過係数を計算している。彼等の計算結果では、射出角が大きいほど、吸収が大きい、あるいは透過係数は小さくなる。彼等の計算結果を用いて、今、図 10 に示すようにホイッスラ波が電離層に突入して下端で屈折して両基地へ伝搬する場合に、透過点から両基地への吸収の比、あるいは、透過係数の比を計算すると図 9 に示す曲線になる。これらの曲線はいずれも昭和基地の磁北側約 100 km か

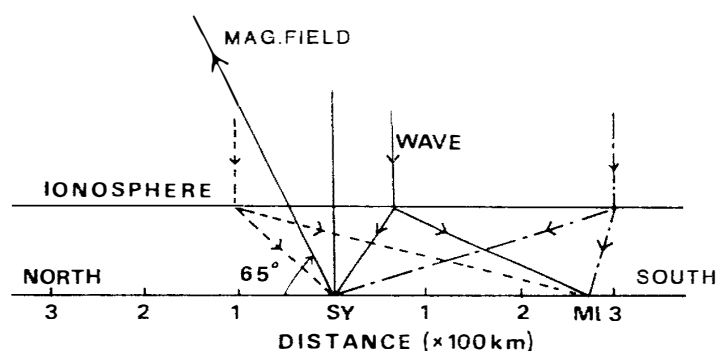


図 10 電離層上層へ突入したオーロラヒスが電離層下端から昭和、みずほ基地へ伝搬することを示す模式図

Fig. 10. Schematic diagram for the propagation paths from the lower ionospheric points to Syowa and Mizuho Stations.

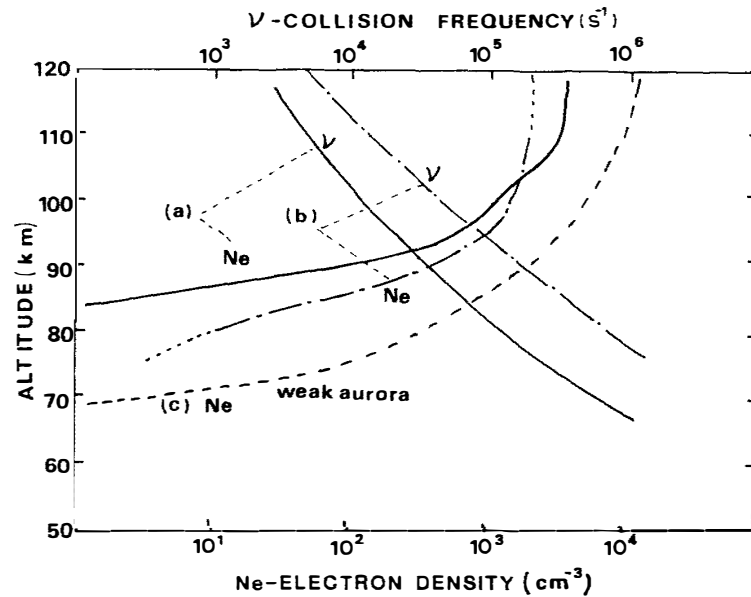


図 11 ホイッスラ波の電離層透過の数値計算に用いられた電離層モデル (a), (b) (電子密度 N_e と実効衝突回数 ν)、(c) は、昭和基地で weak aurora が現れた時の平均的な電子密度高度分布。

Fig. 11. Electron density and collision frequency profile, (a) and (b), versus altitude used for the numerical study of the VLF wave propagation in the lower ionosphere. The broken curve (c) indicates the average electron density profile in the case when weak aurora appears.

らみずほ基地までの間では右下がりの傾向を示す。しかし、これらの計算結果は、計算手法が異なること、また、用いた電離層モデル (図 11 の (a) (b)) 地磁気伏角等のパラメータが異なるため、勾配の傾きに対する計算結果と観測結果の比較の議論は困難である。昭和基地において、冬期、夜間、weak aurora が出現する時の電子密度は、これまでのロケット観測のデータ (平沢・永田, 1980) から平均的に図 11 の点線 (c) のような電子密度高度分布が求められている。この分布を用いて、オーロラヒスの電離層透過の計算を行い、観測結果との比較を行うことが今後の課題である。

5. 観測結果のまとめと検討

これまで記したオーロラヒスの DF 観測結果、到来方向の特性、電離層下部での透過特性を総合すると、地磁気変化静穏時に昭和基地で観測される狭帯域オーロラヒスは図 12 で描かれるような伝搬モデルをとるものと考えられる。オーロラヒスは電離層より高いある高度で地球磁力線に沿ったダクトから離れ、非ダクト伝搬で電離層上層に下降する。電離層上層

(~200 km) では狭い transmission cone (約 ±5 度) 内に入射した波だけが小さく屈折しながら電離層内を透過し、電離層下端でさらに大きく屈折して、地上の観測点まで伝搬する。昭和基地で観測される狭帯域オーロラヒスは、昭和基地の頭上から磁南方向 200 km 内の電離層から透過してくるものが多く、これらの狭帯域オーロラヒスは、みずほ基地上空から磁南方向の水平線上までの領域で光るオーロラアークにとまなわれている。すなわち、狭帯域オーロラヒスの電離層透過口は、一般に、オーロラアークより低緯度側(磁北側)に位置し、両者の距離は 300~500 km であることが多い。また、狭帯域オーロラヒスの電離層下端で

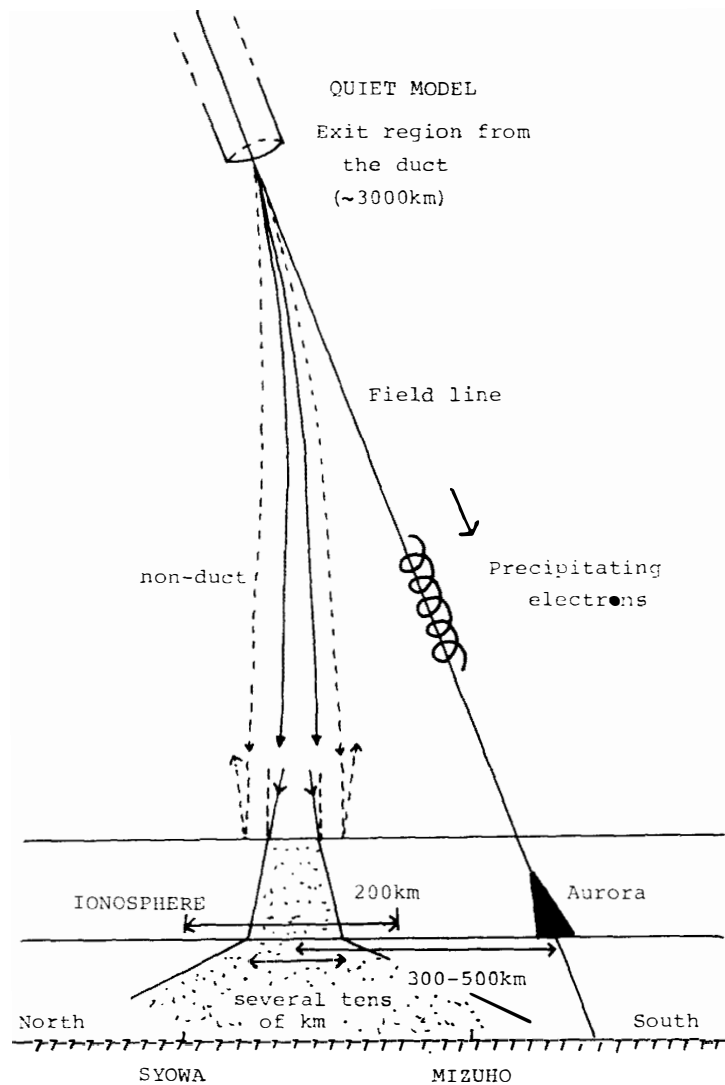


図 12 昭和基地で観測される狭帯域オーロラヒスの伝搬モデルの模式図

Fig. 12. Schematic diagram for the propagation of the narrow-band auroral hiss observed at Syowa Station.

の大きさは数十 km 以内であると推定される。電離層下端から放射されたオーロラヒスは地上の観測点まで、地上水平距離に換算して 2~3 dB/100 km の減衰率で伝搬する。

MAKITA (1979) は、極軌道の ISIS 衛星と地上との同時 VLF 波観測の結果から、ISIS 衛星が昭和基地の真上 1400 km を通った時、衛星と地上でのオーロラヒスのスペクトルが類似する観測結果を得た。この事実から、昭和基地と磁力線で結ばれた約 3000 km の高度でオーロラヒスが磁力線に沿ったダクトを出て、非ダクト伝搬で下降する ray paths を静穏時夜間のモデルを用いて計算した。その結果、地上で観測されるオーロラヒスの電離層突入領域の位置は電離層上層の磁力線の foot point から 300~400 km 低緯度側に位置することを示した。この ray paths の計算結果は、本 DF 観測で得られた結果と定性的に一致する。

オーロラヒスの電離層透過に関しては、DF 観測と、昭和、みずほ基地の 8 kHz ヒス強度比との関係から、電離層下部におけるオーロラヒスの伝搬特性を述べ、SRIVASTAVA および、PITTEWAY 等の数値計算と比較した。これらの数値計算結果は、前述したごとく、計算に用いられる電離層モデル等の問題点があるが、基本的にはホイッスラ波が平面波で電離層下端の 1 点から透過することが前提である。

長野他 (1980, 1981) は、VLF 波の電離層透過に関して、従来の平面波の取り扱いではオーロラヒスの地上受信強度の空間分布を説明することは困難であると考え、電離層の 110 km の高さで Gaussian beam 波源を仮定し、この beam 波の電離層透過を full wave 計算した。その結果の 1 つとして、高度 110 km で約 25 km の分散をもつ主軸方向 0° の 5 kHz ビーム波は、地上に透過すると、主ビーム方向を中心にフラックス強度が 1/2 になる広がり約 30 km になると報告した。この結果では、地上の強度の水平距離に対する減衰率は、本観測結果よりも大きいので、入射 Gaussian ビーム波の幅はもっと小さくなるものと思われる。

極域における VLF 波の電離層透過に関する観測結果として、TSURUDA *et al.* (1980) の、Siple 信号の地上での多点観測がある。その結果では VLF 波の電離層透過後の伝搬ロスが地上距離で 25~30 dB/1000 km となり、我々の結果とほぼ一致している。

SRIVASTAVA (1976) は、College と同じ子午線上の約 600 km 離れた観測点とのオーロラヒス同時観測結果から、600 km 離れると 2 点間で相関のないオーロラヒスが観測されることを報告した。我々の昭和とみずほ基地の 270 km 離れた 2 点観測の結果を見ても、図 3 の Sep. 3 の 19 時 48 分頃の subevent 4 以後と、図 5 の June 28, 20 時 10 分前後の強度の弱い subevent は両基地で相関のない現象である。

以上、昭和基地で観測される狭帯域オーロラヒスに関して、DF 観測結果をもとに、電離層上層の伝搬、電離層透過における特性について考察した。今後、昭和基地におけるロケット観測データ、電離層データ、地磁気変化データ等を用いて、オーロラヒスの伝搬モデル計算を行い、観測結果を明確に説明することが課題である。

6. 結 言

1978 年昭和基地で行ったオーロラヒスの DF 観測の結果から、地磁気変化静穏時に観測される狭帯域オーロラヒスの到来方向の特性を得た。さらに、DF 観測結果と、昭和、みずほ基地における 8 kHz ヒス強度比とを比較することによって、オーロラヒスの電離層下端より地上への伝搬の減衰率を推定した。今後、昭和基地のロケット観測データ、電離層データ、地磁気変化データ等を用いたモデル計算を行って、オーロラヒスの伝搬モデルの確立を目指す。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、昭和基地、みずほ基地での観測に従事された第 19 次南極地域観測隊隊員の協力を厚く感謝する。

本研究に対し常々御理解を示されご助力と激励を頂いた国立極地研究所永田武所長、名古屋大学空電研究所岩井章教授、大津仁助教授、鎌田哲夫助教授に対し厚く御礼を申し上げます。

文 献

- 平沢威男・永田 武 (1980): オーロラ粒子流入に伴う極域電離層電子密度の変化. 第 67 回日本地球電磁気学会講演予稿集, 東京, 日本地球電磁気学会, 195.
- 巻田和男・福西 浩 (1973): 昭和基地における VLF エミッション観測 (1970~1971) I. オーロラヒスとオーロラ. 南極資料, 71, 15-43.
- MAKITA, K. (1979): VLF-LF hiss emissions associated with aurora. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Ser. A (Aeronomy), 16, 126 p.
- 長野 勇・満保正喜・山川秀雄 (1980): Gauss beam 波源による VLF 帯ヒスの地上空間強度. 第 3 回極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム講演要旨, 東京, 国立極地研究所, 1.
- 長野 勇・満保正喜・吉沢重雄・山岸久雄・木村磐根 (1981): Gaussian beam 波源による VLF 帯の Full wave 計算. 第 4 回極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム講演要旨, 東京, 国立極地研究所, 6.
- NISHINO, M. and TANAKA, Y. (1969): Occurrence of VLF emissions at Syowa Station. Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), 35, 37-51.

- 西野正徳・平沢威男 (1981): 極地におけるオーロラヒス放射の到来方向測定. 南極資料, **71**, 15-43.
- NISHINO, M., TANAKA, Y., IWAI, A. and HIRASAWA, T. (1981): A new direction finding technique for auroral VLF hiss based on the measurement of time differences of arrival at three spaced observing points. *Planet. Space Sci.*, **29**, 365-375.
- PITTEWAY, M. L. V. and JESPERSEN, J. L. (1966): A numerical study of the excitation, internal reflection and limiting polarization of whistler waves in the lower ionosphere. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **28**, 17-43.
- SRIVASTAVA, R. N. (1974): Propagation of VLF emissions in the magnetosphere and the ionosphere. *Planet. Space Sci.*, **22**, 1545-1564.
- SRIVASTAVA, R. N. (1976): VLF hiss, visual aurora and geomagnetic activity. *Planet. Space Sci.*, **24**, 375-379.
- TANAKA, Y., NISHINO, M. and IWAI, A. (1970): VLF hiss at Syowa Station, Antarctica. *Proc. Res. Inst. Atmos., Nagoya Univ.*, **17**, 43-56.
- TANAKA, Y. (1972): VLF hiss observed at Syowa Station, Antarctica-I, Observation of VLF hiss. *Proc. Res. Inst. Atmos., Nagoya Univ.*, **19**, 33-62.
- TANAKA, Y., HAYAKAWA, M. and NISHINO, M. (1976): Study of auroral hiss observed at Syowa Station, Antarctica. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. A (Aeronomy)*, **13**, 58 p.
- TSURUDA, K. and HAYASHI, K. (1975): Direction finding technique for elliptically polarized VLF electromagnetic waves and its application to the low-latitude whistlers. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **37**, 1193-1202.
- TSURUDA, K., MACHIDA, S., TERASAWA, T., NISHIDA, A. and IKEDA, M. (1980): Multi-station VLF observation in Quebec. *Highlights of the Japanese IMS Program, November, 1980*, 115-121.
- (1981年8月6日受理, 1981年9月19日改訂稿受理)