

# 電子ビーム放射による地上の電磁界強度の予測と観測

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-12-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00049399">https://doi.org/10.24517/00049399</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



電子ビーム放射による  
地上の電磁界強度の予測と観測

(研究課題番号 01540349)

平成元年度～平成2年度科学研究費補助金(一般研究C)  
研究成果報告書

平成3年3月

研究代表者 長 野 勇

(金沢大学工学部教授)

# 電子ビーム放射による地上 の電磁界強度の予測と観測

(研究課題番号 01540349)

平成元年度～平成2年度科学研究費補助金(一般研究C)

研究成果報告書

電算番号

8000-12807-1

平成3年3月

研究代表者 長野 勇

(金沢大学工学部教授)

	目次	頁
1.	はしがき	1
2.	謝辞	4
3.	研究組織	4
4.	研究費内訳	4
5.	研究成果リスト	5
6.	研究成果	8

## 1. はしがき

宇宙空間で電子ビームを超低周波（VLF）で変調すると、放射されるVLF電波の効率、低域ハイブリッド周波数付近で、理論上100%近い事が報告され、理学と工学の両面にわたって注目を浴びてきた。これに伴って、スペースシャトルの再開後、NASA、ESA 及びISAS（文部省宇宙科学研究所）は、SEAC（粒子加速器による宇宙実験）を再度試み、電子ビーム放射実験を行う予定である。このような電子ビームからの電磁波放射実験の成否は、地上でのVLF電波の検出にかかっているが、放射及び伝搬の両理論面からのサポートは十分とは言えない。本研究では、宇宙空間で数kHzで変調された電子ビームによって放射されたVLF波が下部電離層を経由して地上に到達するとき、その電磁界強度分布を、ビームアンテナをダイポールアンテナとして、波動論的解析法（Full wave法）を用いて定量的に計算し、飛翔体と地上との立体観測に貢献する。このような、宇宙空間での変調ビームアンテナによる、VLF波の放射実験に成功すれば、地上の大規模なVLF送信機に代わって、宇宙からVLF送信が容易に行える可能性があり、工学的な利用が増加するものと期待され

る。

以上述べた研究を遂行するにあたり、次のような研究課題を設定し、研究を実施した。

- (1) 変調電子ビームアンテナをビーム電流とビーム長の積のダイポールアンテナとみなし、電離層中に置かれたアンテナからの放射の問題として、波動論的数値計算法 (Full wave法) により、それによる大地上の電磁界強度をSEPAC実験のパラメータを用いて予測する。
- (2) 予測された電磁界強度を観測するための装置を設計・製作し、信号対雑音比を調べるため、それと同時に日本近郊のVLF波のノイズレベルの測定を行なう。

最終結果としては、電離層中に置かれたダイポールアンテナから放射されるVLF波の地上での電磁界強度を計算するプログラムの開発に成功し、SEPAC実験装置で放射される5kHzで変調された電子ビーム (10mA)、予想されるビーム長 (100km) の値 (表1、図1の電離層モデル) を用いて計算された大地上のVLF電磁界強度結果は図2のようになった。大地上のVLF波の雑音は約0dBであったので、電子ビームによる大地上のVLF電磁波は、約20dBのS/Nで、約半径200kmの円内で観測可能であることが分かった。

本研究に関係する (関連の理論及び関連の観測) 学会発表論文は10件、研究会資料4件、口頭発表10件であり、宇宙空間からのVLF放射に関する研究に貢献出来たものと信じている。

研究代表者 金沢大学工学部  
長野 勇

表 1 full wave 計算に用いたパラメータ

周波数	5kHz
ジャイロ周波数	1.24MHz
磁気伏角	43度
full wave 計算の範囲	70km-200km
電離層の分割数	39層
ダイポールモーメント	$10^3 \text{Am}$
水平ダイポールアンテナの高度	150km
大地の導電率	$10^{-3} \text{S/m}$
大地の比誘電率	10
$S_x$ の分割数 (N)	60
$S_y$ の分割数 (M)	60
$\sqrt{S_x^2 + S_y^2}$ の積分範囲	<2
平面波の数	45213

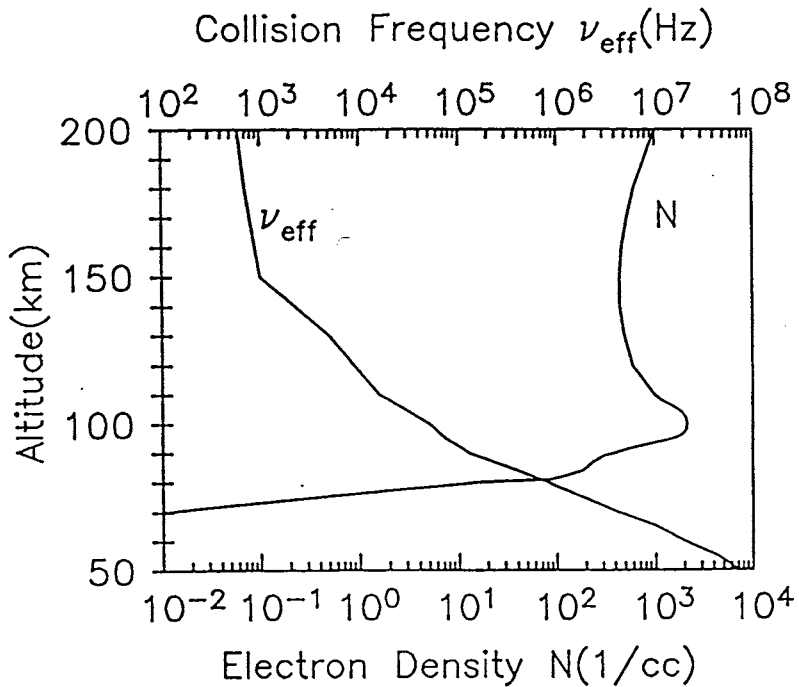


図 1 電離層の night モデル

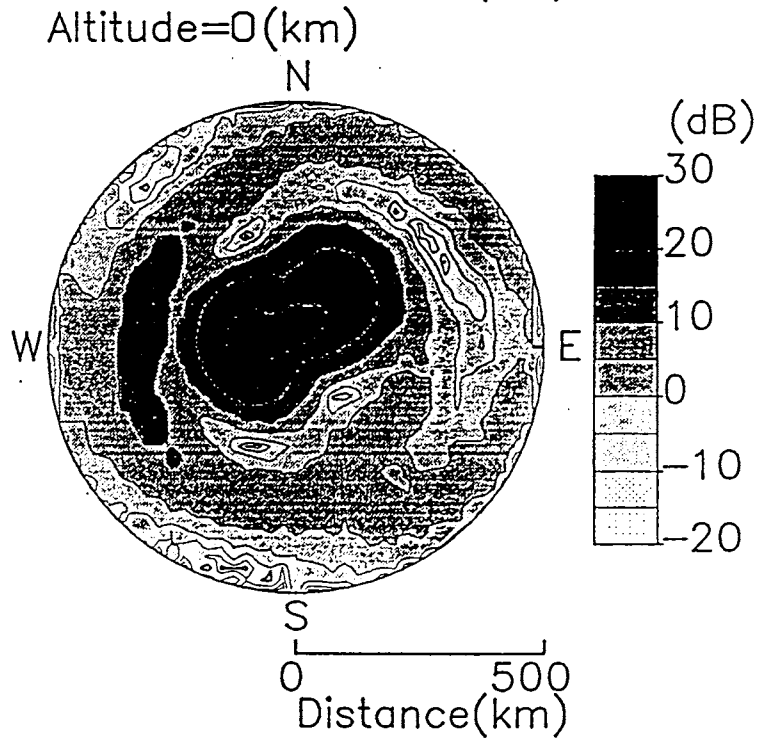
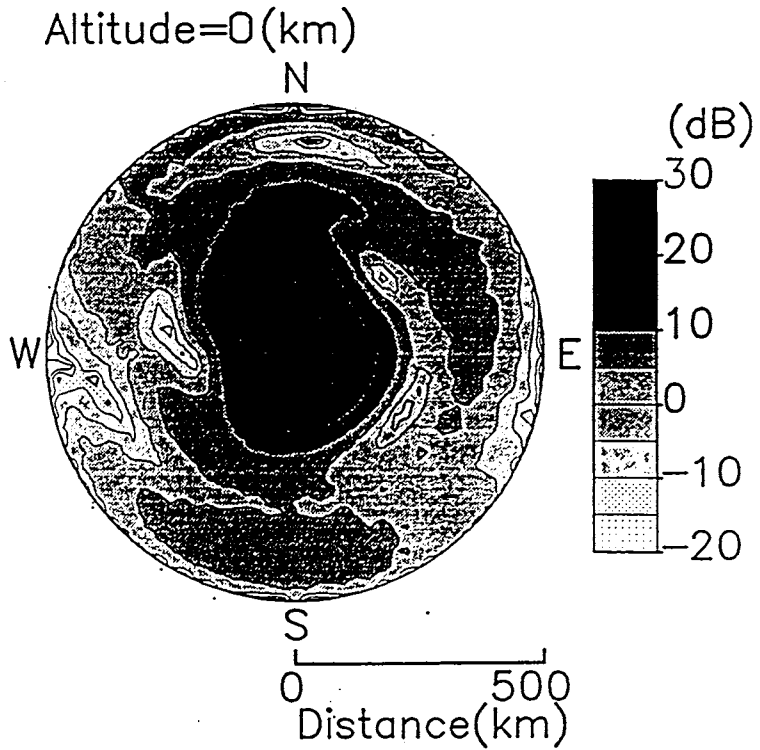


図2 高度150kmで鉛直方向にビーム電流が10mA、ビーム長が100kmとして、周波数5kHzで交調されている場合、地上の磁界強度 ( $Z_0 H$ ,  $0\text{dB}=1\mu\text{V/m}$ ) 分布を計算したものである。上図は東西方向の磁界成分、下図は南北方向の磁界成分を示している。地上における自然界のノイズレベルは約0dBである。

## 2. 謝辞

本研究の遂行を可能にした文部省科学研究費補助金事業に対し謝意を表す。本研究は宇宙科学研究所が計画したSEPAC (Space Experiments with Particle Accelerations) を理論的にサポートするために開始されたものであり、関係者との討論や資料の提供がなければ出来なかったであろう。関係各位に深く感謝の意を表します。VLFの観測に関する技術的な資料は、EXOS-D衛星のVLF班で得たものが多く、京都大学 木村磐根教授、富山県立大学 岡田敏美助教授、東京電機大学 橋本弘蔵教授に謝意を表します。また、数値計算では、博士課程 八木谷 聡君、修士課程 北岸陽一君の補助が不可欠であった。お礼を申し上げます。最後に、出版、論文の作成の図面の清書に協力を惜しまなかった金沢大学 森田慎一郎技官に感謝する。

## 3. 研究組織

研究代表者 長野 勇  
(金沢大学工学部教授)

研究分担者 満保 正喜  
(金沢大学工学部教授)

ボール・A・ローゼン (平成2年度)  
(金沢大学自然科学科助手)

水野 英一 (平成2年度)  
(金沢大学工学部助手)

## 4. 研究費内訳

平成元年度 1,500千円

平成2年度 500千円

合計 2,000千円



## 5. 研究成果リスト

### (1) 発表論文

1. S.Yagitani, I.Nagano, I.Kimura and M.Mambo : Full wave analysis of whistler mode waves excited by circularly polarized spherical waves incident from below, Proceedings of ISAP '89, 2D3-4, pp489-492, 1989
2. 長野 勇、岡田敏美、井上良彦、牧野将美、満保正喜 : 電波吸収法による電子温度と中性大気温度比及びD層電子密度の測定、宇宙科学研究所報告、26、pp.49-62, 1990
3. 山本正幸、木村馨根、長野 勇、橋本弘蔵、岡田敏美、林 幹治、澤田 晃、伊藤嘉彦、軒内栄一、岸 洋司、笠原禎也 : あけぼの (EXOS-D) 搭載 V L F 装置による初期観測結果、宇宙科学研究所報告、25号、pp.63-73, 1990
4. T.Okada and I.Nagano : Rocket experiment of VLF and MF radio wave measurement by using a signal loop antenna, Trans.of IEICE, E.73, 2, pp.237-244, 1990
5. I.Kimura, K.Hashimoto, I.Nagano, T.Okada, M.Yamamoto, T.Yoshino, H. Matsumoto and K.Hayashi : VLF observations by the Akebono (EXOS-D) satellite, J.Geomag.Geolectr., 42, pp.459-478, 1990
6. I.Kimura, A.Wong, B.Chouinard, T.Okada, M.Mccarrick, I.Nagano, K.Hashimoto, R.Wuerker, M.Yamamoto and K.Ishida : Satellite and ground observations of HIPAS VLF modulation, Geophys. Res. Lettrs., 18, 2, pp.309-312, 1991
7. K.Hashimoto, I.Nagano, T.Okada, M.Yamamoto and I.Kimura : Antenna vector impedance measurement by the EXOS-D ( AKEBONO ) very low frequency plasma wave instrument (VLF), Geophys.Res.Lettrs., 18, 2, pp.313-316, 1991
8. M.Yamamoto, Y.Ito, Y.Kishi, A.Sawada, I.Kimura, I.Nagano, E.Kennai, T.Okada and K.Hashimoto : k Vector measurements of VLF signals by

the satellite EXOS-D, Geophys. Res. Lett., 18, 2, pp.325-328, 1991

9. 長野 勇、北岸陽一、八木谷 聡、満保正喜、木村馨根：ダイポール波源による電離層上部のVLF電磁界マッピング、電子情報通信学会誌、J74-B-11、No.5、1991（印刷中）
10. 長野 勇、木村馨根、岡田敏美、山本正幸、橋本弘蔵、鶴田浩一郎、川口正芳、杉森明志：EXOS-DのEMI測定、宇宙科学研究所報告（印刷中）

## (2)研究会資料

1. 北岸陽一、八木谷 聡、長野 勇、満保正喜、木村馨根：ダイポール波源による電離層上部の電磁界マッピング、電子情報通信学会アンテナ・伝搬研究会、A・P89-78、1991
2. 軒内栄一、高田正人、長野 勇、木村馨根、澤田 晃、山本正幸、岡田敏美：あけぼの衛星で観測されたWhistlerの緒特性、電子情報通信学会アンテナ・伝搬研究会、A・P89-81、1991
3. 磯崎栄一、木村馨根、長野 勇：異方性層状ウォームプラズマ中における静電波・電磁波のモード変換の数値解析、電子情報通信学会アンテナ・伝搬研究会、A・P89-77、1991
4. 長野 勇、北岸陽一、八木谷聡、満保正喜、木村馨根：電離層中のダイポールアンテナによる大地上のVLF波強度の計算、電気学会電磁界理論研究会、平成3年5月（発表予定）

## (3)口頭発表

1. 八木谷 聡、長野 勇、大村善治、松本 紘：不均質プラズマにおけるComputer SimulationとFull wave計算法との比較、第85回地球電磁気・地球惑星圏学会、宇宙科学研究所、平成元年5月
2. 長野 勇、饗庭 貢、牧野将美、岡田敏美：ロケット誘雷による磁界強度スペクトラムの測定、第85回地球電磁気・地球惑星圏学会、宇宙科学研

究所、平成元年5月

3. 湯上和之、長野 勇、満保正喜、岡田敏美：オーロラ発生に伴う自然電波の衛星及びロケットによる同時観測計画、平成元年度電気学会北陸支部、平成元年10月
4. 木村磐根、A.Wong、岡田敏美、山本正幸、長野 勇、橋本弘蔵：AKEBONO衛星によるHIPAS-VLF波動共同実験、電子情報通信学科全国大会、平成2年3月
5. 長野 勇、軒内栄一、山本正幸、木村磐根、岡田敏美、橋本弘蔵：あけぼの衛星で観測されたWhistlerの緒特性、
6. I.Nagano,E.Kennai,I.Kimura,M.Yamamoto,T.Okada,H.Hashimoto : Some characteristics of Whistlers observed by the AKEBONO satellite,1990 Western Pacific Geophysics Meeting, Kanazawa,1990
7. S.Yagitani,I.Nagano,Y.Omura and H.Matsumoto : Particle simulations of wave propagation in a Nonuniform plasma, 1990 Western Pacific Geophysics Meeting, Kanazawa,1990
8. Y.Kitagishi,S.Yagitani,I.Nagano M.Mambo and I.Kimura : Mapping of intensity in the ionosphere for signals excited by a ground based VLF transmitter,1990 Western Pacific Geophysics Meeting, Kanazawa, 1990
9. 八木谷 聡、長野 勇、大村善治、松本 紘：不均質プラズマ中における電磁波による静電振動の励起、平成2年度電気学会北陸支部、平成2年10月
10. 岡田敏美、長野 勇、湯上和之：極域電離層内における自然VLF及びオメガ電波の観測、第88回地球電磁気・地球惑星圏学、大宮、平成2年11月
11. 長野 勇、北岸陽一、八木谷聡：極域の氷上ダイポールアンテナによるELF波の磁気圏尾部伝搬、第89回地球電磁気・地球惑星圏学、八王子、平成3年4月（予定）