

遠距離船上観測用長波受信システムの開発

北内英章¹、土屋茂²、伊東宏之²、今村國康²、長妻努¹、野崎憲朗³

¹独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究所 宇宙環境インフォマティクス研究室

²独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究所 時空標準研究室

³宇宙技術開発株式会社

Development of LF on board receiving system for long range propagation

Hideaki Kitauchi¹, Shigeru Tsuchiya², Hiroyuki Ito², Kuniyasu Imamura², Tsutomu Nagatsuma¹ and Kenro Nozaki³

¹*Space Weather and Environment Informatics Laboratory, Applied Electromagnetic Research Institute (AERI),
National Institute of Information and Communications Technology (NICT)*

²*Space-Time Standards Laboratory, AERI, NICT*

³*Space Engineering Development Co., Ltd.*

Alternative onboard receiving system for LF standard frequency was assembled and evaluated since JARE53 expedition cruise. Omni-directional receiving system consisting of a crossed loop antenna and lock-in-amplifier achieved sensitivity of $10 \mu\text{V/m}$ which is enough to receive Japanese Standard Frequency (JJY) signals in the Antarctic Ocean.

はじめに

長波電波の伝搬特性は ITU-R によって標準化が進められ (ITU-R Rec. P. 684-5, 2009)、長波標準電波 (Kurihara, 2003) の電界強度を測定して、伝搬距離 4000km までの近・中距離については測定値と波線法による計算値に比較的よい一致が得られた (Wakai et al., 2006, Nozaki et al., 2009)。測定システムを南極観測船「しらせ」に搭載して 10000km を越える距離変化を測定する試みが続けられているが、伝搬距離が増大するにつれ、ノイズと信号の分離、アンテナの耐久性に課題が生じて測定システムを再構築した (Tsuchiya et al., 2010)。新しい測定システムの評価を進めているが、53 次南極観測で得られた結果を中心に報告する。

直交ループアンテナ

ループアンテナは仰角による特性の変化が無く、直交したループアンテナの信号を合成すると全方位にわたる安定した受信特性の得られることがわかっており、各種測定に使われている。これまで使われてきた 3 軸直交ループアンテナを基に、エレメント基部に配置したバルンの防水を強化し、防水蓋を開ければいつでも浸水の有無を点検できる直交ループアンテナを試作した。試作したアンテナは 53 次南極観測の往復の航海で浸水は見られず、航海の前後で特性の変化は見られなかった。

アンテナ単体では全周にわたり 0.2dB 以下の安定した方位特性があるが、「しらせ」甲板上に搭載して 54 次訓練航海で JJY 送信局近くを航海したときに方位特性を測定したところ、6dB の感度の変化が生じ、前後方向に感度のピークがある。「しらせ」の南極航路ではほぼ大圏コースに沿って航海するので測定値に一定レベルのオフセットがかかる可能性があり、船体を考慮したアンテナ特性のシミュレーション等の検討をする必要がある。

ロックインアンプシステム

国内での測定で使用したバンド幅 200Hz の標準型受信機は電界強度の測定下限が約 $30 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ であり、信頼できる距離変化特性は 4000km 程度が限界であった (Nozaki et al., 2009, Tsuchiya et al., 2010)。ロックインアンプはローパスフィルタのカットオフ周波数を変えて等価的にバンド幅を変えることができる。等価バンド幅を 0.2Hz に設定したところ、システムノイズレベルを $10 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ 以下に押さえ、JJY 送信局から 14000km 離れた南極海でも日変化を測定することができた。受信システムのバンド幅を狭める、あるいはアンテナを大型化すると高感度化が期待できる。

バンド幅を狭めると標準電波の秒信号は平均化されてしまい、正確な電界強度を得るには測定値に秒信号の時間率に応じた係数をかける必要がある。54 次訓練航海時の実測で 40kHz では 3dB の係数を得た。船が航行すると受信信号には距離変化に対応した位相角の回転が生じるが、等価バンド幅 0.2Hz のロックインアンプ受信システムは巡航速度では位相角の変化に同期した測定を行う能力が確認された。

考察

日本から赤道を越え、10000km を越える南極海域まで安定した電界強度の測定が可能になった。アンテナから入力される信号には目的とする標準電波以外に空電、寄港地近くの都市雑音が混入しており、標準電波と雑音を分離することが遠距離測定には必要である。2007年の測定では標準電波の秒信号に着目し、信号の自己相関係数の1秒成分の有無で識別した(Nozaki et al., 2009, Tsuchiya et al, 2010)。今回受信バンド幅を狭める方式を採用したが、スペクトルの広がり狭い標準電波受信には有効な方法である。南極昭和基地ではJJYが米国や英国の標準電波局とほぼ同じ距離になってしまい、標準電波間の識別技術を開発する必要がある。送受信間の距離が増大するにつれ、標準電波もフェージングを起こし、受信信号レベルに揺らぎが発生する。信号の揺らぎを解析することにより、雑音成分を分離して目的とする標準電波の信号レベルを推定できる可能性がある。

尚、本研究は総務省との委託契約「南極地域観測事業における電離層観測」に基づいて実施、発表しています。

References

Kurihara, N., "5-3 JJY, The national standard on time and frequency in Japan," Jour. NICT, Vol.50, Nos. 1/2, pp.179-186, 2003.

Nozaki, K., Tsuchiya, S., Imamura, K., Maeno, H., Nagahama, N., Umetsu, M., and Wakai N., "Propagation experiments and Prediction Method of LF standard frequency waves," IEICE Trans. Comm., Vol. J92-B, No. 12, pp. 1832-1843, 2009.

Recommendation ITU-R P. 684-5, "Prediction of field strength at frequencies below 150 kHz," ITU, 2009.

Tsuchiya S., Imamura K., Ito H., Maeno H., Kubota M., and Nozaki K., "Prediction method and proof measurement of LF standard frequency wave," Vol, 57., Nos. 3/4, pp.103-116, 2010.

Wakai, N., Kurihara, N., Otsuka, A., Imamura, K., and Takahashi, Y., "Wintertime survey of LF field strengths in Japan," Radio Sci., Vol.41, No.5, RS5S13, pp.1-7, Sep./Oct. 2006.