

# 氷結したサロマ湖における海中電磁波伝搬の基礎検討

## Fundamental study of electromagnetic wave propagation in the sea at frozen Saroma lake

加藤涼介<sup>†</sup> 高橋応明<sup>†</sup> 吉田弘<sup>‡</sup> 石井望<sup>\*\*</sup> 陳強<sup>\*\*\*</sup>  
 Ryosuke Kato Masaharu Takahashi Hiroshi Yoshida Nozomu Ishii Quang Chen

<sup>†</sup>千葉大学 Chiba University    <sup>‡</sup>海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology    <sup>\*\*</sup>新潟潟大 Niigata University    <sup>\*\*\*</sup>東北北大 Tohoku University

### 1. はじめに

近年、地球温暖化が与える北極圏への影響の調査や北極海の豊富な海底資源の探索に使用するための無線通信技術が求められ、その技術に使用する無線通信媒体として、電磁波が注目されている[1].

本報告では、海表面が氷結した環境における電波を利用した海中測位システムの基礎検討として、冬のサロマ湖における海中電波の伝搬試験結果とシミュレーション結果を比較し、同環境における電波の伝搬に対する考察を述べる.

### 2. 実測環境

実測環境の概観を図 1(a)に、断面図を図 1(b)に示す. 実測環境は北海道のサロマ湖であり、海面上の波の影響を排除するため、2月の氷の張った湖上にて実測を行った. サロマ湖にはオホーツク海の水が絶えず流入しているため、疑似的な海として考えることができる[2]. 海水の比誘電率は約 80, 導電率 $\sigma$ は約 2.5 S/mである. 氷上に送信用のループアンテナ(990 mm × 330 mm × 60 mm), 海中 4.0 m に受信用のハーフシース付きダイポールアンテナ(2.0 m)を配置し、送信アンテナの位置を図 1(b)における x 軸の正方向に移動させながら、各地点における受信電力を計測した. 動作周波数は 10 kHz と 100 kHz である.

### 3. 解析モデル

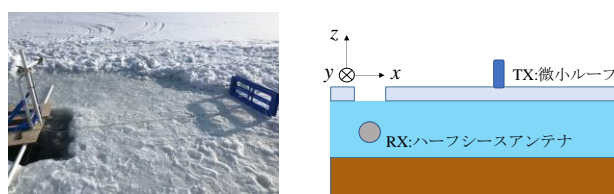
シミュレーションに用いた解析モデルを図 2 に示す. 解析モデルは自由空間, 氷層( $\epsilon_r = 100$ ,  $\sigma = 0.1$  S/m), 海水( $\epsilon_r = 80$ ,  $\sigma = 2.5$  S/m), 海底( $\epsilon_r = 30$ ,  $\sigma = 0.5$  S/m)の4層から構成されている. 氷上に送信アンテナ, 水深 4.0 m の位置に受信アンテナを配置し、共に 2.0 m のダイポールアンテナとした. 送信アンテナの形状が実測と異なっているが、計算時間の都合上、ループアンテナを使用した解析は困難である. そのため、受信される偏波が解析モデル上において同様かつ解析が容易であるダイポールアンテナを用いることとした. 送信アンテナは受信アンテナの直上から x 軸正方向に 1.0 m 間隔で配置を変え、それぞれの地点における受信電力を算出した. 動作周波数は実測同様、10 kHz と 100 kHz であり、解析手法は FDTD 法を使用した.

### 4. 実測値と解析値の比較

実測値と解析値の比較のグラフを図 3 に示す. 本報告では、氷層及び海水による電波の減衰傾向について解析を行ったため、図 3 のグラフは送信アンテナが受信アンテナの真上にある時の受信電力強度(RSS)をもとに正規化してある. 図 3 において、10 kHz, 100 kHz ともに、実測値と解析値がアンテナ間距離 40 m 付近まで同様の減衰傾向を示している. この結果より、様々な外因が存在する実際の海中での電波の伝搬に関して、誘電率と導電率が均一な簡易モデルで十分解析可能であることがわかった.

### 5. まとめと今後の展望

今回の実測により、海中の電波伝搬に関して、海面上の波のない環境であれば、簡易的なモデルで十分再現可能であることが示唆された. 今後の課題として、実用化のための妥当なアンテナの作製、海面上の波の影響をどう処理するかに関する検討を行っていく予定である.



(a) 概観 (b) 断面図

図 1 実測環境

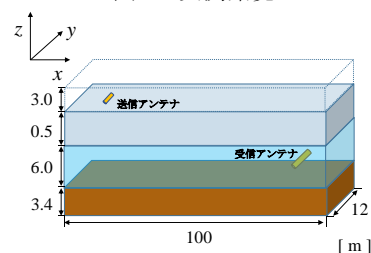
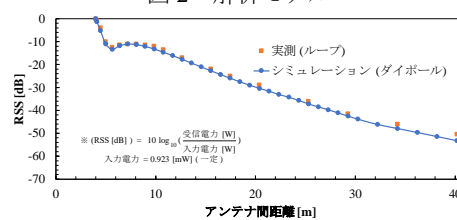
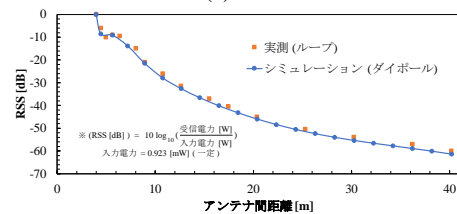


図 2 解析モデル



(a) 10 kHz



(b) 100kHz

図 3 RSS とアンテナ間距離の関係

#### ・参考文献

- [1] 陳強, 高橋応明, 石井望, “電波の海中応用へのアプローチ”, 信学技報, AP2016-92, pp.25-28, Sep. 2016.
- [2] 白澤邦男, 藤芳義裕, 前川公彦, “サロマ湖の水理および海水環境”, 月刊海洋号外海水生態系, 号外 30, pp.50-61, Aug. 2002.