

# 海中電波伝搬損失計算法の検討

## Study on Closed Form of Propagation Loss in Seawater

佐藤脩太郎 許双悦 佐藤弘康 陳強

Shutaro Sato Shuangyue Xu Hiroyasu Sato Qiang Chen

東北大学 工学部

School of Engineering, Tohoku University

東北大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Tohoku University

### 1. まえがき

海上救難活動の支援，海中における資源探査，センシングネットワークの構築において，海中電波の利用が期待されている．これまでの研究では，海中の伝搬損失を評価するために全波解析の電磁界シミュレーションを使用しており，長い計算時間が必要であった．本報告では，海中伝搬損失の計算を解析式と実測をハイブリッドした手法により行ったので報告する．

### 2. 受信電力の解析法

図1に示すように水平偏波の微小ダイポールが深さ  $z_t$  に置かれている場合について考える．このとき，深さ  $z_r$  の海中における電界の解析式は直接波，反射波，ラテラル波それぞれ

$$E_{d\phi}^h = -\frac{Il}{4\pi\sigma} e^{-jkr} \left( -\frac{k^2}{r} + \frac{jk}{r^2} + \frac{1}{r^3} \right) \quad (1)$$

$$E_{r\phi}^h = R_{TE} \frac{Il}{4\pi\sigma} e^{-jkr_r} \left( -\frac{k^2}{r_r} + \frac{jk}{r_r^2} + \frac{1}{r_r^3} \right) \quad (2)$$

$$E_{l\phi}^h = \frac{Il}{\pi\sigma} e^{-jk(z_t+z_r)} \left( \frac{jk_0}{\rho^2} + \frac{1}{\rho^3} \right) \quad (3)$$

で表される[1]．ここで， $\sigma$ は海水の導電率， $k$ は海中における波数， $R_{TE}$ は海表面における反射係数であり  $R_{TE} \approx e^{-j2\theta_i}$ ， $\theta_i = \tan^{-1}\{\rho/(z_t+z_r)\}$ ， $r_r = \sqrt{\rho^2 + (z_t+z_r)^2}$ である．アンテナ間の距離が長い場合の受信電力の計算を以下の解析法で行った．図2に示すように，Step 1として，全波解析を用いてアンテナ間の距離が短い場合の受信電力を求める．Step 2として，解析式(1)-(3)を用いて距離が長い場合の電界を求め，Step 1で求めた受信電力でオフセットする．以上の手順により少ない計算時間で距離が長い場合の受信電力を求めることができる[2]．

### 3. 実験的検証

本解析法の妥当性を実験的に検証した．アンテナとして長さ  $2L=100$  mm，直径  $2a=3$  mm のダイポールアンテナを使用し，周波数は 40 MHz とした．実験で用いた海水の導電率は約 5 S/m であった．2つのアンテナ間距離を  $d$  とし，距離  $d$  を変化して受信電力の距離特性を測定した．測定結果を図3に示す．ここで，図中に示した理論値は，解析式の値を  $d=150$  mm における測定値でオフセットした値である． $d=150$  mm 以降は測定結果と理論値がよく一致した．しかし， $d=100$  mm 以下の近距離では測定結果と理論値にずれが生じた．これは，解析式ではアンテナを点波源としているためと考えられる．

### 4. まとめ

海中伝搬の受信電力を解析式により推定する方法を検討し，アンテナ長程度離れた距離の受信電力を用いることで推定可能であることを実験により確認した．

#### 参考文献

- [1] R. K. Moore and W. E. Blair, "Dipole Radiation in a Conducting Half Space," Journal of Research of the National Bureau of Standards-D., Radio Propagation, Vol. 65D, No.6, November-December 1961.
- [2] S. Xu, S. Sato, H. Sato, Q. Chen, "Researches on Antennas and Radio Propagation in Seawater," 伝送工学研究会, 2020年12月

#### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 20K04496 の助成を受けて行われた．

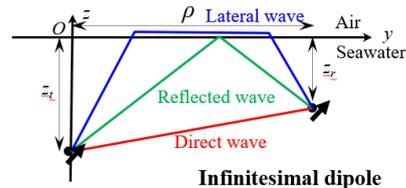


図1 海中電波伝搬のモデル

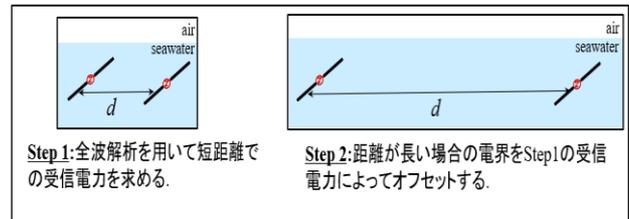


図2 受信電力の解析法

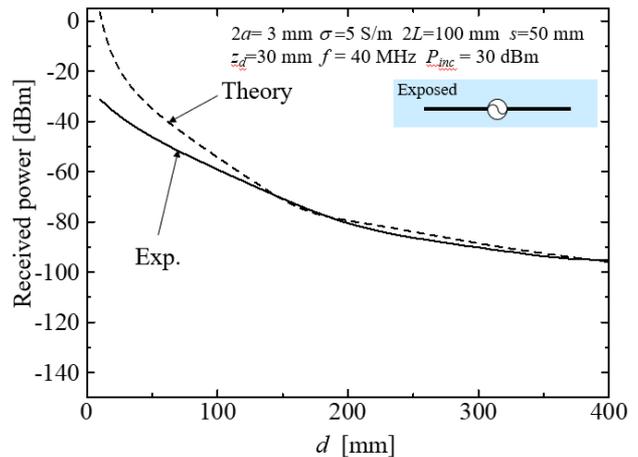


図3 受信電力の距離特性