

火山灰の誘電率導出に関する研究

著者 坂井 志帆

指導教員 川上 由紀

1. はじめに

噴火があったとき、遭難者を迅速に発見したい。そのためには遭難者の位置を迅速に把握する通信方法を確立する必要がある。しかし、無線通信に対して火山灰が及ぼす影響について明らかになっていない。

そこで無線通信に対して火山灰が及ぼす影響に着目する。火山灰が無線通信へ与える影響を明らかにするためには、火山灰の誘電率を明らかにする必要がある。そのため、本研究では火山灰の誘電率を求める方法を確立することを目的とする。

2. 技術概要

2.1 FDTD 法

Finite-Difference Time-Domain method 法 (FDTD 法) とは、電磁界解析の手法である。時間領域差分法ともばれている。電磁気の基本方程式であるマクスウェルの方程式を差分化 (Finite Difference) し、時間領域 (Time Domain) で解く方法である [1]。

2.2 火山灰

火山灰は、火山ガラス、岩石の破片、鉱物の結晶などが主に含まれている。噴出した火山によって主成分が変わってくる。火山灰の主成分はガラスの成分である二酸化ケイ素である。

2.3 電波の反射

図 1 に示すように電波がある媒質 1 から、異なる媒質 2 の境界面 (反射面) に到達すると、一部の電波は反射され、ほかの電波は屈折し媒質 2 へ進入する。

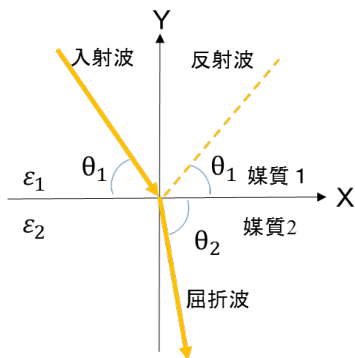


図 1 平面波の反射と屈折

入射波と反射波の比を反射係数といい、一般に複素数で $\Gamma e^{-j\phi}$ として表される。その絶対値は常に 1 より小さい。また、反射係数は電気定数、すなわち誘電率 ϵ 、透磁率 μ 、導電率 σ 、電波の波長 λ 、偏

波、入射角に依存する。この反射係数を表す式はフレネルの式と呼ばれる。フレネルの式は、垂直偏波 (入射面に対し電界が垂直な偏波) と水平偏波 (入射面に対し電界が平行な偏波) に対し (1), (2) 式で表される [2]。ここで ϵ_c は複素誘電率で (3) 式で表される。

垂直偏波に対して

$$\Gamma_v = \frac{\epsilon_c \sin \theta_1 - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta_1}}{\epsilon_c \sin \theta_1 + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta_1}} \quad (1)$$

水平偏波に対して

$$\Gamma_h = \frac{\sin \theta_1 - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta_1}}{\sin \theta_1 + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta_1}} \quad (2)$$

$$\epsilon_c = \epsilon - j60\sigma \lambda \quad (3)$$

Γ : 反射係数
 θ_1 : 入射角度

3. 提案する誘電率導出方法

本研究では、火山灰が無線通信に対して影響を及ぼす原因となる火山灰の誘電率を求める方法を確立することが目的である。

2.3 節で述べた電波の反射の仕組みを用いて誘電率を導出する。(1), (2) 式からわかるように、入射角度、反射係数が既知であれば誘電率を導出することができる。一例として、火山灰の主成分である二酸化ケイ素の誘電率 ($\epsilon=3.85$) を代入し、反射係数を求めたものを図 2 に示す。

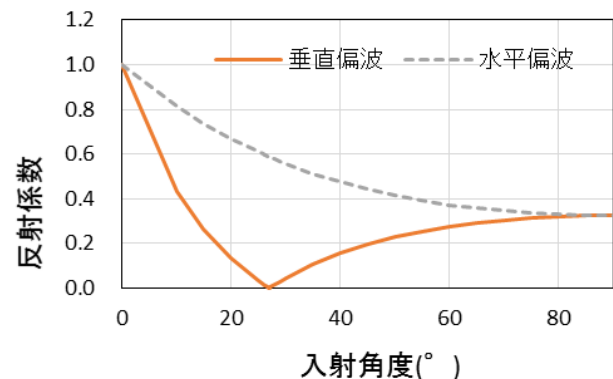


図 2 反射係数の計算結果

図 2 より、垂直偏波のとき、任意の入射角度において反射係数が 0 になることがわかる。反射係数が 0 であることを使うと式変形が容易になる。また、反射係数が 0 になるところは 1 つしかないので実際に測定する際にも容易にできる。そのため本研究では、反射係数が 0 になる条件下で誘電率を

求める。また、反射係数が 0 になるところは垂直偏波のみであるため、使用するのは(1)式とする。

次に、反射係数が 0 となる入射角度を明らかにする必要がある。実験だと、反射係数が 0 になる入射角度を発見することが難しい。またセッティングが大変である。そのため、FDTD 法という電磁界解析の手法を用いる。誘電率が既知であるものを用いて、反射係数が 0 となる入射角度を求める。本研究で、解析対象物は二酸化ケイ素とする。得られた結果を(1)式に代入し誘電率を導出できることを確認する。この提案手法で誘電率を導出することができる。よって、実際に実験で反射係数を求めることができる。実験で反射係数が 0 となる結果を得られることを確認するために、誘電率が既知である粉末を用いる。その後、(1)式に反射係数を代入し、誘電率を導出することができれば、火山灰でも同様の方法で、誘電率を導出できると考える。

4. 二酸化ケイ素の解析結果

電磁界解析のモデルを図 3 に示す。解析対象物に $10^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の角度 (θ_1) で平面波を入射する。平面波は垂直偏波とする。解析対象物は二酸化ケイ素である。また物質の大きさは、高さが 500 mm、縦横が 2000 mm である。解析結果より、各平面波で各セルの電場を足し合わせ、電場の値で検討を行う。解析対象物より上にある電場を使用する。平面波であり、垂直偏波であるため y 成分はすべて 0 になる。そのため y 成分は考えなくてよい。各セルには x, y, z の 3 つの成分が存在する。その中から反射波だけの部分を取り出すには、足し合わせる電場の x 座標が負、z 座標が正である必要がある。この両方の条件を満たす電場のみを取り出す。同じセルでも、片方の条件は当てはまるが、もう片方の条件が当てはまらないことがある。そのため、x 成分と z 成分を分けて計算を行い、その後計算結果を足し合わせる。足し合わせたものが、x+z 成分である。x+z 成分の電場の値が最小のものを反射が少くないとする。

図 4 に解析結果を示す。縦軸が足し合わせた電場の値で、横軸が入射角度である。図 2 の垂直偏波と図 4 の x+z 成分を比較する。入射角度が 10° 以下と 40° 以降のグラフの傾向が似ていることがわかる。理論上は、入射角度 27° のとき反射係数が 0 になる。しかし電磁界解析では、入射角度 20° のとき最小になってしまった。また、入射角度 30° と 40° のとき、グラフの傾向が異なる。全体の傾向は似ているが、反射係数が 0 になる角度に誤差がある。その原因がわかっていないため、検討をする必要がある。

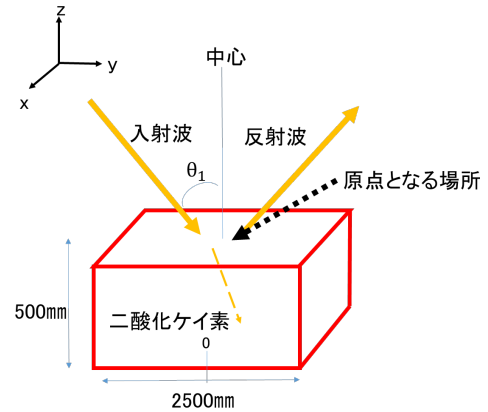


図 3 解析モデル図

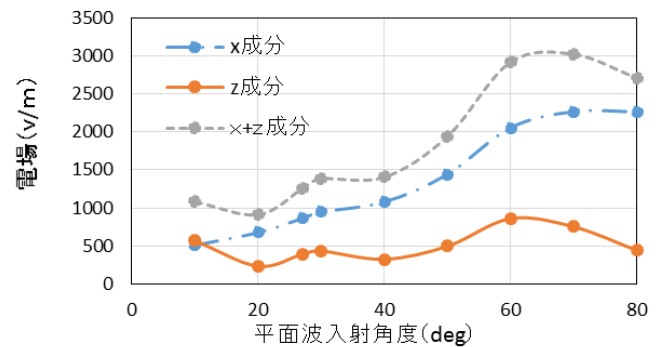


図 4 角度ごとの電場の和

5. おわりに

理論上では、電波の反射の式を用いて、誘電率を導出することができる。しかし、電波の反射の式を用いて算出した反射係数の理論値と、電磁界解析で得られた結果には誤差があることがわかった。よって、電磁界解析で行った方法を考え直す必要がある。電場を足し合わせる計算を簡単にしたことが原因の 1 つではないかと考える。また、実際に火山灰を用いて実験を行うことができれば、火山灰の誘電率を推定することができるのではないかと考える。

6. 今後の課題

実際に火山灰を用いて電磁界解析と同様な法で実験を行うことが課題である。理論上、電波の反射の式から、誘電率を導出することができる。そこで実際に火山灰を用いて実験を行う。反射係数がほぼ 0 となる入射角度を探し出し、(1)式に代入し誘電率を算出し、得られた値が火山灰の誘電率だと推定することができるのではないかと考える。

参考文献

- [1] 橋本 修, "実践 FDTD 時間領域差分法" pp. 2-3, 森北出版, 東京, 2006
- [2] 大友 功, 小園 茂, 熊澤 弘之 "ワイヤレス通信工学" pp. 55-56, 株式会社コロナ社出版, 東京, 1995