

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 14 日現在

機関番号：57102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04187

研究課題名（和文）ランダム媒質中の電磁波伝搬における交差偏波成分算定法の開発

研究課題名（英文）Development of analytical methods for cross-polarization components in electromagnetic wave propagation in random media

研究代表者

南部 幸久（Nanbu, Yukihisa）

有明工業高等専門学校・創造工学科・教授

研究者番号：00228115

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、不規則媒質中を通過した電磁波の主偏波成分が僅かに減衰する現象（depolarization）の量的な評価方法の検討を行った。この主偏波成分の減衰量は非常に小さな量であり、この減衰量を定量的に評価できれば、ランダム媒質の実効的な媒質定数が得られ、リモートセンシングや気象の測定精度向上に寄与できる。そこで、主偏波成分の減少と同時に生じる交差偏波成分を、前方多重散乱近似に基づいて摂動法を適用し、第ゼロ次摂動解を主偏波成分、第一次摂動解を交差偏波成分として解析的に求めた。今後は、本研究の成果より理論解析と実験の両面から研究を進める予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

雨滴の存在する降雨空間や積乱雲の中などのランダム媒質中を通過した電磁波は、主偏波成分が僅かに減少することが知られている。本研究は、この主偏波成分の僅かな減少と同時に生じる交差偏波成分を解析するために、ランダム媒質中を伝播する電磁波を前方多重散乱理論に基づいて定式化し、波動方程式の導出を行った。そして摂動法を適用し、第0次摂動解（主偏波成分）と第1次摂動解（交差偏波成分）を解析的に求め、交差偏波成分の一次モーメント（コヒーレント界）とその電力を表す二次モーメントを得た。今後は、主偏波成分と交差偏波成分の間の量的な関係について調べる予定である。

研究成果の概要（英文）：In this study, the evaluation method of the phenomenon that the main polarization component of the electromagnetic wave propagating in the random medium is slightly attenuated is investigated. The attenuation of this main polarization component is very small. When this attenuation can be known quantitatively, the effective medium constant of a random medium can be obtained, which is useful for remote sensing and meteorological measurement. Therefore, the cross-polarization component caused by the attenuation of the main polarization component was obtained using the perturbation method based on the forward multiple scattering approximation. The 0th-order perturbation solution was analytically determined as the main polarization component, and the 1st-order perturbation solution as the cross-polarization component. The results are useful for quantitative analysis of cross-polarized waves slightly generated from main polarized waves.

研究分野：電磁界理論

キーワード：不規則媒質 偏波特性の劣化 電波伝搬 多重散乱理論

1. 研究開始当初の背景

雨や霧、雲、大気乱流などの不規則媒質(ランダム媒質)中の電波伝搬解析に関する研究は、各種レーダの分解能への影響や計測精度の向上、衛星通信および衛星放送における回線設計や回線品質への影響の評価等のために、これまでに様々な立場で、また、国内外で盛んに研究が行われてきた。特に、気象レーダやリモートセンシングの分野においては、重要な基礎理論の領域であり、これらの分野に繋がる学会会議や国際会議等で活発に議論されてきた。申請者も、ランダム媒質の電気的定数(例えば等価誘電率)を、交差偏波の発生が無視できるという条件下で(主偏波成分のみに着目した場合について)ランダム媒質の有するマクロ的な電気的定数の算定法の開発を中心に研究を行ってきた。しかしながら、ランダム媒質そのものの探査や計測を行う場合は、交差偏波の発生を最初の定式化から無視してしまうと、ランダム媒質中の伝搬特性に関する詳細情報が解析の段階で欠落してしまい、媒質のより詳細な特徴や伝搬特性が記述できないことになる。特に、ランダム媒質の中を伝搬してきた電磁波の主偏波成分は僅かに減少することが知られており、この現象は”depolarization”と呼ばれている。これまでこの現象が無視できる範囲で解析や理論の構築が行われてきたが、より詳細にランダム媒質中の電磁波伝搬を解析するには、主偏波成分に加えて交差偏波成分を取り扱うことが必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、ランダム媒質自体の特徴抽出と電磁波伝搬についてのより詳細な解析や計測理論の構築、および、物理的なメカニズムの解明を目的として、depolarizationの影響を含む媒質モデルを設定し、媒質中を伝搬する電磁波の波動方程式を、前方多重散乱近似に基づいて定式化を行った。そして、その波動方程式に摂動法を適用することにより、ランダム媒質中の電磁波伝搬で生じる第ゼロ次摂動解(従来の主要解であり主偏波成分;非摂動解)と第一次摂動解(depolarizationを有する解であり交差偏波成分)を解析的に求めた。これらの非摂動解および第一次摂動解より、主偏波成分と交差偏波成分の間の量的なシフトのメカニズムを検討するために、伝搬する電磁波の平均界である一次モーメント(コヒーレント界)、電力に相当する二次モーメント(空間コヒーレンス関数)について調査を行った。また、自然界に存在するランダム媒質として雨などの降雨空間や積乱雲中を仮定し、数値解析を行うためのパラメータとして、多数の誘電体粒子から構成される等価誘電率について、検討を行った。

3. 研究の方法

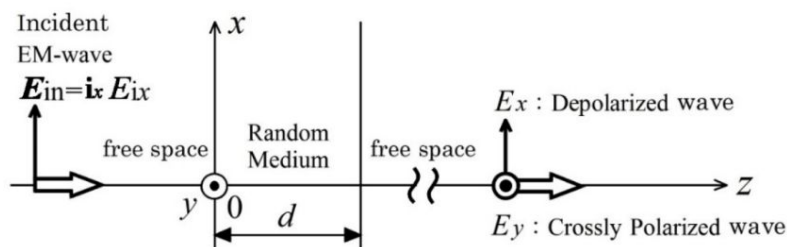


Figure 1: EM-wave propagation through the layer of continuous random medium.

自由空間 (free space) 中に、ランダム媒質 (Random Medium) の層が $0 \leq z \leq d$ の領域に存在する問題を考える。ランダム媒質の層は誘電率のみが揺らいでいるものとし、 $[1 + \epsilon]$ と仮定する。なお、媒質の誘電率の揺らぎ ϵ をガウス過程のランダム関数とし、その揺らぎは極めて小さく、 1 とする。入射する任意の電磁波は、 z 軸方向に伝搬し、 x 成分のみを有するものとする。そして、ランダム媒質を通過してきた電磁波は、十分遠方の z 軸近傍で受信するものとする。近軸近似 (paraxial approximation) が有効となる。媒質を通過した電磁波の主偏波成分は僅かに減衰し (Depolarized wave)、交差偏波が生じる (Crossly Polarized wave)。この交差偏波を量的に明らかにするために、摂動法 (perturbation method) を用いる。なお、媒質中の波動の記述には、前方多重散乱近似 (Forward scattering approximation) が成り立つものとし、前方多重散乱を繰り返しながら伝搬する波 (Successively Forward Scattered waves; SFS 波) の理論を用いる。この前方多重散乱に関する波動方程式を近似的に解き、ランダム媒質中の電磁波伝搬で生じる第ゼロ次摂動解(主要解であり主偏波成分;非摂動解)と第一次摂動解(depolarizationを有する解であり交差偏波成分)を解析的に求めた。そして、得られた交差偏波成分の表現式より、交差偏波成分の一次モーメントとして平均界(コヒーレント界)、および、二次モーメントとして空間コヒーレンス関数の表現式を解析的に得た。

4. 研究成果 一次モーメントにおいては、入射電磁波が 平面波の場合、 球面波の場合、

ガウスビーム波の場合について、近軸近似の範囲で交差偏波が生じるかの調査を行い、平面波の場合は交差偏波が生じず、球面波の場合とガウスビーム波の場合は、 z 軸上から僅かに離れると存在することがわかった[1]。これからの数値解析が期待される。二次モーメントにおいては、ランダム媒質の空間コヒーレンス関数について解析的に調査を行い、前方多重散乱近似のもと、 z 軸方向（入射波の伝搬方向）の相関長が小さく、 x - y 方向（伝搬方向と垂直方向）の相関長が十分に大きいという物理的に妥当な表現式を得ることができた。特に、 z 軸方向については、コヒーレンス減衰定数 とランダム媒質の厚さ d の積が 1 より小さい ($d < 1$) ときに近似が有効であることが得られ、定量的な成果が得られた[2]。一次モーメントと同様、これからの数値解析が期待される。また、降雨空間及び積乱雲中を媒質モデルとして、MHz 帯の電磁波に対する多数の誘電体粒子が存在する空間の等価誘電率の数値計算を行った[3]。実験に取り掛かる際の基礎資料とする予定である。

[1] Yukihiisa Nanbu and Mitsuo Tateiba :

The Second Order Moment Equation of Crossly Polarized EM-waves Due to Depolarization in Propagation through Continuous Isotropic Random Medium
2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama)
(IEEE Xplore Digital Library)
pp.137-143 (2018) .

[2] Yukihiisa Nanbu and Mitsuo Tateiba :

The Spatial Coherence Function of Crossly Polarized EM-waves Caused by Depolarization in Continuous Random Medium
2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Fall
(IEEE Xplore Digital Library)
pp.83-90 (2019) .

[3] 南部幸久 :

MHz 帯の電磁波に対する積乱雲及び降雨空間の有する等価誘電率の試算
有明工業高等専門学校紀要 第 57 号
pp,28 - 31 (2022 年) .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|----------------------|
| 1. 著者名 Nanbu Yukihisa, Tateiba Mitsuo | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 The Spatial Coherence Function of Crossly Polarized EM-waves Caused by Depolarization in Continuous Random Medium | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Fall (IEEE Digital Library) | 6. 最初と最後の頁 83--90 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PIERS-Fall148861.2019.9021738 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Yukihisa Nanbu and Mitsuo Tateiba | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 The Second Order Moment Equation of Crossly Polarized EM-waves Due to Depolarization in Propagation through Continuous Isotropic Random Medium | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama) (IEEE Xplore Digital Library) | 6. 最初と最後の頁 137-143 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PIERS.2018.8597624 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 南部幸久 | 4. 巻 第57号 |
| 2. 論文標題 MHz帯の電磁波に対する積乱雲及び降雨空間の有する等価誘電率の試算 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 有明工業高等専門学校紀要 | 6. 最初と最後の頁 28-31 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 手嶋諒治, 南部幸久, 中嶋徳正 |
| 2. 発表標題 メアングララインとダイポールを組み合わせた線状アンテナのアレーアンテナ化の検討 |
| 3. 学会等名 2020年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 牛川和哉, 南部幸久 |
| 2. 発表標題 地上デジタルテレビジョン放送を利用した半波長アンテナの素子幅と受信レベルの関係の調査研究 |
| 3. 学会等名 令和2年度電気学会九州支部高専研究講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 手嶋諒治, 南部幸久, 中嶋徳正 |
| 2. 発表標題 メアングライン・ダイポール組み合わせアンテナのアレー化について 2枚のアンテナの設置幅についての検討 |
| 3. 学会等名 令和2年度電気学会九州支部高専研究講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 手嶋 諒治, 南部 幸久, 高松 竜二, 中嶋徳正 |
| 2. 発表標題 ダイポールアンテナと蛇行アンテナの組み合わせアンテナの600MHz帯における受信特性 地デジ用受信アンテナとしての検討 |
| 3. 学会等名 令和元年度 電気学会九州支部沖縄支所講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 南部幸久, 立居場光生 |
| 2. 発表標題 ランダム媒質を通過した電磁波の主偏波劣化によって生じる交差偏波成分の平均界 |
| 3. 学会等名 電気関係学会九州支部第71回連合大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|