

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	波のある海面で反射した海中音波の変動特性の研究
Title(English)	
著者(和文)	津久井智也
Author(English)	Tomoya Tsukui
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11922号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:蜂屋 弘之,三平 満司,倉林 大輔,大山 真司,田中 正行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11922号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

本論文は、「波のある海面で反射した海中音波の変動特性の研究」と題し、和文全6章で構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景、先行研究の問題、目的を述べている。海水中を伝搬する音波を利用した水中音響通信においては、海面反射波の時間的な変動特性が通信性能の低下に影響を与えることが知られているが、その変動特性はこれまで十分に明らかになっていない。先行研究では海面反射波の変動特性がライス分布と Rayleigh parameter で統一的に記述できることが述べられているが、海面が定常的にランダムな粗面とみなせる条件に適用範囲が限定されるという問題があった。そこで本研究では、より現実の海面変動に近い、空間的・時間的に変動する海面における海面反射波の振幅・位相変動特性を定量的に明らかにすることを目的とした。本研究では FDTD 法による音波伝搬シミュレーションと造波水槽試験によるアプローチを試みている。

第2章「海面波と音波伝搬数値解析の基礎理論」では、実海域で観測される海面波の基礎理論と、海面反射波のシミュレーションに採用した FDTD 法による音波伝搬シミュレーションの基礎理論について述べている。定常状態の海面波は Bretshneider -Mitsuyasu 型の波浪スペクトルのように様々な波長成分を含むが、海面波は波長に応じて位相速度が異なる性質を有するため、実海域で観測される海面波は時々刻々と不規則に変化する。本研究では、時々刻々と不規則に変化する海面から反射した音波の振幅・位相の空間的・時間的な変化を音波伝搬シミュレーションにより解析する。

第3章「水槽試験とシミュレーションによる海面反射波の変動特性の評価」では、シミュレーションによる海面反射波の変動特性評価手法を提案し、造波水槽試験とシミュレーションにより海面反射波変動特性を評価した。海面反射波の位相変動特性は低波高時に正規分布、高波高時に一様分布に従い、位相変動の標準偏差は Rayleigh parameter を用いて記述できることを明らかにした。一方で、振幅変動特性についてはライス分布により推定される海面反射波のコヒーレント成分とインコヒーレント成分のエネルギー比が、海面波長が大きく滑らかな海面では Rayleigh parameter により記述できないことを述べている。また、本章で提案した海面反射波のシミュレーションモデルは、造波水槽試験の結果と良い一致を示すことを述べている。

第4章「海面波の波長が海面反射波の変動特性に与える影響」では、シミュレーションを用いて、海面波長が海面反射波の変動特性に与える影響について検討をおこなった。バースト波とインパルス応答の解析を中心に行い、海面波長の大きさによらず位相変動の標準偏差は第3章と同様に Rayleigh parameter を用いて記述できることを明らかにした。一方で、振幅変動特性については、ライス分布のエネルギー比が海面波長により異なった値をとるが、海面波長が小さくなり海面が定常的にランダムな粗面となった条件においては、エネルギー比が Rayleigh parameter を用いて統一的に記述できることを明らかにしている。海面波長が小さくなるに従い、海面境界が鏡面反射面から拡散反射面に変化していく傾向があることを述べている。また、音波の波長よりも海面波長が小さい領域では、海面凹凸を音波が認識できなくなることで、海面反射波の変動特性が再び鏡面反射に近づく性質を有することを述べている。

第5章「海面の実効粗さに関する検討」では、海面凹凸と音波の相似性が海面反射波の変動特性に与える影響について検討し、海面波長が大きくランダム性を失った比較的滑らかな海面においては、海面水位の実効値よりも小さい海面の実効粗さが振幅変動特性に寄与していることを述べた。海面反射波の振幅変動特性は海面の実効粗さ、位相変動特性は海面水位の実効値を用いた Rayleigh parameter で記述できることが明らかになった。シミュレーションにて音波の入射角についても検討を行い、入射角を反映した一般的な Rayleigh parameter で海面反射波の変動特性が記述できることを述べている。造波水槽試験出られたデータに関しても、海面の実効粗さ、海面水位の実効値を用いた Rayleigh parameter で海面反射波の変動特性が記述できることを確認し、本研究で明らかになった定量的評価手法の有効性を述べている。

第6章「総括」では本研究のまとめと成果の適用事例を示し、今後の課題について述べている。

Abstract

Many kinds of hydroacoustic devices are used in the field of ocean development of resources and observations. The effects of sound reflection from the sea surface are often evaluated in estimating the performance of these devices and in analyzing various acoustic data obtained in actual seas. When the sea surface waves are sufficiently calm, the assumption of specular reflections of sound waves is valid for the estimation of the acoustic propagation characteristics. On the other hand, the actual surface waves change randomly over time because of wind and gravity, and as a result, the reflected sound waves also fluctuate randomly.

Many studies of reflected sound waves from the sea surface have discussed the statistical properties assuming a stationary random rough surface. However, actual sea surface waves fluctuate spatially and temporally because of wind and gravity. In our study, we evaluated amplitude and phase variability characteristics of reflected sound waves from the fluctuating sea surface by acoustic simulation using the finite-difference-time-domain method and water tank test.

In this study, we discussed the effect of sea surface wavelength on sound variability characteristics. As a result, we found that the phase variability characteristics follow a normal distribution at low wave height and a uniform distribution at high wave height at any sea surface wavelength. Also, the standard deviation of phase matches the Rayleigh parameter. On the other hand, we found that the amplitude variability characteristics follows the Rice distribution as in the previous studies. However, it has revealed that this tendency is limited to the condition that the sea surface wavelength becomes small and the sea surface becomes stationary random rough surface.

Next, we found that under the condition of relatively smooth sea surface where the sea surface wavelength is large, the effective roughness of the sea surface smaller than the effective value of the sea surface contributes to the amplitude variability characteristics. In this study, we conclude that the amplitude variability characteristics of sea surface reflected sound waves can be quantitatively described by the Rayleigh parameter using the effective roughness of the sea surface. In addition, the phase variability characteristics can be quantitatively described by the Rayleigh parameter using the effective value of the sea level.