

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	津久井 智也		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	蜂屋 弘之	教授	審査員	田中 正行	准教授
	審査員	三平 満司	教授			
		倉林 大輔	教授			
大山 真司		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

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、振幅・位相が変動する海面反射波が、海中での音波利用において与える影響について述べ、海面反射波の変動特性に関する従来研究の問題と、波浪により空間的・時間的に変動する海面で反射した音波の振幅・位相変動特性を定量的に明らかにする本研究の目的について述べている。

第 2 章「海面波と音波伝搬数値解析の基礎理論」では、海面反射波の変動特性について議論を進めるにあたって、その基本となる海面の波の特徴と理論が述べられている。海面波は様々な波長の規則波の重ね合わせで表現されるが、それぞれの波長により位相速度が異なるため、空間的・時間的に海面波の波形が変化する不規則波の性質を有する。本研究では、空間的に任意の海面凹凸の反射境界を設定し、時間領域での音波伝搬過程が詳細に追跡可能な FDTD 法による音波伝搬シミュレーションを用いて、海面反射波の振幅・位相変動特性に関する解析が行われており、この FDTD 法による音波伝搬基礎理論についても記述している。

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、造波水槽において音響試験を実施し、海面反射波の変動特性を評価している。実験結果より、これまでの海面反射波に関する従来研究とは異なり、海面反射波の振幅変動を記述するライス分布のパラメータである反射波のコヒーレント成分と散乱成分のエネルギー比 γ は、海表面の粗さの指標である Rayleigh parameter により一意には定まっておらず、周波数により異なった値をとることが示された。また、海面反射波の位相変動特性は波高の上昇に伴い、正規分布から一様分布に変化し、その位相変動の標準偏差は、低波高時には Rayleigh parameter の値に一致し、波高が大きくなるにつれ一様分布の標準偏差に収束することが示された。水槽試験の結果は、造波水槽試験を模擬した FDTD 法による海面反射波のシミュレーション結果と良好一致を示しており、シミュレーションモデルの有効性も確認している。

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、FDTD 法による音波伝搬シミュレーションを用いて、海面の波の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している。海面反射波の振幅変動特性を示すライス分布のエネルギー比は、同じ Rayleigh parameter でも海面の波の波長により異なる値を取ることを明らかにしている。また、位相変動の標準偏差

については、海面波長の大きさによらず Rayleigh parameter に一致することが示された。海面波長が小さくなるにつれて音源直上から水平方向に離れた海面からの後方散乱成分が増加し、海面が鏡面反射面から拡散反射の境界に近づく。海面波長が小さくなり、最終的に海面が定常的にランダムな粗面に近づく条件では、ライス分布における位相の確率分布から求められる散乱成分のエネルギー比に収束し、この収束値は海表面の粗さの指標 Rayleigh parameter により一意に定まることが明らかとなった。

第5章「海面の実効粗さに関する検討」では、海面反射波の振幅変動特性に寄与する海面の実効粗さに関する検討が行われている。海面波長が大きく局所的にみると定常的にランダムな粗面としての性質が失なわれている比較的滑らかな海面においては、海面反射波の特性に寄与する海面領域が限定的となり、海面全体から求めた海面の粗さの実効値よりも小さな実効的な粗さが、海面反射波の振幅変動特性に寄与することが示された。本研究では、音波反射に寄与する実効粗さを新たに定義することを提案し、さまざまな条件でのシミュレーション結果を用いて海面の実効粗さの推定を試みている。本研究で推定した海面の実効粗さを用いて海面反射波の変動特性を評価した結果、振幅変動の振幅確率分布は、海面の実効粗さで定義した Rayleigh parameter から求めたライス分布により統一的に記述できることが明らかになった。また、音波の入射角の影響に関する検討を行い、入射角影響を考慮した Rayleigh parameter を用いれば斜めに海面に入射する音波の特性も記述できることが確認された。造波水槽試験で得られた海面反射波の振幅・位相変動も、提案した水面の実効粗さを用いれば、振幅変動特性が記述できることが示された。

第6章「結論」では本論文を総括し、残された課題と今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文では、空間的・時間的に変動する海面波における海面反射波の振幅・位相変動特性の定量的な解明が行われており、海面の実効粗さの概念を新たに提案し、この指標を用いれば、さまざまな海面の波で海面反射波の変動を評価することができることを示したもので、海中音波を用いる多くの分野に貢献するところ大である。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。