

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 27 日現在

機関番号：55402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350464

研究課題名(和文) レーダ映像強度特性の解明による海難防止に関する研究

研究課題名(英文) Study on prevention of sea disaster by the elucidation of radar echo strength properties

研究代表者

水井 真治 (Mizui, Shinji)

広島商船高等専門学校・商船学科・教授

研究者番号：50249843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：我が国には、島と島を結ぶ架橋が数多く存在する。特に瀬戸内海は狭航路周辺にいくつもの架橋が架設されており、船舶の安全運航を考える上で橋梁のレーダ映像のマスクング特性とレーダ反射強度の解析は重要であると考えられる。本研究では、船舶交通の安全性を向上させるため、形状の高さ、部材などが違う2つの異なる架橋の幅員方向のマスクング特性や反射強度について解析した。

従来、小型船舶などの小物標のレーダ反射強度は、映像内の最大信号強度により評価してきたが、小型船舶などの小物標とは異なる巨大かつ強反射体である架橋について、レーダ反射強度の新たな評価方法を改善した。

研究成果の概要(英文)：In Japan, there are a lot of bridges connecting islands. Particularly in the Seto Inland Sea, several bridges are constructed near the narrow channels. When we pursue the safe operation of the vessels, we consider it important to analyze the masking features of the radar images of such bridges and the reflection intensity.

We analyzed the features by the difference in the structure and the masking features along the direction of the width of the bridge and the reflection intensity about two bridges, in order to improve the safety of ships traffic. we tried a new evaluation method for the radar reflection intensity of the connecting bridges those are huge and strong reflection structures.

研究分野：社会システム工学・安全システム

キーワード：レーダ反射強度特性 航海計器 船舶の安全航海

1. 研究開始当初の背景

2008年に発生した護衛艦「あたご」と小型漁船の衝突事故で明らかになったように、レーダ映像から小型船舶と雑音映像との識別は極めて困難である。特に、夜間と狭視界時において現在でも経験と勘により判断が行われている。

このようなレーダ映像の識別の安全に関する問題点が浮き彫りになる事故が多く発生している。特に、瀬戸内海のような大型橋梁が数多く設置されている海域において船舶から見たレーダ上の電波障害に焦点を当て、こうした海洋構造物が交通環境に与える要因を高精度分解能の画像データより明らかにし、船舶事故の減少を最終目標としている。

2. 研究の目的

瀬戸内海を中心に、昭和50年代には大鳴門橋や瀬戸大橋、昭和60年以降には明石海峡大橋や来島海峡大橋、安芸灘大橋といった大型橋梁が建設されていった。

こうした橋梁の建設で経済活動がより一層発展することとなったが、一方で、船舶用レーダの運用・活用については、つぎの課題が発生したと考えられる。

- ・ 橋梁建設後のレーダ偽像の発生
- ・ 上記(1)が安全航行の支障となる偽像かどうかの判別(支障がある場合にはその対策)
- ・ 視界制限状態における橋梁付近の小型船舶の存在の識別困難についての課題

上記の偽像発生及び偽像かどうかの判別については、橋梁のレーダ反射信号強度の推定が重要であり、また、上記の識別については、橋梁のマスキング特性が重要である。

前述の通り、瀬戸内海を中心に建設された大型橋梁の建設により、視界制限時等の橋梁通過に際して、レーダ映像取り扱いの上でいくつかの課題がある。本研究では次の二項目を研究目的とした。

強反射体である橋梁の幅員方向のマスキ

ング特性を明らかにすることで、視界制限時の船舶交通の安全向上を図ること

橋梁などの広がりのある構造物の反射強度を適切に評価する手法の

3. 研究の方法

従来、レーダ映像に映る比較的小さい物標や船舶などのレーダ映像強度は、映像強度をA/D変換することによりその映像の反射強度の最大値により評価を行っている。その観測値の概算モデル式として例えば、次式を用い計算による概算が可能である。

$$p_r = 10 \log_{10} \left(\frac{p_t G_t^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \right) + 10 \log_{10} \left\{ 16 \sin^4 \left(\frac{2\pi hH}{\lambda R} \right) \right\}$$

ここで、レーダの送信電力を p_t 、アンテナ利得を G_t 、波長を λ 、物標のレーダ反射断面積を σ 、物標までの距離を R 、反射信号強度を p_r としている。なお、第1項については直接波、第2項については、図1に示すように海面による反射波の干渉効果を考慮し加えたものである。なお、アンテナ高さは H 、物標高さは h として、地球の曲率による影響を考慮している。

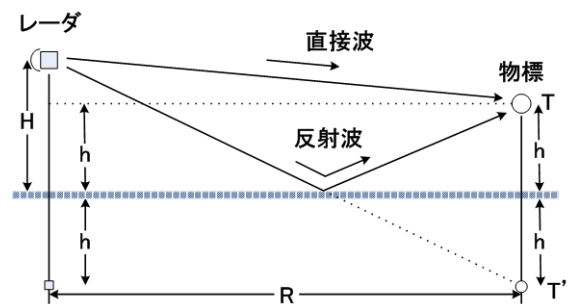


図1 直接波と反射波の干渉説明図

しかしながら、空間的に広がりのある大規模な陸上構造物や大型橋梁などの物標については、従来の反射強度の最大値による評価では、過大にレーダ反射強度を評価している可能性が考えられる。すなわち、レーダ反射強度を過大に推定することで、橋梁による偽

像発生を過大に評価する恐れがある。また、そのために過剰な安全対策が必要と判断されるといったデメリット等が想定される。

橋梁の側面は、多種の形状や部材で構成されており、反射時に熱損失や乱反射などの損失を生じさせやすい。また、橋梁の寸法は第一フレネル領域と同程度かむしろ大きい。このことから、一定の範囲内の平均化処理を行う必要があると考えた。入射波を球面波と考えることとし、以下方法を提案した。

広がりのある映像を最大値による評価ではなく、「フレネル領域と1/2パルス幅によるエリアの信号強度の平均」

「水平ビーム幅と1/2パルス幅によるエリアの信号強度の平均」で評価する二つの方法を提案する。これにより反射強度の評価をより正確に評価できると考えられる。そこで、瀬戸内海に位置する大型橋梁を事例として強度データを観測し、同データの解析から実証的にその特性を明らかにした。

4. 研究成果

橋梁の側面は、多種の形状や部材で構成されており、反射時に熱損失や乱反射などの損失を生じさせやすい。また、橋梁の寸法は第一フレネル領域と同程度かむしろ大きい。このことから、橋梁への入射波を球面波と考えることとし次式によりフレネル半径を算出できる。フレネル半径を rF 、送信点と橋梁間の距離を R とする。

$$rF = \sqrt{\lambda \times R / 2}$$

レーダ波を球面波と考えた場合、反射に関わるエリアは第一フレネル領域になる。そこで、新たな評価方法にフレネル領域と1/2パルス幅による範囲、そして、レーダ波を平面波と考えた場合の水平ビーム幅と1/2パルス幅によるエリアの信号強度の平均を用いること提案する。B スコープにおける横軸(方位)方向をフレネル領域、縦軸(距離)方向をパルス幅分とし、当該範囲内を平均化した数

値により反射強度を評価した。状況を図2に整理した。

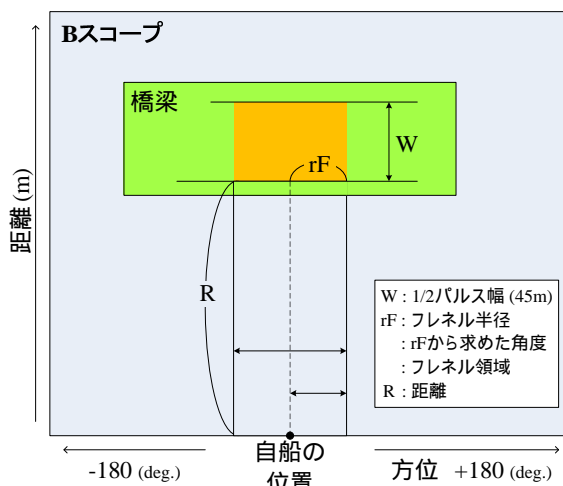


図2 解析対象の範囲を説明する略図

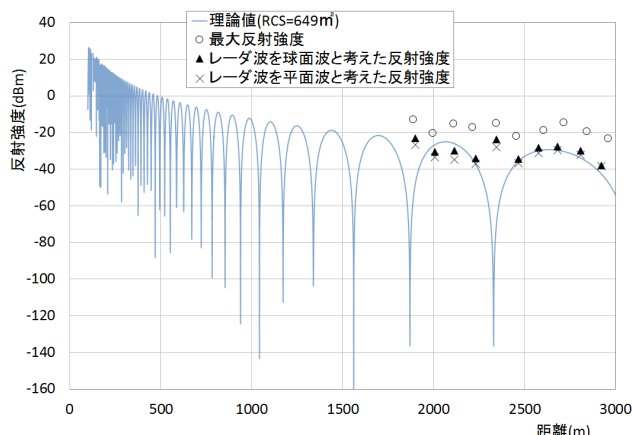


図3 反射強度と距離の関係
(豊浜大橋の解析例)

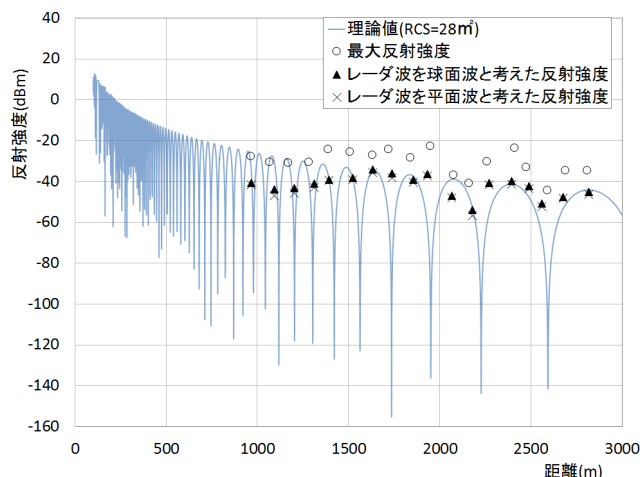


図4 反射強度と距離の関係
(豊島大橋の解析例)

B スコープは横軸を方位としているため、前述の式によって求めたフレネル半径 r_F と自船から橋梁までの距離 R によって角度 θ を算出した。これにより、フレネル領域(角度 θ)を決定し、横軸(方位)方向の評価範囲とした。縦(距離)方向の評価範囲は $1/2$ パルス幅としているため、より 45m となる。

この範囲内を平均化した数値により反射強度を評価する方法と 最大値 1 点での評価(従来の評価方法)の解析結果を比較することとした。第一フレネル領域と $1/2$ パルス幅の拡大効果による範囲の反射信号の平均値を対象物の信号強度として評価することを提案した。本研究ではレーダ波を球面波と考える一方で、レーダ波を平面波と考えた場合の対象物の反射強度を算出し比較することとした。そこで、後者を水平ビーム幅と $1/2$ パルス幅の拡大効果の範囲とし、本研究で使用したレーダの水平ビーム幅 1.2° 分をレーダ映像の横方向の切り出し範囲として解析を行った。

評価方法であるレーダ波を球面波と考えた場合の反射強度(以下、フレネル強度という)を \times 、レーダ波を平面波と考えた場合の反射強度を \times で図 3 及び図 4 に示した。縦軸を反射強度、横軸を自船からの距離とし、豊浜・豊島大橋の反射強度と距離の関係を表している。

理論値については、レーダ反射断面積の値によって実測値への適合性が変化する。図 3 及び図 4 の理論値における θ の値については、新たな評価方法により求めた反射強度を理論式に当てはめ、実測値に適合する θ を算出した。豊浜大橋は 649 m^2 、豊島大橋については 28 m^2 である。両者共に 3000m 付近までの観測データを示した。豊浜大橋と豊島大橋を従来の評価方法別、新たな評価方法別に比較したところ、どちらも豊浜大橋の反射強度がより強いことが確認できる。

つぎに、評価方法の違いによる反射強度の差を考える。小さい物標の反射強度は最大値のみの評価方法が従来とされているが、橋梁のように空間的に広がりのある物標の信号強度を最大値での評価は同強度を過大に評価している可能性があると考えた。この最大値による評価方法では、空間的に広がりのない小さい物標についても同強度を過大に評価する恐れがある。本研究では、フレネル領域とパルス幅により評価範囲を設定し、この範囲内を平均化した数値を反射強度として新たに評価した。

従来の解析方法によって得た反射強度と新たな評価方法で得た反射強度を比較すれば、後者(フレネル強度)が前者(最大強度)を下回することは当然であるが、評価方法の違いによって両者に 10dB 程度もの違いが生じている。一方で、フレネル強度と水平ビーム強度を比較すると、豊浜・豊島大橋とも両者に大きな差は見られなかった。フレネル強度と水平ビーム強度の評価方法は同様の結果を示したため、橋梁のレーダ反射強度の評価においては両者ともに評価が可能ではないかと考える。空間的に広がりのあるある橋梁など大型構造物の反射強度を評価する場合には、フレネル領域とパルス幅で定める範囲の平均強度によって評価が可能であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

住本幸也, 水井真治, 山田多津人, 月坂明広, 橋梁のレーダ映像のマスキング特性とレーダ反射強度, 日本航海学会講演会論文集, 査読あり, 第 135 巻, pp.53-60, 2016

山田多津人, 水井真治, Accuracy Evaluation of the Vessel Tracking Data by Radar in Marine Traffic Survey, Institute of Navigation and port Research, 査読あり, pp.35-42, 2016

水井真治, 辰巳公朗, 山田多津人, 他, Analysis of Radar Echoes from the Small Boat, 広島商船高等専門学校紀要, 査読なし 第 37 号, pp.5 - 9, 2016

研究者番号：

(4)研究協力者 なし
()

〔学会発表〕(計 3件)

山田多津人, 水井真治, OZT の計算過程の
情報を利用した操船環境の評価, OZT の利用
と展望 (東京海洋大学 講演会資料 pp.17-20,
2017年2月28日, 東京海洋大学, 大講堂

住本幸也, 水井真治, 山田多津人, 月坂明
広, 橋梁のレーダ映像のマスキング特性とレ
ーダ反射強度, 2016年5月20日, 東京海洋
大学, 越中島会館

月坂明広, 庄司るり, 山田多津人, 水井真
治, 船舶交通環境の新たな危険度評価に関す
る基礎的研究, 2016年10月29日, 呉市
立勤労会館

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/?page_id=509

6. 研究組織

(1)研究代表者

水井真治 (MIZUI, Shinji)
広島商船高等専門学校・商船学科・教授
研究者番号：50249843

(2)研究分担者

山田多津人 (YAMADA, Tatsuto)
海上保安大学校・国際海洋政策研究センタ
ー・教授
研究者番号：90559220

(3)連携研究者 なし

()