

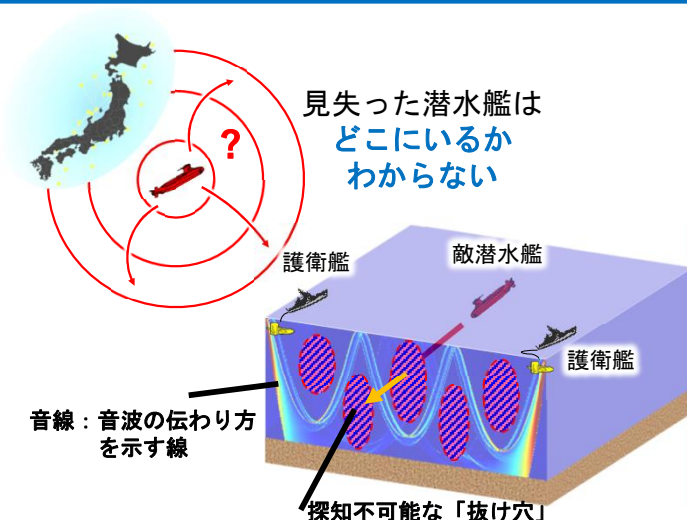


研究の背景

- ◆ 光の届かない広大な海洋において、潜水艦の位置を正確に把握することは、極めて困難。
- ◆ 一度見失った潜水艦は、日が経つにつれ存在圏が拡大。

⇒ 1隻の敵潜水艦を探すため多大な艦艇・航空機の投入が必要

- ◆ 潜水艦を探知するために、主に音響センサを活用。しかし… 海中の状況（水温、海底地形等）により、音響センサの配置によっては探知不可能な「抜け穴」が生じる可能性がある。



目的と課題

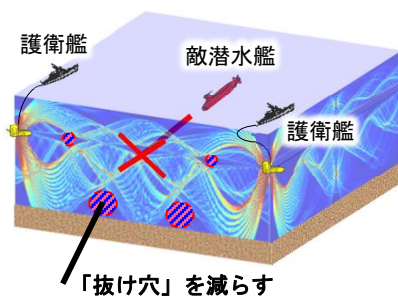
目的

- ▶ 音響センサの配置や搜索経路、マルチスタティック運用時の音響センサ配置（マルチ陣形）を最適化することで、潜水艦を抜け目なく確実に捉える。

⇒ 陸上での作戦立案時、艦上での作戦遂行時における司令官の意思決定を支援

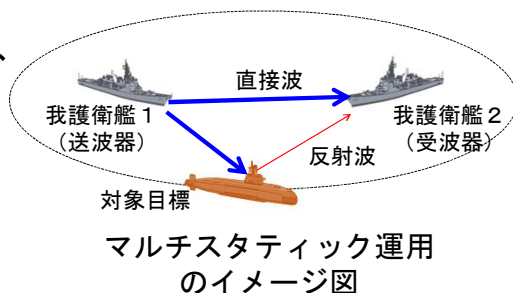
◆ マルチスタティック運用とは

音響センサの送波信号を、別の音響センサで受波する運用方法。個別に運用するよりも、探知機会が増える。センサの位置関係（マルチ陣形）で探知領域が変化するため、最適化が重要。



課題

- ◆ 音響センサの配置や経路、マルチ陣形内配置の組合せは無数に存在するため、最適化が難しい。
- ▶ 目標条件の設定や問題の分解、段階的最適化手法の適用によって、数理的な問題として定式化する必要がある。



課題解決の方針

◆ 目標条件の設定

海域内に設定した目標存在確率に基づいて搜索を行う。

◆ 問題の分解

問題を以下のステップ（機能）に分けて、それぞれ定式化と最適化を図る。

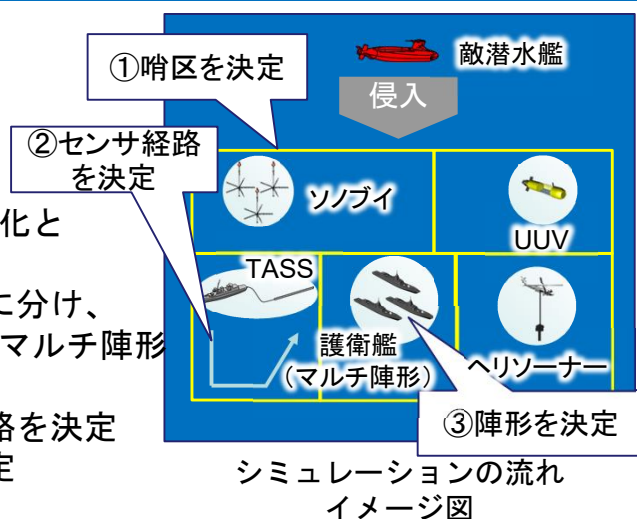
- ① 哨区リコメンド機能：海域を複数のエリア（哨区）に分け、哨区ごとに1つの音響センサかマルチ陣形を割り当てる
- ② 経路リコメンド機能：哨区内の音響センサの搜索経路を決定
- ③ マルチ陣形リコメンド機能：マルチ陣形内配置を決定

◆ 段階的最適化手法の適用

それぞれの問題の特性に応じたアルゴリズムを使用する。

一例として、組合せ問題に適しているとされる疑似量子アニーリング※を活用する。

※ 疑似量子アニーリング：量子アニーリングに着想を得たアルゴリズムを古典コンピュータ上で実施する手法。

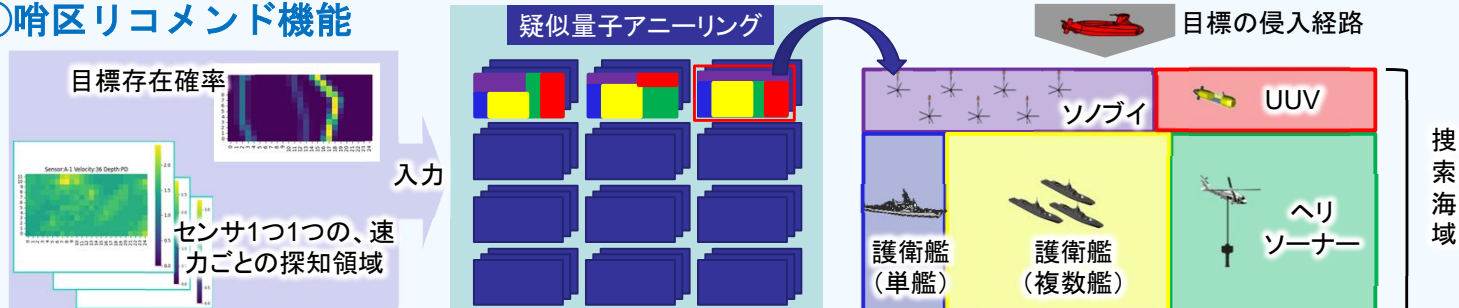




音響センサ配置シミュレータの概要

・ 音響センサの種類や数を入力（音響センサ諸元） ・ 各種音響センサの探知領域を予測（水測予察）

① 哨区リコメンド機能



目標存在確率や各センサの速力に応じた探知領域を求める。目標存在確率が高い場所の搜索率※1が高くなるように、哨区の分け方、使用するセンサやマルチ陣形、センサ速力の組合せを決定し、搜索海域全体の探知機会を最大化する。

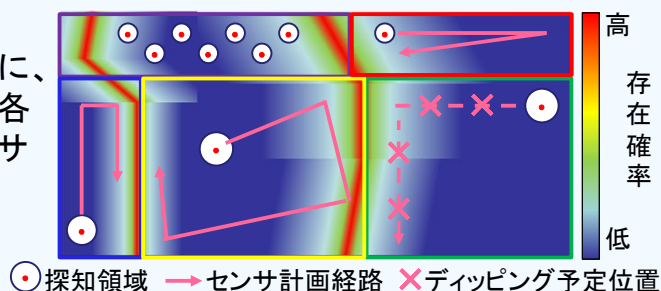
※1 搜索率: (搜索期間中に探知できる面積) / (哨区の面積)

② 経路リコメンド機能

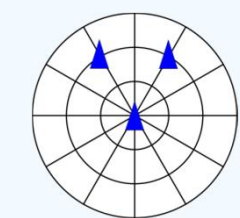
複数ビークルによる協調制御※2を行い、各時刻ごとに、全体の探知確率※3 × 目標存在確率が最大化するように各センサの搜索経路を求める。目標存在確率は、各センサの動きによって変動する。

※2 協調制御: 複数のロボット等を協調的に制御すること

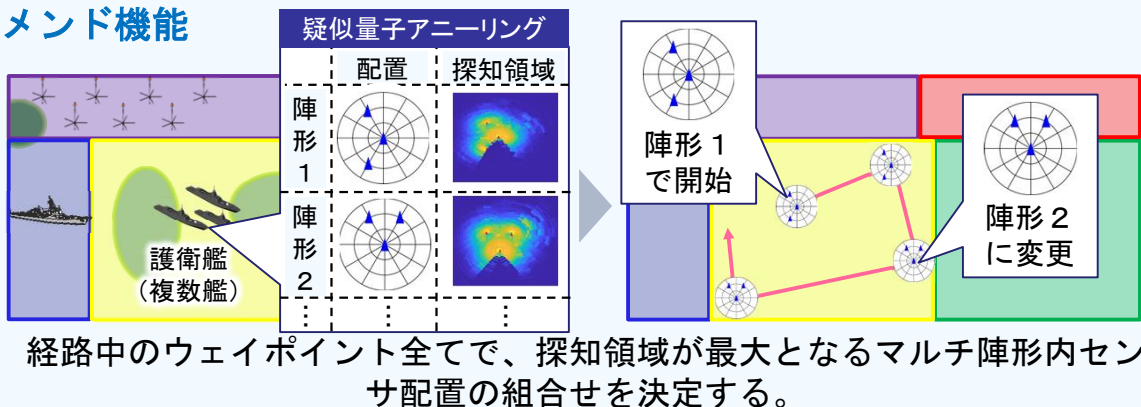
※3 探知確率: 探知領域に目標がいた場合に探知できる確率



③ マルチ陣形リコメンド機能



陣形内で、センサを配置できる方位と距離を設定する。

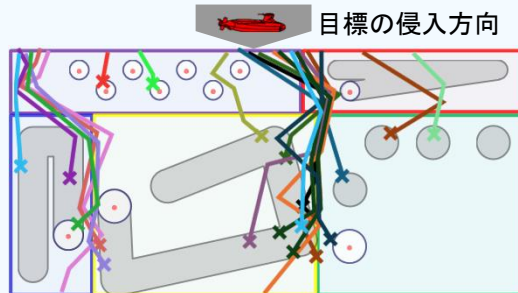


リコメンド結果の評価

目標確率分布に従って、多数の潜水艦侵入パターンをシミュレート（モンテカルロシミュレーション）。

各侵入パターンに対して①～③のリコメンド結果を実行して、目標を発見した割合を算出。

⇒ 司令官の意思決定の判断材料として示す。



まとめ

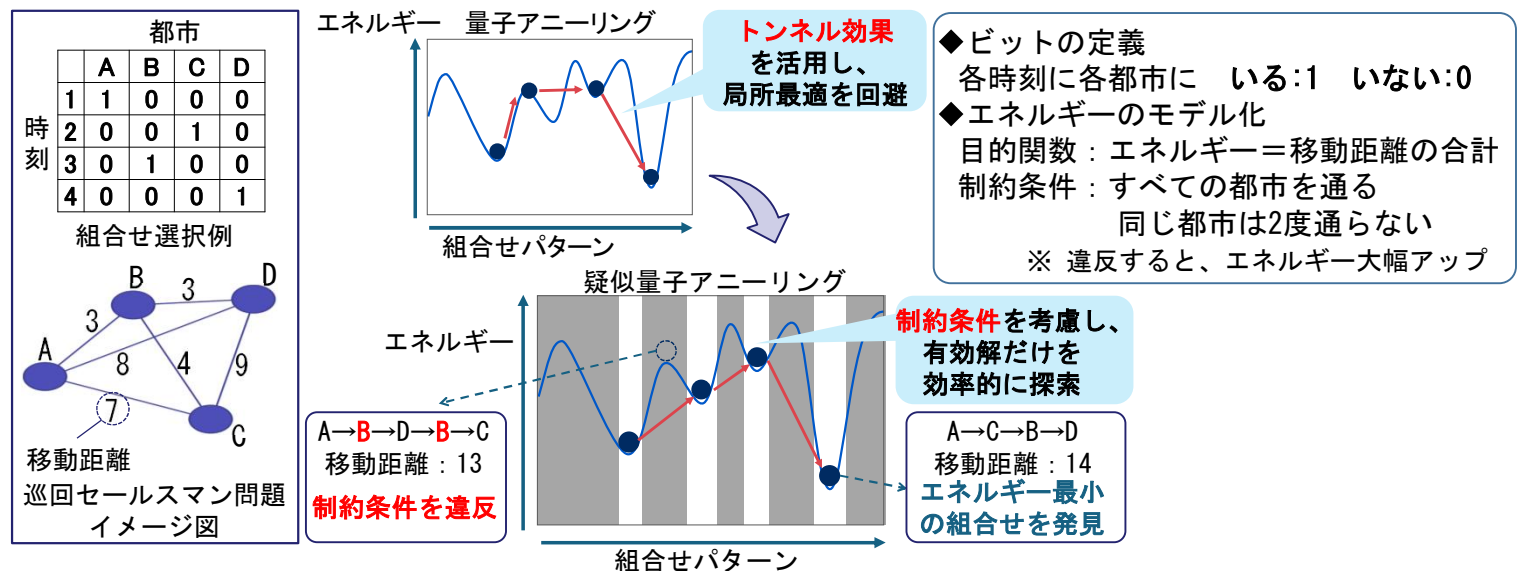
- ◆ 音響センサの配置や経路、マルチ陣形を最適化する技術の研究を行う。
- ◆ 疑似量子アニーリングを活用して高速化を図る。
- ◆ 本研究の成果は、将来の意思決定支援システムへの活用を目指す。
- ◆ 将来的には、量子コンピュータ利用への応用可能性を探る。



疑似量子アニーリングとは

- ◆ 量子アニーリングを模したアルゴリズムをCPU上に実装し、組合せ最適化問題を高速に解く技術。
 - ◆ 各ビットが1と0のどちらかを取る。それぞれのビット同士の関係をエネルギーとして、全体のエネルギーが低いほど良い解となる。
- ⇒ 問題を1と0の組合せ問題として表現することで、疑似量子アニーリングで解ける。

◆ 疑似量子アニーリングの適用例（巡回セールスマン問題）

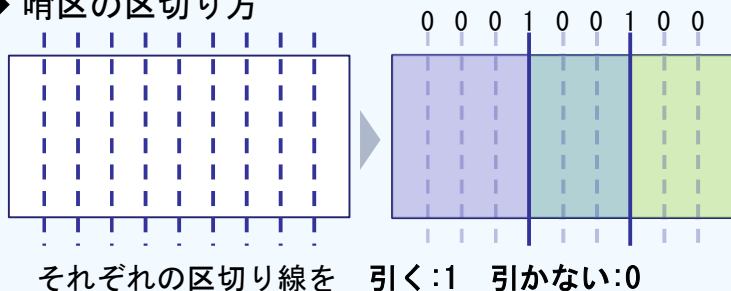


音響センサ配置シミュレータへの適用

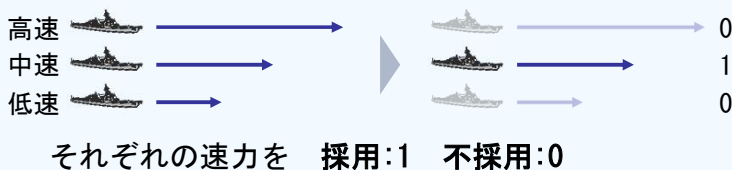
- ◆ 哨区リコメンド機能およびマルチ陣形リコメンド機能は組合せ最適化問題となるため、疑似量子アニーリングを活用した高速化を図る。

① 哨区リコメンド機能のビット定義例

◆ 哨区の区切り方



◆ 速力



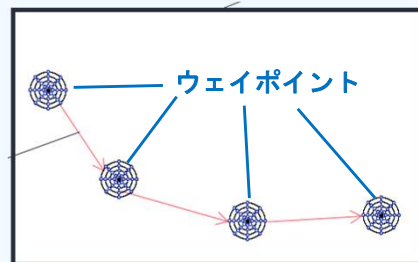
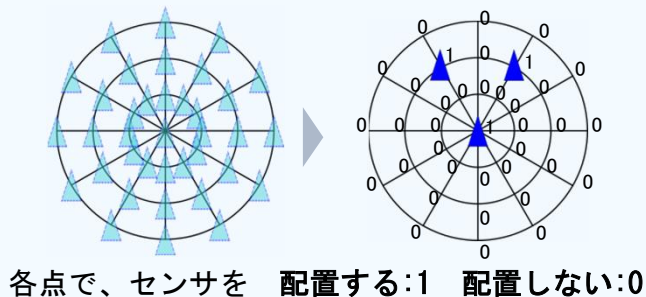
◆ 哨区ごとのセンサ（各センサについて）



目標存在確率が高い場所の搜索率が高くなる組合せを選択

③ マルチ陣形リコメンド機能のビット定義例

◆ センサ配置



海洋環境によって探知距離が変わるため、経路上のウェイポイント全てで実施

- ・ 各ウェイポイントで、探知領域が大きくなる組合せを選択
- ・ 経路全体で、陣形内の位置変更が少なくなる組合せを選択