

風圧流分離デイトムにおける最適搜索経路間隔の改良

05000169 海上保安大学校 齋藤靖洋 YASUHIRO Saito

1. はじめに

陸上における活動とは異なる特色を持つ海上搜索においては、その特殊性を考慮した搜索計画を適切に策定する必要がある。そんな中、国際海事機関 (IMO) は、世界基準の搜索計画手法として改善搜索計画手法 (ISPM) の利用を推奨してきた [1]。世界中で広く活用されている ISPM は、最適な搜索区域及び搜索経路間隔を半ば自動的に設定することの出来る一方で、搜索計画を洋上で再現するにあたり、理論上で得られた最適搜索計画が必ずしも実施出来ないという欠点を持つ。これに対して本稿では、実現可能性を考慮した新たな最適搜索経路間隔の設定手法を模索することで、より優れた搜索計画手法を提案することを目的とする。

2. 風圧流分離デイトム

通常、ある地点から遭難した搜索目標は海上において自力で移動することが困難な状況にあり、基本的には漂流によってのみ移動すると考えられる。それゆえ搜索者は、漂流後の搜索目標の位置を予測し、搜索目標の居る可能性が最も高い地点 (デイトムポイント) を基準に搜索を実施する。漂流方向は搜索目標の向いている方向により異なり、その結果、多くの事案では2点のデイトムポイントが得られることとなる。これを風圧流分離デイトムと呼ぶ。搜索目標の居る可能性は、デイトムポイントから離れる程低くなることから、目標の存在確率密度は二次元正規分布で表現される。風圧流分離デイトムでは、2つのデイトムポイントの間は必ず搜索を実施する一方で、デイトムポイントより外側の海域については、デイトムポイントを中心とした正方形の海域内を搜索することとなる。結果として、風圧流分離デイトムにおける搜索区域は図1のような長方形で表される。また、搜索区域に対しては通常、長方形の長辺と平行に搜索経路を設定し、隣の搜索経路と等間隔を維持しつつ搜索を実施する並行搜索が行われる。

ISPM では、次の式で表される搜索に成功する確率 (成功確率 POS) を最大化するように搜索区

域の面積及び並行搜索における搜索経路の間隔を決定する。

$$POS = POC \times POD. \quad (1)$$

ここで、POC は搜索目標が設定した搜索区域内に存在する確率 (存在確率) を表し、POD は搜索目標が搜索区域内に存在するという条件の下で、搜索者が搜索目標を探知する条件付き確率 (探知確率) を意味する。存在確率 POC については、デイトムポイント周辺の存在確率密度が二次元正規分布で表現されることから、2つのデイトムポイント間の距離及びデイトムポイントから搜索区域の1辺までの距離に応じて計算されることとなる。ISPM においては、正規分布のばらつきの程度は総合確率誤差 E を用いて表現される。これは、正規分布の期待値を中心として、存在確率が 50% となる幅として定義されることから、正規分布の標準偏差 σ との間に $E \approx 1.1774\sigma$ の関係が成り立つ。ここで、2つのデイトムポイント間の距離を δE 、デイトムポイントから搜索区域の端までの距離を αE とおくと、搜索区域全体の面積は $A = 2\alpha(2\alpha + \delta)E^2$ となる (図1)。以上から、総合確率誤差が与えられた場合、係数 α の大きさを変化させることによって、様々な大きさの搜索区域に対する搜索目標の存在確率 POC を容易に求めることが出来る。

一方の探知確率 POD は、係数 α のみならず搜索者の能力にも依存して決まる。ISPM において

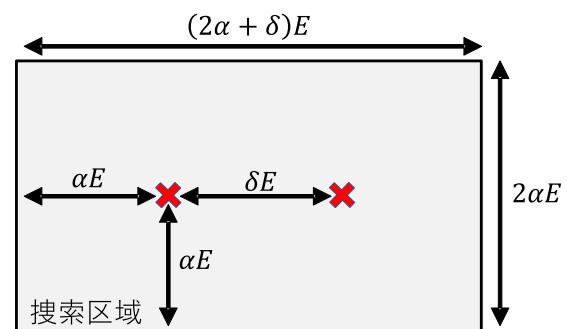


図1: 既存手法における搜索区域。

は、探索者の能力は探索努力量 Z と呼ばれる指標で表し、

$$Z = V \times T \times W \quad (2)$$

で計算される。ここで、 V は探索速力を、 T は探索時間を、 W は探索実施時のセンサー能力を示す有効探索幅を表す。これを用いて、最も効率的な探索となる並行探索を行う場合、

$$\text{POD} = \text{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi} Z}{2 A}\right) \quad (3)$$

と表される。ここで、探索努力量 Z は事案に応じて自動的に決定される値となるため、探知確率 POD も係数 α の関数とみなせる。

以上から、事案に応じて E 、 Z 及び δ の値がそれぞれ自動的に定まることで、式 (1) を最大化するような探索区域の面積 (係数 α) を容易に求めることが出来る。一方で、探索経路間隔 S については、並行探索を行う場合に成り立つ $Z/A = WVT/SVT = W/S$ の関係式を解くことによって、決定することとなる。

3. 実現可能な探索経路間隔の決定

理屈上、ISPM に基づく計算を行うことによって、風圧流分離デイトムに対する最適な探索区域及び経路間隔を決定することが出来た。しかしながら実際には、これらを同時に満たすような探索計画を海図上で再現することは容易ではない。これは、最適な探索区域の算出においては、図 1 のように係数 α に依存する長方形である探索区域を仮定しているのに対し、最適な探索経路間隔の計算においては、探索区域の面積 ($A = SVT$) のみを利用しており、形状については考慮していないためである。したがって、最適な探索区域内に探索経路を引こうとした場合に、探索経路を探索区域内に綺麗に当てはめることが出来ないという問題が起こる。以上を踏まえて本稿では、風圧流分離デイトムに対して最適な探索区域及び経路間隔を実現するような新たな経路間隔の策定手法を考える。

探索経路を探索区域内に綺麗に収めることを考える場合、探索者の航程 VT を基準とすることが合理的である。今、 VT の分割数を X とおき、探索区域の長辺の長さを VT/X とする。探索区域

の面積は $A = SVT$ であることから、探索区域の短辺の長さは SX となる (図 2)。つまり、短辺は探索経路の間隔と航程の分割数の積で表現できる。この場合、探索経路間隔 S 及び分割数 X の値を様々変化させることにより、式 (1) で表される POD の大きさが変化する。したがって、式 (2) で計算される任意の探索努力量 Z が与えられた場合、式 (1) を最大化する最適な分割数 X 及び最適な探索経路間隔 S の組合せを容易に求めることが出来る。ここで、 X 及び S はそれぞれ、 $X \in N$ 、 $VT/\delta E \geq X$ 及び $S \in R^+$ を満たす必要がある。

本手法では、予め探索経路を探索区域内に収めることを前提とした上で、成功確率が最大となる探索区域の大きさ及び探索経路の間隔を決定していることから、必ず、実行可能な探索計画を立てることが出来る。

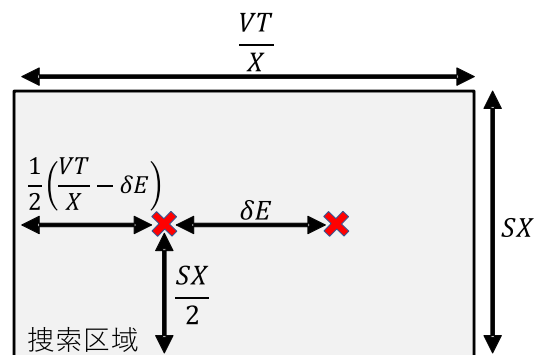


図 2: 提案手法における探索区域。

4. まとめと今後の課題

本稿では、風圧流分離デイトムに対して、実現可能性を考慮した上で最適な探索区域及び探索経路間隔を決定する探索計画手法を提案した。本手法では同時に、従来より大きな成功確率 POD の達成も期待することができる。今後の課題としては、フェリーからの海中転落のようなより複雑な探索事案に対する提案手法の適用可能性の検証が挙げられる。

参考文献

- [1] International Maritime Organization. *IAMSAR MANUAL 2019 EDITION*, IMO Publication, 2019.