

流出重油・ガスの自動追跡システムと海洋防災

○加藤直三(大阪大学) 鈴木博善(大阪大学), 千賀英敬(大阪大学),
岡野泰則(大阪大学), 伴貴彦(大阪大学), 高木洋平(大阪大学),
吉江宗生(港湾空港技術研究所), 田中敏成(港湾空港技術研究所)

1. はじめに

海面に流出した重油は、波により水と混ざりエマルジョン化・高粘度化し、沿岸に漂着すると残存性が高くなる。そうすると、自然環境に大きなダメージを与え、その回復には多大な時間と人手が必要となる。また地域経済に大きな影響と損失をもたらす。一方、2010年のメキシコ湾における海洋油田基地の爆発は、油やガスの生産施設からの大量流出の危険性があることを喚起した。海底石油生産システムにおける事故や活発な地震活動や海底地滑りにより、ガスが噴出すると、航行船舶や航空機、また自然環境に重大な被害をもたらす。

この研究は、船舶からの重油流出事故や海底の油やガスの生産施設からの流出事故に際し、油やガスなどの海底生産施設まわりの重油やガスのプルームの追跡を行う海中ロボットや、海面の流出重油を回収まで自動的に長期間に亘り追跡し、リアルタイムで情報を供給する複数の浮遊式浮流重油自動追跡ブイロボットに関する自動追跡システムを確立する。次に、ロボットから得られた油やガスの漂流位置、海象条件および浮流重油の性状に関するデータを使い、重油拡散シミュレーションの精度向上を図ることで、海底生産施設まわりの定期的な環境モニタリングを行うことや、流出重油の海上での回収や流出重油の漂流が予測される地域への適切な油防除機材の配置を行うことによって、革新的海洋防災システムへの展開を図る。この研究は、日本学術振興会科学研究費基盤研究(S)として行われるもので、平成23年度—平成27年度までの計画となっている。

2. 流出重油・ガスの自動追跡システム

これまで著者らは、外部研究資金や共同研究によって、船舶からの流出重油の自動追跡ブイロボット(SOTAB)や浮流重油漂流シミュレーションの研究開発を行ってきた[1][2]。ここで、SOTABはSpilled Oil Tracking Autonomous Buoyを表わす。本研究は

- 1) 深海から噴出する重油やガスのプルームの自動追跡を行う海中ロボット技術(SOTAB-I)、
- 2) 海面に漂流する重油塊を自動追跡する浮遊式ブイロボット技術(SOTAB-II)、
- 3) SOTAB-Iからのデータを用いた深海からの油とガスの噴出に関する熱化学的反応を含む拡散シ

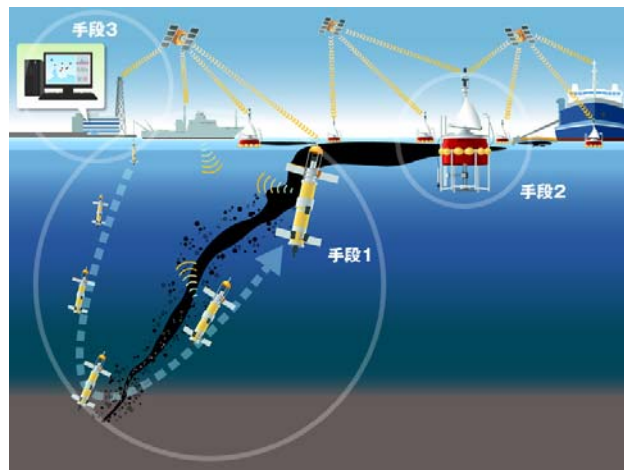


図1 流出重油・ガスの自動追跡システム

ュレーション技術や、SOTAB-IIからのデータを用いた浮流重油漂流シミュレーション技術の開発と評価を行う(図1参照)。

2.1 深海から噴出する重油やガスのプルームの自動追跡を行う海中ロボット技術

浮力と翼角の制御により、鉛直方向および水平方向への移動が可能な仕様とする。海中の油やガス成分が検出可能な水中質量分析計や海洋環境計測センサーや流速センサーを配置し、またGPS、衛星との情報通信装置を備え、母船との音響通信モデム、音響海中位置検出装置を搭載した垂直円筒型の海中ロボットを開発する。その運動特性の水槽での試験と評価、センサーの試験室での試験と評価、メキシコ湾での油流出事故周辺や日本の新潟沖でのメタンハイドレード分布海域での海中の油やガスの三次元マッピングや重油やガスのプルームの自動追跡制御の試験と評価を行う。

長期間、海底から海面までの三次元空間の環境モニタリングを行う海中ロボットとして、(1)アルゴ・フロート、(2)水中グライダーがある。(1)は、鉛直に立ち浮力調整装置によって、鉛直方向に浮上する。(2)は、流線型胴体に固定翼が付き、浮力調整装置を使って潜航・浮上により長距離移動する。この研究のSOTAB-Iは、頭部の可動式翼により鉛直移動と水平移動の中間に位置する運動機能を有し、また重油やガスのプルームをそれらの検出センサーによって、長期間追跡することができる。

目下、設計中であるため、大略の主要目は、空中質量：約145 kg、寸法：0.30φ×2.0 mであり、最

大潜航深度 2,000 m, 質量の±5%の浮力を調整する油移動式の浮力調整装置を持つ。この海中ロボットの横移動性能について、これまでに開発した潜航深度 20m で設計中と同程度の大きさの旧 SOTAB-I(寸法: 0.27φ×3.0 m, 質量 116.0 kg) [1]が, 翼角を 30 度に設定して水深 1,500m から水面に浮上する際に, 浮力を 1kg, 3kg, 5kg とした場合の横移動量を図 2 に示す。広い範囲をカバーできることがわかる。

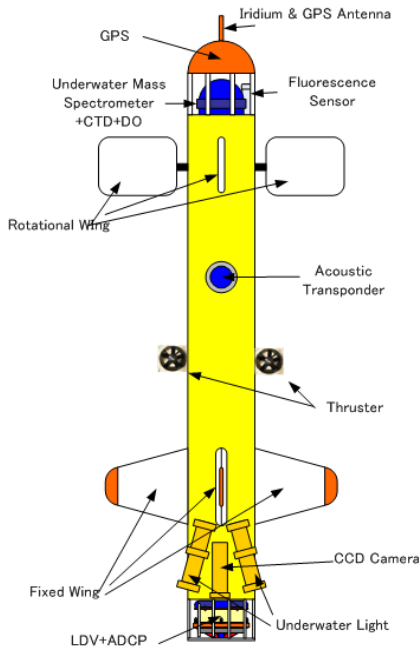


図 2 新 SOTAB-I の概念図

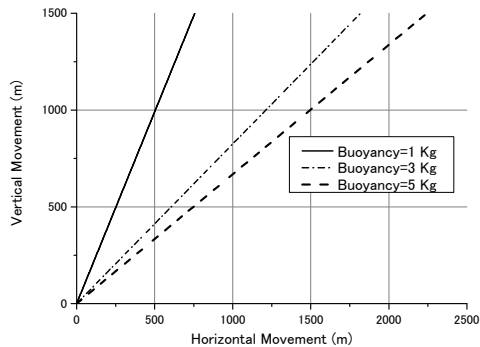


図 3 旧 SOTAB-I の横移動性能

2.2 海面に漂流する重油塊を自動追跡する浮遊式ブイロボット技術

帆の面積と角度を制御し、マストの上部に浮流重油の検出センサーを取り付けた浮遊式ブイの海面漂流特性、浮流重油を昼夜にわたって検出可能なセンサー特性、浮流重油の自動追跡制御性能の試験と評価を、実際の重油を用いた油回収実海域再現水槽や海域試験にて行う。次に、複数のブイロボットを用いて、日本での海面上のターゲットの自動追跡実

験や、ノルウェーでの実際の重油を用いた海洋実験に参加し、その検証実験を行う。

海面の重油の位置を追跡するシステムとして、これまで(1)蛍光ライダー、(2)漂流ブイ、(3)Xバンドレーダ、(4)人工衛星がある。(1)は海面に向けて紫外パルスレーザーを当て、画像撮影する方式で、航空機に搭載するため飛行時間に限界がある。(2)は重油の位置から離れた場合、追尾する機能は持っていない。(3)はその大きさにより、ロボットには搭載不可である。(4)は一日に数回しかデータが取得できない。このように、浮流重油の位置をリアルタイムで常時追跡するシステムの研究はこれまでに世界に類がない。

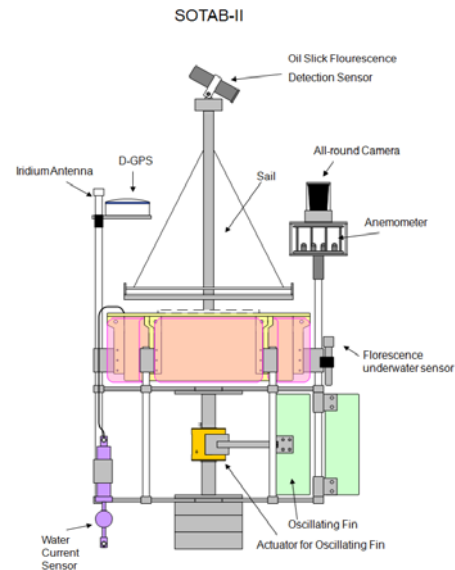


図 4 新 SOTAB-II の概念図

海面を浮流している油は、風速のほぼ 3 パーセントの速度で流される海面流れと、潮流の合ベクトル方向に流れていくと考えられている。帆の向きは、風向に対して常に 90° となるようにとり、帆の大きさは、ブイの速度が重油の速度より大きい場合、帆を小さくし、また、重油の速度より小さい場合、帆

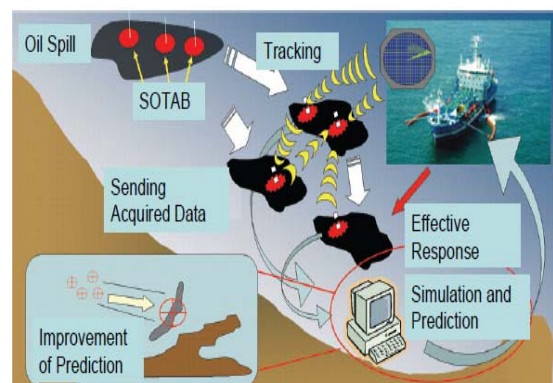


図 5 SOTAB-II の運用概念図

を大きくする（図4参照）。



図6 基礎実験用 SOTAB-II

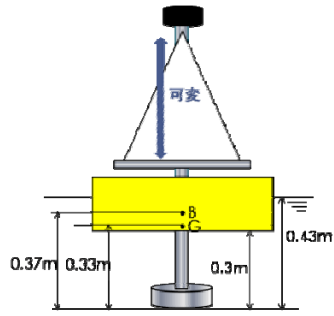


Table 1 基礎実験用 SOTAB-II の主要目

Draft	0.43 m	Volume	58.36 m ³
Diameter	0.6 m	Mass	36.25 kg
Height	0.2 m	Sail Area	0~0.1 m ²
GM	0.21 m		

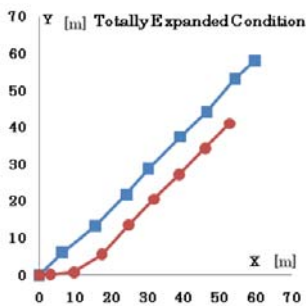
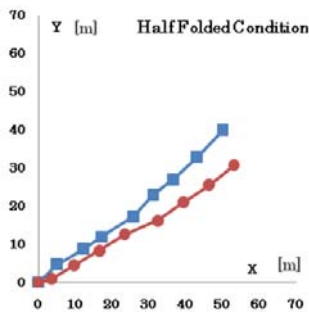
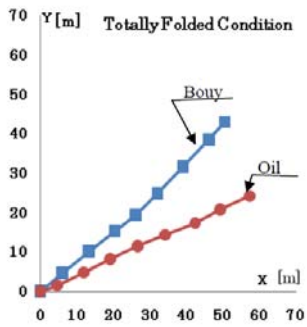


図7 SOTAB-II の帆の畳帆、半満帆、満帆状態における SOTAB-II の軌跡と仮想油の軌跡の比較

図5に、SOTAB-II を複数台用いた運用概念図を示す。油塊が分裂していく時、それぞれの油塊に SOTAB-II がわかれ、追跡していく。その気象・海象データ、ロボットの現在位置をリアルタイムに地上局に送り、浮流重油漂流シミュレーションに用いる。

海面から 10m 高さにおける風速の 3 パーセントの速度で流される海面流れと、潮流の合ベクトル方向に流出重油が流れていく（仮想油）と考え、それに SOTAB-II がどの程度、追従するかを調べるために、図6と Table 1 にある基礎実験用 SOTAB-II を用いて、海洋実験を行った。図7に SOTAB-II の帆の畳帆、半満帆、満帆状態における SOTAB-II の軌跡と仮想油の軌跡の比較を示す。図のプロットは、20 秒おきに記している。帆の面積が増えるに従い、仮想油の流れる向きに沿うことがわかり、また速度は大きくなり、満帆状態では行き過ぎることがわかる。このため、水中抵抗を増やすため、水中ブレーキ板を取り付けることにした。

流出重油に対して、何台の SOTAB-II が必要かどうかについて、流出時から蒸発、エマルジョン化、拡散の後、24 時間後に油の性状が安定した状態における油斑が円形であるとして、その周囲に 500 m 間隔に SOTAB-II を配置するとして検討した。1997 年に日本海で起きたナホトカ号流出重油事故では、C 重油 6240KL が流出したが、この場合は 16 台が必要となる。1989 年アラスカ沖で起きたエクソン・バルディース号は 41,000KL の流出量であったが、この場合は 28 台ということになる。

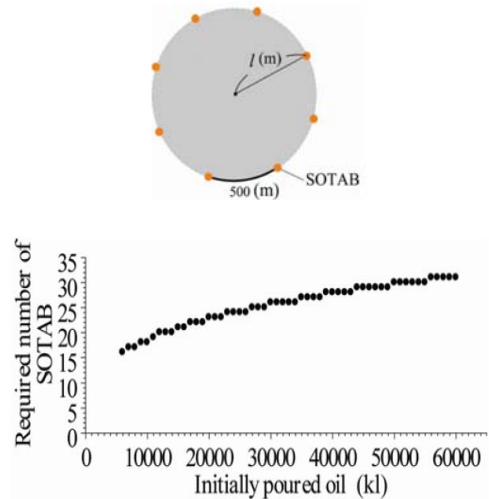


図8 流出重油の量と SOTAB-II の数の関係

2.3 ロボットからのリアルタイムデータと油・ガスの挙動のシミュレーションとの融合技術

SOTAB-I からのデータを用いた深海からの油とガスの噴出に関する熱化学的反応を含む拡散シミュレーション技術や、SOTAB-II からのデータを用いた浮

流重油漂流シミュレーション技術の開発と評価を行う。前者の技術は、ガスハイドレードの熱力学と動力学を結合したプルームモデルと油粒子移流拡散モデルの組み合わせたモデルをもとにする（図9参照）[3]。後者の技術は、気象モデル、海洋モデル、油粒子移流拡散モデルを組み合わせたモデルをもとにする[4]。計測データとの融合法については、カルマンフィルターを用いた計測データの融合法[5]を用いる。

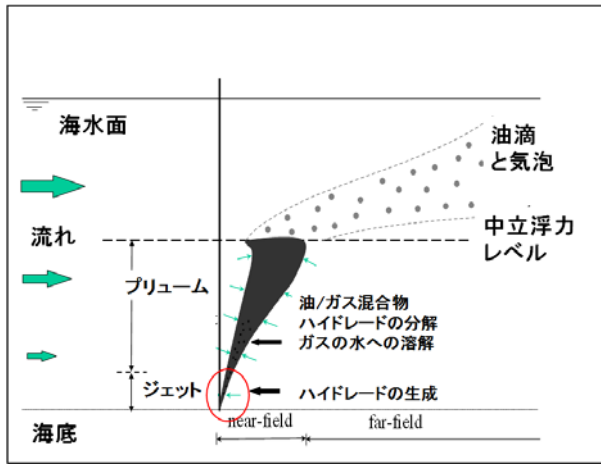


図9 深海からの油とガスの噴出のモデル化

参考文献

- [1] H. Senga, N. Kato, M. Yoshie et al., Spilled Oil Tracking Autonomous Buoy System, J. of Advanced Robotics, Vol.23, pp.1103- 1129, 2009
- [2] H. Senga, N. Kato, H. Suzuki, M. Yoshie, T. Tanaka et al., Development of a New Spilled Oil Tracking Autonomous Buoy, Marine Technology Society Journal, Vol.45, No.2, pp.43-51, 2011
- [3] L. Zheng, P. D. Yapa, F. Chen, A model for simulating deepwater oil and gas blowouts - Part I : Theory and model formulation, Journal of Hydraulic Research, Vol. 41, 2002, pp.339-351
- [4] 椋本洋平, 加藤 直三, “海洋モデル POM と気象モデル WRF を用いたナホトカ号重油流出事故後の重油追跡シミュレーション,” 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 8 号, 2009, pp.33-36
- [5] G. Evensen, Data Assimilation: The Ensemble Kalman Filter, Springer-Verlag, 2009

3. 研究計画

5年間の研究の流れを図10に示す。SOTAB-Iについては、3年目以降に、メキシコ湾での油流出事故周辺や日本の新潟沖でのメタンハイドレード分布海域での海中の油やガスの三次元マッピングや重油やガスのプルームの自動追跡制御の試験と評価を行う計画としている。複数のSOTAB-IIを用いて、3年目以降に、日本での海面上のターゲットの自動追跡実験や、ノルウェーでの実際の重油を用いた海洋実験に参加し、その検証実験を行う計画としている。計測データとの融合法については、3年目以降に、SOTAB-IやSOTAB-IIからのデータをもとに、評価を行う計画としている。



図10 プロジェクトの研究計画