

平成 26 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：若手研究（共同研究）

研究期間：平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月

研究課題名：深海における重油・ガス流出域のリアルタイムセンシング技術の開発

ラボ長

所属：基礎工学研究科物質創成専攻化学工学領域

氏名：高木 洋平

研究成果：

2010 年にメキシコ湾で発生した原油流出事故のように、海底資源発掘現場における噴出・流出事故は世界各地で起こっており、事故発生時に汚染域を早急に検知し、時々刻々と変わる海洋状況下において被害拡大を防止するための意思決定をサポートする革新的な防災システムの確立が求められている。海底資源は水深 1,000 m にも及ぶ深海域において採掘されているため、そこからの流出挙動は複雑な物理化学プロセスを有しており、また噴出した微小気泡・油滴が上昇とともに巨大な形状へと変遷するマルチスケールな現象となっている。そのため、現場でのセンシング技術のみ、またはシミュレータによる数値予測のみでは高精度な予測を行うことが困難であり、実測と数値解析及び制御理論を組み合わせたハイブリッドなリアルタイムセンシングが必要不可欠となってくる。本研究では水中ロボットによる実海域計測技術の開発、物質移動や異相間相互作用を考慮した混相流シミュレータ、及び非線形流体现象に適応可能な非線形最適制御理論を組み合わせ、革新的な重油・ガス流出域の計測・予測技術の確立を目指した。

図 1 に開発した自動追跡海中ロボット (SOTAB-I) を示す。この海中ロボットは搭載センサーによって潮流速度、水温、塩分濃度、ガス・重油の濃度・質量分析が可能であり、手で遠隔操作する以外に対象海域を一定の運動軌跡で移動することができる。メキシコ湾ミシシッピ河口付近の水深約 50m の海域において、自然湧出するメタンガスの濃度を計測した結果を図 2 に示す。ロボットの上昇・下降時に周囲流体の変動によって測定濃度にわずかな違いが見られるが、自然湧出の希薄な天然ガスであっても本ロボットによって検出可能なことがわかる。開発した海中ロボットは海中を三次元的に移動できるが、実際の流出事故では発生源を事前に特定できないため、予想される汚染海域を鉛直方向にジグザグ運動しながら探索することになる。このとき、シミュレータ及び制御理論を援用したオペレーションが有用となってくる。



図 1 自動追跡海中ロボット (SOTAB-I)

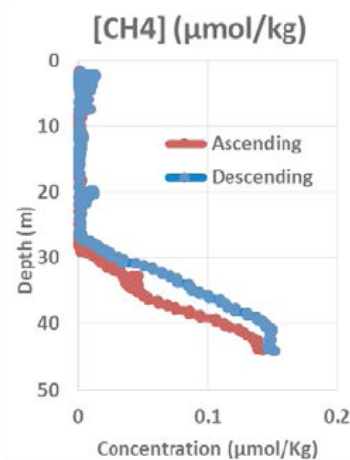


図 2 メタンガスの鉛直方向濃度分布

流出重油及び天然ガスの挙動を予測するシミュレータは個々の油滴・気泡をラグランジ安的に追跡し(図3)、流体粒子間の分裂・併合や周囲流体の温度・圧力変化による相変化も考慮した。過去にメタンハイドレード資源調査を目的とした湧出メタンの現場調査が松本らによって新潟沖で行われており、同一の海洋条件におけるメタン湧出挙動を開発シミュレータによって予測した結果を図4に示す。水深940mの海底から湧出したメタンは高压・低温状況下では速やかにメタンハイドレードに相変化し、メタンの熱力学的平衡条件から見積もられるハイドレードの存在限界・水深320mまで達すると再び気相に変化し、海水面まで到達せずに全て海水中に溶解した。この結果は現場観測の結果と整合しており、実際の天然ガスを含む資源が流出した際には海洋生態系への影響が大きく、海中ロボットやシミュレータによって海中への溶解量を適切に計測することが重要であることを示している。

最後に、強い非線形性を有する流出挙動に対して非線形最適制御を応用した結果を図5に示す。解析対象は理想化された浮力・濃度拡散を伴う熱対流であるが、深海における噴出挙動も同様な物理過程を有しており、非線形制御手法の有用性を検証した。境界条件を動的に制御することによって内部の対流を制御できることがわかり、実際の噴出現場での分散剤散布などに同様な制御手法が有用であることを示唆している。

本研究では、海中ロボットによる計測技術、油・ガスを含む混相流動を予測シミュレータ、非線形性を有する対流に対する非線形最適制御を実海域事故に適応するための基礎的な検討を行った。今後は各手法を結合し、海洋事故現場において利用可能な応用技術へと発展させる予定である。

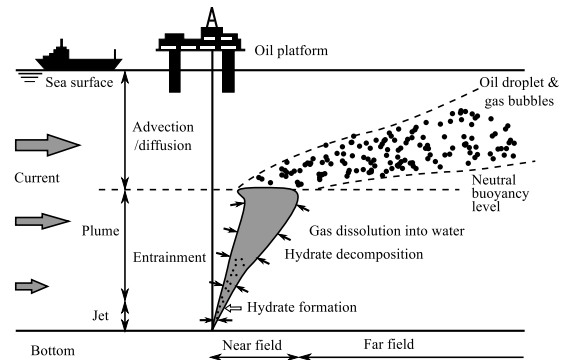


図3 流出重油・ガス追跡数値モデル

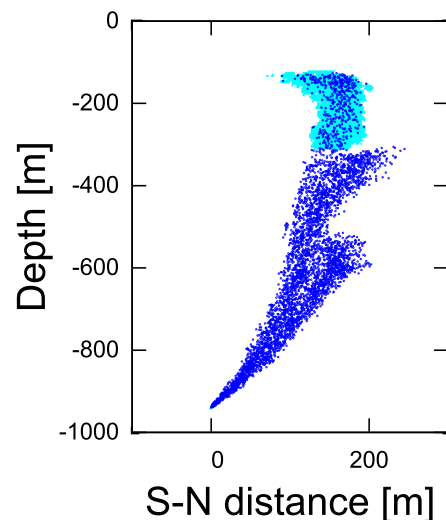


図4 新潟沖メタン湧出挙動。青色はメタンハイドレート、水色はメタンガス。

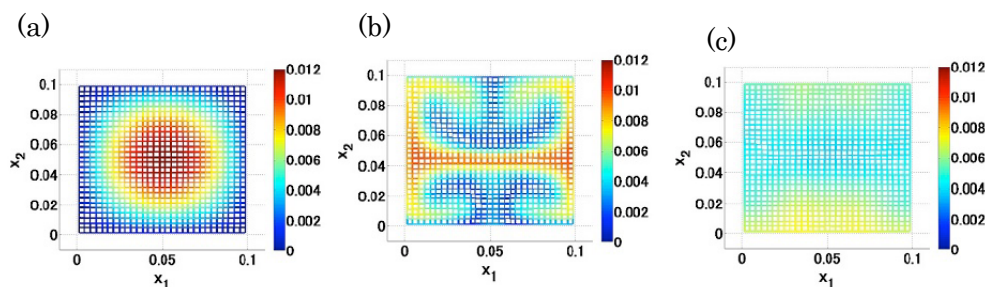


図5 濃度拡散を伴う熱対流問題にする非線形最適制御

キーワード：

重油・ガス流出事故、マルチスケール・マルチフィジクス、メタンハイドレード、ラグランジアン追跡、混相流、非線形最適制御

研究経費（H26 年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
712,260 円	127,967 円	45,460 円	0 円	314,313 円	1,200,000 円

共同研究者等

(1) 共同研究者（氏名・所属）

- ・ 橋本智昭（基礎工学研究科システム創成専攻システム科学領域・助教）
- ・ 千賀英敬（工学研究科地球総合工学専攻船舶海洋工学部門・助教）

(2) 研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

- ・ 越智達哉（基礎工学研究科物質創成専攻化学工学領域・修士 1 年）
- ・ 山田篤志（工学部地球総合工学科船舶海洋工学科目・学部 4 年）
- ・ CJ Beegle-Krause (SINTEF, Materials and Chemistry, Norway, Senior Scientist)

発表論文等（平成 27 年 3 月 31 日現在）

〔雑誌論文〕

〔著書〕

〔学会発表〕

1. SOTAB プロジェクトの現状と課題、加藤直三、鈴木博善、千賀英敬、岡野泰則、高木洋平、他 5 名、平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014 年 11 月、CD-ROM.
2. Spilled Oil and Gas Tracking Autonomous Underwater Vehicle SOTAB-I, Mahdi Choyekh, Masahiro Ukita, Ryota Kimura, Yasuaki Yaaguchi, Naomi Kato, Hidetaka Senga, and others, 平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014 年 11 月、CD-ROM.
3. Autonomous se surface vehicle for oil spill tracking in open waters, Swarn Singh Rathour, Naomi Kato, Hidetaka Senga, and others, 平成 26 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014 年 11 月、CD-ROM.
4. Modelling and Control Design of Spilled Oil Tracking Autonomous Buoy , Swarn Singh Rathour, T. Akamatsu, N. Kato, H. Senga, N. Tanabae, M. Yoshie, T. Tanaka, Proc. of 24th ISOPE conference, 632-639, June 15-20, 2014.
5. Structure of Control System of Spilled Oil and Gas Tracking Autonomous Underwater Vehicle SOTAB-I, M. Choyekh, M. Ukita, R. Kimura, N. Kato, H. Senga, M. Yoshie, T. Tanaka, N. Sakagami, Proc. of 24th ISOPE Conference, 624-631, June 15-20, 2014
6. Receding Horizon Control for Mass Transport Phenomena in Thermal Fluid Systems, R. Satoh, T. Hashimoto, T. Ohtsuka, Proc. of the Australian Control Conference, 273-278, Canberra, Australia, November 17-18, 2014.
7. Effect of liquid-gas interaction on plume structure in blowout flow, Y. Takagi, Y. Okano, N. Kato, Proc. Of the 25th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-25), 130, Krabi, Thailand, November 5-7, 2014.

〔その他〕

外部資金獲得状況・申請状況（本研究課題に関連して、科研費、JST 等の競争的資金、受託研究、奨学寄付金を受給された場合、また、申請された場合はその状況を記入ください）

1. 基盤研究(S)（分担・H23～H27）、「流出重油・ガスの自動追跡システムの確立と革新的海洋防災システムへの展開」（代表：加藤直三教授）、受給中。
2. 平成26年度研究大学強化促進事業による海外への研究者派遣プログラム、「深海での重油・ガス流出挙動に対するメソスケールモデリング」

参考となるHP等

1. 流出重油・ガスの自動追跡システムの確立と革新的海洋防災システムへの展開、
<http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/~kato/project/>