

論文の内容の要旨

論文題目 深海底における全自動観測の研究

氏名 中谷 武志

はじめに

本研究では、測深用ソナーと既知の海底高度マップを用いた自律型水中ロボット (Autonomous Underwater Vehicle, AUV) の位置推定手法を研究し、深海底の全自動観測を実現するための測位手法を提案する。

深海底調査の重要性は、遺失物調査や学術的な観点からだけでなく、近年の地球温暖化や異常気象などの地球環境を考えるべき社会的な問題からも増しつつある。しかし、従来の観測プラットフォームである遠隔操縦ロボットや有人潜水艇では、時間・コストがかかるだけでなく、人命の安全や長いケーブルの取り回しなどが妨げとなり十分な観測ができなかった。そこで、人命やケーブルによる拘束を受けない無索無人の自律型水中ロボットを深海底調査に適用できれば、調査効率を格段にあげることが期待できる。

しかしながら、従来の音響測位手法では深海底における位置精度が悪かったため、行動決定過程において人間の介在が許されない AUV にとって、限られた潜航時間内に観測ターゲットを見つけることは難しかった。そこで、本研究では事前調査で得られている海底高度マップと、自機のソナーによって得られたローカルな地形を照合して、マップ内における位置を推定する手法を提案する。

研究を進めるにあたって、手法を実装するプラットフォームとして深海底調査用 AUV を新たに開発する。そして、その AUV を用いた水槽実験及び実海域実験を通じて提案する測位手法の有効性を検証する。

深海底調査 AUV "TUNA-SAND" の開発

開発した自律型水中ロボット TUNA-SAND の写真を Fig. 1 に示す。本ロボットは、空中重量 250kg、耐圧深度 1,500m のホバリング型 AUV である。耐圧深度の 1,500m は、具体的な観測ターゲットに挙げているベヨネーズ白嶺鉱床や水曜海山といった日本近海に存在する主な海底熱水鉱床をカバーする深度に対応する。全体設計はなるべくコンパクトで軽量なものとし、構造は実環境でのロバスト性と母船上での取り扱いやすさからオープンフレーム構造を採用している。高度な慣性航法装置を備えており、姿勢角および方位は 0.01 度オーダーの精度で計測することができる。また、外部センサであるドップラ式対地速度計から対地速度情報が得られている場合、1 時間に溜まる位置誤差は数~数十メートルと極めて高い精度で位置推定を行うことができる。ただし、ドップラ式対地速度計の計測可能レンジに限界があるため、潜航開始から海底に接近するまでの間は純慣性となって誤差を蓄積してしまう。そこで、本研究で提案する地形照合を用いた測位手法が必要となる。ただし、海域が深くて海底到達までの時間が長いと、慣性航法装置は加速度を 2 回積分して位置を推定しているため、位置誤差が急激に増大する。そこで、そのような場合には地形照合を行う前に音響測位に

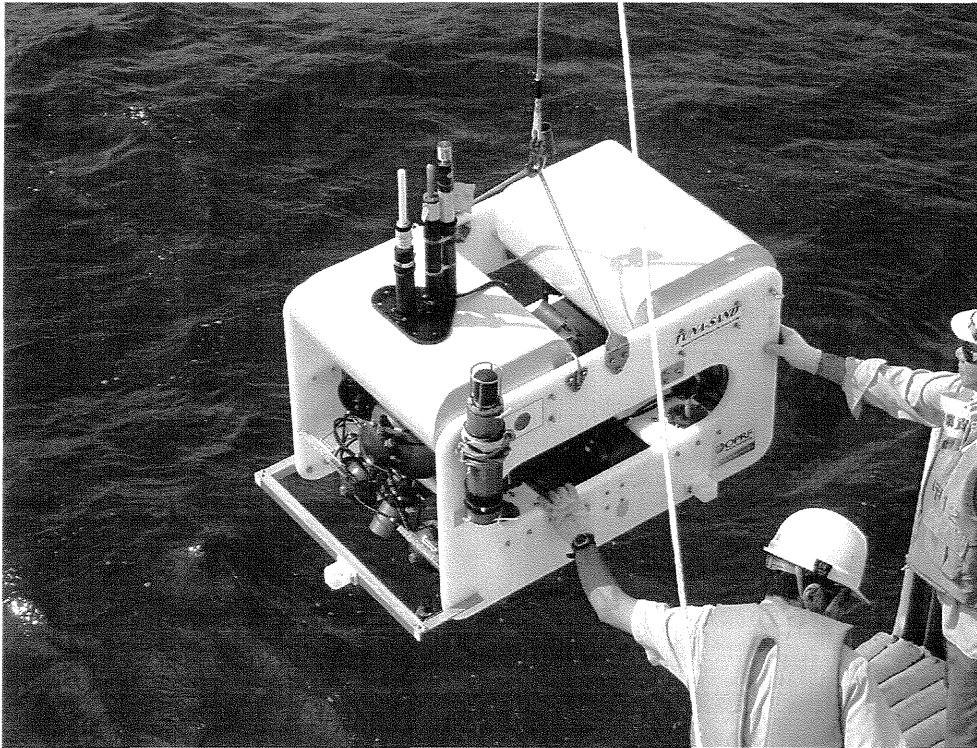


Fig.1: AUV TUNA-SAND.

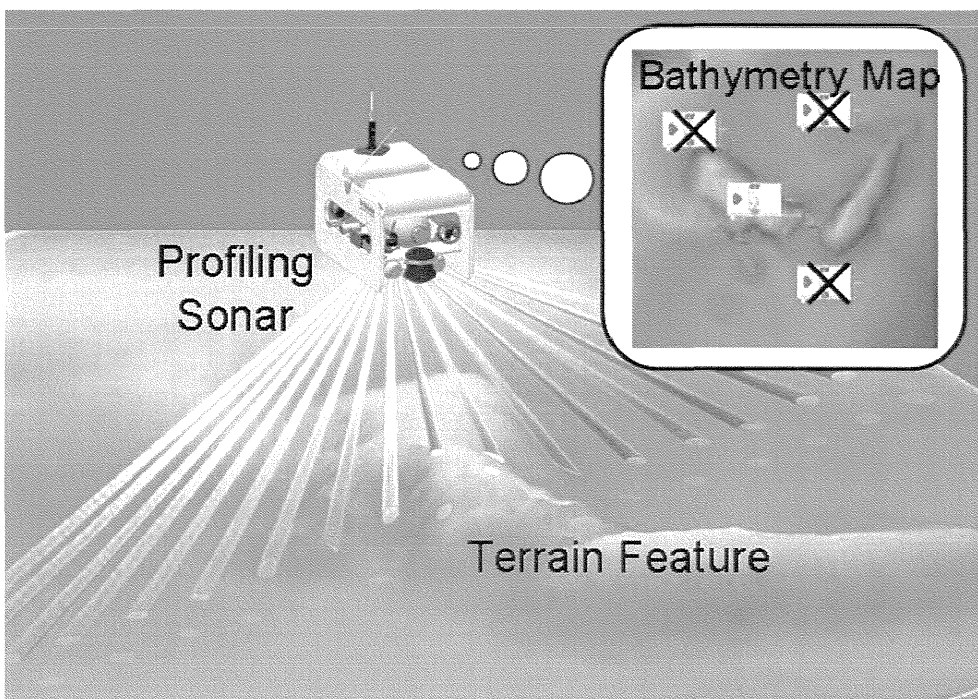


Fig. 2: Positioning method based on terrain feature matching.

より補助的に位置補正を行うものとする。

TUNA-SAND は、2007 年 3 月に進水してからこれまでに、実海域において計 20 回、34 時間以上の潜航を行った。そして、鹿児島湾、ベヨネーズ海丘、明神礁カルデラの各海域において AUV として海底の画像観測と測深の全自動観測に成功している。

地形照合による測位手法

ロボットが自律的に活動するためには、自機と周辺環境の位置関係を知る必要がある。特に電磁波が通じず GPS が使えない水中環境では、位置を特定することが難しい。Super Short Base Line (SSBL) や Long Base Line (LBL) などの音響測位手法で得られる位置精度は水深の 1~3% であり、深海底ではその位置精度は数十~数百 m オーダーである。

そこで本章では、事前調査によって海底に関する情報、特に海底地形が得られていることに着目し、AUV が深海底の観測対象物にピンポイントで接近できるだけの位置精度を得ることを目的とした、地形照合による測位手法(Terrain Based Localization, TBL)を提案する。TBL の研究は 1950 年代後半に巡航ミサイルの誘導手法として開始された[1]。音響測深機の性能向上もあり、1990 年代後半に水中ロボットの測位手法に向けてから積極的に研究が進められている[2]。筆者らも、センサを取り付けた小型船を水深 7~12m の浅海域で航行させ、AUV の潜航時を模擬した状態を作ってデータを取得し、そのデータを用いたシミュレーションによって、数オーダーオーダーの測位精度が得られることを確認している[3]。しかしながら、従来研究では①計算量、②事前に得られるマップの解像度、③得られる精度の 3 つの問題点があり、実際に測位してナビゲーションに使用された例はほとんどなかった。

そこで、それぞれに対して次のような方法を提案する。①の計算量については、事前に音響測位によって位置補正を行うことによって計算する領域を減らし、またパーティクル手法[4]によって状態推定の計算負荷を減らす。②のマップの解像度については、事前調査によって得られた曳航体または航行型 AUV の測深図を用いることで解決する。また、2 回目以降の潜航においてそれまでの潜航で得た測深値によってマップの精度と解像度を上げることを提案する。③の精度については、航法装置による移動距離の推定誤差が十分に小さい時間内に得られた測距値群を、深度情報と形状情報(平均深度からの偏差)にわけてそれぞれの尤度を算出して掛け合わせる方法を提案する。

実海域実験

提案する測位手法を実装した AUV TUNA-SAND を用いて、鹿児島湾の水深 90~170m の海域で実海域実験を行い、3 回の潜航においてリアルタイムで測位実験を行った。海面からドップラ式対地速度計の計測が可能である浅海域であるため、潜航開始から短時間であれば慣性航法装置の誤差蓄積は小さいと考えられる。そこで慣性航法装置の推定位置を真値とし、測位手法の精度を検証した。測位プログラムに与える初期条件は誤差 40m、標準偏差 20m の正規分布で与えた。最終的に全ての潜航で 10m 以内の位置精度を得られた。Fig. 3, Fig.4 にリアルタイムで得られた測位結果を示す。

おわりに

本研究により、AUVによる深海底の全自動観測を実現するために必要な測位手法として、地形照合を用いた測位手法を提案することができた。また、深海底調査用 AUVを開発し、その AUV を用いた実海域実験によって提案手法の有効性を検証することが出来た。提案手法は、ROV、HOV を含む水中ロボット一般に適用可能である。また、流氷の下や北極海など他の測位方法が困難な海域での調査への応用などが期待される。

参考文献

- [1] J.P. Golden. Terrain Contour Matching (TERCOM): A Cruise Missile Guidance Aid. In Proc. of Int'l Soc. for Optical Eng. (SPIE) Image Processing for Missile Guidance, Vol. 238, pp. 10-18, 1980.
- [2] Ingemar Nygren, Magnus Jansson, "Terrain Navigation for Underwater Vehicles Using the Correlator Method " IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.29, No.3, pp.906-915, July 2004.
- [3] T. Nakatani, T. Ura and Y. Nose, "Terrain Based Localization Method for Wreck Observation AUV," In Proceedings of OCEANS2006 MTS/IEEE Boston, pp.1-6, 2006.
- [4] S. Thrun, D. Fox, W. Burgard and F. Dellaert, "Robust Monte Carlo localization for mobile robots," Artificial Intelligence, No.128, pp.99-141, 2001.

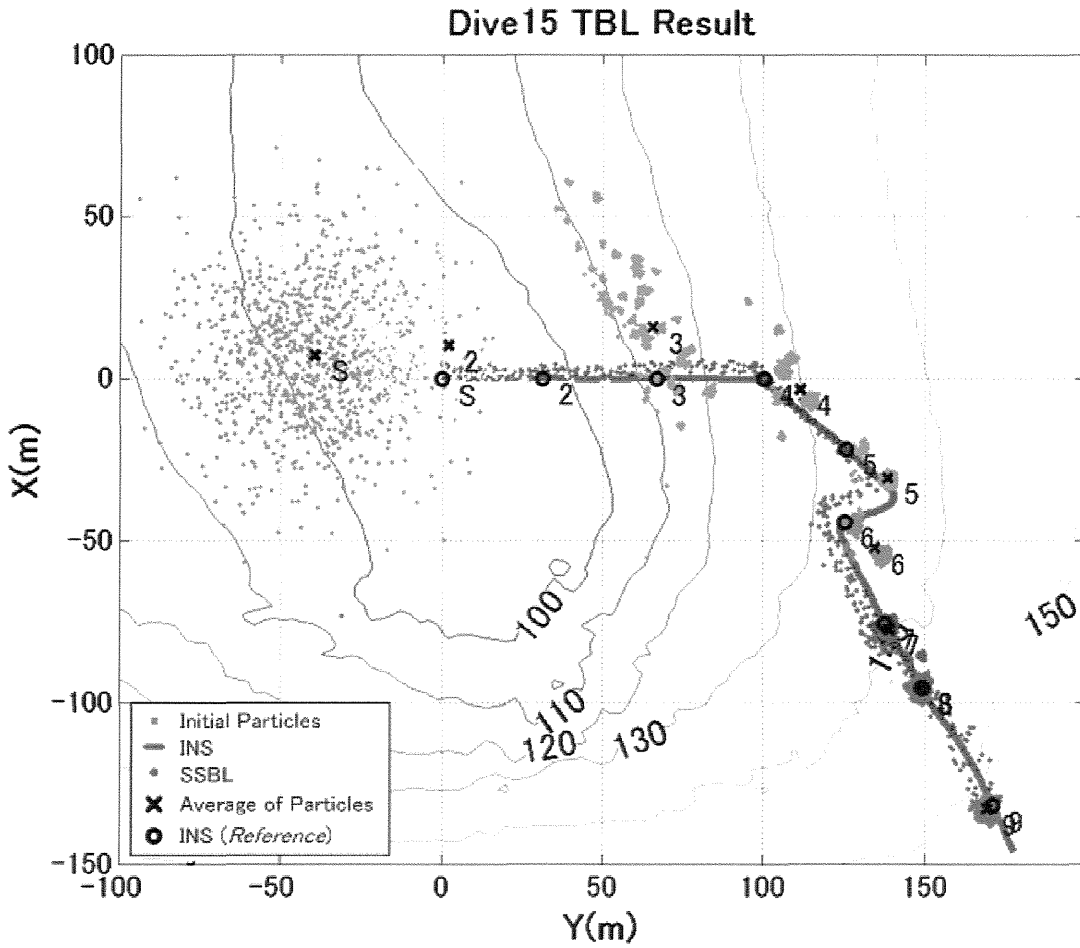


Fig. 3: Result of the real-time positioning estimation by the proposed terrain based localization method.

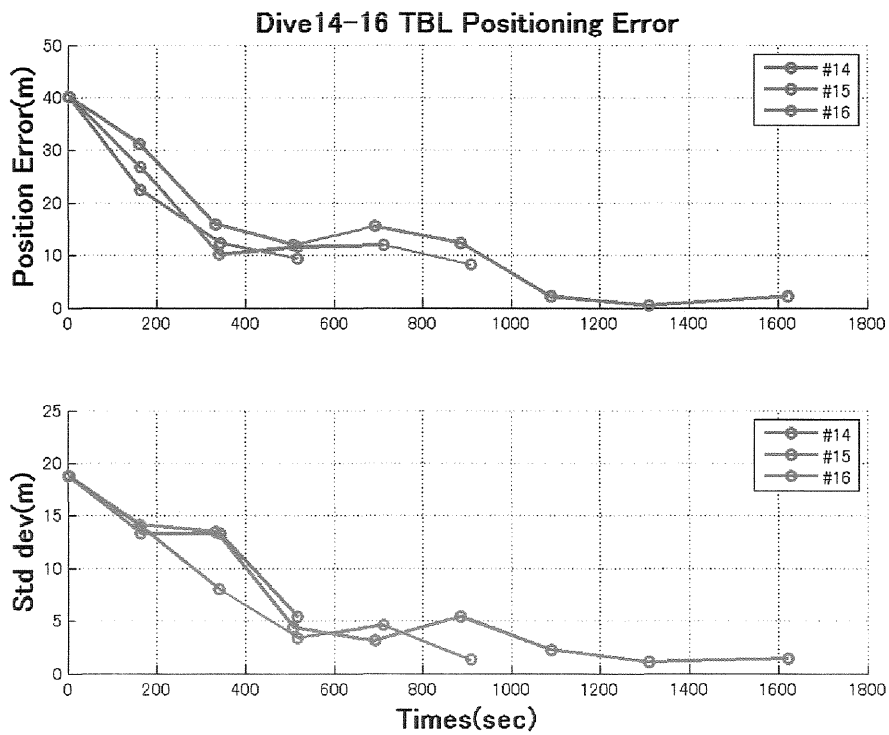


Fig. 4: Comparison of the performance, with the horizontal position errors of the three dives.