

PS-18 AUV 深度による測位評価と航跡補正

海洋先端技術系 * 稲葉 祥梧、佐藤 匠、岡本 章裕、篠野 雅彦、金 岡秀、藤原 敏文

1. はじめに

水中では電波が利用できないため、GPS 等の簡便で正確な測位システムを用いる事ができず、AUV (自律型無人潜水機) 等の水中機器が自身の現在位置を知る事は容易ではない。海上技術安全研究所 (以下、海技研) では従来、高分解能だが時間と共に誤差が蓄積 (ドリフト) する、慣性航法装置やそれに類するセンサー (以下、INS) による自己位置推定と、まばらだが一定の精度を保つ音響測位装置による水中音響測位とを AUV の潜航解析に用いてきた。しかし近年取り組む AUV 隊列制御ではこれら情報を個々に解析しただけでは AUV の詳細で正確な航跡情報が得られず、制御の評価は困難である。

そこで、本稿では音響測位で計測した AUV 航跡データから深度情報により高精度な測位結果を評価選別し、これを用いて INS のドリフトを補正して高分解能な AUV の航跡データを得る手法を紹介する。また補正で得た航跡を用い、潜航中の AUV との音響通信可能範囲の解析を行った結果を紹介する。

2. AUV 隊列制御中の通信位置解析

海技研では内閣府第 SIP 第二期テーマ「革新的深海資源調査技術」に基づき、複数 AUV の隊列制御について研究を進めている¹⁾。従来は複数の AUV を同時に運用する際は各機が独自に航走していたが、これでは ASV1 機の通信可能範囲に収めることができなかった。そこで海技研では各 AUV が計測に適した距離を維持しつつ航走する「AUV 基本隊列制御」(図-1)を開発し、複数 AUV の同時管制を目指している。

隊列制御の目的である複数 AUV の同時管制を達成するためには、音響通信がどのような条件下で達成できたかを解析する必要がある。これには高精度・高分解能な AUV の航跡データが必要だが、後述する 2 種の航跡データはそれぞれ短所を抱えている。そこで、2 種のデータを組み合わせて解析することで短所を補い、高分解能かつドリフトを含まない航跡を得る事を試みた。

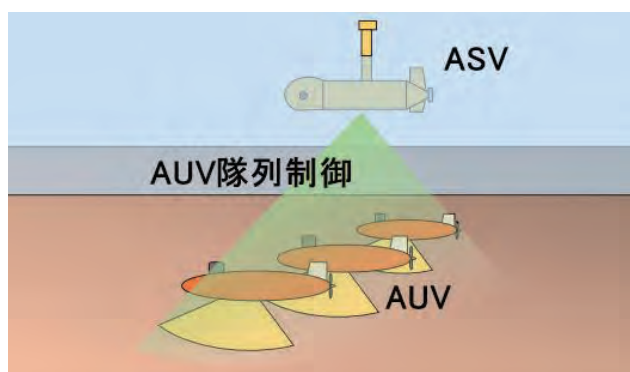


図-1 AUV 隊列制御イメージ

3. 既存の航跡データの特徴と欠点

AUV の航跡解析には INS による自己位置推定のデータと、音響測位装置による測位のデータが利用される。以下に両者の仕組みと特徴を解説する。

3.1 INS による自己位置推定

INS は装置にかかる加速度を高精度に検出し、その積分値を用いる事で自己位置を推定するセンサーである。誘導兵器の基幹部品であるため、研究用途であっても導入可能な機器の精度に制限が存在し、純粋な性能向上に限界がある。そこで、海底調査を行う AUV では対地速度計 (DVL) による対地速度から水平方向の速度値を補正し、垂直方向は深度計の値を参照する事で精度向上を図っている。しかし、時間経過による水平方向のドリフトは無視できず、また DVL に欠測が生じるとドリフトが急増するなど万全ではない。特に大深度での AUV 運用の際は、DVL の補正ができない水面-海底面間降下中のドリフトが増大しやすく、降下後に後述の音響測位装置による位置誤差の補正 (ポジションアップデート) を行うのが一般的である。AUV は INS の値を基にスラストや舵などの制御を行うため、AUV の制御を解析する場合は基本的に INS のデータを参照する。

3.2 音響測位

水中で音波を用いて対象の位置を計測する装置全般を音響測位装置と呼ぶ。特に近年は SSBL (Super Short Base Line) 方式と呼ばれる小型軽量の測位装置が AUV 運用で多用されており、海技研が運用中の機材もこのタイプである。SSBL では水面の測位装置から測位対象へ質問信号を発信し、応答が返ってくるまでの時間で距離を、複数設置した受信アレイ間の位相差から応答が来た方位を検出している。INS と異なり、時間経過によらず常に一定の精度で計測が可能だが、音波を用いるため、対象の距離に比例して計測に要する時間が増加し、測位間隔は数 s ~ 数十 s 程度になる。SSBL 測位データは AUV による資源探査などで対象の位置を解析する場合に用いるが、海底面の反射などによる誤検知が含まれるため、これをいかに見分けるかが重要である。

4. INS データと測位データの統合解析結果

海技研では 2020 年 10 月、駿河湾にて AUV 基本隊列制御の海上試験を実施した。以下ではそのデータを基に INS データと測位データの統合解析による航跡補正の結果を紹介する。

図-2-A に AUV 潜航における INS データと音響測位データの航跡の比較を示す。AUV のコースは北東部から南へ航走を始め、西に変針した後、北上するよう設定した。INS データ

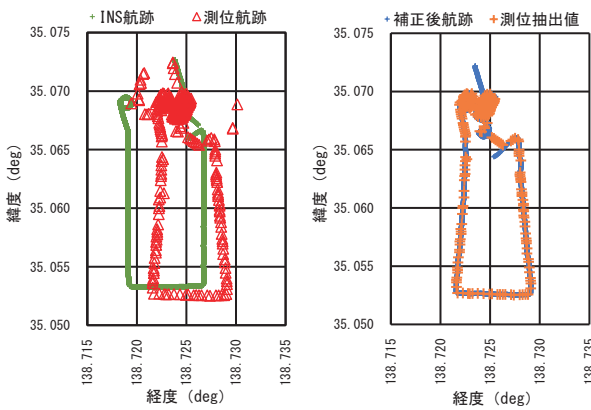


図-2-A INS・測位データ航跡比較 図-2-B 補正後航跡図

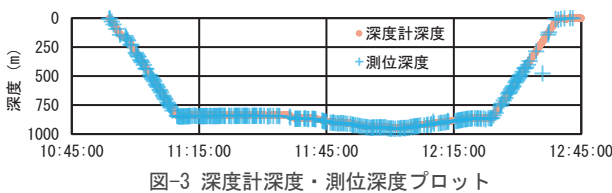


図-3 深度計深度・測位深度プロット

では真直ぐに南下・北上しているが、測位データでは徐々に航跡が東へずれていびつな航跡になっている。このような航跡乖離の原因として、INS のドリフトの増大や、音響測位装置の測位誤差が考えられる。しかし、航跡図からは INS と測位いずれの情報も正しいのか判断する事はできないため、両データを組み合わせて解析し検証する必要がある。

INS データにおいて深度のみは深度計の値を用いており、ドリフトが生じない。一方、音響測位は方位と距離いずれに誤差が生じても深度が真値から外れる。この点に着目し、音響測位で得た AUV の深度と、同時刻の INS の AUV 深度とを比較する事で精度の悪い測位結果を排除し、高精度な測位データの選別を行った。図-3 に、図-2-A で示した AUV 潜航中の深度計深度と測位深度を示す。AUV は主に深度 800m~1000m を航走したが、図より測位深度の大多数は深度計深度とよく一致しており、潜航深度の 1%に相当する誤差 8m 以下の測位深度の割合は 87.5%であった。図-2-A で航跡の乖離が大きくなった航走後半においても測位深度の精度は良好であり、よって航跡の乖離は INS のドリフトが原因と推測される。

ここで、時刻 T_1 , T_2 に測位した連続する 2 つの音響測位点間において、音響測位航跡と INS 航跡との差分は $(\Delta X_1, \Delta Y_1)$ から $(\Delta X_2, \Delta Y_2)$ へ、リニアに増減したとする。時刻 $T_1 \sim T_2$ の間の、ある時刻 T の差分 $(\Delta X_{(T)}, \Delta Y_{(T)})$ は次式より求まる。

$$(\Delta X_{(T)}, \Delta Y_{(T)}) = (\Delta X_1, \Delta Y_1) + ((\Delta X_2, \Delta Y_2) - (\Delta X_1, \Delta Y_1)) \times \frac{(T-T_1)}{(T_2-T_1)} \quad (4.1)$$

以上より、任意の時刻 T における差分 $(\Delta X_{(T)}, \Delta Y_{(T)})$ を求め INS 航跡に加算する事で、航跡補正が可能となる。

図-3 より測位深度の誤差が深度の 1%以下の測位データを選別し、上記差分による補正結果を図-2-B に示す。精度の低い音響測位点が排除され、また測位点間を直線で結んだ場合と異なり、点間の AUV の加減速や旋回等の細かな動作をより詳細に再現した航跡が得られた。

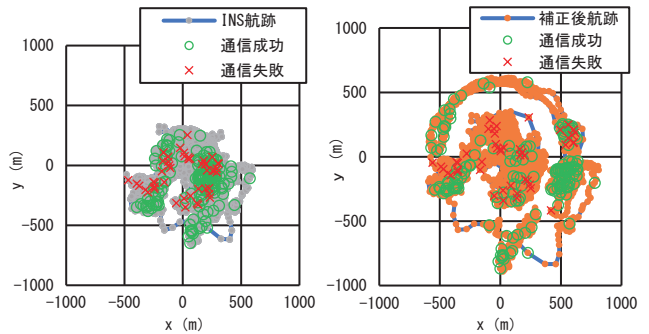


図-4 AUV 相対位置と音響通信成否

5. 音響通信時 AUV 相対位置解析

図-4 に音響通信器の船上局（親機）右方向を横軸 x 、前方向を縦軸 y とし、AUV（子機）の水平面内の相対位置の推移と、音響通信が成功・失敗した位置を示す。比較のため左には INS 航跡の相対位置を、右には航跡補正で得た相対位置を示している。この時の想定通信可能距離は音響通信器の指向角と AUV 深度より水平方向に約 460m であった。

航跡補正による解析の結果、AUV は INS 航跡よりも遠方を航走しており、想定通信範囲外であっても音響通信に成功していた事が分かった。逆に親機直下においても通信失敗が生じているが、その理由として指向性の音響通信器を用いたために海底面の反射が強く、子機の受信に悪影響を及ぼした事などが推察される。INS 航跡では音響通信の最大水平距離は約 650m であったが、航跡補正後の結果は約 870m となり、その差 200m は AUV の観測 1 測線分に相当する。仮にこの値を用い、横一列に並ぶ AUV の隊列機数を評価決定するとすれば、航跡補正解析により左右それぞれ 1 測線分、計 2 機 AUV 管制可能数に差が生じたことになる。

6. まとめ

INS と音響測位 2 種類のデータを組み合わせ高精度・高分解能な航跡を得た。これを用い音響通信距離の解析を行った結果、単純な INS 航跡データと比較し通信距離の評価に 30% の差が生じた。これは AUV 同時管制数評価に影響する数値であり、AUV 隊列制御における本解析の重要性を示している。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「革新的深海資源調査技術」（研究推進法人：JAMSTEC）によって実施されたことを附記し、関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

1) Fujiwara, T., Kim, K., Sasano, M., Sato, T., Inaba, S., Okamoto, A., Imasato, M., Osawa, H.: SEA TRIALS SUMMARIZATION ON FUNDAMENTAL FORMATION CONTROL OF MULTIPLE CRUISING AUVS, Proc. of the ASME 2021 40th International Conference on Ocean, Offshore, and Arctic Engineering (OMAE 2021).