

航空レーザー測深機による計測作業

小野智三*¹, 柴田 遥*²

Working with airborne LIDAR system

Tomozou ONO*¹ and Haruka SHIBATA*²

Abstract

Eight years have passed since introduction in the Japan Coast Guard of the airborne LIDAR system SHOALS 1000. Concepts of LIDAR surveying, measurement results, etc. have been published in various papers, but practical knowledge has not been announced. We describe the know-how of the airborne LIDAR system SHOALS 1000 in the Japan Coast Guard.

1 概要

航空レーザー測深を実施していくには大きく分けて、計画立案、搭載作業、現地作業、支援作業、資料整理、機材整備の 6 種類の作業がある。これらの作業について記述する。

2 計画立案

基本的には、年度の実施方面、計測区域は本庁海洋調査課計画係からその重要度や必要性から指示される。この指示に従って作業計画を立案することになる。

(1) 実施区域の確認

与えられた計測区域の重要度、必要性については、本庁計画係、関係部署等から情報収集を行う。これは、計測区域の優先順位を決めておく事で、天候不良や機材の不具合発生時の取捨選択を容易にするためである。計測作業もこの優先順位に従って実施する。

(2) 航空障害物等の情報収集

航空機の安全運行上非常に重要であり、あらゆる手段で幅広く情報収集し、疎かにしてはいけない作業である。計測区域及び付近、作業基地とする飛行場及び現場空域と作業基地間の経路上の航空障害物等の情報を収集する。地形、煙突、風力発電塔、鉄塔、送電線等の情報収集し、特に谷間にある送電線は留意しなければならない。

航空障害物としての地形は、標高 100 m までは問題なく計測飛行できるが、200 m 以上の地形は極力避ける。標高 300 m 以上は原則実施しない。なお、航空法第 81 条に基づく航空法施行規則第 174 条の最低安全高度は、市街地では自機を中心として半径 600 m の最も高い物標から高さ 300 m、その他の地域では対地高度 150 m となっている。

他の障害物は、工場・発電所等の煙突、山岳の山頂に存在する風力発電塔、鉄塔と送電線がある。これらの障害物は海図、陸図、空中写真や HP

*1 海洋調査課 Hydrographic Survey Division

*2 第七管区海上保安本部海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 7th R.C.G. Hqs.

で確認すること。谷間に架かっている送電線はこれら資料でも確認しにくいので、事故防止の観点から極力現場への実踏調査を実施することが望ましい。風力発電塔は意外に建設速度が速く、実踏調査時に存在しなかったものの、飛行作業時には存在したことがあったので建築計画等幅広く情報収集することが肝要である。

(3) 航空交通

航空障害物等の情報収集と同様に計測区域及び付近、作業基地とする飛行場及び現場空域と作業基地間の経路上の航空交通の情報も収集する。具体的には訓練空域、飛行場管制圏、飛行制限空域等である。

① 訓練空域

本邦及び周辺空域には、軍用、民間の訓練空域が多数存在する。自衛隊が空対空演習等を行っていないか、民間の飛行訓練の実施状況等を HP や直接関係機関と連絡を取り確認する。現在は航空局 HP の NORTAM で確認することができる。また、自衛隊の教育飛行隊がある飛行場付近では日常的に訓練飛行が実施されているので留意する。こうした飛行場としては小月（海自）、防府（空自）、小松島（海自）、芦屋（空自）、静浜（空自）、松島（空自）等がある。実際、防府飛行場付近の計測飛行の時には、広島基地出発前後に防府基地へ直接電話連絡し在空中の訓練機の状況、訓練の予定、当庁機の計測予定等を密接に連絡しあうことにより事故防止に努めている。

② 飛行場管制圏

飛行場管制圏は原則として飛行場標点を基点とし半径 5 海里、高さ 2,000 ft の円筒形の圏内である。一部の飛行場（軍用に多い）ではこの高さが高く設定されている飛行場があるため計画時には確認の必要がある。これは航空路誌、航空図等に記載されている。この圏内での飛行作業は基本的に制限されないが、無線連絡による通報の必要があり、当該飛行場の発着航空機優先した管制が行われることからホールドを余儀なくされ作業効率が落ちる。発着便数が多く注意が必要な飛行場

は、千歳、羽田、大阪、関空、福岡、那覇である。また米軍基地においては米軍優先の管制が行われるため注意が必要である。そうした飛行場としては三沢、厚木、岩国、嘉手納等の米軍基地がある。さらに羽田空港はスロットと呼ばれる発着制限を課しているため作業基地として設定するのは避けた方がよい。このことより地方空港の便数が少ない場所ではあまり考慮する必要はないが、交通量の多い空港付近では作業効率が悪くなる場合がある。

③ 飛行制限空域

飛行制限空域は、現在（2011 年 9 月 29 日現在）のところ福島第 1 原発から半径 30 km 圏内以外には存在しない。しかしながら原子力発電所から 3 海里圏内は高度 2,000 ft 以上を確保し、さらに極力高度を高くして飛行するように航空局から通達が出ている。また、京浜コンビナート等も同様の扱いであるので注意が必要である。

また、9・11 以降、テロ対策のため横須賀、佐世保等の米軍基地付近では飛行を制限してあり航空告示 NORTM に記載されている。くわえて計測範囲内における場外不時着場（自衛隊駐屯地、病院、消防、官公庁等のヘリポート等）の存在を把握しておくことが必要である。

(4) 航空基地との打合せ

各種情報収集と確認が出来たら航空基地担当飛行士との打合せを行う。当該作業の目的、計測区域、各種情報を提供し作業基地、計測飛行方向、飛行高度、飛行日程、飛行時間、その他必要な事項について打ち合わせる。飛行時間は季節にもよるが一般的に夏季の正午前後 1 時間程度はハレーションが発生しやすいため避けた方が良い。しかしながら、作業期間等の時間的制約がある場合はハレーションの影響が少なくなる計測飛行方向を考慮して実施すること。

(5) 測線立案・資料作成

飛行士との打合せ結果を反映させながら測線を作成する。測線作成は航空レーザー測深機の計画

解析ソフトウェア SHOALS GCS を使用する。作成方法は対話式で比較的容易に作成できる。ここでは、航空機に搭載する Airborne System に設定する Mission Plan file を作成することが目的である。Mission Plan file は1つの方面で Mission Plan を1つ作成する。File はASCII でファイル名は自動的に生成されるが、これを変更すると、正しく認識されず、Airborne System が作動しなくなることがあるので絶対に変更してはいけない。内容はレーザーの設定等のハードウェア設定値、測線データ、操作モニター上に表示する地形データ等である。Mission Plan file は通常数百kバイトであり、CF カードを用いて Airborne System に認識させている。

測線長やその飛行方法、また基地飛行場から現場空域までの距離により変動するが、通常1~2時間程度現場空域で計測を行い、概ね10~14測線程度の計測を行うことができる。

Mission Plan file の Flight section から測線データをコピーして Excel 等を活用して測線表を作成する。測線表は測線の開始点・終了点をそれぞれ経緯度で記載し、測線方位（磁方位）、測線距離、磁偏差（Variation）を記載する。磁偏差は航空図に記載されている修正値を使用すること。また、TNTmips 等 GIS ソフトで測線図を作成する。基図は海図がベストであるが、標高等の陸上物標を確認したい時は国土地理院の地形図を活用する。これらは狭い機内で使用するため縮尺やサイズ等は工夫すること。測線表はクリップボードに適合するようにA5サイズ、測線図はA4~A3が便利である。

3 搭載作業

搭載作業に先立ち機体後部にテールスタンド等を設置し、飛行機が尻餅をつかないように配慮する。搭載機材は飛行機の重心（主翼付近）よりも後方に集中してあり、この付近で2名程度搭乗して作業することからこのような措置を取らないと飛行機が後方へ転倒し破損することとなる。

搭載作業は、主翼より後ろ側の装備品（座席、

火工品ランチャー、救命筏等）を下ろしてから実施する。搭載する機材（Airborne System）は大きく分けて4つのコンポーネントがあり、機体の前方方向から Operator rack, Chiller rack, Chiller rack の上に Laser rack, 物件投下口上に Sensor unit を搭載する。また、Operator seat は機体装備品の座席を使用し Operator rack の後ろ側に設置する。搭載作業は、機体前方から順次行い Operator 架台、Operator rack、座席、Chiller 架台、Chiller rack、Laser rack を搭載し、物件投下口を解放後、Sensor 架台、Sensor unit の順で搭載する。搭載のため機体ドアにローラーを設置するが、ローラーをドアのコーミングに接触させないように留意する。これは機体ドアのコーミングに凹み損等の損傷を与えると機体の与圧に不具合が生じるためである。機体との取り付けは、Operator 架台、Chiller 架台はシートレールを活用し専用のボルトで固定するが Sensor 架台は直に機体に直にボルト付けなので、作業手順を順守しつつ慎重に行い、トルクレンチを使用し指定された規定トルクで締め付ける。

各 unit の搭載、固定が終了したら各種ケーブルを接続する。原則として太いケーブルから先に取り付けて、細くなるほど後の方に接続していく。これは細いケーブルの上に太い重いケーブル



Photo. 1 Airborne system of SHOALS 1000

が乗っかり細いケーブルの断線を防ぐためである。GPS ケーブル、DGPS ケーブルと 28 V 電源の機体側コネクタは機体中央右舷下側、Operator 席の下にある。このコネクタは胴体が丸くなっていることから床面に対して平行でなく若干上向きに付いているので接続の際は気をつける必要がある。コネクタには記号が付与されているためこの記号をコネクタとケーブルを照合させながら接続していく。この記号の基準は機器番号 (4 桁)、コネクタ番号 (3 桁)、コネクタ形状 (Pin or Jack) の順で〇〇〇〇×××P または〇〇〇〇×××J となっている。最後に、Sensor unit と Operator rack を繋いでいる PPS ケーブルと Data ブリザードケーブルを接続し、この 2 本のケーブルはベロクロテープで機体壁面に貼り付ける。これは特に細く破損しやすいケーブルを保護するためである。搭載作業で使用した工具類の管理は厳格に行い、機内に使用した工具類の置き忘れ等しないように留意する。これは Sensor 外側への置き忘れによる落下事故等、航空事故防止のため特に励行することが必要である。

4 現地作業

(1) 飛行前

飛行前には、天候調査、ブリーフィング、機材点検、出発準備の順で行う。出発までの時間が少ないこともあるので、各員作業分担して手際よく実施する。

① 天候調査

飛行当日の天候調査 (Weather check) をテレビ、インターネット等を活用して行う。天気予報も有効であるが、定時飛行場実況気象通報式 (通称 METAR) 定時飛行場予報気象通報式 (通称 TAF) 等は、風や雲高の情報が詳しいため、これらを活用すると便利である。これらの情報は、航空基地の運用司令室での確認や NOAA のサイト等を閲覧することで入手できる。

計測飛行に必要な条件としては次のとおり。

- ・雲高が計測高度以上であること。
- ・降雨・降雪がないこと。

- ・有視界飛行気象状態 (VMC) であること。

雲高が計測高度以下となると雲中飛行となり、雲に遮られてレーザー光が海面まで到達しないため計測できない。また、疎らに雲が機体の下に入ってくる状況だと、Laser の Eye safe 機能が作動し照射が自動停止する。この場合、計測データが途切れた状態となっているので再度計測飛行の必要が生じる。

降雨の場合は、降雨量が数 mm 程度の霧雨では計測できるが、それ以上の降雨になると雨粒に遮られて計測データ上にノイズが激増するため計測できない。降雪の場合はその影響がさらに顕著にある。

風については、意外と飛行機は風に対して堪航性がある。コースに対して向かい風だと対地速度が遅くなるので、より密測でき優位であるが、追い風だと対地速度が速くなり測深密度が設定よりも粗くなるため、あまり望ましくない。コースに対し風向が横方向 (Cross wind と言う) であれば、測線の維持が難しくなる。過去の経験上、現場空域上空が 30~40 m/sec 程度までは問題なく計測できる。

しかしながら、現場の地形や気象条件によっては風向風速の変動が激しい場合がある。この時は風が弱くても測線の維持が困難となることがある。

② ブリーフィング

気象情報を確認した後に当日の担当機長とブリーフィングを行う。このときには、気象情報、当日の作業予定、運行上の必要な情報の情報交換し当日の飛行作業に対する認識を同じにする。天候不良等の実施・中止に対する判断は、一義的には機長の判断になるが、班長は、航空会社でのディスプレイの役割を担うようにして事故防止に努める。

③ 機材点検

機材点検は、外部目視点検、Power on check の順で実施する。外部目視点検は、基地到着時に Sensor unit の乾燥剤、搭載状況の異常の有無である。必要ならば乾燥剤の交換、窒素ガスの充填

の作業をハンガー内で実施する。

Power on check は、エプロンに駐機した状態で実施する。このためには事前に整備科に電源車の手配と機体電源 ON を依頼しておく。通常、機体の Power on check と合わせて実施するので、整備科員や機体の動向に注意しておく。Power on check は Check List にしたがって実施する。このときの人員配置は Operator 1 名、記帳 1 名、機外に 1 名である。主に記帳要員が Check List の読み上げ、記録及び確認、Operator は System の操作と確認、機外の 1 名は Sensor Window の外側からの確認及び点検中不用意に Sensor Window に人が近づかないようにする監視要員である。

理想的にはこの作業を出発前 30 分くらい前までに完了すること。しかしながら航空機の運用や整備科の都合等があるため臨機応変に飛行作業前までに終わらせる。

④ 出発準備

搭載物件は、飛行作業に最低限必要なものを携行し不要なものは搭載しない。通常の飛行作業で必要なものは以下に示す。

- ・耐環境 RHD 3 本 (装填:1 次飛行:1 予備:1)
- ・測線資料 1 式 (計画図・測線表)
- ・航空図 1 式
- ・Check List 1 式
- ・Mission Plan file 1 式 (装填:1 予備:1)
- ・Operation Manual 1 冊

これら携行物品はどれが欠けても測量作業が成立しないため、搭乗要員は責任をもって用意する。

(2) 飛行作業

飛行作業は、離陸前作業、離陸～計測前、計測、計測後～着陸、着陸後作業のシーケンスで実施し各 phase での作業手順を以下に示す。

① 離陸前

計測にかかる搭乗要員は、記帳 (Navigator) と操作 (Operator) の 2 名である。この他に運航要員 (Crew) として、機長、副操縦士、通信士、搭乗整備士、航空員の 5 名が搭乗する。搭乗

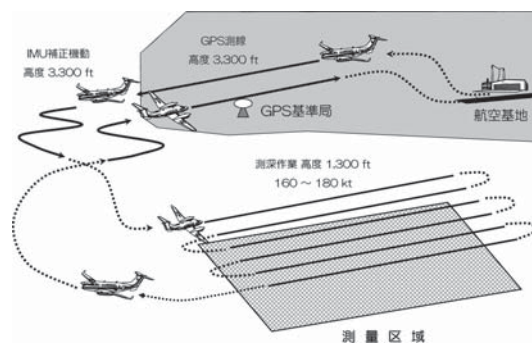


Fig. 1 Survey procedure of LIDAR

要員は離陸前 30 分までに出発準備を完了させておく。ここでいう出発準備は、飛行作業のブリーフィング、携行物品の準備、身支度 (トイレ等) である。

通常は搭乗前機側において運航要員とのブリーフィングを行う。搭乗員から飛行目的、実施空域、天候の状況、機体の状況、飛行時の注意事項等説明があるので聞き漏らさないようにする。こちら側から説明が必要な事項があれば発言する。

搭乗後、エンジン起動し所要の機体操作が終わるまでは電源は入らない。機長から主電源 (Laser power) 投入の合図があったら、コールしながら電源を投入する。電源投入後は Check List の手順を踏みながら Navigator と Operator で Cross check する。この間最低 5 分間は GPS の initialize のため停止した状態を保持する。出発準備が完了したら機長にその旨コールし出発する。この電源投入から出発準備までの 5 分間は通常 apron で行うが、基本的には電源投入から 5 分間静止することができるのなら Run up 時にこれを行ってもよい。

出発準備完了をコールすると Taxi out するが、この時に POS の状況のうち RMS 値が急速に低下することと Status が Navfull に変化することを確認する。

② 離陸～計測前

離陸後は適宜 (5 分に 1 回程度) 機材の作動状況を Check すること。現場空域到着 5 分前くらいから Check List に従い計測準備を行う。

GPS 測線は、基準局となる GPS 設置点 (現在

は国土地理院の電子基準点を利用) 上空を通過する測線で GPS の initialize を行う。飛行方法は基準局直上の前後 3 分間、合計 6 分間の等高度直線飛行を行い、速力は極力等速度を保持する。この間に Power-timing test を行い機材の状況を点検する。

GPS 測線終了後、IMU に蓄積する誤差の initialize のための補正機動、通称 S-turn 機動を行う。この飛行方法は、等高度で右 (左) 90° 旋回後、左 (右) 180° 旋回、その後さらに右 (左) 90° 旋回を行う。

これらの機動終了後、高度を計測高度へ変更し、Sensor Door Open を行い、計測準備を整える。

③ 計測

計測高度は 1,300 ft 乃至は 1,000 ft で計画した飛行高度を選択する。Laser の発射操作は、基本的に測線入線前約 25 秒、距離にして約 2,300 m 前で行う。これは、発射操作から実際に Laser が発射されるまで 15~10 秒程度かかることを考慮し、余裕をもって発射操作を行うためである。現場空域では、風の状況により発射操作時間を調整する必要がある。強い追い風の場合、予定よりも早く測線に進入してしまい欠測が生じてしまうからである。Operator は、GPS 測線時の風向風速観測 data や海面状況などから風の状況を把握して調整する必要がある。

Operator は、Laser の発射操作時、発射確認時にコールする。これは SHOALS system を搭載す



Photo. 2 JA 870 A during Laser firing

るための追加飛行規程の順守項目である。

計測中 Navigator は、入線・出線時間や Laser 発射中の Laser 出力を記録し、計測作業を組み立て機長に指示を出す。Operator は機材の操作と状況監視を行う。Data の取得状況は両者が確認する。

Laser 測量では、空中であること、かつ騒音・振動の絶え間ないという特殊な環境下において搭乗要員が各個に作業内容を分担し責任をもって遂行すること、飛行機の特性上、迅速な判断や操作を求められることもあるため、特に優秀な人材を充てるのが肝要である。

測線終了後は、Navigator が測線終了を機長にコールし、次測線を指示する。Operator は次の測線を設定し、設定後その旨機長にコールする。

飛行作業で重要なことは、搭乗要員全員が現在何を実施しているか、状況はどうなっているかというのを把握しておくことが肝要である。これは、crew が知らない間に勝手に Laser を発射してはいけないし、機長が勝手に測線を中断したりしてはいけないからである。そのため、System の電源投入時、Laser の発射前、発射時、停止時、測線指示等々頻繁にコールし情報交換することとしている。このことはひいては事故防止につながる。

④ 計測後～着陸

計測終了時後、S-turn 実施までに Sensor Door を Close し、回航準備を行う。

帰投時には、現着時と逆に S-turn を行ってから GPS 測線を飛行する。GPS 測線実施時には現着時と同様 Power-timing test を行う。

⑤ 着陸後

着陸後、apron で機体が完全停止してから GPS の initialize のため 3 分間静止状態を維持する。

3 分経過後、System の電源を Shut down して機長にコールし、機長側で主電源 (Laser power) を切る。その後、耐環境 RHD を交換し、エンジン停止後降機する。

(3) 飛行後

降機後にまず Sensor Door の状況確認を行い、必要ならば Camera Window や Sensor Window の清掃を行う。また、乾燥剤の状況確認も行い、状況に応じて窒素 purge を行う。この際にコネクタやケーブルの確認も行う。

(4) 現場での資料整理

耐環境 RHD から HD と DVD に Airborne data をコピーする。その後 SHOALS GCS を使用して簡易解析を行う。SHOALS GCS を用いた簡易解析は次の手順で行う。

- ・ Data Import
- ・ Parameter 点検
- ・ Auto Process
- ・ Fledermaus による編集・点検

現場では時間がないので、編集作業は、海面と後方散乱のノイズの除去のみ行い、Data の取得状況と said rap の rap 切れ及び Eye safe による計測漏れの Check に留め、翌日の計測計画の参考とする。潮汐は予め推算値を用意しておくとうい。

5 支援作業

支援作業として験潮と GPS 観測を行う。験潮は潮高改正のための Data 取得の他に、DL の楕円体高を決定するためにも必須の作業である。計測期間を含む期間実施し、作業自体は水路測量業務準則及び同施行細則（以下、「準細則」という）に則って行う。

GPS 観測は、DL の楕円体高の決定のため DL と関連つけられた BM 等で GPS 観測を行う。この作業も準細則に則って行う。通常 3 時間程度の静止観測を 3 対回以上行うこととしている。GPS 観測は計測飛行と同時に行う必要はないが、計測飛行実施期間に近いことが望ましい。

この他に過去においては、飛行作業時に使用する基準局 (Reference point) の設置も行っていたが、現在、基準局 (Reference point) として国土地理院の電子基準点を使用しているため、この作業は不要となっている。

6 資料整理

現場作業が終わってからの資料整理は現場で実施した Fledermaus による編集・点検に引き続いて次の手順で行う。

- ・ 験潮記録の整理、基準面決定簿作成、験潮 file の作成
- ・ Z_0 区分の決定、 Z_0 区分 file の作成
- ・ POSPac による飛行経路の後処理 kinematic 処理、SBET file の作成
- ・ 楕円体高計算、楕円体高決定簿の作成
- ・ 楕円体高区分の決定、楕円体高区分 file の作成
- ・ 験潮 file, Z_0 区分 file の Project への反映
- ・ 楕円体高、楕円体高区分 file の Project への反映
- ・ SBET file の設定、KGPS 方式での Auto Process
- ・ Fledermaus による編集
- ・ LMD data の Export
- ・ 水深編集 software (Caris, Hypack 等) での水深 data 編集
- ・ GIS software での作図、成果図の出力

(1) 験潮資料整理

験潮記録の整理、基準面決定簿作成までは、準細則に則り作業を行う。

基準面決定簿で決定した DL を反映させた験潮 data から SHOALS GCS に適合する験潮 data format の験潮 file (*.tid) を作成する。これは Header に験潮所名、位置 (Lat, Long) GMT との時差等の情報を記載し、時間は Local time とした潮汐 data からなる ASCII file である。

次に測量区域の Z_0 区分を Z_0 区分帯があるところはそれを使用し、ないところは過去の測量成果等から検討の上決定する。航空レーザー測深は広範囲に渡って計測することが多く、複数の区分を包含することが多い。

Z_0 区分決定後、 Z_0 区分 file を作成する。この区分は手入力でも直接 SHOALS GCS に入力することもできるが、煩雑な作業となるので指定 Format の file を作成し Apply tide コマンドで Project に反映させる。

(2) 飛行経路の資料整理

飛行経路の解析は、Applanix 社製 PosPAC を使用して飛行機側の測位 data と基準局の測位 data から後処理 kinematic 処理を行い、最終的な飛行経路である SBET file (*.sbet) を作成する。従来は基準局としては灯台や当庁の官署屋上等に GPS 受信機を設置していたが、現在は国土地理院の電子基準点 data の 1 Hz data を利用している。

PosPAC では、基準局からの距離及び飛行方法に応じて Short Range mode と Long Range mode の解析 mode がある。Short Range mode は基準局から半径 30 km 圏内に計測区域があることが条件とされ、開始時の GPS 測線から終了時の GPS 測線までこの 30 km 圏内から外れることは許されない。ただし、この計測 mode の場合、計測中飛行機の Bank 角に制限はない。通常はこの mode を使用するが、機動制限解除時の精度検証が十分でないため、特に機動制限解除の必要がない場合は、機動制限 20° bank で運用している。

Long Range mode は、Short Range mode の 30 km 圏内が 100 km 圏内と拡大されるが、計測中飛行機の機動制限が 20° bank までとされている。このため、通常は飛行機の Auto pilot (自動操縦装置) の一機能である Half bank mode を使用し操縦士の負担を軽減している。

(3) 楕円体高区分

験潮所の DL と関連づけた BM 上での GPS 観測結果を Trimble TTC・TGO 等の GPS 処理 software で解析する。その結果から DL の楕円体高を決定し楕円体高決定簿を作成する。

国土地理院の楕円体高モデルから楕円体高区分を決定する。楕円体高モデルのメッシュサイズ 0.2 km 毎の楕円体高を計算する。ここで得られた TP 基準の各楕円体高を DL の楕円体高に変換し、Hypack 等の水深編集 software に取り込み楕円体高等高線を作成する。楕円体高等高線の線形を読み取り SHOALS GCS に取り込むための楕円体高区分 file を作成する。

DL の楕円体高点検のために複数の BM 上での GPS 観測を行い検証することが望ましい。

(4) KGPS 法による Data 解析

楕円体高、楕円体高区分 file 及び sbet file を設定し、KGPS 方式での Auto Process を実行する。この際に現場で実施した DGPS 方式の Auto Process のノイズ処理等の編集結果はすべて消去され、新たに解析処理を行われる。これは、DGPS 方式は海面と海底の時間差から水深を求めているが、KGPS 方式は飛行機の位置と向きから海底の高さを直接求めるまったく違う解析方法であるためである。ただし、DGPS 方式の水深値は KGPS 方式の水深値の精度評価に使用している。

Auto Process が終了したら DGPS 方式と同様に Fledermaus による編集を行う。ここでは海面ノイズの除去や水深への変換処理、後方散乱ノイズの削除、スパイクノイズの水深への変換処理や削除を行う。この処理には、ノイズの周辺地形との連続性、同時撮影の写真 data、各波形 data の確認、海図や陸図、航空写真との比較等、複数の資料から総合的に判断する。波形 data では多くの情報を得ることができる。汚濁水での波形は海面波形と海底波形の線形が上方へ膨らむ傾向があり、汚濁が激しい水域ではこの膨らんだ線形の中に海底波形が取り込まれて計測不能となる。また Laser という光の特性から白っぽいものは反射強度が強く、黒っぽいものは反射強度が弱い。このことから海底が白っぽい砂浜の場合、海面からの反射強度よりも海底からの反射強度が卓越することがある。

計測時の水深 (DL 上での水深を意味しない) が 0~2 m 程度の極浅海部においては Green の海面波形と海底波形が合成することにより計測することができない。現在使用中の SHOALS GCS ではこの欠点を克服する SWA (Shallow water algorithm) を搭載しているが、Airborne System 側が適合する Detector を搭載していないので当該機能を発揮できていない状況である。

このような編集作業を行ったあと LMD data を

飛行作業毎に Export する。これは Data 量を抑えることにより以後の作業での取り扱いを容易にすることと、浅所 data を確認するための飛行作業を特定しやすくするためである。

(5) 水深編集 software による編集

Fledermaus による編集では 3D 画像による編集作業であることから細かな水深 data の確認はできない。そこで水深編集 software (Caris, Hypack 等) を活用して個々の水深値を確認し、スパイクノイズなどを削除する。これは水深 data の 2 重 Check の意味合いもある。その後、水深選択、自動処理による等深線等、最終成果の元 data を作成する。

水深編集 software での編集作業として、ここでは Hypack を用いた方法で説明する。

まず、LMD file を経緯度変換プログラムで経緯度から TM の Data へ変換する。その後、Hypack の Project へ取り込む。このままでは非常に Data が大きく取り扱いが困難となるので、メッシュサイズ 5 m で mapper をかける。この Data を SOUNDG_5 m という最終成果の大元となる file である。この SOUNDG_5 m data を電子海図 data 等と重畳させて確認作業を行う。その後、SOUNDG_5 m から縮尺に応じた Data 密度 (図上 10 mm) の 9 倍密度での sort を行う。この Data を SOUNDG_2 という。この SOUNDG_2 からさらに縮尺に応じた Data 密度に sort した Data である SOUNDG_1 を作成する。この SOUNDG_1 は水深原稿図での水深 file となる。

次に SOUNDG_2 を用いて Auto contour 機能で等深線を作成する。作成する等深線は 2 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m とする。さらに Auto contour 機能を用いて SOUNDG_2 から 0 m である低潮線を作成する。引き続き、 $Z_0 \times 2$ m である海岸線を SOUNDG_5 m から作成する。これら等高線等 file は DXF で作成し、次の工程で使用する GIS software に取り込めるようにする。低潮線と海岸線 data は次の GIS software 上で手動作成する時の参考とする。

縮尺は原則として現行海図の最大縮尺とするが、小縮尺の現行海図しかない測量区域でこの海図縮尺に合わせると高精度測量を実施した意味がなくなるので 1/10,000~1/25,000 の間で選択することになる。

(6) GIS software による編集

水深編集 software で作成した各ファイル GIS software に取り込み Shape file を作成する。

海岸線は水深編集 software で作成した海岸線 data と SOUNDG_5 m 及び空中写真を参考に作成する。

低潮線は水深編集 software で作成した低潮線 data, SOUNDG_2, 作成した海岸線 data 及び空中写真を参考に作成する。

最後に SOUNDG_1 (図上 10 mm 間隔)、等深線 data, 低潮線 data (自然岸線・人工岸線)、海岸線 data (自然岸線・人工岸線) から水深原稿図 Layout を作成する。

このようにして作成した Shape file は以下のとおり。

- ・水深
SOUNDG_5 m (5 m 間隔 data)
SOUNDG_1 (図上 10 mm 間隔)
SOUNDG_2 (SOUNDG_1 の 1/9 間隔)
- ・等深線等
等深線 data
低潮線 data (自然岸線・人工岸線)
海岸線 data (自然岸線・人工岸線)
- ・水深原稿図 Layout
水深原稿図 Layout file

これら Shape file はそのまま海図作成のための元 data となる。

7 機材整備

整備作業は、機材準備室で行う。整備内容は、Sensor unit の Laser head と Scanner room の窒素ガスによる purge, コネクタ・ケーブル類の点検、必要に応じて Sensor Window の清掃、組立後の試運転がある。

まず機材準備室としての要件は、機材を格納できる頑丈な格納棚があり、試運転のための3相交流200Vのコネクタがあることである。さらに、機材が極端な温度変化や高湿度を嫌うため、温度を16~25℃程度、湿度を60%以下に保つことが出来る空調が確保されている必要がある。

窒素ガスのpurgeはLaser headとScanner roomを不活性ガスである乾燥窒素でpurgeすることにより、内部の光学系を発錆、腐食を防止することを目的とする。Laser headのpurgeはエアダスター等で乾燥剤プラグ付近の埃をブローする。乾燥剤プラグの4つのボルトを緩めた後、取り外し窒素ガスのホースで直接purgeする。Purge圧は0.1MPa程度、時間は5分間。ホースをLaser head内に入れ過ぎると内部光学機器(特にBeam divergence機構)に損傷を与える可能性があるため乾燥剤口に引っ掛ける程度にする。Scanner roomのpurgeはLaser headと同様にエアダスター等で埃をブローする。乾燥剤プラグをネジの要領で、手で緩めて取り外し専用プラグを窒素ガスpurgeコネクタに接続してpurgeする。Purge圧は0.1MPa程度、時間は10分間とする。Laser head, Scanner roomのいずれの場合もゴミ・埃等を中に入れないように最大限注意すること、また、この窒素ガスのpurgeは概ね1ヶ月に1回程度行い、梅雨等の高湿度時は半月に1回程度の頻度で行うことが必要である。一度Scanner mirror等に錆や腐食を発生したら性能の低下や計測不能になる不具合等が発生する可能性があるため欠かさず実施することが重要である。

整備作業時、搭載前、格納前にはコネクタ・ケーブル類の点検を行う。コネクタのPin側はpinに折れ・曲がり等がないか、Jack側はjack内に異物がないかどうかを確認する。ケーブルは被覆の損傷、コネクタ周辺ケーブルに断線の恐れがないかどうかを確認する。被覆の損傷やコネクタ付近のケーブルの補強等では自己融着テープの上から絶縁テープ巻いて補強する。

必要に応じてSensor Windowの清掃を行う。

組立後、試運転を実施する。

8 おわりに

海上保安庁では、上記のような要領で航空レーザー測深機を運用してきた。当初は機材がまともに作動せず、機器を正常に動かすことから始め、海図に取り込むための資料整理法も一つ一つ模索してきた。本稿はそうして繰り返した試行錯誤の成果である。この技報が後進の役に立つことを望む。

要 旨

航空レーザー測深機SHOALS 1000も導入以来8年が経過した。航空レーザー測深の概念、計測結果等については、様々な論文等で発表されているが、実際のノウハウについては、発表されていない。そこで航空レーザー測深を実施してきたノウハウについて記述する。