

SEABAT を使ったデジタル水深測量におけるバイアス調整法

浅田 昭, 穀田昇一, 松本良浩 (水路部), 政岡久志 (五管水路部)

Bias Adjustment for Multi-beam Survey using SEABAT

Akira Asada, Shouichi Kokuta, Yoshihiro Matsumoto : Hydrographic Department

Hisasi, Masaoka : Hydrographic Department, 5th Regional Maritime Safety Headquarter

1. はじめに

最近では、国際的にマルチビーム音響測深機が浅海域でも使われてきており、新 IHO 国際水路測量基準 (第 4 版) ではこういったマルチビーム音響測深機の技術進展及び利用の実態に合わせた基準を作るべく改訂作業を進めている。

海上保安庁水路部では、これからの測量成果の管理、電子海図等の利用を鑑み、マルチビーム音響測深機の使用とデジタル測量成果の推進を図っていく事としている。このモデルケースとして、1997年6月に神戸市須磨沖の測量に、SEABAT を使い、計測処理システムとして HYPACK を使って、デジタル水深測量成果を出すまでの一連の作業を行っている。マルチビーム音響測深機では、未だ具体的な測量方法が検討不十分なため、バイアス調整や精度を評価できるような測量手法を検討し、処理上の問題点の解決策を含めたマニュアル作りを行う必要がある。今回は、このモデルケースにおけるバイアス調整について報告するものである。

マルチビーム音響測深機のバイアス調整としては、以下の項目が上げられる。SEABAT としても、これらのバイアス値を使用して計測、データ処理を行うことができるようになっている。順番としては、ロール、ピッチ、ヨーバイアスの計測は時間遅れを計測し、補正を行った後に計算する必要があるとともに、測位機の時間遅れの補正誤差に相当する位置ずれ誤差より精度は上げられない。

- (1) ロールバイアス (動揺検出器)
- (2) ピッチバイアス (動揺検出器)

- (3) ヨーバイアス (コンパス)

- (4) 時間遅れ

- ・測位機 (GPS など)
- ・動揺検出器 (ロール、ピッチ、ヒープ)
- ・コンパス (ジャイロ、磁気コンパスなど)

今回の測量では、動揺検出器は TSS335B, 磁気コンパスは KVH, 測位機はキネマチック GPS (4000 SSI) を使用した。また、計測システムは HYPACK を使用した。HYPACK はこれら各機器からのデータをシリアルポートを使って受け、受け取った時間をそれらのデータに付けて収録する。SEABAT の計測時間とは、厳密に言えば発信時間である。発信した送波ビームによって海底に照射される部分が決まり、この照射された海底部の水深を計測していることになるので計測時間は、海底に音波があたった時間でも、反射波を受信した時間でもなく発信した時間となる。HYPACK でデータを受け取るまでには、音波の往復伝搬時間、計測処理時間、データの送受時間の遅れが重畳される。

HYPACK ではシステムの計算機の時計を基準とし、HYPACK で SEABAT データを受け取った時間を発信した時間とみなして、各機器を発信した時間に修正するための時間遅れを決める方法をとっている。HYPACK の時計を GPS 時計に同期させる、また、時間修正する必要も無い。音波の受信時間に計測値を必要とするものは、主にロール、ヒープであるが、水深 75 m とすると音波の往復伝搬時間は 100 ms であり、発信時間の値を使用するのは問題があるか微妙なところである。内挿により発信時と受信時の値を計算しきちっと補正しておけば問題はな

い。

また、毎日1回STDによる音速プロファイルの計測を行い、音速の屈折補正を行っている。

2. ロールバイアス計測

SEABAT 受波ビームの鉛直軸からの傾きは、船体のローリングによって左右に回転するようにスイングする。動揺検出器のロール値は、この受波ビームの鉛直軸からの傾き角を修正するために使用する。この時、SEABAT の受波器の鉛直軸と、動揺検出器 (TSS335B) の鉛直軸のずれ量、ロールバイアスを計測して補正する必要がある。このずれ量は、ピッチ方向とロール方向の2成分がある。SEABAT はクロスファンビーム方式のため、受波ビームに対しては、ロール角のみを補正すればよい。計測部を内蔵した SEABAT の送受波器の支持パイプを測量艇の舷側の固定ガイド溝を使い、また、ワイヤーで前後2カ所の張りをとって固定した。ワイヤーは目印をつけて取り付け毎のずれがないよう

にした。このロールバイアスが取り付け毎にどの程度変わるのか未知であったので、平坦な海底を毎日500mの往復計測を実施した。海域が平坦なところがほとんどであったので、測量を行いながら、適当な平坦部において往復計測を1日1回行った。

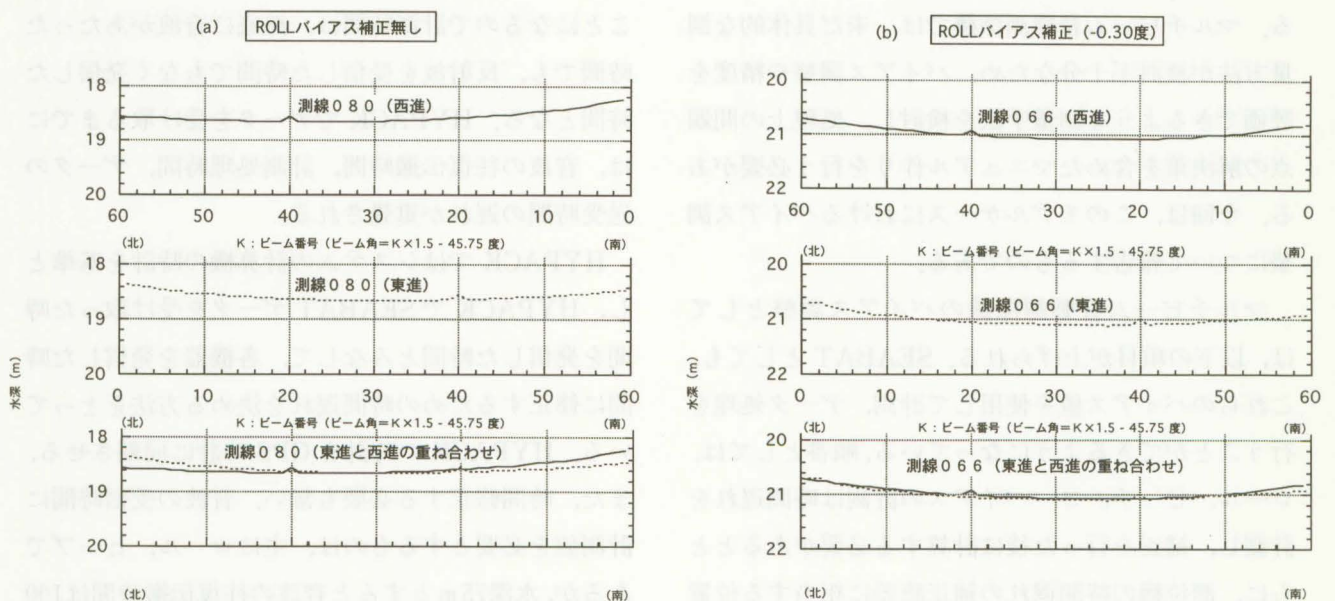
ロールバイアスは行きと、帰りの海底の左右の平均傾斜差からロールバイアス値を計算すればよく、わりと簡単に精度良く計測できた。横距離を Y、水深を Z とし、直線式 ($-Z=AY+B$) の係数 A を最小自乗法を使って求め、 $\tan^{-1}(A)$ で角度値に変換すれば、行き帰りの和のマイナス値がバイアス値となる。これらの値は、計測誤差と取り付け時のずれが含まれるが、値の変動幅は0.3度程度と小さい結果(表1)を得た。

3. ヨーバイアス計測

ヨーバイアス計測に適した浚渫跡が測量海域に無いため、第2図に示すように漁礁をはさんだ平行測線(20m間隔)による計測から、ヨーバイアスを計

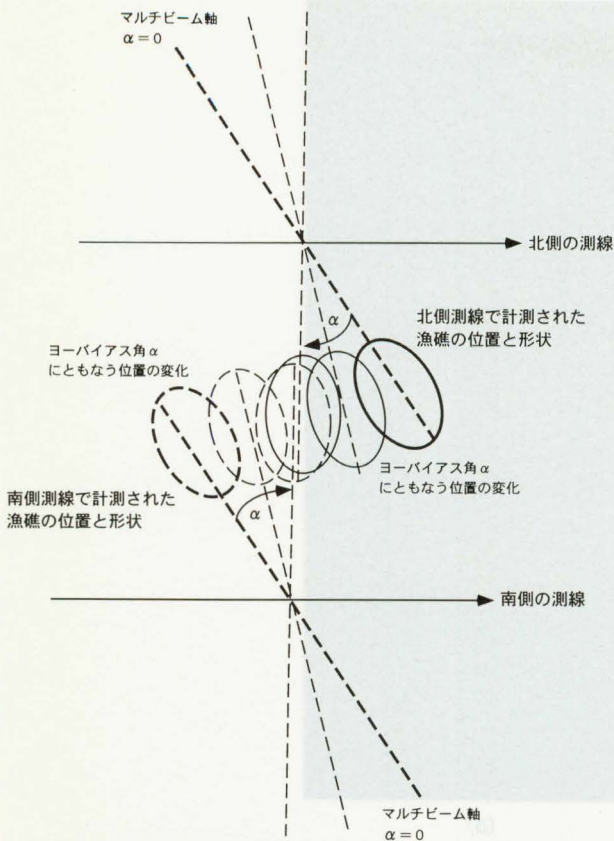
表1 ロールバイアス計測結果

年月日	970610	970611	970612	970613	970616	970617	970618	970627
ロールバイアス	-0.303°	-0.214°	-0.307°	-0.286°	-0.336°	-0.541°	-0.284°	-0.466°



第1図 ロールバイアスの計測結果例

平坦な海底の往復計測の平均断面。横軸は往と復が地理的に同じ位置になるように片方の横距離を±反対にしてある。(a)はバイアスを行わない時、(b)は往と復の平均海底断面の傾斜差をロールバイアス値として求めて補正した結果。



第2図 漁礁を目標としたヨーバイアス計測の概念図
 漁礁をはさんだ平行測線 (20m間隔) による計測結果と、ヨーバイアス値を与えた時の両者の漁礁の移動。与えた各ヨーバイアス値における漁礁地形の差の2乗和が最小になるとき漁礁地形の重なりが最も良く、この値をヨーバイアス値として決めた。

測することとした。毎日、漁礁をはさんだ同じ2本の測線を往復計測した。ヨーバイアスの計算は容易では無く、以下のようにして求めた。測量艇が鋼船であり磁気コンパスを使ったため、バイアスは10度程度と非常に大きかった。この計算は、キネマティックGPSの時間遅れ量を補正した後で行う必要がある。

- (1) -20度~0度までのヨーバイアスを磁気コンパス値に加え、各バイアス毎の漁礁区域の25cmグ

リッド水深データを作成

- (2) 漁礁をはさんだ平行測線 (同一方向) について、進行方向20m×横方向7.5mと15m×5mの2箇所
- (3) 漁礁区域の水深差の自乗和の最も小さいバイアス値をヨーバイアスとして採用

水深が15m、SWATH幅が+/-45度のため1mの測位誤差が出ると計算は不能となった。今回はキネマティックGPSを使用したため計測できた。ヨーバイアス計測には測位誤差に注意を要する。また、キネマティックGPSからDGPSに時々変わったために、いくつかは計測できなかった。HYPACK収録データからは、切り変わりの判別ができない。GPSのそのままのデータがあるとモードが記録されるので判別が簡単である。例えば、水深10m、ビームの傾きを45度としたとき、1度のバイアスは

$$\text{水深}10\text{m} \times (\tan(45.5) - \tan(44.5)) = 0.35\text{m}$$

3度のバイアスは

$$\text{水深}10\text{m} \times (\tan(46.5) - \tan(43.5)) = 1.05\text{m}$$

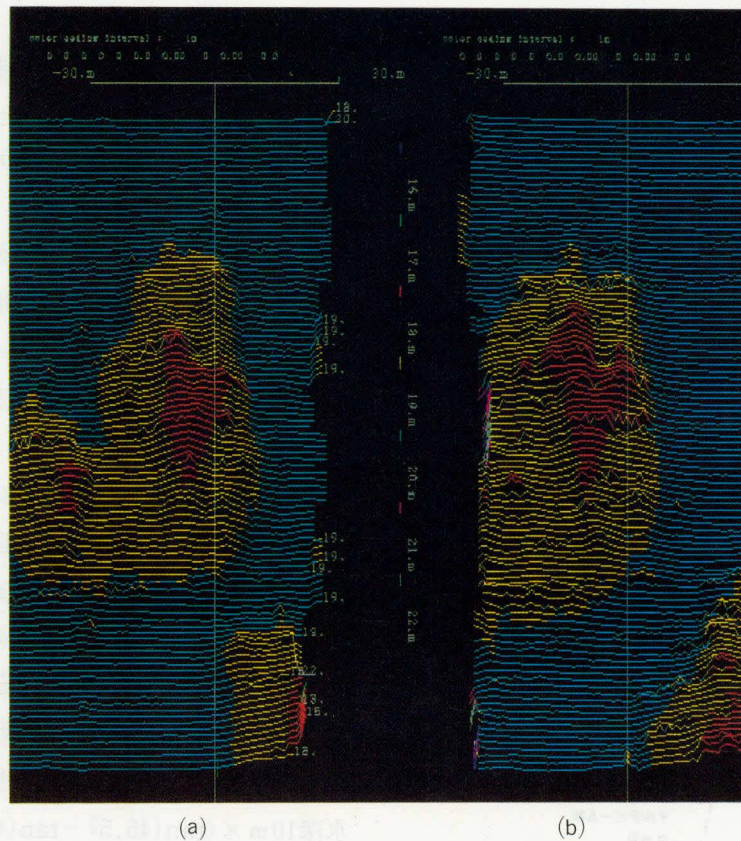
の位置ずれを生じる。1mの測位精度では3度の分解能でやっと計測できる。逆に言うと、3度のヨーイング誤差があっても1mの位置誤差しか生じない。1度程度のジャイロと接続されていれば、水深30m以下では1m以下の位置誤差となりヨーバイアスは行わず、無視して差し支えないであろう。

方位によるバイアス変動が懸念されたがバイアス計測結果 (表2) からは小さいと思われる。

漁礁をはさんだ平行測線 (20m間隔) による計測結果と、ヨーバイアス値を与えた時の両者の漁礁の移動。与えた各ヨーバイアス値における漁礁地形の差の2乗和が最小になるとき漁礁地形の重なりが最も良く、この値をヨーバイアス値として決めた。

表2 ヨーバイアス計測結果 (東西方向に平行航走)

年月日	970610	970611	970612	970613	970616	970617	970618	970627
E-W	-12,-13,-15°	-12,-13°	-13,-11°			-12,-13°	-6.2,-7°	-7,-7°
W-E		-16°	-11.5,-11°	-12,-12°	-13,-18°	-11,-11°	-10°	-9,-5.5°
平均値	-13°	-14°	-12°	-12°	-16°	-12°	-8°	-7°



第3図 漁礁を目標としたヨーバイアス計測の例
(a)と(b)は漁礁をはさんだ2本の平行測線による漁礁地形の重なりが最も良かった時のヨーバイアス補正地形。

4. ピッチバイアス計測

送受波器の鉛直軸からの前後角のずれは、送波ビームの前後のゆれを生じる。ずれの少ない送受波器の固定法により、ロールバイアスと同じ位に固定できたと思われる。速力4.5knで漁礁上を往復計測したが、計測距離間隔(1/4秒間隔：15m水深で0.58m)やGPSの時間遅れ量の方がバイアス位置誤差よりかなり大きく、値の検出ができなかった。ちなみに1度のバイアスがあると、15m水深では0.26mの位置ずれを引き起こす。補正を行わなくても、15m水深で計測距離間隔60cm以下の位置誤差に収まる事になる。

5. 時間遅れ量計測

(1) キネマティックGPS

漁礁の往復計測による、漁礁の位置ずれ量と船速から時間遅れ量を計測し、1.81秒の遅れ時間を得た。なお、この値はSEABATの計測遅れ時間が結果的

に除かれるので、他の利用との比較には注意を要する。

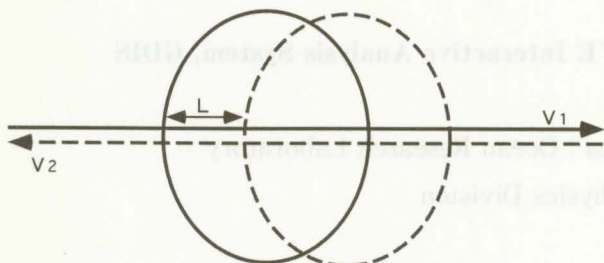
標準的な方法で、最低速力(2-3 kn)と最大速力(5 kn)で漁礁上を同じ方向に、同一測線で計測したが、計測間隔(1/4秒間隔：0.3)2m間隔(2.5 kn)と0.64m間隔(5 kn)の方が時間遅れ量よりかなり大きく、値の検出ができなかった。2-3 knより遅く走ると流されて、測線上を走れない。5 knより速く走ると、送受波器の支持棒が左右に震動しだし、計測できなくなった。計測結果は表3に示すとおりであり、SEABATの計測間隔0.25秒から見ると、計測値のばらつきもこの程度であり、補正後の位置ずれの誤差も0.6mよりよい結果と推定される。第4図に示すこの往復計測方法ではピッチバイアスの誤差が重畳されるが、ピッチバイアスが補正されているか、誤差が小さい場合には有効であると考えられる。

(2) ロール、ピッチ、ヒーブ

HYPACKメーカーの持つ動揺検出器(TSS335B)

表3 キネマティック GPS の時間遅れ量の計測結果 (平均1.81秒)

年月日	970610	970611	970612	970613	970616	970617	970618	970627
時間遅れ	1.936(秒)	1.783(秒)	1.763(秒)	2.166(秒)	1.749(秒)	1.593(秒)	1.984(秒)	
	1.714(秒)			1.605(秒)				



漁礁の往復計測による位置ずれ (L)
測位機の時間遅れ (Dt)

$$L = V1 \cdot Dt + V2 \cdot Dt \quad (+ 2 Lp)$$

(Lpはピッチバイアスによる位置ずれ量=0)

第4図 漁礁の往復計測による漁礁の位置ずれ量と船速から時間遅れ量を計測

の遅れ時間データ (75ms) を基に0.07秒を補正した上で、ロール角と SEABAT 水深計測値のうねりの位相差を調べたが、差は小さく検出できなかった(第5図参照)。計測間隔0.25秒より小さい範囲である。

(3) 磁気コンパス

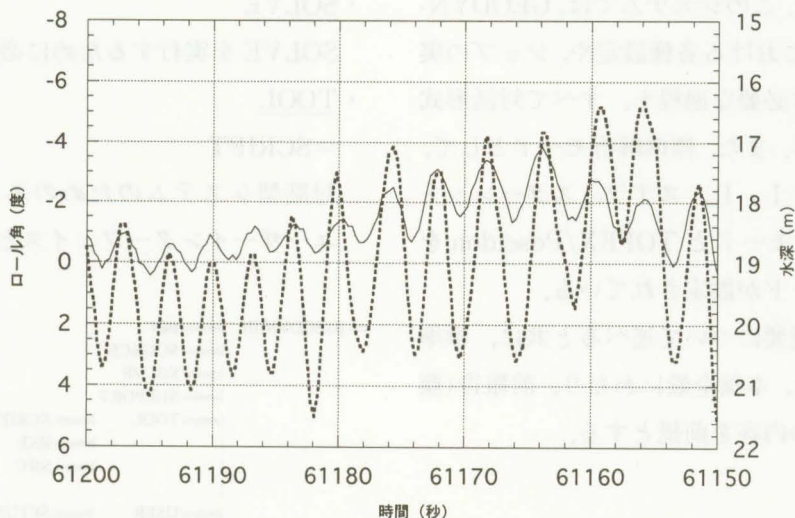
KVH のメーカーの持つ遅れ時間データ 1 秒を補正した上で使用している。今回は磁気コンパスオフセット値の方がはるかに大きく、磁気コンパス値の時間遅れ量は検出できなかった。

6. おわりに

今回のモデルケースの検討により、各センサーの時間遅れとバイアスの調整法については有意義な結果が得られたと思われる。今回の結果を基に、測量の細則案を作ることの目処が立ったといえる。

残りの問題点としては、誤差や精度評価の検討を行い、精度評価法の基準及び細則案の作成である。ただし、この点については、深海用のマルチビーム計測の精度評価法がたたき台としてはあるが、航行安全の観点から全く別の物差しをつけ加える必要がある。S-44改訂の作業委員会の意見にもあるが、精度評価については各国水路部がそれぞれ研究を行う必要があるとしており、我々も独自の評価法を検討しなければならない状況下にある。

浅所とノイズ水深の区別、魚群や藻類による誤差、測深精度、音速補正によっても取りきれなかったビームごとの測深誤差、周波数と底質による実効的な海底反射面の違い、ほか幾つかの検討を必要とする項目が考えられる。



第5図 対鉛直軸に対し30度角のビームの、ロール補正を全くおこなわない地形断面(実線)とロール角(点線)。地形断面とロール角の SIN 曲線の周期が見た目に一致しており、これ以上のヨーバイアス補正は必要ないと思われる。