

ADCP による25時間連続観測の測流結果について

熊谷 武：海洋研究室

今西孚士，木村琢磨：沿岸調査課

Results from 25 Hours Repeat Current Measurement with Shipboard ADCP

Takeshi Kumagai : Ocean Research Laboratory

Takanori Imanishi, Takuma Kimura : Coastal Surveys and Cartography Division

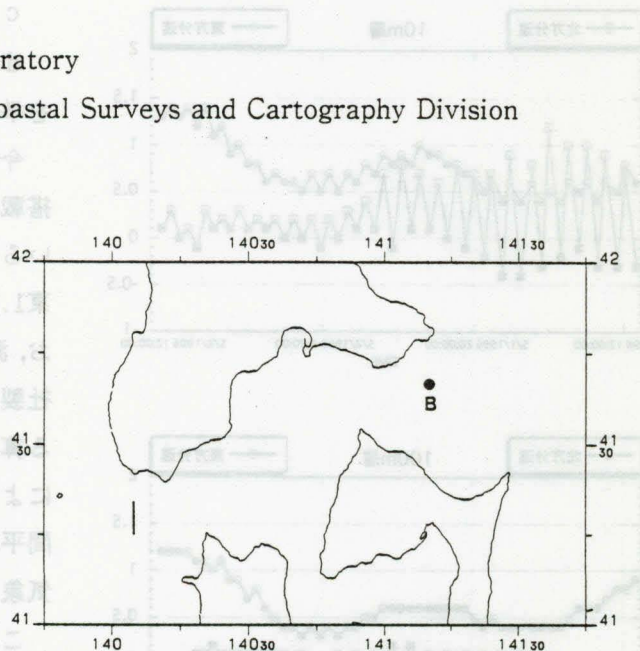
1. はじめに

潮流観測の期間については、月の運行に基づいて、25時間観測（一昼夜観測）、15日間観測、30日間観測及び1ヶ年観測がある。また、潮流観測の方法としては、流速計を海中に係留（固定）する方法が主であるが、一点の観測であることや流速計の流失の可能性という欠点がある。この欠点は船舶に搭載されている超音波流速計（ADCP：Acoustic Doppler Current Profiler）による往復観測を実施することで解消できる。しかし、潮流を把握するためには最低でも1時間毎のデータが必要なこと及びある程度の広範囲な調査が必要なことから、この観測方法にも限度がある。

平成8年4～5月に「津軽海峡付近沿岸流観測」を測量船「海洋」により実施し、その一環として津軽海峡西口付近において、「海洋」搭載のADCPによる25時間連続観測を行ったので、その結果の概要と問題点を述べる。

2. 測流結果

平成8年5月1～2日にかけて、第1図に示す津軽海峡西口付近で、同じ測線を往復する方式による25時間連続観測を測量船「海洋」搭載のADCP（古野電気社製）により実施した。つまり、南北の測線（5マイル）を「海洋」が25時間にわたり、北上と南下を繰り返して測流を行った。1往復には1時間



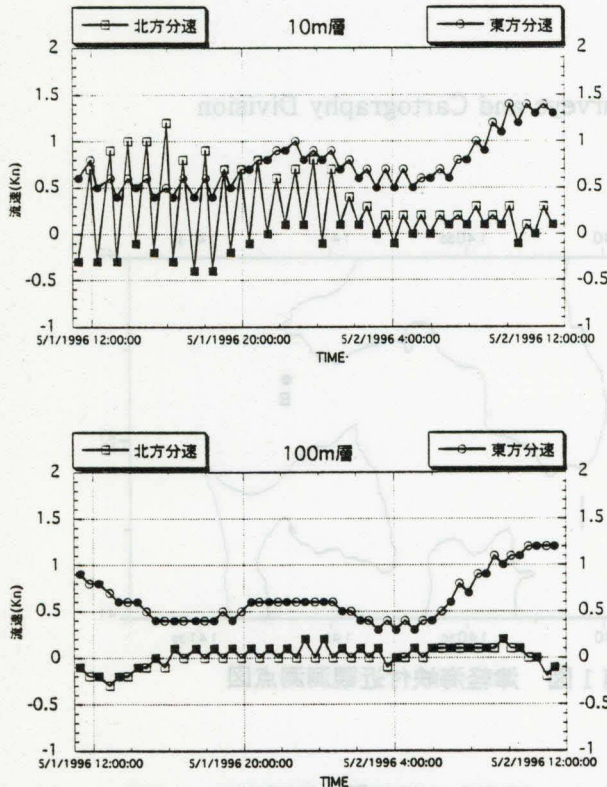
第1図 津軽海峡付近観測測点図

弱を要した。ADCPの観測層は海面下10m、100m、200mに設定し、測定は2分間平均の連続測定とした。なお、「海洋」の吃水は3mである。また、水深が250m前後であったので、ADCPの対地船速の計測は対地モードで行われた。

海面下10m層と100m層の測流結果を第2図に示す。図では北上と南下毎に、全ての流れを南北・東西成分とに分け、それを平均した流速を示した。この結果を見ると、海面下10m層においては、

(1) 観測の前半（2日2時頃まで）においては、北上している時と南下している時とでは、流速の南北成分は北上時に正の値、南下時に負の値をとる傾向が顕著である。このため、流速ベクトルは「海洋」の進行方向に流向が傾き、速さも異なっている。

- (2) 南北成分は北上時に大きな値（北向き）であることから、上記のことは「海洋」が北上している時の方が南下している時よりも顕著である。
- (3) 観測の後半（2日2時頃以降）においては、「海洋」の進行方向に流速が偏る傾向は顕著ではない。また、海面下100m層においては、
- (4) 全期間にわたり上記(1),(2)のことは見られない。などの問題があることが分かった。なお、観測期間中の気象を第1表に示す。



第2図 ADCPによる25時間往復観測の測流結果（マークが塗りつぶされているのは、南下時の平均流速を表わしている。）

第1表 ADCP 往復観測時の気象

月日	時刻	風		風浪		うねり	
		風向	風力	方向	階級	方向	階級
5/1	1200	ENE	7	ENE	4	ENE	3
	1600	NE	7	NE	4	ENE	3
	2000	NE	7	NE	4	NE	3
5/2	0000	ENE	6	ENE	3	ENE	3
	0400	ENE	6	ENE	4	ENE	3
	0800	ENE	6	ENE	4	ENE	2
	1200	ENE	5	ENE	3	ENE	1

「海洋」航海日誌より抜粋

3. 測定誤差

石井ら(1986)によれば、ADCP 観測における測定誤差の原因として、

- (1) 送・受波器等の機器自体に起因するもの
- (2) 測定対象である海水の構造、及び船の運動形態に起因するもの
 - a 流れの場の非一様性
 - b ローリング、ピッチング等の船の動揺
 - c 音速度の空間的变化
 - d 送・受波器の付近での気泡発生

を挙げている。

今回の観測では、海中に係留した流速計と「海洋」搭載の ADCP を比較することにより、(1)に起因しているかを検証するために、第1図に示した測点Bの東1.3マイル沖で往復観測を5月6日に実施した。なお、測点Bに係留された流速計はDLC型(協和商工社製、流速はプロペラの回転数からの単純平均による算出であり、流向は地磁気測定からの荷重平均法による算出である。)であり、測定は10分間隔の2分間平均、観測層は海面下5mである。その結果及び気象を第2表に示す。

これを見ると、流速、流向の算出方法の違い、1.3マイル離れていること、観測層の違いを考慮すれば、流速、流向ともに差異がないと言え、「海洋」搭載の ADCP の機器自体は正常であると推定できる。

次に(2)のbについては、ビームの発射角が傾いた場合の誤差であり、海面下10m層の測流がこの誤差に起因しているものとするれば、海面下100m層の測流にも表われていなければならない、矛盾が生ずることになる。

次いで、(2)のcについては、観測時期が春ということ成層が発達していないと考えられ、また、100

第2表 ADCP と測点Bとの比較観測

時刻	ADCP		流速計		風		風浪		うねり	
	流向	流速	流向	流速	風向	風力	方向	階級	方向	階級
1000	82	0.2	89	0.2	SW	3	SW	2	ESE	2
1015	78	0.4	85	0.2						
1030	46	0.3	87	0.3						
1045	81	0.5	90	0.7						
1100	71	0.9	85	0.8	WSW	4	WSW	2	E	2

気象は「海洋」航海日誌より抜粋

mという浅い層であるために、影響はないと考える。(2)のdについては、系統的な誤差とはならないと考える。

最後に(2)のaについては、観測層における海水の流れは一様であると仮定している測定原理に反して、非一様化することに起因する誤差である。船と観測層間の相対速度の水平成分をV、鉛直成分をWとし、ビーム間で非一様化している各成分を ΔV 、 ΔW として、その誤差量を見積もってみる。正対する2本のビームのドップラーシフト量を f_{d1} 、 f_{d2} とすると、

$$f_{d1} = k(V \cos \theta + W \sin \theta)$$

$$f_{d2} = k \{ (V + \Delta V) \cos (180^\circ - \theta) + (W + \Delta W) \sin (180^\circ - \theta) \}$$

ただし、 $k = 2f_0 / c$ 、 f_0 ：発射周波数、 θ ：発射角、 c ：音速である。これから

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_{d1} - f_{d2} \\ &= k(2V \cos \theta + \Delta V \cos \theta - \Delta W \sin \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

となり、(1)式で $\Delta V = 0$ 、 $\Delta W = 0$ とおけば、

$$\Delta f_0 = 2kV \cos \theta \quad (2)$$

(1)、(2)式から

$$(\Delta f - \Delta f_0) / \Delta f_0 = (\Delta V - \Delta W \tan \theta) / 2V \quad (3)$$

となる。(3)式から θ を 60° とすれば、 ΔV が ΔW の1.7倍以下であれば、言い換えると、 ΔW が ΔV の0.6倍以上であれば、(3)式は負の値となり、対水船速は過小評価される。

対水船速が過小評価されるということは、流速を過大評価し、流向を船の進行方向(対地に対して)に向かわせるようになる。また、対水船速が過大評価されるということは、流速を過小評価し、流向を船の進行方向とは反対に向かわせるようになる。

4. 考察

小野ら(1989)によれば、3ビーム方式のADCPの場合、船の左右方向の対水船速(V_x)、船首尾方向の対水船速(V_y)は、ドップラーシフト量を示す指標として $kf_d / \cos \theta$ をN値と定義すると、

$$V_x = (N_2 - N_3) / \sqrt{3}$$

$$V_y = (2N_1 - N_2 - N_3) / 3 \quad (4)$$

と表わされる。ただし、 N_1 は船首側のビームのN

値、 N_2 、 N_3 は船の斜め後方に向けたビームのN値を表す。

(4)式で、 $2N_1$ となっており、船首側のビームのN値が他のビームのN値に比べて2倍の影響量を持つことが分かる。ピッチングを起こすと、船と海水の相対運動の鉛直成分がビーム方向によって変る。つまり、流れの場が非一様であるのと同等の効果をもたらすと考えられる。そして、ビームによる違いは、船の斜め後方に向けた2本の間では小さく、それらと船首に向けたビームとの間で大きいものと考えられる。

今回の観測時の波浪は第1表に示したように、観測開始時から強く、徐々に弱まってきた。この波浪の影響により、観測の前半においては、船底下の表層海水の運動も相当であったと想像できる。「海洋」の吃水が3mであることから、表層海水の運動が船底下7m層の流れに影響を及ぼし非一様化したと考える。しかし、波浪に伴う海水運動は、深さとともに急激に減衰するため、100m層の流速測定には影響を及ぼさなかったと考える。

「海洋」は北上と南下を繰り返していた訳であるが、風浪、うねりの方向はNE~ENEであるので、ピッチングの度合も船の進行方向の変化に伴って規則的に変化したであろう。もちろん、北上している時の方が南下している時よりもピッチングの度合は大きい。このピッチングによって、船と海水の相対運動の鉛直成分Wのビーム間の差 ΔW が大きくなり、その結果、対水船速が過小評価されたものと推定する。

流れの場の非一様性からくる測定誤差を取り除くのは困難であるが、測流深度を表層の海水運動の影響が及ばない層まで徐々に下げていけば良いことになる。しかし、一度設定した深度を変更することは、成層強度等による上下層での流れの違いがあるために、実際的ではないが、時間的制約等により止むなくこの方法を採用する場合も有り得ると思われる。

5. おわりに

ADCPの測定誤差は種々あるが、流れの場の非一様性からくる誤差が、一番やっかいであろう。この

非一様性は観測時の気象・海象条件によって左右されるばかりでなく、船体の構造にも依存するために、機会ある毎に往復観測を実施し、観測深度と気象・海象のデータを積み重ねて、今後の海流（潮流）観測に反映して行く必要があると考える。

最後に、現場観測に協力して頂いた測量船「海洋」乗組員の皆様、資料整理に指導・助言を頂いた海洋調査課石井補佐官に感謝いたします。

引用文献

- 石井春雄・西田英男・小杉瑛・上野義三・道田豊：
ドップラーログを利用した流速測定，水路部
研究報告，21，135-150，(1986)
- 小野房吉・青山繁：航法電波と音波による海潮流の
高精度測定，水路部研究報告，25，147-164，
(1989)

るよき... (2)のbに... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

の水流... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

「又... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...

と... (3)のa... (3)のb... (3)のc... (3)のd... (3)のe... (3)のf... (3)のg... (3)のh... (3)のi... (3)のj... (3)のk... (3)のl... (3)のm... (3)のn... (3)のo... (3)のp... (3)のq... (3)のr... (3)のs... (3)のt... (3)のu... (3)のv... (3)のw... (3)のx... (3)のy... (3)のz...