九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

長期ADCPデータによる潮流成分調和分解と対馬海峡 における潮流

滝川, 哲太郎 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

尹, 宗煥

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University | Department of Earth System Science and Technology, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

Cho, Kyu-Dae 韓国釜慶大学

https://doi.org/10.15017/16570

出版情報:九州大学大学院総合理工学報告. 21 (3), pp. 307-311, 1999-12. 九州大学大学院総合理工学 研究科 バージョン:

権利関係:

長期 ADCP データによる潮流成分調和分解と対 馬 海 峡 に お け る 潮 流

滝 川 哲太郎*・尹 宗 煥[†]・CHO Kyu-Dae[‡]

(平成11年9月3日 受理)

Harmonic analysis of tidal component from long term ADCP data and tidal current in Tsushima Straits

Tetsutaro TAKIKAWA*, Jong-Hwan YOON[†] and CHO Kyu-Dae[‡]

Since February, 1997, the monitoring (six times a week) of current structure across Tsushima Straits has been being conducted using ADCP mounted to the regular Ferry boat "Camellia" measuring current velocities at every 8 m interval from sea surface to bottom. Haromonic analysis are carried out using the least square fitting to study the tidal current structure across Tsushima Straits.

Estimated major eight tidal components with strong spacial valiabilities are in good agreement with those obtained by a long-term current measurements moored at the western channel.

1. はじめに

九州大学応用力学研究所では韓国釜慶大学との共同 研究として博多 — 釜山間定期旅客船「かめりあ」に 設置した ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) による対馬暖流の長期モニタリングを行っている. 観 測は1997年2月21日から現在に至るまで行われており, 1週間に3往復するため博多 — 釜山間の6断面の流 速データが得られている.本観測の目的は対馬海峡か ら日本海に流入する対馬暖流の流動構造を明らかにす ることである.しかし,対馬海峡のような沿岸海域で は潮流成分が卓越しているため,観測で得られた流速 を潮流成分と残差流成分に分離する必要がある.

ADCP 資料を用いた残差流成分と潮流成分との分離 についての研究はこれまでいくつかなされてきた.加 藤(1990)"は対馬海峡において測線を24時間50分で 4 往復し,データを平均することによって日周潮,半 日周潮を除去した.Simpson et al. (1990)"はスコッ トランドの西海岸に面した水道部において8 回の横断 観測から日周潮,半日周潮の調和定数と残差流成分を 最小自乗法によって求め,Candela et al. (1990)"は 黄海において Simpson et al. (1990)と同様に潮流成 分の調和定数を求め,調和定数を水平方向に2次の関 数で近似した.また,磯辺(1992)"はこれら2つの 方法を対馬海峡において適用し,両者の整合性を検討 した.武岡・菊地 (1991)⁵⁰ は豊後水道において過去 5間毎月1回の観測データを用い最小自乗法によって 残差流, M₂ 潮流成分に分離した.

本研究では、2年半もの長期かつ約1日1回の時間 的に密な ADCP 資料を用い、対馬海峡における潮流 成分の調和定数を最小自乗法によって8大分潮(Q₁, O₁, P₁, K₁, N₂, M₂, S₂, K₂)まで求めることにした.

2. 解析

本観測は Fig. 1 に示した測線で行われた. 解析は 緯度方向に 1/96°間隔, 鉛直方向に 8 m間隔の定点を 設け,約1200点において行われた.本研究では,約2 年半の ADCP 資料を用いたため,各定点に付き約700 個のデータから調和分解を行った.

ある定点,時間 t における流速 v(t) は潮流成分と 残差流成分の和と考えられる.対馬暖流には大きな季 節変化がある (Isobe (1994)⁶) と考えられており,8 大分潮の他に年周期 (Sa),半年周期 (Saa) の季節変 化を考慮し,以下のように仮定した.

$$v = v_0 + \sum_{i=1}^{10} (a_i \sin w_i t + b_i \cos w_i t)$$

ただし v₀ は季節変化しない残差流成分, *i*=1,2 は それぞれ年周期,半年周期に相当する.ここで,季節

変化を考慮した残差流成分は、
$$v_0 + \sum_{i=1}^{2} (a_i \sin w_i t + b_i)$$

^{*}大気海洋環境システム学専攻博士後期課程

 ^{*}応用力学研究所,大気海洋環境システム学専攻
 *Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong University



Fig. 1 Map of Tsushima Straits showing the observation line. Contour lines show the depth in meter.



Fig. 2 An example of the fitting of observation data (points) and caluculated current (line). (a) and (b) show eastward and northward components, respectivily. U_0 and V_0 are calculated residual currents including seasonal variations (Sa and Saa), U(t) and V(t) are observed currents.

 $\cos w_i t$) となり, a_i , b_i (i = 3, ..., 10) は潮流成分の 調和定数, w_i (i = 3, ..., 10) はそれぞれ潮流成分の 角速度である.本研究では 8 大分潮まで考慮したため, 21個の未知数を最小自乗法によって求めることとなる. この作業を流速の東方成分,北方成分について行う.

最小自乗法によって導かれた潮流と実際の観測値の 関係を Fig. 2 に示す. (a) は東方成分, (b) は北方成 分である. 観測値と解析結果にはばらつきがあり一概 に一致しているとは言えない.

Table 1に8大分潮の潮汐変動周期とサンプリング 間隔24時間におけるエイリアジング周期を示す. S_2 のエイリアジングは∞となり,1日1回の定時観測で は除去することは不可能である.しかし,本観測では, 往路,復路の観測によって,同一点においてサンプリ ング間隔が丁度24時間にはならないこと,また,数回 の不定時観測が行われたことにより,エイリアジング を除去できうると考えた. Fig. 3 に潮流成分除去前と 潮流成分除去後の対馬暖流を通過する流量のスペクト ルを示す.潮流成分除去前には **Table 1**で示した O_1, M_2 のエイリアジング周期と考えられるピークが 存在する.しかし,潮流成分除去後にはこのピークは 完全に除去されている.

次に分潮を分解するのに必要なデータの期間を Table 2 に示す.これは、サンプリング間隔24時間に おいて各分潮に分解が可能になる期間の長い代表的 なものである. P_1 , K_1 を分解するには約161年間もの データが必要である.博多、厳原、釜山などの潮位 データから対馬海峡において P_1 , K_1 分潮は卓越して いると考えられており、無視することは不可能である. しかし、本研究ではサンプリング間隔が丁度1日間隔

 Table 1
 Taidal cycle and aliasing cycle of each tidal components.

| Tidal Component | Cycle (hour) | Aliasing (day) |
|-----------------|--------------|----------------|
| Q_1 | 26.87 | 9.4 |
| O_1 | 25.82 | 14.2 |
| P_1 | 24.07 | 343.9 |
| K_1 | 23.93 | 341.9 |
| N_2 | 12.66 | 9.6 |
| M_2 | 12.42 | 14.8 |
| S_2 | 12.00 | ∞ |
| K_2 | 11.97 | 199.5 |

 Table 2
 Peiod of separating each tidal components.

| Tidal Component | Period (day) |
|-----------------|--------------|
| $Q_1 - N_2$ | 451.2 |
| $O_1 - M_2$ | 350.3 |
| $P_1 - K_1$ | 58789.7 |

ではないことから,分解可能と思われる.他の6分潮 においては,各定点につき約700個のデータを用いる ため十分精度良い計算が可能である.



Fig. 3 Spectrum of raw data (a) and data after the removal of tidal components (b).

3. 結果

計算結果をもとに大潮時の日周潮,半日周潮の潮流 楕円の水平分布について述べる.水深18mにおける日 周潮の潮流楕円を Fig. 4 (左)に示す.潮流楕円の長 軸ははぼ北東一南西方向であった.最大流速は東水 道で約 30cm/s,西水道で約 50cm/s 程度であった.潮 流楕円の回転方向は時計回りであった.対馬付近では



Fig. 5 Vertical structure of tidal current ellipses. Upward direction is northward.



Fig. 4 Diurnal and semidiurnal tidal currents ellipses at 18m depth.



34°53'N, 129°24'E (Camellia ADCP)

34°53'N, 129°23'E (Kawadate and Hashimoto)

Fig. 6 Comparison of tidal current ellipses calculated from Camellia ADCP data with those at Stn. A.

長軸の向き及び回転方向に変化が見られ,島の影響を 強く受けている様子が見て取れる.次に水深18mにお ける半日周潮の潮流楕円を Fig. 4(右)に示す.潮流 楕円の長軸の方向は日周潮と同様にはほ北東一南西 方向であった.最大流速は東水道で 40cm/s,西水道 で 60cm/s 程度であり,日周潮よりも半日周潮がより 卓越していた.潮流楕円の回転方向は東水道で半時計 回りとなったが,西水道では時計回りの構造であった. 日周潮同様,対馬付近の島の影響は大きかった.

潮流楕円の鉛直構造を Fig. 5 に示す. 例外もある が,日周潮の潮流楕円の回転方向は表層で時計回り, 深くなるにつれて偏平,直線,そして半時計回りとなっ た.これは,地球の自転と摩擦の影響により,表層で は時計回り,低層では半時計回りになることを観測と 理論で示した柳ら (1983)ⁿ のものと定性的に一致する.

次に九州大学応用力学研究所(河建,橋本)によっ て行われた Stn. A における流速の係留観測の結果と 比較する(Fig. 6). これは1992年7月から11月まで約 4ヶ月間,時間間隔20分でサンプリングされ,水深約 80mたものを用いる.観測期間,サンプリング間隔と もに十分調和分解が可能な信頼できうるデータである. 各分潮ごと長軸の向き,位相差には若干のずれが生じ たが,長軸の長さはほぼ一致した.また,本解析結果 の長軸の向きは海底地形(Fig. 1)に沿った方向であ ることなどから,解析結果は実際の潮流の変動を再現 していると思われる.

4. 考 察

本研究では長期 ADCP データを用いた調和分解, 及び,それにより導かれた対馬海峡における潮流につ いて述べた.調和分解は最小自乗法を用い約700個の データから21個の未知数を算出したもので,統計的に 十分なデータ数と考えられる.また,測線に沿って対 馬海峡における潮流構造を明らかにした.他の観測と の比較により長軸の長さ,方向,及び位相ともに良く 一致した.

本研究から十分正確な潮流の算出が可能であること がわかり,今後,残差流の解析から対馬海峡における 流動構造,及び流量の変動を明らかにする予定である (滝川(1999)⁸⁾).

5. 謝辞

本観測を行うにあたり,惜しみない協力をしていた だいたカメリアライン株式会社の社員および船員の皆 様方に心から感謝いたします.

参考文献

- 1)加藤修:日本海南西部における夏季の対馬暖流の構造, 学位論文(1990).
- 2) Simpson, J. H., E. G. Mitchelson-Jacob and A. E. Hill : Flow structure in a channel form an acoustic Doppler current profiler, Continental Self Research, **10**, **6**, 589-603 (1990).
- 3) Candela, J., R. C. Beardsley, R. Limeburner : Removing tides from ship-mounted ADCP data, application to the Yellow Sea, Proceedings of the IEEE forth working conference on the current measurement, Clinton Maryland, April 3-5 (1990).
- 4) 磯辺篤彦: ADCP 観測資料からの潮流成分の除去につい て,水産大学校研究報告,40,2,59-68 (1992).
- 5) 武岡英隆・菊池隆展: ADCP による測流データからの潮 流の推定法,沿岸海洋研究ノート,29,76-81 (1991).
- 6) Isobe, A., S. Tawara, A. Kaneko and M. Kawano : Seasonal variability in the Tsushima Warm Current, Tsushima-Korea Strait. Continental Self Research, **14**, 23-35 (1994).
- 柳哲雄・西井正樹・樋口明生:潮流楕円の鉛直構造.第 30回海岸工学講演会論文集,33-37 (1983).
- 8) 滝川哲太郎: 博多 釜山間における対馬暖流のモニタ リング,修士論文(1999).