

諫早湾干拓事業が有明海の流動構造へ及ぼす影響の評価

西ノ首英之*・小松利光**・矢野真一郎***・齋田倫範****

2003 年 10 月 8 日～11 月 10 日の 34 日間に、長崎県有明町沖の 2 つの測点において、電磁流速計を用いた潮流の連続観測を実施した。西ノ首・山口 (1996) により、1993 年の秋期に全く同じ方法、同じ測点で実施された潮流観測結果との比較検討を行った。得られた主要な結果は、(1) 観測期間中の潮位変動はほぼ同じであったが、潮流が大幅に (約 21%～27%) 減少している、(2) 北方流速と比較して東方流速の減少率 (24～44%) が大きい、(3) 潮流楕円の長軸が南北方向にずれている、(4) 潮流楕円の長軸長が約 10%～28% 減少している、などである。

1. はじめに

近年、有明海では潮汐や潮流流速の減少が宇野木 (2003) や塚本・柳 (2002) などによって報告されており、これらによる物質輸送能力・混合能力の低下が、水質・底質の悪化の一因であると考えられている。特に、諫早湾干拓事業の着工後、有明海奥部において貧酸素水塊や赤潮の発生頻度や規模が増大したことから、これらの環境異変と干拓事業との関連が議論されている。

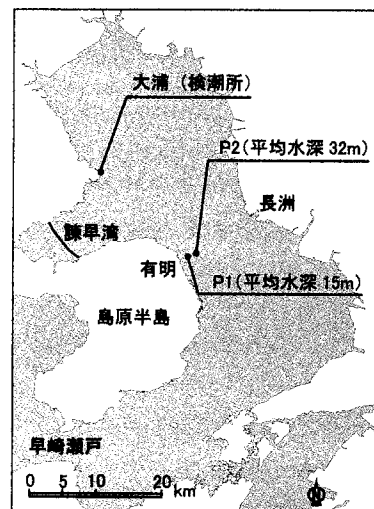
このため、有明海を対象として潮汐や流況に関する研究が数多く行われてきた。宇野木 (2003) は、既存データの解析と簡単な理論により、干拓等による地形変化の効果 (内部効果)、外海の潮汐減少の効果 (外部効果)、平均海面の上昇による水深増加の効果 (水深効果) を見積もった。その結果、潮汐減少の要因の内訳として内部効果が約 50%、外部効果が 40% 余、水深効果は 10% 以下となることを示した。また、数値シミュレーションによる検討も盛んに行われており、灘岡・花田 (2002) は、内部効果が 40～50%、外部効果が 50～60%、水深効果はかなり小さいとしている。塚本・柳 (2002) は、干拓事業の寄与率は、わずか 10～20% であるとしている。

潮流に関する観測も行われているが、潮受堤防締切前後の比較が可能なものとしては、次の観測が挙げられる。農林水産省 (2001) の測定データは諫早湾周辺のみを対象としていたが、大潮期の最大流速について潮受堤防締切前後における変化率を算出したところ、堤防前面では 70.6～93.3%、諫早湾口付近でも 10.3～41.9% の減少が生じていた。有明海全体の潮流変化については、小田巻ら (2003) が、1973 年と 2001 年の観測結果を比較したが、淡水流入条件の違いから明確な変化傾向は明らかにされていない。同一地点で 15 昼夜の連続観測が行われた島原半島沿いの 4 測点のデータを用いて、水深 3 m にお

ける恒流の変化率を算出したところ 55.4～74.1% の減少が生じていた。このように、流況の顕著な変化が確認されているが、観測範囲の狭さや観測期間の短さから、有明海本体での変化の把握が完全にはできていない。ところが、西ノ首・山口 (1996) により、1990 年に噴火した雲仙普賢岳の火砕流・土石流による漁業被害の評価・予測に関する調査の一環として、潮受堤防締切前の 1992～1994 年に長崎県島原半島沿岸部で潮流の連続観測が行われていた。この観測結果は、潮受堤防が締め切られる前のデータであり、1 ヶ月間以上の連続データを取得していることから、非常に貴重なものである。そこで、潮受堤防締切後の流動構造の変化を調べることを主な目的として、1993 年 10 月 12 日～11 月 12 日に実施された観測と全く同じ条件で 2003 年に潮流連続観測を行った。

2. 有明海奥部の物質循環のメカニズム

有明町と長洲町を結ぶ線 (以後、有明・長洲ライン) 上は、島原半島沿岸部で局所的に流速が大きくなり、非一様な水平流速分布を呈していることが小松ら (2003) に



図一 観測実施位置の概略図

* 水 博 長崎大学教授 水産学部海洋生産システム学講座
** フェロー 工 博 九州大学教授 大学院工学研究院環境都市部門
*** 正 会 員 博(工) 九州大学学術研究員 大学院工学研究院環境都市部門
**** 学生会員 修(工) 九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻

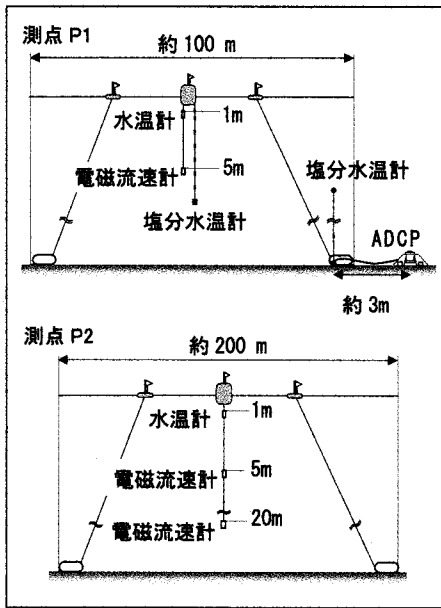


図-2 観測機器類係留系の概略図（上段 P1，下段 P2）

より報告されている。有明-長洲ライン付近で有明海は最も狭窄しており、有明海の北部と南部を分離する境界とみなすことができる。そのため、このライン上の水平流速分布の非一様性から生じる移流分散効果が北部有明海の海水交換や物質輸送に大きな役割を果たしているものと考えられる。この水平流速分布の非一様性は、このラインのすぐ北西側に諫早湾が存在するために生じていると考えられる。したがって、諫早湾干拓事業によって生じる諫早湾への入退潮量の減少は、島原半島沿いの水平流速分布、すなわち北部有明海の海水交換能に大きな影響を与えている可能性が強い。

このような考え方から、西ノ首・山口（1996）が1992年～1994年にかけて観測を行った有明海および橘湾の26測点のうち、諫早湾口に最も近く、潮流が大きい2測点において連続観測を実施した。

3. 観測概要

観測は、2003年10月8日～11月10日の34日間に、図-1に示す長崎県有明漁港沖の2つの測点 P1（32°51'58"N，130°20'58"E，平均水深15m）、P2（32°52'23"N，130°21'54"E，平均水深32m）において実施された。

P1の水深5mおよびP2の水深5mと20m位置に西ノ首・山口が1993年に使用した流速計と同じ電磁流速計（ALEC電子社製）を係留し、流速・流向の測定を行った。各流速計の測定間隔は10分とした。また、P1においては九州大学所有のADCP（1200kHz）（RDI社製）の海底設置と塩分水温計（ALEC電子社製）の係留を行い、流速・

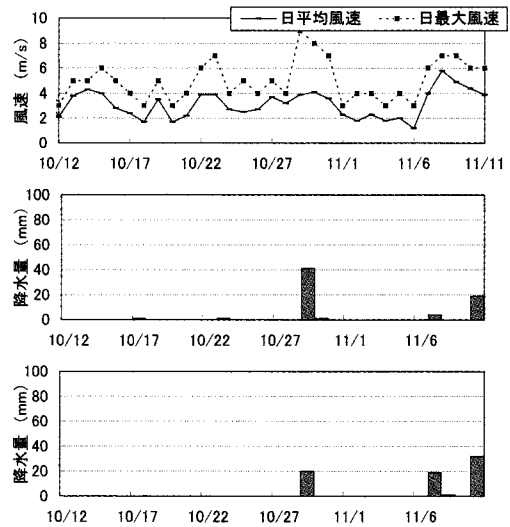


図-3 観測期間中の気象（1993年）（上段から、風速，降水量（島原），降水量（久留米））

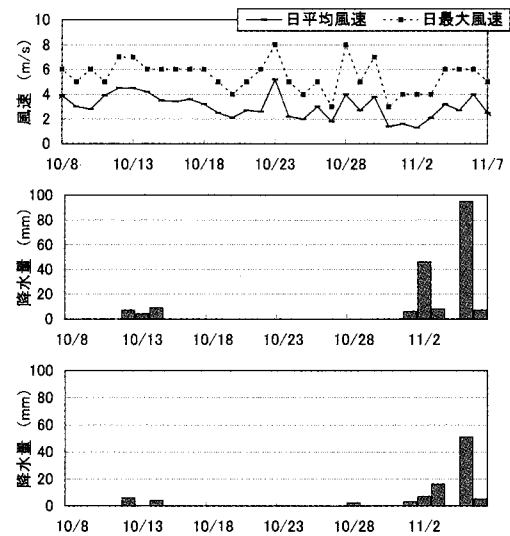


図-4 観測期間中の気象（2003年）（上段から、風速，降水量（島原），降水量（久留米））

流向の鉛直分布の観測および塩分・水温鉛直分布の連続観測を併せて実施した。ADCPおよび塩分水温計についても測定間隔は10分とした。係留系の概略を図-2に示す。

4. 観測結果および考察

観測結果の解析は、各観測期間のうち月齢を一致させた30昼夜分について行った。すなわち、潮受堤防建設前については、1993年10月12日～11月10日のデータで、建設後については、2003年10月8日～11月6日のデー

表-1 月の昇交点の平均黄径から算出した係数 f

潮汐	1993	2003
M_t	0.869	1.301
M_m	1.055	0.919
M_2	1.016	0.977
K_1	0.962	1.080
O_1	0.940	1.127
J_1	0.954	1.120
OO_1	0.804	1.501
K_2	0.895	1.202

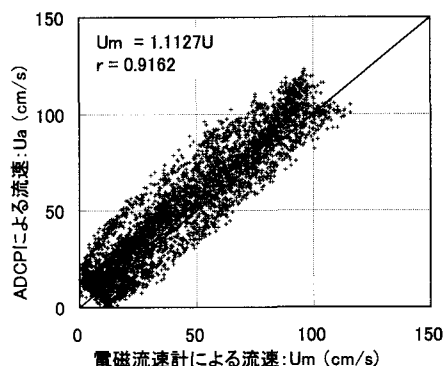


図-5 電磁流速計と ADCP の比較

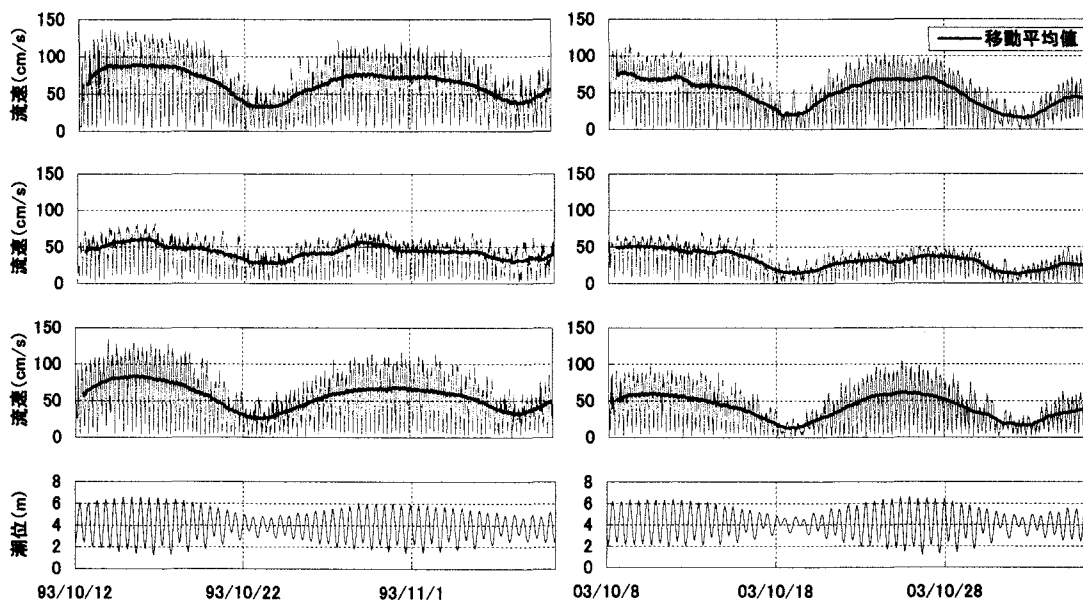


図-6 観測結果の時系列(左図: 1993 年 10 月 12 日～11 月 10 日, 右図: 2003 年 10 月 9 日～11 月 7 日) (上段より, P1(水深 5 m), P2 (水深 5 m), P2 (水深 20 m) における水平流速の絶対値, 潮位)

タを使用した。

(1) 観測期間中の気象と潮汐条件等について

各期間中の気象条件を図-3, 図-4 に示す。アメダス(島原)について解析対象期間中の総降雨量, 平均風速, ならびに最大風速を比較したところ, 1993 年が 67 mm, 3.1 m/s, 9 m/s, 2003 年が 182 mm, 3.1 m/s, 8 m/s であった。また, 筑後川上流に位置するアメダス(久留米)の総降雨量を比較したところ, 1993 年が 72 mm, 2003 年が 94 mm であり, 島原における総降雨量に多少の差異はあるものの, 有明海に最も影響を与える筑後川の流量は大きく変化していないと考えられる。したがって, 台風や大きな出水等による顕著な違いは無かったと判断した。

また, 潮受堤防建設前後の変化量を把握するために, 気象庁大浦検潮所において観測された潮位データを用い

て, 期間中の平均海面位回りの潮位変動の R.M.S. を算出したところ, 1993 年が 1.27 m, 2003 年が 1.24 m となり, 約 2.4% 減少していた。武岡 (2003) の指摘にもあるように月軌道の昇交点が 18.6 年周期で変動しており, これに伴う潮汐の変化は係数 f によって表現される。各観測期間中の係数 f の平均値を表-1 に示す。有明海において卓越しているとされている M_2 潮の起潮力に関しては, 1993 年から 2003 年にかけて 3.8% 減少していることになる。潮位振幅の変化量と概ね対応している。

(2) 電磁流速計データの信頼性に関する検討

潮流が大きい海域に計測機を係留した場合には, 潮流により係留系が傾斜したり振動したりすることが問題となる。そこで, 電磁流速計のデータについて, ADCP によって得られたデータとの比較を行った。

P1 において, 電磁流速計によって毎正時に測定された

水深5mにおける水平流速 U_m と ADCP によって測定された水深5mに位置する層での水平流速 U_a の関係を図-5に示す。回帰直線の傾きは1.11で、相関係数が0.916であった。したがって、この海域における中層の平均流速を電磁流速計によって得られた水深5mの流速データによって十分代表できると判断した。

(3) 流速時系列と流速の新旧比較

1993年と2003年の両観測により得られた潮流の水平流速(絶対値)の時系列を図-6に示す。平均値は、P1水深5m, P2水深5m, 20mで、1993年では各々60.2 cm/s, 41.5 cm/s, 52.7 cm/s, 2003年では47.6 cm/s, 30.1 cm/s, 39.2 cm/sとなり、P1水深5mで21.0%, P2水深5mで27.3%, P2水深20mで25.7%の潮流流速の減少が確認された。潮位変動の変化が僅か2.4%程度にもかかわらず、締切堤建設後には潮流が大幅に減少していた。また、流速のR.M.S.の減少率を、南北方向, 東西方向の各成分について計算した。P1水深5m, P2水深5m, 20mで、北方流速は、各々19.1%, 27.8%, 16.5%, 東方流速は、23.5%, 43.5%, 44.4%の減少が確認された。

(4) 調和解析

潮流流速について、最小自乗法による調和解析を行った。主要四分潮の振幅を表-2に、 M_2 潮の潮流楕円を図-7に示す。なお、潮流楕円の作成にあたっては、係数 f の変化を考慮して補正を行っている。これらの結果より、潮流楕円の長軸長が、P1水深5m, P2水深5m, 20mでそれぞれ10.4%, 27.8%, 26.7%減少していることが確認された。また、締切後に長軸が南北方向にずれており、諫早湾への入退潮量の減少によって諫早湾の湾軸である東西方向の潮流が相対的に弱くなったためであると考えられる。この流向の変化は有明漁民・市民ネットワーク(2003)による、漁民を対象としたアンケート調査結果と整合しており、漁民の体験を客観的な観測データにより示したことになる。

(5) 海表面積の減少と潮流減少の関連について

諫早干拓事業による海表面積の減少量について、国土交通省の国土数値情報を使用し、GIS(ArcGIS, ESRI社製)上で面積の計算を行った。各面積計算領域の概略及びその境界線の定義を図-8, 表-3に示す。

算出されたA, B, Cの領域の面積は、各々71,768 ha, 91,201 ha, 3,667 haであった。この結果より、有明海全体の面積(A+B+C)は166,636 ha, 干拓事業により減少した面積(C)は3,667 haとなる。従って、有明海全体に占める潮受堤防内の面積の割合は約2.2%である。また、有明-長洲ライン(図-8中のa-a')以北の海域に着目したところ、北部有明海の面積(A+C)は約75,435 haであり、本海域に占める減少した面積(C)の割合は約

表-2 各測点における調和定数(振幅のみ)

	P1		P2			
	水深5m		水深5m		水深20m	
	N-S流速 (cm/s)	E-W流速 (cm/s)	N-S流速 (cm/s)	E-W流速 (cm/s)	N-S流速 (cm/s)	E-W流速 (cm/s)
1993年観測						
M_2	61.877	83.076	40.406	34.317	63.341	38.93
S_2	29.668	17.271	16.719	14.205	29.207	21.93
K_1	6.312	3.22	2.873	2.282	6.398	3.937
O_1	8.776	2.212	3.97	2.393	4.922	3.654
2003年観測						
M_2	56.282	27.437	29.744	21.651	48.915	18.649
S_2	33.411	17.274	18.903	12.137	30.747	14.045
K_1	5.657	1.591	3.584	3.368	6.385	1.721
O_1	4.984	1.019	2.979	1.574	4.144	1.909

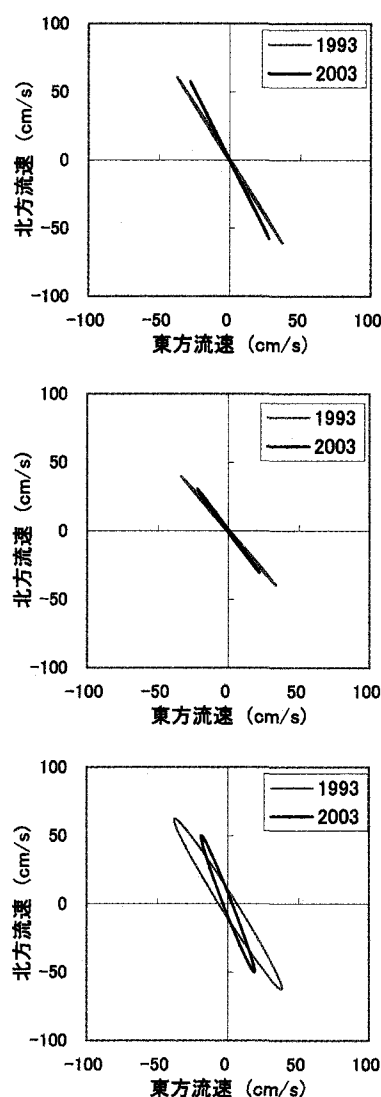


図-7 M_2 潮潮流楕円の比較(上段から、P1(水深5m), P2(水深5m), P2(水深20m))

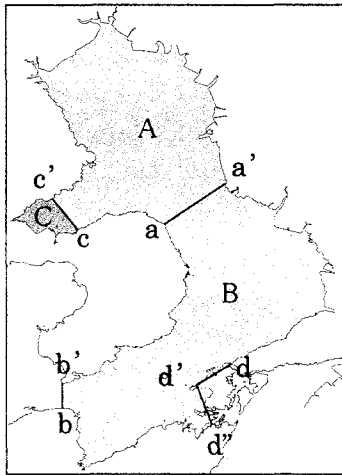


図-8 面積計算を行った領域

4.9%であった。したがって、潮受堤防締切によって、有明-長洲ラインにおいて平均的に4.9%の入退潮量の減少が生じたことになる。

しかしながら、本観測によって確認された潮流の減少量(約21%~27%)は、4.9%という海表面積減少量と比較して非常に大きい。すなわち、実際には、諫早湾へ出入りする海水は島原半島沿岸の限られた領域に集中して通過しているため、これほど大きな潮流流速の変化が出現したものと思われる。

5. ま と め

島原半島沿岸部における流動特性の把握や潮受堤防の建設前後の流動構造の比較を行うために潮流の連続観測を実施した。1993年と2003年の観測データを比較することによって得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 期間中の潮位変動量の減少率に較べて、締切堤建設後は潮流流速が大幅に(約21%~27%)減少していた。特に東西方向の減少率が大きく、24~44%に達していた。
- 2) M_2 潮の潮流楕円の長軸が、締切堤建設後には南北方向にずれており、潮流の流向に変化が生じていた。
- 3) 潮流楕円の長軸長が、締切堤建設後に約10%~28%減少していた。
- 4) 潮流流速の減少率は、締切により減少した面積が北部有明海(有明-長洲ライン以北)に占める割合(約5%)と比較して非常に大きいことから、諫早湾への水塊の流出が島原半島沿岸において集中的に生じていることが示唆された。

今回実施した観測は、諫早湾潮受堤防の建設前後を比較できる数少ない観測のうちの一つであるが、約一ヶ月

表-3 面積計算に用いた基準点

	境界線の端点の座標	
	緯度 (°)	経度 (°)
a	32.853735	130.340843
a'	32.923194	130.440367
b	32.550326	130.169095
b'	32.590757	130.169786
c	32.845908	130.194682
c'	32.899817	130.152119
d	32.623586	130.451079
d'	32.587301	130.393715
d''	32.524062	130.418250

にわたる観測を実施したため、台風や出水等の気象的イベントの影響を比較的受けにくい比較・検討が可能となった。測定地点は滞留傾向を示すようになったと思われる北部有明海の境界線上で、かつ流速分布の突出部という重要な位置にある。したがって、この流速突出部の潮流減少がもたらす水平方向の海水交換と鉛直混合の減少により、潮受堤防締切が有明海本体部分の水環境にも大きな影響を与えていることを示唆するものである。

謝辞: 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 A「有明海の流れ構造の解明と蘇生・再生のための調査研究」(研究代表者小松利光、課題番号14205075)の援助を受けた。ここに記し深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 有明漁民・市民ネットワーク (2003): 「諫早干拓が海を変えた」有明漁民アンケート調査結果報告書, 62 p.
- 宇野木早苗 (2003): 有明海の潮汐と潮流はなぜ減少したか, 海の研究, 第12巻, 第1号, pp. 85-96.
- 小田巻実・大庭幸弘・柴田宣昭 (2003): 有明海の潮流新旧比較観測結果について, 海洋情報部研究報告, 第39号, pp. 33-61.
- 九州農政局 (2001): 諫早干拓事業の環境影響評価の予測結果に関するレビュー.
- 小松利光・安達貴浩・金納 聡・矢野真一郎・小橋乃子・藤田和夫 (2003): 有明海における流れと物質輸送に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 936-940.
- 武岡英隆 (2003): 有明海における M_2 潮汐の変化に関する議論へのコメント, 沿岸海洋研究, 第41巻, 第1号, pp. 61-64.
- 塚本秀史・柳 哲雄 (2002): 有明海の潮汐・潮流, 空と海, 第78巻, 第1号, pp. 31-38.
- 灘岡和夫・花田 岳 (2002): 有明海における潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 401-405.
- 西ノ首英之・山口恭弘 (1996): 島原湾及び橘湾の海水流動特性, 雲仙普賢岳火山活動の水産業に及ぼす影響調査事業報告書, pp. 10-65.
- 農林水産省 (2001): 有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会資料.