

## 中海本庄工区北部承水路堤潮通しパイプ付近の水の動き

高安克己<sup>1</sup>

### Water-mass movement at and around the water-alternating pipes through the dike of North Channel in Honjo area of Lake Nakaumi, Shimane Prefecture, Japan

Katsumi Takayasu<sup>1</sup>

**Abstract:** For examining the effect of the water-alternating pipe at the dike of North Channel in Honjo water-area, a brackish-water lake Nakaumi, current velocity, salinity and temperature of the water passing through it and its adjacent channel were continuously observed. The movement of the water through the pipe is mainly controlled by tide with weak secondary oscillation caused by the water movement in the adjacent North Channel. The water-mass exchange through the pipe is estimated about  $313 \times 103 \text{ m}^3/\text{day}$ . On the other hand, the water passing through the mouth of the North Channel is changing the direction in such shorter periodicity as about 35 minutes, which may be controlled by the topography of the channel. The opening of the water-alternating pipe affected no remarkable change in the water movement of the channel.

**Key words:** Honjo area, Lake Nakaumi, secondary oscillation, water-mass movement, water mass exchange

### はじめに

中海北西部の本庄水域干拓計画をめぐる議論の中で、同水域の水産利用評価に関連して北部承水路堤の一部にパイプを設置し、いわゆる潮通しの効果を観測する実験が農水省中国農政局によって1998年3月から行われた。これより以前(1997年9月から11月)に、筆者は北部承水路入口にあたる万原橋において流向流速計を設置して水塊の動態を連続観測した。その結果、ここを通過する水塊は潮汐作用と地形効果によって数10分周期で流れの向きを変え、さらに北部承水路における水塊の大規模な交換は低気圧時に起こっていることが明らかになった(高安, 1998)。

農水省によって設置された潮通しパイプは万原橋の南西約150mの承水路堤にあり、海水進入路のほぼ延長線上に位置する(図1)。このパイプを通過する水の動きと、新しい条件下における北部承水路の水塊動態を知るために、潮通しパイプ口と万原橋下で再度流向流速計による連続観測を行った。今回の観測は諸般の事情により短期間であったが、農水省とは別に独自に行った調査の一部としてその結果を報告する。

本研究を進めるにあたって、岡山理科大学の奥田節夫名誉教授にはデータの解析法に関して、また北陸先端科学技術大学院大学の上野博芳氏には流量推定法についてご助言をいただいた。また、島根大学理学研究科の中山大介・立見博俊両君には現地での機

<sup>1</sup> 島根大学汽水域研究センター

Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504, JAPAN

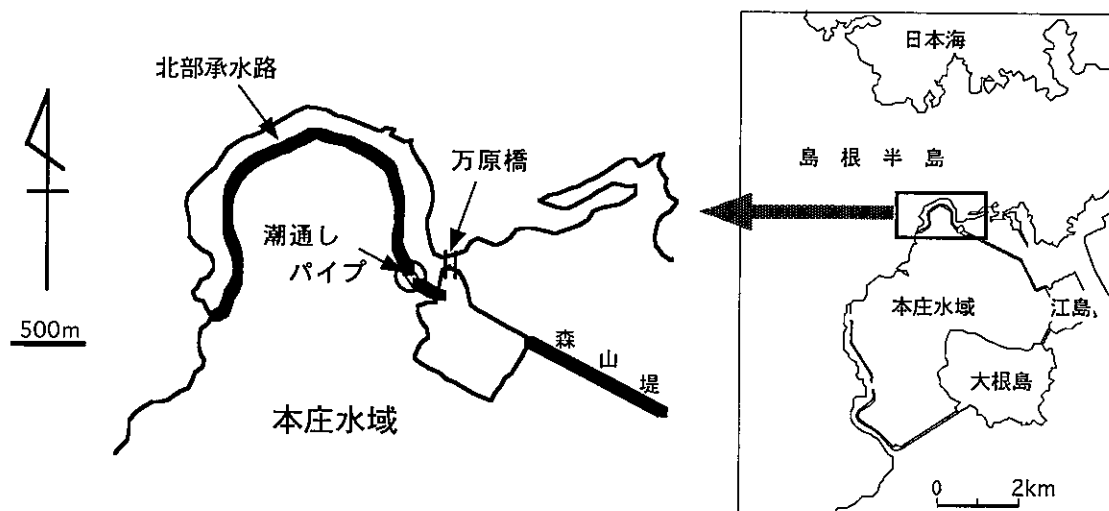


図1. 観測地点  
Fig.1. Index map.

器の設置に際して手伝っていただいた。これらの方々に深謝する次第です。

### 観測方法と期間

潮通しパイプは直径2.5m、長さ26mで、パイプの底が水面下1.9mになるように、平行に2本設置され、1998年3月24日午前10時頃から通水が開始された。筆者は、本庄水域側のパイプ口に電磁流向流速計（アレック電子社製ACM-16M）をロープとアンカーで固定し、1998年5月13日午後4時から5月15日午前11時まで観測を行った。流向流速計のセンサー部分を水面下約1.2m（約60%）の位置におき（図2a）、バースト間隔3分で、1秒毎に20回測定した値の平均値を各観測値として記録するよう設定した。

また、パイプによる潮通しが開始された日を挟む1998年3月13日から同年4月9日まで、万原橋下に電磁流向流速計をロープで垂下して連続観測を行った（図2b）。センサー部分の水深は2.0から2.5mであり、バースト間隔を10分とした以外は上記と同様な設定で観測した。ただし、3月20日午前と4月1日午後の低気圧通過に伴う強風で固定ロープの一部が破損あるいは絡合した模様で、水深などのデータに異常な不連続が見られた。したがって、ここではデータが連続している3月21日から同月31日までの記録について吟味することにする。なお、観測期間の気象データについては松江気象台の観測記録を参考にさせていただいた。

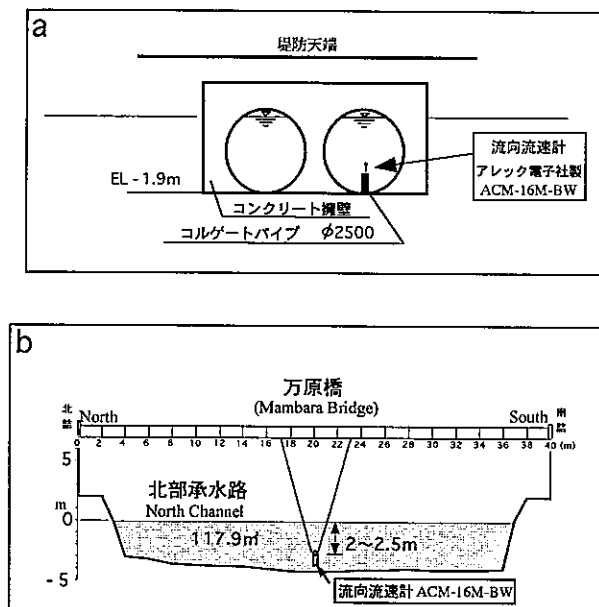


図2. 流向流速計の設置状況 a. 潮通しパイプ. b. 万原橋下  
Fig.2. Setting position of water quality and current direction sensors. a. Alternating pipe site. b. Mambara Bridge (North Channel)

### 観測結果

#### 1) 潮通しパイプでの観測結果

観測期間中は潮で境港では1日2回潮であり、干潮位の日潮不等が大きかった。図3からわかるように、流向はほぼこの潮汐周期と一定の位相差を保ちつつ調和的に変化している。すなわち、境港で干潮を過ぎて上げ潮に転じてから約3時間30分後にパイプを通して承水路から本庄水域に向かう水流が生じてい

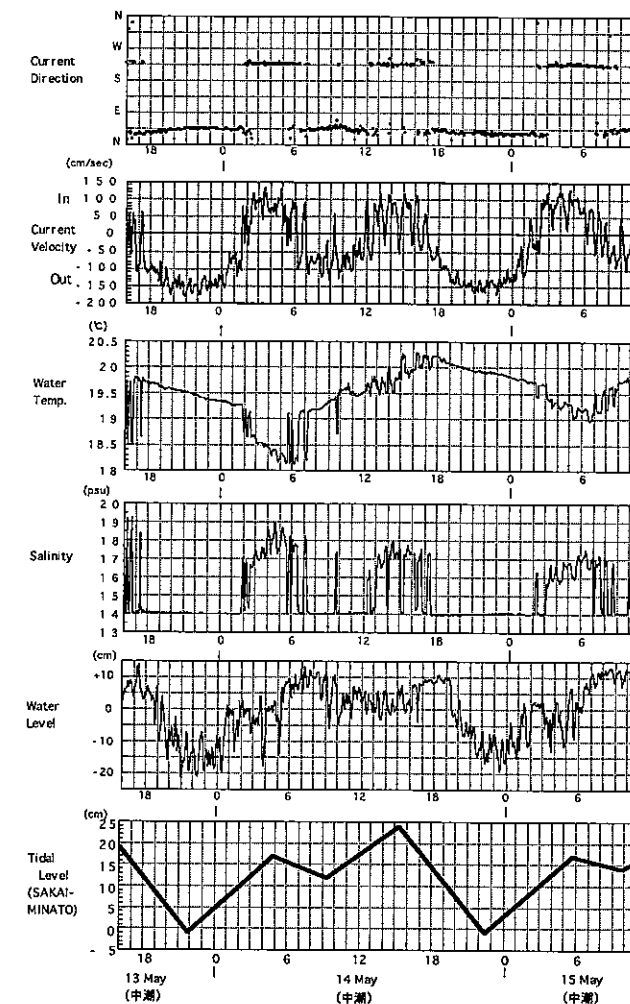


図3. 潮通しパイプにおける観測結果  
Fig.3. Current direction, current velocity, water temperature, salinity and water level changes at the pipe site, and tidal level change at Sakaiminato observatory.

た。また、境港の干潮時から約2時間後にパイプでは本庄水域から承水路に流れが転じた。水位も同様に境港の潮汐周期に同調しているが、低潮位で約1時間30分、高潮位で2から3時間の位相の遅れが見られた。

本庄水域から流出する際の流速は毎秒1.5m前後に達し、比較的安定していた。しかし、本庄水域に流入する水塊の流速は最高で毎秒1.8mを記録したものの、変化が大きく、ときには逆に流出に転じてしまう場合もみられた。また、流出水の塩分は14psuで非常に安定していたが、流入の際には概ね16psuから19psuで変化が見られた。水温は18℃から20℃の間で変化し、大局的には日没から下がり始め、未明に最低に達し、また日の出とともに上昇し始めるというパターンの繰り返しを示していた。この間、高塩分水塊が流入する場合は不連続的に低温になったが、これは夜間において顕著であって、日中は多少不安定になる

ものの大きな低下は見られなかった。

なお、松江地方気象台の資料によれば、観測期間の天候は概ね晴天で安定しており、最高気温は20～22℃、最低気温は12～13℃、風速は3～4m/secで最大風速は10m/sec（NE, 14日）であった。観測前1週間では5月7、8日と11、12日に降水があり、日降水量では12日の60mmが最高で、一週間の積算雨量は144mmであった。また、12日には最大風速12m/sec（W）を記録しているが他の日は最大でも4～6m/secであった。したがって、観測期間およびその前1週間はやや風が強い日があったものの、この季節としてはとくに異常な気象ではなかったといえる。

#### 2) 万原橋での観測結果

観測結果と境港の潮汐および潮の状況を図4に示す。また、この間の気象状況について、松江地方気象台のデータをもとにまとめたものを図5に示す。

前報（高安, 1998）でも指摘したように、万原橋下の北部承水路では今回も数10分毎に流向が頻繁に変わる状況が観測された。流速（西向きをプラス、東向きをマイナスで表示）は全観測期間中で最高102cm/secを記録したが（4月1日の強風時）、平常時は西向き東向きとも60～70cm/sec程度の極大値であった。流速の37点（6時間分）の移動平均をとってみると、24日頃から振幅が大きくなっているが、これは小潮から長潮、若潮、中潮をへて大潮に至る振幅の変化に対応している。塩分は流向変化に対応して概ね18psu～26psuの範囲で頻繁に変化し、その振幅は観測期間の後半の方が大きくなる傾向がみられた。塩分の37点（6時間分）移動平均をとってみると、概ね境港の潮位変動と調和的な周期的変動が認められたが、この変動の振幅も24、5日以降に大きくなる傾向が見られた。水温は9.5℃～13℃で変化し、次第に上昇する傾向が見られた。また、塩分と同様の日周期的変動も認められるが、その振幅は塩分とは逆に観測期間の後半になるほど小さくなっていった。

気温は全体に徐々に上昇傾向にあり、3月29日には最高気温は20℃に達し日較差は10～13℃程度であった。また、3月26日夜から27日には弱い低気圧の通過とともに約23.0mmの積算降雨があり、すでに述べたように解析期間直前の3月19日夜半から20日にかけては強い低気圧によって、最大風速15m/sec以上（NW）の強風と15.5mmの降雨が見られた。解析開始前1週間の積算降雨量は35.0mm、解析期間中では26.5mmであった。

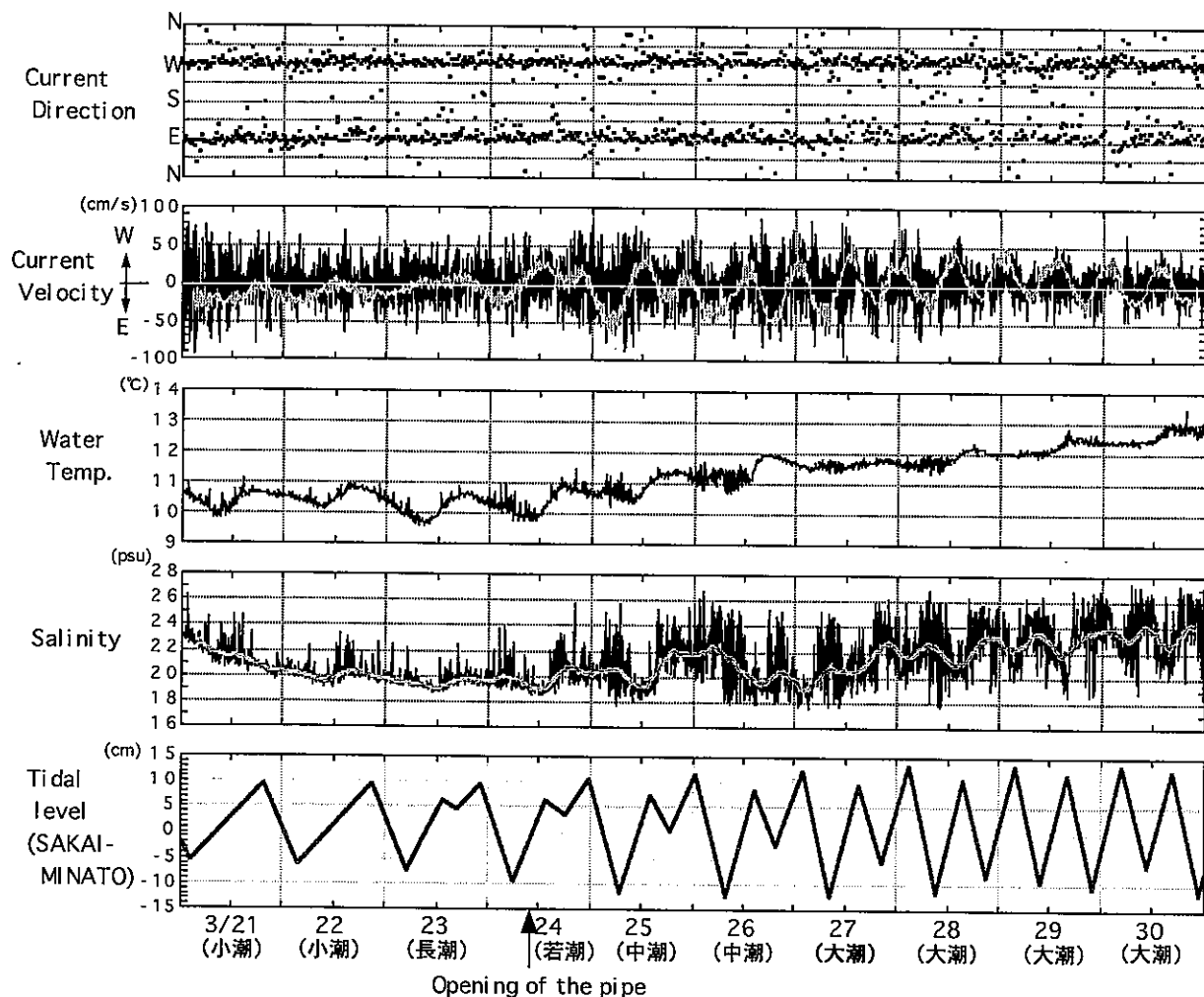


図4. 万原橋下における観測結果

Fig.4. Current direction, current velocity, water temperature and salinity changes at Mambara bridge of North Channel, and tidal level change at Sakaiminato observatory.

## 考察

### (1) 水流と塩分変化の周期性

万原橋と潮通しパイプでの観測では、すでに述べたようにいずれも周期的変動が認められた。この周期性をさらに検討するために水流と塩分変化についてのスペクトル解析(FFT)を行った(図6, 7)。解析法については柳(1993)などを参考にした。なお、潮通しパイプでは3分間隔で526点、万原橋下では10分間隔で1024点のデータセットについてFFTを行い、解析を行う前に平滑化等のローパス処理は行っていない。

図6からわかるように、潮通しパイプでの水の流れには半日周潮に対応した12.8時間周期が卓越し、塩分もこれに連動している。水流では他に1.1時間と39.4分の周期が認められる。この二つの周期は万原橋下の水流に強く現れている52.2分と34.8分の周期(図

7)に対応している\*。この短周期の変動は潮汐作用に北部承水路の地形的効果が加わって生じた副振動と考えられ(高安, 1998)、その影響がパイプを通過する水流にも現れていることを示している。しかし塩分変化については、潮通しパイプでは1.02時間周期がわずかに認められる程度である。したがって、この短周期の水流変化は塩分フラックスの移動にはあまり寄与していない、と言える。この他に、潮通しパイプでは塩分に3.66時間の周期が見られるが、これは万原橋下では認められないので、本庄水域内部固有の塩分変動の可能性が考えられる。

万原橋下では日周潮に対応した24.4時間周期が水流と塩分のいずれにも認められるが、潮通しパイプではデータ数の関係から半日周潮よりも大きい周期は検知できない。しかし潮通しパイプを通過する水

\*北部承水路の長さを2000m、平均水深を2mとして湾の副振動の基本周期を計算すると約30分になり、観測地(34.8分)に近い値となる。

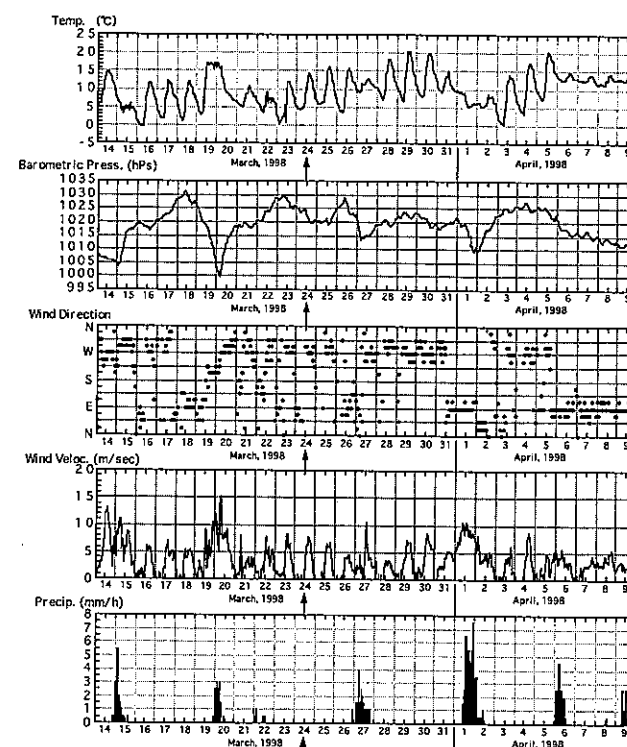


図5. 万原橋下における観測期間の気象状況(松江地方気象台)

Fig.5. Meteorological data during the observation at Mambara Bridge of North Channel (at Matsue Meteorological Station)

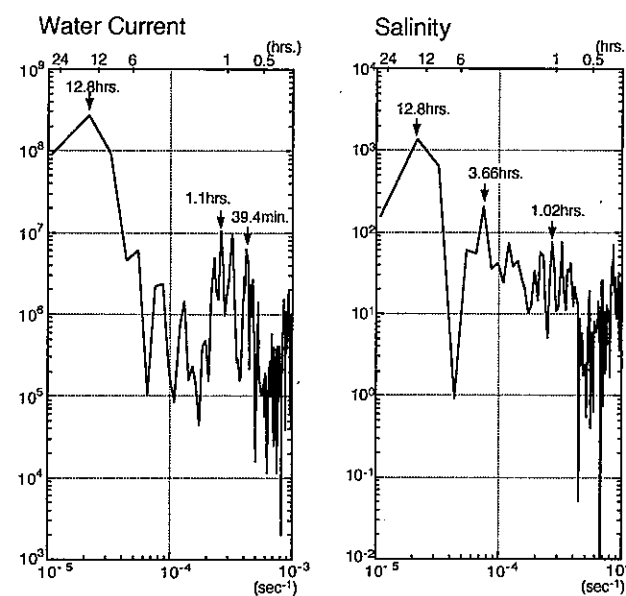


図6. 潮通しパイプにおける水流および塩分変動のパワースペクトル

Fig.6. Power spectra of water current and salinity observed at the pipe site.

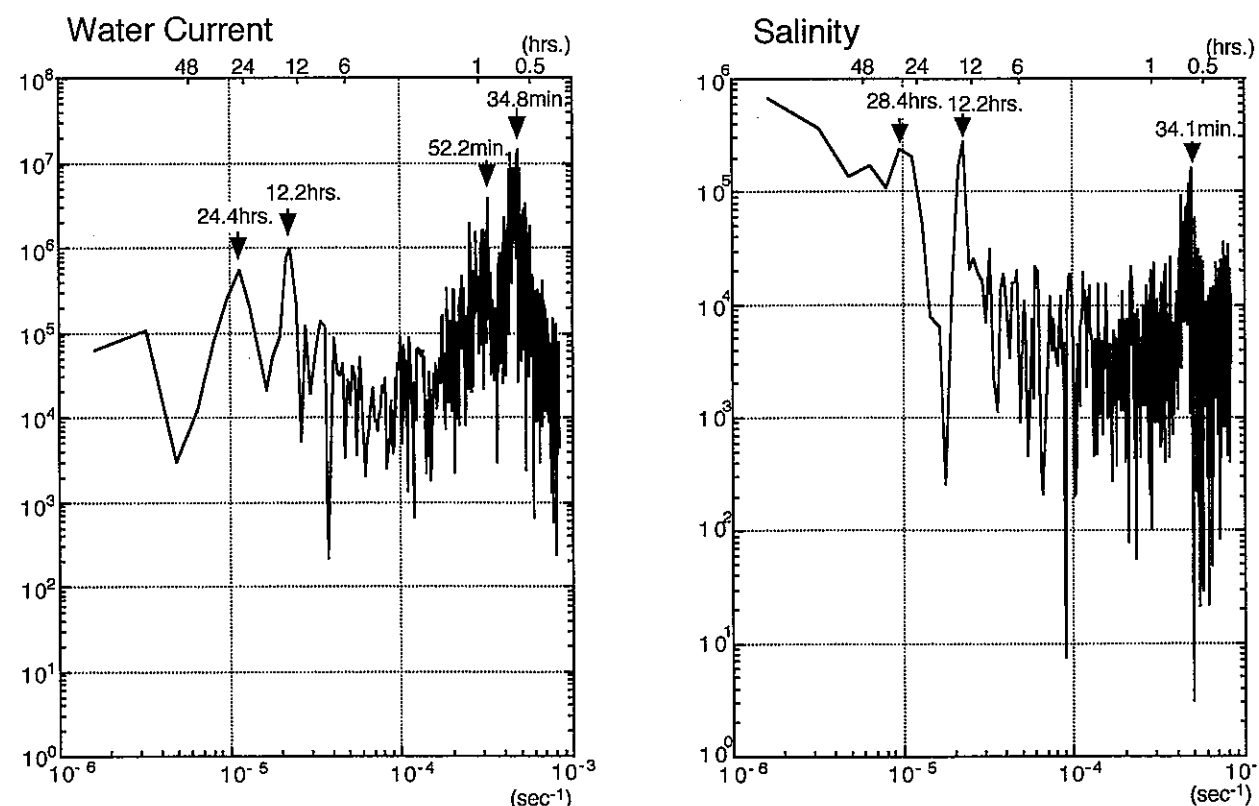


図7. 万原橋下における水流および塩分変動のパワースペクトル

Fig.7. Power spectra of water current and salinity observed at Mambara Bridge.

流や塩分にも日周潮に対応した周期があることは観測結果からも明らかである。すなわち、北部承水路—潮通しパイプ—本庄水域の一連の系において、水塊と塩分の移動は基本的には潮汐作用に起因するものであり、これに北部承水路や本庄水域で生じた固有の動きが二次的に加わっている、と解釈できる。

## (2) 水の交流量の推定

我々がパイプによる潮通し実験で最も知りたいことは、パイプを通じて行われる具体的な水の交換量であり、塩分や栄養塩フラックスの動態である。

仮に、今回観測した流速がパイプを通過する水塊の平均的な流速であるとして、次のような方法で平均流量を計算してみた。流量 (Q) は流積 (A) と流速 (V) の積で表される。パイプは直径 2.5m で平均 1.9m の水深になるように設置されている。この値をもとに流積を計算すると約 3.85m<sup>2</sup> であるが、観測期間の高水位と低水位の差は約 30cm あり、パイプの直径が小さいので水位変化による流積変化は無視できない。そこで、基準水深が 1.9m であったとして水位変化を逐次考慮に入れて求めた流積変化を示すと図 8a のようになる。この場合、観測期間の平均流積は 4.0m<sup>2</sup> となる。また、流出および流入をあわせた平均流速は観測結果から 0.88m/sec である。したがって、パイプ 1 本を通過する流量は平均 3.52m<sup>3</sup>/sec であり、パイプ 2 本で毎秒約 7m<sup>3</sup> 余りの水塊が移動することになる。これを平均日交流量に換算すると、約 313 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> になる。

なお、今回の観測では本庄水域から流出している時間の方が長く、また流速も大きかったので、実際に流出していった水の総量と流入してきた水の総量との間には大きな差が生じた。図 8d のように、5 月 13 日 22:24 の低水位時から 5 月 14 日 23:54 の低水位時、および 5 月 14 日 7:15 の高水位時から 5 月 15 日 8:42 の高水位時を一日周潮として、流入時、および流出時に 2 本のパイプを通過したそれぞれの水量を積算すると、平均で流入総水量は 188 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>、流出総水量は 438 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> になる。

パイプを通じて生じる本庄水域からの水の流出・流入は、基本的にはパイプの両端における水位の変化による。今回観測したパイプの本庄水域側での水位変化には、すでに述べたように境港の潮位変化と比べると低潮位で約 1 時間 30 分、高潮位で 2 から 3 時間の位相の遅れが見られた。今回は北部承水路側では同時に水位変化を観測していないが、これまでのデータでは万原橋下で境港の潮位変化とは数 10 分の

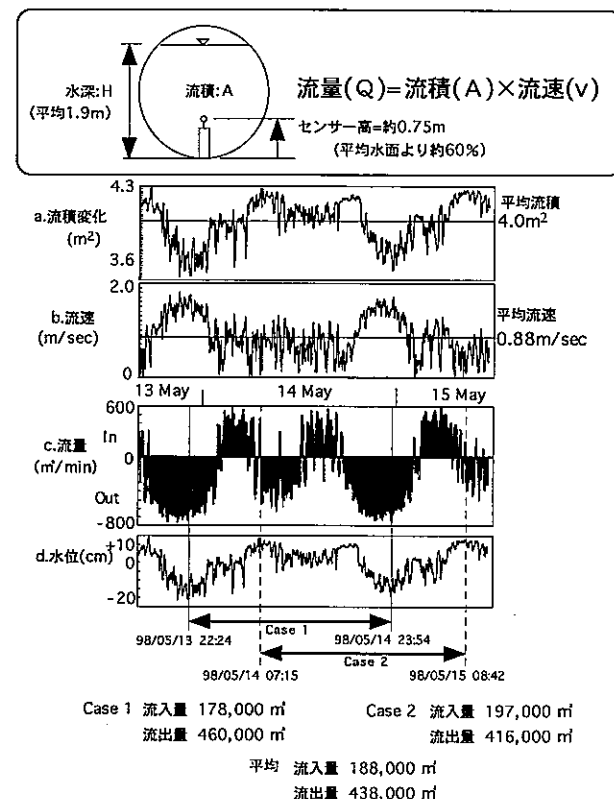


図 8. 潮通しパイプを通過する水の流出量の推定  
Fig. 8. Estimation of the water volume flowing through the pipes.

位相の遅れが観測されている (高安, 1998)。また、本庄水域の水位はその主要な水の交換口がある西部承水路の水位変化とも関係すると考えられるが、これについても今回は同時観測を行っていない。1997 年夏の観測では、西部承路南口で境港とは 3~4 時間、同北口では 4~4.5 時間の位相の遅れがあることが知られている (高安, 1998)。パイプ両端の水位差変動はこれらが関連し合った結果として生じるものと考えられる。さらに、中海や宍道湖などの沿岸潟湖の水位は気圧や風などの気象条件によっても大きく変化することが知られており (浜田・藤田, 1988; 橋谷ほか, 1992; 奥田ほか, 1992, 1994; 高安・會田, 1995; 高安, 1998), また、大潮、中潮、小潮等の潮の条件も水位の変化をより複雑なものにしていると思われる。パイプを通過する水の動きのメカニズムを把握するには、上記のような地点での同時観測と気象や潮の状況の検討が不可欠であると考えられる。

## ま と め

中海本庄水域北部承水路堤に設置された潮通しパイプを通過する水の動きと、新しい条件下における

北部承水路の水塊動態を知るために、潮通しパイプの本庄水域口と万原橋下で流向流速計による連続観測を行った。その結果、以下のようなことがわかった。

1. 潮通しパイプ本庄水域口 (1998 年 5 月 13 日~5 月 15 日)

基本的には日周潮と半日周潮に対応して水が交換しており、これに加えて北部承水路や本庄水域で生じた固有の動きが認められる。観測期間中のデータから、平均日交流量は約 313 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> と算出されたが、実際の水の動きは本庄水域とその周辺の水位変化の位相のずれや気象、潮の条件等が相互に関係し、さらに複雑であると予想される。

2. 北部承水路万原橋下 (1998 年 3 月 13 日~4 月 9 日のうち 3 月 21 日~3 月 30 日のデータを検討)

観測期間は潮通しパイプ通水日を挟んでいるが、水の流れに関しては通水による影響はほとんど認められない。ここでは、潮汐に伴う周期的な水の動きよりも、最高毎秒 1m に達する 34~35 分周期の副振動が顕著である。

水塊の動きやパイプを通過する水の動きは、短期間の調査では実態を把握することが難しい。複数の重要なポイントでの長期にわたる同時観測が必要である。

## 文 献

- 浜田周作・藤田和正 (1988) 中海の風と湖水の変動について。島根県地学会会誌, 3: 14-21.
- 橋谷 博・奥村 稔・藤永 薫・近藤邦男・清家 泰 (1991) 宍道湖への高塩分水の流入。山陰地域研究 (自然環境), 7: 83-92.
- 橋谷 博・奥村 稔・藤永 薫・近藤邦男・清家 泰 (1992) 宍道湖・中海の水質変動に与える気象・海象の影響— (その 2) 1982~1991 年の水質変動と気象 5 因子。山陰地域研究 (自然環境), 8: 69-86.
- 奥田節夫・藤井智康・川上誠一 (1992) 中海・宍道湖における水位変動特性 (2)。汽水湖研究, 2: 1-6.
- 奥田節夫・藤井智康・植田敏史 (1994) 中海の物理的特性。汽水湖, 7: 21-33.
- 高安克己 (1998) 中海本庄水域周辺承水路の水塊動態。LAGUNA (汽水湖研究), 5, 161-173.
- 高安克己・會田智宏 (1995) 人工河川・佐陀川から宍道湖に遡上する日本海水。日本海学会誌, 49 (3): 161-170.
- 柳 哲雄 (1993) 海洋観測データの処理法。恒星社厚生閣, 113p.