

中海本庄工区に設置された潮通しパイプ交換水の水質特性

福井真司¹・青井亜矢子¹・藤岡克己¹・前田伊佐武¹・
三浦真吾¹・相崎守弘¹

Characteristic of interchanging water of the tidal flow pipe constructed in Honjo Area of Lake Nakaumi

Shinji Fukui¹, Ayako Aoi¹, Katuki Fujioka¹, Isamu Maeda¹, Shingo Miura¹
and
Morihiro Aizaki¹

Abstract: Two tidal flow pipes with 2.5m in diameter were constructed in March 1998 for the fishery promotion investigation between north side of Honjo area and Hokubushosuiro.

Water quality of interchanging water of the pipes was investigated on June 6, July 10, and September 4 in 1998. The behavior of the inflow water in Honjo area was also investigated by using the drift buoys on September 4. Concentrations of salinity, total inorganic carbon, and water temperature were different between inflow and outflow waters. Then, it was considered that different water-mass was interchanged through the pipes. However, nutrient concentrations were scarcely different.

The drift buoys were moved narrow area, which was about 100m from the pipes during inflow period. Then, it was concluded that the inflow water through the pipes were influenced only limited area near constructed pipes and was scarcely influenced whole water quality of Honjo area.

Key words: drift buoy, Honjo area, Hokubushosuiro, water quality, tidal flow pipes

はじめに

島根県と鳥取県の境に位置する中海は、面積86.79km²の全国で5番目に大きな湖であり、汽水湖としてはサロマ湖に次いで2番目の大きさである。その北西部に位置する本庄工区水域は国営干拓事業のために堤防で人工的に仕切られてできた水域であり、水域西部に設けられた承水路でわずかに中海と接続しているだけの閉鎖性水域である(図1)。この干拓事業は1963年に開始され1981年までに工区を取り囲む堤防がほぼ完成したが、その後の社会情勢の変化により1988年に中断されたまま現在に至っている。その間種々の検討が行われたが島根県は、1995年に

本庄工区全面干拓の方針を打ち出し、干拓化事業再開を決定し、農林水産省へ工事の再開を申し入れた。これは県が行った「宍道湖・中海に関わる水質予測事業」の結果から、干拓化による他の水域への水質影響は少ないとの判断による決定であったが、その予測結果に疑問があることや、環境保護に対する関心の高まり、公共事業の見直し気運の高まりにより事業再開には、より詳細な調査が必要と判断された。そこで農林水産省は1997年度から1998年度にかけて調査を行い、総合的評価により干拓再開の是非を判断することを決めた。調査は水質や環境保全対策等についての具体的な検討や生物、生態系への影響等を把握するためのもののほかに、工区を全面水域とした

¹ 島根大学生物資源科学部
Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

場合の水産利用を検討するための水産振興調査も行われ、この調査のために北部承水路堤に潮通しパイプが設置された。

本研究では、この潮通しパイプの設置による本庄工区の水質に与える影響を知るために、潮通しを通して交換する水の水質特性を明らかにすることを目的に、6、7、9月の3回水質調査を行った。さらに9月の調査時には漂流ブイを用いて本庄工区内に流入した水の挙動に関しても調べた。そしてそれらの結果から潮通しパイプ設置による本庄工区への影響を検討した。

調 査 地 点

本庄工区の北部と西部には、元々この水域に流入していた河川水を、この水域に流入させないで中海に流すため堤防で区切り水路として利用している水域があり、それぞれ北部承水路、西部承水路と呼ばれている。西部承水路は水路と工区を仕切る堤防が現在も完全には閉じられておらず潮通しパイプが設置されるまでは中海と唯一水の交換を行っていた場所であり、逆に北部承水路は堤防により工区と完全に切り離された、本庄工区内とは別の水域であった。北部承水路は、その途中に架かる万原橋部分が水路建設の際に開削された人工水路で他の部分より幅が狭く、浅くなっていることや、この橋から境水道までの水域が貯木場として利用されているため多くの波止めが設置してあることにより、閉鎖性の強い水域であるといえる(図2)。

農林水産省は水産振興調査のために、この北部承水路と本庄工区を隔てる北部承水路堤に直径2.5mのパイプを2本設置し潮通しを行い、工区内側のパイプ設置地点横に砂を盛土してアサリの生息に関する実験を行った。潮通しパイプは万原橋の西方約100m地点で堤防がほぼ直角に曲がっている部分に設置されたが、この地点は北部承水路の西向きの流れが万原橋下の狭隘部で加速され衝突する地点であり(高安, 1998)、水路の流れを複雑化させているところである。我々はこの潮通しパイプにおいて、本庄工区への流入口となる北部承水路側で調査を行った。

調 査 方 法

調査は1998年6月6日、7月10日及び9月4日の3回行った。6月と7月の調査は午前6時から午後6時までの12時間、9月の調査は午前7時から午後5時ま

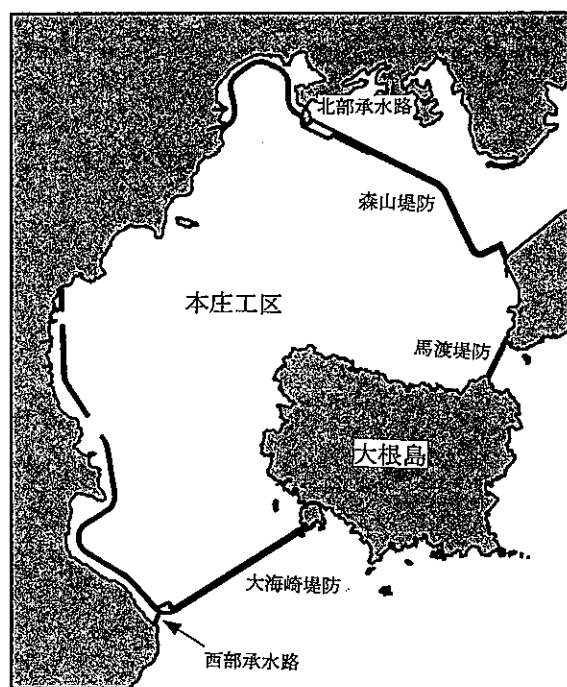


図1. 本庄工区図。

Fig.1. Map of the Honjo area in Lake Nakaumi.

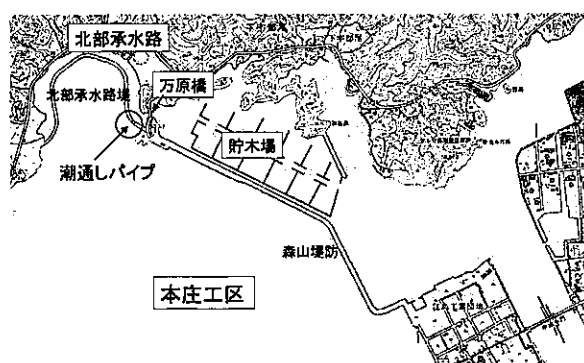


図2. 北部承水路詳細図。

Fig.2. Location map of the pipes constructed between the Honjo area and the North Channel, Hokubushosui.

での10時間行った。6月は大潮に近い中潮、7月と9月は大潮の日を選んだ。測定は流速計により流速を測定し、水温、塩分濃度、pH、溶存酸素(DO)に関しては多項目水質計(水質チェッカー U-10 堀場製)を用いて15分間隔で測定を行った。また同時に1時間間隔で採水を行った。採水深度は潮通しパイプを通る水流の中央となる水深1mで行った。採取した水は無機炭酸(DIC)分析用のサンプルを密栓瓶に採り、残りをサンプル瓶に採って、調査終了までクーラーボックスで氷冷保存した。調査終了後速やかに実験室に持ち帰り、全窒素(TN)、全リン(TP)分析用にサブサンプルを採った後、ガラスフィルター(Whatman GF/F)を用いて濾過し、フィルター上の懸濁物質はクロロフィル-a(Chl-a)、乾燥重量(SS)分析用のサンプルとした。また、濾液は溶存態の栄養塩

類分析用の試料とした。

分析は以下の方法で行った。クロロフィル a 濃度は100%メタノールで3時間以上抽出後SCOR/UNESCO法で分析した。全窒素及び溶存態全窒素(DTN)濃度はアルカリ性下でペルオキシ二硫酸カリウムによりオートクレーブを用いて120℃, 30分間加熱分解した後、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度を測定した。溶存態無機窒素(DIN)濃度はアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸態窒素の和とした。全リン及び溶存態全リン(DTP)濃度はペルオキシ二硫酸カリウムで加熱分解後、無機態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)濃度を測定した。アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素及び無機態リン濃度はオートアナライザー(ブラン・ルーベ社, AA II型)を用いて分析した(大塚ほか, 1984)。無機炭酸の分析は全有機炭素計(TOC-5000, 島津製)を用いて分析した。

9月の調査時に行った漂流ブイを用いて本庄工区内へ流入した水の挙動についての調査は、横22cm, 縦30cmの4枚羽の抵抗板(重さ0.5kg)をつけたブイを用い、抵抗板は水深1, 2, 3mのところに漂流させた。ブイの投入は本庄工区に水が流入し始めた10時15分

に潮通しパイプ前で行い、1mブイと、2mブイの挙動が同じであったことから、11時20分に1mブイを4mブイに切り替えて実験を継続した。

結 果

図3に6, 7, 9月のそれぞれの流速及び流向を示す。流向は本庄工区に流入する水をプラス, 流出する水をマイナスで表示した。潮通しを通過する水の流速は60~80cm/S程度の速い速度を示した。流入する水は流速が比較的安定しているが, 流出する水は流速の変化が大きく, 100cm/Sを越えることもあった。また流出から流入, またはその逆に流入から流出が変わるときは短時間のうちに流向が何回も変化した。図の上部に記されている三角形は潮位表による境港の干満を示しており, 白抜きが干潮を黒塗りが満潮を示している。これから流向の変化は潮の満ち引きに連動し, 特に満潮を挟んで前後1, 2時間安定して工区内に流入していることが分かる。

図4は6, 7, 9月のそれぞれの流向に対する塩分濃度変化, 同様に図5は無機炭酸濃度変化, 図6は水温

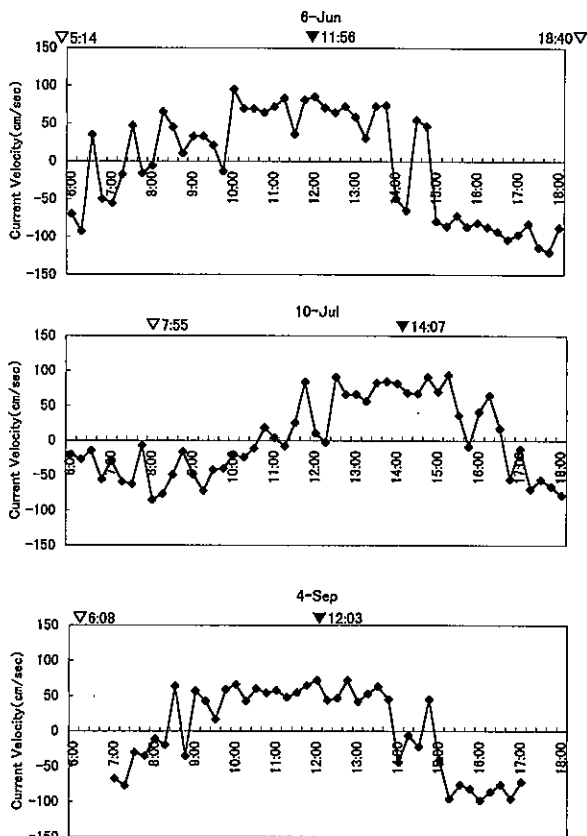


図3. 潮通しパイプを通過した交換水の流速と流向の経時変化。

Fig.3. Diurnal changes in Current velocity and direction of the interchanging water through pipes.

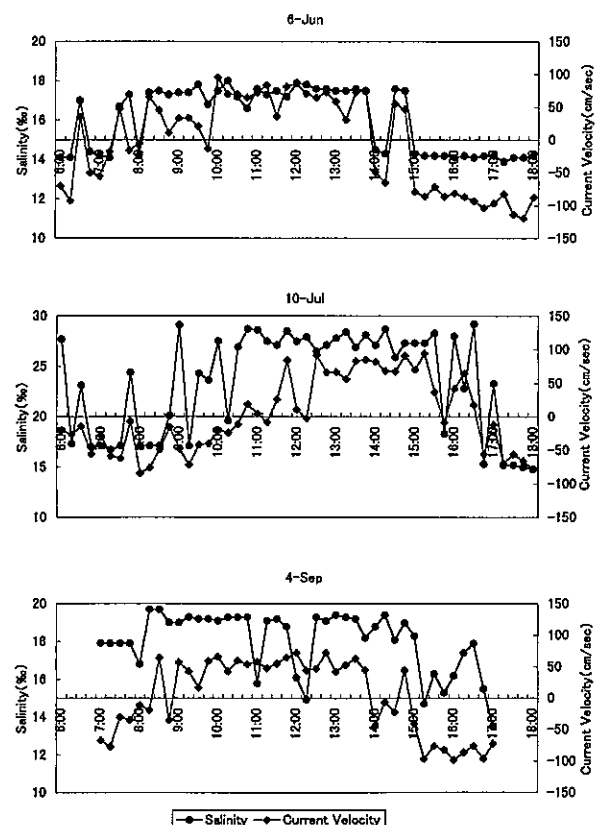


図4. 潮通しパイプ交換水の流速及び流向と塩分濃度の経時変化。

Fig.4. Diurnal change in the concentration of salinity of the interchanging water.

変化を示す。塩分濃度、無機炭酸濃度ともにいくらかのばらつきはあるが流向と比較すると、本庄工区より流出する水の濃度が低く、流入する水は濃度が高かった。逆に水温は、流出する水の温度が高く、流入する水は低かった。

表1はいくつかの水質測定項目に対する各月ごとの流入水と流出水それぞれの平均値を示す。6, 7月は塩分、無機炭酸濃度、及び水温に違いがみられたが、栄養塩濃度には違いがみられなかった。9月は無機炭酸濃度、及び水温に違いがみられなかったが、窒素濃度に若干の違いがみられた。しかしその差はわずかであった。

図7に漂流ブイを使って本庄工区内へ流入する水の挙動を調べた結果を示す。投入したブイは1, 2, 3mの水深のものがほとんど同じような挙動を示し、アサリ実験を行っている水域の先端部を示す潮通しパイプから50m沖にある固定ブイ付近まで5分程度で達した後その付近をうろうろしてあまり大きく移動しなかった。そこで1mブイを4mブイに変更して同地点に投入した。その後の各ブイの動きは、2mブイは13時までほとんど動かなかったがその後風による

吹送流に流がされて湖心に向かった。3mブイもほとんど動かず、14時には浅瀬に座礁した。4mブイのみ潮通しからの流れと思われる水の流れにより湖心方向へ移動を開始した。ブイの追跡調査は水の流れが変わった後1時間程度継続したが、ブイは潮通しパイプ付近方向へ戻る気配はみられずに、吹送流に乗って湖心方向へ移動した。漂流ブイの動きから潮通しパイプからの本庄工区への流入水の影響範囲を予測し、図6中に示した。直接影響を受ける水域はアサリ実験場と半島部に囲まれた一部の水域に限られることが推定された。

考 察

1) 潮通しパイプの交換水水質特性とその挙動

潮通しパイプを通る水の流向の変化は、境港の潮位変化に連動しており、特に流入は満潮を挟んで1, 2時間安定していた。流入に対し流出が安定しないことは、潮通しパイプの設置された場所の地形による場所が大きいと考えられる。つまり流入の際は境水道から北部承水路を通り万原橋下で加速されパイ

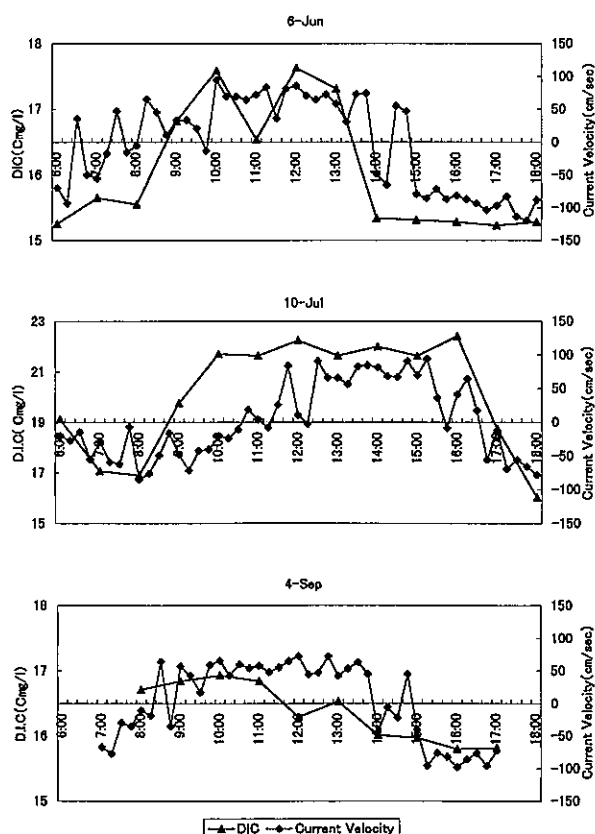


図5. 潮通しパイプ交換水の流速及び流向と無機炭酸濃度の経時変化。

Fig.5. Diurnal changes in the concentration of total inorganic carbon of the interchanging water.

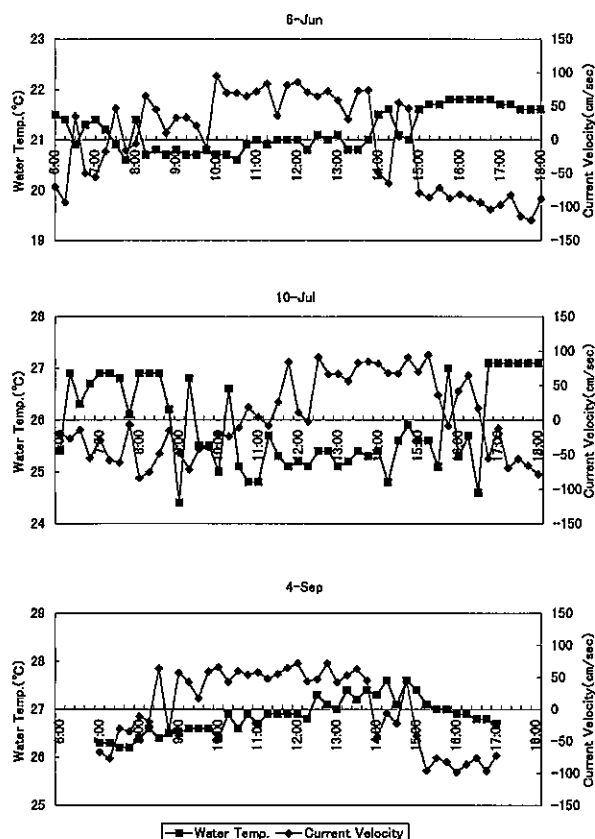


図6. 潮通しパイプ交換水の流速及び流向と水温の経時変化。

Fig.6. Diurnal changes in water temperature of interchanging water.

表 1. 潮通し交換水の流入及び流出水の平均水質及び流速.

Table.1. Average water quality and current velocity of interchanging water through pipes.

	Current Velocity (cm/sec)	Water Temp. (°C)	Salinity (‰)	DIC (mg/l)	pH	DO (mg/l)	SS (mg/l)	Chl-a (μg/l)	TN (N・μg/l)	DTN (N・μg/l)	DIN	TP	DTP (P・μg/l)	PO4P
6-Jun														
Inflow	57.6	20.9	17.4	17.2	7.91	7.53	3.01	1.6	106	-	13	31	23	7
Outflow	70.6	21.5	14.4	15.4	7.92	8.05	2.99	2.3	103	-	8	28	18	4
10-Jul														
Inflow	58.4	25.3	27.5	21.9	8.11	6.28	4.59	2.3	319	170	12	47	28	10
Outflow	39.6	26.4	20.4	18.5	8.00	6.10	3.82	1.8	304	199	11	36	26	9
4-Sep														
Inflow	53.3	26.9	18.7	16.7	7.86	5.43	3.21	1.7	459	373	132	99	90	50
Outflow	58.3	26.8	17.3	16.1	7.88	5.28	3.24	2.8	480	417	189	96	88	54

プにまで到達する流れが直線的に結ばれるが、流出の際には本庄工区からの流れと北部承水路の元々の流れが万原橋の狭隘部でぶつかり合い反射したりするために流れが安定しないものと考えられる。さらに境水道から北部承水路までの水塊は、潮の干満により静振現象が起こっていると示唆されており（高安, 1998）、このことが流れが安定しないことに大きく関連していると考えられる。

潮通しパイプを通る水は、水温、塩分、無機炭酸濃度の変動より、工区内に流入する水は境水道からの海水が北部承水路で混合されたものであり、工区から流出する水は、暖かい表層水であると考えられた。流向が瞬時に変わるとき以外は流入水と流出水の水質が違うことから、違う水塊が移動していると推測される。しかしながら栄養塩について大きな違いがみられていないことから、境水道から流入してくる新鮮な海水と直接変わるわけではないと考えられた。このことはこの水域の閉鎖性と底層部に生じている塩分躍層に関連があると思われる。この水域は貯木場の波止めや承水路出口が堤防により狭まっていることなどから水の移動が悪くこの水域にある程度の期間とどまっていると予想される。また万原橋より東側は水深3～4mのところに塩分躍層が生じているが、橋下の水深が4m程度なので底層の高塩分水が西側に流入してこないものと考えられている。このことから境水道より流入してきた新鮮な海水は北部承水路の底に潜り込み、ここに滞留していた水が押し上げられ形で万原橋より西側にもどっていくものと推測される。さらにこれに前記した静振現象と万原橋下の複雑な水の流れが加わり、水が攪拌されて水質の違う水が作り出され、流入水と流出水に水質の違いが現れるが、実際この水はこの水域に滞留していたものなので栄養塩に変化は現れないものと考えられた。

漂流ブイにより明らかにされた半島部側への水の流れは、アサリ実験場側の湖底部が覆砂により半島部側に比べ高くなっており、これが壁となって実験場側に水を流れにくくしていると考えられる。塩分

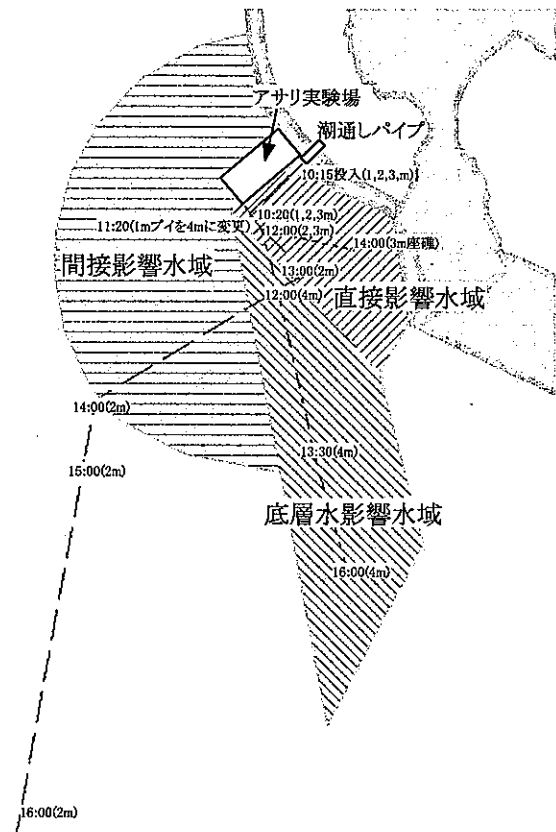


図 7. 漂流ブイの移動経緯と潮通しパイプ交換水の直接影響水域の推定.

Fig.7. Time course of the drift buoys movement and estimated area which was directly influenced by inflow water.

濃度の高い流入水は直接影響を受ける水域から底層に潜り込んで湖心方向へ移動しているものと推定された。また直接影響を受ける水域の水は本庄工区から流出方向の流れになるとき、流入と流出の塩分濃度などの違いにより付近の水、特に表層水とよく混合してから流出されると推測された。これらの水の流れは、中国四国農政局がまとめた水産調査の結果について（中国四国農政局 1999）に記されている代表流向と類似したもので、この付近の水の流れはおおむねこの通りであると言える。

そしてこのような水の流れでは、水産振興調査の

対象区であるアサリ実験場には直接流入水の影響は少なく、かわりに周期的に変わる流向及び速い流速により引き起こされる水の流れと、それに伴う混合による間接的影響を受けると推測された。

2) 潮通しパイプによる影響範囲

潮通しパイプの設置による通水で、本庄工区の水質や底質の改善、生物の生息環境の向上による水産利用の向上などに期待が持たれているが、実際にパイプによる通水の影響がどの程度及んでいるのか調査結果を基に考察してみた。

3回の調査により北部承水路から本庄工区に流入する水の平均流速を求めたところ 56.4cm/sec であった。また水深から計算して求めたパイプ1本あたりの流入面積の平均は 4.61m² となった。これらから1日あたり12時間の流入があるとして流量を求めたところ 22.4万 t/day であった。本庄工区の容量は 8248万 t であるから流入量は工区の容量の 0.27% である。これを交換率として水の交換量を計算したところ本庄工区内の水が 50% 交換されるのに約 8.5ヶ月 (255日) がかかることが分かった。さらに図6に示した直接影響水域に水が滞留し本庄工区内に流入しない場合も考えてみた。直接影響水域の面積は 8500m² であり、平均水深は 3m 程度と考えられるので、容量は約 2.5万 t である。日本海の干満を考えて一回の流入時間を 6時間とすると、直接影響水域を越えて本庄工区内に流れ込む量は 8.7万 t となる。1日2回の流入があるとする、1日あたりの流入量は 17.4万 t/day となり、これは工区容量の 0.21% となる前記と同様に 50% 交換されるのにかかる日数を計算したところ約 11ヶ月 (328日) もかかることが分かった。小池ほか (小池ほか, 1998) が求めた西部承水路による本庄工区の水の交換日数は 50% 交換に約 1ヶ月 (31.6日) 95% 交換するのに約 4.5ヶ月 (136日) であることから、潮通しパイプによって水を半分交換する間に西部承水路によって2回以上全交換される計算になる。また一回の流入時間あたりの流入量は、11.2万 t/day 程度であることから、潮通しパイプからよく混合しながら拡散したと仮定すると、その影響範囲は約 200m 程度であると計算された。

ま と め

水産振興調査のために中海本庄工区の北部承水路に設置された潮通しパイプの影響を知るために、パイプを通過する水の水質調査を 1998年6月6日、7月10日、9月4日の3回行った。また併せて9月4日には漂流ブイを使って工区内に流入する水の挙動も調査した。その結果パイプを通過する水は、平均 60～80cm/S の速い流速を示し、100cm/S を越えることもあった。工区内への水の流入、流出で示される流向の変化は境港の潮の満ち引きに連動して起こった。工区へ流入する水と流出する水は、塩分濃度、無機炭酸濃度、水温の変化から違う水塊であることが分かった。しかしながら窒素、リンなどの栄養塩濃度に大きな違いがないことから、北部承水路内に滞留していた水塊と流出水の混合によってできた新たな水塊で全く別の水塊ではないと考えられた。漂流ブイによる水の挙動調査により流入した水の直接影響範囲は非常に狭く、水産振興調査のために作られたアサリ実験場には間接的には影響があるが直接的には影響しなかったと推測された。この水の挙動と、流量から求めた潮通しパイプから本庄工区への流入量の結果より、潮通しパイプからの流入水による本庄工区全体への水質的影響はほとんどないと推測された。

引 用 文 献

- 大槻晃・岩熊敏夫・河合崇欣・相崎守弘 (1984) 霞ヶ浦における富栄養化現象の傾向。国立公害研究所研究報告, R-51, 1-10.
- 小池文人・相崎守弘・清家泰・秋葉道宏・奥村稔・藤永薫 (1999) 塩分濃度の変化から推測した本庄水域の表層水の交換率。LAGUNA (汽水域研究), 6: 19-25.
- 高安克己 (1998) 中海本庄水域周辺承水路の水塊動態。LAGUNA (汽水域研究), 5: 161-173.
- 中国四国農政局 (1999) 水産調査の結果について。128p. 中国四国農政局.