

## ノート

# 加古川水系の平荘ダム一時放流による加古川河口周辺海域への栄養塩添加効果の検討

原田和弘<sup>1\*</sup>・近藤敬三<sup>2</sup>・川崎周作<sup>3</sup>・中谷明泰<sup>3</sup>・水田 章<sup>4</sup>・高木英男<sup>2</sup>・西川哲也<sup>5</sup>

Effect of a temporal discharge of the Heiso Dam water on the nutrient load into the mouth of Kakogawa River

Kazuhiro HARADA<sup>1\*</sup>, Keizo KONDO<sup>2</sup>, Shusaku KAWASAKI<sup>3</sup>, Akihiro NAKATANI<sup>3</sup>, Akira MIZUTA<sup>4</sup>, Hideo TAKAGI<sup>5</sup> AND Tetsuya NISHIKAWA<sup>6</sup>

キーワード：ダム放流，栄養塩，加古川

兵庫県の播磨灘では1990年代後半以降、溶存態無機窒素（dissolved inorganic nitrogen, 以後 DIN とする）濃度の低下が顕著になるとともに（堀ら 2008, 西川 2011, 反田・原田 2012）、これが主要因となって養殖ノリの不作を招いている（原田 2013）。このような状況から、兵庫県では栄養塩回復に関する漁業関係者からの強い要望を受け、当海域において養殖ノリ生産期に次に記す栄養塩回復対策に取り組んでいる。その内容は、兵庫県下水道課、（公財）加古川下流浄化センター、明石市ならびに淡路市等の関係機関との連携による下水処理施設での窒素排出量増加運転の試行、加古川水系のダムからの一時放流、漁業者による施肥、さらには漁業者と農業者の協働によるため池貯留水の放流等である（反田・原田 2012）。本報では、これらの栄養塩回復対策のうち、2008年3月に関係機関の

協力を得て兵庫県水産課が実施した加古川水系の平荘ダム（兵庫県企業庁管理）からの一時放流が、河口域の栄養塩分布にどのような影響を与えるか調査した結果を詳しく記録し、当該海域における栄養塩管理の一手法と考えられるダム放流の妥当性に関する判断材料とした。

### 材料および方法

**平荘ダムと一時放流の概要** 平荘ダム（第1図）は兵庫県加古川市平荘町に位置し、1965年度に完成した工業用水供給を目的としたダムで、総貯水量は940万トン（有効貯水量900万トン）である（兵庫県ホームページ <http://web.pref.hyogo.jp>）。

一時放流は、2008年3月7日の午前10時～3月11

<sup>1\*</sup>Tel: 078-941-8601; Fax: 078-941-8604; Email: kazuhiro\_harada@pref.hyogo.lg.jp

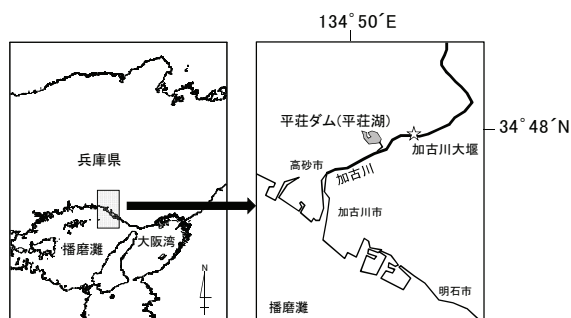
兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター（674-0093 兵庫県明石市二見町南二見 22-2）

<sup>2</sup>兵庫県農政環境部農林水産局水産課（650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通 5-10-1）

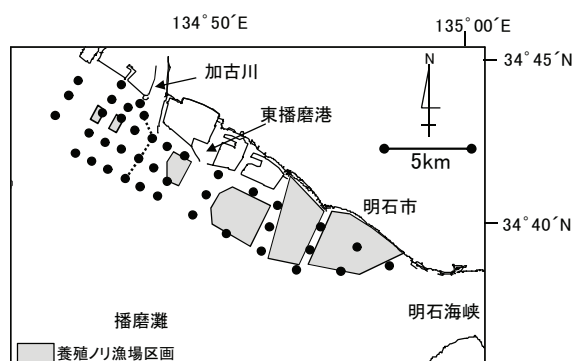
<sup>3</sup>兵庫県漁業協同組合連合会のり海藻事業本部兵庫のり研究所（674-0093 兵庫県明石市二見町南二見 22）

<sup>4</sup>兵庫県但馬県民局但馬水産事務所（669-65445 兵庫県美方郡香美町香住区 1852-4）

<sup>5</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター（669-6541 兵庫県美方郡香美町香住区境 1126-5）



第1図 平荘ダムおよび加古川大堰位置図

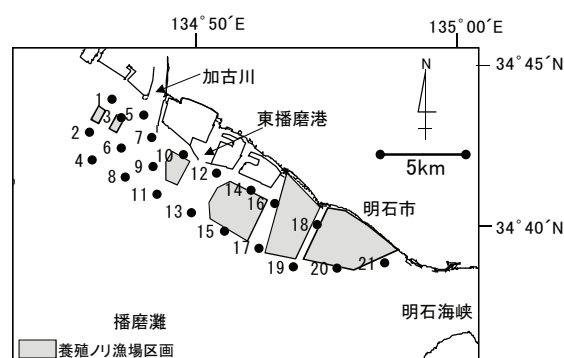


第2図 海域調査定点 (●; 調査定点)

日午前10時に、4トン/秒(期間中合計約138万トン)の水を水路を通じて加古川本流に放流した。

**河川域調査** 放流水および加古川河川水の栄養塩濃度を事前に調べるため、2008年3月6日に平荘ダムのダム湖である平荘湖の表、底層(水面下14m)および加古川大堰(第1図、ダム放流水が加古川本流と合流する地点から約3.2km上流に位置する)の堰止め部の表、底層(底上1m)から採水した。また、放流期間中の2008年3月8日および10日には、ダム放流水と加古川本流が合流する地点周辺の表層水を採取した。採水した試料は実験室に持ち帰り、栄養塩濃度(DIN, 溶存態無機リン(以後、DIPとする)、溶存態ケイ素(以後、DSiとする))を栄養塩自動分析装置(BLTEC社製TRAACS800)を用いて測定した。

**海域調査** 加古川河口より南東側に位置する養殖ノリ主要漁場への河川水の影響を確認するため、加古川河口周辺海域に40定点を設定し、明石海峡の潮流が東流(下げ潮)となる時刻を中心に水質調査を実施した(第2図)。2008年3月6日(明石海峡東流時)に放流前調査を、また、放流後は2008年3月11日(明石海峡東流(放流期間終了後)および西流時(上げ潮、放流期間終了時刻の午前10時前後)の1日2回)および13日(明石海峡東流時)に調査した。全定点でメモリー式STD(JFEアドバンテック社製AST1000-SまたはASTD687)を用いて、水温および塩分の鉛直分布を表層から底層まで50cmごとに測定するとともに、40定点のうち21定点では(第3図)、表層水を採水し



第3図 海域の栄養塩調査定点 (●; 調査定点)

て栄養塩濃度(DIN, DIP, DSi, ただし、3月11日の明石海峡西流時の調査はSTD観測のみ)を測定した。

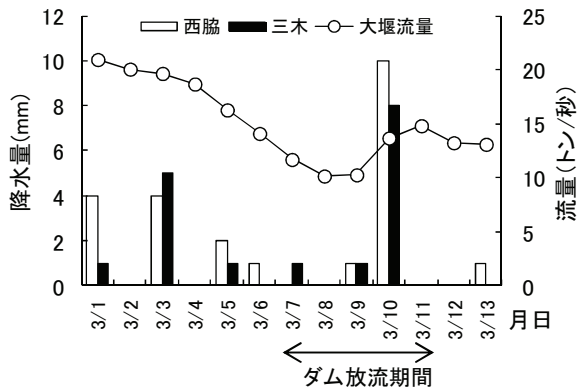
また、参考資料としてダム放流期間中の加古川流域(西脇、三木)の気象データ(気象庁ホームページ<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)および加古川大堰の河川流量(国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所調べ)を調べた。

## 結 果

**降水量と加古川大堰の流量** ダムの放流期間中、3月7, 9, および10日に降雨があり、3月10日には西脇で10mm、三木で8mmの降水量を記録した。これにともない、加古川大堰の流量は、3月7~9日は10.2~11.7トン/秒であったのに対し、3月10~13日は13.1~14.8トン/秒に増加していた(第4図)。加古川大堰における流量は貯水状況等により変わると

考えられるので、降水量がそのまま反映されない場合もあるが、3月10日前後で約3トン/秒の流量増加が生じていた(3月11~13日の大堰流量平均値から7~9日の流量平均値を減じた数値)。

したがって、ダム放流期間中の3月10日以降は、降雨による河川流量の上乗せを考慮する必要があると考えられた。



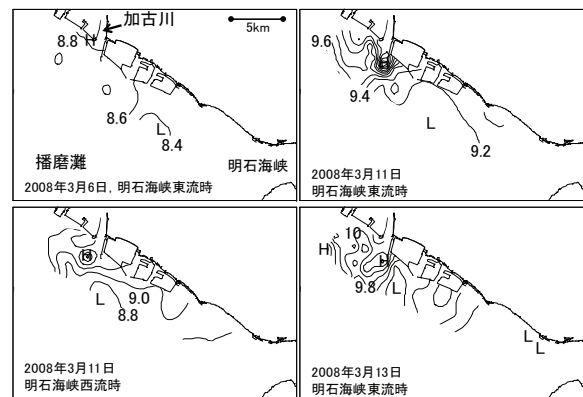
第4図 加古川流域の降水量と加古川大堰の流量

**河川域調査** 3月6日の加古川大堰表層水温は9.5℃であり、同日の海域調査における表層水温(8.3~8.9℃, 海面下0.5m)よりも高い傾向にあった(第1表)。また、平荘湖および加古川大堰とも、表層水と底層水に栄養塩濃度の差はなかった。しかし、平荘湖水のDIN濃度は27μmol/Lだったのに対し、加古川河川水(加古川大堰)のそれは77μmol/Lで、平荘湖水は河川水よりも50μmol/L低かった。平荘ダムからの放流水は加古川大堰よりも下流で加古川本流に合流しており、合流地点下流におけるDIN濃度は62μmol/Lであった。

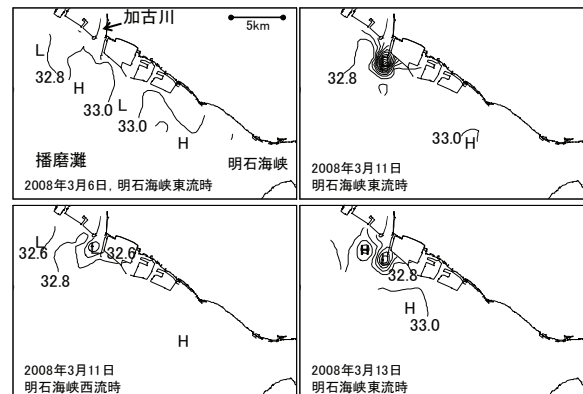
**海域調査** 表層水温(海面下0.5m, 第5図)の水平分布を見ると、3月11日(明石海峡東流時)の調査時に、加古川河口直近海域に周辺と比較して水温の高い水塊分布が確認できた。前述のとおり、3月6日の河川水温は、海域の水温よりも高く、調査期間中の西脇および三木の日平均気温は、概ね上昇傾向にあったことから、この水温分布は加古川から流出した河川水の影響と判断された。また、3月11日の明石海峡西流時

および放流終了2日後(3月13日)の調査でも、河口直近海域において周辺よりも水温が高い水塊の分布が認められた。一方、ダム放流前(3月6日)の調査では、河口直近海域においても等値線分布の大きな変化は認められず、河川水の影響と考えられる水温分布は確認できなかった。また、表層水温は、沖合もしくは明石海峡に近い調査定点で低い傾向にあった。

表層塩分(海面下0.5m, 第6図)も表層水温と同様に、3月11日(明石海峡東流時)および13日の調査では、加古川河口直近海域に低塩分の水塊分布が確認できた。一方、ダム放流前(3月6日)の調査では、河口直近海域においても塩分等値線に大きな変化は認められず、河川水の影響は確認できなかった。また、3月11日の明石海峡西流時の調査では、河口直近海域で低塩分分布は認められるものの、周辺との差は小さかった。



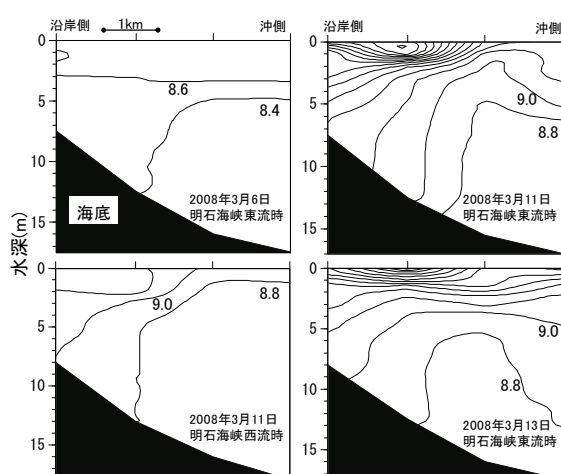
第5図 海域の表層水温分布(℃, 等値線は0.2℃毎)



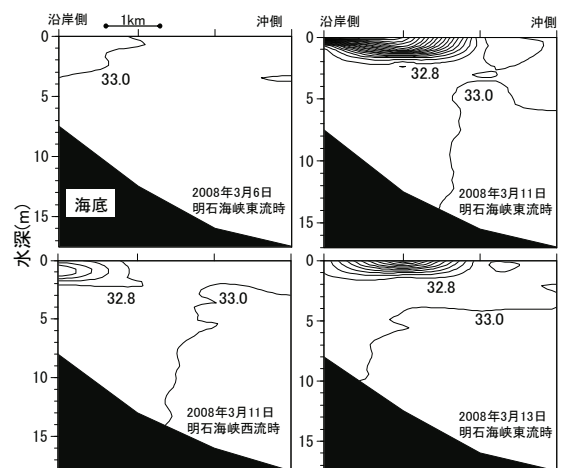
第6図 海域の表層塩分分布(等値線は0.2毎)

第1表 平荘湖水および加古川大堰等加古川河水の栄養塩濃度

調査日	調査地点	観測層	水温(°C)	栄養塩濃度( $\mu\text{mol/L}$ )		
				DIN	DIP	DSi
2008/3/6	平荘湖	表層	7.1	27.2	0.1	9.8
		底層	7.1	27.2	0.05	6.6
	加古川大堰	表層	9.5	77.2	0.97	117.7
		底層	9.2	76.7	0.93	119.4
2008/3/8	放流水と加古川本流 合流地点(上流)	表層	—	68.4	1.15	94.7
2008/3/10	放流水と加古川本流 合流地点(下流)	表層	—	62.1	0.85	76.6



第7図 加古川河口から沖合ライン上の水温鉛直分布(°C, 等値線は0.2°C毎)



第8図 加古川河口から沖合ライン上の塩分鉛直分布(等値線は0.2毎)

加古川河口から沖合への破線で示したライン上(第2図)における水温および塩分の鉛直分布は、表層水

温および塩分の水平分布と同様に、3月11日(明石海峡東流時)および13日に、加古川河口から沖合に向けて表層を高水温、低塩分水が流出していることが確認できた(第7, 8図)。一方、ダム放流前の3月6日の鉛直分布では水温、塩分とも等値線に大きな変化はなく、河川水の流出状況は明らかでなかった。また、鉛直分布から、河川水は海面下約2m程度までのごく表層を流出しており、中、底層にその影響は及んでいないことが判明した。

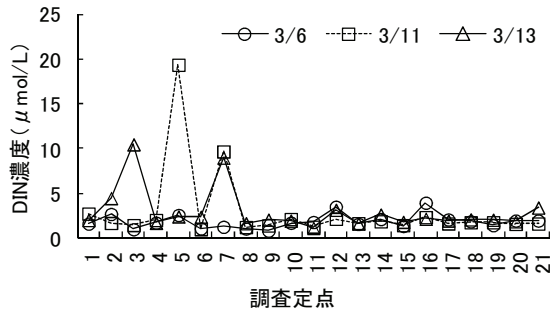
なお、水温および塩分の分布結果から、明石海峡東流時(下げ潮)と明石海峡西流時(上げ潮)を比較すると、下げ潮時に河川水の影響は、より広範囲に及ぶ可能性が考えられた。

DINおよびDSi濃度は、ダム放流後に加古川河口直近の調査定点5および7で上昇する傾向が確認されたが、その他の定点では放流前後で顕著な変化は認められなかった。また、DIP濃度も3月11日の調査では、調査定点5および7で上昇する傾向は認められたが、濃度変化はDINやDSiほど顕著でなかった(第9~11図)。なお、3月13日の調査定点3でDIN濃度の上昇が認められたが、DSiに大きな変化は認められず、塩分も特に低い状況でなかったことから、河川水との関連は判然としなかった。

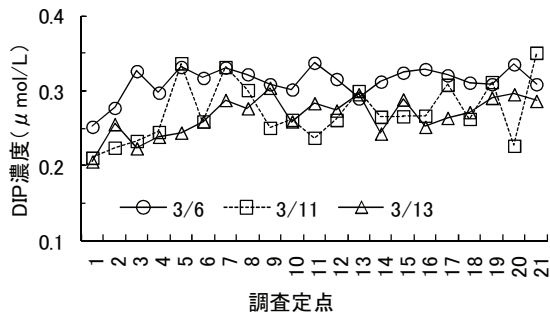
## 考 察

平荘湖水のDIN濃度と放流量から算出すると、今回

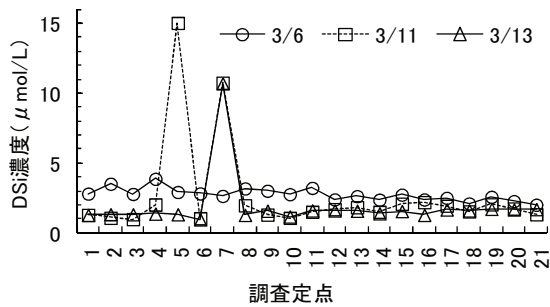
のダム放流で加古川に上乘せされた無機窒素量は、530kg と推測される。既述のとおり、ダム放流後の 3 月 11 日（明石海峡東流時）には、加古川河口域で河川水の影響と考えられる表層水温、塩分、および栄養塩



第 9 図 海域の DIN 濃度分布



第 10 図 海域の DIP 濃度分布



第 11 図 海域の DSi 濃度分布

の分布が確認された。しかし、今回のダム放流量（4 トン/ 秒）、さらに降雨に伴う加古川大堰での流量増加（約 3 トン/ 秒）の影響を加味した場合でも、加古川河川水の直接的な影響が確認できたのは、河口直近の

海域にとどまった。放流によって、加古川河口直近の養殖ノリ漁場では一時的な栄養塩添加効果が生じた可能性は想定されるが、播磨灘北東部沿岸の養殖ノリ漁場の広い範囲に直接的な影響を与えるほどのインパクトはなく、直接的な効果の生じる範囲は河口域の限定された海域にとどまると判断された。加古川河口周辺海域では明石海峡の影響により潮流が速く、海域に流出した河川水は速やかに拡散、混合するものと推察されることから、河川水の影響を確認しにくい海域特性も影響していると考えられる。

ダム放流について、放流期間中に限れば河口直近海域への栄養塩添加効果はあると考えられるが、利水の制約から経常的な実施は困難であり、安定した対策とはなりがたい。また、平荘ダムは工業用水への利用を目的として運用されていることから、放流にあたっては貯水量や関係機関との調整、ならびに利水に係る経費等を考慮する必要がある。これらの状況から、水産業の振興を目的としたダム放流を容易に実施できる状況にはなく、経費に対する効果の面と照らし合わせても、当該海域の養殖ノリ漁場における栄養塩回復の有効な手段とは結論づけにくい。

今回の調査結果およびダムの利水に係る諸般の状況から、当該海域における養殖ノリ漁場への栄養塩の直接的な添加効果を目的としたダム一時放流に関しては、前述の結論に至った。しかしながら、播磨灘では陸域負荷（原田・反田 2011a）および河川水からの窒素負荷（原田・反田 2011b）は、海域の DIN 濃度の変動に深く関与していると考えられており、隣接する備讃瀬戸海域でも河川水は、養殖ノリ漁場への有効な栄養塩供給源であると報告されている（松岡ら 2005, 岩本・難波 2009, 高木ら 2012）。したがって、播磨灘の栄養塩環境にとって河川水は非常に重要な位置を占めていると考えられ、今後も河川水等の陸域負荷源の利用をはじめとした海域の有効な栄養塩管理対策について検討を進める必要がある。

## 謝 辞

海域調査および栄養塩分析にご協力頂いた兵庫県漁業調査船“新ひょうご”乗組員の皆様ならびに元兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター技師山本 強氏に感謝します。報告にあたり貴重なご助言を頂いた兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター技術参与反田 實博士に深謝します。

また、ダム放流に関して、多大なご協力を賜った関係各位に厚くお礼申し上げます。加古川大堰の流量に関する資料をご提供頂いた国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所の皆様に感謝します。

## 文 献

- 原田和弘・反田 實 (2011a) 播磨灘の溶存態無機窒素 (DIN) の濃度変動に及ぼす降水量および陸域負荷の影響. 兵庫農水技総セ研報 (水産編), **42**, 83-86.
- 原田和弘・反田 實 (2011b) 河川からの窒素負荷量変化が播磨灘の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度変動に与える影響. 兵庫農水技総セ研報 (水産編), **42**, 87-91.
- 原田和弘 (2013) 養殖ノリ生産期における播磨灘の溶存態無機窒素 (DIN) 濃度と養殖ノリ生産額の関係. 兵庫農水技総セ研報 (水産編), **43**, 7-10.
- 堀 豊・望月松寿・島本信夫 (2008) 播磨灘北部海域におけるノリ色落ちと漁場環境の変遷. 水産海洋研究, **72**, 107-112.
- 岩本俊樹・難波洋平 (2009) 児島湾周辺のノリ養殖漁場に及ぼすダム上乗せ放流を含む河川水の影響. 岡山水試報, **24**, 63-69.
- 松岡 聡・吉松定昭・小野 哲・一見和彦・藤原宗弘・本田恵二・多田邦尚 (2005) 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリの色落ちと水質環境. 沿岸海洋研究, **43**, 77-84.
- 西川哲也 (2011) 養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する生理生態学的研究. 兵庫農水技総セ研報 (水産編), **42**, 1-82.
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・藤沢節茂・藤原宗弘・渡邊康憲・藤原建紀 (2012) 河川から間欠的に供給される栄養塩によるノリ色調の回復. 日水誌, **78**, 246-255.
- 反田 實・原田和弘 (2012) 瀬戸内海東部(播磨灘)の栄養塩環境と漁業. 海洋と生物, **34**, 132-141.