

実施報告書

本庄水域の塩水流入経路における湖底環境と底生生物群集の現状

島根大学生物資源科学部

松田 烈至

はじめに

島根県東部に位置する中海本庄水域は、国営中海土地改良事業の一環として干拓される予定であったが、2000年に事業の中止が決定した。その後、事業の中止に伴い、2007年には西部承水路堤の撤去、2009年には森山堤防の一部開削が行われ、現在まで至っている。本庄水域における塩水の流入は、森山堤防の完成後から一部開削が行われるまでは西部承水路の開削部、一部開削後は開削部を通じて起こっている。このような人為的な環境改変が行われた本庄水域では、島根大学や水産試験場（現：水産技術センター）が中心となり、湖沼環境や水生生物に関する研究が数多く行われている。それらの中で、中長期的な環境を反映する底生生物については、1997年（藤本ほか、1999）、2006年（山口ほか、2009）、2010年（篠原ほか、2016）、2014年（篠原ほか、2016）、2016年（倉田ほか、2018）、2021年にメッシュ状に地点を設定した広域調査が行われており、森山堤防の一部開削が二枚貝などの底生生物に与えた影響について検討されている。しかしながら、森山堤防の開削によって生まれた塩水の流入経路における湖底環境や底生生物は、塩水流入の影響を最も受けていることが推察されるが、その影響についてはほとんど検討されていない。そこで本申請研究では、森山堤防の開削に伴って生まれた塩水の流入経路における湖底環境と底生生物群集の現状について明らかにし、これらに対する塩水流入の影響について検討を行った。そのために、本申請研究では、以下の2点について実施した。

- ① 夏季（8月）と冬季（12月）に水質、底質、底生生物に関する野外調査の実施し、塩水の流入経路における湖底環境と底生生物の現状について明らかにする
- ② ①で得られた結果並びに統計解析に基づき、塩水流入経路における湖底環境と底生生物群集に与えた塩水流入の影響について検討する

材料と方法

本申請研究では、森山堤防の開削に伴って生まれた塩水の流入経路における湖底環境と底生生物群集の現状について明らかにすることを目的とし、これらに対する塩水流入の影響について検討を行った。そのために、本申請研究では夏季（8月）と冬季（12月）に本庄水域の森山堤防の開削部から塩水の流入経路に沿って設定した計 8 地点において野外調査を実施した（図 1）。各地点では測深器を用いて水深、水質計を用いて水温、塩分、溶存酸素濃度の測定を行った。また、各地点では Ekman-Birge 型採泥器を用いて 3 回採泥を行い、1 回目に採泥した底泥から底質分析用サンプル（強熱減量、粒度組成、酸揮発性硫化物量（以下 AVS））を分取し、2 回目、3 回目に採泥した底泥を目合い 0.5 mm メッシュの篩でふるい、底生生物用サンプルを採取した。全てサンプルは冷蔵保存し、研究室に持ち帰り、それぞれの分析に供した。

底質サンプルは次に示す方法で分析を行った。強熱減量はサンプルを 600°C・4 時間乾燥させ、加熱後の測定重量から求めた。粒度組成はレーザー解析法、AVS は検知管法により分析を行った。また、底生生物用サンプルは再度 0.5 mm メッシュの篩でふるい、選別採取を行った。その後、10%海水ホルマリンで固定保存し、種の分類同定、個体数の計数並びに湿重量の測定を行った。

以上により得られた底生生物の結果からクラスター解析を実施し、それぞれの地点における底生生物群集構造の類似性について検討した。その後、環境要因を考慮した非計量的多次元尺度構成法（以下 nMDS 解析）を行い、塩水流入経路における湖底環境と底生生物群集に与えた塩水流入の影響について検討した。なお、これらの解析は R (version 4.2.2) を用いて行い、底生生物の個体数は $\text{Log}_{10}(n+1)$ により変換した値を使用した。

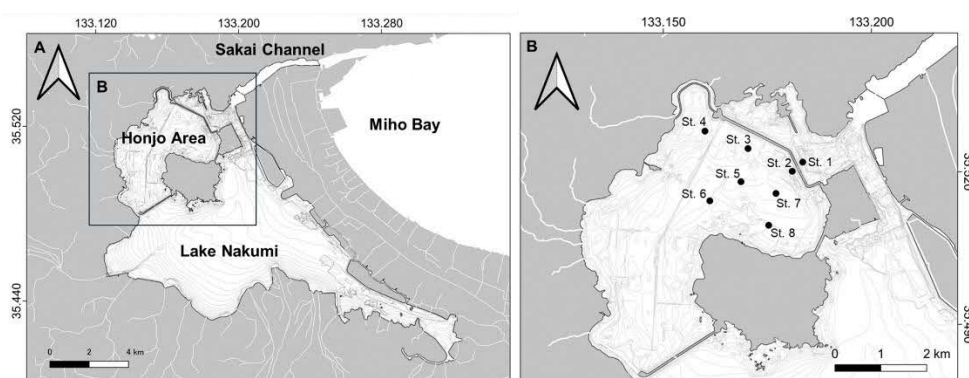


図 1 調査域と地点. A：調査地域. B：調査地点.

結果及び考察

(1) 水深

図2に本研究における各地点の水深を示す。各地点における水深は、HN-1, HN-2, HN-8を除き、8月と12月で同程度であった。また、8月の最大水深はHN-5並びにHN-6の6.3 m, 12月の最大水深はHN-5の6.5 mであった。8月の最低水深はHN-8の4.7 m, 12月の最低水深はHN-4の5.4 mであった。

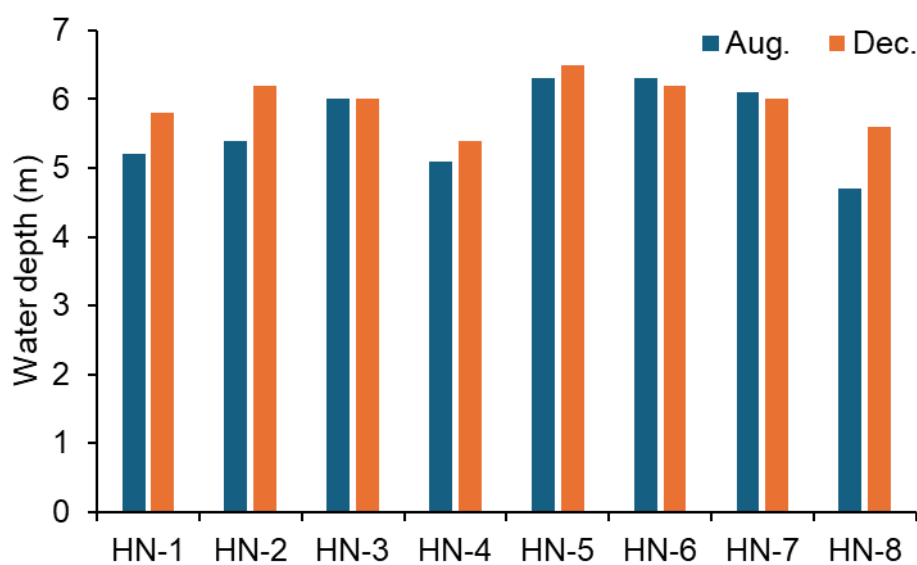


図2 本研究における水深

(2) 水質

図3に本研究における底層水温、底層塩分、底層溶存酸素濃度の空間分布を示す。8月における底層水温は森山堤防の開削部付近において高い傾向にあり、本庄水域の奥部に向かうにしたがって低下した。また、最大値はHN-2の29.7°C、最低値はHN-6の26.9°Cであった。12月における底層水温は、森山堤防の開削部の境港側に位置するHN-1において最も高く、16.1°Cであった。また、本庄水域の地点ではほとんどの地点において14°C前後を示し、本研究において最も奥部に位置するHN-6においてわずかに高い傾向にあった。

8月における底層塩分は底層水温と同様に、森山堤防の開削部付近において高い傾向にあり、本庄水域の奥部に向かうにしたがって低く、南部に位置するHN-8では他の地点と比較して低い傾向を示した。また、最大値はHN-1の31.1、最低値はHN-8の26.7であった。12月における底層塩分は、8月と同様に森山堤防の開削部付近において高く、本庄水域の奥部に向かうにしたがって低い傾向にあった。また、最大値はHN-1の33.7、最低値はHN-3の25.3であった。これらのことから、森山堤防の開削部から流入した海水は、本庄水域の奥部に向かうにしたがって流入量が低下していると思われる。

8月における底層溶存酸素濃度は森山堤防の開削部付近を除き、0.5 mg/L以下の貧酸素環境が形成されており、特に北部や中央部において顕著であった。また、最大値はHN-2の3.93 mg/L、最低値はHN-3とHN-5の0.03 mg/Lであった。12月における底層溶存酸素濃度は、森山堤防の開削部付近から本庄水域の奥部に向かうにしたがって低下した。また、最大値はHN-2の7.76 mg/L、最低値はHN-8の1.01 mg/Lであった。このように、本庄水域の奥部では、夏季の8月に加え、冬季の12月においても2 mg/L以下の貧酸素環境が形成されていた。

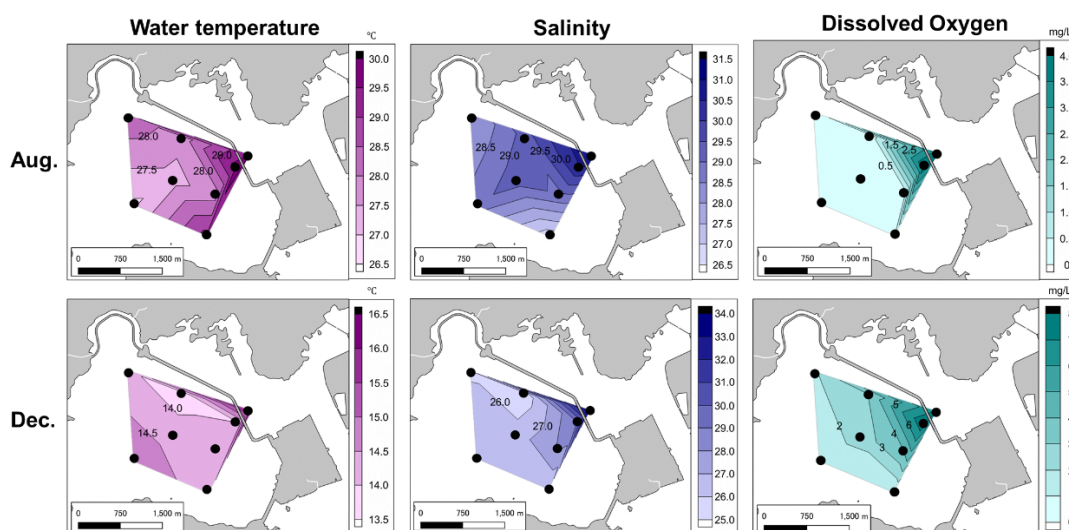


図3 本研究における底層水温、底層塩分、底層溶存酸素濃度の空間分布

(3) 底質

図4に本研究における泥分含量、強熱減量、AVSの空間分布を示す。8月における泥分含量は森山堤防の開削部付近に加え、HN-4やHN-8において低い値を示し、6%以下であった。一方で、それ以外の地点では90%以上を示しており、最大値はHN-7の94.5%であった。12月における泥分含量は森山堤防の開削部付近のみ低く、両地点ともに1%以下であった。8月に低い値を示したHN-4並びにHN-8の泥分含量は、それぞれ78.9%並びに46.4%であった。また、それ以外の地点の泥分含量は、8月と同様に高く、全ての地点において88%以上であり、最大値はHN-3の95.4%であった。

強熱減量は、8月と12月ともに泥分含量と類似した空間分布を示した。また、それぞれの月について見ると、8月ではHN-3やHN-5、HN-6、HN-7において高く、最大値はHN-6の13.2%であった。12月は、8月に高い値を示した4地点に加え、HN-4やHN-8において約2倍から3倍高い値を示した。また、最大値はHN-5の11.5%であった。森山堤防の開削部付近の地点では、8月と12月ともに3%以下であった。また、8月と12月ともに最小値はHN-2であり、それぞれ1.4%と1.5%であった。

AVSは、8月と12月ともに森山堤防の開削部付近では、0.01 mg/g以下の低い値であったが、それ以外の地点では0.3 mg/g以上を示した。特に、HN-3やHN-5、HN-6、HN-7では両月において0.8 mg/g以上であり、高い値であった。8月と12月ともに最大値はHN-6であり、それぞれ1.3 mg/gと1.6 mg/gであった。これらのことから、2024年は、森山堤防の開削部付近を除き、中長期的に貧酸素環境が継続していたことが推察され、特にHN-5やHN-6では他の地点と比較して貧酸素環境の形成期間が長かった可能性がある。

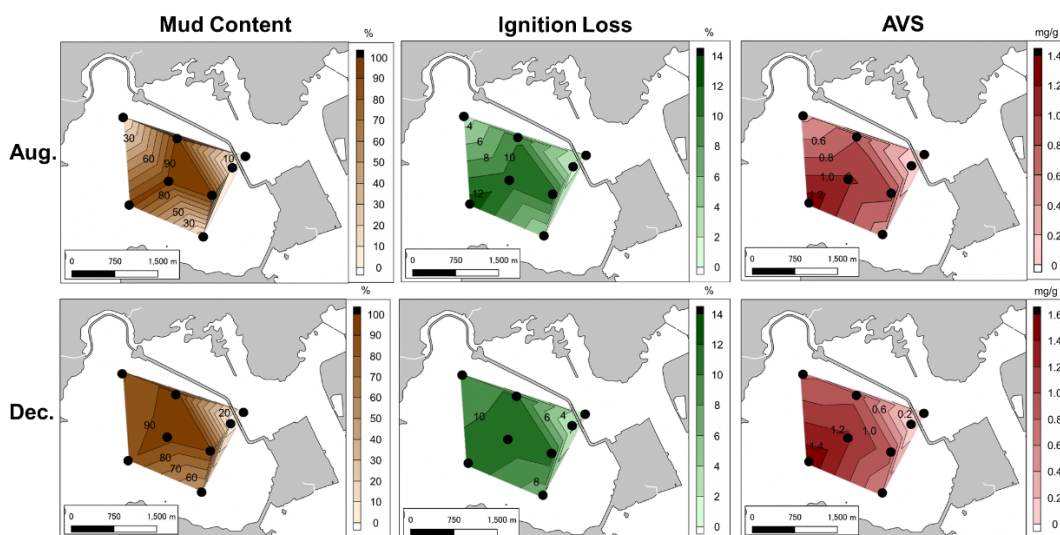


図4 本研究における泥分含量、強熱減量、AVSの空間分布

(4) 底生生物

本研究では、環形動物 15 種、軟体動物 12 種、節足動物 2 種、その他の分類群 2 種の計 31 種の底生生物が確認された。また、いくつかの環形動物や節足動物のヨコエビ類は複数種が混在していると思われ、今後、詳細な分類を進めていく予定である。また、本研究において 1 m² 当たりの平均個体数が多かった種としては、ハネエラスピオ属の一種 *Paraprionospio* sp. (271.9 ind/m²)、カギゴカイ科の一種 *Pilargidae* sp. (153.1 ind/m²)、スピオ科の複数種 *Spionidae* spp. (300.0 ind/m²)、アサリ *Ruditapes philippinarum* (228.1 ind/m²)、ウミホタル科の一種 *Cypridinidae* sp. (137.5 ind/m²)、ヨコエビ類 *Gammaridea* spp. (139.1 ind/m²) であった。また、環形動物は多くの地点において確認されたが、それ以外の分類群については森山堤防の開削部付近の地点において多く採取された。

クラスター解析の結果について図 5 に示す。クラスター解析では、12 月の HN-8 を除き、非類似度 0.6 でグループ A とグループ B の 2 つに分かれた。グループ A は森山堤防の開削部付近以外の地点、グループ B は森山堤防の開削部付近の地点で構成されていた。それぞれのクラスターグループの構成種について図 6 に示す。グループ A は約 96% が環形動物で占められており、特にハネエラスピオ属の一種 (32.9%)、カギゴカイ科の一種 (11.6%)、スピオ科の複数種 (29.7%) が多く確認された。一方で、グループ B では環形動物の割合が約 33% でグループ A と比較して低い値であった。グループ B において多く採取された種は、アサリ (23.9%)、ウミホタル科の一種 (14.5%)、ヨコエビ類 (14.5%) であり、これら 3 種で約 53% を占めた。

環境要因を考慮した nMDS 解析の結果について図 7 に示す。nMDS 解析の適合度の指標となるストレス値は 0.09 であった。また、nMDS 解析に有意な適合を示した環境要因は、塩分、溶存酸素濃度、泥分含量、強熱減量、AVS であった (表 1)。環形動物が中心であったグループ A は、塩分と溶存酸素濃度に負の相関、泥分含量、強熱減量、AVS に正の相関があった。一方で、多様な生物が採取されたグループ B は、塩分と溶存酸素濃度に正の相関、泥分含量、強熱減量、AVS に負の相関があった。

クラスター解析と nMDS 解析より、12 月の HN-8 と森山堤防の開削部付近の地点を除いた地点で構成されたグループ A は環形動物が中心であり、塩分や溶存酸素濃度が低く、泥分含量や強熱減量、AVS の高い環境であった。また、森山堤防の開削部付近の地点のみで構成されたグループ B は環形動物に加え、軟体動物や節足動物などの多様な生物が採取され、塩分や溶存酸素濃度が高く、泥分含量や強熱減量、AVS の低い環境であることが明らかとなった。塩分や溶存酸素濃度は、森山堤防の開削部付近の地点において高く、本庄水域の奥部に向かうにしたがって低下しており、森山堤防の開削部から流入した海水が奥部まで十分に供給されないことにより、塩分の低下や有機物分解に伴う貧酸素環境が形成されたとと思われる。そのため、森山堤防の開削部以外の地点では、比較的に関環境が悪い場所でも生息可能な環形動物が中心のグループ A になったと考えられる。また、本研究で優占した環形動物であるハネエラスピオ属の一種の中でシノブハネエラスピオ *Paraprionospio patiens* は、

貧酸素耐性が高く（石井・安藤, 2024）, 有機汚濁指標主として知られている。したがって, グループ A においてハネエラスピオ属の一種が優占していたことは, 本庄水域の多くの地点において底生生物の生息に厳しい環境が形成されていることを示唆していると思われる。

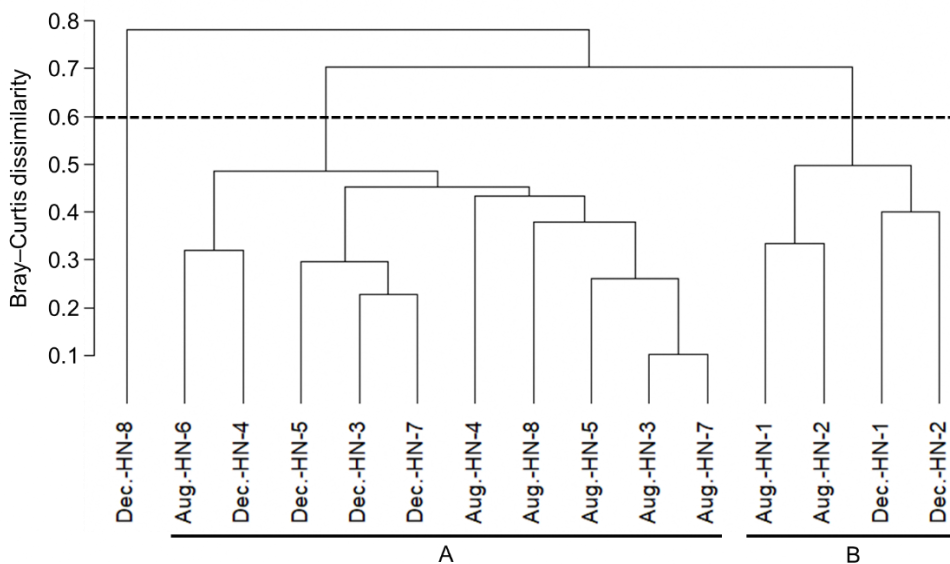


図5 クラスタ解析. A と B はクラスタグループを示す。

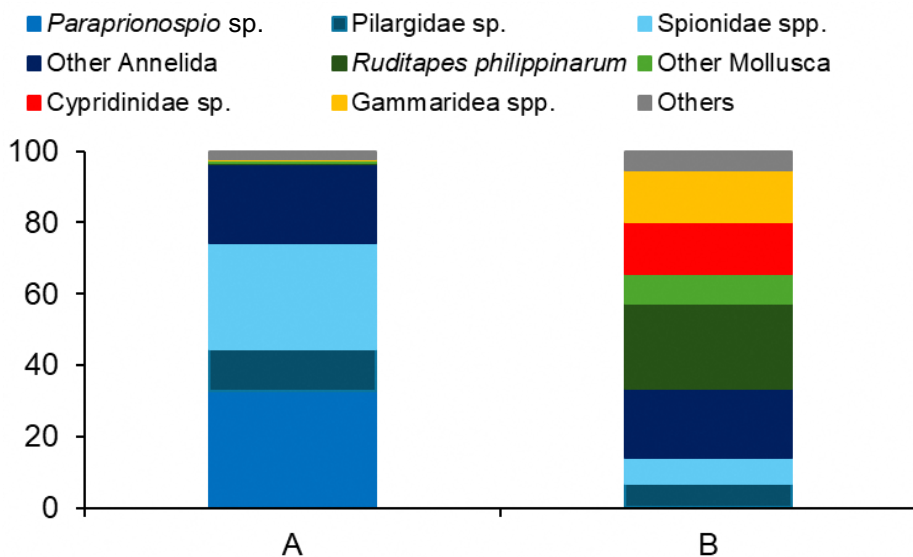


図6 それぞれのクラスタグループの構成種. A と B はクラスタグループを示す。

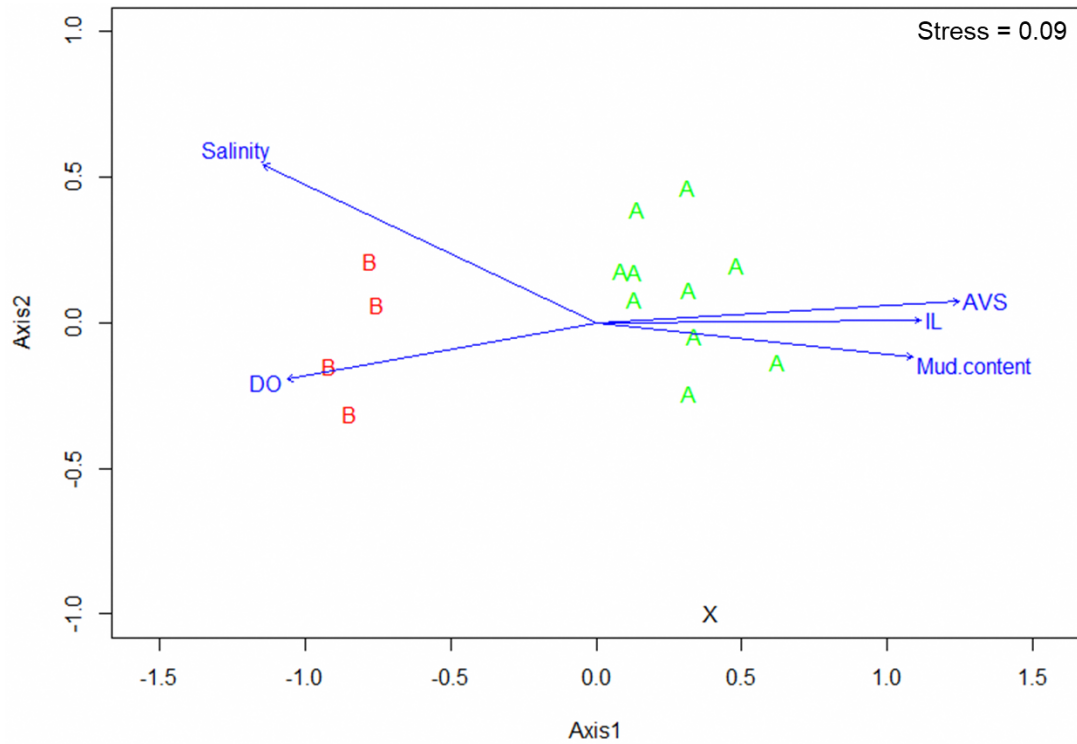


図7 環境要因を考慮した nMDS 解析. A と B はクラスターグループを示す

表1 nMDS 配置に対する環境要因ベクトルの適合度検定結果

Environmental variable	Direction cosine		Correlation r^2	Permutation test	
	Axis1	Axis2		Pr(>r)	Significance
Water Depth	0.7944	-0.6074	0.0215	0.8758	
Water Temperature	-0.3141	0.9494	0.2005	0.2582	
Salinity	-0.9031	0.4295	0.6850	0.0012	**
Dissolved Oxygen	-0.9840	-0.1780	0.4971	0.0184	*
Mud Content	0.9942	-0.1078	0.5102	0.0122	*
Ignition Loss	1.0000	0.0078	0.5323	0.0090	**
AVS	0.9983	0.0578	0.6661	0.0014	**

Significance codes: ***<0.001, **<0.01, *<0.05, <0.1

まとめ

本申請研究では、森山堤防の開削に伴って生まれた塩水の流入経路における湖底環境と底生生物群集の現状について明らかにし、これらに対する塩水流入の影響について検討を行った。その結果、森山亭開削部付近とそれ以外の地点において湖底環境や底生生物群集が異なり、森山堤防の開削部付近以外の地点では、森山堤防の開削部から流入した海水が十分に供給されないことにより、底生生物の生息に厳しい環境が形成されていることが示唆された。したがって、本庄水域を含めた全国各地の本庄水域と同程度もしくはそれ以上の水域において人為的な構造物の建設や撤去などを行う際は、森山堤防の開削部よりも大きく開削することにより、開削部付近だけでなく、奥部にも海水が流入し、底生生物の生息に好適な環境が形成される可能性がある。また、本申請研究では貧酸素環境が解消していると推察し、冬季の調査を12月に行ったが、森山堤防の開削部から遠いHN-4、HN-6、HN-8では2 mg/L以下の貧酸素環境であった。そのため、今後は1月や2月などの貧酸素環境が解消している時期に野外調査を行い、本申請研究結果と比較検討する必要がある。

謝辞

本申請研究を行うにあたり、島根大学生物資源科学部の山口啓子教授には野外調査にご協力いただきました。また、島根大学生物資源科学部生態環境工学研究室の学生の皆様には、野外調査並びに分析についてご協力いただきました。以上の皆様に記して感謝申し上げます。

参考文献

- 藤本真子・高安克己・山口啓子・園田 武 (1999) 中海本庄工区におけるベントス相と環境特性 (予報). *Laguna (汽水域研究)*. 6: 107-117.
- 石井裕一・安藤晴夫 (2024) 東京湾都内湾における底生動物の生息状況. *東京都環境科学研究年報 2024*. 62-63.
- 倉田健悟・園田 武・山口啓子・瀬戸浩二 (2018) 2016年夏の中海における底生生物相. *Laguna (汽水域研究)*. 24: 49-63.
- 篠原隆佑・山口啓子・瀬戸浩二・倉田健悟 (2016) 干拓堤防の一部撤去が中海本庄水域の二枚貝の分布に与えた影響. *日本ベントス学会誌*. 71: 1-10.
- 山口啓子・倉田健悟・園田 武・瀬戸浩二 (2009) 中海における二枚貝群集の特徴と干拓堤防建設により隔てられた汽水域の変化. *日本ベントス学会誌*. 67(2): 82-95.