

〔短 報〕

河北潟の沿岸透明度向上技術の検討 (第 2 報)

— 透明度変動要因及び懸濁物質の詳細調査 —

石川県保健環境センター 環境科学部 金 曾 将 弘・中山 哲 彦 (退職)・堅 田 勉
石川県土木部都市計画課生活排水対策室 佐 藤 航・重 吉 祐 生・原 田 由 美 子
前 田 空 人 (退職)

〔和文要旨〕

河北潟における透明度の変動要因について検討を進めた結果、河北潟では有色溶存有機物の影響は小さく、植物プランクトン以外の懸濁物質が透明度に影響を及ぼしている可能性が高いことが分かった。また、懸濁物質の性状等について詳細に調べたところ、粒子径の大きいものが透視度に影響しており、夏季と冬季で沈降特性が異なることや、河北潟中央地点と東部承水路中流及び下流の懸濁態金属の組成比は季節ごとに似た挙動を示すことが分かった。

キーワード：河北潟，沿岸透明度，懸濁物質

本稿の一部は

- ・令和 3 年度日本水環境学会中部支部研究発表会(2021 年 12 月 紙上開催)
- ・第 50 回 環境保全・公害防止研究発表会(2023 年 11 月 鳥取県)において発表した。

1 はじめに

平成 27 年の中央環境審議会において、「沿岸透明度を地域において設定する目標とする。」との答申¹⁾がなされた。これを踏まえ、当センターでは、令和元年度から河北潟における透明度向上技術の検討に着手した。

河北潟の透明度については、令和 4 年度の県の調査²⁾では河北潟中央及び大根布放水路前で 0.3～0.8 m、森下川河口地先で >0.3～>0.6 m と、沿岸透明度の目標設定ガイドライン³⁾に示す日常的親水に係る目標値の目安(水浴：1 m 以上、眺望：1.5 m 以上)に比べて低い現状にある。

透明度低下の典型的な要因としては、

(1)植物プランクトン

(2)土粒子等の植物プランクトン以外の懸濁物質(トリプトン)

(3)有色溶存有機物(CDOM)

による光の透過遮蔽がある⁴⁾とされている。そのため、河北潟の透明度の向上技術の検討にあたっては、いずれの要因による影響が大きいかをまず調べる必要がある。

第一報⁵⁾で、河北潟及びその流入河川で懸濁物質と透明度に関する実態調査を実施し、河北潟の透明度については、無機態の懸濁物質との相関が大きいことを明らかにした。本報では、CDOMによる透明度への影響を検討したほか、懸濁物質の性状等の詳細調査を行ったので、報告する。

An Examination to Improve Water Transparency at Kahokugata Lagoon (Second Report) by KANESO Masahiro, NAKAYAMA Tetsuhiko (Retired), KATADA Tsutomu, SATO Wataru, SHIGEYOSHI Yuki and HARADA Yumiko (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science), MAEDA Sorato (Retired) (Water Drainage Solutions Office, City Planning Division, Public Works Department, Ishikawa Prefecture)

Key words : Kahokugata Lagoon, Transparency, Suspended Solids

2 調査方法

2・1 調査地点及び試料採取

調査地点を図1に示す。第一報⁵⁾と同様、宇ノ気川 (St.1：宇ノ気川橋)、能瀬川 (St.2：浦能瀬橋)、津幡川 (St.3：住ノ江橋)の流入河川3地点、東部承水路の上流 (St.4：宇ノ気川河口付近)、中流 (St.5：湖北大橋)、下流 (St.6：湖南大橋)の3地点、及び河北潟 (St.7：河北潟中央)の1地点、計7地点に、河北潟への流入河川として、金腐川 (St.8：金腐川橋)、森下川 (St.9：森本大橋)の計2地点を新たに加え合計9地点とした。なお、St.4については、2020年2月以降は、採取位置を河口付近から揚水機場護岸に変更したほか、森下川については、全ての試料採取時に上流で河川工事が行われていた。

また、表層水はバケツを用いて、底層水は底から約50 cm (水面から1.5～2.2 m)の高さの水をハイロート採水器を用いて採取した。

測定方法は表1のとおりとした。なお、採水当日に測定を行わない場合には約5℃の冷蔵室にて試料を保存した。

2・2 透明度の変動要因の調査

(1) 表層水におけるCDOMの影響

2021年度の5月(春季)、7月(夏季)、11月(秋季)、2月(冬季)に各1回、St.1～9の計9地点で採取した表層

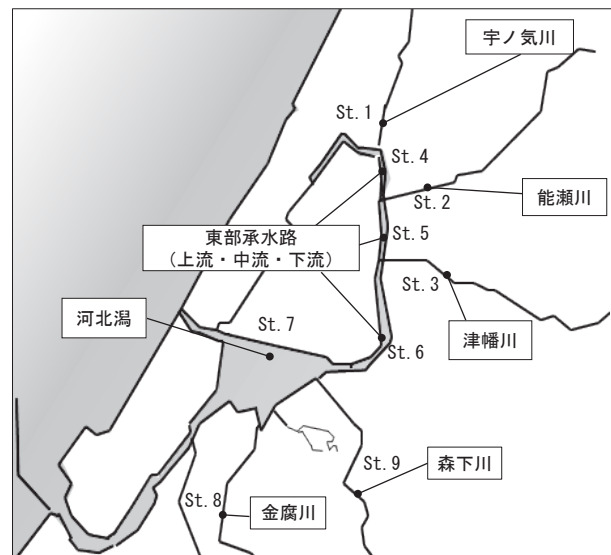


図1 調査地点

水を試料として、懸濁物質以外(CDOM等)による透明度への影響を調査した。各試料を、Millipore社製AP40 glass filterによりろ過し、試料原液及びそのろ液の濁度及び色度を測定した。なお、St.7の試料については透視度も測定した。

(2) 底層水における変動要因

2019年度の1月を除く各月1回の計11回、St.7河北潟中央で採取した表層水及び底層水を試料として、懸濁

表1 各項目の分析方法

| 分析項目 | 分析方法 |
|----------------|---|
| 透視度 | JIS K0102 9 透視度(30 cm透視度計)、参考(100 cm透視度計) |
| 透明度 | 上水試験方法(2011) II-3 5.1 透明度法(セッキー円板) |
| 濁度 | カオリン濁度標準液を使用して、上水試験方法(2011) II-3 6.3 透過光測定法(吸光度計：HITACHI U-2900)に準じて測定 |
| 色度 | 上水試験方法(2011) II-3 3.3 透過光測定法(吸光度計：HITACHI U-2900) |
| 真の色度 | 遠心分離機(久保田製作所 テーブルトップ遠心機8100)を用いて3000 rpmで10分間遠心分離した後、上澄み液を色度の方法により測定 |
| 浮遊物質質量(SS) | ろ紙にガラス繊維ろ紙(Millipore AP40)を用い、昭和46年環境庁告示第59号付表9に準じて測定 |
| 有機態SS | 下水試験方法(上巻)(2012) 第2編 第1章 第12節 付 浮遊物質質量の強熱減量(1)ガラス繊維ろ紙法(SS測定後のろ紙を使用) |
| 無機態SS | SSと有機態SSの差分 |
| 粒子状有機炭素(POC) | SS測定後のろ紙を、炭素・窒素同時定量装置(Yanaco CNコーダー MT-700Mark2)により測定 |
| 溶存性有機炭素(DOC) | 試料ろ液をJIS K0102 22.2 燃焼酸化-赤外線方式TOC自動計測法により測定(TOC計：Shimadzu TOC-V) |
| 金属 | 試料50 mLに硝酸2.5 mLを加え、95℃で420分煮沸(SCP SCIENCE Digi PREP MS)。超純水で10 mLに定容し、ICP発光分光法(Agilent 5110 ICP-OES)により測定 |
| 溶存態金属 | SS測定後のろ液を金属の測定方法により測定 |
| 懸濁態金属 | 金属と溶存態金属の差分 |
| クロロフィルa(Chl a) | セルロース混合エステルメンブレン(MF-Millipore、孔径0.45 μm)でろ過後、ろ紙を90%アセトン10 mL中でスターラー攪拌30分、超音波処理5分、4℃抽出2時間、10,000 rpmで30分間遠心分離(日立製作所製CR21N)し、上澄みを上水試験方法(2001)IV-4 27.2に準じて測定(吸光度計：HITACHI U-2900) |
| クロロフィルb(Chl b) | |
| クロロフィルc(Chl c) | |
| 粒度分布 | JIS R1629レーザー回折・散乱光法(粒度分布計：HORIBA LA-300) |

注) JIS：日本産業規格

物質等の鉛直方向の分布について調査した。

Chl a, Chl b 及び Chl c は 7 月～3 月の計 8 回, DOC については 5 月～3 月の計 10 回測定した。そのほか, 有機態 SS, 無機態 SS, POC, 濁度, 真の色度は計 11 回測定した。

2・3 懸濁物質の詳細調査

河北潟の透明度に影響を及ぼしている可能性が高い懸濁物質の性状等を調査した。

(1) 粒度別試験

2022 年 7 月(夏季)及び 2023 年 2 月(冬季)に St.7 河北潟中央で採取した表層水を試料として, 懸濁物質の粒子径による透明度への影響を検討した。

試料を粒子保持能の異なるろ紙に通水したろ液を作成し, 透視度, 濁度, 色度を測定した。ろ紙は cytiva 社製 whatman ろ紙 41 番(20-25 μm), 1 番(11 μm), 540 番(8 μm), 44 番(3 μm), (括弧内は粒子保持能)及び Merck Millipore 社製 AP40 glass filter(公称孔径 0.7 μm)を 105℃で 2 時間加熱したものを使用した。

(2) 沈降試験

2020 年 9 月(夏季)及び 2021 年 2 月(冬季)に St.7 河北潟中央で採取した表層水を試料として, 懸濁物質の沈降特性を調査した。

2L の共栓付きメスシリンダー(内径 8.5 cm)を複数本用意し, それぞれに試料を 2 L 分取し, 振り交えて均一に懸濁させ, 静置した。一定時間ごとにそれぞれのメスシリンダーの上層水(水面からの高さ約 4.8 cm 分, 約 270 mL)をアスピレーターにより吸引して, SS, 粒度分布を測定した。

(3) 金属組成調査

2021 年度の 5 月(春季), 7 月(夏季), 11 月(秋季), 2 月(冬季)に各 1 回, St.1～9 の計 9 地点で採取した表層水を試料とし, 懸濁態の金属濃度を測定した。項目はアルミニウム(Al, 測定波長 396.152 nm), 鉄(Fe, 同 238.204 nm), マンガン(Mn, 同 257.61 nm)とし組成比

を求めた。

3 結果と考察

3・1 透明度の変動要因

(1) 表層水における CDOM の影響

ろ過前後での濁度, 色度の測定結果を表 2 に示す。各地点の季節ごとの濁度の平均値は, 原液では 6.1～16 度であったものが 0.1～1.1 度に, 各地点の色度の平均値は, 原液では 30～136 であったものが 6.9～24 度になり, 濁度, 色度ともに大きく向上した。

また, St.7 河北潟中央における透視度も, 図 2 のとおりいずれの季節においても定量上限値を超過(>100 cm)し, 大きく向上した。

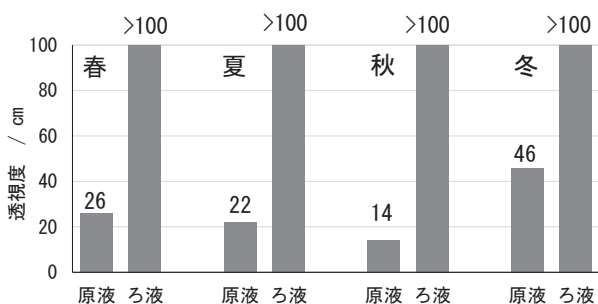


図 2 河北潟中央における原液及びろ液の透視度

第一報⁵⁾の調査データからは, 透明度と濁度の間には負の相関が, 透明度と透視度の間には正の相関がみられた。このことと, ろ過による懸濁物質の除去によって濁度の減少及び透視度の増加が確認されたことから, 河北潟における透明度低下の要因として, 懸濁物質以外の物質(CDOM等)による影響は小さいと推定される。また, 第一報⁵⁾で言及したとおり, 河北潟の透明度については植物プランクトンと関連する有機態 SS との相関は小さいこと(相関係数 R = -0.01)から, 懸濁物質のうち特にトリプトンが影響を及ぼしている可能性が高いことが示唆された。

表 2 ろ過前後での濁度及び色度の変化

| 採水日 | | 春(5/18) | | | | 夏(7/12) | | | | 秋(11/12) | | | | 冬(2/28) | | | |
|------|-------|---------|------|----|-----|---------|-----|-----|-----|----------|------|------|----|---------|------|----|-----|
| 河川 | 採取地点 | 濁度 | | 色度 | | 濁度 | | 色度 | | 濁度 | | 色度 | | 濁度 | | 色度 | |
| | | 原液 | ろ液 | 原液 | ろ液 | 原液 | ろ液 | 原液 | ろ液 | 原液 | ろ液 | 原液 | ろ液 | 原液 | ろ液 | | |
| 宇ノ気川 | 宇ノ気川橋 | 8.7 | 0.2 | 51 | 15 | 8.4 | 1.4 | 47 | 22 | 12 | <0.1 | 180 | 24 | 2.6 | 0.2 | 19 | 7.8 |
| 能瀬川 | 浦能瀬橋 | 12 | 0.4 | 53 | 14 | 10 | 1.3 | 50 | 16 | 17 | 0.1 | >200 | 23 | 3.6 | 0.2 | 21 | 6.1 |
| 津幡川 | 住ノ江橋 | 9.3 | 0.1 | 36 | 11 | 6.0 | 1.0 | 34 | 15 | 11 | <0.1 | 160 | 31 | 3.7 | 0.2 | 19 | 5.3 |
| 承水路 | 上流(岸) | 9.2 | 0.1 | 54 | 14 | 31 | 2.7 | 110 | 18 | 9.4 | <0.1 | 130 | 13 | 6.6 | 0.3 | 33 | 8.4 |
| 承水路 | 中流 | 17 | 0.4 | 62 | 17 | 18 | 1.0 | 71 | 16 | 8.7 | 0.1 | 130 | 28 | 12 | 0.3 | 58 | 9.6 |
| 承水路 | 下流 | 24 | 1.0 | 92 | 19 | 12 | 0.7 | 52 | 14 | 8.8 | 0.1 | 140 | 31 | 11 | 0.2 | 48 | 8.0 |
| 河北潟 | 河北潟中央 | 16 | 0.1 | 65 | 11 | 19 | 0.6 | 70 | 11 | 8.3 | 0.2 | 130 | 30 | 10 | 0.2 | 47 | 7.9 |
| 金腐川 | 金腐川橋 | 12 | <0.1 | 45 | 9.3 | 2.6 | 0.5 | 19 | 12 | 5.5 | <0.1 | 82 | 17 | 1.5 | <0.1 | 11 | 4.9 |
| 森下川 | 森本大橋 | 34 | 0.5 | 92 | 13 | 5.9 | 0.4 | 25 | 9.3 | 4.9 | <0.1 | 74 | 20 | 4.1 | 0.1 | 17 | 4.1 |
| 平均 | | 16 | 0.3 | 61 | 14 | 13 | 1.1 | 53 | 15 | 9.5 | 0.1 | 136 | 24 | 6.1 | 0.2 | 30 | 6.9 |

注) 定量下限値未満の値は定量下限値, 定量上限値超過の値は定量上限値として平均を計算した。

(2) 底層水における変動要因

St.7河北潟中央における各項目の表層と底層の関係を図3にそれぞれ示す。

DOC, 濁度, 真の色度, Chl a, Chl b, Chl cについては一定の相関がみられた($R^2 = 0.75 \sim 0.98$)。一方, 有機態SS, 無機態SS, POCでは表層と底層との相関は弱かった($R^2 = 0.10 \sim 0.33$)。

DOCが表層, 底層ともにはほぼ同じ濃度であったことから, CDOMを含む溶存態の物質については上下層間で大きな差はないものと推定される。

また, Chl a, Chl b, 及びChl cは表層で高く底層で低い傾向がみられた。この結果から, 植物プランクトンは底層に比べて表層に多く分布する傾向にあると推定される。

有機態SS, 無機態SS, POCの相関は弱く規則性は見られなかったが, 無機態SSについては全体的に底層の濃度が高い傾向が見られたことから, トリプトンは底層の方が多いと推定される。

前節では, 表層水の透明度に関してトリプトンが影響を及ぼしている可能性が高いことを示した。底層水について考えると, 底層では表層に比べてトリプトンが多く, 植物プランクトン及びCDOMは同程度又は少ない傾向にあると推定されたことから, 底層水の透明度についても, トリプトンが影響を及ぼしている可能性が高いと推定される。

3・2 懸濁物質の詳細調査

(1) 粒度別試験

透視度の変化を図4に示す。ろ過をしない原液では夏季, 冬季ともに40 cm程度であったが, 夏季は<25 μm , 冬季は<11 μm のろ液で透視度が100 cmを超えた。粒度分布計を用いて原液を測定したところ, 夏季における>25 μm の粒子の体積割合は約30%, 冬季における>11 μm の粒子の体積割合は約50%であった。

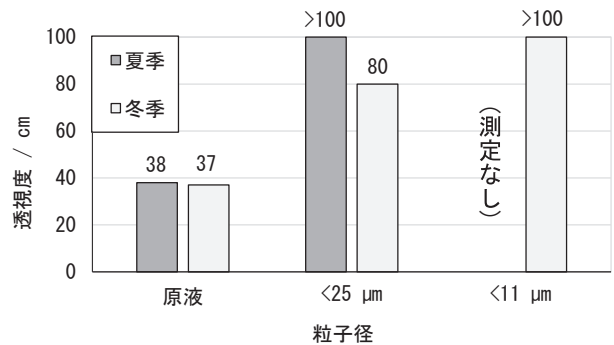


図4 ろ過による透視度の変化

次に, 濁度, 色度の測定結果を図5及び図6に示す。濁度, 色度ともに夏季の<8 μm のろ液で<11 μm のろ液より値が上昇しているものの, 夏季, 冬季ともに大きな粒子の除去により濁度及び色度が低下する傾向にあった。特に原液と<25 μm の濁度の差についてみると, 夏季では11度から3.1度に, 冬季では41度から20度に低

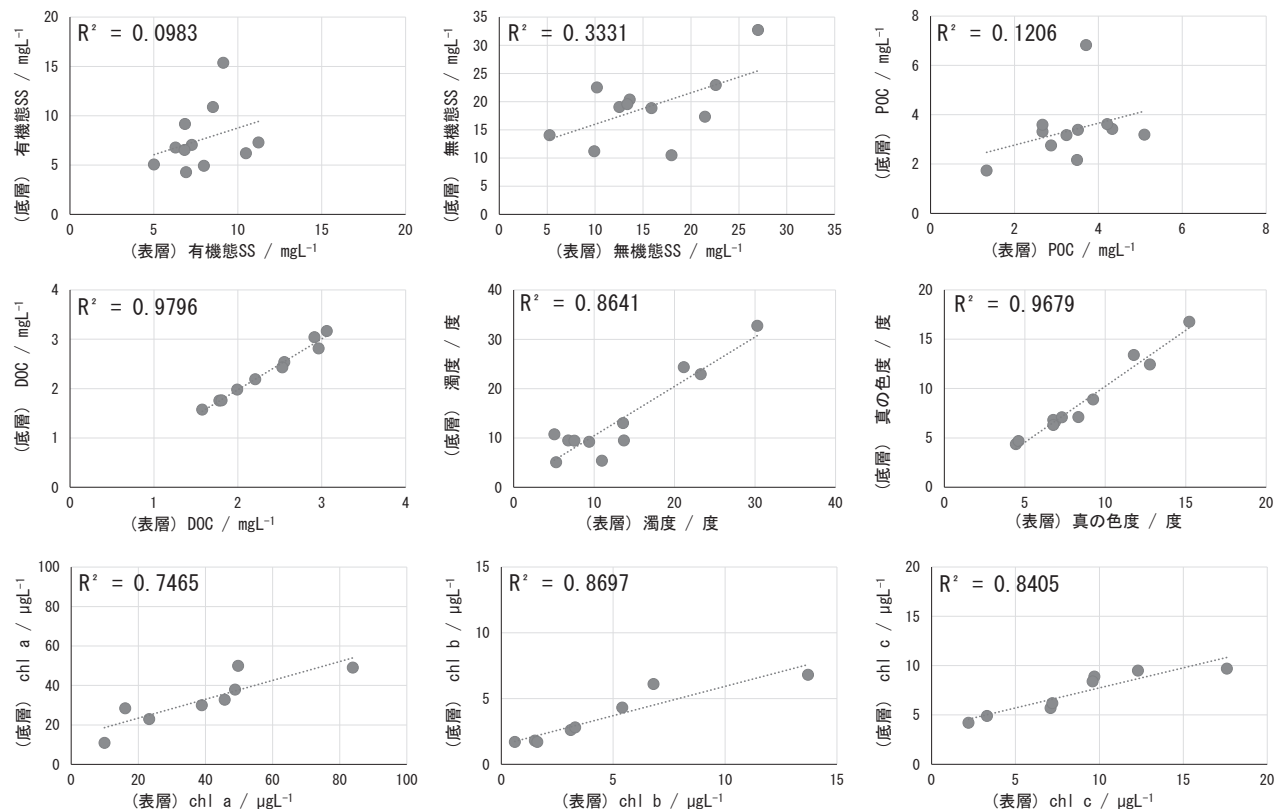


図3 St.7 河北潟中央における各項目の表層と底層の関係

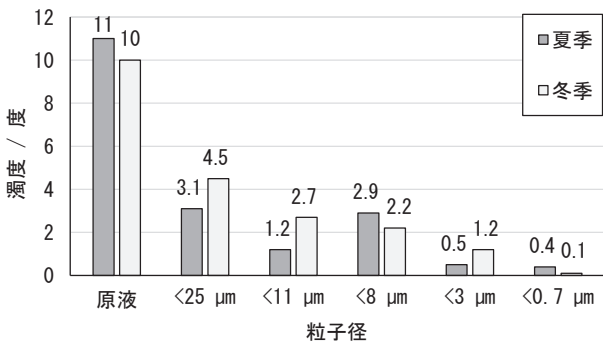


図 5 ろ過による濁度の変化

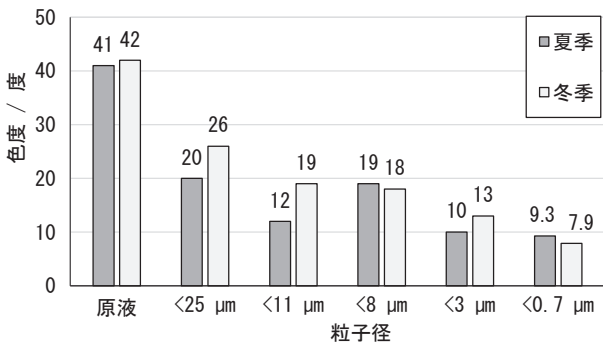


図 6 ろ過による色度の変化

下し、これより小さな粒子を除去したときに比べて低下幅は大きかった。

これらのことと、前述の透明度と濁度、透明度と透視度の相関関係から、懸濁物質のうち相対的に粒子径の大きいものが透明度に影響を及ぼしており、粒子径の小さいものの影響は小さいと推定される。

(2) 沈降試験

夏季及び冬季の試料について、SSの経時変化を図7に示す。夏季、冬季ともに静置後2時間前後までは速やかに減少し、その後、減少速度は緩やかになった。このことから、SSの組成は一定ではなく、沈降しやすい成分と沈降しにくい成分が混在していることが推定される。

次に、粒度分布について、冬季の試料について、粒子径を横軸、体積を基準とした頻度を縦軸に取り、粒子径ごとの分布の経時変化を図8に示す。時間経過に伴って

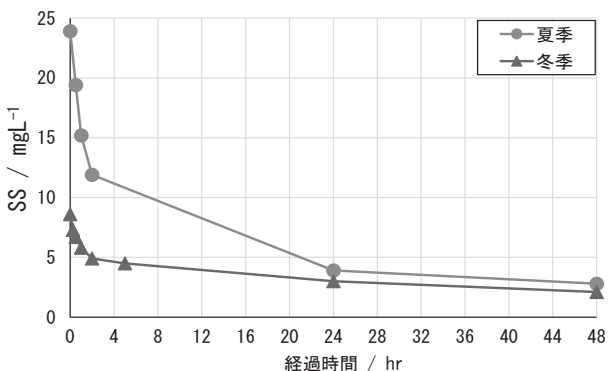


図 7 SSの経時変化

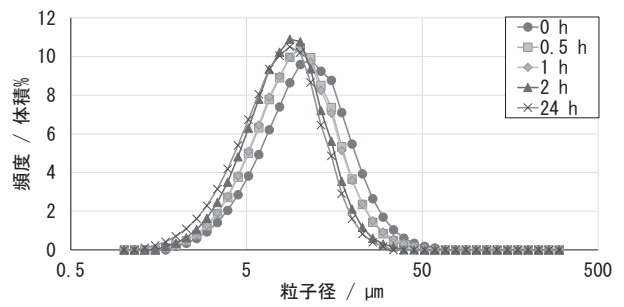


図 8 粒度分布の経時変化(冬季)

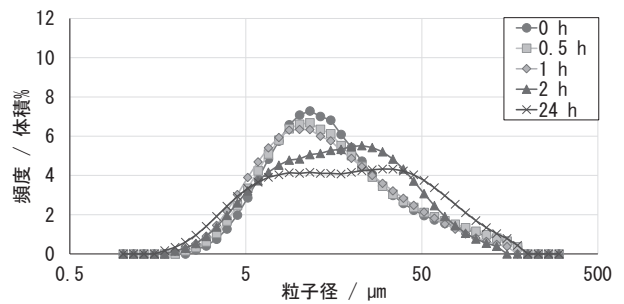


図 9 粒度分布の経時変化(夏季)

径の小さな粒子の割合が増加しており、大きな粒子から順に沈降していると推定される。一方、夏季の試料について、冬季と同様に経時変化を図9に示す。冬季の試料とは異なり、時間経過に伴って径50 μm前後の粒子の割合の増加が見られた。冬季とは異なり、粒子径の大きなものが沈降しにくい結果となっている。その原因としては凝集による粒子径の変化や粒子密度の違いが考えられるが、詳細については不明である。

(3) 組成調査

懸濁態金属のうち、Fe、Al、Mnについて、Fe/Al比とMn/Al比の季節別の分布を図10に示す。河北潟中央と他の地点における組成比を比較したとき、東部承水路の3地点、中でも下流と中流は季節ごとに似た挙動を示したが、流入河川については組成比に明確な関連性は見られなかった。

4 まとめ

河北潟における透明度の変動要因等について調査し、以下の結果を得た。

- ・表層水ではCDOMの透視度への影響は小さく、第一報⁵⁾の結果から、トリプトンが透明度に影響を及ぼしている可能性が高い。
- ・底層水においても主にトリプトンが透明度に影響を与えていると推定される。
- ・河北潟の表層水では懸濁物質のうち、粒子径の大きいものが透明度に影響していると推定される。
- ・河北潟の表層水中の粒子の沈降特性について、夏季は粒子径の大きなものが相対的に沈降しにくく、冬季は

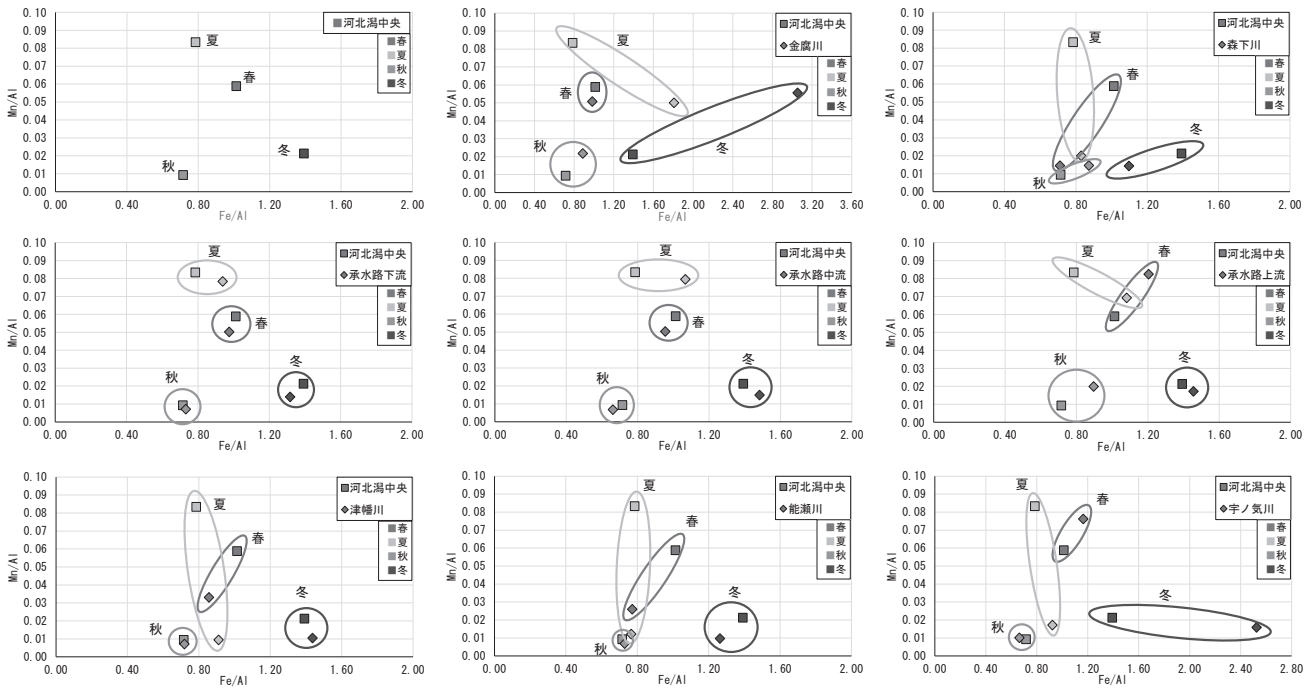


図10 各河川と河北潟中央の季節別懸濁態金属組成比(Mn/Al, Fe/Al)

粒子径の大きなものが相対的に沈降しやすい。

・河北潟中央地点と東部承水路中流及び下流の懸濁態金属の組成比は季節ごとに似た挙動を示した。

文 献

- 1) 中央環境審議会:水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて(答申)(2015)
- 2) 石川県:令和4年度公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書(2023)

- 3) 環境省 水・大気環境局 水環境課:沿岸透明度の目標設定ガイドライン(2018)

- 4) 環境省 水・大気環境局 水環境課:湖沼の底層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する水質保全対策の手引き(2020)

- 5) 前田空人, 原田由美子, 中山哲彦, 安田能生弘, 里見良二, 堅田勉:河北潟沿岸透明度向上技術の検討(第1報), 石川県保健環境センター研究報告書, 57, 1-7(2020)