

令和3年度伊豆沼・内沼自然再生事業水質改善効果検討調査結果

- ・底質が水質に及ぼす影響等について既存文献等からの情報整理
- ・エコトーン造成地等の底質調査

宮城県環境対策課
委託業者: 株式会社建設環境研究所

1. 調査目的・内容

伊豆沼の水質悪化の原因のひとつとして底泥からの有機物や栄養塩の溶出や巻き上げによる内部負荷の影響が推察されているところであるが、その実態は解明されていない。そこで、伊豆沼における底泥からの負荷について実態を把握するため、底質が水質に及ぼす影響等について既存文献等から基礎的知見の整理を行った。

加えて、伊豆沼におけるエコトーン造成による水質改善効果の検証に資するため、エコトーン造成地等の底質を調査した。

2. 調査方法

2.1 底質が水質に及ぼす影響及び干出やエコトーン造成による水質改善効果の情報整理

既存文献等から、次のことについて情報の整理を行った。

- (イ) 底質が水質に与える影響
- (ロ) 現在の伊豆沼における底質が水質に与えている負荷の状況
- (ハ) 干出やエコトーン造成により底質や水質に与える効果の仕組み及びその程度

2.2 エコトーン造成地等の底質調査

- (イ) 調査時期は、秋期(エコトーン干出有)の1回とした。
- (ロ) 採取地点は、砂質エコトーン造成地・泥質エコトーン試験区・伊豆沼中央部の3地点とした。
- (ハ) (イ)で採取した底質について、含有量試験及び粒度試験の室内試験を実施した。
- (ニ) 含有量試験の分析項目は ORP(現地測定)、COD、TOC、T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、PO₄-P(室内試験)とした。

3. 底質が水質に及ぼす影響及び干出やエコトーン造成による水質改善効果の情報整理

3.1 底質が水質に与える影響

3.1.1 底質が水質に与えるメカニズム¹⁾

- ・湖沼に流入した有機物等は、移流・拡散するとともに沈降し、湖底に堆積して底泥となる。
- ・底泥からは「溶出」や「巻き上げ」の作用によって、有機物や栄養塩類(窒素・リン等)が湖水に回帰する。
- ・「溶出」とは、底泥(固形物)が分解・溶解し、底泥中の粒子と粒子の隙間に含まれる間隙水に移行し、それらが湖水に拡散(静置溶出)または湖水と交換(浮上溶出)される作用である。
- ・「巻き上げ」とは、風波等によって底泥が巻き上げられて湖水に回帰する作用である。
- ・有機物は好気性細菌により分解され、溶存酸素(DO)が消費される。

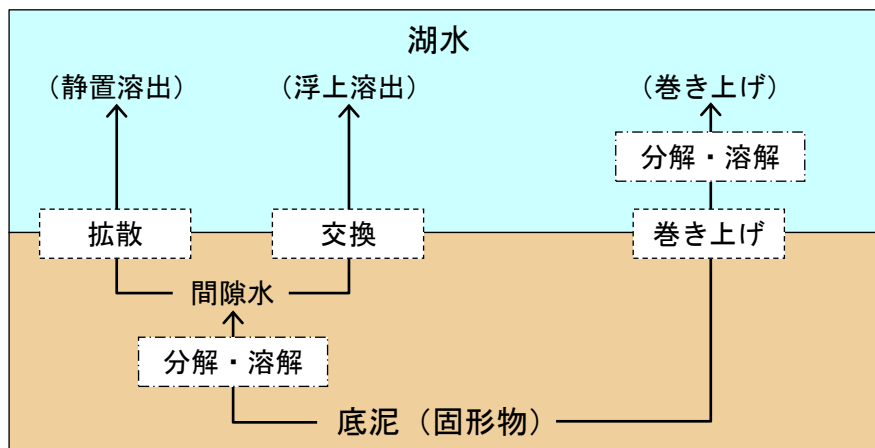


図 1 底泥から湖水への汚濁物質の回帰メカニズム

3.1.2 底泥からの溶出及び酸素消費

- 底泥からの溶出及び酸素消費の速度は、底泥中の有機物や窒素の含有量、水温、水中の溶存酸素(DO)濃度等と関連が見られる¹⁻⁴⁾。

表 1 底泥からの溶出及び溶存酸素(DO)消費の速度と関連する要素¹⁻⁴⁾

| 関連要素 | 溶出速度 | | | 溶存酸素(DO)消費速度 |
|---------------|------|----|----|--------------|
| | COD | 窒素 | リン | |
| 底泥中の有機物含有量 | + | | + | + |
| 底泥中の窒素含有量 | | + | | |
| 水温 | + | + | + | + |
| 水中の溶存酸素(DO)濃度 | | - | - | |

注1) 表中の「+」は正の相関、「-」は負の相関があることを示す。

注2) 表中で相関があるとした要素でも、文献によっては相関が見られないとされている事例もある。

- 底泥中のCOD含有量が多い程、COD溶出速度が大きくなる¹⁾(図2)。
- 底泥中の総窒素(T-N)含有量が多い程、無機態窒素(I-N)溶出速度が大きくなる³⁾(図3)。
- 水中の溶存酸素(DO)が低い程、オ尔特リン酸態リン(PO₄-P)の溶出速度が大きくなる²⁾(図4)。

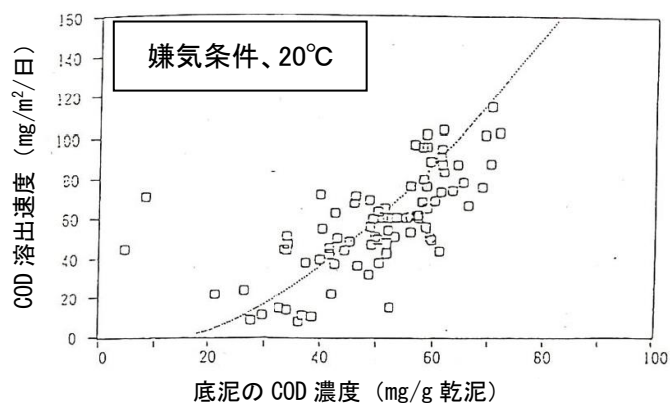


図 2 底泥のCOD含有量とCOD溶出速度との関係 (霞ヶ浦(茨城県))¹⁾

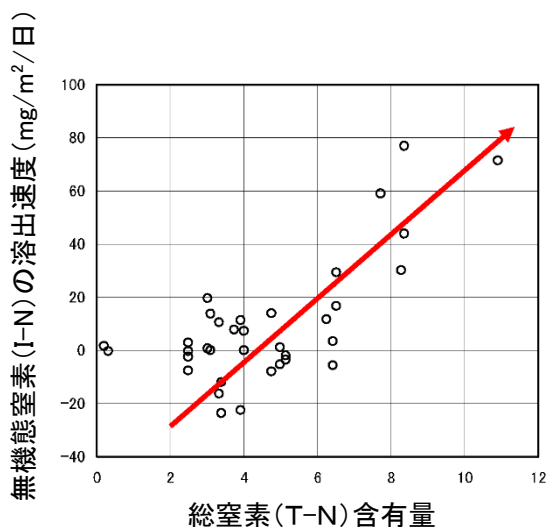


図 3 底質の総窒素(T-N)含有量と無機態窒素(I-N)溶出速度の関係(小川原湖(青森県))³⁾

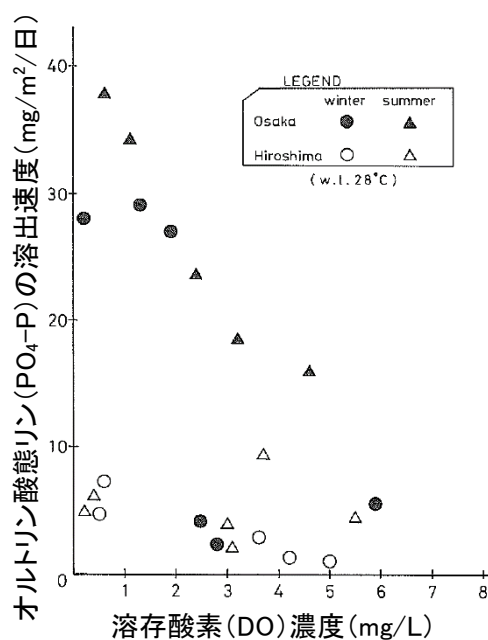


図 4 溶存酸素(DO)濃度とオ尔特リン酸態リン(PO₄-P)溶出速度の関係(大阪湾、広島湾)²⁾

3.2 現在の伊豆沼における底質が水質に与えている負荷の状況

3.2.1 底泥からの溶出⁵⁾

・伊豆沼底泥からの COD の溶出は温度に依存し、冬期よりも夏期に多くなっている。

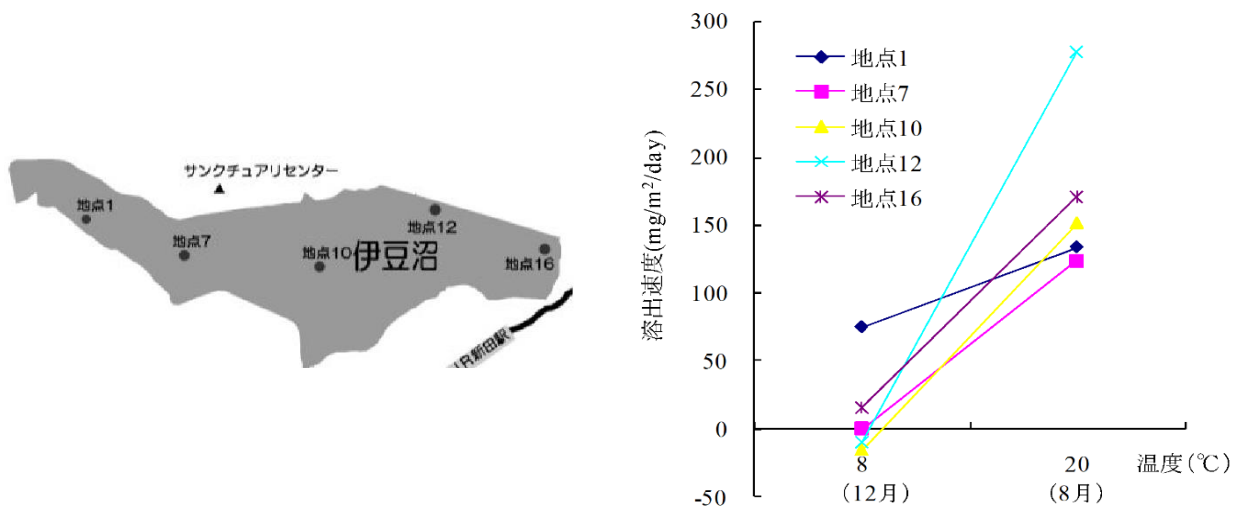


図 5 8°C (12月) 及び 20°C (8月) における COD の溶出速度 (伊豆沼)

3.2.2 底泥の巻き上げ⁶⁾

・伊豆沼では概ね風速 5m/s 以上になると巻き上げが生じる。
 ・伊豆沼の形状が東西方向に長いことから、吹送距離*が長くなる東西方向の風の場合に巻き上げが生じやすい。 ※水面上を風が吹き渡る距離。風速が同一の場合、吹送距離が長い程、波が発達する。

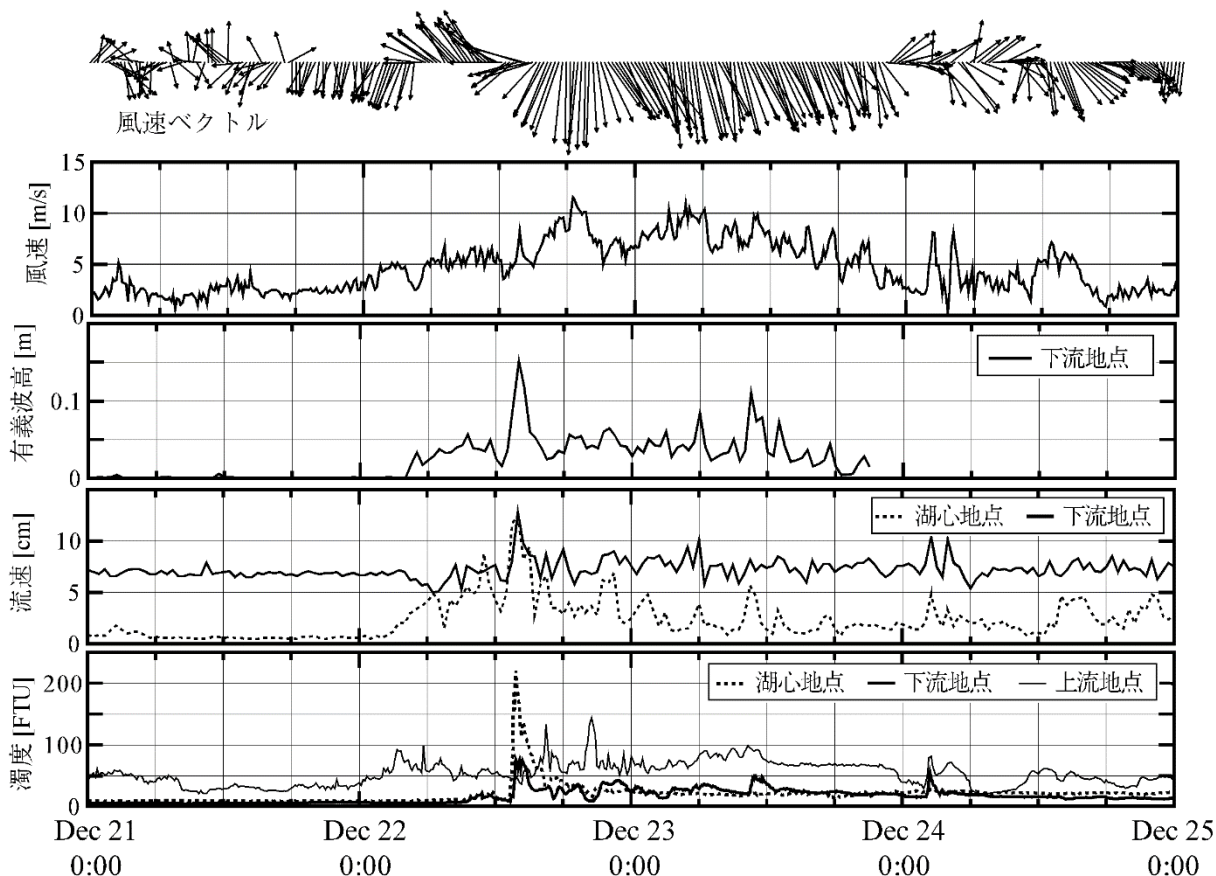


図 6 底泥巻き上げイベント時を中心とした現地計測結果 (伊豆沼 (2010年))

- ・伊豆沼の SS 及び COD は、伊豆沼入口（流入河川）では年間の変動が小さいのに対し、伊豆沼出口（伊豆沼下流端）では夏期に比べ、冬春期に値が高くなっている。
- ・月平均風速の変動と対応していることから、風による巻き上げの影響が大きい可能性が考えられる。

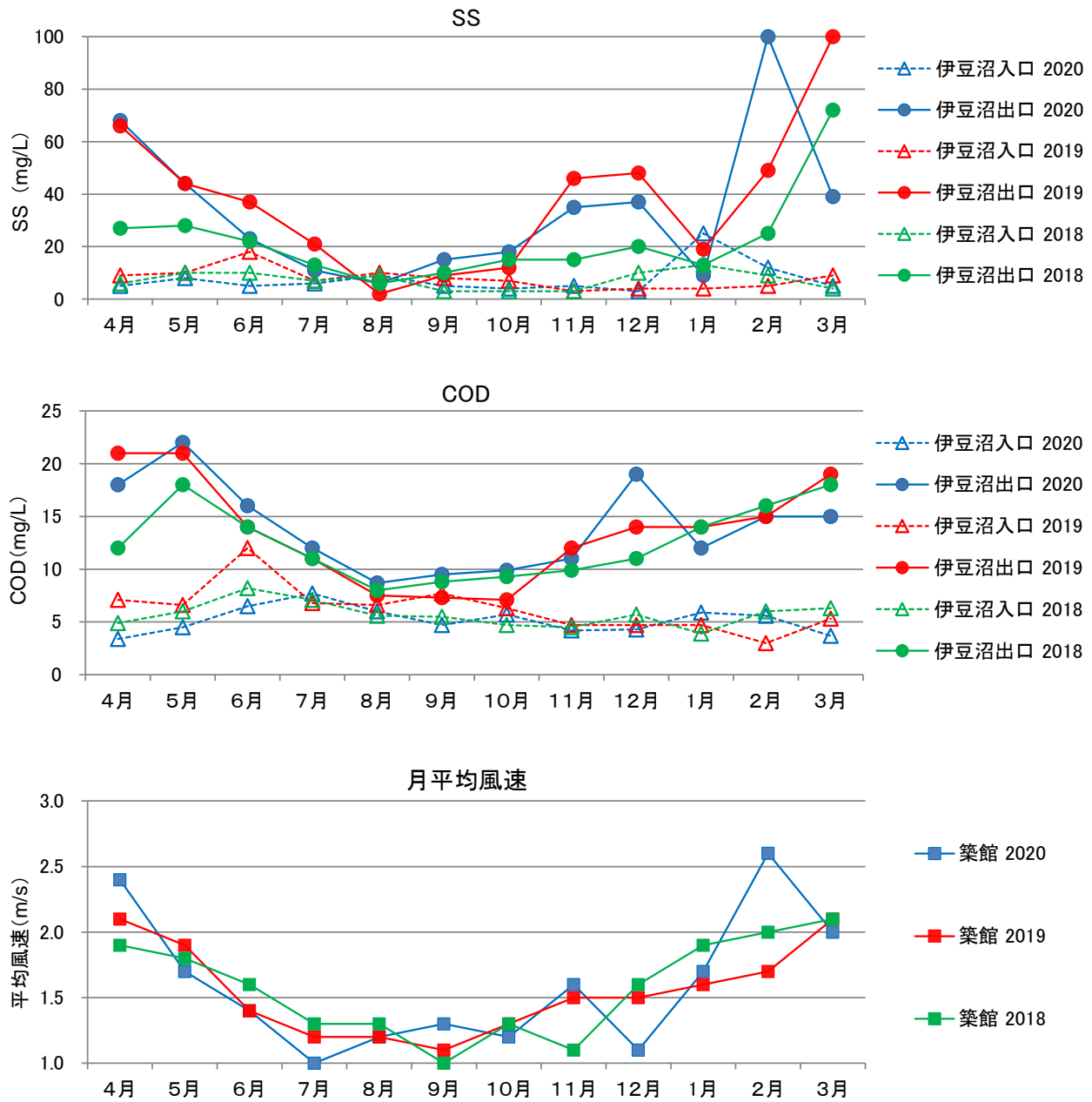


図 7 SS・COD（伊豆沼）及び月平均風速（築館）の経月変化（2018～2020年）

3.3 干出やエコトーン造成により底質や水質に与える効果の仕組み及びその程度

3.3.1 干出により底質や水質に与える効果⁷⁾

- ・干し上げ(干出)により、藻類の増殖抑制や底泥からの栄養塩類溶出抑制等により、水質改善効果が生じる。

(1) 藻類の増殖抑制効果

- ・底泥内のアオコの原因藻類の細胞数は干し上げによって経日的に減少し、30～60 日後にはゼロとなった。

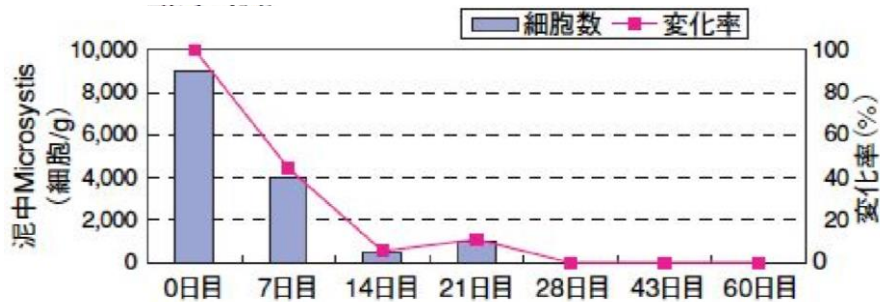


図 8 乾燥日数と底泥中のマイクロシスティス^{*}細胞数 (三春ダム) ^{*}アオコの原因藻類

(2) 栄養塩類溶出抑制による水質改善効果

- ・底泥からのリンの溶出量は干し上げしなかった場合に比べ、干し上げた場合の方が減少している。

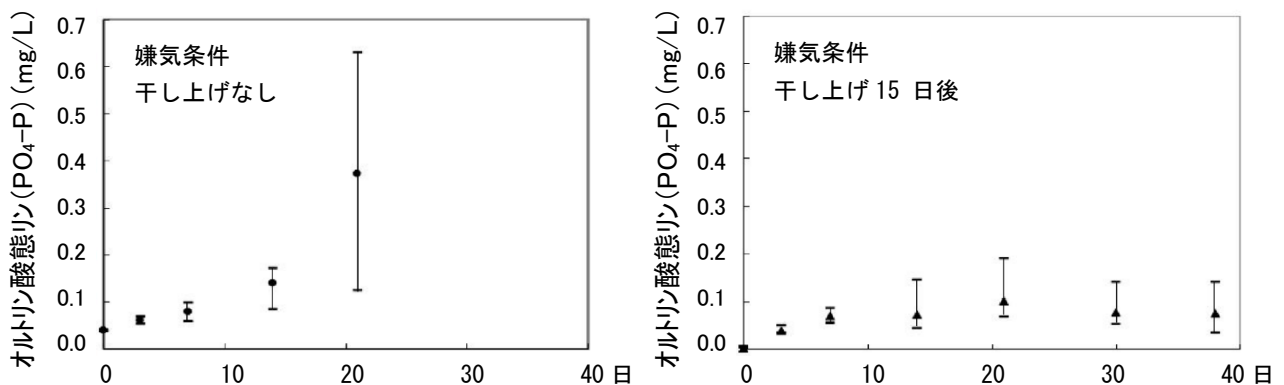


図 9 干し上げの有無によるリン溶出量の違い (渡良瀬貯水池 (群馬県、栃木県、埼玉県))

3.3.2 エコトーン造成により底質や水質に与える効果

- ・エコトーンの造成は、沈水植物群落等の再生による栄養塩類の吸収、及び湖岸の底質改善による溶出や巻き上げの抑制により、水質改善効果が生じる^{7,8)}。

(1) 沈水植物による水質改善効果⁷⁾

- ・霞ヶ浦の湖岸に隔離水界を設置して沈水植物の再生実験を行った結果によると、沈水植物が多く繁茂した区画は、沈水植物が生育していない区画に比べ、SS、COD、総窒素(T-N)、総リン(T-P)の水質が改善された。

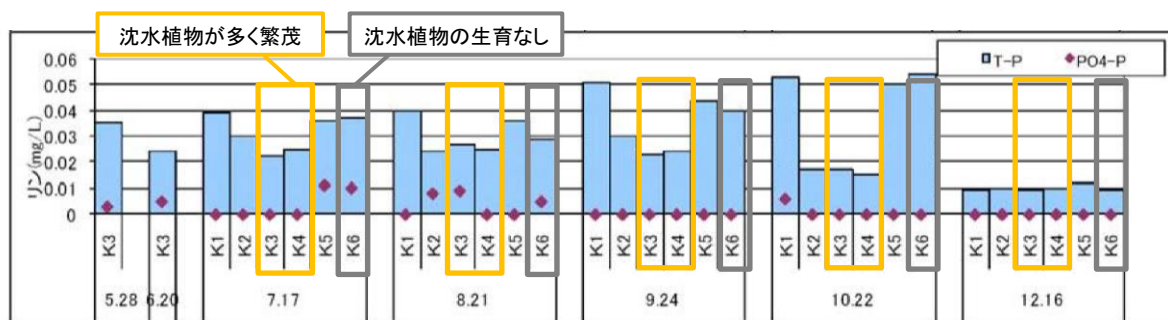


図 10 霞ヶ浦の隔離水界での沈水植物の生育状況の違いによる水質（リン）の差異（2008 年）

(2) 湖岸の緩傾斜化による底質改善効果⁸⁾

- ・岸辺を垂直湖岸から緩傾斜湖岸にすることによって沿岸部の流動が強化される。
- ・流動の強いところには粒子態有機物が堆積しにくく砂質となる。

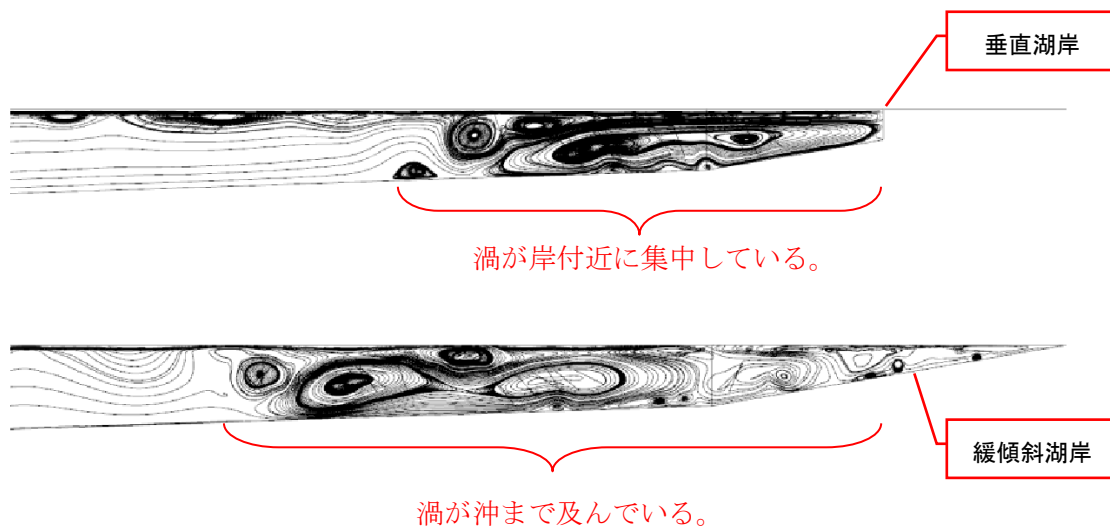


図 11 垂直湖岸及び緩傾斜湖岸の流線

3.4 既存文献等からの情報整理から得られた伊豆沼における水質改善に係る知見

- ・伊豆沼では夏期に底泥からの COD 等の溶出速度が大きくなり、水質に影響を与えている。一方、冬春期には底泥の巻き上げが水質に大きく影響していると考えられる。
- ・水位低下による水際の干出は、水際の底泥からの溶出を抑制し、水質改善に寄与すると考えられる。
- ・エコトーンの造成は、沈水植物群落等の再生による有機物の分解・栄養塩の吸収及び沿岸部の底質改善等により、水質改善に寄与すると考えられる。

4. エコトーン造成地等の底質調査

4.1 調査地点

- 「砂質エコトーン造成地」、「泥質エコトーン試験区」及び「伊豆沼中央部」(対照地点)の3地点で底質を採取した(令和3年11月18日実施)。



地図の出典: 地理院地図(電子国土Web)

図 12 底質採取地点

4.2 試料採取箇所及び採取試料の状況

- 砂質エコトーン造成地の底質は砂で、試料採取時は干出していた。
- 泥質エコトーン試験区(直径30cmの筒に近傍の底質を入れたものが5箇所造成されている)も砂で、試料採取時は箇所によって底面が水位とほぼ同じ高さまたは干出している状態だった。
- 伊豆沼中央はシルトで水深1mだった。3地点中、唯一ORP(酸化還元電位)がマイナス(嫌気状態)だった。

| 対象 | 砂質エコトーン造成地 | 泥質エコトーン試験区 | 伊豆沼中央 |
|--------|------------|------------|-------|
| 試料採取箇所 | | | |
| 採取試料 | | | |

図 13 試料採取箇所及び採取試料の状況

4.3 含有量試験結果

- COD、TOC、総窒素 (T-N)、アンモニウム態窒素 (NH₄-N) 及び総リン (T-P) は、伊豆沼中央部に比べて、砂質エコトーン造成地及び泥質エコトーン試験区では 1 オーダー程度低い濃度となっていた。
- 泥質エコトーン試験区に比べて、砂質エコトーン造成地は 1/2～1/4 程度の濃度であった。

表 2 含有量試験結果

| 項目 | 単位 | 調査地点 | | |
|--------------------|------|------------|------------|--------|
| | | 砂質エコトーン造成地 | 泥質エコトーン試験区 | 伊豆沼中央部 |
| COD | mg/g | 1.2 | 5.3 | 57 |
| TOC | mg/g | 1.6 | 4.9 | 68 |
| T-N | mg/g | 0.21 | 0.42 | 7.1 |
| NH ₄ -N | mg/g | <0.02 | 0.021 | 0.13 |
| NO ₂ -N | mg/g | <0.005 | <0.005 | <0.005 |
| NO ₃ -N | mg/g | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| T-P | mg/g | 0.074 | 0.12 | 1.2 |
| PO ₄ -P | mg/g | <0.02 | <0.02 | <0.02 |

4.4 粒度分布試験結果

- 伊豆沼中央部は細粒分(シルト・粘土)で構成されていた。
- 砂質エコトーン造成地と泥質エコトーン試験区は砂が主体であった。
- 砂質エコトーン造成地に比べると、泥質エコトーン試験区はやや細粒分の割合が高かった。

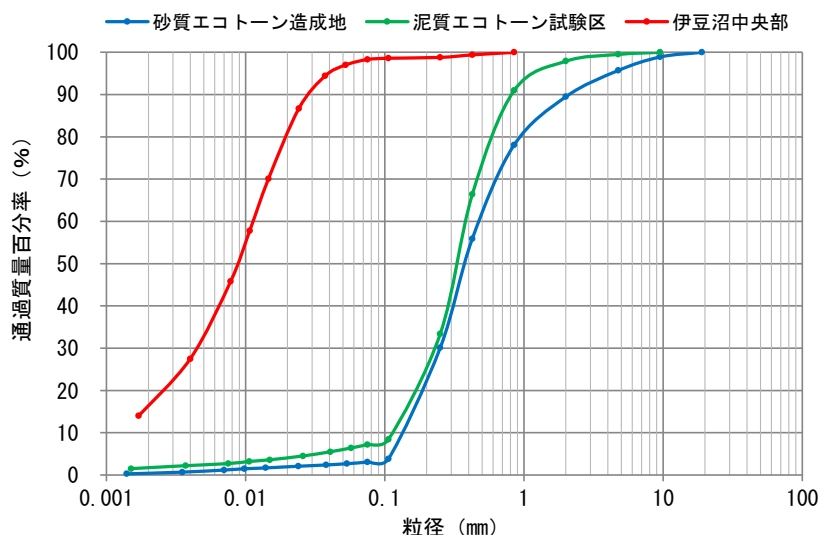


図 14 粒度試験結果

4.5 調査結果から得られた知見

- 伊豆沼中央部に比べて、砂質エコトーン造成地及び泥質エコトーン試験区では底泥の有機物や窒素の含有量が少ないため、既存文献等の情報整理から得られた知見を踏まえると、底泥からの COD、窒素、リンの溶出速度及び溶存酸素(DO)消費速度が抑制され、水質改善に寄与すると考えられる。
- 伊豆沼中央部は細粒分で構成されているのに対し、砂質エコトーン造成地及び泥質エコトーン試験区は砂が主体であり、相対的に粒径が大きいことから巻き上げが生じにくくなり、水質改善に寄与すると考えられる。
- ただし、上記は既存文献等の知見を踏まえた考察であるため、伊豆沼におけるエコトーン造成による水質改善効果を直接的に把握するためには、現地の底質による溶出速度試験の実施等が必要であると考えられる。

・また、今年度調査は秋期1回の採取であったが、湖内水位は季節的変動があるため、干出の有無による違いを確認するため、時期を変えて年数回の底質採取分析調査の実施が必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 湖沼技術研究会(2007):湖沼における水理・水質管理の技術 p.1-12、3-58、6-178、183、189、6-308、309
- 2) 湖沼技術研究会 底質ワーキンググループ(2009):底質に係わる技術資料 pp.4-7
- 3) 国土交通省東北地方整備局(2009):「湖沼底質環境・調査手引き」(案)～小川原湖の底質調査結果から言えること～ pp.61-63
- 4) 東野誠・神田徹(1997):底泥による静水中での溶存酸素消費に関する基礎実験 水工学論文集 第41巻
- 5) 小浜暁子・有田康一・江成敬次郎・小野智保・佐藤奈津美・井上公人・水本健(2009):伊豆沼底泥からの有機物および栄養塩溶出に関する研究 土木学会東北支部技術研究発表会
- 6) 梅田信・別当雄亮・進東健太郎(2011):伊豆沼における底質の巻き上げと湖面風の関連 土木学会論文集 Vol.67
- 7) 国土交通省河川局河川環境課(2010):自然の浄化力を活用した新たな水質改善手法に関する資料集(案) pp.38-39、86-92
- 8) 西村修・梅田信・野村宗弘(2013):浅い閉鎖性水域の底質環境形成機構の解析と底質制御技術の開発

以上