

網走湖における有機泥の沈降速度の推定と界面特性に関する考察

Estimation of setting velocity and interface characteristic on organic mud in Lake Abashiri

北見工業大学	○学生員	伊藤 立誠	(Rissei Ito)
茨城県土浦土木事務所	非会員	戸塚 優平	(Yuhei Totsuka)
北見工業大学	正 員	駒井 克昭	(Katsuaki Komai)
広島大学	正 員	日比野 忠史	(Tadashi Hibino)
広島大学	正 員	中下 慎也	(Shinya Nakashita)
北見工業大学	学生員	丸谷 靖幸	(Yasuyuki Maruya)
北見工業大学	正 員	中山 恵介	(Keisuke Nakayama)

1. はじめに

わが国を代表する汽水湖である網走湖は結氷する冬季を除く春季～秋季では明瞭な淡水層と塩水層の二層構造が形成されている¹⁾。強固な密度界面が形成されるため、塩水層への酸素の供給が少なく、デトリタスが分解される際に酸素が消費されて低層では貧酸素水塊が形成されている。長年かけて湖底に蓄積され、ヘドロ化した有機泥からの栄養塩の溶出は水域の生態系にとって無視できない。しかし、有機物質を含む有機泥の凝集・沈降や再懸濁を含めた有機泥の形成過程は明らかになっていない。本研究では、寒冷な道東地方に位置する汽水湖の一つである網走湖の有機泥を研究対象として、沈降速度分布の特性を明らかにし、凝集性に関する界面特性と塩分や溶存有機物等の水質の関係性について考察する。

2. 研究手法

(1) 試料採取と沈降速度の推定法

2012年10月23日に網走湖のSt. I（湖心、水深約16 m、塩水層中）、St. D（網走川の河口付近、淡水層中）、およびSt. T（網走湖出口、淡水層中）の3地点において柱状採泥を行った。採取した泥試料の表面から2 cmの試料を沈降実験に用いた。同時に湖水を採水した。case 2～8では採取した有機泥はそれぞれ精製水、水深0 mの湖水、あるいは水深10 mのEC（電気伝導度）に相当する濃度のNaCl溶液（NaCl水）に十分に混ぜて実験試料とし、レーザー回折式粒度分布計で粒度分布の経時変化を連続測定することで、沈降速度を求める実験（沈降実験）を行った。沈降実験で用いた試料の溶媒と溶質の組み合わせを表-1に示す。既往の研究^{2),3)}では粒度分布の経時変化から有機泥ブロックの沈降速度分布を推定できることが示されている。

(2) 沈降速度モデル

ブロック構造をフラクタル次元で表現することでブロックの沈降速度や有効密度が定式化されている。西村ら²⁾は瀬戸内海沿岸域の有機泥を用いた実験によってブロック構造を決める要因としてブロックを構成する有機物質の影響を考慮した沈降速度モデルを定式化している。

$$\Delta\rho = \rho_f - \rho_w = (\rho_s - \rho_w) \left(\frac{D_f}{d_0} \right)^{D-3} \quad (1)$$

$$D = 3 - 2 \left(\frac{IL}{IL + K} \right) \quad (2)$$

$$K = 0.797 \{ CN_{ratio} - 6.625 \} \quad (3)$$

$$\overline{\Delta\rho} = 2.83 \cdot e^{1.66D} \quad (4)$$

$$D_{fb} = 59.1 \cdot e^{-0.30D} \quad (5)$$

$$V_f = \frac{g}{18\mu} (\rho_s - \rho_w) \cdot d_0^3 \cdot D_f^{D-1} \quad (6)$$

ただし、IL：強熱減量、 CN_{ratio} ：元素分析結果のC/N比、 $\overline{\Delta\rho}$ ：平均有効密度、 D_{fb} ：有効密度の減少開始粒径、D：フラクタル次元、g：重力加速度、 μ ：溶媒の粘性係数、 ρ_s ：溶質の密度、 ρ_w ：溶媒の密度、 d_0 ：ブロックを形成する個々の粒子の粒径、 D_f ：ブロック径、 $\Delta\rho(kg/m^3)$ ：有効密度、 V_f ：沈降速度である。

3. 解析結果

図-1はSt. Iの有機泥の沈降速度分布を示している。図中に理論値とモデル値（Model 1：M1）を示す。精製水を溶媒としたcase 2ではモデル値よりも沈降速度が大きいが、モデルに似た変化傾向を示した。同様の傾向はNaCl水を溶媒としたcase 4でも見られた。一方、湖水を溶媒としたcase 3では、43 μm 未満での実験値はモデル値に比べて沈降速度の増加傾向が緩やかであり、かつcase 4よりも大きい沈降速度となっている。溶媒にNaCl水を用いたcase 4では、43 μm 付近で沈降速度がピークとなっており、20 μm 未満での沈降速度の変化傾向はモデルよりも緩やかである。

4. 考察

(1) 沈降速度モデルの適用性の検討

湖心に位置するSt. Iの試料を用いた実験では3ケースともに40 μm 付近の沈降速度はモデル値に近い。しかし、20 μm 以下の範囲ではcase 3でモデルとの差が最も大きい。Model 1は河口域や内湾で採取されたIL＝4.9～80、C/N＝7.6～23.7の範囲の有機泥、溶媒として精製水を用いた結果に基づいて定式化されている²⁾。一方、case 2～8で用いた汽水湖の有機泥はIL＝6.6～17、C/N＝8.7～11.4でModel 1の範囲内であるが、わずかに塩分やその他の溶存物質を含む湖水やNaCl水を用いている。塩水中においては有機物の少ない粒子は沈降速度の

表-1 実験条件

Case No	Type	試料			モデル定数 D_b (μm)	溶媒 種類	塩分 (PSU)	濁度 (NTU)
		種類	IL(%)	C/N ratio				
1	B	ペントナイト	4.58	5.4	51.5	精製水	-	53
2	I-1	St. I 有機泥	17.0	9.61	41	精製水	-	79
3	I-2	St. I 有機泥	17.0	9.61	41	St. I-0 m 水	1.12	87
4	I-3	St. I 有機泥	17.0	9.61	41	NaCl 水	20.24	110
5	D-1	St. D 有機泥	8.9	11.4	37	精製水	-	58
6	D-2	St. D 有機泥	8.9	11.4	37	St. D-0 m 水	0.81	49
7	T-1	St. T 有機泥	6.6	8.7	39	精製水	-	84
8	T-2	St. T 有機泥	6.6	8.7	39	St. T-0 m 水	1.25	95

小さいフロックを形成する⁴⁾。これらより、有機泥を構成する有機物質の違いや溶媒の性質の違いが沈降速度に影響していると考えられる。特に、本実験に用いた St. I の有機泥は成層化した網走湖の無酸素状態の塩水層で有機物の分解が進んだもので粒径が細かく、湖水の水質も異なるため、本実験での有機泥は固有のフロック構造を有していることが考えられる。

(2) 有機泥の界面特性と溶媒の水質との関係

ゼータ電位の測定結果と溶媒の塩分の関係を図-2 に示す。case 1 のゼータ電位は-38.3 mV と全実験ケース中で絶対値が最も大きい結果となった。Case 1 の沈降速度の測定結果は凝集が起こっている可能性を示唆したが、有機泥を用いた他の実験ケースに比べて理論値に近い沈降速度を示していたことから、ゼータ電位の測定結果はペントナイトの分散性が高かったことを示唆している。

St. I の有機泥を用いた場合、ゼータ電位の絶対値は精製水を用いた case 2 が最大、湖水を用いた case 3 が最小になる。また、NaCl 水を用いた case 4 のゼータ電位の絶対値は case 3 よりも case 2 に近い。塩分が大きい case 4 よりも case 3 の方がゼータ電位が低い理由は、湖水に含まれる海水由来の Mg^{2+} や Ca^{2+} 等の二価の陽イオンが粒子の電荷の中和を促進するためと考えられる。

St. D と St. T の有機泥を用いた実験結果も St. I とほぼ同様の傾向であった。溶媒に精製水を用いた case 5 と case 7 では、ゼータ電位が-30~-35 mV であり凝集が起こりにくい状態にある。一方、溶媒に湖水を用いた case 6 と case 8 では、ゼータ電位が-16~-17 mV であり、比較的粒子の電気的中和が起こっている。このことから、溶存イオンが少ない条件下では有機物量による凝集性の違いはわずかであったことがわかる。

5. 結論

本研究では寒冷地に位置する汽水湖である網走湖の有機泥の沈降速度分布を推定した。また、様々な条件下において界面特性を検討した。結論を以下に示す。

- 1) 網走湖湖底から採取された有機泥の沈降速度は、強熱減量と C/N 比を用いた有機物質の指標を用いたモデルと比較して沈降速度が大きい傾向にある。
- 2) 溶存イオンがわずかな条件下では有機泥に含まれる有機物量の違いによるゼータ電位の違いは小さい。

謝辞

本研究は科学研究費助成事業（日本学術振興会、研究

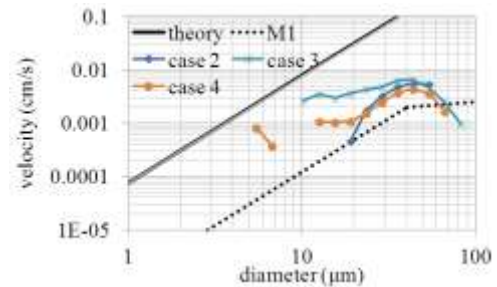


図-1 沈降速度分布の推定結果 (St. I) . 太実線：理論値，点線；モデル値 (Model 1)

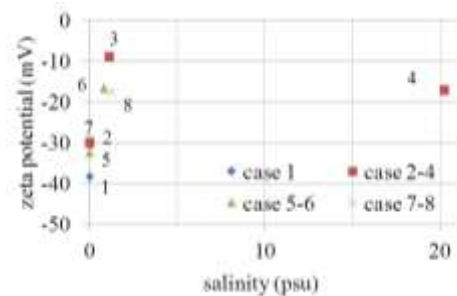


図-2 ゼータ電位と溶媒の塩分の関係。記号に付した番号は実験 case の番号を示す。

課題番号：24540466) および河川整備基金（公益財団法人河川財団）の助成を受けている。現地での採泥・採水は北海道開発局網走開発建設部、有機微量元素分析は広島大学自然科学研究支援開発センター（N-BARD）の協力を得て実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 北海道開発局網走開発建設部：網走湖の良好な水環境をめざして，2010。
- 2) 西村尚哉・TOUCH NARONG・駒井克昭・日比野忠史：有機性状を考慮した有機懸濁物質の沈降速度のモデル化，海岸工学論文集，第 56 巻，pp.1151-1155，2009。
- 3) 小枝豪志・中下慎也・駒井克昭・日比野忠史：有機懸濁物質の沈降過程に及ぼす塩分の影響，海岸工学論文集，第 57 巻，pp.1156-1160，2010。
- 4) 小枝豪志・TOUCH NARONG・日比野忠史：レーザー回折式粒度分布計による細粒子の沈降速度推定手法の確立，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，pp.1051-1055，2011。Vol. 67, No. 2, pp. 1051-1055, 2011。