

【原著】

赤野井湾におけるハス群落の消滅について

小林圭介¹・松岡輝樹²

Ecological researches on the extinction of *Nelumbo nucifera* community
in Akanoi Bay, Shiga Prefecture

Keisuke KOBAYASHI¹ and Teruki MATSUOKA²

はじめに

赤野井湾に広範囲に発達していたヨシ群落とハス群落は、「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例」によって、1993年にヨシ群落保全地域の保護地区に指定されている。その後、この保護地区のハス群落は赤野井湾の外側に向かって生育範囲を拡大するとともに、ヨシ群落の生育にも影響を及ぼし始めた。そのため、滋賀県では1997年度と1998年度に、ヨシ群落の生育状況とその特性、生育環境条件等に関する現状把握のためのヨシ群落生態調査を実施し、同時にハス群落に関しても詳細な調査資料を収集して『平成9年度 第1号 ヨシ群落生態調査報告書』および『平成10年度 第2号 ヨシ群落生態調査報告書』としてまとめている。

一方、烏丸半島東岸の赤野井湾では、約30年前からハスが繁茂し始め、国内有数のハス群生地として長く親しまれてきた。しかし、2016年に群生していたハスの開花に異変が発生し、同時に群落が急速に衰退して、2017年には烏丸半島北岸などに点的に小面積を残すだけとなるなど、ほぼ消滅する状況となった。そして、この大規模なハス群落の短期間における消滅の原因については、さまざまな意見があったが、消滅を実証するような内容ではなかった。

調査目的

本調査は、赤野井湾におけるハスの生育環境条件である、水質、底質、底泥ガス・泥温・酸化還元電位、水深・泥深、底泥硬度、粒度分布の調査を行うとともに、ハスの枯死体リター・埋土種子・地下茎の調査、植生調査を合わせて実施し、滋賀県が1997年度と1998年度に実施した過年度の「ヨシ群落生態調査報告書」の調査結果等に基づき、赤野井湾における大規模ハス群落の消滅の要因に関して検討することを目的として実施した。

2020年7月13日受理

¹〒522-0041 滋賀県彦根市平田町243-16

243-16 Hirata-cho, Hikone 522-0041, Japan.

²〒540-0021 大阪府大阪市中央区大手通2-2-13 株式会社ウエスコ環境計画事業部

2-2-13 Ootodori, Chuo-ku, Osaka 540-0021, Japan. Wesco Inc. Environmental Planning Division



図 1. 調査地域.

調査方法

本調査の対象地域は、琵琶湖南湖における草津市の烏丸半島の根元に位置する赤野井湾内と烏丸半島の北岸である（図 1）。本調査の調査項目については、水質調査、底質調査、底泥ガス・泥温・酸化還元電位調査、水深・泥深調査、底泥硬度調査、粒度分布調査、埋土種子調査、地下茎調査、リター調査、植生調査の 10 項目とした（表 1）。また、現地調査は赤野井湾沿岸全域に 11 地点と烏丸半島北岸に 2 地点の合計 13 地点において実施した（図 2）。

各現地調査の実施については、2017 年 3 月 7 日に調査方法の確認および調査上の問題点把

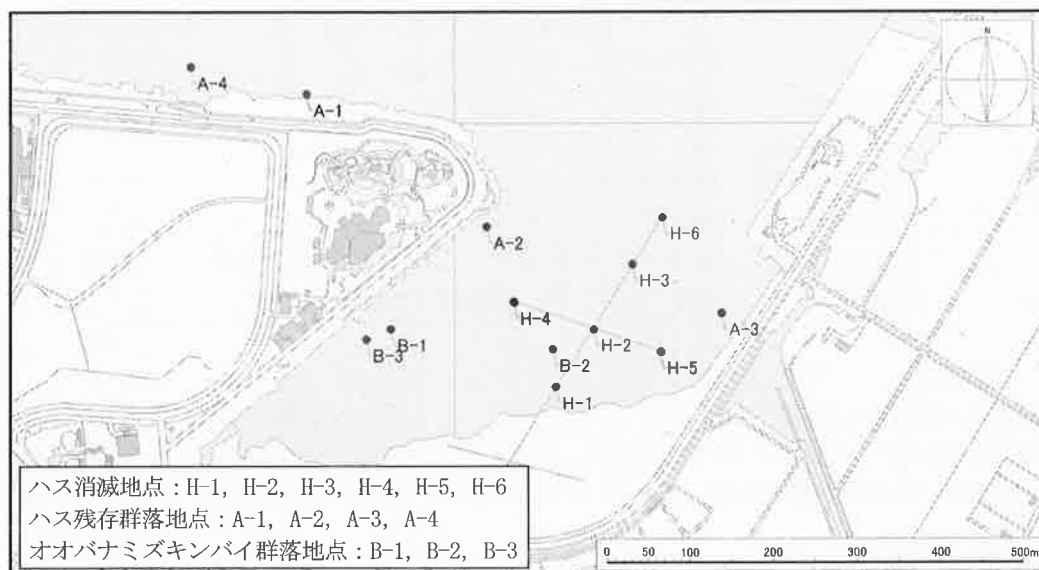


図 2. 調査地点.

表 1. 調査・分析項目.

区 分	調査・分析項目	調査地点
水質調査	pH, BOD, COD, DO, TN, TP, EC	H-1, H-2, H-3, H-4, H-5, H-6, A-1, A-2, A-3, B-1, B-2
底質調査	T-C, TN, TP, 硫化物, pH, 強熱減量, 含水率	H-1, H-2, H-3, H-6,
底泥ガス・泥温・酸化還元電位調査	メタンガス, 硫化水素, 泥温, ORP	A-1, A-2, A-3, B-1, B-2
水深・泥深調査	水深, 底泥厚	
底泥硬度調査	底泥硬度(コーン貫入抵抗)	
粒度分布調査	粒度分布試験	
埋土種子調査	埋土種子採集	H-1, H-2, H-3, H-6, A-1, A-2, A-3, B-1, B-2
地下茎調査	地下茎採集(枯死体含む)	
リター調査	ハス枯死体採集	H-1, H-3, A-2, A-3, A-4, B-3
植生調査	植生調査(群落組成調査)	赤野井湾沿岸全域

握を目的とした事前調査を行い、調査計画を精査したうえで、2017年4月4～6日にかけて本調査を実施した。なお、埋土種子調査、地下茎調査、リター調査は2018年7月23日に実施し、植生調査については2017年4月20日に実施した。

また、滋賀県が1997年度と1998年度に実施した過年度の「ヨシ群落生態調査」における各調査項目と現地調査の実施日を表2に示す。

表2. 過年度の「ヨシ群落生態調査」の調査項目と調査実施日。

区 分	過年度調査実施日
水質調査	定期調査：1997年5月29日、8月4～8日、9月5日、 10月23～24日、12月11日 夏季集中調査：1997年8月4～8日
底質調査	1997年10月23～24日
底泥ガス調査	1998年7月28～30日
水深・泥深調査	1997年5月23日～10月7日
底泥硬度調査	1998年7月28～29日
粒度分布調査	1997年10月23～24日、1998年7月28～30日
植生調査	1997年7月19日、1998年7月4日

1. 水質調査

採水は、船上から中層（水深50cm付近）の水をバンドーン採水器により採水した。採水した水の水質分析は、水素イオン濃度（pH）、生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）、溶存酸素量（DO）、全窒素（T-N）、全リン（T-P）、電気伝導度（EC）の7項目とした。

2. 底質調査

底質は、地点ごとに半径2m内の異なる3箇所から、アクリル管により柱状採泥した。採泥したサンプルは酸化還元電位（ORP）を測定した後、底泥表層から約15cmの部分を採取し、3箇所の底質を混合して分析試料とした。分析項目は、酸化還元電位（ORP）、全炭素（T-C）、全窒素（T-N）、硫化物、水素イオン濃度（pH）、強熱減量、含水率とした。

3. 底泥ガス・泥温・酸化還元電位調査

底質は、アクリル管により柱状採泥した。底泥中の採気手順は、①柱状コアの植物根混入層と無根層の境界部より100gの試料を採取、②ミキサーに試料を入れ、蓋をした後、コックを開き、調整液（NaCl+HCl：弱酸性）を適量注入、③ミキサーにより試料を破碎混合する、④試料が十分に破碎されたらミキサーを止め、気泡が消失するのを待つ、⑤コックを開いて調整液を注入し、ミキサー上部の空気を採気バックへ押し出す（ガス採取）の順で実施した。

メタンガスは、柱状採泥により得られたコアの植物根混入層と無根層の境界部から100gの底泥試料を採取し、採気手順のとおり、試料をミキサーで破碎混合した後、ミキサー上部に溜まったガスを調整液により押し出して採気バッグに捕集した。採気した試料は、室内でガスクロマトグラフによる定量分析を行った。

硫化水素は、メタンガスの試料採取後、採気装置のミキサー上部に残るガスに硫化水素検知

管を差し込み、硫化水素濃度を測定した。また、検知管で硫化水素が検出されない場合は、メタンガスと同様、室内でガスクロマトグラフにより定量分析を行った。なお、ガス検知管はガステック社製の硫化水素短時間用検知管（検知管ナンバー：4LL および 4LT）を用いた。

泥温、酸化還元電位は、柱状採取した底泥を、採取直後に泥温と酸化還元電位を測定し、採取した泥厚を記録した。酸化還元電位の測定方法は、河川水質試験方法に準拠した ORP 計法とした。

4. 水深・泥深調査

水深は、調査地点において竿尺を底泥表面に鉛直に立て、水深を測定した。なお、測定した水深は、調査当日の琵琶湖水位 BSL を踏まえ、 $BSL \pm 0m$ 基準の値に換算した。

底泥厚である泥深は、調査地点において直径 2.5cm の先端円錐状の測量用ポールを底泥に立て、体重をかけて力の限り押し込み、それ以上人力では貫入が困難と判断された時点でのポールの埋没の深さを底泥厚として計測した。なお、計測した底泥厚は、底泥の物理特性等に基づく厳密な数値ではなく、一定の目安として把握するものとした。

5. 底泥硬度調査

底泥硬度調査は、対象水域におけるハスの生育環境条件として、底泥の物理的特性を把握することを目的とした。底泥硬度調査では、ポータブルコーンペントロメーターを用い、ポータブルコーン貫入試験方法に準拠して、コーン貫入抵抗を計測した。

6. 粒度分布調査

粒度分布調査は、まずアクリルパイプを湖底に貫入して底泥を柱状採泥し、表層（表部腐植土層）は深度 15cm の底泥、境界層（植物根域直下層）は植物根混入域とその下層の境界部の底泥を分析試料とした。なお、粒度分布試験は、JIS A-1204 : 2009「土の粒度試験方法」に準拠して実施した。

調査結果

水質

1. 調査結果

水質の調査結果は、ハス群落消滅定点 (H-1~H-3)、定点沖側 (H-6)、ハス残存群落地点 (A-1~A-3)、オオバナミズキンバイ群落地点 (B-1~B-2) の各地点の水質に大きな差はなく、概ね同様の水質である（表 3）。赤野井湾周辺の水質の季節変動については、公共用水域測定結果（滋賀県，2012，2013，2014，2015，2016）より、公共用水域測定地点の新杉江港沖における過去 5 年間（2011.4~2016.3）の主要水質項目の月別平均値を水質の季節変動の概況として表 4 に示したが、TP 濃度が高いものの、他項目は概ね新杉江港沖と同程度の水質である。

1) 水素イオン濃度 (pH)

pH は 7.5~8.4 の範囲で分布し、全地点で環境基準 (6.5~8.5) を満足している。H-1~H-6 の測線 (H-1→H-2→H-3→H-6) では、沖に行くに従い pH が上昇する傾向がみられるが、湖沼等において一般的にみられる pH の範囲であり、地点間で顕著な差異は認められない。なお、

H-6 の pH は 8.1 であり，新杉江港沖の月別平均値（4 月：8.2）とほぼ同じ pH である。

表 3. 水質調査結果.

区分 調査地点	ハス群落消滅定点						ハス残存群落			マナズミキンバイ群落	
	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
透視度 (cm)	36	25	34	34	30	30	47	35	48	30	39
水素イオン濃度 pH	7.7	8.0	8.1	8.0	7.8	8.1	8.3	8.2	7.7	7.5	7.9
溶存酸素量 DO (mg/L)	11.0	12.0	13.0	11.0	12.0	11.0	11.0	11.0	10.0	11.0	12.0
生物化学的酸素要求 量 BOD (mg/L)	3.3	3.4	3.1	3.4	2.9	3.1	2.8	2.8	2.0	3.2	2.6
化学的酸素要求量 COD (mg/L)	4.8	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	4.1	4.9	3.8	5.2	4.5
全窒素 T-N (mg/L)	0.44	0.41	0.39	0.39	0.38	0.47	0.40	0.39	0.45	0.55	0.45
全リン P (mg/L)	0.100	0.095	0.095	0.095	0.100	0.100	0.080	0.080	0.097	0.120	0.084
電気伝導度 EC (mS/m)	18.6	17.9	16.6	17.6	18.7	17.3	16.5	17.1	22.8	17.5	17.9

表 4. 新杉江港沖における主要水質項目の月別平均値表（統計期間：2011.4～2016.3）.

月	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P
4 月	8.2	11.5	1.1	3.4	0.40	0.027
5 月	8.1	10.2	1.5	3.9	0.42	0.035
6 月	8.8	10.6	1.3	4.0	0.36	0.029
7 月	8.9	9.5	1.6	4.8	0.48	0.042
8 月	8.7	8.8	2.4	6.3	0.59	0.044
9 月	7.8	8.3	2.0	4.8	0.62	0.042
10 月	8.1	9.1	0.7	3.7	0.30	0.020
11 月	7.7	9.6	0.9	3.6	0.49	0.027
12 月	7.7	11.7	1.4	4.3	0.63	0.040
1 月	7.8	13.2	1.6	4.2	0.51	0.042
2 月	7.7	12.9	1.2	3.9	0.53	0.044
3 月	7.9	12.2	1.3	4.0	0.48	0.035

2) 溶存酸素量 (DO)

DO は 11～13mg/L の範囲で分布し，全地点で，環境基準（7.5mg/L 以上）を満足している。水温 14～15℃における飽和溶存酸素量は約 10mg/L であり，各調査地点の DO は概ね飽和～過飽和状態にある。なお，H-6 の DO は 11mg/L であり，新杉江港沖の月別平均値（4 月：11.5mg/L）とほぼ同じ濃度である。

3) 生物化学的酸素要求量 (BOD)

BOD は 2.0～3.4mg/L の範囲で分布し，A-3 地点の BOD は他地点と比べてやや低い値であ

る。なお、H-6 の BOD は 3.1mg/L であり、新杉江港沖の月別平均値（4 月：1.1mg/L）と比べて濃度が高くなっている。

4) 化学的酸素要求量 (COD)

COD は 3.8～5.2mg/L の範囲で分布し、全地点で、環境基準 (1.0mg/L 以上) を超過している。ハスが残存する地点 A-1, A-3 は濃度がやや低いが、過年度の「ヨシ群落生態調査報告書」では、ハス生育地点と対照地点の COD について、「両地点に顕著な濃度差は認められない」と報告されており、COD 低下はハス残存とは関係していないと考えられる。

なお、ハス群落消滅定点の沖側 H-6 の COD は 4.9mg/L であり、新杉江港沖の月別平均値（4 月：3.4mg/L）より、やや濃度が高くなっている。

5) 全窒素 (TN)

TN は 0.38～0.55mg/L の範囲で分布し、全地点で、環境基準 (0.2mg/L 以下) を超過している。なお、定点沖側 H-6 の TN は 0.47mg/L であり、新杉江港沖の月別平均値（4 月：0.40mg/L）より、やや濃度が高くなっている。

6) 全リン (TP)

TP は 0.08～0.12mg/L の範囲で分布し、全地点で、環境基準 (0.01mg/L 以下) を超過している。なお、定点沖側 H-6 の TP は 0.100mg/L であり、新杉江港沖の月別平均値（4 月：0.027mg/L）より、かなり濃度が高くなっている。

7) 電気伝導度 (EC)

EC は、大部分の地点において概ね 17～18mS/m であるが、ハス残存地点 A-3 はやや EC が高く、22.8mS/m である。

8) 透視度

透視度は地点間のばらつきが大きく、ハス消滅地点 H-2 が 25cm と最も透視度が低く、ハス残存地点 A-3 が 48cm と最も高い透視度となっている。

2. ハス群落消滅定点 2 地点における月別水質の過年度との対比

過年度の「ヨシ群落生態調査」では、1997 年 5 月、8 月、9 月、10 月、12 月に定期水質調査を実施している。したがって、ハス群落消滅定点の H-2 および H-6 の 2 地点において、過年度の定期水質調査結果とハス群落の消滅した 2017 年 4 月の今回調査結果を対比し、当地域の水質の季節変動と過年度調査からの変化について検討した（図 3～10）。

1) 水素イオン濃度 (pH)

過年度調査では、pH は 6.9～7.7 の範囲で変動し、定点沖側 H-6 より、ヨシが繁茂する H-2 の方がやや pH が低い傾向がみられる。

今回調査では H-2 は 8.0、H-6 は 8.1 であり、過年度 5 月と比べ、ややアルカリ側であり、地点間の差はみられない。なお、新杉江港沖では夏季に pH が上昇する傾向があるが、H-2 および H-6 の過年度調査では、そうした傾向は認められない。

2) 溶存酸素量 (DO)

過年度調査では、8月にDOが大きく低下し、定点沖側のH-6より、ヨシが繁茂するH-2の方がややDOが低い傾向がみられる。8月のDO低下は、ハス繁茂による光合成阻害や水の循環阻害により、貧酸素状態が生じたものと推測される。

今回調査は過年度調査の1997年5月よりDOはやや高く、H-2、H-6共に10mg/Lを超えており、概ね飽和～過飽和の状態である。

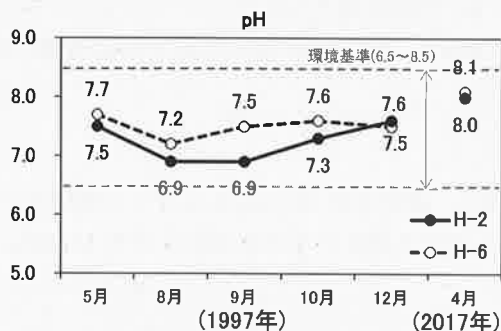


図3. 過年度調査結果との対比 (pH).

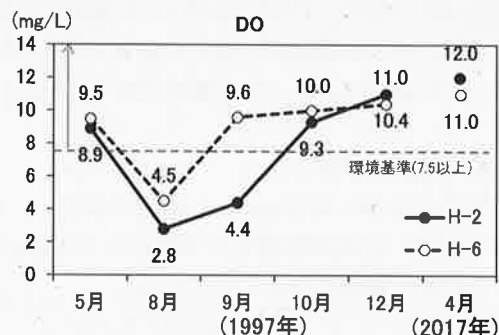


図4. 過年度調査結果との対比 (DO).

3) 生物化学的酸素要求量 (BOD)

過年度調査では、BODは1.1～6.6mg/Lの範囲で変動し、8月および12月にBODが低下する傾向がみられるが、地点間の差異はほとんどみられない。今回調査ではH-2は3.4mg/L、H-6は3.1mg/Lであり、過年度の5月と比べてBOD濃度は低下している。

4) 化学的酸素要求量 (COD)

過年度調査では、CODは3.9～8.7mg/Lの範囲で変動し、8月および12月にCODが低下する傾向がみられ、また、地点間の差異はほとんどない。今回調査ではH-2は4.6mg/L、H-6は4.9mg/Lであり、過年度の5月と比べ、COD濃度は低下している。

なお、新杉江港沖では夏季にCODが上昇する傾向があるが、H-2およびH-6の過年度調査では、そうした傾向は認められない。

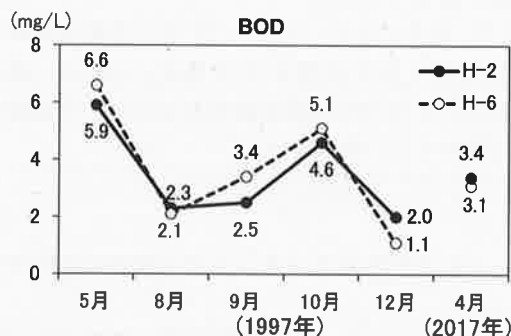


図5. 過年度調査結果との対比 (BOD).

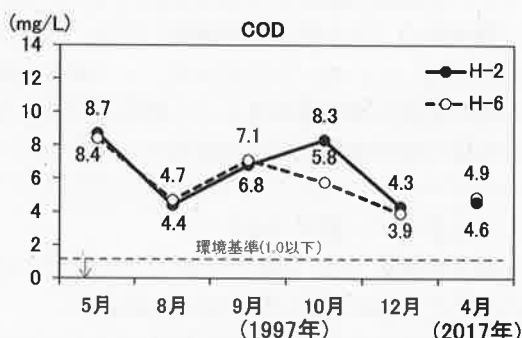


図6. 過年度調査結果との対比 (COD).

5) 全窒素 (T-N)

過年度調査では、T-N は $0.82 \sim 1.98 \text{mg/L}$ の範囲で変動し、9月にT-Nが大きく上昇している。また、9月を除くと沖側のH-6より、ハスが繁茂するH-2の方がやや濃度が低い傾向がみられる。今回調査では、H-2は 0.41mg/L 、H-6は 0.47mg/L であり、過年度の5月と比べ、T-N濃度はかなり低下している。

6) 全リン (T-P)

過年度調査では、H-2の5月のT-P濃度が極めて高いが、他は概ね $0.100 \sim 0.200 \text{mg/L}$ の範囲で変動している。今回調査ではH-2は 0.095mg/L 、H-6は 0.100mg/L であり、過年度調査結果と概ね同等の濃度である。

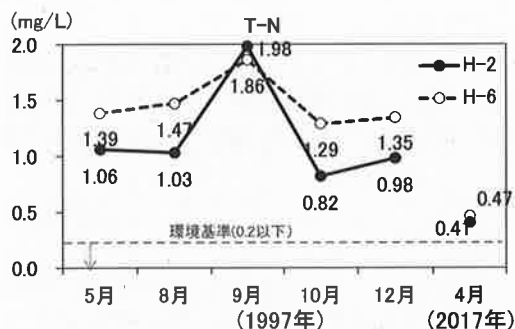


図 7. 過年度調査結果との対比 (T-N).

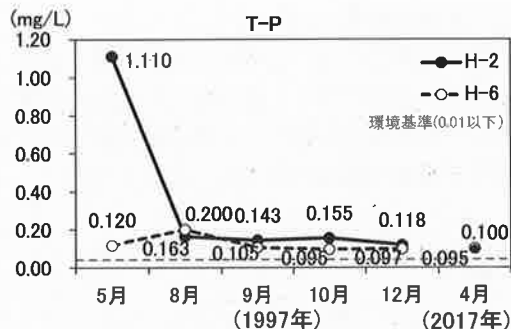


図 8. 過年度調査結果との対比 (T-P).

7) 電気伝導度 (EC)

過年度調査では、8月にECが低下しているが、他は概ね $20 \sim 23 \text{mS/m}$ の範囲である。今回調査ではH-2は 17.9mS/m 、H-6は 17.3mS/m であり、過年度の5月と比べ、ややECが低下している。

8) 透視度

過年度調査の透視度は、地点間のばらつきが大きいですが、今回調査ではH-2は 25cm 、H-6は 30cm とほぼ同程度の透視度である。また、過年度の5月と比べて、両地点の透視度はやや高くなっている。

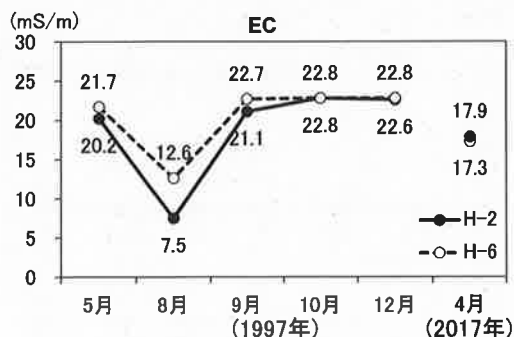


図 9. 過年度調査結果との対比 (EC).

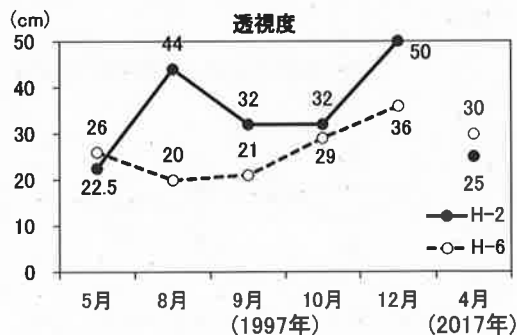


図 10. 過年度調査結果との対比 (透視度).

3. ハス群落消滅定点 6 地点における水質の過年度との対比

ハス群落消滅定点 H-1～H-6 の 6 地点における水質調査は、過年度の「ヨシ群落生態調査」では 1997 年 8 月の夏季に実施されている。季節は異なるが、過年度の夏季調査結果と 2017 年 4 月の今回調査結果を対比し、ハス群落消滅定点 6 地点における水質の濃度分布とその変化について検討した (図 11～19)。

1) 水素イオン濃度 (pH)

今回調査結果は、過年度調査結果と比べ、pH は全体的にややアルカリ側である。また、pH の濃度分布傾向は概ね同様である。

2) 溶存酸素量 (DO)

過年度調査では、全体的に DO 濃度が低く、貧酸素の状態にあるが、今回調査結果は、全体的に DO 濃度が高く、概ね飽和～過飽和状態となっている。過年度調査の DO 低下は、ハス繁茂による光合成阻害や水の循環阻害により、貧酸素状態が生じたものと推測される。DO の濃度分布傾向は概ね同様であるといえる。

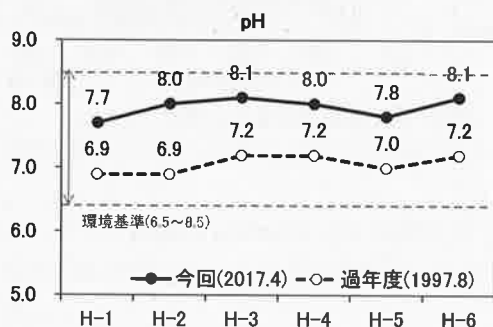


図 11. 過年度調査結果との対比 (pH).

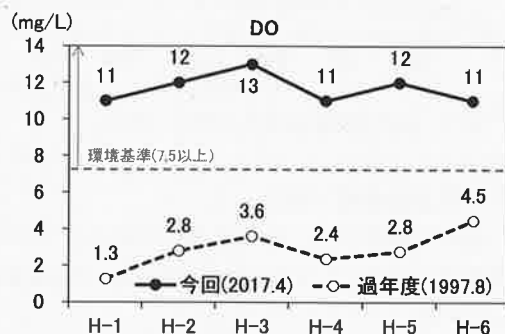


図 12. 過年度調査結果との対比 (DO).

3) 生物化学的酸素要求量 (BOD)

今回調査結果の BOD は、ハス群落消滅定点 6 地点において若干の差異はあるが、概ね過年度調査と同程度の濃度である。

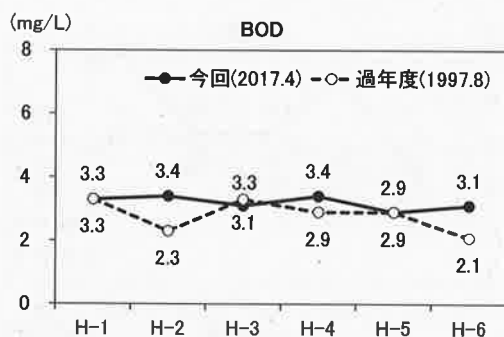


図 13. 過年度調査結果との対比 (BOD).

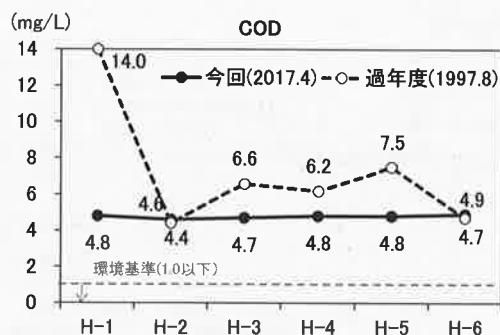


図 14. 過年度調査結果との対比 (COD).

4) 化学的酸素要求量 (COD)

過年度調査では H-1 の COD が極めて高く、地点間の変動が大きい。一方、今回調査の COD 濃度の分布はほぼ一様であり、全体的に過年度調査と比べて濃度が低下している。

5) 全窒素 (T-N)

T-N は、過年度調査では地点間のばらつきが大きい、今回調査結果ではほとんど同程度の濃度で分布し、過年度調査と比べて濃度が低下している。

6) 全リン (T-P)

T-P は T-N と同様に、過年度調査では地点間のばらつきが大きい、今回調査は概ね一様に分布し、過年度調査と比べて濃度が低下している。

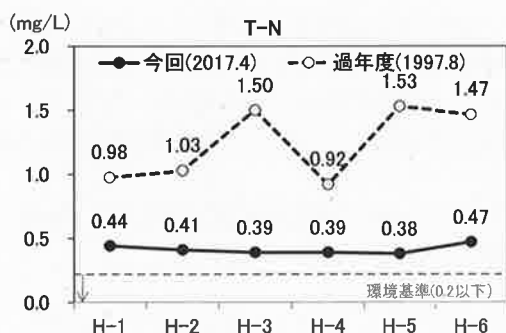


図 15. 過年度調査結果との対比 (T-N).

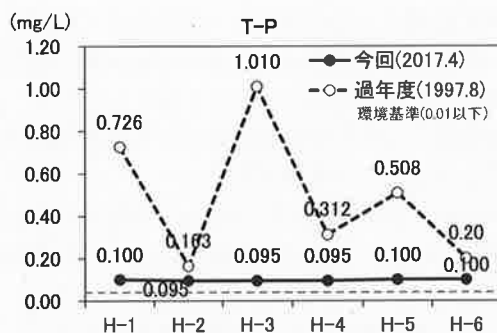


図 16. 過年度調査結果との対比 (T-P).

7) 電気伝導度 (EC)

今回調査結果の EC は、過年度調査より全地点でやや高いが、分布傾向については似た傾向を示している。

8) 透視度

過年度調査の透視度は、地点間のばらつきが大きい、今回調査は 30cm 前後であり、ほとんど同じような分布傾向となっている。

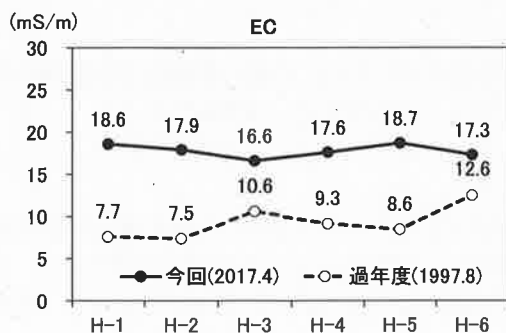


図 17. 過年度調査結果との対比 (EC).

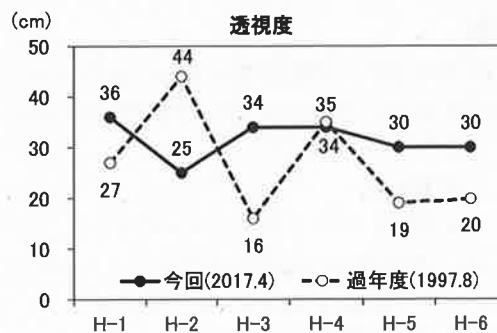


図 18. 過年度調査結果との対比 (透視度).

4. 水質について

1) 赤野井湾の水質

調査区域は赤野井湾内に位置し、特に閉鎖性が強い水域である。このため、調査区域の水質は、公共用水域測定地点の新杉江港沖の水質と比べて、COD, T-N, T-P の濃度が高く、また、環境基準を大きく超過することから、富栄養化が進行した水域と考えられる。

一方、1997 年度の「ヨシ群落生態調査」で実施した定期水質調査および夏季集中調査結果と比べ、今回調査結果は、COD, T-N, T-P 濃度が低下しており、水質がやや改善されている可能性がある。

赤野井湾は、2006 年度から 2010 年度までの「琵琶湖に係る湖沼水質保全計画（第 5 期）」により、湖沼水質保全特別措置法（昭和 59 年法律第 61 号）第 25 条に基づく流出水対策地区に指定されている。そして「赤野井湾流域流出水対策推進計画」に基づき、市街地や農地などの面的な発生源からの流入負荷削減が取り組まれている（滋賀県、2019）。また、ハス群落消滅定点 H-1～H-6 は堺川の樋門付近に位置するが、2010 年に流入河川対策として山賀川・堺川の内湖拡幅が実施されており（滋賀県、2014）、調査区域への栄養塩類等の流入負荷が過年度調査時より削減されていると考えられる。したがって、過年度調査からの COD, T-N, T-P の改善は、こうした栄養塩類の流入負荷削減の効果による影響とともに、ハス群落消滅による影響もあるものと推測される。

なお、赤野井湾での物質収支の試算結果が報告されており（滋賀県琵琶湖研究所、2002）、赤野井湾は、T-N は流出傾向、T-P は蓄積傾向にあるとされている。

2) ハス消滅地点とハス残存地点の水質

ハス群落消滅定点（H-1～H-6）とハス残存群落地点（A-1～A-3）の水質は、地点間で多少のばらつきはあるものの、概ね同様の水質である。

pH は全ての地点が pH8 前後である。H-1～H-3, H-6 の測線では、沖に行くに従い pH が上昇する傾向がみられるが、湖沼において一般的にみられる pH の範囲であり、明確な差異は認められない。

DO は、全ての地点が概ね飽和～過飽和の状態であり、過年度 8 月調査にみられる、溶存酸素量の著しい低下は認められない。

COD, T-N, T-P は、多少のばらつきはあるが概ね同程度の水質であり、ハス消滅地点（H-1～H-6）とハス残存地点（A-1～A-3）で明確な濃度差は確認されない。

底質

底質調査は、調査対象水域におけるハスの生育環境条件として、底質の有機物含有量等の化学的性質および含水率等の物理的性質を明らかにすることを目的として実施した。

1. 調査結果

今回調査における調査地点の底質は、ハス群落消滅定点の沖側（H-6）を除き還元状態であるが、1997 年 10 月の過年度の「ヨシ群落生態調査」の底質と比べて、やや好氣的である。また、ハス残存群落地点（A-1～A-3）は、ハス群落消滅定点（H-1～H-3, H-6）と比べて、全炭素、全窒素、強熱減量が低い傾向がみられる（表 5）。

表 5. 底質調査結果.

区分 調査地点	ハス群落消滅定点				ハス残存群落			オオバナミズキンバイ 群落	
	H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
酸化還元電位 ORP (mV)	-33	-40	-92	130	-121	-76	-127	-82	-75
全炭素 T-C (%)	1.50	0.45	1.40	1.20	0.51	0.45	0.65	2.10	1.90
全窒素 T-N (%)	0.12	0.04	0.11	0.11	0.04	0.04	0.06	0.21	0.16
全リン T-P (%)	0.04	0.02	0.07	0.04	0.04	0.03	0.12	0.13	0.02
硫化物 (mg/g)	0.11	0.28	0.12	0.01	0.02	0.03	0.25	0.11	0.06
水素イオン濃度 pH	6.5	6.7	6.7	6.7	6.8	6.9	6.7	6.7	6.3
強熱減量 (%)	9.7	6.8	11.0	10.0	4.6	7.2	6.7	11.0	15.0
含水率 (%)	56	40	50	54	32	44	41	60	68
C/N 比	12.5	11.3	12.7	10.9	12.8	11.3	10.8	10.0	11.9

注) 全炭素, 全窒素, 全リンは, 過年度調査に準じて濃度を重量% (試料 1g 当たりの含有量=g/g) で示した.

1) 酸化還元電位 (ORP)

ハス群落消滅定点沖側の H-6 は酸化状態であり, 他地点は還元状態である. また, 概してハス消滅地点では ORP が高く, ハス残存地点とオオバナミズキンバイ群落地点で低い傾向がみられる.

2) 全炭素 (T-C)

底質の T-C は, ハス群落消滅定点 (H-1~H-3, H-6) と比較して, ハス残存群落地点 (A-1~A-3) は低く, オオバナミズキンバイ群落地点 (B-1, B-2) は高い傾向がみられる.

3) 全窒素 (T-N)

底質の T-N は, T-C と同様に, ハス消滅地点と比較して, ハス残存地点は低く, オオバナミズキンバイ群落地点は高い傾向がみられる.

4) 全リン (T-P)

底質の T-P は 0.02~0.13% の範囲にあり, ハス消滅地点の濃度は相対的に低い傾向がみられる.

5) 硫化物

底質の硫化物は 0.01~0.28 mg/g とばらつきが大きく, 地点間で明確な傾向はみられない.

6) 水素イオン濃度 (pH)

底質の pH は全地点ほぼ同様の値で, pH6~7 の中性~弱酸性である.

7) 強熱減量

底質の強熱減量は, ハス残存地点で低く, オオバナミズキンバイ群落地点でやや高い傾向に

ある。

8) 含水率

底質の含水率は、ハス残存地点で低く、41～68%の範囲であるが、オオバナミズキンバイ群落地点ではやや高い傾向にある。

9) C/N 比

底質の C/N 比は、全地点が 10.0～12.8 の範囲にあり、ほぼ同様の値である。

2. 過年度調査結果との対比

ハス群落消滅定点の H-1～H-3 と H-6 の 4 地点において、過年度の「ヨシ群落生態調査」では、1997 年 10 月に H-1～H-6 測線を対象とした底質調査が実施されている。したがって、ハス群落消滅定点 4 地点における過年度調査結果と 2017 年 4 月の今回調査結果を対比し、ハス群落消滅定点の 4 地点における底質の濃度分布とその変化について検討した（図 19～27）。

1) 酸化還元電位（ORP）

今回調査の底質の酸化還元電位は、全地点で、過年度調査よりも酸化側となっており、過年度よりやや好氣的である。

2) 全炭素（T-C）

底質の T-C は、過年度調査では高濃度であった H-1、H-2 の濃度が低下し、今回調査では全地点が 1%前後である。

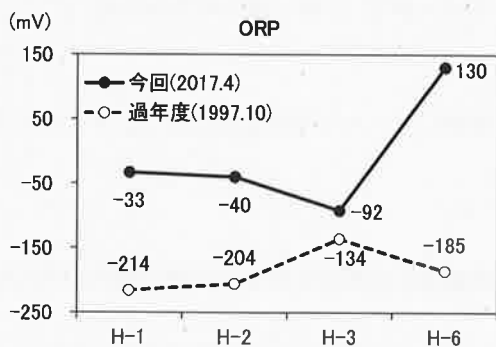


図 19. 過年度調査結果との対比（ORP）。

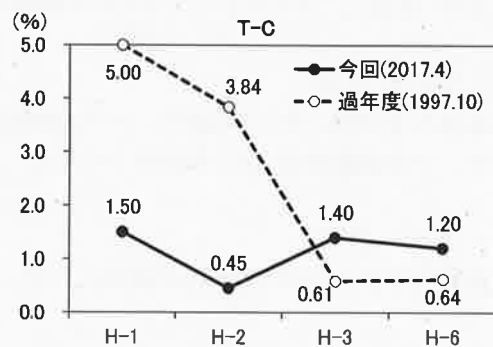


図 20. 過年度調査結果との対比（T-C）。

3) 全窒素（T-N）

底質の T-N も、T-C と同様に、過年度調査では高濃度であった H-1、H-2 の濃度が低下し、今回調査では全地点が 0.1%程度である。

4) 全リン（T-P）

底質の T-P は、T-C、T-N と同様に、過年度調査では高濃度であった H-1、H-2 の濃度が低下し、今回調査では全地点が 0.05%程度である。

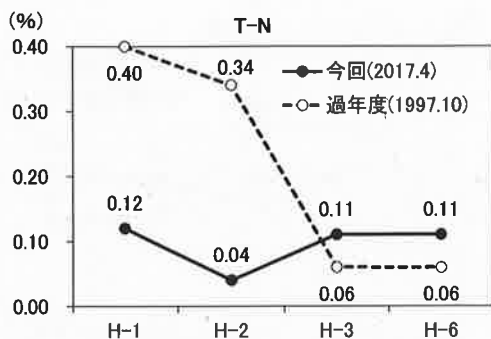


図 21. 過年度調査結果との対比 (T-N).

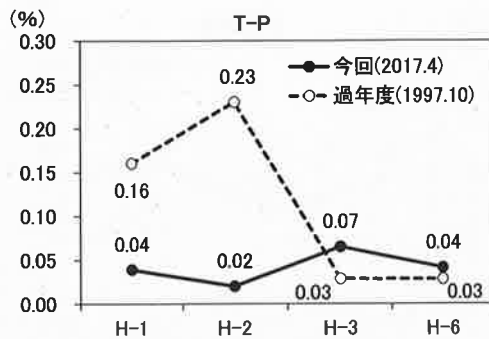


図 22. 過年度調査結果との対比 (T-P).

5) 硫化物

底質の硫化物は、H-6 を除いて、今回調査は過年度調査よりも全地点で濃度が低下し、全地点が 0.3mg/g 以下である。

6) 水素イオン濃度 (pH)

今回調査の底質の pH については、過年度調査と同様に、全地点が中性～弱酸性である。

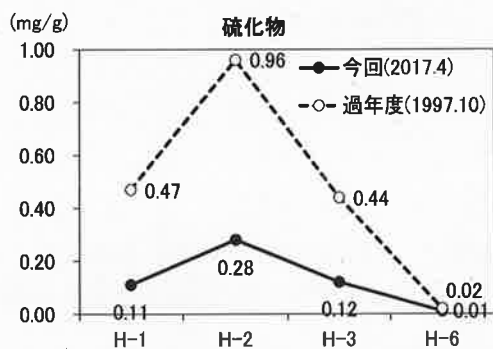


図 23. 底過年度調査結果との対比 (硫化物).

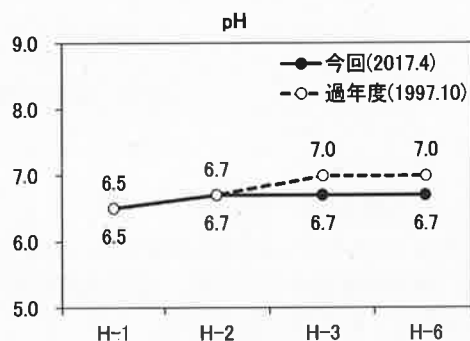


図 24. 過年度調査結果との対比 (pH).

7) 強熱減量

今回調査の強熱減量については、過年度調査と比較して、H-1, H-2 の強熱減量が低下し、反対に H-3, H-6 は上昇している。

8) 含水率

今回調査の底質の含水率は、全地点が 50%前後となっている。一方、過年度調査と比較して、強熱減量と同様に H-1, H-2 の含水率は低下し、H-3, H-6 は上昇している。

9) C/N 比

過年度調査と比較して、今回調査の底質の C/N 比はさほど変化せず、全地点が 11~12 前後である。

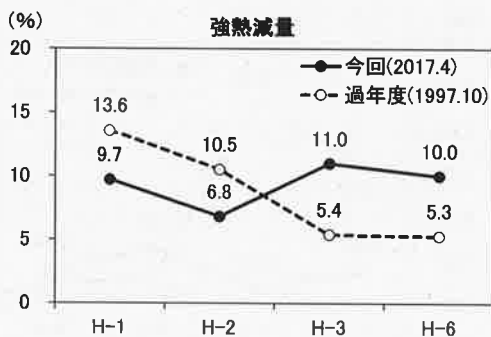


図 25. 過年度調査結果との対比 (強熱減量).

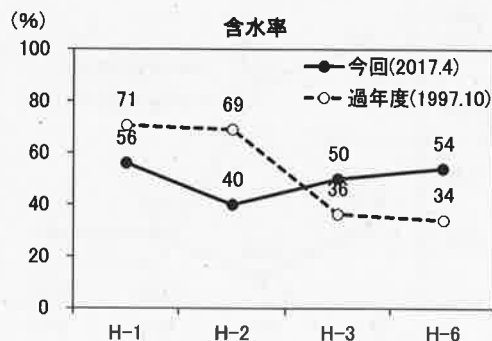


図 26. 過年度調査結果との対比 (含水率).

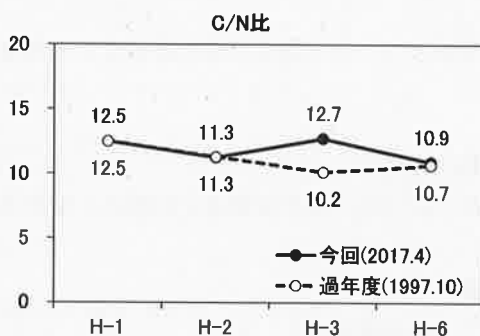


図 27. 過年度調査結果との対比 (C/N比).

3. 底質について

1) 酸化還元電位 (ORP)

2017年4月の今回調査結果では、調査区域の底質はハス群落消滅定点沖側のH-6を除く全ての地点が嫌氣的であるが、1997年10月の過年度底質調査時と比べると酸化還元電位が全体的に高く、やや好氣的である。

こうした差が生じた要因として、ハスの繁茂の有無が関係していることが考えられる。ハス等の抽水植物や浮葉植物が繁茂すると、光量減少によって植物プランクトン等の光合成や湖水の通水・循環が阻害され、湖底付近の溶存酸素濃度が低下することがある。過年度の1997年10月に実施した水質定期調査では溶存酸素量の低下はみられないが、8月調査では溶存酸素量の大幅な低下が確認されており、ハスの繁茂する夏季～秋季にかけて、湖底付近が貧酸素状態の時期があったことが推測される。

2) 全炭素 (T-C), 全窒素 (T-N), 全リン (T-P)

過年度調査では、陸地側地点(H-1, H-2)はT-C, T-N, T-Pの濃度が高く、沖側地点(H-3, H-6)は濃度が低い傾向がみられることから、陸地側は有機物や栄養塩類が多く堆積し、沖側は湖水流動の影響等により堆積が小さいと推測していた。しかし、今回調査では、H-1～H-3, H-6の全地点でT-C, T-N, T-P濃度は概ね一様であり、過年度調査の沖側(H-3, H-6)と同程度の濃度であった。

こうした変化が生じた要因としては、陸地側の表層堆積物が今回調査以前に出水や湖水流動、

波浪等により流出したことが考えられる。また、H-1 および H-2 は堺川樋門付近に位置するため、山賀川・堺川内湖拡幅による河川流入負荷の低減が関係していることが考えられる。

3) 硫化物

赤野井湾のような嫌気的な環境では、有機物の嫌気性分解により硫黄イオンが遊離し、硫化水素が発生するほか、金属等と結合して硫化物として堆積する。過年度調査では、ハス群落消滅地点沖側の H-6 は濃度が低く、陸地側は相対的に濃度が高い傾向がみられた。今回調査では、沖側の H-6 は過年度調査と同様の濃度であるが、H-1～H-3 は過年度調査の約 1/4 程度と大きく濃度が低下している。赤野井湾の硫化物は植物枯死体等の有機物由来と考えられるため、濃度低下が生じた理由は、T-C、T-N、T-P と同様、出水や湖水流動、波浪等により表層堆積物が流出した可能性が考えられる。

4) 強熱減量と含水率

強熱減量は約 600℃で燃焼・揮発する物質質量で、含水率は汚泥に占める水分の割合を示したものであり、共に有機汚濁の指標として用いられる。今回の調査結果では、強熱減量および含水率は、H-2、A-1 がやや低く、B-1、B-2 がやや高い傾向がみられる。T-C も概ね同様の傾向がみられることから、B-1、B-2 は他地点と比べ、やや有機汚濁が進行しているが、これはオオバナミズキンバイの枯死体の堆積の影響が考えられる。

5) C/N 比

C/N 比は、底泥中の炭素と窒素の含有率の比であり、底泥中の有機物の無機化の進行程度や分解の難易の目安となると考えられている。今回調査の C/N 比は、全地点とも 11～12 前後と地点間の差異はほとんどなく、また、過年度調査とほぼ同様の値である。

6) ハス消滅地点とハス残存地点の底質の特徴

底質の好気・嫌気の指標となる酸化還元電位と底質中の有機物量の指標となる T-C の散布図（図 28）から、ハス残存地点は酸化還元電位が低く、ハス消滅地点と比べて嫌気的であるが、底質中の有機物量は少ない傾向がみられる。また、オオバナミズキンバイ群落地点はハス消滅地点と比べてやや嫌気的であり、底質中の有機物量も多い傾向がみられる。

酸化還元電位と有機物の嫌気性分解に伴い生成する硫化物の散布図（図 29）では、明確な傾向は認められない。

栄養塩類である T-N と T-P の散布図（図 30）では、A-3、H-2 の例外はあるが、ハス残存地点はハス消滅地点と比べ、やや底質中の栄養塩類が少ない傾向がみられる。サンプル数は少ないが、オオバナミズキンバイ群落地点は、B-2 地点の T-P 濃度が低く、ハス消滅地点と比べて栄養塩類濃度が高い可能性がある。

以上より、ハス残存地点はハス消滅地点と比べて嫌気的で、有機物および栄養塩類の堆積はやや少ない。また、オオバナミズキンバイ群落地点は、ハス消滅地点と比べて嫌気的で、有機物および栄養塩類の堆積がやや多い。一方、ハス消滅地点については、他地点と比べて好气的であり、有機物および栄養塩類の堆積はハス残存地点よりやや多く、オオバナミズキンバイ群落地点よりやや少ない。

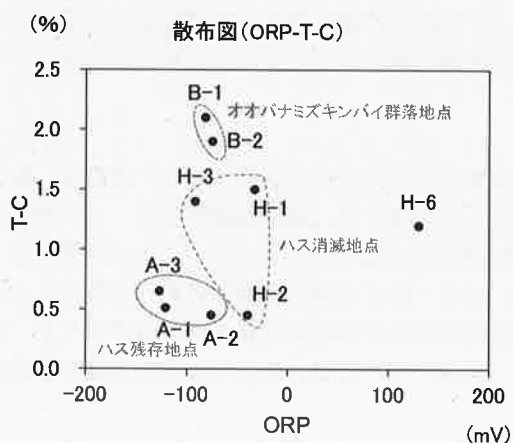


図 28. 酸化還元電位と T-C の散布図.

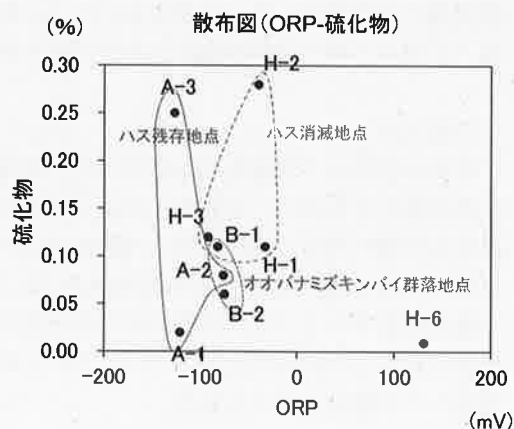


図 29. 酸化還元電位と硫化物の散布図.

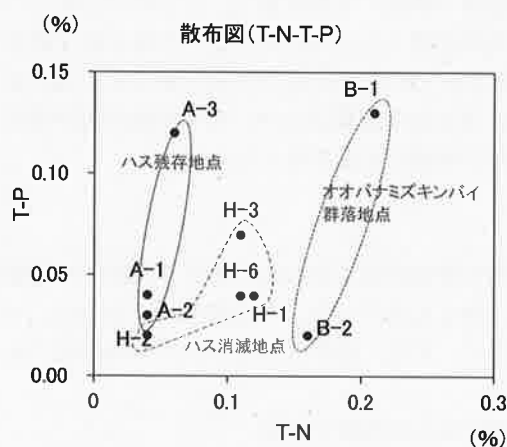


図 30. T-N と T-P の散布図.

底泥ガス・泥温・酸化還元電位

調査対象水域におけるハスの生育環境条件として、底泥のガス含有量と泥温、酸化還元電位を調査し、1998 年 7 月の過年度調査結果と比較・検討することを目的とした。

1. 調査結果

底泥ガス調査は、まず H-1～H-3, H-6, A-1～A-3, B-1, B-2 の 9 地点において柱状採泥コアの採取を行い、柱状採泥コアから 2 試料を採取して、メタンガスと硫化水素のガス分析を行った。9 地点のメタンガスと硫化水素の分析結果とその他の測定値は表 6 のとおりである。

1) メタンガス

底泥中のメタンガスの平均濃度は、8.4～15.5 μ L/g の範囲であるが、オオバナミズキンバイ群落の B-1 地点の濃度が高く、他の地点は概ね 10～11 μ L/g 前後である。一方、ハス群落消滅定点の H-1～H-3 と定点沖側の H-6 の 4 地点のメタンガス平均濃度はほぼ一様であるが、ハス

残存群落地点の A-2 と A-3 は、ハス消滅地点と比べて、やや濃度が低くなっている。

表 6. 底泥ガス調査結果.

調査地点	ハス群落消滅地点				ハス残存群落			オオハス・ミズギク・ハス 群落	
	H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
泥温 (°C)	15.2	14.8	14.1	14.7	13.1	15.5	16.5	14.8	14.5
酸化還元電位 ORP (mV)	-33	-40	-92	130	-121	-76	-127	-82	-75
試料①	採取深度 (m)	0.35	0.10	0.25	0.25	0.20	0.15	0.10	0.15
	メタン (μL/g)	13.0	15.0	10.0	13.0	12.0	8.8	11.0	10.0
	硫化水素 (μL/g)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
試料②	採取深度 (m)	0.40	0.40	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.22
	メタン (μL/g)	8.6	6.6	13.0	10.0	11.0	7.9	8.6	17.0
	硫化水素 (μL/g)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
平均	採取深度 (m)	0.38	0.25	0.25	0.25	0.20	0.18	0.15	0.19
	メタン (μL/g)	10.8	10.8	11.5	11.5	11.5	8.4	9.8	15.5
	硫化水素 (μL/g)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2) 硫化水素

底質中の硫化水素濃度は、全地点で定量下限未満 (0.001μL/g) である。

2. 過年度調査結果との対比

1) メタンガス

今回調査では、H-1～H-6 測線のメタンガス濃度は概ね 11μL/g で一様に分布しており、過年度調査と比べて、約 5～8 倍のメタンガスが検出されている (図 31)。

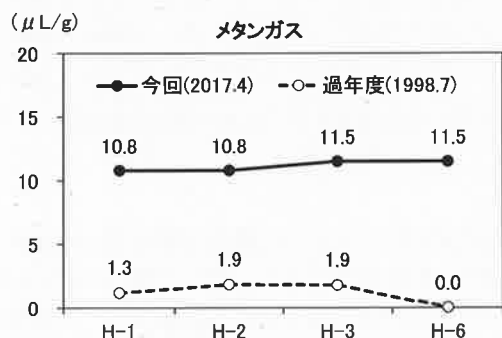


図 31. 過年度調査結果との対比 (メタンガス)。

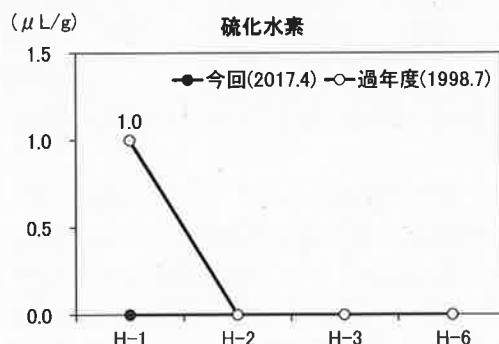


図 32. 過年度調査結果との対比 (硫化水素)。

2) 硫化水素

過年度調査では、H-1 では 1.0μL/g の硫化水素が検出されたが、他の H-2, H-3, H-6 の 3 地点では定量下限未満 (<0.05μg/L) であった。今回調査では、全地点において定量下限未満

(<0.001 $\mu\text{g/L}$) であった (図 32)。

なお、過年度調査ではヨシ群落とハス群落に対して、計 15 地点で調査を行い、6 地点で硫化水素が検出されていたが、ハス群落内で検出されたのは H-1 のみであり、他はヨシ群落内およびヨシ・ハス群落境界付近の地点であった。

3. 底泥ガスについて

1) ハス消滅地点とハス残存地点のメタンガス濃度

有機物は、炭素、水素、酸素、窒素、硫黄等を成分とし、好氣的条件では二酸化窒素、水、アンモニウムイオン、硫酸イオン等に好気性分解され、嫌氣的条件では、最終的にメタン、アンモニア、硫化水素等に嫌気性分解される。底泥内では溶存酸素の供給が少ないため、有機物は主に嫌気性分解されると考えられる。また、有機物の分解に際し、硫酸還元菌により硫酸塩が硫化物イオンに還元され、硫化水素や硫化物を生成する。

湖底の好気・嫌気の指標となる酸化還元電位とメタンガス濃度の散布図 (図 33) から、今回調査の酸化還元電位とメタンガス濃度に相関関係はみられない。また、底質中の有機物量の指標となる T-C とメタンガス濃度の散布図 (図 34) から、T-C とメタンガス濃度についても相関関係はみられない。

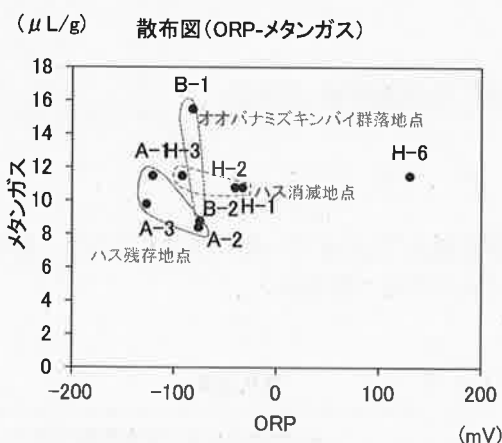


図 33. 酸化還元電位とメタンガス濃度の散布図。

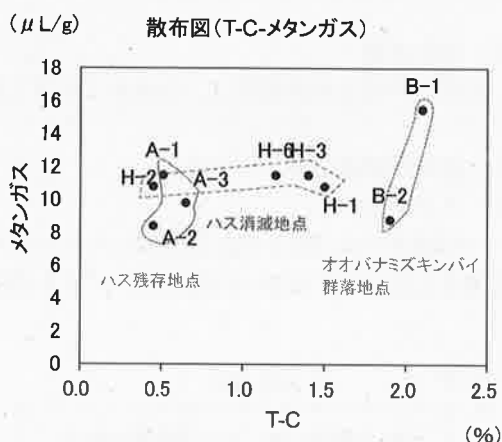


図 34. T-C 濃度とメタンガス濃度の散布図。

2) 過年度調査からのメタンガス濃度の変化

1998 年 7 月の過年度調査および 2017 年 4 月の今回調査のメタンガス濃度と酸化還元電位の散布図 (図 35) から、過年度調査時の底質は比較的好氣的な環境であり、概して電位が低いほどメタンガス量が多いという傾向が認められる。今回調査時の底質は過年度調査と比べて嫌氣的であり、約 5~8 倍のメタンガス濃度が検出された。また、過年度調査ではメタンガスがほとんど検出されなかった H-6 でも、他地点と同程度のメタンガスが検出された。

底泥中のメタンガス濃度は、調査事例がほとんどなく、こうした変化が生じた原因は现阶段では明らかでないが、枯死した地下茎の腐食分解の影響や、底質環境がより嫌氣的であったことが影響していると考えられる。

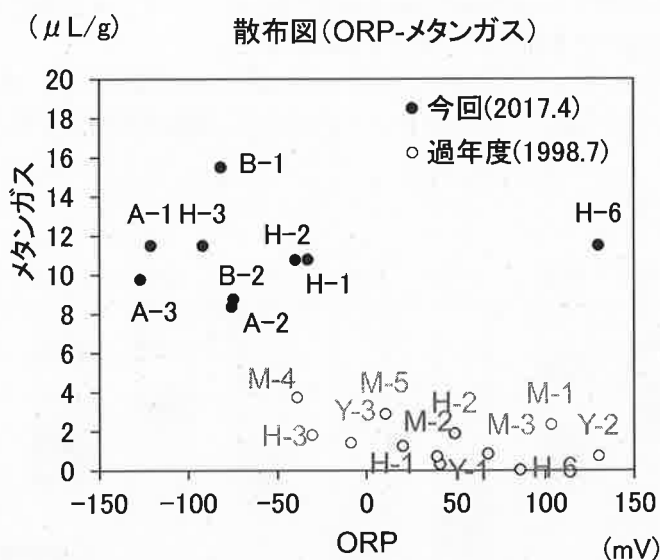


図 35. 過年度と今回調査の酸化還元電位とメタンガス濃度の散布図。

(過年度調査；Y：ヨシ群落内，H：ハス群落内，M：ヨシ・ハス境界)。

3) 過年度調査からの硫化水素濃度の変化

硫化水素は、湖底に堆積した有機物の嫌気性分解により生成される。過年度の「ヨシ群落生態調査」では、主にヨシ群落やヨシ・ハス群落境界付近で硫化水素が検出され、ハス群落内の3地点で調査が行われたが、硫化水素が検出されたのはヨシ群落側に位置する H-1 のみであった。また、ハス群落と硫化水素の関係についても明確な傾向等は確認されなかった。

今回調査では、H-1 を含む全ての地点で硫化水素は検出されなかった(表 6)。硫化水素が検出されなかった要因としては、泥温が過年度調査の約 25℃と比べて、今回調査は 14℃前後と低く、硫酸還元菌の増殖に適した環境ではなかったことが考えられる。

水深・泥深

調査対象水域におけるハスの生育環境条件として、水深と泥深である底泥厚を把握することを目的として、ハス群落消滅定点の H-1～H-3、H-6 とハス残存群落地点の A-1～A-3、それにオオバナミズキンバイ群落地点の B-1 と B-2 について調査を実施した。

1. 調査結果

2017 年 4 月の今回調査における調査地点の底泥厚は概ね 0.3～0.7m の範囲であり、堺川排水樋門の正面に位置する H-3 および A-3 が最も底泥が厚く、底泥厚は H-3 が 0.65m、A-3 が 0.66m である。最も底泥が薄い地点は A-2 であり、底泥厚は 0.29m となっている。他の地点の底泥厚は概ね 0.5～0.6m である(図 36)。

2. 過年度調査結果との対比

ハス群落消滅定点 H-1～H-3、H-6 について、2017 年 4 月の今回調査と 1997 年 8 月の過年

度の調査における水深および底泥厚の調査結果を図 37 に示す。今回調査結果は、過年度調査結果と比べて、全体的に底泥厚が小さくなっている。

また、陸側の H-1, H-2 の水深の変化は数 cm 程度だが、沖側の H-3, H-6 では、水深が 30～50cm ほど深くなっており、H-3 および H-6 地点は、湖底の地盤高が低下していると考えられる。

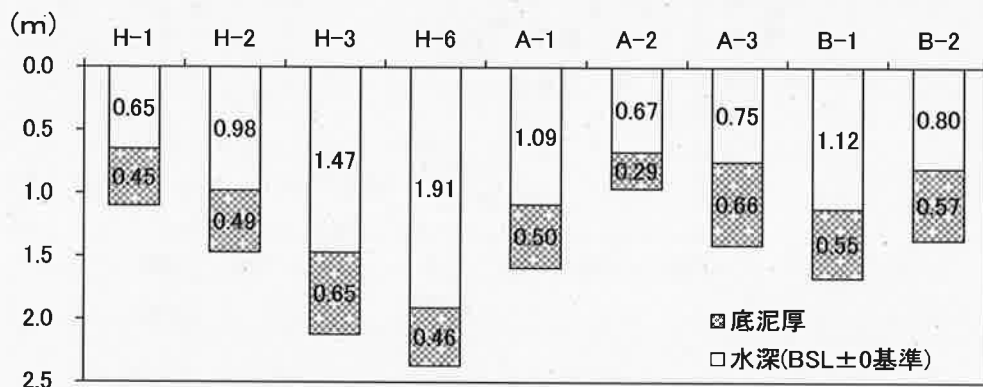


図 36. 水深・底泥厚調査結果.

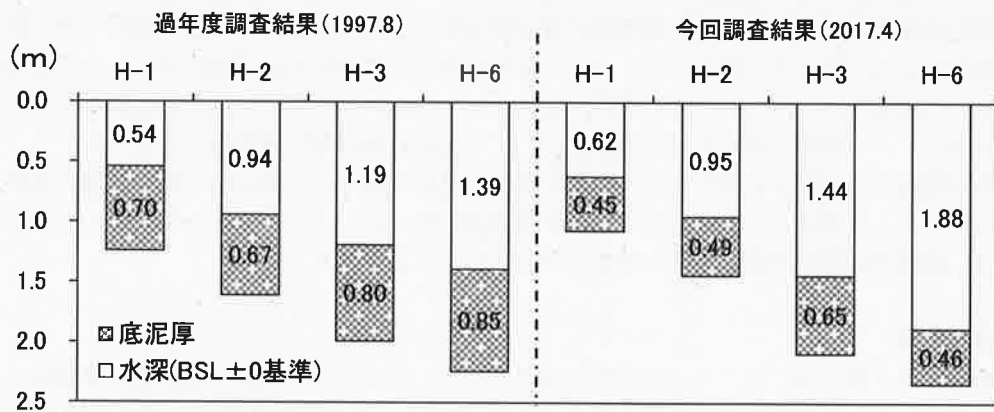


図 37. 水深・底泥厚調査結果の対比.

3. 水深・泥深について

過年度調査の「ヨシ群落生態調査報告書」では、ハス群落の底泥厚は 70～80cm 程度が平均的で、この上部域 15～30cm の範囲にハスが地下茎を伸ばしている、と指摘している。今回調査では、ハス消滅地点 (H-1～H-3, H-6) の底泥厚は 45～65cm、ハス残存地点は 29～66cm、オオバナミズキンバイ群落地点は 55～57cm であり、A-2 地点を除くと底泥厚は概ね 50～60cm 前後である。過年度調査結果と比べると、ハスが地下茎を伸ばしている底泥厚の上部域が 15～39cm ほど薄くなっている。こうした変化がハス群落の消滅に強く影響したことが考えられる。

一方、底泥厚が薄くなった要因としては、湖水流動や波浪により底泥が巻き上げられ流出した可能性が考えられる。また、「琵琶湖・淀川里の川をめぐる 赤野井湾と流入河川」(琵琶湖・淀川水質保全機構ほか, 2013) のなかでは、H-3 から沖側の H-6 付近は 1999 年の浚渫区域内に該当していることから、浚渫による湖底の地盤高の低下の影響も考えられる。

底泥硬度

調査対象水域におけるハスの生育環境条件として、底泥の物理的特性を把握することを目的として、ハス群落消滅地点 H-1~H-3, H-6 とハス残存群落地点の A-1~A-3, それにオオバナミズキンバイ群落地点の B-1 と B-2 について調査を実施した。

1. コーン貫入抵抗測定結果

ポータブルコーン貫入試験による底泥硬度(貫入抵抗)測定結果を表 7 に示す。H-3, H-6, A-2, B-1, B-2 の 5 地点は深度に応じて比較的緩やかに貫入抵抗が上昇している。H-1, H-2 は一定の深さまで貫入抵抗は概ね横這いに推移し、最深部では急激に貫入抵抗が上昇している。A-1, A-3 は深い深度まで貫入抵抗の変化が緩やかである。

表 7. 底泥硬度(貫入抵抗)測定結果.

調査地点	ハス群落消滅地点				ハス残存群落			オオバナミズキンバイ群落	
	H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
水深(計測値) (m)	0.68	1.01	1.50	1.94	1.12	0.70	0.78	1.15	0.83
水深(BSL±0 基準) (m)	0.65	0.98	1.47	1.91	1.09	0.67	0.75	1.12	0.80
底泥厚(泥深) (m)	0.45	0.49	0.65	0.46	0.50	0.29	0.66	0.55	0.57
5 cm	1.4	1.9	2.2	2.1	1.8	2.2	1.4	1.4	2.4
15 cm	1.4	2.4	3.2	2.7	2.3	2.2	1.5	1.7	2.4
25 cm	2.2	4.2	3.7	2.9	2.3	3.3	1.9	1.7	3.8
35 cm	2.2	5.6	4.2	4.6	2.2	3.6	3.6	2.4	5.8
45 cm	2.7	6.6	4.5	4.9	2.6	7.1	2.7	6.6	11.9
55 cm	3.4	6.6	4.6	8.5	4.0	—	4.4	6.9	—
65 cm	3.8	6.6	7.3	9.5	4.4	—	4.4	6.9	—
底泥硬度(貫入抵抗)	75 cm	11.2	6.6	10.3	10.9	5.4	—	4.8	9.7
(kgf/cm ²)	85 cm	—	6.6	—	—	6.2	—	4.8	—
95 cm	—	—	6.6	—	—	5.8	—	5.1	—
105 cm	—	—	6.6	—	—	4.6	—	5.5	—
115 cm	—	—	6.6	—	—	4.5	—	5.5	—
125 cm	—	—	11.9	—	—	5.4	—	5.6	—
135 cm	—	—	—	—	—	4.9	—	7.5	—
145 cm	—	—	—	—	—	4.5	—	8.0	—
155 cm	—	—	—	—	—	—	—	8.3	—
165 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—
泥温 (°C)	15.2	14.8	14.1	14.7	13.1	15.5	16.5	14.8	14.5
酸化還元電位 (mV)	-33	-40	-92	130	-121	-76	-127	-82	-75

2. コンシステンシー区分

「地盤調査の方法と解説」(地盤工学会, 2013) の単管式ポータブルコーン貫入試験によるコーン貫入抵抗(q_c)と一軸圧縮強度(q_u)の関係図(図 38)とコーン貫入抵抗測定結果に基

づいて、一軸圧縮強度の推計値を算出し、コンシステンシー区分（表 8）により底泥の硬さの程度を類型化して調査結果を整理した（表 9）。

ハス群落消滅地点（H-1～H-6 測線）では、表層 5～35cm に「軟らかい」底泥が堆積し、その下に「中くらい」の硬さの層、「硬い」および「非常に硬い」層が分布する。また、「軟らかい」層の層厚は、陸地側で厚く、沖側に行くに従い薄くなる傾向がみられる。なお、H-3、H-6 地点と比べて陸地側に位置するハス残存地点（A-1～A-3）およびオオバナミズキンバイ群落地点（B-1、B-2）の「軟らかい」層の層厚は 15～35cm であり、測線陸地側の H-1 および H-2 地点と同程度の層厚であった。

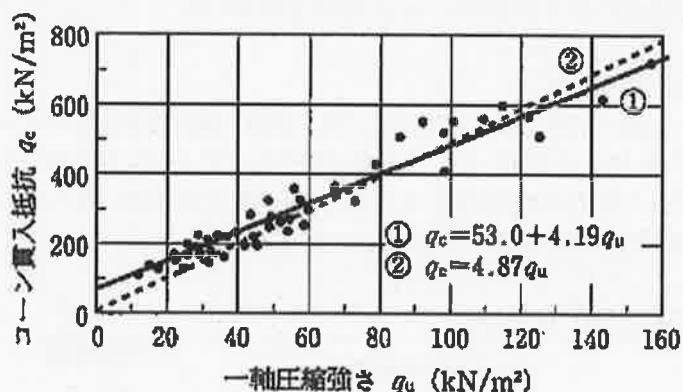


図 38. ポータブルコーン貫入試験による q_c と q_u の関係図。

表 8. 粘性土のコンシステンシー区分（N 値と q_u ）。

コンシステンシー	土質	N 値※	一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)
非常に軟らかい	こぶしが容易に 10 数 cm 入る	～2	～0.25
軟らかい	19φ の鉄筋が容易に 10 数 cm 入る	2～4	0.25～0.5
中くらい	努力すれば 19φ の鉄筋が 10 数 cm 入る	4～8	0.5～1
硬い	親指でへこむが突っ込むのは大変	8～15	1～2
非常に硬い	つめで印が付けられる	15～30	2～4
固結した	つめで印を付けるのが難しい	30～	4～

※N 値：標準貫入試験による地盤の強度等を表す値で、サンプラーを 30cm 貫入させるのに要した打撃回数。N 値が高いほど土が締まっていることを意味する。

3. 底泥硬度分布

ハス群落消滅地点（H-1～H-3、H-6）の底泥硬度分布はばらつきが大きいですが、概ね深度 10～40cm まで「軟らかい」層が分布し、H-2 を除くと、深度 40～70cm 程度まで「中くらい」の硬度の層が分布している。また、「軟らかい」層の層厚は沖側ほど薄い傾向があり、H-1 の層厚は約 40cm であるが、H-3 および H-6 は約 10cm である。

ハス残存群落地点（A-1～A-3）の底泥硬度分布もばらつきが大きく、概ね深度 20～40cm 程度まで「軟らかい」層が分布し、深度 40～70cm 程度まで「中くらい」の層が分布している。ハス消滅地点とハス残存地点の底泥硬度分布はばらつきが大きく、大きな差異はみられない。

表 9. 底泥硬度（貫入抵抗測定値，一軸圧縮強度推計値）の整理.

調査地点		ハス群落消滅地点											
		H-1			H-2			H-3			H-6		
		q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分
測定深度	5 cm	1.4	0.28	軟らかい	1.9	0.40	軟らかい	2.2	0.45	軟らかい	2.1	0.43	軟らかい
	15 cm	1.4	0.28	軟らかい	2.4	0.49	軟らかい	3.2	0.65	中くらい	2.7	0.55	中くらい
	25 cm	2.2	0.46	軟らかい	4.2	0.87	中くらい	3.7	0.77	中くらい	2.9	0.60	中くらい
	35 cm	2.2	0.46	軟らかい	5.6	1.16	硬い	4.2	0.86	中くらい	4.6	0.95	中くらい
	45 cm	2.7	0.56	中くらい	6.6	1.36	硬い	4.5	0.92	中くらい	4.9	1.01	硬い
	55 cm	3.4	0.69	中くらい	6.6	1.36	硬い	4.6	0.94	中くらい	8.5	1.74	硬い
	65 cm	3.8	0.78	中くらい	6.6	1.36	硬い	7.3	1.50	硬い	9.5	1.94	硬い
	75 cm	11.2	2.29	非常に硬い	6.6	1.36	硬い	10.3	2.11	非常に硬い	10.9	2.23	非常に硬い
	85 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	95 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	105 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	115 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	125 cm	—	—	—	11.9	2.44	非常に硬い	—	—	—	—	—	—
	135 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	145 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	155 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	165 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

調査地点		ハス残存群落									オオバナミズキンバイ群落					
		A-1			A-2			A-3			B-1			B-2		
		q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分
測定深度	5 cm	1.8	0.37	軟らかい	2.2	0.46	軟らかい	1.4	0.28	軟らかい	1.4	0.28	軟らかい	2.4	0.49	軟らかい
	15 cm	2.3	0.48	軟らかい	2.2	0.46	軟らかい	1.5	0.31	軟らかい	1.7	0.34	軟らかい	2.4	0.49	軟らかい
	25 cm	2.3	0.48	軟らかい	3.3	0.67	中くらい	1.9	0.40	軟らかい	1.7	0.34	軟らかい	3.8	0.78	中くらい
	35 cm	2.2	0.46	軟らかい	3.6	0.75	中くらい	3.6	0.75	中くらい	2.4	0.49	軟らかい	5.8	1.19	硬い
	45 cm	2.6	0.52	中くらい	7.1	1.46	硬い	2.7	0.55	中くらい	6.6	1.36	硬い	11.9	2.44	非常に硬い
	55 cm	4.0	0.82	中くらい	—	—	—	4.4	0.89	中くらい	6.9	1.42	硬い	—	—	—
	65 cm	4.4	0.89	中くらい	—	—	—	4.4	0.89	中くらい	6.9	1.42	硬い	—	—	—
	75 cm	5.4	1.10	硬い	—	—	—	4.8	0.98	中くらい	9.7	2.00	非常に硬い	—	—	—
	85 cm	6.2	1.28	硬い	—	—	—	4.8	0.98	中くらい	—	—	—	—	—	—
	95 cm	5.8	1.19	硬い	—	—	—	5.1	1.04	硬い	—	—	—	—	—	—
	105 cm	4.6	0.95	中くらい	—	—	—	5.5	1.13	硬い	—	—	—	—	—	—
	115 cm	4.5	0.92	中くらい	—	—	—	5.5	1.13	硬い	—	—	—	—	—	—
	125 cm	5.4	1.10	硬い	—	—	—	5.6	1.16	硬い	—	—	—	—	—	—
	135 cm	4.9	1.01	硬い	—	—	—	7.5	1.54	硬い	—	—	—	—	—	—
	145 cm	4.5	0.92	中くらい	—	—	—	8.0	1.65	硬い	—	—	—	—	—	—
	155 cm	—	—	—	—	—	—	8.3	1.71	硬い	—	—	—	—	—	—
	165 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4. 過年度調査結果との対比

1) コーン貫入抵抗 (q_c) の対比

ハス群落消滅定点 (H-1~H-3, H-6) における 2017 年 4 月の今回調査と 1998 年 7 月の過年度調査の貫入抵抗測定結果 (図 39) から、今回調査結果は、過年度調査結果と比べて浅い深度で貫入抵抗が上昇する (貫入不能となる) 傾向が認められる。また、H-1 と H-2 の過年度調査および今回調査における測定深度と貫入抵抗の推移は比較的類似している。H-3 と H-6 の今回調査結果は過年度調査結果よりかなり浅い深度で貫入抵抗の上昇が生じている。

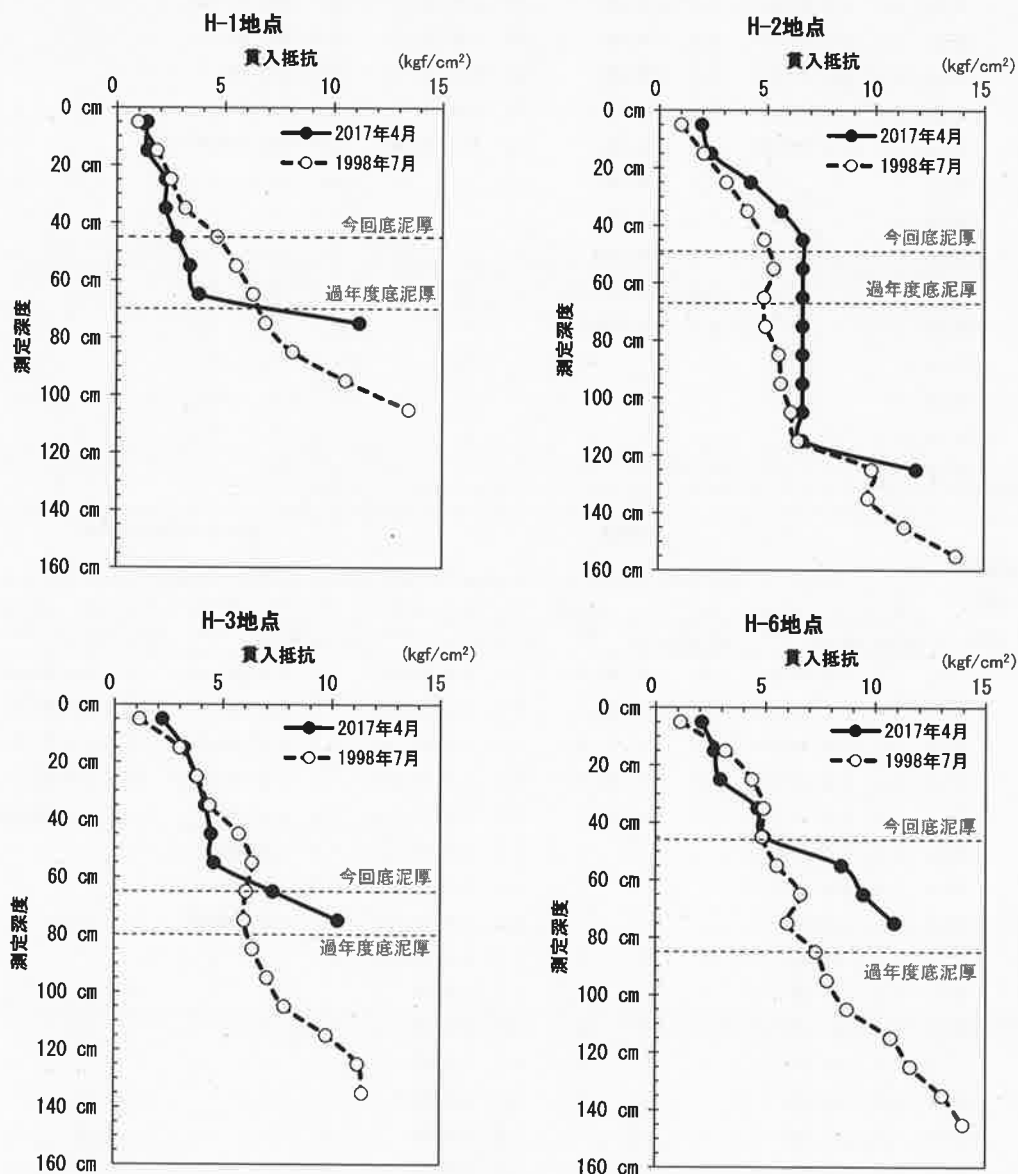


図 39. 貫入抵抗測定結果の対比.

2) 底泥硬度の対比

コンシステンシー区分により底泥の硬さの程度を類型化して、1998年7月の過年度および2017年4月の今回調査の調査結果を整理し、対比した（表10）。過年度調査結果では、表層

表10. 底泥硬度（貫入抵抗測定値，一軸圧縮強度推計値）。

今回調査（2017年4月）

調査地点		H-1			H-2			H-3			H-6		
項目		q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー
単位		kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分
測定深度	5 cm	1.4	0.28	軟らかい	1.9	0.40	軟らかい	2.2	0.45	軟らかい	2.1	0.43	軟らかい
	15 cm	1.4	0.28	軟らかい	2.4	0.49	軟らかい	3.2	0.65	中くらい	2.7	0.55	中くらい
	25 cm	2.2	0.46	軟らかい	4.2	0.87	中くらい	3.7	0.77	中くらい	2.9	0.60	中くらい
	35 cm	2.2	0.46	軟らかい	5.6	1.16	硬い	4.2	0.86	中くらい	4.6	0.95	中くらい
	45 cm	2.7	0.56	中くらい	6.6	1.36	硬い	4.5	0.92	中くらい	4.9	1.01	硬い
	55 cm	3.4	0.69	中くらい	6.6	1.36	硬い	4.6	0.94	中くらい	8.5	1.74	硬い
	65 cm	3.8	0.78	中くらい	6.6	1.36	硬い	7.3	1.50	硬い	9.5	1.94	硬い
	75 cm	11.2	2.29	非常に硬い	6.6	1.36	硬い	10.3	2.11	非常に硬い	10.9	2.23	非常に硬い
	85 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	95 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	105 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	115 cm	—	—	—	6.6	1.36	硬い	—	—	—	—	—	—
	125 cm	—	—	—	11.9	2.44	非常に硬い	—	—	—	—	—	—
	135 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	145 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	155 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	165 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

過年度調査（1998年7月）

調査地点		H-1			H-2			H-3			H-6		
項目		q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー	q _c	q _u	コンシステンシー
単位		kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分	kgf/cm ²	kgf/cm ²	区分
測定深度	5 cm	1.0	0.20	非常に軟らかい	1.0	0.21	非常に軟らかい	1.1	0.23	非常に軟らかい	1.1	0.23	非常に軟らかい
	15 cm	1.8	0.38	軟らかい	2.0	0.42	軟らかい	3.0	0.61	中くらい	3.2	0.65	中くらい
	25 cm	2.5	0.51	中くらい	3.1	0.63	中くらい	3.8	0.78	中くらい	4.4	0.90	中くらい
	35 cm	3.1	0.64	中くらい	4.1	0.83	中くらい	4.4	0.90	中くらい	4.9	1.01	硬い
	45 cm	4.6	0.95	中くらい	4.9	1.00	中くらい	5.7	1.18	硬い	4.8	0.99	中くらい
	55 cm	5.5	1.13	硬い	5.3	1.08	硬い	6.3	1.30	硬い	5.5	1.13	硬い
	65 cm	6.3	1.29	硬い	4.8	0.99	中くらい	6.1	1.24	硬い	6.6	1.36	硬い
	75 cm	6.8	1.40	硬い	4.9	1.00	硬い	6.0	1.23	硬い	6.0	1.23	硬い
	85 cm	8.1	1.66	硬い	5.5	1.13	硬い	6.4	1.30	硬い	7.3	1.50	硬い
	95 cm	10.5	2.16	非常に硬い	5.6	1.16	硬い	7.0	1.44	硬い	7.8	1.61	硬い
	105 cm	13.5	2.76	非常に硬い	6.1	1.25	硬い	7.8	1.61	硬い	8.7	1.79	硬い
	115 cm	—	—	—	6.4	1.32	硬い	9.8	2.00	非常に硬い	10.7	2.20	非常に硬い
	125 cm	—	—	—	9.8	2.02	非常に硬い	11.2	2.30	非常に硬い	11.6	2.38	非常に硬い
	135 cm	—	—	—	9.7	1.98	硬い	11.4	2.34	非常に硬い	13.0	2.67	非常に硬い
	145 cm	—	—	—	11.3	2.33	非常に硬い	11.5	2.35	非常に硬い	13.9	2.86	非常に硬い
	155 cm	—	—	—	13.7	2.81	非常に硬い	13.9	2.86	非常に硬い	—	—	—
	165 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

5cm に「非常に軟らかい」層があったが、今回調査では「非常に軟らかい」層は消失している。また、過年度調査の H-3 と H-6 では「軟らかい」層はみられず、今回調査の H-2 では「硬い」層の深度が過年度調査よりやや浅い位置より分布している。

5. 底泥硬度について

1) コーン貫入抵抗 (qc) の変化について

今回調査結果は、過年度調査結果と比べて浅い深度で貫入抵抗が上昇する（貫入不能となる）傾向があり、H-1 および H-2 は、過年度と今回調査結果が比較的類似している。しかし、今回調査の H-3 および H-6 は、過年度調査よりかなり浅い深度で貫入抵抗が上昇し、貫入不能となっている。「非常に硬い」層の地盤高は大きく変化していないため、こうした変化が生じた原因は、過年度調査時と比べて底泥厚が薄くなったためと考えられる。

2) 「非常に軟らかい」層の消失

過年度調査では、表層 10cm 程度に一軸圧縮強度推計値が 0.25kgf/cm^2 を下回る「非常に軟らかい」層が堆積していたが、今回調査では全地点で「非常に軟らかい」層は確認されなかった。こうした変化が生じた原因は明確ではないが、「非常に軟らかい」層は比較的軟弱な底泥と推測されるため、湖水の流動や波浪による巻き上げにより流出したことが考えられる。

3) 底泥硬度分布の変化

H-1 地点は、過年度調査と比べ、「軟らかい」層が厚くなり、「硬い」層が消失している。こうした変化が生じた原因は不明だが、波浪等の攪乱により表層泥の組成が変化した可能性が考えられる。

H-2 地点はコンシステンシー区分では「硬い」層がやや厚くなっているが、測定深度と貫入抵抗測定値の変化は類似しており（図 39）、過年度調査の深度 45cm の一軸圧縮強度推計値は「中くらい」と「硬い」層の境界値であることから、「硬い」層の層厚に大きな変化ないと考えられる。

H-3, H-6 地点は、「非常に硬い」層の地盤高はあまり変化していないが、その上の「硬い」層が非常に薄くなっている。これらの地点は 1999 年（過年度調査は 1998 年）の浚渫区域（琵琶湖・淀川水質保全機構ほか、2013）に該当するため、表層泥の大部分が浚渫除去され、底泥硬度分布に変化が生じたことも考えられる。

粒度分布

粒度分布調査は、赤野井湾のハス群落の生育環境条件として重要と考えられる底泥の粒度分布の把握を目的として調査した。調査はハス群落消滅定点の H-1～H-3, H-6 の 4 地点と、ハス残存群落の A-1～A-3 の 3 地点、オオバナミズキンバイ群落の B-1, B-2 の 2 地点の、計 9 地点において実施した。境界層は植物根混入域とその下層の境界部の底泥を分析試料とした。

過年度の粒度分布調査は、1997 年 10 月に表層（表部腐植土層）、1998 年 7 月に境界層（植物根域直下層）を行っている。

1. 調査結果

1) 表層

柱状採取した底泥コア表層（表部腐植土層）は深度 15cm より試料を採取し、粒度分布試験を実施した結果、表層では粘土が非常に少なく、シルトは 36～82%であり、細砂、中砂、粗砂が混入する組成である。また、H-1 は粗砂（粒径 0.85～2mm）が組成の約 60%を占めており、H-2 以外の地点では、10～40%を細砂以上が占めている（表 11、図 40）。

表 11. 粒度分布調査結果（表層）。

区分	粒径 (mm)	ハス群落消滅定点				ハス残存群落			オホナミズキンバイ 群落	
		H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
構成比 (%)	細礫	4.75								
	粗砂	2	57.7		3.9		22.0			27.5
	中砂	0.85	0.3	0.7	14.6	5.8	3.9	1.7	3.4	4.2
	細砂	0.25	5.4	0.5	5.1	25.7	10.1	10.1	7.6	9.0
	シルト	0.075	35.5	79.2	65.1	65.8	59.6	73.9	81.6	56.1
	粘土	0.005	1.1	19.7	11.3	2.8	4.4	14.4	7.4	3.1
合計		100	100	100	100	100	100	100	100	100
60%粒径 D_{60} (mm)		1.1310	0.0149	0.0276	0.0287	0.0630	0.5061	0.0280	0.0220	0.0345
30%粒径 D_{30} (mm)		0.0460	0.0067	0.0115	0.0103	0.0299	0.0207	0.0095	0.0105	0.0142
10%粒径 D_{10} (mm)		0.0138	0.0036	0.0052	0.0047	0.0095	0.0077	0.0041	0.0056	0.0067
採取位置 (m)		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

注) 粒径加積曲線において、質量通過百分率の 10%粒径が D_{10} 、30%粒径が D_{30} 、60%粒径が D_{60} 。

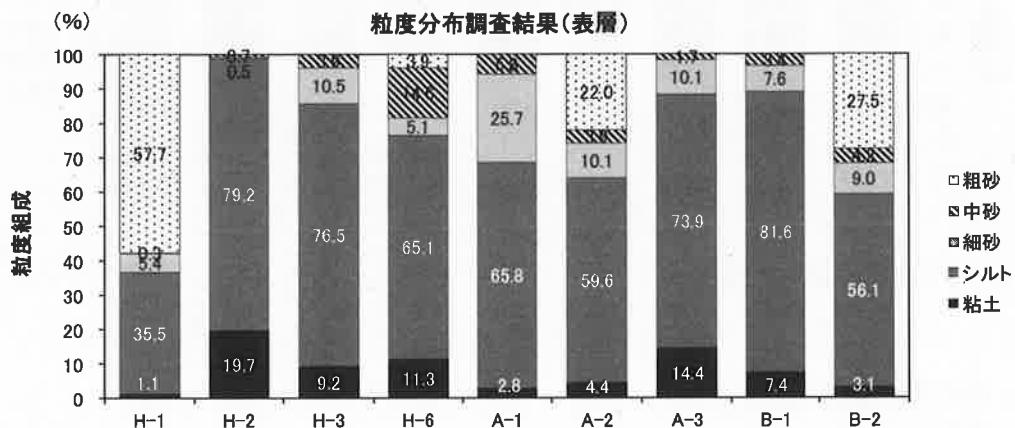


図 40. 粒度組成（表層）。

2) 境界層

柱状採取した境界層（植物根域直下層）は植物根が密に混入する層の直下より試料を採取し、粒度分布試験の結果、境界層の粒度分布は粘土が 5～33%、シルトが 60～75%であり、細砂以上が 6～30%を占めている（表 12、図 41）。

表 12. 粒度分布調査結果 (境界層).

区分	粒径 (mm)	ハス群落消滅定点				ハス残存群落			材ハナミズキハイ 群落	
		H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
構成比 (%)	細礫	4.75								
	粗砂	2								
	中砂	0.85	0.3	0.6	2.8	1.2	3.3	4.7	1.2	1.8
	細砂	0.25	8.7	5.7	7.9	5.7	26.7	12.8	6.5	5.2
	シルト	0.075	72.8	67.8	73.7	66.0	64.9	65.5	75.4	59.7
	粘土	0.005	18.1	25.8	15.7	27.1	5.1	17.0	16.9	33.3
	合計		100	100	100	100	100	100	100	100
60%粒径 D_{60} (mm)			0.0227	0.0130	0.0137	0.0109	0.0598	0.0252	0.0228	0.0091
30%粒径 D_{30} (mm)			0.0078	0.0056	0.0074	0.0054	0.0266	0.0082	0.0083	0.0047
10%粒径 D_{10} (mm)			0.0036	0.0031	0.0041	0.0031	0.0072	0.0037	0.0037	0.0028
採取位置 (m)			0.40	0.40	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.22
			0.40	0.40	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.35

注) 粒径加積曲線において、質量通過百分率の 10%粒径が D_{10} 、30%粒径が D_{30} 、60%粒径が D_{60} 。

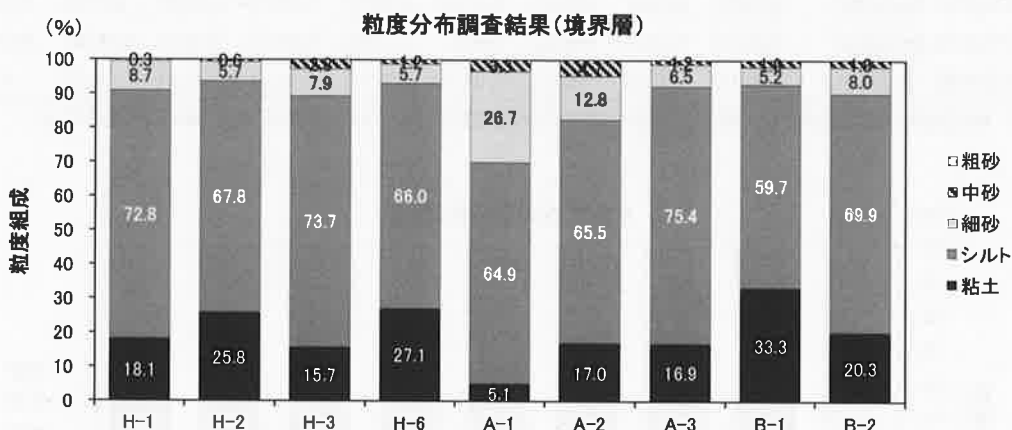


図 41. 粒度組成 (境界層).

2. 過年度調査結果との対比

1) 表層

1997 年 10 月の過年度調査および 2017 年 4 月の今回調査の表層の粒度分布調査結果を対比すると、過年度調査では表層部は粘土・シルト主体の組成であった。今回調査は過年度調査と比べて、粘土が大幅に減少し、細砂以上の粒子の組成が増加するなど、粗粒化しており、地点間のばらつきが大きい (表 13, 図 42)。

表 13. 過年度および今回調査の粒度分布試験の対比 (表層).

区分	粒径 (mm)	過年度調査結果(1997 年)				今回調査結果(2017 年)			
		H-1	H-2	H-3	H-6	H-1	H-2	H-3	H-6
構成比 (%)	細礫 4.75								
	粗砂 2					57.7			3.9
	中砂 0.85					0.3	0.7	3.9	14.6
	細砂 0.25					5.4	0.5	10.5	5.1
	シルト 0.075	77.1	77.0	64.2	58.5	35.5	79.2	76.5	65.1
	粘土 0.005	22.9	23.0	35.8	41.5	1.1	19.7	9.2	11.3
	合計	100	100	100	100	100	100	100	100

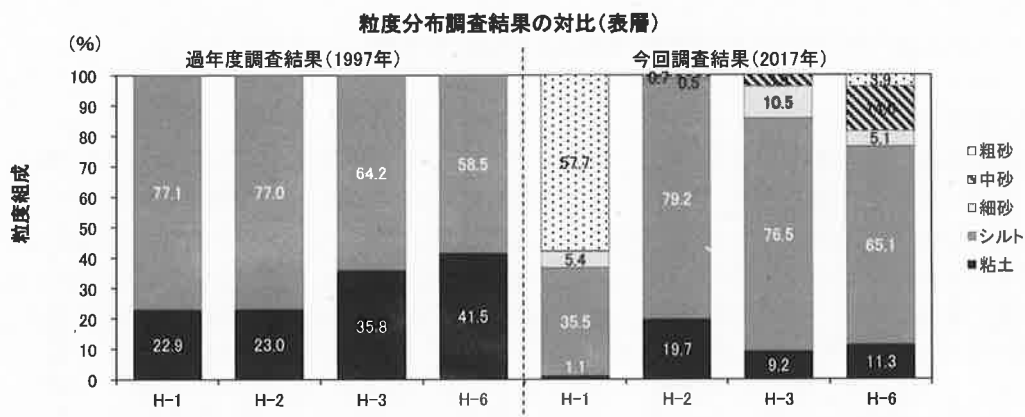


図 42. 過年度および今回調査の粒度組成の対比 (表層).

2) 境界層

1998 年 7 月の過年度調査および今回調査の境界層の粒度分布調査結果を対比すると、過年度調査では、粘土・シルト主体の組成であった。今回調査は過年度調査と比べて、粘土が半分以上に減少し、細砂以上の粒子の組成が増加するなど、粗粒化している。また、表層と比べると、地点間のばらつきは小さい (表 14, 図 43)。

表 14. 過年度および今回調査の粒度分布試験の対比 (境界層).

区分	粒径 (mm)	過年度調査結果(1998 年)				今回調査結果(2017 年)			
		H-1	H-2	H-3	H-6	H-1	H-2	H-3	H-6
構成比 (%)	細礫 4.75	0.1	0.4						
	粗砂 2	0.3	0.6	0.2					
	中砂 0.85	0.4	1.4	0.4	0.4	0.3	0.6	2.8	1.2
	細砂 0.25	5.0	2.0	1.2	0.3	8.7	5.7	7.9	5.7
	シルト 0.075	49.6	39.5	46.1	63.2	72.8	67.8	73.7	66.0
	粘土 0.005	44.6	56.1	52.1	36.1	18.1	25.8	15.7	27.1
	合計	100	100	100	100	100	100	100	100

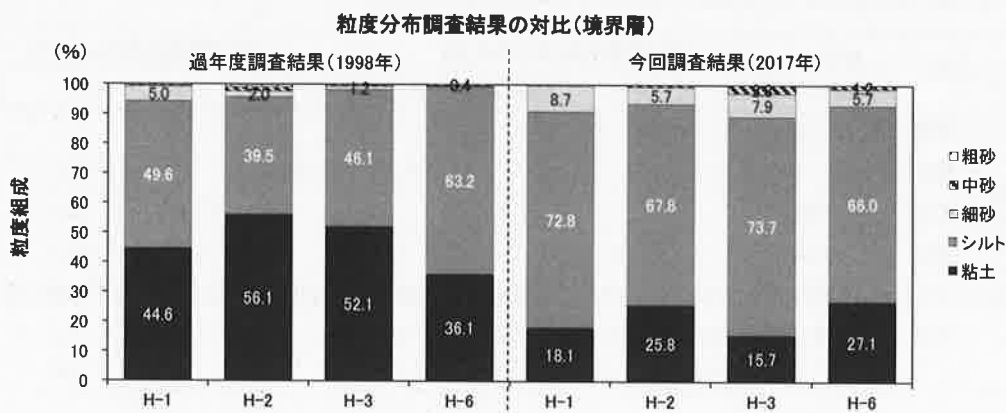


図 43. 過年度および今回調査の粒度組成の対比 (境界層)。

3. 粒度分布について

1) 表層部の粗粒堆積について

今回の粒度分布調査では、境界層より表層の方が粗粒が堆積している傾向がみられる。こうした表層の粗粒堆積は海浜の砕波帯等でもみられ、渦の作用により表層の細粒子が流出して表層に粗砂が集積することが明らかにされている(長ほか, 1996)。調査地点は湖岸近傍の水深が浅い場所であり、冬季の季節風による波浪等により表層の細粒子が流出し、境界層よりも表層の方がより粗粒化したと考えられる。

2) 粒度分布の変化について

過年度の「ヨシ群落生態調査報告書」では、底泥の粒度分布はシルトと粘土主体の組成となっており、河川流入やハス繁茂により新たな砂分供給がないことやハスの枯死体堆積の影響であると考察されている。

今回調査では、シルト主体の組成となっており、粘土が減少するなど、過年度調査から粒度分布が大きく変化している。こうした変化が生じた理由としては、陸側地点(H-1, H-2)は、河川や漂砂等により砂分が供給されるとともに、波浪等による底泥巻き上げにより粘土等の細粒が流出したため、底泥厚が低下し、粗粒化したことが影響している。ただ、沖側地点(H-3, H-6)は、浚渫によって表層泥が除去されことも影響して、粒度分布が変化したことも考えられる。

こうした粗粒化の変化が生じた時期等は不明であるが、この粒度分布の変化が粘土を好むハス群落の消滅に影響したことが確かである。また、ハスの地上部が毎年枯死することが影響して赤野井湾の通水性が改善され、堺川等から砂分が供給されたことにより粗粒化が進行した可能性も考えられる。

3) 表層 H-1 と境界層 A-1 の粒度分布について

今回の粒度分布調査では、ハス群落消滅定点 H-1 の表層は粗砂の組成が大きくなっており、他地点と大きな差異がみられる。過年度調査では細砂以上の粒子はほとんどないことから、出水や波浪により砂分が供給されたものである。

また、ハス残存群落地点 A-1 の境界層は他地点と比べて細砂の組成が大きい、他地点が湾内に位置するのに対し、A-1 地点は湾外に位置するため、砂分等の供給状況が他地点と異なることが考えられる。なお、A-1 地点では漂着したと思われる大量の貝殻の堆積が確認されているが、他地点ではこうした貝殻の堆積はなく、明らかに湖流による影響が他地点と異なっているためである。

ハスの埋土種子

埋土種子調査は、ハスの残存地点と消滅地点における埋土種子の状況を確認し、残存地点と消滅地点の現況および差異を把握することを目的として、2017 年 4 月と 2018 年 7 月の 2 回にわたって実施した。2017 年 4 月の調査は、ハス群落消滅定点の H-1～H-3、H-6 の 4 地点、ハス残存群落の A-1～A-3 の 3 地点、オオバナミズキンバイ群落の B-1 と B-2 の 2 地点の、合計 9 地点において実施した。なお、2018 年 7 月の調査は、ハス群落消滅定点の H-1 と H-3 の 2 地点、ハス残存群落の A-2～A-4 の 3 地点、それにオオバナミズキンバイ群落の B-1 に近接した B-3 地点の、合計 6 地点で実施した。

埋土種子調査では、各調査地点の湖底に 1m×1m 方形枠を設置して底泥を採取し、底泥のなかから全ての種子を選別し、数量、重量等を計数・記録した。なお、埋土種子調査は地下茎調査と同時に実施し、採取深度は、地下茎（枯死体を含む）がほぼ採集されなくなる深度までとした。

1. 2017 年度調査結果

2017 年 4 月の調査で採集された埋土種子は全ての調査地点で採集された。また、生残種子の数は 25 個 (A-1) ～186 個 (H-2) で、合計重量は 25g (A-1) ～170g (H-2) であった。2017 年度調査で採集された種子のうち枯死または腐食したものは H-1 で 1 個のみで、ほぼ全ての種子が生残していることが確認された。種子の大きさは、全地点において概ね均一で、長径 1.6 ～1.7cm、短径約 1.0～1.1cm、重量約 1g であった (表 15)。

表 15. 2017 年度埋土種子の調査結果.

区 分		ハス群落消滅定点				ハス残存群落			オオバナミズキンバイ群落	
		H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
埋土種子	生残	172	186	44	42	25	48	32	136	139
個数(個)	枯死	1	0	0	0	0	0	0	0	0
埋土種子	生残	142	170	42	42	25	48	33	150	157
重量(g)	枯死	1	0	0	0	0	0	0	0	0

2. 2018 年度調査結果

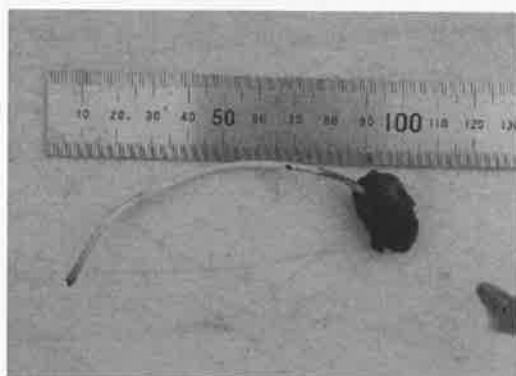
2018 年 7 月の調査で採集されたハスの埋土種子は、地点による採集個数のばらつきが非常に大きく、2017 年度と同様、赤野井湾東岸側の A-2 地点および B-3 地点で採集個数が多い結果となっている (表 16)。

なお、B-3 地点では発芽した種子が一例採集された。また、A-2 地点でも (茎は切れている

が) 同様に発芽したと考えられる種子が一例採取された (図 44)。

表 16. 2018 年度埋土種子の調査結果.

区分	単位	H-1	H-3	A-2	A-3	A-4	B-3	
埋土種子	個数	個	61	20	182	11	1	96
	総重量	g	62	21	197	12	1	104
	発芽種子	個	0	0	0	0	0	1



B-3 における採取種子

A-2 における採取種子

図 44. 採取した埋土種子 (発芽のために膨潤した種子).

3. 埋土種子について

1) 埋土種子の分布について

217 年度の埋土種子の採集量を地点間で比較すると、湾奥に位置する H-1, H-2, B-1, B-2 の地点は種子数が多く、湾の沖側および堺川樋門付近の H-3, H-6, A-1, A-2, A-3 の地点は種子数が少ない傾向がみられる。このことから、埋土種子の分布は湖水の流動や堺川の流入に影響を受けている可能性があり、湾奥の地点により多くの種子が漂着等により埋土していることが考えられる。

なお、1998 年のハス群落が湾全域に繁茂していた当時は、湾内全域に種子が供給されていたことが推定される。

2) 埋土種子の採集個数の推移

2017 年度と 2018 年度の埋土種子の採集個数を比較すると (表 17), 2017 年度調査と比べて 2018 年度は、A-2 地点では採集個数が 4 倍ほどに増加したが、他の全ての地点では採集個数が減少している。また、H-1, H-3, A-2, A-3, B-3 の 5 地点での総採集個数は、2017 年度 432 個に対し、2018 年度は 371 個と 15% の減少となっている。

ハスが現存する A-4 地点での埋土種子採集個数が 1 個に留まること並びに 2017 年度調査結果から、埋土種子の集積は湖水流動の影響が大きいと考えられる。赤野井湾内の湖水は $6.7\text{m}^3/\text{s}$ で湾外と交換されていると推測されており (琵琶湖研究所, 2002), ハス群落消滅により種子供給量が減少していることを考慮すると、今後、湾内の埋土種子が湾外に流出し、湾内の埋土種

子数は減少傾向で推移するものとする。

なお、A-2地点およびB-3地点では、2017年度には確認されなかった発芽した種子が各一例、2018年度では確認されているが、埋土種子が年毎に赤野井湾から湾外に流出することや発芽する個体が極めて希であること、さらに発芽個体が定着して生長する確率はほとんどないことなどからも、現時点でのハス群落の自然再生は不可能であるといえる。

表 17. 埋土種子の採集量の推移（単位：個）。

区分	H-1	H-3	A-2	A-3	B-3	左記5地点 の合計	A-4
2017年度調査結果	172	44	48	32	136	432	—
2018年度調査結果	61	20	182	11	96	371	1

ハスの地下茎

地下茎調査は、2017年4月と2018年7月の2回にわたって、ハスの残存地点と消滅地点における地下茎の生育・残存状況（地下茎の本数、長さ、太さ等）を確認し、残存地点と消滅地点の現況および差異を把握することを目的として実施した。2017年4月の調査は、ハス群落消滅定点のH-1～H-3、H-6の4地点、ハス残存群落のA-1～A-3の3地点、オオバナミズキンバイ群落のB-1とB-2の2地点の、合計9地点において実施した。また、2018年7月の調査は、ハス群落消滅定点のH-1とH-3の2地点、ハス残存群落のA-2～A-4の3地点、それにオオバナミズキンバイ群落のB-1に近接したB-3地点の、合計6地点で実施した。

地下茎調査は、各調査地点の湖底に1m×1mの方形枠を設置して底泥を採取し、方形枠内の地下茎（地下茎と認識される枯死体を含む）を全て採集した。なお、生残した地下茎が確認された場合は、極力切断せず、可能な範囲で追跡採集した。また、底泥の採取深度は、地下茎（枯死体含む）がほぼ採集されなくなる深度までとした。

採集した地下茎は、生きたものと枯死している比較的大きな地下茎を選別し、水で泥を洗浄除去した後、室内で一夜乾燥させ、本数、長さ、重量等を計測した。

1. 2017年度調査結果

ハス残存地点の全3地点で生残していた地下茎が確認されている。一方、ハス消滅地点およ

表 18. 2017年度地下茎の調査結果。

区 分		ハス群落消滅定点				ハス残存群落			オオバナミズキンバイ 群落	
		H-1	H-2	H-3	H-6	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
地下茎 重量 (g)	生残	76	0	0	0	153	726	533	0	0
	枯死	995	490	230	271	119	38	879	309	282
地下茎 長さ (cm)	生残	22.7	0	0	0	199.5	374.9	245.6	0	0
	枯死	360.7	379.5	214	184.5	338.9	52.3	210.7	371.2	227.4
地下茎単位 重量(g/cm)	生残	3.3	—	—	—	0.8	1.9	2.2	—	—
	枯死	2.8	1.3	1.1	1.5	0.4	0.7	4.2	0.8	1.2

びオオバナミズキンバイ群落では生残していた地下茎はH-1でわずかに確認されたのみである。生残していた地下茎の重量は76g (H-1) ~726g (A-2), 長さは22.7cm (H-1) ~374.9cm (A-2) である。枯死した地下茎は全地点で確認されている。枯死した地下茎の重量は38g (A-2) ~995g (H-1), 長さは52.3cm (A-2) ~379.5cm (H-2) である (表18)。

2. 2018年度調査結果

底泥採取の残渣物中の地下茎については、A-3 地点およびA-4 地点では生残した地下茎が採集されたが、その他の地点は、全て枯死した地下茎である。また、地下茎湿重量は、赤野井湾西岸側のA-2, A-4, B-3 地点は約1,400~1,600gと相対的に大きく、赤野井湾東岸側のH-1, H-3 地点およびA-3 地点は約500~600gに留まっている。

また、地下茎の長さは採集時に途中で切断されるなどするため、正確な値は測定することは困難であったが、採集された最長の地下茎はH-3 地点の110cmで、次いでA-4 地点の103cmである (表19)。

表 19. 2018 年度地下茎の調査結果概要.

区分	単位	H-1	H-3	A-2	A-3	A-4	B-3
地下茎 生残	本数	0	0	0	3	6	0
地下茎 生残	g	0	0	0	211	341	0
(湿重量) 枯死	g	602	518	1,600	287	1,165	1,399
合計	g	602	518	1,600	498	1,506	1,399



A-3 : 地下茎 (生残)・花柄 (枯死)



H-3 : 枯死した地下茎

図 45. 採取した地下茎.

3. 生残地下茎の採集量の推移

2017 年度と 2018 年度の地下茎調査における生残地下茎の調査結果をみると、H-3 と B-3 地点は、2017 年度と 2018 年度共に生残地下茎は採集されていない。一方、H-1 地点は 76g, A-2 地点は 726g の生残地下茎が 2017 年度は採集されているが、2018 年度調査では、共に生残地下茎の採集量は 0g となっている。また、A-3 地点では 2017 年度は 533g の生残地下茎が採集

されたが、2018年度は半分以下の 211g であった（表 20）。

以上より、ハス消失後、湖底に生残したハス地下茎も、埋土種子と同様に減少傾向で推移していると考えられる。

表 20. 生残地下茎採集量の推移（単位：g）。

区分	H-1	H-3	A-2	A-3	B-3	A-4
2017 年度調査結果	76	0	726	533	0	—
2018 年度調査結果	0	0	0	211	0	341

ハスのリター

2018 年 7 月に、ハスのリターに関する枯死体調査を H-1, H-3, A-2, A-3, A-4, B-3 の 6 地点において実施した。各地点において 1m×1m の方形枠を設定し、ハスの枯死体が混在する底泥の採取深度は、枯死体と地下茎がほぼ採集されなくなる深度までとした。なお、調査の方形枠はアングル方形枠およびベニヤ板打ち込みの方形枠を使用した。

採取サンプルから地下茎、種子を採集した後、可能な範囲でごみや土壌等を除去し、残った植物残渣をハスの枯死体として、その重量を計測・記録した（表 21）。

表 21. ハスの枯死体の調査結果。

区分	H-1	H-3	A-2	A-3	A-4	B-3	平均
湿重量 (kg/m ²)	10.1	6.1	17.4	7.4	5.4	10.9	9.6
乾燥重量 (kg/m ²)	2.1	1.3	3.7	1.6	1.1	2.3	2.0
採集体積 (ℓ/m ²)	8.6	9.0	14.8	9.6	9.0	10.0	10.2



図 46. 1 m²の方形枠から採集されたハスの枯死体。

1. ハスの枯死体

ハスの枯死体湿重量は、A-2 地点が最も重く 17.4kg で、H-3 と A-4 地点は相対的に少なく、

おおよそ5~6kgである。

仲田ほか(2015)によれば、伊豆沼におけるハス群落について、平均して年間388.5g/m²の乾燥重量の生きたハスが枯死体として供給され、平均して年間約32.3g/m²の乾燥重量の枯死体が増加するとしている。また、この枯死体の増加量は生きたハスが枯死体として供給される量の約8.3%としている。

一方、赤野井湾のハスの地上部バイオマス量は、過年度の「ヨシ群落生態調査報告書」において、乾燥重量で3.08kg/m²とされている。したがって、毎年、赤野井湾の生きたハスから供給される枯死体の量は、その8.3%に相当する256g/m²と算定される。

本年度の枯死体の平均乾燥重量は2.0 kg/m²であることから、地点によりバラツキはあるが、10年あるいはそれ以上の期間にわたって枯死体が分解・流出せず、堆積していると考えられる。

2. ハスの難分解性有機物。

ハスの枯死体は、一部は分解されず枯死体として残存し、その他は難分解性有機物の微粒子などに分解され、表層泥として堆積又は流出すると考えられる。

千葉ほか(2015)は、ハスの分解実験によりハスの枯死体に含まれる難分解性有機物の残存率を把握し、「ハスが繁茂する湖沼では、ハスのリターに由来する難分解有機物分だけ泥として湖底に長期間堆積することになる」としている。そして、ハスの枯死体に含まれる難分解性有機物量については、好気条件下では34.96%、嫌気条件下では57.64%であることを明らかにしている。

そこで、嫌気条件下にある赤野井湾におけるハスに含まれる難分解性有機物量を算定すると、ハスのバイオマス量(3.08kg/m²)×嫌気条件下(57.64%)=1.77kg/m²となり、赤野井湾のハスの難分解性有機物量は1.77kg/m²である。

こうしたハスの枯死体の難分解性有機物は、粘土やシルトの粒子の小さな土壌のなかで生育・発達するハスの地下茎の生長を阻害している可能性がある。枯死した地下茎の多くは腐敗状態にあり、強い腐敗臭が特徴的であった。

植生調査

植生調査については、2017年度に植物社会学的調査法にしたがって、赤野井湾に現存する全ての植物群落を対象に調査を実施した。得られた多くの植生調査資料に基づいて植生単位の識別を行い、植生単位の種組成や優占種、階層構造等を整理した。また、現地調査と航空写真に基づいて、植生調査によって識別された植生単位の平面的な広がりをも地形図上に図示して植生図を作成した(図47)。

さらに、過年度の「ヨシ群落生態調査報告書」における1997年7月と1998年7月の植生調査結果の植生単位と植生図(図48)に基づいて、ハス群落やヨシ群落、オオバナミズキンバイ群落などの分布等について検討を行った。

1. 植生単位

植生調査の結果、12群落の植生単位を識別した。

- ①ヨシ群落：ヨシが50~100%を占めている区域。
- ②ヨシ-キショウブ群落：ヨシ、キショウブが優占している区域。
- ③ヨシ-カサスゲ群落：ヨシ、カサスゲが優占している区域。

- ④ヨシーマコモ群落：ヨシ、マコモが優占している区域。
- ⑤ヨシーキシウスズメノヒエ群落：ヨシ、キシウスズメノヒエが優占している区域。
- ⑥クサヨシ群落：クサヨシが優占している区域（ヨシが低い植被率で混生する区域も含む）。
- ⑦ウキヤガラ群落：ウキヤガラが優占している区域（ヨシが低い植被率で混生する区域も含む）。
- ⑧オオバナミズキンバイ群落：オオバナミズキンバイが優占している区域（ヨシが低い植被率で混生する区域も含む）。
- ⑨イヌコリヤナギ群落：イヌコリヤナギが生育する区域。
- ⑩アカメヤナギ群落：アカメヤナギが生育する区域。
- ⑪タチヤナギ群落：タチヤナギが生育する区域。
- ⑫シダレヤナギ群落：シダレヤナギが生育する区域。

2. 植生図と植生単位

植生図に基づいて植生単位の分布を検討すると（図 47）、まず赤野井湾の岸側から沖に向かい、木本植生、ヨシ群落と大きく 2 つの群落が分布し、西部の湖岸およびヨシ群落の沖側に沿ってオオバナミズキンバイ群落が帯状に分布している。木本群落はヤナギ類が中心で、ヨシ群落後背の湖岸に沿って帯状に分布しており、アカメヤナギ、タチヤナギ、シダレヤナギ等が優占していた。また、ヨシ群落中央部にはアカメヤナギ、イヌコリヤナギが生育している。

ヨシ群落は湾の中央部から西部域岸側に分布している。群落内は全体的にヨシが優占するが、一部でキシウブ、カサスゲ、キシウスズメノヒエ、マコモ等が混生するほか、クサヨシ、ウキヤガラのまとまった群落もみられる。なお、ハス残存群落については、水面下で生育している個体もみられたが群落の広がりをも明確に把握するのが困難であったため植生図に示されていない。

3. 植生単位の経年変化

過年度調査と今回調査の識別された植物群落について比較・検討すると、今回調査ではヨシ群落が大幅に増加していた。特に、湾奥南西部および東部におけるヨシ群落の拡大が顕著であった。南西部では 1995 年以前はヨシ群落が優占していたが、1995 年から 1998 年にかけてヨシ群落が衰退し、マコモ群落やウキヤガラ群落等に置き換わっていた。このことから、南西部においてこの約 20 年間にヨシ群落が拡大したのは、1995 年の頃のヨシ群落の分布と類似した状態に変化している。

東部では、過年度はヨシ群落とハス群落の境界部に、マコモ、ウキヤガラ、キシウスズメノヒエ、クサヨシ、キシウブ等が複雑に分布していたが、今回はヨシが優占した群落を形成していることが確認された。東部のヨシ群落の沖では、過年度の調査結果と比較して、栄養塩、シルト成分、泥深について減少がみられ、一部では水深が 30～50cm 程度深くなっていることが確認されており、堆積物や泥が湖水の流動や波浪による巻き上げにより流出したことが考えられる。特にハス群落との境界部においては、ハスの葉が展開しない冬季～春季の間に、少しの波でも侵食を受けやすい細粒泥質化の著しい底泥が侵食・洗い出しによって底質が砂質化したとも考えられる。ヨシ群落が根茎により分布を拡大するのに適した環境は砂地と考えられることから、砂質化によりヨシ群落の生育域が拡大したものと考えられる。

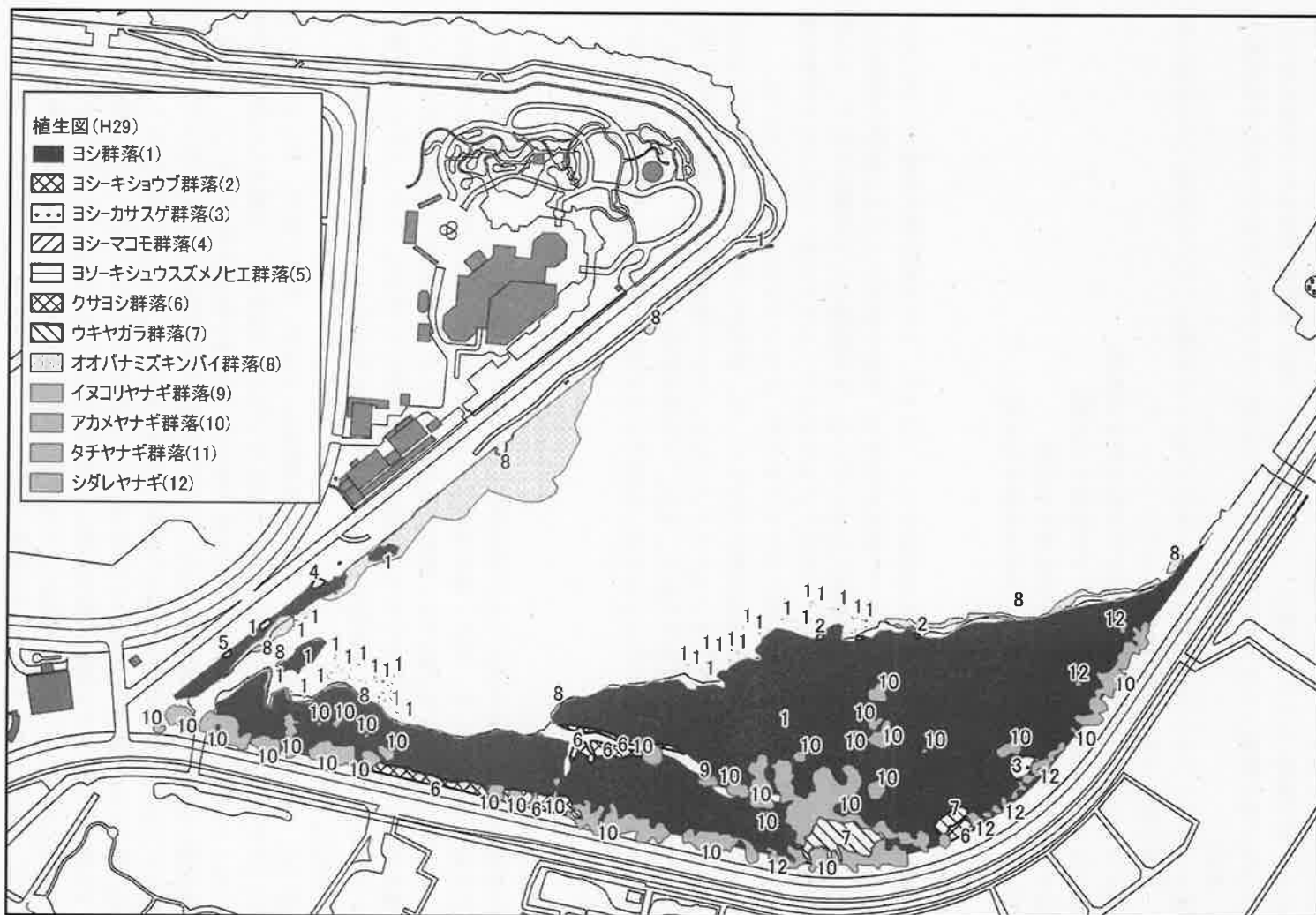


図47. 2017年度植生図

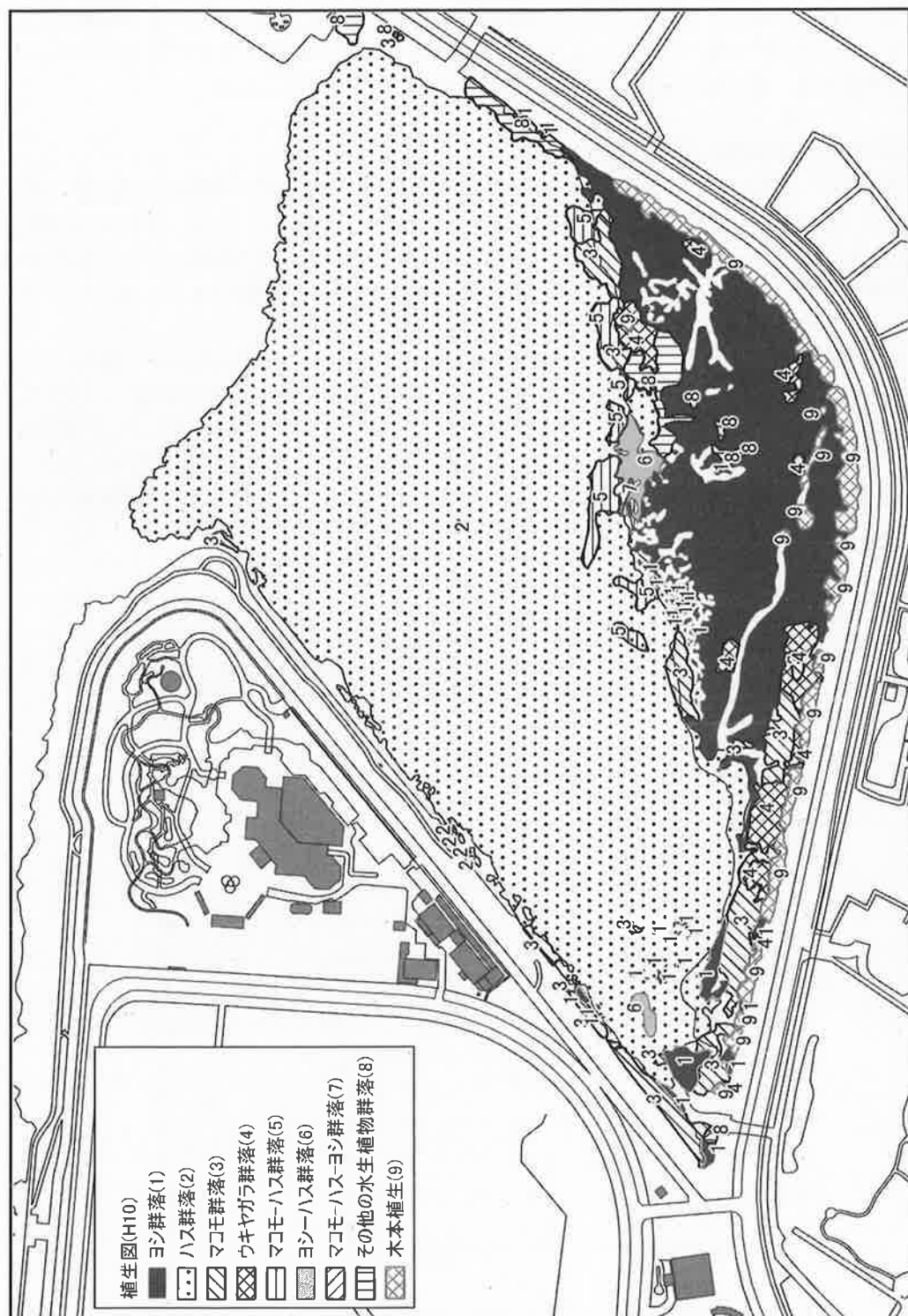


図48. 1998年度植生図

例えば、霞ヶ浦湖岸においては、一度ヨシが根付くと、ヨシの根によって底層の砂が固定され侵食されにくくなるとともに、ヨシの消波効果によって細粒物質がトラップされ堆積していくことでヨシ原が沖方向へ前進したとされている（関・池田，2003）。今回の東部におけるヨシの分布拡大も、霞ヶ浦の事例と同様の現象が起こったことが考えられる。

3. 群落面積の過年度のとの対比

各植生単位の面積について、2017年度の今回調査と1998年度の過年度調査との相違を明らかにした（表22）。特に顕著な相違が認められたヨシ群落の面積については、過年度の面積は26,170m²であったが、今回は38,691m²と増加していた。特に、湾奥南西部ではヨシ群落の回復が顕著であり、以前にはマコモが5,540m²で優占したのが今回は確認できなかったり、ウキヤガラが2,870m²から930m²へと減少した場所がヨシ群落に置き換わったりしている。

一方、木本植生の面積については、前回は3,990m²であったが今回は7,516m²と増加しており、主にヤナギ類が岸沿いやヨシ群落中央部へ拡大していた。ヨシ以外の水生植物については、過年度は東部のヨシ群落周縁部にはクサヨシ、キショウブ、マコモなどのまとまった群落は2,370 m²の面積で複雑に分布していたが今回は確認されず、ヨシ群落が沖側へ拡大していた。また、西部湖岸の植物がほとんど生育していなかった場所やヨシ群落の前面に前回記録がなかったオオバナミズキンバイ群落は帯状に5,040m²で分布している。

表 22. 群落面積の1998年度と2017年度の比較。

群落名	1998 年 面積 (m ²)	2017 年 面積 (m ²)
ヨシ群落	26,170	38,440
ヨシーカサスゲ群落	0	140
ヨシーキシウスズメノヒエ群落	0	20
ヨシーキショウブ群落	0	40
ヨシーマコモ群落	0	60
マコモ群落	5,540	0
ウキヤガラ群落	2,870	930
その他の水生植物群落	2,370	0
オオバナミズキンバイ群落	0	5,040
クサヨシ群落	0	1,190
ハス群落	110,660	0
マコモーハス群落	1,140	0
ヨシーハス群落	980	0
マコモーヨシーハス群落	100	0
木本植生	3,990	7,520
計	153,820	53,380

考 察

1. ハス群落の成立

1997 年度と 1998 年度の「ヨシ群落生態調査報告書」の調査結果から、1975 年頃までは、赤野井湾の面積の 2 分の 1 近くの、約 112,000m² を占めていたヨシ群落の先端部にはヒシ群落が約 39,000m² の面積で分布していた。そして、このヒシ群落は間もなくハス群落の出現によって消滅し、その後ハス群落は 1988 年頃までに急激に分布域を広げてきたことが考えられる。

この背景には、1927～1954 年頃までは赤野井湾に流入する水路が各所に存在しており、またこの湾の東方から流入していた堺川の川幅も広く、適度な砂分を含む土砂の堆積が進み、その後この土砂の堆積地を生育最適立地とするヨシ群落が成立するようになった。このヨシ群落の発達につれて、湾内の水の流れに対する抵抗が増して細かな土粒子の沈殿を促し、ヨシや沈水植物の枯れた植物体起源の有機物の混じった底泥が湾内に集積された。そして、ヨシ群落の沖側の微細粒子化した粘土とシルトが 100% の泥層にヒシ群落が先駆的に出現し、このヒシ群落の消滅の後に 30 年以上にわたってハス群落が繁茂することとなった。

2. ハス群落の消滅

ハス群落が突然に消滅したのは、長年にわたって栄養繁殖を継続してきたハス群落の生育環境条件が変化し、ハスの生育を困難にした結果であると考えられる。その生育環境条件の変化の要因として、1997 年度と 1998 年度の「ヨシ群落生態調査報告書」の詳細な調査結果と今回の調査結果を対比することにより明らかになったのは、特に湖底環境要素の特異的な変化である。

1) 底泥のメタンガスが過年度の 5～8 倍になっている。このメタンガスの発生により、底泥が腐敗し地下茎の生長を阻害した可能性がある。このメタンガスは酸化還元電位が低いほど発生量が高くなる傾向があるとされているが、今回は過年度よりも嫌気的な環境であったことから、濃度が大きく高まった結果であると考えられる (図 49)。

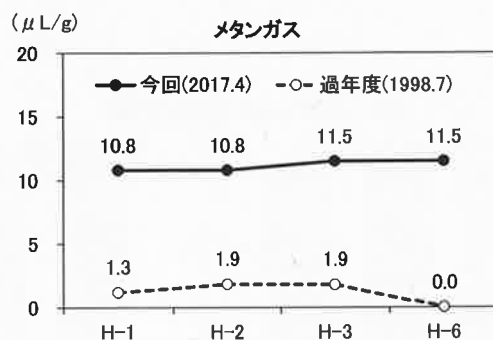


図 49. 過年度調査結果との対比 (メタンガス)。

2) 一軸圧縮強度 0.25kgf/cm² 以下の軟弱な層の消失と、粘土とシルト分が 100% を占めて泥質化していた底泥層が侵食・洗い出し等による物理的環境条件によって過年度よりも 15～39cm が消失している (図 50)。一方、ハスが横方向に地下茎を伸ばしている層は一軸圧縮強

度 0.25kgf/cm^2 以下の軟弱な層の上部域 15~30cm の範囲であることが過年度の「ヨシ群落生態調査」の調査結果で明らかにされていることから、ハス群落の地下茎が洗い出されてしまったことが考えられる。

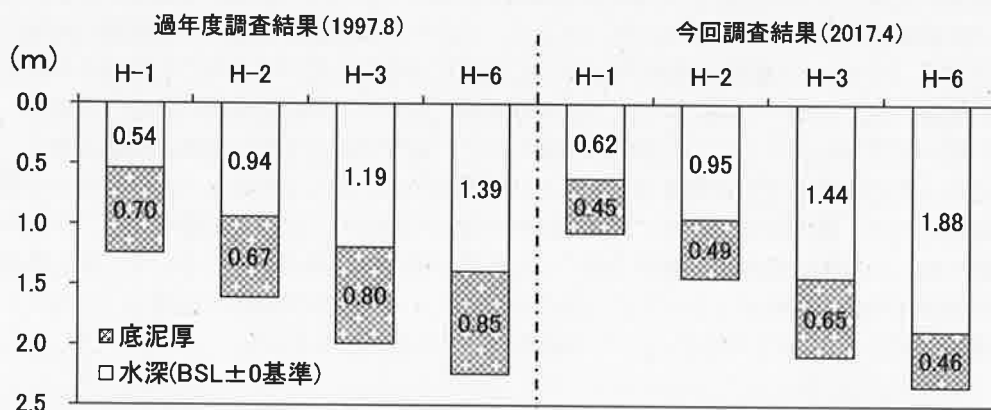


図 50. 水深・泥深調査結果の対比 (定点).

3) 表層と境界層の粒度分布調査に関して、過年度の「ヨシ群落生態調査」の結果では、表層は粘土 23~42%, シルト 59~77%と粘土とシルトのみによって構成されていたが、今回の調査結果では粘土が 1~20%と大きく減少し、シルト 36~79%に加え、細砂~粗砂が混入する粒度分布となっている (図 51)。一方、過年度の調査結果における境界層は粘土が 36~56%, シルトが 40~63%で、5%以下が細砂などの粒度分布構成であった。今回の調査結果では表層と同様に粘土が大きく減少し、シルトは 68~79%, 細砂以上が 6~10%含まれる粒度分布構成となっている。こうした表層と境界層における粘土の減少と、粗粒化した粒度分布構成の変化は、泥質化の進んだ軟弱な泥層を好むハスの地下茎の生育阻害に強度の影響を与えたことが考えられる。

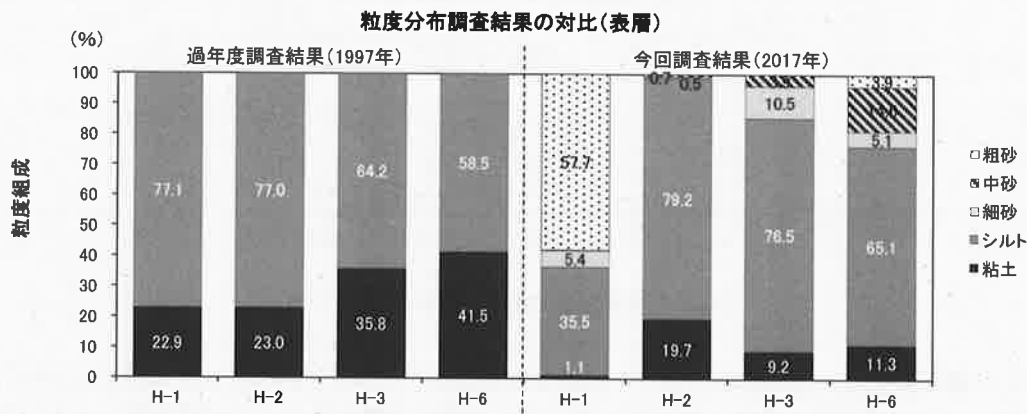


図 51. 過年度調査および今回調査の粒度組成の対比 (表層).

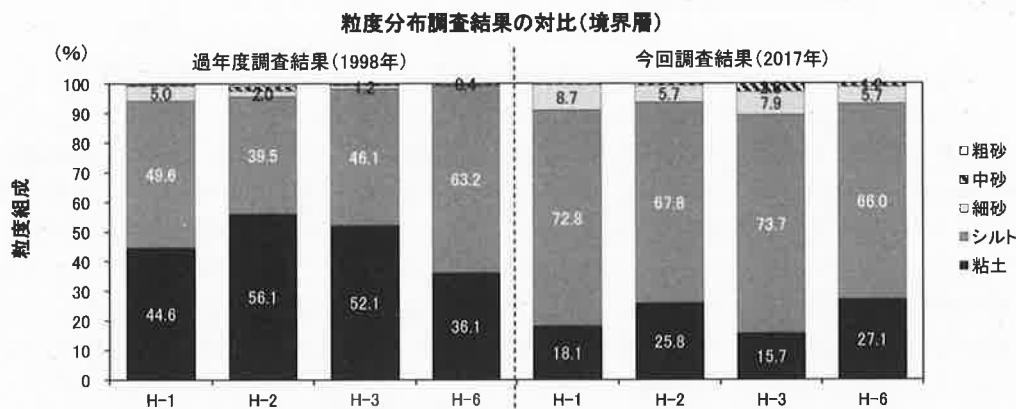


図 52. 過年度調査および今回調査の粒度組成の対比 (境界層)。

4) ハスの枯死体に由来する難分解性有機物が多量に堆積したことによって、ハス群落内の物質循環系に異常が生じたことがハスの消滅に関係したことが考えられる。千葉ほか(2015)のハスに含まれる難分解性有機物量の推定値に基づいて、赤野井湾の難分解性有機物の堆積量を推定したところ、年単位面積当たり $1.77 \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{年)}$ となり、ハス群落の出現から約 30 年間で最大 53 kg/m^2 ほどの難分解性有機物が堆積したことになる。この多量の難分解性有機物の堆積は、ハスの地下茎の生長阻害の要因の一つとなったことが考えられる。

5) 今回のハスの地下茎調査から、ハスの消滅地点における生きた地下茎は H-1 地点を除いて全ての地点で枯死体のみが採集された。一方、ハスの残存地点では生きた地下茎が比較的多く採集できている。このことから、ハスの消滅の直接的要因として、上記 1) ~4) の生育環境条件の変化などの要因が複合的に関連しあった影響による地下茎の枯死が考えられる。

6) 過年度と今回の植生図における、最も大きな違いはハス群落を除いてヨシ群落の面積が $12,270\text{m}^2$ も拡大していたことである。過年度の「ヨシ群落生態調査報告書」においても指摘されていたように、ヨシ群落の生育適地は底質が砂地である。そのため、ハス群落との境界部において、ハスの葉が展開しない冬季~春季の間に、少しの波でも侵食を受けやすい細粒泥質化の著しい底泥が侵食・洗い出しによって底質が徐々に砂質化して、ヨシ群落生育域の拡大となったことが考えられる。このことから、泥質の微細粒子化・軟弱化した底泥の消失はハス群落の消滅に強く影響したことが考えられる。

結 論

1. 赤野井湾のハス群落は、2016 年に点的な小面積を残すだけで、ほぼ消滅した。本調査は、赤野井湾におけるハスの生育環境条件である、水質、底質、底泥ガス・泥温・酸化還元電位、水深・泥深、底泥硬度、粒度分布の調査を行うとともに、ハスの埋土種子・地下茎調査、ハスのリター調査、植生調査を併せて実施し、滋賀県が 1997 年度と 1998 年度に実施した「ヨシ群落生態調査」の調査結果等に基づき、赤野井湾における大規模ハス群落の消滅の要因について

検討することを目的として実施した。

2. ハスは、ササと同じく、地下茎の一部から子が生じる栄養繁殖で増殖する植物であり、親とつながった地下茎が切れても、独立して生存でき、種子繁殖に比べて、確実に子孫を残すことができるため、純群落を大規模に形成する。赤野井湾のハス群落は、1988年の面積が約69,470m²であったものが、1998年には約112,880m²までも発達しており、このハス群落の拡大もハスが栄養繁殖で増殖を続けてきた結果である。一方、こうした栄養繁殖は栄養生殖ともいい、広義の無性生殖であるが、この無性生殖は適応力が小さく、生育環境が変化すると無性生殖で増殖した集団は全滅することがある。同じ地下茎による栄養繁殖を30年以上にわたって続けきた、赤野井湾のハス群落の大規模の消滅についても、またササ群落の大規模な自然枯についても、同じ現象として捉えることができる。

3. 今回の調査から、栄養繁殖を30年以上にわたって続けきたハス群落が突然に消滅したのは、赤野井湾におけるハス群落の生育環境条件が変化し、そうした要因が複合的に作用してハスの生育を困難にした結果である。その要因として、①底泥のメタンガスが過年度調査の5~8倍になっていた。このメタンガスの発生により、底泥が腐敗し地下茎の生長を阻害した。②軟弱な層の消失と、粘土とシルト分が100%を占めて泥質化していた底泥層が侵食・洗い出し等による不安定化といった物理的環境条件の変化によって、過年度調査よりも15~39cm消失していた。ハスが地下茎を伸ばしている層は、これらの層の上部域15~30cmの範囲であることから、ハスの地下茎の生長阻害に大きく影響した。③粒度分布調査に関して、表層と境界層に粘土を欠き、表層には中礫まで含むような粗粒化した粒度分布構成の変化は、泥質化の進んだ軟弱な泥層を好むハスの地下茎の生育に強度の影響を与えた。④ハスの枯死体に由来する難分解性有機物の堆積量については、赤野井湾のハス群落の出現から約30年間で、最大53 kg/m²ほどの難分解性有機物が多量に堆積したことによって、ハス群落内の物質循環系に異常が生じた。

謝 辞

本調査研究の重要性を認識して、その機会を与えられた草津市長の橋川 渉氏に心から感謝したい。また、2017年1月から2018年10月にかけての現地調査に関しては、草津市環境経済部環境政策課職員の方々には多大なご協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 琵琶湖・淀川水質保全機構・日本水環境学会関西支部河川部会・近畿建設協会（編）. 2013. 琵琶湖・淀川里の川をめぐるー赤野井湾と流入河川. 14pp.（公財）琵琶湖・淀川水質保全機構.
- 千葉高之・野村宗弘・西村 修. 2015. ハスのリターに由来する難分解性有機物の生成量. 第9回伊豆沼・内沼研究会発表要旨集, 5-8.（公財）宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団.
- 地盤工学会地盤調査法改訂編集委員会（編）. 2013. 地盤調査の方法と解説. 1259pp.（公社）地盤工学会.

- 仲田信也・梅田 信・嶋田哲郎・藤本泰文. 2015. 伊豆沼におけるハス群落消長の年間変動と湖水・底質環境の関連. 土木学会論文集 B1 (水工学), 71(4): 757-762.
- 長 達平・戸崎正明・山本幸次・佐藤慎司・田中茂信. 1996. 混合砂海浜の2次元変形と分級機構について. 土木学会第51回年次学術講演会概要集, 130-131. (公社)土木学会.
- 関 智也・池田 宏. 2003. 霞ヶ浦におけるヨシ原の分布と低地の成り立ち. 筑波大学陸域環境研究センター報告, No.4: 75-88.
- 滋賀県(編). 2012. 滋賀の環境 2012 (平成24年版環境白書) 資料編. 325pp. 滋賀県.
- 一. 2013. 滋賀の環境 2013 (平成25年版環境白書) 資料編. 330pp. 滋賀県.
- 一. 2014. 滋賀の環境 2014 (平成26年版環境白書) 資料編. 332pp. 滋賀県.
- 一. 2015. 滋賀の環境 2015 (平成27年版環境白書) 資料編. 346pp. 滋賀県.
- 一. 2016. 滋賀の環境 2016 (平成28年版環境白書) 資料編. 346pp. 滋賀県.
- 一. 2019. 第7期琵琶湖に係る湖沼水質保全計画. 36pp. 滋賀県.
- 滋賀県琵琶湖研究所(編). 2002. 琵琶湖研究所ニュース オウミア. No.75.
- 滋賀県土木交通部. 2014. 社会資本総合整備計画「琵琶湖流域における河川環境の保全・再生対策の推進」事後調査について. 滋賀県公共事業評価監視委員会資料2-1. 46pp. 滋賀県.
- 滋賀県・東レエンジニアリング株式会社(編). 1997. 平成9年度第1号 ヨシ群落生態調査報告書. 106pp. 滋賀県.
- 一. 1998. 平成10年度第2号 ヨシ群落生態調査報告書. 147pp. 滋賀県.

