

再汽水化後における湖山池の底質状況について

【水環境対策チーム】

岡本 将揮、森 明寛、前田 晃宏、増川 正敏、奥田 益算¹⁾、木下 博登²⁾

1 はじめに

県東部に位置する湖山池では外部負荷対策をはじめとした様々な水質浄化施策が行われているが⁽¹⁾、環境基準の類型指定されている水質項目（COD、全窒素（TN）、全リン（TP））の2014年度はCOD：7.2mg/L（75%値）、TN：0.87mg/L（平均値）、TP：0.12mg/L（平均値）といずれも定められた環境基準を満たしていない。

再汽水化後（2012年3月）では夏季の塩分躍層の形成が長期化するようになり⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾、底泥からの栄養塩の溶出による負荷の増大も予想され、水質汚濁に寄与していると考えられる。そのため、湖山池の水質汚濁の原因を究明する上で底質状態を把握することは必要不可欠である。

湖山池では過去にも底質調査は実施されており⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、以前から有機物に富んだ底質であったことが報告されている。しかし、湖内全域の平面分布に関する報告は乏しく、2010年を最後に実施されていない⁽⁹⁾。そのため、再汽水化以降の底質状態の把握はできていないのが現状である。

そこで本調査は水質汚濁の原因究明の一環として再汽水化後における湖内全域の底質の現状把握を目的とした。また、得られた結果を再汽水化前（2010年）の結果と比較し⁽⁹⁾、その変化を考察した。

2 方法

2.1 サンプルング

2015年10月16日に調査を実施した。調査地点は45地点とした（図1）。各地点においてエクマンバー型採泥器を用いて底質を採取した。まず底質の性状と色を目視により確認した。性状については3つに分類（砂・砂泥・泥）して記録した（図2）。色は「新版標準土色帖」によって判別した。次いで表面と3cm程度の内部の泥温と酸化還元電位（ORP）を採取後直ちに測定した後、サンプルを混合して理化学分析の試料とした。泥温とORPの測定には、携帯型ORP計である東亜DKK社製「RM-20P」を使用した。なお硫化物についてはサンプルの変質を防ぐため、底質調査方法に従い現地固定をした⁽¹¹⁾。

2.2 理化学分析

分析項目は、乾燥減量、強熱減量、TN、TP、全有機炭素量（TOC）、硫化物、泥分率とした。乾燥減量、強熱減量、TN、TP、TOC、硫化物は全地点、泥分率は15地点のみ分析した（図1）。分析方法は底質調査方法に従った⁽¹¹⁾。なお、理化学分析は外部委託した。

2.3 データ解析

2.3.1 再汽水化後(2015年)の状況

各分析項目の平面分布を視覚化するため、各理化学分析の結果を基にコンタマップを作図した（図3）。これに加え、底泥の含有有機物の起源を推定するため、得られたTOC（mg/g）とTN（mgN/g）の結果からC/N比を算出し、同様にコンタマップを作図した（図3）。底質のコンタマップはEsri社の地理情報システムソフトウェア「ArcGIS ver. 9.3」のIDW（Inverse Distance Weighted）法を用いて作図した。

地点ごとを特性別に分類するため、各底質項目（乾燥減量、強熱減量、TN、TP、TOC、硫化物）の分析結果の値からクラスター分析（ユークリッド距離、ウォード法）を行い、各地点を類型化した（図4、5）。解析に先立ち、各分析値のデータは全て標準化（平均=0、分散=1の正規分布への変換）した。なお、泥分率は15地点のみの測定のため計算からは除外した。クラスター分析には統計解析ソフトウェアであるR ver 3.2.0を使用した。また、クラスター別に各数値（乾燥減量、強熱減量、TN、TP、TOC、硫化物、ORP（表層）、水深）のボックスプロットを作図した（図6）。

2.3.2 再汽水化前との比較

再汽水化前の底質状況と比較するため2010年の分析結果についても⁽⁹⁾、同様の方法でコンタマップを作図し、両者を比較した（図7）。なお、2010年の乾燥減量と泥分率の値はそれぞれ、含水比と粒度組成の値から換算した。

3 結果

3.1 再汽水化後(2015年10月)の底質の状況

乾燥減量、泥分率、強熱減量、TOC、TN、TP、硫化

1)生活環境部 水・大気環境課 2)生活環境部 環境立県推進課

物は沿岸部では値が低く、沖合で値が高い傾向にあった。硫化物は一部の地点で特異的に含有量が多かった。

C/N比は沖合でおおむね9以下の数値であったが、流入河川付近では10以上と高値の傾向にあった。

また、クラスター分析により6つのサブクラスターに分離した(図4)。

クラスターA

砂泥の地点が該当し(図2)、東岸から南岸にかけての沿岸部に偏っていた(図5)。クラスターBに次いで各分析値は2番目に低く、砂(クラスターB)と泥(クラスターC)の間であった(図6)。

クラスターB

砂の地点が該当した(図2)。東岸から南岸にかけての沿岸部に偏っていた(図5)。各分析値とも全クラスターの中で、最も低い値であった(図6)。

クラスターC

砂泥～泥の地点が該当していた(図2)。他のクラスターに比べ、各分析値はおおむね中間的であった。乾燥減量は40～70%の広範囲の値をとり(図6)、クラスターFの外側を取り囲んでいる(図5)。

クラスターD

泥の地点が該当していた(図2)。硫化物の値が各クラスターと比べて特異的に高い(図6)。その他の分析値も高い値であった。最深部とその周辺の特に水深の深い部分が該当した(図5)。

クラスターE

泥の地点が該当していた(図2)。有機物(強熱減量、TOC)が特異的に高く、各クラスターの中でもっとも値が高い(図6)。福井地先が該当した(図5)。TPは他の泥のクラスター(C、D、F)より低い(図6)。

クラスターF

泥の地点が該当していた(図2)。クラスターCよりも、有機物をはじめとした各分析値が高い傾向にあった(図6)。湖心から最深部にかけて広範囲が該当し(図5)、クラスターCよりも、おおむね水深の深い傾向であった(図6)。

3.2 再汽水化前(2010年9月)の結果との比較

乾燥減量

本調査では高住・金沢地先(地点16、39)で値が減少していた。沖合の地点では両者とも60%以上であった(図7、地点16:40%→25%、地点39:49%→22%)。

泥分率

高住・金沢地先(地点16、39)で値が大きく減少

していたが、それ以外の地点では大きな変化が見られない(図7、地点16:88.7%→37.8%、地点39:46.9%→9.1%)。

強熱減量

高住・金沢地先(地点16、39)で大きく値が減少していた(図7、地点16:7.0mg/g→3.2mg/g、地点39:10mg/g→1.9mg/g)。2010年と本調査の双方とも沿岸域を除く地点で同様の値であり、福井地先で特に高い値(16%以上)を示していた(図7)。

TN

2010年では湖心を中心に高値であったが(図7、最大値11.0mgN/g)、本調査ではおおむねの地点で低下していた(図7、最大値5.8mgN/g)。

TP

2010年と比べると、高住・金沢地先(地点16、39)で大きく減少していた(図7、地点16:0.70mgP/g→0.34mgP/g、地点39:0.54mgP/g→0.19mgP/g)。

硫化物

2010年では最大値が2.1mgS/gであったが(図7)、本調査では、深場を中心に高い値であり、最大値が6.9mgS/gであった(図7)。

4 考察

4.1 再汽水化後(2015年10月)の調査について

クラスターAとBは共に沿岸部の地点が該当し、他のクラスターに比べ各分析値が低かった。目視での性状確認の結果から、クラスターAは砂泥、クラスターBは砂の地点を示していると考えられる(図2)。これに対してクラスターCは砂泥～泥、クラスターD、E、Fは泥であった(図2)。

これらのことは泥分率の結果をよく反映しており、クラスターBの地点では泥分率が1.0～37.8%、クラスターC～Fは泥分率が84.1～99.7%であった(表1)。

クラスターD、Fは湖心から最深部にかけて、広範囲に分布していた。クラスターCはクラスターFを取り囲むように分布しており、クラスターD、Fよりは水深がやや浅い地点に分布していた(図5、6)。また、各分析値ともクラスターCに比べ、D、Fは高い傾向が見られた(図6)。このことから、同じ泥でも、水深の深い地点の方が有機物やTN、TP、硫化物の含有量が多い傾向にあるといえる。

これに対して、クラスターE(福井地先)は沿岸部に分布し、水深が浅い(2m未満)にもかかわらず、有機物が豊富であり、他の地点とは異なるパターンであることが示された。原因は定かではないが、他の地点とは堆積のメカニズムが異なっていると予想される。

C/N 比は底質物中の有機物の供給源を推定するのに用いられ⁽¹²⁾、一般に植物プランクトン起源の有機物で 6 前後、陸源有機物で 15 以上とされている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。今回の結果では沖合のおおむねの地点で 5~9 の範囲内であった。このことから沖合の底質中の有機物は植物プランクトンに由来するところが大きいことが示唆された(図 3)。再汽水化前でも沖合は同程度の C/N 比であり⁽¹⁵⁾、再汽水化前後とも変わらず沖合底質の有機物は植物プランクトンに由来するところが大きいと言えるだろう。また、流入河川の河口の周辺は C/N 比が高く(9 以上)、陸域からの影響が大きいと考えられる(図 3)。

4.2 再汽水化前(2010 年)の結果との比較

硫化物は再汽水化前(2010 年 9 月)に比べ、増加が認められた。増加が認められた地点は、流入海水が停滞しやすい地点と符合していた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。海水は陸水に比べ硫酸イオンを多く含み、湖内に流入した硫酸イオンは躍層下層の嫌気性条件下で還元され、硫化物を生成する⁽¹⁶⁾。このことから本調査での硫化物の増加は再汽水化に伴う海水流入の増加に起因するものと考えられる。

TN は明らかに再汽水化前の方が含有量が多かった。再汽水化前の調査(2010 年 9 月)の数ヶ月前に湖内で藍藻の *Anabaena* 属が大量発生していた。本属は窒素固定能を有することが知られている⁽¹⁷⁾。再汽水化前の調査時には、本属が大気中の窒素を取り込んだ後に沈降することにより底質へ相当量の窒素が供給されていた可能性はあるが、明確な原因は不明である。しかし、再汽水化後でも沖合では 3~5 Nmg/g と依然として含有量は多く、内部負荷への寄与は大きいと考えられる。

乾燥減量、強熱減量、泥分率は金沢地先と高住地先(地点 16、39)で局所的に低下していた。両地点の底質の性状は泥から砂に変化していた(図 7)。なお、金沢・高住地先では以前に覆砂が施された。

5 まとめ

湖山池の底質は地点により状態が大きく異なり、沿岸部では、砂~砂泥であった。沖合は泥であるが、区域で特徴が異なり、沿岸に近い地点より深場の方が有機物、TN、TP、硫化物が特に多い傾向が見られた。また、福井地先は水深が浅いにもかかわらず有機物が卓越している特異な地点であった。

再汽水化前と比較し、TN に減少は認められたものの、依然として有機物、TN、TP が豊富であり、典型

的な富栄養の性質を示していた。沖合の有機物の由来は再汽水化前と同じく、主に植物プランクトンに起因することも示唆された。硫化物の明らかな増加がみられることから、再汽水化が原因と考えられる底質環境の変化も認められた。

6 引用文献

- (1) 鳥取県, 鳥取市: 湖山池将来ビジョン推進計画, (2013).
- (2) 初田亜希子, 森 貴俊, 竹内 章, 畠山恵介, 森明寛, 宮本 康, 九鬼貴弘: 鳥取県衛生環境研究所報, 53, 55-59, (2012).
- (3) 森 明寛, 初田亜希子, 畠山恵介, 宮本 康, 九鬼貴弘: 鳥取県衛生環境研究所報, 54, 53-55, (2013).
- (4) 森 明寛, 前田晃宏, 岡本将揮, 宮本 康, 九鬼貴弘: 鳥取県衛生環境研究所報, 55, 64-66, (2014).
- (5) 鳥取県: 昭和 40 年 湖山池・東郷湖地域振興計画調査報告書(1960) .
- (6) 安田満夫, 南條吉之, 田中賢之介, 笥 一郎, 坂田裕子: 鳥取県衛生環境研究所報, 30, 44-54, (1990)
- (7) 高安克己, 瀬戸浩二, 赤木三郎, 西田良平, 田中善蔵, 村田祐司, 作野裕司: LAGUNA (汽水域研究) 1, 27-35 (1994).
- (8) 中村仁志, 道上隆文, 藤田紀子, 南條吉之: 鳥取県衛生環境研究所報, 41, 60-64, (2001)
- (9) 鳥取県: 湖山池環境改善事業全体計画策定業務委託報告書(2011).
- (10) 鳥取県: 湖山池環境改善事業観測調査業務委託報告書(2012).
- (11) 環境省: 底質調査方法(2012).
- (12) 倉門由紀子, 三瓶良和, 高安克己, 徳岡隆夫, 井内美郎: LAGUNA (汽水域研究), 5: 123-135 (1998).
- (13) 中井信之, 太田友子, 藤澤寛, 吉田正夫: 第四紀研究, 21: 169-177 (1982).
- (14) YOSHIKAZU SAMPEI and EIJI MATSUMOTO: *Geochemical Journal*, 35, 189-205 (2001).
- (15) 原田昌佳, 吉田 勲: 農業土木学会論文集, 224, 111-119 (2003).
- (16) 高安克己編: 汽水域の科学, 米子, たたら書房, 2001, 38-47.
- (17) 南條吉之, 福田明彦, 九鬼貴弘, 若林健二: 鳥取県衛生環境研究所報, 36, 63-66, (1996)

地点 番号	緯度	経度	泥温(°C)		ORP(mv)		泥色	性状	乾燥減量 (%)	強熱減量 (%)	泥分率 (%)	TOC (mg/g)	TN (mgN/g)	全リン (mgP/g)	硫化物 (mgS/g)	C/N比	水深(m)*
			表面	内部	表面	内部											
1	35.51064	134.17353	19.7	19.9	171	172	暗褐	砂	29	2.6	-	2.0	1.02	0.27	0.01	1.96	1.2
2	35.50777	134.17355	19.0	18.7	-126	-151	オリブ黒	砂泥	35	6.0	-	14	1.49	0.61	0.10	9.40	1.4
3	35.50373	134.17192	22.0	19.2	-109	-130	オリブ黒	砂泥	33	5.4	-	12	1.39	0.46	0.09	8.63	1.7
4	35.50703	134.16991	20.0	19.0	-103	-140	オリブ黒	泥	45	9.2	84.1	23	2.53	0.62	0.61	9.09	2.5
5	35.50396	134.17062	20.0	19.1	-102	-173	オリブ黒	泥	46	9.2	-	19	2.82	0.88	1.00	6.74	2.5
6	35.52032	134.16196	19.6	19.2	-134	-257	黒	泥	67	12.3	-	29	3.74	1.00	0.87	7.75	4.0
7	35.51764	134.16601	20.6	19.5	100	139	淡黄	砂	21	0.7	1.0	0.8	0.27	0.11	<0.01	2.96	1.1
8	35.50702	134.16482	19.2	18.8	-137	-157	暗オリブ灰	泥	51	9.8	91.8	25	2.60	0.64	0.91	9.62	3.2
9	35.50409	134.16600	19.3	19.3	-173	-177	暗オリブ灰	泥	57	11.3	-	26	2.81	0.82	1.06	9.25	2.9
10	35.50007	134.16238	19.3	19.2	-153	-173	黒褐	泥	50	9.1	-	22	2.52	0.74	0.43	8.73	2.5
11	35.49824	134.16208	23.0	ND	-63	ND	淡黄	砂	22	1.9	-	2.8	0.21	0.29	0.01	13.33	0.9
12	35.51764	134.16045	19.7	19.2	-143	-282	黒褐	泥	70	11.1	95.3	27	2.57	0.81	0.48	10.51	4.1
13	35.51309	134.16052	18.8	19.8	-161	-295	黒褐	泥	68	11.1	-	30	4.30	1.36	2.52	6.98	4.2
14	35.50860	134.16041	20.3	19.8	-83	-193	黒褐	泥	65	10.4	96.0	27	3.84	0.87	1.16	7.03	3.7
15	35.50409	134.16041	19.1	19.1	-183	-177	緑黒	泥	64	10.6	-	29	2.13	0.91	1.61	13.62	3.2
16	35.49952	134.16041	23.6	21.0	18	30	淡黄	砂	25	3.2	37.8	8.8	0.94	0.34	0.15	9.36	1.6
17	35.52061	134.15735	19.7	19.5	-123	-310	黒	泥	72	11.9	-	33	5.78	1.06	5.67	5.71	4.7
18	35.51764	134.15496	19.3	20.1	-151	-277	黒褐	泥	70	11.5	-	32	4.12	0.82	2.63	7.77	4.5
19	35.51315	134.15496	19.2	20.1	-73	-227	黒褐	泥	70	11.5	99.4	31	4.46	0.93	3.20	6.95	4.2
20	35.50860	134.15491	19.8	19.4	-90	-223	黒褐	泥	60	9.1	-	18	2.78	0.78	1.70	6.47	3.9
21	35.49892	134.15547	19.4	19.1	-134	-160	緑黒	泥	66	12.3	92.3	26	4.31	0.97	1.39	6.03	2.0
22	35.51761	134.15136	19.1	19.9	-226	-340	黒	泥	72	12.4	97.3	35	4.66	1.01	6.87	7.51	5.8
23	35.49687	134.15189	20.4	20.1	-97	-100	オリブ黒	砂泥	35	6.4	-	13	1.28	0.47	0.13	10.16	1.2
24	35.51764	134.14948	20.3	19.2	-143	-278	黒	泥	72	12.1	-	34	4.54	0.99	0.41	7.49	4.2
25	35.51315	134.14948	19.0	19.7	-185	-339	黒	泥	73	12.6	-	35	3.58	0.76	2.60	9.78	4.5
26	35.50860	134.14949	18.8	19.2	-147	-240	黒	泥	69	11.3	-	30	3.64	0.73	3.52	8.24	3.7
27	35.50402	134.14949	19.3	19.1	-177	-187	オリブ黒	泥	69	11.7	97.8	32	3.93	1.12	3.43	8.14	3.3
28	35.49959	134.14940	19.5	19.6	-137	-153	オリブ黒	泥	60	11.5	-	29	3.34	0.81	1.85	8.68	2.7
29	35.51311	134.14390	18.8	18.9	-172	-284	黒	泥	73	12.8	99.7	36	5.14	1.02	6.56	7.00	4.0
30	35.50860	134.14390	18.3	19.0	-155	-257	黒	泥	72	12.2	-	35	4.88	0.96	2.52	7.17	3.7
31	35.50409	134.14390	19.0	18.9	-180	-197	オリブ黒	泥	68	12.1	-	32	3.92	0.87	2.52	8.16	3.3
32	35.49959	134.14390	19.6	19.3	-150	-157	オリブ黒	泥	56	11.1	-	27	3.18	0.77	1.43	8.49	2.6
33	35.51737	134.14439	19.1	18.8	-155	-207	黒褐	砂泥	50	9.0	-	17	2.09	0.89	0.20	8.13	3.5
34	35.49754	134.14220	19.8	19.8	-103	-140	緑黒	砂泥	38	7.5	-	15	1.35	0.43	0.11	11.11	1.8
35	35.51311	134.13840	19.0	19.1	-127	-238	黒褐	泥	58	11.5	-	28	3.35	0.66	0.72	8.36	2.7
36	35.50860	134.13840	18.7	19.3	-133	-240	黒褐	泥	71	12.2	-	33	4.80	1.10	1.59	6.88	3.0
37	35.50409	134.13840	18.8	19.1	-190	-177	暗褐	泥	65	11.9	99.2	32	4.27	1.10	0.79	7.49	2.6
38	35.49959	134.13840	19.5	19.4	-90	-120	オリブ黒	泥	48	10.8	96.1	27	2.74	0.64	0.60	9.85	2.3
39	35.49814	134.13686	19.5	20.2	47	53	暗褐	砂	22	1.9	9.1	5.5	0.31	0.19	0.02	17.74	1.1
40	35.50880	134.13374	18.2	19.1	-118	-180	黒褐	泥	64	13.6	-	42	4.59	0.45	0.31	9.15	2.0
41	35.50807	134.13116	19.5	19.6	-117	-170	黒褐	泥	66	17.8	-	62	5.73	0.59	0.37	10.82	1.4
42	35.50628	134.13001	19.6	20.8	-110	-195	黒褐	泥	44	12.0	-	29	2.37	0.87	0.31	12.24	0.7
43	35.50657	134.13294	18.4	19.3	-117	-160	黒褐	泥	59	13.1	95.7	43	4.08	0.50	0.93	10.54	1.6
44	35.50065	134.13255	20.2	20.6	-127	-150	オリブ黒	泥	39	8.8	-	25	2.33	0.71	0.15	10.73	1.1
45	35.49944	134.13379	19.7	20.0	-107	-160	オリブ黒	砂泥	38	7.7	-	19	1.84	0.52	0.21	10.33	1.2

採取年月日:平成27年10月16日(※水深のみ平成27年11月5日測定)

表1 底質の理化学分析結果

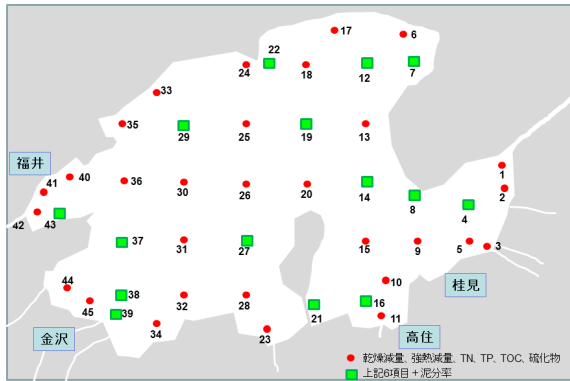


図1 調査地点図

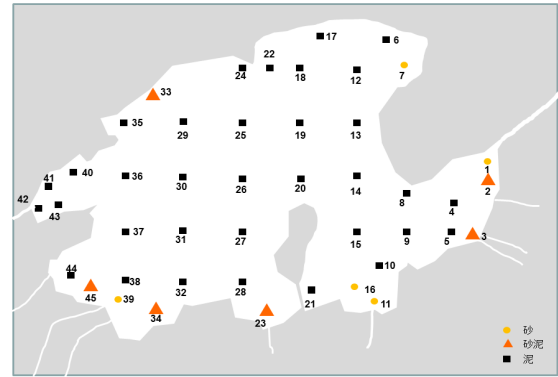


図2 目視確認による底質の性状

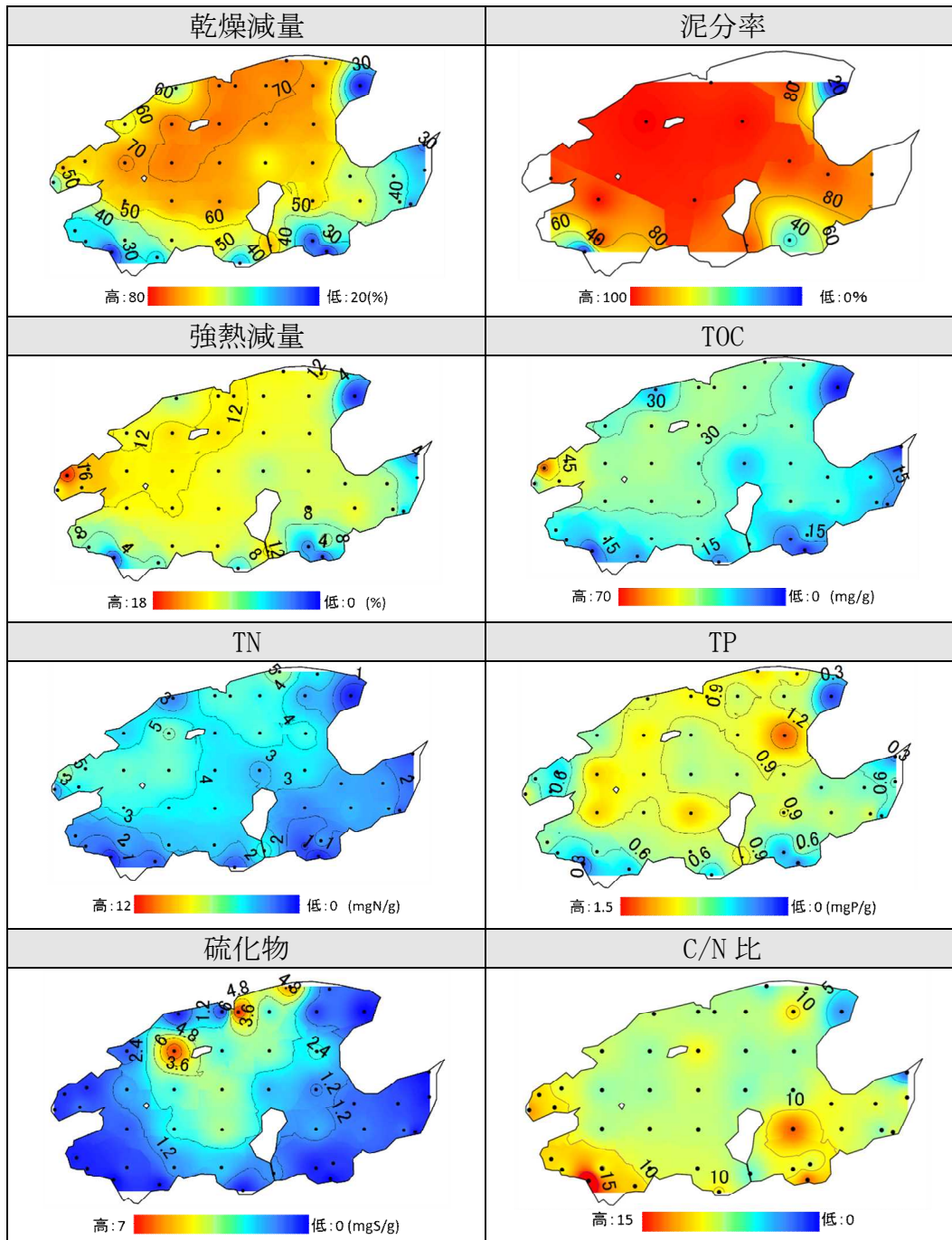


図3 2015年の各項目のコンタマップ

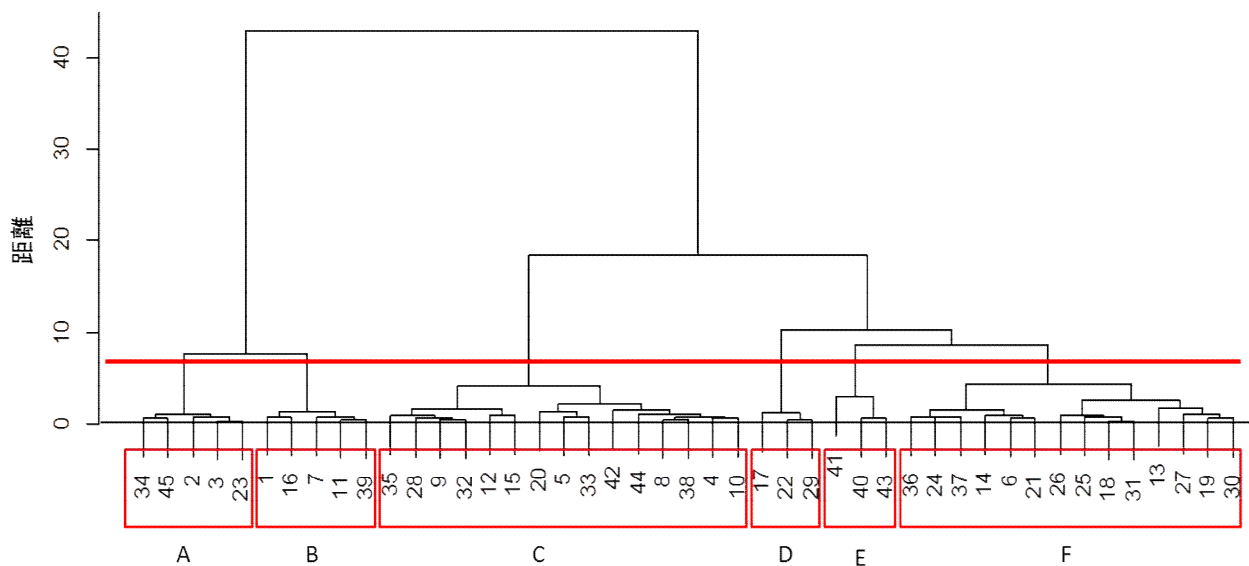


図4 クラスター分析による調査地点のデンドログラム

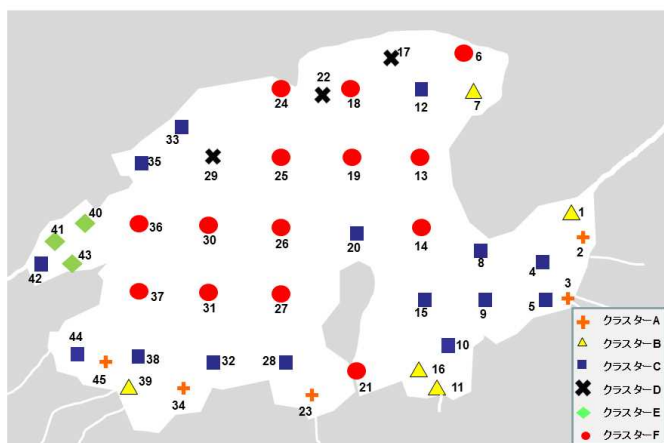


図5 クラスター分析による調査地点の類型化

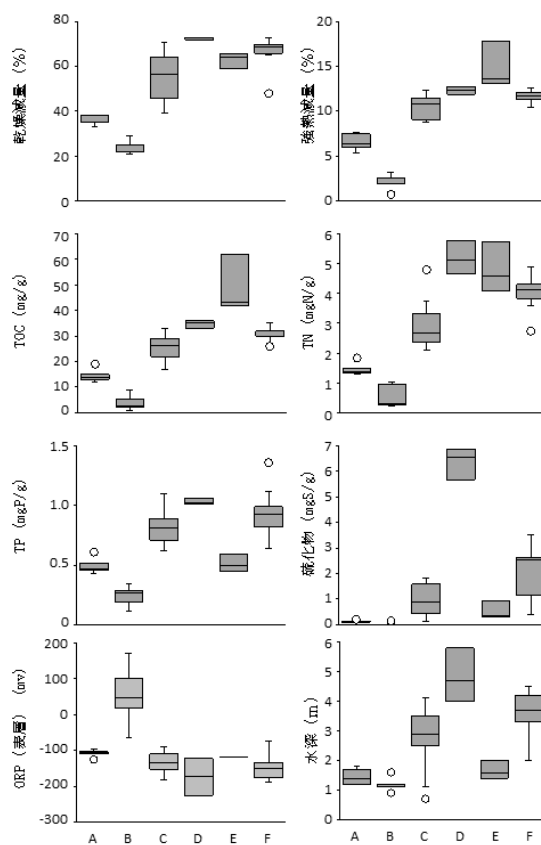


図6 クラスター別の分析値と酸化還元電位 (ORP)、水深

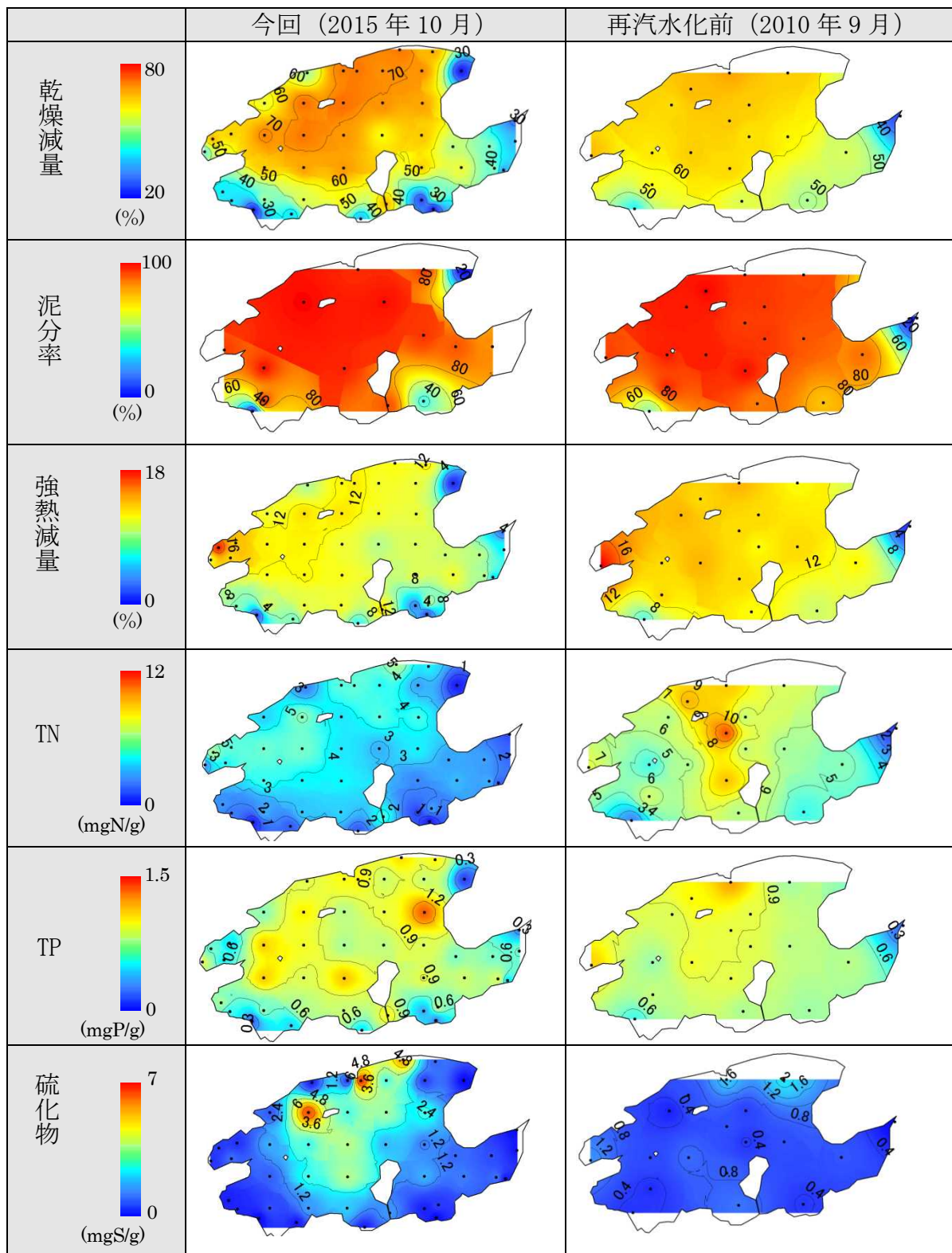


図7 2010年の調査結果との比較