汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

報告書

平成 26 年 8 月

島根県環境生活部環境政策課

（汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ）

目　　次

１はじめに

２目的・目標

３検討内容（課題に係る対応とその結果）
　３-１流入負荷量の正確な把握
　　３-１-１流入水質の長期変動傾向
　　３-１-２斐伊川 365 日調査
　　３-１-３降水中の全窒素・全リン濃度の変動
　　３-１-４流入負荷に関するまとめ
　３-２塩分成層による貧酸素水塊の発生とそれに伴う湖底からの栄養塩等の溶出が水質に与える影響の把握
　　３-２-１過去のデータを用いたリンの収支と底質の影響の検討
　　３-２-２底質の状況
　　３-２-３塩分成層と酸素の挙動
　　３-２-４湖底からの栄養塩の溶出の把握
　３-３有機物の把握
　　３-３-１難分解性有機物調査
　　３-３-２植物プランクトン存在比調査
　３-４宍道湖の窒素リン存在比
　３-５その他
　　３-５-１アオコについて
　　３-５-２塩分濃度と湖沼環境

４まとめ
　４-１流入の状況について
　４-２湖内の状況について
　４-３底質について

５今後に向けて

６参考

６-１負荷量と河川水量の関係

６-２山林原単位の見直し

○汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ検討会開催状況

○汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ委員名簿

１はじめに

島根県は、宍道湖・中海が昭和 63 年度に湖沼水質保全特別措置法の指定湖沼となって以降、5 期 25 年にわたり水質改善のため様々な施策を実施してきた。

主なものは、①生活排水対策として、下水道、農業集落排水施設、浄化槽等の生活排水処理施設の整備、②工場・事業場対策として、各種法令に基づく規制基準の遵守徹底及び規制対象外施設に対する指導、③農地・市街地対策として、適正施肥の実施、水田からの濁水流出防止のための水管理、道路の路面、側溝の清掃等を実施するとともに重点地区を流出水対策地区に指定する、などである。

その結果、平成 20 年度の宍道湖の COD、全窒素、全リンの流入負荷量は、昭和 63 年度と比べると推計値でそれぞれ 35%、23%、41%削減されており、流入負荷量の削減については一定の成果が得られていると考えられる。しかし、宍道湖の水質は、長期的にはおおむね横ばいであるが、近年は COD は高めで推移し、全窒素と全リンはやや上昇傾向である。これまで、宍道湖・中海の調査は行われてきているが、汽水湖である宍道湖の、水質汚濁メカニズムは複雑で未解明の部分も多く、湖の水質浄化を図るためにはさらなる総合的な調査研究が必要である。

２目的・目標

湖沼の有機汚濁は①有機物が河川等から流入するものと②栄養塩を利用した植物プランクトンの増殖（内部生産）によるものに大別され、特に内部生産の割合が高いといわれている。窒素やリンなどの栄養塩は、河川等からの流入や湖底から溶け出すことで供給され、この量が内部生産に大きく関係していると考えられる。第 6 期湖沼水質保全計画以降、効果的な対策を検討するためには、汚濁メカニズムを解明することが大事であり、そのための調査において重要となる事項の抽出、調査結果の考察及び汚濁メカニズムを解明する上で強力なツールとなるシミュレーションモデルを構築する必要がある。これらを検討するために、汽水湖沼の諸現象に精通した各分野の専門家をメンバーとした「汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ」を第 5 期湖沼水質保全計画期間中の平成 22 年に立ち上げ、検討を開始した。可能なことは第 6 期湖沼水質保全計画に反映させるため、平成 25 年度までの目標として、先ずは宍道湖について、物質収支（特にリン）を把握して、湖内水質が横ばいである原因を検討し、水質改善に向けた効果的な施策に繋げるために必要な調査等を以下の項目として設定した。

また、宍道湖では、平成 22 年度以降 3 年連続で大規模なアオコの発生がみられたことから、アオコに関する調査を追加した。

① 流入負荷の正確な把握（特にリンの流入負荷量の把握の精度向上）
② 塩分成層による貧酸素水塊の発生と、それに伴う湖底からの栄養塩等の溶出が水質に与える影響の把握
③ 湖内有機物（難分解性有機物、植物プランクトン）の動態把握
④ その他（アオコの状況、水質シミュレーションモデルの検討）

３検討内容

３-１流入負荷の正確な把握

３-１-１流入水質の長期変動

（１）目的

宍道湖の流入水量の 7 割を占める斐伊川からの流入水質の長期変動を確認する。

（２）方法

調査を開始した平成 5 年 4 月から平成 25 年 3 月までの 20 年間、月一回、概ね平水時に採水を実施した斐伊川（神立橋）の水質データの統計処理を行った。高水時には懸濁物質の流出によって水質濃度が上昇する場合があるので、これらのデータは統計解析により予め取り除いた。また、水質濃度は、季節により周期的に変化するものもあり、長期変動が見えにくくなることから、長期変動の統計処理にあたっては、移動平均比率法により、季節による変動要因を予め取り除いてから実施した。

なお、斐伊川流域の総面積は 910km² であり、平成 22 年度の山林、水田・畑及び市街地その他（耕作放棄地を含む）の割合はそれぞれ 81.0%、6.1%、12.6%で、平成 12 年度と比較すると山林はほとんど変化はない（-0.3%）が水田・畑が減少し（-3%）、市街地その他は増加（+3.3%）している（農林水産省，2002，2012）。

（３）結果及び考察

図 1 に斐伊川の全窒素濃度、全リン濃度、全窒素全リン濃度の比（NP 比）の経月変化を示す。期間中 20 年間の単純平均濃度は全窒素、全リンそれぞれ 0.52mg/L、0.027mg/L であった。

この期間中の増減の傾向を解析し、その概要を表 1 に示す。

全窒素濃度は、20 年間で統計的に有意に上昇した。初めの 9 年間と後の 11 年間の傾向を見ると、初めの 9 年間で統計的に有意に上昇し、後の 11 年間では統計的に有意な傾向は見られなかった。

全リン濃度は、20 年間で統計的に有意に上昇したが、初めの 9 年間と後の 11 年間に分けて傾向を見ると、いずれも統計的に有意な傾向は見られなかった。これは、短期間の解析では月ごとの変動が大きく、明確な変動傾向が明らかにならなかったが、長期間の解析でその傾向が明らかになったためと考えられる。

NP 比は、20 年間で統計的に有意に減少した。初めの 9 年間と後の 11 年間の傾向を見ると、初めの 9 年間では統計的に有意な傾向は見られなかったが、後の 11 年間では統計的に有意に低下していた。

斐伊川の平水時における水質濃度は、この 20 年にわたる観測結果の解析から、全窒素、全リンともに上昇傾向にあることが分かった。同時に NP 比が低下傾向にあることも分かった。

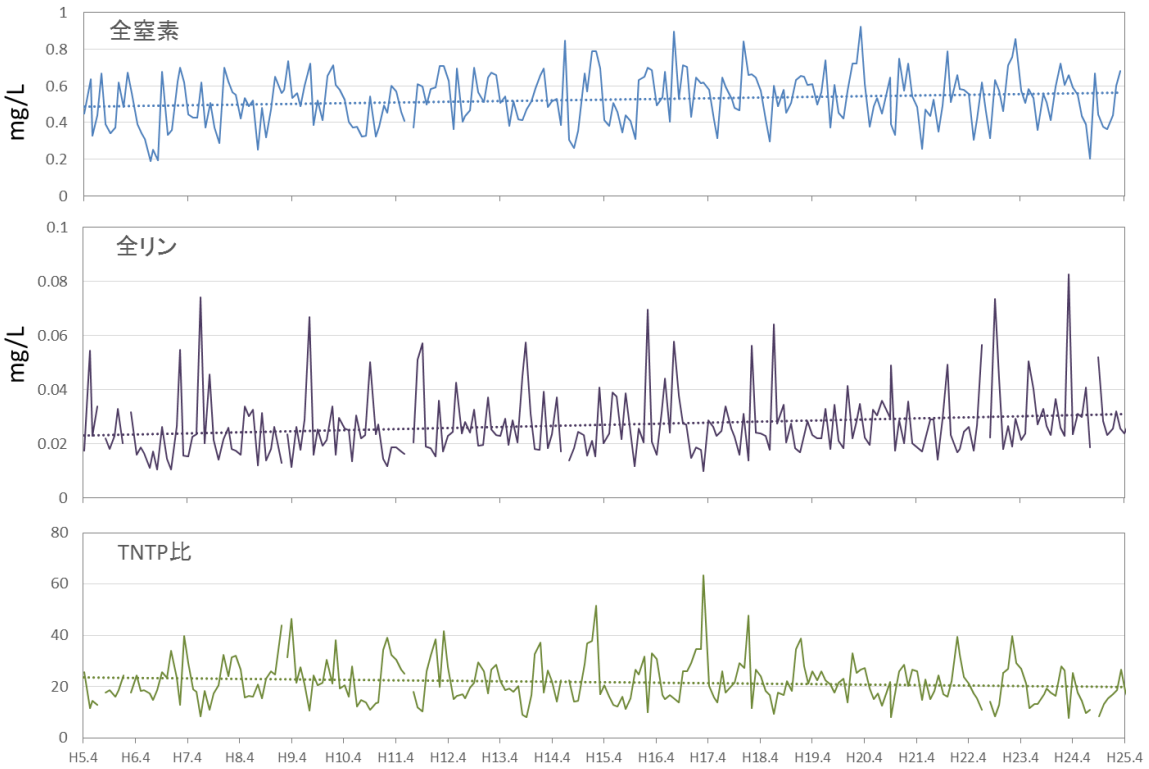


図１　斐伊川における全窒素、全リン、NP 比の経月変化

表１　　全窒素・全リンの変動傾向

		昭和59年度～平成4年度 (1984-1992)			平成5年度～平成13年度 (1993-2001)			平成14年度～平成24年度 (2002-2012)			全期間		
		有意or 有意でない	傾き	平均値	有意or 有意でない	傾き	平均値	有意or 有意でない	傾き	平均値	有意or 有意でない	傾き	平均値
降水	TN濃度							×	15.1 (μg/L/年)	945 (μg/L)	×	15.1 (μg/L/年)	945 (μg/L)
	TP濃度							↗	1.37 (μg/L/年)	17.0 (μg/L)	↗	1.37 (μg/L/年)	17.0 (μg/L)
	TN/TP濃度比							↘	-5.57 (/年)	84.7	↘	-5.57 (/年)	84.7
	TN降下量							×	0.77 (kg/km^2/年/年)	120.9 (kg/km^2/年)	×	0.77 (kg/km^2/年/年)	120.9 (kg/km^2/年)
	TP降下量							↗	0.19 (kg/km^2/年/年)	2.25 (kg/km^2/年)	↗	0.19 (kg/km^2/年/年)	2.25 (kg/km^2/年)
	TN/TP降下量比							↘	-5.57 (/年)	84.7	↘	-5.57 (/年)	84.7
斐伊川（神立橋）	TN濃度				↗	9.6 (μg/L/年)	503 (μg/L)	×	-4.0 (μg/L/年)	546 (μg/L)	↗	3.3 (μg/L/年)	527 (μg/L)
	TP濃度				×	0.42 (μg/L/年)	25.3 (μg/L)	×	0.59 (μg/L/年)	28.1 (μg/L)	↗	0.35 (μg/L/年)	26.9 (μg/L)
	TN/TP濃度比				×	0.091 (/年)	22.3	↘	-0.608 (/年)	21.7	↘	-0.149 (/年)	22.0
宍道湖湖心上層	TN濃度	×	8.2 (μg/L/年)	483 (μg/L)	↗	10.3 (μg/L/年)	466 (μg/L)	↗	10.4 (μg/L/年)	515 (μg/L)	↗	2.8 (μg/L/年)	490 (μg/L)
	TP濃度	×	-0.91 (μg/L/年)	38.9 (μg/L)	↗	1.17 (μg/L/年)	44.3 (μg/L)	↗	4.90 (μg/L/年)	54.2 (μg/L)	↗	1.06 (μg/L/年)	46.4 (μg/L)
	TN/TP濃度比	↗	0.47 (/年)	13.9	×	-0.14 (/年)	12.8	↘	-0.54 (/年)	12.4	↘	-0.08 (/年)	13.0

傾きは季節変動除去後の傾き
p<0.05を有意とした

3-1-2 斐伊川 365 日調査

（1）目的

宍道湖の流入水量の 7 割を占める斐伊川からの流入負荷を正確に把握し、河川から宍道湖への影響を評価するために実施した。

（2）方法

斐伊川（神立橋）の水質調査を平成 22 年 7 月 1 日～平成 23 年 6 月 30 日までの 1 年間毎日一回（365 回）実施した。採水地点上流の工事による濁水を採水した 3 日間については、前後の水質の平均値とした。国土交通省出雲河川事務所から同期間の斐伊川の日流量測定結果の提供をうけ、斐伊川から宍道湖への全窒素・全リンの流入負荷量を算出した（宮廻ら, 2014）。

斐伊川からの流入負荷は、過去に同様な調査を、昭和 58 年 7 月～昭和 59 年 6 月の 1 年間（Ishitobi Y. et al., 1988）及び、平成 13 年 9 月～平成 14 年 8 月の 1 年間（Kamiya H. et al., 2008）の 2 回実施しており、それらとの比較を行った。

（3）今回の結果（第 3 回目調査：平成 22 年 7 月 1 日～平成 23 年 6 月 30 日）

【流況】

平成 22 年～23 年の調査期間中の日平均流量は 15.5m³/s～607.8m³/s、平均流量は 51.0m³/s、年流量は 16.1 億 m³/y であった。

【全窒素】

負荷量について、斐伊川の日ごとの測定濃度と観測日流量を単純に積算した斐伊川から宍道湖へ流入する年間負荷量は 1065t であった。

濃度について、年間加重平均値は 0.66mg/L（単純平均値は 0.60 mg/L）で、宍道湖の環境基準値（0.4mg/L）の 1.65 倍であった。濃度が宍道湖の環境基準値未満の日数は 29 日であった。流量と全窒素濃度の相関関係は明確ではなかった。

また冬期（12 月から 3 月）の単純平均値(0.76mg/L)は、それ以外の時期(0.52mg/L)と比べ高い傾向が見られ、この傾向は硝酸態窒素において顕著に表れた。（図 2）

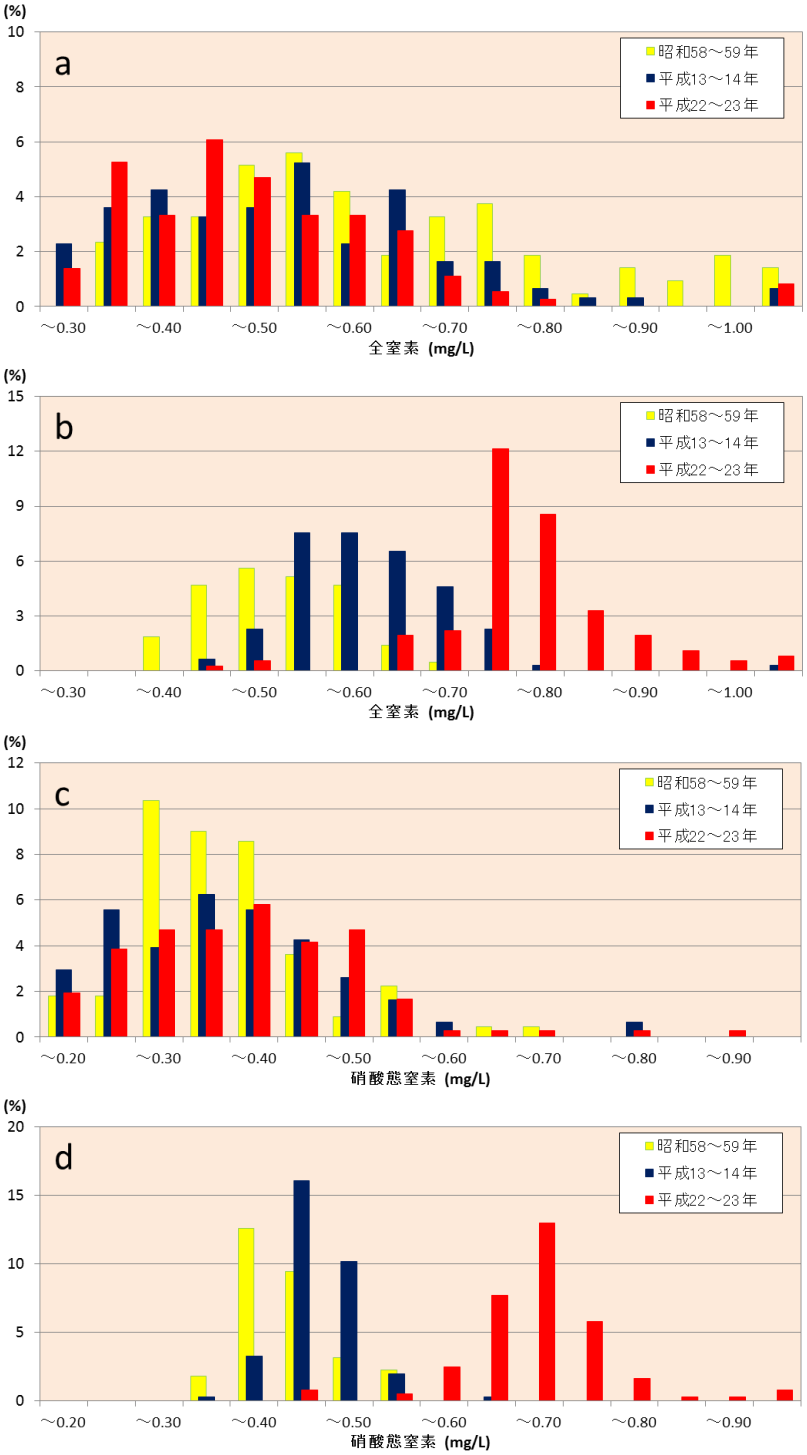
【全リン】

負荷量について、斐伊川の日ごとの測定濃度と観測日流量を単純に積算した斐伊川から宍道湖へ流入する年間負荷量は 92.1t であった。

濃度について、年間加重平均値は 0.057mg/L（単純平均値は 0.034 mg/L）で宍道湖の環境基準値（0.03mg/L）の 1.9 倍であった。

平均流量以上の日（101 日）の総負荷量は 72t で年間負荷量の 79%を占めた。なお、濃度については、斐伊川の日平均流量が年間平均流量以上の日の場合は、約 7 割（70 日）が宍道湖の環境基準値を超過し、逆に、年間平均流量以下の日（264 日）の場合は、約 7 割（186 日）が宍道湖の環境基準値（0.03mg/L）未満で流入し、流量が多いときに全リン負荷量が増加し、濃度も上昇する傾向があった。

冬期に硝酸態窒素濃度は顕著に上昇したが、リン酸態リン濃度の上昇は認められなかった。



全窒素（6～9月）
平均濃度
昭和58~59年：0.61mg/L
平成13~14年：0.51mg/L
平成22~23年：0.48mg/L

全窒素（12～3月）
平均濃度
昭和58~59年：0.51mg/L
平成13~14年：0.60mg/L
平成22~23年：0.76mg/L

硝酸態窒素（6～9月）
平均濃度
昭和58~59年：0.35mg/L
平成13~14年：0.34mg/L
平成22~23年：0.36mg/L

硝酸態窒素（12～3月）
平均濃度
昭和58~59年：0.41mg/L
平成13~14年：0.44mg/L
平成22~23年：0.67mg/L

図２　斐伊川における全窒素濃度及び硝酸態窒素濃度分布比較
（a：全窒素 6～9 月、b：全窒素 12～3 月、c：硝酸態窒素 6～9 月、
d：硝酸態窒素 12～3 月）

（4）過去調査との比較

負荷量は濃度と流量の積で求まるので、河川からの全窒素、全リンの年間負荷量の変動要因としては濃度変動と流量変動があげられる。また、流域から排出される負荷は人由来と自然由来のものがある。

表 2 に過去 3 回の調査の概要を、図 3 にそのうち負荷量と流量の変化を示す。

全窒素の年間負荷量は、857t 、922t 、1065t と調査のたびに増加し、全リンの年間負荷量は、95.6t から 62.4t にいったん低下した後 92.1t へと増加している。年流量は、それぞれ、14.1 億トン、14.3 億トン、16.1 億トンで 3 回目の調査（平成 22 年～23 年）が最も多かった。なお、ここ 20 年間の平均年流量は 13.6 億トンである。

【過去調査の概要】

昭和 58 年～59 年と平成 13 年～14 年の調査では、全リンの年間負荷量が低下していた。別に行われた原単位法で推測された流域内の発生負荷量も同様に減少しており、2 回の調査における年流量はほぼ等しかったので、全リンの低下は負荷削減によるものと考えられた。この時、全窒素の負荷量は低下せずに増加していた。この増加は冬期の硝酸態窒素濃度の増加によるもので、増加要因が流域内で認められなかったことから、降雨による流域外からの越境負荷によるものと推察された。

これら 2 回の年間負荷量は、高流量時のデータにフィットするよう作成された L－Q 式から推定された。全窒素、全リンだけでなく硝酸態窒素とリン酸態リンについても、同様の L－Q 式が作成され、また、頻度分布に対応した平均水質が求められている。年間負荷量と水質いずれについても、窒素は上昇しリンは低下していた（Kamiya H. et al., 2008）。

なお、河川の全リンの濃度は河川流量が増加すると上昇する。したがって、負荷量は河川流量の影響を受け、年間の河川流量が多ければ年間負荷量も増えると同時に、洪水などで一時的に河川流量が増えた場合にも多くの負荷が発生し年間負荷量も増加すると考えられる。

【3 回目の調査の評価】

3 回目の調査はこれまでの調査に比べ年間総流量が大きかった。

第 2 回の調査で冬期の硝酸態窒素濃度が上昇していることが見出されたが、3 回目の調査によって、図 2 に示すように、さらに顕著に上昇していることが分かった。

原単位法によれば、流域内の発生負荷量は平成 13 年の第 2 回の調査時よりも更に減少している。今回得られた全窒素の年間負荷量の増加は、河川流量の増加と冬期の硝酸態窒素濃度の増加に影響されている可能性がある。また、全リンの年間負荷量の増加は、河川流量の増加によるものと考えられる。

【負荷量の傾向の考察】

上述の解析では調査期間ごとの負荷量は河川流量（降水量）に左右されることから、河川流量の影響を除去して評価することを試みた。

過去 3 回の調査の負荷量－流量の分布図を作成し、比較を行った。図 4 に全窒素および全リンのそれぞれ各調査の斐伊川の負荷量と流量の分布図を示す。

昭和 58 年～59 年の調査（黄色△）は流量の範囲が最も広い。平成 13～14 年の調査（青○）はやや中流量側に寄り、グラフ右寄りの点が少ない。平成 22～23 年の調査（赤◇）は逆にやや高流量側に寄り、かつ高流量側の点が比較的多く、グラフ左寄りの点が少ない。

このグラフでは、全窒素、全リンともに調査期間ごとの大きな違いは見られなかったが、低流量時に着目すると全窒素、全リンともに 1 回目調査よりも 2 回目、3 回目調査時がやや低負荷量側に分布する傾向が見られた。低流量時は高流量時と比べ相対的に生活系、事業場系などの点源の負荷割合が大きいことから、1 回目調査以降に生活系、事業場系の負荷が減少したことが考えられた。

また、全リンは全窒素と比べると同じ流量に対する負荷量のばらつきはやや大きく、特に高流量時には全データから求めた 1 次の近似直線よりも高濃度側に分布の中心がある。このことは、平常時と比べ高流量時には河川の全リン濃度が高くなることを示しており、負荷量もより大きくなる。平成 22 年～23 年調査は高流量の出現日数が多いことから、全リンの負荷量が大きくなったことが推察される。

同じ河川で 1 年間のほぼ毎日調査が、10 余年毎に繰り返された例は、日本全国を見ても稀である。年間負荷量は、流域内の発生負荷量、流域外からの越境負荷量、河川流量の変動に影響される。今回の調査は高流量のケースで、全リンについては、2 回目より増加したものの 1 回目と比べて低い。これまで行われた削減施策の効果と考えられる。宍道湖のリン濃度が上昇傾向にあることから、今後も同様の調査を繰り返し、平水時の長期的な水質変動も勘案しつつ、負荷量の長期的な推移について要因も含め把握していく必要がある。

表 2　過去の斐伊川高頻度調査の概要

調査時期	S58-59	H13-14	H22-23年
総流量 （億ｔ）	１４.１	１４.３	１６.１
平均流量(m^3/s)	４４.８	４５.３	５１.０
全窒素加重平均濃度(mg/L)	０.６１	０.６４	０.６６
全リン加重平均濃度(mg/L)	０.０６８	０.０４４	０.０５７
全窒素負荷量(ｔ/年)	８５７	９２２	１,０６５
全リン負荷量(ｔ/年)	９５.６	６２.４	９２.１

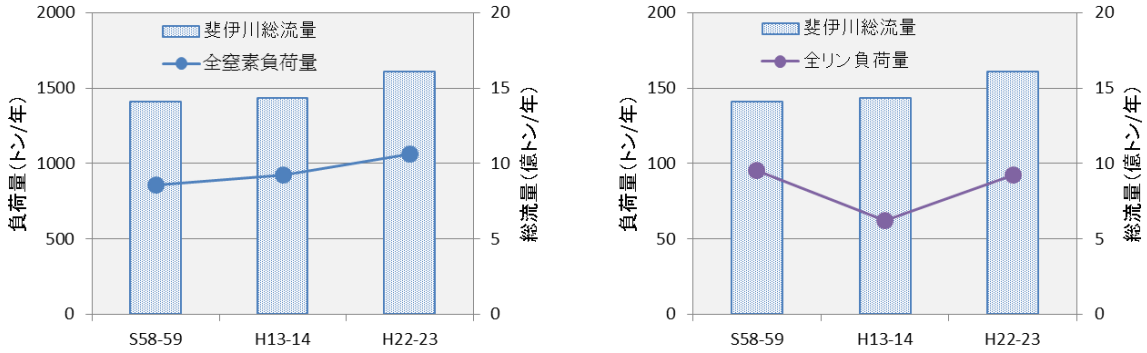


図３　斐伊川高頻度採水調査から得られた負荷量と流量の変化

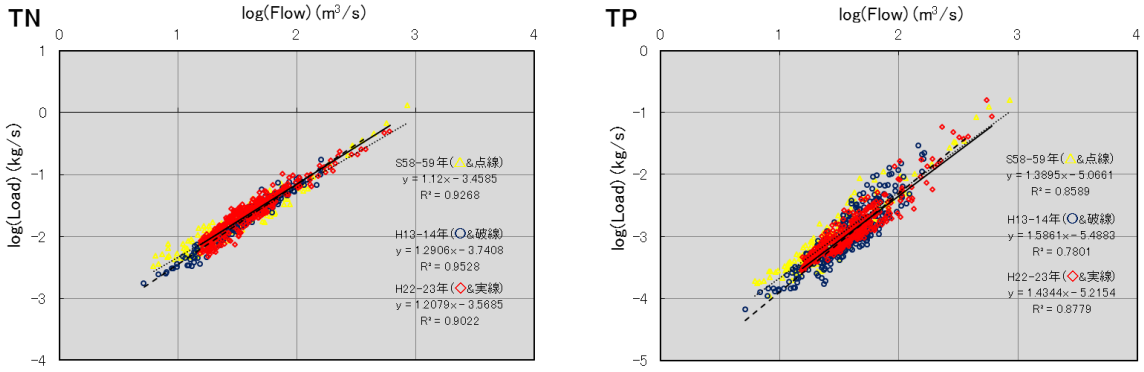


図４　斐伊川の流量－負荷量散布図

3-1-3 降水中の全窒素、全リン濃度の変動

（1）目的

斐伊川の水質に影響を与えている可能性のある降水について、水質の長期変動を確認する。

（2）方法

平成 14 年 4 月～平成 25 年 3 月までの 11 年間、月毎に採取した降水（島根県保健環境科学研究所屋上）の水質データの統計処理を行った。この 11 年間の長期変動の統計処理にあたっては、移動平均比率法により、季節による変動要因を予め取り除いてから実施した。

また季節変化についても別途解析を行った。

（3）結果及び考察

図 5 に降水中の全窒素、全リン、NP 比の経月変化を示す。また、表 1 にその変動傾向を示す。降水中の濃度の、平成 14 年 4 月～平成 25 年 3 月までの 11 年間の月ごとの変動は、全窒素は統計的に有意な傾向は見られなかったが、全リンは有意に増加していた。NP 比は全リンが有意に増加したため、統計的に有意に減少した。

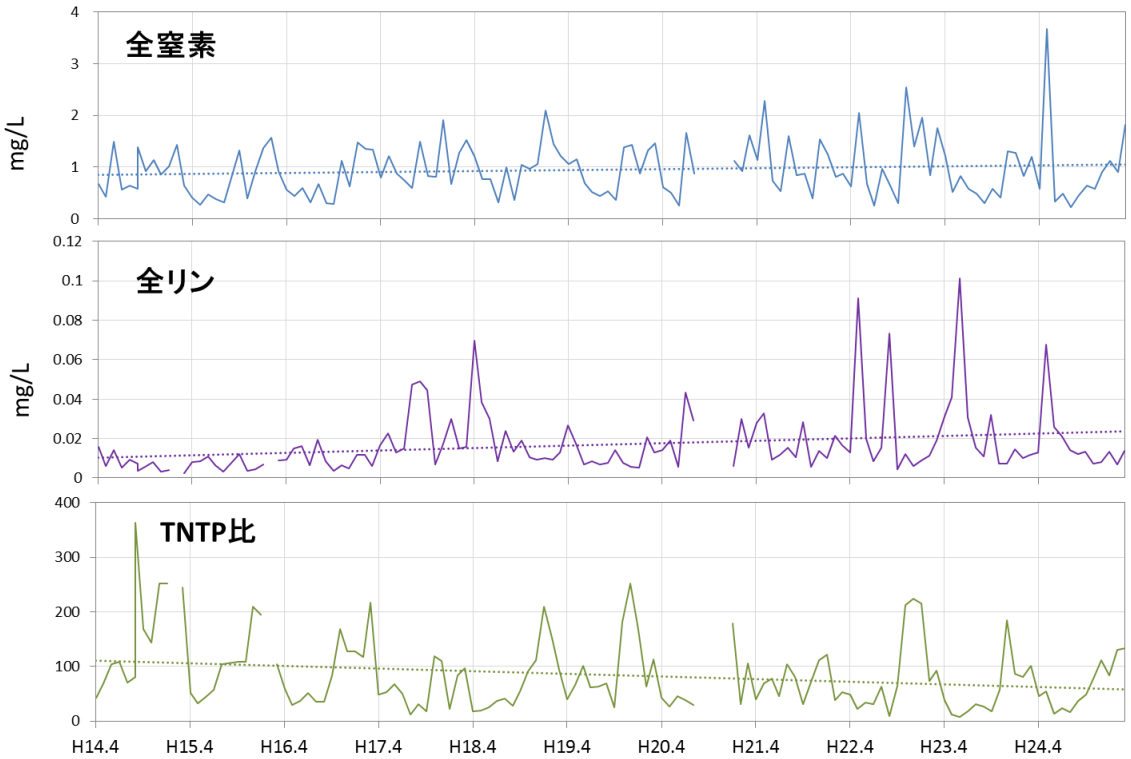


図 5　降水中（松江市）における全窒素、全リン、NP 比の経月変化

図 6 に月ごとの降水量及び降水中の全窒素、全リン濃度の平均値とその変動範囲を示す。全窒素は 12 月～3 月に比較高い値となることが多く、全リンは春期から夏期にかけて高いことが多い。

季節により全窒素、全リンの濃度が変化する傾向があることから、春夏秋冬ごとに変動の傾向を調べたところ、春（3～5 月）の全窒素濃度が統計的に有意に増加していた。全リン濃度の明らかな傾向は見られなかった。

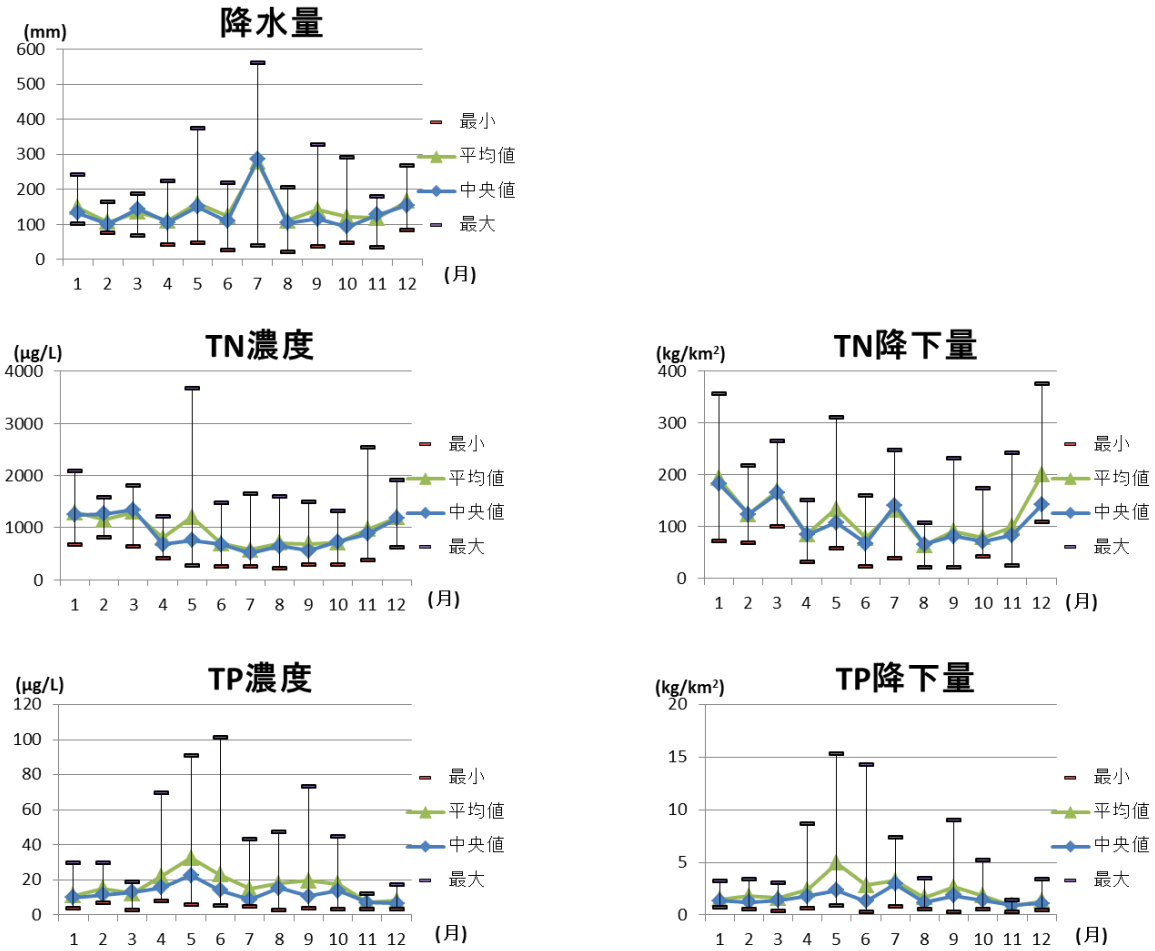


図 6　月ごとの降水量及び降水中の全窒素、全リン濃度の平均値

3-1-4 流入負荷に関するまとめ

【全窒素】

斐伊川の全窒素濃度は、データのある平成 5 年 4 月～平成 25 年 3 月の 20 年間では統計的に有意に上昇したが、特にこの期間の前半（平成 5 年 4 月～平成 14 年 3 月）に上昇しており、平成 14 年 3 月以降は有意な傾向は見られなかった。

また、斐伊川の水質に影響があると考えられる降水の濃度は、データのある平成 14 年 4 月～平成 25 年 3 月の 11 年間では月毎の変動が大きいため統計的に有意な傾向は見られなかった。ただし季節ごとの変動傾向を見ると、春は統計的に有意に上昇していた。季節的な濃度の傾向は冬期に比較的高い値となることが多かった。

Yoshioka et al. (2009) は、平成 19 年 1 月～平成 20 年 1 月の松江の降雨ごとの調査から、中国大陸東北部からの気流が松江付近に到達するときの降雨は全窒素、全リン濃度が高く、窒素濃度の高い降雨は冬期に多い、としている。宮廻ら (2014) は、斐伊川の硝酸態窒素の平均濃度が増加したのは、越境窒素負荷の影響が更に大きくなったためと考えられた、としている。

斐伊川から宍道湖への負荷量の把握に関しては、1 年間ほぼ毎日採水を行う調査をこれまでに 3 度（昭和 58 年～59 年、平成 13 年 ～14 年、平成 22 年～23 年）実施している。斐伊川の年流量は、1 回目と 2 回目は同様で 3 回目が高かった。調査のたび毎に全窒素の負荷量は増加し、特に冬期の硝酸態窒素濃度が上昇していた。2 回目の負荷量の増加は、冬期の硝酸態窒素濃度の上昇によるとされているが、3 回目の増加は、冬期の硝酸態窒素濃度の更なる上昇と河川流量の増加影響を受けたためと考えられた。なお、宍道湖への負荷量における、冬期の硝酸態窒素濃度の上昇と流量増加の寄与の程度はよく分からない。

【全リン】

斐伊川の全リン濃度は、高濃度 (いずれも高流量時) 事例をのぞき解析を行ったところ、平成 5 年 4 月～平成 25 年 3 月の 20 年間では統計的に有意に上昇した。季節的な濃度の傾向は春から夏に比較的高い値となることが多かった。

降雨の全リン濃度は、データのある平成 14 年 4 月～平成 25 年 3 月の 11 年間では統計的に有意に上昇していた。季節的には、春期に高くなる傾向が見られた。

季節変動について Yoshioka et al. (2009) は、春期の高いリン濃度は黄砂との関係が考えられた、としている。また、日本における大気中リン降下物濃度の経年的増加が観測 (Hartmann et al. 2008) されており、Tian et al.(2007) は、近年の日本の大気中リン降下物濃度の上昇は中国のリン排出量の増加に伴っているとしている。

斐伊川から宍道湖への全リン負荷量は、昭和 58 年～59 年調査が最も大きく、平成 13 年 ～14 年調査では低下し、平成 22 年～23 年調査では上昇したが昭和 58 年～59 年調査の値より低かった。3 回目の上昇は河川流量の影響を全窒素以上に大きく受けたためと考えられ、河川流量が 2 回目と同様であれば、負荷量の変化は少ないものと考えられた。

斐伊川に流入する生活排水、工場・事業場排水、畜産排水等は、それぞれ対策が講じら

れ、流域から排出される人由来の負荷は減少していると推測される。しかし、斐伊川の実測負荷量は実際には減少していないことから、引き続き降雨を含めモニタリングを実施して実態を把握し、これに基づいて有効な対応策を見出していく必要がある。

3-2塩分成層による貧酸素水塊の発生とそれに伴う湖底からの栄養塩等の溶出が水質に与える影響の把握

3-2-1過去のデータを用いたリンの収支と底質の影響の検討

（1）目的

夏期の宍道湖において、湖底からリンが溶出することが確認されており、その影響が大きいことが示されているが（神谷ら, 1996, 2001）、窒素については溶出は少ないとされている（神谷ら，1996）。リンの溶出の影響の程度はこれまで不明であったことから、リンの流出入、溶出、沈降の収支を把握するためにデータ解析を行った。

（2）方法

リンの湖水中現存量は、河川からの流出入及び底質からの溶出、沈降によって定まることから、まず、塩化物イオン量と斐伊川流入量から宍道湖の水収支を求め、この水収支と過去の水質測定結果を用いてリンの収支を計算した。宍道湖への流入負荷量は、流入水量とL－Q式から求めた。宍道湖への流入水量は、国土交通省出雲河川事務所が測定する斐伊川の上島地点での実測流量に宍道湖の流域面積と斐伊川上島地点の流域面積の比をかけて求めた。また、L－Q式は斐伊川神立橋で得られたKamiya H et al. (2008)の式を用いた。計算方法の詳細は神谷（2008）を参照。使用したデータは、平成5年1月から平成23年12月までの19年間の公共用水域水質測定データである。

（3）結果及び考察

図7に水収支とリン収支の概略を示す。19年間の平均の収支は、斐伊川等の淡水からの流入が112t/年あり、うち62t/年が湖底に沈降し、そのうち55%にあたる34t/年が溶出し、都合28t/年ずつ蓄積される計算となった。ただし、年によって変動がかなり大きく、流入よりも流出が多い年、すなわち沈降よりも溶出が多い年もあった。

図8にリンの溶出・沈降速度と水温の関係を示す。10℃以下ではわずかに沈降傾向を示している。

おおむね10℃～25℃では大きな沈降速度を示すが、夏に溶出したリンが秋に急速に沈降すること、青丸に示す7月、8月のデータのうち淡水流入量が$2.2\times10^8 m^3$（宍道湖への平均流入量の約2倍、宍道湖の貯水量$3.6\times10^8 m^3$の約60%）以上の場合に大きな沈降速度を持つことがわかった。

また、水温が25℃以上では溶出が卓越する傾向が見られた。

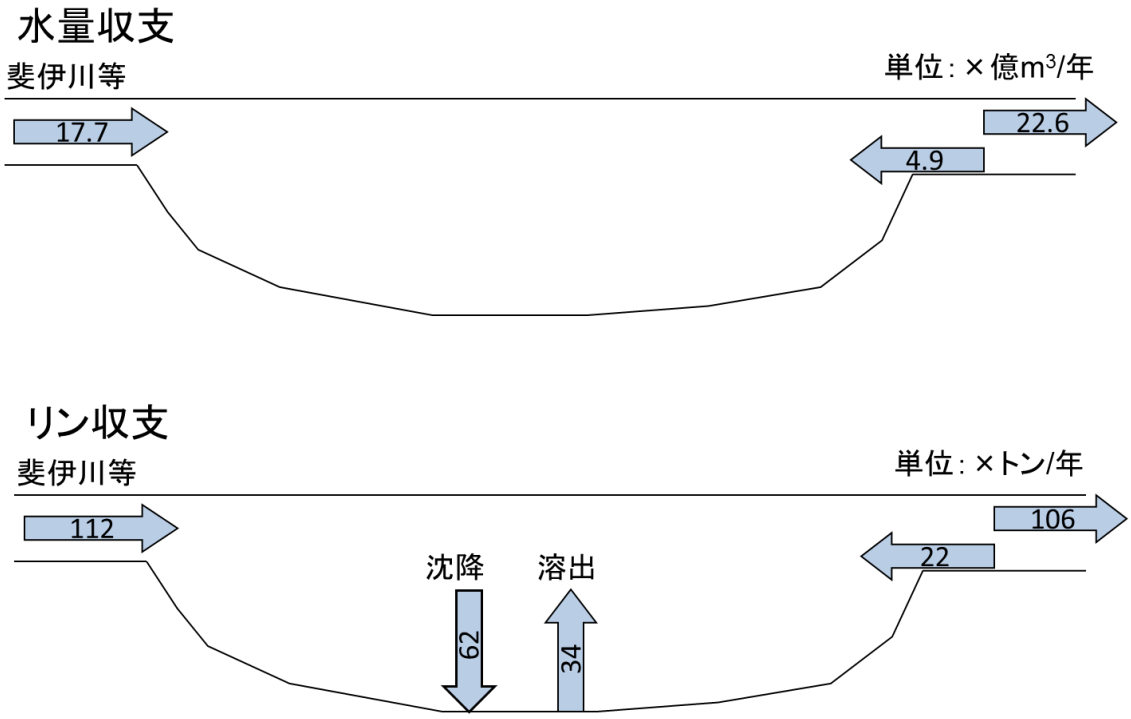


図７　宍道湖における水及びリン収支概略図

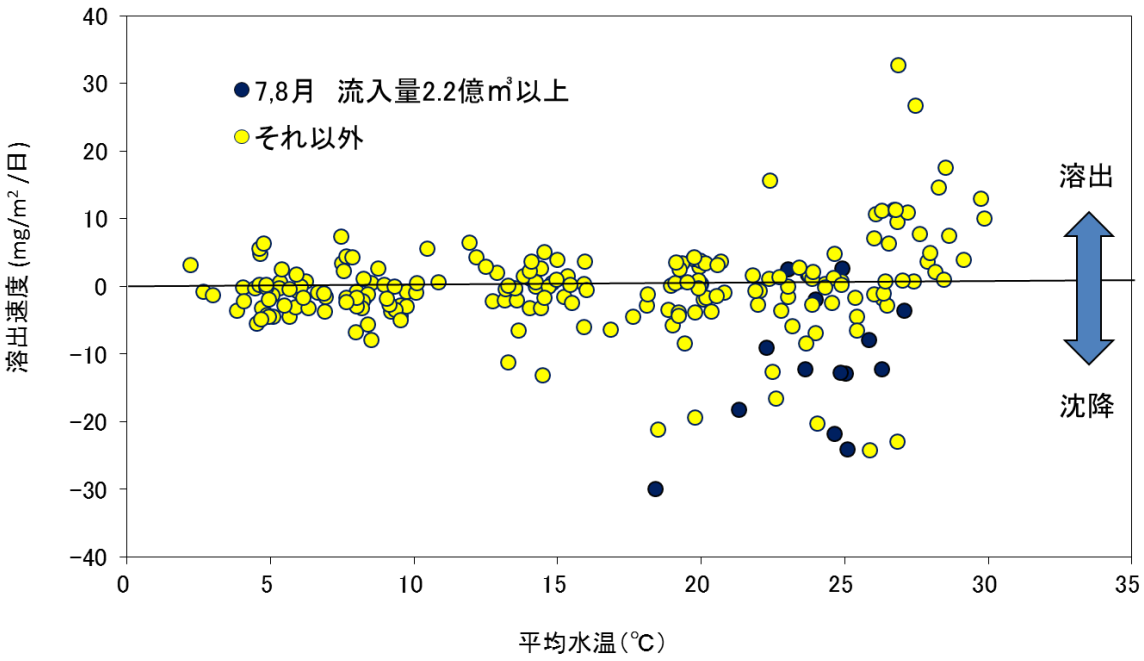


図８　宍道湖におけるリンの溶出、沈降と水温との関係

3-2-2底質の状況

（1）目的

現在の底質がどのような状況であるかについて、平面的な把握及び季節的変化の調査を行い、過去の調査結果に比べ現在の底質環境がどう変わったのかを把握することを目的とした。併せて、宍道湖の貧酸素水塊の形成に対して重要と考えられる堆積物による酸素消費速度、底生生物への影響が大きい硫化水素についても調査を行った。最終的にはこれらの結果をシミュレーションモデルのパラメータとして活用し、水質予測の精度向上を図ることを目指した。

（2）方法

【堆積物平面調査】

平成 24 年 8 月に宍道湖内全域 38 地点で柱状堆積物を採取し、堆積物の底質と間隙水の水質、および底質直上水について各種項目の分析を行った。図 9 に底質調査地点図を示す。

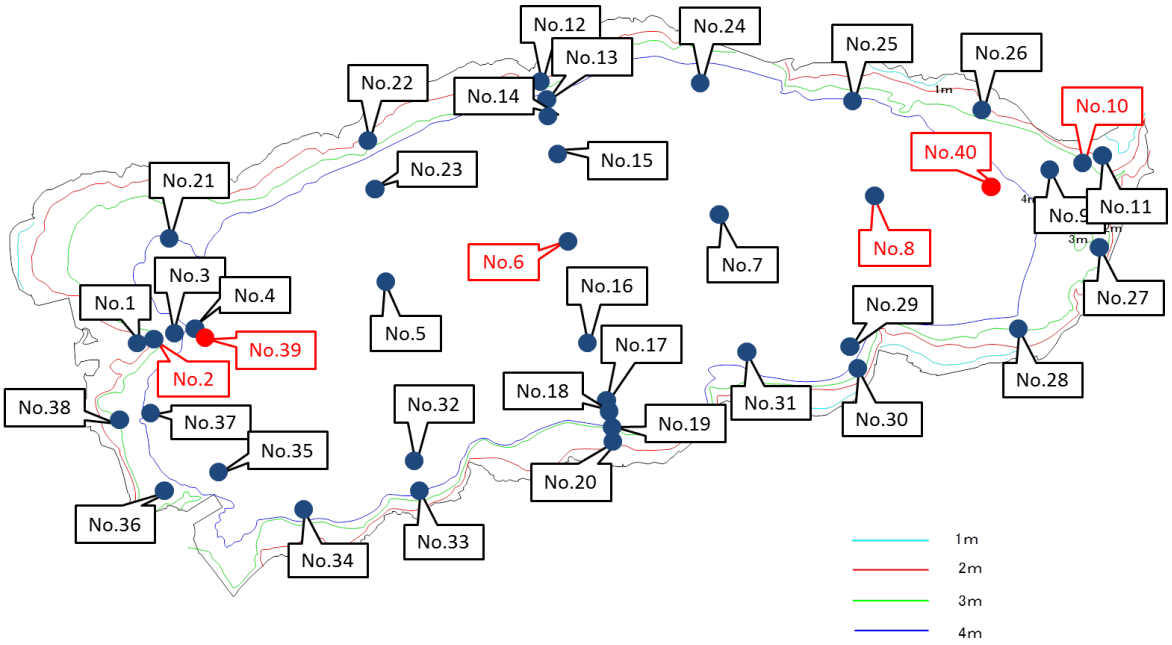


図 9　底質平面概況把握調査地点図

【底質四季調査】

平成 24 年 11 月～平成 25 年 9 月の間に四季ごとに湖内主要地点（No.2、No.6、No.10、No.39、No.40（平成 25 年度は No.8 を追加））で柱状堆積物を採取し、底質、間隙水及び直上水の分析を行った（調査地点は図 9 赤字部分）。

（3）結果及び考察

【底質平面調査】

図 10～図 14 に粒度組成、強熱減量、全有機炭素（TOC）、全窒素、全リンの調査結果を示す。

平面的には有機物量の指標としての強熱減量及び TOC、全窒素は西部～湖心部の方が高く、全リンは西部が最も高く東部の方が低い傾向が見られた。いずれの項目でも西側が高めであることから、周辺河川（特に斐伊川）からの流入負荷の影響が大きいものと考えられる。全リンの濃度の高い地域が西に偏っているのは、有機物や窒素に比べて流入負荷における粒子態の占める割合が大きく、湖内に入って流速が減少した際に容易に沈降するため、沖まで拡散しにくいことが要因と思われる。

水深に着目すると、概ね水深 4m を境に底質状況に差が見られ、水深 4m 以深ではシルト・粘土分がほとんどを占め各項目の値が高いが、水深 4m 未満の沿岸部では砂分が多く各項目の値はいずれも低かった。ただし、斐伊川河口付近の 2 地点（No.1、No.2）は水深が 2～3m の浅いところだが、その近辺の水深 4m の地点とほぼ同じ結果が得られており、流入による懸濁物が影響しているものと考えられる。

図 15 にクラスター分析によるグループ化の結果を示す（詳細は後述の酸素消費速度調査を参照）。湖心部、湖心部の周囲、やや浅い沿岸部、ごく浅い沿岸部及び斐伊川河口沖の計 5 グループに分けられ、この結果は前述の傾向とも概ね一致する。

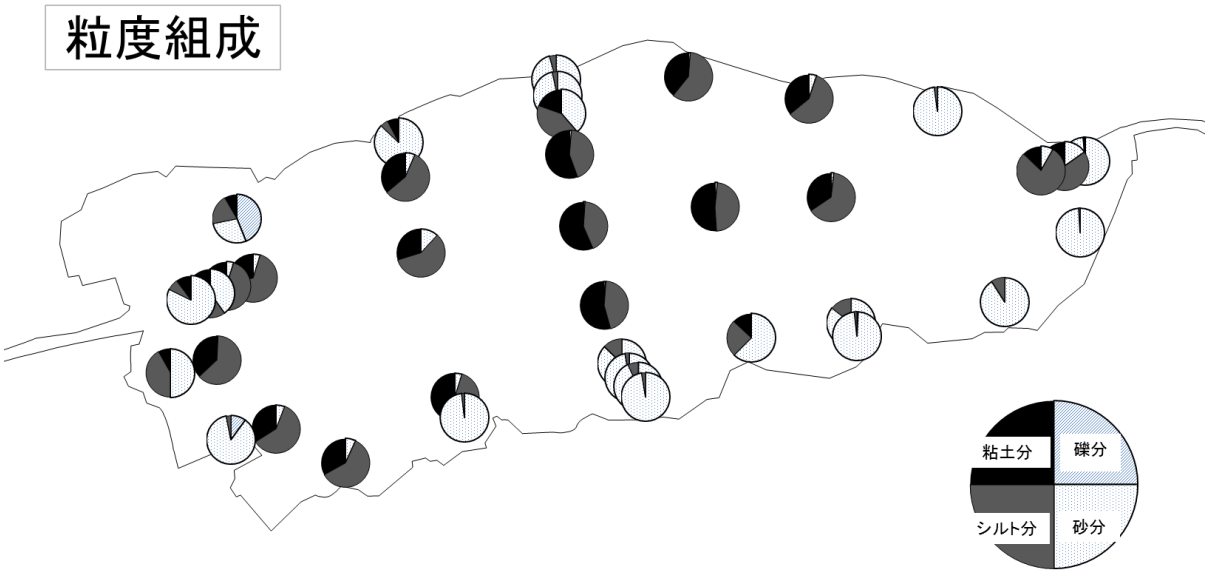


図 10　粒度組成分布図

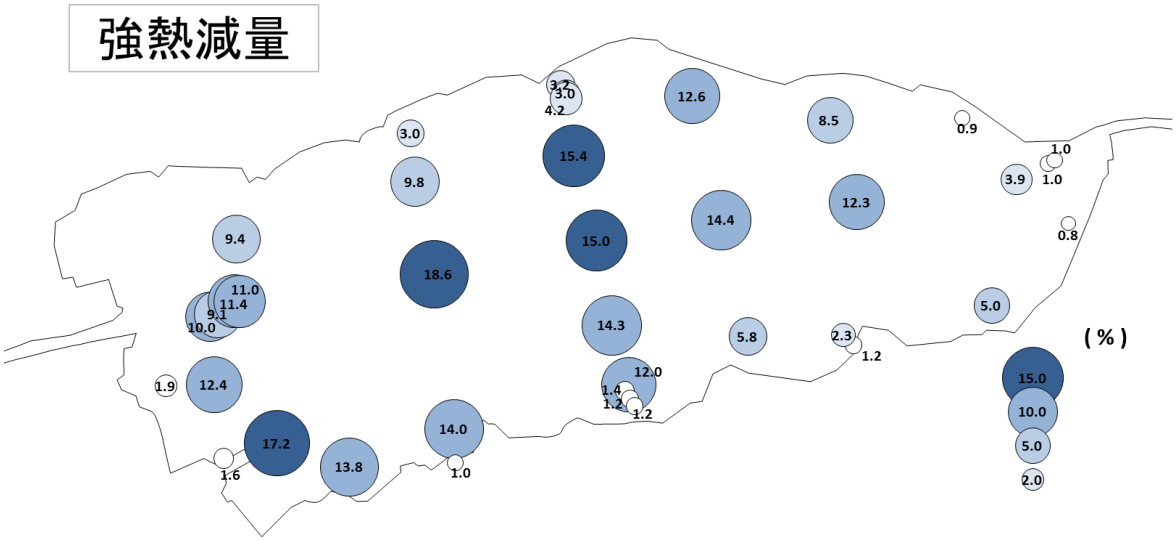


図 11　強熱減量分布図

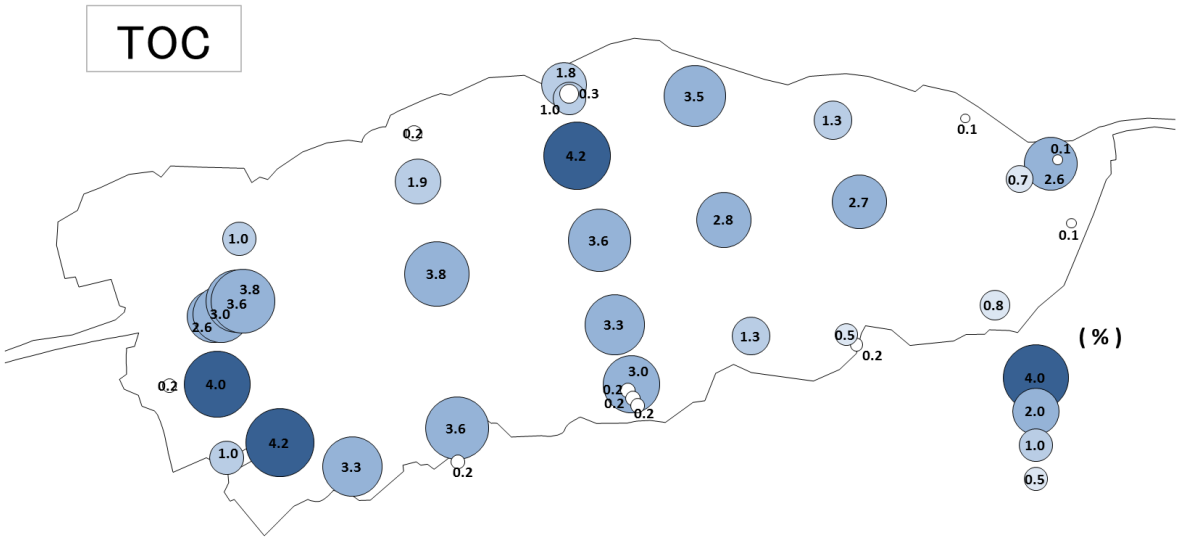


図 12　全有機炭素（TOC）分布図

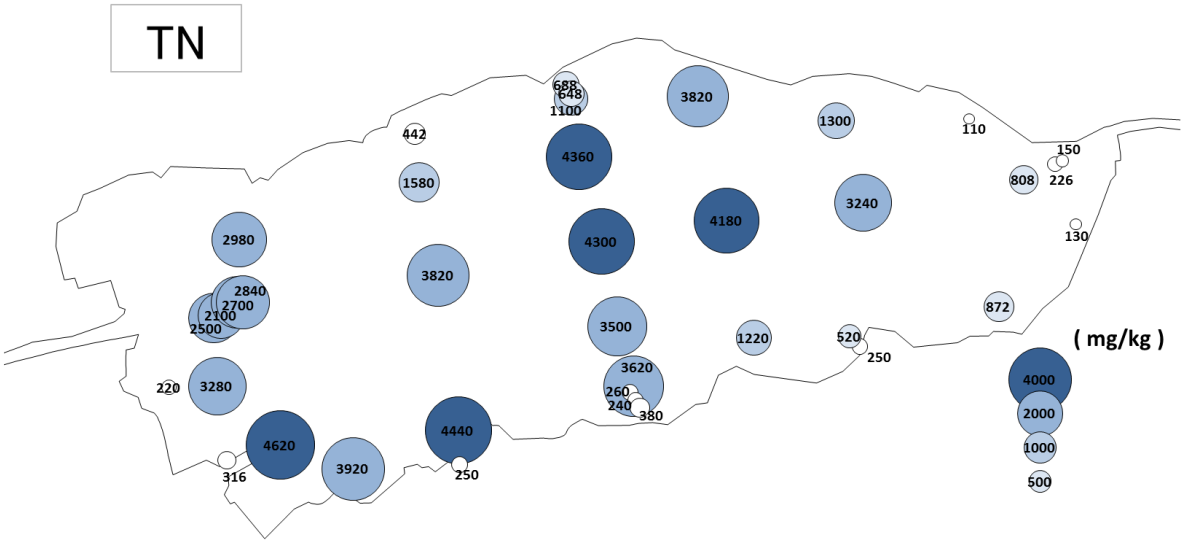


図 13　全窒素（TN）分布図

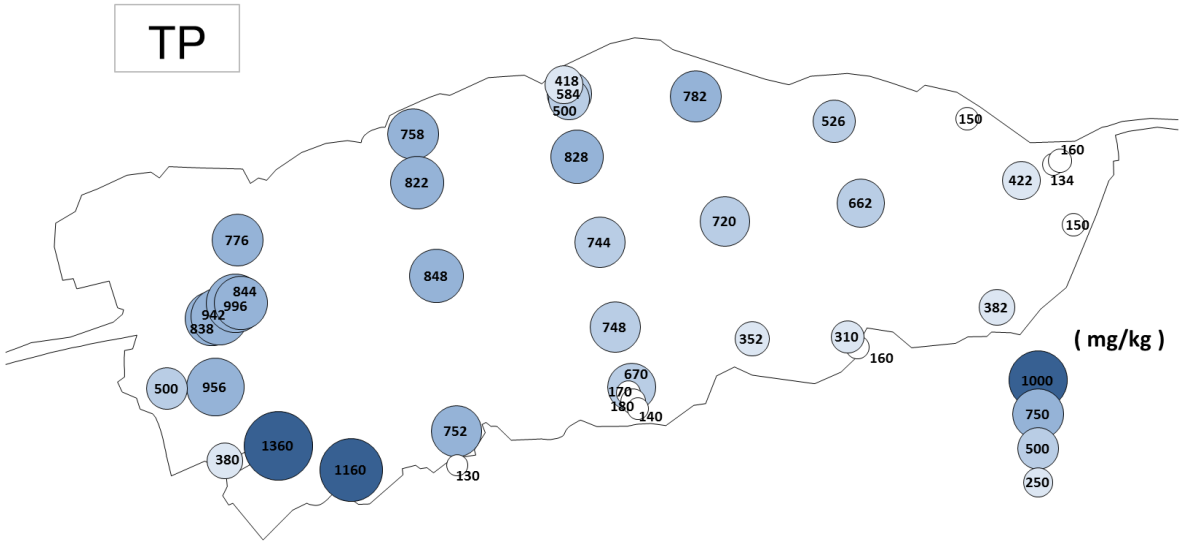


図 14　全リン（TP）分布図

図 15　クラスター分析によるグループ化

【底質四季調査】

底質と間隙水の鉛直分布（地点 No.2、No.6、No.10）を図 16、17 に示す。

鉛直分布については、底質は有機物、全窒素、全リンいずれも表層の濃度が最も高く、深くなるほど減少し概ね 15cm の深さ以深では一定の値となっており、このことは過去の調査結果（山崎ら，1978）とも一致した。ただし、斐伊川河口付近の No.2 についてはいずれの項目においても 2 月調査の結果だけが高めであった。

間隙水については、アンモニア態窒素は湖心～西部の地点では表層に向かって次第に減少していく傾向が見られており、特に湖心である No.6 は深度 5cm～表層付近にかけての減少が顕著だった。東部（No.8、No.40、No.10）ではそのような傾向は見られず、表層部分まで概ね一定の濃度であった。なお、No.2 では 2 月の調査において深度 15cm 以深でかなりの高濃度（15.0~31.7mg/L）が観測された。

一方、リン酸態リンは鉛直方向でのばらつきが大きく、はっきりとした傾向は認められなかった。

また、底質、間隙水の表層部分の季節変動を検討したところ、短期間の調査の中で濃度がかなり変動していることが判明した（例えば、湖心 No.6 底質表層の全窒素濃度は 4,700～7,300mg/kg）。ただし、地点間でその変動の傾向が違うため、底質、間隙水いずれにおいても季節的な変動とは判断できなかった。

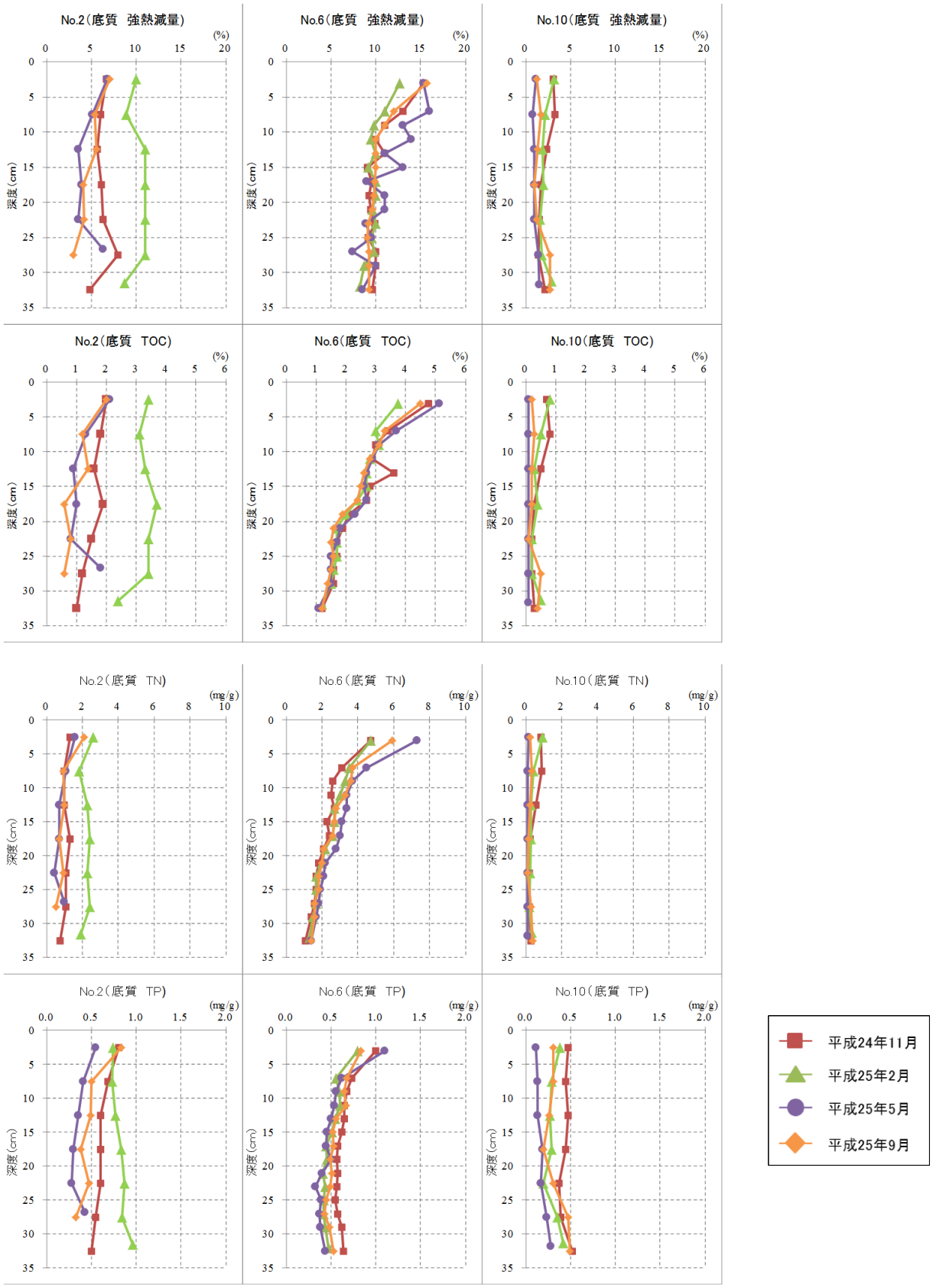


図 16　底質四季調査における鉛直分布（底質：強熱減量、TOC、全窒素、全リン）

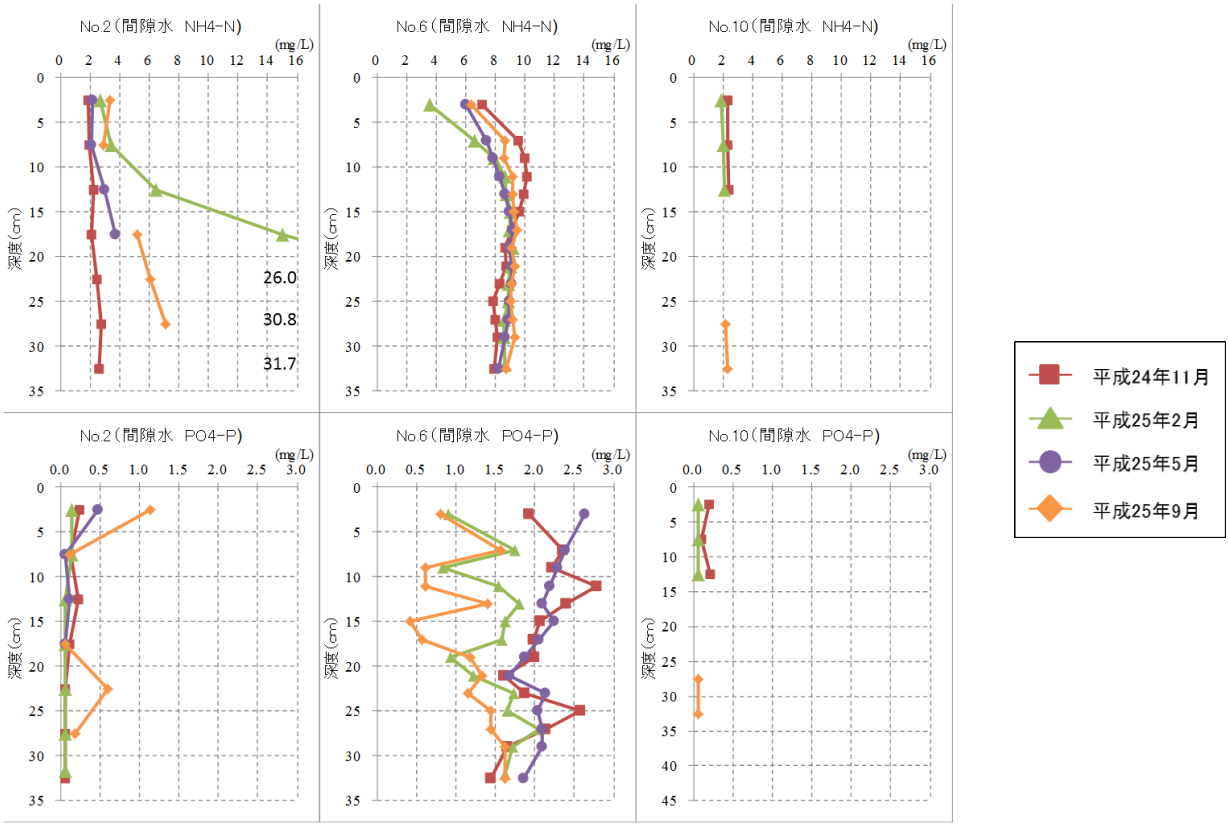


図 17　底質四季調査における鉛直分布（間隙水：アンモニア態窒素、リン酸態リン）

【過去調査結果との比較】

これまでに宍道湖底質に関する調査は度々行われており、そのうち湖心部における主な調査結果を表 3 に示す。今回、底質表層部分の性状は数カ月程度でかなり変動することが四季調査結果から判明したため、同様に短期間に複数回調査を実施した平成 4～5 年の調査結果を選び、変動分も考慮して比較した。その結果、含水率を除き、有機物、全窒素、全リンいずれも平成 4～5 年よりも高い傾向が見られた。

一方、金井ら(1997)によると、宍道湖の堆積速度は西部では年間 0.5cm だが、西部以外では大部分が年間 0.2cm 未満であり、西部以外での 5cm の堆積物は過去 25 年分以上に相当する。このことから、湖心の底質状況を 20 年前と比較するには堆積速度を考慮し、より薄い層で評価をする必要があると思われる。

そこで、湖心の底質表層（0～2cm）について、表 3 に示した Yamamuro（2000）の平成 6 年の宍道湖表層（0～1cm）の調査結果との比較を行った。今回の全 5 回の調査では湖心表層（0～2cm）は TOC : 4.1～6.7%、窒素分 : 5.2～9.6mg/g、全リン : 0.93～1.6mg/g であった。前述の底質四季調査の結果をふまえると 0～1cm であればこれ以上の濃度であり、平成 6 年の調査結果と比較して平成 24 年の底質の有機物、窒素、リンいずれも濃度が高くなったと考えられる。

ただし、宍道湖底質を薄い層で調査した事例は現時点でこれら以外に確認できていないこと、底質平面調査結果を含めた 5 回分の測定結果の推移を見ても季節変動も大きいことから、近年の底質状態について評価をするには更なる調査や情報収集が必要であると思われる。

表 3　宍道湖における過去底質調査結果概要（湖心）

調査者 調査年	山崎 昭和51年	山室 昭和57年	島根県 平成4年	山室 平成6年	水試 平成9年	島根県 平成24年	平成4年 比較
調査層厚	0〜5cm		0〜5cm	0〜1cm		0〜5cm 0〜6cm※	—
含水率 (%)	—	—	82〜84	—	72.3	82.5〜 87.5	⇒
強熱減量 (%)	13.3	18.1	11.5〜 12.2	—	13.0	13〜16	⇗
TOC (%)	—	—	—	1.5〜3.1	3.49	3.6〜5.1	—
TN (mg/g)	(2.93)	—	3.14〜 5.30	1.7〜4.0	7.4	4.3〜7.3	⇗
TP (mg/g)	(0.44)	—	0.71〜 0.86	0.50〜 0.67	—	0.74〜 1.09	⇗
備考	括弧内は分析方法が異なるため参考値	ｴｯｸﾏﾝﾊﾟｰｼﾞによる採取のため層厚不明	4回調査データ	湖心付近 2地点データ	ｴｯｸﾏﾝﾊﾟｰｼﾞによる採取のため層厚不明	5回調査データ ※鉛直状況把握調査時	

【硫化水素調査】

平成 24 年 8 月に宍道湖における直上水中の硫化水素及び堆積物中の溶存硫化物（硫化水素を含む）の平面分布調査を行った。

湖底直上水中の硫化水素は、水深 5 m 以深の No.5, 6, 7, 15, 16 で検出され、湖心(No 6)の湖底直上水中において、約 22 mgS/L 検出された。一方、水深 4 m 以浅部では、硫化水素はほとんど検出されなかった。

堆積物表層 0~2 cm 及び 3~5 cm 層における堆積物中溶存硫化物は、水深 5 m 以深部の No.5, 6, 7, 15, 16 及び水深 4 m の No.8 において高濃度が検出され、堆積物表層 0~2 cm 層で最大約 50 mgS/L、3〜5 cm 層で最大約 130 mgS/L だった。水深 4 m 以浅部のシジミ漁場においても、1〜5 mgS/L の溶存硫化物が検出された（図 18、19）。

酸揮発性硫化物（AVS）については、湖岸付近を除くほぼ全域で 0.5mgS/g-dry 以上の値を示し、水深 5 m 以深部では 1〜5 mgS/g-dry、宍道湖南西部において 5 mgS/g-dry の値を示した。

また、堆積物中溶存硫化物の季節変動について、水深 4 m 以浅部の堆積物中溶存硫化物は、季節変動はみられなかったものの、地点によっては堆積物表層 0～6 cm 層に最大 10～15 mgS/L 検出される場所もあった。それに対し、水深 4 m 以深部の堆積物中溶存硫化物は、平成 25 年の冬季にはほとんど消失し、水温の上昇に伴い堆積物中の溶存硫化物濃度も上昇し、No.8 と No.6 で共に 10～30 mgS/L 検出され、明確な季節変動を示した。

なお、平成 24 年の夏は塩分成層により長期間貧酸素状態が続いた（３－２－３塩分成層と酸素の挙動参照）ことで、硫化水素が発生しやすい状況にあったため、特に高濃度の硫化水素が観測されたものと思われる。

これらの調査の結果から、特に夏期の湖心付近底層の湖水及び堆積物中溶存硫化物のモニタリングの重要性が見出された。

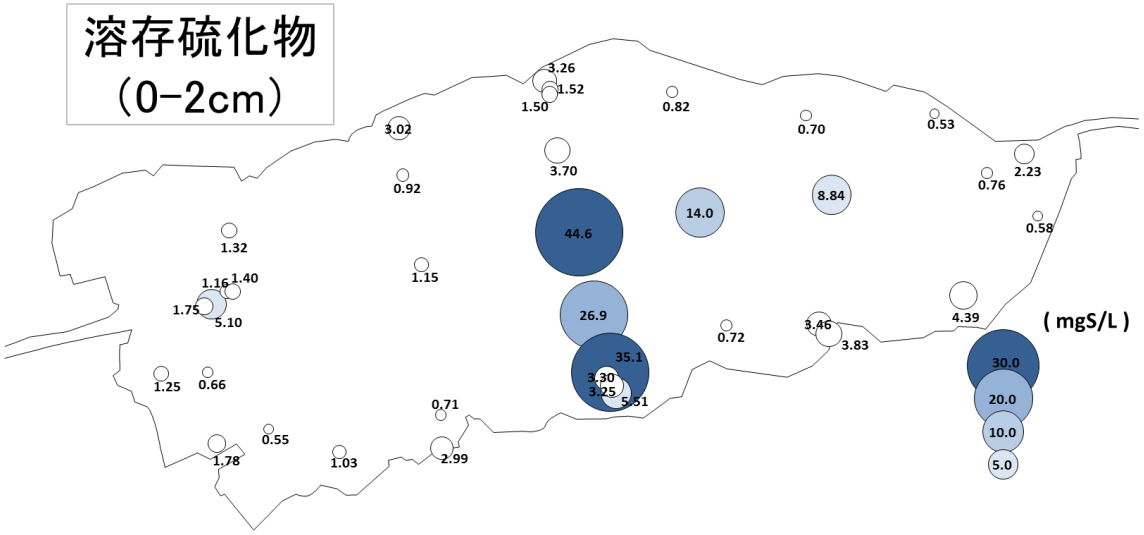


図 18　堆積物中溶存硫化物分布図

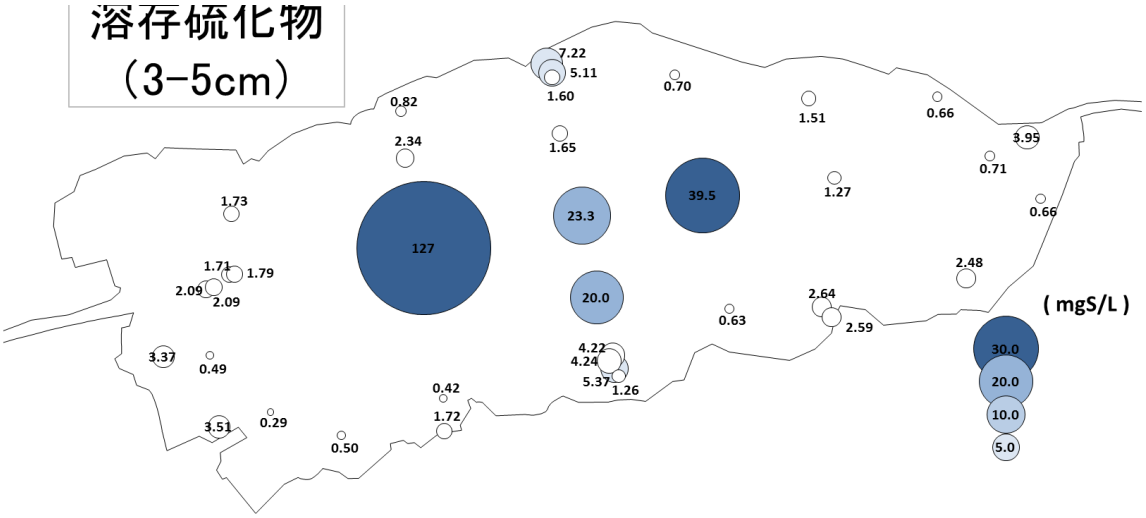


図 19　堆積物中溶存硫化物分布図

【酸素消費速度調査】

この調査では、堆積物による酸素消費速度について、下記 3 項目に関する検討を行った。

①底質分析項目を用いたクラスター分析

②堆積物単位体積当たりの酸素消費ポテンシャル（Sediment-biochemical oxygen demand、以下 S-BOD）

③堆積物単位面積当たりの酸素消費ポテンシャル（Sediment oxygen demand、以下 SOD）

①底質分析項目を用いたクラスター分析

底質平面調査で得られた底質結果（強熱減量、TOC、全窒素、全リン、溶存硫化物、AVS、S-BOD など）について、宍道湖内の堆積物の平面分布状況を特性別に分類するため、ウォード法によるクラスター分析を行った。

その結果、河口からの流入負荷の影響が強いと考えられるクラスター1（斐伊川河口沖）、全ての底質分析値が高いクラスター2（湖心周辺部）、クラスター2 よりも一部の項目（含水比、TN）がさらに高いクラスター3（湖心中央部）、沿岸域において比較的値が高いクラスター4（やや浅い沿岸部）、分析値が最も低いクラスター5（ごく浅い沿岸部）の 5 つに分けられた（図 15）。このうち、古曽志川沖の地点（No.25）だけはクラスター4、5 に分類される周辺の沿岸部の地点とは異なり、クラスター1 に分類された。近くに流入河川（古曽志川）があることから、そこからの流入負荷が影響した可能性がある。

この分類結果を用いることで、今後底質のモニタリングが必要となった時に代表地点の選定が容易になると思われる。

②堆積物単位体積当たりの酸素消費ポテンシャル（S-BOD）

底質平面調査と同じ表層厚に切り出した柱状堆積物について、潜在的に最大どの程度の酸素消費能を持っているのかを把握するため、底層水と撹拌させて堆積物による酸素消費量を測定した。その結果を図 20 に示す。

概ねクラスター番号が若い地点で S-BOD は高く、底質分析結果が最も悪かった湖心付近（クラスター2、3）が S-BOD も同様に最も高いものと予想されたが、実際は斐伊川河口沖（クラスター1）が同等以上であった。これは、底質分析結果に反映しない河川からの易分解性有機物の流入等が影響しているものと考えられる。

また、S-BOD は溶存酸素濃度に依存するが、底質項目との関係が不明であることから、溶存酸素濃度と S-BOD の関係式の係数として底質項目がどの程度関与しているのかを重回帰分析により検討したところ、特に強熱減量、含水比、TOC、TN が大きく影響していることが分かった。

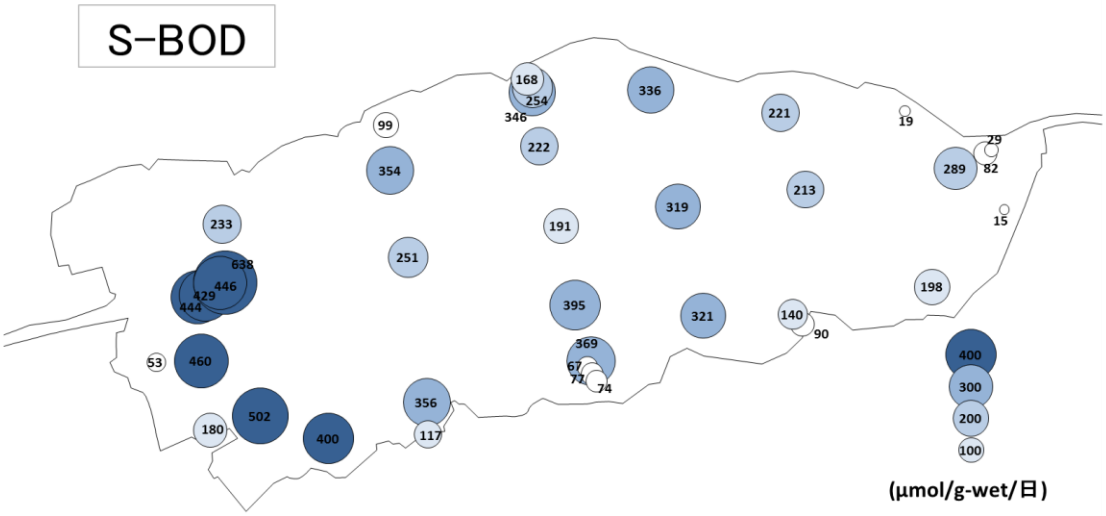


図 20　堆積物の酸素消費ポテンシャル（S-BOD）分布図

③堆積物単位面積当たりの酸素消費ポテンシャル（SOD）

②で得られた S-BOD は堆積物が本来持っている酸素消費能を示すが、実際の底層部における酸素消費は、堆積物表面と底層水との間で起こる。そこで、現場水温に設定した恒温槽に柱状堆積物を置き、底層水を撹拌させながら溶存酸素を連続測定し、その経時的変化から SOD を求めた。SOD とは底層水から堆積物表面への酸素移動量を表す。

その結果、多少ばらつきがあるものの、撹拌速度（摩擦速度）の上昇に伴い SOD が上昇することが確認できた。

季節的な変動については、No.6 と No.40 では 5 月＞9 月＞11 月＞2 月、No.10 は 9 月＞5 月＞11 月＞2 月の順で SOD が減少していた。No.10 だけ 5 月と 9 月が逆転しているのは、柱状堆積物内の溶存酸素濃度が 5 月よりも 9 月の方が高かったこと、また No.10 にはカワグチツボが多数生息していたことなどの影響が表れたものと考えられる。

水温との関係についても比較したところ、No.10 では水温が高いほど、また摩擦速度が速くなるほど SOD が高くなる結果が得られた。これは、水温が高い時期は底泥に棲む微生物の分解活動が活発になるため、その結果で酸素消費が増大しているものと思われる。

3-2-3 塩分成層と酸素の挙動

（1）目的

宍道湖の湖底付近には厚さ数十 cm 程度の薄い高塩分層が時折生成し（菅井ら, 1986）（Ishitobi et al. 1999）、暖候期にはこの層が貧酸素化し、窒素、リン等の濃度が上昇することが知られている（神谷ら, 1996, 2001）が、高塩分層生成及び解消の詳細な状況は不明であった。今回、底質の貧酸素化につながる塩分成層の生成及び解消がどのようになっているのかを解明するために、現場に測器を設置して連続観測を行った。

（2）方法

平成 24 年 9 月 1 日以降大橋川入り口、S-1（保環研沖）、S-12（運転免許センター沖）、湖心及び S-15（来待川河口沖）に湖底直上、湖底から約 0.1m ごとに 7 層及び表層から 1m 下層に水温・塩分計を設置し、また湖底から 0.1m に溶存酸素計を設置して観測を行った。大橋川の状況は出雲河川事務所のデータを使用した。

（3）結果及び考察

大橋川からの宍道湖への高塩分水の流入は、斐伊川の低流量時に潮汐交換によって起き(Ishitobi et al., 1989)，さらに日本海を低気圧が通過する気象潮の上昇期でかつ 1 回潮の場合に大量に流入が起きるとされている(Ishitobi et al., 1999)。今回の調査では海水位が高く，斐伊川の河川流量の少ない夏場に大橋川に高塩分水が存在しており，通常の潮汐で宍道湖に高塩分が流入していることがわかった。

流入した高塩分水の宍道湖での移動速度は山室ら（2011）によって調べられており，平均流入速度は約 10cm/s であった。今回の調査でもほぼ同様の結果で、高塩分水は宍道湖に侵入してから湖心まで約 2 日で到達していた。

湖底から 0.1m の溶存酸素濃度は成層が発達すると同時に低下する傾向があり，成層がない場合は貧酸素化することはほとんどなかった。溶存酸素濃度と成層の発生は密接に関係していた。

高塩分水塊の流動については中村ら(1999)により調べられており、風速 10m/s 程度以上の風が連続して吹いた場合に成層の消滅と底層水の移動が観測されている。今回の調査で多地点で観測を行った結果、風が吹くことにより成層が破壊されるときもあるが、成層が傾いて移動するだけの場合もあることが分かった。例えば平成 24 年 9 月 19 日に宍道湖西岸において青潮が発生し、魚が斃死した時のデータを見ると、強い西風（最大風速 10.4m/s）が 13 時～17 時にかけ吹いたが継続時間が短く躍層が傾いただけで成層は破壊されず、風が収まった後に元に戻った。増木ら(2013)によっても同じ現象が確認されている。この年の宍道湖は強い成層が発達し，夏場は宍道湖湖心において湖底から 0.1m に設置した溶存酸素計の酸素濃度はほとんど 0mg/L を観測している。そのためこの年は堆積物からのリンの溶出が例年より大きく，夏場のリン濃度は過去 30 年で最大となった。

これらのデータに基づき、宍道湖に流入する中海水の風による移動と混合について、(独)港湾空港技術研究所と協同でシミュレーションを行った。詳細なケース設定は行っておら

ず、試算の段階であるが、観測結果と合致する計算結果が得られている。このことからシミュレーションは、今後、底層水の混合と移動を研究する上で有効な手段であることが分かった。

3-2-4 湖底からの栄養塩の溶出の把握

（1）目的

夏期の宍道湖において、湖底からリンが溶出することが確認（神谷ら，1996，2001）されているが、窒素については溶出は少なく、分解層での水中懸濁物の無機化が大きいことが示されている（神谷ら，1996）。これらの知見を踏まえ、現場での窒素・リンの状況を高頻度の調査により把握することを目的として調査を行った。

（2）方法

平成 22 年 7 月から翌年 6 月までの 1 年間、週 1 回の湖心高頻度調査を実施し、その結果から窒素リンの挙動等を検討した。

（3）結果及び考察

図 21 に宍道湖湖心の窒素、リンの存在形態ごとの変化を示す。宍道湖は、夏期はリンが過剰となり相対的に窒素が不足する窒素制限、冬期は逆に窒素が過剰となり相対的にリンが不足するリン制限であることがわかった。

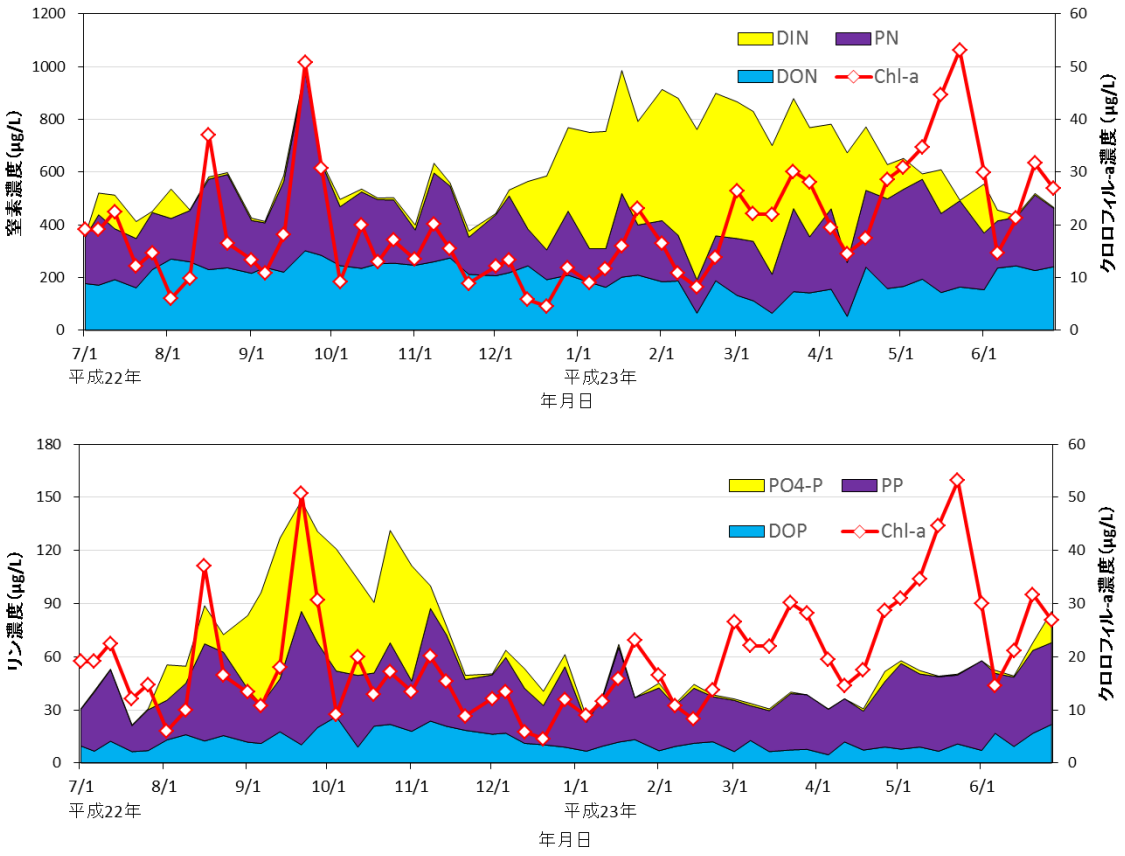


図 21　宍道湖湖心表層の窒素、リン、クロロフィル a の濃度変化

図 22 に斐伊川と宍道湖湖心の全窒素濃度の変動を、図 23 に全リン濃度の変動をそれぞれ示す。全窒素濃度の変化は、「3-1-1 宍道湖 365 日調査」で得られた斐伊川の全窒素濃度の変化と概ね連動していた。全リン濃度の変化は斐伊川の全リン濃度との関係は見られなかった。

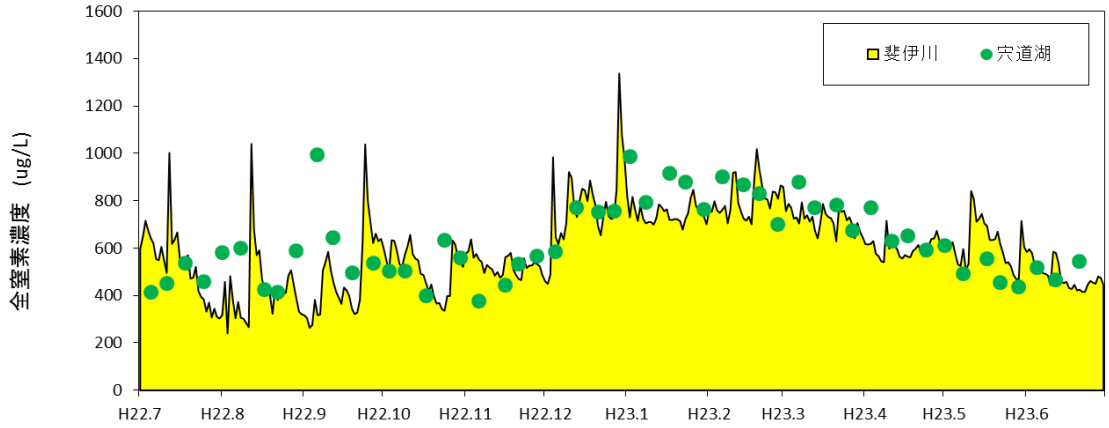


図 22　斐伊川及び宍道湖湖心の全窒素濃度の変動

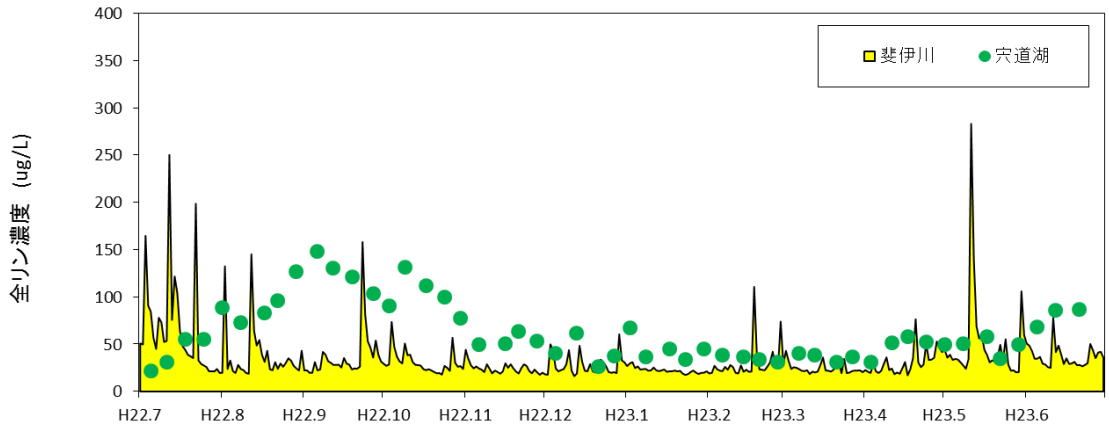


図 23　斐伊川及び宍道湖湖心の全リン濃度の変動

栄養塩であるリン及び窒素の特徴は次の通りである。

【窒素】

図 24 に湖心溶存酸素量と窒素現存量の変化を示す。夏期に、底層付近で全窒素濃度（アンモニア態窒素）の上昇が見られ、水中の有機物の分解に伴うものと考えられたが、湖内全体の全窒素現存量は変化がなかった。仮説として、脱窒により窒素濃度が低下したことが考えられた。しかし、脱窒には基質である硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の存在が必要であるが，夏場においては水中に硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素はほとんど存在せず、脱窒は少ないものと考えられた。従って、全窒素現存量がほとんど変化しない原因は、脱窒や堆積物からの溶出がほとんど無いためであると考えられた。

冬期は、全窒素現存量が上昇していることが確認された。

【リン】

図 25 に湖心溶存酸素量とリン現存量の変化を示す。夏期に、とりわけ底層付近の高塩分層内で、溶存酸素濃度が低下し、リン濃度（リン酸態リン）が上昇することが確認され、湖内全体の全リン現存量も冬期に比べ 4 倍近く上昇することが示された。また、秋以降リン現存量が減少する状況も捉えられた。リン濃度の上昇は高塩分層が貧酸素化し、湖水からの酸素の供給がなくなった底質からリン酸態リンが溶出したためと考えられた。

秋以降のリン濃度の低下は、湖底付近の溶存酸素濃度が上昇し、湖底の堆積物にリン酸態リンが吸着されたためと考えられた。

本調査期間の平成22年8月初め～9月中旬までの全リン現存量の増減量を溶出によるもののみと仮定した場合溶出量は約 40 トンと見積もられた。この結果は、3-2-1「過去のデータを用いたリンの収支と底質との影響の検討」の 19 年間の溶出量平均値 34 トン／年、また、同じ計算による平成 22 年 8 月～10 月初めまでの溶出量 37.5 トンと比べてわずかに多かった。平成 22 年夏期は塩分成層が長期にわたり安定して存在し、湖底の貧酸素状態が継続する特異な年であった為と考えられる。

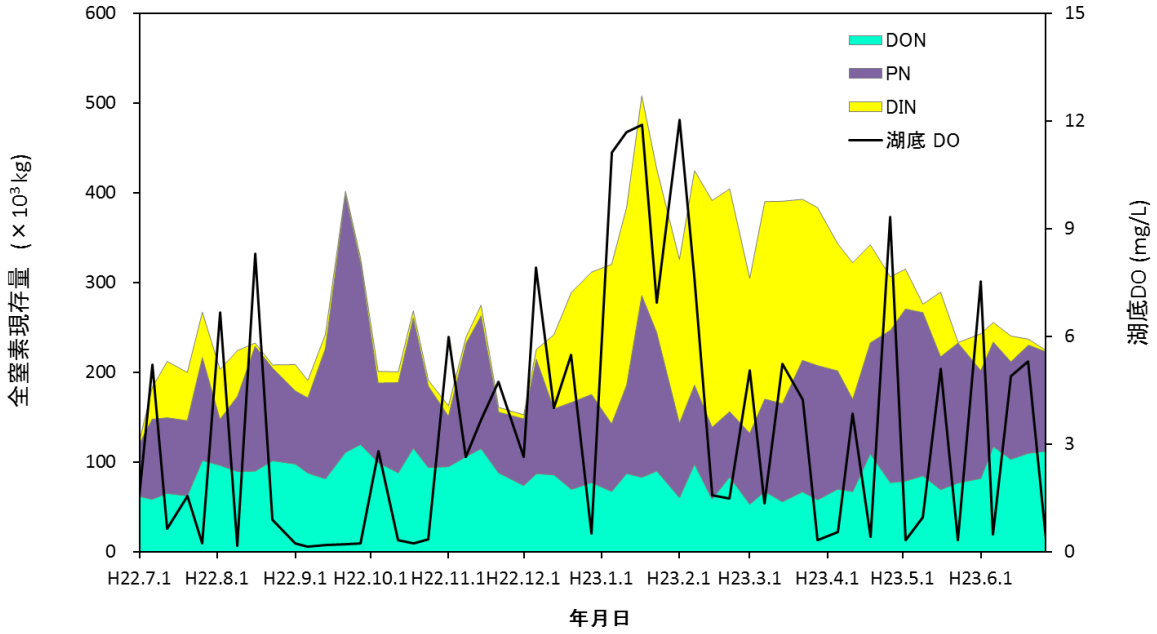


図 24　宍道湖における湖心溶存酸素量と全窒素現存量の変化

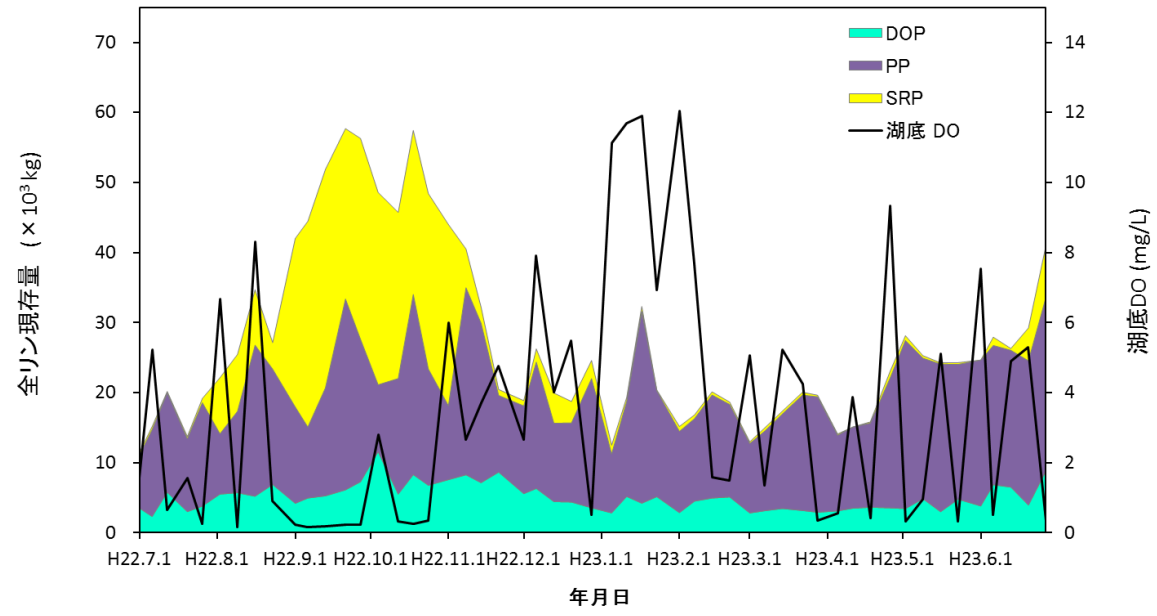


図 25　宍道湖における湖心溶存酸素量と全リン現存量の変化

３-３難分解性有機物の把握

３-３-１湖心高頻度調査における COD の変動調査

（１）目的

宍道湖では、流入する汚濁負荷は減少してきていると推定されているが、湖内の COD の経年変化を見ると減少傾向になく、その原因は溶存態 COD（D-COD）の上昇によるものである。COD 及び D-COD は年間においても変動があることから、その変動の傾向を把握することを目的として調査を行った。

（２）方法

平成 22 年 7 月から翌年 6 月までの 1 年間、週 1 回の湖心高頻度調査により COD 及び D-COD の測定を行った。また、COD 値と D-COD 値の差を懸濁態 COD（P-COD）とした。この結果をもとに解析を行った。

（３）結果及び考察

図 26 に D-COD 及び P-COD の月ごとの値及び年度平均値の経年変動を示す。

COD 及び D-COD は長期的に上昇の傾向が見られるが、P-COD には大きな変化は見られない。したがって COD の上昇は D-COD の上昇によるものと考えられた。

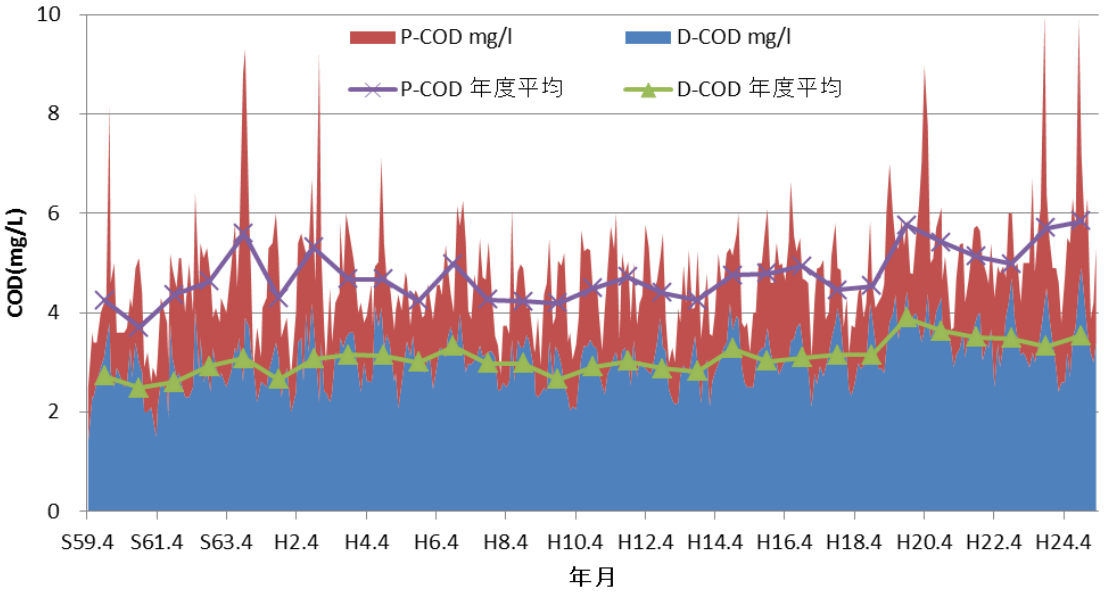


図 26　溶存態 COD（D-COD）および懸濁態 COD（P-COD)の経年変化

図 27 に宍道湖湖心表層水の平成 22 年 7 月から 1 年間の D-COD 及び P-COD の週ごとの変動を示す。

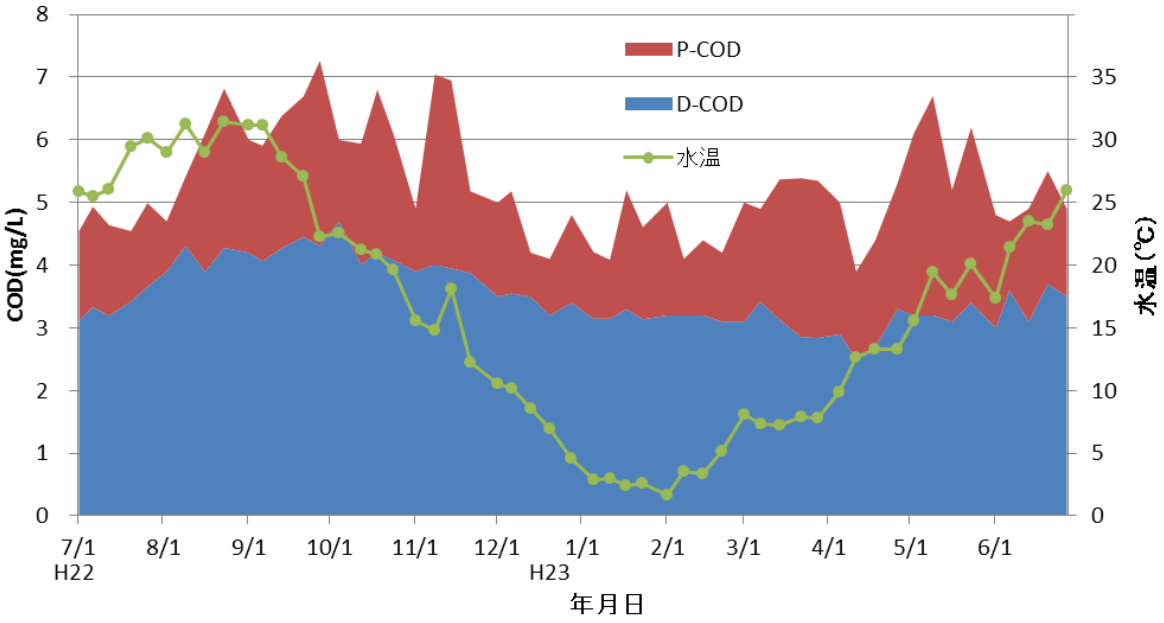


図 27　宍道湖高頻度調査における湖心表層水の D-COD および P-COD の濃度変化

COD は最大 7.3mg/L、最小 3.9mg/L、平均 5.3mg/L であり、D-COD は最大 4.7mg/L、最小 2.5mg/L、平均 3.5mg/L、P-COD は最大 3.5mg/L、最小 0.7mg/L、平均 1.8mg/L であった。COD は秋期と春期に比較的高い値を示すことが多かったが、週ごとに値が変化していた。D-COD は 8 月～9 月にかけて高く 3 月～4 月にかけて低い値を示し、週毎の変動は比較的小さかった。

D-COD の変動について水温との相関を解析したところ、D-COD 濃度と、その測定時から 6 週間前の水温との相関が高いことが判明した。

3-3-2難分解性有機物調査

（1）目的

3-3-1で宍道湖のD-CODが上昇しているためにCODが上昇していることが示されたが、D-COD の上昇原因の一つとして、生物によって容易に分解されない難分解性有機物が湖水中に増加している可能性が考えられている（同様な現象は琵琶湖・十和田湖・野尻湖・霞ヶ浦・印旛沼でも報告されている）。宍道湖ではこれまで難分解性有機物についてほとんど調査されていなかったことから、宍道湖及び流入河川である斐伊川の難分解性有機物の現状を把握することを目的に調査を行った。

（2）方法

宍道湖及び斐伊川の水を、平成 23 年 10 月（秋期）、平成 25 年 4 月（春期）及び平成 25 年 10 月（秋期）に採取し、20℃、暗条件下で曝気を行った。採取直後から 100 日目まで適宜 COD を測定し、100 日後のそれらを難分解性 COD とした。

（3）結果及び考察

【宍道湖】

図 28 に宍道湖及び斐伊川の難分解性 COD の測定結果を示す。

3 回の調査では、宍道湖の COD はそれぞれ 5.3、7.5、4.8mg/L であったが、難分解性 COD はそれぞれ 3.1、2.4、3.4mg/L であった。

また、溶存態難分解性 COD はそれぞれ 2.8、2.2、2.8mg/L であった。

試料数が少ないが、COD 及び懸濁態 COD の値にかかわらず、難分解性 COD はほとんどが溶存態であり、おおむね 3mg/L 程度で変動は小さかった。

【斐伊川との比較から】

主な流入河川である斐伊川の COD はそれぞれ 1.7、2.0、1.7mg/L であったが、難分解性 COD はそれぞれ 1.3、1.5、1.5mg/L であり、COD の 75%以上を占めていた。溶存態難分解性 COD はそれぞれ 0.9、1.2、1.4mg/L であり、難分解性 COD の 7 から 9 割を占めていた。

湖水と斐伊川の COD を比較すると、湖水の方が 3 倍以上高く、湖水の COD は湖内で発生したものの寄与が高いことを伺わせている。同様に湖水と斐伊川の難分解性 COD を比較すると湖水の方が 2 倍以上高く、湖水の難分解性物質も湖内で発生したものの寄与が高いと考えられる。

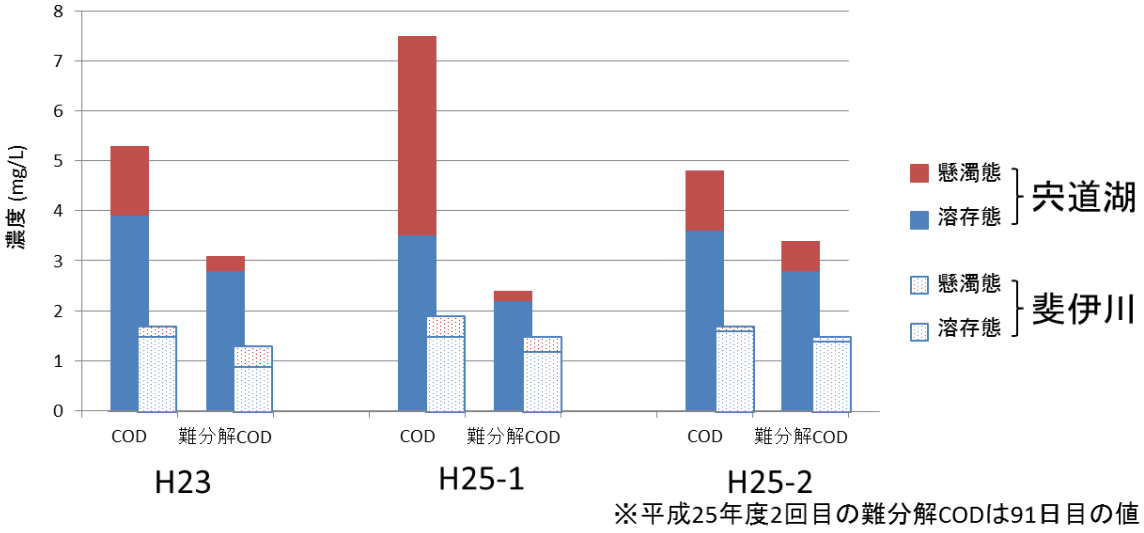


図 28　宍道湖と斐伊川の難分解性 COD の内訳

3-3-3植物プランクトン存在比調査

（1）目的

湖沼の COD は植物プランクトン由来の割合が大きいといわれており、植物プランクトンの動態を把握することは湖内の有機物量を把握するために重要である。宍道湖の植物プランクトンはこれまで月 1 回の調査が継続され、その変化の様子や量が記録されてきたが、短期間での種の移り変わりや量の変化は調査されていない。そこで、高頻度の調査を行い短期間での種の変化や量の変化、生物に不可欠な不飽和脂肪酸であるω3 の濃度変化、現場での植物プランクトンの増殖速度を求めた。

（2）方法

平成 22 年 7 月から翌年 6 月までの 1 年間、週 1 回の湖心高頻度調査にあわせ植物プランクトンの調査を実施した。

宍道湖湖心表層水 200ml から 100 倍濃縮試料を作成し、微分干渉光学顕微鏡で観察・同定・計数を行った。細胞密度 1×10^7/L 以上または相対出現頻度 C（細胞の長径が 3μm 未満で計数が困難な種 *Synechocystis* sp.，*Aphanocapsa* sp.で、対物 40 倍の視野中に概ね数十個）以上のものを優占種として扱った。

また、湖心表層水の懸濁物を分取し、植物プランクトンの属ごとの色素（カロテノイド）濃度及び不飽和脂肪酸であるω3 濃度の分析を行った。

さらに、細胞密度の経時変化から現場での増殖速度（倍加時間）を求めた。

（3）結果及び考察

図 29 に調査日ごとの優占種の変化、アオコ形成種である *Microcystis ichtyoblabe* の相対出現頻度を示す。

7 月から 9 月は藍藻が優占した。10 月から 11 月半ばまでは珪藻の *Skeletonema costatum* が優占し、その後年明けまでは優占種がない状態だった。1 月に緑藻 *Coccomyxsa* sp.が優占した後 2 月半ばまでは優占種はなく、緑藻及び珪藻が優占した。また藍藻は 4 月以降優占種となった。なお、アオコ形成種の *Microcystis ichtyoblabe* は 8 月中旬から 11 月中旬にかけて比較的多く観察されたが優占種と判断されることはなかった。また 11 月下旬以降も数は少ないものの時々観察された。優占種は数週続くこともあれば、週ごとに変わることもあった。出現種数は、夏期は 15 種前後であったが、珪藻 *Skeletonema costatum* が優占した 10 月初めから 11 月半ばにかけては、10 種程度まで減少した。その後種数は増加傾向で推移し、3 月頃には 20 種を超えた。4 月初めにいったん種数は減少するが、その後再び増加し、6 月には最大 29 種を観察した。

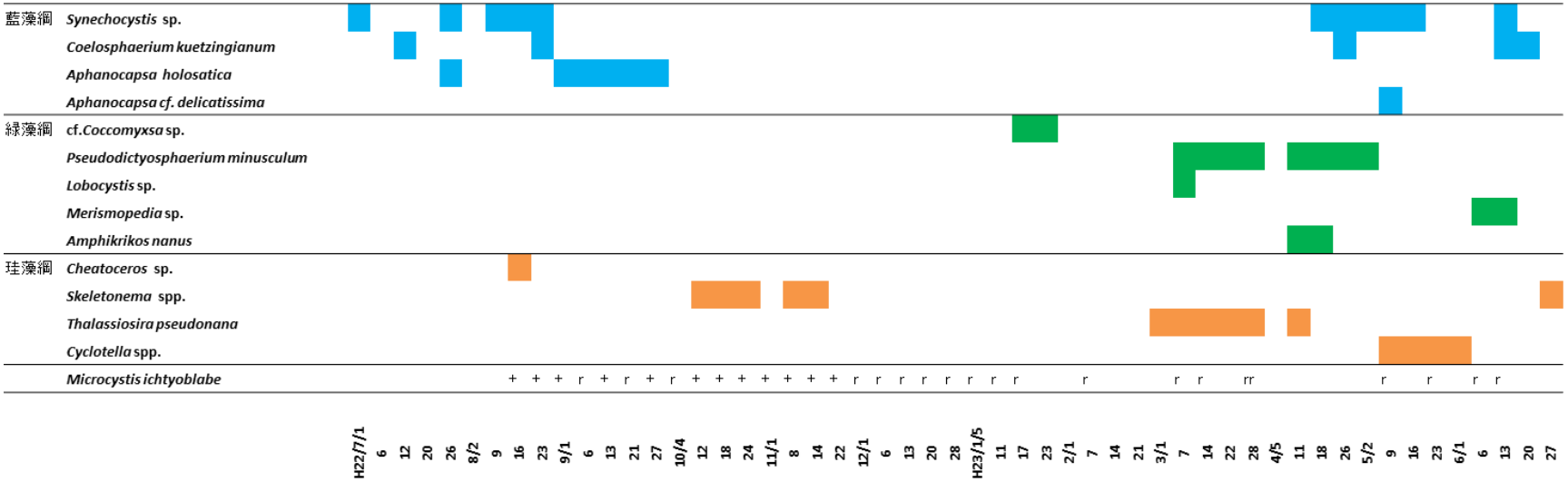


図 29　宍道湖における植物プランクトン優占種の変化

図 30 にカロテノイド種の濃度比の変化を示す。

7 月後半から 9 月、4 月中旬から 5 月中旬及び 6 月は藍藻が優占し全体の 90%以上を占めることもあった。12 月後半から 2 月前半にかけての厳寒期には緑藻及び渦鞭毛藻の割合が増加した。これらの結果は概ね顕微鏡観察の結果と一致していた。

図 31 にカロテノイドの種類ごとの濃度変化とω3 濃度の変化を示す。

生物に不可欠な不飽和脂肪酸であるω3 が上昇するときは、概ね珪藻のマーカー色素であるフコキサンチンが上昇していた。一方、藍藻のマーカー色素であるゼアキサンチンとは関係が見られなかった。

宍道湖には植物プランクトンを摂食する生物も種々存在するが、藍藻が優占する時期には、ω3 の濃度が低いため餌の状態が良くなく、成長に影響を与えている可能性が考えられた。

表 4 に主な優占種の現場及び室内実験での倍加時間を示す。室内実験に比べ現場での増殖速度が遅いことが明らかになった。現場での捕食や種間の競合、室内実験に比べ現場の栄養塩濃度が低いことなどが関係していると考えられた。

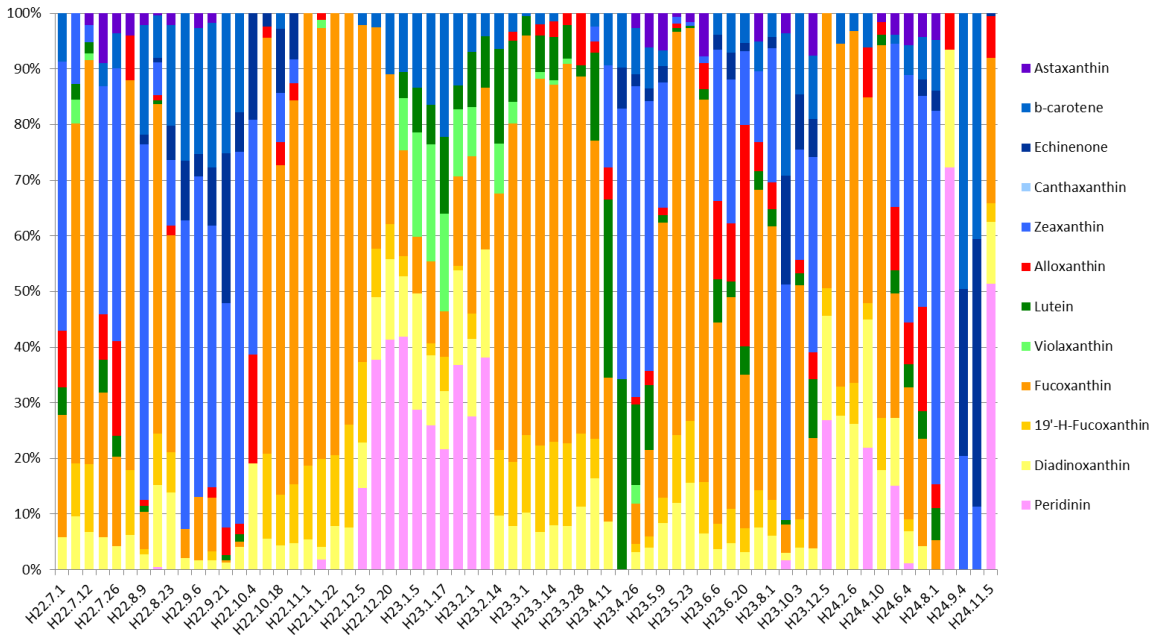


図 30　宍道湖湖心におけるカロテノイド種の濃度比の変化（%）

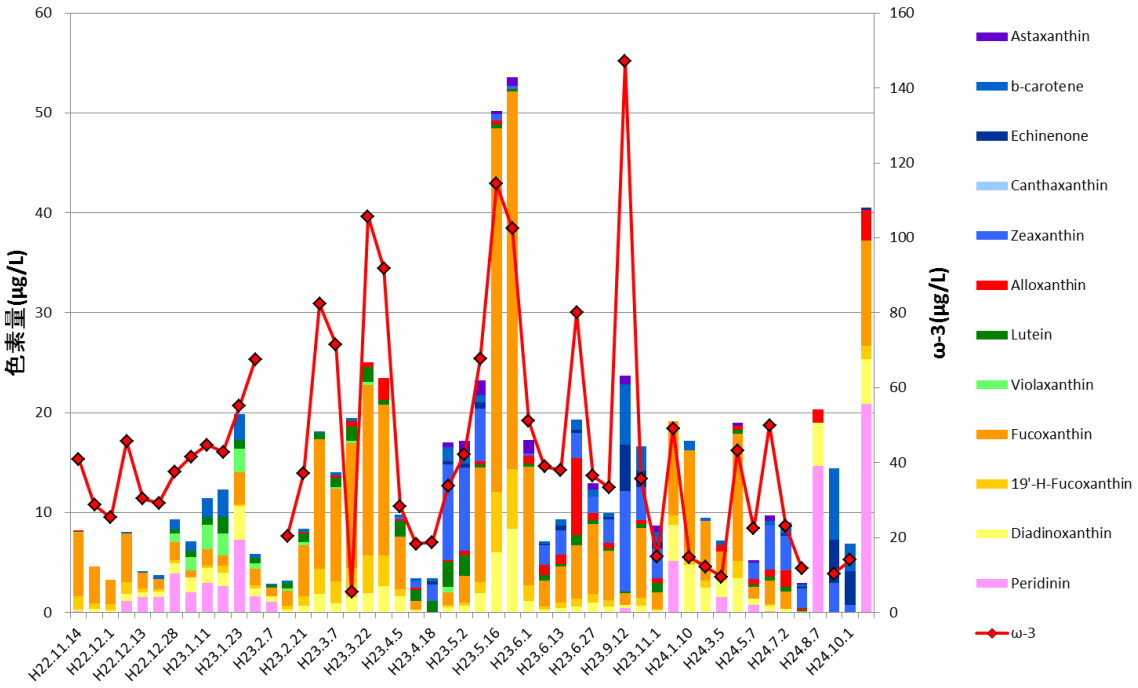


図 31　宍道湖湖心におけるカロテノイド種および ω-3 脂肪酸の濃度変化

表 4　各藻類の倍加時間

		高頻度採水調査		室内実験	
植物プランクトン種	採取地点	倍加時間（日）	水温（℃）	倍加時間（日）	水温（℃）
Coelosphaerium kuetzingianum	宍道湖湖心	3.1	21	1.0	30
Microcystis ichthyoblabe	宍道湖湖心			1.3[1)]	25
Synechocystis sp.				1.0	30
Prorocentrum minimum	本庄	2.7	19		
	中海上層	4.6	19		
	中海中層	3.9	17		
	中海下層	5.8	14		
Cyclotella spp.	宍道湖湖心	4.1	16	0.6[2)]	20
Skeletonema costatum	宍道湖湖心	1.7	22	0.6[3)]	15±1
Pseudodictyosphaerium minusculum	宍道湖湖心	7.7	5		
		8.7	12		

参考文献

[1]神門利之, 宍道湖産アオコの塩分・水温耐性等に関する報告書, 島根県保健環境科学研究所, 2011

[2]David Tilman and Susan Soltau Kilham, Phosphate and Silicate Growth and Uptake Kinetics of the Diatoms *Asterionella formosa* and *Cyclotella meneghiniana* in Batch and Semicontinuous Culture, J. Phycol. 12, 375-383, 1976

[3]樽谷賢治・山本民次, 広島県産*Skeletonema costatum*のリン酸塩取り込みおよび増殖の動力学, 広島大学生物生産学部紀要, 33, 59-64, 1994

3-4 宍道湖の窒素リン存在比

（1）目的

湖沼において、湖沼水中の全窒素、全リンの濃度比（NP 比）が変化すると、発生する植物プランクトン種も変化するといわれていることから、宍道湖の状況を過去のモニタリングデータから確認した。

（2）方法

平成 14 年 4 月から平成 25 年 3 月までの 11 年間の毎月の宍道湖湖心上層の全窒素及び全リン濃度から NP 比を求め、その経年変化を解析した。併せて、主要な流入河川である斐伊川及び降水（松江市西浜佐陀町）についても考察を行った。

（3）結果及び考察

宍道湖湖心上層の全窒素、全リンの変動を図 32 に、宍道湖湖心上層、斐伊川、降水濃度の NP 比の変動を図 33 に示す。

平成5年4月から平成25年3月までの20年間の宍道湖湖心上層水の平均濃度は全窒素、全リンそれぞれ 0.49mg/L 、0.050mg/L であり、全窒素濃度は斐伊川と同程度で、全リン濃度は斐伊川よりも高かった。また、宍道湖湖心上層水は季節変動は大きいものの、この 11 年では全窒素、全リン共に増加の傾向を示しているが、特に全リンの増加傾向が強く、NP 比は減少の傾向を示した。

斐伊川は、この 11 年では全窒素、全リンの有意な増加減少傾向は見られない。NP 比は減少傾向を示した。

降水濃度は、この 11 年では全窒素の増加減少傾向は見られないが、全リンは増加傾向を示しており、NP 比は減少傾向を示した。

藍藻（*Anabaena* sp.）の最大成長速度は NP 比 8、珪藻（*Cheatoceros simplex*）の最大成長速度は NP 比 12、との事例（Ganguly et al. 2013）があり、NP 比が低下した場合にアオコ形成種の藍藻が増殖する例が報告されている

宍道湖湖心上層水でも NP 比が減少している傾向が見られ、10 以下を示すこともあり、今後アオコの発生が懸念される。

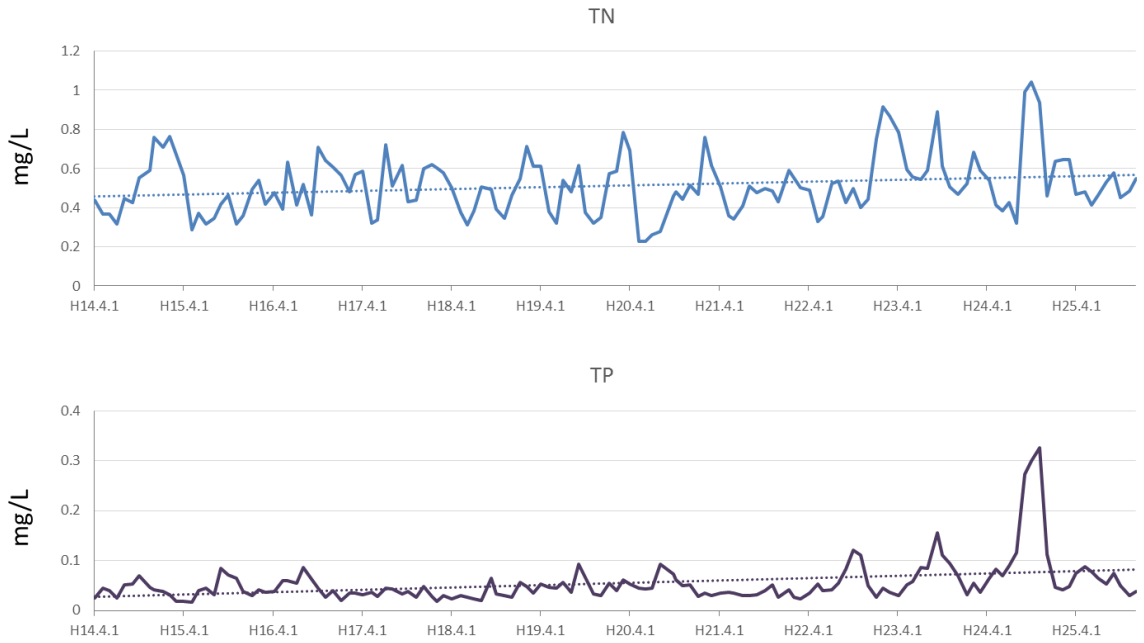


図 32　宍道湖湖心上層の全窒素、全リンの変動

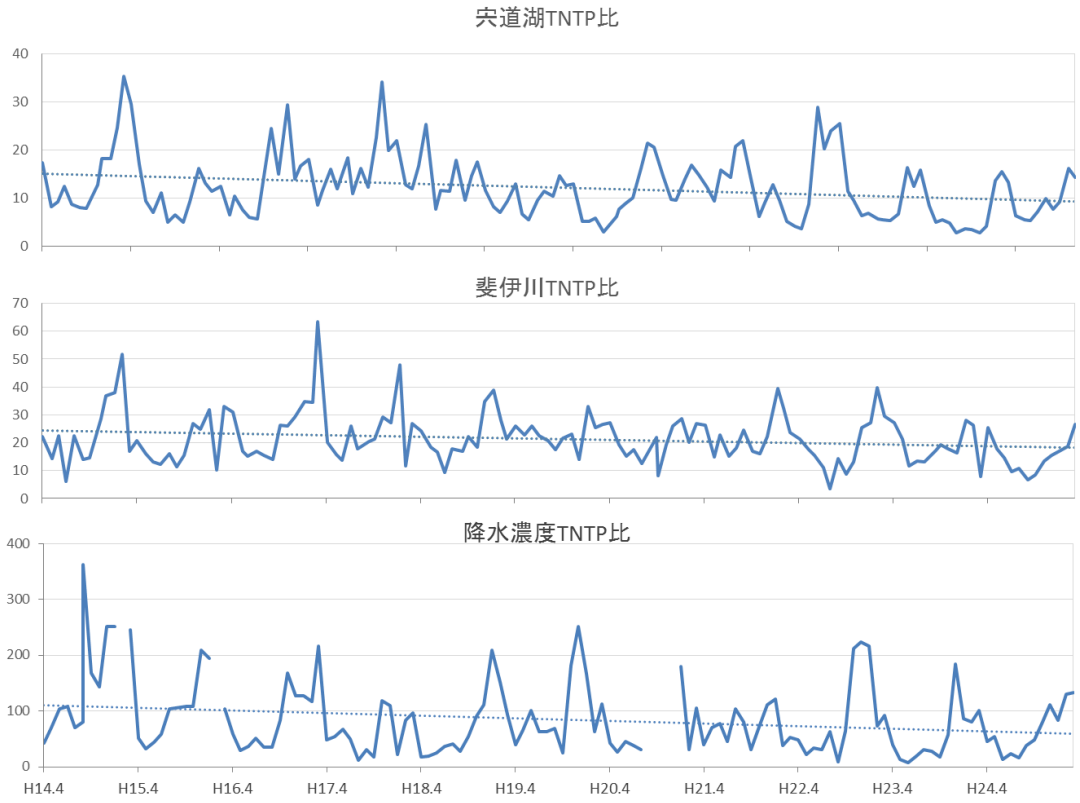


図 33　宍道湖湖心上層、斐伊川、降水濃度の NP 比の経月変動

3-5その他

3-5-1アオコについて

（1）目的

宍道湖では、アオコが平成 22 年以降 3 年連続で長期間発生した。このため、過去のアオコの発生状況の解析とアオコ形成種の培養実験を行い、アオコの発生条件を検討した。

（2）方法

昭和 59 年 4 月から平成 25 年 3 月に月 1 回の頻度で保健環境科学研究所が実施した宍道湖のアオコの観測結果と水質調査結果から過去のアオコの発生状況の解析を行った。

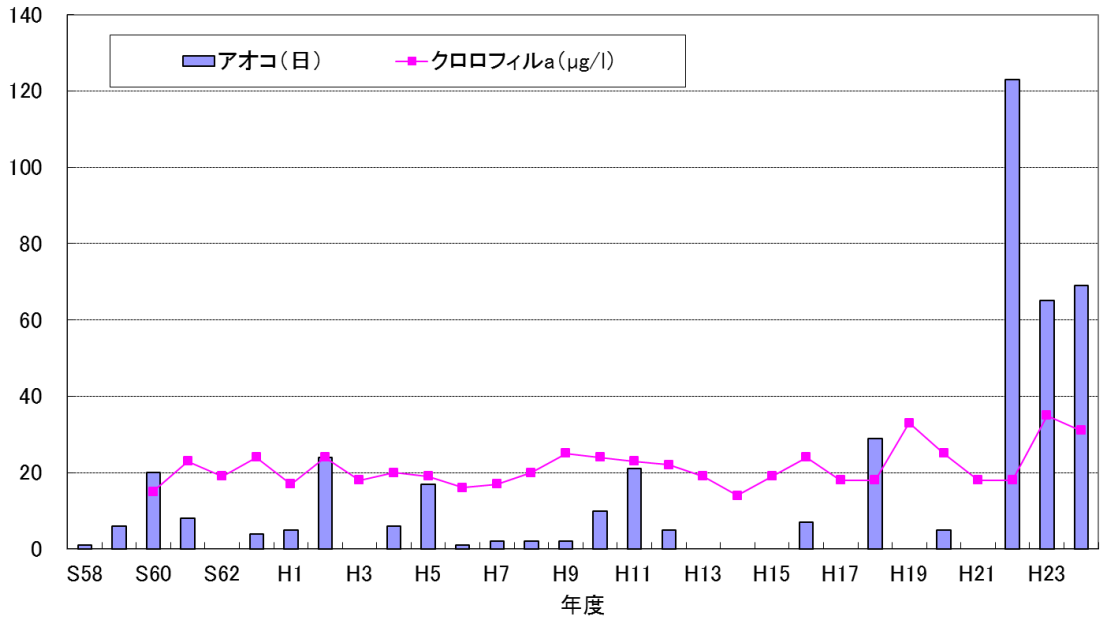
また、平成 22 年に発生したアオコ形成種である *Microcystis ichtyoblabe* を用いた単藻培養実験を行い、実験室での水温、塩分耐性を調査した。

（3）結果及び考察

【アオコの発生状況】

図 34 に近年の宍道湖でのアオコ発生日数を示す。

平成 12 年まではほぼ毎年アオコの発生が確認され、数年ごとに長期化していたが、平成 13 年以降は発生しない年もあった。しかし、平成 22 年以降は 3 年連続で長期間発生し、特に、平成 22 年度の収束は翌年の 3 月下旬であった。



データ（アオコの発生日数）提供：国土交通省出雲河川事務所

図 34　宍道湖のアオコ発生日数の経年変化

平成 22 年度は 8 月 10 日に宍道湖内の一部でアオコが確認され、8 月 18 日には広範囲で確認された。その後も継続して確認されていたが、10 月 3 日～11 月 8 日にかけては湖岸に集積したアオコが原因と考えられる悪臭苦情も 76 件寄せられた。その後、徐々に減少していったが、終息は翌年の 3 月下旬であった。

平成 23 年度は 7 月 26 日に湖内の一部でアオコが確認され 8 月 19 日には広範囲で確認された。終息は 12 月 28 日と前年に比べると短い期間であった。

平成 24 年度は 7 月 3 日に湖内の一部でアオコが確認され 8 月 29 日には広範囲で確認された。その後 12 月 27 日に終息した。

平成 25 年度は 10 月 2 日に宍道湖南岸の一部でアオコが確認されたが、それ以上の拡大は見られず、継続しなかった。

アオコ形成種は、ここ 4 年は *Microcystis ichtyoblabe* が主体であり、このほかには形態がわずかに異なる *Microcystis* や *Dolichospermum*（*Anabaena*）が見られた。なお、過去の発生記録ではアオコ形成種は *Microcystis aeruginosa* となっているが、保存試料を一部再検討したところ、現在の形成種である *Microcystis ichtyoblabe* と同様であった可能性が高いことが判明した。今後詳細を検討していく必要がある。

【過去のアオコの発生状況の解析】

図35にアオコ発生月と塩化物イオン濃度、水温との関係を示す。過去のアオコ発生前後の水質等（水温、塩化物イオン濃度、栄養塩濃度、日照時間）の解析からは、大規模なアオコが発生するのは概ね①発生月の水温28.5℃以上、②塩化物イオン濃度1800mg/L以下、の条件が満たされる時であることが分かった。この条件を満たす時でアオコが発生しない場合は、アオコ形成種以外の植物プランクトンが優占していた。なお、栄養塩濃度及びNP比とアオコの発生の間には関係は見られなかった。

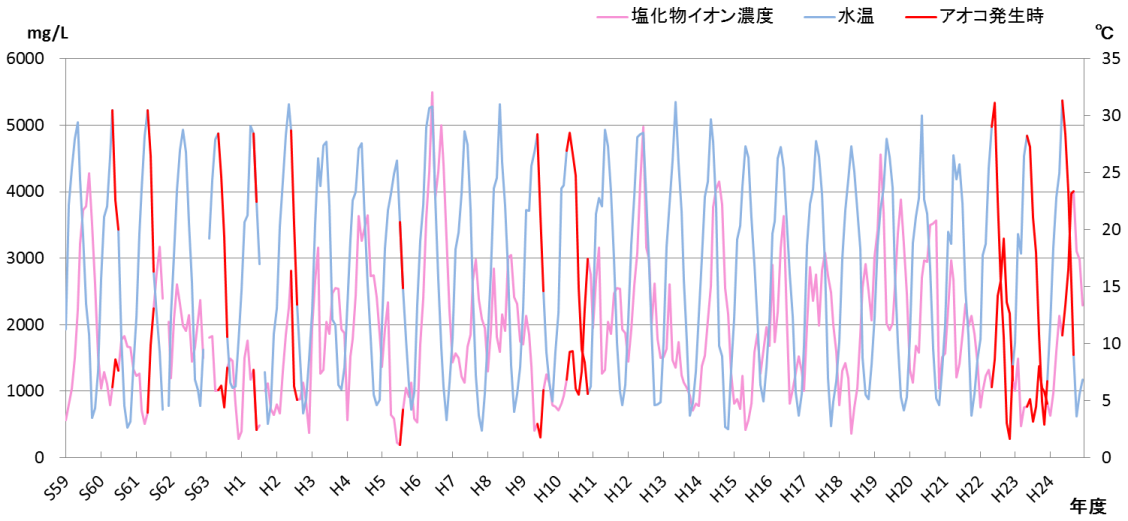


図35　アオコ発生月と塩化物イオン濃度、水温との関係

【アオコの培養実験結果】

表 5 に培養実験時の塩化物イオン濃度と水温ごとの倍加時間を示す。

宍道湖産 *Microcystis* の室内培養実験の結果では、水温 15℃以上かつ塩化物イオン濃度 5500mg/L 以下で増殖が確認された。

室内実験から得られた増殖条件と過去の宍道湖でのアオコ発生時の条件を比べると実際の発生時の条件がはるかに狭い範囲であることが分かった。

表 5　アオコ培養実験時の塩化物イオン濃度と水温ごとの倍加時間

		塩化物イオン濃度(mg/L)							
		200	600	1100	2000	4000	5500	10000	16000
水温 (℃)	33	1.65	1.64	1.80	1.63	1.64	1.62		
	30	1.24	1.30	1.44	1.28	1.44	1.35		
	25	1.34	1.37	1.43	1.26	1.32	1.52		
	20	1.78	1.74	1.72	1.75	1.74	2.53		
	15	2.86	3.01	3.23	3.26	7.15			
	10								
	5								

（単位：日）

３-５-２塩分濃度と湖沼環境

宍道湖の塩分濃度は斐伊川からの淡水流入量と中海からの高塩分水の逆流量で決まるが、斐伊川からの流入水量に大きく依存している。すなわち、流域の降水量が多ければ淡水流入量が増え塩分濃度が下がり、逆に降水量が少なければ塩分濃度が上昇する。

宍道湖のアオコについては、３-５-１「アオコについて」で、発生前の塩化物イオン濃度が 1800 mg/L 以上の場合、大規模な発生は見られないとの結果が得られており、これは平成 22 年～平成 24 年と比べた平成 25 年の状況と一致している。

宍道湖の主要な漁獲対象であるヤマトシジミに対してもある程度の塩分は必要であるといわれており、これも、平成 22 年度以降の状況と一致している。ヤマトシジミは湖水中の懸濁物質（主に植物プランクトン）を摂食し成長し、その後漁獲されることから、湖内の栄養塩を湖外に持ち出す役割の一端を担っている。ヤマトシジミの漁獲が 10000 トン前後あった 1980 年代には、夏期の窒素の流入負荷の 15%が漁獲によって除去されていたとの報告（山室，2001）がある。中村（1998）の調査結果をもとに、ヤマトシジミの漁獲量が年間 10,000 トンと仮定すれば、シジミの漁獲による窒素の持ち出し量は年間約 45 トンと試算される。

一方、過去の例を調べると塩分濃度が上昇した年には、通常中海で発生する渦鞭毛藻 *Prorocentrum minimum* による赤潮が宍道湖で発生するなどの現象も見られる。

このように、汽水湖の湖沼環境は塩分濃度のわずかな差で大きな影響を受けると言える。

４まとめ

４-１流入の状況について

平成５年４月から平成25年３月までの20年間の斐伊川からの流入水質の長期変動を見ると全窒素、全リン濃度はどちらも統計的に有意に上昇していた。全窒素と全リンの比（NP比）は統計的に有意に低下していた。季節変動を見ると、全窒素は寒候期に高く暖候期に低い傾向が見られたが、全リンは逆に暖候期に高く寒候期に低い傾向が見られた。

斐伊川から宍道湖へ流入する負荷量の詳細調査を昭和 58 年 7 月～昭和 59 年 6 月、平成13年９月～平成14年８月、平成22年７月～平成23年６月の３回実施した。

全窒素負荷量は３回の調査のたびに増加したが、全リン負荷量は２回目の調査時にいったん低下したものの３回目調査時には増加し１回目調査の値に近づいた。流入する全窒素、全リンの負荷量は河川流量の増加とともに増えることが知られており、３回目調査は、１回目、２回目調査と比べ斐伊川流量が多かったことから、３回目調査に全窒素全リンの負荷量が増加したのは、斐伊川流量の増加の影響を受けたためと考えられる。

また、斐伊川低流量時の宍道湖への全窒素、全リンの流入負荷量は、１回目調査に比べ２回目３回目調査の方がやや低下しており、生活系や事業場系の負荷の減少の効果と考えられる。

一方、冬期の斐伊川の全窒素濃度の上昇が確認されており、降雨や森林、農地などから河川に流入する全窒素の負荷量が増加している可能性が考えられた。

なお、リン負荷量は、豪雨等の高流量時に多量に流出する傾向が示唆された。

４-２湖内の状況について

○リンの収支について

湖内の底質からの溶出は、中海から宍道湖湖底付近に浸入した高塩分水が貧酸素化することによりおこり、その時の気象条件に左右されるが、19年間の平均をとると、宍道湖に流入する全リンの 55%が湖底に沈降し、そのうち 55%が夏期を中心に底質から溶出して、湖内の全リン濃度を上昇させると推定された。

年間を通じて、25%が湖底に堆積すると推定された。

○湖内の COD について

宍道湖の難分解性 COD は 2.4～3.4mg/L、斐伊川の難分解性 COD は 1.3～1.5mg/L であり、この差である 0.9～1.9mg/L が湖内での内部生産と考えられる。

○湖内の栄養塩バランスについて

宍道湖湖水の全窒素と全リンのバランス（NP比）はこの20年間で低下傾向を示している。宍道湖の植物プランクトンは、アオコの原因となる種を含む藍藻や、シジミの餌に好適といわれる珪藻、その他様々な種類が存在するが、全窒素と全リンのバランス（NP 比）により発生する種が変化し、NP 比が低下するとアオコが発生しやすく、上昇すると珪藻が発生しやすいとの学説もあり、アオコが発生しやすい状況になっている可能性がある。

４-３底質について

宍道湖の底質の平面的分布は、有機物に関する指標のうち強熱減量、TOC、全窒素については、水深 4m 以深の湖心付近からやや西側にかけて濃度が高い傾向がみられ、水深 4m 以浅では相対的に低い値となった。一方、全リンについては西部が最も高く東部の方が低い傾向が見られ、水深が 2～3m と比較的浅い斐伊川河口付近でも高い値が見られた。

季節変化を見ると、有機物に関する指標については変動が大きくはっきりとした傾向はつかめなかった。

過去の調査と比較したところ、試料の採取方法等が異なるため厳密な比較はできなかったものの、平成 6 年に比べれば平成 24 年の底質の有機物濃度が高かった。

湖底直上水中の硫化水素濃度は、水深 5m 以深高い傾向を示し、最大 22mgS/L が検出されたが、水深 4m 以浅ではほとんど検出されなかった。また、堆積物中の溶存硫化物（硫化水素含む）濃度については、水深 5m 以深で高い傾向を示し、最大約 130mgS/L が検出された。溶存硫化物の現場測定データは蓄積が少なく、今後とも調査が必要である。

底質の酸素消費能を平面的に比較すると、斐伊川河口付近が最も高く、次いで湖心付近であった。室内実験による水温毎の酸素消費速度を比較した結果、水温が高い時期は底泥や底層水に棲む微生物の分解活動が活発になって酸素を消費していくため、貧酸素化が進みやすくなっているものと思われる。

また、宍道湖の平面的な分布特性を捉えるために、それぞれの調査結果を基にクラスター分析を行ったところ、湖心部、湖心部の周囲、やや浅い沿岸部、ごく浅い沿岸部及び斐伊川河口沖の５つのグループに分けることができた。この分析結果は、今後底質のモニタリングが必要になった際に、調査地点を選定する上で大きな情報となるものと思われる。

５今後に向けて

【目指すべき宍道湖の将来像とそれを現す指標】

窒素、リンの発生源対策については、下水道等の汚水処理施設の整備が順調に進み、生活系や事業系の更なる負荷削減の余地が少なくなった。また自然系の削減は、森林の適正管理や減肥などの農用地対策等を行ってきたが、今後更なる対策を進めるためには、相当の費用が掛かることが想定される。

一方、宍道湖に係る湖沼水質保全計画（第５期）で定めた長期ビジョン（望ましい湖沼の将来像）「みんなで守り、育む生命、豊かできれいな宍道湖」にあるように、環境基準の達成を目指すことはもちろんであるが、豊かな生態系をはぐくみ、人々が親しみ・安らげる水環境を実現し、湖を訪れる全ての人が快適であると肌で感じられる環境を目指す必要がある。

ワーキンググループを開催する中で、宍道湖の湖沼環境の評価について委員から多くの意見が出された。

今後の宍道湖のあるべき姿を現状を踏まえてどう描くのか、たとえば、「50 年前の状態を目指すのか」、「美しい景観を目指すのか」、「シジミを含めた漁業が盛んな状態を目指すのか」、「『本当の自然を回復させること』と『住民がいいと思うものを回復させること』の間にはギャップがあり、住民や生活をどう考えるのか非常に重要である」、「湖沼のあり方はそれぞれの地域の特性やニーズなどを踏まえて議論していくべき」などの意見があった。

また、あるべき姿を表す指標としても、たとえば、「環境基準の COD でいいのか」とか、「生物の多様さ」、「生物がそこにたくさん住んでいるかどうか」、「物質循環が順調かどうか」、「50 年前にいた生物」、「シジミの生産量」、といった生物を前面に出した指標にしてはどうかといった意見があり、第６期湖沼水質保全計画の策定や今後の施策の検討の参考とする。

【対策の方向】

豊かな生態系をはぐくむためには、生態系の底辺である植物プランクトンの発生がアオコ形成種などの特定の種に偏るのではなく、多様であるべきである。そのためには湖内に存在する窒素やリンといった栄養塩のバランスを保ちながら削減していく必要がある。

湖内の栄養塩の削減の対象としては、①湖に流入する負荷の削減、②湖内（たとえば底泥）から発生する負荷の削減、③湖内の栄養塩の系外への持ち出し、が考えられる。

湖内の窒素とリンは、近年リンの濃度が上昇してきていることから、特にリンの削減に主眼を置いた対策が必要と考えられる。

リンの流入負荷については、これまで生活排水や事業場排水等の汚水処理施設の整備はおおむね進んでいることから、点源からのさらなる削減の余地は少ないと考えられる。また、農地への減肥や森林の適正管理など、面源に対してもこれまで以上の対策が必要となる。

湖内でのリンの発生は、主に夏期の底泥からの溶出であり、このメカニズムの概略は

リンを含む底質→高塩分水の侵入→塩分成層の形成→

→湖底の貧酸素化→リンの溶出→混合拡散による表層リン濃度の上昇

であることをふまえた対策の検討が必要と考えられる。

また、宍道湖の生態系を利用した浄化手法も考えられ、例えばシジミの漁獲による窒素・リンの持出効果による対策といったことも必要と考えられる。

【今後必要な調査】

○リンの底泥からの溶出については、大まかな収支や溶出しやすい条件などの各論の概略については分かってきたが、高塩分水の侵入から栄養塩濃度の上昇までの一連の状況をシミュレーションできるようにするためには、高塩分水の侵入、塩分成層の形成といった物理現象をさらに詳しく調査すると共に、湖底の貧酸素化、リンの溶出速度等について定量的なデータを得ることが必要である。

○難分解性有機物の由来について調査を行う。難分解性物質が流入による割合が高いのか、湖内での植物プランクトンの増殖による割合が高いのかが把握できれば、どこで対策が必要かの目安となる。

○アオコの発生について、平成 25 年度から詳細調査を実施しており、今後も継続して調査を行い原因を解明していくと共に具体的な対策を検討していく必要がある。

○宍道湖ではヤマトシジミの年間漁獲量と COD との間に負の相関がみられており、ヤマトシジミの漁獲によって COD が減少している可能性がある。近年の COD の上昇がヤマトシジミの資源量の減少によっている可能性についてさらに検討する必要がある。

○硫化水素や青潮の挙動についても不明な点が多く、今後の調査が必要である。

６参考

６-１負荷量と河川水量の関係

（１）目的

斐伊川の負荷量と河川水量の関係を確認する。

（２）方法

３-１-２の斐伊川負荷量調査の結果を用いて、斐伊川の負荷量と河川水量の関係式（L-Q式）を作成し、実測値との整合を確認する

（３）結果及び考察

全窒素は、斐伊川水の濃度が流量に対してほぼ一定であることから一般的な手法である一次式を用いてL-Q式を作成した。

全リンのL-Q式は、一般的に用いられる一次式では実測負荷量の76%しか再現できなかった。斐伊川の全リン濃度は流量と一次の関係があったため、L-Q式を二次式として計算を行ったところ、実測負荷の91%まで精度が向上した。検討の結果、二次式で表すのが適当と考えられた。

６-２山林原単位の見直し

（１）目的

宍道湖では、湖沼に流入する負荷量は、発生源ごとの負荷を評価するため原単位法により求めている。この積算が妥当であるか確認し、必要に応じて原単位の再設定を行うために検討を行った。今回は全体の負荷量に占める割合の最も大きい山林系の原単位について、特に検討を行った。

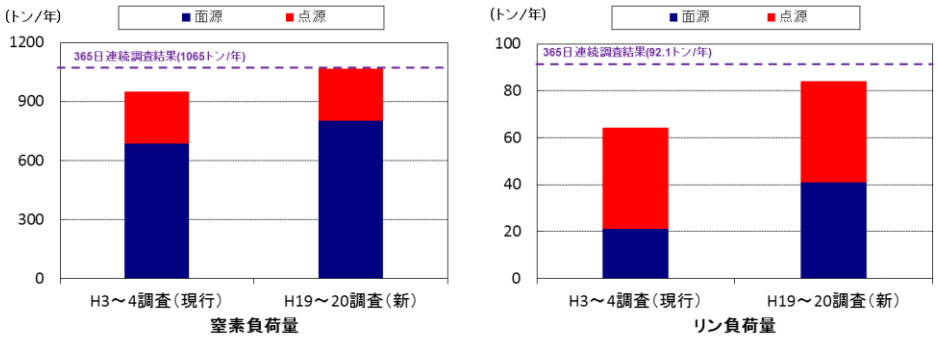
（２）方法

これまで行われてきた原単位の調査について、調査地点、調査方法などから調査の妥当性の検討を行った。また、最も妥当と思われる調査結果をもとに流入負荷量の積算を行い、これと３-１-１「斐伊川 365 日調査」の斐伊川流入負荷の実測データ（平成 22 年 7 月～平成 23 年 6 月）と比較し、確認を行った。

（３）結果及び考察

現在、負荷量の積算に用いている山林の原単位の調査及びその後行った原単位調査を比較したところ、平成 19 年度から平成 20 年度にかけて実施した、斐伊川源流域における原単位調査が最も妥当と判断された。その理由は①低比流量から高比流量まで広い比流量の範囲のデータがとれている②斐伊川の源流域であったことの 2 点である。

この調査で得られたL-Q式をもとに山林原単位を求め、原単位法により斐伊川の負荷量を求めたものと、現在使用している山林原単位による斐伊川の負荷量を、前述の斐伊川365日調査結果とを比較して評価した。図36に山林系原単位を変更した際の斐伊川負荷量を示す。斐伊川365日調査結果と比べ、平成19年度～平成20年度調査から求めた原単位による負荷量は全窒素、全リンでそれぞれ100%、91%であり、平成2年～平成3年調査から求めた原単位による現行の負荷量のそれぞれ89%、70%に比べて向上した。平成19年度から平成20年度調査結果を用いた方がより精度の高い値が得られることが分かり、平成19年度の山林原単位調査は妥当であると判断された。



- 原単位法による負荷量は、実測値と比較して、窒素は89%、リンは70%であった。
- 山林系原単位を最新の値に変更すると、実測量に近い値が得られる。（窒素は100%、リンは91%）

図 36　山林系原単位を変更した際の斐伊川負荷量（平成 22 年度）

引用文献

Ganguly, D., R. S. Robin, K. V. Vardhan, P. R. Muduli, K. R. Abhilash, S. Patra, and B. R. Subramanian (2013) Variable response of two tropical phytoplankton species at different salinity and nutrient condition. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 440: 244-249.

Hartmann, J., T Kunimatsu, and J. K. Levy (2008) The impact of Eurasian dust storm and anthoropogenic emissions on atmospheric nutrient deposition rates in forested Japanese catchments and adjacent regional seas, Global and Planetary Change 61: 117-134.

Ishitobi Y, Kawatsu M, Kamiya H, Hayashi K, Esumi H (1988) Estimation of water quality and nutrient roads in the Hii River by semi-daily sampling. Jpn J Limnol 49:11-17.

Ishitobi Y, Kamiya H, Hayashi K, Gomyoda M (1989) The tidal exchange in Lake Shinji under low discharge conditions. Jpn J Limnol 50:105-113.

Ishitobi Y, Kamiya H, Yokoyama K, Kumagai M, Okuda S (1999) Physical conditions of saline water intrusion into a coastal lagoon, Lake Shinji, Japan. Jpn J Limnol 60:439-452.

神谷宏，石飛裕，井上徹教，中村由行，山室真澄（1996）夏期の宍道湖の底層水に蓄積する栄養塩の起源，陸水学雑誌，57:313-326.

神谷宏，石飛裕，井上徹教，中村由行，山室真澄（2001）富栄養化した汽水湖沼における高水温・貧酸素時の堆積物からの溶存有機態リン(DOP)とリン酸の溶出，陸水学雑誌，62:11-21.

神谷宏（2008） 宍道湖におけるりんの収支に関する研究,

Kamiya H, Kano Y, Mishima K, Yoshioka K, Mitamura O, Ishitobi Y (2008) Estimation of long-term variation in nutrient loads from the Hii River by comparing the change in observed and calculated loads in the catchments. Landscape Ecol Eng 4:39-46. DOI 10.1007/s11355-008-0040-9.

金井豊，井内美郎，山室真澄，徳岡隆夫（1997）島根県宍道湖の底質における堆積速度と堆積環境，地球化学，32，71-85.

増木新吾，戸島邦哲，別所大，和田洋一，管原庄吾（2013）宍道湖西岸十四間川における青潮発生時の水質変化，水環境学会誌，36. 143-148.

宮廻隆洋，田林雄，大城等，小山維尊，中島結衣，佐藤紗知子，野尻由香里，岸真司，藤原敦夫，神谷宏（2014）日本海側河川に対する中国大陸からの越境窒素汚染，陸水学雑誌，75, 27-34.

中村由行，井上徹教，足立義彦，石飛裕，嘉藤健二，山室真澄（1999）汽水湖沼における底層水質の急変現象と溶出の非定常過程，海岸工学論文集，46. 1031-1035.

中村幹雄（1998）宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula Japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学研究，島根県水産試験場研究報告，第 9 号

農林水産省（2002）2000 世界農林業センサス http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2000/report_archives_01.html.

農林水産省（2012）2010 世界農林業センサス http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/dai1kan.html.

Poste, A. E., R. E. Hecky, and S. J. Guildford (2013) Phosphorus enrichment and carbon depletion contribute to high Microcystis biomass and microcystin concentrations in Ugandan lakes. Limnology and Oceanography 58: 1075-1088.

島根県（1993）宍道湖・中海に係る水質関係諸調査報告書

Tian, H.Z., J.M. Hao, M.Y. Hu, and Y.F.Nie (2007) Recent trends of energy consumption and air pollution in China. Journal of Energy Engineering-Asce 133:4-12.

Yamamuro M. (2000) Chemical tracers of sediment organic matter origins in two coastal lagoons. Journal of Marine System 26: 127-134.

山室真澄（2001）沿岸域の環境保全と漁業，科学，71, 921-928

山室真澄，神谷宏，石飛裕（2011）汽水湖沼である宍道湖における成層に伴う貧酸素化とCOD(Mn)との関係，水環境学会誌，34. 57-64.

山崎美紀雄，森本直知，安田幸伸，川上誠一（1978）宍道湖の柱状底質調査．島根県衛生公害研究所報，第 20 号，144-149.

Yoshioka K, Kamiya H, Kano Y, Saki Y, Yamamuro M, Ishitobi Y (2009) The relationship between seasonzl variations of total-nitrogen and total-phosphorus in rainfall and air mass advection paths in Matsue, Japan, Atmospheric Environment, 43: 3496-3501. DOI 10.1016/j.atmosenv.2009.04.027.

○汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ検討会開催状況

＜平成２２年度＞

・第１回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２２年８月１９日（木）　１４：００～１７：００

場　所：島根県職員会館２階　多目的ホール

・第２回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２２年１０月２５日（月）　１４：３０～１７：００

場　所：島根県職員会館２階　多目的ホール

・第３回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２３年３月９日（水）　１４：３０～１７：００

場　所：島根県庁６階　講堂

＜平成２３年度＞

・第１回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２３年９月５日（月）　１４：３０～１７：００

場　所：島根県民会館３階　大会議室

・第２回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２３年１２月２２日（木）　１４：３０～１７：００

場　所：島根県民会館３階　大会議室

＜平成２４年度＞

・第１回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２４年１０月１０日（水）　１４：３０～１７：００

場　所：島根県庁６階　講堂

・第２回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２５年３月１５日（金）　１０：００～１２：００

場　所：島根県市町村振興センター（タウンプラザしまね）６階　大会議室２

＜平成２５年度＞

・第１回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２５年１１月１１日（月）　１０：００～１２：００

場　所：島根県市町村振興センター（タウンプラザしまね）６階　大会議室２

・第２回汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ

日　時：平成２６年1月２９日（水）　１０：３０～１２：００

場　所：島根県庁６階　講堂

○汽水湖汚濁メカニズム解明調査ワーキンググループ　委員名簿

ワーキンググループ委員

氏　名	所 属	職 名	専門分野	備考
山室　真澄	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学研究系　自然環境学専攻	教　　授	生物地球化学 (陸水学)	座長
清家　　泰	島根大学大学院 総合理工学研究科	教　　授	環境化学	副座長
石飛　　裕	ＮＰＯ法人 自然と人間環境研究機構	理 事 長	湖沼物理学	
大谷　修司	島根大学 教育学部自然環境教育講座	教　　授	植物分類学 (植物プランクトン)	
中田　喜三郎	名城大学大学院 総合学術研究科	特任教授	生態系モデル	
中村　由行	横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院	教　　授	環境水理学 (海岸環境学)	
吉田　延雄	環境省 水・大気環境局水環境課 （※委員当時の所属）	課　　長	行　　政	委員期間 2010 年 8 月～ 2012 年 7 月
北村　　匡				委員期間 2012 年 8 月～ 2013 年 7 月
宮崎　正信				委員期間 2013 年 8 月～ 2014 年 3 月

オブザーバー

国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所
松江市
出雲市
島根県農業技術センター
島根県水産技術センター
島根県産業技術センター

事 務 局

島根県環境生活部環境政策課
島根県保健環境科学研究所