

琵琶湖および流域の水環境モニタリングの あり方について

平成 1 7 年 3 月

滋賀県琵琶湖環境部

目次

はじめに	1
1 . 琵琶湖および流域の水環境保全の現状と課題	1
琵琶湖の変化	1
昭和40年代前半まで	
昭和40年代後半から	
琵琶湖の保全対策の経緯	2
琵琶湖を取り巻く諸問題	2
一元的な管理体制の不備	
持続可能性を妨げる社会経済的要因	
琵琶湖と産業・生活との関係の変化	
大気汚染による水質・生態系への影響	
健全な水循環への影響	
水位変動・流速変化による水質・生態系、漁業への影響	
琵琶湖への人間活動の影響についての認識と理解の不足	
生物の多様性と生息生育地の消失	
外来種による生態系、漁業への影響	
自然美・景観、原生的な自然の喪失	
気候変動の影響	
健全な琵琶湖管理に向けた課題	4
統合的水資源管理	
環境負荷の少ない産業活動の推進	
化学物質対策	
面源対策の強化	
湖岸・湖辺域の重要性	
総合的な調査研究の推進	
効果的なモニタリングと評価の実施	
結果の共有化と活用	
水環境保全のための環境学習の促進と専門家の育成	
2 . 琵琶湖および流域の水環境保全のための効果的なモニタリング	6
モニタリングの現状	6
モニタリングの目的	7
モニタリングの課題	7
モニタリング改善に向けた視点	8
目標の明確化	
測定地点の適切な配置	
測定項目の適正な設定	
測定頻度の再検討	
測定方法の最適化	
測定結果の公表と活用	

3 .	モニタリングの基本的考え方	9
	質・量・場・時の視点での水環境の把握	9
	水質形成機構の解明	
	中・長期的な視点に基づくモニタリング	
	モデリングと連携したモニタリング	
	生態系変動を通じた水環境の把握	10
	化学物質の適正な把握	
	情報の共有化と、環境保全への反映	11
	柔軟なモニタリングによる課題への対応	11
	課題に対応した調査手法の選択	
	測定技術および測定結果の反映	
	水質事故等緊急時への対応	
4 .	今後のモニタリングの取組	12
	マスバランス（物質収支）の把握	12
	継続的な水質調査の実施	12
	モデリングと連携したモニタリングの実施	13
	新たな指標の追加	13
	危機に対応したモニタリング	13
	モニタリング精度の向上等	13
	結果の公表と活用	14
	流域における住民活動の取組との連携	14
	< 参考 >	
	「琵琶湖および流域の水環境モニタリングのあり方について」検討の経過	14
	用語解説	15
	「琵琶湖および流域の水環境モニタリングのあり方について」(概要)	17

はじめに

琵琶湖は、マザーレイクという愛称が示すように、その水域の多様な生態系を支える源であるばかりでなく、県民および近畿1,400万人の生存と経済的発展のための重要な淡水資源である。しかしその反面、人間活動の影響を非常に敏感に受けやすく、その保全と利活用には河川など他の水資源とは異なる対応が必要となる。

琵琶湖はその流域の水環境の中心的な構成要素であり、その流域と切り離して持続可能な湖沼管理を行うことは不可能である。健全な湖沼管理は、湖沼と流域を取り巻く社会経済、土地利用状況など様々な要素を考慮し、学際的な調査研究に基づく政策立案によって取組が進められなければならない。また、健全な湖沼管理のための政策立案と実施には、政府機関、地方自治体、NPO、住民、利水団体、企業、教育・研究機関などの関係者の参加が不可欠である。

これらの視点を踏まえて琵琶湖および流域における水環境の持続可能な管理を推進するため、単に現状を把握するだけではない新たな考え方に基づく水環境モニタリング（以下、「モニタリング」という。）の構築が求められている。

1. 琵琶湖および流域の水環境保全の現状と課題

琵琶湖の変化

昭和40年代前半まで

琵琶湖における水環境の変化は、高度成長期直前の昭和30年代の中期(1950年代末から60年代はじめ)に、プランクトンの異常発生、北湖での外来種であるコカナダモの繁茂、農薬による魚介類の大量死として現れ始めた。水稲用の農薬が使われ始めたのは、その10年ほど前からであるが、農薬成分であるPCP（ペンタクロロフェノール）による琵琶湖や有明海での事故は農薬の環境への有害性を初めて国民に認識させるものであった。なお、農薬等の化学物質の大量使用による環境汚染の重大性について最初に警告したレイチェル・カーソンの「沈黙の春」が出版されたのもこの時期である。

また、昭和20年(1945年)前後から琵琶湖の内湖^{*1}では大規模な干拓が始まり、現在までに、面積にして戦前の約7分の1となっていることも琵琶湖にかかわる大きな環境変化といえる。

昭和40年代後半から

昭和40年代の高度成長期に入ると、工業化、人口増、生活の近代化、各種開発等に伴い河川や琵琶湖への環境負荷は急激に高まった。

また、昭和47年(1972年)から平成9年(1997年)までの25年間にわたる琵琶湖総合開発事業^{*2}、湖岸堤の建設、この頃から本格化した農業基盤整備、昭和50年代半ばから本格化する下水道整備、昭和30年代半ばからの木材製品の完全自由化の影響による林業の衰退も琵琶湖への大きな影響要因となった。

具体的な水質面では、公害対策の遅れから水銀やカドミウムなどの公害問題が全国的に波及した中、昭和45年(1970年)のいわゆる公害国会を経て水質汚濁防止法が制定された。本県でも琵琶湖の汚濁や重金属の流入、アンチモンによる汚染問題などの顕在化に対し、昭和44年(1969年)に工場排水の規制を規定し

た滋賀県公害防止条例（公害防止条例）を制定し、さらに法律より厳しい基準を設定するため昭和47年（1972年）に公害防止条例の全面改正を行った。

昭和52年（1977年）5月、黄色鞭毛藻ウログレナ・アメリカーナの異常増殖による淡水赤潮が発生し、琵琶湖の富栄養化問題が顕在化した。このため、粉石けんの使用推進運動など富栄養化防止に対する県民運動が盛り上がり、昭和54年（1979年）の滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例（富栄養化防止条例）として結実した。また、国では、昭和59年（1984年）に、湖沼水質保全特別措置法が制定され、琵琶湖は昭和60年（1985年）に指定湖沼となり、湖沼水質保全計画を策定して水質保全のための事業や汚濁負荷削減のための規制等を行うこととなった。現在、平成13年（2001年）度から平成17年（2005年）度までの5ヵ年間で計画期間とする第4期計画に基づく対策を実施している。

富栄養化防止条例の施行以降、水質は一時的に改善され、琵琶湖の富栄養化は抑制されたかに見えたが、昭和58年（1983年）には富栄養化の象徴と考えられるアオコの発生が琵琶湖で初めて南湖湖岸で確認された。また、同年には有機塩素系化合物による地下水汚染が初めて確認されている。アオコは翌59年（1984年）を除き毎年、主として湖水が滞留しやすい港湾や水路で発生が確認されている。

昭和59年（1984年）以降の化学的酸素要求量（COD）の漸増、平成元年（1989年）のピコプランクトン（極微細な藍藻）や平成10年（1998年）の大型藍藻オシロトリアの異常発生、湖底の低酸素化状態の出現など、生態系を含めて琵琶湖の水環境は、社会経済活動の拡大と多様化、地球温暖化等の地球規模の環境変化の影響にさらされ、新たな変化を来しつつある。

琵琶湖の保全対策の経緯

昭和47年（1972年）の水質汚濁防止法の全面改正とそれに伴う県の水質汚濁防止法第3条第3項の規定に基づく排出基準を定める条例（上乘せ排水条例）の制定、公害防止条例の全面改正にはじまる事業場の排水規制、昭和54年（1979年）の富栄養化防止条例による家庭排水対策、昭和50年代半ばから本格化する下水道整備、平成8年（1996年）の、日平均排水量10～30m³の小規模排水事業場にも排水基準を適用するための水質関係条例の改正、一般家庭に小型合併処理浄化槽の設置を義務づける滋賀県生活排水対策の推進に関する条例（みずすまし条例）の制定など、汚濁負荷削減対策を図ってきた。

また、平成4年（1992年）の、湖辺の自然生態系保全をめざした滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例（ヨシ群落保全条例）と湖岸、河辺等のごみ対策のための滋賀県ごみの散乱防止に関する条例（ごみ散乱防止条例）、平成12年（2000年）の「マザーレイク21計画」による琵琶湖の総合保全、平成14年（2002年）の琵琶湖のレジャー利用の適正化に関する条例（琵琶湖レジャー条例）、平成15年（2003年）の滋賀県環境こだわり農業推進条例等による総合的かつ多様な保全対策も進めてきた。

琵琶湖を取り巻く諸問題

一元的な管理体制の不備

琵琶湖の管理にかかる主な法制度としては、河川法、水質汚濁防止法、自然公園法、湖沼水質保全特別措置法等の法律と上乘せ排水条例、ヨシ群落保全条

例、琵琶湖レジャー条例等、県独自の制度がある。それぞれの制度には、目標と管理主体が存在するが、これらを統合する管理の仕組みが確立されておらず、多面的な価値をもつ水資源である琵琶湖の管理体制としてふさわしい状況とはなっていない。

持続可能性を妨げる社会経済的要因

琵琶湖とその流域は滋賀県の県域にほぼ重なり、130万人以上の県民の生活と活動による負荷、また、いわゆる通過県としての主に自動車交通による負荷が、直接、間接に琵琶湖に及んでおり、増大しつつある。今後も、第二名神高速道路の開通や東海道新幹線新駅の開設に伴う社会資本整備も負荷増大の要因になると考えられる。

琵琶湖と産業・生活との関係の変化

高度成長期以前の琵琶湖の主な利用は、漁業、舟運、観光であったが、そのほかで注目すべきものとして水藻や泥土が田畑の優れた肥料等として広く利用されていたことがあげられる。藻の採取には期間を定めたり、昭和初期までは税が課されるなどしており、その貴重さがあらわれている。また、湖岸には一般的に広大なヨシ原が存在しており、屋根葺き材やヨシ簀用として採取されていた。漁業による漁獲を含め、これら琵琶湖や内湖での生産物の採取を通じた琵琶湖からの栄養分の持ち出しがされていたと考えられるが、このような活動による負荷削減への効果は弱くなっている。

大気汚染による水質・生態系への影響

琵琶湖流域の大気の状態は、ばい煙発生施設の改善や自動車排ガス対策により悪化は押さえられているものの、改善は見られていない。例年発令される光化学スモッグの原因として、大気中の揮発性有機化合物（VOC）や窒素酸化物（NO_x）の存在が考えられ、現在、詳細な測定データはないが、降雨の水質データから見ると、これらの物質が降雨等を通じて直接・間接に河川、琵琶湖に面源負荷として及んでいると推測されている。

健全な水循環への影響

河川整備に伴う人工護岸の増加、ダムや下水道整備に伴う河川の流況の変化、圃場整備に伴う水田の水利用形態の変化、市街地の拡大や道路整備による舗装地の増加、産業活動に伴う地下水取水や汚染等、これら社会経済の変化が、質・量・水の存在する場・時のいずれの面においても健全な水循環の保全に影響を及ぼしている。

水位変動・流速変化による水質・生態系、漁業への影響

琵琶湖の管理に起因する人為的な操作による変動やそれに伴う湖内の流速の変化が、水質や植生、魚類の産卵・生育等、生態系などに様々な影響を与えている。

琵琶湖への人間活動の影響についての認識と理解の不足

昭和30年代(1960年代はじめ)までは、琵琶湖や河川の水は、洗い物、洗濯、入浴等の生活用水として直接使用されることが一般的であったが、その後の上水道の普及、および同時に進行した琵琶湖や河川の汚濁により、生活との関係が間接的になり、県民の関心が薄れることとなった。

昭和45年(1970年)の天津、京都、大阪等、広い範囲での水道水の異臭の発生、昭和48年(1973年)のオオカナダモの大繁殖、昭和52年(1977年)のウログレナによる赤潮の大発生等により、富栄養化による琵琶湖の危機的状況が顕在化する

など、これら一連の状況が県民をはじめ下流地域の住民の琵琶湖への関心を喚起し、粉石けんの使用運動、昭和54年(1979年)の富栄養化防止条例へとつながった。これらの取組や制度化、また無りん合成洗剤の出現や下水道整備等により、琵琶湖の富栄養化問題にある程度のめどが立つと、アオコの継続的な発生やその他生態系の変化にもかかわらず、日常的に琵琶湖と関わる漁業者等を除き、一般的に県民の関心は再び薄れてきている。

生物の多様性と生息生育地の消失

湖岸堤の建設や干拓事業、圃場整備によるヨシ帯をはじめとする水陸移行帯^{*3}の喪失、干拓による内湖の減少、水田と琵琶湖等との連続性の分断、河川改修による流況の変化、琵琶湖の管理に伴う人為的な水位変動等により生物の生息生育環境が大きく変化し、その結果、生物の多様性が脅かされつつある。

外来種による生態系、漁業への影響

既に大正時代には持ち込まれていたといわれるオオカナダモが1970年代になって琵琶湖で大発生したり、1960年代後半には内湖や琵琶湖で確認されていたブルーギルが1990年代に急増したように、水質および水環境の変化やその背景にある社会経済的要因が外来種の繁茂繁殖の要因となり、琵琶湖固有の生態系や漁業に大きな影響を及ぼしている。

自然美・景観、原生的な自然の喪失

万葉集の古歌に詠まれた情景、また室町時代に始まると言われる「近江八景」や戦後選ばれた「琵琶湖八景」に代表されるように琵琶湖の景観は我が国の代表的な水辺景観として愛好され保全が図られてきた。しかし、高度成長期以降の開発や琵琶湖総合開発事業により特に湖辺の景観変化は大きく、現在も湖周に整備された道路に沿って景観の変化が進みつつある。

気候変動の影響

20世紀の100年間に地球の平均気温は0.6度上昇し、20世紀最後の10年間は過去1000年間で最も温暖な10年間となった。平成10年(1998年)には観測史上最高気温を記録した。その後も同レベルの記録的な高温が続いている。石炭や石油などの化石燃料の燃焼によって放出される大気中の二酸化炭素の急激な増加がこの原因とされている。また、温度上昇と連動する形で、異常気象が頻発し、それに伴う大災害も増加している。近年の降雪量の減少や、琵琶湖の水温の変化等を含め、温暖化や気象変化が琵琶湖に与える影響の解明については、今後の課題となっている。

健全な琵琶湖管理に向けた課題

統合的水資源管理

水は、質・量・存在の場・時のいずれの面においても健全な状態であることが必要である。琵琶湖は飲料水源としてだけでなく、農業、漁業、工業、観光、生態系の維持のため等、水資源として多面的価値を持っている。このため、その管理の課題は水質だけでなく、水位、水量、生物・生態系、土地利用、産業構造、景観、アメニティ、県民の消費行動やライフスタイルにまで広く及んでいる。健全な琵琶湖の管理は、統合的水資源管理(IWRM)^{*4}の考え方にに基づき、歴史的経緯や慣習を尊重しつつも、可能な限り科学的な知見に基づき、県民をはじめ利害関係者の参加のもとに統合的に進められる必要がある。そのためには、関係者が共有する理念やビジョンが必要となる。

また、琵琶湖の水は、流入する河川、地下水、湖面への降雨によって涵養されるが、特に流入河川の状況は、単にその水質だけではなく、形状や植生・生態系、さらには沿岸の土地利用を含めて琵琶湖に大きく影響する。このため、統合的湖沼流域管理(I L B M)^{*5}により主要な流入河川の流域に着目しつつ、それと琵琶湖との関係を視野に入れて対策を行う必要がある。

環境負荷の少ない産業活動の推進

小規模排水事業場への排水基準の適用等に代表される規制の厳しさや琵琶湖保全に対する県民の意識は高く、また近年のゼロエミッション^{*6}対策等から県内事業場の排水対策は進んでいるが、事業場から排出されるばい煙や揮発性有機化合物(V O C)等、大気を通じての産業活動全体による水環境への負荷が十分把握されていない。

今後は、持続可能性の観点を踏まえつつ、事業場の総合的な環境対策の推進や資源効率性が高く、環境負荷の少ない産業への転換および立地を促すことが必要である。

化学物質対策

私たちの経済活動や生活は多種多様な化学物質によって支えられている。現在、工業的に生産されている化学物質は、10万種以上あるといわれており、その内の有害性が判明している化学物質354種については、特定化学物質の排出量の把握・管理促進法(P R T R 法)により環境への排出量の把握に関する措置がとられるようになってきている。P R T R 法施行以前は、化学物質の環境中への排出に関する基礎データが全くなく、この制度によって化学物質に関する基礎的な情報を住民が共有することが可能となるとともに、事業者の使用削減努力を促すこととなった。

ただし、この制度により得られる排出量データ等については、あくまでも一定の計算式に基づく届出データあるいは推計データであり、必ずしも現実の環境中の化学物質の実態濃度は把握できていない。

生活における清潔意識の高まり、生活の利便化や多様化に伴い、化学物質の使用は種類、量ともに増える傾向にあり、また、化学物質の多くは難分解性であるため、これまでの使用による土壌や水環境への蓄積も含め、健全な水環境保全上、その対策は重要な課題である。

面源対策の強化

汚濁負荷削減について、生活系の負荷削減の面では、下水道、農業集落排水施設、合併処理浄化槽の整備等相当な取組が進んできている。また、工場・事業場系の対策についても制度面での整備が進み、その適正な管理運用が課題となっている状況である。

一方、農地、森林、市街地、道路、事業場敷地等のいわゆる面源からの負荷対策については、環境こだわり農業の推進による施肥、濁水管理や市街地排水浄化のモデル施設の設置、道路排水の浄化実験等の取組が始まっている。しかし、面源負荷については、その発生メカニズムの解明および対策についての調査や検討、制度整備と技術開発等について一層の推進が必要である。

湖岸・湖辺域の重要性

湖岸・湖辺域は水環境の重要な構成要素であり、特に、湖岸の形状や植生は、水質浄化機能や魚類、鳥類等、生き物の繁殖生育の場として非常に重要である。したがって、計画的な土地利用計画に基づき、可能な限り本来の自然に順応し

た保全と管理が行われなければならない。

総合的な調査研究の推進

琵琶湖の多面的な価値に配慮し、健全に管理していくためには、科学・技術、また制度面からの調査が求められており、自然科学・工学分野だけでなく、人文・社会科学分野も含めた総合的な研究が進められる必要がある。調査研究の推進にあたっては、行政の研究機関だけでなく、県内外の大学や研究機関、また県民やNPOなど様々な主体の参画が必要である。

効果的なモニタリングと評価の実施

琵琶湖の健全な管理のためには、その健全性の評価基準となる指標を現行の指標にとどまることなく選定し、それに対応するモニタリングを計画的、継続的に実施することが不可欠である。さらにモニタリングを効果的に進めるため、過去の結果を的確に分析することや琵琶湖の水質モデルを構築すること等に基づき、科学的に計画した上で実施することが重要である。

結果の共有化と活用

モニタリングは、行政機関が湖沼管理として行うものだけでなく、県民やNPO、学術研究機関などでも実施されており、今後、それらの結果が共有化されるとともに、湖沼管理や県民、NPOの活動に活かされることが重要である。

水環境保全のための環境学習の促進と専門家の育成

琵琶湖の健全な管理のための調査研究やモニタリングに県民の参加を促すこと、また、汚濁負荷削減、特に、面源負荷の削減には県民や事業者の理解と取組が不可欠であるため、土地利用のあり方、ライフスタイルや消費行動の転換の必要性についての理解を促進するための学習プログラムが必要である。また、琵琶湖が世界有数の古代湖であることや豊かな歴史文化に支えられていること、多様な固有の生態系を持つことと等を考慮し、官民を問わず、琵琶湖の健全な管理のための専門家を育成していくことも必要である。

2. 琵琶湖および流域の水環境保全のための効果的なモニタリング

モニタリングの現状

琵琶湖でのモニタリングは、昭和41年(1966年)から昭和53年(1978年)までは、滋賀県が建設省近畿地方建設局(現国土交通省近畿地方整備局)の委託を受けて北湖の28定点で春・秋年2回、南湖の19定点および瀬田川の1定点において四季ごとに年4回の水質調査を実施してきた。また、流入河川については、昭和47年(1972年)から南湖への流入河川を中心にモニタリングが始まっている。昭和54年度からは調査地点および方法の見直しを行い、ほぼ現行の体制で実施してきている。

現在実施されている琵琶湖および流域のモニタリングを概括するにあたっては、まず、琵琶湖と流入する河川という対象の場における区分、また琵琶湖においては表層水質調査と水深別水質調査という区分、さらに手分析^{*7}と自動測定^{*8}という測定手法による区分をたてることができる。これらに、プランクトン調査や淡水赤潮調査、アオコ調査等が加わって、現在の琵琶湖のモニタリング体系が構成されている。

まず、琵琶湖に関しては、表層水質調査として、手分析により47地点(このうち11地点を県が実施、その他は国土交通省と水資源機構が実施)で月1回、

水質汚濁防止法に定める生活環境、健康、要監視項目について実施している。この47地点の内、県が実施している地点が水質汚濁防止法に基づくCODの環境基準点（8地点）、全窒素、全りん的环境基準点（4地点）として位置付けられており、環境基準の達成状況の監視を行っている。水深別水質調査として4地点で月2回、水質汚濁防止法に定める生活環境項目、プランクトン調査等を実施している。

次に、流入河川の水質調査では、29河川、34地点において月1回、琵琶湖の表層水質調査と同様、水質汚濁防止法に定める生活環境、健康、要監視項目について実施している。

以上の測定手法はいずれも手分析によるものであるが、これらとは別に、琵琶湖の湖心の3地点、湖辺の7地点、流入河川の8地点において水質自動測定を実施している。自動測定による主な項目としては、水温、pH、溶存酸素（DO）、COD、窒素、りん、導電率となっている。なお、湖心の3地点の内北湖2地点では、水深別調査も実施している。

また、行政の行うモニタリング以外にも、琵琶湖をはじめとする身近な水環境を自らの生活とつながったものと認識して眺めている県民の目や、地域の環境保全の取組として積極的に県民自らが行っている水質調査、各研究機関が琵琶湖を対象として行っている研究など、様々なモニタリングが実施されている。

モニタリングの目的

健全な水環境管理は、効果的なモニタリングに基づく実態の把握、対策の立案と実施、および対策の効果についての評価という流れで取り込まれなければならない。

琵琶湖の水質形成に関しては未だ不明な点も多く残されており、各研究機関等が行う研究とモニタリングとを効果的に連携していく必要がある。

このため、これからのモニタリングは、これまでの目的であった、環境基準達成状況の監視など水質の長期的な変動と現状の把握に加えて、水環境保全に向けた課題を的確に踏まえ、対策に繋げる情報の取得を目的とする必要がある。

このためには、直面する水環境保全に向けた課題から具体的なモニタリングの目的として、次の4点を掲げ強化していく必要がある。

- 質・量・場・時の視点での水環境の把握
- 生態系変動を通じた水環境の把握
- 情報の共有化と、環境保全への反映
- 柔軟なモニタリングによる課題への対応

モニタリングの課題

これまで県では、月1回、琵琶湖を47のメッシュごとに設定した調査地点で手分析を行ってきた水質調査や、河川水質調査、月2回の手分析で実施してきた琵琶湖鉛直方向の水質調査、さらに、手分析では把握できない短時間の水質変動を捉える、湖心、湖辺、河川における自動測定などを実施してきたが、基本的に、環境基準等の水質評価の枠組みによる、表層でのCOD、窒素、りん等各種項目の濃度測定を主眼としたものであるため、必ずしも水質形成機構の解明に有効に寄与するようになっていない。また、水環境を巡る物質収支を把握していないことから、流域における汚濁負荷削減対策と水質の関係が把握で

きておらず、適切な対策立案と実施、対策の効果の評価に対して十分な活用ができていない。

水質自動測定については、琵琶湖の深底部を含めた水質変動や物質収支に係る情報を得ることができることから、琵琶湖水質形成機構を解明する上で重要な地点にある湖心局を除き、既存の測定地点における測定意義を見直す必要が生じている。あわせて、現在測定局に整備している測定機器が老朽化している一方で、測定機器技術が進歩してきたことから、モニタリングの目的に最適な項目等を設定し、連続的なデータ測定体制の再構築が望まれている。

また、これまでのモニタリングは水質に偏っていたが、水環境を総合的に捉えるとともに環境保全対策に取り組む県民にとっても分かり易い指標として、これまでの指標に加えて生物指標など新たな指標の導入が必要となっている。

モニタリング改善に向けた視点

目標の明確化

現在のモニタリング体制は、高度成長期に始まる社会経済的变化による水質悪化を後追いする形で整備されてきたため、水質環境基準の達成状況を監視することが主体になっており、課題解決型になっていない。その結果として、水質汚濁防止法に定める監視項目データの蓄積を重ねるという状態になっている。産業構造、生活の多様化による水環境の変化に対応したモニタリングを限られた人的、物的資源の中で有効に実施するため、現在のモニタリング体制が整って以降、4半世紀以上の蓄積がある既存のデータを踏まえて、目標を明確化していく必要がある。

測定地点の適切な配置

例えば琵琶湖においては、環境基準点11地点に対し、全体で47地点で定期的な水質調査を実施しているが、単に平面的にメッシュに切った地点設定をしているため、琵琶湖の水質状況、さらには水環境状況を的確に把握するといった視点から現在の調査地点および数が適切であるかどうかの検証が必要である。測定地点の適切な配置については、目標の明確化、結果の活用、費用対効果の面から検討を加える必要がある。

また、自動測定に関しては、従来は固定局設置による同一地点の経年的な測定を行ってきているが、モニタリングの目的に応じて移動可能な測定機器によるプロジェクト的な調査の実施における機動的な地点設定などを検討する必要がある。

測定項目の適正な設定

現在は、水質汚濁防止法に定める監視項目を基本に水質調査が行われているが、単に水質保全に止まらず、健全な水環境の保全や住民参加の観点からみると、現状では十分とは言えない。特に有機汚濁に対しては、水質汚濁防止法に定める公定法であるため、国際的には日本のみで採用されている現在の過マンガン酸カリウムによるCOD測定方法について、これを補完する指標や、水環境の把握といった視点からの新たな指標の設定も必要となっている。

自動測定に関しては、時間変化を細かく解析できる手法の効果を発揮できる項目の選択と、省電力化による太陽光利用による機器稼働など測定システムに対する負荷の観点からも検討を加える必要がある。

測定頻度の再検討

現在、手分析による調査は、琵琶湖4地点での水深別調査の月2回を除き、流入河川、琵琶湖とも月1回の実施となっている。自動測定については、地点、項目により、毎時から6時間までの間隔で測定が実施されている。手分析調査においては、水温躍層形成時の鉛直方向の水質調査など時期に応じて適切な頻度を設定する必要がある。自動測定の頻度については場所、方法とともに再検討が必要である。

測定方法の最適化

自動測定に関しては、現在琵琶湖等で採用している方法は、基本的には手分析による方法を機械的に追従する手法を採用している。このため、手作業で行うほどの精度が上げられないことや実験室と同様の試薬や熱源が必要なことから、廃液の処理も含めこのままの継続には問題が多い。今後、測定項目にふさわしい最新の方法について維持管理の簡便さも含め検討する必要がある。

また、化学物質のモニタリングに関しては、個別物質の測定に加え、工場・事業排水等に関しては、生物を用いたバイオアッセイ手法を基礎にしたバイオモニタリングの補助的な適用により、生物への影響を総合的に見る方法も有効である。

測定結果の公表と活用

現在、琵琶湖と流域では100以上の地点で定期的なモニタリングが実施されており、その主な結果は、年1回取りまとめられ、県の環境白書で公表されており、白書の内容は県のホームページでも閲覧できるようになっている。しかし、大学や研究機関での活用、県民等の水環境への理解と取組を促すといった面から、公表の即時性の確保や公表に当たっての解析や説明の付加等、今後、公表方法と内容面で改善を加えることが必要である。

3. モニタリングの基本的考え方

以上に整理したモニタリングの課題およびその改善に向けた視点に基づき、今後のモニタリング体制を構築していくため、4つの柱を明確化し、これに向けた考え方を以下に整理する。

質・量・場・時の視点での水環境の把握

水質形成機構の解明

水環境の課題解決のために適切な対策の立案、実施し、その効果を評価していくためには、琵琶湖および流域における水質形成機構を解明することが必要である。

現在、環境基準監視を目的に実施している、琵琶湖表層における水質を中心とした調査、いわゆる静的・平面的なモニタリングのみでは、琵琶湖に流入した汚濁負荷が様々な影響を受けた後の結果しか把握することができない。

特に、琵琶湖北湖のように水深の深い湖沼においては、水質形成において鉛直方向の物質移動が大きく影響するため、平面的な調査に湖心部などでの鉛直方向の調査を加えて水環境中の物質の挙動を把握することや、南湖を通じて流出する汚濁負荷量を把握すること、つまり動的・立体的なモニタリングに転換していくことが必要である。また、河川において水質とあわせて水量を測定することなどにより、流入する汚濁負荷量の把握を進めることが重要である。把

握にあたっては、測定地点や測定項目を課題に応じて柔軟に設定可能であり、常に高いレベルで精度管理ができる手分析と、短期間での水質変動を捉えることが可能である自動測定、それぞれの特徴を踏まえて、適切な手法の選択や組み合わせにより実施することが必要である。

これらの取組により、琵琶湖を中心とする水環境におけるマスバランス（物質収支）の正確な把握を通じて琵琶湖および流域の水環境状況を的確に把握することが必要である。

中・長期的な視点に基づくモニタリング

琵琶湖の水環境は、日から年単位での周期的な水質変動や、大雨などの気象変動による短期的な水質変動があるものの、これらの変動は様々な要因により吸収され、長期的には緩やかに変化している。このことは、社会経済的な変化の影響についても同様と考えられ、水環境には中・長期的な変化となって現れると考えられる。このため、これらの変化を的確に捉えるという視点から、特に、重要な社会経済的な要因による変化については、中・長期的な視点を持ち計画的にモニタリングする必要がある。

モデリングと連携したモニタリング

琵琶湖の水環境は均質ではなく、湖岸の地形や湖底の状況、流域の土地利用による汚濁負荷の特性によって異なった状況を呈しており、調査地点を均等に配しても琵琶湖の水環境を的確に捉えることとはならない。このため、過去の測定データを踏まえた水質モデルを構築し、そのモデルと連携したモニタリングを計画することで、的確かつ効果的なモニタリングを実施することが可能となる。

生態系変動を通じた水環境の把握

琵琶湖の水は単に生活用水や農業用水、工業用水の水源としてだけでなく、生態系の重要な構成要素であるため、現在のように窒素、りん、CODなどの化学的な指標だけで水環境の健全さを図るには限界がある。このため、魚類や植物、プランクトンなどの生物を指標化し、長期的なモニタリングによって水環境の健全さの変動を把握することが重要である。一方で、県民参加によるモニタリングを促進するためにも、身近な動植物を指標化することは有効である。

さらに、生物の生息に重要な影響を及ぼす湖岸の状況や流域の土地利用等の変化も含めて、長期的なモニタリングにより、水環境の健全さを把握する必要がある。

化学物質の適正な把握

P R T R制度は、人の健康を損なうおそれがある化学物質だけでなく、動植物の生息若しくは生育に支障を及ぼすおそれがある354種の化学物質を対象としており、このうち58物質は、水生生物への毒性のみを有害性の根拠として選定されている。また、農薬についても、農薬取締法に基づき作物・土壌への残留や水質汚濁による人畜への被害防止に加え、水産動植物への被害防止のための基準が設定されている。

しかし、現在のモニタリングは、基本的に、人の健康の保護に関する環境基準に基づき行われており、生態系の保全を目的とした基準が未整備なことから、モニタリングが実施されていない。

健全な水環境および生態系の保全の観点から、「予防原則（Precautionary

Principle) *9」の考え方を踏まえ、化学物質の測定について地点、項目、方法等を検討する必要がある。

情報の共有化と、環境保全への反映

現在県等が行っているモニタリングの結果は毎年まとめて県の環境白書やホームページを通じて公表されているが、指標が理化学的なものに限定されていること、数値のみの公表で必要な解析が加えられていないこと、年1回の公表であることなどから十分な活用がなされていない。

今後は、琵琶湖や流域の水環境保全だけでなく、それに影響を与える事業の計画や実施にあたって参考となること、また県民が日常的に水環境の変化に積極的に目を向け、県民の水環境保全にかかる様々な取組にも活用されること等を目標として、情報の積極的かつ、できる限り速やかな公表が必要である。さらに、水環境に関するデータは地域の持続可能な発展のための政策立案と実施に有効に活用されることが重要である。

また、行政機関、研究機関、県民が持っている情報が共有化されることにより、水環境に関する研究が促進される仕組みづくりも必要である。

柔軟なモニタリングによる課題への対応

課題に対応した調査手法の選択

水環境の変動を把握するためのモニタリングは、長期的な視点に立って計画的に継続実施されることが基本であるが、その一方で、水質モデルを検証するための調査や、流域や湖辺域の状況、社会経済的な視点からの明確な目的設定をされる課題に対しては、プロジェクト的な調査による効果的な情報の把握も含めて適切な調査手法を選択することが重要である。

測定技術および測定結果の反映

分析技術は年々開発改善がなされており、これらの測定技術の向上を柔軟に調査計画に反映し、効果的な情報把握に努めることが重要である。

例えば、有機物汚濁に対して、CODの測定法としてかつては広く世界的に過マンガン酸カリウム法が使用されていたが、現在ではISOの基準として重クロム酸カリウム法が一般的になっているにもかかわらず、唯一日本でだけ過マンガン酸カリウム法が公定法として採用されている。他の有機物指標として全有機炭素(TOC) *10を分析する技術が進み、測定可能な状況となってきており、測定目的に最適な測定手法の見直しや、新たに開発された機器の導入による精度の向上や効率化の検討が可能となっている。特に、自動測定分野においては、課題に対応した効果的でエネルギー消費の少ない機器の導入が課題となっている。

また、モニタリングにより得られた結果の解析により明らかになる新たな課題への対応や、より効率の良い測定場所や測定頻度への見直しなどによる、従来の課題の解明などモニタリングの柔軟な再設計をすることが必要である。

水質事故等緊急時への対応

突発的な交通事故や事業場の事故等による油脂類や化学物質の河川や琵琶湖への流出などの水質事故に対して、あらかじめ測定地点、測定項目を定めて監視体制を構築することは、効果がほとんど無く、費用対効果上も現実的でない。このため、これらの水質事故に対しては、発生後の被害を最小限にとどめる観

点からの発生事案を想定した汚染物質の流域での拡散予測モデルの構築や緊急測定体制の構築が重要である。特に、流域の水系データをGIS（地理情報システム）^{*11}と連動させた取組は効果が高いと考えられる。

4. 今後のモニタリングの取組

マスバランス（物質収支）の把握

琵琶湖および流域における汚濁負荷量の入りと出（物質収支）、およびこれらの湖内での動態が、水質となって現れてくる。したがって、このマスバランスを把握することが、将来の琵琶湖の水質予測や対策効果を検証する上で重要である。

従来からのモニタリングは平水時に限った調査を行っており、河川での降雨時の流出ピークを捉えられていないため、河川から流入する汚濁負荷を水質と水量の連続的な測定から汚濁負荷量として把握することや北湖における鉛直方向の物質移動、南湖を通じて流出する汚濁負荷量の把握について検討を進める。さらに、現在、湖沼水質保全計画の策定にあたって使用している原単位の検証や原単位法を補完するデータの整備について検討を行う。また、有機物汚濁に関しては、現在のCODを補完するための新たな指標として、加算性^{*12}のあるTOCを水質形成機構解明に資する新たな指標として積極的に位置づけ、活用を検討する。また、水量、湖内の底質についても定期的な測定項目に加え、マスバランスの把握を検討する。

（短期的な対応）

琵琶湖および河川において、有機物汚濁に関するマスバランスの把握に有利な新たな指標（TOC）によるモニタリングを実施する。

継続的な水質調査の実施

環境基準達成状況の監視として琵琶湖および河川で実施されてきた手分析による水質調査については、測定地点、測定項目、測定頻度について必要な見直しを加えながら継続して実施する。また、定期的、継続的に実施してきたプランクトン調査についても、同様に継続して実施する。

また、鉛直方向の手分析調査についても水質形成機構解明に向けた必要な修正を加えながら継続して実施する。

手分析で捉えられない短期間での水質形成機構を解明する上で重要な水質変動については、既存の湖心局において、自動測定を測定項目、測定手法など必要な修正を加えて継続実施する。

（短期的な対応）

琵琶湖47地点および河川34地点での一般項目、有害物質、その他項目の月1回の手分析による調査を継続して実施する。

琵琶湖におけるプランクトン調査を継続して実施する。

琵琶湖北湖2地点、南湖2地点での手分析による鉛直方向の水質調査については、これまで蓄積された調査結果を整理し、さらに濃密な調査が必要な事象等（底層部の溶存酸素濃度低下、成層の形成・消失等）がみられる時期等については、測定頻度・測定箇所（部位）・測定項目など調査内容の充実を図りながら継続して実施する。

自動測定局については、測定機器の老朽化等に伴う測定データの精度および維持管理上の問題があるため、測定項目等の新たな手法の検討の間、北湖湖心S（南）局による自動測定を継続して実施し、その他の湖心局2局と湖辺局全7局、河川局全8局については、休止する。

当面休止する自動測定局のうち、各湖心局については、琵琶湖湖心部における鉛直方向の物質の挙動やマスバランスなど沖帯の水質形成機構を把握する上で必要な水質情報を得るため、その有効活用方法を検討する。湖辺局・河川局については、それぞれの湖辺域および河川における水環境特性に応じた調査目的を設定し、調査計画における自動測定手法の必要性・有効性を考慮する中で、今後の取り扱いを検討する。

モデリングと連携したモニタリングの実施

過去の調査結果に現れる変動が説明できるとともに、保全対策の効果や社会経済的变化も織り込みながら将来の水質変動が予測可能であり、県民や各事業者の活用も含め政策決定や検証の支援に役立ち、水質予測が可能となる琵琶湖のモデルの構築に取り組む。モデルづくりにあたっては、琵琶湖の水環境要因を分析し、利用可能なデータ、今後整備が可能なデータを整理し、現時点で最善のモデルを構築するとともに、今後のモデルの充実に備える。

また、このモデルを踏まえ、その検証に適した地点や頻度で効果的なモニタリングを実施する。

新たな指標の追加

従来環境基準項目に加えて、有機汚濁指標として、マスバランスの把握のためTOCを加えるなど、水環境課題に対応する適切な指標の導入を検討する。また、水質保全から水環境保全へという視点の拡大に対応し、県民等の参加という面からも従来化学的指標を中心とした指標に加え、生物指標について試行的導入を図る。さらに、従来プロジェクト的に実施していた底質・底泥の調査の5年から10年の適切な間隔での定期的な調査への移行や、琵琶湖および流域の健全性を評価するため、流域の土地利用や社会経済的要因に関する指標の導入を検討する。

（短期的な対応）

TOCを水質定期監視項目に追加する。

生物を用いた新たな指標の検討を行う。

危機に対応したモニタリング

交通事故や事業場の事故に伴う水質事故に備えた測定の事前想定と発生後の緊急測定、連絡、応急対応の実施を視野に入れたモニタリング体制を整える。PRT法に基づく事業場での化学物質使用データと流域の水系データをGISにより管理する手法について検討を進める。

モニタリング精度の向上等

進行する温暖化、産業構造やライフスタイルの変化に伴う新たな物質による負荷、またITやバイオテクノロジーを活用した測定法や機器の改善を常に視野に入れたモニタリングの精度の向上に努める。

また、琵琶湖等の水質を客観化するために、流域内の最大限人為の影響を受けない水域を特定し、その水質データをベンチマーク^{*13}として位置付けること等についても検討する。

結果の公表と活用

県が実施するモニタリングの結果は県行政のための施策立案や実施だけでなく、県民や事業者の様々な取組、また研究者専門家の活動に活用されるべきである。また、モニタリング結果により県民自らが日常的に水環境に関心を持ち自主的に環境の状況を把握し、取組に活かされるよう促すことも重要である。そのため、測定データの公表の時期、方法について改善を図っていく。

特に、県民も含めた政策決定と成果の評価のための支援ツールとして活用されるような提供に努める。

流域における住民活動の取組との連携

県民が自ら取り組む水環境保全活動の一環として行われるモニタリングは、活動のベースとして重要であるばかりでなく、他の住民活動や行政機関、研究者にとっても有効である。住民活動によるモニタリングの向上と充実に向けて、行政や専門機関が支援していく仕組みについて検討を行う。

<参考> 「琵琶湖および流域の水環境モニタリングのあり方について」検討の経過

検討会は、水環境分野に関連する各分野の研究者である、表「検討会委員名簿」の5名の委員（座長：藤井滋穂教授）と県関係機関で構成された。準備会や検討会を5回開催し、この検討会における議論を踏まえ、今後は効果的なモニタリングに基づく水環境の実態の把握、情報の共有化と環境保全施策への反映などが重要であるとして、「琵琶湖および流域の水環境モニタリングのあり方について」をとりまとめ、環境審議会に報告を行った。

表 「検討会委員名簿」(平成17年3月末現在)

津野 洋	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 教授
永礼英明	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 講師
藤井滋穂	京都大学大学院工学研究科 教授 (座長)
増田貴則	鳥取大学工学部社会開発システム工学科 助教授
遊磨正秀	京都大学生態学研究中心-生態学研究部門 助教授
県機関	水政課、環境管理課、琵琶湖研究所、衛生環境センター等関係機関

検討の経過

第1回準備会(平成16年11月8日)

第2回準備会(平成16年12月9日)

第1回(平成17年1月6日)

第2回(平成17年2月24日)

第3回(平成17年3月15日)

環境審議会水環境部会に報告(平成17年3月22日)

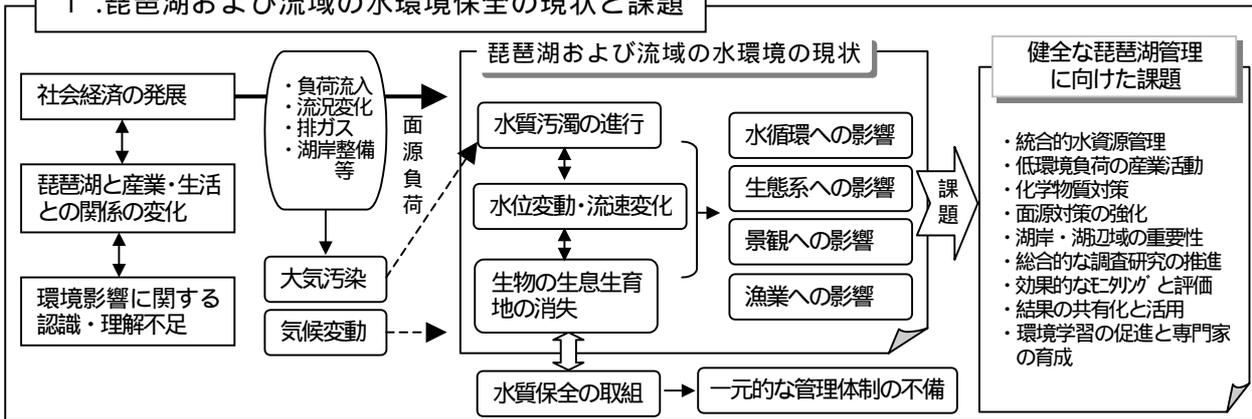
用語解説

- * 1 内湖：琵琶湖の周辺に存在し、水路によって琵琶湖につながっている小さい湖沼。内湖は、江戸時代以前から新田開発等により、明治時代以降は干拓（農地化）等によって徐々に消失し、特に、戦中・戦後の食糧不足の際、食糧増産のための農地造成の対象として注目され、その多くが、干拓によって姿を消した。
- * 2 琵琶湖総合開発事業：わが国で初めて水資源開発と水源地域開発を一体的に進めた事業。「琵琶湖総合開発特別措置法」に基づく「琵琶湖総合開発計画」により、昭和47年（1973年）から平成9年（1997年）までの25年間にわたり実施された。水資源開発公団（現、水資源機構）が実施する「琵琶湖開発事業」と国、県、市町村が実施する「地域開発事業」で構成され、治水対策、利水対策、環境保全を3本の柱に実施された。
- * 3 水陸移行帯：湖岸、河岸、海岸で水位の変動によって水中に沈んだり、陸になったりする場所。琵琶湖ではヨシ、マコモなどの水生植物が繁茂し、フナやコイなどの魚類、水生昆虫や水鳥などの生育・生息のために重要な空間である。
- * 4 統合的水資源管理：水や土地、その他関連資源の調整をはかりながら、利害関係者の参加により、水資源を開発・管理していく手法のこと。そのねらいは、生態系の持続可能性を損なうことなく、淡水資源のもつ経済的・社会的福利を公平な方法で最大限にまで増大させることにある。英語でIntegrated Water Resources Managementの頭文字を取ってIWRMと記される。
- * 5 統合的湖沼流域管理：湖沼を生態系面を含め、多面的な価値をもつ淡水資源として位置付け、統合的水資源管理の考え方を基本に、管理していく手法のこと。従来の湖沼そのものに着目する考え方から、流入河川、土地利用、社会経済状況等を視野に入れて持続可能な管理を目指す。英語でIntegrated Lake Basin Managementの頭文字を取ってILBMと記される。
- * 6 ゼロエミッション：産業から出るすべての廃棄物や副産物が、他の産業の資源として活用され、全体としていかなる形の廃棄物を生み出さない生産を目指そうとする考え方。具体的には、投入される生産要素はすべて使い切れ、最終的な製品に活用されるか、あるいは他の産業のための付加価値の高い原料となり、最終的には、廃棄物が発生しないことを目指す。1994年に国連大学が提唱したコンセプトである。
- * 7 手分析：環境モニタリングにおいて測定地点で大気、水等の検体を採取し、試験室に持ち帰り、公定の分析方法等により分析を行いデータを得る作業。
- * 8 自動測定：測定地点において機械が自動的に検体を採取して分析を行ったり、測定地点に設置されたセンサーによりデータを得る測定手法。データは、無線や有線を通じて試験機関に電送されるか、機械に蓄積されたものを定期的に回収する方法で入手される。

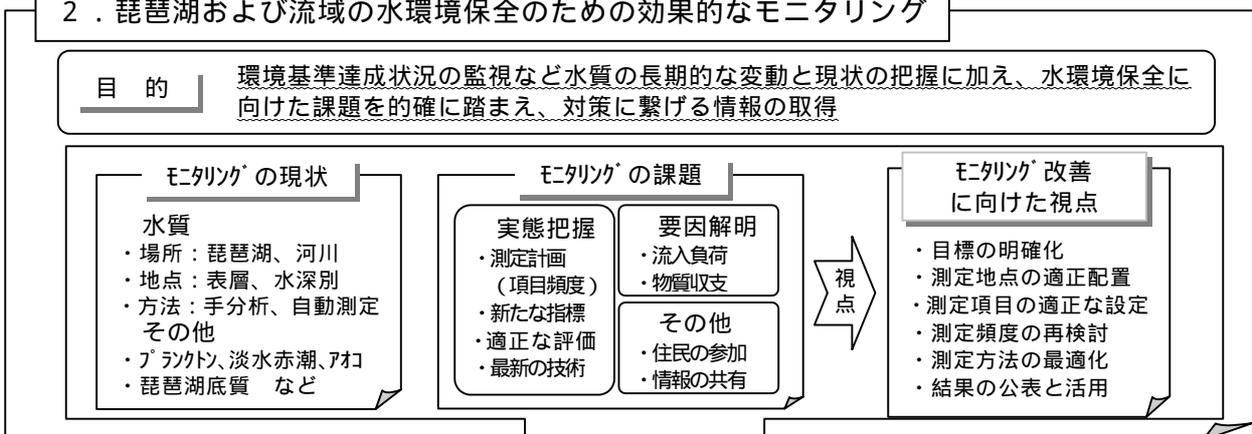
- * 9 予防原則：化学物質や遺伝子組換えなどの新技術などの導入に関し、人の健康や環境に重大で不可逆的な影響を及ぼす恐れがある場合、科学的に因果関係が十分証明されない状況でも、規制措置を可能にする制度や考え方のこと。1970年代から取り入れられはじめ、1992年に「環境と開発に関するリオ宣言」の中で「環境を守るためには各国はその能力に応じて予防的アプローチを広く採用する。重大なあるいは回復不能な損害の脅威が考えられる場合、十分な科学的根拠がないことを理由に費用効果の高い環境悪化防止策を先延ばしにしてはならない。」と記され、環境問題への基本的な基準となった。
- * 10 TOC：全有機炭素（Total Organic Carbon）の略語で、水中に含まれる有機物中の炭素量のこと、有機性汚濁を計る水質指標。COD（化学的酸素要求量）が水中の有機物の分解に必要な酸素の量を求める方法であるのに対し、TOCは水中の有機物に含まれる炭素の量を求める方法。試験方法としては、900～950度の酸素（または二酸化炭素を含まない空気）中で水中の有機物質を分解して有機体の炭素を二酸化炭素にし、その濃度を測定することにより炭素量を求める。CODでは、過マンガン酸カリウムの酸化に要する酸素量を計るという試験方法の性格上、汚濁物質の分解のしやすさの影響を受けるため、分解率（反応率）が100%でないが、TOCでは分解率はほぼ100%であるため、水中の汚濁物質量がよりの確に測定できる。
- * 11 GIS：地理情報システム（Geographic Information System）の略語。位置や空間に関する情報をもった電子データ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示できる技術システムで、様々な分野の政策決定において高度な分析や迅速な判断を支援する技術。
- * 12 加算性：水質測定における有機汚濁測定において、測定結果から検体に含有される有機物の物質収支を把握することができる可能性のこと。
- * 13 ベンチマーク：元々の意味は、測定のための基準点のことであるが、性能、効率、状況等を評価する際に比較のための基準となるものを示す意味で使われる。

「琵琶湖および流域の水環境モニタリングのあり方について」（概要）

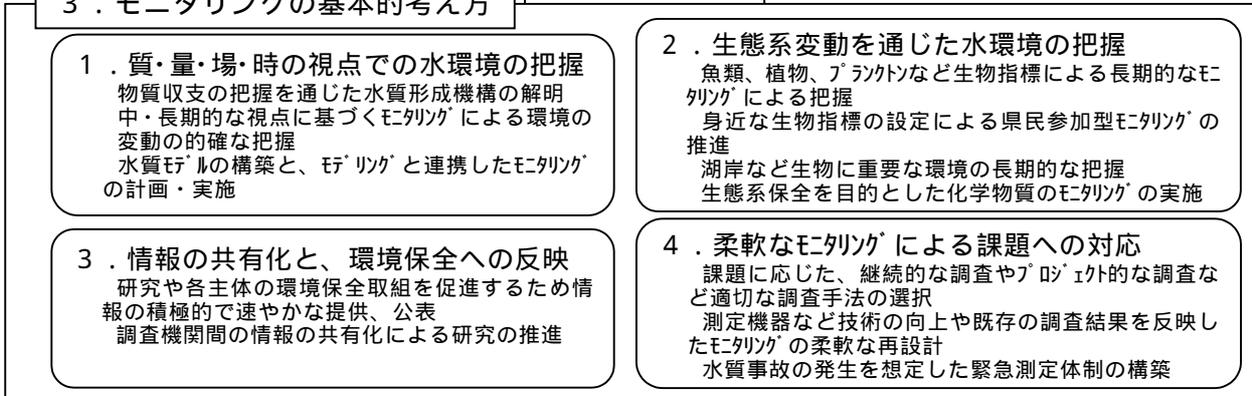
1. 琵琶湖および流域の水環境保全の現状と課題



2. 琵琶湖および流域の水環境保全のための効果的なモニタリング



3. モニタリングの基本的考え方



4. 今後のモニタリングの取組

