

序章 湖沼の水理・水質管理と調査解析技術

湖沼の水理・水質管理は、図 序.1に示す枠組で構成され、調査解析技術は水理・水質管理のすべての段階において活用されるものである。

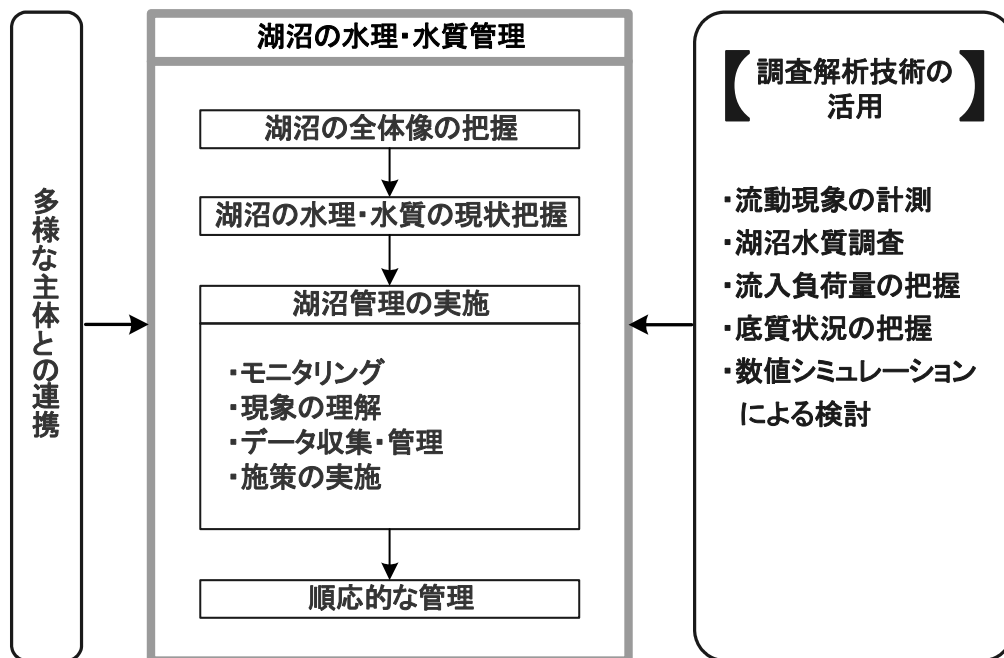


図 序.1 湖沼の水理・水質管理の構成

調査解析技術は、まず、管理の基本として流動・水質現象の把握、次に、水質管理の重要な要素である流入負荷量と底質の把握、そして、これらの現象理解や施策検討のツールである数値シミュレーションの順で記述した。

湖沼管理の段階ごとに、利用する調査解析技術の種類やレベルが異なる場合があるため、底質状況の把握や数値シミュレーションによる検討では、管理段階に応じて技術を選択できるよう配慮して記述している。

1) 湖沼の水理・水質管理

a) 湖沼の全体像の把握

湖沼の環境は、湖の成り立ち、気象条件・水文条件等の自然的要因、流域の社会活動、動植物の生息・生育状況等、様々な要因により形作られており、それぞれ独自の特性を持っている。また、湖沼の中においても物理的・化学的な状況は一様ではなく、それに応じて水利用や動植物の生息・生育状況が異なっている。

したがって、湖沼管理にあたっては、各々の湖沼の自然的・社会的な全体像を、流域を含めて把握することが重要である。湖沼の水理・水質管理を行う時には、こうした個々の湖沼の特性を十分に理解した上で、その湖にあった手法を取り入れる必要がある。

また、多くの湖沼は、その地形が形作られてから長い年月が経過しており、自然的・社会的特性の変化とともに、その水理・水質等の特性も変化してきた。湖沼の状態は、水理・水質管理を特に実施しない場合でも、自然的・社会的変遷に応じて変化することから、湖沼のなりたちと湖沼環境の長期的な変遷を踏まえて現状を把握し、湖沼の水理・水質管理を行う必要がある。

湖沼の全体像を把握することにより、湖沼の状況を支配する大局的な現象を認識することができ、湖沼の水理・水質管理の目標を定める際にも参考となる。

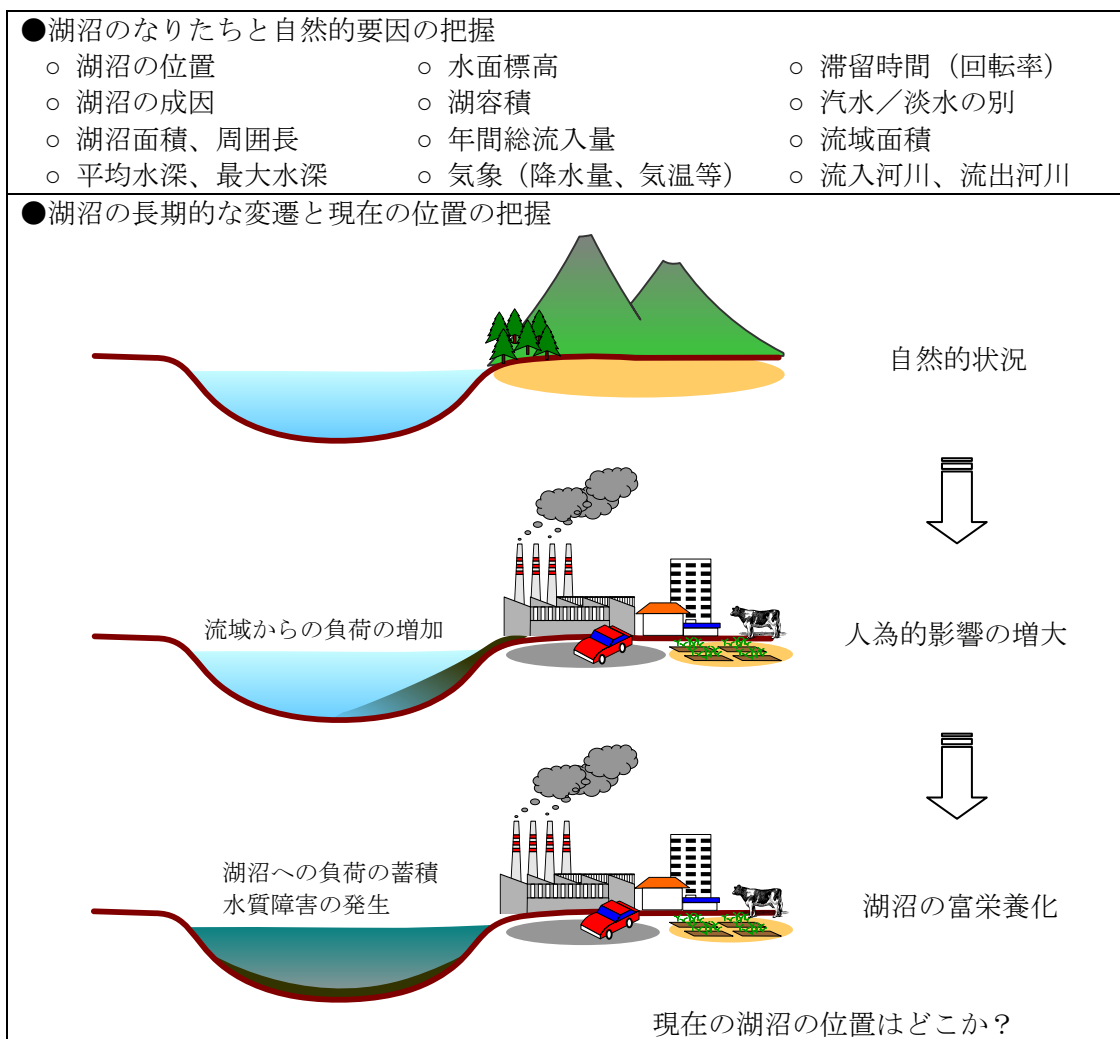


図 序.2 湖沼の全体像の把握

b) 湖沼の水理・水質の現状把握

湖沼の管理者は、湖沼の全体像と長期的変遷の中での現時点の位置を踏まえながら、湖沼の現状把握を行い、湖沼管理の方針を検討する必要がある。

湖沼の現状把握とは、水理・水質がどのような状況であるかを把握するとともに、そのような状況となる水理・水質的なメカニズム（湖沼の水理・水質に影響を与える要因としてどのような現象が関わっていたのかということ）を理解することである。

その際には、調査・解析技術を適切に活用し、湖沼の全体像、及び既往の検討結果を踏まえた調査解析を計画・実施することが重要である。また、調査の際には、湖沼の水理・水質の状況把握はもちろんのこと、湖沼で起こる現象のメカニズムにかかわる物理的・化学的・生物学的要因の把握も重要である。

c) 湖沼の水理・水質管理のあり方

湖沼の水理・水質管理の手法及び優先度は、湖沼の全体像（長期的変遷）、現状、及び将来予測を踏まえて決定していく必要がある。

湖沼環境の変遷の中で、水理・水質管理は第Ⅰ段階（水質問題の顕在化前）、第Ⅱ段階（水質問題の顕在化後）、第Ⅲ段階（水質問題の顕在化後、かつ対策後）に分けて考えることができる（図 序.3）。

湖沼の管理者は、管理段階に適した調査・解析を駆使した現象の理解や調査データの収集・管理、新たな計測・解析技術の開発・活用に努めるとともに、多様な主体との連携等を常に念頭に置き、湖沼の水理・水質管理を進める必要がある。

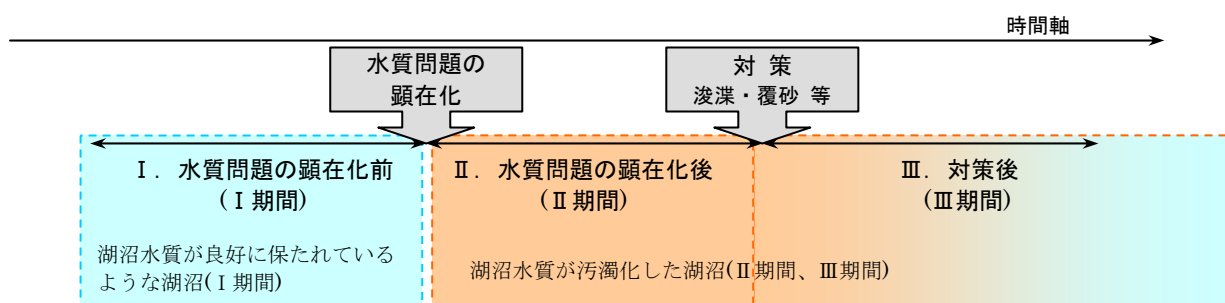


図 序.3 水理・水質管理段階のイメージ

i) モニタリング

従来の治水・利水主体の湖沼管理においては、水位や流量のモニタリングを正確に行い湖水位管理に反映させることがモニタリングの目的であった。現在も今後も水位や流量のモニタリングの目的、重要性は変わることは無いが、湖沼における流動機構を把握した上で水質並びに景観も含めた環境の管理を目指す今後の湖沼管理においては、湖内での流動を駆動する要因としての気象、海象、湖盆形状などや、結果としての流向流速分布、密度分布、DO、プランクトン量、透明度等の環境に係る項目を含めたモニタリング・データの取得・蓄積も必要となってくる。また、湖内の水質現象の把握のためには、流入河川水質、湖内の DO 等の水質、底質等の把握も必要となってくる。

今後のモニタリングにおいては、目的に応じ空間的・時間的分布を考慮し、計測を実施する必要がある。湖沼管理の基本的な情報である「水文情報」、「気象・海象情報」や「水質」などの環境情報を的確に把握する必要があり、このような情報の常時計測（連続計測とオンライン管理）を行う必要がある。このような常時計測を適切に行うことで、水環境の異変の早期発見という予防的な効用も得られる。例えば、網走湖における塩分濃度の常時計測を行うことによって青潮の発生の前兆現象をとらえることが可能と考えられる。

常時計測データの欠測や精度不良は、精度の高い解析や適性判断に大きな影響を与えるため、欠測が極力生じず、精度の高いデータが得られるように計測機器の維持管理に努める必要もある。たとえば、水位計測データは、シミュレーションモデルの境界条件としても重要なデータであり、水準基標（水位計の零点高の根拠となる基準標）や計測精度の維持更正について日常の維持管理が重要である。このため、このような機器の更正が半自動的に行われ、ほぼメンテナンスフリーで長期間正確なデータが得られるような機器の技術開発も期待されている。

高度で総合的な湖沼管理を行う上で、管理の対象となる現象（洪水時、プランクトン異常発生時等）、によっては、その把握のために時空間的に密な観測を行う必要がある場合もある。計測場所、深度、測定間隔などについては、湖沼の全体像、長期的変遷、及び既往の調査研究を十分考慮して決定する。たとえば、湖内水質などは湖心部だけでなく、湖形状、流入河川の状況、流動特性を的確に把握したうえで、湖内水質を代表する地点、複数点以上で常時計測を行うことが必要となる場合も出てくる。このような場合、選択する地点の代表性を検証する目的から、また解析を行う段階でデータの不足が無いように特に検討の初期段階において、集中的なモニタリングを行うことが望まれる。

ii) 現象の理解

モニタリング・データの蓄積と併行して、各湖沼における流動現象のメカニズム解明には、室内実験や数値シミュレーションが重要である。特に近年のコンピュータ技術の向上は精緻な数値シミュレーションの遂行を可能にしており、湖内における流動と水質解析を高精度で行いうるシミュレーションモデルも開発されつつある。このようなモデルを利用することの利点は、現地では実行することが不可能な種々の実験を数値計算によって仮想的に繰り返し迅速に行いうることや、現象を説明する仮説を立ててそれに基づく計算を行い、現地観測結果等と比較を行うことで、その仮説の検定を行うことが可能であるということが挙げられる。このような利点を生かすことで、数値シミュレーションは湖沼の流動・水質現象を理解するための非常に有効かつ強力な道具となりうるものであり、現象の理解のために積極的に活用するべきものである。

数値シミュレーションを利用した現象の理解は、質の高い現場観測データの存在と相まって深まるものであるため、理解しようとしている現象の特性に応じた観測データが必要である。このため、モニタリング計画策定段階で、数値シミュレーションによるデータ解析を念頭に置いて、モニタリングを行う場所や頻度、モニタリングを行う項目について決定することが望まれる。

iii) 新たな解析技術の開発と活用

湖内の特異な流動現象を効率的に把握するために、市販されている計測機器だけでは対応できない場合には、新しい計測機器の開発や利用方法の工夫を行う必要がある。また、解析技術についても、新たな技術動向に目を向け、必要に応じて積極的に取り入れる必要がある。

調査研究的な機器の開発と同様に、今後の常時計測においても、種々の有用な機器の開発が考えられる。

iv) データ収集・管理

湖沼における現場計測データは、種々の要因により攪乱を受ける場合があるので、日常的に複数データ間の関係を解析するなどの方法で、常に計測データの妥当性をチェックし、必要に応じて補正や復元に対処することが大切である。不正確なデータはかえって将来混乱を生じる可能性があるため、取得したデータの精度管理に留意する必要がある。また、取得したデータ量は膨大になるため、データベース化が重要であり、適切な書式によるデータの電子化を行いデータ蓄積に努める必要がある。このような目的から、データの精度検証や膨大なデータを有用な情報に加工するソフト開発も課題である。常時計測データと水質や生態系に関するデータとの相関性の追求も、今後はより重要となると考えられる。

さらに、湖沼管理を行うための必要データに関し、日射量、雲量などの気象データについて気象庁データを活用する等、他機関により取得されているデータを直接取得しているデータと連携させて使用することが今後重要となるため、これら他機関により取得されているデータとの連携も含めてデータを管理する手段の構築が必要である。

v) 多様な主体（国、自治体、研究機関、NPO、住民等）との連携

湖沼は、自然状態においても長期的には貧栄養状態から富栄養状態へと遷移するが、人為的な負荷によって富栄養化の速度を著しく速めている。また、一度富栄養化した湖沼を元の状態に戻すことは非常に困難であるが、人為的な汚濁負荷削減など流域対策と底泥浚渫など直接的な対策が試みられている。

富栄養化対策のみならず湖沼環境保全のためには、流域における各汚濁負荷の影響度を総合的に勘案し、流域と一体化した効果的な対策を策定していく必要がある。下水道整備、合併浄化槽等の生活排水対策の普及が有機汚濁負荷の削減に大きく貢献していると考えられるが、湖沼の保全という観点からはそれらに加えて窒素やリンの栄養塩除去を行うことでさらに大きな効果が期待できる。流域の汚濁負荷対策としての河川浄化施設も同様である。また、窒素やリンの負荷は畜産排水や農地からの雨天時流出水の寄与がかなり大きいことが指摘されている。したがって、これらの面源負荷対策も含めて湖沼の流域対策がなされることが期待されている。しかしながら、これらの流域対策は、湖沼の管理者が直接行える部分は限定されており、流域の自治体など関係者の協力を得て実施されることとなる。

以下では、情報の連携・共有、及び施策・モニタリング等の連携の面から、多様な主体とのかかわりの重要性について述べる。

イ) 情報の連携・共有

湖沼を適正に管理するためには、流域からの様々な物質の流入実態や湖沼の地形、流動、水質、生態系等の分野のデータや知識等を包括的に把握していくことが重要である。また、適切な湖沼管理に対して住民・関係者の理解を得るためには、具体的なデータに基づく分かりやすい説明が必要である。

こうした包括的なデータの取得については、湖沼の管理者は、各種機関や研究者と連携し、データの共有や共同研究に努める必要がある。また、こうした調査結果を公開することにより関連する湖沼研究の資することが出来る。以上に関連し、湖沼水位などの基本情報については、流域全体で利用できるように、管理者のホームページなどに迅速に表示し、関係者が速やかに使用できるようにすることが望まれる。

ロ) 施策・モニタリング等の連携

湖沼の管理を将来に渡って適正に行っていくためには、防災・環境・利用が十分機能していく体制が望まれる。このためには、湖沼を管理する者のみならず、研究機関、湖沼流域の関連する地方自治体、湖沼で生業を営む漁業者、様々な活動を行っている NPO、また近隣の地域住民との連携を密にしていくことが必要である。そうした体制づくりをしていくためには、湖沼管理において流動現象を十分に把握するとともに、専門技術者（研究者、コンサルタント等）の協力を仰ぎ、流動・水質調査の手法と成果の活用のポイントを連携していく各種の団体に分かりやすく伝えていく必要がある。そして湖沼の管理者は、湖沼管理に関わる様々な問題について関係する団体とコミュニケーションを図り、また、湖沼のモニタリングを連携して実施することにより、まずそれぞれの理解のレベルを上げていく努力をすることが要請される。そしてこれらの問題の解決に当たっては、各界の英知を結集できる協働体制を組むことが重要である。

こうした協働体制を容易に組むことが出来る環境づくりが、総合的な湖沼管理のためには極めて重要である。

vi) 順応的な管理

湖沼の流動・水質等の状態は、自然的・社会的変化、及び水理・水質管理に応じて変化するものである。また、水理・水質管理の効果と影響の予測は、相応の不確実性を含んでいる。湖沼の管理では、PDCA サイクルの理念にもとづき、モニタリング結果を用いて管理運用や施策の評価を行い、それらの見直しを行っていくことが重要である。

湖沼の適切な水理・水質管理を将来に渡って継続していくためには、その時々湖沼の状況を理解し、それまでの湖沼の変遷と将来の予測も踏まえて管理手法を随時見直す必要がある。

2) 湖沼の水理・水質管理に必要な調査・解析

湖沼の水理・水質に係わる調査は、湖沼（湖水）の状況把握及び湖沼水質に影響を与える負荷把握に区分できる（図 序.4 参照）。

湖内の流動調査では、計測機器を用いて流向、流速、水位、波高等を調査する。対象とする現象の時間スケールにより、定点での定期計測、連続計測、集中計測等の手法を使い分けることが肝要である。また、湖の流動・水質現象を把握するには、流入量・流出量を正確に把握することが重要である。

湖内の水質調査は、計測機器を用いて水温、濁度、DO、クロロフィル a 等を調査するほか、採水・室内分析により、前記の項目に加えて COD、TN、TP 等を調査する。現地計測は連続観測が可能であるが、分析項目が限られる。一方、採水・分析による調査では多くの分析項目を調査することが可能だが、連続的なデータとはならない。湖内の水質調査についても、個々の調査の目的に応じて、現地計測及び採水・室内分析調査を組み合わせることが肝要である。

湖沼水質に影響を与える負荷には、外部負荷、内部負荷及び直接負荷がある。水質が一向に改善されない湖沼については面源負荷（外部負荷の一部）の寄与がこれまでの見積もりよりかなり大きいことが指摘されている。また、湖沼の水質改善を推進するためには、湖沼への流入負荷（外部負荷）対策と合わせて、これまで湖沼内に蓄積してきた底泥からの溶出負荷（内部負荷の一部）対策が重要となる。このような背景を踏まえ、本書では湖沼への流入負荷量調査と湖沼の底質調査に重点をおいて記述した。

流入負荷量調査では、流入河川における水質調査・流量観測結果を用いて、L-Q 式を作成するなどして流入負荷量を算出する。流入負荷量の算出においては、水質調査・流量観測結果の不足により誤差が無視できない状況にあり、雨天時を含めたデータの蓄積と調査結果の十分な整理・検討により流入負荷量の精度を向上することが望まれている。

底質調査では、底質の含有量調査、溶出速度実験等により、底質の時間的变化、空間的变化、及び水質への影響を把握する。現状では、底質に係わる各調査が個々に実施されており統一された考え方がないことから、系統立った調査を実施する必要がある。

数値シミュレーションによる解析では、流動モデル、水質モデルなどを用いて現象理解の助けとしたり、将来の湖沼の状況を予測したりする。シミュレーションモデルには得られる計算精度と計算負荷（計算時間）にトレードオフの関係があるため、湖沼の特性や管理段階に応じて目的にあったモデルを選択することが重要である。

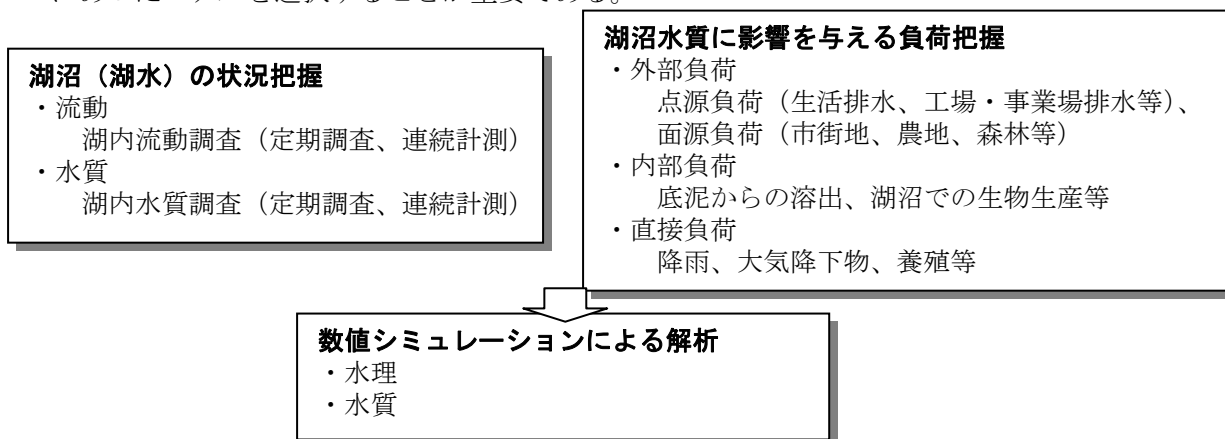


図 序.4 湖沼の水理・水質管理に必要な調査・解析

3) 本書の位置づけ

本書では、まずは流動・水質を検討の中心課題に据え、流動とそれに伴う水質についてまとめた。そして、湖沼の流動・水質とともに湖沼の生態系の実態解明と良好な生態系を維持するための管理技術は、同様に重要ではあるが、本書では、流動・水質管理のための技術の蓄積を行うこととした。本書は、今後の技術の進歩に伴って適宜改訂し、今後の湖沼における生態系に関する管理技術の検討の際にも十分に活用していくことが望ましい。

本書は、適切な湖沼管理に向けて、湖沼として普遍的に言えること、個々の湖沼でしか言えないこと、未解明の重要課題などを明らかにし、適正な湖沼管理に重要となる調査・解析について技術的支援を与えることを目指して作成したものである。

本書では、以下に示す調査・解析技術について、湖沼管理に活用する際に参考となる手法や手法選定の考え方、精度を確保するための留意点、そして湖沼管理への活用方法等を取りまとめた。

表 序.1 湖沼の流動水質現象の調査・解析技術

	技術	対象	主に掲載する節
①	流動現象の計測	湖水位、成層状況、流入量、放流量、波浪、密度流、吹送流、内部静振、表面静振など	2.2.3 (2.1)
②	湖沼水質調査	流入水質、湖内の富栄養化、底層の貧酸素化、塩分の状況など	2.2.4 (2.1)
③	流入負荷量の把握	L-Q 関係（物質の存在形態別・時期別・雨天時）、原単位法など	3.2
④	底質状況の把握	底泥堆積メカニズム、底質含有量、底泥溶出速度、酸素消費速度、巻き上げ、沈降量、堆積速度	3.3
⑤	数値シミュレーションによる検討	流動（吹送流、密度流、成層状況等）、水質、生態系（一次）	4章 (6章)