

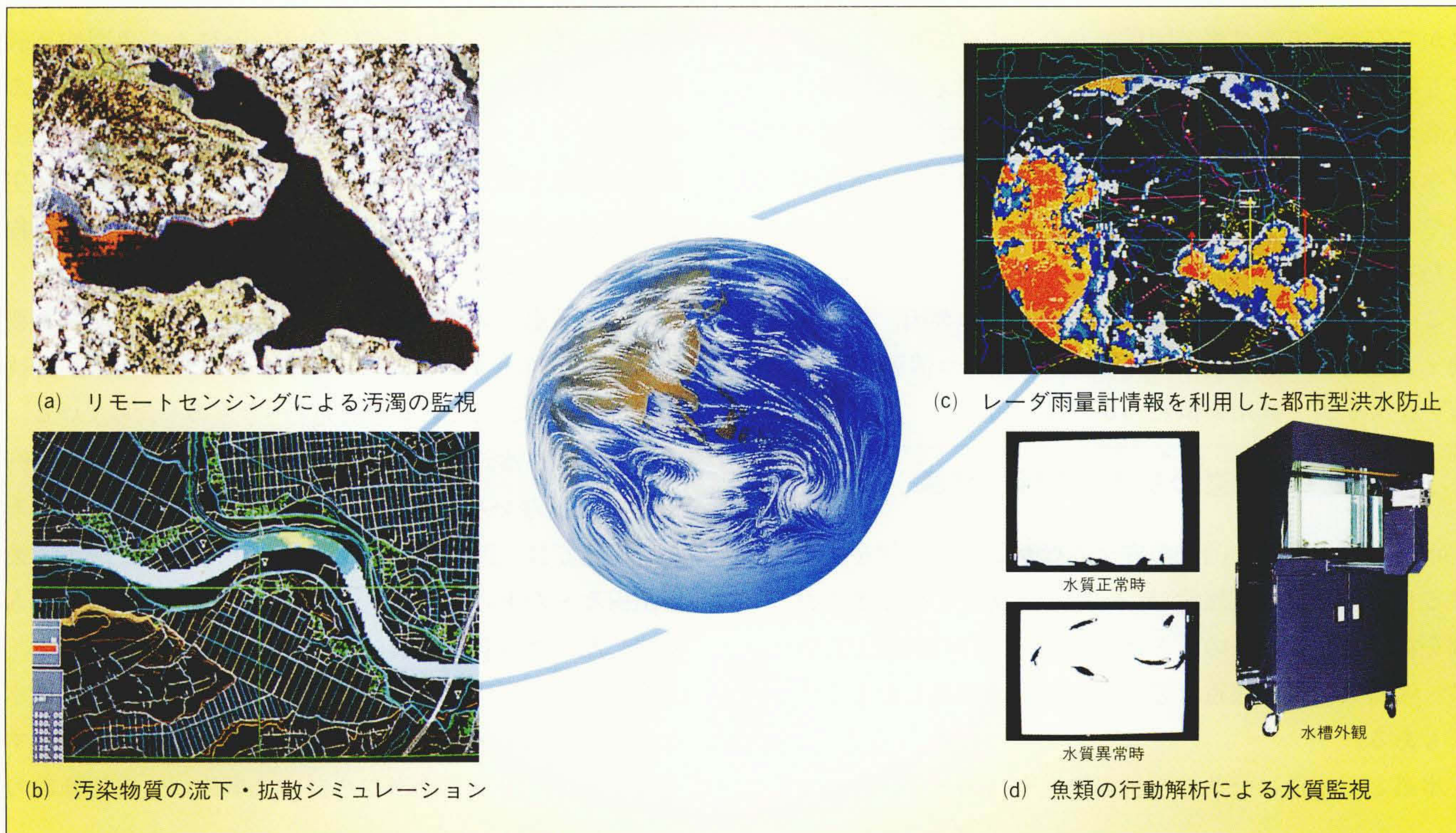
安全な水環境を確保する情報制御システム

Information and Control System for Maintaining Reliable Water Environment

依田 幹雄*
早稲田邦夫**
嶋内 繁行***

Mikio Yoda
Kunio Waseda
Shigeyuki Shimauchi

瀬古沢照治**** Teruji Sekozawa
圓佛伊智朗***** Ichirô Embutsu
角本 繁***** Shigeru Kakumoto



水環境のリスク管理に役立つ情報制御システム

水質汚染事故、水質汚濁、浸水などのリスクに対応した情報制御システムは、衛星画像情報、コンピュータマッピング、画像処理、流れのシミュレーションなどの技術によって実現できる。

水の惑星と言われる地球で、氷雪を除く淡水は1%にも満たない。社会生活の高度化に伴う気象の変化は慢性的な水不足を招いている。21世紀を迎えるにあたり、この傾向はますます顕著になるものと思われる。水は限られた資源であるがゆえに、汚すことなく安定かつ効率的に利用することが望まれる。一方、豪雨時など、水は時として偉大な力を見せつけ、生活に大きな被害をもたらすことがある。

水環境には、地震・渇水・洪水などの自然系、水質汚濁・施設事故などの社会系、そして水質汚染事故・機器

誤操作などの人間系の各リスクがある。このようなリスクに対応してリスク管理を実現し、水環境の安全性を確保する情報制御システムが果たす役割は大きい。

今回、水道と下水道を中心にリスク要因・課題を整理し、これに対応する情報制御技術とシステムを開発した。衛星画像情報処理による湖沼の水質汚濁状況の監視、コンピュータマッピングや画像処理による水質汚染事故の早期検知や被害予測である。

これらの技術やシステムは、水道や下水道、そして河川管理など水環境の各分野に適用することができる。

*日立製作所 大みか工場 技術士(水道部門) **日立製作所 機電事業部 技術士(電気・電子部門) ***日立製作所 システム事業部
****日立製作所 システム開発研究所 工学博士 *****日立製作所 日立研究所 *****日立製作所 中央研究所

1. はじめに

真に安全で豊かさが実感できる社会生活の実現と優れた自然環境の次世代への継承のために、水道や下水道の役割はますます重みを増している。わが国では水道の普及率は95%を超え、また下水道では処理人口普及率50%、雨水対策整備率45%をそれぞれ超えるに至っている。

しかし、だれも予想すらしない大震災、渇水などは、豊かで安全であるはずの国民の社会生活を根底から脅かすものであり、現在、全国規模であらためて安全確保の意識が高まっている。都市のライフラインである水道や下水道事業では、地震・渇水はもちろんのこと、水質汚濁や水質汚染事故、集中豪雨などあらゆるリスクを想定した安全確保に取り組んでいる。

ここでは、水道と下水道のリスクとその要因、対応技術・課題を明らかにし、安全確保に役立つ情報制御技術・システムと適用事例について述べる。

2. 水道・下水道のリスク要因と課題

水道と下水道は、国民の安全で豊かな社会生活を実現するための社会基盤施設(ライフライン)として重要な役割を担っている。このことは、1995年1月に発生した阪神・淡路大震災の報道などで全国民が再認識したところでもある。

水道と下水道は公共の福祉の増進を目的とした公益事

業であり、休むことのない連続運転や安定運転など公共システムとして高い安全性が要求され、また公営企業として経済性を発揮して運営されている。このように、安全を第一とする公共の福祉と経済性をバランスよく成立させるためにはリスク管理概念の導入が必要となる。数年前から水道分野を中心にリスク管理の必要性が叫ばれ、各種の調査・検討が進められている¹⁾。

リスクについての定義は、古くから諸外国を中心に分野ごとに提唱されている(W. D. Roweによる専門的定義例：何か望ましくないことがある事象によって実現する可能性)。リスク管理は、事前にリスクの状態を評価して最善の処置を講ずるとともに、好ましくない結果が発生したときに適切な処置をする、一連の計画・統制の過程である。

水道・下水道の情報制御システムに関連するリスク要因・課題と対応技術を図1に示す。これらの情報制御技術・システムには、これから開発すべきものも含めている。

水道法、下水道法が定めるところの、それぞれの目的を達成できない場合のリスクが需要家影響リスクである。水道では、断減水・給水制限、下水道では浸水・使用制限などがあげられる。これらのリスク要因は、(1)人為的に制御できない地震・渇水・豪雨などの自然現象、(2)社会生活の高度化に伴って発生する生活・産業排水などの水質汚濁・汚染、(3)人為的なミスによって発生するシアン・油などの流出や水質汚染事故、(4)内部施設の

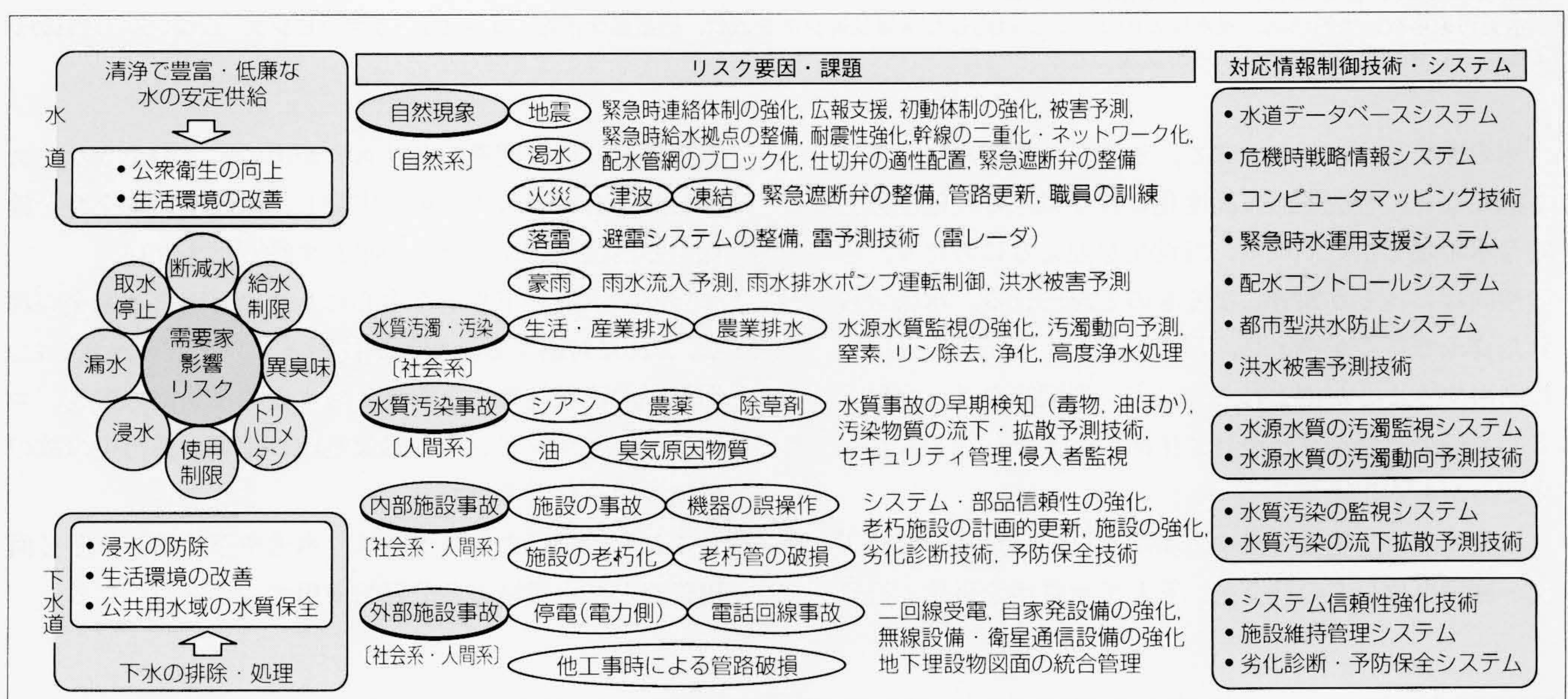


図1 水道・下水道のリスク要因・課題と対応技術

需要家への影響リスクを回避して安全性を確保するためには解決すべき多くの課題があり、情報制御技術・システムの果たす役割は大きい。

事故、(5) 外部施設の事故などに分類できる。これらのリスクを回避して安全性を確保するためには、解決しなければならない多くの技術課題がある。需要家影響リスクに対応した技術、システムについて以下に述べる。

3. 水源水質の汚濁監視技術

この章では、主要な水道水源である湖沼の汚濁監視技術について述べる。この技術は、水質についてのリスクの中でも、その影響が長時間のスケールで徐々に現れるような、いわば慢性的リスクに対応するものである。

3.1 画像処理によるプランクトン計測システム

湖沼の水質汚濁が進行すると、そこに生息する植物プランクトンの優先種が変化し、特定種の過剰増殖なども起こるようになる。水質汚濁の状況を的確に把握するためには、植物プランクトンの監視が有効である。

このシステムでは、植物プランクトンの形状識別と計数の画像処理により、従来、熟練者が顕微鏡観察で行ってきた植物プランクトン監視の高速・定量化を可能とした。画像処理による識別画像の一例を図2に示す。

また、サンプル連続流通装置(フローセル)との組合せによって希薄なサンプルでも効率的な測定を可能とし、ユーザーにとっての作業負担を軽減することができる。

3.2 リモートセンシングによる汚濁の監視技術

リモートセンシング(遠隔計測)による監視技術は観測衛星データを利用するもので、従来の定点観測では難しかった汚濁状況の面的な把握が実現できる。アーリーバードなどの衛星では、高い空間解像度で広い範囲を同時計測することができる。これらのデータには、水質推定に有用な水面反射率を複数バンドで計測した情報が含ま

植物 プランクトン	オビケイソウ	ホシガタケイソウ
取り込む 原画像		
処理画像		

図2 プランクトン計測システムによる画像処理例
背景との輝度差を利用して植物プランクトンを認識する。さらに、形状特徴量の演算によって分類・計数ができる。

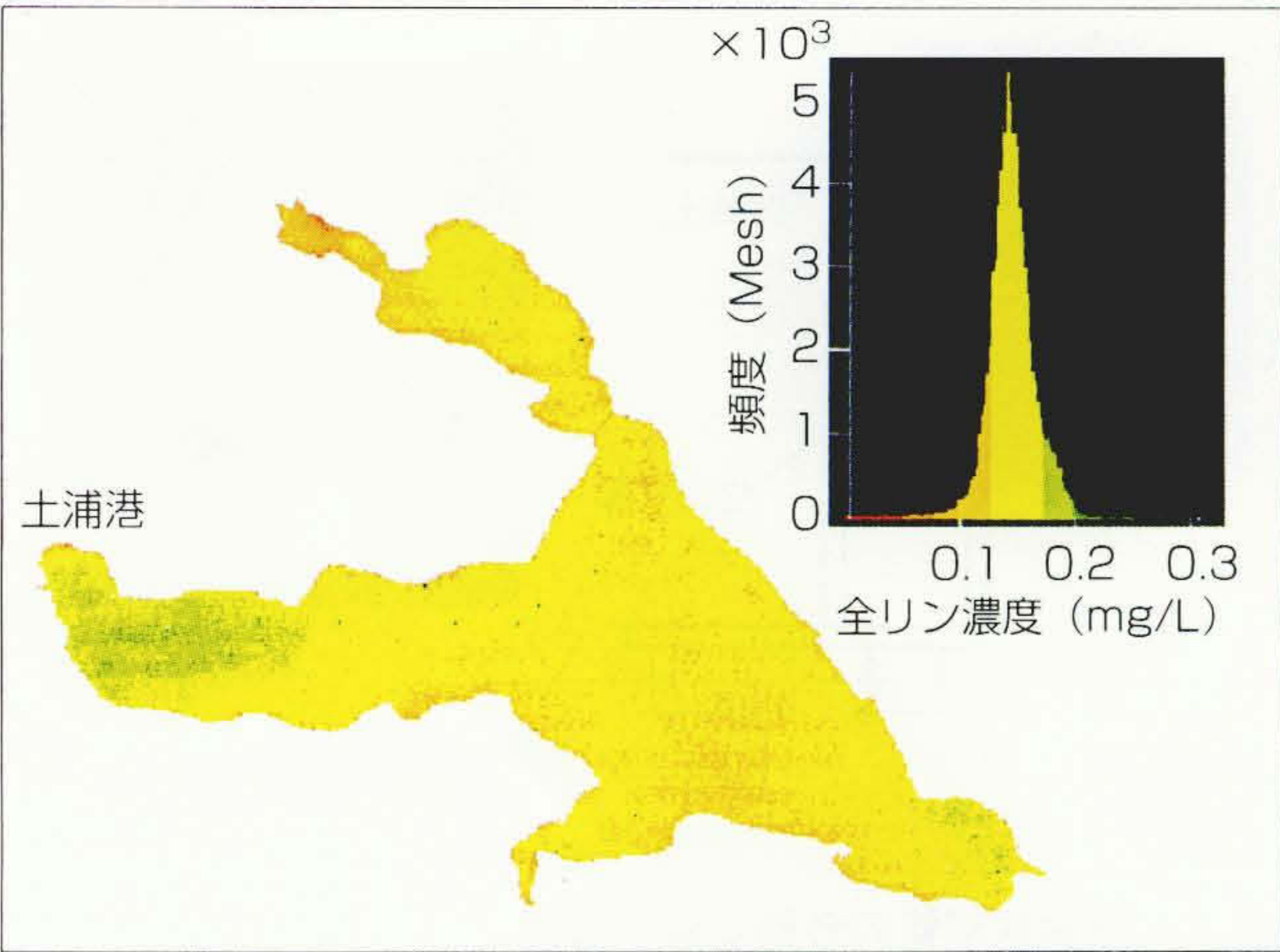


図3 リモートセンシングによる霞ヶ浦の水質監視例
水面の反射データ率に基づいて水質(この図では全リン)分布を推定する。土浦港付近での濃度が高いことがわかる。

れている。

この技術では、湖沼水面の分光反射率が水質によって異なることに着目し、衛星バンドデータと実測水質データとを用いた統計解析によって水質評価式を作成する手法を開発している。この技術により、代表的な水質障害であるアオコの発生個所を識別することができるほか、富栄養化の原因である窒素やリン、植物プランクトン量の指標となるクロロフィルa濃度の分布を推定することが可能である。

霞ヶ浦を対象に全リン濃度分布を推定した例を図3に示す。この例では、西岸(土浦港付近)で全リンが高くなっていることがわかる。このような面的な汚濁監視情報は、富栄養化などの水質リスク軽減のための浄化装置配置計画や流域の汚濁負荷管理計画に有用である。

4. 水質汚染事故の監視技術

水質に関するリスクには、前章で述べたものとは別に毒物混入や油流出などの突発的(または危機的)水質事故がある。これらに対応する監視技術も安全な水環境を確保するうえで欠かすことができないものである。

4.1 急性毒物・油膜の監視システム

シアンなどの急性毒物が水源河川に混入した場合の影響は甚大である。これに対処する毒物検知手段として、バイオアッセイによる水質監視システムを開発した。このシステムでは、毒物に対する魚の反応行動(鼻上げ行動)を画像処理によって連続監視し、従来の水質センサでは検知できない多様な毒物が検知できる²⁾。

また、水質事故の中で大きな割合を占める油流出の監

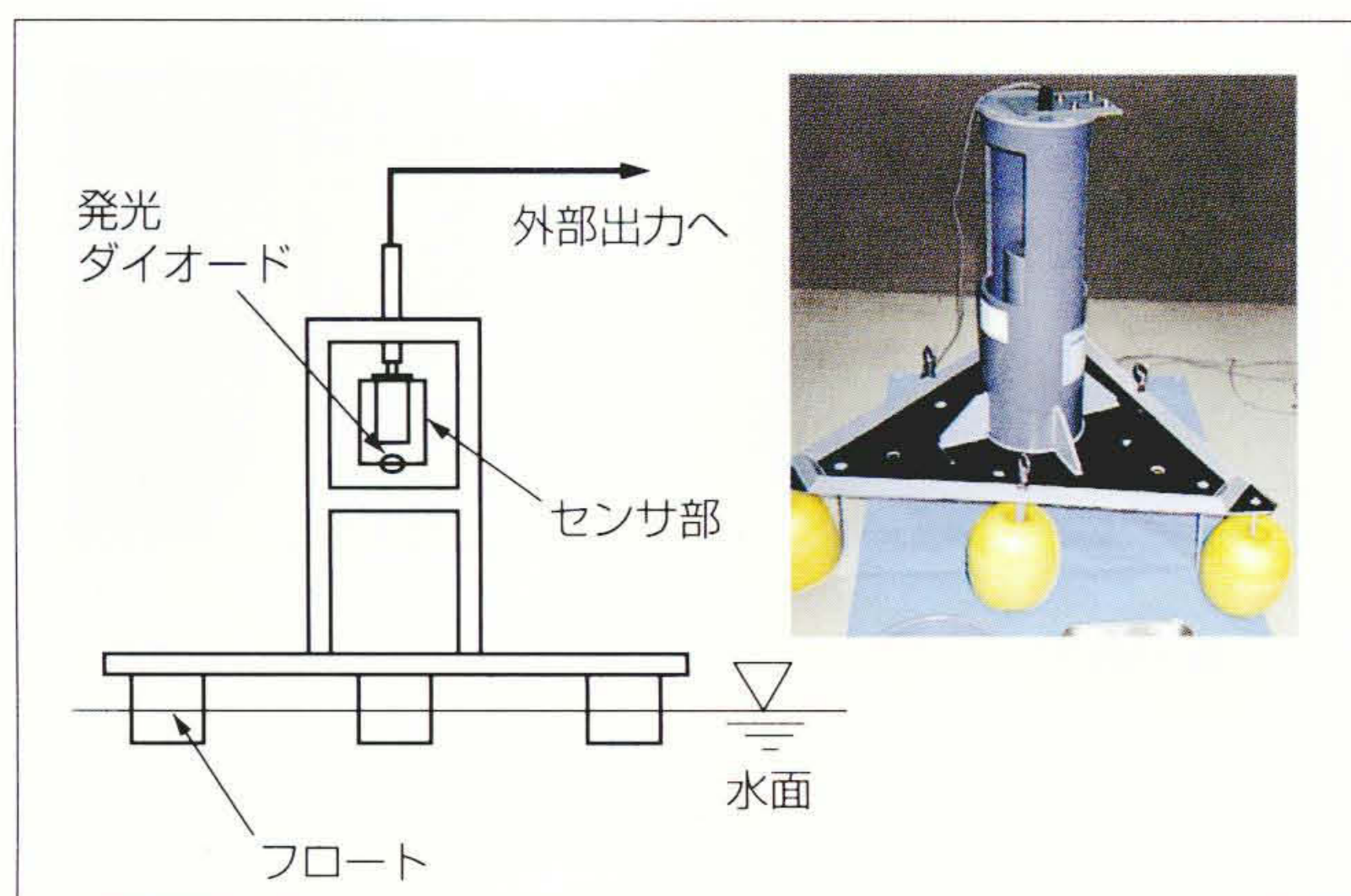


図4 油膜検知器の外観と概略構造

フロート上の筐(きょう)体に納められた受光部で水面からの赤外線光反射率を計測し、油膜を検知する。

視手段として油膜検知器を開発した。この油膜検知器は油膜形成個所の反射率が清水面のそれと異なることを利用するもので、水面に投射した赤外線光の反射率を連続計測することによって油膜を検知することができる。

油膜検知器の外観と構造の概略を図4に示す。赤外線光投射部と反射光受光部をフロート上の筐体内に納めており、河川や取水場接合井などに直接浮かべて設置する。監視が必要な個所に配置することにより、高感度な油膜監視体制が実現できる。

4.2 汚染物質の流下・拡散シミュレーション

水源河川で水質事故が発生した場合、その事故レベルによっては下流域での取水停止などの措置を講ずる必要がある。このような場合、取水地点までの汚染物質の到達時間や濃度を予測することができれば、事故への対処

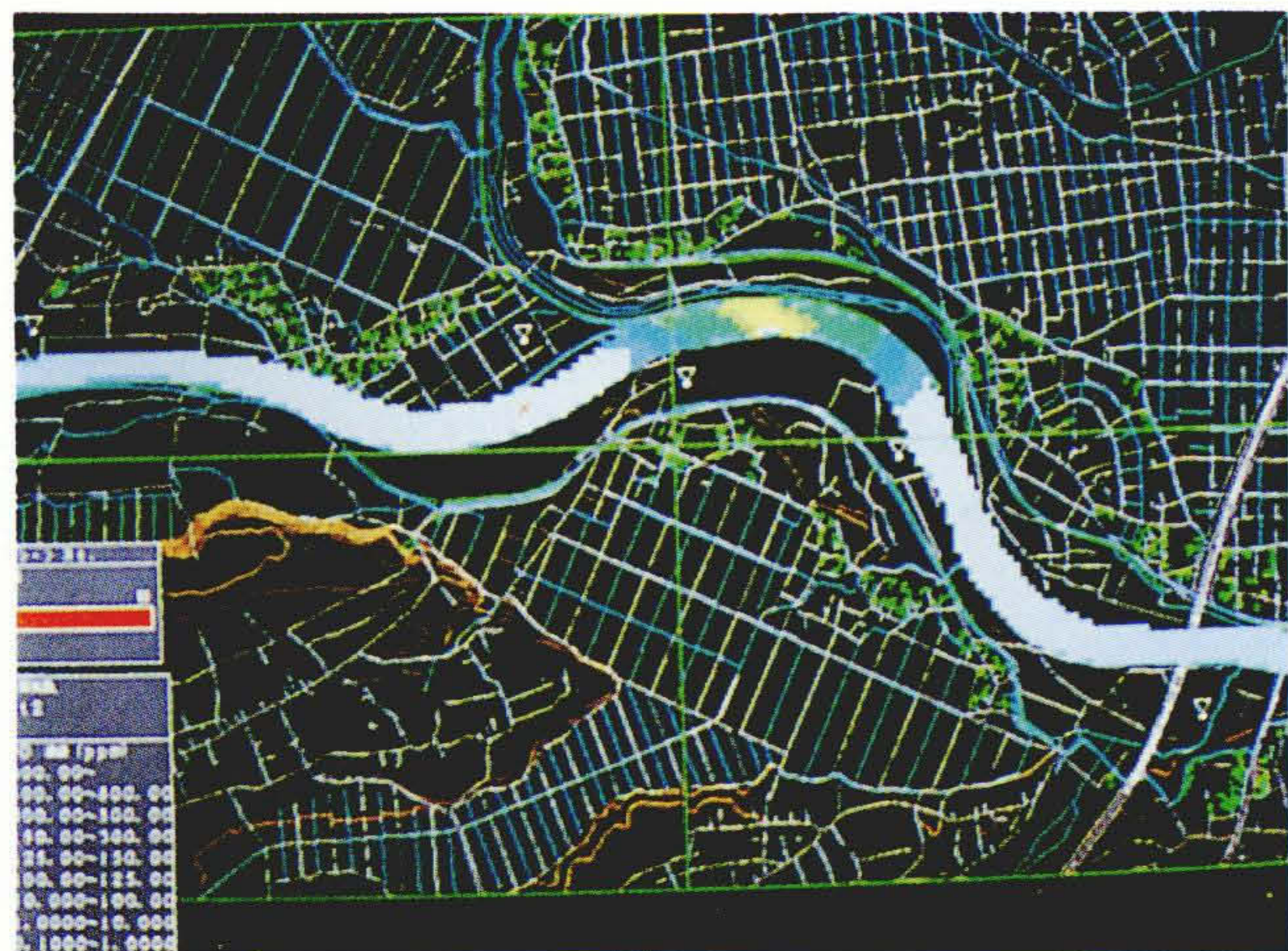


図5 汚染物質の河川流下・拡散シミュレーション例

水質事故時のフィールドデータを入力し、下流への汚染物質の流下時間(到達時刻)と濃度を予測する。

はより適切なものとなる。

このシミュレーション技術は、河川の流下・拡散モデルを河川流路の地理情報を用いて計算できることが特徴である。流路情報の詳細度に応じて、一次元モデル、二次元モデルなどを選択して実行することも可能である。

水質事故の第一発見個所での水質計測データを入力して、下流域での汚染物質の経時的な広がりや濃度を予測した例を図5に示す。予測結果は河川流路地図とオーバーレイ表示することが可能であり、水質事故時での業務支援情報として有用である。また、地理情報として有害物質を取り扱う特定事業所の位置データなどを持たせることにより、発生源の特定を支援するシステムへ拡張することもできる。

このほか、河川に関連するリスクとしては都市型洪水や流域汚濁負荷の増加などがあげられる。これらの監視や解析でも河川シミュレーションで活用した地理情報が重要な役割を果たす。今後、後述するマッピングシステム、さらにGIS(Geographic Information System: 地理情報システム)がこの分野でのキー技術となる。

5. 事例検索による緊急時水運用支援システム

水運用計画支援では、種々の施設の制約の下で、需要変化に応じた取水量、管路流量、配水池貯水量など、効率の良い運用計画値を算出し、それに基づいて運用する。地震や渇水あるいは水源事故による取水停止、浄水場ダウン、導送水管の破損といった緊急時には、通常以上に迅速でかつ危機状況に対応した臨機応変な運用が不可欠となる。さらに、バルブの開閉によって系統を切り替えたり、各浄水場の分担を変更したり、隣接の事業体から応援給水を受けるなどの対策が必要である。しかし、これらの対策を盛り込んだ運用計画値を短時間のうちに作成することは、熟練したオペレータにとっても非常に困難な作業である。まして広域に分散した各施設の水量、圧力などのプロセスデータや、ポンプ、バルブの運転状態などの施設情報を考慮した判断は至難とも言える。

そこで、これらの作業を計算機で支援することによって、よりよい運用を迅速に支援することができる緊急時水運用支援システムを開発した。その概要を図6に示す。このシステムでは、まず、想定した事故に対応した運用計画案を対話的に作成し、事例データベースとして保存しておく。さらに、実際の事故に最も類似した事例を検索し、同時に計画値を修正して、より現況に対応した計画値を決定する。このシステムでは、検索した事例の計

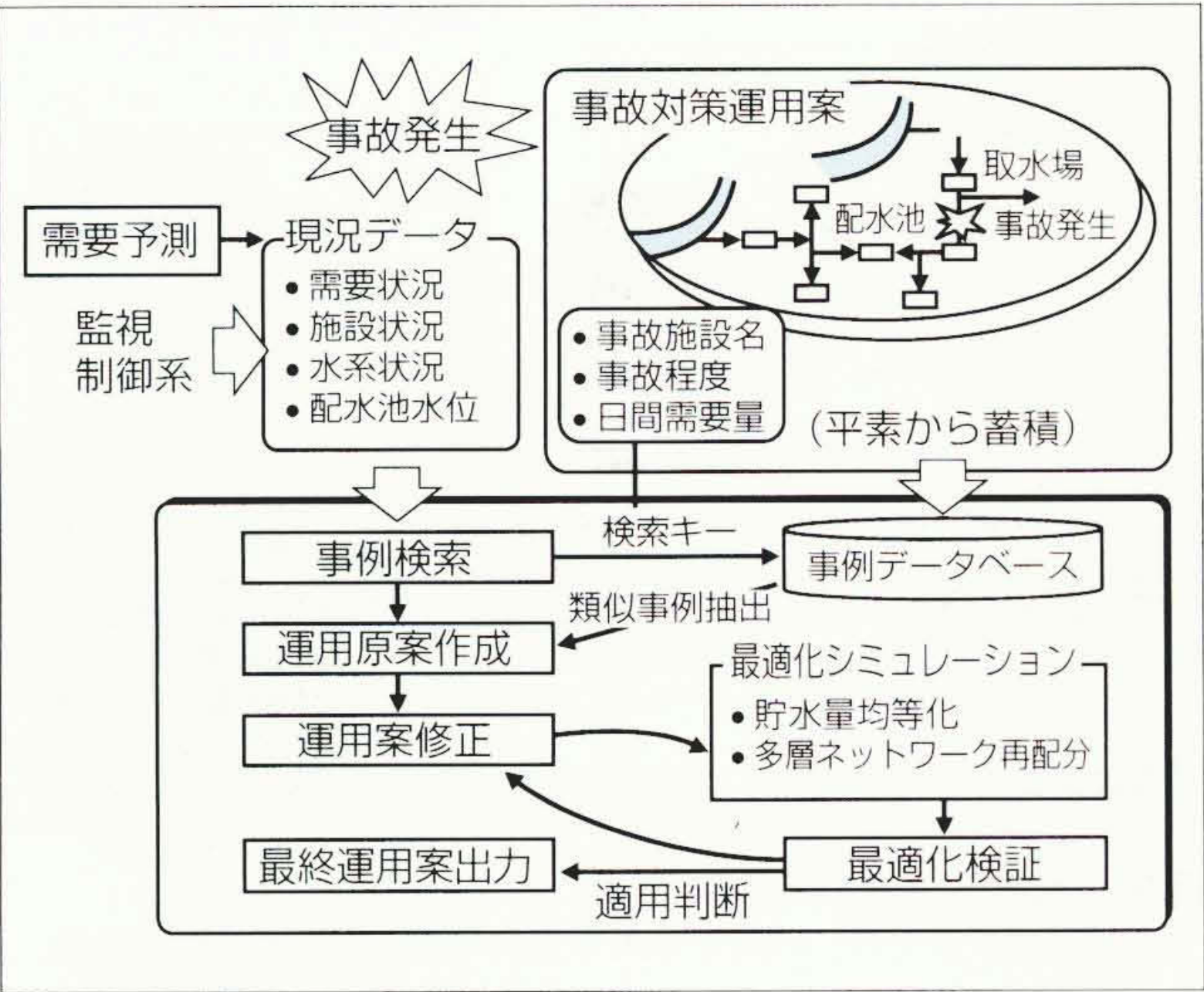


図6 緊急時水運用支援システムの機能構成
事例ベース推論で運用案を検索し、最適化手法によって運用案を作成する。

画値が現況に合致するように修正することができる。また、配水池間の貯水量を均等化したり、多層ネット手法によって全体の計画値を最適配分することができる。その結果、緊急時にも迅速で臨機応変な水運用が可能となる。

6. コンピュータ マッピング システム

コンピュータマッピングは、情報を面的な広がりをもって、しかもビジュアルに表現できることから、災害時に威力を発揮するシステムと言える。この技術は、水道や下水道の分野で脚光を浴び始めてから約10年経過したが、これまでは管路情報管理システムとして主に管路の

維持管理を目的として導入されてきた〔図7(a)参照〕。阪神・淡路大震災を機に、このデータベース情報を利用して災害時の復旧を支援する戦略情報システムとしての利用に期待が高まっている。日常は維持管理に、災害時には復旧支援に利用するシステムである。

これまでのコンピュータマッピングは、給水戸番図や下水道台帳の管理を対象としたものであり、地図をベースとした二次元のものが主流であった。今後、災害時の復旧を支援する戦略情報システムとしても活用するためには、三次元に時間軸を加えた四次元コンピュータマッピングが必要と思われる。四次元コンピュータマッピングの表示例を図7(b)に示す。これにより、立体表現はもちろんのこと、災害の復旧過程の時間的経過なども管理可能となる。

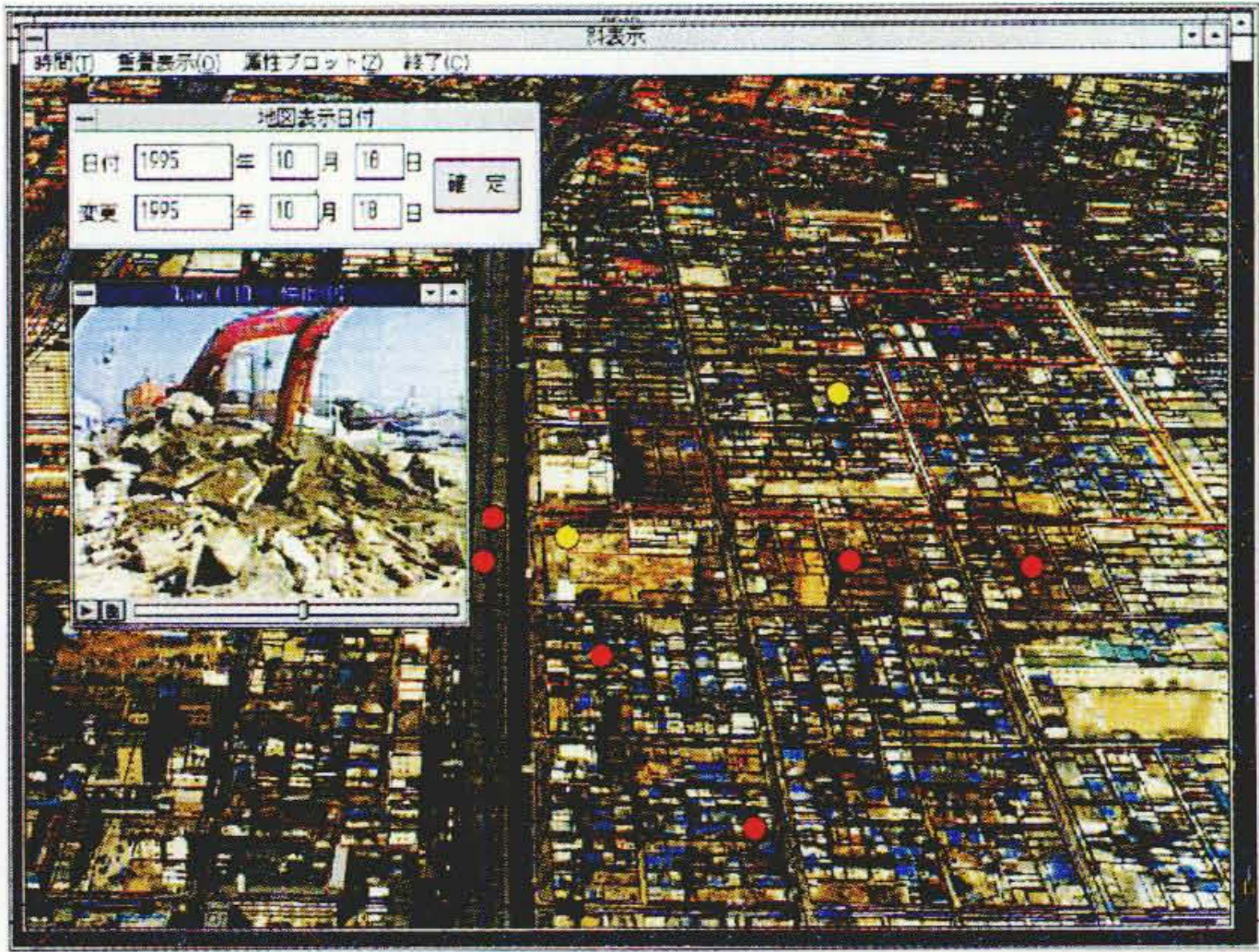
コンピュータマッピングは、水道や下水道そして河川管理を含めた水環境の分野でその適用範囲をいっそう拡大している。今後は、より広域で立体的な管理を実現し発展するものと思われる。

7. 配水コントロールシステム

配水コントロールは、管路網内の数千に及ぶ需要家の変動需要量に対し、一定の給水圧力を維持するように管路網内の複数のポンプやバルブを操作調整するものである。平常時は、分布的な日々の需要パターンが季節、曜日などの変動はあるものの比較的傾向にあるため、分布的な圧力定値化は可能である。しかし、管路破断、漏水といった危機時には、管路網内の分布的な需要パター



(a) 水道管路情報管理システム



(b) 四次元コンピュータマッピング

図7 コンピュータマッピングの応用例

これまでは維持管理を目的とした二次元であったが、今後は四次元マッピングシステムへと発展し、災害の復旧支援などにも利用することができる。

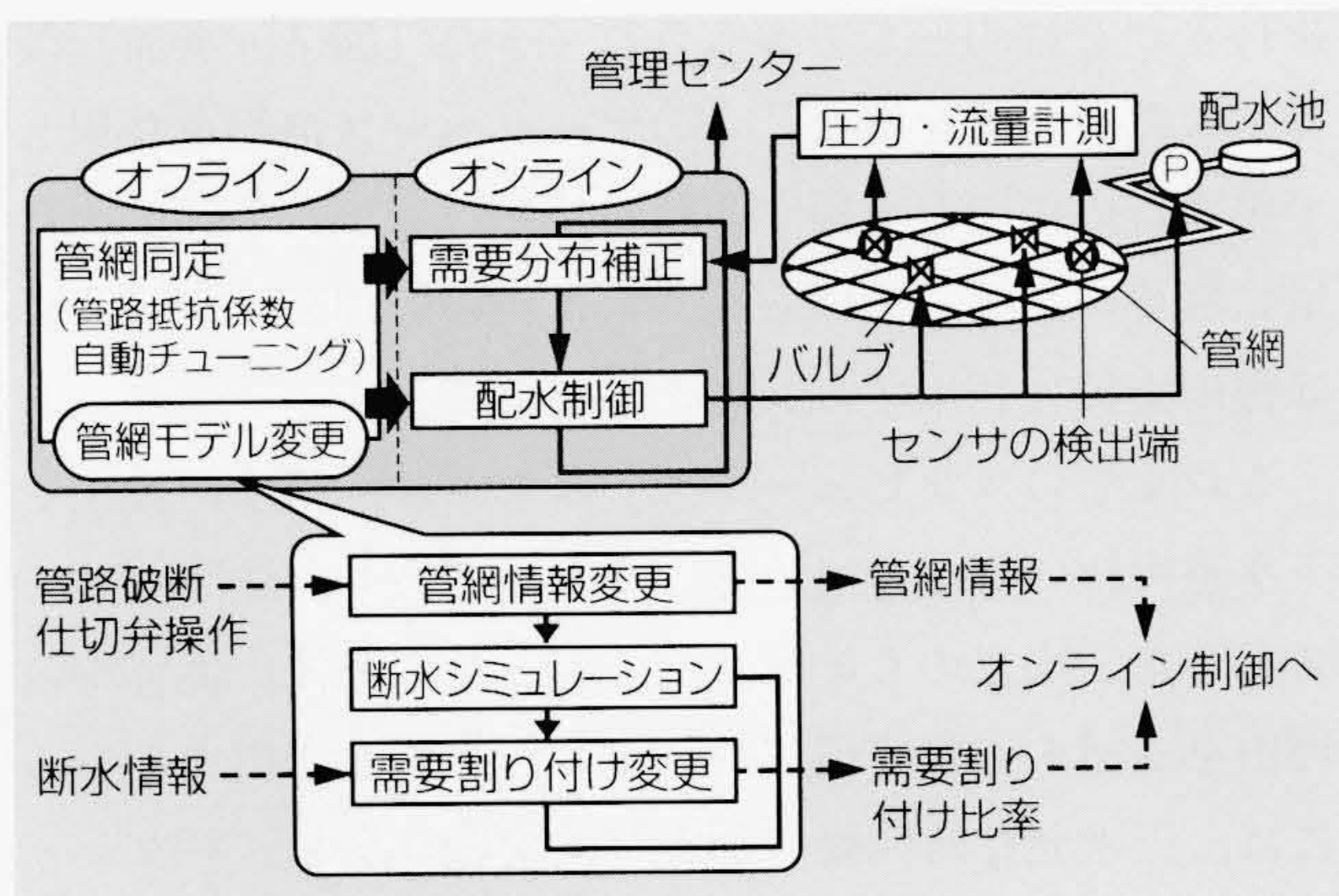


図8 異常時対応配水コントロールシステム

逆管網解析手法により、計測データから需要量を推定して配水制御する。漏水・断水時にも配水の制御ができる。

ンが通常とは異なり、さらに管路の接続状態も異なる。そのため、たとえ熟練したオペレータでも異常時での配水コントロールに即座に対応することが困難であった。そこで、管路の流量抵抗である抵抗係数をオフライン同定する方式と、需要分布を管路内の複数の計測点(流量計, 圧力計)データに基づいてオンライン同定する方式を開発した(図8参照)。

開発した配水制御方式により、消防活動などの通常と異なる不測の水需要変動に対しても、その需要をとらえた制御が可能となる。さらに、通常時の配水コントロールの性能が高精度になるばかりか、これまで制御が困難とされた漏水・断水時でも配水を制御することができる。

8. 都市型洪水防止システム

近年の土地利用高度化に伴う都市部の舗装率の向上や市街地化などにより、降雨の地下浸透が低下している。その結果、雨水流出の増加を招き、都市型の洪水・浸水被害が大きな問題となっている。洪水・浸水被害を防ぐための下水・河川排水施設の建設などの施策とあわせて、広域全体の状況を把握したうえでの排水機場の最適なポンプ運転管理が重要である。また、警戒体制のための人員配備などの運用支援システムが不可欠である。

都市型洪水の特徴は、豪雨の開始から雨水の下水・河川への流出までの時間が非常に短く、流出量が急激に変化するため、雨水流出量の正確な把握が困難になってき

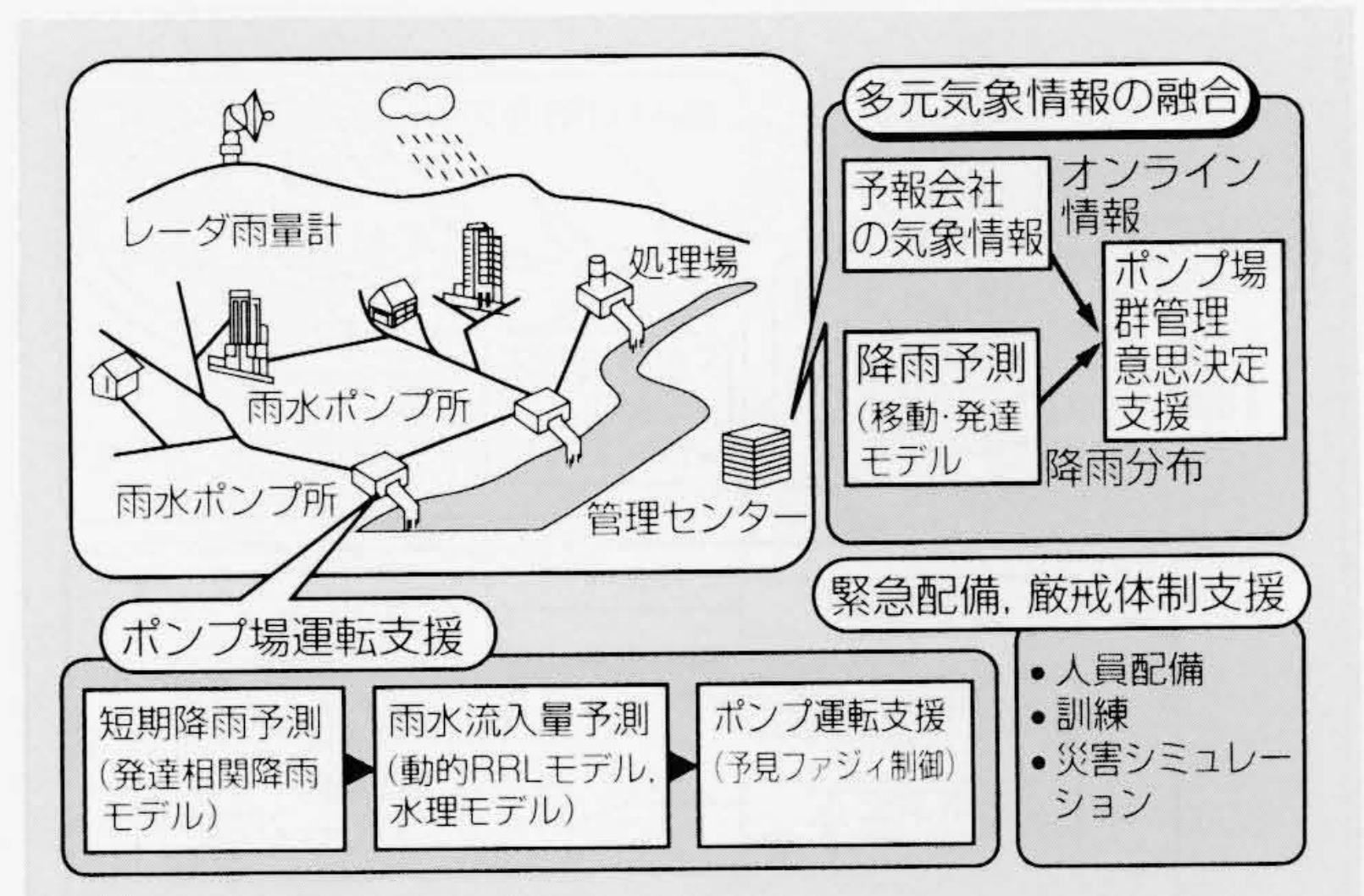


図9 都市型洪水防止システム

このシステムでは、降雨分布の定量的予測、雨水流入量の予測、ポンプ運転支援、緊急配備支援による下水・河川施設運用管理などを行う。

たことである。

都市型洪水防止システムでは、雨量データなどの気象情報のシステムへの取込みだけでなく、降雨分布の定量的な予測を行う(図9参照)。また、方々で降る雨が下水・河川などに集中してポンプ機場へ流入する量をいち早く予測し、その流入予測量に基づいてポンプ運転の制御を行う。さらに、予測される危機レベルに対応した運用マニュアルにより、どのような警戒体制、人員配備をすればよいかを支援する。

9. おわりに

ここでは、水道と下水道を中心に、今日の問題である水環境のリスク管理に焦点を当て、その要因と対応技術課題を明らかにし、安全確保に役立つ情報制御システム・技術と適用事例について述べた。

水源水質の汚濁監視技術、四次元コンピュータマッピングは基本技術が確立できたレベルであり、それ以外は実用レベルに達している。

水環境のリスク管理は、経営問題まで含めるとまだ緒についたばかりであり、広いすそ野と高さを持っている。また、情報制御システムは、リスク管理の中のほんの一部であるが、その果たす役割は大きい。

今後とも、実用的なシステムの開発を目指して研究・開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 友野：水道におけるリスク管理の概念的アプローチ，第43回全国水道研究発表会論文集，102～104(平4-5)
- 2) 広田，外：水の安全性を確保する水質監視支援システム，日立評論，76，4，303～306(平6-4)