

都市における災害・公害の防除に関する研究

第一次・第二次臨時事業研究グループ

1. 緒 言

都市問題は先進文明国の抱えている今世紀最大の研究課題である。とくに奇跡的な高度経済成長を成し遂げたわが国では1970年代に入って都市における災害・公害の問題が、俄かにクローズアップされ、その解決は焦眉の急を要する問題となってきた。このような社会情勢に対処し、平尾教授の発案により、臨時事業「都市における災害・公害の防除に関する研究」(以後第一次臨時事業と呼ぶ)を昭和46年より3年計画で実施し、その研究成果を基礎に臨時事業「災害・公害からの都市機能の防護とその最適化に関する研究」(以後第二次臨時事業と呼ぶ)を昭和50年より昭和52年に亘って実施した。この報告はこれら臨時事業によりあげられた成果を要約して述べたものである。

2. 目的都市災害・公害防除の理念

われわれが当面する「都市問題」は行政・法律・経済社会等の人文科学の分野と理学・工学・医学・生物学・農学等の自然科学の学問分野にも密接な関連性を有する複雑な境界領域の多くの問題を含むが、従来は人文科学の面からのとりあげ方しかなされていなかった。

平尾教授は大都市を一つの巨大システムとして捉え、都市生活者がいとむ好ましい高度の文化的生活を支えるものを「都市機能」(urbane function)と呼んだ。

この「都市機能」を工学的側面からとらえるとするれば、最高の都市機能を得るためにはどのような都市機能を用いて人間・物資・エネルギーおよび情報の移動伝達を行い、またこれらをどのように制御すべきかという問題となるのである。同教授はこのような都市機能を維持するために3本の柱と6個の要素が必要であることを池辺の三角形を用いて図1のごとく表した。

この図は都市における「地上環境システム」、「地下設備システム」、「情報エネルギー伝達システム」、「交通運輸システム」、「廃棄物処理システム」および「環境保全システム」の個々の機能が総合的、有機的に維持され、

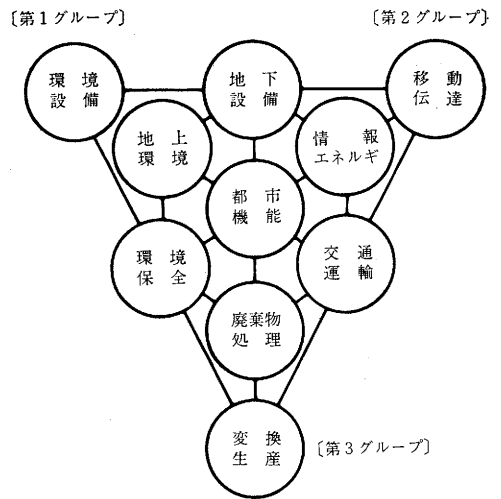


図1 都市における災害・公害の防除に関する研究

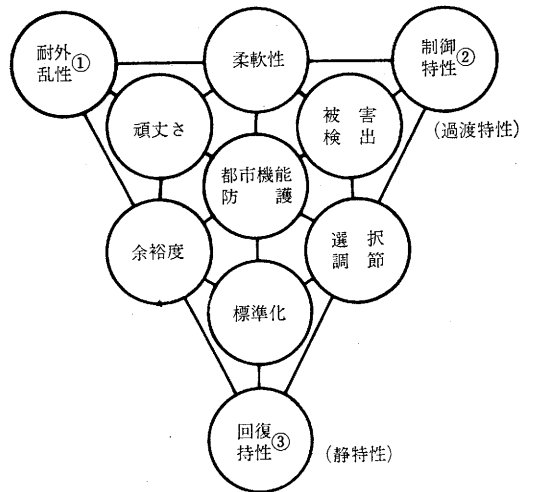
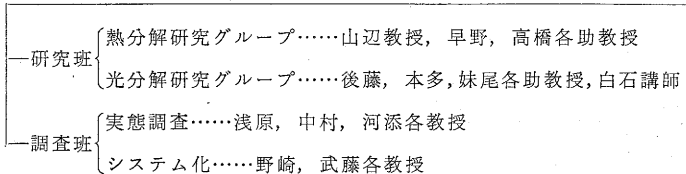
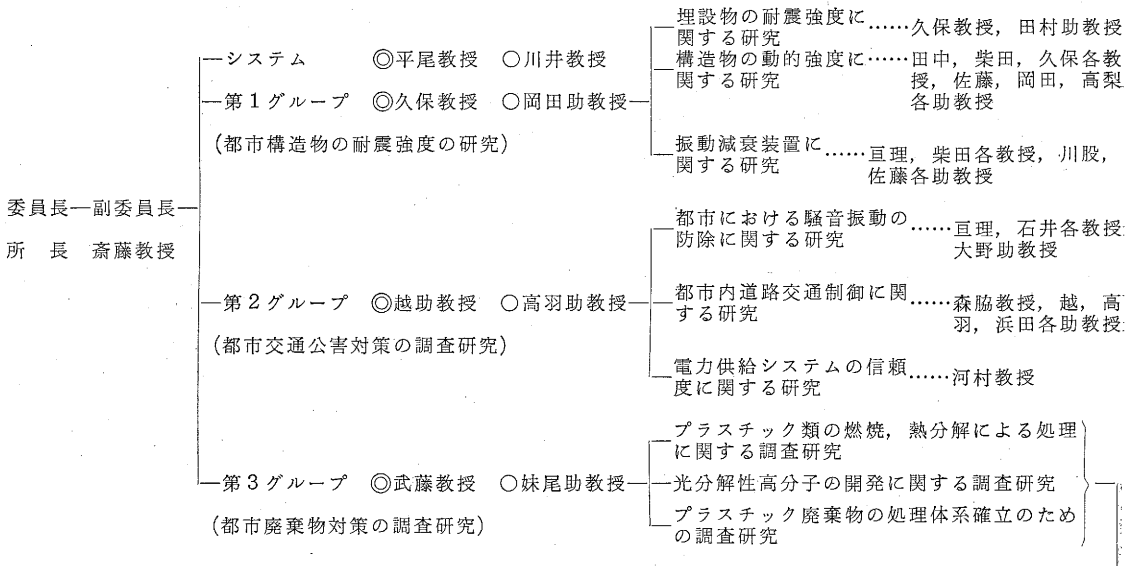


図2 都市機能の防護

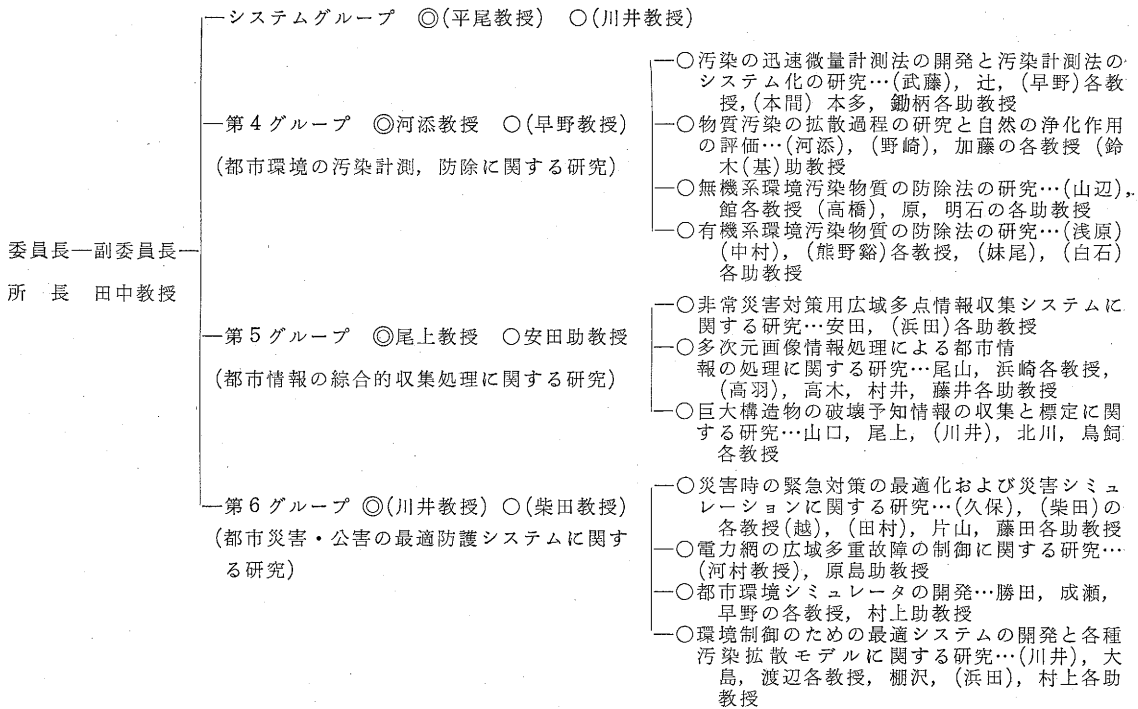
かつそれらが互いに最適の関係に保たれるように制御することによって最高の都市機能が得られることを示して

表 1 東京大学生産技術研究所における都市災害公害の防除に関する研究組織



※組織表の中の官職名は臨時事業当時のものとした。 ◎チーフ ○補佐

表 2 第二次臨時事業研究 災害・公害からの都市機能の防護とその最適化に関する研究組織



◎チーフ ○補佐 () は第一次より継続

いる。図1に示された各システムの最適化と、それらを天災や人災による外乱から防護するための手段を工学的手法によって、検討していく研究の意義がここに存在する。

さて、都市機能が低下または破壊される原因は一般に天災と人災の二つに大別されよう。天災は風水害・地震・雷・酷暑・酷寒・雪氷等のいわゆる天変地異に属する災害であってこれらは前節で述べた都市機能を支えるシステムに外乱として作用して全体としてシステムの異和を招き、その機能に障害を起こす。また人災は、大気汚染、水質汚濁・土壌汚染のようないわゆる公害と交通事故・作業現場事故・爆発・火災・建設工事、廃棄物あるいは暴動・デモ等人間の関与した外乱によって都市機能に障害を与えるものである。このような外乱から前述したそれぞれのシステムを護り、都市機能の低下を防ぐとともに外乱によって影響を受けにくい、いいかえれば強い都市の建設が必要なのである。

このような観点からの3本の柱は図2に示すごとく外乱を受けにくいこと、外乱を受けたときの最適制御の特性が良いこと(過渡特性)および障害を受けた場合の機能の回復が容易かつすみやかであること(静特性)となる。これらに関連した6つの要素としてシステムの各要素の頑丈さ、柔軟さ、外乱によって生じた被害の検出の特性、外乱に対する処理の選択と調節の自由度が大きいこと、各要素の規格が標準化され統一されていることシステム全体の余裕度(リダンダンシー)が大きいことになる。

以上のような観点到立ち、次の三つの研究を推進させることを目的として第一次および第二次臨時事業が計画され実施されることになったのである。

- 1) 外乱を受けにくい都市システムの開発(人間で言えば健康管理あるいは体質改善)
- 2) 外乱を受けたときの都市機能の最適制御法の研究(予防医学)
- 3) 外乱による障害を受けた都市機能回復のための最適手順の開発(診断、治療)

3. 研究組織

昭和46年度より開始された第一次臨時事業においてはまず第一の目標である外乱を受けにくい都市構造の研究を(i)「都市構造物の耐震強度の調査研究」(第1グループ)(ii)「都市交通公害対策の調査研究」(第2グループ)(iii)「都市廃棄物対策の調査研究」(第3グループ)3点に絞り、次の表1に示すような組織で研究が展開された。

第一次臨時事業の進展に伴って、各研究グループとも

研究の規模拡大、期間の延長および境界領域の充実の必要性を痛感するようになった。一方、本事業の第2、第3の目標である都市機能の最適制御や都市機能回復のための最良手順の開発に関する研究を完成させるためには、さらに外乱とそれによる被害の検出および防護に関する研究を新たに推進すべきであるという結論に到達した。上記の要望結論を基にし、本所の化学物理計測、多次元情報処理やコンピュータ、シミュレーションや制御技術の専門家集団を動員して次に述べるような三つの研究からなる第二次臨時事業を推進させることになったのである。

(a)都市環境の汚染計測、防除に関する研究(第4グループ)、(b)都市情報の総合的収集処理に関する研究(第5グループ)、(c)都市災害・公害の最適防護システムに関する研究(第6グループ)

この第二次臨時事業は引続き、昭和49年から向こう3カ年間次の表2に示すような研究組織をもって実施された。

4. 第一次臨時事業の研究経過および成果

A. 都市構造物の耐震強度の調査研究グループ(第1グループ)

地下埋設物・土木構造物・建築物・プラント施設など近代都市施設として不可欠な構造物の耐震、性能の調査研究を行うことにより、地震災害の様相規模を確実に把握して、耐震対策に対する資料を作成し、あわせてより高度な耐震設計法の確立を計ることを目的としたものである。本研究の研究母体は、すでに数年前から発足している耐震構造学研究センターの構成員があたり、本所の土木・建築・機械関係の研究者で実施された。

昭和46年度から48年度までの研究としては、次の三つのテーマを選んで研究がなされた。

- (i) 埋設物の耐震強度に関する研究
- (ii) 構造物の動的強度に関する研究
- (iii) 振動減衰装置に関する研究

久保・片山研究室では関東地震(1923)における秦野水道、東京市水道、十勝沖地震(1968)による青森市、函館市および八戸市、サンフェルナンド地震によるロスアンゼルス市水道などの被害分布を定量的に調査した。震源地の近かった福井市およびロスアンゼルス水道被害には、共通性があり、いずれも南下方向(震源地に北方5~10km)が東西方向の被害率より高かった。また後者の地震においては、加速度分布も明確であったこと、被害分布が配管図に記載されていたので、単位長さ当たりの水道管の被害率と加速度の強さとの関係を求めることができた。福井市の水道が関東地震の東京の水道

より単位長さ当たりの被害率が高かった現象も加速度の差から定量的に説明できることが判明した。

また水道管の震害の統計的調査の結果、青森市および東京市の水道管の震害などに見られるように、平面的に硬さの相異なる種の地盤が存在する場合、両者を貫通する管は地震時の地盤の変位振幅が異なる（確かに地盤の方が振幅が小さい）ために軸方向に強制的ひずみが発生し、これが管の抜けの主原因であることが結論された。

都市における埋設物でその地震時における挙動が解明されていないものに地下鉄トンネルや沈埋トンネルがある。沈埋トンネルに関しては、田村助教授が模型実験や実物における地震動の実測を行い、また地盤と沈埋トンネルとの相互作用を考慮したシミュレーションモデルによる地震応答解析を行った。以上の研究により、地中構造物の地震時の挙動はその周辺地盤の地震時の変位の分布に支配され、構造物自体の固有振動は実質的には無視でき、したがって地震の動特性が急激に変化する部位は耐震設計上重要であること、沈埋トンネルでは軸方向にひずみの方が曲げひずみより卓越していること、軸方向ひずみは地盤動の変位振幅とよい対応を示している、地盤動の加速度とはよい対応を示していないこと、モデル解析によると、軸方向ひずみもかなり大きくなり、降伏ひずみに近い値を大地震時に示すことなどを明らかにした。これらの研究は沈埋トンネルの耐震設計基準にとり入れられ、この方面で高く評価されている。

過去の震害の調査あるいはモデルを用いた数理解析によると、埋設管の震害の大部分は管自身でなく、継手部または弁などに発生している。各種継手の動的および静的強度に関する研究は柴田教授が担当して行った。この研究においては、機械継手、フランジ継手、溶接継手など各種の継手をもつ鋼管にあらかじめ中圧ガス管程度の内圧をかけて、軸圧と繰返し曲げを作用させ、動的強度および破壊特性を調査した。この種の調査は過去において皆無といってもよく、機械継手では結合方法が強度に関係あること、フランジ継手のフランジ隅角部には応力集中があるため、動的強度の低下が避けられないことなど、継手の耐震設計を確立するための有益な知見をうることができた。

第2のテーマは、部材の動的特性の研究の原点に立ち、新しい方式でこの問題を実験的に明らかにしようとしたもので、建築構造の面から、田中教授・岡田・高梨助教授、土木構造の分野から久保教授、機械の分野から柴田教授、佐藤助教授が本研究に参加した。

このための実験装置として、3年度にわたり、千葉実験所に動的破壊実験装置が設置され、昭和49年度には、動的破壊実験棟（文教施設費による）が完成して、これ

らの実験諸施設を収容した。その主なものは、

- 1) 構造物動的破壊実験装置
- 2) 応答発生装置
- 3) 入出力データ処理装置

である。1) は、動的破壊実験を行う実験床（5 m × 10 m, 耐力 50 t/m）および反力壁（高さ 6 m, 曲げ耐力 450 t/m）と電気油圧式アクチュエータ 3 基（±20 t, ±150 mm のもの 2 基, -100 t, 50 mm のもの 1 基）とで構成され、2) は小型の振動台（台 1.5 m × 2.0 m, 最大出力 4.7 t, ±7.5 mm）が主で、3) は HITAC 10 II を中心にその周辺装置で構成されている。

田中教授、岡田・高梨助教授ら建築構造学グループでは、上記 1) および 3) の施設を用いて、電算機試験機オンラインシステムを完成させた。

構造物の地震動による弾塑性応答を調べるために通常構造物の保持している復元力特性を数式でモデル化したのち数値解析を行っている。そこでの難しさは複雑な復元力特性をいかにして簡単な数式モデルに置き換えるかであるが、応答によって構造物の一部が破壊したり座屈が生じたりして、復元力特性が非常に複雑になった後までも忠実に数式モデルに置き換えることには困難が多い。一方、地震動による構造物の崩壊を追跡するには、どうしても破壊したり不安定になった状態における解析が不可欠で、そのために何らかの工夫が必要である。

本研究で完成させたオンラインシステムによる解析はそのような要求に答える一つの試みである。オンラインシステムは小型計算機（A/D・D/A 変換器を含む）と動的破壊試験装置との二つによって構成され、デジタル計算機によって振動方程式を解く際に復元力特性が複雑な非線形になっても、同時に進行している動的破壊実験から常にその瞬間の復元力の値が供給されて、構造物の正確な応答が求められる。このシステムによる解析の目的として次の二つをあげることができよう。

- 1) 復元力特性の数式モデルの妥当性の検討
- 2) 復元力特性が非常に複雑でその数式モデル化が困難な構造物の地震応答を直接求める

これらの目的に沿った最初の例として、鉄骨あるいは鉄筋コンクリートで作られた 1 層 1 スパンの骨組の弾塑性地震応答解析を本システムを用いて行い、本システムの信頼性を実証すると共に、以下に示す諸解析を通じて有効性をも確かめえた。

これら、オンライン解析と平行して、単一の現象を詳しく追跡し、解析モデルの検討や、オンライン解析結果を評価する目的で、動的破壊実験装置を用いて、構造部材の静的、繰返し多数回載荷実験を行った。また、振動台を用いて、鉄骨コンクリート立体骨組の小型模型の振

動実験も行い、オンライン解析結果と比較検討した。

以上の研究成果は、建築構造物の耐震設計をより合理的に行うために、有力な資料を提供するとともに、鉄筋コンクリート造既存建物の耐震診断規準を作成する重要な基礎となった。

第3の研究では振動減衰機構を積極的に構造物内に組み込んで、人工的に構造物の耐震性能を改善しようとする研究が川股研究室で行われた。本研究では減衰機構として耐震ダンパーを選び、これによる振動エネルギーの吸収能力、構造物の地震応答の低減を究明した。耐震ダンパーはステンレス製のベローズの両端を鉄板のダイヤフラムで閉じ、つづみ形とし、これをパイプで連結したものである。パイプで連結した一対のダンパーの一つは圧縮変形を、他の一つはのび変形になるようになっている。ダイヤフラム内には小さなオリフィスがあり、それを通じてパイプ内の油が構造物の変位に従って往復運動を起こし、ダイヤフラムとオリフィスの面積比の関係からその移送速度はかなり大きくなるので大きな振動減衰効果があることを実験的に確認した。すなわち、スパン1,500mm、高さ1,000mmの鉄骨フレームに内径170mm、外径210mmのベローズに8mm、15mmのオリフィスからなる耐震ダンパーが取り付けられて実験された。液体としては水と油が用いられた。水による実験は粘性抵抗のない単純な解析上有利な条件をもつために行われたものである。ある鉄骨フレームについて行った振動実験では耐震ダンパーのないとき25.4Hzであったものが、耐震ダンパーをつけると1.5~4.0Hzになった。見掛けの減衰もダンパーのないときの1%から8.7~11.5%まで上昇することが判り、耐震ダンパーを設置することにより減衰定数の増加ばかりでなく、固有振動数の低減もはかれることが判明した。

B. 都市交通公害対策の調査研究 (第2グループ)

本研究グループでは次に示すような二つの研究を計画実施した。

- (i) 都市交通による騒音、振動の防除に関する研究
- (ii) 都市内道路交通管制に関する研究
- (iii) 電力供給システムの信頼度に関する研究

騒音・振動の防除に関する研究グループでは以前から自動車の振動と騒音について研究をすすめ、自動車騒音の評価法の検討、タイヤ騒音の現状把握のための実験などを行うとともに、交通騒音の現場調査を青山通り(昭41)、東名高速(昭44)、京葉道路(昭41、昭44)その他で実施し、データ解析を行って交通騒音の実態の把握とその予測方法を検討してきた。

本プロジェクトではこのような実績のうえに立って、日常生活に大きな影響をおよぼす交通騒音の実態を把握

し、これを防止するための総合的研究をすすめるとともに、振動公害についての基礎的、理論的研究が看過されていることに着目して、測定方法の検討、実態調査、防止と規制の指針の検討を行った。

互理・大野研究室では交通騒音源に関する基礎調査として自動車のタイヤ騒音と機関騒音(排気騒音を含む)の実態調査を行い、あわせてその低減について研究した。すなわちタイヤ騒音については大型トラック・バスおよび中型トラック用タイヤについて、タイヤ単体の台上試験と実車走行試験とを実施した。実車走行試験では(1)タイヤ騒音と走行速度、路面状態、積載荷重および空気圧との関係、(2)タイヤ騒音のスペクトルなどについて調査した。機関騒音については大型トラック、中型トラックおよび乗用車について、定置試験、定常走行試験および連続加速走行試験を行った。調査項目は、(1)機関騒音と機関回転速度および負荷との関係、(2)機関騒音のスペクトルなどである。また使用中の乗用車について機関騒音と使用年数との関係を調べた。この他機関騒音低減の手段としての機関の遮蔽の効果についても調べた。

なおタイヤ騒音、機関騒音とも試験方法はISO車外騒音試験法に準拠した。

また地盤振動の測定方法の検討として、土木工事用の地固機を振動源に用いていくつかの典型的な地面状態について振動実験を行い、地面の振動が正しく測定できる振動計の設置方法を見出した。これに基づき地盤振動の実態調査を行い、大型トラックや地下鉄の走行にともなう地面の振動、平坦路と凹凸路での振動の差などを調べた。この他地盤振動遮断手段としての堀の効果、振動の距離減衰や伝搬の方向性などについて調べた。

石井研究室では市街地における自動車騒音の実態調査と、その検討を行い、また交通騒音の伝搬に関する模型調査とその検討を行い、また交通騒音の伝搬に関する模型実験を行った。まず自動車騒音の実態調査を環状7号線について行い、まず時刻別、交通量、車種構成、走行速度等と騒音レベルの関係調べた。

次に信号のある交差点の騒音性状を調べるため、日赤病院下、学術会議前などの一方向の交通量が他方向にくらべて多い交差点で基礎調査を行い、その近くの交通量はほぼ等しく、信号の影響を受けず定常走行をしている街路との比較を行った。また両方向の交通量が多い天現寺交差点、とその周辺および交差点の近くに建つビルについて上階へゆくに従っていかに騒音が変化するかを調べた。

一方騒音伝搬の模型実験では道路の1/10~1/40模型によって高架、盛上等各種の道路構造について騒音の伝搬

性状について検討し、これらの通路について防音壁を取り付けた時の効果について検討した。また、車の走行をシミュレートさせるためスピーカを切り換えて音源を移動させ、交通流による騒音レベルの変動を調べた。後にこの音源の移動に基づく現象はコンピュータによるシミュレーションによって求める方法を検討した。さらに道路周辺に建物への影響について検討し、窓から室内に入った音についても模型実験を行い、またバルコニーによる遮音効果についても検討した。

次いで市街地に建つビルの窓の遮音性に関する模型実験、縮尺 1/40 模型を用いた高架道路からの騒音伝搬に関する模型実験を行った。

都市内道路の交通制御については、交通信号機を計算機で制御する場合の制御手法の提案をはじめとする多くの理論的研究成果や、東京の街路および高速道路の交通管制を目的とした共同研究に参加し、東京都心部広域信号制御システムの実現に貢献した実績があり、一方ハイブリッドシミュレーションの手法により道路網における自動車群のふるまいを徹視的かつ高速に模擬する交通流シミュレータを試作した経験がある。

本プロジェクトではこれらの実績をいかにして、街路における交通信号機制御の野外実験と、より大規模の道路網を対象とする交通流シミュレーションの両面から、交通渋滞の解消や、交通公害の軽減を目的とした交通制御の方策・手法の研究を推進することを計画した。

森脇・高羽・浜田研究室ハイブリッド・シミュレーションの手法を用いる交通流シミュレーション・システムとして既設システム(9交差点道路網)のソフトウェアの充実をはかるとともに新設システム(64交差点道路網)を開発、またこれらに小形計算機システムを付加して総合情報制御システムへの発展をはかった。

これらのシステムについては、同一車線走行モデルによる演算結果と写真観測の結果との比較、線状道路網における遅れ時間、停止台数などのシミュレーション結果と野外実験システムにおける実測値との照合などによって、シミュレーションモデルの妥当性の検証を行った。

スプリット制御、右左折禁止、発進制限などの手法を組み合わせ、容量以上の流入車両に対して適用し、渋滞の波及を平均化することによって閉塞に至る時間を最大にする方法を線状および面状道路網におけるシミュレーションに基づいて検討した。また、経路誘導制御における交差点信号オフセットの効果を検討した。

さらに、交通流の最適配分の手法、流入制限の手法などのアルゴリズムを開発した。

本研究付近の五つの交差点交通信号を、電子計算機で制御する実験を通じて、交通信号の電子計算機による

制御手法の開発研究を実施した。

(1) 信号パラメータの最適化

停止台数および遅れを評価基準にとった場合のサイクル、スプリットおよびオフセットの制御手法の開発および評価を行った。

サイクル長制御については、これまで未開であった系統制御における最適サイクル長についての理論的な解析を行い実験的に確かめた。

スプリット制御については、停止線付近のオキュパンシを用いたオンラインフィードバック制御がきわめて最適スプリットに近い値を現出させることを確かめ、実用的な制御手法が開発された。

オフセットについては、多くの手法を比較検討した結果、良好に設定された定時パターン選択がもっとも実用的な手法であることを確かめた。

(2) 自動車排出ガスおよび燃料消費量と交通信号制御との関連の検討

交通信号による渋滞、停止、遅れと排出ガスおよび燃料消費量との関連について、実験的な定量解析を行った。この結果、通常の街路走行においては、CO 炭化水素および燃料消費量はほとんど走行時間に依存して増減し、NO_x は加減速に依存することがわかった。このことから、交通信号制御における評価基準として遅れを用いることの妥当性が確かめられるとともに、交通信号制御の改善による大気汚染軽減効果の推定が可能となった。

また電力供給システムの信頼性に関する研究が河村研究室で行われた。すなわち電力供給システムの雷に対する絶縁信頼度をもとめるために、500kV 送電線の1/50の電力系統解析モデル装置を試作し、これに雷撃を模擬する電流を印加した際の鉄塔各部の電位上昇、がいし連の電位上昇等を実験によりもとめた。その結果、従来得られていた鉄塔電位上昇は特に低接地抵抗において誤差を生じ、超高压送電線の雷害事故発生確率の評価に当たってはこの点を考慮しなければならない点を明らかにした。また雷放電カウンタを用いて対地放電数の分布に関する実測を実施し、これによって送電線における雷事故率算定のための基礎資料を作成することができた。これらの成果に基づき、都市にエネルギーを供給する電力供給システムの事故発生確率を評価し、信頼度向上の方策について検討を行った。

また台風時などの汚損条件下におけるがいしの絶縁破壊事故を解明するために、超高压電力研究所、武山研究所において、気温、相対湿度、がいし表面温度、がいしに流れる漏れ電流の実測を行い、この結果と同所におけるフラッシュオーバー事故との相関につき検討を行った。この成果に基づいて、気象条件より事故発生確率をもとめ

る計算プログラムを作成し、予測結果と事故実績との比較検討を行った結果、このプログラムの妥当性を確認した。

C. 都市廃棄物対策の調査研究 (第3グループ)

第3グループは都市プラスチック廃棄物の有効な処理を進めるために必要な技術的問題を十分に調査、さらに基礎的な観点から研究を通して、処理システム確立のための方策を提案することを目的として、研究を進めた。

研究組織は大きく研究班と調査班とに分かれ、研究班は熱分解研究グループと光分解研究グループに、調査班は廃棄物処理実態調査を主とするものと、処理システム調査を主とするものに分かれて、次の八つの研究課題について活動を続けた。

(i) プラスチック中の金属成分の分析法の開発研究 (担当 早野助教授)

環境汚染で問題となるカドミウム、鉛を取り上げ、微分バルスポーログラフィによって迅速微量定量を行うための諸条件を検討した。

(ii) プラスチック無機充填剤に関する研究 (担当 高橋助教授)

プラスチック廃棄物のもっとも簡便で汎用な処理法である焼却法の問題点である大きな燃焼熱を無機充填剤を大量に配合することにより大幅に低下させ、同時にポリオレフィン完全に燃焼させることが確認された。

(iii) プラスチックの光化学的酸化分解の研究 (担当 本多健一・鋤柄光則助教授)

ポリスチレンにキノ系芳香族化合物を添加することによって、光分解性プラスチックが得られた。光分解を促進するキノ系増感剤としては種々の置換基を有するアントラキノ、ナフトキノンを使用し、赤外線吸収スペクトルや照射によるポリスチレンフィルムの強度変化からその効果を検討した。

(iv) 光分解性高分子化合物の開発研究 (担当 妹尾学助教授・白石振作助教授)

ポリスチレンに光分解性を付与するために、単独重合性を持たない β -置換 α 、 β -不飽和ケトンとスチレンとの共重合ならびにそれら共重合体の光分解性に関して検討を加えた。その知見を基としてコントロール可能な光分解性ポリマーの設計を進めた。

(v) プラスチックの接触分解の研究 (担当 高橋浩助教授)

オレフィン系炭化水素およびビニル芳香族炭化水素のようなエテノイド炭化水素の高次重合物を、適当な触媒の存在の下で、有用な低分子化合物に分解することを目的として実験を進めた。

(vi) プラスチック廃棄物の有効利用に関する研究

(担当 山辺武郎教授)

本研究は産業廃棄物の単なる廃棄ではなく、これから有用物を回収することを目的としている。プラスチックとしては、まずモデル実験として主として純粋の試料を用い、種類としてはポリ塩化ビニル (PVC)、ポリアクリロニトリル (PAN) をとり上げ、熱分解により炭素材料を得る研究を行った。

(vii) プラスチックの熱分解の研究

(担当 鈴木基之助教授)

乾溜型熱分解装置によりポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS) の回分式熱分解液化実験を行った。

(viii) プラスチック廃棄物の処理システム確立のための調査研究

(担当 浅原照三、野崎弘、中村亦夫、武藤義一、河添邦太郎、熊野谿從各教授)

都市廃棄物処理の現状調査のためを進めるとともに各種の提案について検討を行った。

D. 都市環境の汚染計測防除に関する研究 (第4グループ)

第4グループでは産業の急速な発展と都市への過度の人口集中により自然破壊、生活環境の悪化が進み、生態学的に不調和な物質による環境汚染が重要な問題となっている現状に鑑み、汚染物質の効果的な防除システムの確立を目差して昭和49年より52年までの3年間次の四つの課題の研究を進めた。

(4-1) 汚染の迅速微量計測法の開発と汚染計測法のシステム化の研究

まず第1に汚染物質の現況把握に必要な迅速・微量分析ならびに連続計測などの手法の開発である。各種の分析機器の応用、計測原理の検討などを中心に研究が行われたが、それと共に汚染物質の防除、拡散などの研究過程においても、必要な濃縮法、検出法などの検討が進められた(早野研究室)。

(1) 大気中の微量窒素酸化物の捕集定量に関する研究

環境大気中の二酸化窒素を定量するために、種々の有機溶媒について捕集剤としての可能性を検討した結果、ジメチルホルムアミド (DMF) はほぼザルツマン試薬と同様に二酸化窒素を捕集することが分かった。

(2) 自動車排ガス中微量硫黄化合物の分析法の研究
固定相液体としてポリフェニルエーテルを用い、テフロンカラムによって自動車排ガス中の硫黄化合物をガスクロマトグラフ的に分離し、フレイム光度検出器 (FPD) により定量を行った。

(3) 流出油処理剤の生分解度測定方法の研究

油処理剤生分解度の測定指標として昭和49年度より2年間にわたり全有機炭素 (TOC) を採用し満足すべき結果を得た。

(4) 海洋フミン物質の分離ならびに特性化の研究

昭和50年度より海底堆積物よりフミン特質中のいわゆるフルボ酸を抽出し、ゲルクロマトグラフィーによる分面を実施している。抽出条件による分子量分布の相違に関し、かなりの成果が得られた。

(5) その他

本臨時事業の実施期間中に、関連研究として都市下水污泥中油分の定量方法の研究 (東京都公営企業下水道局より受託) を昭和50年度に実施した。また広域にわたる環境の観測体系としての広域計測システムが、環境班の成果に基づき環境での汚染物質の挙動の解点から検討された。

(4-2) 物質汚染の拡散過程の研究と自然の浄化作用の評価

河川・沿岸海域など都市水域における汚染物質の拡散過程は、混合・沈降等の移動現象、凝集・吸着等の界面現象、微生物による分解・酸化・還元反応など種々多様である。これらを解明し自然浄化作用を評価することを目的として多摩川を例にとり、汚染物質の拡散過程、底質の吸着現象などについて調査し検討を加えた。(河添・鈴木研究室)

(1) 多摩川における水質、底質の汚染観測

都市近郊河川の一つの典型とみられる多摩川において昭和49年以後10回の観測を行い、さらに継続観測中である。

(2) 底質と水中の Cd 吸着平衡の検討

多摩川の観測から底質中の Cd の蓄積が、底質中の有機物の示標である Ignition Loss によって支配されるらしいとの結果を得た。このため実験的にこのことを確認し、さらに精度よい分配関係を確立するために、多摩川より採取された水溶液 ($10^{-2} \sim 10 \text{mg/l}$) における回分吸着実験を行い吸着平衡関係を求めた。

(3) 野川における有機質汚染の検討

野川の現状を把握し、さらに浄化を目的とした技術開発の手法を検討し、都市近傍の生活排水による汚濁河川の再生技術について考察を加えた。

(4-3) 無機系および有機系環境汚染物質の除去法の研究

環境に対する無機・有機汚染物質の負荷を低減するため大気および水質における汚染物質の排出防止、回収、除去、無害化などの研究を行った。汚染物質別の研究と同時に多種類の汚染物質を含む工場廃水、都市下水の処理システムについても研究が行われた。

(1) 物質別の除去法の研究

a. 水中の有機物質の除去……オゾン処理、アルカリ分解、活性炭吸着、生物処理について個々の特性を比較検討し、水処理においてこれら除去操作の果たす役割分担を明らかにした (河添・鈴木研究室)。

b. N, P の除去……アルミナ工場廃棄物の赤泥利用によるリン酸除去、FCC シリカアルミナ触媒廃棄物からのアンモニウムイオン除去材料の製造、天然ゼオライトのアンモニウムイオン除去などの研究が行われた (高橋研究室)。

c. 重金属、無機塩類の除去……砒素の沈澱法による除去、シリカコロイドへの重金属の吸着、有機水銀の無機化、電気透析あるいは逆浸透用の膜の開発などの研究が行われた (増子・山辺研究室)。

d. その他……大気汚染に関連して光化学オキシダント生成への一重項酸素の寄与、低濃度炭化水素の排出防止、環境汚染による金属の腐食が研究された。また水中の微量成分分離のための *高速液体クロマトグラフィの装置の試作も行われた (鋤柄・河添・増子研究室)。

(2) 産業廃水処理システムの研究

石油化学、精製糖工場、パルプの廃水について処理システムの研究が行われた。

a. 精製糖工場排水……負荷変動が激しく不純物も多種多様であるが、分子量が100~400の比較的分子量の TOC 物質に対しては生物処理が有効であり、UV 感知物質に対しては生物処理よりも活性炭処理が有効である (鈴木・河添研究室)。

b. パルプ排水について……分子量分布を一つの測度として処理前後の変化から処理効果やシステムを検討した (鈴木・河添研究室)。

c. 石油化学廃水について……実験室ならびにパイロットプラントにおいて活性污泥処理水の COD 除去、無機塩類の除去が検討された (河添研究室)。

E. 都市情報の総合的収集・処理に関する研究概要

(第5グループ)

都市機能を最適に防護するためには、それを脅かす直接的原因である災害・公害の実態を適確に、しかも迅速に把握し、それを処理して因果、相関関係を解析し、適切な対策をたてることが必要である。これらの災害・公害の実態をここでは都市情報と呼んでいるが、その特徴は広域、多点、多重等のことばに要約されよう。すなわち発生源や観測点が広い範囲にわたって多くの点に分散しており、その内容が例えば、汚染・温度・人口・電波など非常に多岐にわたっているわけである。第5グルー

* 高速液体クロマトグラフィ (high performance liquid chromatography)

プは次に示すような三つの分野を対象にして都市情報の収集と処理の方法について研究を進めた。

(5-1) 非常災害対策用広域多点情報収集システム

地震などの広域災害時には、既存の通信網は寸断されて、機能を停止することが予想され、最も情報が必要な時にその収集が断たれることになる。このような事態をさけるために本研究では、非常時においても最も最低限度必要な必須情報の収集だけは確保できるように「非常災害対策用広域多点情報収集システム」の研究が安田研究室で行われた。これは無線に新しく考案された非同期多重通信方式を適用したもので多数の送信点からのビット情報を中央で能率よく集めることができる情報システムであり、パケット無線通信方式と呼ばれている。この方式は純 ALOHA と同様システム構成が容易であるにも拘わらず、回線利用効率は SLOTTED ALOHA より大きくなることが実証された。

(5-2) 多次元画像情報処理による都市情報の処理

都市情報を画像、しかも二次元の面的分布の上に多次元の情報因子がもりこまれている多次元画像としてとらえ、その処理によって都市機能防護に必要な情報をとり出す研究を行ってきた。すなわち村井研究室ではデジタル画像処理を採用したりモートセンシングの技術を用い主として首都圏における緑環境・水環境・土地利用・都市化度などの測定に多くの成果を得ている。また尾上・高木研究室では多次元画像情報処理研究施設をつくりマルチスペクトル画像の対話型処理システムの開発および膨大な LANDSAT 画像データの計算機内における圧縮法の研究を行った。さらに、高木研究室では気象衛星 NOAA の画像のデジタル処理に先鞭をつけ、各種座標系による地図化や僅かな温度差の可視化に成功した、海面温度の測定に適しているの、漁業情報への応用が期待されている。一方当所ではテレビカメラによる特定対象物の検出の研究を行っているが、この研究では第 1 次臨時事業で交通関係がとりあげられたことに関連して交通流の計測に力をそそいだ。これには高羽研究室による時系列的な手法と、尾上研究室によるより画像処理的な手法な手法と 2 通りのアプローチがとられた。前者は融通性のある現場の計測に、後者は車種等精密な統計を要する調査に適している。

レーザ光による大気汚染の測定は周波数をかえることにより各種の窒素あるいは硫黄化合物の濃度を分離して得られる特長がある。斎藤・浜崎・藤井研究室ではヘテロダイン検波による方式について研究を進め、汚染気体の分布を測定するシステムを開発した。

また尾上研究室では新しい都市公害であるテレビジョン電波のゴースト障害の定量的測定法を考案し、ホログ

ラフィックな開口合成の手法と画像処理技術を駆使してゴースト発生源である建物の分布とその強度を地図画像化することに成功した。

(5-3) 巨大構造物の破壊予知情報の収集と標定研究

当所は早くからアコースティックエミッション (AE) と普及につとめてきており、この臨時事業においても都市における巨大構造物の健全性診断を中心に研究を進めてきた。構造物が巨大になると変換子の数も数十となり、そのデータ収集・解析、標定などを実時間で行うために電子計算機の使用が必須になる。山口研究室では各種のユニークな機能をもった多チャンネル AE 標定装置の研究開発を行い、数次の実地試験において好成績を収めてきた。

AE の特性は材料の種類、加工、熱処理、使用履歴などによって異なってくるので、上記のような検査の信頼度は材料特性の理解によるところが少なくない。鳥飼研究室では Al-Mg 合金、炭素鋼などの特性を明らかにし、さらに小林研究室と共同でコンクリートの AE について特色のある研究を行っている。

構造物の破壊はき裂、割れの発生とその成長の結果としておこることが多い。これに対して最近の破壊力学の進歩はいちじるしいが、それを AE と関連づける研究が北川研究室で行われた。

尾上研究室では AE 試験の実用化に関する研究に参画し、多チャンネル標定装置のソフトウェアとオフライン解析を支援している。これは 20m 球形タンクを含む数次の実地試験において所期の成果を収めた。

(5-3) 都市災害・公害の最適防護システムに関する研究 (第 6 グループ)

大都市はその機能を支えるためガス、水道・電気・交通電信電話その他無数のシステムが面状、網状に形成され、いったん地震、風水害の突発的災害に襲われるとその障害が連鎖的に波及し、都市機能が著しく損なわれる事態に立ち到る。

また突発的な災害の他に大都市はいわゆる公害による環境汚染や劣化に伴う病的状態に絶えず悩まわされている。これまで述べて来た五つの研究グループの活動はいわば都市機能の一面を捉え、その角度から都市における災害・公害の実態を明らかにしてその最適制御あるいは防護システムの開発を目標としているが、第 6 グループはこれらの都市機能を支える数多くのサブシステムが有機的に結合したトータルシステムとして都市機能を捉えその機能のモデル、評価の方法、さらに進んで最適化の手法の基礎的研究を地震災害や大気汚染公害を例にとり行った。これらの問題研究のため次の五つのサブグル

ープが結成された。

(6-1) 災害シミュレーションならびに災害時の緊急対策の最適化に関する研究

大地震発生時において、一次災害の規模を推定し、二次災害移行の綿密な予測や、最適避難方式の提示を可能ならしめるため災害モデルの提案とその評価方法について検討した。久保・片山研究室はこの問題に関連し、横断歩道橋の耐震強度の問題をとり上げ、標準設計横断歩道橋の振動測定や模型振動実験を行った。

都市機能を地震発生時およびその後の期間に亘って確保するにはいわゆるライフライン (life line) の耐震化が必要である。ライフラインという言葉は比較的新しい術語であるが、大体エネルギー(電力・ガス・石油など)を供給するパイプライン、水道・下水道などの給排水関係、通信関係、交通機関、廃棄物処理関係があげられる。久保、柴田両教授、片山助教を中心とするグループは現在重点を置いているライフラインシステム(交通機関を除く)と、生活に必要な物質を供給する産業施設、とくに化学プラントと石油精製施設の耐震設計をシステム工学的観点から考察した。

(6-2) 地震災害による火災の伝播と避難対策の最適化

柴田・藤田研究室では火災の伝播やパニック状態における群集流の動力学モデルを提案、そのコンピューターシミュレーションを行った。また久保・片山研究室では、1971年のサンフェルナンド地震を契機としてアメリカの地震工学者の間で唱えられ始めたライフライン系の地震時挙動とそれが都市の震災に及ぼす影響について研究を進めてきたが、地下埋設管および道路橋の震害予測の手法と予測結果についてまとめた。

(6-3) 都市の高層建築による風害問題

勝田・村上研究室では都市に起こるさまざまな環境問題特に風害や物質拡散問題の風洞による実験的研究を進め、都市環境シミュレーターの構想をまとめた。すなわち昭和49年度は防風フェンス、昭和51年度は高層ビルが歩行者に及ぼす風害問題をとり上げ、昭和51年には都市内部における地表面温度差が物質拡散に及ぼす影響について風洞によるシミュレーションを行った。すなわち都市表面は建物・道路・公園緑地・池水等により覆われているが、建物・道路と公園緑地、池水との表面温度差が原因となって、局所的に複雑な微気象が形成され、市街地における拡散現象にも大きな影響を及ぼしていると考えられる。この研究では都市地表面温度差を高温パネルを低温パネルでモデル化し、地表面温度差が物質の拡散に及ぼす影響について風洞実験を行った。

(6-4) 電力系統における災害事故および高調波障

害の防止に関する研究

大都市における電力需要の増大に伴って、大電力供給システムの絶縁信頼度を向上させることはきわめて重要な問題となっている。この点に着目して、河村研究室においてはかような大電力系統を対象として、災害事故を軽減せしめるための最適の防護策についての研究を進めた。

電力系統における絶縁破壊事故の原因として考えられる因子としては次の3種類があげられる。

- (a) 自然雷
- (b) 開閉サージ
- (c) 塩あるいは塵埃に基づく汚損に起因する絶縁耐力の低下

自然雷および台風の時間的推移とこれに基づく気象条件の地域的分布が求められれば、送電線における絶縁破壊の確率は筆者等が開発した手法を適用することによって算定することができる。さらに、開閉サージについては、電力系統に発生する開閉サージ電圧の統計分布をもとめ、これらの発生分布と系統条件から電力系統における絶縁信頼度を評価することが可能である。かように本研究においては、電力系統における絶縁信頼度の解析に当たって、最近特に注目を浴びている統計的手法を適用することによって行うもので、かような手法による研究はきわめて少なく、したがって本研究によって従来未知の知見をもとめることができたものとする。

最近、電力系統において、整流器負荷、特にサイリスタの点弧制御を行う負荷が増大し、力率の低下、電力系統に含まれる高調波電圧、電流の問題が新しい公害として発生しつつある。

負荷の力率の低下は、送配電損失を増大させ、送配電機器の容量増大、機器の加熱の原因となる。また、系統に含まれる高調波は、多くの電気機器、電子機器に悪影響を与え、将来、整流器負荷が広く一般産業および家庭にまで普及した段階においては、深刻な事態が予想される。

原島研究室においては、上記の事を背景として、整流器を含む負荷による力率の低下および高調波の発生メカニズムの解析、系統に含まれる高調波の伝搬の研究、整流器負荷による力率の低下、高調波の発生防止、高調波によってじょう乱をうける機器の分析などの研究を行い、無効電力の概念を拡張し、“段想無効電力”なる新しい概念を定義し、その最適値の推定法を示した。次にこの考え方を応用し、ある電源系への補償装置類を一つのシステムとして全体的に最適に制御し得ることを示した。そして従来補償が困難であったサイロコンバータの発生する種々の無効成分を完全に補償できることを実

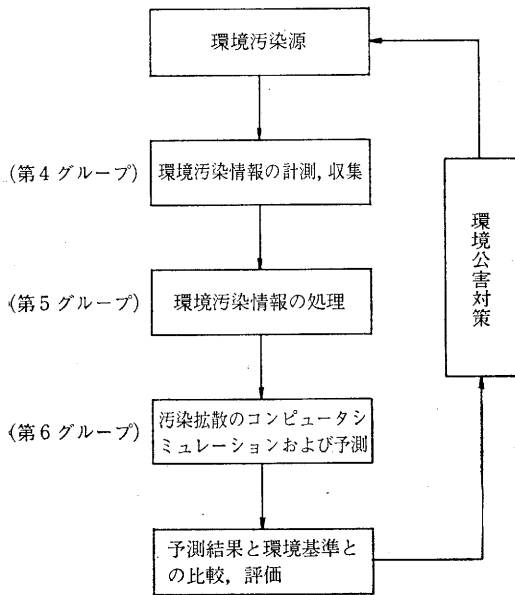


図3 環境公害対策の基本的考え方

証した。

(6-5) 環境制御のための最適システムの開発と各種汚染拡散モデルに関する研究

第二次臨時事業の目標の一つは各種環境汚染状態の迅速かつ正確な計測技術（物理的および化学的）の開発とその空間的・時間的に収集される大量のデータあるいは情

報を処理し、その情報を入力として汚染物質の拡散状況のコンピュータシミュレーションを行い、汚染状況を予測する。そして環境基準に照らし合わせて人間の社会的活動度の制御を行うことである（図3参照）。

大島研究室では大気汚染濃度の最適規制問題をシステム工学的立場から捉え現代制御理論の適用実施の方策を研究しているが、本年度は大気汚染の実時間制御を目的とした汚染物質濃度の予測システムにつき、そのアルゴリズムを開発し兵庫県姫路市に適用した数値計算結果を報告した。また原子力発電所の温排水の放流による熱汚染に関連し湾内奥深い領域内の水温上昇の影響の少ない地点に放流方向の異なる二つの排水口を設け、水温上昇予測、評価関数の演算に基づき排水口の放流方向を切り換える制御方式の制御アルゴリズムを作成し、モデル水槽実験によりその有効性を確認した。この研究を基礎として流水場の解析、潮汐の影響などについても研究を進める計画を立てている。

川井研究室では特に最近環境汚染問題のコンピュータシミュレーションに関連して注目されている、重みつき残差法 (method of weighted residuals) の実用性を論じついで流れ、熱伝達、物質移動の複合された移動現象問題を、各種物理量の保存則を積分形のまま取り扱い直接離散化していく方法を研究してきたが、SMAC法 (Simplified Marker and Cell Method) と FLIC法 (Fluid in Cell Method) を折衷した新しい手法を開発、粘性流れの解析に応用してある程度の成果を得た。

(川井 忠彦記)

