

[別紙2]

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 牧 誠也

さまざまな人間活動が行われる河川流域において、安全で安定な水の供給を担う上水道と、排水の処理を担い水環境を保全する下水道を統合的に計画・管理する、流域管理の重要性が近年ますます高まっている。一方、これらの施設の建設と維持のためには費用が必要であると共に、物資とエネルギーの消費が環境への負荷を生じ、それは規模などの影響を受ける。従来の行政区分単位で上水道と下水道を分断して建設し、運転することが最適とは言えず、統合的な設計が求められる。その統合的なシステムを設計するに当たっては、コスト、二酸化炭素排出量など、重要な側面が多数あり、どの側面を重視するかはステークホルダーによって異なる。そのため、水利用システムについての多様な選択肢を客観的に示し、それに基づいて合意形成を図ることが求められる。

本論文はこのような認識の元に行われた研究をまとめたもので、「水利用システムの多様な代替案設計のための多目的最適化を用いた枠組みの提案」と題し、8章からなる。

第1章では、多様な価値観を持つステークホルダーの間の水システムに関する合意形成のための枠組みが必要であることをはじめとして、本研究の課題にかかわる今日の社会の背景を述べ、論文の基本的な方針と目的を示している。

第2章では、流域圏を対象とした研究、水利用システムの研究、多目的最適化の研究、合意形成の研究などをレビューし、本研究で行う流域の水利用システムの多目的最適化の研究の必要性を明らかにしている。

第3章では、対象とする水利用システムに対して行う多目的最適化の手順をまず整理した。次に、最適化の対象とする、ライフサイクル環境負荷や事業コストなどの12の目的関数を設定し、それをどのように最適化するかという枠組みを示している。その次に、上水道及び下水道システムの構成要素を特定し、それらの施設のライフサイクル環境負荷の算出方法について、詳細に検討している。また、スケールメリットが存在する施設の規模とコストの関係など、直線的な関係にないものに対して区分線形近似を導入するなど、膨大な最適化計算を限られた計算時間で行うための準備を行った。この枠組みの特徴は、それぞれの目的関数に対する重みを乱数で与えることによって、多様な考えを持つステークホルダーの考え方を反映した最適解のセットを求める点にある。

第4章では、実際の施設の情報に基づいて、対象とする荒川流域の現状把握を行っている。87都市を対象とし、その中の33都市での下水処理施設、13都市での浄水施設と管路が計算対象になり、ライフサイクルアセスメントを実施した。下水処理や浄水処理施設のライフサイクルアセスメントの評価例は他にもあるが、複数の都市間の水の輸送も含め、地域全体として評価を行った本研究の成果は貴重である。

第5章では、多目的最適化の方法に関して、テストモデルを設定して詳細な検討を行っている。その中で、区分線形近似の妥当性、最適化計算時の精度の条件の設定、重み

付けの値の刻みの設定を検討した。この検討にあたっては、精度の水準を変えたり、対象都市の数を限定した計算を行うことによって、多くの場合に対する検討を行った。この検討の結果、計算精度と計算時間の観点から望ましい多目的最適化計算条件を提示している。緻密な計算によって行われた本章の検討は、次章で示される対象流域の具体的な最適解セットの信頼性を担保する意味で重要である。

第6章では、対象流域に対して多目的最適化計算を実施した結果を示している。環境面・経済面・社会面を含む12個の目的関数を設定し、各目的関数に0、1、2、3の4個のうち一つを選んで重みづけをする乱数を設定し、1000個のランダムな重みづけセットと特定の目的関数だけに重みづけを行った12個の計1012個の重みづけセットを用いて最適化を行った。1012の解が得られ、それらの重複をチェックし、さらに非パレート解を削除することによって、最終的に71の最適解を得ている。これらの最適解における目的関数間の正の相関関係、あるいはトレードオフ関係を示している。

第7章では、前章で導出した多目的最適解のセットを、実際にどのようにステークホルダーの議論に活用するかという点について検討している。必ずしも専門家でないステークホルダーが一覧して比較するには、71の最適解が多すぎるため、以下のような手順を提案している。まず解をクラスター分析し、8つのクラスターに分類し、この8つのクラスターに関してステークホルダー間で議論し、採択するクラスターを決定する。ついで、そのクラスター内のそれぞれの解について、設計変数の情報も加えてプロファイルを作成する。それに基づいてステークホルダー間で採用する解について合意形成を図る。さらに、具体的な諸施設の立地を地図上に示す。これらの手順は、緻密な計算によって得た多目的最適解セットを基礎にしつつ、解の集約化、合意形成の段階的实施を通じて、人間が理解し、議論、判断できるようにしているという点で興味深いものである。

第8章では、本研究のまとめと今後の課題を示している。

流域を単位として水の供給と消費、排水管理を行う必要性は高まりを見せ、またさまざまなステークホルダーが関与した意思決定の重要性の認識も高まっている。しかしながら、現実には、必ずしも流域全体としての最適な設計が行われていない。本研究は、合意形成に関わるさまざまなステークホルダーが、優先すべき項目に関して異なる価値観を持っているという前提の元に、多目的最適化計算を行い、さらにその結果の活用の方

向についても道筋を示したという点で価値があり、独創性が高い。

このように、本論文は環境工学の発展に寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。