

外96-37

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

構造工学における最適設計法に
関する研究

申請者
斎藤進
SUSUMU SAITOU

1996年11月

本論文は、土木工学におけるシステムの汎用的最適設計法に関する基礎的研究を行ったものである。システムは、数理モデル（解析モデル）によって表現できるシステムと、数理モデルによって表現できないシステムに大別できるが、前者の代表として構造物を、後者の代表としてコンクリート配合を取り上げそれぞれ最適設計を試みる。最適化手法としては、目標計画法およびニューラルネットワーク（階層型）を用い、両手法の共通性、相違点、各々の長所、短所、汎用性などを論じている。目標計画法は、数理計画法的アプローチの一手法であり、ニューラルネットワークは、知識工学的アプローチの一手法である。両者には、一見して共通性が無いように思われるが、共に優れた多目標最適化手法である。土木工学における多目標システムには、数理モデルによって表現できないものが多くあり、そのようなシステムのデータ解析と最適化が、ニューラルネットワークによって可能になるならば、その意義は大きいといえる。すなわち、本論文の目的は、

- (1) 数理モデルによって表現できる多目標システムの場合には、目標計画法が優れた最適化手法の一つである。
- (2) ニューラルネットワークは、目標計画法と同じ程度の最適化能力を持ち、目標計画法に代わることができる。
- (3) 数理モデルによって表現できないために、従来は最適化が困難であった多目標システムの最適化が、ニューラルネットワークの応用によって可能になることを、構造物の最適設計とコンクリートの最適配合設計の例によって示すことがある。本論文は7章からなっており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は「序論」であり、本論文の研究の目的および概要と本論文の構成について述べている。

第2章では「多目標システムの最適化手法としての目標計画法」をまとめている。目標計画法のアルゴリズム、逐次線形化法による解法、対話型目標計画法、ファジィ目標計画法などについて説明を行った後、他の多目標最適化手法との比較を行っている。多目標最適化手法のほとんどが、多目的計画法問題の解法であるのに対して、目標計画法は多目的計画法を含み、色々なタイプの目標が扱え、優先度の表現が豊かであるなど汎用性を持っていることを示している。

第3章では「目標計画法による構造物の多目標最適設計」をまとめている。構造物の最適設計に目標計画法を応用することによって、数理モデルによって表現できる多目標システムの場合には、目標計画法が優れた最適化手法となることを明らかにしている。第2章と第3章から得られた結論は以下の通りである。

- (1) 目標計画法は『目的関数の最小化（最大化）』以外へ目標を拡大することができ、また、タイプの異なった目標を同時に扱うことができ、汎用性がある。このことによって実際の多目標システムの最適化で必要となる種々の目標に柔軟に対応できる。
- (2) 多目標システムの最適化では、目標を達成する優先度が重要な役割を持つが、

目標計画法では優先順位と重み係数によって優先度の表現が可能であり実際問題における優先度に対応できる。ただし、優先度を重み係数で与える場合にはその比率と目標の達成度は一致しないのが普通であり、重み係数の決め方は簡単ではない。

- (3) 多目標最適化問題では目標が競合しているため、1回の最適化計算によって最適解を決定することは難しく対話的に対処することが必要となる。その場合、目標計画法では目標の緩和と引き締めおよび優先度の変更によって候補解のトレードオフが簡単にできる。
- (4) 目標のタイプ、目標達成の優先度、対話型手法の3つの内容を活用することによって、多目標最適構造設計で生じる色々な問題に対応することが可能であり、この点で他の多目標最適化手法より優れている。
- (5) 目標計画法とファジィ目標計画法では本質的な差異はないが、『ファジィ』目標計画法とすることで『尺度の異なる差異の基準化』の問題を考える必要がなくなる、差異が0~1に基準化されているので重み係数が比較的有効に働く、メンバーシップ関数が常に目標に対する達成度を表していることから達成度の把握がしやすくなる、などの利点がある。

第4章では「多目標システムの最適化手法としてのニューラルネットワーク」をまとめている。ニューラルネットワークの学習アルゴリズム、学習に際しての諸設定、『解析器』、『最適化器』、『異なる設計条件に対応した最適化器』としての応用について説明を行っている。

第5章では「ニューラルネットワークによる構造物の多目標最適設計」をまとめている。典型的な数理モデルである構造物の最適設計に対してニューラルネットワークの応用を試みているが、すべての計算例において、設計結果を目標計画法によって検証することによって、ニューラルネットワークが多目標システムの最適化手法として有効であることを明らかにしている。第4章と第5章から得られた結論は以下の通りである。

- (1) ニューラルネットワークを解析器として応用した場合は、最適化に従来型の最適化手法（非線形計画法、目標計画法など）を必要とするのでそのメリットは小さい。
- (2) 最適化器として応用した場合は、最適化に従来法を必要とせず、従来法に比べて極めて簡単な理論・アルゴリズム・計算プログラムによって最適化が可能となる。
- (3) 設計条件を入力に含めた最適化器の場合には、異なる設計条件（設計条件の変更）に迅速に対応した最適化が可能になる。すなわち、設計条件を頻繁に変更しながら、リアルタイムにて最適設計を必要とする場合には、ニューラルネットワークは数理的最適化手法より優れた最適化手法となり得る。
- (4) モジュール型ネットワークの利用によって、目的関数や制約条件の追加や削除が簡単にできる。この点も従来の数理的最適化法にないニューラルネット

ワークの優れた点である。

- (5) 対話型最適設計の場合でも従来型の数理的最適化法を用いず、ニューラルネットワークのみで実行することが可能である。
- (6) ニューラルネットワークは近似法であるため、最適解の精度は従来法に比べて劣るが、学習条件の工夫によって、より推定精度の高いネットワークの構築が可能であり、そのことによって解析と最適化の精度を上げることが可能である。
- (7) 全体的にみれば、ニューラルネットワークを応用した最適化手法は、従来型の数理的最適化手法である目標計画法に匹敵するといえる。

第6章では「ニューラルネットワークによるコンクリート配合のデータ解析と最適配合設計」をまとめている。典型的な非数理モデルであるコンクリート配合のデータ解析と最適配合設計にニューラルネットワークの応用を試みている。その結果明らかになったことは以下の通りである。

- (1) 実験データを用いて構築された解析器としてのニューラルネットワークは、従来型の数理的最適化法に組み込んで最適化ができる。すなわち、非数理モデルにおいても数理モデルと同じように最適設計が可能になる。解析器（写像関係）はニューラルネットワーク以外の方法によって構築してもよいが、多入力-多出力の場合にはニューラルネットワークが有利である。
- (2) 解析器としてのニューラルネットワークを用いると簡単にデータ解析が可能になる。従来のデータ解析法である多変量解析と比較すると、ニューラルネットワークは推定能力や複雑なシステムへの適応性が格段に優れている。データ解析や多変量解析との比較は、最適化という本論文の大筋からややはざれるが、解析器がそれ自体有用であることを示すためデータ解析の例や多変量解析との比較を示している。
- (3) 解析器としてのネットワークはそのまま最適化器として応用できるのであって従来法を用いる必要はなく、実際にはニューラルネットワークだけで最適化を行うのが自然である。入力や出力に離散値や定性的データ、カテゴリーデータが含まれている場合には従来法では対応が難しいが、ニューラルネットワークによれば比較的簡単に対応できる。
- (4) 設計条件に離散値を割り当てたり、目的関数に定性的データを割り当てても最適化が可能である。すなわち、最適化手法としてのニューラルネットワークの有効性と汎用性は、数理モデルの構造最適設計よりもこのような非数理モデルの応用例において明らかになる。
- (5) 土木工学における多目標システムには、数理モデルによって表現できないものが多くあり、そのようなシステムの最適化がニューラルネットワークによって可能になる。

第7章は「結論」であり、本論文の主要部分を構成している第2章から第6章までの内容をとりまとめ、各章で得られた主な研究成果を要約し記述している。