

称号及び氏名	博士（工学） 川崎 正秀
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 31 日
論文名	「シナリオを想定した多目的計画法」
論文審査委員	主査 長澤 啓行 副査 辻 洋 副査 石淵 久生 副査 森澤 和子

## 論文要旨

製品が多種多様化しライフサイクルが短くなり、インターネットによるグローバルな電子商取引やサプライチェーンマネジメントが発達する中で、顧客の需要に迅速に対応する生産システムの開発が重要である。そこでは、従来からのコスト最小化に加えて、顧客満足最大化や在庫量削減など互いに競合する複数の目的を同時に最適化する多目的最適な生産計画が求められている。同時に、機械の故障で加工時間が延びたり、顧客の都合で発注仕様や納期が急に変更されるなど生産システムを取り巻く環境条件の不確実性も高まっており、これらに対する柔軟な対応が求められている。

多目的計画問題においては、考慮すべき複数の評価基準が互いに競合するため、すべての評価基準に対して同時に最適となる解が存在しない場合が多い。価値関数により意思決定者の選好構造を同定し、多目的計画問題を価値最大化問題に変換して選好解を求める方法や、価値関数の存在を暗に仮定しながら、解の探索過程で意思決定者から選好情報を対話方式で引き出し、局所的に価値関数を同定しながら選好解を決定する方法などが提案されてきた。しかし、選好構造を価値関数として表したり、解の探索過程での部分的な情報だけでは選好判断が難しい場合には、選好解の候補集合として、非劣解集合をまず生成し、その中から意思決定者が選好解を直接選択する方法が有効である。特に、意思決定者の選好構造に「評価基準値が小さいほど好ましい」という強意の単調性が成り立つ場合には、非劣解集合の中に選好解が存在するため、この方法がよく用いられる。ところが、従来の研究では、モデルのパラメータは確定的であると仮定しており、加工時間や納期などが急に変わると、事前に策定した選好解や非劣解集合の最適性や非劣性が保証されなくなる。したがって、このような環境条件の不確実性を前もって考慮して生産計画を立案する必要がある。

この不確実性を考慮する方法として、モデルのパラメータを確率変数として扱う方法が考えられるが、生産計画ではパラメータを確率的に扱えない場合も多い。たとえば、工場などでは熟練作業者が急に休んだり、専用設備が急に故障して汎用設備で対応しなければならない場合があるなど、作業時間分布の平均等のパラメータ自体が大きく変わる場合がある。また、納期などのように確率分布を用いて表すことが困難なパラメータもある。そこで、このような場合に、不確実性をいくつかのシナリオによって表現し、シナリオごとにパラメータの値を所与としてモデル化する試みが種々なされてきた。不確実性をシナリオによって表す場合には、想定される複数のシナリオに対する解の頑健性評価が重要になる。これまでに、各シナリオの下での最適解に対する解の相対誤差の最大値や絶対誤差などを用いて「頑健な解」が定義されてきた。しかし、それら

の多くは単一目的計画問題を対象としており、多目的計画問題における非劣解集合に対してこれらを単純に適用することはできない。また、多目的計画問題を対象として解の頑健性を論じた研究もいくつか存在するが、いずれも特定のモデルに対応したものであり、シナリオを想定した一般的な多目的計画問題を対象とした方法論はまだ示されていない。

本論文は、モデルのパラメータの不確実性を複数のシナリオとして表し、シナリオごとにパラメータの値を与える一般的な多目的計画モデルを定式化し、各シナリオの下での評価基準ベクトル最小化を行なう場合、またはシナリオ生起確率に基づく期待評価基準ベクトル最小化を行なう場合のそれぞれに対して、解の頑健性を定義し、頑健な近似非劣解集合の生成法または頑健な選好解の探索法を提案したものである。

本論文は7つの章により構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では、多目的計画法と環境条件の不確実性を考慮した計画モデルに関する従来の研究を概観したうえで、本研究の目的と本論文の構成について述べた。

第2章「シナリオを想定した多目的計画モデル」では、複数のシナリオを想定した一般的な多目的計画モデルを定式化し、それらのシナリオをシナリオ生起確率に基づく期待評価基準ベクトル最小化で総合評価する場合の非劣解集合を定義した。期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合が各シナリオの下での非劣解集合の和集合と一致するとは限らないため、各シナリオの下での非劣解集合と期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合の関係をまず明らかにし、その関係を用いて期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合を効率的に生成する方法を提案した。平均滞留時間および最大納期遅れ時間を最小化する2目的単一機械スケジューリング問題に提案法を適用し、シナリオごとの非劣解集合が他のシナリオで極端に劣化しない場合には探索範囲を限定する方法が効果的であり、期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合を効率よく生成できることを数値実験で示した。

第3章「シナリオ期待値評価による頑健な近似非劣解集合の生成法」では、シナリオの生起確率に基づく期待評価基準ベクトル最小化を行なう場合に、シナリオ生起確率に見積誤差が含まれることを想定した多目的計画モデルを定式化した。シナリオの生起確率が異なると期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合も異なる可能性があり、生起確率の見積誤差が大きい場合には想定した生起確率の下で生成された非劣解集合が真の生起確率の下での非劣解集合と大きく異なることも考えられる。そこで、まず、想定される生起確率の下での非劣解集合に対する任意の解または解集合の近さを評価するための尺度として3種類の近接度を定義した。これらを用いて生起確率の変化に対する非劣解集合の感度分析を行ない、シナリオ生起確率の見積誤差に対する解集合の頑健性を検討した。5種類の頑健な(近似)非劣解集合を定義し、それぞれについて最も確かだと思われる参照生起確率の下での期待評価基準ベクトルについて非劣性を有する頑健な近似非劣解集合の生成法を提案した。数値例により、頑健な近似非劣解集合を生成することの重要性を示し、提案法によって得られる近似非劣解集合が頑健であることを示した。

第4章「シナリオ期待値評価による頑健な選好解の探索法」では、意思決定者の選好構造があらかじめ価値関数として与えられている場合を想定し、非劣解集合の中から選好解を選択するのではなく、期待評価基準ベクトルの価値を最大化する選好解を直接探索する方法を提案した。まず、価値関数に強意の単調性が成り立つとの仮定の下で、所与のシナリオ生起確率に基づく期待評価基準ベクトルの価値を最大化する選好解と各シナリオの下で評価基準ベクトルの価値を最大化する選好解の間を検討することにより、シナリオの生起確率によらず期待評価基準ベクトル最小化の選好解の探索範囲を限定する方法を示した。次に、シナリオの生起確率に見積誤差が含まれる場合を想定し、この見積誤差に対する解の頑健性を価値関数を用いた近接度により定義した。さらに、その近接度の値を用いた評価関数を導入し、評価関数値が最小となる解を「頑健な選好解」と定義し、その探索法を提案した。提案法により、頑健な選好解が得られることを数値例で示した。

第5章「シナリオ個別評価による頑健な近似非劣解集合の生成法」では、シナリオの生起確率に基づく期待評価基準ベクトルによって解の評価を行なうのではなく、シナリオの生起確率を考慮

せずにシナリオごとの評価基準ベクトルによって解の評価を行なう場合に対して、頑健な近似非劣解集合の生成法を提案した。その際、まず、解の頑健性を評価するための近接度を4種類定義し、想定したすべてのシナリオの下で近接度の値が許容値以内である解を「頑健」と定義した。そして、最も起こると思われる参照シナリオの下で非劣性を有する頑健な近似非劣解集合の生成法を提案した。数値例により、4種類の近接度のいずれにおいても、提案法によれば想定したどのシナリオの下でも当該近接度の値が小さく頑健な近似非劣解集合を生成できることを示した。

第6章「シナリオ個別評価による動的に頑健な近似非劣解集合の生成法」では、計画の実行途中にシナリオが変わることを想定し、解の動的な頑健性について議論した。計画実行途中にシナリオが変わった段階でリアルタイムに解を変更することも考えられるが、本研究では、解の変更は考慮せず、シナリオが計画実行途中で変わっても評価基準ベクトルが大きく悪化しない解が好ましいと考え、まず、シナリオが計画期間内の任意の時刻に変化した場合の各非劣解集合と実行可能解との近接度を定義した。そして、シナリオ変更時刻の変化に伴う近接度の分布関数を求めて、確率論的順序付けに基づく動的近接度のランクを定義し、解の動的頑健性を評価した。この動的近接度のランク値を用いて、最も起こると思われる参照シナリオの下で非劣性を有する動的に頑健な近似非劣解集合の生成法を提案し、数値例によりその有効性を示した。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果を総括した。

## 審査結果の要旨

本論文は、競合する複数目的の最適化を図る多目的計画法において、環境条件の不確かさに柔軟に対応するため、将来起こりうるいくつかの状況をシナリオで表し、起こりうるシナリオの変化に対して頑健な非劣解集合および選好解を求める方法を提案したものであり、次のような成果を得ている。

- (1) 複数のシナリオを想定した一般的な多目的計画モデルを定式化し、「各シナリオの下での評価基準ベクトル最小化の非劣解集合」と「各シナリオの生起確率に基づく期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合」の関係を理論的に解明している。これに基づき、期待評価基準ベクトル最小化の非劣解集合の効率的生成法を提案している。
- (2) シナリオ生起確率に基づく期待評価基準ベクトル最小化の多目的計画モデルにおいて、生起確率に見積誤差が含まれる場合を取りあげ、最も確かだと思われる参照生起確率の下で非劣性を有し、見積誤差に対して頑健な近似非劣解集合の生成法を提案している。また、この状況の下で意思決定者の選好構造が価値関数として与えられた場合に対して、頑健な選好解を定義し、その探索法を提案している。
- (3) シナリオごとの評価基準ベクトル最小化を行なう多目的計画モデルにおいて、各シナリオの下での非劣解集合に対する近さを静的な近接度として表し、この近接度により解の頑健性を定義し、最も起こると思われる参照シナリオの下で非劣性を有する頑健な近似非劣解集合の生成法を提案している。
- (4) 計画の実行途中でシナリオが変わる場合を想定し、最初に策定した解を実行途中で変更することなく最後まで実行することを前提に、シナリオの変化に対する解の動的な近接度および動的頑健性を定義している。これに基づき、シナリオがどの時刻に変化しても近接度が許容範囲内できるだけ小さくなる動的に頑健な近似非劣解集合の生成法を提案している。
- (5) 提案した頑健な近似非劣解集合の生成法および頑健な選好解の探索法を、加工時間と納期が異なる複数のシナリオを想定した多目的スケジューリング問題に適用し、数値実験により提案手法の有効性を示している。

以上の研究成果は、経営工学分野における多目的最適化手法の発展に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。