

平成21年 5月25日現在

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2007～2008
課題番号：19300003
研究課題名（和文） 離散最適化ソフトウェアHOPEの拡張と応用
研究課題名（英文） The Expansion and Application of Discrete Optimization Software, HOPE
研究代表者 仲川 勇二（NAKAGAWA YUJI） 関西大学・総合情報学部・教授 研究者番号：60141925

研究成果の概要：

本研究において、仲川が開発した離散最適化ソフトウェア HOPE を改良することにより、制約条件数および変数の数が多い大規模な最適化問題に対しても、実用的な計算時間内に、厳密解が確実に得られるようになった。さらに、応用面として、従来厳密解を得ることが困難であった、信頼性最適化問題、金融工学、及びマーケティング問題等へ HOPE を適用して、厳密解を実用的な時間内で得ることができるようになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
年度			
年度			
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：数理工学，改良代理制約法，金融工学，経営学，多目的最適化

1. 研究開始当初の背景

(1) 複数の制約条件式をもつ非線形整数計画問題に対して、複数の制約条件式を単一の制約条件式で代理させる代理制約法は、非常に計算効率の良い解法である。しかし、代理双対問題の最適解が原問題の実行可能解とならない（代理双対ギャップをもつ）ことが多く、厳密解をもたらさないことが多い。仲川は、この代理双対ギャップを閉じ、原問題の厳密解を求めることができる改良代理制約法を提案した（日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌 2003年）。この仲川が開発した改良代理制約法等を用いた離散最

適化ソフトウェア HOPE (Hybrid Optimization Process Equipment) は、多次元非線形ナップザック問題の厳密解を高速に求めることができるソフトウェアである。このソフトウェア HOPE は、小規模問題の厳密解は得ることができていた。制約条件数および変数の数が多い大規模問題に対しても、厳密解が確実に得られることと、計算時間の更なる高速化が求められていた。

(2) 従来、HOPE の適用分野として、信頼性最適化問題に適用して、ヒューリスティック法により近似解しか求められていなかった

困難な問題に対して、実用的な時間内で厳密解を求めることに成功していた。その成果は、電子情報通信学会論文誌 (J88-A, 2005 年) に掲載された。この HOPE を工学以外の経済学、経営学等の広い分野における諸問題に適用し、応用範囲を広げ、実用性をより高める必要性があった。

2. 研究の目的

(1) 本研究課題の目的は、離散最適化ソフトウェア HOPE の拡張と改良であり、大規模な最適化問題に対しても、厳密解が確実に得られるようにすることと、計算時間の更なる高速化である。

(2) 以下の項目に対して、理論的な研究を進めることである。

①インデックス・プラス・アルファファンドの実用化に関する研究

②複数制約を有する多目的最適化問題の厳密解を求めるための解法アルゴリズムの開発およびその応用

③エントロピー (平均情報量) を用いた問題困難度による問題分割法のグリッドコンピューティングへの応用

④エントロピーを用いた問題困難度による問題分割法の非 0-1 (多値) 問題への拡張

⑤非線形ナップザック問題の暗号化技術への応用

(3) 離散最適化ソフトウェア HOPE の応用分野として、従来適用されている信頼性最適化問題をはじめとする工学分野のほかに、経済学、経営学等の広い分野における諸問題に HOPE を適用していくことである。

3. 研究の方法

(1) ソフトウェア HOPE における一連の拡張と改良は、仲川が主として行った。この補助業務を、隆祥産業 (株) に業務委託した。

(2) 実際のデータを用いた大規模例題としては、日経 225 の中から連動する 50 銘柄を選択するインデックスファンド問題に HOPE を応用し、95 年 4 月から 98 年 3 月の実データに対して極めて高い精度の解を求めることに成功していた (電子情報通信学会論文誌, 2005 年掲載)。HOPE による、インデックスよりもアルファだけ高い収益が得られる、インデックス・プラス・アルファファンドの実用化は仲川が行い、それに向けた実証実験は、

隆祥産業 (株) に業務委託した。理論に関しては、適宜、海外協力者である Edirisinghe の協力を得た。更に、Edirisinghe の協力を得てインデックス・プラス・アルファファンドのための投資配分比率の変更 (リバランス) 方法についても研究した。

(3) 仲川等は、単一制約の非線形分離型多目的離散最適化問題の効率的解法アルゴリズムを提案している (European Jour. Operational Research 誌, 2005 年)。このアルゴリズムを、複数制約を有する多目的問題に拡張したアルゴリズムおよびソフトウェアを開発すると共に、各種の分野の問題への応用を試みた。この複数制約を有する多目的最適化問題の厳密解を求めるためのアルゴリズムの開発と応用は、仲川および連携研究者である村田が行い、適宜海外協力者である R. J. W. James 及び C. Rego の協力を得た。

(4) エントロピーによる問題困難度推定法を用いて、大規模で計算困難な最適化問題を計算可能な複数の問題に分割する方法を仲川が提案している (電子情報通信学会論文誌, 2004 年掲載)。この方法を、非 0-1 問題 (多値) への拡張、及びグリッドコンピュータへの応用に関しては、仲川と連携研究者である村田が行い、適宜海外協力者である R. J. W. James 及び C. Rego の協力を得て、大学院生により実証実験を行った。

(5) 非線形ナップザック問題の暗号化技術への応用に関しては、線形のナップザック暗号を改良し、非線形ナップザック暗号として暗号技術へ応用した。この研究は、仲川が主として行い、適宜海外協力者の高岡忠雄の協力を得た。

(6) HOPE の経営学への応用として、社会におけるリスク最小化問題は阿辻と施が主として担当した。

(7) マーケティングサイエンスへの応用問題は、マス・カスタマイゼーションを考慮に入れた新しい製品設計システムの構築を行った。仲川が、マス・カスタマイゼーションの専門家である海外協力者の遠藤誠二の協力を得て行った。

4. 研究成果

本研究課題を進めて、成果の進んだものを以下に述べる。

(1) 本研究課題において、ソフトウェア HOPE の改良により、大規模問題に対しても、厳密解が確実に、しかも実用的な計算時間内で得られるようになった。工学分野での応用として信頼性工学の分野では、約 10 年間、

厳密に解くことはもとより、良い近似解を見つけることも難しい“超難問”である信頼性最適化問題 33 問に対して、1 秒以下で厳密解と保障された解を見つけることに成功している。この研究成果 (IEEE Trans. on Reliability 2007 年掲載) に対して、IEEE のレフェリーからは明らかな “breakthrough” があると高い評価を受けた。

さらに、実数値をとる非線形混合整数計画問題であるため、従来厳密解を求めることが困難な信頼性システムの冗長配分問題に対しても、実用的な時間内に厳密解を求めることができた (電子情報通信学会論文誌 2008 年掲載)。

(2) 従来、常識的に離散最適化問題を解く場合、組合せの爆発を抑えるために連続最適化技術を用いていた。本研究課題でのインデックス連動ファンダへ HOPE を適用した成果は、逆に連続変数の非凸で解くことが難しい問題に対して、非線形ナップザック問題へ変換することにより、離散最適化厳密解法技術を用いて解くことに成功したことにある。このインデックス連動ファンダ作成技術を、インデックスよりもアルファだけ高い収益が得られるインデックス・プラス・アルファ作成へ HOPE の適用拡張は、隆祥産業 (株) に業務委託したことにより、平常時は約 80% 安定したポートフォリオを作成することに成功している。この成果の一部は、仲川が INFORMS Annual Meeting, Washington 2008 において招待講演を行った。さらに、海外のジャーナル (A+ランク) に現在投稿中である。

(3) 仲川が提案した、エントロピーを用いた多次元非線形ナップザック問題のための問題困難度推定法を用いて、大規模で計算困難な問題を計算可能な複数の問題に分割し、改良代理制約法の並列処理アルゴリズムと組み合わせることで、より高速に最適解を得られることを実証した (電子情報通信学会論文誌 2009 年掲載)。

(4) エントロピーを用いた問題困難度による問題分割法を非 0-1 (多値) 問題へ拡張することができ、大規模な最適化問題を複数の問題に分割して、原問題の厳密解を実用的な計算時間内で求めることができた。その成果の一部は、日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会 (2008 年 3 月 26 日) において発表された。さらに、現在、研究成果をまとめて Management Science へ投稿中である。

(5) HOPE の応用分野であるマーケティングへの応用として、紙面別接触状況を考慮した

新聞広告最適出稿計画問題において、適切な設定を行えば目的関数が分離可能になることに注目し、それを非線形ナップザック問題として定式化し、厳密解を求めることができた (日本 OR 学会論文誌 2008 年掲載)。この結果、新聞を例に現実的な規模のメディアプラン最適化問題の厳密解が求めることが可能であることが数値実験から明らかになった。しかも定式化において、単純に部数だけでなく、目的関数を多目的に拡張し、パレート最適解を求めているので、広告主の様々な要求に対して、フレキシブルに定式化が可能であることを示唆している。

(6) マス・カスタマイゼーション・システムにおけるカスタマイズ製品群の属性水準の選択問題を多目的非線形離散最適化問題と見なし、これに HOPE を適用して、 8.8×10^{18} 種類に及ぶ膨大な種類のマス・カスタマイズ製品のなかから所与のターゲット値に対応する「正確に」パレート最適解の集合を容易かつ迅速に求めることに成功した。ターゲット値の設定の仕方を変えることによってパレート最適解集合を変容させることができるので、いかにマス・カスタマイゼーション・システム上の複雑な注文過程へのコミットメントが高いかを勘案しつつ、マス・カスタマイゼーション・システムに含ませる属性水準を、より一層柔軟に、しかし、正確性を保ちつつ取捨選択できる様子が描写できた (慶應義塾大学商学会 ディスカッションペーパーシリーズ 2008 年掲載)。

(7) 複数の制約条件を持つ二目的非線形ナップザック問題に対して、意思決定者が希望する領域の有効解 (パレート最適解) を “厳密” に求める改良代理制約法を用いた対話型有効解列挙アルゴリズムを提案できた。この “厳密” とは、1) 有効解であることが厳密に保証されていることと、2) 隣り合う有効解の間に厳密な意味で欠けがないという二重の意味での厳密である。

また、Sayin and Kouvelis (Management Science 2005 年) と同様の方法で生成したテスト問題を用いて、彼らのアルゴリズムよりも短い計算時間で、かつはるかに精度の高い有効解集合を求めることに成功した。

この研究成果は、日本経営工学会論文誌へ投稿中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

① 岡田佑一, 仲川勇二, 高岡忠雄, 村田忠彦, 改良代理制約法による並列化計算, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A, pp. 127-130, 2009, 査読有り

② 尾上洋介, 木村作郎, 仲川勇二, 非線形混合整数計画問題である信頼性最適化問題の多次元非線形ナップザック問題化による厳密解法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J91-A, pp. 1229-1232, 2008, 査読有り

③ 伊佐田百合子, 井垣伸子, 山川茂孝, 仲川勇二, 紙面別接触状況を考慮した新聞広告最適出稿計画問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌, Vol. 51, pp. 54-70, 2008, 査読有り

④ 小野晃典, 遠藤誠二, 仲川勇二, 多目的非線形離散最適化問題としてのマス・カスタマイゼーション・システムにおける製品ライン決定問題に関する一考察, 慶應義塾大学商学会 ディスカッションペーパーシリーズ, No. 802, pp. 1-17, 2008, 査読無し

⑤ J. Onishi, S. Kimura, R. J. W. James, Y. Nakagawa, Solving the Redundancy Allocation Problem with a Mix of Components using the Improved Surrogate Constraint Method, IEEE Trans. on Reliability, Vol. 56, No. 1, pp. 94-101, 2007. 査読有り

[学会発表] (計 2件)

① Y. Nakagawa, R. James, C. Rego, F. Glover, An interactive surrogate constraint method for non-separable nonlinear optimization and its application to an index-plus-alpha portfolio optimization problem, INFORMS Annual Meeting Washington, D. C. 招待セッション講演, 2008年10月15日発表(10月12日~15日開催), Washington

② Y. Nakagawa, R. James, C. Rego, Entropy of Problem Difficulty and Improved Surrogate Constraint method for Multidimensional Nonlinear Knapsack Problems, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会, 2008年3月26日, 京都情報大学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

仲川 勇二 (NAKAGAWA YUJI)
関西大学・総合情報学部・教授
研究者番号: 60141925

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

阿辻 茂夫 (ATSUJI SHIGEO)
関西大学・総合情報学部・教授
研究者番号: 40202642

施 學昌 (SHYI SHAE-CHANG)
関西大学・総合情報学部・教授
研究者番号: 10215931

村田 忠彦 (MURATA TADAHIKO)
関西大学・総合情報学部・准教授
研究者番号: 30296082

(4) 研究協力者

隆祥産業(株)(高松市)
HOPE の拡張と改良の補助業務とインデックス・プラス・アルファファンドの実証実験

海外研究協力者

R. J. W. James・カンタベリー大学・上級講師
複数制約多目的問題のアルゴリズム開発とエントロピーによる問題分割の応用

Fred Glover・コロラド大学・教授
複数制約多目的問題のアルゴリズム開発とエントロピーによる問題分割の応用

Cesar Rego・ミシシッピ大学・准教授
HOPE の応用研究および理論的研究

高岡 忠雄・カンタベリー大学・教授
HOPE の並列計算機での利用及び非線形ナップザック問題の暗号化技術への応用

遠藤 誠二・ミシシッピ大学・准教授
HOPE のマーケティングサイエンスへの応用

N. C. P. Edirisinghe・テネシー大学・教授
インデックス・プラス・アルファファンドの応用研究