

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月27日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22651058

研究課題名（和文）

初期計画と適応的変更計画の同時生成を可能とする最適化モデルの開発

研究課題名（英文）

Optimization Model for Initial Planning and Adaptive Modification

研究代表者

森田 浩 (MORITA HIROSHI)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：60210176

研究成果の概要（和文）：

初期の計画作成と不確実性に対して適応的な変更を考慮した最適化モデルの構築に取り組んだ。さまざまな分野の現実問題を取り上げて数理モデルや不確実事象を系統的に分類し、時空間ネットワークや混合整数計画問題を適用して最適化モデルを表現した。いろいろな不確実要素をもつ応用例として、リスク適応型プロジェクト計画、電気自動車の充電スケジューリングシステム、スマートハウスにおけるエネルギー管理システム、自動搬送車と生産スケジュールの統合システム、観光経路探索システムなどを取り上げ、それらの最適化モデルとその解法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

We have considered the optimization models for initial planning and adaptive modification for uncertainty. We treated various problems appeared in a real world to characterize the mathematical models to be used and uncertain factors appeared in these problems, systematically. The time space network and mixed integer programming technique are mainly utilized to the proposed adaptive optimization model. We have proposed the optimization models and their solution algorithms for several practical problems including various uncertain factors, such as a risk-adaptive project scheduling, a charge scheduling system for electric vehicles, an energy management system for smart house, an integrated scheduling system for production planning and automatic guided vehicle routing, and a recommendation system of sightseeing route.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	700,000	0	700,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,400,000	510,000	2,910,000

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システムA

キーワード：最適化モデル、不確実性、適応的最適化、時空間ネットワーク、エネルギー管理システム

1. 研究開始当初の背景

実社会の生産・物流分野においては、さま

ざまな状況の広範囲かつ正確な把握と的確な実施計画の策定が求められる。また、実施

段階での状況変化に対して柔軟に対応できることも重要であり、これらの要求を満たす実用性に富んだ最適化モデルおよびその効率的な解法アルゴリズムの開発が必要不可欠である。

現在、計算機性能の向上と最適化手法の発展により、高性能なアルゴリズムを実装した商用ソフトウェアが市場に多く現れ始めている。その一方で、生産・物流分野の多くの現場では、計画段階においては不確実な情報しか得られないこと、また実施段階における想定していないあるいは突発的な事象への対応により、当初の計画からの変更がたびたび求められることが多い。しかし、既存ソフトウェアでは対応が困難である場合が多く、実際は現場の人間の経験と勘に頼り、計画を立て直しやその都度修正するという非効率な状況が生じている。

近年、これら不確実性を取り扱うため、確率計画法やロバスト最適化に基づく生産・物流計画の解法が提案されている。しかし、確率分布の推定が困難な場合に対応できないとか、実施段階での計画変更を考慮していないなどの問題点から、より実用的な最適化モデルおよびアルゴリズム開発の重要性が増している。

2. 研究の目的

実社会の生産・物流分野においては、さまざまな状況の広範囲かつ正確な把握と的確な実施計画の策定が求められる。また、実施段階での状況変化に対する柔軟な対応が重要であり、これらの要求を満たす実用性に富む最適化モデルおよび解法アルゴリズムの開発が必要不可欠である。

計算機性能の向上と最適化手法の発展により、高性能なアルゴリズムを実装した商用ソフトウェアが市場に多く現れ始めている。その一方で、生産・物流分野の多くの現場では、計画段階において不確実な情報しか得られないこと、また実施段階における想定外の突発的な事象への対応により当初の計画からの変更がたびたび求められることなどが生じている。これらの問題は、既存ソフトウェアでは対応が困難である場合が多く、実際には現場の人間の経験と勘に頼り、計画を作成しなおしたり修正したりするという非効率な状況が生じている。

近年、これら不確実性を取り扱うために、確率計画法やロバスト最適化に基づく生産・物流計画の解法が提案されている。しかし、確率分布の推定が困難な場合には対応できないとか、実施段階での計画変更を考慮していないなどの問題点から、より実用的な最適化モデルおよびアルゴリズム開発の重要性が増している。

このような状況において、本研究では、現

実の生産・物流分野において、計画段階でさまざまな状況を想定した最適初期計画だけでなく、実施段階での状況変化に対して初期計画から最適かつ容易に適応的変更が可能な計画群を同時に導出する最適化モデルの提案とその解法アルゴリズムの開発を行う。この最適化モデルの実現により、現場における適応性・実用性が飛躍的に向上する新たな最適化手法およびアルゴリズム理論の数理的基盤の基礎構築を行う。さらに、生産・物流分野のみならず、広く一般に計画・実施段階でさまざまな不確実性が存在する実問題に対して、現実的な計算時間で非常に良質の意思決定が可能となるシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

本研究ではまず、生産・物流分野の問題において起こり得るさまざまな状況を想定した頑健性と、微少な変更で状況変化に対応が可能となる柔軟性を数理的に表現した最適化モデルを構築する。この提案モデルに対して最適化手法を用いて計画段階での最良初期計画を作成するとともに、実施段階での状況変化に従って適切なタイミングで初期計画を適応的に変更できる数理的かつ実用的な解法アルゴリズムを開発する。

また、生産・物流分野をはじめとして、エネルギー管理システムなどのいくつかの応用事例に提案手法を適用し、その実用性を検証する。計画段階での確定的な計画立案よりも、実施段階で生じる想定外の事象へ柔軟に対応が可能な計画作成が望まれており、本研究では、実施段階に関わる現場の人間やユーザの価値判断の基準を数理モデルにも取り入れ、最適化手法の適用により、ユーザの満足する良質な意思決定を短時間で求める実用的な問題解決手法を開発する。

応用事例として、リスク適応型プロジェクト計画、電気自動車の充電スケジューリングシステム、スマートハウスにおけるエネルギー管理システム、自動搬送車と生産スケジュールの統合システム、観光経路探索システムなどを取り上げる。

4. 研究成果

解法アルゴリズムの実用性に焦点を当て、予測困難な事象を含む問題に焦点を当てた計画作成と適応的変更を同時に考慮した最適化モデルの構築を行った。生産・物流分野および新エネルギーの運用管理の諸問題に対して、離散最適化や連続最適化および制約条件の数式表現方法などの特徴に基づき、混合整数計画問題を集合被覆問題と線形制約をベースとした連続最適化を利用して良好な近似解を得る方法や時間的な動きを表現することのできる時空間ネットワークモ

デルを用いた最適化モデルを構築した。

不確実性の程度に応じて担保するロバスト性を適応的に変化させる適応的最適化の概念の実現に向けていくつかの現実問題への適用を行った。生産・物流分野だけでなくエネルギー管理システムや経路探索などの問題に対する数理モデルや不確実事象を系統的に分類し、最適化問題に組み込む際の表現方法として、時空間ネットワークや混合整数計画問題を適用した。

特にスマートグリッドなどの新しいエネルギー管理システムにおける効率的運用を実現するために、確率計画法やロバスト計画法の融合による最適化モデルや、適応的計画変更に対応できる適応的最適化モデルによって、不確実性を的確にとらえられるモデル化を構築した。集合住宅などの複数の電気自動車に対する充電スケジューリングでは、多段階計画問題によって多様な制約条件を満たしつつユーザの要求に応えられる充電スケジュールを提示することができた。また、電気自動車の充放電により使用電力のピークを下げるエネルギー管理システムにおいては、電気自動車の利用形態の急な変更にも対応しうるよう確率計画法におけるロバスト解を探索する充電スケジューリングシステムを構築した。さらに、太陽光発電と蓄電池を備えたスマートハウスにおける効率的なエネルギー管理システムの運用方策には時空間ネットワークを利用したモデル化を行い、多様なシステム構成に拡張展開することができることを示し、提案モデルによって運用方策の評価を統計的に解析した。工場における生産計画と自動搬送装置の経路計画の同時生成する統合モデルでは、多層的な時空間ネットワークを構成することで、効率的な解法アルゴリズムを示した。

この他にも、応用事例として、プロジェクト計画におけるプロジェクト完了時刻などの不確実性に適応的に対応できるクリティカルパス生成モデルの開発や観光地などでの情報提供システムにおいてさまざまなユーザ毎に要望に合った観光情報や観光経路を提示することを目指したユーザ指向型観光経路探索システムなどを取り上げ、提案した適用的最適化の適用を試みた。

これらによって、確率的計画法やロバスト計画法の融合による不確実な事象に対する頑健な計画の立案や、時空間ネットワークを用いた動的に変化する状況表現により良好な解を与える高速アルゴリズムの開発などを行い、その有効性を検証した。

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12件)

- ① Takashi Hasuike and Hideki Katagiri, Interactive decision making for uncertain minimum spanning tree problems with total importance based on a risk-management approach, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, pp. 4548-4560 (2013).
- ② Takashi Hasuike, Robust shortest path problem based on a confidence interval in fuzzy bicriteria decision making, *Information Sciences*, Vol. 221, pp. 520-533 (2013).
- ③ Yuta Hara, Shunji Umetani and Hiroshi Morita, A combined approach for production scheduling and routing of automated guided vehicles with layered time-space network, *Proceedings of the ASME 2012 International Symposium on Flexible Automation*, CD-ROM (2012).
- ④ Tsukasa Demizum Shunji Umetani and Hiroshi Morita, Optimal electric power management in a residential building using photovoltaic and storage battery, *Proceedings of the ASME 2012 International Symposium on Flexible Automation*, CD-ROM (2012).
- ⑤ Keisuke Murakami, Shunji Umetani and Hiroshi Morita, A two-probe routing model and an algorithm for MCM substrates testing, *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2011*, pp. 241-246 (2011).
- ⑥ Yuta Fukushima, Shunji Umetani, Hiroshi Morita, Susumu Iida and Misayo Kobayashi, Robust energy management system with electric vehicles, *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2011*, pp. 117-122 (2011).
- ⑦ Takashi Hasuike, On a robust cost-importance ratio shortest path problem, *International Journal of Innovative Management, Information and Production*, Vol. 2, No. 4, pp. 93-98 (2011).
- ⑧ Takashi Hasuike and Hideki Katagiri, Interactive decision making for a shortest path problem with interval arc lengths, *Proceedings of IEEE International Conference on Granular Computing*, pp. 237-241 (2011).
- ⑨ 村上 啓介, 森田 浩, 時間枠と不確実性を同時に考慮した配送計画問題のモデル化と解法, *日本機械学会論文集C編*, Vol. 76, pp. 3220-3229 (2010).
- ⑩ Keisuke Murakami and Hiroshi Morita, Hybrid model for the vehicle routing problem with stochastic demand, In-

ternational Journal of Applied Management Science, Vol. 2, no. 3, pp. 224-238 (2010).

- ⑪ Takashi Hasuike, A shortest path problem with random and interval variables for arcs based on conditional value at risk, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2010, pp. 371-375 (2010).
- ⑫ Takashi Hasuike, Fuzzy random shortest path problem using conditional value at risk, Proceedings of International Conference on System Science and Engineering 2010, pp. 439-444 (2010).

[学会発表] (計 18 件)

- ① 原 勇太, 梅谷 俊治, 森田 浩, ネットワーク容量を考慮した時間枠付き経路計画問題に対する解法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年春季研究発表会, 2013 年 3 月 6 日, 東京.
- ② 出水 幸, 梅谷 俊治, 森田 浩, 太陽光発電・蓄電池を用いた住宅規模での電力運用最適化, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年春季研究発表会, 2013 年 3 月 5 日, 東京.
- ③ Takashi Hasuike, Risk-control approach for bottleneck transportation problem with randomness and fuzziness, International Conference on Optimization Modelling and Applications, 2012 年 11 月 29 日 - 12 月 1 日, Delhi, India.
- ④ Takashi Hasuike, Risk control approach to critical path method in mathematical programming under uncertainty, The 21st International Symposium on Mathematical Programming, 2012 年 8 月 19 日-24 日, Berlin, Germany.
- ⑤ 出水 幸, 梅谷 俊治, 森田 浩, 太陽光発電・蓄電池を用いた住宅規模での電力最適運用計画, 京都大学数理解析研究所研究集会「最適化手法の理論と応用の繋がり」, 2012 年 7 月 23 日, 京都.
- ⑥ 蓮池 隆, CPM を用いた不確実・不確定状況下におけるクリティカルパスの求解, 京都大学数理解析研究所研究集会「最適化手法の理論と応用の繋がり」, 2012 年 7 月 23 日, 京都.
- ⑦ 蓮池 隆, 片桐 英樹, 津田 博史, ネットワークの信頼性・不確実状況下でのロバスト性を考慮したボトルネック型スパニングツリー問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年春季研究発表会, 2012 年 3 月 27 日, 横須賀.
- ⑧ 蓮池 隆, CPM を利用した不確実・不確定状況下におけるリスク回避型プロジェクト計画, 日本経営工学会『若手研究者による IE 探求』, 2012 年 3 月 2 日, 岡山.
- ⑨ 蓮池 隆, 片桐 英樹, ルートの重要性を考慮した不確実・不確定状況下での最短路問題, 京都大学数理解析研究所研究集会「不確実・不確定環境下における数論的意思決定とその周辺」, 2011 年 11 月 7 日, 京都.
- ⑩ 原 勇太, 梅谷 俊治, 森田 浩, 時空間ネットワークを用いた無人搬送車の搬送計画最適化, スケジューリング・シンポジウム 2011, 2011 年 9 月 24 日-25 日, 大阪.
- ⑪ 藤原 稔久, 諏訪 晴彦, 森田 浩, 処理時間の縮約を考慮した動的プロジェクトスケジューリングに関する研究, スケジューリング・シンポジウム 2011, 2011 年 9 月 24 日-25 日, 大阪.
- ⑫ 梅谷 俊治, こんなに使える最適化手法, 第 10 回情報科学技術フォーラム, 2011 年 9 月 7 日, 函館.
- ⑬ Keisuke Murakami, Shunji Umetani and Hiroshi Morita, Two-probe routing model and algorithm for multi-chip module substrates, Conference for the International Federation of Operational Research Societies, 2011 年 7 月 10 日 - 15 日, Melbourne, Australia.
- ⑭ 蓮池 隆, ロバスト性を考慮した不確実・不確定状況下での最小スパニングツリー問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「不確実性環境での意思決定科学」研究部会, 2011 年 6 月 11 日, 大阪.
- ⑮ 出水 幸, 福嶋 悠大, 梅谷 俊治, 森田 浩, 飯田 享, 小林 美佐世, ユーザ入力情報の不確実性を考慮した電気自動車の最適充電スケジューリング, 第 55 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2011 年 5 月 19 日, 吹田.
- ⑯ 藤原 稔久, 諏訪 晴彦, 森田 浩, プロジェクト管理における作業時間短縮を用いたリアクティブ戦略に関する基礎的研究, 第 55 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2011 年 5 月 19 日, 吹田.
- ⑰ 原 勇太, 梅谷 俊治, 森田 浩, 時空間ネットワークを用いた無人搬送車の搬送計画最適化, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 OR 横断若手の会, 2011 年 4 月 23 日, 京都.
- ⑱ Yuta Fukushima, Shunji Umetani and Hiroshi Morita, Total energy management system for electric vehicle operation using time-space network, INFORMS Annual Meeting 2010, 2010 年 11 月 7 日-10 日, Austin, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 浩 (MORITA HIROSHI)
大阪大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：60210176

(2) 研究分担者

梅谷 俊治 (UMETANI SHUNJI)
大阪大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号：80367820

蓮池 隆 (HASUIKE TAKASHI)
大阪大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：50557949