

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 16 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510198

研究課題名(和文)大規模確率計画問題の効率的解法の開発と投資リスク管理への応用

研究課題名(英文)Development of solution methods for large-scale stochastic programming problems and their application to risk management for investment and operation problems

研究代表者

椎名 孝之 (Shiina, Takayuki)

千葉工業大学・社会システム科学部・教授

研究者番号：90371666

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模確率計画法の解法および、投資決定や運用などの実問題への応用を考える。理論面では費用のばらつきを考慮した確率計画問題の解法を効率化した。また投資決定問題における期間にわたるリスクを示すPVaRの定義を定め、計算方法を開発した。確率計画法の応用として、サプライチェーンにおける拠点地間の在庫融通、発電機起動停止問題のスケジュール生成法、ロジスティクス・ネットワーク再編成問題、鉄道における列車の余裕時分の配分の最適化などを取り上げ、新たな数理計画モデルや解法を開発した。確率計画法は、多くのシステムの最適化問題に対して有効であるため、幅広い分野への適用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to study the theoretical aspects of stochastic programming problems and to develop algorithms to solve their applications to optimization problems in real systems. For the stochastic programming problem considering variance, we present the new solution algorithm which is effective to solve the problem. For the financial investment problem, we define a risk indicator named period value at risk (PVaR) to reflect market risk over a period of time and develop methods for calculating PVaR. For the applications of stochastic programming, inventory distributions between local warehouses, unit commitment problem, logistics network reorganization problem, and the allocation of a running time supplement to a timetable in railway are considered. The new formulations and the algorithms to solve problems are developed. These applications clearly show stochastic programming to be very valuable for solving the variety of real optimization problems.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：数理計画法 確率計画法 整数計画法 リスク測定 VaR サプライチェーンマネジメント 発電機起動停止問題 スケジュールリング

## 1. 研究開始当初の背景

様々な分野で発生する現実の数理計画問題では、不確実な状況下での意志決定を行わなければならない。そのため、現実のシステムに含まれる不確実な状況をモデル化し、確率的変動要素を考慮することが必要となる。このように不確実要素を直接モデルに組み入れた最適化手法は、確率計画法(stochastic programming)と呼ばれている。特に金融工学、投資決定、サプライチェーンマネジメント(Supply Chain management; SCM)および在庫管理、あるいは電気事業などにおいては、不確実な状況下での意思決定やリスク管理手法が重要であるため、理論と手法のより一層の進展が求められている。

確率計画法は、数理計画法の創始者である Dantzig らの 1950 年代の研究に起源を有する。計算機の発達につれて、実際に問題を解くアルゴリズムの研究が盛んになり、1980 年代以降 Birge らは、多段階の意志決定を含む大型問題を解くための解法アルゴリズムを開発するなどの成果を示した。大規模確率計画問題や、確率的整数計画あるいは目的関数が非凸計画となる場合は取り扱いが難しく今後の課題として残されている。

## 2. 研究の目的

現実の数理計画問題においては、多くの変動要因を含む。確率計画法はこれらの問題を解くための理論的な枠組を与える。特に金融、投資決定、あるいはサプライチェーンマネジメントなどの分野では確率的変動は多数のシナリオで表現される。そのため大規模確率計画法に対する解法の開発が必要であるが、効率的に解析する方法はまだ十分に示されていない。

本研究では大規模確率計画法の理論的な側面の研究を行い、投資決定とサプライチェーンマネジメントの問題に対して、市場変動をより正確に表現できるモデリング手法を検討し、これらのモデルに対する効率的な解法を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 確率計画法には罰金に対する償還請求(リコース)を有する確率計画問題というアプローチがあり、Benders の分解に基づく L-shaped 法による解法が知られている。

Mulvey らは、ばらつきに対するペナルティを目的関数に加えた最適化モデルを示し、Ahmed は、ばらつきの指標に分散を用いた場合リコース関数の分散が第 1 段階変数の非凸関数になることを示した。Takriti らは特定の条件下で問題が凸計画になる場合の解法を示した。しかし、一般的な解法はこれまでに示されておらず、椎名らが 2010 年に分散を考慮した非凸計画問題に対して、分枝限定法に基づく最適解法を示した。しかし、分枝限定法で用いられるリコース関数の分散に対

する下界は有効でない場合もあるため、本研究では下界の強化を行うことにより解法の効率化を図り、数値実験により解法の有効性を示す。

(2) 期間市場リスクのモデリング方法については、確率計画に基づき期間リスクを反映できる指標を提案し、その指標に基づくリスク測定方法を検討した。VaR は現在リスクの標準的な指標になっているため、一定期間にある確率で起こりうる最大損失をリスクとするというこれまでの考え方を継承する。さらに、計画期間内のリスクを反映できるように、新たに定める PVaR を、その期間におけるリスクとすると定めた。期間内の市場変動に関して、適切な仮説を導入してそれに基づく PVaR の解析的な数値計算方法を検討した。

(3) 近年のサプライチェーンにおいて、供給者は消費者の多様なニーズを満たしながらサービスレベルを向上させつつ、在庫やそれに関連する費用の低減を図ることを考えている。拠点間の在庫融通に関する従来の研究では、予防的在庫転送、緊急的在庫転送という 2 つの在庫転送方策が別々に研究されているが、それぞれ一長一短があり、これら 2 つの方策を併用することでより高いサービスレベルを達成できると考えられる。本研究ではこれらの方策の併用を考え、需要を確率変数として与え確率計画法によって定式化し、効率的な解法の検証を行いつつ予防型・緊急型併用方策の有効性の検証を行う。

(4) ロジスティクス・ネットワーク設計問題において、使用施設の選択は、サプライチェーンマネジメントにおける非常に重要な意思決定項目である。また既存施設と新施設の使用の有無を考えるロジスティクス・ネットワーク再編成問題では、施設の維持、売却、移転を考慮する必要がある。ネットワークの再編成にはかなりの資本投資を必要とし、長期的な目線から最適な状態に保つ必要がある。しかしながら顧客の需要が予測通り実現するとは考えにくく、そのためネットワークの最適化は困難になる。施設の移転はストラテジックな意思決定レベルであり、この決定に従ってオペレーショナルな意思決定がされるため、慎重な議論が求められる。ロジスティクス・ネットワークの再編成はロジスティクス費用を 5-15% 削減する効果をもたらすとされている。本研究では、需要の不確実性を考慮したロジスティクス・ネットワークモデルを考え、確率計画法により定式化する。

ロジスティクス・ネットワークの構築における初期段階として、配置する施設の数、場所、収容能力と施設間の輸送量を決定する。その後、環境の変化に伴って再編成を考える段階に移る。再編成では上記の決定と既存施設の維持、売却、移転を考える。ネットワークの再編成の特徴として再編成後のネットワークは既存のネットワークに依存するということが挙げられる。

再編成の要素は、新倉庫の開設・既存倉庫

の売却・既存倉庫の統合に分けられる。新倉庫の開設は、従来の施設配置系の研究やロジスティクス・ネットワーク関連の研究で考慮されているが、既存倉庫の売却や統合は再編成問題で新たに考慮すべき要因である。以下に本研究のモデルの前提条件をまとめる。

- ・工場、既存倉庫、新倉庫候補地点、顧客からなるロジスティクス・ネットワークを想定
- ・工場の生産能力と倉庫の保管能力は所与
- ・需要は不確定(複数の変動シナリオが所与)
- ・既存倉庫は維持、売却、統合のいずれかを選択

・輸送単価をはじめとする費用が所与

(5)確率計画法の応用として、発電設備の電力供給への関与を決定する発電機起動停止問題(unit commitment problem)を考える。この問題は、時間帯ごとに与えられた電力需要を満たすように、各設備の起動停止スケジュールおよび出力を求めるスケジューリング問題である。研究代表者らは、現実のシステムの運用を反映させ、かつ電力需要の不確実性を考慮した確率計画モデルをこれまでに示した。この解法では、ラグランジュ緩和法によって各発電設備毎に問題を分割することにより、効率的にスケジュールを生成し、同時に電力需要を満たすようにスケジュールを合成した。この手法により、需要変動による供給費用コスト上昇のリスクを回避することを可能とした。このアプローチでは、高速に実行可能解を算出できるが、同じ能力の発電機は必ず同じスケジュールが作成されるという欠点を有するため、良い解が求められないことがあるという欠点を有する。本研究では、列生成法を利用した起動停止問題の新解法を提案し、その性能を数値実験により評価する。

(6)日本における旅客の鉄道需要は高く、平日の朝などは首都圏へのラッシュにより列車の混雑率は非常に高いものとなる。混雑率と旅客一人あたりの駅での乗降時間には正の相関があり、高い混雑率の列車に対して多くの旅客が乗降をおこなうことで、長い乗降時間が原因となり遅延が発生する。一方、各駅や各駅間の停車や走行に余裕時分と呼ばれる時間を設定し、遅延に対して頑健な列車ダイヤを生成することが考えられている。本研究では、ダイヤ通りの運行をおこなうために遅延を考慮して余裕時分を最適に配分することを目的として、確率計画法による数理計画モデルを示し、効率的な解法を開発する。

#### 4. 研究成果

(1)分散を最小化する問題に対する分枝限定法による解法において、2種類の下界を用いた比較を行う。

本研究では、数理計画モデリング言語AMPLによって分枝限定法の解法アルゴリズムを実装し、計算実験を行った。従来の下界 $L(\chi)$ を用いた結果および、本論文で示した

下界 $\bar{L}(\chi)$ を用いた結果を以下の図1に示す。

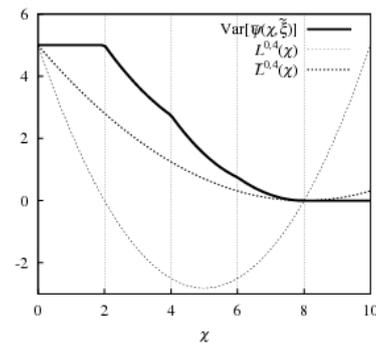


図1：分散に対する従来の下界と新たな下界

従来の下界を用いた場合に対して、本研究で示された下界を用いた場合は少ない子問題が生成されている。このように子問題数が少なくなるのは、強い下界が得られているためであると考えられる、特に以下の図2および3における子問題をみるとこれが顕著である。子問題を解くことによって得られる目的関数値に対する下界値が高いほど、分枝限定法の限定操作により、下界値が悪い子問題が見切られる場合が多くなるためである。

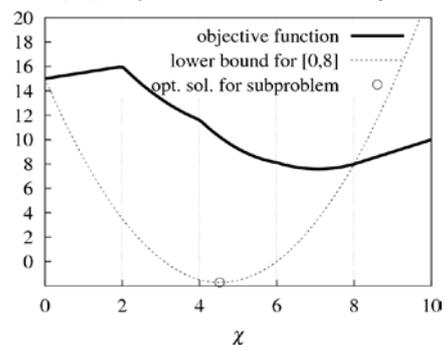


図2：従来法による問題の近似

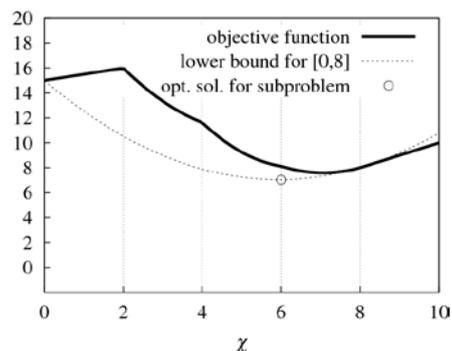


図3：新たな下界による問題の近似

(2) 期間市場リスクのモデリング方法については、期間 VaR の定義を定め、計算方法を開発した。そして、期間 VaR をリスクとする資産運用モデルの解析を行った。この問題は確率計画モデルであり、現段階では最適解法アルゴリズムを示すことができた。また、実用性および効率性を考慮し、実用規模のモデルを扱うことのできる手法を開発し、非常に複雑かつ最適解を得ることが困難な問題に対しても、近似解法を考える。

(3) サプライチェーンにおける在庫転送方式の研究においては、費用の CVaR を最小化する問題に対し、近似解を求める L-shaped 法と、厳密解法である分枝限定法の2つの解法を実装する。それらの計算時間を比較することで、両手法の効率性を比較する。

表1より数値実験においては、L-shaped 法が等価 MIP 問題を直接解く方法に比べ、大規模問題において計算時間の面で有利なことがわかり、また各方策を独立して行うより両方策を併用した方が総費用を削減できる。今後の予定と課題として、リードタイムを考慮した併用方策のモデル化や、多期間における併用方策への拡張が挙げられる。

表1: 計算結果

拠点数	シナリオ数	L-shaped 法		分枝限定法	
		目的関数値	計算時間 (s)	目的関数値	計算時間 (s)
20	10	12560	5	12267	23
20	20	12630	9	12371	90
20	30	12613	10	12276	221
25	10	15773	22	15614	639
25	20	15723	44	15508	5486
25	30	15530	107	15306	6604

(4) ロジスティクス・ネットワーク再編成問題に対する解法の性能を検証するために、数値実験を行った。実験の意図を以下に示す。

- ・ L-shaped 法の効率の評価
- ・ CVaR 最小化モデルと期待費用最小化モデルの比較

データ生成方法は、座標平面上にランダムにプロットし、それらをランダムに工場、既存倉庫、新倉庫、顧客ノードとする。また輸送費用算出で使用する輸送距離は、各ノード間のユークリッド距離を用いた。輸送費用について、費用は Melachrinoudis らの研究を参考に作成した。主な費用は倉庫に関わる諸費用、工場に関わる諸費用、倉庫の移転費用、倉庫の売却利益に分けられる。

本研究のアルゴリズムを評価するために期待値最小化問題の同じインスタンスを L-shaped 法と分枝限定法で解き、解法の比較を行う。この条件下でシナリオ数を [100, 1000] の区間で 100 刻みで増加させ、それぞれ 10 個のインスタンスを生成し、実験を行った。

以下の図4は各解法において、シナリオ数を増加させた際の計算時間の推移を表している。横軸はシナリオ数、縦軸は10個のインスタンスの計算時間の平均値(秒)を表す。シナリオ数が少ない場合は分枝限定法で早く求解ができるが、シナリオ数が増加するに従って、L-shaped 法のほうが計算時間が短くなることが期待できる。シナリオ数が多い場合 L-shaped 法が早く最適値を算出できていることから、大規模問題で分枝限定法よりも有効であることがいえる。シナリオ数の増加に伴い、個別のシナリオに対応する第2段階問題を解く回数が増加するため、元問題から

シナリオ毎の制約を除いた L-shaped 法の分解効果が読み取れる。

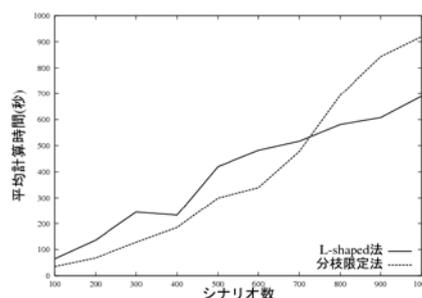


図4: シナリオ数と計算時間

また実験において、得られた最適解(使用する施設)を選択した場合の各シナリオが実現した際の費用と累積確率の分布をモデル別に表したものが以下の図5である。期待値最小化モデルでは期待値を最小化するが、個別のシナリオにおける費用の値は非常に大きくなるものもあれば、非常に小さいものもありえる。期待費用最小化モデルでは、全体的に費用は少ない。しかし累積確率の上側5%で発生する最悪のシナリオにおいては費用がかなり大きくなってしまっている。このグラフから CVaR 最小化モデルで得られた解では、期待費用最小化モデルと比べ上側累積確率5%で起こるシナリオの期待値を減らしていることがわかる。

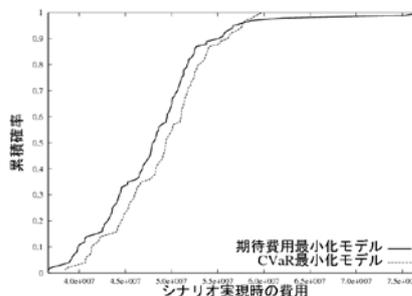


図5: 各モデルでの費用の累積確率

本研究ではロジスティクス・ネットワーク再編成問題を、期待費用最小化モデルおよび CVaR 最小化モデルとして示し、L-shaped 法による解法を示した。数値実験では、シナリオ数が増加した際、分枝限定法より本研究のアルゴリズムが有効であることが期待できる。また CVaR 最小化モデルでは期待費用最小化モデルよりも期待費用はわずかに上昇する一方で、最悪のシナリオでは費用を抑えることができることを示した。

CVaR 最小化モデルについては、効率的な解法の研究が残されており、今後の課題としたい。また、地震や台風などの震災による輸送の断絶、企業のグローバル化によって起こる情勢のリスクなど、現在の輸送ルートが最適とは限らない場合も起こり得る。本研究では需要の不確実性を考慮したが、輸送網の不確実性を考慮する必要もあると考えられる。

(5)発電機起動停止問題に対する列生成法を用いた解法には、Shiina らによるものがある。このアプローチは列生成法における計算時間が非常に長くなり、効率的ではなかった。その原因は、列生成法における列として起動停止のスケジュールだけでなく、連続量である発電機の出力を含めているため、列数が増えるためであった。よって Shiina らと異なり、起動停止のスケジュールのみを列として生成し、どのスケジュールを選択するかを決定する主問題において出力を同時に決定する手法を開発し、その有効性を示した。

(6)鉄道における余裕時分最適化問題に対しては、本研究で提案したモデルを用いて、数値実験を行った。区間内に存在するトリップを 6、各トリップで発生する遅れの取りうる値の数をいずれも 8 とし、各トリップで発生する遅れは大きな遅れまたは小さな遅れのどちらかとする。大きな遅れの期待値を 60 秒、小さな遅れの期待値を 20 秒とし、区間前方 2 トリップに大きな遅れが存在する場合、区間中央 2 トリップに大きな遅れが存在する場合、区間後方 2 トリップに大きな遅れが存在する場合の 3 パターンを想定する。区間内の余裕時分の総和の上限値  $M$  を 450 秒とする。実験結果を表 2 に示す。表中の「遅延発生率」は区間内のいずれかのトリップに遅延時分が生じたシナリオの割合を表している。

表 2：鉄道余裕時分最適化に対する数値実験

遅れの位置	前方	前方	中央	中央	後方	後方
上下制限約	あり	なし	あり	なし	あり	なし
トリップ 1	100	108	55	33	55	33
トリップ 2	100	166	55	51	55	55
トリップ 3	85	55	100	122	55	55
トリップ 4	55	33	100	156	55	41
トリップ 5	55	55	85	55	100	166
トリップ 6	55	33	55	33	100	100
目的関数	22.10	14.71	21.89	14.60	19.39	13.42
遅延発生率	23.44%	33.01%	23.44%	48.71%	23.44%	33.01%
計算時間 (秒)	42	55	29	57	6	46

上下制限約を追加したことにより、目的関数そのものの悪化はあるものの、区間内で遅延が発生する確率が減少していることが確認できる。Vekas らの研究では上下制限約が無かったために、あるトリップでは余裕時分を一切設けないなどの偏った余裕時分の配分が行われていたが、上下制限約を追加したことによりトリップごとの余裕時分のバランスが行われたことで、トリップごとの遅延時分の期待値のばらつきが小さくなり、遅延発生率が抑えられたと考えられる。

余裕時分は遅れの吸収以外にも列車を安全に運行させるために一定量設定することが求められることがあるため、余裕時分の下限値を設定することで過密すぎるダイヤの生成を回避することが可能であると思われる。数値実験の結果、上下制限約を加えたことにより目的関数はやや上昇したものの区間内で遅延が発生する確率が低下する。また L-shaped 法を用いた解法では、上下制限約存

在下で計算時間を短縮できることも示した。

## 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 20 件)

[1] T. Shiina, T. Yurugi, J. Imaizumi, S. Morito, Unit Commitment by Column Generation, Operations Research Proceedings 2014, 2015, 掲載予定. (査読有)

[2] M. Tsunoda, J. Imaizumi, S. Morito, A model for estimating the required number of train units under split-and-merge policy for decision making in railways: A mathematical formulation by integer multi-commodity network flow, Proceedings, 6th International Conference on Railway Operations Modeling and Analysis-RailTokyo2015, 113-1-113-19. (査読有)

[3] Y. Chen, S. Morito, J. Imaizumi, Railway crew pairing with weekend considerations: Modeling and solution, Proceedings, 6th International Conference on Railway Operations Modeling and Analysis-RailTokyo2015, 124-1-124-15. (査読有)

[4] 伊佐 勇人, 椎名 孝之, 森戸 晋, 今泉 淳, 確率計画法によるロジスティクスネットワーク再編成, 知能と情報, 27(2015), 589-598. (査読有)

[5] 萬木 貴大, 椎名 孝之, 森戸 晋, 今泉 淳, 発電機起動停止問題における列生成法の改善, 日本応用数理学会論文誌, 25(2015), 21-30. (査読有)

[6] T. Shiina, Solution Method for the Inventory Distribution Problem, Operations Research Proceedings 2013, 2014, 443-449. (査読有)

[7] T. Shiina, Y. Tagaya, J. Imaizumi, S. Morito, Deriving a New Lower Bound in Stochastic Programming Problem considering Variance, ICIC Express Letters, 8(2014), 1851-1856. (査読有)

[8] T. Shiina, M. Umeda, J. Imaizumi, S. Morito, C. Xu, Inventory distribution problem via stochastic programming, Asian J. of Management Science and Applications, 1(2014), 261-277. (査読有)

[9] 椎名 孝之, 多ヶ谷 有, 森戸 晋, 分散を考慮した確率計画問題における下界, 日本応用数理学会論文誌, 24(2014), 59-68. (査読有)

[10] 椎名 孝之, 伊佐 勇人, 森戸 晋, 今泉 淳, ロジスティクスネットワーク再編成問題に対する確率計画法の応用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 確率モデルシンポジウム 報文集, 2014, 1-10. (査読無)

[11] C. Xu, Y. Huo, Financial Investment Problems with uncertain Investment Deadline and their Resolution Methods, Proceedings of the Asian Conference of Management Science and Applications 2013, 48-50. (査読有)

[12] C. Xu, Y. Huo, T. Shiina, M. Huang, Modeling portfolio rebalancing by modifying

utility theory, 2013, 1314-1317. (査読有)

[13] 萬木貴大, 椎名孝之, 森戸晋, 今泉淳, 発電機起動停止問題に対する列生成に基づく解法, スケジューリングシンポジウム 2013 論文集, 2013, 223-226. (査読無)

[14] 伊佐勇人, 椎名孝之, 森戸晋, 今泉淳, 需要の不確実性を考慮したロジスティクス・ネットワーク再編成問題に対する数理計画アプローチ, スケジューリングシンポジウム 2013 論文集, 2013, 7-12. (査読無)

[15] 椎名孝之, 志摩英教, 不確実な状況下での在庫転送問題, スケジューリングシンポジウム 2012 論文集, 97-102. (査読無)

[16] T. Shiina, Dynamic Slope Scaling Procedure for Stochastic Integer Programming Problem, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 65(2012), 366-371. (査読有)

[17] T. Shiina, Solution Algorithm for Unit Commitment, International Journal of Innovative Computing, Information and Control Express Letters, 6(2012), 2205-2212. (査読有)

[18] T. Shiina, Unit Commitment Problem with Stochastic Demand, Journal of Computations & Modelling, 2(2012), 35-53. (査読有)

[19] K. Ishiwata, J. Imaizumi, T. Shiina, S. Morito, Stochastic Programming Model for Discrete Lotsizing and Scheduling Problem on Parallel Machines, 2(2012), 374-378. (査読有)

[20] 梅田真之, 椎名孝之, 今泉淳, 森戸晋, 確率計画法による在庫融通問題, 知能と情報, 24(2012), 257-265. (査読有)

〔学会発表〕 (計 13 件)

[1] 揚原由統, 椎名孝之, 今泉淳, 森戸晋, 確率計画法に基づく列車の余裕時分配分最適化, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年春季研究発表会, 東京理科大学(東京), 2015 年 3 月 26-27 日.

[2] T. Shiina, T. Yurugi, J. Imaizumi, S. Morito, Unit Commitment by Column Generation, Operations Research 2014, Aachen(Germany), 2014 年 9 月 2-5 日.

[3] 椎名孝之, 伊佐勇人, 森戸晋, 今泉淳, ロジスティクスネットワーク再編成問題に対する確率計画法の応用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 確率モデルシンポジウム, 東京理科大学(東京), 2014 年 1 月 22-24 日.

[4] 西堀 俊輝, 椎名孝之, 徐 春暉, 発電機起動停止問題の解法, 一般社団法人経営情報学会 2013 年秋季全国研究発表大会, 流通科学大学(兵庫), 2013 年 10 月 26-27 日.

[5] 成毛 悠亮, 椎名孝之, 徐 春暉, 在庫転送問題に対する数理計画モデル, 一般社団法人経営情報学会 2013 年秋季全国研究発表大会, 流通科学大学(兵庫), 2013 年 10 月 26-27 日.

[6] 若山 亮, 椎名孝之, 徐 春暉, 分散を考慮した確率計画問題, 一般社団法人経営情報学会 2013 年秋季全国研究発表大会, 流通科学大学(兵庫), 2013 年 10 月 26-27 日.

[7] T. Shiina, Solution method for inventory distribution problem, International Conference on Operations Research 2013, Rotterdam (Netherland), 2013 年 9 月 3-6 日.

[8] 萬木貴大, 椎名孝之, 森戸晋, 今泉淳, 発電機起動停止問題に対する列生成に基づく解法, スケジューリングシンポジウム 2013, 南山大学(愛知), 2013 年 9 月 21-22 日.

[9] 伊佐勇人, 椎名孝之, 森戸晋, 今泉淳, 需要の不確実性を考慮したロジスティクス・ネットワーク再編成問題に対する数理計画アプローチ, スケジューリングシンポジウム 2013, 南山大学(愛知), 2013 年 9 月 21-22 日.

[10] 伊佐勇人, 萬木貴大, 椎名孝之, 森戸晋, 発電機起動停止問題に対する列生成アプローチ, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 春季研究発表会, 東京大学(東京), 2013 年 3 月 5 日.

[11] 椎名孝之, 志摩英教, 不確実な状況下での在庫転送問題, スケジューリングシンポジウム 2012, 成蹊大学(東京), 2012 年 9 月 29-30 日.

[12] T. Shiina, Inventory distribution problem under uncertainty, 21st International Symposium on Mathematical Programming, Berlin(Germany), 2012 年 8 月 19-24 日.

[13] T. Shiina, Dynamic Slope Scaling Procedure for Stochastic Integer Programming Problem, World Academy of Science, 2012 Conference, Amsterdam (Netherland), 2012 年 5 月 13-14 日.

〔図書〕 (計 1 件)

椎名孝之, 確率計画法, 朝倉書店, 2015. (171 ページ)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

椎名研究室 <http://www.mis.it-chiba.ac.jp/shiina/>

森戸研究室 <http://www.morito.mgmt.waseda.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

椎名 孝之 (Takayuki Shiina)

千葉工業大学社会システム科学部 教授

研究者番号: 90371666

(2) 研究分担者

徐 春暉 (Chunhui Xu)

千葉工業大学社会システム科学部 教授

研究者番号: 70279058

森戸 晋 (Susumu Morito)

早稲田大学 創造理工学部 教授

研究者番号: 50134193

今泉 淳 (Jun Imaizumi) 平成 26 年度より

研究分担者、東洋大学 経営学部 教授

研究者番号: 00257221

高嶋 隆太 (Ryuta Takashima)

東京理科大学 理工学部 講師

研究者番号: 50401138