

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730010

研究課題名(和文) ライフライン災害復旧における最適化手法の研究とソルバー開発

研究課題名(英文) A Study on Optimization Technology for Disaster Restoration of Lifeline Networks and Software Development

研究代表者

吉良 知文(Kira, Akifumi)

九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・准教授

研究者番号：50635860

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、災害時のライフライン(電気・ガス・水道など)の復旧において、人員配置や復旧作業スケジュールを高速に立案するためのアルゴリズムと、スーパーコンピュータ上で実行可能なソフトウェアを開発した。作業スケジュールの膨大な組合せの中から、作業の先行順序や複数の作業班による合流作業(扱いが難しいいわゆる相互依存制約)、労働時間規約など多くの複雑な制約条件を考慮した上で、準最適な作業スケジュールをリアルタイムに提示することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a numerical-optimization algorithm and software that can quickly propose personnel allocation and scheduling for disaster recovery, such as for repairing lifelines (e.g., electricity, water service, gas and so on). This software can run on a supercomputer and can produce real-time results for a large-scale instance, taking into account numerous complex constraints, including precedence constraints, merging tasks, and limits on working hours, from among the vast number of possible scheduling combinations.

研究分野：数理最適化

キーワード：最適化理論 スケジューリング 配送計画問題 相互依存制約 動的計画法 マルコフ決定過程

1. 研究開始当初の背景

災害時の応急復旧の迅速化・効率化に関する日本のライフライン業界の関心は高く、(一財)電力中央研究所や九州電力(株)の事例研究をはじめ多くの努力がなされている(文献)。被害箇所を複数の作業班で手分けして巡り、最短時間で復旧させるスケジュールを作成する問題は配送計画問題の一種である。

ライフライン網の上流地点の復旧が完了しないと下流地点での作業ができないといった先行順序制約と、複数の作業班による合流作業を考慮しなければならず、これらの扱いが非常に難しいことが先行研究で指摘されている。通常の配送計画に対して有効な解法の多くは、局所的な改善を繰り返す局所探索法に基づいている。しかし、先行順序と合流を考慮すると作業員は互いに独立ではなくなるため上手く適用することができない。すなわち、ある作業班のルートに局所的な改善を加えると、他の作業班に影響が及び制約条件が満たされなくなる。これは配送計画の分野でも「相互依存問題」と呼ばれ、克服すべき重要な問題の一つである(Drexl)。

研究代表者は、先行順序および合流作業を考慮する配送計画問題に対する局所探索法を既に提案している。これは Li et al. などでも用いられているリストスケジューリングとよばれる手法を発展させて、複数のリスト(マトリックス)を用いることで相互依存問題を克服する方法である。その後、災害復旧スケジューリングに適用させるべく、アルゴリズムの改良とソルバー開発に取り組んできた。

<参考文献>

M. Drexl, Synchronization in Vehicle Routing --- A Survey of VRPs with Multiple Synchronization Constraints, *Transportation Science*, vol. 46, no. 3, 2012, pp. 297--316.

船越正博, 柏木哲也, 茂木美恵子, 災害時の早期復旧のための配電非常災害対応システム, 日本OR学会2011年度秋期研究発表会アブストラクト, pp.180-181.

Y.-Li, A.-Lim, and B.-Rodrigues, Manpower allocation with time windows and job-teaming constraints, *Naval Research Logistics*, 52(4), 2005, pp.302--311.

渡辺勇, 所健一, 上村敏, 自然災害時における配電設備の最適復旧ルート計画策定手法, 電力中央研究所研究報告書, R07025, 2008.

2. 研究の目的

台風や地震などの災害発生時に、電力・水道・ガスといったライフライン網の被害箇所を複数の作業班で手分けして巡り、最短時間で全体の復旧を完了させるスケジュールを迅速に作成することは極めて重要である。

本研究の目的は、数理最適化の理論と応用の研究を通して培った知見を融合させ、災害発生時のライフライン復旧計画・復旧作業のための人員配置・作業割当に関する最適化手法を様々な角度から検討し、モデルの拡張性・スケジューリングの速さ・出力解の質の全てにおいて世界最高レベルの災害復旧スケジューリングソルバーを開発することである。

3. 研究の方法

本研究の目的であるモデルの拡張性・スケジューリングの速さ・出力解の質の全てにおいて世界最高レベルの災害復旧スケジューリングソルバーの開発を達成するために、以下の研究を推進する。

(1) ヒアリングによる柔軟な数理最適化モデルの構築

災害復旧スケジューリングに求められる要素をライフライン業界の専門家からヒアリングし、これらに柔軟に対処できるように災害復旧ソルバーの数理最適化モデルに反映させる(平成26年度)。

(2) 相互依存問題を構築するための3つのアプローチによる解法の構築

相互依存問題を克服するためのアプローチとして知られた3つの手法: 間接探索法、ペナルティ関数法、大近傍探索法を応用し、スケジューリング方法の構築とチューニングをおこなう(平成26~27年度)。

(3) チューニングとロバストなスケジューリング

モデルの拡張性・スケジューリングの速さ・出力解の質の向上と各復旧箇所での作業時間の見積もりに不確実性があることを考慮したロバストなスケジューリングの実現(平成27年度)。

4. 研究成果

(1) 大規模インスタンスへの対処法

研究代表者の従来の成果であるマトリックス・スケジューリングでは、災害の規模が大きくなるにつれて、与えられたスケジュールにおける局所的な改善ポイントを見つけだすのが難しくなり、そのままでは大規模インスタンスに対するリアルタイム計算が難しくなることが明らかになった。そこで、大規模インスタンスに対しては、実際に復旧作

業をおこなうマトリックスの有効な要素が疎であることに注目して、探索箇所を効果的に絞る方法を提案した。

(2) ソルバー開発とリアルタイムスケジューリングの実現

大規模最適化問題に対する超高速計算の研究で著名な藤澤克樹氏（九州大学、JST CREST）および(株)富士通研究所との共同研究により、スーパーコンピュータ上でマトリクス・スケジューリングによる並列探索（適応的多スタート）を実行可能なスケジューリングソルバーを開発した。

計算実験では、復旧箇所：506、作業班：64の大規模インスタンス(福岡県の交通規制情報付き道路ネットワークデータを使用して移動時間を推定)に対して、九州大学情報基盤研究開発センターの高性能演算サーバ「FUJITSU Server PRIMERGY CX400」を使用し、高効率な並列計算を実行することで、先行順序や合流作業など種々の制約条件を満たす適切な復旧作業スケジュールを3分という実用可能な時間内で完了させることに成功した。これにより、大規模災害時に被害の拡大状況や復旧の作業進捗に応じた最新の計画をリアルタイムに提示することが可能となる。

今後の展開として、(株)富士通研究所と共同で、実運用時に課題となる、災害状況や作業状況のデータをリアルタイムに収集できるデータ活用基盤の検討を進めながら、自治体などの防災業務に本技術を適用すべく、2017年度以降の実用化を目指している。

(1)(2)で得られた成果を国際会議 ISMP2015にて発表した。また、九州大学および(株)富士通研究所による共同プレスリリースをおこない、新聞紙等にも掲載されるなど、成果を国民に向けて広く公表した。

(3) その他の共同研究

災害復旧スケジューリングのための基盤技術である動的最適化、局所探索法、地理情報システム(GIS)や地理空間情報からリアルなインスタンスを作成する技術を用いて、以下の3つの共同研究を継続的におこなった。

福岡空港国際線における動線改善シミュレーションのための離散事象シミュレータの開発。

マルコフゲームの均衡点計算に基づく野球の一試合における最適戦略の分析。

協力ゲームにおける提携抽出と運行経路最適化に基づく相乗り方式のデザイン

基盤となる数理技術は共通であるため、これらも部分的に本研究課題「ライフライン災

害復旧における最適化手法の研究とソルバー開発」の成果と考えるが、関連性についての説明責任を慎重に考慮し、(3)の研究活動および成果発表等に研究費を使用しなかった。

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 5件)

吉良知文, 神山直之, 大堀耕太郎, 穴井宏和, 数理技術に基づく社会的課題への挑戦, 日本オペレーションズ・リサーチ学会第27回 RAMP シンポジウム論文集, 2015年, pp.115--125. (査読なし)

吉良知文, 大堀耕太郎, 野球における最適戦略--動的計画法--, オペレーションズ・リサーチ 経営の科学, 2015年9月号, 特集「高校生に伝えるOR」, pp. 532--535. (査読なし)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009978507>

A. Kira, K. Inakawa, T. Fujita, and Kotaro Ohori, A dynamic programming algorithm for optimizing baseball strategies, MI Preprint Series, no. 10, pp. 1--18, 2015. (査読なし)
<http://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/en/recordID/1547352>

A. Kira and K. Inakawa, On Markov perfect equilibria in baseball, Bulletin of Informatics and Cybernetics, vol. 46, 2014, pp. 11--21. (査読有)

T. Fujita and A. Kira, Mutually Dependent Markov Decision Processes, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol. 18(6), 2014, pp. 992--998. (査読有)
<https://www.fujipress.jp/jaciii/jc/jaciii001800060992/>

〔学会発表〕(計 11件)

吉良知文, 動的最適化と数理技術による社会的課題への取り組み, 第11回 DP研究会 & 日本 OR学会「確率モデルとその応用」研究部会研究会(第12回), 2016年2月13・14日, アルカス SASEBO.

A. Kira, K. Fujisawa, H. Iwane, and H. Anai, Our Challenges to Real-Time Disaster-Recovery Scheduling, Forum "Math-for-Industry" 2015 --The Role and Importance of Mathematics in Innovation--, Kyushu University, Fukuoka, Japan, October 26--30, 2015. (招待講演)

吉良知文, 神山直之, 大堀耕太郎, 穴井宏和, 数理技術に基づく社会的課題への挑戦, 日本オペレーションズ・リサーチ学会第27回 RAMP シンポジウム(RAMP2015), 2015年10月15日・16日, 静岡大学浜松キャンパス.(招待講演)

吉良知文, 神山直之, 大堀耕太郎, 穴井宏和, 小川聖示, 鰐坂裕子, 福岡空港における旅客満足度向上への取り組み, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 第13回企業事例交流会, 2015年9月10日, 九州工業大学戸畑キャンパス.(招待講演)

吉良知文, 動的最適化技術とソーシャル数理への期待, 第9回 計測自動制御学会 社会システム部会研究会「実用時代のエージェントベース社会シミュレーション」, 2015年8月27日~28日, 富士通(株)本店・川崎工場/(株)富士通研究所本社.(特別講演)

A. Kira, K. Fujisawa, H. Iwane, and H. Anai, A Matrix Scheduling Heuristic to Disaster Restoration of Lifeline Networks, 22nd International Symposium on Mathematical Programming (ISMP2015), Pittsburg, USA, July 12--17, 2015. (招待講演)

吉良知文, 動的・確率的最適化技術とソーシャル数理への期待, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「数理的手法の展開と応用」研究部会, 2015年2月8日~9日, 粟津温泉 法師(石川県).(招待講演)

吉良知文, 配送計画問題とその応用, 「最適化法とその応用」第6回研究集会, 2014年12月8日~9日, 秋田県立大学システム科学技術学部.(招待講演)

吉良知文, 動的・確率的最適化とその応用, 九州大学オープンラボ(富士通研究所技術交流会), 2014年12月4日, 九州大学伊都キャンパス.

吉良知文, 稲川敬介, 藤田敏治, 野球と動的計画法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会九州支部「平成26年度若手OR研究交流会」, 2014年10月25日~26日, 旅館魚半(佐賀県).(特別講演)

A. Kira, Rich Vehicle Routing Problems and Our Challenges, International Workshop on Data Science and Service Research, Tohoku University, Miyagi, Japan, July 18, 2014.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 運行計画プログラム、運行計画方法、運行計画装置および運行計画システム
発明者: 吉良知文, 神山直之, 穴井宏和, 岩根秀直, 大堀耕太郎
権利者: 九州大学、富士通(株)
種類: 特許
番号: 2016-081319
出願年月日: 2016年4月14日
国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
(1) 研究成果のプレスリリース(計 2件)
プレスリリース 2015.07.10: 災害時の復旧作業スケジューリングをスパコンでリアルタイムに実現
http://www.kyushu-u.ac.jp/f/6045/2015_07_10.pdf

プレスリリース 2015.09.10: 福岡空港における旅客満足度向上に向けた実証実験を開始
http://www.kyushu-u.ac.jp/f/6024/2015_09_10_2.pdf

(2) 成果のメディア報道等(計 11件)
PRESIDENT 2016年2.29号(p.95)
数字の学校 vol.38 「災害復旧スケジュールをどう組み立てるか」

PRESIDENT 2016年2.15号(p.98)
数字の学校 vol.37 「電車の路線検索に使われる「産業数学」とは」

2015/11/02 日経産業新聞(17面)
大学解剖 九州大 若手精鋭、社会問題に挑む

2015/09/11 日経新聞(33面)
混雑緩和へ実証実験 福岡空港 九大や富士通研など

2015/09/11 産経新聞(26面)
混雑緩和に「数学」応用 福岡空港 九州大や富士通研究所

2015/09/11 日刊工業新聞(23面)
数理技術で旅客行動分析 福岡空港の課題解決 九大、富士通研など実証

2015/09/11 日経産業新聞(7面)
数学を使って旅客満足度向上 富士通研、空港で実験

2015/07/21 日刊工業新聞(15面)
災害時の復旧作業計画 スパコンで即時策定 九大と富士通研

2015/07/14 日経産業新聞(10面)
災害復旧計画スパコンで 富士通研と九大
物資配送、効率よく

2015/04/22 あしたのコミュニティラボ
“素数”が産業を動かすまで 九大×富士通の数理共同研究(後編)

2015/04/20 あしたのコミュニティラボ
ソーシャルイシューは数学で解決できる?
九大×富士通の数理共同研究(前編)

(3) ホームページ等

吉良知文ホームページ
<http://imi.kyushu-u.ac.jp/~kira/index.html>

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所所員紹介
http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/academic_staffs/view/176

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所技術カタログ
<http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/files/teacher/file/249d734e86154c0250a9c491235a8be3.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉良 知文 (KIRA, Akifumi)
九州大学・マス・フォアインダストリ研究所・准教授
研究者番号：50635860