

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350442

研究課題名(和文) スマート・レジリエントなロジスティックスの実現と向き合う最適工学の展開

研究課題名(英文) Deployment of Optimization Engineering toward Realizing Smart and Resilient Logistics

研究代表者

清水 良明 (Shimizu, Yoshiaki)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：10109085

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では革新的なロジスティックス分野における問題解決手段の一つとして最適工学の展開を目指した。そしてこの方術、方略及び運用レベルの各々に関わり、全体として包括的な最適化のためのユーザビリティの高いフレームワークの構築を行った。最初に各々の問題に対して一般的かつ現実的な議論ができるようウェーバ基準の輸送費勘定に従う数学モデルを与え、次いで現実規模の問題求解のための階層的ハイブリッドメタ解法の開発を行うという研究方法をとった。各々の解法はそれ自体が有用であるだけでなく、本フレームワークの中で利活用することで社会の多様なダイナミズムに応え得るスマート・レジリエントな展開が期待されることを示した。

研究成果の概要(英文)：To provide a decision aid coping with innovative logistic systems, this study has aimed at exploring a new paradigm known as optimization engineering. To work with this idea from strategic, tactical and operational aspects, we have developed a user-friendly framework suitable to total optimization as a whole. First, we formulate a mathematical model with Weber basis cost accounting to discuss the issue generally and substantially. Then, we have developed its hybrid meta-heuristic method possible to solve practically real world problems. We have shown not only every method obtained here is significant by itself but also expects a smart and resilient deployment available for responding to various dynamism of society if it is utilized in the proposed framework.

研究分野：最適工学

キーワード：最適工学 ロジスティックス ハイブリッドメタ解法 多目的最適化 環境配慮 ウェーバ基準輸送費用 レジリエンス リスク

1. 研究開始当初の背景

近年、自然だけでなく人為的要因に起因する産業リスクの増大や経済のグローバル化が加速してきている。これに伴って経営システムの変革、物流と経営や他部門の管理機能との融合さらに環境問題などに対応するためのサプライチェーン管理(SCM)が各種の産業において必然となってきている。ロジスティクス革新はこの中核をなし、特に近年では、物流品質や顧客満足の向上は当然としてリスク管理を通じた事業継続性(BCP/BCM)や環境対応や企業の社会的責任(CSR)の面から方略性が特に求められている。このため高度なICT技術や最適化技術と深く関わる最適工学の展開を通じて本質的に問題を捉えて、社会の多様な要請に連携した価値(全体価値)の最大化のためのイノベーションが必要とされている。

本課題と深く関連するロジスティクスの最適化研究は従来からオペレーションズリサーチ(OR)分野を中心として行なわれている。しかし、最も基本的なものであってもNP 困難な組合せ最適化問題となるため十分な求解速度と近似精度とを併せもった解法は従来開発されていない。特に現実的な応用で求められる種々の要件が重なり合った複合的問題に対して、現実的で適応性に富んだ展開が必要である。我々は従来、このような状況にあるロジスティクス最適化のための現実的なモデル化とその実用的な求解法の提案を行い、高い評価を得てきた。

しかし今後さらに、持続可能な発展の下でレジリエントな社会基盤を創出するためにはリスク回避や環境問題などを視野に入れるだけでなく経営戦略との連携や知識や情報の構造化を通じた解決策のスマートな活用を促すしくみが不可欠である。このような認識の下で、種々の大規模・複数問題に対して優れた拡張性を保ちながら、極めて近似度

の高い解を実用時間内で得ようとするロジスティクス最適化研究の統合的取組みは国内外を通じて行なわれていない。

2. 研究の目的

近年、市場や経営のグローバル化や地球温暖化が進行する中で自然や社会からの種々のリスクにさらされる危険が増大しており、社会基盤を支えるロジスティクスの盤石化が喫緊の課題となってきている。本研究では、こうした背景の中でのロジスティクスの汎用的なモデル化と最適化のための方法論に対して最適工学の援用を通じて方術、方略及び運用レベルにわたる図1に概観するような展開を目指した。

そこでは多価値で複合的な問題解決に対するオープンイノベーションを志向するとともに、社会のダイナミズムをとらえた応用研究にも積極的に関わる必要がある。そして、競争力のみならず持続的発展を目指しながら頑強性や底辺からの回復力を有する(スマート・レジリエント)ものづくりが求められる。本研究ではその要となるロジスティクス革新のための学術的な方法論の展開とその応用面での活用を図るためのフレームワークを提供することを目的とした。

3. 研究の方法

社会のダイナミズムに応じた要件は時と場合によって異なり、複合化しながら種々に変化していく。こうした変化に迅速かつ適応的に対応でき社会基盤の盤石な構造化が近年富に求められている。本研究で対象とするスマート・レジリエントなロジスティクス体系は、従来の取組みが稀で極めて求解の困難となる問題を対象として上述の要請を満足できるようなオープンイノベーション志向のフレームワークの提案を行うものである。このため最初に各問題に対して一般的で

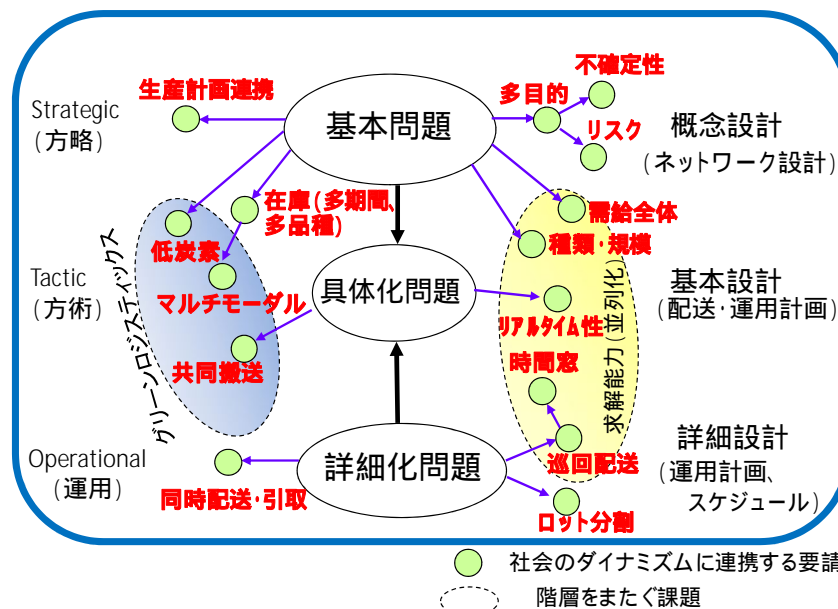


図1 ロジスティクス最適化研究

本質的な議論ができるようにウェーバ基準の輸送コストで統一した数学モデルを与えた。しかし従来の数理計画的アプローチでは現実規模の問題の求解は不可能なため、階層的ハイブリッドメタ解法の開発を行うという研究方法をとった。そして共通の解法の核となるウェーバ基準セーピング法、最小費用流グラフアルゴリズムおよび修正タブーサーチを開発し、これらを柔軟に適用して種々の問題解決にあたった。実際には近年大きな関心が寄せられている以下のサブテーマを取り上げて考察を行った。

(1) 不確実下でのロバストで回復力を有するロジスティクスネットワーク設計

不確実性に影響されない頑強なロジスティクスやリスク予防・低減策を配慮したレジリエントなロジスティクスの重要性は、近年の大震災や大雨による自然災害、原発等の事故および投資リスクなどの経済事情の事例より認識を新たにしているところである。本課題ではこうした不確実な事象の生起やモデル中の不確定要因に対して影響を受けにくいロジスティクスネットワーク設計法について統計的アプローチに基づいて検討する。

(2) 方術と運用レベル要因が相互に関連する問題に対する現実的解決

ここでの方策が提示できれば、実務的な意思決定のための支援内容は確実に格段に向上する。実際には、在庫管理下でマルチモーダル、巡回配送・収集、ロット分割、同時配送・収集など生産環境や経済的要因から派生する複合的条件にさらされる問題について検討した。これらは現実的にきわめて重要な条件といえるが近年のこの分野の文献調査からも知れるように、求解の難しさから、こうした複合的条件を考慮した取り扱いほとんど行なわれておらず開発の意義は高い。

(3) 解法固有の特徴を利用した並列最適化手法の開発

本研究のいずれの展開においても、問題は複雑・大規模となり、結果として対象となる問題は極めて計算負荷の高い組合せ最適化問題となり、実用上、このため求解時間の短縮ならびに求解精度の向上が必須となる。これまでに開発した基本解法に固有の特徴を積極的に利用した新しい概念に基づく並列最適化による求解効率の一層の高度化を図り国際ロジスティクスを視野に入れた問題規模にまで対応可能とする。ほとんどのエネルギー資源や生産活動資源を海外に依存している我国において国際ロジスティクスの整備は経済面のみならずリスク分析面からも重要な課題となる。この他、緊急時や状況が刻一刻変化するためリアルタイムな決定が求められる場合における並列化による時間短縮の意義の高さは指摘されているものの、この分野の近年の文献調査からわかるように研究例は極稀であり、こうした並列化の大きな効果が期待されている喫緊の課題

に取組み、新しい二値化粒子群最適化手法の開発と併せて本課題に挑む。

(4) 全体価値支配下での多目的最適化モデル

輸送のグローバル化やJIT物流は輸送に伴う環境負荷やリスクの増大を伴う。また輸送手段の選択(モーダルシフト)においても環境負荷やリスクと経済性の間にはトレードオフ関係が存在する。さらに経済性、レジリエントおよびサービス間においてもしかりである。このような価値の多面性やその特質をより詳細に分析し、全体価値協創のための多目的最適化モデルを定式化し、その解法について検討し、意思決定支援手順を確立する。なかでもNIMBY(Not In My Back Yard)の言葉に代表されるリスクや安全性など社会的で定義困難な評価やサービスや品質などの感性的評価を含む多属性価値システムの設計や多目的最適化を重要な観点として取組み、低炭素社会、安心・安全社会の実現に貢献できるロジスティクスの設計手法を検討する。

(5) 生産計画やスケジューリングなどの動的計画と設計の連携

本課題では、発注・在庫管理およびマルチモーダル輸送を含めた長期間モデルに基づく考察を志向することでより一般的な経済価値支配下での意思決定支援法を与える。このためには、多期間にわたる拠点配置と輸送手段の選択および交渉を伴う在庫管理のための新しい総括的視点が必須となる。そこではコストとトレードオフの関係にあるサービス価値と深く関わる製品発注や在庫管理方式を考察することで全体価値創出のための経営工学的観点からの知見を移入することを検討する。

(6) オープンイノベーション基盤の構築

全研究期間におけるロジスティクス最適化の体系化を通じて、要素手法のモジュール化、モデルの標準化、仕様書の知識構造化などを実現し、任意のユーザが問題ごとに必要なモジュールを組み合わせて適用できるようなオープンイノベーション基盤の構築に取り組む。また、知識やデータの構造化を通じて作成された基本システムの利活用システムについても展開する。

#### 4. 研究成果

(1) 平成25年度の研究成果

近年、市場や経営のグローバル化や地球温暖化が進行する中で自然や社会からの種々のリスクにさらされる危険が増大してきている。こうした背景の中でのロジスティクスの汎用的モデル化と最適化のための方法論を方略レベルから運用レベル(巡回配送計画問題:VRP)までにわたって展開し、これらのメタ解法同士あるいはメタ解法と数理計画法との実用的で効率的なハイブリッド解法を開発した。

そして不確実な事象の生起やモデル中の不確定要因に対して復元力の高いレジリエ

ントなロジスティックスネットワーク設計法について確率的最適化やファジイ最適化を通じた検討を進めた。そこでは事業継続計画（BCP）や事業継続管理（BCM）を意識してリスクや二酸化炭素排出量の低減化など社会的で定義困難な評価を含む多属性価値システムの設計を重要な課題として取り組み、低炭素社会、安心・安全社会の実現への貢献を目指した。

また、コストとトレードオフの関係にあるサービス価値と深く関わる製品発注点や在庫管理方式との連携を考察することで全体価値創出のための多目的最適化に関わる観点からの知見を移入した方法論の開発も進めた。

このような展開において、問題は複雑・大規模となり、結果として対象となる問題は極めて計算負荷の高い組合せ最適化問題となる。さらに運用レベルでの問題解決には動的な意思決定が求められることが少なくない。このため求解時間の短縮ならびに求解精度の向上が実用上必須となる。このため並列最適化手法の開発を含めた高速求解法を開発した。さらに数値的な計算結果の可視化を通じたユーザビリティの向上のため Google Maps API の利用も試みた。

(2) 平成 26 年度の研究成果

輸送のグローバル化や JIT 物流は輸送に伴う環境負荷やリスクの増大を伴う。また輸送手段の選択においても環境負荷やリスクと経済性の間のトレードオフ関係を考慮した検討が求められる。さらにこれまでの考察における経済性、レジリエントおよびサービス間においてもしかりである。このような価値の多面性やその特質についての調査から競合関係の分析を試みた。そして経済性と環境問題の対立の調整を図ることは、社会の構成員個々の努力のみでは限界があり、地域社会における連携と協調を通じて効果を発揮できるとの認識に至った。そこで全体価値協創を可能とする協調・競争モデルを構築し、この主要な要素技術となる巡回配送問題（VRP）の実用的な解法の開発に取り組んだ。そして輸送費用やこれに伴う二酸化炭素排出量は、輸送距離でなく輸送重量にも影響されるとするウェーバ基準の解法をまず単一デポ問題に対して提案し、次いでこれをマルチデポ問題に拡張した解法を開発した。この成果は、より総合的な立地・配送同時問題の解法として立地問題の解法との連携を可能にするものであり、本手法の開発意義は高いといえる。

また循環型生産システムを形成する際に原動力になる要因を経済的側面から調べ、その要因が環境的側面に与える影響を明らかにした上で、リバースロジスティックス導入に関わる意思決定問題において適切となる評価基準を定めた。

一方、ビジネスのグローバル展開に伴うロジスティックと生産計画やスケジュールと

の連携に向けて、方略的レベルの生産計画から、方術的レベルのスケジュールに至るまでの決定を一元管理するための方法論の検討を行った。具体的には、各意思決定部門が情報交換を行いながら個別にスケジューリングを行う手法と総合的な観点からの意思決定のために、作業設計とスケジューリングを同時に行う最適化手法を提案した。

(3) 平成 27 年度の研究成果

本年度は近年のロジスティックス最適化で関心の高い巡回配送問題（VRP）において、図 2 に示す分類から派生する問題ごとに必要な要素技術を選択して適用できるように方法論のフレームワーク化に取り組んだ。また工学的問題解決に有用であるにもかかわらず、従来、研究例の少ない課題を対象として方法論の展開をすすめた。具体的には複数デポの VRP での同時配送・引き取り問題に対する解法を上述のフレームワークに則して開発し、その有効性の検証を行った。さらにドローンや地理情報の取得技術の進展とともに、今後の VRP において重要性が高まると予想される 3 次元輸送に対する解法も、これまでと同様にフレームワーク内の要素技術から構築し、その問題解決能力を評価しこれが高いことを検証した。

一方では、スマート・レジリエントなロジスティックスの実現に向けた取組みとの関係が深い多目的最適化とかかわり、グリーンロジスティックスの構築のための輸送手段の多様化と選択（マルチモーダル）および炭素税導入策の効果の検討を行った。また全体価値協創に向けた知のサイクルの形成を目指して、求解が極めて困難とされる範疇に属するこうした問題に対する多目的最適化の基礎的関連技術の開発も行った。

さらにスケジューリングやサプライチェーンの動的な管理手法と上述の計画・設計手法との連携を目指した経営工学的観点からの検討も行った。

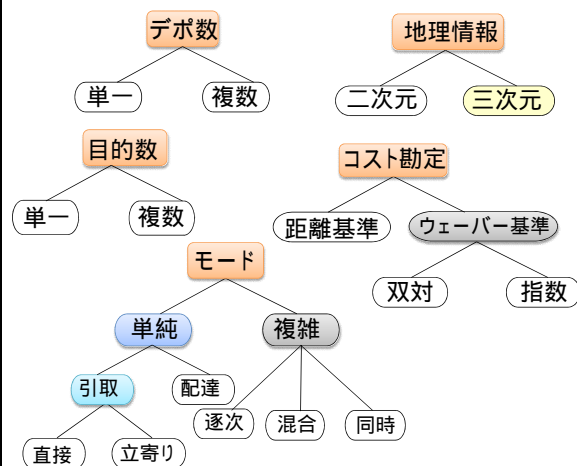


図 2 VRP の分類樹

(4) まとめ



グローバルで変革的な市場において持続可能性への関心が高まる中、協調的かつ競争的なロジスティクスがセールス・アンド・オペレーションズ・プランニング (S&OP) にかんう生産システムの構築にとって不可欠なものとして多様な取組みを行った(図1参照)。S&OPとはビジネスのグローバル化に伴う市場の変化に対して迅速かつ柔軟に対応し供給と需要を適格にバランスさせるマネジメント手法である。

このような視点から本研究では、高度なICT技術や最適化技術と深く関わる最適化工学の視点から問題を本質的に捉えて、リスクや二酸化炭素排出量の低減化など社会の多様な要請に連携したロジスティクスネットワーク設計のための方法論の開発と応用を行った。そこではこれまでの経験から商用汎用ソフトウェアを問題毎に単純に適用する方法では現実規模の問題を解けないだけでなく、多様でダイナミックに変化する現実問題の解決手段としては極めて不十分であるとの認識の下で考察を行った。特に従来のVRPで取り上げられることのなかったウェーバ基準の輸送コストを採用する解法を導入することで実用性の向上に努めた。そして、多種多様な問題(図2参照)で共有されるフレームワークの下で問題固有の特徴に応じて展開される解法の提案とその有効性の検証を行った。

本フレームワークは汎用性と実用性を有し、この利活用を通じて達成される成果は、リスク回避や予防、そして国際競争力の回復、さらに持続可能な発展(ライフサイクル工学)といった現代社会に共通する最重要課題の解決に貢献できることが期待される。

## 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 13 件、全て査読有)

[1] Yoshiaki Shimizu, Tatsuhiko Sakaguchi and Jae-Kyu Yoo: “A hybrid method for solving multi-depot VRP with simultaneous pickup and delivery incorporated with Weber basis saving heuristic,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.10, No.1, pp.1-13 (2016)

DOI: 10.1299/jamdsm.2016jamdsm0004

[2] Yoshiaki Shimizu, Tatsuhiko Sakaguchi and Hiroki Shimada: “Multi-objective optimization for creating a low-carbon logistics system through community-based action,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.9, No.5, pp.1-12 (2015)

DOI: 10.1299/jamdsm.2015jamdsm0063

[3] 清水 良明, 阪口 龍彦: “ウェーバ基準セービング法を援用した VRPSPD 問題のメタ解法の提案”, *日本機械学会論文集*, Vol.81,

No.825, pp.1-11 (2015)

DOI: 10.1299/transjsme.14-00639

[4] Yoshiaki Shimizu and Tatsuhiko Sakaguchi: “Hybrid Meta-Heuristic Approach to Coping with Large Practical Multi-Depot VRP,” *Industrial Engineering & Management Systems*, Vol.13, No.2, pp.163-171 (2014)

DOI:<http://dx.doi.org/10.7232/iems.2014.13.2.163>

[5] Yoshiaki Shimizu, Tatsuhiko Sakaguchi and Takatobu Miura: “Parallel Computing for Huge Scale Logistics Optimization through Binary PSO Associated with Topological Comparison,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.8, No.1, pp.1-13 (2014)

DOI: 10.1299/jamdsm.2014jamdsm0005

[6] Dicky Fatrias, Yoshiaki Shimizu, Possibilistic Programming Model for Fuzzy Multi-Objective Periodic Review Inventory in Two-Stage Supply Chain,” *International Journal of Applied Decision Sciences*, Vol.7, No.2, pp.168-189 (2014)

DOI: [10.1504/IJADS.2014.060329](http://dx.doi.org/10.1504/IJADS.2014.060329)

[7] 清水 良明: “多数目的最適化問題への多目的最適化手法 MOON2/MOON2R の適用法,” *日本機械学会論文集*, Vol.79-C, No.805, pp.268-281 (2013)

<http://doi.org/10.1299/kikaic.79.3248>

[8] Yoshiaki Shimizu, Tatsuhiko Sakaguchi and Syota Tsuchiya: “A Hybrid Meta-heuristic Method for Optimizing Logistic Networks Subject to Operational Conditions in Practice”, *Global Perspective on Engineering Management* Vol.2, No.3, pp.134-144 (2013)

[9] Yoshiaki Shimizu and Tatsuhiko Sakaguchi: “Generalized Vehicle Routing Problem for Reverse Logistics Aiming at Low Carbon Transportation,” *Industrial Engineering & Management Systems*, Vol.12, No.2, pp.161-170 (2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.7232/iems.2013.12.2.161>

[10] Muhammad Rusman and Yoshiaki Shimizu: “Effect of Continuity Rate for Multistage Logistic Network Optimization under Disruption Risk,” *Industrial Engineering & Management Systems*, Vol.12, No.2, pp.74-84 (2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.7232/iems.2013.12.2.074>

[11] Yoshiaki Shimizu and Dicky Fatrias: “Daily Planning for Three Echelon Logistics Considering Inventory Conditions,” *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol.7, No.3, pp.485-497 (2013)

DOI: 10.1299/jamdsm.7.485

{ 学会発表 } (計 20 件)

[1] 阪口 龍彦, TRAN VAN TU, 清水 良明,

内山 直樹; 2階層サプライチェーンにおける複数顧客との交渉を考慮した並列意思決定フレームワークの検討、日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2016 講演論文集、91-92、(2016, 3/14、野田)

[2] 鈴木悠馬、阪口 龍彦、清水 良明: 階層分散型生産システムにおける複数作業の重複を考慮したスケジューリング手法の研究、日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2014, 112 (2014, 3/17, 調布)

[3] Yoshiaki Shimizu, Tatsuhiko Sakaguchi and Jae Kyu Yoo: “A Hybrid Approach for Multi-Depot VRP with Simultaneous Pickup and Delivery Incorporated with Weber Basis Saving Method,” Proc. 15th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, 1012, Ho Chi Minh, Vietnam (2015/12)

[4] Tatsuhiko Sakaguchi, Yuma Suzuki, Yota Naraki and Yoshiaki Shimizu: “A study on scheduling method for hierarchical and decentralized manufacturing systems,” 7th Int. Symposium on Scheduling 2015, 7A3, Kobe (July 4-6. 2015)

[5] Yoshiaki Shimizu and Ryota Nakamura: “Comprehensive Comparison of Performance of Elite-induced Evolutionary Algorithm for Multi-objective Analysis,” 1st Pan-American Congress on Computational Mechanics - PANACM 2015, Buenos Aires, Argentina (April 27-29, 2015)

[6] Yoshiaki Shimizu: ”Incorporating Green into Production and Consumption Behaviours toward Sustainable Logistics Optimization in Process Systems,” 24nd European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Budapest, Hungary (June 15-18, 2014)

[7] Yoshiaki Shimizu and Tatsuhiko Sakaguchi: “A hierarchical hybrid meta-heuristic approach for coping with large multi-depot VRP in practice,” Proc. 14th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, 1012, Cebu, Philippines (2013/12)

[8] Yoshiaki Shimizu: “ Conveniently Designed Approach for Getting the Best Compromise Solution of Many-objective Optimization Problem, ” Proc. 9th Int. Symposium on Optimization, Taipei, Taiwan (2013/12)

[9] Dicky Fatrias and Yoshiaki Shimizu: “Possibilistic Programming Approach for Multi-objective Inventory Problem in Two-echelon in Two-echelon Supply Chain System,” Proc. 6th Int. Symposium on Scheduling 2013, pp.68-73, Tokyo (2013/7)

[10] Yoshiaki Shimizu and Tatsuhiko Sakaguchi: “Three Echelon Logistics Optimization for Operational Planning,” Proc. 6th Int. Symposium on Scheduling 2013, pp.74-79, Tokyo (2013/7)

[1] Yoshiaki Shimizu, Tatsuhiko Sakaguchi and Hiroki Shimada: “Deployment of Sustainable Logistics Optimization Incorporated with Modal Shift and Emission Trading on Carbon Dioxide” in "Toward Sustainable Operations of Supply Chain and Logistics Systems (Eds.) Kachitvichynukul, Voratas, Sethanan, Kanchana, Golinska- Dawson, Paulina, “ pp.123-139 Springer (2015)

[2] Yoshiaki Shimizu: “An Extension of the MOON<sup>2</sup>/MOON<sup>2R</sup> Approach to Many-Objective Optimization Problems” in “Optimization Methods, Theory and Applications (Ed. by Xu, Honglei, Wang, Song, Wu, Soon-Yi),” pp. 51-65, Springer (2015)

[3] Yoshiaki Shimizu: “Daily Planning for Three-Echelon Logistics Associated with Inventory Management under Demand Deviation” in “Global Logistics Management (Ed. by Bahar Y. Kara, Ihsan Sabuncuoglu, Bopaya Bidanda),” pp.1-30, CRC Press (2014)

[4] Yoshiaki Shimizu and Tatsuhiko Sakaguchi: “A Meta-heuristic Approach for VRP with Simultaneous Pickup and Delivery Incorporated with Ton-kilo Basis Saving Method” in “Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability (Ed. by Paulina Golinska),“ pp.597-609, Springer (2014)

[5] Yoshiaki Shimizu: ”Incorporating Green into Production and Consumption Behaviours toward Sustainable Logistics Optimization in Process Systems” in “Computer-Aided Chemical Engineering” (Ed. by J. J. Klemes, P. S. Varbanov & P. Y. Liew), Vol.33, pp.253-258, Elsevier (2014)

{ その他 }  
ホームページ等  
<http://ise.me.tut.ac.jp>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
清水 良明(SHIMIZU YOSHIAKI)  
豊橋技術科学大学・工学研究科・名誉教授  
研究者番号：10109085

(2) 研究分担者(平成 26 年 4 月 14 日追加)  
柳 在圭(ZAE KYU YOO)  
金沢大学・経済学経営学系・教授  
研究者番号：20324494

阪口 龍彦 (SAKAGUCHI  
TATSUHIKO)  
豊橋技術科学大学・工学研究科・助教  
研究者番号：00403303