

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350438

研究課題名(和文) 施設立地・在庫管理・配送計画を統合したロジスティクスネットワーク設計

研究課題名(英文) An integrated logistics design considering facility location, inventory management, vehicle routing

研究代表者

吉本 一穂 (Kazuho, Yoshimoto)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50158507

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「施設立地」「在庫計画」「配送計画」を統合したロジスティクスネットワーク設計のモデルを開発した。

初年度は配送計画の部分ではタリフ準拠の料金設定・往復便・温度帯別・ドライバーの休息・自社便と傭車便の考慮等といった配送計画を考慮した。次年度は倉庫での発注日変更を考慮した在庫配送計画と配送計画の統合したモデルを作成した。最終年度は施設立地を統合したモデルを作成した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed a model to integrate facility location, inventory management, and distribution planning. First year we have developed a vehicle routing model with detailed and practical requirements we have investigated by hearing from logistics experts. The examples of requirements include delivery request forwarding, cold chain, drivers' working hour constraint. Next year we have developed an inventory routing problem, where ordering day at warehouse can be optimized. Final year we have developed an integrated location-inventory-routing model.

研究分野：施設・ロジスティクス設計

キーワード：ロジスティクス

1. 研究開始当初の背景

効率的なロジスティクスを達成するために多くの企業が取り組んでいる課題として「施設立地」「在庫計画」「配送計画」の最適化が重要項目である事が報告されている。しかし、これらの項目における意思決定は相互に影響を及ぼしあっているため、独立のテーマとして別々に扱ったのでは企業が本当に求める利益追求を達成する事ができない。加えて契約便・スポット便の選択、スポット便の国交省他リフ準拠の料金設定・往復便割引・温度帯別配送・危険物配送・ドライバーの休息・夜間走行速度等といった詳細かつ現実的な制約を考慮する必要があるがこれらの要件を全て扱った研究は申請者の知る限り存在しない。

2. 研究の目的

本研究では「施設立地」「在庫管理」「配送計画」を統合したロジスティクスネットワーク設計に関するシミュレータ開発を行った。物流コストの構成要素には「輸配送」「保管」「荷役」「管理 (IT 費用等を含む)」があり、それらとは異なる切り口として「在庫」が存在する。本来、企業にとって最も有効な物流ネットワークとは、コストと在庫のバランスが最適なものであるべきだが、従来は「輸配送」の最適化を図るツールと「在庫」の最適化を図るツールが個別に存在し、それらの結果を踏まえて人が判断を下していた。

今回研究・開発するツールでは、これらを一つのシステムの中で同時計算することで人による追加検討及び判断を簡素化するとともに、在庫をコスト換算することでシステムの中で全体最適解を求めるところまでを行った。

物流ネットワークの決定要素の中に、生産拠点の製造コストが含まれるケースがある。同一製品でも工場によって製造単価が異なり、かつその立地によって輸送費も異なるケースである。今回の開発ツールでは、このような場合に「どの工場で製造し」「どの拠点を經由して」納品先に製品を供給するのが最も効果的であるかを検証できるものとする。

実際の企業における輸配送計画 (配車) では、1 台の車輛を貸し切る「貸切便」と複数荷主の荷を混載する「積み合せ便 (路線混載便)」を使い分けることでコスト最小化を図っている。

従来のツールではリンク (ルート) ごとの輸送単価等を用いて一律に輸送費を算出していたが、今回の開発ツールでは、より現実に即した解を得るために輸送手段別のタリフを DB に持ち、双方のコスト検証をすることで最適輸送手段を選定できるものとする。

実際に輸送ルートを計画 (配車計画) する際には様々な制約条件を考慮しなくてはならない。

開発したツールより得られた解を実現可能解とするためには、納期 (時間指定)、納

入車型制限、車輛稼働時間等の制約を考慮する必要がある。但し、精緻さを求め過ぎることで計算負荷が過剰になることは回避すべきであり、取り込むべき制約条件の優先順位を見極めることが大切となる。

3. 研究の方法

実務家へのヒアリングをもとにシミュレータ開発を行った。システムの要件については以下の通り。

システム構築範囲

(1) ソフトウェア
サプライチェーンシミュレーションシステム

プログラミング環境

- (1) 実装: C#.NET
- (2) DB: Microsoft Access

入力データ:

- 全て CSV データで取込可能とする。
- (1) 出荷オーダー (輸配送データ)
 - (2) 距離及び所要時間データ
 - (3) 拠点マスタ (緯度経度情報を含む)
 - (4) 車輛マスタ
 - (5) 製品マスタ
 - (6) 料金マスタ (輸配送, 保管, 荷役)

データ出力:

シミュレーション結果データは CSV ファイルにて出力可能とした

- (1) モデル別/車輛運行情報 (拠点出着時刻, 稼働時間等)
- (2) モデル別/拠点別入出荷情報
- (3) モデル別/拠点別/製品別在庫情報
- (4) モデル別総合評価一覧

- 総稼働時間
- 実稼働時間
- 走行時間
- 走行距離
- 納期遅れオーダー数
- 稼働輸配送車輛数
- 積付率
- 総コスト
- 荷積み時間
- 荷降し時間
- 輸配送数量
- 実車率

最大仕様

- (a) 納入先数 100,000 件
- (b) 製品アイテム数 100,000 件
- (c) オーダー数 10,000,000 件
- (d) 車輛数 10,000 台
- (e) 拠点数 1,000 件

計算時間の目標値

- | | | |
|-------|-----------|---------|
| オーダー数 | 10,000 | 5 分間以内 |
| オーダー数 | 100,000 | 30 分間以内 |
| オーダー数 | 1,000,000 | 12 時間以内 |

実際の機能まとめについては以下の通り

(1) 輸配送手段の選定

- ・ 輸配送手段は貸切便/積合せ便を対象とする。
- ・ 便の選択は自動で行うものとする。ここで自動とは複数の納品先の組合せを生成し、貸切便1台で配送する場合のコストと各々を積合せ便タリフで計算したコストとを比較し安価な方を選択するものとする。
- ・ 配送軒数は、諸制約を考慮していれば車両1台あたり何軒でも組合せ可とする。
- ・ 貸切便を選択する際には配送軒数が1軒増える毎に 円を加算する。
- ・ 貸切便を選択する際には同一ルートとなるオーダーを特定できるものとする。
- ・ 配送先拠点の指定日、もしくは各製品情報として前倒し可能な期間が設定されている場合、配送回数を集約することができるものとする。
- ・ 貸切便を選択する際、契約便とスポット便の区別を考慮する。
- ・ モデル上で日別貸切便台数を算出し、自動あるいは手動にて契約便台数を設定し、コストを算出する。
- ・ 契約便と判断された車輛のコストはパラメータにて設定するものとし、割引きとする。

(2) 複数日のオーダーまとめ

- ・ 配送先拠点の指定日、もしくは各製品情報として前倒し可能な期間が設定されている場合、配送回数を集約することができるものとする

(3) 往復便活用の考慮

- ・ 輸配送ルートは片道便だけでなく帰り便が活用できるものとする。往復便を選定する場合は必ず貸切便とする。
- ・ 往復便の判定は、拠点Aで積んだ荷が納品先Yで積載量0になった後、拠点Bで再度ピックアップを行い納品先Zで再度積載量0になるまでとする。
- ・ ピックアップを2回以上行う場合は貸切便扱いとする。
- ・ 往路 to 拠点 ~ 復路 from 拠点、復路 to 拠点 ~ 往路 from 拠点間が km 以上ある組合せは往復便とはしない。
- ・ 帰り便を活用した場合、割引が適用されるものとする。
- ・ 帰り便を活用した場合、出発拠点に戻るまでの時間がトラックの稼働時間の制約を超えないものとする。
- ・ 往復料金 = 往路料金 A + (復路料金

B ×) 往路 A 復路 B ___ :
割引率 (パラメータ)

・ 積込時間を考慮する

(4) 輸送ルート生成時の考慮事項

- ・ 拠点稼働時間 : 拠点毎の稼働日及び稼働時間を設定
- ・ 車型制限 : 拠点毎に対応可能な車種を設定
- ・ 積込時間 : 荷姿特性、拠点特性、車輛特性を考慮した積込時間を設定
- ・ 車輛稼働時間 : 最大稼働時間
- ・ 往復便活用時の帰り便割引 : 帰り便の割引率をパラメータで設定
- ・ 所要時間 : 日中と夜間でリードタイムを使い分け
- ・ 生成した輸配送ルート毎に、該当する輸配送手段の料金タリフを引き当てて、輸配送費を算出する

(5) 最適拠点数 / 立地の提案

- ・ 需要データに基づき、更なるコストダウンが図れる物流拠点数 / 立地を提案する。

(6) 割増/割引料金の考慮事項

- ・ 冷蔵対応
- ・ 冷凍対応
- ・ 危険品割増 (火薬類)
- ・ 危険品割増 (毒劇物)
- ・ 冬期
- ・ 深夜早朝
- ・ 休日
- ・ 特大品

(7) 保管費の算出

- ・ 保管費は自社の場合、減価償却費 + 維持費を入力
- ・ 保管費は賃借の場合、保管面積 + 荷捌面積から算出
- ・ 賃借で保管面積の実績がない場合は、算出された在庫量をもとに計算

(8) 荷役費の算出

- ・ 荷役費は、固定費および変動費を考慮する。
- ・ 荷役費の INPUT 条件は拠点マスタで設定する。

(9) 必要在庫量の算出

- ・ 定量 s, S 定期 定曜日 最適の5つの発注方式を考慮する
- ・ 上記発注方式は製品マスタにて設定できるものとする
- ・ INPUT パラメータ : 許容欠品率、需要の平均、供給の平均 など
- ・ 最適発注方式については、設定欠品率を満たして、総在庫量最小となるように発注指示をかけるよう、最適解を導くものとする
- ・ 倉庫から工場へ発注する際は、各倉庫への最低限の個別最適を検討するだけでなく、輸送ネットワークの効率化についても考慮する
- ・ 定期発注の場合、最小発注量を考慮する

- ・ シミュレーション解析対象期間の初期在庫を設定する際、解析対象期間の在庫データ実績より、波動から予測して初期在庫を設定する
- (10) 工場からの供給
 - ・ 倉庫から工場へ製品を発注する際は、制限なく、任意の時期に任意の物量・アイテムを配送可能とする(工場側の生産能力は考慮しない)。ただし、車型制限やリードタイム、稼働時間(拠点・車輛)、倉庫側受入時間、混載可否等の条件は満たすものとする
- (11) 在庫金額の算出
 - ・ 在庫コストは、自動生成された在庫量を、アイテムマスタの在庫単価を引当ててコスト換算する(物流コストには含めない)
- (12) リスクコストの解析的算出方法
 - ・ リスクコストとは、想定しうるリスクに対して、必要な対策を講じたときに発生するコストである。インプットとして任意のリスクイベントを設定し、これに対するコストを損失の確率×損失の大きさによって算出できるものとする

4. 研究成果

初年度は実務家からのヒアリングより契約便・スポット便の選択、スポット便の国交省他リフ準拠の料金設定・往復便割引・温度帯別配送・危険物配送・ドライバーの休息・夜間走行速度等といった詳細かつ現実的な問題設定を考慮した配送計画を考慮した。これらの要件を考慮することで解空間が非常に狭くなり、メタ解法(SA・ACO)等を用いても現実的とはいえない最終解が導出されたため、一般化割当ベースのヒューリスティクスを提案した。

次年度は初年度に開発した配送計画と在庫計画を統合した在庫配送計画モデルを作成した。具体的には倉庫での発注方式選択(定量/定期)・発注間隔をアイテム毎に選択するモデルを作成した。従来の在庫管理ではアイテム毎に独立に決定が行われるが、配送を考慮することでまとめて運ぶ事による規模の経済を考慮することが重要となりアイテム全体での最適化が必要となる。実データを用いて解析した結果、数千アイテムある中の95%以上は発注感覚0日の定期発注(=毎日配送)が選択された。EOQから判断すると発注感覚1日以上かかる様な比較的動きの遅いアイテムであっても、配送規模の経済を活かし毎日発注という結果が得られた。

最終年度は施設立地を統合したモデルを作成した。作成したモデルをクロスドックセンターの設置の有無を検討する事例に適用して考察を扱った。クロスドックセンターを介した配送は規模の経済を享受できる一方で、中継による遠回りのトレードオフがあり、アイテム全体で最適化を行う必要がある。結

果としては、需要量が大きく遠回りが大きいものについては、工場からの直送、需要量が小さく遠回りが小さいものはクロスドックセンターを設置したロジスティクスネットワーク設計が重要である事がわかった。

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 1 件)

— Kazuho YOSHIMOTO, Weerapat SESSOMBOON, Shunichi OHMORI, Sirawadee ARUNYANART, "Recent Challenges and Progress in Real-world Logistics", 日本経営工学会論文誌 Vol. 65 (2014-2015) No. 2E p. 115-123, 査読無

[学会発表](計 5 件)

Shunichi Ohmori, Kazuho Yoshimoto, Satoshi Kuriyama, Sirawadee Arunyanart, Weerapat Sessnboom, "Vehicle Routing Problem for Freight Forwarding", KGU-IENC2016, 2016年8月4日, Khon Kaen (Thailand)

大森峻一, 吉本一穂, "SVMを用いた直接/間接配送の判別モデル-ロジスティクスにおけるDI分析の活用-", 日本経営工学会2016春季大会, 2016年5月29日, 早稲田大学(東京都新宿区)

神上俊輔, 大森峻一, 吉本一穂, "Backhaulを考慮したクロスドックセンターの立地選択に関する研究", 日本経営工学会2016春季大会, 2016年5月29日, 早稲田大学(東京都新宿区)

Shunichi Ohmori, Sirawadee Arunyanart, Kazuho Yoshimoto, "A robust optimization for lost-sales inventory control problem", 17th international conference on operations research and financial engineering, 2015年12月11日, Sydney (Australia)

Shunichi Ohmori, Kazuho Yoshimoto, "An optimal inventory replenishment considering product life cycle", INFORMS annual meeting 2015, 2015年11月7日, Philadelphia (USA)

[図書](計 0 件)

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉本 一穂 (YOSHIMOTO Kazuho)
早稲田大学 理工学術院 教授
研究者番号: 160925

(2) 研究分担者

大森 峻一 (OHMORI Shunichi)
早稲田大学 理工学術院 助教
研究者番号: 482288