

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K03737

研究課題名(和文)ビッグデータ解析による環境負荷低減を配慮したロジスティクスシステムの構築

研究課題名(英文) Study on Logistics System Considered on Environmental Load Reduction using Big Data Analysis

研究代表者

若林 敬造 (WAKABAYASHI, Keizou)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：90201144

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：環境負荷低減を配慮した配送システムをモデル化した上で運送事業者がルート選択する際の意思決定基準を環境負荷低減・輸送効率向上の両面から提案し、日用品の店舗において作業時間(以下庭先作業時間)を短縮する具体的な改善案を明らかにした。日用品の納入先店舗への配送システムの効率化について、モーダルシフトを導入した場合の意思決定基準をもとにした輸配送システムを環境負荷低減・輸送効率向上の両面から明らかにし、輸配送計画立案の作成時の指針を提供することができた。

研究成果の概要(英文)：The decision making standard when a transportation enterpriser does route choice of the delivery system which considered environmental load reduction after modeling it, was proposed from both sides of environmental load reduction and transportation efficiency improvement and the reform idea in detail which reduces working hours (working hours ahead of the below garden) in a store of daily necessities was made clear. It was possible to make the yu delivery system based on the decision making standard when introducing a modal shift, clear from both sides of environmental load reduction and transportation efficiency improvement and offer the guideline when yu delivery plan drafting makes it, about efficiency of a delivery system to a payment previous store of daily necessities.

研究分野：社会科学

キーワード：ビッグデータ 環境負荷低減 ロジスティクス 店舗作業時間

### 1. 研究開始当初の背景

日用品の配送エリアの拡大に伴う配送システムについて、一時保管的な拠点整備を設けた場合の効果を明らかにする必要があると考えるに至った。

環境負荷低減を配慮した配送システムをモデル化した上で運送事業者がルート選択する際の意味決定基準を環境負荷低減・輸送効率向上の両面から提案し、日用品の店舗において作業時間（以下庭先作業時間）を短縮する具体的な改善案を明らかにし、日用品の納入先店舗への配送システムの効率化について、モーダルシフトを導入した場合の意味決定基準をもとにした輸配送システムを環境負荷低減・輸送効率向上の両面から明らかにし、輸配送計画立案の作成時の指針を提供することを目的として研究に着手するに至った。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、日用品業界の環境負荷の低減にむけたロジスティクスシステムの高度化について、ビッグデータを活用して日用品の消費地への輸送方法における工場、物流センター、店舗間での環境負荷低減を考慮した効率的なロジスティクス・モデルを構築することにある。

### 3. 研究の方法

まず日用品の輸送システムへのモーダルシフトの導入について仮説を構築した。仮説をもとに環境負荷低減の観点から効果的な輸送方法を検証し、その効果を検証した。加えて、日用品の輸配送システムについて、拠点整備と輸配送ネットワークの効率化がCO<sub>2</sub>削減とどのような関わりがあるのかを現状の店舗別の直送について輸送モード別のシナリオを立て、CO<sub>2</sub>排出量を算出し環境負荷低減から見た輸送システムを明らかにした。

### 4. 研究成果

(1)トラックで物流センターに到着した物品は、荷卸しのあとに検品され、検品が済むと所

定の棚などのスペースに格納される。同時にコンピュータで在庫登録を行い、保管数を計上することになる。格納前に商品になんらかの流通加工が施されることもある。格納・保管後、出荷指示が出ると、在庫の引き当てが行われ、ピッキングリストが発行され、物品がどの保管エリアから出荷されるかがわかる。リストに基づいてピッキングが行われ、商品は梱包され、方面別の仕分けが行われる。その際に納品書の発行と商品の検品も行われる。商品は仮置きを経て、トラックに積み込まれる。なお、検品・梱包の段階で流通加工が行われることもある。以上が、基本的な物流センターにおける基本的なプロセスであるが、クラウド型の物流センター情報管理システム（WMS）により管理されるケースが増えている。しかしながらクラウドに対するハッキング、情報漏洩などへの情報セキュリティ対策は後述するが現状では万全とはいえない状況でもある。

(2)物流センター業務を円滑に行うために、業界は次にあげるコンセプトを重視している。まず情物一致である。物流センターに入荷した物品を検品し、格納・保管する際、物品が入荷バースから入荷検品エリア、保管エリアへと移動する毎にバーコードで読み取るなどし、庫内のモノの移動に同期させるかたちで情報管理が行われている。これを物流業界では情物一致（情報・物流の一致）と呼んでいる。庫内におけるマテリアルフローを円滑にしつつ、情報を同期的に管理するためにバーコード、ハンディターミナルなどが活用されている。しかしRFID（非接触タグ）による庫内効率化が進めば、情物一致ではなく、情物分離型の情報管理システムの構築が必要となってくる可能性がある。ついで貨容分離である。

貨容分離（貨物・容器の分離）とは、物流プロセスにおいて、取扱貨物と、パレット、段ボールなどの輸送・保管用容器とを別々に管理することをいう。輸送する貨物はパレットや

段ボールなどの輸送・保管用容器に入れられるため、パレット単位、段ボール単位で情報の紐付けが行われることもあるが、庫内で2次小分け、3次小分けが行われたり、パレット、段ボールなどが空で戻されたり、管理されたりすることもあることから、情報セキュリティの視点からは貨物と容器にはそれぞれ別の識別番号を設け、管理することが望ましいと考えられる。最後に商物分離である。顧客の注文から売上計上に至る商流と、物流センター内の業務となる庫内への入荷、保管、出荷の一連のプロセスについて物流を別々に管理することを指す。商物分離を行わず、商物未分化のままの情報システムでは、例えば、商流のSKU（最小在庫単位）と庫内業務の貨物取扱単位が異なることなどから業務が複雑になる恐れがある。以上の3概念が物流センター業務を円滑に行ううえでの情報セキュリティ管理の基本となる考え方となっている。しかし、バーコードからさらに高度な情報システムの構築ツールとして期待されているRFIDの導入が物流センターで進む中、情報セキュリティについてもこれまでとは異なる視点から対策を立てていくことが必要になってきている。

(3) サプライチェーンの司令塔としての物流センターにおける情報リスクの特徴をまとめると次のようになる。

物流センターには物品の入荷、出荷、在庫に関する情報が大量に保有されることになる。特に出荷情報が競合他社などに漏れた場合は顧客企業のマーチャンダイジングなどに大きな影響が及ぶことが考えられる。また取引先、顧客情報の漏洩は社会的信用の低下に加えて、取引打ち切り、停止などにつながる恐れもある。

また物流センターの情報管理は前述したように情物一致の原則により運営されているがビッグデータ時代の到来により大量にデータを扱う状況では商物未分化の領域が発生し、そのため、コンピュータ在庫が実在庫と異なるケースが増えることが想定される。実地棚

卸を徹底させることでコンピュータ在庫と実在庫の乖離を防ぐ努力がなされているが、ハッカーによるコンピュータ在庫の改ざんが行われれば、顧客企業のサプライチェーン全体が一時的に途絶するリスクが発生するなどの重篤な状況に陥る可能性も出てくる。

(4) 情報漏洩、情報改ざんのリスク回避を念頭にパスワードが綿密に設定されると、パート作業者の多い庫内環境ではその管理が複雑になり、そのためパスワードの紛失や流出が発生する事態を招きかねない。パスワードの管理体制に問題があればビッグデータ化した顧客情報、在庫が流出することにもなりかねない。物流センターの特性を踏まえるとパスワード管理を効率的に行うにはクラウド化しているWMS(倉庫管理システム)と上位、あるいは下位システムとの連動に際しての暗号化をこれまで以上に徹底する必要があると考えられる。

暗号化方式には共通鍵方式と公開鍵方式があるが、それぞれの特徴を生かしたハイブリッド方式の採用が望ましい。パスワードを平易にする代わりに暗号化アルゴリズムを複雑にすることにより庫内情報の流出、漏洩、改ざんを防ぐ手立てを考えるべきであろう。

(5) 本研究では、日用品を物流センターから各販売店へ輸送するための輸送経路の決定について検討した。図1に本研究で対象とする日用品の輸送経路の概念図を示す。輸送経路決定モデルを示している。当該図は3期間の輸送経路を示している。每期各拠点に商品を輸送すると輸送効率が悪くなる。また一度に大量に輸送すると各販売店の在庫量を圧迫してしまう。そのため、この輸送経路では3期間で訪れた回数が1回のところは3期分、2回のところは3期分を2回に分けて輸送している。これにより、各販売店の在庫量の減少し、輸送機器の積載効率が上がると考えられる。

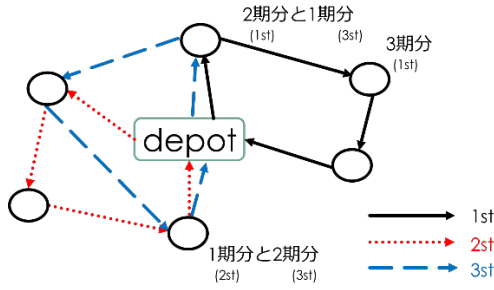


図1 日用品の輸送経路の概念図

日用品の輸送経路決定モデルを構築するに当たり、以下の前提条件を設定する。

各販売店の計画期間中の需要は予測可能である。

各輸送機器は各期にデポを出発し、同期にデポに戻る。

各販売店には每期時間枠が設定されている。

計画期間の期首と期末で各販売店の在庫は等しいものとする。

各輸送機器の積載量は同一とする。

各販売店の在庫スペースは十分大きいものとする。

輸送された商品は輸送された期の次の期に使用可能とする。

各期に各販売店を訪問する輸送機器は一台のみとする。

なお、日用品の輸送経路決定モデルを構築するに当たり、以下の記号を設定する。

$TL$  : 計画期数

$n$  : 拠点の数

$N, N_0, N_1$  : 拠点の集合 .ここで , $\{0\}, \{n+1\}$  はデポを示す。

$$N \in \{1, \dots, n\} \quad (1)$$

$$N_0 \in \{0, \dots, n\} \quad (2)$$

$$N_1 \in \{1, \dots, n+1\} \quad (3)$$

$S_{ij}$  : 拠点  $i$  から拠点  $j$  へ移動時間

$k_t$  :  $t$  期に利用可能な輸送機器の台数

$K_t$  :  $t$  期に利用可能な輸送機器の集合。ここで、

$$K_t \in \{1, \dots, k_t\} \quad (4)$$

$C$  : 輸送機器の積載可能量

$E_t^i$  : 拠点  $i$  の  $t$  期の最早開始時刻

$L_t^i$  : 拠点  $i$  の  $t$  期の最遅開始時刻

$D_t^i$  : 拠点  $i$  の  $t$  期中の需要予測量

$d^i$  : 拠点  $i$  での作業時間

$I_t^i$  : 拠点  $i$  の  $t$  期末の在庫量

$IM^i$  : 拠点  $i$  の計画期間中の平均在庫量

$Q_i^{k,t}$  : 輸送機器  $k$  が拠点  $i$  に  $t$  期中の輸送する輸送量

$T_i^{k,t}$  : 輸送機器  $k$  が拠点  $i$  に  $t$  期中に到着した時間

$Y^t$  :  $t$  期に使用される輸送機器の台数

$X_{ij}^{k,t}$  :  $t$  期に輸送機器  $k$  が拠点  $i$  から拠点  $j$  へ移動するかどうかを示す 0-1 変数

上記の記号を用いて、日用品の輸送経路決定モデルを定式化する。

販売店の在庫量と輸送コストの削減するため、各販売店の平均在庫量の最小化と使用する輸送機器数の最小化を目的とした多目的数理計画問題として、日用品の輸送経路決定モデルを定式化する。[2][3]

1) 使用する輸送機器数の最小化

$$F_1 = \sum_{t=1}^{TL} Y^t \longrightarrow \min \quad (5)$$

式(5)は、各期で使用する輸送機器の総和を最小にすることを示す目的関数である。

2) 平均在庫量の最小化

$$F_2 = \sum_{j \in N} IM^j \longrightarrow \min \quad (6)$$

式(6)は、各拠点の平均在庫量の総和を最小にすることを示す目的関数である。

3) 各拠点の在庫量に関する制約条件

$$I_{t+1}^j = I_t^j + \sum_{k \in K_t} Q_t^{k,j} - D_{t+1}^j \quad (7)$$

$$(t=1, \dots, TL, j \in N)$$

$$IM^j = \sum_{t=1}^{TL} I_t^j / TL \quad (8)$$

$$(j \in N)$$

式(7)は、各拠点の期末在庫量に関する制約条件であり、式(8)は、各拠点の平均在庫量を求める計算式である。

4) 輸送機器の移動経路に関する制約条件は次のようになる。

$$\sum_{j \in N_1} X_{ij}^{k,t} - \sum_{j \in N_0} X_{ji}^{k,t} = 0 \quad (9)$$

$$(t=1, \dots, TL, i \in N, k \in K_t)$$

$$\sum_{j \in N_1} X_{0j}^{k,t} = 1 \quad (10)$$

$$(t=1, \dots, TL, k \in K_t)$$

$$\sum_{j \in N_0} X_{j,n+1}^{k,t} = 1 \quad (11)$$

$$(t=1, \dots, TL, k \in K_t)$$

式(9) (11)は、各輸送機器の移動経路に関する制約条件を示す。

5) 使用する輸送機器数に関する制約条件

$$Y^t = \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N} X_{0j}^{k,t} \quad (12)$$

$$(t=1, \dots, TL)$$

式(12)は、 $t$ 期にデポを出発する輸送機器数を示す。

6) 各輸送機器の積載可能量に関する制約条件

$$\sum_{j \in N} Q_t^{k,j} \leq C \quad (13)$$

$$(t=1, \dots, TL, k \in K_t)$$

式(13)は、積載量は積載可能量以下であることを示す。

7) 輸送経路と輸送量に関する制約条件

$$\sum_{i \in N_0} X_{ij}^{k,t} = 1 \Rightarrow Q_t^{k,j} \geq 0 \quad (14)$$

$$(t=1, \dots, TL, j \in N, k \in K_t)$$

式(14)は、拠点  $j$  へ  $t$  期に移動する輸送機器がある場合は、拠点  $j$  への輸送が可能であることを示す。

8) 各拠点の到着時間に関する制約条件

$$X_{ij}^{k,t} = 1 \Rightarrow T_i^{k,t} + d_i + S_{ij} \leq T_j^{k,t} \quad (15)$$

$$(t=1, \dots, TL, i \in N_0, j \in N_1, k \in K_t)$$

式(15)は、拠点  $i$  から拠点  $j$  へ輸送機器  $k$  が移動した場合の拠点  $i$  への到着時間と拠点  $j$  への到着時間の関係を示す。

$$\sum_{i \in N_0} X_{ij}^{k,t} = 1 \Rightarrow E_t^j \leq T_j^{k,t} \leq L_t^j \quad (16)$$

$$(t=1, \dots, TL, j \in N, k \in K_t)$$

式(16)は、輸送機器  $k$  の拠点  $j$  への到着時間が時間枠内にあることを示す。

9) 0 - 1 変数

$$X_{ij}^{k,t} \in \{0,1\} \quad (17)$$

$$(t=1, \dots, TL, i \in N_0, j \in N_1, k \in K_t)$$

10) 整数変数

$$Y^t \in \{0,1, \dots, k_t\} \quad (18)$$

$$(t=1, \dots, TL)$$

11) 変数の非負条件

$$I_t^i \geq 0 \quad (19)$$

$$(t=1, \dots, TL)$$

$$IM^j \geq 0 \quad (20)$$

$$(j \in N)$$

$$Q_t^{k,i} \geq 0 \quad (21)$$

$$(t=1, \dots, TL, j \in N, k \in K_t)$$

$$T_j^{k,t} \geq 0 \quad (22)$$

$$(t=1, \dots, TL, j \in N, k \in K_t)$$

式(7)-(22)を制約条件として、式(5)、(6)を最小化する多目的数理計画問題を日用品の輸送経路決定モデルと呼ぶ。

日用品の輸送経路決定モデルで定式化したモデルは、多目的数理計画問題である。そのため、パレート最適の概念に基づいた解法を用いる。

(手順1) 式(7)-(22)を制約条件として式(5)を最小にする解を求める。

(手順2) (手順1)で求めた式(5)の値を制約条件に追加し、式(6)を最小にする解を求める。

(手順3) 式(7)-(22)を制約条件として式(6)を最小にする解を求める。

(手順4) (手順3)で求めた式(6)の値を制約条件に追加し、式(5)を最小にする解を求める。

(手順2)と(手順4)で求めた解の間に存在する解を求める。

(6)本研究で提案した日用品の輸送経路決定モデルの特徴性を明らかにするため、数値例を示す。

本研究で対象とする輸送経路決定モデルを解くために使用したパソコンは、Intel Core i7 -3820(3.60GHz), RAM (64GB)であり、数理計画ソフトウェアはFICO Xpress 7.4である[4]。

入力データ

(1)計画期数  $TL = 7$

(2)使用可能輸送機器台数  $k_t = 3$

(3)輸送機器の積載可能量  $C = 400$

(4)最早開始時刻および最遅開始時刻

$$E_t^j = 8, L_t^j = 17$$

(5)各拠点での作業時間  $d_j = 0.5$

(6)各拠点の需要予測量

表 1 に各拠点の需要予測量を示す。

表 1 各拠点の需要予測量

期	1	2	3	4	5	6	7
拠点 1	50	400	300	100	200	200	300
拠点 2	100	60	150	400	100	350	50
拠点 3	300	250	100	150	400	300	200
拠点 4	200	100	300	400	50	70	20
拠点 5	80	100	150	300	150	200	400

(7) 拠点間の移動時間

表 2 に各拠点間の移動時間を示す。

実行結果

入力データをもとに、日用品の輸送経路決定モデルを解いた。図 2 に計算結果を示す。

表 2 各拠点間の移動時間

拠点	1	2	3	4	5	6
0	1.05	2.05	1.03	1.13	1.28	0.0
1	0.0	1.78	2.03	1.78	1.13	1.05
2	1.78	0.0	2.30	3.15	2.85	2.05
3	2.03	2.30	0.0	1.68	2.25	1.03
4	1.78	3.15	1.68	0.0	1.05	1.13
5	1.13	2.85	2.25	1.05	0.0	1.28

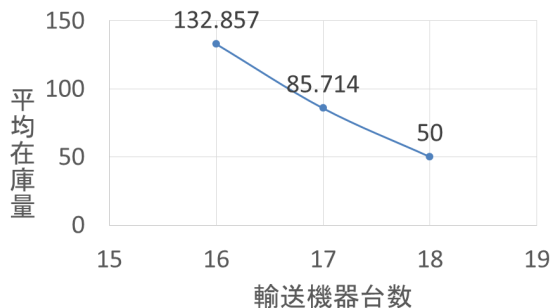


図 2 計算結果

日用品の輸送経路決定モデルの解法で提案した解法により、手順 2 で輸送機器数 16 台の解が求まり、手順 4 で平均在庫量 50 の解が求まった。その後、輸送機器数 17 台を制約条件として手順 5 の解を求めた。実務上は、この 3 つの解から 1 つを選択して運用すると考えられる。

(8) 日用品の輸送経路決定モデルを多目的数理計画問題に定式化し、数値例を用いてその特徴を明らかにした。今後の課題としては、メタヒューリスティック解法を用いて、需要予測量の変化に対応できる輸送経路決定について検討することなどがあげられる。

<引用文献>

鈴木良介, 「ビッグデータビジネス」, 日本経済新聞出版社 (2012)  
 Bertazzi, L. and Speranza M. G., "Inventory routing problems: an introduction", EURO Journal on Transportation and Logistics, Vol. 1, Issue 4, pp 307-326 (2012)

石原良晃, 平木秀作, 徐祝淇, 宿元明, 新谷浩一, "トレーラーによる完成車の配送計画の立案", 日本ロジスティクスシステム学会第 15 回全国大会予稿集, pp.49-52 (2012)

FICO : FICO : Xpress を使用した最適化アプリケーション問題集, MSI 株式会社 (2012)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

日本の百貨店における SCM の取組みと機会損失に関する研究, 生島義英, 唐澤豊, 若林敬造, 日本ロジスティクスシステム学会第 20 回全国大会予稿集, PP25-30, 2017 年 7 月, ISSN1349-8770, 査読なし

日用品の輸送経路決定に関する一考察, 石原良晃, 若林敬造, 鈴木邦成, 日本ロジスティクスシステム学会第 20 回全国大会予稿集, PP89-92, 2017 年 7 月, ISSN1349-8770, 査読なし

[学会発表](計 2 件)

運行管理の効率化の実現に向けての主要 KPI の検証, 羽佐田悟, 鈴木邦成, 日本ロジスティクスシステム学会, 2018 年 3 月

現代物流センターにおけるビッグデータ管理の方向性, 羽佐田悟, 鈴木邦成, 日本ロジスティクスシステム学会, 2018 年 3 月,

[図書](計 2 件)

SCM ハンドブック, 唐澤豊, 鈴木邦成, 井手吉成佳, 中村理史, 生島義英, 若林敬造, 他 22 名, 共立出版株式会社, 2018 年 3 月 1252 頁

トコトンやさしい小売・流通の本, 鈴木邦成 2017 年 10 月 日刊工業新聞社 160 頁

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若林 敬造 (WAKABAYASHI, Keizou)  
 日本大学・生産工学部・教授  
 研究者番号: 90201144

(2) 研究分担者

佐藤 馨一 (SATOU, Keiichi)  
 北海商科大学・商学部・教授  
 研究者番号: 00091455

鈴木 邦成 (SUZUKI, Kuninori)  
 日本大学・生産工学部・教授  
 研究者番号: 20440448

石原 良晃 (ISHIHARA, Yoshiaki)  
 大島商船高等専門学校・その他部局等・教授  
 研究者番号: 60232336