

不確実な需要に対応した多品種多拠点配送計画システム (多品種 MCPS-D)

上 野 信 行 ・ 宇 都 宮 遥 加

Mass Customization Production Planning System for Delivery with multi-item for Uncertain demand

Nobuyuki UENO and Haruka UTSUNOMIYA

要 約

顧客需要の不確実性が進んでいる。大規模小売業者の流通基地（配送センター、RDC など）と店舗などの複数拠点間のサプライチェーンにおいて、顧客需要の不確実性を考慮した発注管理が重要である。

従来の単一品種を扱った多拠点配送計画システム（MCPS-D）を拡張し、多品種を扱うとともに、拠点間における配送リードタイム、また日々の積込み・払い出し能力の制限等を考慮することができる「多品種多拠点配送計画システム（多品種 MCPS-D）（MCPS-D with multi-item : Mass Customization Production Planning System for Delivery with multi-item)」を提案する。問題の記述、定式化、解法の手順、ケーススタディ結果を述べる。

Abstract

It is necessary for a new ordering system in a supply chain between a central warehouse and retailers under the uncertain customer demand. We enhanced a model with a single item to Mass Customization Production Planning System for Delivery with multi-item (MCPS-D with multi-item) considering the capacity of loading/unloading and delivery lead-time. Problem description , formulation, solving procedure and case-studies are described. It's shown that the solving is available for the problem.

1. はじめに

顧客需要の不確実性が進んでいる。大規模小売業者の流通基地（配送センター、RDC など）と店舗などの複数拠点間のサプライチェーンにおいて、顧客需要の不確実性を考慮した発注管理が

重要である。

家電製品について、メーカー・量販店 20 社が九州で共同物流を行う計画がある [1]。メーカー側は、従来、量販店が個別にもうける物流施設を回って九州向けの製品を配送してきたが、共同化後は共同の施設への輸送のみですむ。また、共同物流施設からは一定の地域向けの販売店向けであれば異なるチェーンでもまとめて配送可能になる。このようなケースも視野に入れる。

従来の単一品種を扱った多拠点配送計画システム (MCPS-D) [2] を拡張し、多品種を扱うとともに、拠点間における配送リードタイム、また日々の積込み・払い出し能力の制限等を考慮することができる「多品種多拠点配送計画システム (多品種 MCPS-D) (MCPS-D with multi-item: Mass Customization Production Planning System for Delivery with multi-item)」を提案する。そして、問題の記述、定式化、解法の手順、結果を説明する。本解法が有効であることを示す。

2. 研究の目的

拠点 (複数) の不確実な需要に対応して、品切れ率と仕入コスト・在庫コストを指標に、これらの両立を図る「多品種多拠点配送計画モデル」を提案し、シミュレーションにより検証する。

応用分野としては、①家電販売会社における電化製品等の持ち帰り品、メンテナンス品など汎用品を対象製品として想定している。この分野は機能重視、感性重視によるカスタマイズ化などが大きく進んでおり、顧客需要の不確実性が大きく、新しい発注法により効率的な管理を行うことが不可欠である。また、②前述の共同物流における共同物流運営会社の発注管理機能の支援が重要である。

3. 対象のサプライチェーン

大手家電販売会社においては、持ち帰り品 (DVD, サプライ品等) は、店内在庫を持つ。補充は、店舗などの各拠点において顧客の商品の発注を受け、配送センターより 1 回 / 1 日入荷する。発注方法は、①通常時期は、店舗在庫目標数量を事前に設定しておき、売れただけ半自動的に補充する。②需要変動時は、過去の実績・店舗のノウハウにより、個々に発注する。発注方法は、情報システムに対して、手入力する。対象とするサプライチェーンのイメージを図 1 に示す。

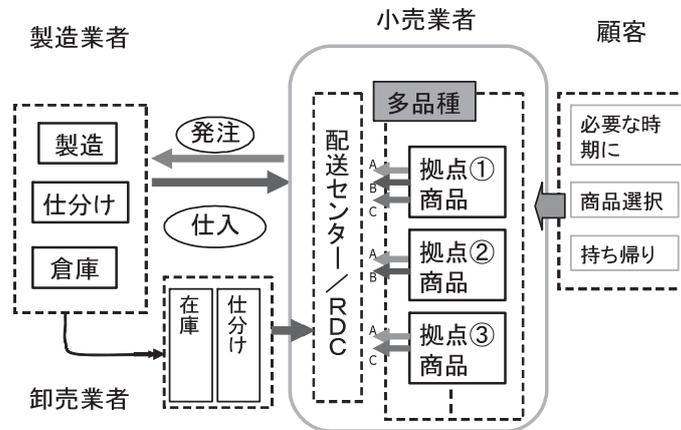


図1 対象とするサプライチェーンのイメージ

4. 多品種多拠点配送計画モデル

4.1 問題の前提

センターと m 箇所の配送拠点の在庫推移をそれぞれの品種ごと（ K 品種）に、 n 期にわたって、各期の計画目標未達率を厳守して、仕入・配送・在庫コストが最小になるように仕入・配送数量を決定する問題を定式化する（図2，図3参照）。定式化にあたり，以下の点を前提とする。

- ① 配送拠点の需要の分布は，予測値を平均値とする標準偏差 ω の正規分布と仮定する。
- ② 計画サイクルは，1回/週（あるいは1回/日）であるが，先1週間（あるいは先2-3日の計画を立案する。）
- ③ 配送拠点，品種ごとの計画目標未達率を考慮できる。未達率（unfulfilled-order-rate）とは，配送未達が発生した回数の比率である。計画目標未達率は，配送拠点，品種別の標準の配送リードタイムの下で許容される未達率である。仕入・配送管理者が配送拠点，品種別の未達率を個々にコントロールできるように，計画目標未達率は，配送拠点，品種ごとに設定できるものとした。
- ④ 配送コスト，在庫コスト，仕入コストの期待値の合計を最小化する。
- ⑤ 各配送拠点までの配送リードタイムは考慮できる。
- ⑥ 各期の払い出し能力は制限があるものとした。

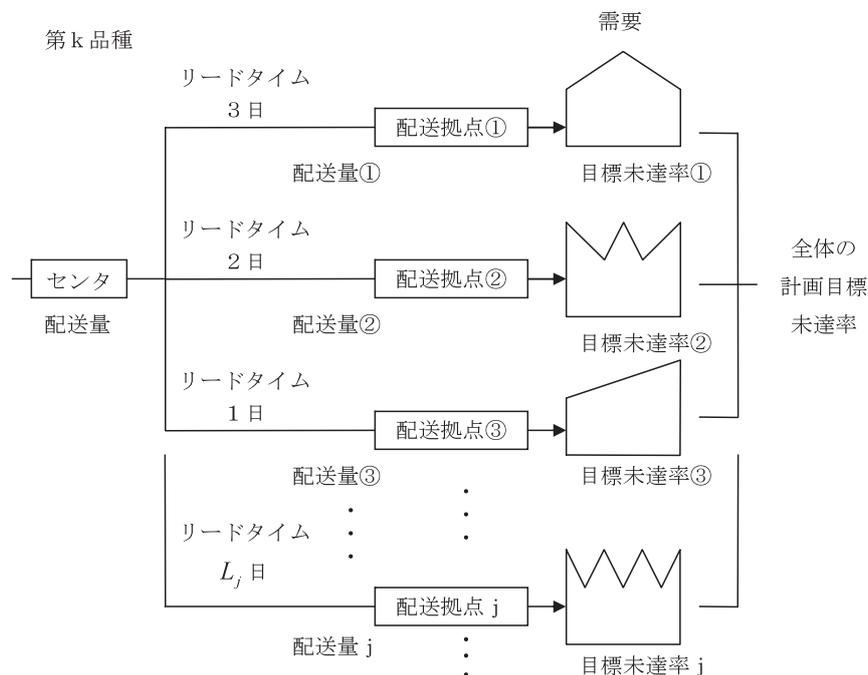


図2 問題の概念図

4.2 記号

i : 期 (ただし, $i \leq n$)

j : 配送拠点 (ただし, $j \leq m$)

k : 品種 (ただし, $k \leq K$)

d_{ijk} : 第 i 期の第 j 配送拠点の第 k 品種の需要量。第 i 期の第 j 配送拠点の第 k 品種の平均値 (内示) \bar{d}_{ijk} , 標準偏差 ω_{ijk} の正規分布に従い, 互いに独立である。すなわち,

$$d_{ijk} \in N(\bar{d}_{ijk}, \omega_{ijk}^2)$$

x_{ijk} : 第 i 期の第 j 配送拠点の第 k 品種の仕入量

S_{ijk} : 第 i 期の第 j 配送拠点の第 k 品種の在庫量, 初期在庫量は S_{0jk}

p_{i0k} : 第 i 期の第 k 品種の工場の単位あたりの仕入コスト

h_{ijk} : 第 i 期の第 j 配送拠点の第 k 品種の単位あたりの在庫コスト

t_{ijk} : 第 i 期の第 j 配送拠点の第 k 品種の単位あたりの配送コスト

L_j : 工場から配送拠点へのリードタイム

r_{jk} : 第 j 配送拠点の第 k 品種の n 期間の配送数量の合計目標

SO_{jk} : 第 j 配送拠点の第 k 品種の n 期までの未達率

β_{jk} : 第 j 配送拠点の第 k 品種別の計画目標未達率

β : 全体の計画目標未達率

Q_i : 第 i 期の仕入能力

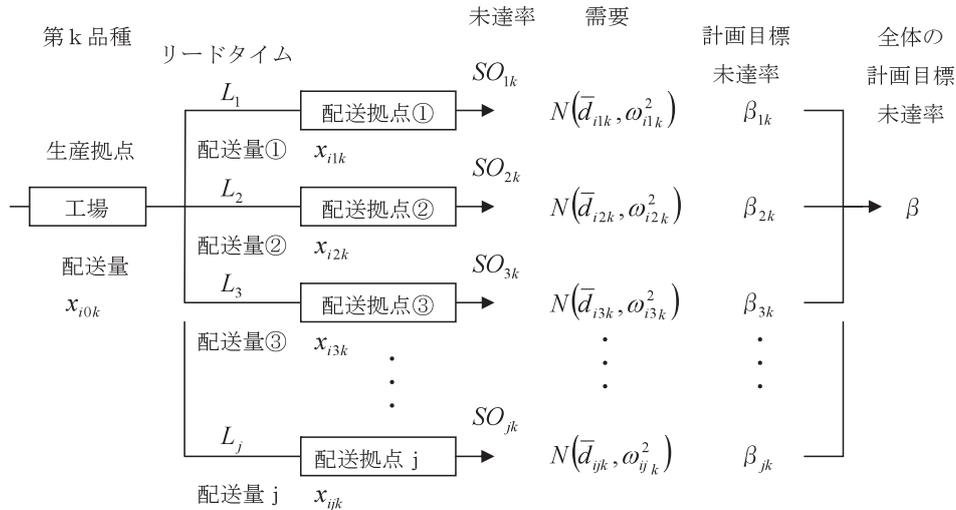


図3 問題の表現

4.3 問題の定式化

【定式化1】

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n p_{i0k} x_{i0k} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (t_{ijk} x_{ijk} + h_{ijk} S_{ijk}) \quad (1)$$

$$S_{0jk} + \sum_{t=1}^i x_{i-L_j, jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tjk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (2)$$

$$S_{0jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (3)$$

$$x_{i0k} - \sum_{j=1}^m x_{ijk} = 0 \quad (\forall i)(\forall k) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = r_{jk} \quad (\forall j)(\forall k) \quad (5)$$

$$SO_{jk} \leq \beta_{jk} \quad (\forall j)(\forall k) \quad (6)$$

$$\sum_{j,k} x_{ijk} \leq Q_i \quad (\forall i) \quad (7)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (8)$$

$$x_{i0k} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall k) \quad (9)$$

ここで、(1) 式は期別品種別仕入量 x_{i0k} 、期別配送拠点別品種別の配送量 x_{ijk} と期別配送拠点別品種別の在庫量 S_{ijk} を変数として、配送費用と在庫費用の合計の期待値 (Expectation) を最小化することを表している。(2) 式は、拠点別、品種別に拠点、品種において、内示以下の需要の範囲では、在庫は拠点品種別に各期とも非負であること、(3) 式は、配送が届かない場合に需要予測値を満たすための最低初期在庫数制約、(4) 式は、仕入量が配送拠点へ配送した合計数量と合致することをそれぞれ表している。そして、(5) 式は、仕入合計数量制約、(6) 式は、配送拠点別品種別の計画目標未達率制約である。また、(7) 式は、期別の払い出し能力制約を表している。

上記の問題は、需要が確率的な仕入・在庫問題であり、(s,S) 政策 [3, 4] は、このタイプの問題として有力であるが、仕入・配送にかかわる期別や配送拠点別の多数の制約を有する場合には、適用が困難である。

4. 4 解 法

【定式化 1】に対してリラクゼーション戦略を用いて実際的で効果的な解法を提案する (図 4 参照)。リラクゼーション戦略とは、複雑な非線形計画法を解く近似解法の基本戦略の 1 つである。元の問題を解きやすい問題たとえば、線形計画問題に変換し、解が元の制約領域に入っていれば最適解、無ければ逐次に制約領域を狭めて、解に近づけていく [5, 6]。

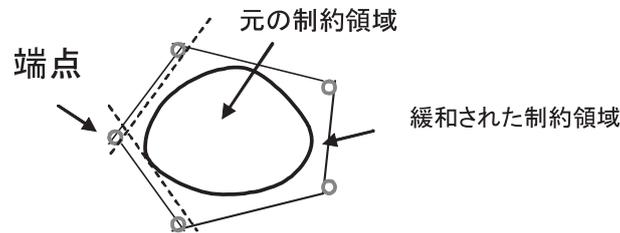


図 4 Relaxation 戦略の概念図

定式化 1 の (6) 式を除いた問題を考え、多拠点多品種配送 P 問題とする。これは線形計画問題となり、簡単に解が求まる。目的関数 式も S_i を消去し、簡素化している。

【多拠点多品種配送 P 問題】

$$\text{minimize } \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m h_{jk} \sum_{t=1}^n (n-t+1)x_{t-L_j, jk} \quad (10)$$

$$\text{s.t. } S_{0jk} + \sum_{t=1}^i x_{t-L_j, jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tjk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (11)$$

$$S_{0jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tjk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (12)$$

$$x_{i0k} - \sum_{j=1}^m x_{ijk} = 0 \quad (\forall i)(\forall k) \quad (13)$$

$$\sum_{t=1}^n x_{ijk} = r_{jk} \quad (\forall j)(\forall k) \quad (14)$$

$$\sum_{j,k} x_{ijk} \leq Q_i \quad (\forall i) \quad (15)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (16)$$

$$x_{i0k} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall k) \quad (17)$$

$(x_{1jk}^o, x_{2jk}^o, \dots, x_{nj}^o), (j=1, 2, \dots, m)(k=1, 2, \dots, K)$ を多拠点多品種配送 P 問題の最適解としたとき、これが (6) 式を満たしていれば、 $(x_{1jk}^o, x_{2jk}^o, \dots, x_{nj}^o), (j=1, 2, \dots, m)(k=1, 2, \dots, K)$ は、全体の最適解となる。(6) 式を満たさなければ、第 i 期、第 j 配送拠点、第 k 品種の未達率がある目標 β_{ijk} 以下になることを保障された「多拠点多品種配送 MP 問題」を構成する。

ここで $\beta_{ijk} = 1 - \sqrt[n]{1 - \beta_{jk}} \quad (\forall i)$ である。

【多拠点多品種配送 MP 問題】

$$\text{minimize } \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m h_{jk} \sum_{t=1}^n (n-t+1)x_{t-L_j, jk} \quad (18)$$

$$\text{s.t. } S_{0jk} + \sum_{t=1}^i x_{t-L_j, jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tjk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (19)$$

$$S_{0jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tjk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (20)$$

$$x_{i0k} - \sum_{j=1}^m x_{ijk} = 0 \quad (\forall i)(\forall k) \quad (21)$$

$$S_{0jk} + \sum_{t=1}^i x_{t-L_j, jk} - \sum_{t=1}^i \bar{d}_{tjk} \geq K_{ijk} \quad (\forall i, j, k \in B_{jk}) \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = r_{jk} \quad (\forall j)(\forall k) \quad (23)$$

$$\sum_{j,k} x_{ijk} \leq Q_i \quad (\forall i) \quad (24)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall j)(\forall k) \quad (25)$$

$$x_{i0k} \geq 0 \quad (\forall i)(\forall k) \quad (26)$$

多拠点多品種配送 MP 問題は、多拠点多品種配送 P 問題に比べて、(22) 式を追加している。多拠点多品種配送 MP 問題の (22) 式における K_{ijk} と集合 B_{jk} について述べる。「第 i 期、第 j 配送拠点、第 k 品種の在庫量 S_{ijk} が、期別未達率 β_{ijk} 以下である」ためには、図 5 が示すように、

$$\beta_{ijk} = \int_{-\infty}^{y_{ijk}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ijk}} e^{-\frac{(S_{ijk}-m_{ijk})^2}{2\sigma_{ijk}^2}} dS_{ijk} \quad (27)$$

$$K_{ijk} = m_{ijk} - y_{ijk} \quad (28)$$

となる y_{ijk} , K_{ijk} を求め、期別未達率 β_{ijk} 以下となるためには、「(第 i 期、第 j 配送拠点、第 k 品種の在庫量 S_{ijk} の期待値) $\geq K_{ijk}$ 」を満足すればよい [5, 6]。

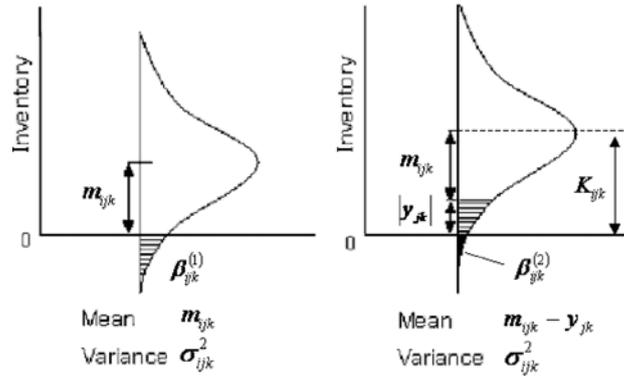


図 5 解法の基本骨子

また、第 j 配送拠点、第 k 品種に関して、期のインデックスの集合を T_{jk} 、期別未達率が β_{ijk} 以下となる期のインデックスの集合を B_{jk} とする。

各配送拠点、各品種の計画目標未達率 β_{jk} の各期の計画目標未達率 β_{ijk} を

$$\beta_{ijk} = 1 - \sqrt[n]{1 - \beta_{jk}} \quad (29)$$

とし、多拠点多品種配送 MP 問題を解いたときの未達率を $\beta_{ijk}^{(1)}$ とする。

各期の計画目標未達率 $\beta_{ijk}^{(2)}$ と $i_{jk}^{(2)}$ を、

$$\beta_{ijk}^{(2)} = \beta_{ijk}^{(1)} - \text{sgn}(\beta_{ijk}^{(1)} - \beta_{ijk}) \cdot \frac{|\beta_{ijk}^{(1)} - \beta_{ijk}|}{INC} \quad (30)$$

$$i_{jk}^{(2)} = \arg \max_{i \leq n} (\beta_{ijk}^{(2)}) \quad (31)$$

と決め、 $B_{jk} = \{i_{jk}^{(2)}\}$ とする。 $\beta_{ijk}^{(2)}$ に対して、(32)(33) 式から、

$$\beta_{ijk}^{(2)} = \int_{-\infty}^{y_{ijk}^{(2)}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ijk}} e^{-\frac{(S_{ijk}-m_{ijk})^2}{2\sigma_{ijk}^2}} dS_{ijk} \quad (32)$$

$$K_{ijk}^{(2)} = m_{ijk} - y_{jk}^{(2)} \tag{33}$$

となる $K_{ijk}^{(2)}, i_{jk}^{(2)} \in B_{jk}$ を (22) 式に当てはめると、「第 $i_{jk}^{(2)}$ の第 j 配送拠点, 第 k 品種の在庫量 S_{ijk} が, 期別の計画目標未達率 $\beta_{ijk}^{(2)}$ 以下」となる多拠点多品種配送 MP 問題を構成できる。また, $INC = 2$ である。

4. 5 解法の手順

解法の手順を図 6 に示す。

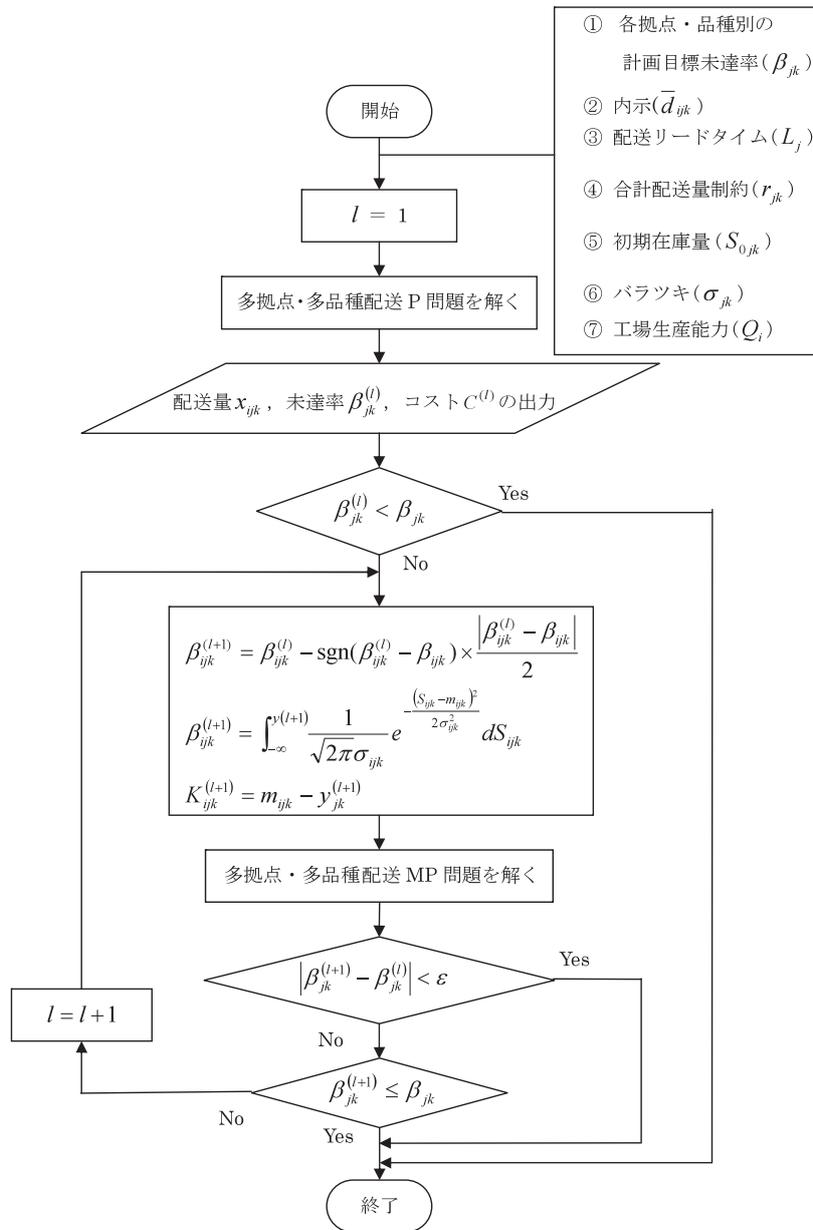


図 6 解法のフローチャート

5. 数値計算

センターを北広島，配送拠点①を関東，配送拠点②を大阪，配送拠点③を九州とし，配送リードタイムをそれぞれ3日，2日，1日としている。なお，今回のシミュレーションで配送拠点・品種別の計画目標未達率 β_{jk} を設定して数値計算を行い，各配送拠点・品種別の計画目標未達率 β_{jk} が全て5%以下になる，あるいは $\beta_{jk}^{(l+1)} - \beta_{jk}^{(l)} < 0.0001$ の場合にそれ以上の改善を見込めないと判断し，数値計算を終了する。

5.1 数値計算1（モデルのBase結果）

Baseでは1期から5期までの内示の合計を関東150，関西120，九州90としてランダムに設定し，初期在庫量も内示合計に対応して関東130，関西90，九州50としている。

前提条件を表1の通りとする。

表1 Baseの前提条件

表1(a) 前提条件（関東・品種1）

期	1	2	3	4	5
内示	24	30	28	38	30
初期在庫	130	5期の合計配送量制約		80	
バラツキ	0.35	計画目標未達率		5%	

表1(b) 前提条件（関東・品種2）

期	1	2	3	4	5
内示	24	28	33	30	35
初期在庫	130	5期の合計配送量制約		80	
バラツキ	0.35	計画目標未達率		5%	

表1(c) 前提条件（関西・品種1）

期	1	2	3	4	5
内示	20	24	18	28	30
初期在庫	90	5期の合計配送量制約		80	
バラツキ	0.35	計画目標未達率		5%	

表1(d) 前提条件（関西・品種2）

期	1	2	3	4	5
内示	22	25	18	30	25
初期在庫	90	5期の合計配送量制約		80	
バラツキ	0.35	計画目標未達率		5%	

表1(e) 前提条件(九州・品種1)

期	1	2	3	4	5
内示	15	20	18	15	22
初期在庫	50	5期の合計配送量制約		80	
バラツキ	0.35	計画目標未達率		5%	

表1(f) 前提条件(九州・品種2)

期	1	2	3	4	5
内示	18	20	15	23	14
初期在庫	50	5期の合計配送量制約		80	
バラツキ	0.35	計画目標未達率		5%	

表1(g) 前提条件(工場生産能力・各コスト)

各期の工場生産能力	130
生産コスト	1
在庫コスト	1
配送コスト	1

5.2 結果

全ての各拠点品種別の未達率と各ケースの配分結果の特徴を表2にまとめ、この表で、目標未達率である5%を達成したものには下線を引いている。

表 2 数値計算結果

		未 達 率		配分結果の説明
		品種 1	品種 2	
Base		関東 <u>4.970%</u> 関西 <u>4.975%</u> 九州 <u>4.965%</u>	<u>4.691%</u> <u>4.913%</u> <u>4.947%</u>	配送リードタイムの影響で、配送量が関東は1～2期、関西は1～3期、九州は1～4期に集中している。
Case1	関東品種1の2期の内示をBaseの1.5倍である45とする。	関東 13.488% 関西 <u>4.950%</u> 九州 7.662%	<u>4.891%</u> 5.238% 9.164%	関東品種1の1期の配送量を確保し、極端に高い未達率になることを避けるため、特に九州との間で、拠点品種間で調整を行っている。
Case2	関東品種1の初期在庫量をBaseの130から100にする。	関東 25.966% 関西 5.322% 九州 7.469%	<u>4.431%</u> 7.631% 7.454%	関東品種1だけが低い未達率になることを避けるために、関西、九州が関東品種1の1期の配送量を確保するために、拠点品種間で調整を行っている。
Case3	関東品種1の初期在庫量をBaseの130から160にする。	関東 <u>4.881%</u> 関西 <u>4.953%</u> 九州 <u>4.963%</u>	<u>4.660%</u> <u>4.985%</u> <u>4.936%</u>	未達率は全てにおいて目標を達成し、関東品種1は、初期在庫量で需要の大部分を補えるようになった。
Case4	関東の需要のバラツキをBaseの0.35から0.5とする。	関東 8.748% 関西 8.964% 九州 17.142%	9.921% 5.244% 18.761%	需要のバラツキが増え、調整の厳しい関東の高すぎる未達率を避けるため、関東品種1、品種2共に5期間全ての配送量を5期間で搬入可能な1、2期で生産し、搬入されない3～5期では全く生産せず、在庫量を増やしている。生産能力制約を満たすため、九州、関西により拠点間調整されている。未達率は全体的に他のいずれのケースよりも大きく、どの拠点品種でも5%を満たしていない。
Case5	関東の生産合計数量制約をBaseの80から100とし、関西、九州をBaseの80から70とする。	関東 <u>4.279%</u> 関西 <u>4.900%</u> 九州 <u>4.939%</u>	<u>4.978%</u> <u>4.989%</u> <u>4.059%</u>	関東品種1、品種2共に生産合計数量制約を大きくした分を主に5期間で配送されない4期にて生産されていることから、オーバーアクションであることがわかる。
Case6	関東品種1の初期在庫量をBaseの130から120に減少、内示をBaseよりも全ての期において2ずつ、合計10多いとする。関東の需要のバラツキをBaseの0.35から0.4とする。	関東 19.844% 関西 7.898% 九州 12.300%	<u>4.887%</u> 5.602% 10.395%	関東での未達率が極端に高くなりすぎないように、関東品種1では、合計配送量制約全ての量を1、2期で生産し、関東品種2でも1期の配送量を多くすることで、十分に在庫量を維持している。それを受けて、生産能力制約を満たすため、九州で主に調整が行われ、同時に関西でも調整されている。

今回の数値計算の結果からどこかの拠点、品種（今回は関東品種1）で不測の事態が生じた場合、各拠点への配送リードタイムの影響で生産できる期が限られていることもあり、その拠点以外の他の拠点により配送量を調整し、できるだけ未達率が5%に近づくように、拠点品種間で調整を行っていることがわかる。

6. 提案する多品種多拠点配送計画モデルの運用

運用イメージを図7に示す。

入力①拠点の内示(需要予測値)とばらつき係数 σ

期		1	2	3	4	5
拠点①	品種①	24	30	28	38	30
	品種②	24	28	33	30	35
拠点②	品種①	20	24	18	28	30
	品種②	22	25	18	30	25
拠点③	品種①	15	20	18	15	22
	品種②	18	20	15	23	14

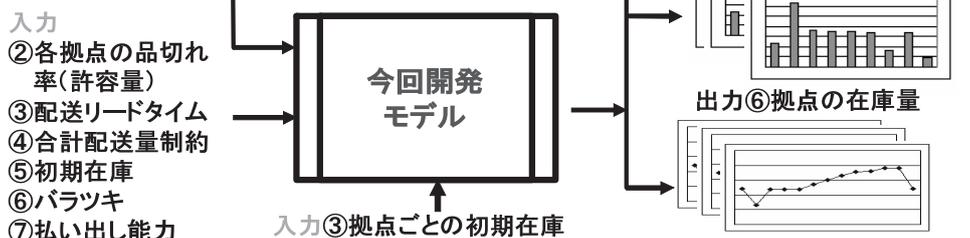


図7 多品種多拠点配送計画モデルの運用

7. まとめと今後の予定

- ① 拠点需要の不確実性を考慮した配送センターの多品種多拠点配送計画モデルとその解法を開発した。
- ② Microsoft Excel を用いてシステム化した。
- ③ 様々なケースの数値計算により、拠点品種間で適切に調整が行われていることを明らかにした。
- ④ 日々のオペレーションのモデルができ、在庫圧縮、品切れ率、コスト削減などの操業指針を得る。また、情報システム設計のノウハウが確立した。

今後の課題は、

- ① 様々な業界に対応したモデルへの拡張と汎用化
- ② 期間数、拠点数、品種数の大規模化
- ③ 先行需要情報を活用した配送システム [7] に対して、数理計画法を用いた研究を進めていく。

謝 辞

本研究の一部は、県立広島大学重点研究事業「学部プロジェクト」研究費の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 日本経済新聞社：家電九州で共同物流，日本経済新聞 2009_2_17
- [2] 上野信行，山本剛，奥原浩之：需要の不確実性を考慮した多拠点の生産・配送統合モデル（MCPS-D）の開発－マスカスタマイゼーション対応の生産計画システム（MCPS）の物流分野への応用－，県立広島大学論集，Vol.1，No.1，pp.169-182（2009）
- [3] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi : *Designing and Managing the Supply Chain*, McGraw Hill College (1999)
- [4] Edward A.Silver, David F.Pyke,Rein Peterson : *Inventory Management and Production Planning and Scheduling 3rd edition*, Jon Willey & Sons (1998)
- [5] 上野信行，古田恭三，奥原浩之，渋谷宏明，倉本敏明：マスカスタマイゼーション対応生産計画システムの多品種モデルへの拡張，システム制御情報学会論文誌，Vol.18，No.3，pp.89-99（2005）
- [6] N. Ueno, K. Okuhara, H.Ishii , H. Shibuki and T. Kuramoto : Multi-item Production Planning and Management System Based on Unfulfilled Order Rate in Supply Chain; *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.50, No.3, pp.201-218 (2007)
- [7] Ö.Özer : Replenishment Strategies for Distribution System Under Advance Demand Information, *Management Science*, Vol.49, No.3, pp.255-272 (2003)