

# 広域物流におけるパレット回送計画システム

島田孝徳

松下電器産業(株) マルチメディアシステム研究所

物流においてはパレットを用いて輸送業務を行なっている業種がある。この業種において閑散期はパレットに基づく問題は発生しないが、繁忙期においてはパレット不足が心配されるので業務の運営に支障が起きないようにパレットをハブ間で回送する。このようなパレット管理に対する必要性は以前から指摘されていたが、これまで広域物流においてはパレットの数が膨大なため困難であった。しかし近年無線ICカードなどの技術進展と共に正確なパレット管理の可能性が広がっている。本報告ではこの問題の事例を紹介しパレット回送計画方法のシステム化について検討する。

Palette Transportation Planning System for Wide Area Logistics

Takanori Shimada

Multimedia Systems Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co.,Ltd

4-5-15 Higashi-Shinagawa, Shinagawa-Ku, Tokyo 140, Japan

E-mail: shimada@trl.mei.co.jp

In the palette use Logistics, palettes Transportation is required in busy period. They are moved among hub-centers in order to avoid business trouble caused by lack of palettes. No eligible device has interrupted palette control for a long time but recent multimedia innovation enables reasonable palette management. We introduce a case of palette management problems and exercise methods of palette management methods

## 1. まえがき

物流にはパレットと呼ばれる容器を用いて輸送業務を行なっている業種がある。この種の物流業務においては閑散期は業務上パレットに基づく問題は特に発生しないが、繁忙期においてはパレット不足が心配される。そこでパレット不足により業務の運営に支障が起きないようにパレットをハブ間で回送する。このようなパレット管理に対するニーズは以前からあったが、これまで広域物流においてはパレ

ットの数が膨大なためパレットを管理するのが困難であった。しかし近年無線ICカードなどの技術進展と共に正確なパレット管理の可能性が広がっている。同様の問題としてコンテナ回送問題【1】があるがこの場合には発注サイクルが長い。今回とりあげた問題の特徴としては発注サイクルが短い在庫問題と回送計画問題を同時に取り扱わねばならないことである。本報告ではこの問題の概要を説明し効率的なパレット回送計画立案方法およびシステム構築について検討する。

## 2. 問題の概要

### 2.1 パレット回送計画問題とは

今回システム検討の対象としたM社では一般に輸送業務を次のような手順で行なっている。

- (i) 物資の入ったケースをパレットといわれる鉄またはアルミの籠に入れる。
- (ii) 数台のパレットを輸送用のトラック／航空機／鉄道のいずれかに載せる。トラックは6種類の車種がある。
- (iii) ハブは役割上図1に示すように上位ハブと下位ハブの二層の階層構造をなしている。

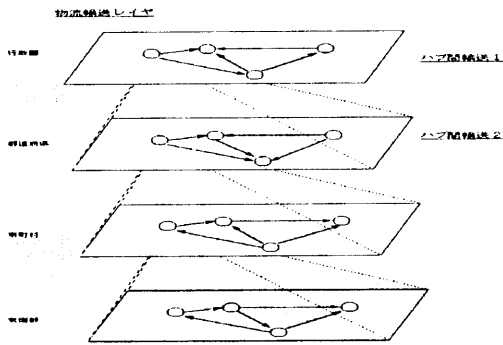


図1 広域物流輸送レイヤ

上記で一般にアルミのパレットはハブ間のトラック輸送に使われ、鉄のパレットはそれ以外の輸送に使われている。現在日本全国にハブは散在しているが通常は既定便がこれらのハブ間で物資を輸送している。物流には1年を通じて閑散期と繁忙期とがあるが繁忙期には臨時便を出し顧客のニーズに応える。それでも足りない場合には突発便を出して補う。

物流の場合は特に年末年始が繁忙期となるが、この時には通常の数倍の物流量が流通するためすべての物資が載けるようにパレット管理に特に配慮する。繁忙期ではパレット在庫基準量（以下在庫基準量）を設定し、定刻までにパレットが在庫基準量に足りない場合には、管轄の上位ハブにパレットの足りない旨を連絡する。繁忙期においては全国単位でパレットの足りないハブ（需要ハブ）余っているハブ（供給ハブ）が発生するので、ハブではこれらのハブ間でパレットを相互輸

送してパレットの需給における全国的なバランスを保つ。

今回対象としている問題はこれらのバランスを保つ上で発生するパレット回送計画問題である。システム化の検討に当たってはトラック輸送に使われるアルミパレットの場合を中心に分析を行なう。

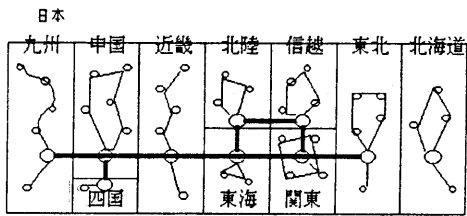
### 2.2 アルミパレット回送計画の現状

M社では繁忙期期間中に専任者（1人）を割り当て以下のような対応を行なっている。

- ・前年度のパレット回送便の実績データをもとに年度の初めにハブ間の回送数を以下の手順で予測する。予測にあたっては回送コストを抑えるためできるだけ近距離間で回送する。現状では数週間単位の回送計画を立てるので「回送時刻」までは考慮していない。
  - (i) 上位ハブ毎に在庫基準量に対する過不足を予測する。
  - (ii)(i) をもとに下位ハブ毎の在庫基準量に対する過不足を予測する。
  - (iii)(ii) をもとに1週間毎のハブ間の回送計画を立てる。
- ・繁忙期では予測値と実績値を見ながら必要に応じて専任職員が回送便の設定を行なう。
- ・繁忙期の回送計画立案については次の点を考慮する。
  - 実績を毎日チェックしハブからの需要に応じて随時計画を立てる。
  - パレット回送は要望があった時に適宜行なう。
- ・在庫基準量は経験的数値であり設定に関して理論的根拠はない。パレット数に余裕がある地域においては在庫基準量は設定されない
- ・既定便で需要に応じられない場合に突発便を出す
- ・突発便は既定路線以外のところを走っても良い
- ・回送費用の算出方法は車種毎のトラックレンタル料×輸送距離である
- ・各ハブでのパレット管理法はパレット数が在庫基準量を割り込むと上位ハブへその旨連絡する

発注点方式である

- ・年間を通じて物流量の変動は毎年ほとんど同じである。
- ・回送計画では各ハブ毎に毎日の過不足数を記録しているが毎日回送していない。
- ・回送時間（調達期間）まで考慮したパレット数の過不足予測を立てていない。
- ・各ハブで回送便の制約に関して多少の違いがある。
- ・図2に示すように上位階層毎に道路網に準拠した管理区域がある。このためできるだけ管理区域内での回送で押えたいという要望がある。どうしても足りない場合のみ上位ハブ間での回送を行なう。



移動体：トラック  
高速道路輸送  
星型のネットワークでない

- ハブ間輸送 1…各行政圏間での輸送
- ハブ間輸送 2…各行政圏内での輸送(各行政圏内にハブ約10)

図2 日本の道路網の概略とハブ管理区域

### 2.3 パレット回送計画システムへの機能要望

現状の問題を打開するために回送計画立案に関して次のような機能要望があった。

- ・回送時間を考慮した回送計画を実現する機能
- ・適切な在庫基準量と発注サイクルについてシミュレートできる機能
- ・各ハブ間でのパレット回送日程、回送便数まで指定できる機能
- ・階層を考慮した回送計画を立案できる機能

## 3 パレット回送計画問題の数理的分析

パレット回送計画問題は在庫管理問題と輸送計画問題の2つの側面を持っている。ここでは問題の特徴を明らかにするために数理的分析を

行なう。

### 3.1 在庫管理問題としての分析

在庫管理上のパラメタを過去のデータから分析する。

#### (1) 目的

- ・在庫基準量の適正さについて考察
  - ・回送日程間隔の適正さについての考察
- なおこの事例では発注費用は考慮しなくて良い。
- ・調達期間は1日とする

#### (2) 対象データ

1992年11月24日～1992年12月31日までの各上位ハブのアルミパレット在庫基準量と日毎の過不足数（需給数）と現在数である。

#### (3) 使用ツール

S-Plus Ver3.1

#### 3.1.1 発注点方式としての分析

##### (1) 解析項目

- ・最大調達期間
- ・対象期間の平均需要量
- ・在庫基準量
- ・安全係数
- ・対象期間の需要のバラツキ

上記5項目を各ハブについて解析する

##### (2) 解析結果

- ・繁忙期においては発注点方式で在庫管理を行なっている。

#### 3.1.2 定期発注方式としての分析

##### (1) 解析項目

- ・対象期間の需要量
- ・安全係数
- ・平均在庫量

上記5項目を各ハブについて解析する

##### (2) 解析結果

- ・予測の段階では定期発注方式でパレット在庫を予測し回送計画を立てる。
- ・発注サイクルは全期間を通じて1度で良いハブもあれば1日のものもあるので、全国一律ではなく各ハブ毎に設定する必要がある。

#### 3.1.3 定式化

##### (1) 発注点方式の場合

$K = TD + \alpha\sqrt{T}\sigma_D$   
 $Q = \sqrt{2RC/Pi}$   
 $K$ : 発注点  
 $T$ : 調達期間  
 $D$ : 需要量の平均値  
 $\alpha$ : 安全係数  
 $\sigma_D$ : 需要の標準偏差  
 $Q$ : 発注量  
 $R$ : 年間平均需要量

### (2) 定期発注方式の場合

$Q = D - R + s$   
 $s = \alpha\sigma_D\sqrt{T}$   
 $D$ : 需要量  
 $R$ : パレット在庫量  
 $s$ : 安全余裕  
 $T$ : 発注サイクル期間

#### 3.1.4 考察

- ・全体的にパレット数は過剰気味である。
- ・全国的に発注点および発注サイクルなど在庫管理に対するパラメタの変更が必要である。
- ・パレット管理方式はそれほど偏差値が大きくないので定期発注方式で良さそうであるが、景気の変動に応じて繁忙期になった場合には各ハブのパレット在庫初期値が変化する。この場合には突発便を出して予実差分を吸収する作業はどうしても必要となると思われる。実運用では補助的に発注点方式も必要である。

## 3.2 輸送問題としての分析

### 3.2.1 統計解析

必要なデータ項目および前提条件は以下の通りである。

#### (1) データ項目

- ・ハブ別パレット在庫基準量
- ・前年度のパレット回送便の実績データ（積載率導出に使用する）
- ・各ハブ毎の距離＝パレット輸送距離
- ・ハブ別便数（パレットではない便の便数）
- ・車種
- ・回送費用＝車種毎のトラックレンタル料×輸送距離

#### (2) 前提条件

- ・ハブ間での混載については考慮しない。
- ・評価値はパレット回送費用である。

### 3.2.2 定式化

ハブ  $i$  におけるパレット数  $Y_i$  は、パレットの入荷数と出荷数の差分（需給格差／日）  $a$  の関数である。ここでは簡単に説明するため一日の差分を考える ((2) 式)。パレット積載率も同じであるとするある時刻（日付）  $t$  におけるパレット数は以下のように表せる。

$$a = \{(L + M + N) - (l + m + n)\}p \quad (1)$$

$$Y_i(t) = at + b \quad (2)$$

$$Y_i(t) = at + b + f(t) \quad (3)$$

$$f(t) = c[t/T] \quad (\square: \text{ガウス記号}) \quad (4)$$

$$c = \sum |C_{ji}| - \sum |C_{ij}| \quad (5)$$

$$0 = \sum \sum C_{ij} \quad (6)$$

$$z = \sum \sum g(C_{ij}, d_{ij}) \quad (7)$$

$$g(x, y) = (v + wy)x \quad (8)$$

$$b = |a(t)| * 1.1 \quad (9)$$

$C_{ij}$ :  $i$  から  $j$  へのパレット回送便数

$d_{ij}$ :  $i$  から  $j$  へのハブ間距離

$g_i$ : コスト関数

$z$ : 総コスト量

$v$ : 1 便あたりの基本料金

$w$ : 距離性料金／キロ

$L$ : ハブ  $i$  に入ってくる既定便数（／日）

$l$ : ハブ  $i$  から出ていく既定便数（／日）

$M$ : ハブ  $i$  に入ってくる臨時便数（／日）

$m$ : ハブ  $i$  から出ていく臨時便数（／日）

$N$ : ハブ  $i$  に入ってくる突発便数（／日）

$n$ : ハブ  $i$  から出ていく突発便数（日）

$p$ : パレット積載率（定数）

$a$ : 需給格差

$b$ : 初期在庫量（1 日のスパンで見るとは基準量）

$c$ : 時刻  $t$  迄のパレット便の需給格差

$Y_i(t)$ : 時刻  $t$  におけるパレット数

$f(t)$ : 回送便による増減分

$T$ : パレット回送便を走らせる周期

$\phi$ : 制約条件

このうち、定数  $a$  は毎日の便によって決定されるため、恣意的に操作できる定数は  $c$ 、 $b$ 、 $T$  である。また、毎日のすべての地点における増減量の総和は0である。地点  $i$  から地点  $j$  へのパレット回送数  $C_{ij}$  については線形計画法を用いて決定する。 $b$  (在庫基準量) の決定に際しては現行では経験値によって決定され、定数扱いしている。

上記の式では (3),(4) 式が時間シミュレーションに関する式で、(5)-(7) 式が線形計画法に関する式である。在庫基準量決定に関しては時間の単位を1時間とし、パレット回送計画作成の際には時間の単位を1日とする。

### 3.2.3 考察

- ・在庫基準量は現場では定数だが回送時刻まで指定する場合は一口のパレットの増減を時間単位でシミュレーションする方が良い。経験的に物流量は毎年10%程変動することが知られている
- ・より現実に合う計画を立てるためにはパレット積載率についても実際は曜日による変動などがあるので、曜日による積載率の違い/便数の変動率なども考慮しなければならない。またデータベース上の臨時便データおよび実績データなども参照しながらシミュレーションを行なわねばならない。

## 4 システム開発

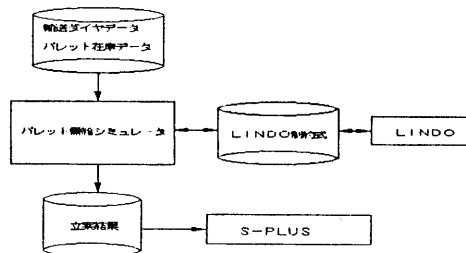
### 4.1 開発の指針

以上からシステム構築には以下の機能を組み合わせることが必要であると考えられる。

- (i) パレットの輸送計画を立てる機能
  - (ii) 最小1日単位の発注サイクルで過不足数を決定する機能
  - (iii) 在庫基準量を決定する機能
  - (iv) 各ハブ毎に回送便発注サイクルを決定する機能
  - (v) ハブ階層を考慮した回送を実現できる機能
  - (vi) 定期発注方式で回送計画を立てる機能
  - (vii) 発注点方式で回送計画を立てる機能
  - (viii) 実績データを加味しながら運用する機能
  - (ix) 立案結果を表示するインターフェース
- 以上を考慮してシステム構築を行なった。

### 4.2 システム概要

以下にシステム構成図と出力画面を示す。



システム構成図 図3 システム構成

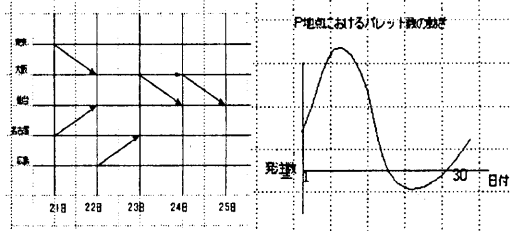


図4 回送計画表示図

図5 在庫状態表示図

上記システム構成について説明する。

システムは (i) の機能を果たす汎用パッケージ **LINDO**、(ix) の機能を果たす **S-PLUS**、データ処理と各汎用パッケージを統合してシステム制御し前項の (ii)-(viii) の機能を備えたパレット需給シミュレータから構成する。

立案結果は回送計画をグラフで表示する回送計画表示図と各ハブのパレット在庫の状態を時系列表示するパレット在庫状態表示図によって表示する。

回送計画表示図では回送を矢印で表示し供給地は矢印の元、需要値は矢印の先で示される。

在庫状態表示図では各ハブのパレット在庫数の推移が指定した期間表示される。

### 4.3 処理方式

前章から全体的にパレットは過剰であると判断し、次の式に基づいてパレットを発注し、回送計画と在庫管理を実現する。回送は最低1日単位で行なうものとする。

$$\text{需給数} = (\text{現在の在庫数} + \sum \text{発注サイクル期間のパレットの発着差分}) - \text{基準数}$$

上式では需給数が正の時はパレット供給ハブ、負の時はパレット需要ハブとして回送計画を立てる。

以下に前項の (1) と (2) を併せた機能のフローチャートを示す。

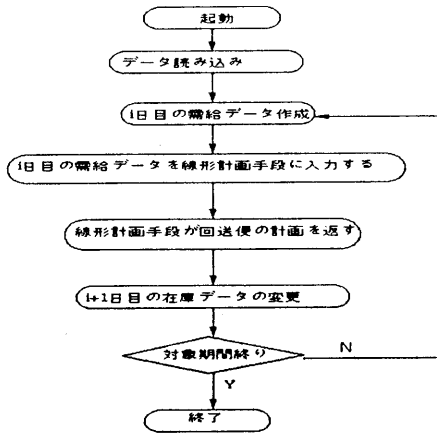


図6 処理フロー

## 5. 評価実験

作成したプロトタイプを使用して適切な発注サイクルとハブAの在庫基準量に関して実験を行ない、プロトタイプの有効性について検証した。

### 5.1 実験結果

#### (1) 発注サイクルの特性把握

発注サイクルを全国一律で変化させて回送計画を立て回送便数の変化を観測したところ一様に変化しないことが解った。

#### (2) 在庫基準量の特性把握

統計解析の結果、在庫基準量が最も異常と思われたのはハブAであった。ハブAについて作成したシステムを使用して、在庫基準量を変化させて回送計画を立て各在庫基準量毎の全国の総回送数を比較したところハブAの在庫基準量は4500以下になると回送便数は変化しなくなる。

#### (3) 回送コストの比較

これまでの発注点方式のみよりも定期発注方式と合わせた方が回送便数は少ない。また、物流業務の階層に添った回送計画よりも全国一律の単層回送計画の方が回送便数は少ない。

### 5.2 考察

・線形計画法でも、この問題では十分実用的な解

を出力する。

- ・パレット不足は在庫基準量に対する不足で実際に運用が止まってしまうことはない。事実ハブAでは不足の状態でも無事に毎年運営されている。これはもとの在庫基準量が冗長なためである。
- ・実験結果(2)の理由はハブAの在庫基準量が過小なために全国的にパレットがダブつき気味になるためである。ハブAが全国のパレットのバッファの役割を果たしているためと思われる。
- ・発注サイクルについて振動が起きるのは適正発注サイクルを全国一律に設定したためと思われる。
- ・シミュレーションではこれまでの回送数よりも少ない便数を実現できたが、前述のように景気変動など様々な要因から突発便が必要になると推測できるので実運用では便数はもっと増えるであろう。

## 6. むすび

本稿ではパレット回送計画問題について事例を説明した。事例において要求されていたシステムの機能については回送時間を考慮した計画立案機能とハブの階層を考慮した計画立案およびそれらのインターフェースなどそのほとんどを盛り込むことができたが、線形計画法と在庫管理方式の融合については考察できなかった。今後の課題である。

### 参考文献

- [1] 三木橋彦：国際海上コンテナの運用計画に関する考察，日本航海学会，No.78,S63.3, pp103-111
- [2] 宝崎，藤井：物流システムにおけるスケジューリング，システム / 制御 / 情報，Vol137,No.6, 1993
- [3] 横山：広域的在庫システムの最適化，Vol1990,pp115-116
- [4] 福谷隆宏：鉄道波動輸送計画，日本航海学会，No.78,S63.pp393-398