

調達物流における遅延リスクに対するポートフォリオ理論の適用

0455013 中村 文俊

指導教官 鶴田 三郎 黒川 久幸

1. はじめに

1. 1 背景

近年、企業の海外進出などにより経済のグローバル化の傾向がある。これに伴い、企業の物流においては、商品の調達や配送・販売における、経路の複雑化などの変化が起きている。企業の調達においては、調達先や調達量の決定が大きな問題となっている。

また、近年、事故や災害が国内・海外で多く起きている。物流においては、事故や災害によって、調達物資の遅着や不着が起きる。これによって、販売店等に機会損失等が発生する。これらの要因は、交通機関の渋滞といった多頻度に発生することから、大地震が発生することといったまれなことまで様々である。物流に関する既存研究では主に、費用・時間・距離といった項目が考えられているが、事故や災害といった様々なリスクは、あまり考慮されてこなかった。しかしながら、調達物資の到着の遅延等は物流においてめずらしくなく発生する物であり、そこで、本研究では、物流におけるリスクを評価項目に追加し、考えることにする。

1. 2 目的

本研究においては、リスクとして調達物流における遅延リスクを対象とし、ポートフォリオ理論の適用可能性を検討することを目的とする。

リスクに関して株や証券を対象とした金融工学においては、リスク管理やリスク評価、最適化の研究が進んでいる。この購入株式の分散や購入株数の決定におけるリスクの考え方と調達物流の調達先や調達量の決定は似ているといえる。そこで今回は、調達物流について金融工学のリスクの考え方を適用させることを考える。

2. 調達物流と遅延リスク

2. 1 調達物流

一般的に調達物流は、生産において必要な原材料や部品を調達するための物流である。物流においては、ネットワークが複雑・大規模になっている。しかし、その最小基本構造は、N個の供給地とM個の需要地から構成されるネットワークである(図1)。この基本構造は需要地における調達物流ネットワークを表しており、この組合せで全体のネットワークができています。そこで、最小基本構造を考え、需要地における商品や原材料を調達する物流を調達物流として考え、研究対象とする。

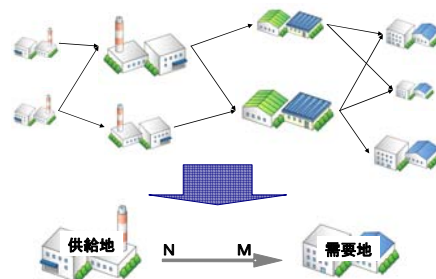


図 1 物流の基本構造

2. 2 遅延リスク

一般的にリスクという用語は、事態の確からしさとその結果の組合せ、又は事態の発生確率とその結果の組合せと示される。金融では、不確実性が経済的に問題になる場合について用いられる。企業においては、収益や損失に影響を与える不確実性のことをいう。調達物流におけるリスクとしては、図 2 に示すように様々なものがある。その中で、輸送における事故や災害、渋滞等による商品の遅延は、頻度の多いリスクであり、これにより機会損失等が発生する。そこで本研究においては、これらの遅延リスクを対象とすることとした。

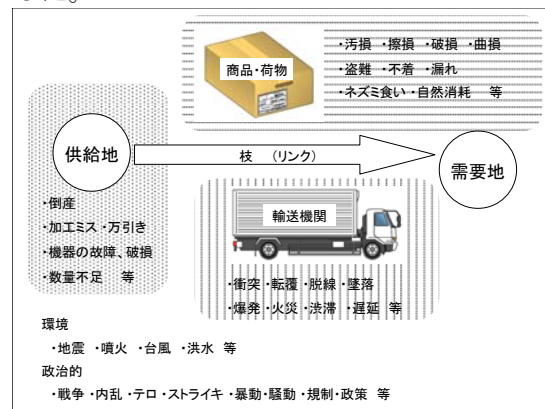


図 2 調達物流におけるリスク

3. リスク管理

3. 1 リスク管理概要<sup>1)</sup>

リスク管理とは、リスクに関して組織し管理、調整された活動である(図3)。しかし、リターンとリスクはトレードオフの関係にある。

リスク管理テクニックの1つとして、リスクとして想定されていたことが実現してしまった時に備え、損失を最小限にとどめるようにリスク移転や分散化等のリスク管理を行うための理論としてポートフォリオ理論がある。

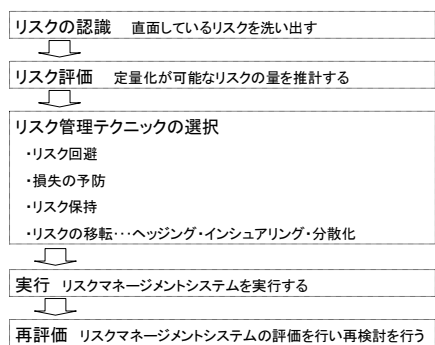


図3 リスク管理のプロセス

### 3. 2ポートフォリオ理論<sup>2)</sup>

ポートフォリオ理論 (portfolio theory) とは、最適なリスク管理を数量的に分析することと定義される

#### ○リスクの定量化 (リスク評価)

ある投資における資産について、収益率  $r_i$  になる確率  $P_i$  が  $q$  個存在する。その資産の期待収益率  $E(r)$  は式1で示される。また、標準偏差  $\sigma$  は、式2で示される。この標準偏差は、株式等の収益に関して最も広く使われている統計量であり、この標準偏差によりリスクの定量化が行われている。

$$E(r) = \sum_{i=1}^q P_i r_i \quad \dots \text{式1}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^q P_i (r_i - E(r))^2} \quad \dots \text{式2}$$

$E(r)$  : 資産における収益率

$P_q$  :  $q$  番目における収益率になる発生確率

$r_q$  :  $q$  番目におけるの収益率

$\sigma$  : 資産における標準偏差

#### ○リスクの意志決定

リスクの評価を行った上で、リスクに対してどのように意志決定をするかは重要な決定項目である。代表的な決定方法として、リスクを最小とする最小分散ポートフォリオと重視した最適ポートフォリオがある (図4)。

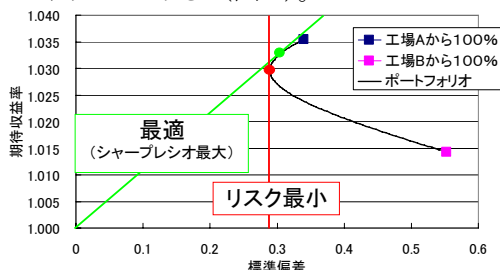


図4 リスクの意志決定

#### ・最小分散ポートフォリオ

最小分散ポートフォリオとは、分散が最小となるポートフォリオのことであり、リスクのみを評価指標とし、リスクを最小とする組合せを決定する方法である。

#### ・最適ポートフォリオ

最適ポートフォリオとは、リスクと収益率の組合せにおいて、リスクに対する期待収益率が最も高くなる組合せを決定する方法である。金融工学ではシャープレシオともいわれる。

### 4. 遅延リスクモデル

#### 4. 1 遅延モデルの定式化

販売店における遅延リスクを考慮した調達先と調達量の決定問題を対象としたモデルを構築する。目的関数は販売店における利益とリスクとする。

遅延リスクとは、頻繁に起きている渋滞や天候不良等による、商品の遅着、不着を示し、これにより販売店の機会損失が発生すると考える。機会損失は、遅れる時間  $T_q$  における販売量から算出する。また、経路における収益の標準偏差を求め、リスクとして考える。調達先における収益は、調達先における遅れる時間  $T_q$  の発生確率  $L_q$  の場合(表1)の利益  $E_q$  を求め、調達先ごとの期待される利益を求める。標準偏差は期待収益と遅れる時間  $T_q$  の利益  $E_q$  から求める。各確率は独立に存在するとする。各調達先の項目の設定は図5に示した。

表1 遅延の発生確率表

遅れる時間	確率	収益
$T_{i1}$	$L_{i1}$	$E_{i1}$
$T_{i2}$	$L_{i2}$	$E_{i2}$
$T_{i3}$	$L_{i3}$	$E_{i3}$
$T_{iq}$	$L_{iq}$	$E_{iq}$

#### ○定式化

$$E_i = \sum_{j=1}^q E_{ij} * L_{ij} \quad \dots \text{式3}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^q L_{ij} (E_{ij} - E_i)^2} \quad \dots \text{式4}$$

$$d_{ij} = d_i - T_{ij} * r * 365 \quad \dots \text{式5}$$

$$A_i = d_{ij} * cf_i \quad \dots \text{式6}$$

$$B_i = d_{ij} * ct_i \quad \dots \text{式7}$$

$$S_i = cp * d_{ij} \quad \dots \text{式8}$$

$$E_{ij} = cp * d_{ij} - (cf_i * d_{ij} + ct_i * d_{ij}) \quad \dots \text{式9}$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i * w_i \quad \dots \text{式10}$$

$$R = \sum_{i=1}^n d_i \quad \dots \text{式11}$$

$$w_i = \frac{d_i}{R} \quad \dots \text{式12}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 * \sigma_i^2} \quad \dots \text{式13}$$

$d_{ij}$  : 工場  $i$  における遅れる確率  $j$  の時の需要量 (個/年)  
 $d_i$  :  $i$  工場における需要量 (個/年)  
 $T_{ij}$  : 遅れる確率  $j$  の時の遅れる時間数 (時間/日)  
 $r$  : 販売店における販売量 (個/時間)  
 $A_i$  : 工場  $i$  における調達費用  
 $cf_i$  : その工場での製品単価 (円/個)  
 $B_i$  : 工場  $i$  からの輸送にかかる費用  
 $Ct_i$  : 工場から販売店までの輸送費 (円/個)  
 $S_i$  : 工場  $i$  における需要の売り上げ (円)  
 $cp$  : 販売店における販売価格 (円/個)  
 $E_{ij}$  : 工場  $i$  における遅れる確率  $j$  の時の販売店の収益  
 $E_i$  : 工場  $i$  からの調達による販売店の収益  
 $L_{ij}$  : 遅れた時間の発生確率  
 $E$  : 販売店における利益  
 $R$  : 販売店の需要量 (個/年)  
 $w_i$  : 工場  $i$  からの調達割合 (%)  
 $\sigma_i$  : 工場  $i$  における標準偏差  
 $\sigma$  : 販売店の標準偏差  
 $n$  : 工場の個数  
 $q$  : 遅れる確率の個数

#### 4. 2 遅延モデルの妥当性の検討

遅延リスクに対するポートフォリオ理論の適用し、利益とリスクの評価の可能性を検討する。1つの販売店において2つの工場からの調達を考える(図5)。遅延リスクは商品の遅着、不着として捉え、今回は遅れる時間数を0と24時間に設定し、0時間では遅延が起きないこと、24時間は一日販売ができなくなることを示している(表2)。また、調達先の設定項目は図5で示す。以上の条件のもと、収益とリスク(標準偏差)のポートフォリオにおける検討を行う。

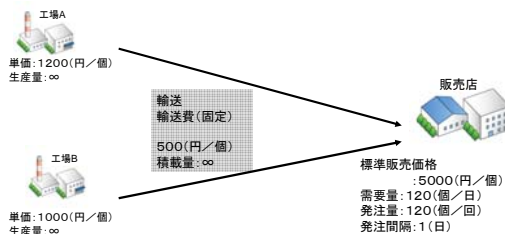


図5 検討における設定

表2 検討における遅延の確率

遅れる時間数	工場A	工場B
0	98.00%	95.00%
24	2.00%	5.00%

この場合における販売店の年間利益と標準偏差を表3に示す。

表3 検討における結果

	工場A	工場B
年間利益(円/年)	158.73	155.49
標準偏差	0.33996	0.55254

2つの調達先工場A・Bを対象とした、最小分散ポートフォリオと最適ポートフォリオによるリスクと収益の関係を図6に示す。遅延リスクに対してポートフォリオ理論が適用でき、調達先と

それぞれの調達割合、調達量の決定ができることが確認された。

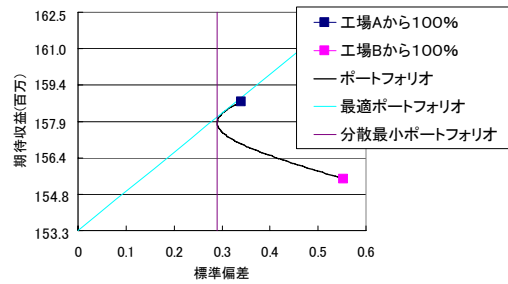


図6 標準偏差と期待収益率の関係図

また、最小分散ポートフォリオのシミュレーションを行った(図7)。遅延発生確率に従って、0時間と24時間の遅延について一様乱数を用いて発生させ、年間収益を求めた。

最小分散ポートフォリオによる平均収益率は、工場Aから100%調達した場合と工場Bから100%調達した場合の間となっているが、平均以下の収益のばらつきをみると最も小さいことがわかる。

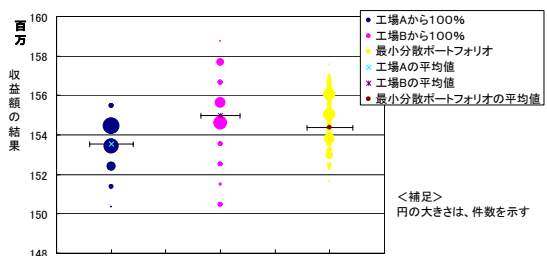


図7 シミュレーション図

#### 5. 遅延モデルの有効性の検討

##### 5. 1 有効性の検討目的

遅延モデルの有効性を検討するため、東京で販売を行う企業の調達先選定問題を例に具体的に検討を行う。調達先としては、海外調達も考え、国内11カ所、海外6カ所を対象とし、この中から2カ所の調達先を決定することとした。商品における原価は、人件費が多くを占めていると仮定し、地域のGDPに比例するとした。輸送費については、物流センサスから求めた。遅延確率は、輸送において発生するとし、距離に比例すると仮定した。

##### 5. 2 遅延モデルの有効性の検討

###### 1) 遅延発生確率とシャープレシオ

今回対象とした遅延リスクの発生確率について今後の変動した場合の検討を行う。

国内では、競合企業により遅延発生確率の減少によるサービス率の向上が行われると考えられる。そこで、遅延発生確率を変化させた(図8)。今後遅延発生確率が減少することにより、シャープレシオが急激に増加することがわかった。

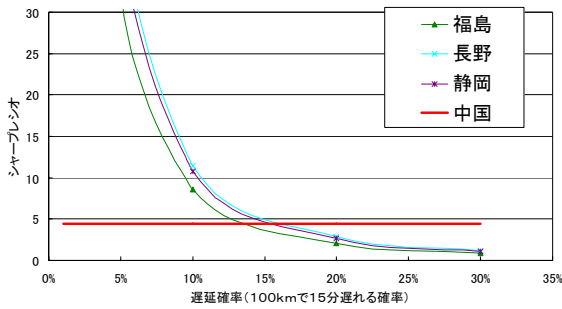


図 8 遅延発生確率とシャープレシオの推移 (国内)

海外では、テロ・戦争等によって遅延発生確率が増加すると考えられる。そこで、海外においても遅延発生確率を変化させた(図 9)。近距離の国ほど、遅延発生確率の減少により、シャープレシオが増加する傾向があることがわかった。

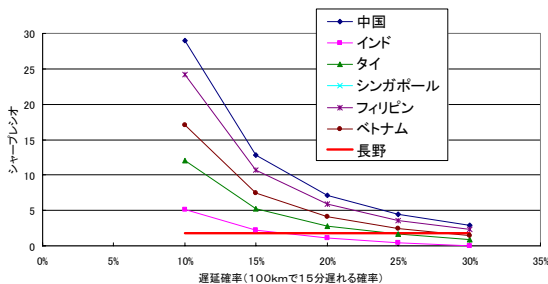


図 9 遅延発生確率とシャープレシオの推移 (海外)

## 2) 調達先決定に関する意志決定

最小分散ポートフォリオを用いた場合の結果を図 10 に示す。距離が短い国内同士のポートフォリオでは標準偏差が小さくなり、海外同士のポートフォリオでは標準偏差が大きい傾向がみられた。

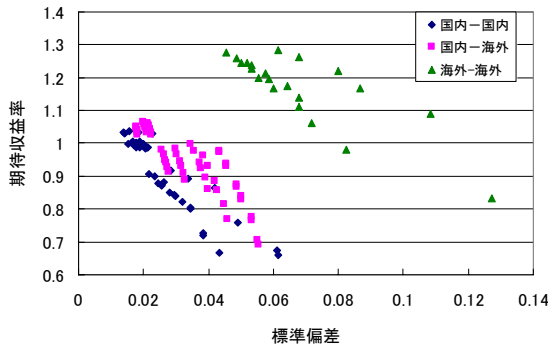


図 10 最小分散ポートフォリオの散布図

最適ポートフォリオを用いた場合の結果を図 11 に示す。縦軸の期待収益率 1 から接線を引くことにより、全体の中でシャープレシオが最も高い組合せを求めると、中国とフィリピンからの調達となった。この接線に近いところにも、国内同士の組合せや国内と海外の組合せが存在し、調達リスクの少しの変化でも調達先が大きく変わることがわかる。

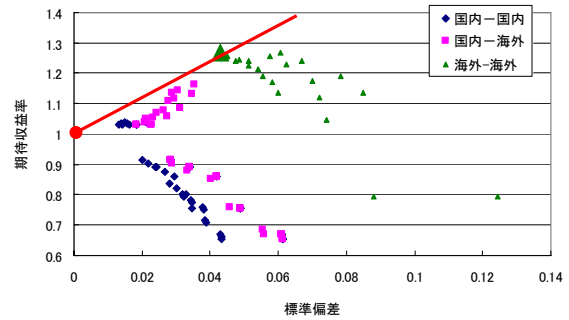


図 11 最適ポートフォリオの散布図

## 5. 3 遅延モデルの応用性の検討

### 1) 商品原価とリスクの評価

商品の調達において、調達先における商品の原価は重要である。近年の企業の海外進出などにより、商品原価の変動が起きている。近年における GDP の伸び率を海外の国ごと求めて、将来における期待収益率の変化を検討した。基準として、国内で最もよい期待収益率の長野を基準においた(図 12)。中国は GDP の伸び率が高いので、今後急激に期待収益率が下がっていることが予想され、安い人件費に依存する商品においては、近い将来に調達先の変更が進むと考えられる。

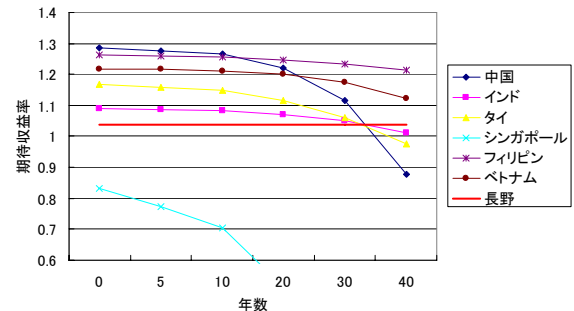


図 12 期待収益率の年推移

## 6. 結論と今後の課題

### 6. 1 結論

調達物流における遅延リスクを考慮したモデルの構築を行った結果、ポートフォリオ理論を用いてリスクを考慮した調達先や調達量の選定が可能であることがわかった。また、遅延リスク以外のリスクに対しても適用が可能であることもわかった。

### 参考文献

- 1) 日本工業規格  
「リスクマネジメント構築のための指針」
- 2) ツガイ・ボデー、ロバート・C・マートン「現代ファイナンス」ピアソン・エデュケーション 1999年12月