

# スポット調達と計画調達の組合せ戦略のリスク分析と最適調達計画の立案

## Risk Analysis and Optimization of Procurement Strategy Combining Spot and Planned Procurement

手塚 大 Tezuka Masaru

パーソナルコンピュータや携帯電話などの製品では、ライフサイクルの短期化と急速な技術革新により、製品価格と部品価格の急激な下落傾向が生じている。このため部品在庫の滞留時間が長くなると逆鞘発生リスクが高まる。コスト削減と需要変動への対応を同時に実現するために計画調達とスポット調達を組み合わせる調達戦略が取られはじめている。本報告ではこのような調達戦略のリスク評価法を提案する。スポット調達と計画調達を組み合わせることで評価モデルは複雑なものとなる。このため従来手法で最適計画案を求めることは困難である。そこで、このような調達計画を最適化する手法を提案する。提案手法により作成した調達計画案が従来手法によるものよりも優れていることが評価実験により確認された。

### 1. はじめに

近年、パーソナルコンピュータや携帯電話などの製品では、ライフサイクルの短期化と急速な技術革新により、製品価格と部品価格の急激な下落傾向が生じている。このため、図 1 に示すように部品調達後すぐに製造、出荷すれば利益が得られるが、部品在庫として滞留する時間が長くなると逆鞘が発生することになる<sup>1)</sup>。これらの製品の需要予測は難しく、どのように需要変動に対応し利益を確保するかが重要な課題となっている。

一般に調達の柔軟性と調達コストにはトレードオフの関係がある。海外からの調達はリードタイムが長いので計画変更が難しいが安価に調達できる。また、国内からの調達であっても、長期にわたる購入契約を結ぶことで調達コストを下げることができる<sup>2)</sup>。これに対し、スポット市場からの調達は必要に応じて柔軟に調達量を調整できるが、時価での調達となるため、調達価格は高くなる。

コスト削減と需要変動への対応を同時に実現するために計画調達とスポット調達を組み合わせる調達戦略が取られはじめている<sup>3)</sup>。この戦略では、まず長期契約や海

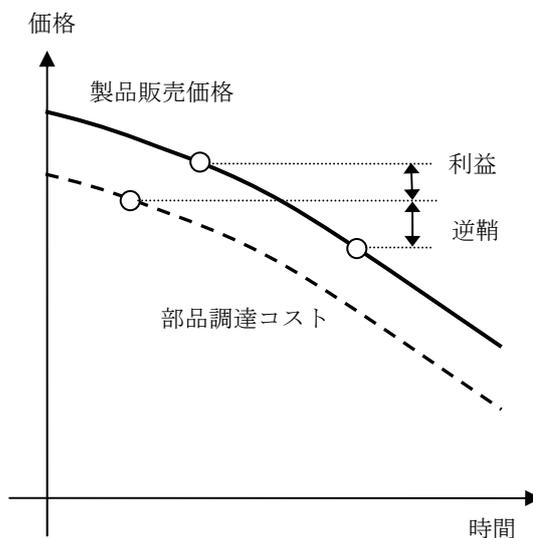


図 1 製品価格と部品価格の下落

外調達による長期的な計画調達の意思決定が行われる。その後、各時点で実際に実現された需要量にもとづいてスポット調達の意思決定が行われる。

このような複数の調達経路を組み合わせる戦略は、そ

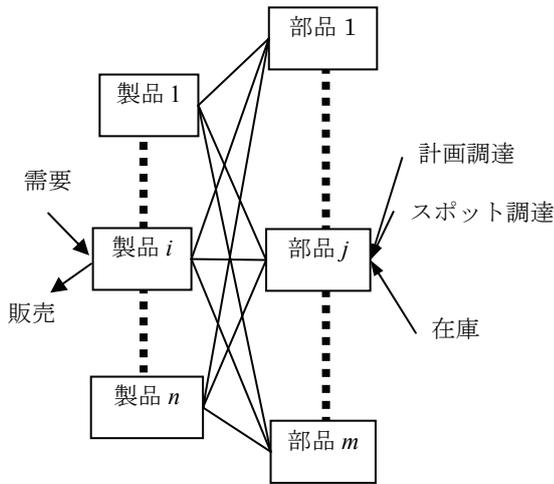


図 2 製品と部品の関係

それぞれの経路から得られる部品が相互に交換可能でなければならない。パーソナルコンピュータなどでは部品のモジュール化、標準化がすすんでおり、調達組合せ戦略を導入しやすい産業であると言える。

調達組合せ戦略では、計画調達量が大きすぎると需要変動に対応しきれず長期滞在在庫が発生し、逆鞘のリスクが高まる。逆にスポット調達量が多くなりすぎるとコスト高となる。また海外からの調達を用いる場合は、為替レートの変動の影響も受けることになる。したがって、需要予測とリスク分析にもとづいた適切な計画が必要となる。

本報告では、このような計画調達とスポット調達を組み合わせる調達戦略での、最適調達計画の実現方法について述べる。

## 2. 調達計画の評価

部品の調達計画は、完成製品の需要予測をもとにして立案される。図 2 に示すように需要は製品に対して発生し、この需要にもとづき製品が販売される。一つの製品は複数の部品から構成される。複数の製品で同種の部品を用いる場合もある。各部品は計画調達とスポット調達によって調達される。使用されなかった部品は在庫となり、翌期の製造に用いられる。

計画調達とスポット調達を組み合わせた戦略では、意思決定が多段階で行われる。図 3 は意思決定の流れをフ

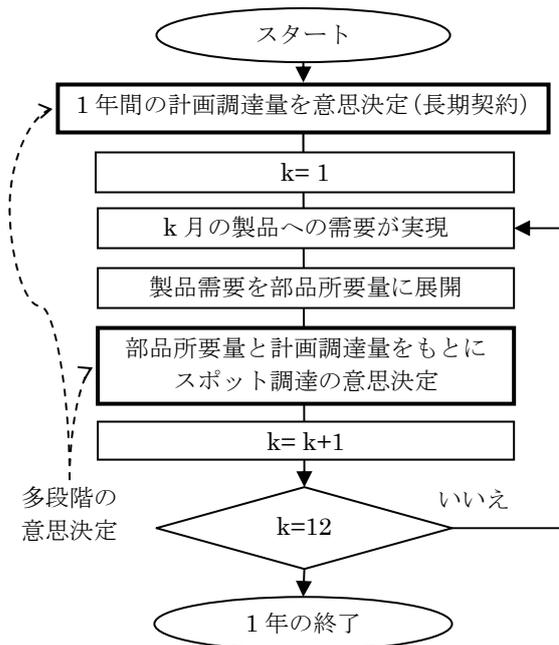


図 3 調達意思決定の流れ（1年間の例）

ローチャート風に図示したものである。図では長期契約による計画調達の期間を1年間とし、月次でスポット調達を行う。はじめに、年初に1年間の計画調達の意思決定が行われる。続いて、毎月、その月の製品の需要量が実現されると、これにもとづき部品の所要量への展開が行われ、部品所要量と計画調達量をもとに、スポット調達の意思決定が行われる。

ある調達計画案を実行した場合に得られる粗利益は、

$$\begin{aligned}
 (\text{粗利益}) &= (\text{売上}) - (\text{製造コスト}) \\
 &\quad - (\text{部品調達コスト}) \\
 &\quad - (\text{部品在庫コスト}) \quad \dots \text{式(1)}
 \end{aligned}$$

という式で計算される。ここで、製品の需要量が確率変数であるため、式(1)第1項の売上は確率値となる。また、在庫量は売上数量の影響を受けるので第4項の部品在庫コストもまた確率値となる。部品が海外からの調達である場合、部品単価が外国為替レートの影響を受け、第3項の調達コストも確率値となる。以上により最終的な粗利益は確率値となる。

図 4 に利益の確率分布の例を示す。この例では、利益の期待値はプラスの値である。このため期待値だけで評価すると、利益の得られる計画と判断される。しかし実際には分布の裾野の下方（左側）に巨大な損失が発生する可能性がわずかではあるが存在する。このような分布の下方に存在するリスクを評価する指標としてバリュー

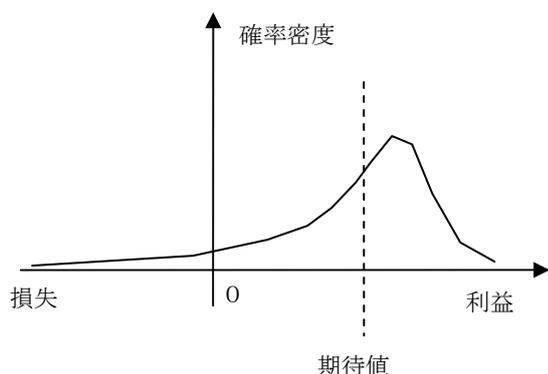


図 4 利益の確率分布の例

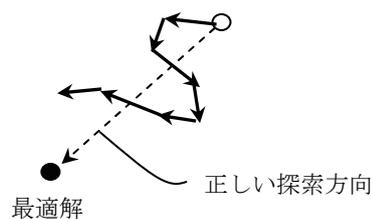
アットリスク(Value at Risk)<sup>4)</sup>が用いられる。

国際決済銀行(BIS)が第二次自己資本率規制<sup>5)</sup>でリスクの指標としてバリュアットリスクを使用することを提唱してから広く認知されるようになり、バリュアットリスクが普及した。また、一つの指標で利益とリスクを同時に表せることから実務上扱いやすいという理由もあり、現在ではバリュアットリスクがリスク分析で広く用いられている。

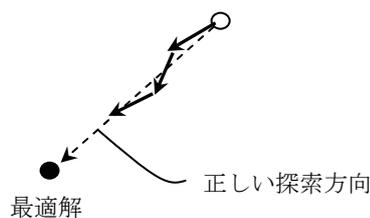
本報告では式(1)で定義される粗利益について、モンテカルロ法<sup>6)</sup>によりバリュアットリスクを評価する方法を提案する<sup>7) 8)</sup>。モンテカルロ法は多数の乱数を用いて変数のサンプリングを行い、サンプルにもとづいて積分計算を行う手法である。モンテカルロ法は被積分変数が 5 個以上の場合に台形則に基づく数値積分よりも早く誤差が収束し<sup>9)</sup>、9 個以上の場合にシンプソン則に基づく数値積分よりも早く収束する<sup>10)</sup>。今回の対象である調達計画問題では変数の数は最低でも(計画期間の長さ)×(製品数)であるから 1 製品の場合でも 12 個以上となる。したがって、モンテカルロ法は数値積分法よりも高速にバリュアットリスクの計算ができる。

### 3. 調達計画の最適化

最適化の計算は探索点の生成とその評価の繰り返しによって行われる。調達計画最適化問題では、探索点とは新しい計画案にあたる。計画案を作成して評価し、評価に基づいて新たな計画案を作成して評価するという計算を繰り返す。効率的な最適化を実現するためには、探索点の生成計算と評価計算の時間配分を適切に決定する必要がある。



(a) 評価精度が低い場合誤った方向を探索し、最適解への到達が遅れる



(b) 評価精度が高い場合は正しい方向を探索できるが、評価に時間がかかり、十分な数の探索点を探索できない。

図 5 評価精度と最適解への到達

図 5 で評価精度と最適解への到達の関係を説明する。図中で白丸 (○) は探索の開始点、黒丸 (●) は最適解の位置を示す。点線の矢印は開始点から見た正しい探索方向である。また実線の短い矢印は 1 回の探索を示している。図は、ある定められた規定の時間内での探索の例である。(a)のように評価精度が低いと探索が誤った方向に進み、最適解への到達度が低くなる。ただし評価計算時間は短いので図の例では 7 回の探索を行い、それなりに最適解に近づいている。(b)は高い評価精度での探索の例である。正しい方向を探索しているが、高い精度を得るために評価に時間がかかり、規定の時間内では少ない回数しか探索ができない。図では 3 回しか探索ができていない。評価精度と探索回数にはトレードオフの関係があり、低精度と高精度の中間に適切な精度が存在すると考えられる。

これまで評価精度と最適解への到達度の分析は知られておらず、このため従来の最適化手法では常に高精度での評価が行われてきた。

今回提案する手法では最適化に遺伝的アルゴリズムを用いる。これは、遺伝的アルゴリズムは目的関数の評価値の誤差にロバストであることが理由である。遺伝的ア

表 1 評価実験の結果

|           | 提案手法    | 安全在庫法   |
|-----------|---------|---------|
| 97.5% VaR | ¥506.5M | ¥310.2M |

ルゴリズムにはテークオーバー(takeover)時間<sup>11)</sup>と呼ばれる最適解への収束時間の指標がある。この指標をもとに、本報告では、限られた所与の時間内で、どのくらい収束に近づくかを示す「選択効率」という新しい指標を提案した。選択効率が最大のときに、最も少ない探索回数で収束に到達する。この選択効率を評価精度の関数として表し、選択効率が最大と成る評価精度を求める。なお、選択効率の関数の形は目的関数の推定誤差の分布形状に依存する。誤差が正規分布およびカイ二乗分布に従う場合について理論的な計算を行ったところ、最適化中の評価精度をかなり低く設定するとき最も最適化効率が高いことが示され、さらに数値実験によっても確認された<sup>13)</sup>。

一般には選択効率の関数を閉じた形で示すことができない。そこで、ブートストラップ法<sup>12)</sup>によって選択効率が最大となる評価精度を推定する方法をあわせて導入した。ブートストラップ法は真の分布を経験分布によって近似し、近似された分布を元に様々なパラメータを推定する方法である。

#### 4. 数値実験

部品調達計画の評価用データで数値実験を行った。家庭用電子機器 17 製品の主要な部品 42 品目についての計画で、計画期間は月次で 12 ヶ月である。部品の調達価格、製品の販売価格とも計画期間中に下落し続けるデータである。また、スポット調達による部品調達コストは、計画調達と比べて 1 割～5 割高い。

42 部品 12 ヶ月間の長期契約による計画調達量を決定する問題であり、式(1)で表される粗利益について、バリュアットリスクを求め、これを計画の評価値(最適化目的)とする。

提案手法による最適計画案および、比較のために従来手法である確率的安全在庫モデルによる計画案の評価を行った。表 1 に各手法で得られた利益の 97.5%バリュアットリスクを示した。バリュアットリスクは最悪の場合の利益の指標であり、大きい値のほうが良い結果である。提案手法によって最適化した調達計画案は、従来

手法である確率的安全在庫モデルによる調達計画案よりもリスクが小さく収益性が高いことが示された。なお、t 検定によると有意確率は 0.1%未満であり、統計的にも各手法に有意な差があることが確認されている。

確率的安全在庫にもとづく従来手法では過剰在庫になりがちで、需要が減少方向に変動した場合に部品在庫が滞留し、図 1 に示したように利幅が小さくなり、時には逆鞘が発生する。このため粗利益が小さくなる。

提案手法では価格低下による利幅低下とスポット調達によるコスト増加のバランスが適切になるように計画が立案されていた。

#### 5. おわりに

本報告ではスポット調達と計画調達を組み合わせる調達戦略のリスク評価法を提案した。評価の指標には財務上も重要な指標であるバリュアットリスクを用いる。さらに調達計画のバリュアットリスクを最適化する手法を提案した。本報告で提案する手法により作成した調達計画案が従来手法によるものよりも優れていることが評価実験により確認された。

#### 参考文献

- 1) 松尾：米国にみるサプライチェーン・マネジメントの事例とその考察，OR 学会統合オペレーション特別プロジェクト，戦略・マネージメント研究成果報告書，pp. 31-36，Feb 2003
- 2) Serel 他：Sourceing decisions with capacity reservation contracts，European Journal of Operations Research，vol. 131，pp. 635-648，2001
- 3) 藤野他：サプライチェーン・マネジメントに関するビジネスモデル 分析と設計理論の考察，経営情報学会誌，Vol. 10，No. 3，pp. 3-20，Dec 2001
- 4) 今野：下方リスクモデルによるポートフォリオ最適化，オペレーションズリサーチ，Vol. 46，No. 11，pp. 635-639，2001
- 5) Basle Committee on Banking Supervision：Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risk，Bank for International Settlements，1996
- 6) 津田：モンテカルロ法とシミュレーション，培風館，1995
- 7) 手塚他：計画調達とスポット調達の組み合わせによる調達リスク最適化，スケジューリングシンポジウ

ム 2005 講演論文集, 2005

- 8) 手塚他：計画調達とスポット調達の組み合わせ戦略  
のリスク評価と意思決定, 経営情報学会 2005 年秋  
季全国研究発表大会, 2005
- 9) 湯前他：モンテカルロ法の金融工学への応用, 朝倉  
書店, 2001
- 10) 手塚：遺伝的アルゴリズムによる不確実性下の調達  
計画最適化の研究, 北海道大学大学院工学研究科博  
士論文, 2006
- 11) Goldberg 他：A comparative analysis of selection  
schemes used in genetic algorithms, *Foundation  
of Genetic Algorithms*, 1991
- 12) 汪他：ブートストラップ法入門, 甘利他（編）計算  
統計 I, 岩波書店, 2003
- 13) Tezuka 他：Genetic Algorithm to Optimize Fitness  
Function with Sampling Error and its Application  
to Financial Optimization Problem, 2006 IEEE  
Congress on Evolutionary Computation, pp. 388  
–394, 2006



手塚 大                    1994 年入社  
研究開発部  
意思決定, リスク分析, 最適化技術の  
研究, 開発  
tezuka@hitachi-to.co.jp