

シナリオにもとづく供給計画のリスク分析と意思決定支援

Risk Analysis and Decision Support of Supply Planning Based on Alternative Scenarios

製品ライフサイクルの短期化が急速に進んでいる。ライフサイクルが短くなると、供給が実際の需要よりも少ない場合に、製造ラインを増強しても増強が完了するころにはライフサイクルが終了して多大な機会損失を被る場合が増える。逆に供給が実需よりも多ければ、過剰な在庫をライフサイクル内で売り切ることが困難となり、在庫の破棄損失が大きくなる。このような状況下で供給の意思決定が企業収益に与える影響が大きくなってきており、定量的評価に基づく意思決定が不可欠となっている。本報告では、需要が予測よりも好調な場合の増産の意思決定と、需要が低迷している場合の減産や値引き実施の意思決定に、リスク分析を適用した事例を紹介する。リスク分析によって、複数のシナリオ案の定量的な比較および評価が可能となる。分析結果および、分析では定量化できない事項もあわせて検討することで、最適な意思決定が実現される。

手塚 大 Tezuka Masaru
 齋藤 邦夫 Saito Kunio
 澤田 美樹子 Sawada Mikiko

1. はじめに

近年、ノート型パーソナルコンピュータや携帯電話など多くの製品でライフサイクルの短期化が進んでいる。中小企業白書¹⁾によれば、ヒット期間すなわち寿命が1年未満の商品は1990年代ではヒット商品全体の4.8%だったが2000年代では18.9%へと増加している。ヒット期間が1年未満の商品と1から2年未満の商品を合わせると、2000年代では51.8%をしめるまでになっている。

ライフサイクルが短くなると、供給が実際の需要よりも少なかった場合に、製造ラインを増強し供給量を増やそうとしても、ライン増強に時間がかかるため、増強が完了するころにはライフサイクルが終了して多大な機会損失を被る場合が増える。逆に供給が実需よりも多ければ、過剰な在庫をライフサイクル内で売り切ることが困難となり、在庫の破棄損失が大きくなる。

このような状況下で供給の意思決定が企業収益に与える影響が大きくなってきており、定量的評価に基づく意思決定が不可欠となっている。

本報告では供給リスク最適化システム Frontum/SP²⁾を用いた供給計画のリスク分析と定量的評価の事例を紹介する。

介する。

2. Frontum/SP の概要

Frontum/SP の持つ機能の一つが供給計画のリスク分析機能である。製造業の利益、機会損失、在庫量は需要の変動に左右される。この需要の変動の影響によって生じるこれらの指標の変動の大きさがリスクとなる。Frontum/SP はモンテカルロシミュレーション³⁾によって、変動の指標である分布の標準偏差とパーセント点を求める機能を持つ。

利益の標準偏差は、予想される利益額が期待値の周りにどの程度ばらつくかを示し、リスク分析で広く用いられている⁴⁾。パーセント点は利益の極値の指標となる。例えば「利益の2.5%点が2,000M¥ (20億円)」という場合、利益が2,000M¥以下になる確率が2.5%ある(2.5%しかない)ということの意味する。したがって、最悪の場合の利益額の指標となる。金融の分野ではバリュアットリスク(Value at Risk)⁵⁾と呼ばれている指標である。

機会損失や在庫量についても、利益と同様のリスク分析が行われる。これらは小さいほど良いとされる指標なので、パーセント点の分析は97.5%点など分布の上側で

表 1 事例 1 (増産の意思決定)

市場投入からの月数 t	実績		予測, 計画			
	1	2	3	4	5	6
需要量期待値 μ_t (個)	100,000	95,000	90,000	85,000	80,000	70,000
標準偏差 σ_t	-	-	10,000	12,000	14,000	20,000
供給量 (個)	160,000	160,000	(意思決定)	0	0	0
月初在庫 (個)	0	60,000	12,5000	?	?	?
供給コスト単価 (¥)	18,000	18,000	18,000	-	-	-
在庫保管コスト単価 (¥)	50	50	50	50	50	50
販売単価 (¥)	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000

表 2 増産の意思決定の評価結果

$t=3$ の供給量シナリオ			95.0%				97.5%		
	160,000	176,000	198,000	220,000	248,000	257,000			
粗利益 (M¥)	期待値	2,817	2,852	2,802	2,599	2,173	2,017		
	標準偏差	164	259	430	588	693	705		
	97.5%点	2,858	2,952	3,080	3,209	3,372	3,372		
	2.5%点	2,370	2,080	1,681	1,281	773	610		
機会損失 (M¥)	期待値	965	639	290	93	11	4		
	標準偏差	641	566	407	228	67	38		
	97.5%点	2,277	1,893	1,365	837	165	0		
	2.5%点	0	0	0	0	0	0		
破棄在庫 (個)	期待値	1,542	3,974	11,445	25,239	49,810	58,529		
	標準偏差	6,817	10,764	17,870	24,428	28,804	29,319		
	97.5%点	19,937	35,937	57,937	79,937	107,937	116,937		
	2.5%点	0	0	0	0	0	2,114		

行う。「機会損失の 97.5%点 が 100M¥ (1 億円)」とは機会損失が 100M¥以下になる確率が 97.5%あることを示すが、これは同時に、100M¥以上になる確率が 2.5%しかないことを意味する。

リスク分析機能の他、Frontum/SP には遺伝的アルゴリズム⁶⁾を用いて最適な供給計画を立案する機能も持つ。機能の詳細については文献 2)を、また、分析アルゴリズムや最適化アルゴリズムの詳細については文献 7)を参照されたい。

3. 供給リスクの分析

3.1 需要が予測を上回る事例の増産意思決定支援

Frontum/SP を、ある商品の供給計画に適用し、評価を行った。この事例で用いる各データの値を表 1 に示す。この商品は市場投入から販売終了までの期間が 6 ヶ月と設定されている。最初の 3 ヶ月間($t=1, 2, 3$)に商品の製造を行い、残りの 3 ヶ月間($t=4, 5, 6$)は在庫によって需要を満たす計画となっている。6 ヶ月が経過すると、新製品が市場に投入される。この新製品の製造ライン立ち上げの準備のために、後半の 3 ヶ月は商品の新たな製造は行わない。

市場投入後 2 ヶ月が経過し、現在は $t=2$ の時点であるとする。この時、3 ヶ月目($t=3$)の製造数量を決定したい。

当初は 3 ヶ月目も 160,000 個の製造を予定していたが、この商品は市場投入前の予測よりも多い需要で推移しており機会損失の可能性が高い。なお、需要予測はこれまでの需要の推移を加味して $t=3, \dots, 6$ について再度行なわれている。需要は正規分布に従うものとして予測されている。予測は将来になるほど不確実であるため、標準偏差は t とともに増加している。

なおこの商品は小型機器であるため、在庫の保管コストが製造コストと比較して小さいという特徴を持つ。また、表 1 の $t=3$ の供給量がこれから供給計画によって決定する部分、「?」マークの部分は需要の変動によって変化する部分である。

まず、比較のために従来手法である安全在庫⁸⁾によって供給量を求めてみる。サービスレベルを 95.0%とすると、この期間の需要を満たすために必要な商品の数は約 373,000 個となる。ここから、 $t=3$ の月初在庫の数量を差し引くと、必要な製造量は 248,000 個となる。サービスレベルを 97.5%とすると、257,000 個となる。

続いて Frontum/SP によって供給計画の評価を行った。モンテカルロシミュレーションで用いるサンプル数は 1,000 とした。 $t=3$ の供給量を 160,000 個、176,000 個、198,000 個、220,000 個、248,000 個 (サービスレベル

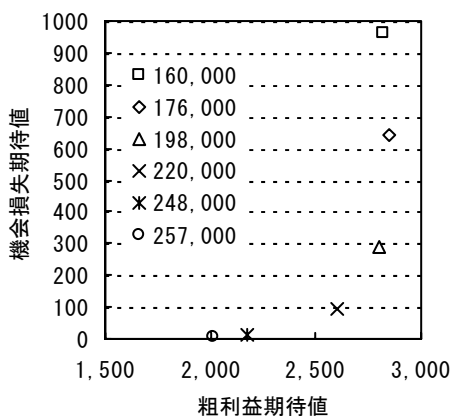


図 1 増産の意思決定の粗利益と機会損失の期待値

95.0%), 257,000 個 (サービスレベル 97.5%) とする六つのシナリオについて評価を実施した。この結果を表 2 に示す。また、図 1 は粗利益と機会損失の期待値をグラフに示したものであり、各点が一つのシナリオを示す。グラフの横軸が粗利益、縦軸が機会損失であり、右下にあるほど良いシナリオとなる。この図から機会損失と粗利益の間にトレードオフの関係があることが分かる。また、製造量が 160,000 個の場合 (□) を除いた各シナリオが効率的フロンティアを形成していることも分かる。

製造量が 176,000 個の場合 (◇) に粗利益の期待値が最も高くなる。安全在庫法でサービスレベルを 95% とする (*) と、これよりも約 680M¥ (6 億 8 千万円) 少ない利益となる。さらに広く用いられている 97.5% とする (○) と粗利益は約 840M¥ (8 億 4 千万円) も少なくなる。粗利益を大きくするためには、ある程度の機会損失を受け入れる必要があることがわかる。

表 2 からサービスレベルを 95.0% や 97.5% とするシナリオは標準偏差が大きく、リスクの高い計画であることがわかる。また、粗利益額の 2.5% 点を見ても、これらのシナリオは他と比べてかなり低い額となっており、ここからもリスクが高いことがわかる。

さらに図 1 から、従来のサービスレベル 97.5% のシナリオ (○) を基準にして考える場合、○ から * へのシナリオの変更では少ない機会損失を受け入れることで、大きな粗利益の改善が得られることが分かる。* から × でも同様である。しかし × から △ では、受け入れる機会損失の量と比較して利益の改善率が少なくなり、さらに △ から ◇ ではかなり大きな機会損失の増加があるにも関わらず利益の向上は僅かである。このように、受け入れる

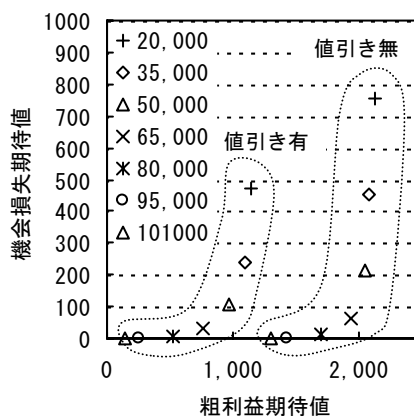


図 2 販売価格割引の意思決定の評価結果

機会損失の量に対する、利益向上の効率をグラフから把握することができる。この例では◇は粗利益期待値が最大のシナリオではあるが、機会損失によるブランドイメージの低下や、ロイヤルカスタマーの流出などの恐れがとて小さい場合を除けば意思決定者によって選択される場合は少ないと考えられる。

3.2 需要が予測を下回る事例の減産および値引き意思決定支援

次に、需要が当初予測よりも少ない場合の意思決定に適用し、評価を行った。前の事例と同様の設定だが、需要が当初予測よりも少なく推移している。この評価で利用した各データを表 3 に示す。

また、マーケティング部門より値引きによる需要の拡大策が提案されていた。表の数値をもとに、これまでの値引きの実績などを考慮して、値引きを実施する場合の需要の最大値、最小値、最頻値が推定されている。この場合の各データを表 4 に示す。販売単価を $t=3$ 以降に 2 割引にし、消費を刺激し、需要が 10% から 20% 増加するという計画である。

以上の各データについて、Frontum/SP によって供給計画の評価を行った。 $t=3$ の供給量を 20,000 個、35,000 個、50,000 個、65,000 個、80,000 個、95,000 個 (サービスレベル 95.0%), 101,000 個 (サービスレベル 97.5%) とし、それぞれ値引き有り、無しシナリオについて評価を実施した。値引きのない場合については需要量を正規分布に従う乱数でシミュレートした。また、値引きのある場合についてはベータ分布に従う乱数でシミュレートした。これは、値引きのある場合については、マーケティング部門によって需要が 3 点推定 (最大需要、最小

表 3 評価事例 2 (減産の意思決定)

市場投入からの月数 t	実績		予測, 計画			
	1	2	3	4	5	6
需要量期待値 μ_t (個)	80,000	80,000	75,000	65,000	50,000	35,000
標準偏差 σ_t	-	-	10,000	12,000	14,000	20,000
供給量 (個)	160,000	160,000	(意思決定)	0	0	0
月初在庫 (個)	0	80,000	16,000	?	?	?
供給コスト単価 (¥)	18,000	18,000	18,000	-	-	-
在庫保管コスト単価 (¥)	50	50	50	50	50	50
販売単価 (¥)	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000

表 4 評価事例 2 (値引きのある場合)

市場投入からの月数 t	実績		予測, 計画			
	1	2	3	4	5	6
需要量最大値 (個)	80,000	80,000	93,000	90,000	80,000	72,000
需要量最頻値 (個)	80,000	80,000	85,000	80,000	65,000	40,000
需要量最小値 (個)	80,000	80,000	60,000	45,000	20,000	0
供給量 (個)	160,000	160,000	(意思決定)	0	0	0
月初在庫 (個)	0	80,000	16,000	?	?	?
供給コスト単価 (¥)	18,000	18,000	18,000	-	-	-
在庫保管コスト単価 (¥)	50	50	50	50	50	50
販売単価 (¥)	24,000	24,000	19,200	19,200	19,200	19,200

表 5 減産の意思決定の評価結果

$t = 3$ の供給量シナリオ		20,000	35,000	50,000	65,000	80,000	95.0%	97.5%
							95,000	101,000
粗利益 (M¥)	期待値	2,127	2,069	2,047	1,925	1,688	1,424	1,305
	標準偏差	48	119	240	351	420	445	439
	97.5%点	2,020	2,109	2,196	2,284	2,372	2,296	2,176
	2.5%点	1,918	1,652	1,355	1,127	832	553	392
機会損失 (M¥)	期待値	756	454	216	66	12	1.4	0.7
	標準偏差	420	354	285	157	63	19	14
	97.5%点	1,603	1,210	942	537	176	0	0
	2.5%点	0	0	0	0	0	0	0

表 6 販売価格割引の意思決定の評価結果

$t = 3$ の供給量シナリオ		20,000	35,000	50,000	65,000	80,000	95,000	101,000
粗利益 (M¥)	期待値	1,137	1,089	961	752	526	249	139
	標準偏差	67	159	258	333	361	377	381
	97.5%点	1,157	1,174	1,190	1,205	1,220	1,025	834
	2.5%点	890	628	324	63	-168	-456	-598
機会損失 (M¥)	期待値	474	240	107	29	5.3	0.4	0.1
	標準偏差	346	276	199	94	35	7.4	3.6
	97.5%点	1,181	871	704	355	46	0	0
	2.5%点	0	0	0	0	0	0	0

需要, 最頻需要) されていたためである。

結果を表 5, 6 に示す。また, 図 2 は粗利益と機会損失の期待値をグラフに示したものである。

この結果から, 値引きによって需要を拡大しても, 利益の増加にはつながらないことがわかる。また, 機会損失額は値引きありとなしで大きな違いは見られない。し

たがって, 利益という観点から見れば値引きをせずに販売を続けるほうが良いと考えられる。 $t=3$ の製造量を 35,000 個とするシナリオで最も高い粗利益が期待される。粗利益の標準偏差を見ても, 従来手法であるサービスレベルに基づく案と比較し, 製造量 35,000 個の計画案のほうが小さく, 低リスク高利益計画であることがわ

かる。また、表 6 より値引きを行う場合に、製造量を 80,000 個以上とするシナリオでは粗利益の 2.5% 点が負の値となっている。これらが最悪の場合赤字になるリスクの高い案であることがわかる。このようなシナリオ案の意思決定では、この赤字が発生した場合に、それを受け入れることができるかが判断のポイントとなる。

3.3 分析結果と意思決定

Frontum/SP を使うことで、供給計画案の利益や機会損失の期待値およびリスク指標を分析し、定量評価、可視化することができる。また、複数の供給シナリオの定量的な評価指標を比較し、最終的な意思決定を容易にする。

しかし、最終的な意思決定を行うのは人間である。例えば、リスクを受け入れてでも高利益を目指すのか、それとも堅実さを重視するのかは会社の経営方針による。また、会社の他部門の業績や、業界や経済全体の動向なども考慮して利益とリスクのバランスを適切に取る必要がある。さらに機会損失によるロイヤルカスタムの流出など、Frontum/SP で定量化できない事項の検討も行った上で、意思決定を行う必要がある。

また、分析の結果として出てくる数値は、前提条件である需要の分布の予測精度に依存することにも留意する必要がある。意思決定者は分析結果が「需要量がこの範囲で変動すれば、利益、機会損失、破棄在庫量はこの範囲で変動する」という値であることを理解して意思決定をする必要がある。供給計画の一般論として、供給意思決定者は、需要予測部門の責任者や経営責任者によってコミットされた需要予測値を入力として用いるべきである⁹⁾。

4. おわりに

本報告では、需要が予測よりも好調な事例での増産の意思決定と、需要が低迷している事例での減産や値引き実施の意思決定のためのリスク分析を紹介した。

リスク分析によって、複数のシナリオ案の定量的な比較および評価が可能となる。分析結果および、分析では定量化できない事項もあわせて検討することで、最適な意思決定が実現される。また、リスクの指標を数値で表すことで、社内でのリスクに関する認識の共有を促進することもできる。

本報告では Frontum/SP で人間が作成した複数のシナリオを分析する事例を紹介したが、Frontum/SP は最適なシナリオ案を自動的に生成する機能も持つ。最適化機能を用いることで供給計画の意思決定プロセスをさらに

効率化することが可能である。

参考文献

- 1) 中小企業庁：中小企業白書(2005 年版)，ぎょうせい (2005).
- 2) 手塚ほか：不確実性下の供給リスク最適化システム Frontum/SP，日立 TO 技報，9 号，pp. 13-17 (2003)
- 3) 津田：モンテカルロ法とシミュレーション，培風館 (1995)
- 4) カーメンほか：リスク解析学入門，シュプリンガー・フェアラーク東京 (2001)
- 5) 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)
- 6) ミッチェル：遺伝的アルゴリズムの方法，東京電機大学出版社 (1997)
- 7) 手塚ほか：多目的実数値遺伝的アルゴリズムによる不確実性下の供給計画の最適化，情報処理学会論文誌，Vol. 45，No. 10，pp. 2287-2296 (2004)
- 8) 橋本ほか：新編生産管理システム，共立出版 (1993)
- 9) Coleen ほか：実践デマンドマネジメント，日刊工業新聞社 (2004)



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



齋藤 邦夫 1992 年入社
研究開発グループ
意思決定，リスク分析，最適化技術の研究・開発
kuni @ hitachi-to.co.jp



澤田 美樹子 1991 年入社
ビジネスイノベーションセンター
リスク分析に関する提案・コンサルティング
m-sawada @ hitachi-to.co.jp