

Title	飲料業における需要変動下での日次生産計画へのリアル・オプション・アプローチの応用について
Author(s)	久米, 克典; 藤原, 孝男
Citation	年次学術大会講演要旨集, 28: 463-467
Issue Date	2013-11-02
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11758
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

飲料業における需要変動下での日次生産計画への リアル・オプション・アプローチの応用について

○久米克典, 藤原孝男 (豊橋技術科学大学)

1. 問題提起

不確実な需要下での不可逆的設備投資に柔軟性を与えるリアル・オプション・アプローチは、食品製造業の1つである飲料業においても有用である。筆者らは、飲料業で長期的な設備投資の決定にリアル・オプション・アプローチを当てはめることを示した〔1〕。しかし、比較的賞味期限の短く、毎日の受注生産を繰り返す日次生産を基礎とした飲料業の場合、日次生産の結果の積み重ねとの調整が必要である。すなわち、設備投資は比較的長期間の需要に対する観点で行われるが、その細部は日々の需要が集積したものと見なすことができる。この点で、日次生産へのリアル・オプション・アプローチの導入に意義がある。日次生産においては、継続的・長期的な取引関係が一般的になり、SCM(Supply Chain Management)の一端を担う。

SCMはITを活用して生産から流通に至るプロセスを管理して最適化するが、SCMの特徴をリスク管理的に捉えようとする理論の1つに、投機と延期の理論がある〔2〕。投機は見込みで受発注業務を遂行するため、在庫や保管などの不必要な費用が増加する不確実性を高めている。一方、延期は意思決定時期をできる限り遅らせ、その間に情報を入手して、不確実性を低くした受発注を行う。この延期は、より確実な需要の変動に対応し、不必要な費用が増加することを低く抑えることを可能にしている。投機と延期は、リアル・オプション・アプローチのオプションと似ており、それぞれ投資オプションと延期オプションに近い。

SCMの概念が取り入れられる前には、サプライヤーとバイヤーの間では、粗い見込みでバイヤーはサプライヤーに発注していた。バイヤーは、予測通りに仕入れた商品が販売されなければ、在庫もしくは欠品のリスクが大きくなっていた。これは、商品を仕入れる投資を行ったと見なせる。

一方、SCMの概念が取り入れられた後は、POS(Point of Sales)などの取引情報を瞬時に共有することで、バイヤーは発注する意志決定を可能な限り延期し、在庫もしくは欠品のリスクを最小化している。これは、仕入れに伴う不確実性を最小化し、在庫に関わる保管費用や品質劣化を抑えることができる。これに応じてバイヤーは活動する。

SCMをサプライヤーとバイヤーの2者から成るモデルを考えると、バイヤーが欲しいときに欲しいだけ、欠品なく製品をサプライヤーが供給できるかが最適化の基本になる。既にバイヤーの立場でのオプションの行使は、アパレルで試みられている〔3〕。この観点では、バイヤーにとっての部分最適化になるが、サプライヤーを含めた2者の全体最適化にならない場合がある。それは、日次生産におけるバイヤーが望む需要量は、サプライヤーの持つ生産技術の特性を最適化していない可能性があるためである。

そこで本研究では日次生産で、かつ期間の生産本数が前日にならないと分からない条件の飲料業(清涼飲料)を対象に、リアル・オプション・アプローチを導入することで、バイヤーの需要量を確保すると同時に、サプライヤーの利益最大化を目指すモデルを提案する。

2. オプションと問題設定

2.1 オプション

本研究のオプションは、予めバイヤーとサプライヤーが合意し、バイヤーが提示する需要量を一定の割合内で増減できる選択権と定義する。そのオプションの購入と行使の権利をサプライヤーが持つものとする。例えば、バイヤーがサプライヤーに発注する場合、連続する2期間で必ず需要量を満たす制約を置き、サプライヤーの発注本数付近での最適生産本数が5,000本で、増減割合の上限を需要の20%と仮定する。需要が4,000本ならば、800本を増やすオプションを行使し、サプライヤーは4,800本を生産できる。また、次期間の需要が5,200本ならば、200本を減らすオプションを行使し、サプライヤーは5,000本を生産できる。

これにより、サプライヤーは自らの生産設備に対して、バイヤーの要求事項を満たしながら、ある程度の最適化を図ることができる。生産本数の変更は、量に関する柔軟性の 1 つである[4]。一方、バイヤーは余剰在庫のコストを考慮しなければならないが、期待した発注数を連続する 2 期間で確保できる。

2.2 問題設定

日本の飲料業界のうち冷蔵保管を必要とする主な商品は、賞味期限が 2 週間程度である。サプライヤーが生産を効率化するために予め大量生産して在庫を持つ手法は、バイヤーとの契約として認められておらず、バイヤーからの需要をサプライヤーが新規に日次生産している。基本的に、その需要は、多くても少なくても不適切であり、サプライヤーはバイヤーへ指定された需要だけを生産しなければならない。

しかし、サプライヤーの生産設備は、最適な生産本数を持っている。例えば、飲料を調合するタンクは、容積に応じて固有の貯蔵可能な本数を持っている。最適本数は、タンクの容積と同等であり、逆に少ない場合は効率を落とす。特に、日次生産で、かつ多品種少量である場合は、タンクの容量を十分に生かさない生産本数は、サプライヤーの生産性において競争力を落としかねない。

一方、バイヤーは自らの需要予測に基づいて、サプライヤーから仕入れた商品を自らの在庫とし、その先のお客様へ欠品しないように、数日で出荷できるように回転させている。例えば、バイヤーは、納入期限を賞味期限の 3 分の 1 内で管理するように、自らに安全在庫を課している[5]。この安全在庫には範囲幅があるが、バイヤーはサプライヤーの生産設備の能力よりも在庫回転数を重視しやすい。安全在庫の範囲幅を使用して、バイヤーがサプライヤーに対して生産本数を増減できる契約方法を提案する。

本研究では、リアル・オプション・アプローチを日次生産の飲料業に導入し、生産本数の増減によりサプライヤーの利益を最大化するオプションの行使を検討する。

本研究で使用する記号

Π_i : 期間 i における収益 (円)

r : 製品 1 本あたりの販売価格 (円)

d_{in} : 第 n 期間 ($n=1,2,3$) でオプションを行使する増減比率

D : 3 期間の合計需要 (本)

D_n : 第 n 期間 ($n=1,2,3$) の需要 (本)

n : バッチ数 (基)

F_c : 固定費 (円/基)

V_c : 変動費 (円/本)

S_q : 廃棄本数 (本)

S_p : 生産時点の廃棄費用 (円/本)

S_i : 余剰在庫の廃棄費用 (円/本)

O_c : 増加オプションの行使価格 (円/本)

O_p : 減少オプションの行使価格 (円/本)

O_q : オプションの行使量 (本)

$B_{\max,i}$: i バッチあたりの最大生産可能本数 (本)

$B_{\min,i}$: i バッチあたりの最低生産可能本数 (本)

B_{last} : 最終バッチの生産可能本数 (本)

仮定

本研究では、連続する 3 期間とも同一品種を日次生産するが、期間ごとの需要は生産前日にならないと分からない場合を想定した。この間で、変数となるオプション d_{in} は期間ごとに変更して行使できるが、期間中の生産本数は常に需要本数を超え、3 期間の需要と生産本数は一致するように制約を置いた。もし、第 3 期間で生産本数が超過した場合は、余剰在庫分を廃棄するとした。 d_{in} は、増加オプションの場合に正の整数、減少オプションの場合に負の整数を取るとした。単位期間は 1 日とした。すなわち、使用できるオプションの種類は、期間によって、次のように決めた。

表 1. 使用できるオプションの種類と期間

期間	増加オプション	減少オプション
第 1 期間	○	×
第 2 期間	○	○（第 1 期間で増加オプションを使用した場合）
第 3 期間	×	×

第 1 期間：時点 $t=0$ にバヤーからサプライヤーに注文本数が伝わり、 $t=1$ にサプライヤーは生産を完了する。その情報は、 $t=2$ にバヤーに伝わる。

第 2 期間： $t=1$ にバヤーからサプライヤーに注文本数が伝わり、 $t=2$ にサプライヤーは生産を完了する。その情報は、 $t=3$ にバヤーに伝わる。

第 3 期間： $t=2$ にバヤーからサプライヤーに注文本数が伝わり、 $t=3$ にサプライヤーは生産を完了する。その情報は、 $t=4$ にバヤーに伝わる。注文本数には第 1 期間の生産本数が反映されている。

飲料は、需要 D_n を満たすように、同一容積の缶に $B_{\max}$ で、順に調合する。 D_n を満たすまでに n バッチを要した場合、 $(n-1)$ 番目のバッチまでは $B_{\max}$ であり、 n 番目のバッチ（最終バッチ）での生産本数は B_{last} となる。 B_{last} は、 $B_{\min}$ よりも少ない場合には廃棄の生じる恐れがあるが、オプションの可能な範囲で廃棄を避ける。オプションは、最終バッチでの生産本数を調整するのみで、新規に追加バッチ $(n+1)$ 番目を設定しない。

飲料を生産する費用は、変動費、固定費、廃棄費用ならびにオプション行使価格とした。変動費は商品 1 本あたりに比例し、固定費はバッチあたりに課せられるとした。

3. サプライヤー収益最大化

サプライヤーがオプションを行使する場合は、オプションを行使する前の最終バッチ B_{last} の生産可能本数に依存する。また、その前期間に生産した量を考慮し、サプライヤーは連続する 2 期間の需要を下回らないように生産する。第 1 期間では、 B_{last} がオプションを行使する余裕のない $B_{\max}$ の場合、 B_{last} が $B_{\min}$ よりも少なく廃棄が生じる場合、 B_{last} が $B_{\min}$ と $B_{\max}$ の間にある場合に分類することができる。それぞれの場合について、最適なオプション行使量、およびその時の収益関数を求める。

3.1 最適オプション行使量（第 1 期間）

第 1 期間で考えられるオプションは、増加オプションだけである。

この場合の期間あたりの収益を求めると、次式のようにになる。

$$\Pi_1(d_1, D_1) = r \cdot (1 + d_1) \cdot D_1 - n \cdot F_c - \{(n-1) \cdot B_{\max} + B_{\text{last}} + d_1 \cdot D_1\} \cdot V_c - \{(n-1) \cdot B_{\max} + B_{\text{last}} - (1 + d_1) \cdot D_1\} \cdot S_p - O_c \cdot O_q \quad (1)$$

ただし、 $(n-1) \cdot B_{\max} + B_{\text{last}} \geq D_1$

3.1.1 オプションを行使する前の B_{last} が $B_{\max}$ の場合 ($B_{\text{last}} = B_{\max}$)

この場合は、 B_{last} が最大生産本数になっているので、増加オプションを行使できない。収益は、式 (1) でオプションをなくし、 $d_1 = 0$ とし、廃棄は生じないため、次の式になる。

$$\Pi_1(d_1, D_1) = r \cdot D_1 - n \cdot F_c - n \cdot B_{\max} \cdot V_c \quad (2)$$

ただし、 $(n-1) \cdot B_{\max} + B_{\text{last}} = D_1$

3.1.2 オプションを行使する前の B_{last} が $B_{\min}$ と $B_{\max}$ の間にある場合 ($B_{\min} \leq B_{\text{last}} < B_{\max}$)

この場合は、 B_{last} が最大生産本数になっていないので、増加オプションを行使し、生産本数を増加させる余裕がある。収益は、式 (1) でオプションを行使し、廃棄は生じないため、次の式になる。

$$\Pi_1(d_1, D_1) = r \cdot (1 + d_1) \cdot D_1 - n \cdot F_c - \{(n-1) \cdot B_{\max} + B_{\text{last}} + d_1 \cdot D_1\} \cdot V_c - O_c \cdot O_q \quad (3)$$

ただし、 $(n-1) \cdot B_{\max} + B_{\text{last}} + d_1 \cdot D_1 = (1 + d_1) \cdot D_1 \leq n \cdot B_{\max}$

オプションの行使量 O_q は、次の式による。

$$O_q = \min \{d_1 \cdot D_1, B_{\max} - B_{\text{last}}\} \quad (4)$$

3.1.3 オプションを行使する前の B_{last} が $B_{\min}$ よりも少なく廃棄が生じる場合 ($B_{\text{last}} < B_{\min}$)

この場合は、 B_{last} が最大生産本数になっていないので、増加オプションを行使する余裕がある。増加オプションを行使すれば、廃棄本数を削減できる。

$$\Pi 1(di1, D1) = r \cdot (1+di1) \cdot D1 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast + di1 \cdot D1\} \cdot Vc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast - (1+di1) \cdot D1\} \cdot Sp - Oc \cdot Oq \quad (5)$$

ただし, $n \cdot Bmax \geq (n-1) \cdot Bmax + Blast + di1 \cdot D1 \geq (1+di1) \cdot D1$

Oq は, 式(4)と同じである。廃棄を削減した本数は, 次の式による。

$$Sq = \min \{di1 \cdot D1, Bmin - Blast\} \quad (6)$$

3.2 最適オプション行使量 (第2期間)

第2期間で考えられるオプションは, 2種類ある。1つは増加オプションであり, もう1つは第1期間で増加オプションを使用した場合に限って, その行使量内で行使する減少オプションである。減少オプションは負の di をとる。

この場合の1期間あたりの収益は, 次の式になる。

$$\Pi 2(di2, D2) = r \cdot (1+di2) \cdot D2 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2\} \cdot Vc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast - (1+di2) \cdot D2\} \cdot Sp - Oc \cdot Oq \quad (7)$$

ただし,

$$(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2 \geq D2 \quad \text{if } di2 \geq 0$$

$$(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2 < D2 \quad \text{if } di2 < 0$$

3.2.1 オプションを行使する前のBlastがBmaxの場合 (Blast=Bmax)

この場合は, 3.1.1と同じであり, 次の式になる。

$$\Pi 2(di2, D2) = r \cdot D2 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast\} \cdot Vc \quad (8)$$

ただし, $(n-1) \cdot Bmax + Blast = n \cdot Bmax = D2$

3.2.2 オプションを行使する前のBlastがBminとBmaxの間にある場合 (Bmin ≤ Blast < Bmax)

この場合は, 3.1.2と同じであり, 次の式になる。

$$\Pi 2(di2, D2) = r \cdot (1+di2) \cdot D2 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2\} \cdot Vc - Oc \cdot Oq \quad (9)$$

ただし, $(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2 = (1+di2) \cdot D2 \leq n \cdot Bmax$

オプションの行使量 Oq は, 次の式による。

$$Oq = \min \{di2 \cdot D2, Bmax - Blast\} \quad (10)$$

3.2.3 オプションを行使する前のBlastがBminよりも少なく廃棄が生じる場合 (Blast < Bmin)

この場合, 減少オプションを使用して廃棄をなくすることができる場合, 増加オプションを使用して廃棄を少なくすることができる場合の2通りが考えられる。

3.2.3.1 減少オプションを使用して廃棄を全くなくすることができる場合

$$(Bmin > Blast + di2 \cdot D2 \rightarrow 0; di2 \cdot D2 \leq 0 \leq di1 \cdot D1, \text{ if } Blast < Bmin)$$

この場合, 減少オプションを使用してBlastをなくし, 廃棄を全くなくす。

$$\Pi 2(di, D2) = r \cdot (1+di2) \cdot D2 - (n-1) \cdot Fc - (n-1) \cdot Bmax \cdot Vc - Op \cdot Oq \quad (11)$$

ただし, $di2 < 0$ かつ, $(n-1) \cdot Bmax = (1+di2) \cdot D2$ で, オプションは Oc でなく Op である。

3.2.3.2 3.2.3.1を満たさず, 増加オプションを使用して廃棄を少なくすることができる場合

$$(Sq = 0 \text{ if } Blast + di2 \cdot D2 \geq Bmin; Sq > 0 \text{ if } 0 < Blast + di2 \cdot D2 < Bmin)$$

この場合, 増加オプションを使用して廃棄を少なくすることができる場合は, 3.2.2と同じである。

$$\Pi 2(di, D2) = r \cdot (1+di2) \cdot D2 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2\} \cdot Vc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast - (1+di2) \cdot D2\} \cdot Sp - Oc \cdot Oq \quad (12)$$

ただし, $(n-1) \cdot Bmax + Blast + di2 \cdot D2 = (1+di2) \cdot D2 \leq n \cdot Bmax$

3.3 最適オプション行使量 (第3期間)

第3期間で考えられるオプションはなく, 3期間の需要と生産本数は一致するようになるため, 一意で決まる。ただし, 第2期間までの生産本数が3期間の需要を超えた場合は, 余剰在庫分を処分する。

$$\Pi 3(D3) = r \cdot D3 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast\} \cdot Vc - \{(n-1) \cdot Bmax + Blast - D3\} \cdot s - Si - Sq \quad (13)$$

$$\Pi_3(D_3) = r \cdot D_3 - n \cdot Fc - \{(n-1) \cdot B_{\max} + Blast\} \cdot Vc - \{(n-1) \cdot B_{\max} + Blast - D_3\} \cdot Sq$$

$$\text{ただし, } D = (1 + di_1) \cdot D_1 + (1 + di_2) \cdot D_2 + D_3$$

4. まとめ

本研究では日次生産で、かつ期間の生産本数が前日にならないと分からない条件の飲料業を対象に、リアル・オプション・アプローチを導入することで、バイヤーの需要量を確保すると同時に、サプライヤーの利益最大化を目指すモデルを提案した。サプライヤーは、オプションを活用することにより、Blastの生産性を高めるとともに、生産時点での廃棄を減らすことが可能である。しかし、サプライヤーの収益改善が、バイヤーの在庫費用の増加によるものではなく、SCM全体ではトレードオフが生じ、ウィン・ウィン関係にならない。また、オプションのない場合を考えると、バイヤーの過剰な在庫削減により、サプライヤーの生産性を落とすことも示すことができた。SCM全体では期間ごとの需要予測が精度良く行われる必要がある。サプライヤーとバイヤーの協調は、単なるサプライヤーの収益を改善するだけでなく、SCM全体として、バイヤーはより安価に調達できる可能性を示唆している。

また、オプションを用いることにより、生産時点の廃棄費用ならびに余剰在庫の廃棄費用を減らすことも可能である。H. Vanらは、適正在庫には、ある程度の幅があり、その範囲を外すと、費用が急激に増加するとし、ピクポイントでなく範囲を持った在庫の計画を提案した[6]。食品製造業においては、食品リサイクル法により、廃棄物の発生抑制の取り組みが求められている[7]。一部業種は2012年4月より目標値を伴った取り組みが行われており、清涼飲料製造業においては2014年4月より同様になる予定である。廃棄物の発生抑制には、SCM全体で取り組みをする必要があり、その観点からもサプライヤーがオプションを活用することは意義がある。

参考文献

- [1]久米克典, 藤原孝男, 食品製造業の需要変動に対するリアル・オプションの応用, 第27回研究・技術計画学会年次学術大会, (2012)
- [2]L. P. Bucklin, Postponement, speculation and the structure of distribution channels, Journal of Marketing Research, 2, 26-31(1965).
- [3]J. M. Milner, M. J. Rosenblatt, Flexible supply contracts for short life-cycle goods: The buyer's perspective, Naval Research Logistics, 49: 25-45 (2002).
- [4]R. Beach, A. P. Muhlemann, D. H. R. Price, A. Paterson, J. A. Sharp, A review of manufacturing flexibility, European journal of operation research, 122, 41-57(2000).
- [5]農林水産省, 食品小売店における納入・販売期限の設定事例について, (2008),
<http://www.maff.go.jp/j/study/syoku_loss/02/pdf/data1-1.pdf>, (2013年9月9日アクセス)
- [6]H. Van Landeghen, H. Vanmaele, Robust planning: a new paradigm for demand chain planning, Journal of operations management, 20, 769-783(2002).
- [7]農林水産省, 食品廃棄物等の発生抑制の取組, (2008),
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syokuhin/hassei_yokusei.html>, (2013年9月9日アクセス)