

【論 説】

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定

井 岡 大 度

目 次

- I はじめに
- II TOC と原価情報
- III プロダクト・ミックス意思決定と数理計画法
- IV スループット会計にもとづくプロダクト・ミックス意思決定
- V おわりに

I はじめに

最適な製品組合せに関する意思決定，いわゆる最適プロダクト・ミックス意思決定については，従来から貢献利益にもとづくアプローチや，それらにさらに線形計画法を適用するアプローチなど様々な展開がなされてきている。そのような中，1980年代以降，TOC（Theory of Constraints：制約理論）の研究および議論の活発化に伴い，TOCに資する会計としてのスループット会計にもとづいて最適プロダクト・ミックスを決定する考え方も提案されてきた。そこで本稿では，従来の貢献利益にもとづく方法，活動基準原価計算を前提とする方法およびTOCにおけるスループット会計にもとづく方法について，測定対象とする原価，各方法が前提とする分析のための仮定および適用されうる数理計画法の側面からその特徴を整理，考察し，最後にスループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス決定に線形計画法を適用することについて検討を行うものである。

Ⅱ TOC と原価情報

TOC は、1980 年代に E. M. Goldratt（以下、ゴールドラット）と R. E. Fox 等が中心となって展開した理論¹⁾であり、その後、ゴールドラットは TOC を用いた生産スケジューリング・アプローチの OPT（Optimized Production Technology）を開発した。

TOC は、制約条件を識別し、これを継続的に改善することによって、システム（組織）全体のパフォーマンスを向上するための技法および概念の総称であり、ゴールドラットの提唱による生産管理の理論をもとに、現在、様々な拡張がなされてきている。ゴールドラットは、企業の目標は現在と将来にわたって金を儲けること（to make a money）であるとし、その組織目標実現にあたって部分最適ではなく全体最適のための目標指標として、次の3つをあげている。すなわち、スループット（Throughput）、在庫額（Inventory）および業務費用（Operational Expenses）である。

ゴールドラットは、スループットとは、システムが販売を通して生み出すレート（rate）であるとしている。そこで注意すべきはスループットが生産によって生じるのではなく、販売によって生じると考える点である。次に在庫額は、システムが販売を意図して購入するものに投資したすべての貨幣であるとする。なおゴールドラットのいう在庫には機械設備なども含めている。これは従来の原価計算と異なり加工進捗に伴う原価凝着を認めないためと考えられる。業務費用とは、システムが在庫をスループットに変えるために費やしたすべての貨幣であるとしている。

ゴールドラットは、企業目標を達成するために上記の3つの目標指標間に優先順位を与え、まずスループットの増大を最も優先すべき重要目標とし、その次に在庫の低減、そして最後に業務費用の低減を目標として順序づけている。

なお、TOC とほぼ同義に用いられる用語としてシンクロナス・マニユファ

クチュアリングがあるが、「シンクロナス・マニファクチュアリングという用語は、製造過程を原料の購入から顧客への製品の提供までを、中断のないフローとしてみる見方を意味するために用いられており、シンクロナス・アプローチとは、そのような観点から、より多いスループットを生ずることを妨げている制約を識別し、それを取り除く改善努力に焦点をあてるアプローチである。」（浜田 [1997] 19 頁）とされる。

TOC は, Cox and Spencer (1998) によれば, ロジスティックス, スケジューリング方法論および業績評価システムの3つの部分からなるとされる。まず, ロジスティックスは5段階からなる継続的改善プロセス, スケジューリング方法論および（生産ラインおよび物流システムの設計・分析に用いられる）V－A－T 論理構造分析からなる。スケジューリング方法論には, ドラム・バッファ・ロープ（Drum-Buffer-Rope）生産システムおよびバッファ管理が含まれる。次に業績評価システムには, スループット, 在庫および業務費用を用いた業績測定システム, そしてプロダクト・ミックス決定, さらに在庫管理などの業務的意思決定を容易にする測定値としてのスループット・ダラー・デイズと在庫・ダラー・デイズの適用の部分からなるとされる。

本稿では, 上記, TOC の業績評価システムにおけるプロダクト・ミックス意思決定問題に焦点をあて, 展開を行う。

TOC においてゴールドラットは生産管理上, 生産プロセス全体の継続的改善のための次のような5つのステップ示している。

第1ステップ：システムのボトルネックを見つける。

第2ステップ：システムのボトルネックの活用方法を決定する。

第3ステップ：ボトルネック以外のすべてのものを第2ステップでなされた意思決定に従属させる。

第4ステップ：ボトルネックの能力を緩める。

第5ステップ：以上のステップでボトルネックが解消されれば, 第1ステップに戻る。

継続的改善のための5つのステップにおいて, プロダクト・ミックス意思

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

決定問題は、第2ステップにおけるボトルネックすなわち制約の活用方法を決定する段階に対応する。

TOCにおいては、システムに少なくとも1つは制約条件があり、その制約条件を発見し、これを集中的に管理することによってシステム全体の最適化を実現しようとするものであるが、制約条件については様々なものがあるが、小沢〔2005〕によれば、図表1のようなものがあげられている。

制約条件については、システムの内部か外部かにより大きく内的制約と外的制約に大別され、内的制約はプロセス制約と方針制約に、外的制約は原材料制約と市場制約にそれぞれ分けられる。

図表1 制約条件

内的制約	プロセス制約	プロセス内の資源不足、処理速度の遅い機械・工程の存在
	方針制約	残業や経営資源の調達に関する制度的な制限
外的制約	原材料制約	天然資源の需給の逼迫
	市場制約	製品に対する需要の減少

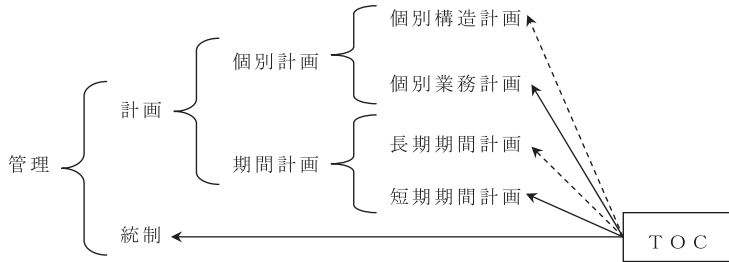
小沢〔2005〕146頁引用

TOCと計画・統制との関連について整理すると、次のように考えられる。図表2に示すように、従来、管理（management）は、経営のプロセスの観点から計画設定（planning）と統制（control）に区分され、そこで計画はプロジェクトごと（案件ごと）に策定される個別計画（project planning）と期間を前提として策定される総合計画としての期間計画（period planning）に分けられる。

個別計画は、経営の基本構造に影響を与える個別構造計画と、影響を及ぼさない個別業務計画に区分される。なおプロダクト・ミックス決定はこの個別業務計画に位置づけられる。また、期間計画は、1年を超える（中）長期期間計画と1年以内を対象とする短期期間計画に分けられる。なお統制につ

いては、それぞれの計画に対応して実施が行われるという関係になる。

図表 2 TOC と計画・統制



TOC は、継続的改善を行うためのシステムという観点からは個別業務計画、短期期間計画および統制に深く関連するが、前述の5つのステップにおける第4および第5ステップによって長期的な意思決定にも影響を及ぼすことを考慮すると個別構造計画および長期期間計画にも関連することとなる。

原価計算については様々な方法とそれに対応する概念が用意されるが、その原価計算とその目的に関連しては、「異なる目的には異なる原価を」(different costs for different purposes) という言葉にもあらわされるように、原価計算が目的適合性を満たすような原価概念と計算システムの設計が可能であり、その際、目的適合性が要請される。そこで、TOC におけるスループット会計は、スループットの増加を目指し、在庫削減を行い、部分最適化を排除した全体最適化のために有用な情報を提供するための原価測定方法の展開と考えられる。

スループット会計は、TOC に資する会計システムとして位置づけられるが、そのスループットの計算構造は、基本的には次式のようにあらわされる。

$$\text{スループット} = \text{営業収益（売上高）} - \text{直接材料費} \quad (1)$$

スループット会計は、大別すると従来から原価計算領域において直接原価

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

計算（変動原価計算）の変形としてのスループット会計と、ゴールドラットによる TOC に資するスループット会計に分けられる。

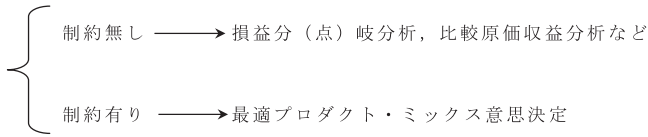
従来のスループット会計におけるスループットのとらえ方は、(1) 式における直接材料費を売上原価に含まれる直接材料費とするものであり、直接原価計算における変動製造原価が直接材料費以外はない、あるいは無視しうるほど僅少な場合は、従来のスループット会計と直接原価計算は類似のものとなる。したがって、直接労務費についても月給制の様に固定費とみなされ、製造間接費における変動費部分が無視しうる場合には、スループットと売上高から変動費を控除した貢献利益は等しいものとなり、両者は同様の結果となる。なおスループット会計では、スループットから直接材料費以外の業務費用を控除することによって利益を計算するという構造になっており、直接材料費以外の業務費用を基本的に固定費ととらえるアプローチといえる。

Ⅲ プロダクト・ミックス意思決定と数理計画法

最適プロダクト・ミックスに関わる意思決定、いわゆるプロダクト・ミックス意思決定については、従来から直接原価計算の貢献利益にもとづく分析等、様々なものが提案され、確立されてきている。その際、分析および解法にあたっては数理計画法が様々な形で適用されるが、特にその中でも線形計画法（Linear Programming：以下 LP）は、代表的な例といえる。なお LP については、その他の経営の諸問題にも種々適用されているのは、周知のとおりである。

最適プロダクト・ミックス意思決定の分析方法について、従来の直接原価計算の貢献利益にもとづく分析、ゴールドラットの TOC におけるスループット会計にもとづく分析および活動基準原価計算（Activity-Based Costing: ABC）を前提とする分析（浜田 [1997]）の 3 方法について、以下にその特性を考察したい。なお、従来の貢献利益にもとづく分析には、LP を使わない簡便法および LP を利用する方法を含むものとする。

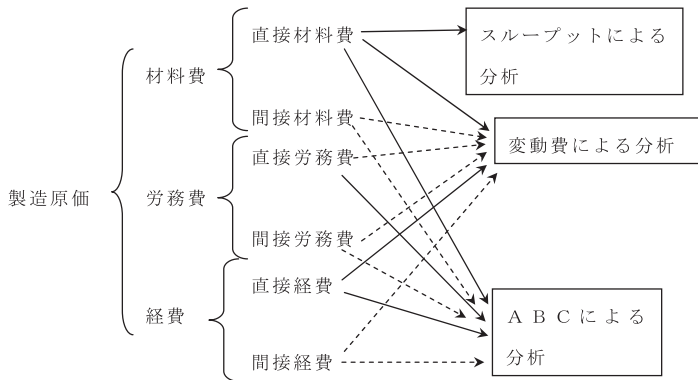
図表 3 制約の有無と分析方法



図表 3 に示すように、プロダクト・ミックス意思決定問題は、最適化問題であるので制約のもとでの最大化あるいは最小化の問題であり、制約がない場合の損益分岐分析のような損益分岐点を中心として、その前後での損益情報について分析を行う場合とは、制約のもとで利益の最大となる組み合わせを考えるという点で異なる。ここで検討する 3 方法とも制約を有する状況における分析となる。

また、対象となる製品の原価概念については、従来、貢献利益にもとづく分析では変動費を、ゴールドラットの TOC の場合はスループットを前提とし、浜田 [1997] の場合は製造直接費と活動基準原価計算にもとづく製造間接費を前提として分析がなされる。すなわち図表 4 に示すように、対象とする原価部分に相違がある。

図表 4 対象とする原価



TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

なお、在庫の変動をも考慮するか否かについては、3方法とも期首在庫額と期末在庫額が等しい、あるいは在庫額をゼロとみなせる場合を前提とする。これは多くのCVP分析（Cost-Volume-Profit Analysis）でも仮定される。

次に、適用される数理計画法との関係について考察を行いたい。なお、適用されるツールは、前述の原価の対象の違いによって影響されることとなる。

（1）従来の貢献利益にもとづく分析

貢献利益にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定では、その分析はCVP分析（Cost-Volume-Profit Analysis）に属する分析と考えることができる。すなわち、企業の経営活動における原価（cost）、活動量（volume）および利益（profit）の関係について分析するための技法の集合が、CVP分析（Cost-Volume-Profit Analysis）であるが、目的に応じ様々な展開がなされる。そこで、最適プロダクト・ミックス意思決定のための分析も、また損益分岐（点）分析（Break Even(point)Analysis）も、CVP分析に含まれる分析技法といえる。両者とも分析のための仮定が設けられるが、損益分岐分析の仮定は、非常にタイトなものであり、損益分岐分析は企業の活動を単純に分かり易く把握することが可能な代表的な手法であるがゆえに、様々な仮定にもとづいている。その仮定は、次のとおりである²⁾。

仮定1 企業の活動量を表す尺度、すなわち売上高、販売数量、機械時間等の諸変数のうちから目的と条件に適合するよう選択された一つの変数によって企業活動が記述され、原価と収益が決定される。

仮定2 企業の原価は、活動量の変化に基づいて変動費と固定費に区分される。

仮定3 変動費は、活動量の変化に応じて常に比例して変動する。

仮定4 経営諸条件（生産能力、方法、作業条件等）は活動量の変化にかかわらず変化せず、したがって固定費は一定である。

仮定5 収益は、活動量の増減にかかわらず、その変化率が一定のままで変化する。

仮定6 期首在庫高と期末在庫高は等しい。

仮定 7 企業は単一品種の製品を生産し販売している。あるいは多品種の場合は、そのミックスが常に一定であるか、あるいは単一品種製品の数量に変換しうる。

仮定 8 すべての変数は連続量である。

仮定 9 確実性下を前提とする。

上述のようなタイトな仮定にもとづく損益分岐分析に対して、貢献利益にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定のための分析は、仮定が緩和されたものとなる。すなわち、多品種製品を前提とし、そのプロダクト・ミックスの問題であるので、仮定 1 および仮定 7 が外されることとなる。したがって上述の仮定 2 から仮定 6 及び仮定 8 および仮定 9 を前提とする分析となる。なお仮定 5 は販売価格が一定であることを前提とするものである。

貢献利益にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定のための分析では、制約のもとで貢献利益を最大化するようなプロダクト・ミックスを求める問題となる。ただし、製品ごとに個別にその発生が把握される個別固定費があり、その個別固定費に回避可能なものが含まれる場合は、その回避可能固定費も検討に含める必要がある。

個別固定費がない場合、あるいは個別固定費があったとしても、それが製品生産のいかににかかわらず発生する回避不能固定費である場合には、(3) 式から (5) 式の制約のもとで、(2) 式のように売上高から変動費を控除した貢献利益の最大化を考えればよい。なお変動費は、図表 4 に示された直接材料費およびそれ以外の変動費に対応する。

$$\max. \quad \sum_i (P_i - v_i) Q_i \quad (2)$$

$$s.t. \quad \sum_i \alpha_{ij} Q_i \leq H_j \quad (3)$$

$$\beta_i Q_i \leq M_i \quad (4)$$

$$Q_i \geq 0 \quad (5)$$

ただし、 P_i は製品 i の販売価格、 v_i は製品 i の単位あたり変動費、 Q_i は製

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

品 i の販売量（＝生産量）をあらわす。したがって（2）式は各製品を Q_i 個販売した時の貢献利益の合計となる。（3）式は各製品を生産する j 部門あるいは j 作業における作業時間等の資源制約であり、 H_j はその資源の上限をあらわし、 α_{ij} は j 部門における i 製品生産のための技術係数、例えば単位当り作業時間を示す。なお（3）式は前述の図表 1 における内的制約のプロセス制約および方針制約に対応する。また（4）式は外的制約であり、製品 i の資源制約や需要量上限であり前述の図表 1 における外的制約の原材料制約および市場制約である。なお M_i はその上限をあらわし、 β_i は市場制約の場合は 1 であり、原材料制約の場合は、製品 1 単位当りの原材料消費量をあらわす。また、（5）式は各製品の生産販売量についての非負制約である。なお j は部門あるいは作業の区別であり n 種類の部門あるいは作業がある場合は $j = 1 \sim n$ となる。また、 i は、製品の区別であり、 m 種類の製品がある場合は、 $i = 1 \sim m$ となる。

貢献利益にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定のための分析においては、（2）式から（5）式に示すように数理計画法の中でも LP の適用が可能となる。なお LP の解法については、シンプレックス法等のツールが確立されており、そこから得られる機会原価等の情報は特に有用である。

しかしながら製品を生産する必要がなければ解除できる機械の賃借料のような回避可能固定費がある場合については、それらも含めた利益の最大化をもたらすプロダクト・ミックスの検討が必要になる。

そこで、回避可能固定費も考慮した利益最大化の定式化は、次式のようにあらわされる。

$$\max. \quad \sum_i \{ (P_i - v_i) Q_i - \theta_i F_i \} \quad (6)$$

$$s.t. \quad \sum_i \alpha_{ij} Q_i \leq H_j \quad (7)$$

$$\beta_i Q_i \leq M_i \quad (8)$$

$$Q_i \geq 0 \quad (9)$$

$$\theta_i \begin{cases} = 1: & Q_i > 0 \\ = 0: & Q_i = 0 \end{cases} \quad (10)$$

前述の回避可能固定費が存在しない貢献利益にもとづく分析と異なり、実数の変数（実変数）だけでなく、(10) 式のように0あるいは1か、という0-1 整数変数が変数として導入される。すなわち*i*製品を生産する場合には個別固定費 F_i が発生し、生産しない場合にはこれが発生しない。したがってその場合の個別固定費控除後の利益については、(6) 式のようにあらわされ、混合整数計画法により解を求めることになる。

なお回避可能固定費が存在する場合については、0-1 整数変数も変数として取り込まれることから、仮定8の「すべての変数は連続量である。」は、仮定から外されることとなる。

(2) TOC におけるスループット会計にもとづく分析

最適プロダクト・ミックスをゴールドラットの TOC におけるスループット会計にもとづいて分析する場合を以下に示す。

スループットにもとづく分析では、(1) 式で示した営業収益（売上高）から直接材料費を控除したスループットを最大化するようなプロダクト・ミックスを検討するものであるが、その際、ボトルネックとしての内的制約と外的制約を前提として、前述の5つのステップにもとづいて、第1ステップにおいてシステムのボトルネックを見つけ、次に第2ステップにおいてシステムのボトルネックの活用方法を決定する。この段階において、最適プロダクト・ミックスを決定することとなる。それを受けて第3ステップにおけるボトルネック以外のすべてのものを第2ステップでなされた意思決定に従属させ、最適プロダクト・ミックスに従った生産を行うというものである。

この分析では貢献利益による場合と異なり営業収益（売上高）から直接材料費のみを控除する。すなわち直接労務費および製造間接費に変動費が含ま

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

れない、あるいは無いとみなしうるほど僅少の場合に妥当する方法と考えられる。直接労務費については、直接工についても月給制で支払うことを前提とすると原価態様は固定費となり、また製造間接費においても機械装置による自動化等がなされる場合、そのほとんどを固定費とみなしても大過ないともいえる。

スループットにもとづく分析は、貢献利益の場合と同様に分析のための仮定は、前述の仮定2から仮定6、仮定8および仮定9に対応して、次にあげるものが前提となる。

- ①原価が活動量の変化に応じて直接材料費とそれ以外の原価（加工費）に区分される。
- ②直接材料費は、活動量の変化に応じて比例して変動する。
- ③経営諸条件は活動量の変化にかかわらず変化せず、したがって直接材料費以外の原価（加工費）は一定である。
- ④収益は、活動量の増減にかかわらず、その変化率が一定のままで変化する。
- ⑤期首在庫高と期末在庫高は等しい。
- ⑥すべての変数は連続量である。
- ⑦確実性下を前提とする。

ここで注意すべきは、③におけるように直接材料費以外の原価（加工費）はすべて固定費とみなす点である。

そこで貢献利益にもとづく場合と、スループットにもとづく場合の原価態様を図示すると次のようになる。ただし、図表5は、説明をわかりやすくするために極端に加工費の変動費部分を大きく表示してある。

図表5に示すように、貢献利益にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定のための分析で対象とする原価については、本来の固定費に変動費としての直接材料費を加算し、さらに直接材料費以外（加工費）の変動費部分を加算したものである。スループット会計にもとづく最適生産ミックスの分析における原価については、直接材料費部分のみを変動費とし、それ以外を固

$$\beta_i Q_i \leq M_i \quad (13)$$

$$Q_i \geq 0 \quad (14)$$

スループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス決定においては、制約のもとで（11）式のようにスループットの最大化をめざす。なお、その制約については、貢献利益にもとづく分析の場合と異なり、すべての部門（あるいは作業）についての制約を考えず、（12）式のようにボトルネックとなる部門（あるいは作業）を一つあげれば良いこととなる。ただし前述の5つのステップにおける第1ステップのボトルネックを見つけることが終了したことを前提とする。なお、スループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス決定については、様々な文献で展開されているが、まずボトルネックを発見し、その他の制約を満たしながら、当該ボトルネックの時間当たりスループットが最大のものから生産量を決めていくとしているが、特に定式化しているわけではない。

（3）活動基準原価計算にもとづく分析

活動基準原価計算では、製造間接費の製品への集計をアクティビティにもとづいて行い、直接費については従来と変わりはない。その製造間接費は、製品との関連から単位数レベルのコストと、バッチレベルのコスト、製品支援レベルのコストおよび工場支援レベルのコストの4分類³⁾のコストからなる。浜田 [1997] は、活動基準原価計算におけるアクティビティを3レベル（単位数レベル、バッチレベル、製品支援レベル）に分けた場合の数理計画モデルを定式化している。なお最適プロダクト・ミックスの決定にあたっては、単位数レベル、バッチレベルおよび製品支援レベルのコストのうちの回避可能費は関連するが、工場支援レベルのコストは完全な固定費であり、最適プロダクト・ミックスの決定に影響を及ぼさない無関連原価となることから分析の対象から除外されている。

直接費については、浜田モデル（浜田 [1997], 28-30 頁）では直接材料費のみとしている。なお定式化の表現形式については、前述までの表現形式と異なり、ベクトルおよび行列の形式により示されているが、本質的には同等である。

[記号]

n : 製品種類数, \mathbf{p} : スループット (= 売上高 - 直接材料費) の係数ベクトル ($1 \times n$), \mathbf{c} : 各バッチあたりの費用の係数ベクトル ($1 \times n$), \mathbf{d} : ある製品を生産すれば発生する費用の係数ベクトル ($1 \times n$), E : 製品の最大生産量を要素とする対角行列 ($n \times n$), A : 生産要素の投入条件をあらわす行列 ($m \times n$), \mathbf{x} : 生産量の実数値ベクトル ($n \times 1$), \mathbf{g} : 生産の制約値ベクトル ($m \times 1$), \mathbf{y} : バッチ数の整数値ベクトル ($n \times 1$), I : 単位行列 ($n \times n$), \mathbf{z} : その製品を生産するかどうかを示す 0-1 整数値ベクトル ($n \times 1$), B : バッチサイズを要素とする対角行列 ($n \times n$), $\mathbf{0}$: ゼロベクトル ($n \times 1$)

[モデル]

$$\max. \quad \mathbf{p}\mathbf{x} - \mathbf{c}\mathbf{y} - \mathbf{d}\mathbf{z} \quad (15)$$

$$\text{s.t.} \quad A\mathbf{x} \leq \mathbf{g} \quad (16)$$

$$I\mathbf{x} - B\mathbf{y} \leq \mathbf{0} \quad (17)$$

$$I\mathbf{x} - E\mathbf{y} \leq \mathbf{0} \quad (18)$$

$$\mathbf{x} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{y} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{z} \geq \mathbf{0} \quad (19)$$

浜田モデルでは、最適プロダクト・ミックスを決定するために、(15) 式のように売上高から直接材料費を控除したスループットから、バッチレベルのコストおよび製品支援レベルのコストを控除した利益を最大化するものである。なお、制約は (16) 式に示された生産制約、(17) 式のバッチ回数の制約、(18) 式の市場制約等の制約および (19) 式の各変数の非負制約から構成される。

このモデルの特徴としては、直接材料費以外の直接費を無視し、スループットにたいし、製造間接費のバッチレベルのコスト、製品支援レベルのコスト

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

を原価としてプロダクト・ミックスを決定するモデルである。そこで生産個数を実数の変数（実変数）とし、バッチレベルのコストに対してはその変数を整数の変数を対応し、製品支援レベルのコストに対しては、0-1 の整数を対応している。したがってこのモデルは混合整数計画法のモデルとなるが、その解法に関しては容易ではなく、現状では実用性の面からの問題が大きい。

そこで、次に原価測定の観点およびその解法の観点から有用と考えられるゴールドラットの TOC におけるスループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス決定とその問題点について次節において検討する。

Ⅳ スループット会計にもとづくプロダクト・ミックス意思決定

最適プロダクト・ミックス意思決定を検討する際、変動原価にもとづく貢献利益による場合と、活動基準原価計算にもとづく場合がありうるが、前述のように変動費の推定や活動ごとの原価の集計の困難性という点では、スループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定は原価測定の経済性の観点からも有用と考えられる。また、前述のように最適プロダクト・ミックス決定にあたっては、貢献利益による場合でも回避可能固定費がある場合や活動基準原価計算による場合は、混合整数計画法によることとなり、LP のように確立された強力な解法が存在せず、最適解を解くことに関しての困難性を伴う⁴⁾。その点からもスループット会計にもとづく方法のほうが利点大きいものとなる。そこで、以下にスループット会計にもとづく分析について検討を行う。

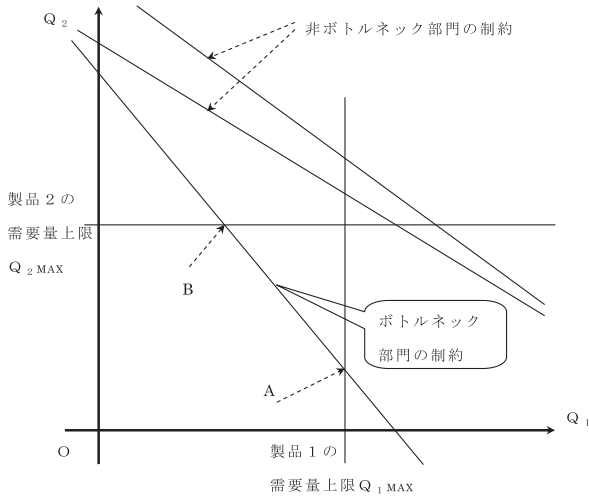
多くの文献においても、スループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス意思決定の考え方が示されている⁵⁾。しかしながらいずれの場合においても、複数の部門（作業）を通して、複数種類の製品を生産する状況において、内的制約すなわち各部門の作業時間制約等と外的制約としての市場における需要上限等を仮定して分析がなされている。そこでの考え方は、前述の TOC における生産プロセス全体の継続的改善のための 5 つのステップに

準じて、まず、第1ステップのシステムのボトルネックを見つける。すなわち、各製品を外的制約としての需要上限まで生産する場合、ボトルネックとなる部門の作業時間を特定化し、第2ステップとして、システムのボトルネックの活用方法を決定するわけであるが、具体的にはボトルネックとなっている作業時間単位当りのスループットが大きいものから順位付けして、当該部門の各製品の最適生産量を決定するものである。なお第3ステップのボトルネック以外のすべてのものを第2ステップでなされた意思決定に従属させることについては、ボトルネック部位門で単位時間当りのスループットによって決定された各製品の最適生産量を満たすように他の部門の作業を同期化させるものである。また、第4ステップのボトルネックの能力を緩めることおよび第5ステップのボトルネックが解消されれば、第1ステップに戻ることにについては、改善等を実施後の次期の計画に対応する。この方法における特徴は、ボトルネックを発見し、そのボトルネックの時間当たりスループットの大きい製品から順位付けを行う点である。しかしながら、種々の文献でもボトルネックは単一と仮定するものである。

たとえば、図表6に示すように、製品1と製品2を複数部門で生産している状況で、外的制約として製品1の需要量の上限 Q_{1MAX} 、製品2需要量の上限 Q_{2MAX} とし、図表のようにボトルネックとなる部門は単一で、それ以外の非ボトルネック（図表では2つ）は製品1も2も需要量上限まで生産可能である状況を仮定している。そして、ボトルネックとなる部門の作業時間単位当たりのスループットを比較し、製品1の作業時間単位当たりのスループットが製品2のそれより大きい場合は、製品1を需要量上限まで生産し、ボトルネックの作業時間が許す限り製品2を生産する点Aの組み合わせを選択すべきであり、作業時間単位当たりのスループットの大きさが逆の場合は、点Bの組合せを選択すべきであるとするものである。

以上の考え方では、ボトルネックとなっている唯一つの部門以外（非ボトルネック部門）は、各製品の需要量上限を満たして生産可能としている。しかしながら、複数の部門で需要量上限を満たせない状況が通常であるので、

図表6 ボトルネックが単一の場合の最適プロダクト・ミックス



その場合については、LPの適用が不可欠となる。

ボトルネックが複数ある場合の最適プロダクト・ミックスについて2製品の場合を例に図示すると図表7のようになる。すなわち、図表に示すように製品1および製品2の需要量上限を満たせない部門（図表では2部門であるが、3部門以上でも構わない）が複数ある場合、前述のようなボトルネックが単一の場合と異なり、解法のためのツールが必要となる。

ボトルネックが複数存在する場合のスループットにもとづく最適プロダクト・ミックス決定のための定式化については、前述のTOCにおけるスループット会計にもとづく分析における（12）式を変形し、次のようになる。

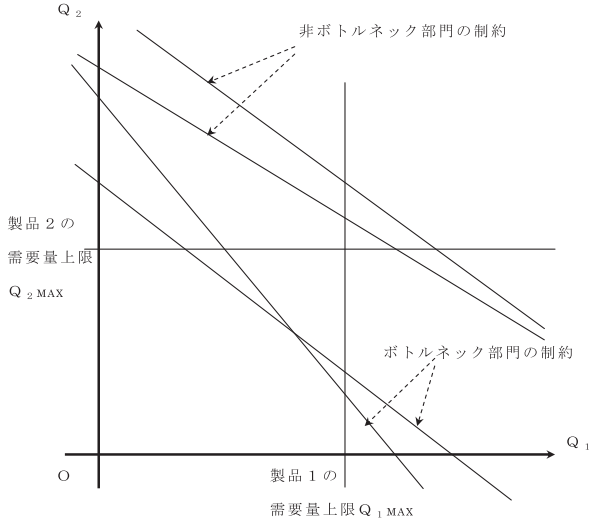
$$\max. \quad \sum_i (P_i - v_{Mi}) Q_i \quad (20)$$

$$s.t. \quad \sum_i \alpha_{ij} Q_i \leq H_j \quad (21)$$

$$\beta_i Q_i \leq M_i \quad (22)$$

$$Q_i \geq 0 \quad (23)$$

図表 7 ボトルネックが複数存在する場合の最適プロダクト・ミックス



[記号]

P_i ：製品 i の販売価格， v_{Mi} ：製品 i の単位あたり直接材料費， Q_i ：製品 i の販売量（＝生産量）， H_j ： j 部門の資源の上限量（作業時間等）， α_{ij} ： j 部門における i 製品生産のための技術係数（例えば単位当り作業時間）， β_i ：市場制約の場合は 1，原材料制約の場合は製品 1 単位当りの原材料消費量， M_i ：製品 i の原材料等の資源制約や需要量上限等

(20) 式は，スループットの最大化を目指すものであり，(21) 式は各部門における作業時間等の資源制約であり，内的制約のプロセス制約および方針制約である。また (22) 式は外的制約であり，外的制約としての原材料制約および市場制約（需要量上限）である。また (23) 式は各製品の生産販売量の非負制約である。なお j は部門あるいは作業の区別を示し， n 種類の部門あるいは作業がある場合は $j = 1 \sim n$ となる。

スループットにもとづく最適プロダクト・ミックス決定を (20) 式から (23) 式に示すような LP による最適化問題として定式化することのメリットは，

TOC（制約理論）とプロダクト・ミックス意思決定（井岡）

その解法と同時に得られる情報にある。この問題は確立された強力な手法としてのシンプレックス法により解くことができるが、最適解が求められるということにとどまらず、シャドープライスすなわち制約1単位が緩められた場合に増加できる利益の増分についての経済的情報も得ることができ、また各部門の製品単位当り作業時間等のパラメータが変化した場合の効果の分析すなわち感度分析も可能となる⁶⁾。TOCにおける生産プロセス全体の継続的改善のための5つのステップにおける第4ステップのボトルネックの能力を緩めるにあたって、改善のコストとの比較により、改善の可否も検討が可能となる。したがって、スループットにもとづく最適プロダクト・ミックス決定をLPによる最適化問題として検討することは、種々の分析に展開可能とすると考えられる。

V おわりに

本稿では、製品の最適組み合わせについて、従来の貢献利益にもとづく分析方法、活動基準原価計算を前提とする分析方法およびTOCによるスループットにもとづく分析方法について、その測定対象とする原価の範囲の相違と各方法が前提とすべき仮定について検討し、各方法に適用される数理計画法に着目し、その特徴を明らかにした。またスループット会計にもとづく最適プロダクト・ミックス決定にLPを適用し、そこでシンプレックス法を利用することによりシャドープライス等に関する経済情報がえられることから、その有用性を示した。なお本稿では、さらにそれらの情報をもとに改善のコスト等の比較分析に関して如何に検討しうるかについてのさらなる展開については行っていないが、それらは今後の課題である。

注

- 1) Goldratt, E.M. and J. Cox [1992] による小説形式の著作は日本でも翻訳され、その『ザ・ゴール』はベストセラーとなり、TOCは、ビジネス界でも注目を浴

- び、その研究および議論も活発化した。
- 2) 仮定については、詳しくは片岡 [1987] を参照。なお仮定 9 については、筆者が追加したものであり、販売価格、変動費率および固定費等の予測に不確実を伴う場合は、確率論を導入した分析が必要となる。
 - 3) 生産管理活動に関わるコストをアクティビティの階層（レベル）で 4 分類すると、次のように区分される。
 - ①単位数レベルのアクティビティ：1 単位の製品が生産されるごとに行われる活動であり、その原価は、製品の生産量に応じて変化する。
 - ②バッチレベルのアクティビティ：1 バッチが生産されるごとに、行われる生産活動であり、その原価は、バッチ回数に応じて変化する。
 - ③製品支援レベルのアクティビティ：種類の異なる製品が生産されるごとに、行われる生産活動であり、その原価は、製品種類数に応じて変化する。
 - ④工場支援レベルのアクティビティ：工場全体にかかわる生産活動であり、特定の製品に跡づけることは最も困難である。
 - 4) 混合整数計画法（mixed integer programming：MIP）は、一部の変数のみに整数条件が付いていて、残りの変数は連続変数（実数の変数）として扱われるものである。整数計画法（integer programming：IP）は、解法が確立されておらず、「LP には、単体法や内点法といった強力な解法が存在して、多項式時間で最適解を求めることができるが、IP は NP 困難と呼ばれる問題のクラスに属しているので、最悪の場合でも多項式時間で最適解を求めることのできる解法は存在しないだろう（藤澤・梅谷 [2009]、25 頁）」といわれており、一般的にも混合整数計画法も同様に強力な解法が確立されていない状況にある。なお「単体法」は、シンプレックス法のことを指す。
 - 5) 多くの文献で紹介がなされており、例えば Corbett, T. (1998), Swain and Bell (1999) や村上 悟 [2002] にも最適プロダクト・ミックス意思決定の考え方について示されているが、制約時間単位当りスループットが大きいものから製品を生産すべきというものであり、本質的に同様のものである。また、その際、いずれの場合にも内的制約としてのボトルネックは、1 つの場合に限定されている。
 - 6) シンプレックス法とシャドープライスについては、阿保・石塚・前田 [1973]、岡本 [2000]、吉川 [1983] など多くの文献に詳述されている。また、双対性と感度分析については、坂和・矢野・西崎 [2010] など多くの文献に詳述されている。

参考文献

[和文]

- 阿保栄司・石塚博司・前田幸雄 [1973]『現代の企業予算』中央経済社。
- 岡本 清 [2000]『原価計算（6訂版）』国元書房。
- 小沢 浩 [2005]『コストマネジメント』同文館。
- 片岡洋一 [1978]『製品原価の測定理論』白桃書房。
- 片岡洋一 [1987]「損益分岐点と不確実性」, SUT Bulletin Vol. 4, No. 2, 17-21 頁。
- 小林哲夫 [2007]「TOC（項目執筆）」『第6版会計学辞典』同文館出版。
- 坂和正敏・矢野 均・西崎一郎 [2010]『わかりやすい数理計画法』森北出版。
- 櫻井通晴 [1981]『原価計算論（増補版）』中央経済社。
- 島田美智子 [2000]「制約理論（TOC）にリンクするスループット会計の計算構造に関するモデル分析—ボトルネックの解消手段に関連させて—」, 『大阪商業大学論集』第116号, 223-255 頁。
- 菅本栄造 [1999]「制約理論と管理会計の関連性についての一試論—制約理論を管理会計の立場からいかに認識すべきか」, 『企業会計』第51巻第6号, 51-59 頁。
- 菅本栄造 [2008]「TOC とスループット会計—管理会計上の論点と含意について—」, 『会計』第174巻第3号, 17-31 頁。
- 高橋 賢 [2008]「スループット会計に関する一考察」, 『会計』第170巻第3号, 93-103 頁。
- 浜田和樹 [1997]「TOC の会計理論上の意義」, 『会計』第151巻第5号, 18-32 頁。
- 廣本敏郎 [2008]『原価計算論（第2版）』中央経済社。
- 藤澤克樹・梅谷俊治 [2009]『応用に役立つ50の最適化問題』朝倉書店。
- 古田隆紀 [2001]「バックフラッシュ原価計算とスループット会計」, 『JAA 会計プログレス』第2号, 36-47 頁。
- 水野一郎「制約理論（TOC）とスループット会計」, 『会計』第160巻第5号, 29-42 頁。
- 村上 悟 [2002]『TOC 入門』日本能率協会マネジメントセンター。
- 門田安弘 [1997]「「ABC 貢献利益法」の提唱—ABC と貢献利益法の接点」, 『企業会計』第49巻第9号, 1156-1164 頁。
- 門田安弘 [1998]「JIT 生産のもとでのスループット会計の拡張—ボトルネック別貢献利益法の提案」, 『企業会計』第50巻第2号, 73-79 頁。
- 矢澤秀雄 [1995]「スループット概念および原価管理の問題」, 『会計』第147巻第6号, 91-106 頁。
- 吉川武男 [1983]『責任会計による予算管理モデルの研究』多賀出版。

[欧文]

Atkinson, A.A., R.S. Kaplan and S.M. Young (2004) Management Accounting (4th Ed.)

Prentice-Hall.

Corbett, T. (1998) *Throughput Accounting*, North River Press. (佐々木俊雄訳 [2005] 『TOC スループット会計』ダイヤモンド社)

Cox, J.F. and M.S. Spencer (1998) *The Constraints Management Handbook*, St.Lucie Press. (小林英三訳 [1999] 『制約管理ハンドブック—競争優位の TOC 戦略』ラッセル社)

Swain, M. and J. Bell (1999) *The Theory of Constraints and Throughput Accounting*, Irwin McGraw-Hill.

Goldratt, E.M. and J. Cox (1992) *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, Second Edition, North River Press. (三本木亮訳 [2001] 『ザ・ゴール：企業の究極の目的とは何か』ダイヤモンド社)

Horngren, C.T., Srikant, M.D., Foster, G., Rajan, M. and Ittner, C. (2009) George Foster, *Cost Accounting—A managerial Emphasis—, Thirteenth Edition*, Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey.