

# 制約条件の理論 (TOC) の 改善アプローチに対する図的解釈

八木 英 一 郎\*

Graphical Interpretation of the Improvement Approach  
by the Theory of Constraints

Eiichiro YAGI

## Abstract

This paper will try to understand the conditions of constraints and the improvement procedure, which are the basis of TOC (Theory Of Constraints) by using the graphical method. TOC is a management philosophy proposed by E.M Goldratt in 1984. Initially, TOC focused on the area of production control and management accounting. Later, it extended to the areas of project control, thinking process. Currently, it covers not only operations management but also management in general. Many books on TOC are available for general readers, although the theoretical ground of TOC is not clear. So, this paper will verify the validity of the idea of improvement in TOC and its applicability of interpretation for some cases. In addition, it implies that it would help verify the validity of the idea of improvement in TOC as well as apply TOC for difficult cases that formulate the relationship between constraints and objectives.

---

\* 東海大学政治経済学部経営学科教授

## 1. 研究目的

制約条件の理論 (Theory Of Constraints : 以下 TOC) はエリヤフ・ゴールドラットがその著書「The Goal」(文献 [1]) の中で提唱した考え方であり、オペレーションズ・マネジメントの中の特に生産管理、意思決定会計 (管理会計)、プロジェクト管理、またそのための思考プロセスなどを中心に構成されている。しかし TOC は、考え方を啓蒙するための小説やビジネス書による解説が中心となっており、その理論的な根拠は必ずしも明確化となっていない。著者はこれまで、TOC の理論の原点となっている制約条件とそれをもとにした改善手順を手がかりとして、その理論的根拠を明確化しようと試みており、文献 [2] では線形計画モデルとして数理計画法で定式化が可能な場合の検証を行った。さらに文献 [3] では TOC における複数目標の取り扱いを試み、文献 [4] では多目的システムにおける TOC の適用について考察を行った。本論文ではこれらの議論をもとに、TOC の理論の原点となっている制約条件とそれによる改善手順について、図を用いた解釈を試み、TOC における改善の考え方の妥当性を検証し、さらに一般的な事例における解釈の適用についても考察を行う。

## 2. 本研究の対象

### 2.1 本研究で取り扱う TOC とその改善手順

本研究では TOC の中でも、特にその基本的な考え方と改善の 5 ステップを対象とする。TOC では企業の目的を「将来にわたって金を儲けること」と定義している。この企業の目的を妨げているものを制約条件と認識し、この制約条件を取り除くという考え方により改善を進めている。

具体的に改善を進めるプロセスは次に示す改善の 5 ステップ<sup>1)</sup>となる。

ステップ 1. システムの制約条件を見つける

ステップ 2. 制約条件を徹底的に活用する

ステップ 3. 制約条件以外のすべてを制約条件に従属させる

ステップ 4. 制約条件の能力を高める

ステップ 5. 制約条件が解消されたら、最初のステップに戻る。しかし惰性が制約条件とならないようにする。

本研究ではこの TOC の基本的な考え方と改善の 5 ステップを一般のシステムに適用する場合の扱いについて、図による解釈を試みる。

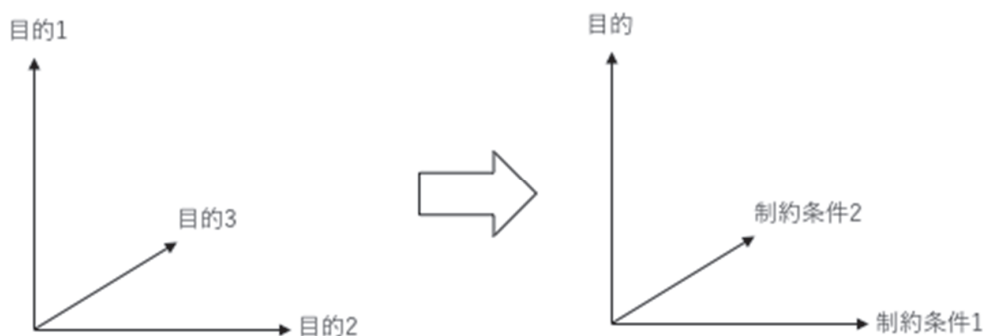


図1 本研究における多目的システムの扱い方

## 2.2 対象システムの定義

本研究で改善対象とするシステムを次のように定義する。対象システムは多目的システム<sup>2)</sup>とする。TOCの改善の5ステップにおいては目的として利益をとっており、これは文献[2]で示した通り複数の制約条件を持つ単一目的のシステムの改善方法として一般化することは可能である。しかし、そのままでは多目的システムを扱うことはできないため、文献[3]で示したように多目的システムのもっとも重要な目標をTOCにおける目的とし、その他の目標はTOCにおける制約条件として扱う(図1)。

## 3. システムの能力向上の図示

先にあげたTOCの改善の5ステップにおけるシステムの能力向上の様子の図示を試みる。これは4点から構成され、改善の5ステップとの関連は次のようになる。

- |                    |            |
|--------------------|------------|
| 1) 目的と対象とする制約条件の選択 | ステップ1に相当   |
| 2) 制約条件内で目的関数を最大化  | ステップ2・3に相当 |
| 3) 制約条件の緩和         | ステップ4に相当   |
| 4) 制約条件の確認         | ステップ5に相当   |

以下にその詳細を示す。

### 1) 目的と対象とする制約条件の選択

多目的システムの中で、目的とその向上を妨げている制約条件を1つ選択し、図2に示すような目的軸と制約条件軸からなる2次元空間上にて示す。システムの取り得る範囲は、図2に示すように、制約条件軸・下限値・上限値・目的と制約の関係を示す関数<sup>3)</sup>で囲まれた範囲(図2の交点ABCDで囲まれた部分)となる。

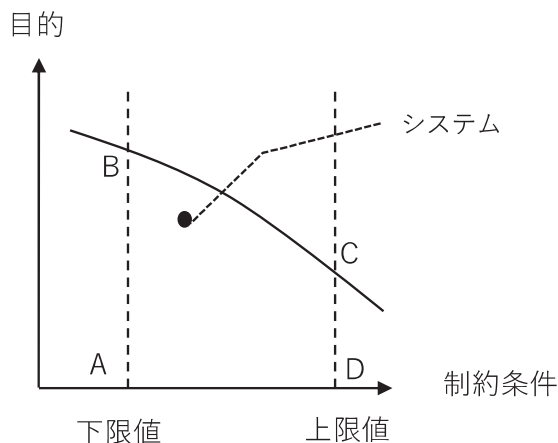


図2 目的と制約条件の関係

なお、通常、改善対象とすべきシステムにおいてはそのパフォーマンス向上のための様々な策が取られていることが多く、制約条件として取り上げる項目においては、図2よりもむしろ図3に示すように制約条件に余裕が存在していないことが多い。これは必ずしも一般的に成り立つわけではないが、制約条件を選択する際の一つの目安となる。

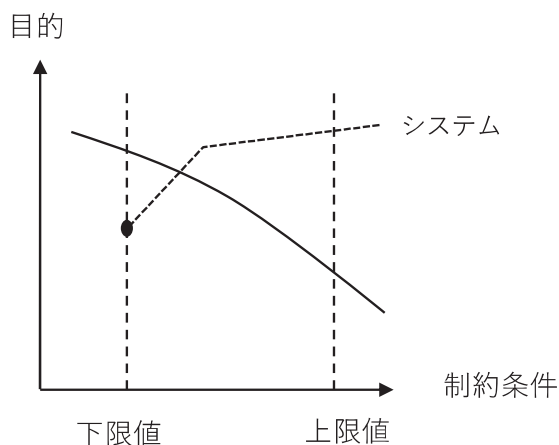


図3 制約条件に余裕がない場合のシステムの状態

## 2) 制約条件内で目的関数を最大化

制約条件の理論においては、まずは現状の状態の元で、最適な目的値を取るようにシステムの改善を進めることとなる。すなわち図4に示すように、システムが領域内で目的関数が最大となる点Bを取るような改善方策を取るようになる。

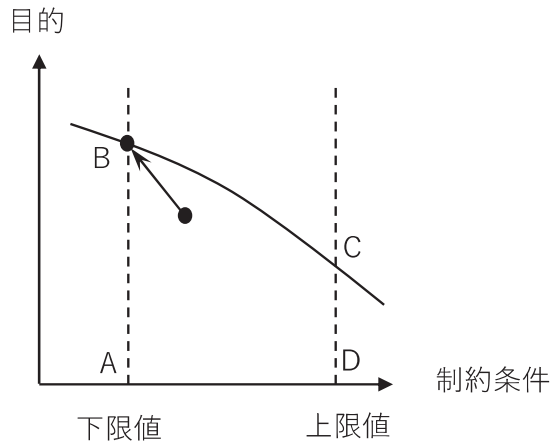


図4 目的関数の最大化

また、このプロセスは、目的関数・制約条件が全て定式化できる場合、数理計画法における最適化問題を解くこととなり（文献〔2〕を参照）、最適解の算出が可能な場合は点Bを最適解として求めることができる。簡単な問題においては最適化問題として定式化を行い解くことが可能であることもあり、TOCというのは最適化問題というような評価がなされたこともあった。最適化問題自体は、オペレーションズ・リサーチが提唱された初期の時代から提案されていたが、計算のためのコストと技術的な制約により扱うことのできる問題のサイズが限られており、その利用はコストをかけても採算の取れる領域の問題に限定されていた。しかし、近年のITC技術の進歩により大規模なサイズの問題の取り扱いが可能となってきている。

### 3) 制約条件の緩和

現状における目的の値の最良値が点Bとなるため、さらなる目的の達成を求めるためには、既存の制約条件を変更しなければならない。これはTOCの5ステップのステップ4に相当するものであり、次の2通りの方法が考えられる。

#### 3-1) 制約条件の範囲の変更

点Bよりも目的の値を向上させるために既存の制約条件の緩和し範囲を変更する。これは図5において制約条件の下限值を変更することで点Bから点B'へ移動させることとなる。なお、図5では目的と制約の関数を単調減少する関数として示しているため、制約の下限値を緩和しているが、単調増加する関数の場合は上限値を緩和させればよい。

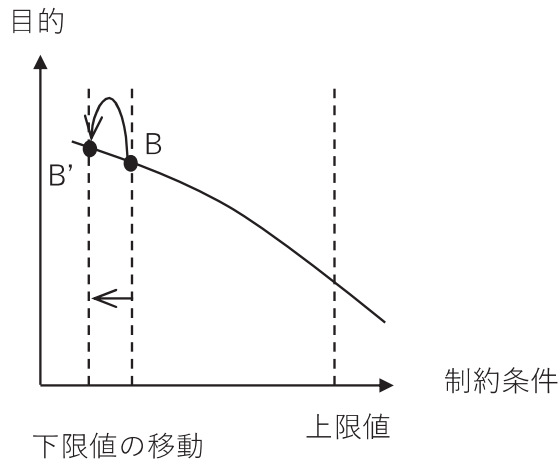


図5 制約条件の緩和

3-2) 目的・制約関数の変更

他の方法として解空間を構成している目的・制約関数変更がある。すなわち、図6に示すように、目的・制約関数を変更することにより、システムを点Bから点B''へ変更させるを試みることである。一般にはこのような能力向上はイノベーションや改善活動などによる能力向上が相当する。

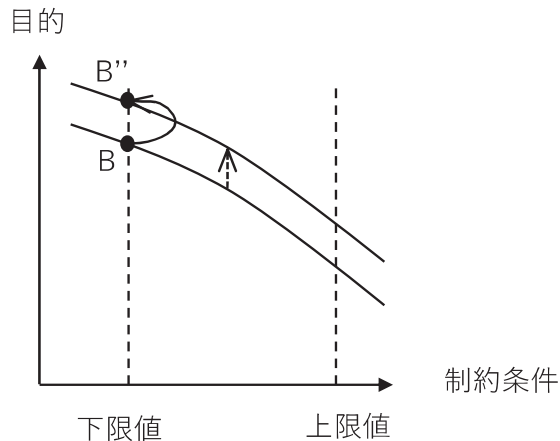


図6 目的・制約関数の変更

また、目的・制約関数の変更はイノベーションや改善活動などの人為的な行為以外にも、システムを取り巻く環境変化により生じ、システム自体には変更を加えていない場合でも目的値が変化することがあり(図7参照)、その場合環境変化への対応が必要となってくる。

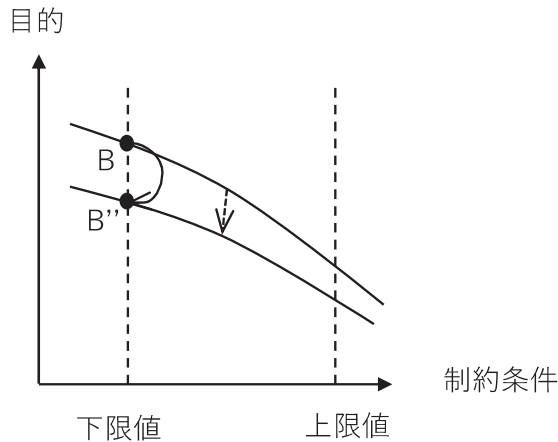


図7 環境変化によるシステムへの影響

#### 4) 制約条件の確認

変更により、選択されていた制約条件が目的関数の制約でなくなれば、1)へ戻り、新たに制約条件を選択し直す。

### 4. 事例とその考察

#### 4.1 【事例1】一般的な TOC の例

文献 [2] の3.2で提示されている例題に対して図示による解釈を行う。

##### 【例題】

営業部門と製造部門の2部門からなる次の会社において次のデータがある。利益最大化を図るために2つの製品AとBの販売をどのようにすべきか。

営業部門からのデータ

製品	A	B
販売価格	9000 (円 / 個)	10000 (円 / 個)
需要	100 (個 / 週)	50 (個 / 週)

製造部門からのデータ

製品	A	B
原材料価格	4500 (円 / 個)	4000 (円 / 個)
製造時間	15 (分 / 個)	30 (分 / 個)

工場の稼働時間：週5日間，1日8時間で週40時間 (=2400分)

共通データ

業務費用（販売量により変動しない費用）：60万円 / 週

これに対して、すべての需要に対応しようとすると、1週間で製造に必要な時間は

$$15 \text{ (分/個)} \times 100 \text{ (個)} + 30 \text{ (分/個)} \times 50 \text{ (個)} = 3000 \text{ (分)}$$

となり、工場の能力をこえてしまう。従って、どちらかの製品を優先して販売しなければならないが、この会社においては営業部門が主導して販売する製品を決めているため、販売価格から原材料価格を引いた粗利益の大きな製品を優先して販売することとした。この例では

$$\text{製品 A : } 9000 \text{ (円/個)} - 4500 \text{ (円/個)} = 4500 \text{ (円/個)}$$

$$\text{製品 B : } 10000 \text{ (円/個)} - 4000 \text{ (円/個)} = 6000 \text{ (円/個)}$$

となるため製品 B を優先して販売する。この場合製品 A の生産数量は

$$(2400 \text{ (分)} - 30 \text{ (分/個)} \times 50 \text{ (個)}) / 15 \text{ (分/個)} = 60 \text{ (個)}$$

となる。ところがこの場合の会社としての利益は

$$(9000 \text{ (円/個)} - 4500 \text{ (円/個)}) \times 60 \text{ (個)} + (10000 \text{ (円/個)} - 4000 \text{ (円/個)}) \times 50 \text{ (個)} - 60 \text{ 万 (円)} = -3 \text{ 万 (円)}$$

となり、赤字となっていた。

【図示による解釈】

1) 目的と対象とする制約条件の選択

目的として粗利益を制約条件として稼働時間をとる。

2) 制約条件内で目的関数を最大化

TOC ではスループット（単位時間当たり利益）を指標として取るため

$$\text{製品 A : } (9000 \text{ (円/個)} - 4500 \text{ (円/個)}) / 15 \text{ (分)} = 300 \text{ (円/個/分)}$$

$$\text{製品 B : } (10000 \text{ (円/個)} - 4000 \text{ (円/個)}) / 30 = 200 \text{ (円/個/分)}$$

従って A 製品を優先的に製造する。販売部門は制約条件ではなくなるので、制約条件である製造部門に従属させ、製品 A を優先的に販売する。この場合製品 B の生産数量は

$$(2400 \text{ (分)} - 15 \text{ (分/個)} \times 100 \text{ (個)}) / 30 \text{ (分/個)} = 30 \text{ (個)}$$

この時の会社としての利益は

$$(9000 \text{ (円/個)} - 4500 \text{ (円/個)}) \times 100 \text{ (個)} + (10000 \text{ (円/個)} - 4000 \text{ (円/個)}) \times 30 \text{ (個)} - 60 \text{ 万 (円)} = 3 \text{ 万 (円)}$$

となり、3万円の黒字となる。

これを図示すると図8に示すように、粗利益が-3万円から3万円に変化する。



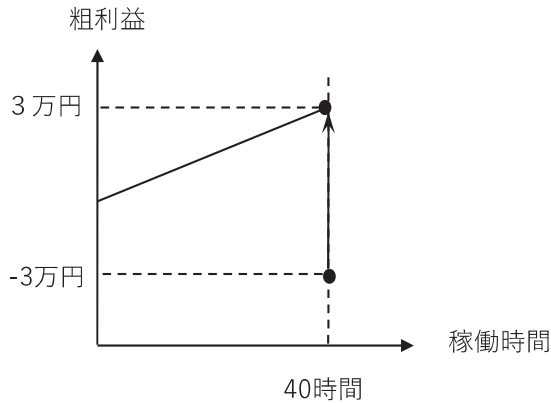


図8 稼働時間の制約の中での利益の最大化

### 3) 制約条件の緩和

さらに利益が上がりはじめたが全需要を満足していないため、制約条件となっている工場を増やし、2交代制で週80時間 (=4800分) 稼働とする。この結果、業務費用が10万円/週増加し70万円/週となったとする。この時の会社としての利益は製品A: 100個, B: 50個となるため、

$$(9000 \text{ (円/個)} - 4500 \text{ (円/個)}) \times 100 \text{ (個)} + (10000 \text{ (円/個)} - 4000 \text{ (円/個)}) \times 50 \text{ (個)} - 70 \text{ 万 (円)} = 5 \text{ 万 (円)}$$

となり、この時の工場の実稼働時間は

$$15 \text{ (分/個)} \times 100 \text{ (個)} + 30 \text{ (分/個)} \times 50 \text{ (個)} = 3000 \text{ (分)} = 50 \text{ (時間)}$$

となり、工場の稼働時間が制約条件ではなくなる。これを図示すると図9に示すように稼働時間に関する制約が解消されたことになる(「3-1) 制約条件の範囲の変更」に該当)。

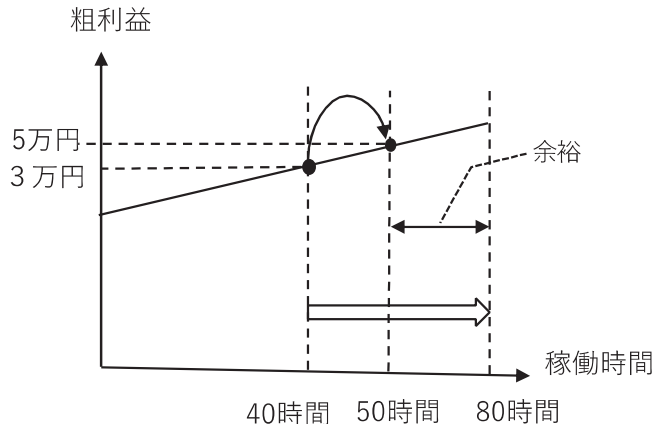


図9 稼働時間の制約の解消

#### 4) 制約条件の確認

図9の状態では需要はすべて満足しており、工場の製造能力には30時間 (=1800分) 余力があるため、制約条件を変更し、「1) 目的と対象とする制約条件の選択」へ戻る。

##### 1) 目的と対象とする制約条件の選択

新たな制約条件は販売部門が担当する需要となる。

##### 2) 制約条件内で目的関数を最大化

製品Aは4500円/個、製品Bは6000円/個となるため、販売部門はこれまでのように製品Aではなく製品Bを優先して販売すべきとなる(図10参照)。

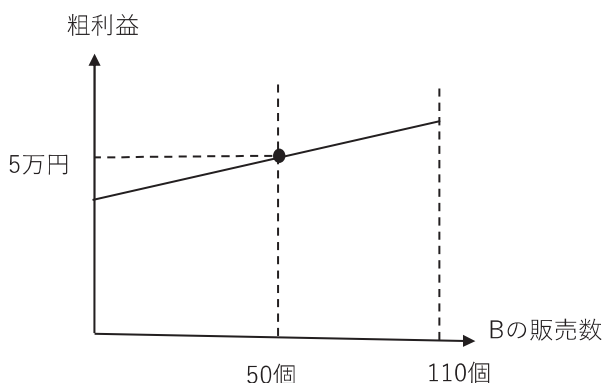


図10 制約条件の製品Bの販売数への変更

#### 4.2 【事例2】多目的システムの例

4-1の例に次の条件を加える(文献[3]の「5. 適用例」参照)。利益(粗利益)を最大化したいという希望と、製品Bは新製品のため販売に力を入れたいと考えている。2つの製品AとBの販売をどのようにすべきか。このため目的関数として粗利益をとり、製品Bの販売量を制約条件とし、製品Bの販売量については40個/週以上を満足条件とする。

製品Aを80個、製品Bを40個製造・販売したときの粗利益が0万円・工場の製造時間は40時間となり、工場の製造時間・製品Bの販売量が制約条件となる(「1) 目的と対象とする制約条件の選択」「2) 制約条件内で目的関数を最大化」に該当)。ここでは制約条件のうち、方針制約となる販売量を緩和することを考え、製品Bの販売量を減らし、その分製品Aを販売すると、図11のようになる(「3) 制約条件の緩和」の中の「3-1) 制約条件の範囲の変更」に該当)。

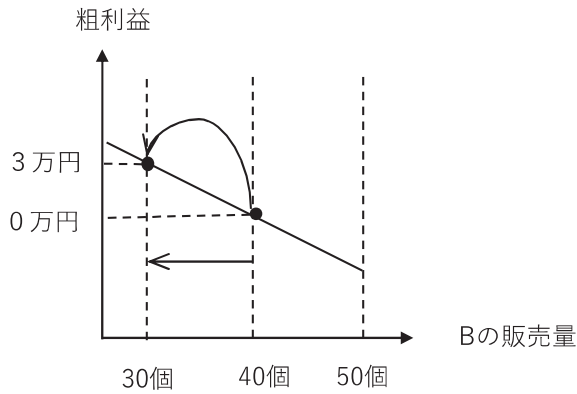


図11 製品 B の販売量と利益

#### 4.3 【事例3】環境変化による制約条件の変化の例

コンビニエンスストアなどの小売業やファミリーレストランなどの外食産業などにおいては利用者にとっての利便性などを考え24時間営業を行ってきたが、近年、人員確保の困難、人件費の向上、深夜利用者の減少などの理由により24時間営業を取りやめる店が増えている<sup>4)</sup>。

目的を粗利益、制約条件を営業時間として図示すると、従来は図12に示すように開店時間を延ばすことで売上が増え、利益も増大するというビジネスモデルを形成していたが、深夜時間帯の顧客の現象、人手不足による賃金の高騰などの環境条件の変化により図13に示すように深夜時間帯は赤字となるようになってしまっていると考えられる<sup>5)</sup> (「3) 制約条件の緩和」の中の「3-2) 目的・制約関数の変更」に該当)。このために外食産業などにおいては深夜営業を中止し、営業時間を短縮することで図13のcからc'へとシステムの状態を変更させている。

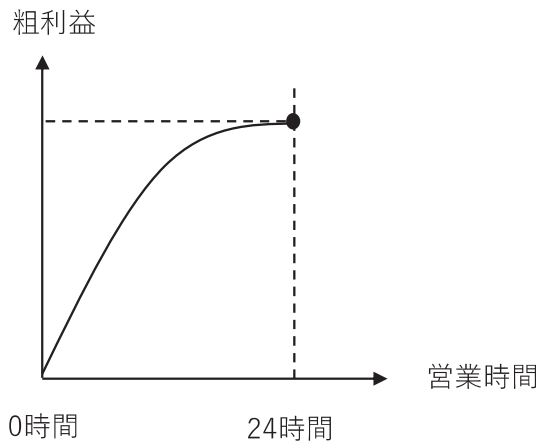


図12 従来の営業時間と粗利益の関係

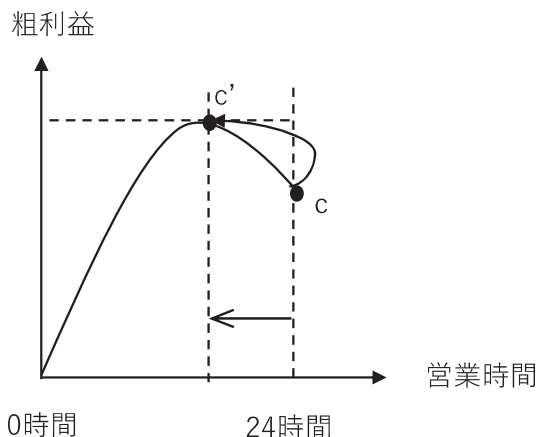


図13 深夜営業の廃止による営業時間の短縮

#### 4.4 考察

TOCの説明のための適用事例として用いられた事例1や事例2においては、これまで用いられてきた数式による説明に加えて、図示することでより視覚的な直感に訴えた説明をすることができる。また、システムを取り巻く環境の変化により制約条件の変更が求められる事例3においても図示することによりその妥当性を示すことが容易になる。特に、事例3のような場合は、取り上げられた制約条件（営業時間）と目的（粗利益）の関係についてきちんとした定式化をすることは困難であり、事例1や事例2で示したような数式による説明は困難であるが、取り上げた制約条件と目的の間関係について、増加・減少程度の想定が可能であれば、制約条件の変化の考慮が可能となっている。一般のシステムにおいては、事例1や事例2のようにそれぞれの関係をきちんと定式化することは困難であることが多いため、このような場合でも、この程度の関係の記述（取り上げた制約条件と目的の間関係が増加・減少がわかる）が可能であれば、TOCにおける制約条件の緩和の方向を示すことが可能となるため、実務的には意味のあることであると考えられる。

## 5. 結論

本論文においてはTOCの理論の原点となっている制約条件とそれによる改善手順について、図を用いた解釈を試みた。これによりTOCにおける改善の考え方の妥当性の検証が容易になり、制約条件と目的の間関係の定式化が困難な事例においてもTOCの適用が容易になると考えられる。

註

- 1) TOC の改善の5ステップについては文献により若干の表現の違いがみられるが、ここでは文献 [5] による。
- 2) 多目的システムについては文献 [6] ~ [9] などを参照のこと。
- 3) 簡単にするためこの部分の説明では、目的と制約を示す関数は単調減少または単調増加する関数とする。
- 4) 24時間営業については多数の報道がなされているが、ここではその一部として文献 [10] ~ [12] を示す。
- 5) 深夜営業の時間帯の収支については文献 [13] [14] では実質的には赤字であったと報道されている

参考文献

- [1] Goldratt M Eliyahu, Cox Jef, 「The Goal: A process of ongoing Improvement」, North River Pr. (,1992)
- [2] 八木英一郎, “制約条件の理論 (TOC) に基づく改善に対する一考察”, 東海大学紀要政治経済学部, No.44, pp265-275, 2012
- [3] 八木英一郎, “制約条件の理論 (TOC) における複数目標の取り扱いの提案”, 東海大学紀要政治経済学部, 第45号, pp189-202, 2013
- [4] 八木英一郎, “制約条件の理論による多目的システムの改善”, 東海大学紀要政治経済学部, No.46, pp131-142, 2014
- [5] ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「ゴールドラット博士のコストに縛られるな」, ダイアモンド社, 2005
- [6] ラルフ・L・キニー, ハワード・ライファー共著, 高原康彦, 高橋亮一, 中野一夫, 監訳, 「多目標問題解決の理論と実例」, 構造計画研究所, 1975
- [7] 市川惇信編, 「多目的決定の理論と方法」, 計測自動制御学会, 1975
- [8] 伏見多美雄, 福川忠昭, 山口俊和, 「経営の多目標計画」, 森北出版, 1987
- [9] J・P・イグナチオ, 高桑宗右エ門訳, 「単一目標・多目標システムにおける線形計画法」, コロナ社, 2000
- [10] 「24時間営業」に見直し機運 = 流通や飲食, 人手不足が影響, <https://www.jiji.com/jc/article?k=2019030601050&g=eco>, 時事ドットコムニュース, 2019年3月6日, 閲覧日2019年5月20日
- [11] 加谷珪一, ファミレス「24時間営業」撤退, はたして「生産性」は上がるのか? 長時間労働に関する壮大な勘違い, 現代ビジネス, 講談社, <https://gendai.ismedia.jp/articles/-/50683>, 2017年1月8日, 閲覧日2019年3月20日
- [12] 週刊ダイヤモンド編集部, ファミレス24時間営業廃止, 携帯が深夜の客足を止めた, DIAMOND Online, <https://diamond.jp/articles/-/114243>, 2017年1月17日, 閲覧日2019年3月19日
- [13] 密着! コンビニ店主24時 便利さの裏で何が?, NHK クローズアップ現代2019年4月10日放送分, <https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/4268/index.html>, 閲覧日2019年4月30日

八木英一郎

[14] コンビニ「24時間営業」紛争 オーナー語る“2年間休みなし”“手取り20万円”の実情, デイリー新潮, <https://www.dailyshincho.jp/article/2019/03140800/?all=1>, 週刊新潮 2019年3月14日号掲載, 閲覧日 2019年5月20日