

E. M. ゴールドラット博士の制約条件の理論

古 殿 幸 雄*

Dr. E. M. Goldratt's Theory of Constraints

Yukio Kodono *

Abstract

This paper is dedicated to the late Dr. E. M. Goldratt by whose passing I was deeply affected. Dr. Goldratt proposed the Theory of Constraints (TOC).

This paper introduces Dr. Goldratt's TOC which is based on the premise that the rate of goal achievement is limited by constraints which it then seeks to identify.

TOC is systematized using the following management methods: Throughput Accounting, Process of Ongoing Improvement, Drum Buffer Rope, Thinking Process and Critical Chain Project Management; all of which are examined in this paper.

Keywords

The Goal, TOC, Throughput Accounting, Process of Ongoing Improvement, Drum Buffer Rope, Thinking Process and Critical Chain Project Management

1. まえがき

2011年6月11日(土)、ゴールドラット(E. M. Goldratt)博士が、イスラエル、エルサレム郊外のご自宅で逝去された。享年は、64歳であった。本論文は、ゴールドラット博士の追悼論文として、博士が提唱されたTOC(Theory of Constraints)について述べる。

1970年代、イスラエルの物理学者ゴールドラット博士(以下、敬称略)は、工場を経営していた知人から、生産スケジューリングの相談を受け、物理学の研究で培った発想や知識を駆使して、その解決法として画期的な生産スケジューリング法とそのスケジューリング・ソフトウェア“OPT(Optimized Production Technology)”を開発する^[1]。このOPTを導入することにより、工場では、設備や労力の追加なしに、生産を40~50%増加させることに成功する。そこで、ゴールドラットは、アメリカでこのOPTを販売するた

*このの ゆきお：大阪国際大学ビジネス学部教授〈2011.9.5受理〉

めの会社を設立する^[2]。OPTは、高額なソフトウェアであるにもかかわらず、それを導入した工場では生産性が大幅に改善され、生産リードタイムが劇的に短縮するという効果が出て、一躍注目を浴び、会社は、順調に成長するかにみえた^[1]。

しかし、ゴールドラットは、他社に模倣されないようにOPTの詳しい仕組みを一切公表せず、ソフトウェア開発もイスラエルで行っていた。そのため生産管理の専門家の間では、仕組みが全くわからないOPTを、まがいものと批判したり、無視したりしようとする傾向が強かった。

そこで、ゴールドラットは、このOPTの基本原理をわかりやすく解説した企業小説“The Goal”を1984年に出版^[3]し、“The Goal”は、全米で250万部を超える大ベストセラーとなった。“The Goal”は、もともとOPTの仕組みを公開するための書物ではなく、企業小説の形で、その原理や考え方のみを織り交ぜたものであったが、“The Goal”を読み、そのストーリー通りに実行するだけで、高額なOPTに勝るとも劣らない成果をあげる工場が続出してしまった。そのため、“The Goal”の邦訳^[1]は、2001年になるまで許されなかった。1980年代の日本は、バブル経済に沸き、“The Goal”の全体最適の手法を日本人に教えてしまったら、貿易摩擦が再熱して世界経済が大混乱に陥ってしまうというゴールドラットの意向があったためである^[1]。さらに、“The Goal”の効果、すなわち、OPTというツール抜きで、企業改革、特にSCM (Supply Chain Management) の基礎を確立している企業が現れたことは、ゴールドラットの大きな転機にもなった。ゴールドラットは、OPTの背後にある考え方を、TOC (Theory Of Constraints: 制約条件の理論あるいは制約理論) と名づけ、経営コンサルティングに従事するようになった。

せっかく立ち上げた会社を廃業して、経営コンサルタントに転身することは、ゴールドラットにとって、非常に大きな葛藤があったようである。しかし、その葛藤の中から出された答えがTOCという理論体系であり、その葛藤から編み出された市場需要開拓や企業内の根深い対立を伴う問題に対処する「思考プロセス (Thinking Process)」、「継続的改善プロセス (Process of Ongoing Improvement)」などの手法は、TOCを生産管理の領域から企業全体の経営改革手法へと発展させていった。

実は、1990年代のアメリカ企業の国際競争力の復活は、品質管理 (Quality Control)^[4]としての立場からデミング (W. E. Deming)、そしてTOCの立場からゴールドラット、この2大博士の存在が、大きな影響を与えたとも言われている^[5]。

“The Goal”の邦訳である『ザ・ゴール』は、2001年に出版されることになった。1990年代の日本経済は、バブル経済崩壊後、失われた10年と呼ばれる停滞期であった。ゴールドラットは、2001年秋に来日した際の講演で「いままで日本だけはTOCを積極的に普及させないようにしていたが、最近の日本経済の停滞を見て考え方を変えた。これから日本にTOCの教育機関を作っていきたい」と語っている^[6]。以後、日本でもTOCが注目されるようになった。

2. 制約条件

TOCの由来となる「制約条件」とは、組織 (あるいはシステム) が目指すゴールを妨

げているのは何か、ということである。いま、ワインのボトル（清涼飲料水のペットボトルでもかまわない）を想像してみよう。そのボトルの首の部分、細く、詰まりやすくなっている。そのため、ボトルにたくさんの容量のワインが入っていても、このボトルネック（Bottle Neck）によって、中身が一気に流れ出ないように、ボトルは制約されている。つまり、TOCでは、何がボトルネックになっているかを見つけ出すことが、問題解決の鍵になる。例えば、図1のようなチェーン（SCMのサプライチェーンでも構わない）を、チェーンの強度に着目してみよう。

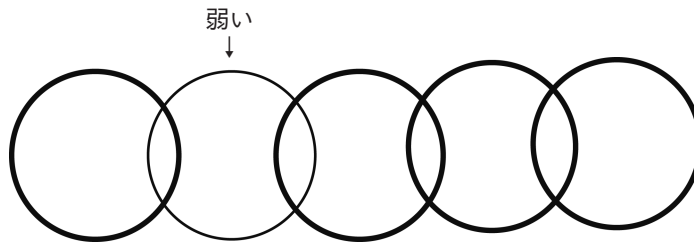


図1 チェーンの強度

チェーンの輪の中に、ひとつでも弱いものがあれば、チェーン全体の強度は、その弱いものの強度と等しくなる（両端を強く引っ張ることを考えてみればよい）。したがって、チェーンを切れにくくするためには、最も弱いチェーンを見つけ出し、それを強化しなければならず、他のチェーンをいくら強化しても、チェーン全体の強度を増すことにはならない。この最も能力の低い活動にあたるのが、ボトルネックすなわち、「制約条件」である。このように制約条件に着目することで、組織（システム）の改善を効果的に行い、組織（システム）が目指すゴールを達成することができる。

また、TOCでは、“The Goal”においては、企業（組織）の「ゴール」を「現在から将来にわたって、お金を儲けること（Make money now and in the future）」としている。さらに、“The Goal”の続編の“*It's Not Luck*”^[7]では、企業のゴールとして、「現在から将来にわたって、お金を儲ける」に加えて、「現在から将来にわたって、市場を満足させる」、「現在から将来にわたって、従業員に対して安心して満足できる環境を与える」という2つが掲げられている。企業のあるべき姿は、まさに後者ではないだろうか。

さて、“The Goal”において、企業のゴールは、「現在から将来にわたって、お金を儲けること」から、その評価は、「スループット（Throughput）」、「在庫（Inventory）」、「作業経費（Operating Expense）」の3つの指標で表すことができるとしている。そして、この3つの指標は、次のように定義される^[1]。

スループットは、「販売を通じてお金を作り出す割合」である。

在庫は、「販売しようとする物を購入するために投資したすべてのお金のこと」である。

作業経費は、「在庫をスループットに変えるために費やすお金のこと」である。

これらの定義から分かるように、「お金を儲ける」ことをゴールにすることによって、これらの3つの指標が有効になる。すなわち、①スループットを増大させる、②在庫を低減させる、③作業経費を低減させることによって、「利益を最大化させる」=「お金を儲けることを達成させる」と考えるのである。

そのため、TOCでは、資源の作業能率や稼働率をいくら高めても、在庫の山を作るだけならスループットは発生しないので、そのような行為は、無駄な行為であると考えられる。すなわち、工場でたくさんの製品を効率よく、稼働率もよく、生産されていても、販売されなかったら（在庫の山が増えるだけで）スループットは発生しないため、「お金を儲ける」ことにはならないことになる。

したがって、

$$\text{スループット} = \text{売上高} - \text{真の変動費}$$

とも定義される^[2]。なお、真の変動費とは、原材料費に加えて、販売数量に従って変化する費用のことである。そのため利益は、

$$\text{利益} = \text{スループット} - \text{作業経費}$$

となる。ここで、作業経費は、真の変動費を除いたすべての費用を意味する。このような考え方は、実に単純明快である。なお、このような記述で在庫を考えれば、最終製品、仕掛品、原材料となる。そして、投資した資本に対して得られる利益の割合は、投資利益率 (Return On Investment; ROI) を用いて表すが、TOCにおいては、

$$\text{ROI} = \frac{\text{スループット} - \text{作業経費}}{\text{在庫}}$$

となる。また、先に述べた①スループットを増大させる、②在庫を低減させる、③作業経費を低減させることは、この式からも自然に理解できる。

しかしながら、従来からの原価計算方式は、20世紀はじめ工業生産の規模が拡大し、1つの工場で何種類かの製品を作りはじめたとき、工場を管理するために考え出されたものである。当時の工場の費用は、生産数量にほぼ比例し、生産数量に比例しない固定費の割合は少なく、それを製品ごとに配賦しても大きな誤差は生じなかった。しかし現在の製造には、CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering) システムの発展や NC (Numerical Control) 加工の発展などによるコンピュータ化・自動化の進展に伴い、生産設備が大規模化し、組織も分業、専門化が進み、生産数量に比例しない固定費の割合が多くなっており、取り扱う製品の種類も増大している^[8]。

そのため従来の方式で利益を考える場合は、

$$\text{利益} = \text{売上高} - \text{費用}$$

であるから、例えば、メーカーなどの費用としての売上原価には、直接原材料費、買入部品費などの原材料費に、労働力の費用（直接労務費）、設備の費用（減価償却費、賃借料、光熱費、維持修繕費用など）や設計・研究などの費用としての加工費が加わる。これは、先の費用配分の原則（Principle of Cost Allocation）があるためである。さらに、いったん費用として計上された原材料費は、製品となった段階で、販売されなければ資産として計上される。これは、企業会計が、発生主義会計（Accrual Accounting）に基づいていることに原因があり、当期収益に係わる費用のみが、当期の費用となり、将来の収益になる費用は、当期に支出しても将来の費用に対応させることになるため生じる。そして、より多くの利益を確保するためには、コストダウンを行わなければならない。この場合は、製造原価ではなくて、売上原価を下げることになる。したがって、売上原価を下げるためのコストダウンを実現する生産性の改善を検討することになってしまう。例えば、機械の稼働率を上げたり、工程数を削減したり、労務費を削減したりするなどによって、生産性を上げようと努力する。ところが、このような生産性改善のための努力は、原価計算を基準として行われているため、利益の改善に結びつかないことが多い。

このことが原因で起こったと考えられるのが、2007年に発覚した三重県伊勢市の和菓子赤福の赤福餅消費期限および製造日、原材料表示偽装事件である。伊勢の名物として有名な赤福餅は、2004年から2007年の発覚まで、偽装品が、総出荷量の約18%を占めていた。2005年に愛知県で愛・地球博が開催されることになったのが、偽装品の出荷量を大きくしたきっかけであると考えられる。愛・地球博では、世界中から多くの人が愛知県を訪れることになる。愛知県の隣の県である三重県の名産品も、相当の需要が見込まれる。そのため、2004年から生産工場を拡張して増産体制に入る。工場の機械を休ませるわけにはいかないため、機械の稼働率を上げて生産性を上げるが、世界中からの訪問者に対して、今までに経験のない需要予測をするわけであるから、売れ残った商品や未出荷の商品も発生する。これらを廃棄すれば、損失として計上されるため、原材料として再利用したり、冷凍した商品を解凍した日を製造日にしたりという偽装品の出荷が増加していったのである。また、愛・地球博が終了した後も、拡張した生産工場を休ませるわけにはいかず、売れ残り商品や未出荷商品が増えてしまい、偽装品の是正が行われることなく発覚してしまったと推察される。

そこで、スループット計算(Throughput Accounting)(スループット会計とも呼ばれる)を基準にした生産性改善の有効性が認識されはじめた。“The Goal”や“It's Not Luck”のストーリー内では、たびたび原価計算方式とスループット計算方式の違いで、目先の改善と真の改善との葛藤が浮き彫りにされた。また、TOCの考え方では、特に、時間当たりのスループットを測定し、これを最大化するために何を改善しなければならないかを検討するところに特徴がある。

3. スループット・レート

ここで、次のような例を考えてみよう。いま、2つの製品 A と製品 B があり、それぞれの販売価格と原材料費、利益が表 1 のようであったとする。

表 1 製品 A と製品 B のコストデータ

	製品 A	製品 B
販売価格	100万円	75万円
原材料費	50万円	50万円
利 益	50万円	25万円

表 1 から、どちらの製品が儲かると考えるであろうか。利益を比べれば、製品 A の方が多いので、製品 A の方が「お金を儲ける」ことに見られがちである。しかし、2章において「時間当たりのスループットを測定し、これを最大化する」と述べたので、時間当たりのスループットを考慮してみよう。このときの状況を表 2 に示す。

表 2 1 時間当たりのスループット

	製品 A	製品 B
販売価格	100万円	75万円
原材料費	50万円	50万円
利 益	50万円	25万円
処理時間／個 (制約条件)	10時間	2時間
1 時間当たりの スループット	5万円	12.5万円

表 2 より、製品 A の 1 個当たりの処理には、10時間を要し、製品 B の 1 個当たりの処理には、2時間を要しており、それぞれの 1 時間当たりのスループットは、製品 A が 5 万円、製品 B が 12.5万円となっている。したがって、スループットの大きさ（スループット・レート、スループット・ダラーと呼ばれる）を用いて収益性の判定を行えば、製品 B の方が、製品 A に比べて 2.5 倍の収益をもたらすことがわかる。

1997年から IT ソリューションビジネスを展開している MSI 社長の小林英三によれば、このような考え方は、慶應義塾大学名誉教授の千住鎮雄、同名誉教授の伏見多美雄らによって、経済性工学（経済性分析）^[9] の分野において、3～40年以上前から指摘されてきたことであると述べている^[2]。また、スループット・レートは、経済性工学における「損得勘定は、可変的要素のみで比較する」という一語に尽きるとも述べている^[2]。したがって、スループット計算の原点は、千住鎮雄創設の経済性工学であると言えよう。

さて、スループット計算では、前章で述べた制約条件がどこにあるかを最初に見つけなければならない。制約条件がどこにあるかを認識することなしには、スループットを決定することができないからである。すなわち、原価計算との決定的な違いがここにある。つ

まり、システム全体の視点から、システムの能力を決める制約条件を特定してからスループット計算を行う。先の例では、1個当たりの処理時間が制約条件となっている。そして、各製品の単位時間当たりのスループットを計算して、その値の大きい順に並べ、制約条件の負荷が、100%になるまで、大きい順に生産すれば良いことになる。

以上のように、今まで儲からないと思っていた製品が、実は大きなスループットを生み出していたということがわかったりする。逆に、利益率が高いと考えていた製品の利益が、実は小さかったということが判明したりする。

4. 継続的改善プロセス

TOCの継続的改善プロセスは、5つのステップ(Five Focusing Step)からなっており、この5つの継続的改善プロセスをひとつずつ実施し、さらに繰り返すことで、継続して行う必要がある。ここでは、“The Goal”^[1]に記されている「継続的改善プロセス」のステップについて述べる。

- [ステップ1] 制約条件を「見つける」。
- [ステップ2] 制約条件をどう「活用する」か決める。
- [ステップ3] 他のすべてを [ステップ2] の決定に「従わせる」。
- [ステップ4] 制約条件の能力を高める。
- [ステップ5] 「警告!!」ここまでのステップでボトルネックが解消したら、[ステップ1]に戻る。ただし、「惰性」を原因とする制約条件を発生させてはならない。

以下順に各ステップを考えて見よう^[2]。

- [ステップ1] 制約条件を「見つける」。

最初のステップでは、スループットを制限する制約条件を識別することである。そして、この制約条件を意識し、それに焦点を合わせて、システム全体を管理しなければならない。この制約条件には、次の3種類が存在すると考えられる^[10]。

①物理的制約条件 (Physical Constraints)

人的資源、機械設備のような資源、原材料、時間や品質あるいは供給などによって生じる制約である。

②市場の制約条件 (Market Constraints)

市場規模や地域性、成長性などによって、市場需要よりも生産能力が上回ってしまうような状況によって生じる制約である。

③方針の制約条件 (Policy Constraints)

企業の方針や慣習、企業文化などによって生じる制約である。方針の制約条件は、物理的制約条件や市場の制約条件の元凶になる場合が多くあり、ゴールドラットは次のように述べている(筆者による意識)^[11]。

「現実の市場の制約条件が見つかる企業は、極めてまれであり、むしろ破壊的なマーケティング方針の制約条件が見つかる。作業場に本当のボトルネックが見つかる

ことは、極めてまれであり、通常は、生産方針の制約条件が見つかる。ベンダーの制約条件が見つかることもほとんどなく、購入方針の制約条件が見つかる。そして、すべてのケースにおいて、それらの方針は、それらが作られた時代にはとても理に適ったものであった。これら方針の制約条件が見つかる元になる理由は、とうに過ぎ去った時代に作られた方針であるにも拘わらず、これらの古い方針が、未だに残っていることにある。」

[ステップ2] 制約条件をどう「活用する」か決める。

TOCでは、制約条件が、システム全体のパフォーマンスを決定づけると考える。そのため制約条件のパフォーマンスを下げると、その分全体のパフォーマンスが低下し、スループットも失われることになる。したがって、システムの制約条件を最大限に活用するようなスケジューリングや管理を決めていかなければならない。

[ステップ3] 他のすべてを [ステップ2] の決定に「従わせる」。

ここでは、制約条件以外のすべての資源を、制約条件に従属させる。この段階では、大きな問題も発生する。非制約条件を制約条件に従属させると、非制約条件のパフォーマンスは落ちることになる。これは、部分最適化の排除にもなっており、全体最適化の実現のために、伝統的な経営方針や部分業績評価尺度に逆らうことになるので、最も難しい段階であるとも言える。

TOCでは、この段階に適用するいくつかの手法があるが、ここでは、ドラム・バッファ・ロープ (Drum Buffer Rope; DBR) を紹介しておく。

いま、ボーイスカウトが、一列で隊列を組んで行進するような場合を考えてみよう。最初のうちは、等間隔で進むが、時間が経つにつれて間隔が長くなる。実は、隊列の中央に歩く速度の遅い隊員がおり、その隊員よりも前を歩く隊員達は、彼よりも速く歩くので、どんどん先に進んでいく。しかし、彼よりも後ろの隊員は、彼を追い越せないので、歩く速度をセーブしなければならない。このようにして、時間の経過と共に長い間隔で行進する隊列ができてしまう。このシステムでは、歩く速度の遅い隊員が、制約条件であるので、システム全体のパフォーマンス、すなわち行進のパフォーマンスは、制約条件に合わせなければならない。

では、どのようにして合わせればよいかであるが、最も遅い隊員 (制約条件) に、彼の歩く速度に合わせてドラムを叩かせれば、他の隊員達は、ドラムのリズムに合わせて行進すればよいことになる。しかし、彼は隊列の中央にいるため、その歩幅と先頭の隊員の歩幅が同じでなければ、間隔が広がる可能性がある。そこで、先頭の隊員と彼をロープで結べばどうであろうか。ロープの長さ以上に間隔は空かなくなるだろう。しかも、先頭の隊員と彼の間にいる隊員が、仮に転んだりしても、間が詰まる前に転んだ隊員が歩き出せば、彼 (制約条件) の行進を妨げることはない。このロープの長さのことをバッファと呼び、ドラムとバッファとロープすなわち、DBR の概念を用いれば、システム全体の最適化と制約条件の停止を回避することができる。

このボーイスカウトの行進の例を、生産工程に置き換えてみよう。まず、隊員は、工程である。次に、ドラムは基準生産計画であり、市場の需要と制約条件の能力により、

生産量と生産速度が決まる。そして、ロープを結ぶと言うことは、最初の工程に資材を投入することを制約条件に合わせることに相当する。最後に、ロープの長さはバッファになるので、制約条件の前にある仕掛品のストック (Stock) になる。このストックの量によって、前工程でのトラブルによって制約条件を停止させなくて済む。

[ステップ4] 制約条件の能力を高める。

この段階では、ステップ3で、制約条件が最大限に活用され、全体最適化が実現された状態で、制約条件の能力を高いレベルに引き上げる。例えば、新たな装置を導入することで、制約条件のパフォーマンスを高めたり、制約条件の改良を行ったりすることで、スピードアップを図るなどの意思決定を行う。先のボーイスカウトの隊列の例では、最も遅い隊員 (制約条件) の荷物を余力のある他の隊員に分配して、速度を上げるような対応ができれば、行進全体のスピードアップが図れることになる。

[ステップ5] [ステップ1] に戻る。「惰性」を原因とする制約条件を発生させてはならない。

ステップ4で制約条件の能力が高まれば、全体のパフォーマンスも向上されることになるが、同時にこれまでの非制約条件の中から新たな制約条件が発生することにもなる。したがって、制約条件が改善されたからと継続的改善ステップをやめてしまうような「ものぐさ」や「惰性」を防ぐように注意を怠らず、ステップIに戻らなければならない。そして、この一連のサイクルを繰り返し行うことで、改善が継続的に行われることになる。

5. 思考プロセス

“It's Not Luck”^[7] の邦訳^[6] の稲垣公夫による解説には、次のような内容が記載されている。

「“The Goal” の出版後、しばらくして、アメリカの景気が悪くなると、多くのメーカーが工場の人員整理を行った。特に、ゴールドラットが指導して、生産性が最も上がった工場が、その生産性の高さゆえに、従業員の解雇がいちばん激しかった。」そして、「そこで博士は、「生産の改善は、あくまでも需要が供給を上回っている場合にのみ行うべきである」と確信するに至った。」さらに、「市場にボトルネックがある場合には、市場のボトルネックを解消する活動を始める必要があると感じた。」

このようにして、市場のボトルネックを解消する方法として「思考プロセス」が開発され、この解説のための企業小説が、“It's Not Luck” となったのである。

思考プロセスは、

- 1) 何を換えればよいか (What to change?)
- 2) 何に換えればよいか (What to change to?)
- 3) どのように換えればよいか (How to cause the change?)

といった一連のプロセスを次のような系統的技法を用いて考えることから思考プロセスと呼ばれている^{[6],[12]}。

1) 何を変えればよいか

①現状問題構造ツリー (Current Reality Tree)

2) 何に変えればよいか

②雲 (Cloud) (対立解消図、蒸発する雲 (Evaporating Cloud))

③未来問題構造ツリー (Future Reality Tree)

④ネガティブ・ブランチ (Negative Branch)

3) どのように変えればよいか

⑤前提条件ツリー (Prerequisite Tree)

⑥移行ツリー (Transition Tree)

以下、これらの思考技法を概括しよう。

①現状問題構造ツリー

現状を正しく把握し、その中からコアとなる問題を抽出するための思考法である。まず、現状における問題として「好ましくない結果 (Undesirable Effects; UDE)」を列挙する。そして、このUDEは、原因と結果という強い因果関係で結びついているとした上で、UDE間の因果関係をひとつひとつ整理する。このとき、UDE間の関係は「If-Then (もし～ならば～である)」という論理構造をとる。すなわち、「もし (If) 立てた仮説が正しければ、その場合 (Then) 別の事象も理論的に存在する」^[1] というように、立てた仮説から結果を論理的に導き出す。そのため If-Then ロジック (Logic) と呼ばれる。

If-Then ロジックで、UDEを結びつけながら、首尾一貫したツリーを構築していくが、複数のUDEを「かつ (And)」で結んだり、足りないステートメント (Statement) が必要であれば、加えたりする。また、一部がループすることもあるが、気にすることはないようである。このようにして、すべてのUDEが関係づけられたら、最後に

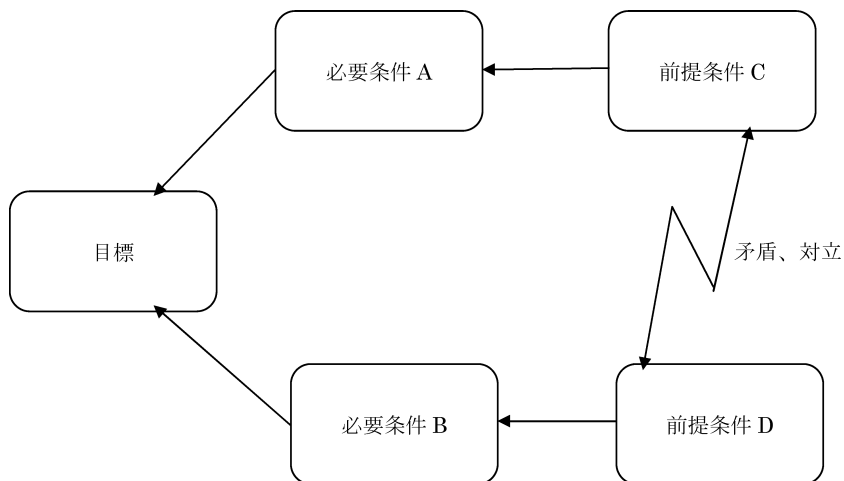


図2 雲

コアとなる UDE を特定する。このコアとなる UDE が、すべての UDE を派生させる根本的な問題、すなわち制約条件である。なお、現状問題構造ツリーは、下から上に向かって読んでいく。

②雲（対立解消図）

現状問題構造ツリーで発見した根本的な原因となっている矛盾や対立を解消するための思考法である。図 2 のような 5 つの枠が矢印（因果関係）で結ばれた定型的なフォーマットを使用する。前提条件 C と前提条件 D が矛盾や対立している。前提条件 C には、必要条件 A があり、前提条件 D には、必要条件 B がある。しかし、これらの目標は 1 つである。これらの矛盾や対立を示すいずれかの矢印を解消するような画期的なアイデアを注入することで、矛盾や対立を解消する（図 3）。

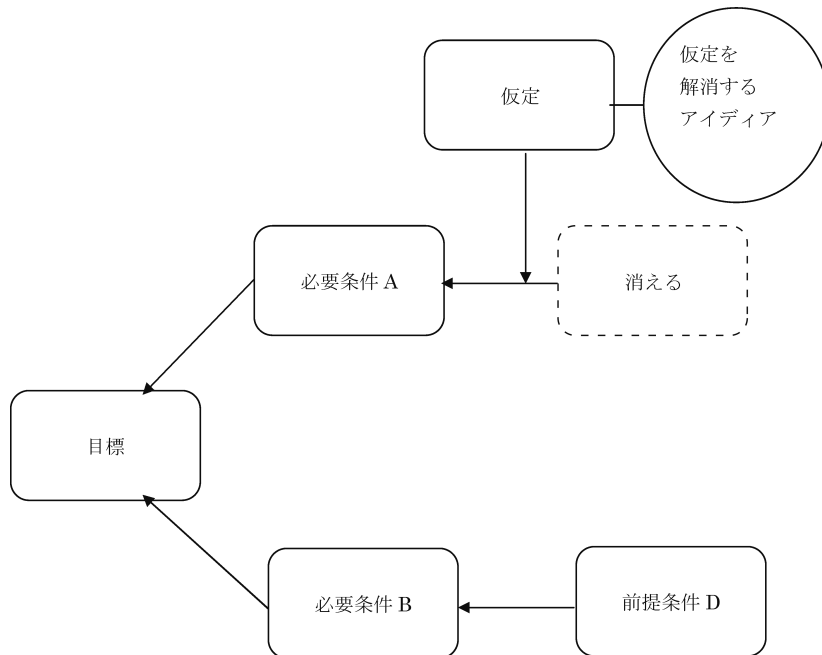


図 3 矛盾、対立の解消

③未来問題構造ツリー

雲を使って見つけた問題解決策を実行したら、どのような結果を招くのかを検証するための思考法である。そのため、雲を使って得られたアイデアを現状問題構造ツリーに導入し、UDE が DE (Desirable Effects : 好ましい結果) になることを確認していく。特に、新たな問題（ネガティブ・ブランチ）が発生していないかどうかを検証する。もし、新たな問題が発生したら、ツリーの中に追加する。そして、再び雲に戻って、新たな問題を解決するアイデアを発想し、ツリーの中に追加する。

④ネガティブ・ブランチ

あるアイデアを実行することで、不利益が生じることを論理的に説明する思考法である。雲を使って見つけた対立解消アイデアを実行した場合に、新たに発生するマイナス面の問題について、未来問題構造ツリーをIf-Then ロジックで詰めながら構築することで示され、「マイナスの枝」とも呼ばれる。

⑤前提条件ツリー

目標を達成する過程で発生する障害（前提条件）とそれを克服する中間目標を展開する。したがって、目標を一気に達成するのではなく、目標達成の障害が何かを考え、その障害を取り除く中間目標を設定し、これを繰り返しながら、それらを順次達成することで、最終的に目標を達成しようとする。現状問題構造ツリーや未来問題構造ツリーとは異なり、因果関係だけでなくアイデア実行の時間的順序関係が重要となる。

⑥移行ツリー

思考プロセスの最後のステップで、詳細実行計画に相当する。前提条件ツリーで展開した各中間目標を達成するために何をしなければならないのか、必要な行動計画を作成するための思考法である。

6. クリティカルチェーン・プロジェクトマネジメント

ゴールドラットの3冊目の企業小説は、1997年に発行される。この小説“Critical Chain”^[13]では、大学のビジネススクールでのプロジェクトマネジメントの授業を中心に展開される。その邦訳『クリティカルチェーン』^[14]（日本では、“Critical Chain”の後に出版された“Necessary But Not Sufficient”^[15]の邦訳『チェンジ・ザ・ルール』^[16]が先に出版されたため、『クリティカルチェーン』は、4冊目となる）は、2003年に出版されている。

プロジェクトマネジメントは、プロジェクトの目標達成のために、スタートから終了までの計画や進捗を効率的に管理するために行われる活動のことである。プロジェクトマネジメントの手法としては、PERT (Program Evaluation and Review Technique) がある。PERTは、プロジェクト業務の各作業の所要時間をもとに、プロジェクトが予定の期間内で完了するように日程の計画と管理を行う方法である。このPERTは、次のような手順により実施される^[17]。

手順1) 作業時間の見積もり。

作業時間の見積もりには、1点見積もりと3点見積もりがある。

手順2) 作業間の先行作業をもとに、アローダイアグラムを作成する。

アローダイアグラムは、結合点と結合点をアロー（作業）で結んだネットワーク図で、プロジェクトの開始から終了までの一連の作業の流れ（先行作業、同時進行作業など）を把握することができる。

手順3) アローダイアグラムの各結合点の最早結合点時刻（結合点に入ってくる作業がすべて完了し、出て行く作業が開始できる状態になる最初の時刻）と最遅結合点時刻（プ

プロジェクトが予定通りに完了するために、結合点に入ってくる作業がすべて完了し、出て行く作業を開始することが許される最も遅い時刻)を求める。

アローダイアグラムの最後の結合点の最早結合点時刻 (= 最遅結合点時刻) T は、プロジェクトの完了時刻となる。

手順4) 最早結合点時刻と最遅結合点時刻が同じになる作業経路を結び、クリティカルパス (Critical Path) を求める。

クリティカルパス上の作業 (クリティカルパス作業) は、プロジェクトを T で完了させるために、遅延が許されない。

手順5) 最早開始時刻、最早終了時刻、最遅開始時刻、最遅終了時刻、余裕時間を求める。

個々の作業について、開始することのできる最も早い時刻(最早開始時刻)とプロジェクト全体を遅らせないために、遅くとも作業を終了してはならない時刻(最遅終了時刻)を求める。同様に、最早終了時刻と最遅開始時刻を求める。また、クリティカルパス作業以外では、開始および終了時刻に余裕がでる。この余裕時間には、後続作業に影響を与えない余裕時間(自由フロート)と、後続作業の余裕時間に影響を与える余裕時間(従属フロート)がある。

手順6) 作業ごとに、作業時間と手順5)のすべての情報を1つの表にまとめた日程計画表を作成する。

このように、プロジェクトが予定の T で終了するために、余裕時間を持つ作業の余裕時間を上手く使いながら、クリティカルパス作業を優先して、プロジェクト全体が遅れないように進捗管理を行えば良いのだが、しばしばプロジェクトは遅れてしまう。その理由として、ゴールドラットは、次の5つをあげている^[14]。

1) 余裕時間は積み増しされる (Estimating)

依頼された仕事の時間を見積もるとき、依頼を受けた人の多くは、ぎりぎりの時間見積もりはせず、余裕を持った時間で見積もる傾向がある。ぎりぎりの時間の見積もりで約束して、もし遅れてしまったら、個人の評価に響くからである。

2) 浮いた時間は無駄に消費される (Perkinson's Law)

計画よりも早めに作業が終了した場合、その余裕時間は有効に活用されず、無駄に消費されることが多い。なぜならば、正直に申告するとその実績が次回から適用され、次回もその時間で終了できるとは限らないからである。

3) 学生症候群 (Student Syndrome)

期限までに時間的な余裕があるとつい他のことに手が出て、結局、ぎりぎりになるまで作業に着手しない傾向をいう。学生が授業などで出題された課題のレポートを作成する際、提出締め切りまでの時間に余裕があれば、すぐに着手せずに、提出間際になってから慌てて着手することに由来する。そのため、時間はあるのに、ぎりぎりになるまで着手しないので、結局予定の期限に間に合わなくなる。

4) 掛け持ち作業 (Multi-tasking) の弊害

複数のプロジェクトを担当していて、優先順位が不明確であると、いずれのプロジェクトにも均等に時間を割かなければならなくなり、一つずつ集中して片付けていくのに比べて、掛け持ち作業の場合は、段取りのロスや待ち時間が多くなり、結局所要期間が大幅に伸びてしまう。

5) 依存関係 (No Early Finishes)

作業同士が依存関係にあると、ひとつの先行作業が遅れるとそれがどんどん波及して、次々に時間が遅れて、最後には大幅に時間が遅れてしまう。

そこで、クリティカルチェーン・プロジェクトマネジメント (Critical Chain Project Management; 以下 CCPM) が考案された。CCPM は、次のような手順により実施される^[18]。

手順1) プロジェクトを定義する。

手順2) アローダイアグラム (Arrow Diagram) を作成する。

PERT では、先行作業をもとにして、アローダイアグラムを作成するが、CCPM では、完成から遡ってアローダイアグラムを作成する。

手順3) 各作業に割り当てられている時間的余裕を取り除く。

先に述べた1)～5)までのプロジェクトが遅延する理由から、通常の作業時間の見積もりには、時間的余裕が多く含まれているという観点から、約50%は時間的余裕が含まれていると考えて50%の作業時間になることをひとつの目安とする (CCPM に慣れ、最初から50%の作業時間が見積もられるようになれば、さらに50%の作業時間にするような対応はしない)。

手順4) プロジェクトバッファ (Project Buffer)、合流バッファ (Feeding Buffer)、リソースバッファ (Resource Buffer) を設置する。

プロジェクトバッファは、プロジェクト全体を守るためのバッファで、手順3で50%の余裕時間が削減されているので、50%の確率で、納期遅れが発生する可能性がある。そこで、取り除かれた余裕時間分に相当するプロジェクトバッファを置くことで、プロジェクト全体を守る。したがって、プロジェクト期間の半分の時間をこのバッファ時間に当てる。合流バッファは、他の作業の遅れからプロジェクトを守るために配置されるバッファである。合流バッファは、クリティカルパスに合流する他の作業の直後に配置される (通常作業の50%分)。リソースバッファは、制約となるリソースの遅れからプロジェクトを守るために配置されるバッファである。CCPM では、同時に必要なリソースの数と実際に使えるリソースの数を見て、作業に割り当てる。リソースの数には制約があるため、同一のリソースを使用している場合、前の作業で遅れが出ると、別の作業が予定日になっても作業に着手できないことになる。そこで、リソースの競合や遅れからプロジェクトを守るために設定されるバッファがリソースバッファである (通常作業の10%分)。

CCPM は、リソースの競合があり、そのリソースは一度に一つの作業しかできない

というような場合、これがプロジェクトの制約条件となる。そのため、リソース競合を回避し、クリティカルパス上の作業を考慮しながら、プロジェクトが完了するまでの経路をクリティカルチェーンと呼び、クリティカルチェーンを中心にして、プロジェクトマネジメントが行われる。そのため、プロジェクトの制約が、クリティカルパスからクリティカルチェーンに変わったら、合流バッファの位置も変わることになる。

手順5) 作業開始日をずらす。

CCPM では、納期に間に合うのであれば、できる限り遅く着手するように、作業開始日をずらす。

以上のように、CCPM では、クリティカルチェーンを中心にして、バッファを管理することで、プロジェクト全体の進捗管理を行う。そのため個々の作業の遅れを管理する従来の管理方式ではなく、プロジェクト全体の遅れを管理することで、従来の管理方式の問題を解決することができる。

7. 結び

以上本論文では、ゴールドラット博士の TOC について、その主要な理論を紹介した。TOC は、産業界への普及のみならず教育現場にも普及している。その推進母体としては、1995年に設立された非営利団体の TOC 教育協会 (TOC for Education Inc.; TOCfE) ^[19] であり、世界の小学校、中学校、高等学校の教育現場で TOC 思考プロセスが活用され、その効果に注目が集まっている。今後も TOC は発展を遂げていくと考えられるが、その創設者を失ったことは、残念でならない。博士のご冥福を祈りたい。

最後に、2001年11月に行われたインタビューをもとに、ダイヤモンド社が作成したゴールドラット博士の言葉を引用 ^[20] し、本論文の結びに代えておく。ゴールドラット博士の経営に対する考え方は、TOC のみならず、学ぶべきことが多い。

「私はイスラエル人だ。国民の義務として一八歳から三年間兵役に就き、その後も、四二歳までは毎年、最低三〇日間の兵役に就いた。業績好調なアメリカ企業のトップ¹⁾ だった私は、毎年その時期がくると、ファーストクラスでイスラエルに帰り、軍隊で二等兵としての扱いを受けた。

そんなコントラストが、人間という存在について考えるよう私を促した。ある年、レイオフされて一年以上職を見つけられないでいる男と同じ兵舎に入った。タフな環境で寝起きをともにしながら、私は、失業が人を不安に陥れ、プライドを奪う、おぞましい体験だということを理解した。それ以来、私は感情的といってもいいほどレイオフやリストラを憎むようになった。

無責任な怠け者ならレイオフされてもかまわない。仕事をきちんとこなす誠実な従業員が、トップマネジメントの能力不足ゆえに解雇されることが問題なのだ。

リストラの背後にある効率至上主義を問題にする声があるが、私に言わせれば、効率を正しく追求すれば、むしろリストラの必要はなくなる。マネジメントが追求すべき優先順位を間違えるから、リストラに頼らざるを得ない状況に陥ってしまうのだ。

私は、終身雇用制は日本企業の競争力の源泉の一つだと考えている。残念ながら、日本企業はこの美德を放棄しつつある。従業員に忠誠を尽くさない企業が、従業員からの忠誠を期待することはできない。従業員の忠誠を得られない企業は顧客からも忠誠を得ることはできず、遅かれ早かれ、市場から淘汰されてしまうだろう。」

注1) 「まえがき」で述べた生産スケジューリングソフト OPT を販売するために設立したクリエイティブ・アウトプット社 (Creative Output Inc.) のこと。1982年には、アメリカでの成長率第6位の企業としてランキングされたこともある。^[21]

引用・参考文献

- [1] E. M. ゴールドラット (三本木亮訳) 『ザ・ゴール－企業の究極の目的とは何か－』ダイヤモンド社、2001年 (*The Goal, Second Revised Edition: A process of Ongoing Improvement*, North River Press, 1992)。
 - [2] 小林英三『制約理論 (TOC) についてのノート』ラッセル社、2000年。
 - [3] E. M. Goldratt and J. Cox, *The Goal: Excellence in Manufacturing*, North River Press, 1984.
 - [4] 古殿幸雄『品質管理のマネジメント』中央経済社、2006年。
 - [5] D. レポール・O. コーエン (三本木亮訳) 『二大博士から経営を学ぶ－デミングの知恵、ゴールドラットの理論－』生産性出版、2005年 (*Deming and Goldratt*, North River Press, 1999)。
 - [6] E. M. ゴールドラット (三本木亮訳) 『ザ・ゴール2－思考プロセス－』ダイヤモンド社、2002年。
 - [7] E. M. Goldratt, *It's Not Luck*, North River Press, 1994.
 - [8] <http://www002.upp.so-net.ne.jp/toc-jp/index.htm> (TOC 制約理論のひろば)。*
 - [9] 千住鎮雄・伏見多美雄『経済性工学の基礎－意思決定のための経済性分析－』日本能率協会、1982年 (『新版経済性工学の基礎』日本能率協会マネジメントセンター、1994年)。
 - [10] 村上悟・石田忠由『在庫が減る！利益が上がる！会社が変わる！』中経出版、2002年。
 - [11] E. M. Goldratt, *What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented?*, North River Press, 1990.
 - [12] 中野明『エリヤフ・ゴールドラットの「制約理論」がわかる本－ポケット図解－』秀和システム、2006年。
 - [13] E. M. Goldratt, *Critical Chain*, North River Press, 1997.
 - [14] E. M. ゴールドラット (三本木亮訳) 『クリティカルチェーン－なぜ、プロジェクトは予定どおりに進まないのか？－』ダイヤモンド社、2003年。
 - [15] E. M. Goldratt with E. Schragenheim and C. A. Park, *Necessary But Not Sufficient*, North River Press, 2000.
 - [16] E. M. ゴールドラット (三本木亮訳) 『チェンジ・ザ・ルール！－なぜ、出せるはずの利益が出ないのか－』ダイヤモンド社、2002年。
 - [17] 古殿幸雄『入門ガイダンス 経営科学・経営工学』中央経済社、2000年。
 - [18] <http://ik-consul.jp.org/> (飯塚革新コンサルティング Web サイト)。*
 - [19] <http://www.tocforeducation.com/> (TOC 教育協会 Web サイト)。*
 - [20] <http://www002.upp.so-net.ne.jp/toc-jp/interview.htm> (TOC 制約理論のひろば「リストラなき業績回復のための思考プロセス」)。*
 - [21] 古殿幸雄『入門ガイダンス 経営情報システム』中央経済社、2006年。
- * URL へのアクセスは2011年9月。