

# リアルオプションと戦略

2017 December

Vol. 9 No. 3


 日本リアルオプション学会  
 The Japan Association of Real Options and Strategy
<http://realopn.jp>

## 巻頭言

リアルオプションと三式簿記 [佐藤 清和] ————— 1

公開  
研究会  
2016-2017

## 講演要旨

地方の企業経営「京都・あやべスタイル」[材木 正己] ————— 2  
 ～上場企業と「半農半X」が共存する魅力～

起業、そしてその後の事業展開 [森中 一郎] ————— 8  
 ～「サービスの水道哲学」の実現を目指して～

医薬品業界の流通革命を目指して [田中 義寛] ————— 14  
 ～メディカルシステムネットワークの医薬品等ネットワーク事業～

事例研究  
紹介

ドハティ「統合リスクマネジメント」ケーススタディの紹介 [劔 義隆、中村 恒] ——— 23  
 ～米国MBAテキストをやさしく読み解く

論説

我が国企業のIoT投資の推進に向けて [加藤 敦] ————— 32  
 ～リアルオプションの視点からの一考察～

査読  
論文

不確実性下の投資戦略への確率的MPECアプローチ [高森 寛、呉 瑛禄、長坂 研] — 38  
 —各種発電テクノロジーへの最適投資ミックスの問題—

学会ニュース

## 第9巻 第3号

### 目次

#### 巻頭言

|                     |       |   |
|---------------------|-------|---|
| リアルオプションと三式簿記 ..... | 佐藤 清和 | 1 |
|---------------------|-------|---|

#### 公開研究会 講演要旨

|                           |       |   |
|---------------------------|-------|---|
| 地方の企業経営「京都・あやべスタイル」 ..... | 材木 正己 | 2 |
| ～上場企業と「半農半X」が共存する魅力～      |       |   |

|                       |       |   |
|-----------------------|-------|---|
| 起業、そしてその後の事業展開 .....  | 森中 一郎 | 8 |
| ～「サービスの水道哲学」の実現を目指して～ |       |   |

|                                |       |    |
|--------------------------------|-------|----|
| 医薬品業界の流通革命を目指して .....          | 田中 義寛 | 14 |
| ～メディカルシステムネットワークの医薬品等ネットワーク事業～ |       |    |

#### リアルオプション事例研究の紹介記事

|                                   |           |    |
|-----------------------------------|-----------|----|
| ドハティ「統合リスクマネジメント」ケーススタディの紹介 ..... | 劔 義隆、中村 恒 | 23 |
| ～米国 MBAテキストをやさしく読み解く              |           |    |

#### 論説

|                          |      |    |
|--------------------------|------|----|
| 我が国企業のIoT投資の推進に向けて ..... | 加藤 敦 | 32 |
| ～リアルオプションの視点からの一考察～      |      |    |

#### 査読論文

|                                |                |    |
|--------------------------------|----------------|----|
| 不確実性下の投資戦略への確率的MPECアプローチ ..... | 高森 寛、呉 瑛禄、長坂 研 | 38 |
| —各種発電テクノロジーへの最適投資ミックスの問題—      |                |    |

#### 〈学会ニュース〉

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 学会だより .....               | (48) |
| 編集後記 .....                | (48) |
| 日本リアルオプション学会法人会員リスト ..... | (48) |

## 巻頭言

## リアルオプションと三式簿記

佐藤 清和

(金沢大学 人間社会研究域)

ルネサンス期の数学者であるルカ・パチョーリは、著書『算術・幾何・比および比例についての総覧』の中で、複式簿記を幾何学のような完全性を有するものとして説明した。また文豪ゲーテや歴史学派の巨人ゾンバルトも、複式簿記の完全性に関して驚嘆の言葉を残している。

複式簿記を習い始めた頃、なぜ取引を「借方」と「貸方」に、わざわざ二重に仕訳するのか分からず、とても不可解な気持ちになった。ところが、この仕訳記録からストック情報を示す貸借対照表、及びフロー情報を示す損益計算書が自動的に作成できると知った途端、それまで鬱積していた疑念は払拭され、一転して先人達と同じく複式簿記の完全性に魅了された。

そもそも取引とは、資金を調達して資産として運用する活動である。この資金は他者から借りる（負債）か、自分で用意する（資本）しかない。資産運用の結果、負債を返済しても、なお当初の資本より多くの資産があれば、これを利益とみなし（ストック計算）、その発生原因が明らかにされる（フロー計算）。このように資金の調達源泉と運用状態を二元的に記録することで、ストックとフローの計算が同時に達成されるのだから、そこに疑念を挟む余地など無い。

ところが、このような二元性は論理的に拡張することが可能であり、それにより新たな会計システムが構築できるという学説が、1980年代早々に提唱された。それが、井尻雄士教授の『三式簿記の研究』及び『利速会計入門』である。原著は、それぞれ1982年及び1989年に、井尻教授が学会長を務められた American Accounting Association より出版されている。

その骨子は、複式簿記で記録されるのは一定時点の財産量（ストック）と一定期間の財産変動量（フロー）であるから、これに財産変動率（微分）を付加し、この変動率を「利速」として記録することにより、複式簿記は三式簿記に拡張される、というものである。

「利速」については、次のような比喻が分かり易い。すなわち、従来の貸借対照表（ストック）と損益計算書（フロー）に基づく経営は、いわば自動車の距離計を見ながら運転しているようなものである。ストック情報は自動車のスタート位置を示し、またフロー情報は自動車の移動距離を示している。ところが、こ

こには肝心の速度計が無い。そこで、新たに速度に対応する概念として「利速」を記録するのである。

「利速」とは、たとえば販売価格を一円上げた場合、その時点で生じる利益の増加速度として記録される。これは、単に決算を年次から月次などへと短縮するだけで得られるものではなく、利益の変化率とその変化をもたらす原因の両方が「利速」を構成し、これにより、はじめて複式簿記は三式簿記に拡張されるのである。この三式簿記では「利速」の積分（「作速」と呼ばれている）が、株式価値を示すことになる。

本誌第8巻第3号の巻頭言において、森平爽一郎先生が「株式は、企業資産を原資産とし、負債額面を行使価格とするコールオプションであると考えることができる」こと、そしてブラック・ショールズ自身が、このような株式のリアルオプション性を認識していたことを紹介されている。

このように、ブラック・ショールズモデルは、株式に関するリアルオプション価値を測定する評価モデルであり、一方の三式簿記は、株式価値の動態を「利速」という視座から記録する会計システムである。すなわち、両者はともに株式価値の変動を測定ないし記録するという点で共通性を有している。

ブラック・ショールズモデルは、難解な数式で与えられていたにもかかわらず、発表当時の市場参加者に受け入れられ、その後のノーベル経済学賞につながった。これに対して三式簿記（利速会計）は、革新的な着想でありながら、500年以上にわたってビジネス言語として君臨してきた複式簿記を前にして、いまだ会計実務としては一般化されていない。

米国には会計殿堂（Accounting Hall of Fame）がある。これまでに会計研究ないし会計実務において顕著な功績をあげた92名と共に、井尻教授は唯一の日本人として殿堂入りを果たしている。

その井尻教授が、本年1月に逝去されたことは、今後の会計研究の発展速度を著しく引き下げることは確実であり、痛切の極みと言わざるを得ない。

最後に、本学会の高森寛先生と森平爽一郎先生は、井尻教授と同僚ないし院生として交友があったとお聞きした。このことも、リアルオプションと三式簿記を繋ぐ出来事の一つであると思わずにはいられない。

〈公開研究会 講演要旨 2016年12月12日〉 於：野村総合研究所 会議室

## 地方の企業経営 「京都・あやべスタイル」 ～上場企業と「半農半X」が共存する魅力～

材木 正己

(日東精工株式会社 代表取締役社長)

### 1. 地方都市「綾部」

昨年、扶桑社から『驚きの地方創生「京都・あやべスタイル」』が出版された。紀伊国屋書店梅田本店新書売上一位を獲得するなど全国的に評判となっている。

綾部（あやべ）市は人口がわずか3万5千人足らず、京都市内から特急電車で北へ1時間を要する田舎町である。

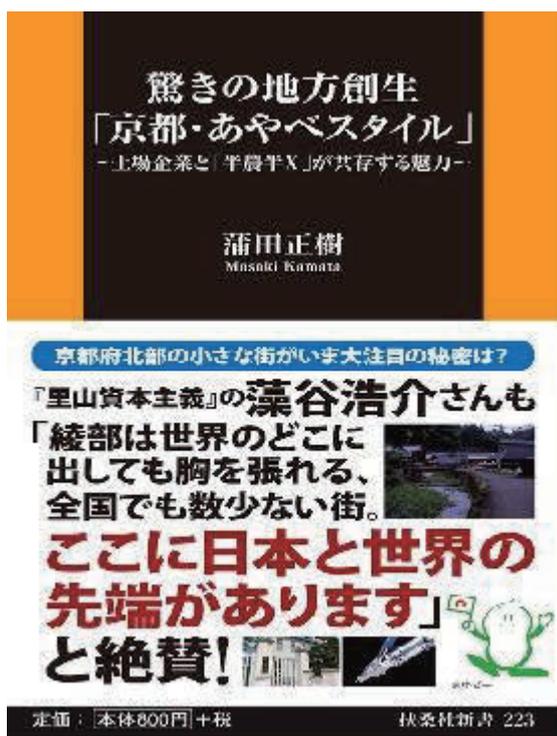


図1 『驚きの地方創生「京都・あやべスタイル」』

この小さな田舎町から東証一部上場企業である「グンゼ株式会社」と「日東精工株式会社」という業種の異なるグローバル企業が誕生していること、また「半農半X」という新しいライフスタイルを提唱する塩見直紀氏が、この綾部を拠点に活動されていること、

綾部市行政の国際平和や限界集落への積極的な働きかけなどが大きくクローズアップされた所以であると考えられる。

当社が綾部に本社を置き続ける理由と、また地方にしながら持続的成長の上にグローバル企業として継続的発展を実現するための「経営の考え方」をご紹介します。

### 2. 日東精工の強み

当社は工業用ファスナー（ねじ）、ねじ締め機を中心とした産業用省力化機械、流量計やシステム製品などを開発製造販売しているメーカーである。

1938年に綾部市で設立した。工業用のねじを製造、販売を行うようになってから、昨年夏に60周年を迎えた。世界で初めて精密ねじの量産技術を確立し、以来お客様のニーズに応える形で改良を続け、当社の生産能力はグループ全体で年間200億本を超える。種類にいたっては約9万種類に及び、質量共に世界トップクラスのねじメーカーである。

「ねじ」とそれを締める「ねじ締め機」、また正確に締まっているかなどを調べる「計測検査機器」まで、トータルで「ファスニングソリューション」をお客様にご提供可能であることが、当社最大の強みと言える。大きな企業や高い技術力の企業は多々あると思うが、当社は「締結（ファスニング）技術」という領域においては世界No.1でありたいと思っている。

### 3. 地方だから勝てる経営

#### 3.1 なぜ綾部に本社を置くのか

グローバル企業が「なぜ綾部に本社を置くのか。」と聞かれる。

当社の設立経緯がその答えと言っても過言ではない。綾部は1900年初めから養蚕業が盛んであり、まず「グンゼ」が設立され規模を拡大していく。養蚕業はご承知のとおり「女性」の職場であった。しかし、

地域が活性化し産業を豊かにするためには、「女性」もある。  
 の職場ばかりではなく、「男性」の働く職場が必要で

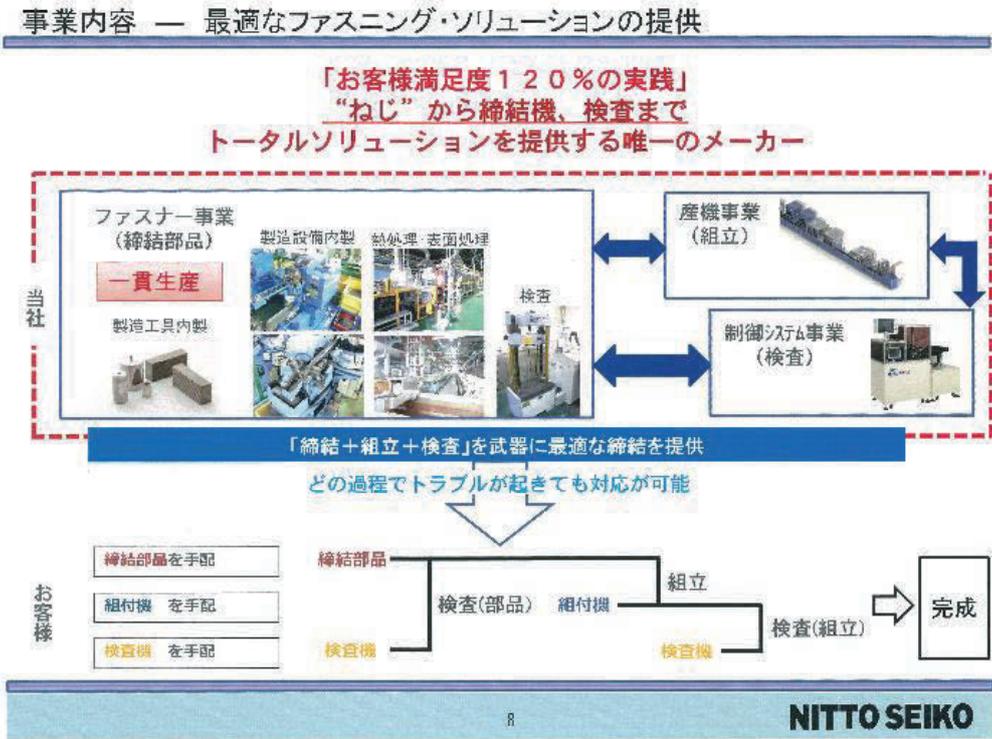


図 2 事業内容—最適なファスニング・ソリューションの提供、出所：講演資料より

当時の綾部地域の有力者が「男性が働ける精密加工技術の会社を設立しよう。」と至ったのが、日東精工である。「自社だけがよければいい。」というのではなく、地域産業の発展を真剣に論じ、会社を設立する志の高さに尊敬の念を抱かずにはいられない。画期的な製品やサービスを売り出すために設立した企業ではなく、「地域産業発展のため」「雇用のため」に設立されたのが日東精工である。当社には創業当時の志が脈々と受け継がれている。「雇用」を守り、人材を育成し、地域貢献に力を注ぐ、この設立趣旨こそが、当社が「綾部に本社を置き続ける。」最大の理由である。

**3.2 純正「日東精工」社員**

当社はほぼ 100%正社員で事業を行っている。10%程度が有期雇用者であるが、これは当社を定年になった方の再雇用がほとんどであるため、「100%正社員」というのは偽りのないところである。当然、非正規社員を雇用する方が人件費を抑えることができる。しかし当社はそれをやらない。「地域産業の発展」と「雇用」という志が脈々と受け継がれ

ていることにほかならない。親子 3 代にわたって当社で勤務される方も珍しくはない。ことわっておくが当社は縁故採用は行っていないし、綾部近辺の学生を優先的に採用することはやらない。優秀な人材を採用する基準を見失えば、企業力の低下につながるからである。ただ「自分の子供を勤務させたい。」「親の働いている会社で働きたい。」と願って、それが叶っている社員がいるということは、経営者として嬉しいことである。最近ではインターネット採用が主流となって都市圏や他府県からの I ターン社員も増えてきている。これは私と若手社員との懇談会で聞いた話である。I ターンで採用をされた新入社員が地元の銀行に給与口座の開設にいったところ、「日東精工に働くことになった。」と窓口で伝えると「それは良い会社に就職されるのですね。」と笑顔で言われたといい、またアパートを探す時に不動産屋で、「住むところくらいは日東精工社員の近所は避けたい」と思い、そのような要望を伝えると、「日東精工の関係者が近所にいないところなんて、この綾部にはありませんよ。」と言われたと聞いた。「私は日東精工という地元で愛される、

良い会社に就職したんだと実感した。」と聞き、経営者冥利につき感動したのを覚えている。これは地域に根付いた地方企業であるから実感できることではないか。

親戚や親兄弟、近所の方や友人のお父さんお母さんなど、身近なところで日東精工社員の気配がある。人は誰かに見られていると思ったら、悪いことはできないもので、逆に「恥ずかしいところを見せるわけにはいかない。」と正しく頑張るものだ。こういった環境も必然的に「自浄作用」に繋がるのではないか。また当社は育児休暇制度の利用者が100%である。男女雇用機会均等法以前から、育児休暇制度を導入し

当たり前のように出産し、育児休暇後に復帰する風土が根付いている。これは当地域の保育園がほぼ100%受け入れ可能であることや、Uターン勤務者は実家が近くにあるために「子供の育児」のサポートが受け易いということもあるだろう。

当社の女性管理監督者の多くは既婚者で、育児休暇を取得し、復帰後もキャリアを重ねて登用されている者がほとんどである。

都市圏で問題になっている「保活」や、「子育て中の孤立化」などは地方では、ほとんど聞かない話である。女性がいきいきとキャリアを維持継続できる。これも地方の強みではないかと考える。

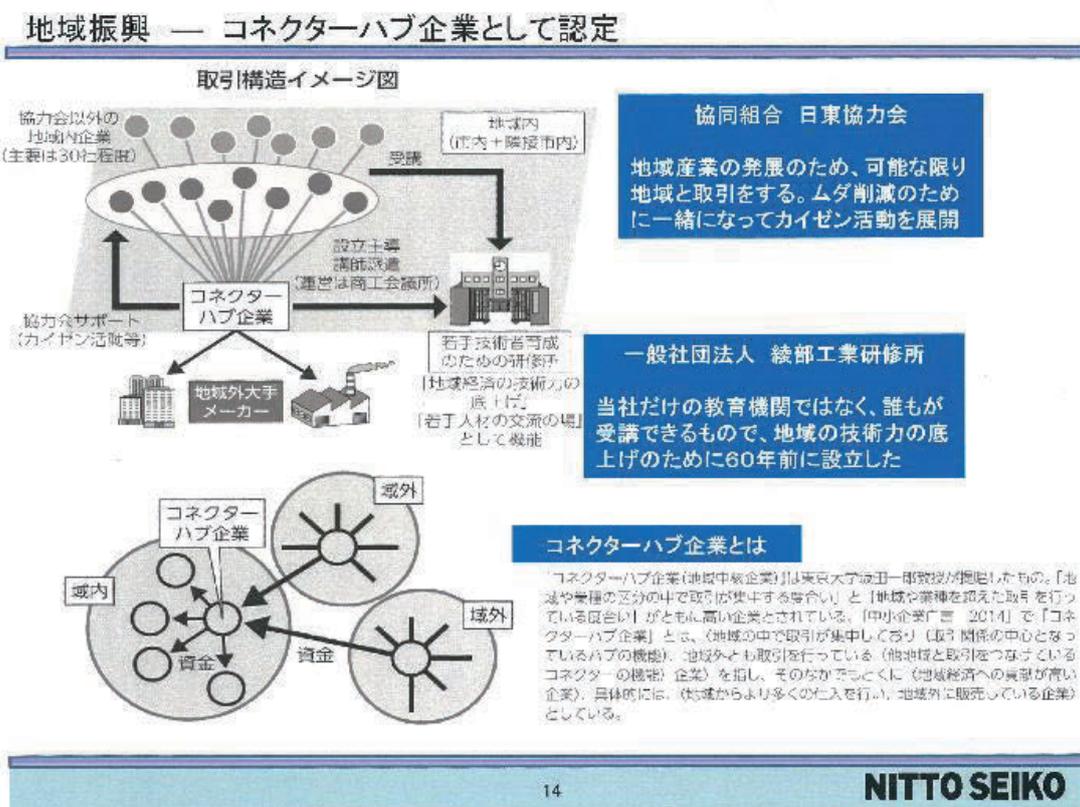


図3 地域振興 - コネクターハブ企業として認定。 出所：講演資料より

### 3.3 コネクターハブ企業として

コネクターハブ企業とは、その企業が立地している地域からより多くの仕入を行い、地域外へ販売取引を行うことによって、地域内企業と地域外企業の「ハブ」としての役割を担っている企業のことをいう。

政府が主導する「地域創生」に大きく貢献することから、経済産業省が当社を「コネクターハブ」のモデル企業として調査し高い評価をいただいた。

#### 3.3.1 コネクター機能

当社は締結技術のトップ企業として、地域外の大手自動車メーカーや大手家電メーカー、その関連メーカーに、当社製品の販売を行っている。

#### 3.3.2 ハブ機能

当社は数百社から調達・仕入を行っているが、このうち約20社が協力会を自主的に組成し、当社が側面的にサポートをしている。この約20社は当社地域

内の中小企業が中心となっている。

運搬のロス、利便性の良さなどのメリットがあげられ、また原材料の調達に関しては、協力企業分をまとめて当社が調達することにより、調達コストの削減につなげている。

品質向上、生産性向上などは、当社と協力企業が一緒になって改善活動を展開するなど、中小企業の「企業力アップ」を支援している。

### 3.3.3 3 綾部工業研修所

また昨年で50周年を迎えた夜間学校「一般社団法人綾部工業研修所」の設立をし、その運営と、継続に尽力してきた。(現在の事務局は綾部商工会議所)

週2回、夜間2時間に当社社員、協力企業社員、また協力企業以外の地元企業から受講生を募り、機械科コースと電気科コースの授業を一年間通じて行う。

講師は当社のベテラン技術者が努め、工業系高校卒業程度の知識を得ることができる。

昭和41年に開校した地域独自の夜間学校の卒業生は、1,500名を有に超える。地域の企業の社長や幹部社員は、綾部工業研修所の卒業生が多いのも嬉しいことである。一年間を通じて、受講生同士は人脈を形成し、知識を高める。当地域の技術レベルの向上に貢献をさせていただいたのではないかと考えている。

## 4. 当社の経営の考え方

### 4.1 絆経営

当社では経営の考え方を端的に表す「絆経営」と言う言葉を使っている。

絆を繋ぐものとして、「地域社会との絆」「人との絆」「自然環境との絆」の3本柱をあげている。

**地域社会との絆**については前述のとおり、地域の活性化に対して様々な活動を行っている。

**自然環境との絆**は、環境負荷の少ないモノづくりを最重視している。平成27年にはその活動が認められ京都府から「優良事業者」を受賞した。

また綾部市の森林を守る活動「モデルフォレスト活動」にも参加し、社員が森林の現状や課題を学びながら間伐作業などに従事し、森林の維持管理の支援を行っている。

**人との絆**については、前述した「綾部工業研修所」は社外の人財育成の取り組みであるが、社内においても独自の取り組みを行っている。

例えば当社が長年、人財育成に使用してきた4つのテキストがある。「リーダーハンドブック」「経営幹部のガイドライン」「ザ・プロフェッショナルへの道」「我らの道」の4冊である。



図4 人財育成に使用するテキスト

これらは新入社員研修や管理監督者研修、階層別研修において使用され、また昇格試験の出題としても使用し、創立記念月間においては職場内研修にも活用していることから、社員にとっては身近なテキストという存在である。



図5 人生の『ねじ』を巻く77の教え

このテキストが出版社ポプラ社様の目にとまり、一般の方向けにアレンジを加えて出版したのが「人生の『ねじ』を巻く77の教え」である。

社員にとっては当たり前のことが、一般の方にとっては新鮮に感じていただいたようで、重版をしているそうである。

この本の中には当社の社員がたくさん登場する。誠実に仕事をする社員の言動には、手前味噌ではあるが胸が熱くなるものがある。

また台湾から出版のお話があり、昨年の8月に台湾にて翻訳版が発売された。

当社社員のあり方を説いたテキストが、たくさん

の方に共感していただけたことはありがたいことである。

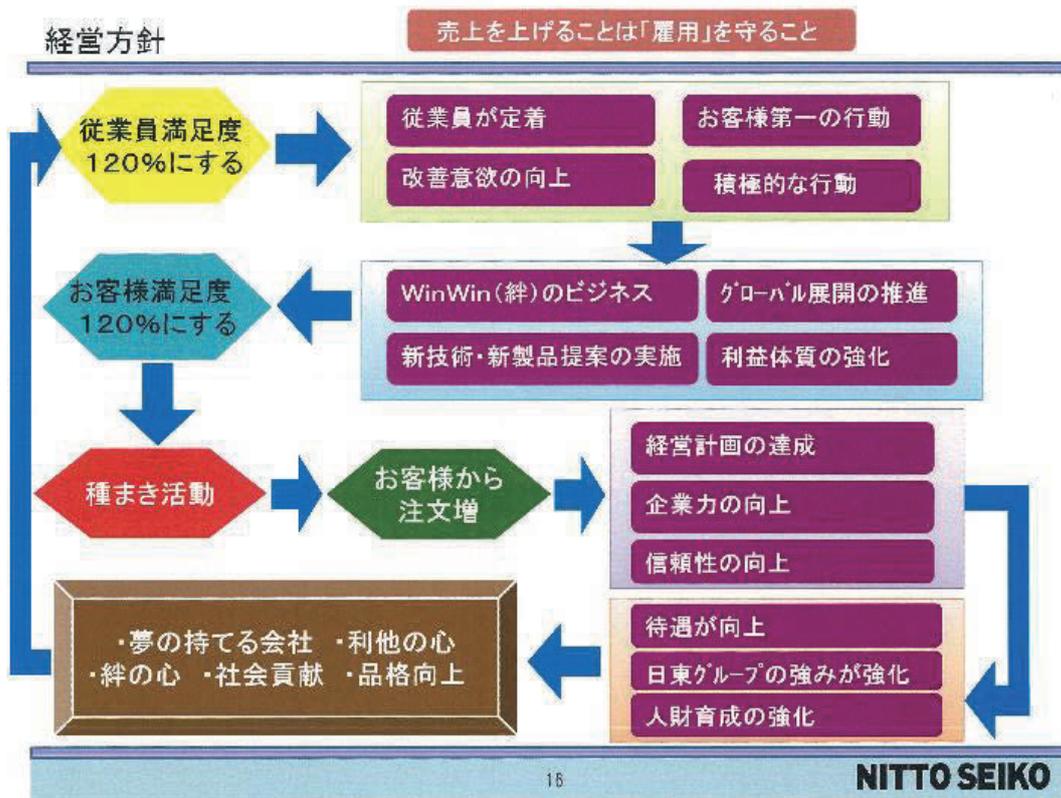


図 6 経営方針：売上を上げることは「雇用」を守ること、出所：講演資料より

#### 4.2 利益を上げることは「雇用」を守ること

経営者として必ずやり遂げなければならない命題は「利益を上げる」ことに尽きる。

売上、利益を上げるからこそ、「雇用」を守ることができるのである。だからこそ数値にこだわる。目標数値、生産数値、売上数値、機械稼働率など、全てにおいて数値化し、数値によって社員のベクトルを同方向に向け、達成することにこだわりを持たせる。数値達成のためには、現状とのギャップをまた数値化し、今何をしなければいけないのかを徹底させることである。

#### 4.3 「絆経営」でスパイラルアップする

##### 4.3.1 従業員満足度 120%とお客様満足度 120%

ここに経営方針サークルがある。

絆の中には社会貢献の心があり、利他の心(相手のことを思いやる心)を持つことで、社会人、企業人としての品格を向上する。

「夢を持てる会社」は先に述べた「半農半X」の考え方にリンクすることである。

私が社員によく話をすることは「85%仕事 15% X」

である。Xは社員の夢の部分である。好きなことに時間を使ったり、自身の夢や生活を豊かにするために使う時間である。夢を見ることは幸せなことだ。Xを充実させることで85%の仕事の濃度が上がる。

従業員が誇りを持てる会社になることが、従業員満足度向上に繋がると考えている。従業員満足度120%が目標である。当社のブランド力向上の取り組みは、社会的信用の確立はもちろんのこと、従業員が「日東精工に働いてよかった。」という作用も踏まえてのことである。

従業員満足度が上がれば、お客様満足度につながる仕事ができるようになる。

お客様満足度120%は、当社の経営方針の大きな柱である。期待値と同等の製品、サービスは対価通りで、お客様満足度100%である。期待値を超える製品、技術、サービスのご提供、対価+αのご提供を目指すことがお客様満足度120%につながるものであると考えている。

##### 4.3.2 種まき経営

当社が、現在利益を出し続けているのは、先人の「種まき」の結果といえる。種をまかなければ花は咲



〈講演要旨、2017年6月19日 於：野村総合研究所 会議室〉

## 起業、そしてその後の事業展開 ～「サービスの水道哲学」の実現を目指して～

森中 一郎

(株式会社エフエンドエム 代表取締役社長)

### 1. 本講演の狙い

エフアンドエム（以下、当社）は、コンサルティング会社の出身である私、森中一郎が、1990年に設立した会社です。個人事業主の記帳代行サービスで圧倒的な実績があるだけでなく、中小企業向けの多様なサービスを展開中です。本講演では、日本経済の担い手である個人事業主や中小企業の現実と、その生産性改善に向けた当社の取り組みについてお話しいたします。

### 2. 前職での経験

1984年に株式会社日本エル・シー・エーに新卒第1期生として入社しました。同社は中小企業向けのコンサルティング会社であり、入社時の社員数は約70名でした。25歳で札幌営業所の所長となり、立ち上げを経験しました。同年、中小企業向けビジネスクラブの運営代行をするベンチャー・リンク社設立に参画し、翌年に同社に外向して営業推進第一部長として静岡から沖縄までを統括しました。

札幌営業所長時代、クライアントは従業員200名くらいのところが多かったのですが、1つの商売だけで成長を続ける企業は稀でした。例えば建設業者などは、公共事業が縮小していくという時代背景もあり、多角化を志向していました。

新規事業として9割の企業が飲食業を始めますが、成功率は極めて低く、事業を始めて3年後に売上高が増えている事業は1割にも満たない状況でした。

新規事業を成功させることの難しさを実感する中で、2つの成功パターンが見えてきました。1つはアメリカのビジネスモデルを日本に持ってくるケース。もう1つはフランチャイズビジネスに参加すること。アメリカのフランチャイジー（加盟する側）の成功率は8割。新規事業を立ち上げるよりもフランチャイジーになる方が成功する可能性は極めて高かったのです。

### 3. 起業とフラワーギフト事業

1990年、29歳の時に独立しました。もともと20代で独立することを目指していました。1984年に大学を卒業したときの就職ランキング一位は金融機関で、優秀な人はみんな金融機関を目指していました。しかし当時はまだ金利自由化前であり、どの金融機関も同じ商品しか扱っていませんでした。

その頃の営業は「とりあえず名刺を置いてこい。100枚名刺を置いて来れば、1回は会ってくれる。」というもので、まさにドブ板営業を実践していました。優秀な人材にこのようなスタイルで営業をさせるのは勿体ないのではないかと思います。

そこで、アメリカのビジネスを日本に持ってくることを考えたわけです。当時アメリカでも金融機関の金利差はさほど大きくはなかったのですが、一部の金融機関が伸びていました。

商品に差がないときは、ハイプレッシャー営業では差が出ません。営業担当者の「人物」を買い手に気に入ってもらうことが必要です。アメリカでウケていたのがメモリアルディを活用した営業活動で、バースディや設立記念日など節目となる日にフォーカスした営業で成果をあげていました。

メモリアルディは他人を受け入れ易いタイミングとして知られています。誕生日にあまり面識がない人からバースディカードをもらおうと、気持ちの半分は怪訝に思いますが、半分は素直に嬉しく思います。そこを誕生日にカードを送り、新商品が出たときにはダイレクトメールを送る、といったサービス手法で伸びていました。

そこで、日本でフラワービジネスを始めました。シンガポールから蘭を輸入し、自社でラッピングして、期日指定配送、送料込みで1,000円のサービスを始めました。（図1）

## 起業

大阪府吹田市江坂において、株式会社フラワー・メッセージを設立。アメリカのある一群の金融機関の営業手法を参考にフラワーギフト事業を開始。1,000円でメモリアルデーに蘭の花束を宅配。

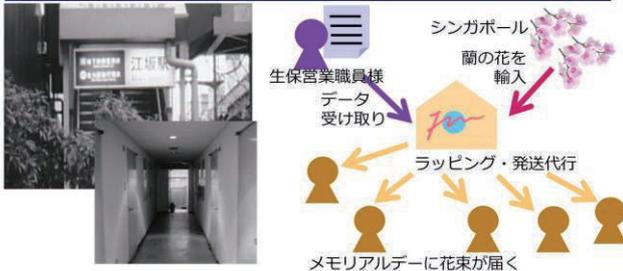


図1 起業 出所：講演資料より

サービスを始めた頃に、大阪で花博があったことが良かったといえます。また、日本人は贈り物をもろうと「いくら位か」を考える癖がありますが、花束の金額換算はしにくかったことや、蘭には高級感があり、1か月ほど枯れずにもつことなどから、大変喜ばれました。

当初の社名は「フラワーメッセージ」で、主に大阪の金融機関に使っていただき、顧客企業の社長夫人の誕生日に蘭を贈るサービスがうけました。小さな企業は社長の奥様が経理をしていることが多いため、奥様が喜んでくださって御自身の資金を定期預金にしてくれたりすると、そのうち会社そのものとも取引をしてもらえるようになります。

しかし、そのうちうまくいかなくなりました。特定の顧客に高額なものを送ると、当時の規制では金利の上乗せに当たりました。顧客への贈り物は年間1,000円程度とされており、年に何度も蘭を贈ることができず、銀行向けのサービスからは撤退しました。

考えた末に生命保険業界にフォーカスして展開したところ、うまくいきました。生命保険会社の営業社員は個人事業主のため、経費は全て本人持ちです。しかも当時は保険会社の商品に差がなかったため、人間関係で保険を売っていました。自分を売り込んで保険に入ってもらおうというものです。メモリアルディを活用するフラワーギフトサービスを導入いただいたところ成果が出ました。当社が顧客台帳を預かって、メモリアルディをデータベース化し、近くなったらFAXで通知する仕組みでした。銀行の本業支援をしようとして始めましたが、結果として保険会社でヒットしました。

当社は1990年7月の設立で、バブル崩壊の年にあたります。設立当時の生保の営業社員は主に30歳前後の若い女性で、収入は1,000万円を超えている人が

たくさんいたため、どんどん花を買ってくれました。

しかしバブルが崩壊すると保険が売れなくなってきました。例えば1,000万円の収入がある人の場合、おおよそ400万円程度を経費として使い、残り600万円です。これが、翌年の収入が仮に800万円に減っても、生活水準はすぐには変えられないため経費削減が始まります。削るのは販売促進費であり、当社のサービスもその対象となりました。そのため顧客数は増えていたのですが、売上は伸びません。一方、顧客増に伴い管理コストは増え、利益を圧迫していきました。

景気が回復するのであれば、早晩、当社のビジネスも回復することになるが、景気が回復しなければ会社の存続が危うくなってしまおうという状況です。そこで景気に左右されないビジネスを考え、色々と試してみました。特に美や健康にフォーカスしました。健康食品や当時流行っていた補正下着なども売ってみましたが、その殆どが失敗で、新規事業は非常に難しいことをあらためて痛感しました。

## 4. アウトソーシング事業

このような中、1992年に生命保険会社の営業社員向けに記帳代行サービスを始めました。

生保の営業社員は個人事業主なので確定申告が必要です。税理士に頼むと最低でも月1万円程度はかかります。しかし生保の営業社員の一般的な収入は約500万円であり、うち約150万円を経費として使っていました。ここで記帳代行のために更に月1万円を支出するとなると、例えば子供がいた場合、塾に行かせられなくなったりします。

どのような価格なら記帳代行サービスを利用してもらえるのかを知るために、弾力性調査をしました。その結果3,000円で提供すれば半数以上の方がサービスを利用するであろうという結論に至りました。当時の生保の営業社員は38万人だったので、その半分の19万人が申し込んでくれるという見込みです。

工程を流れ作業方式にし、かつ大量生産方式でコストを下げ、結果として3,000円ですべての見通しが立ちました。ただし問題点が一つありました。それはブレークイーブンとなるためには1万人の顧客が必要であることです。(図2)

19万人が顧客になると想定して始めましたが、すぐには申し込んでくれませんでした。「税理士が3,000円でやってくれるなら払うけど。」といった声が多かったのです。

## 1992年 アウトソーシング事業開始

バブル崩壊により販促費が減少。  
不景気向けビジネスへの転換が急務となる。  
生命保険外交員向けの記帳代行事業スタート。  
3,000円の価格で1万人の顧客数を目指す。

### 記帳処理

- ▼ 領収書の回収・整理・集計
- ▼ 帳簿の作成

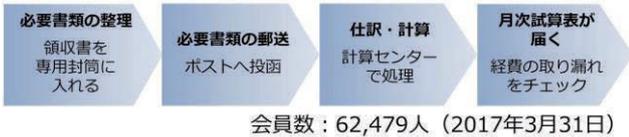


図2 1992年アウトソーシング事業開始 出所：講演資料より

地道な営業を続け、半年ほど経ってから少しずつ軌道に乗ってきました。とは言え顧客が1万人になるまでは、持ち出しでビジネスを続ける必要があったため、フラワービジネスの儲けをつぎ込んで継続しました。

顧客数が4,000人くらいのときが一番きつかったです。当時はパソコンが1台60万円位でしたが、顧客1人当たり月間100枚以上の領収書を入力する必要があるため、大量のパソコンが必要でした。その上フラワービジネスも徐々にシュリンクしていきました。最終的には記帳代行サービスから撤退するか、フラワービジネスをやめて記帳代行サービスに集中するかの決断が必要になり、フラワービジネスをやめました。記帳代行サービスは確定申告のために必要であったため、年の途中でやめる訳にはいかないという事情もありました。このような中、何とか1万人を突破し、今日に至っています。2017年3月31日現在、記帳代行サービスの会員数は62,479人です。

フラワービジネスから撤退したことでフラワーマッセージという社名がそぐわなくなり、フラワーのエフとメッセージのエムを取ってエフアンドエムに変更しました。

## 5. エフアンドエムクラブ事業

記帳代行サービスは、ある日突然解約になるケースがあります。保険会社を辞めるとサービスがなくなるためです。当時の保険業界は大量採用・大量退職が当たり前でした。

そこで顧客の大量退職を食い止める必要性を感じ、本業支援のためのサービスとして、保険会社の営業社員を集めて保険の売り方の塾を始めました。当初は保険会社の本社教育部門から大懇聴を買いましたが、現場の支社長は社員のフォローとして有効だと

して、なんだかんだと言いながら使ってくれました。

当時から保険会社には大きな悩みがありました。それは、個人には保険が行き渡っている一方で、中小企業向けの保険は普及していなかったことです。保険の営業社員が中小企業の社長になかなか会ってもらえないのが原因でした。

日本と欧米の中小企業は全く違います。欧米は社長がいて、ナンバー2を管理部長(番頭)にします。アメリカは訴訟社会なので何かあると訴えられます。そこで、まずは守りを固めないといけないという背景によるものです。それに対して日本の企業は、内部に優秀な人を置かず、営業や企画、製造に重点配備した。アメリカの中小企業で補助金の取り漏れがあると、責任者は厳しく追及されるが日本企業ではそうではない。このギャップがビジネスチャンスになりました。

会社に入ってくるお金の情報は経営者に歓迎されるため、保険会社の営業社員が助成金の取り漏れなどを伝える存在になることで重宝されます。1994年に10社診断したところ、8社で取り漏れがあり、しかも半分の4社で300万円以上の取り漏れがありました。そこで取り漏れを診断するサービスを始め、それを保険会社の営業社員に企業訪問のきっかけとして使っていただきました。これに経営者は喜んでくれて、営業社員に会ってくれるようになり、保険の契約へと結び付けました。(図3)

## 1995年 エフアンドエムクラブ事業開始

会員顧客との関わりが深まるにつれて、本業支援(保険販売)のニーズが高まり、中小企業向けコンサルティングをスタート。  
助成金情報提供がヒット。



図3 1995年エフアンドエムクラブ事業開始 出所：講演資料より

大企業でも零細企業でも内部の仕事は殆ど変わりません。前職では10巻セットのビデオを新入社員に見せてビジネスマナーから教えていましたが、1巻2万円で10巻だと20万円です。ひとりふたりの新入社員のために、中小企業ではなかなかその費用を出せません。また例えば給与計算ソフトも40万円、50

万円となり、とても買えません。このように世の中に企業向けの良いサービスは山ほどありますが、中小企業にそれらが届いていないと言うのが現実でした。そこでサービスの共同購入を考えました。それがエフアンドエムクラブです。当社が色々なサービスを買集めて、クライアント同士で共有する。月額3万円で、2017年3月31日現在、5,584社にご利用いただいています。

## 6. 上場

2000年に創業10年で上場しました。松下幸之助氏の「水道哲学」に感銘を受け、「サービスの水道哲学」の実現を目指しています。(図4)

### 2000年 上場

創業から10年目にナスダックジャパン(現 JASDAQ)へ株式を上場。

#### サービスの水道哲学の実現を目指して

- 低コストで水道水のように利用できるサービスが事業テーマ
- 更なる成長に向けた新たな事業の柱の構築へ



図4 2000年上場 出所：講演資料より

25歳で札幌営業所長になった際、会社から言われたのが、「最低でも1時間当たり2万円から3万円で自分の時間を売るように」ということでした。一生懸命営業して、コンサル契約をとる。一日指導すると20万円位です。

当時はカー・ディーラーの営業指導が得意でしたが、指導に行っても「先生は車を売ったことがあるのですか」という具合で歓迎はされません。そういった雰囲気ですので、1日終わればへとへとになります。10日指導が入るとアップアップになり、土日もなくなります。指導日が15日になるとどうにもならなくなります。

当時は上司から「早く年収1,000万になれ」と言われていました。3,000万円稼ぐとその3割の900万円が給与になります。3,333万円稼ぐと1,000万円になります。10日指導すると180万円です。15日指導すると250万円、これで年間3,000万円、それでもまだ3,333万円に届かない。自分がこのような仕事を体験してきて、労働対価型のビジネスには限界があることを痛感しました。日本の知的産業が儲かっていないという、この現実を変えたいという思いがあり

ました。

## 7. タックスハウス事業

上場後にシアトルの会計事務所を見に行き、衝撃を受けました。モスアダムス会計事務所には1,000名の職員がいましたが、それでも全米10位の規模です。映画俳優のロイヤリティの取り漏れを防ぐ仕事で業績を伸ばしていました。収益の50%が非労働対価型であり、特に銀行代理業が稼ぎ頭でした。(図5)

### 2004年 タックスハウス事業開始

タックスハウス事業スタート。  
シアトルの会計業界視察で衝撃を受ける。

#### 似て非なる会計事務所が存在

- ① 規模
  - ✓ モスアダムス：職員1,000名以上で全米10番目
- ② サービス内容
  - ✓ 会計事務所のメインサービスが法務！
  - ✓ モスアダムスは映画俳優のロイヤリティの取り漏れをなくすコンサルを売りに
- ③ 収益構造
  - ✓ 非労働対価型収益が50%
- ④ 個人特化の申告代行業が売上42億ドル、利益12億ドル(H&Rブロック)

図5 2004年タックスハウス事業開始

出所：講演資料より

アメリカの銀行は代理店の人が顧客(融資先)を見つけてます。典型的な例は、会計事務所が10行程度の銀行の代理店になっており、自分の顧客企業が融資を受けようとするときに、その企業の財務諸表を銀行に見せて融資を斡旋する。貸出残高の1%が会計事務所に入ります。

日本では1つの会計事務所でも20社程度の法人を受け持ちます。例えば5,000万円の借入を20社がすると、融資総額は10億円になる。この1%に当たる1,000万円が仲介手数料として会計事務所に入るイメージです。これに対して時間チャージのサービスは儲かりません。

日本でも銀行代理業が解禁され、2006年に当社が民間企業としては国内初の銀行代理業を始めました。しかし住宅ローンの融資だけに限定され、法人融資は認められませんでした。これは、仮にメガバンクが税理士事務所などを使って地方の融資を開拓すれば、地銀が潰れてしまうからであろうと思われます。

今はアメリカも低金利なので銀行代理業は下火になっており、アメリカの会計事務所の収益の柱はアドバイザーサービスとITサービスになっています。得意としているのは、MAS(マネジメント・アドバイザー・サービス)ではなくBAS(バックオフィス・アドバイザー・サービス)で、採算性も高い。日本ではFPG社が航空機リースなどを活用した節税サー

ビスを手掛けています。IT サービスについても、アメリカでは会計事務所が請け負っています。日本の大塚商会のような企業は無いのです。

## 8. 連結通期業績推移

足元の業績は投資が先行していることから利益が伸び悩んでいます。バックオフィスの生産性改善と、有資格者の採算性改善が、中小企業向けのサービスの水道哲学を実践するために必要であると考えています。

先行投資のフェーズが一巡すれば、再び利益面の拡大局面が訪れると考えています。

## 質疑応答

### 質問 1

私は 90 年に保険会社に入ったということもあり、講演内容は大変興味深かったです。いろんなところでニッチな仕事をみつけてすばらしい。今の技術と規制、業法的な観点から、今度の展開について伺いたいです。

### 回答

今の中小企業、当社ともに、国が生産性改善を謳っていることは追い風だと思います。例えば社会保険の電子申請が可能になりましたが、それに対応したクラウドサービスは顧客に喜ばれています。これまで半日かかっていた手続きが 10 分ほどでできるようです。規制緩和に関しては、銀行の立ち位置が企業にとって極めて大きい。銀行が中小企業の支援をすれば企業も楽になります。

規制にがんじがらめの日本ですが、それでも少しずつ世界に迫りつつあるはずですよ。

### 質問 2

私は新規事業を担当していますが、成功確率が低く苦勞しています。新規事業のアイデアコンテストなどを行っているが、なかなか難しい。成功のキーファクターとなるものは？

### 回答

新規事業の立ち上げには、「無理だと思っていることをぶち破る覚悟」が必要でしょう。他の人には無理だろうが私ならばやれると思える人、小さな創意工夫を積み重ねることができる人が新規事業を立ち上げられる人です。

中小企業の中には粘りに粘って何とか生き残る企業があります。粘り腰が必要ですし、ぶち破る気概がないとダメです。前職では大手商社とたくさんの新規事業に取り組みましたが、うまくいったのは 2~3

割でした。

### 質問 3

大塚商会の話に関連してですが、事務代行、IT サービスなどをやっていてビジネスを広げており、純粹なコンサルよりも代行ビジネスが主流になっています。中小企業の実態として、あまり大きなビジネスにはならないように思いますが、なぜ大手が入ってくるのでしょうか。

### 回答

中堅以上の日本企業にとっては大きなコストダウンになるからでしょう。従業員が 500 名の会社の総務経理の人の年収は、中小企業の 2 倍から 3 倍の給与になります。中小企業はコストアップになるが、中堅以上の企業ならば、バックオフィスを効率化することはコストダウンに大きく寄与します。

日本の中小企業の赤字割合は 7 割程度。また、ボーナスを出せている企業は 5 割程度。しかも最多ボーナス額は 10 万程度に過ぎない。その中小企業が日本を支えています。ここの採算がよくなれないと思います。

中小企業で働いている人は 7 割で 3 割が大企業。しかし大企業の半分の工場寄りの人の所得は中小企業並み。つまり全体の 15% 位しか豊かな生活ができていません。40 名 1 クラスとして例えると、6 名は豊かだけど 34 名はそうではないということ。

中小企業の社長は本当にまじめに働いているのに、儲かっていない。その要因の一つがバックオフィスの非効率性です。ここが効率的になり、会社の採算性が改善すれば納税額も増える。そうなれば財政赤字も削減できる。こういったことも含めて、何とか中小企業をご支援したいと思っています。

### 質問 4

御社は従業員が 416 名とのことですが、バックオフィスの組織体制はどうなっていますか？

### 回答

前期は、経理は総合職 1 人、現場兼任 1 人、一般職 1 人、総務は総合職 1 人、一般職とアルバイト 4 人でやっていました。どれだけ少ない人数でできるかチャレンジして、中小企業にフィードバックしています。

経理総務が 20 年前と同じやり方だという中小企業は 5 割。8 割は 10 年前と変わらない。業務がブラックボックス化しています。触れて欲しくない分野になっている企業も多いですが、これだけ IT 化が進んでいるので、最低でも 2 年に一度は見直しすべきです。

**質問5**

知的職業にお金が落ちない、中小企業が儲からないとのご指摘があったが、どういう風に変わるべきですか。

**回答**

総務経理の人は新しいことは嫌います。それが採算性改善を阻んでいる。新規事業がうまくいかないのは、慎重派の人が大勢を占める会社です。逆にうまくいく会社はどんどんトライアンドエラーをしているところです。

頭を使うことはタダですので、とことん使うことが必要です。将来像の創造もその1つ。新規事業は社長が真剣に考えないとできません。

**質問6**

生産性の向上について。日本はサービス産業が全体の過半数を占めていますが生産性が悪い。製造業はコストダウンができるが、サービス産業が低いと言われていませんか？

**回答**

その通り。サービス業の生産性は低い。経理などは2人よりも5人の方が質は高まるが、生産性は低下します。この辺りは効率化の余地があります。

**質問7**

日本の事業者の99%が個人、中小企業者で、そのほとんどがバックオフィスの生産性が低い。技術革新のニーズは高い。それだけに、御社のサービスは貴重と思います。競合はあるのですか？またユーザーに技術革新のための必要性を追求しているのですか？

**回答**

金融機関とタイアップしたセミナーで、中小企業に対してバックオフィスの生産性改善を促しています。経理総務の人は嫌がりますが、セミナーに社長が来ればぴんと来ます。

**会社概要**

社名：株式会社エフアンドエム、上場証券取引所：東京証券取引所「JASDAQ」、証券コード：4771



**株式会社エフアンドエム**

設立：1990年

資本金：9億1,117万円（2017年3月末現在）

連結売上高：62億1,669万円（2017年3月期）

従業員数：416人

事業所：

大阪本社、東京本社、名古屋支社、福岡支社、  
仙台支社、札幌支社、沖縄支社

事業内容：

個人事業主及び小規模企業向け会計サービス

中堅中小企業向け管理部門支援サービス

中堅中小企業向け経営力強化支援サービス

会計事務所向け支援サービス

社会保険労務士事務所向け支援サービス

ISO・Pマーク認証取得支援サービス

パソコン教室

**企業哲学**

現在、日本の事業者の99%以上を個人事業主と中小企業が占めています。

ところがこれらの事業者は大企業と比べ、バックオフィスと呼ばれる総務・管理部門における業務を始め、多くの面で不利な状況にあります。現在の企業向けサービスは、大半が大企業向けにつくられているため、個人事業主や中小企業にはミスマッチで、しかもコスト高になっています。

かつて松下幸之助氏は「水道哲学」を提唱し、当時庶民にとっては高価だった家電製品を、蛇口をひねれば水が得られるかのように、誰もがごく当たり前で享受できる生活を目指しそれを実現させました。

このように、個人事業主と中堅・中小企業に対して、水のごとく当たり前で、価値あるサービスを低コストで提供することが出来れば、社会はもっと活性化するのではないかと。この考えを当グループでは「サービスの水道哲学」と呼び、すべての事業のコンセプトとしています。

〈公開研究会 2017年4月19日：講演要旨〉 於：野村総合研究所 会議室

## 医薬品業界の流通革命を目指して

### ～メディカルシステムネットワークの医薬品等ネットワーク事業～

田中 義寛

(株式会社メディカルシステムネットワーク 専務取締役)

#### 講演者とメディカルシステムネットワーク社の紹介

田中氏は銀行出身であり、札幌支店に転勤した際、当社の担当となった。田中氏は学生時代ラグビーをしており、現役ラグーマンである田尻社長とラグビーつながりで懇意になった。3年間の担当後、転職して当社に移った。今は本社のある札幌と東京を行き来する毎日。

本日は、①. 当社の概要を紹介した上で、②. 調剤薬局業界の現状とこれからについてお話ししたい。その後に、③. 当社の本業であるネットワーク事業について解説し、最後に、④. 今後の成長戦略として、5年後10年後にどのような形を目指しているのかを紹介したい。

#### 1. 本講演のねらい

株式会社メディカルシステムネットワーク（以下、当社）は、現代表取締役社長の田尻稲雄氏が、平成11年（1999年）に設立した。医薬品卸会社出身の田尻氏、調剤薬局出身の秋野氏、システム開発会社出身の沖中氏の3人が創業メンバーであり、調剤薬局のネットワークを拡大し、在庫管理や資金管理を効率化することで、医薬品卸にもメリットが生じる仕組みを確立している。薬局と卸がともにメリットを得られる仕組みであり、同業他社を圧倒する競争優位性を発揮している。（本公開研究会では、当社のネットワーク事業について、専務取締役の田中義寛氏にご講演いただいた）

#### 2. 当社の概要

田尻社長は、もともと北海道で医薬品卸の社長をやっていた。

当時の卸の仕事は極めて非効率であった。セールスマンは日々薬局を回って、御用聞き営業をしていた。このような中、インターネットが普及し始めていたので、システム化しようとした。

御用聞き営業といっても、営業マンが朝一番で薬局に注文を取りに行っても、会えないことがままある。そのときは、営業マンは喫茶店で時間を潰して、お昼時に再度会いに行く、というやり方であった。田尻氏はこのやり方が非常に非効率であると感じて、50歳の時に独立を決意した。

そこで、田尻社長の小学校の同級生である秋野さんと、システムの会社をやっていた沖中さんに話をもち掛け、3人で当社を設立した。

当社は創業18年目であり、直近の業績は売上高877億（平成28年3月期現在）。直営でやっている薬局の店舗数は377店、ネットワークに加盟している加盟店は1,291店。合計で1,668店（同）。

直営店の数だけを見ると業界第7位であるが、加盟店を入れたら、業界最大手のアインファーマシーが1,000店程度なので、それを上回っている。ダントツの1位。

当社グループの理念は、良質な医療インフラの構築を通じて地域住民のQOL（Quality of Life）向上に貢献すること。

主たる事業領域は、医薬品等ネットワーク事業と調剤薬局事業の2つ。その他にも、給食事業、治験施設支援事業、訪問看護事業などもやっている。

これまでの歴史18年間で、ターニングポイントとなったのが2005年。それまでは両事業とも北海道だけでやっていたが、2005年から全国展開を始めた。当社は三井物産の力を借りて広げていった。調剤薬局事業は、地域ごとに中核となる企業を買収して、開発していった。また、ネットワーク事業は、色々な会社と提携してリソースを借りながら広げていった。近年ではネットワーク事業で様々な会社と提携を進めている。

業績は順調であり、増収増益基調が続いている。

### 3. 調剤薬局業界について

日本は急激に人口が減少していく。日経新聞によると、2050年には総人口が1億人を割ると予想されている。しかし当社の仕事との関連では、高齢者の

人口がどうなるかが最も重要。2012年時点で、75歳以上の人口は1,519万人であるが、これが2050年には2,385万人になると予想されている。866万人増える。図1をご覧ください。

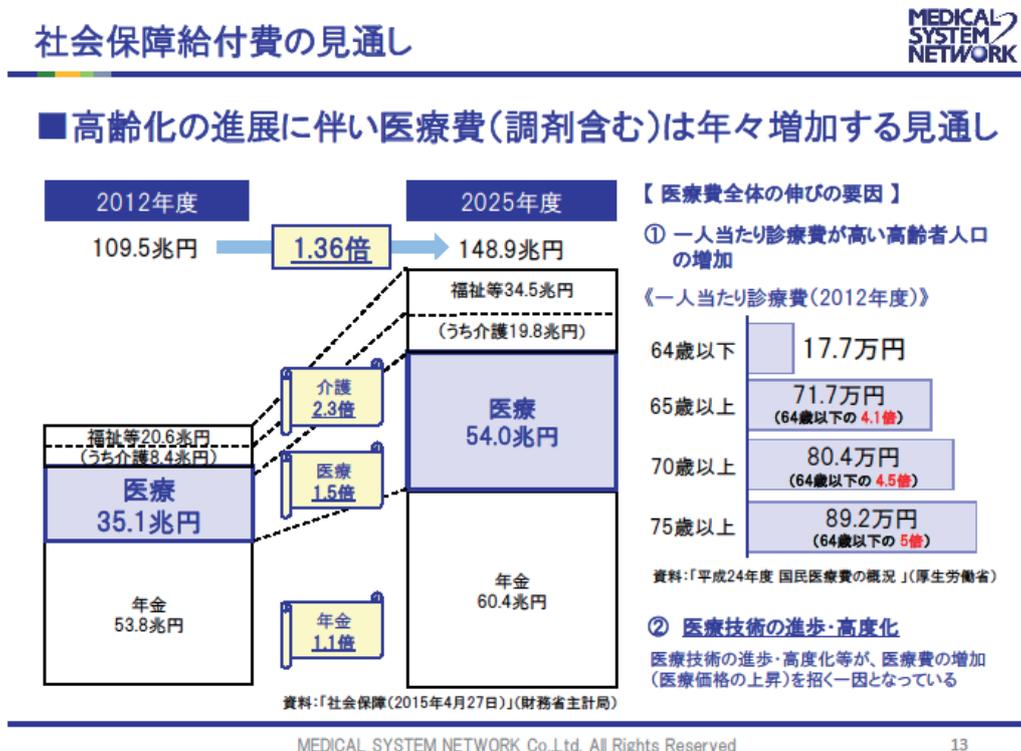


図1 社会保障給付の見通し、出所：講演資料より

高齢化の進展に伴い、医療費は年々増加する見通し。2012年度の実績では、一人当たりの診療費は、64歳以下(年間17.7万円)に比べ、年齢別では65歳以上が4.1倍(年間71.7万円)、70歳以上が4.5倍(年間80.4万円)、75歳以上が5倍(年間89.2万円)の費用がかかる。

高齢者が増えれば、その分医療費が増える。厚労省の統計でも、医療費は、2012年度の35兆円から2025年度には54兆円まで増加すると予想されている。

これだけ見ると、調剤薬局は問題なさそうに見えるが、実はそうではない。当然のことながら財政に負担がかかるため、調剤薬局当たりの売上高はむしろ減らしていきたいというのが国の意向。すでに今年度の予算でも32兆円が社会保障費であり、実に国家予算の3分の1を占めている。これが50兆円まで伸びることはあり得ないと考えるべき。

2年に1度、偶数年度に、薬価改定・調剤報酬改定が行われる。今回は2018年が改定の年。薬価差益と

調剤報酬が薬局の粗利益。薬価の価格は毎回6%くらい下がるが、薬価差益よりも調剤報酬の方が、当社収益に対するインパクトが大きい。

調剤薬局市場は細分化されている。市場規模は7.8兆円あるが、上位7社のシェアは12.4%しかない。

それに対してドラッグストア業界は、市場規模は6.1兆円であり、上位7社で51.4%のシェアを占めている。

しかし今後は、急速に集約化が進展すると予想している。

これまでは、誰がやっても薬局は伸びていたため、経営努力はあまり必要なかった。しかし今後はそうはいかない。集約化が進み、中小の薬局はしんどくなってきている。

このような時代の変化もあり、当社に対するM&Aの引き合いは、昨年度だけで100件を超えた。その前の年は30件程度であったので、1年間で3倍以上に増えた。しかし、100社の案件があったものの、規模

が小さすぎて買収の対象とならなかったのが7割を占めた。この7割については、将来は極めて厳しく、早晚、廃業するしかないとみている。

従来型の「処方箋待ち」でやってきた薬局は潰れてしまう。今後は、地域住民に積極的に絡んでいく必要がある。

#### 4. 医薬品等ネットワーク事業について

田尻氏が創業した18年前の医薬品卸の販管費率は7%であった。それに対してアメリカの卸は3%程度。日本の卸も3%程度は削減できるはずであり、もし3~4%の削減が実現すれば、3,000億円くらいの削減効果が出る。

調剤薬局は、現状では全くシステム化されていない

い。ひどいところでは、3社の卸に対して同時に電話して、最も早かったところから買うようなことも行われていた。このようなやり方は、他の業種ではありえない。しかし薬局は「患者のために」という大義名分があるため、このようなことがまかり通っている。

卸からすれば、電話で受注するので間違いが多く、しかも緊急配送のためにコストがかさむ。1日1回か2回定期で配送があるにもかかわらず、調剤薬局がきちんと在庫管理をしていないので、このようなことになる。ひどいところは1日10回、緊急配送をかけてくる調剤薬局も存在する。

資金管理についても、薬局ごとに決済・入金確認をしないとイケないことから、とても大変。図2をご覧ください。

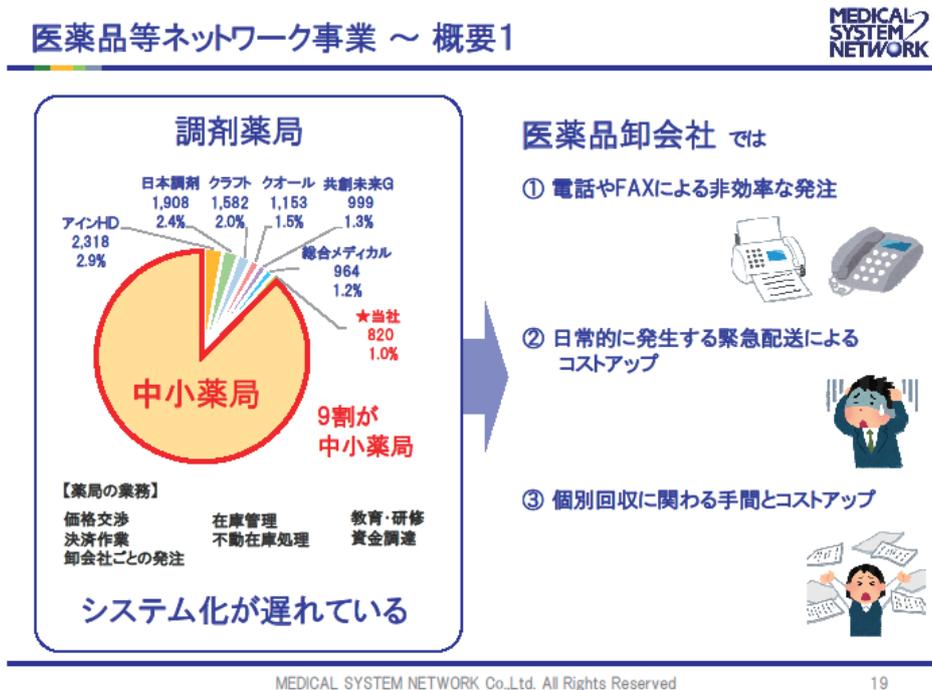


図2 医療品等ネットワーク事業 ~ 概要1、出所：講演資料より

それに対して当社のネットワーク事業では、まず調剤薬局に在庫管理と発注のシステムを入れる。在庫管理だけでなく決済も管理できるようになっており、当社が一括して卸に送金する仕組みになっている。こうすれば卸も定期配送だけで済み、緊急配送が大幅に減少し、一括決済ができるようになることから、トランザクションコストが劇的に下がる。このような取り組みによって卸のコストが下がるので、その一部を仕入価格に反映してもらうことで、調剤

薬局の仕入価格削減につなげている。卸、調剤薬局ともコスト削減になるということ。図3をご覧ください。

当社のビジネスモデルを見て、薬を共同購入して、バイイングパワーにモノを言わせて卸と交渉していると勘違いしている人がいるが、実際には、薬局と卸の両者に効率化のメリットが及ぶよう、システム化している。バイイングパワーで交渉力を駆使していると思われているが、実際はまったく違う。

例えば一昨年、ある大手チェーンが共同購入の会社を設立して交渉をやったが、1年で実質的に駄目になった。なぜかという、効率化による利益還元をし

なければ、卸の協力を得られないから。ただのバイイングパワーでは卸の協力を得られない。

## 医薬品等ネットワーク事業 ～ 概要2



図3 医薬品等ネットワーク事業 概要2 出所：講演資料より

ネットワーク事業の付随サービスとしては、以下のようなものがある。薬局向けのサービスとしては、デッドストックエクスチェンジというサービスを手掛けている。これは薬のマッチングサービスであり、ビジネスモデル特許を取っている。例えば抗がん剤を調達した薬局が、患者さんが亡くなったので売れる見込みがなくなったりした場合、当社がマッチングする。ネットワーク事業参加者の発注データをすべて当社が把握しているので、過去のデータから、売りたい薬をどこが一番買っているのかといったことがわかる。そのためマッチング率が80%と非常に高い。他社は10%レベルであり、当社のマッチング率は突出している。

他にも、薬剤師の研修もやっている。かかりつけ薬剤師になるためには、研修シールを取得しないといけないが、このシールを発行できる企業は大手チェーンでは当社のみである。他の調剤薬局は薬剤師会の研修を受けないと得られないが、当社は社内研修で得られる。

その他、調剤報酬債権流動化による資金調達サポ

ートも行っている。このように、仕入、システム化、教育、資金調達など、様々な中小薬局向けの経営サポートを展開している。

(利用者の声)

- ・医薬品卸との価格交渉にリソースをあまり割けない企業の場合、当社の存在はありがたい。
- ・バイイングパワーの行使だけでなく、オンライン発注で在庫の効率化、緊急配送削減の提言など実効性の高い提案を卸に出すことで、ウィンウィンの関係を築こうと努力している点が、他社の同様のサービスとは異なる。
- ・当社のネットワークに加盟したことで、医薬品の購入価格が大きく下がった。
- ・また、本社のスタッフが手薄なところを当社にカバーしてもらった。
- ・どこの医薬品卸から購入しても価格が同じなので、自社が取引しやすい卸業者を選べる点も非常にありがたい。

(利用者の声終わり)

上記「利用者の声」として紹介された佐野社長の一

族は、秋田で200年以上続く名門。バスケットリーグの秋田ノーザンハピネスの代表もしている。この方が入ってくださったおかげで、秋田で続々と加盟店が増えた。

北海道で始まった事業が、本州に出て10年で、九州、沖縄まで広がっている。あとは、鳥取、高知、徳島。現状では関東甲信越が最も多くなっている。

平成28年3月期末時点では1,668店舗であるが、平成29年4月3日時点で1,821店まで増えている。もうすぐ2,000店の大台に乗る。

過去を振り返ってみると10店舗しか増えない年もあったが、前期は1年間で370店増えた。その前は200店であった。この1年で非常に伸びている。背景には調剤報酬改定が年々厳しくなる中、薬局の効率化ニーズが顕在化していることがある。

当社の売上の9割が薬局事業であるが、利益の3割がネットワーク事業から出ている。ネットワーク事業の営業利益率は50%近くあり、極めて収益性が高い。

## 5. 今後の成長戦略

今後も中小の薬局が淘汰されていく状況が続くそう。しかし、希望としては中小薬局が5割くらいは残ってほしい。なぜかという、医療の世界は、土日や深夜でも関係なしに患者のために動かないといけない。「自分の周りの半径500メートルの患者さんは、すべて自分が責任を持つ」という薬剤師がいてほしい。

「買収されて以降は、買収前よりもテンションが下がる」というオーナーの声も聞く。大手が9割になると医療の世界はたぶん持たない。中小の薬局には中小なりのいいところがあり、大手にもいいところがある。それぞれの良さがあるということ。当社の役割はそこにあるのではないかと考えている。中小の薬局が、いかに「かかりつけ薬局」として残っていくか、を支援したい。

具体的には、薬剤師の教育、栄養指導、運動への取り組みなどの指導をやっていききたい。患者さんは、歩けなくなると寝たきりになり、寝たきりになると食べられなくなり、最後は亡くなってしまう。歩ける体を維持することがとても重要。そのための情報発信を「面」でやるために、薬局を活用したい。

ジェネリック医薬品の普及率は60%を超えており、早晚80%になる。そうすると医療費は削減されるが、流通業者にとっては大問題。現状の医薬品卸は高コスト体質であり、ジェネリックを運んでも割に合わない。運ぶものが同じでも価格が半分になってしまえば、成り立たないということ。早晚、「薬価の何%」で運ぶビジネスモデルは破綻してしまう。こうなる

と宅急便を使うしかなくなる。

卸のMSを活用するよりは、宅急便のほうがかなり安い。ジェネリック医薬品は、はっきり言うと情報提供は必要がない。「薬剤師や医師への情報提供機能」を卸は強調するが、ジェネリックにはそのような必要がなくなる。宅急便の活用が不可欠。これがメーカーから薬局への物流の変化。

もう1つは、薬局から患者への物流も変わってきそうということ。遠隔診療が来年の改定で大幅に緩和されそう。医師が遠隔でいいのであれば、薬剤師も遠隔でできるようになるはず。現状では薬剤師は必ず対面でやらないといけないことになっているが、今後は、薬剤師と患者が遠隔で対話して調剤することができるようになるのではないかと。

昨年、調剤薬局としては唯一となる、日本郵便との提携を実現したのも、この伏線。アマゾンや楽天も考えているであろうが、安全性を担保するためにJPと提携した。この仕組みを自社薬局で確立したら、加盟店にも広げていきたい。

どんどん営業社員を増やせば、もっと仕事をとれるのではないかとされる。実際、当社は全国で13人しか営業マンがいない。しかし、我々が人件費を増やすと薬局のコストが増すので、極力人は増やしたくない。今後も薬局とのコネクションを持っている営業マンを、少しずつ増やしていきたい。

加盟店が、かなり増えていくという手ごたえがある。年間で400~500店ずつ増やせば、5年で3,000店近くが加盟し、現在の加盟店とあわせて5,000店くらいになりそう。

現在、調剤薬局は全国に58,000店あるが、今後は数が減少すると考えているので、5,000店のネットワークができれば、シェアは1割程度になりそう。そうなれば様々なビジネスができる。

現在、当社の調剤薬局(370店舗)には、月間70万人の患者が来る。ほとんどが高齢者であり、処方を持っている5~10分の間、テレビなどを見て待っている。ここにピンポイントでセールスをしたい業者がいるはず。

また、処方箋、薬歴データなどビッグデータを製薬メーカーに販売することもできる。5,000店のデータがあればできる。これらのサイドビジネスも加盟店に還元して利益を出し、地域住民の健康を守っていききたい。

医療インフラの構築を目指して、地域のために貢献したいと考えている。

## 質問と回答

(Q&A)

**質問:** 大手チェーンが失敗したが、当社はうまくいっているとのことであるが、卸との価格交渉をうまくやるコツがあるのでしょうか。

**回答:** 当社のビジネスの参入障壁は高くないです。あえて言えばシステム、薬局、卸をすべて持っている点でしょう。創業メンバー3人のバックグラウンドがあれば、誰でもやれます。大手チェーンが失敗したのは、薬局の目線だけでやったことが駄目であったといえます。卸、システムにメリットがなければうまくいきません。

薬局の人は、「卸は買い叩くもの、中小の薬局は買収するかやっつけるもの」という発想が抜けません。それに対して当社は、卸との共存を目指しており、中小薬局にも存在意義があると思っています。

**質問:** 調剤の大手同士の合従連衡の可能性についてはどのように考えていただけますか。

**回答:** 当社のシステムを大手調剤が採用する可能性は低いです。自前でシステム化されているし、卸との交渉力もあるので。50店以上の薬局が入ってくる可能性は小さいと考えています。

**質問:** ネットワーク事業の利益はフィービジネスということですが、その構造を教えてくださいませんか。

**回答:** 仕入のボリュームに手数料率をかけたものです。平均すると年間の仕入額が約1億円で、平均1.4%の手数料を頂いているので、1店舗、当社ネットワークに加盟すれば140万円入ります。これが基本です。薬局はネットワーク加盟料として140万円払うことになりませんが、他方、仕入価格が3%程度(300万円)下がるので、ネットで見ると160万円のメリットを得られることになります。

**質問:** 今後も調剤薬局をM&Aで増やし、ネットワークも増やす戦略で動くとのことであるが、他方、調剤薬局はだんだん苦しくなっていくのであれば、調剤薬局を買収して、果たして儲かるのか。ネットワークは儲かるかもしれないが、薬価が下がれば経営が苦しくなるので、目先は利益が出て、長い目で見ると、調剤薬局全体が苦しくなるのではないか。それならば薬局は買わずに、ネットワークだけを増やしたほうがいいのではないか。

**回答:** それはその通り。ネットワークだけやればいいという話もあります。ただし、対卸でいうと、自前で薬局を持っていないところが価格交渉をしようとしても相手にされないという面があります。加盟している薬局に対しても、「自社薬局と同じ価格にする」

ということが説得材料となって、話に乗ってくれます。

ただし、バランスをどうするのかという議論があります。私の考えとしては、ネットワーク事業を伸ばしたい。まずはネットワークを押さえて、そのうえで薬局も当社の傘下に入りたい、というところを入れていきたいです。

**質問:** 自社薬局をフランチャイズ化する構想はないのですか。

**回答:** 自社薬局のフランチャイズ化は考えていません。自社ブランドである「なの花薬局」にしても、あまり知名度がありません。それよりも加盟店を増やしたいです。

**質問:** 秋田の話で、どこかが入ると一気に入るといいますが、苦勞するところはどんなところでしょうか？

**回答:** 苦勞はほとんどしていません。ほとんどが紹介。いろんな人から紹介してもらいます。一番多いのは既存店から紹介してもらうケースで、だいたい3割から4割が入ってくれます。

**質問:** 加盟しない薬局の人達は、なぜ加盟しようとしていないのでしょうか。

**回答:** 加盟しない大きな理由は、薬局の社長が卸と直接価格交渉をしたいから。しかし、もうそういう時代ではないと思います。

**質問:** 薬局業界について。先ほど平均売上1億円と聞いていたが、中小薬局はパパママ薬局がほとんどなのですか。或いは、本当のパパママは当社の顧客にもなり得ないのですか。

**回答:** 国内58,000店の調剤薬局市場の規模は7.2兆円。1店舗当たり1億2,000万円になります。それに対して当社の調剤薬局の売上高は2億円程度。仕入で1億円、売上で1億5,000万円が平均的なスタイルです。売上1億円以下の薬局は、存続は難しい。つまりパパママ薬局が当社の加盟店になったとしても存続は難しい。流行っている医院の近くにある薬局は繁盛していますが、そうでないところは厳しいです。

**質問:** ドラッグストア売上6.1兆円には、調剤併設部分の調剤売上は入っているか。

**回答:** 6.1兆円の中には、そこで売っている調剤薬局の売上も入っています。調剤薬局7.8兆円も同様です。

**質問:** 卸の機能を代替しているとのことですが、卸の

機能はそもそも必要なのでしょうか。

**回答：**物流の機能としては必要。メーカーが多数あり、薬局が多数あります。それぞれが個別に物流するのは不可能です。それを卸がまとめ上げることで効率化がなされる。ただし今の卸がやっているような情報提供機能は、ほとんど必要なくなってきました。

これまでは分業が進んでおらず、卸の担当者がメーカーに代わって医者に営業をしていた。しかし分業が進むと、処方箋を持ち込まれる薬局の商売になります。薬局に営業をしないといけない。しかし薬局は薬のプロなので、卸のMSの営業は不要です。

**質問：**フランチャイズとの違いについてお伺いします。なの花薬局を使う使わない以外に、FCを使わない理由は何かありますか。

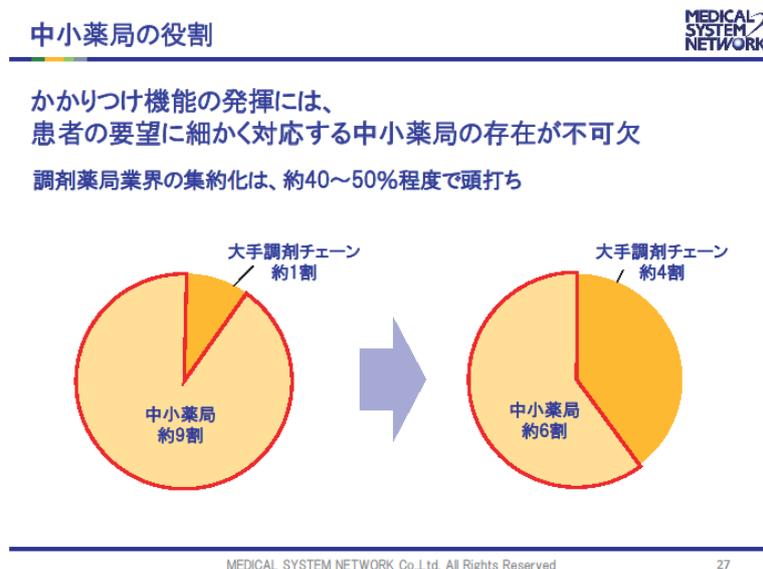
**回答：**例えば商品供給があります。PB商品の供給はまだやっていません。また、物流はまだやっていません。商流のところは、当社がやっています。

**質問：**人の交流はどうなっていますか。

**回答：**中小の薬局から薬剤師の融通などを求められています。短期間でいいからやってほしいというニーズはある。しかし当社もそこまで余裕がないので、ほとんどやっていません。規制緩和で薬剤師がやる仕事が増え、事務スタッフの仕事が増えるはずですが、そうなれば、色々な手が打てるようになるかもしれません。

**質問：**資料27ページのスライドについてですが、中小6割、大手4割になるのは何年位になりそうですか。

**回答：**10年はかかるとみています。そこまで行く手前で、大手同士の統合が先に出てくるはずですが、結局、規模の拡大をするためには小さいところを買うのではなく、大手同士が組むことのほうが早い。数は58,000店から、かなり減る。年収が1億円に満たないような薬局はなくなる。そうすると患者が処方箋を持っていくところがなくなり、ドラッグストアの調剤部門が受け皿になります。病院の門前薬局もなくなっていきます。恐らく4万店くらいになりそう。図4をご覧ください。



**図4 中小薬局の役割** 出所：講演資料より

**上記の質問の続き：**その時に処方箋の流動化がどの程度進むのでしょうか、薬局がなくなると、ドラッグストアに行くか、他の薬局に行くかですね。

**回答：**すべてがドラッグストアに行くとは思いません。ドラッグストアは健康管理ステーションになり得るでしょうが、そこには医者がいません。医者がないところは医療ゾーンにはなり得ないのではない

でしょうか。当社は地域の医者と一緒に健康相談をするなどして、地域密着でやっていきたい。

**質問：**医療を求める人は増えるが、調剤薬局は減っていきます。業界を育てていかないと、しりすぼみになってしまう。ドラッグストアの開拓も必要なのではないでしょうか。

**回答:**加盟店としてはドラッグもいる。ココカラファインも加盟していました。10年前のセガミさんの時に240店舗加盟してくださった。しかし240店舗あると、システム、価格ともに自前でできるので、脱退しました。大きなところが当社に来ることは考えにくい。当社としては調剤とのコラボでドラッグと絡みたいです。

**質問:** 将来の成長戦略の中でビッグデータ解析が出ましたが、個人情報の問題で使えないとのドラッグ側の声を聞いたことがあります。

**回答:** 究極の個人情報なので安易に使うことはできません。完全にマスキングしても、どういう患者が途中で来局しなくなったかを知ることなどができます。

例えば認知症の患者の半分が半年近くで脱落します。糖尿病患者も一緒です。

**質問:** 22 ページで証券化を行うとあります。どこまで御社がサポートしているのですか。また御社にとってのメリットは何でしょうか。

**回答:** 証券化は当社が設立した当初からやっています。安田信託でやっていた人が当社に入ってやりました。格付けもとっています。実際の証券化はりそな銀行のSPCを使ってやっているので、細かいところまではやっていません。加盟薬局へのサービスとしてやっており、あまりお金儲けをしようとは思っていません。図5をご覧ください。

## 医薬品等ネットワーク事業 ～ 付随サービス



### 薬剤師教育サポート

教育研修会を全国で開催、インターネット講座も提供

かかりつけ薬剤師の必須要件である認定薬剤師研修を提供



### 資金調達サポート(調剤報酬債権証券化)

入金を1か月以上短縮

当社を通じて、調剤報酬債権を証券化し、社会保険・国民健康保険からの入金を1か月以上前倒しで現金化。  
薬局にとっては、低コストで安定的な資金調達手段に。

図5 医薬品等ネットワーク事業 付随サービス 出所：講演資料より

**質問:** 私は技術系ベンチャーの支援をしています。テクノロジーから見ると、どういうテクノロジーが生産性向上に資すると考えていられますか。

**回答:** 一番は業界の規制緩和が必要。テクノロジーでいうとAIによって薬局の業務が変わります。薬剤師の業務が相当減るのではないか。例えば飲み合わせや重複のチェックなどは、患者と薬剤師の会話をAIに聞かせて薬歴データと突き合わせれば、薬剤師は必要なくなります。

業界の規制でいうと、「調剤室ですべて調剤しない

といけない」という規制が最もきつい。平均的な薬局の広さだと、調剤のための全自動装置を2台設置すると、調剤室がいっぱいになってしまう。別のところで調剤を全部やって、調剤室に運んで薬剤師がチェックすることが可能になれば、かなり効率化される。コンビニだって、弁当は工場で作っている。自分で作っているわけではない。

**質問:** 受発注、不良在庫の効率化をやっていくとのことであった。決済や個々のパピママ薬局の経営支援として何をやろうとしているのでしょうか。またフィンテックの活用の余地はありますか。

**回答:** 決済については、すべて当社に入金をしてもらい、卸に当社が一括で払い込んでいる。売上が1億円ない薬局をどう救うか、ということについては、どうしようもない。当社がいくら経営支援をしても売上が劇的に上げることは難しい。例えば、眼科の前の薬局をかかりつけ薬局にすることは難しい。こういうところは早めに決断したほうがいい。紙で帳簿をつけているところもまだ存在するが、だいぶ減りました。

**質問:** メディカルタウンを誘致して、調剤薬局をセツトで誘致する可能性は？

**回答:** 病院とサ高住などを誘致してモール化することを当社はやっているが、そこには当社の薬局を優先的に入れている。加盟店には現時点では紹介していません。

**質問:** 御社は成長過程にあるので海外展開は考えにくいと思うが、海外展開はどう考えていますか。また、規制緩和が進むと海外からの参入の可能性はあり得るのでしょうか。

**回答:** 海外は研究課題としてはみている。しかし進出するとすれば、健康保険制度、メーカー、薬局、卸のサプライチェーンがどうなっているかを見極めないといけない。一番いけそうなのはベトナム。まずは日

本で10%のシェアをやりたい。海外勢が入ってくるのは難しい。

**質問:** 今後の成長戦略のところで、疾病予防の話が出ているが、そうすると薬が減るのではないか。

**回答:** それはそれでいいと割り切っている。高齢者だと、処方箋をいろんなところでもらっている。当社が「選んでもらえる」薬局になることが必要。

**質問:** 今後の取り組みとして、具体的な事例は？

**回答:** 管理栄養士を8店舗に1人の割合で全国回れるよう採用していて、栄養相談会をやっています。運動は、グループ内にヨガの会社を持っていて、インターネットで提供している。大田区と契約していて、大田区の「憩いの家」という施設で、決まった時間になると高齢者たちが来て、画面を見ながらヨガをやって帰っていく。今後は薬局のスペースも活用して、土曜の午後など、病院の休診時間帯にやればいいのではないかと考えています。

**質問:** 資本金20億円と少ないが、どのように資金調達しているのですか。

**回答:** 公募増資を数年に1回やっています。剰余金等で100億円くらいはある。ここ18年で急速に成長したので、利益の蓄積はまだまです。

企業紹介



## 株式会社 メディカルシステムネットワーク

(株)メディカルシステムネットワークは、全国約380店舗の調剤薬局の運営や、薬局・医薬品卸間をネットワークでつなぎ双方の業務効率化による医薬品流通の合理化とコスト削減を実現する「医薬品等ネットワーク事業」を展開。また、地域医療の拠点づくりとして、医療機関・介護事業所などを1か所に集積したサービス付き高齢者向け住宅の開発に取り組むなど、「良質な医療サービスの提供と医療インフラの構築」を通じて、地域住民のQOL (Quality of Life) 向上に貢献することを目指す企業です。



〈リアルオプション事例研究の紹介記事〉

## ドハティ「統合リスクマネジメント」ケーススタディの紹介 ～米国 MBA テキストをやさしく読み解く

劔 義隆(DIAM アセットマネジメント) 中村 恒(一橋大学)

キーワード：統合リスクマネジメント、エージェンシー問題、資産代替問題、エクイティプットオプション

### 1. はじめに

スチュワードシップコードやコーポレートガバナンスコードが日本において制定され、機関投資家は株主としての経営監視責任の強化・企業との対話促進をより一層求められ、企業側は株主などのステークホルダーに対するアカウンタビリティをより強化させていく必要に迫られている。余剰現金の保有に対する株主からの配当増額要請や自社株消却要請、M&A・設備投資などの戦略・ファイナンス方法・リスクマネジメントなどを、株主・債権者などのステークホルダーに理論立てて説明しなければならない機会はますます増大していくことが想定され、これまで日本の実務界では欧州との相対比較であり重要視されてこなかったコーポレートファイナンス・統合リスクマネジメントの領域の知識武装がますます求められてきている。

なぜ、企業はリスクマネジメントを行わなければならないのかについては、海外では早くから学術的に理論分析や実証分析が行われてきた。また、教育の場でも欧米の MBA においてファイナンス理論の世界から統合リスクマネジメントを学ぶ授業が展開され、本論文で紹介するケーススタディが掲載されたテキスト、ニール・ドハティの『Integrated Risk Management』(邦訳『統合リスクマネジメント』(米山高生、森平爽一郎監訳)は、まさにその MBA に使われる標準的テキストとして名声を得ている。本テキストでは、難解な数式を用いることなく簡単な四則演算で計算できるケーススタディを多数用意し、これらのケーススタディを丹念に読み解いていくことで、企業がなぜリスクマネジメントを行わなければならないのかについて、その理論を体系的に習得することが可能となっている。原書はやや古いものではあるが、内容は現在でも全く色あせておらず、多くの実務家の方々に対して有益な実務的指針を提供してくれるものである。筆者らは、一

橋大学 MBA (大学院商学研究科経営学修士コース)においてこのテキストを用いた授業「統合リスクマネジメント」を開講し、本テキストをよりわかりやすく理解できるようにするため、特に重要と思われるケーススタディをピックアップし、各ケーススタディの意味付け、バランスシートによる解説、考察および事後課題を付したスタディ・マニュアルを新たに作成し、授業では実際にこの副教材が大いに学生の理解の手助けとなった。本稿では、このテキストに掲載されたケーススタディの中からオプションに関連するケーススタディを取り上げ、スタディ・マニュアルの内容を盛り込みつつ内容の紹介を行う。紙面の関係で、ここに取り上げるケーススタディはごくごく一部でしかなく、興味を持たれた方はぜひテキストに加えて、ウェブサイト<sup>1)</sup>にて公開しているスタディ・マニュアルを併用し、他のケーススタディにも触れていただければ幸いである。

### 2. 本テキストの骨格となる論点

本テキストは第Ⅰ部と第Ⅱ部で構成され、第Ⅱ部が本テキストの核心部分となる。第Ⅰ部は、第Ⅱ部を読破するための基礎知識編という位置づけとなっている。

本テキストの核心は、第Ⅱ部の最初の章である第7章「なぜリスクは企業にとって高くつくのか？」にある。ファイナンス理論で広く受け入れられてきたCAPM(資本資産価格理論)に基づく、投資家は資本市場でリスク分散が可能であり、個々の企業がリスクをヘッジしてもその企業の株主価値に何ら影響を与えないこととなる(付録2.①)。なぜ企業はリスクコントロールを行う必要があるのか、その理由はCAPMが前提とする仮定が現実の世界では成り立たないためであり、リスクマネジメントを行うことが企業のキャッシュフローの期待値に正の価値を与えることができれば企業価値を上昇させることができ

1 ウェブサイトの利用をご希望の方は t.yoneyama@r.hit-

u.ac.jp にご連絡ください。

る(付録2.②参照)。リスクマネジメントがキャッシュフローに正の価値を与える要因として、財務困難性によるコスト、エージェンシーコスト(資産代替問題、過少投資問題)、税効果の存在、経営者の報酬問題、クラウドファンディングアウト効果等があげられる(付録2.③参照)。これらの理由は、コーポレートファイナンスのテキスト・論文などでよく扱われるもので目新しいものではないが、本テキストの特徴は、ケーススタディ(数値例)を通してこれらが意味することを“体得”することにある。そして様々なヘッジ戦略(付録2.④・2.⑤参照)が企業価値にどのような経路で影響を与えるのかを体系的に理解させてくれる。

本稿では、このテキストの多くのケーススタディから、とくにリスクマネジメントにオプション資産(コンティンジェントファイナンス)を利用する事例に注目して、資産代替問題によって企業価値が棄損すること、そしてリスクマネジメント(オプション資産の導入)によってその資産代替問題が解決でき企業価値向上につながることを理解するために用意されたケーススタディ(Prime Autos社:テキスト10章・13章)を次章以降で紹介することとする。

### 3. 基本ケース

テキスト10章「損失後資金調達:調達可能性と機能不全投資」のP362から始まるPrime Autos社の事例を紹介する。このケースは、損失が発生する前には存在しなかった資産代替問題が、損失後では発生し、ステークホルダー間の利害が衝突することによって新規事業を行うための資金を債権者から調達できなくなることを示す事例である。資金調達に支障をきたすことによって、プラスのNPV(Net Present Value:正味現在価値)を持つ新規事業を行うことができず、企業価値が毀損することを学ぶ。なお、テキストでは新株発行による資金調達手段も並行して考察しているが、紙面の関係で省略することとする。

#### 3.1 前提条件

表1 Prime Autos社の既存事業の設定

| 【既存事業:自動車製造会社】            |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 将来収益(e)                   | 今年度収益500、年収益増加倍率(g=1%)    |
| 現金(L)                     | 0                         |
| 負債:優先債(D <sub>s</sub> )   | 2000                      |
| 優先負債コスト(k <sub>DS</sub> ) | 6%                        |
| WACC(k)                   | 9% ※テキストでは「株式資本コスト」となっている |

Prime Autos社(自動車製造会社)の既存事業は、収益(e)が今年度500、将来年率(g)1%で増大するとする。

現在、現金(L)=0、負債(優先債のみ)(D<sub>s</sub>)=2000で優先債の負債コスト(k<sub>DS</sub>)が6%、WACC(Weight Average Cost of Capital)が9%であるとする(表1)。

新規プロジェクトとしてスポーツカー開発計画があり、リスク水準の異なる2つの選択肢をもっているとする。事業Aは投資額5000で将来収益の現在価値7000が確実に得られる保守的なプロジェクト。事業Bは投資額5000に対し確率50%で現在価値11000(シナリオⒺ)、確率50%で現在価値1000(シナリオⒻ)となる不確実性のあるプロジェクトである(表2)。

表2 Prime Autos社の新規事業の設定  
【新規投資】2つの新規プロジェクト(事業A、事業B)

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>事業A: 保守的スポーツカー製造</b>        |           |
| 確率1                            |           |
| 投資額 5000                       | → 7000*   |
| NPV=7000-5000=2000             |           |
| <b>事業B: 斬新なスポーツカー製造</b>        |           |
| 確率0.5                          |           |
| 投資額 5000                       | → Ⓔ11000* |
|                                | → Ⓕ1000*  |
| 確率0.5                          |           |
| NPV=(11000+1000)×0.5-5000=1000 |           |

\*将来収益の現在価値

その他の前提として、資金調達コスト(T)=250、倒産コスト750、劣後債の金利(k<sub>DJ</sub>)=6%とする(表3)。

表3 Prime Autos社のその他設定

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 資金調達コスト(T)               | 250 |
| 倒産コスト                    | 750 |
| 劣後債の金利(k <sub>DJ</sub> ) | 6%  |

#### 3.2 損失発生前の状況

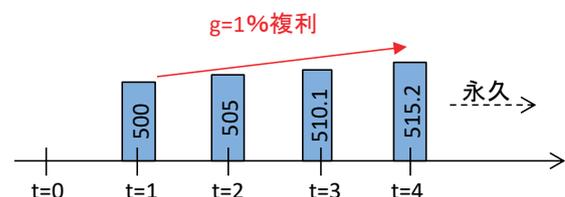


図1 Prime Autos社の既存事業の収益フロー

既存事業の収益フロー(図1)から既存事業の現在価値V(F)は500/(0.09-0.01)=6250となる(付録1参照)。負債(優先債V(D<sub>s</sub>)=2000)を引いた残り4250が株主価値V(E)となる。表4はこれらをバランスシ

ートで表現したものである。

表4 既存事業のバランスシート

| 資産        |      | 負債・資本                   |           |
|-----------|------|-------------------------|-----------|
| V(F)=6250 |      | V(D <sub>S</sub> )=2000 |           |
| 事業        | 6250 |                         | V(E)=4250 |
| 現金        | 0    |                         |           |

ここで劣後債発行による資金調達を行い、事業 A または事業 B を行った場合の株主価値を求めてみる。劣後債調達額 D<sub>J</sub> を投資額+調達コストの 5250 とすると、事業 A を選択した場合、V(F)=6250+7000=13250、負債 V(D) は優先債と劣後債の合計 V(D<sub>S</sub>)+V(D<sub>J</sub>)=7250 のため、株主価値 V(E) は 6000 とする (表 5)。

表5 事業 A 実施の場合のバランスシート

| 資産         |       | 負債・資本     |                         |
|------------|-------|-----------|-------------------------|
| V(F)=13250 |       | V(D)=7250 |                         |
| 事業         | 13250 |           | V(D <sub>S</sub> )=2000 |
| 現金         | 0     |           | V(D <sub>J</sub> )=5250 |
|            |       |           | V(E)=6000               |

同様の計算を事業 B に対して行い、V(E) は 50% の確率で 6250+11000-7250=10000、50% の確率で 6250+1000-7250=0 となるため、V(E) の期待値は 5000 とする (表 6)。

表6 事業 B 実施の場合のバランスシート

| 資産         |       | 負債・資本     |                         |
|------------|-------|-----------|-------------------------|
| V(F)=12250 |       | V(D)=7250 |                         |
| 事業         | 12250 |           | V(D <sub>S</sub> )=2000 |
| 現金         | 0     |           | V(D <sub>J</sub> )=5250 |
|            |       |           | V(E)=5000               |

表 4 (新規事業を行わない場合)、表 5 (事業 A を行う場合)、表 6 (事業 B を行う場合) の株主価値を比較すると、V(E) が最も高いのは事業 A であり、株主は事業 A を選択する。高い NPV を持ちかつ事業リスクが低い事業 A が選好され、債権者にとっても好ましい結果となる。

表7 損失発生前のポイント

- NPV は事業 A: 2000、事業 B: 1000 であり、事業 A の方が高い NPV を持つ。
- 既存株主価値を比較し、事業 A が最も高い価値となり、株主は事業 A を選好。
- 結果として高い NPV を持ちかつ事業リスクのない事業 A が選好され、債権者にも好ましい結果に。⇒ 債券による調達について、エージェント問題は発生せず、資金調達が可能に。

### 3.3 損失発生後の状況

賠償責任訴訟により既存事業の収益に対し 60% を信託基金(負債より返済順位が高いとする)として毎年拠出しなければならなくなったとする (表 8)。これにより、既存事業の収益 (今年度) は 500 から 200 に減少し、既存事業の現在価値は 6250 から 2500 に減少する。このケースでは資産代替問題が生じ、劣後債による資金調達が不可能となることを示す。損失発生後の価値 (Valuation) についてはダッシュをつけて区別する。

表8 損失事象の設定

|      |   |
|------|---|
| 【事象】 | 賠償責任訴訟による損失発生   |
| 【影響】 | 賠償金として既存事業収益の 60% (300) を信託基金に拠出 (信託の返済順位は債券・株式より上位) ⇒ 手取り既存事業収益は 200 に減少 |

新規事業を行わない場合、V'(E)=V'(F)-V'(D<sub>S</sub>)=500 とする (表 9)。

表9 既存事業のバランスシート

| 資産         |      | 負債・資本                    |           |
|------------|------|--------------------------|-----------|
| V'(F)=2500 |      | V'(D <sub>S</sub> )=2000 |           |
| 事業         | 2500 |                          | V'(E)=500 |
| 現金         | 0    |                          |           |

事業 A を行う場合、V'(E)=V'(F)-V'(D<sub>S</sub>)-V'(D<sub>J</sub>)=2500+7000-2000-5250=2250 とする (表 10)。

表10 事業 A 実施の場合のバランスシート

| 資産         |      | 負債・資本      |                          |
|------------|------|------------|--------------------------|
| V'(F)=9500 |      | V'(D)=7250 |                          |
| 事業         | 9500 |            | V'(D <sub>S</sub> )=2000 |
| 現金         | 0    |            | V'(D <sub>J</sub> )=5250 |
|            |      |            | V'(E)=2250               |

事業 B を行う場合、シナリオ⑤では  $V'(E)=V'(F)-V'(D_s)-V'(D_j)=(2500+11000)-2000-5250=2250$  となるが、シナリオ⑥においては、 $V'(F)<V'(D)$ となるため企業は倒産し、株主価値は0、劣後債の債権者の価値  $V'(D_j)$ は倒産コスト 250 を考慮し、 $V'(D_j)=V'(F)-V'(D_s)-250=(2500+1000)-2000-250=750$  となる。両シナリオの発生確率はそれぞれ 50%であるため、 $V'(D_j)=(5250+750)/2=3000$ 、 $V'(E)=3125$  となる(表 11)。

表 11 事業 B 実施の場合のバランスシート

| 資産           |  | 負債・資本          |  |
|--------------|--|----------------|--|
| $V'(F)=8125$ |  | $V'(D)=5000$   |  |
| 事業 8500      |  | $V'(D_s)=2000$ |  |
| 現金 0         |  | $V'(D_j)=3000$ |  |
| 倒産コスト-375    |  | $V'(E)=3125$   |  |

表 10 と表 11 の株主価値を比較し、株主は事業 B の株主価値が高いため、事業 B を選択したがる。しかしながら、劣後債投資家は、株主が事業 B を選択することをあらかじめ予測し、現在価値が  $V'(D_j)=3000$  となるものに 5250 を支払わない。せいぜい 3000 しか支払わないため、劣後債の調達で 5250 を借りることができず、新規事業のための資金調達が不可能となってしまう(表 12)。

表 12 損失発生後のポイント

●既存株主価値が事業A<事業B  
 ●劣後債投資家は株主の事業B選好を予測し、資金5250を払わない  
 ⇒資産代替問題が発生

### 3.4 基本ケースからの含意

なぜ損失発生後資産代替問題が生じたのか考察していく。

損失発生前においては、ボラティリティの高い事業 B を行っても、デフォルトする確率はゼロであり、事業 B の収益変動による企業価値変動リスクはすべて株主が負担する(図 2)。結果として、株主価値は「事業 A > 事業 B」となり株主は事業 A を選好。劣後債権者は、事業 A を株主が選択することを予測でき、資金を提供する。株主も債権者も企業価値の高い事業 A を選択することについて合意することができたのである。

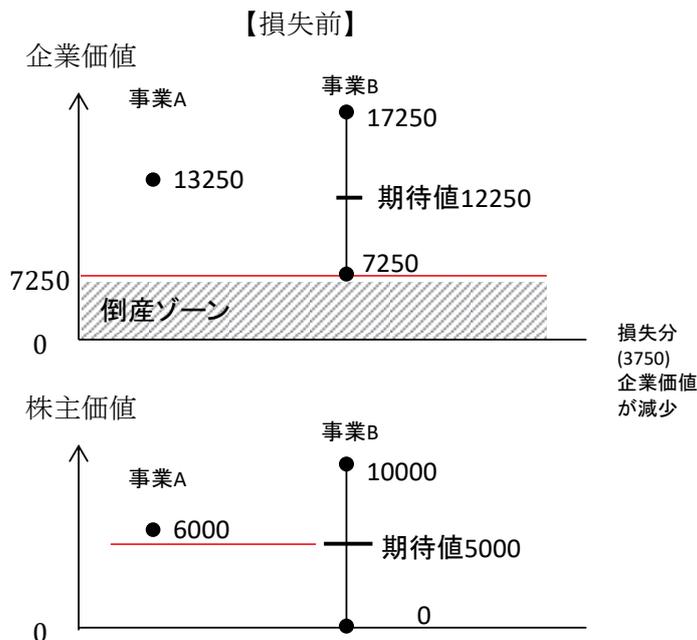


図 2 損失発生前の企業価値・株主価値

一方、損失発生後においては、ボラティリティの高い事業 B を行った場合にデフォルトする確率が高まり(設例では 50%)、低収益シナリオ(⑥)が発生した際の企業価値減少の一部 4500 を株主は債権者に押し付けることができる(株主は有限責任であるため)。一方、高い収益が発生した際の企業価値上昇を全て株主は享受できる(図 3)。

結果として、株主価値は「事業 A < 事業 B」となり、株主が事業 B を選好する。問題は、資金調達の“前”の段階で株主が事業 B を行うインセンティブがあることを債権者が“予測する”ことにある。株主は、デフォルトリスクのない事業 A を行うとシグナルを発して資金調達しようとしても、株主が事業 B を行うインセンティブをもっていることを知っている債権者はそれを信じることはできないのである。

このような資産代替問題が生じた根本的な原因は“レバレッジの増大”である。損失発生前では事業 B 実施の際のレバレッジ(負債/資産)は  $7250/12250=59.2\%$ 、一方損失発生後では事業 B 実施の際のレバレッジは  $7250/8125=89.2\%$ と大きく上昇。レバレッジの上昇によって倒産確率が高まり、株主・債権者間の利害衝突が生じ、負債による資金調達が制約を受けることとなった。

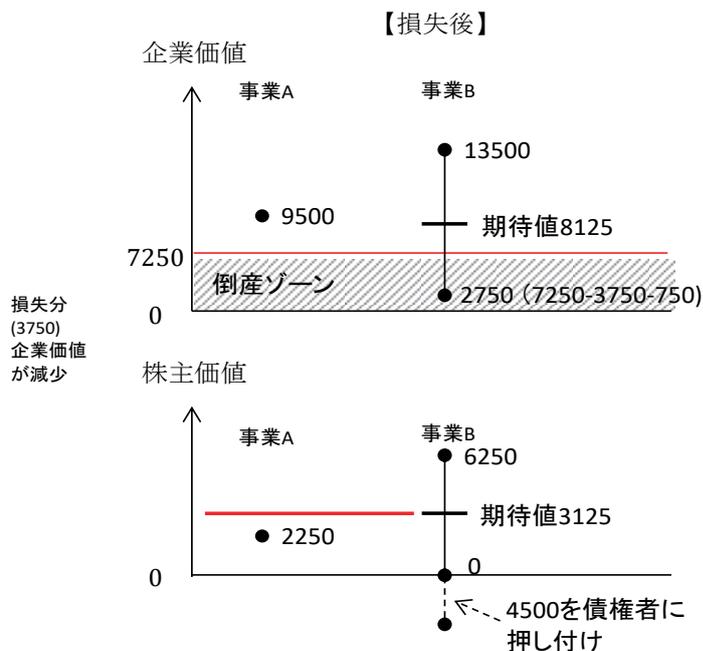


図3 損失発生後の企業価値・株主価値

では、どうすればこの資産代替問題を解決できるのか、次章で、損失に対する事前の策を講じることで、資産代替問題が起きることを防ぐことができることを示す。

#### 4. 発展ケース

テキスト12章「コンティンジェントファイナンス」のP452から始まるPrime Autos社の事例を紹介する。ここでは、前章ベースケースのPrime Autos社の事例の続編として、デフォルトプットオプションを導入することによって、ベースケースで生じた資産代替問題が発生せず、劣後債による資金調達が可能となることを示す。

##### 4.1 ロスエクイティプットオプションの導入

元々の株数を1000株とする。前章では損失発生前において事業Aが選択されることが見込まれ、企業価値は $6250+7000=13250$ 。負債 $2000+5250=7250$ をひいた6000が株主価値であり、1株当たり株価は6となる。

ここで、自社株を原資産としたロスエクイティプットオプション<sup>2</sup>（以下プットオプション）で賠償金対策を事前に行うことを考える。賠償が生じた際に1単位当たり行使価格5で売却できるプットオプションを750単位購入する。賠償金の現在価値は $300/(0.09-0.01)=3750$ であり、賠償金請求が生じた際

には、自社株を $5 \times 750 = 3750$ で売る権利を行使することで賠償金支払いを実施できる。行使後、全体の株数は $1000+750=1750$ 株となる（表13）。

表13 ロスエクイティプットオプションの設定

|      |   |
|------|---|
| 【目的】 | 賠償責任が生じた際の賠償金を調達  |
| 【設計】 | 1単位当たり行使価格5のプットオプションを750単位購入<br>※損失発生前の株価6<br>(事業A実施の際の株主価値6000/1000株)  |
| 【効果】 | 賠償責任が生じた際に自社株を $5 \times 750 = 3750$ で売る権利を行使することで、賠償金支払いを実施できる。<br>行使後は、750株分をオプションのカウンターパーティが保有、総株数は $1000+750=1750$ 株となる |

##### 4.2 損失発生後の状況

賠償責任訴訟による損失はプットオプションの権利行使により全額が支払われることとなる。よって、新規事業を行わない場合の企業価値は6250である。新規事業Aを劣後債調達で行う場合、 $V'(E) = V'(F) - V'(D) = 6250 + 7000 - 2000 - 5250 = 6000$ となる。株主は既存株主1000株、オプションのカウンターパーティ750株となっているため、カウンターパーティ分の株主価値2571、既存株主分の株主価値 $V'(E^C) = 3429$ となる（表14）。

表14 事業A実施の場合のバランスシート

| 資産              |  | 負債・資本            |  |
|-----------------|--|------------------|--|
| $V'(F) = 13250$ |  | $V'(D) = 7250$   |  |
| 事業 13250        |  | $V'(D_S) = 2000$ |  |
| 現金 0            |  | $V'(D_j) = 5250$ |  |
|                 |  | $V'(E^T) = 2250$ |  |
|                 |  | $V'(E^C) = 2571$ |  |
|                 |  | $V'(E) = 3429$   |  |

事業Bを行う場合、シナリオ④では $V'(E) = V'(F) - V'(D) = 6250 + 11000 - 2000 - 5250 = 10000$ 、シナリオ⑤においても、 $V'(F) \geq V'(D)$ であるため負債の支払いは可能で倒産は回避され、劣後債の債権者の価値 $V'(D_j)$ は5250、 $V'(E) = V'(F) - V'(D) = 6250 + 1000 - 2000 - 5250 = 0$ 、となる。両シナリオの発生確率はそれぞれ50%であるため、 $V'(D_j) = (5250 + 5250)/2 = 5250$ 、株主価値合計 $V'(E^T) = (10000 + 0)/2 = 5000$ となる。カウンターパーティ分の株主価値は2143、既存株主分の株主価値は2857となる（表15）。

2 賠償金支払いの発生をトリガーとしたオプション

表 15 事業 B 実施の場合のバランスシート

| 資産            |  | 負債・資本          |  |
|---------------|--|----------------|--|
| $V'(F)=12250$ |  | $V'(D)=7250$   |  |
| 事業 12250      |  | $V'(D_S)=2000$ |  |
| 現金 0          |  | $V'(D_J)=5250$ |  |
|               |  | $V'(E^T)=5000$ |  |
|               |  | $V'(E^C)=2143$ |  |
|               |  | $V'(E)=2857$   |  |

ここで表 14 と表 15 における既存株主の株式価値を比較すると事業 A の方が高いため、株主は事業 A を選好する。劣後債権者は債権が棄損することはないため、5250 を支払うこととなる。よって、企業は劣後債による資金調達が可能となり、事業 A を行うことが可能となった。

この状況は、前章の状況とは異なっている。プットオプションを導入することにより、前章で起こった資産代替問題が生じないことで、劣後債による資金調達が可能となったのである。

#### 4.3 発展ケースからの含意

なぜ資産代替問題が解消したのであろうか。3 章のケースでは、賠償金の請求者が企業の収益を優先的に入手できることとなり、一種の優先債のようなものでレバレッジを増大させた。これに対し、リスクが顕在化する“前”の段階で、事前のヘッジ戦略、すなわちこのケースではロスエクイティプットオプションを購入しておくことで、賠償金支払いをカウンターパーティに新株を売ることによって得た資金で清算することができ、レバレッジ悪化を防止することができた。結果として、資産代替の問題が取り除かれ、損失が発生しなかった場合と同様に、資金調達の柔軟性を確保することができたのである。

#### 5. 最後に

本稿では、ドハティ「統合リスクマネジメント」より、Prime Autos 社のケーススタディを取り上げ、資産代替問題が企業価値を毀損しうること、そしてその資産代替問題に対処するために企業価値棄損につながるリスク（設例では賠償責任）が生じる前に、事前策を打っておく（設例ではロスエクイティプットオプション購入）ことで、レバレッジ悪化による資産代替問題に対処することができた。テキストでは、なぜ企業はリスクマネジメントを行うのか、資産代替問題以外として、税効果、過小投資問題、クラウドファンディングアウト、経営者の効用について取り上げ、ケース

スタディを通じた解説を行っている（7 章～11 章）。そして、リスクコントロール手法として用いられるコンティンジェントファイナンスの例としてクレジットライン・転換社債・逆転換社債・ワラント・コーラブル債・プッタブル債・再保険などがどういう役割を果たし、どう企業価値に影響を与えるのかについて、解説を行っている（12 章～14 章）。実務者にとっては、難解な数式を用いて厳密な議論を行うよりも、本稿で紹介した Prime Autos 社のようなやや厳密性を犠牲にしつつも非常にシンプルな事例で概念を解説するほうが、はるかに習得しやすく、実務への適用をイメージしやすいものと思料する。また、このテキストのケーススタディは難解な数式を使用せず一見平易に叙述的に記述されているが、各ケースとも非常に緻密に計算されて組み立てられているため、テキストを表面的に読みすすめるだけではその緻密な構成を理解するのは容易ではない。そこで筆者らのスタディガイドを利用して個々のケースを分析的に解釈し、さらに筆者らによって追加された演習に取り組むことは、読者のテキストへの理解を深めることに大きく役立つと思われる。ぜひこのテキストで「統合リスクマネジメント」を体得する方が増えることを期待したい。

#### 参考文献

1. ニール・A・ドハティ著、森平爽一郎・米山高生監訳『統合リスクマネジメント』, 中央経済社, 2012.

#### 付録 1. 企業価値の計算

営業利益が成長率  $g$  で永久に成長する場合、 $e$  を当期の EBIT(営業利益)、 $k$  を資本コストとすると事業の現在価値は  $e/(k-g)$  であらわされる。

以下証明。

$$\text{企業価値 } V(F) = \frac{e}{1+k} + \frac{e(1+g)}{(1+k)^2} + \frac{e(1+g)^2}{(1+k)^3} + \dots$$

$$V(F) \times \frac{1+g}{1+k} = \frac{e(1+g)}{(1+k)^2} + \frac{e(1+g)^2}{(1+k)^3} + \frac{e(1+g)^3}{(1+k)^4} + \dots$$

$$V(F) \times \left(1 - \frac{1+g}{1+k}\right) = \frac{e}{1+k}$$

$$V(F) = \frac{e}{1+k} / \left(1 - \frac{1+g}{1+k}\right) = \frac{e}{k-g}$$

付録2 リスクマネジメントの意義(一橋 MBA「統合リスクマネジメント」講義資料抜粋)

①



## 企業リスクと株主(企業の所有者)による分散投資

公開株式会社がリスク回避することは、当然に合理的であると言えるだろうか？

個人

↓

リスクプレミアムを払って保険を購入する動機は合理的。

公開株式会社

↓

株主は、分散投資をすることによって、自らのリスクを分散できる。したがって個別会社の財産の変動と株主の財産の変動には相関関係がない。

---

Graduate School of Commerce and Management, Hitotsubashi University
2012/5/8
2

②



## なぜ公開株式会社はコストをかけてまでリスク管理するのか？

分子にある期待キャッシュフロー(リスクコストを引いた正味の値)を増大させることによって企業価値を増大させる

$$\text{企業価値} = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{t \text{ 年の期待キャッシュフロー}}{(1+r)^t}$$

リスク管理が、コストをかけてもそれを上回るほど十分に企業のキャッシュフロー(の期待値)を増大させるとすれば、企業がリスク管理することを株主も支持する。

---

Graduate School of Commerce and Management, Hitotsubashi University
2012/5/8
5

③

## リスクが高つく(リスクコスト)要因



1. 財務困難性のコスト:倒産コスト
  2. エージェンシーコスト:資産代替と過小投資
  3. 税効果、報酬制度、新規投資のクラウディングアウト効果
- ◆ 各要因については、次回からの講義で詳しく議論する。

④

## リスク管理の種類



### 1. ヘッジ戦略

- 特定のリスク(賠償責任リスク、財産損害リスクなど)に対して、キャッシュフローを相殺するようなキャッシュフローを持つ
- 資産ヘッジ:他の資産に内包されているリスクのヘッジを提供する資産を持つ  
(例)穀物価格変動リスクに対する穀物先物
- 負債ヘッジ:基本資産において損失が発生するときに、あるペイオフを受け取るという資産を保有する代わりに、減額が行われる負債を保有する  
(例)自社の保険ポートフォリオにおいて巨額の災害損失が生じる場合には返済が免除されるという条項が付いた負債を保険会社が発行

⑤

## リスク管理の種類(つづき)



### 2. レバレッジ戦略

- 起こり得る将来の損失を予想して、倒産確率を下げるために、自己資本に対する負債比率(すなわちレバレッジ)を下げる

### 3. コンティンジェント・ファイナンス

- 将来特定のイベントから損失を被るとき、
  1. 短期に必要な支払いに備え資金を調達したい
  2. レバレッジを改善したい
- 特定災害が生じた場合にのみ事前に決められた条件で特定の証券に転換できるオプション資産
  - ・ 転換債券: 債権者が株式に転換するオプション。株主は下方リスクはあるが、上方リスクを取り込めなくなる。
  - ・ 逆転換債券: 転換オプションの買いポジションと売りポジションが逆。企業が債券を株式に転換するオプション。債権者に対し事後的なマイナス効果があるが、事前的には倒産確率の低下などの利得がある

〈論説：IoT/FinTech 研究〉

## 我が国企業の IoT 投資の推進に向けて ～リアルオプションの視点からの一考察～

加藤 敦

(同志社女子大学教授)

### 1. はじめに

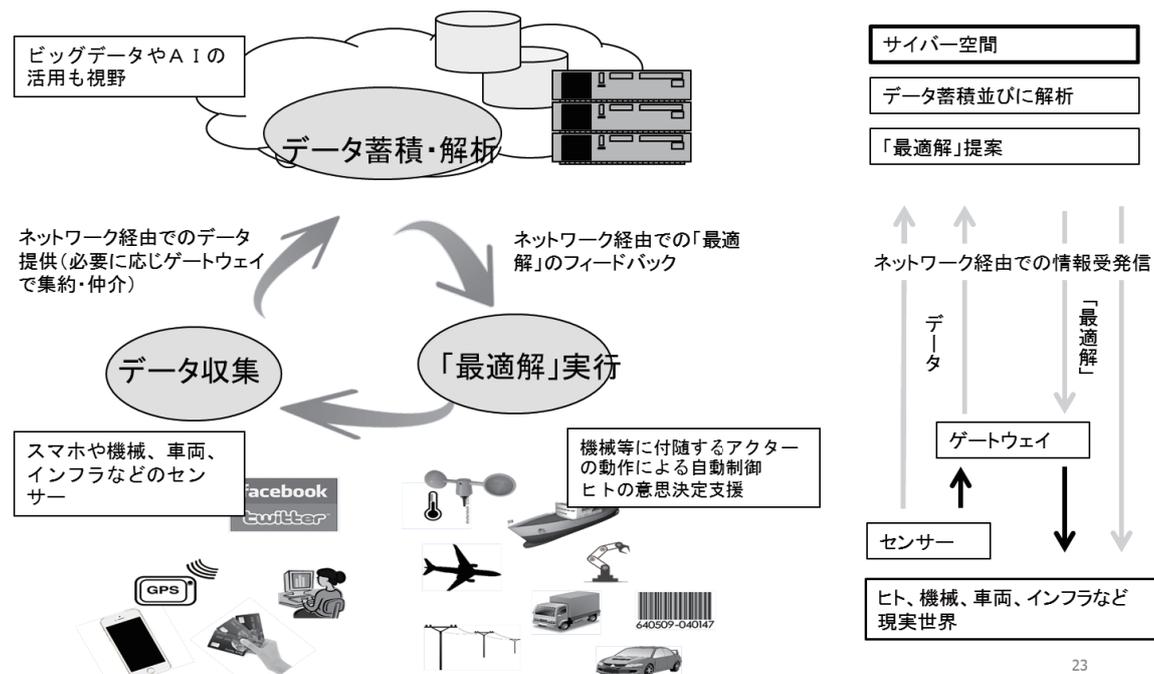
IoT (Internet of Things)とは「日本再興戦略」(改定 2015)によると、モノのインターネットであり、「ビッグデータ、人工知能 (AI) と組み合わせた ICT の新潮流を通じ、ヒト、モノ、サービス、情報などがネットワークを通じて大規模に連動することで、新たな価値を社会にもたらす可能性がある。」

図表 1 に示した通り、IoT は「データ収集→データ蓄積・解析→『最適解』実行」というサイクルからなる。現実世界においてスマホや機械、車両、道路や電力等のインフラなどのセンサーから生じる膨大なデータをネットワーク経由でサイバー空間に送る。この時、スマホ等は直接、ネットワークに送信するが、機械等のデータはゲートウェイで集約・仲介される。<sup>1</sup> サイバー空間ではデータ群を蓄積し、

必要に応じビッグデータや AI を用いて解析して「最適解」を提案する。「最適解」はネットワーク経由で現実世界にフィードバックされ、機械等に付随するアクター (動作部) を動作させて自動制御したり、ヒトの意思決定を支援したりする。このサイクルを通じ、商工業、医療、エネルギーなどあらゆる分野で、高度な判断や自動制御を実現し、新サービスを生み出す可能性がある。

小論では、投資対効果が見えにくく、不確実性が高いものとして認識されている IoT 投資評価にリアルオプションを活用する可能性を探る。まず第 2 節では多種多様な IoT ソリューションを類型化し、第 3 節では類型を踏まえて不確実性と課題について考え、第 4 節ではリアルオプションの視点から検討する。最後に、まとめと考察を行う。

図表 1 IoT の基本的な枠組み



(出所) 経済産業省製造産業局(2015)にもとづき作成

## 2. IoT ソリューションの類型化

IoT ソリューションは、先に述べた「データ収集→データ蓄積・解析→『最適解』実行」サイクルをどの範囲で進めるかで分類できる（図表2参照）。

第1に自社内で進める「プライベート型」で、データ提供者や受益者は原則として組織内にとどまる。例えば工場内の工作機械等にセンサーを取り付け、稼働率を管理したり、予防保全を充実させたりする。

第2に企業の境界を超えるが、データ提供者や活用者が限定されるクローズド・ネットワークで、企業間の「BtoB型」と企業・消費者間の「BtoC型」がある。「BtoB型」は部品会社と組立会社、親会社と子会社など継続的取引がある企業間で情報を共有化する。例えば各企業の設備にセンサーをつけ稼働状況を把握し、需要にあわせた最適な生産体制第をタイムリーに実現しようとする。これに対し、「BtoC型」は、企業が消費者の発信する情報を活用して、需要にあわせタイムリーな商品やサービスの提供な

どを図るものである。情報収集方法として消費者から直接、データ提供を受ける場合の他、電話会社などから匿名加工情報を購入する場合がある。<sup>2</sup>第3に「オープン型」では、不特定多数のヒトやモノからデータを収集し、原則として誰でもソリューションの恩恵を享受することができる。例えば、車が発信する位置情報を、公共機関が運営するクラウド上で蓄積・データ解析しその結果をオープンに提供する。各経済主体は提供された分析結果にもとづき最適な経路案内を行う。

実際には、この3つのタイプが組み合わさったり、あるタイプの一部が別のタイプのものが含まれる「入れ子」構造になったりする場合が多い。例えばタクシー会社が「オープン型」で提供された交通混雑状況と、自社タクシーから得た位置情報や車両情報を組み合わせ、タイムリーに最適な運行計画を立てるなどが考えられる。

図表2 IoT ソリューションの類型化

|         | データ提供者と活用者                                   | 例                      | 備考  |
|---------|--|------------------------|---|
| プライベート型 | ① 提供者 自社内<br>② 活用者 自社内                       | ・自動制御<br>・工場内予防保全      | ・従来型の工程毎の自動制御から、工場全体または企業全体のソリューションへと進歩しつつある。 |
| BtoB型   | ① 提供者 継続的取引先<br>② 活用者 継続的取引先                 | ・グループ内の在庫最小化           | ・継続的な取引関係のある企業間で進展                            |
| BtoC型   | ① 提供者 顧客<br>② 活用者 自社と顧客                      | ・消費者へのタイムリーな商品やサービスの提案 | ・オープン型から得た情報等を組み合わせる場合も多い。                    |
| オープン型   | ① 提供者 社会（ヒト・企業・公共部門）<br>② 活用者 社会（ヒト・企業・公共部門） | ・道路交通案内<br>・           | ・社会的インフラからのデータや匿名加工情報を提供                      |

IT企業や電気機械などを除くと、我が国の企業のIoT関連投資はあまり盛んではないとされる。総務省(2016)によると、プロセス並びにプロダクトにおけるIoT導入率は米国が約40%と大きくリードしており、日本は約20%でドイツや中国の後塵を拝している。中小企業については、IoT・AI等について関心はあるが、総じて活用状況は1割未満と低い（野村総合研究所,2016）。

ドイツはITを活用した自律生産システムを進める「Industrie4.0」構想を推進している。「Industrie4.0」は中小企業庁(2016)によると、通信規格の国際標準化、サプライチェーンの効率化、設備稼働率平準化、多品種少量生産、異常の早期発見、需要予測などを可能にするもので、国内製造業の輸出競争力の強化並びにドイツ生産技術で世界の工場を席卷することを狙いとしている。こうした中、我が国企業のIoT

に対する取組状況は標準化、技術開発、国際競争力などの点から危機感をもって受け止められている。関(2016)によると、IoTから生み出されるビッグデータを利用する主導権をめぐるデバイスメーカーやICT企業の争い、標準化戦略をめぐる国家や団体の間の争いが世界的規模で始まっている

では我が国企業はなぜIoT投資に慎重なのだろうか。一言でいうと、投資対効果が明らかでないことに加え不確実性が大きいからである。総務省(2016)によると、IoTの利活用場面が描き切れず投資対効果が不明とする企業が多い。中小企業診断協会(2017)は不確実性を生む課題として、事業展開に関する規制の影響、情報セキュリティ、標準化・規格化、機器・システム運用に関わるリスクを挙げている。そこで、次節ではIoTを取り巻く不確実性について整理しよう。

### 3. IoT をめぐる不確実性と投資評価上の課題

#### 3.1 IoT ソリューションの不確実性

前述の通り IoT 投資は投資対効果が不透明なことに加え、不確実性が高いという特徴がある。そこで企業外部から生まれる外生的な不確実性、企業内部から生まれる内生的な不確実性、競争相手の戦略についての不確実性に分けて整理しよう(図表3参照)。第1に外生的な不確実性として、プロダクト開発・プロセス改善など投資効果の市場価値の不確実性に関する市場リスク、センサーや通信機材・データベースなどが技術進歩により陳腐化するリスク、AIなどデータ解析の技術進歩速度に関する不確実性、標準化の動向に関する不確実性、深刻な脆弱性が表面化するセキュリティリスク、関連する公共投資の進捗が遅れるリスク、規制緩和に関するリスクなど

がある。第2に内生的な不確実性には社内要員のデータ活用スキル不足、IT技術者のスキル不足(運用管理やセキュリティ対策)、既存システムとの連携に不具合が生じるリスクなどがある。第3に競争相手の行動についての不確実性がある。これは自社対競争企業が互いに市場を奪い合う「ゲーム」を展開するとき、一手先を読み誤るリスクである。

既存システムとの連携不具合について若干補足すると、世界的な汎用IoTソリューションをそのまま導入すると、既存制御系システムや業務系システムとうまく連携しないことが多い。オーダーメイド中心の我が国企業の情報システムが「ガラパゴス」に陥っているともいえるし、SAP等のグローバルなIT企業が汎用業務系システムとIoTソリューションの双方で優位に立ちつつあるともいえる。

図表3 企業のIoT投資を取り巻く不確実性

|           | 内容                   | 例  |
|-----------|----------------------|--|
| 外生的な不確実性  | 市場リスク                | ・プロダクト面(新製品売上等)やプロセス面(コスト削減・予防保全等)の投資効果の市場価値に関する不確実性               |
|           | 技術進歩                 | ・センサーやゲートウェイ、データベースなどが技術進歩により陳腐化するリスク<br>・AIなどデータ解析の技術進歩速度に関する不確実性 |
|           | 標準化                  | ・自社が採用した技術が国際的な標準技術から外れるリスク  |
|           | セキュリティ               | ・深刻な脆弱性が表面化するリスク   |
|           | 公共投資                 | ・関連する公共投資の進捗が遅れるリスク  |
|           | 規制                   | ・規制緩和に関するリスク   |
| 内生的な不確実性  | 社内のスキル等から生じる内生的な不確実性 | ・データ活用スキル不足によるリスク<br>・IT技術者のスキル不足によるリスク<br>・既存システムとの連携に不具合が生じるリスク  |
| 競争相手の不確実性 | 競争相手の戦略についての不確実性     | ・競合企業との市場の奪い合いに関するリスク  |

これら不確実性は投資評価上の課題につながる。

第1に将来のIoTソリューションの拡張性をどう評価するかである。Industrie 4.0で示された水平的・垂直的な拡張性を参考に次の通り整理する。

- 1) バリューチェーンの水平方向への拡張：例えば商品の製造段階に関わる水平的な分業関係における、事業所内から企業全体へ、単独企業内から企業間へとといったIoTソリューションの拡張
- 2) バリューチェーンの垂直方向の拡張：製品開発・試作・製造・販売・アフターサービスといった、垂直的バリューチェーンにおけるIoTソリューションの一部から全体への拡大
- 3) 提供サービスの拡充：単一機能提供から、より多くの機能を提供する方向への拡張性
- 4) サービスの質向上：データの簡単な解析からAI等を活用した高度な解析へなどサービス水

#### 準の質的向上

第2に標準化に関する戦略をどう評価するかである。IT分野では一般に「ネットワーク外部性」(需要側の規模の経済性)が認められ、標準化競争から脱落した技術の価値が著しく下がる。ガラケーがスマホにとって代わられたのは、典型例であるが、ある技術やプラットフォームが普及して、利用が増えれば増えるほどサービス提供価格が低減し関連サービスが豊富になるなど、利用者がメリットを得やすくなる。逆に自社が採用した技術やプラットフォームが国際的な公定標準(デジュレ標準)や事実上の標準(デファクト標準)から外れると不利益を被る。実際に世界標準を争う複数の規格に対し開発・普及に参画するなど二股をかけている製造業者も多い。また他の仕様とのインターフェースが容易になるよう追加費用をかけモジュール化を進めることもある。こうした柔軟性を確保するための費用をどう評価すべきだろうか。<sup>3)</sup>

第3にセキュリティリスク対策をどう評価するかである。IoTにおいてはインターネットが主役であるので、未知の脆弱性など、現在の機材・通信に関して、セキュリティ上の問題から逃れることができない。例えば膨大な数のセンサーからの発信される情報を効率的に暗号化して通信する技術などは発展途上であるし、「BtoC型」など個人情報を扱う場合には情報漏えいのリスクは格段に高くなる。

### 3.2 類型別にみた投資評価上の課題

次にIoTソリューション類型毎に直面しやすい投資評価上の課題についてみよう（図表4参照）。

第1に自社内にソリューションがとどまる「プライベート型」については、将来の拡張性をどうみるかが重要である。IoTソリューションが萌芽期から展開期に移ると、バリューチェーンの水平方向や垂直方向に企業の枠を越えて拡張や、提供サービス拡充や提供サービスの質向上などが検討されるはずである。また標準化に関する課題やセキュリティ上の課題も、上述した拡張に応じて、問題が深刻化しやすくなる面がある。

第2に継続的な取引を行う企業間の「BtoB型」ソリューションについては、拡張性と標準化に伴う課題がかなり早い時期から顕在化することが多い。親会社や組立会社など有力企業が主導で進める場合が多いので、独自規格を用いて囲い込みを狙うか、標準規格を採用しオープンな企業間関係を追及するか、という方針により周囲は影響を受ける。有力企業の取引先からみると、有力会社が提案した規格にあわせて自社の投資を行うとき、標準化が進んでいないと、他の取引に当該設備を流用できないというロックイン問題が生じる。またセキュリティに関して、有力企業は狙われやすいという面もあり、営業機密

の流出や外部からの攻撃標的化、データ通信やデータベースの安全性などの課題がある。

第3に企業が消費者の発信する情報を活用して、需要にあわせた商品提供など効率化を図る「BtoC型」はセキュリティリスクが相対的に大きい。このタイプはかなり大規模なインフラが必要とされるので、ある程度、標準化されたプラットフォーム上に構築される場合が多く、ロックイン問題は深刻にはなりにくい。一方、消費者から直接、データ提供を受けることが多く、セキュリティに関するリスクが相対的に大きな問題となる。個人情報の漏えいリスクに加え、外部からの攻撃標的にされるリスク、データ通信やデータベースの安全性などがある。また、拡張性に関しては地理的な拡張、提供サービス拡充、提供サービスの質向上などが考えられる。

第4に誰もがソリューションの恩恵を受ける「オープン型」は、拡張性、標準化、セキュリティとも大きな課題である。エネルギー・通信・交通など公共サービス機関が関与する場合が多い。拡張性に関して地理的な拡張、提供サービス拡充、提供サービスの質向上などであるが、技術動向に加え規制緩和の進展度にも影響を受ける。標準化並びにセキュリティに関しては「BtoC型」と基本的には同じであるが、稼働率、性能（ピーク負荷対応の反応速度）などが期待値を下回ると、規模の巨大性から公共インフラへ与えるダメージが大きい。また「オープン型」は他のIoTソリューション拡大の前提となる、インフラ情報や匿名加工情報を提供することからも、その安定稼働はIoT進展の鍵を握るといっても良い。

図表4 IoTソリューション類型毎にみた投資評価上の課題

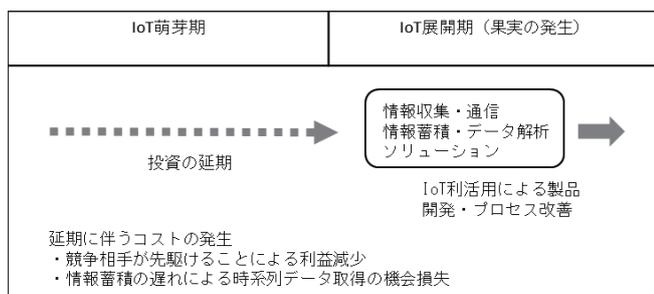
|         | 拡張性   | 標準化  | セキュリティ   |
|---------|---|--|--|
| プライベート型 | <ul style="list-style-type: none"> <li>バリューチェーンの水平方向並びに垂直方向の拡張、提供サービス拡充、提供サービス質向上</li> <li>「BtoB」への拡張</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>将来の拡張に伴い問題顕在化</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>データ通信の安全性</li> <li>データベースの安全性</li> <li>将来の拡張に伴い問題顕在化</li> </ul>   |
| BtoB型   | <ul style="list-style-type: none"> <li>対象組織の拡張、提供サービス拡充、提供サービス質向上、バリューチェーン軸の拡張</li> <li>参加企業の拡張</li> <li>「オープン型」に併せた拡張</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>標準化を目指す陣営との関係</li> <li>[有力企業]独自規格（囲い込み）か標準規格（オープン）か</li> <li>[有力企業の取引先]独自規格対応時のロックイン問題</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>営業機密流出</li> <li>外部からの攻撃標的</li> <li>データ通信の安全性</li> <li>データベースの安全性</li> </ul>                                     |
| BtoC型   | <ul style="list-style-type: none"> <li>地理的な拡張、提供サービス拡充、提供サービス質向上</li> <li>「オープン型」にあわせた拡張</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>標準化を目指す陣営との関係</li> <li>独自規格（囲い込み）か標準規格（オープン）か</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>個人情報の漏えいリスク</li> <li>外部からの攻撃標的</li> <li>データ通信の安全性</li> <li>データベースの安全性</li> <li>稼働率確保、性能（ピーク負荷時の反応速度）</li> </ul> |
| オープン型   | <ul style="list-style-type: none"> <li>地理的な拡張、提供サービス拡充、提供サービス質向上</li> <li>規制緩和に応じた拡張</li> </ul>                                   |  |  |

### 4. リアルオプション思考と IoT 投資

本節では不確実性と投資評価に関する課題を、リアルオプション的思考にもとづき検討する。なお、不確実性自体は DCF 法において、将来キャッシュフロー (CF) を割り引く割引率として吟味することができる。NPV では不確実性が大きいと割引率が大きくなり投資対収益が悪化する。実際に待機オプションは NPV を場合分けするだけでも検討できる。しかし、選択権を明確化して検討するには二項ツリーやシミュレーション、解析法などを用いる。

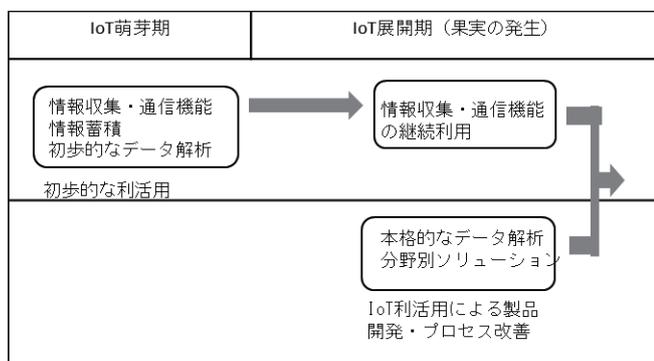
第 1 に最適投資タイミングを検討する待機オプションの定式化である (図表 5 参照)。投資時期ごとに、リスク調整済み割引率にもとづく NPV を求め比較する。投資延期したときの不確実性解消度をどう割引率に反映させるか、先行者利益喪失などの機会損失をどう CF に織り込むかがポイントである。

図表 5 待機オプション



第 2 に拡張オプションは初期投資が必要な場合、将来の拡張で生み出される価値を評価に織り込むのに有効である (図表 6 参照)。典型的な例として、データ収集・通信機能を先行投資し、データ利活用を拡張投資する場合がある。将来の IoT 展開期にソリューションの不確実性が解消し、大きな収益が望める場合だけ追加投資 (選択権行使) を行う。そのオプション価値を計算して、加味する。

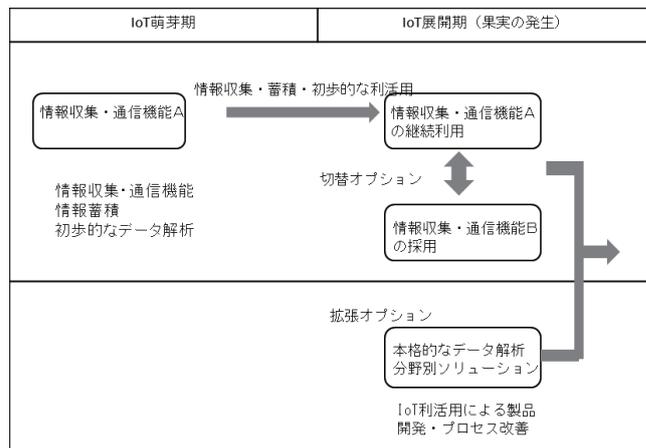
図表 6 拡張オプション



第 3 に標準化に関わる重要な判断を求められる場合は切り替えオプション付き拡張オプションを定

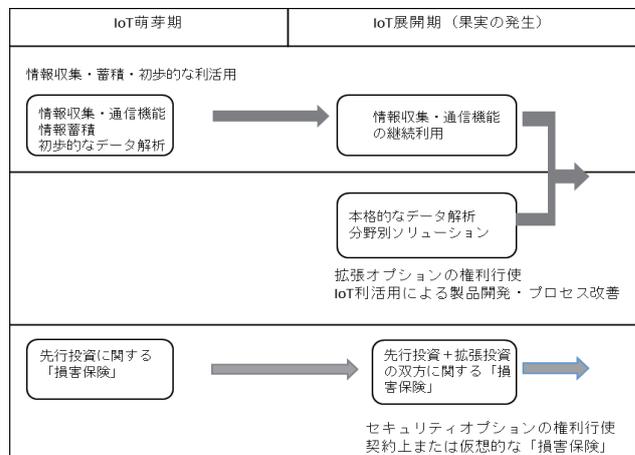
式化する (図表 7 参照)。拡張投資のタイミングで、標準化動向を踏まえ、先行投資したソフト・ハードを利用し続けるか、他に切り替えるか決断をする。従って、初期投資の NPV に拡張オプション価値を加える一方、切り替え柔軟性の価値並びに柔軟性を得るための対価 (オプション料)、切り替え費用をあわせて評価しなければならない。<sup>4</sup>

図表 7 切り替えオプション付拡張オプション



第 4 にセキュリティを重視する場合はセキュリティオプション付き拡張オプションを考慮する (図表 8 参照)。セキュリティオプションは、損害を受けた資産を買い取ってもらう廃棄オプションの 1 つで、リスク移転を定式化したものである。オプション料は必要十分とされるセキュリティ対策を行った上で発生する可能性のある損害を填補する「損害保険」を得る対価である。「損害保険」は実際に販売されているものであっても、計算上、算出された仮想的なものであっても良い。従って、初期投資の NPV に拡張オプション価値を加え、セキュリティオプション価値を控除したものが、評価対象となる。

図表 8 セキュリティオプション付拡張オプション



## 5. まとめと考察

リアルオプションはIoT投資の投資評価問題をどう活用できるだろうか。IoTソリューションは、その推進範囲に着目すると4つに分類できる。1つ目は組織内で進める「プライベート型」である。2つ目はデータ提供者や活用者が継続的取引のある企業の間にとどまる「BtoB ネットワーク型」である。3つ目は企業・消費者間の「BtoC型」である。4つ目は、広くデータ提供を受け、誰でもがソリューションの恩恵を受ける「オープン型」である。

小稿では、IoTソリューションが直面する不確実性について検討し、次にIoT投資の評価上の課題について考察した。第1に将来のIoTソリューションの拡張性をどう評価するかである。技術進展とともに生まれる選択肢には、バリューチェーンの水平方向並びに垂直方向への拡張、提供サービスの拡充、サービスの質向上などが考えられる。第2に標準化である。ある技術やインフラが普及して、利用者が増えれば増えるほどサービス提供価格が低減したり関連サービスが出現したりして、利用者がメリットを得やすくなる。逆に自社が採用した技術やインフラが国際的な標準から外れてしまうと不利益を被る。第3にインターネットやデータベースに関する、未知のセキュリティ問題への対応である。

次にこれらの課題をリアルオプションモデルでどう扱うかべきか検討した。第1に待機オプションで、最適投資タイミングを検討するため、投資時期ごとにNPVを求め比較する。延期につれ不確実性が解消される度合いを割引率に反映させ、機会損失をCFに織り込む。第2に拡張オプションで、バリューチェーンの水平方向や垂直方向への拡張、提供サービス拡充、サービスの質向上などが対象である。第3に標準化に着目する場合は切り替えオプションを、セキュリティを重視する場合はセキュリティオプションを、それぞれ拡張オプションを組み合わせる。

このようにリアルオプション的思考が、我が国企業のIoTソリューション推進に向け、投資上の課題を緩和するのに寄与する可能性がある。

最後に筆者の考えを述べたい。IoTソリューションをめぐる様々なレベルで国際的な標準化競争が行われており、我が国も産官学による対応を進めて貴重な成果を挙げている。しかしながら、技術力や市場規模の点から、米国、EU並びに中国が主導性を発揮することは避けられないだろう。「勝ち馬」に乗り遅れないように、標準技術とのインタフェースが最低限のコストでできるよう通信・セキュリティを中心にモジュール化を進め、プラットフォーム間接続を実機上で検証できるテスト・プラットフォーム

の構築に力を入れるべきである。こうした取り組みは、切り替えオプション料をある程度は国家が負担し、個々の企業の負担を軽減すると考える。

## 参考文献・資料

1. 木下泰三(2016)「IoT/M2Mの技術標準化、業界アライアンス最新動向」総務省情報通信審議会資料、[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000415663.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000415663.pdf) (2017年7月31日)
2. 経済産業省 製造産業局(2015)「IoTによるものづくりの変革」<https://www.nisc.go.jp/conference/cs/kenkyu/dai01/pdf/01shiryu0604.pdf> (2017年7月31日)
3. 関啓一郎(2016)「インダストリー4.0とIoTを理解するための基礎：業務プロセスのIoT化・モジュール化」『知的資産創造』2016年3月号
4. 総務省 (2016)「平成28年版情報通信白書」
5. 中小企業診断協会(2017)「スマートIoTビジネスにおける中小企業支援マニュアル」
6. 中小企業庁(2016)「IT導入支援もIoTの可能性について」
7. 寺門正人 (n.d)「インダストリー4.0で目指す新しい工場システム スマートファクトリー」日本IBM株式会社広報資料
8. 野村総合研究所(2016)「中小企業の成長に向けた事業戦略等に関する調査」
9. 藤田和重 (2015)「IoTをめぐる技術動向と今後の展開」HATSセミナー2015 総務省
10. 三菱総合研究所(2016)「IoT時代におけるICT産業の構造分析とICTによる経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究報告書」
11. Baldwin, Carliss and Kim Clark[2000], Design Rules Vol.1, Cambridge:MIT Press
12. Lee, In and Kyoochun Lee(2015), “The Internet of Things(IoT): Applications, investments and challenges for enterprises”, Business Horizons 58, pp.431-440
13. Taudes, A., (1998), “Software Growth Option”, Journal of Management Information Systems, Summer 1998, 15(1), pp.165-185
14. Industrie 4.0 Working Group(2014) “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0” National Academy of Science and Engineering

## 注記

<sup>1</sup> ゲートウェイには専用通信機器の他、汎用機器も用いる。アップルやサムソンは家庭用テレビを、センサーやアクターを束ねるゲートウェイとして検討している。

<sup>2</sup> 匿名加工情報は、ビッグデータの利活用に向けて2015年個人情報保護法改正により創設された制度で、本人の同意に代わる一定の条件の下、特定の個人を識別することができないよう加工されたデータである。

<sup>3</sup> 「Industrie4.0」はデジタル標準化を志向し、他規格と容易につながる事が特長である(関啓一郎, 2016)。日本の部品会社が欧州有力メーカーとつなげなかったり、工作機械メーカーが門前払いされたりする可能性は小さい。将来の柔軟性確保費用も原則不要である。

<sup>4</sup> Baldwin and Clark(2000)は、IT分野のモジュール化を、切り替えオプションとして定式化している。

〈査読論文 2017年12月4日採択〉

## 不確実性下の投資戦略への確率的 MPEC アプローチ

- 各種発電テクノロジーへの最適投資ミクス問題 -

### A Stochastic MPEC Approach to Strategic Investment in Electricity Technologies

高森 寛 (早稲田大学) 吳 瑛禄 (株 シーエスデー) 長坂 研 (東京農工大学)

Hiroshi Takamori (Waseda University)

Eiroku Go (CSD Co., Ltd.)

Ken Nagasaka (Tokyo University of Agriculture and Technology)

**Summary:** The strategic Investment involves expenditure decisions for technologies as well as short term operational decisions under the fixed set of technology capacities committed in the initial investments. The operational decisions are typically made in response to the actual realizations of uncertain external parameters. The model for such strategy usually takes the form of the bi-level problem in which some of the constraints is itself an optimization problem in addition to the global optimization objective for the long-term planning. An effective way for handling the lower-level optimization in the bi-level problem is what is known as MPEC (mathematical Programs with Equilibrium Constraints) approach. The MPEC modelling transforms the lower-level optimization into a set of equalities of the Kuhn-Tucker optimality condition. This paper looks into the equilibrium mix of generation technologies in the liberalized electricity market.

**キーワード:** 不確実性、インフラ投資、確率計画法、二段階問題、MPEC 法

## 1. はじめに

本研究では、自由化された電力市場を事業環境として、いくつかの異なる発電テクノロジーへの長期設備投資の決定の問題を例として、不確実性下の産業インフラへの投資戦略の問題のモデリングを行う。

このように、電力の取引が市場ベースでなされ、また、多くの発電事業者が、各種発電テクノロジーをもって参入できる事業環境において、どのような発電設備のミクスが実現されるかのモデリングを行う。ここで、各種発電テクノロジーとは、原子力発電、火力発電、調整用火力発電、太陽光発電、風力発電などの発電技術をいうが、これらは、設備投資の大きさと発電限界費用の違いで特性づけられる。また、再生可能エネルギー発電は、その出力が不確定で、コントロールできないなどの特性がある。

これら発電事業インフラへの設備投資は、長期の投資戦略の問題であるが、時々刻々の事業においては、需給関係と自然現象などの不確定性のゆえに、市場価格が大きく変動し、また、遊休化する設備などが生じ、事業性をいかに確保できるかなどが解決されねばならない。

本研究では、このような不確実性下の設備投資に関わる長期計画問題と短期運用問題が連結される問題を扱う。需要や風力発電等の不確実性は、いくつ

かのシナリオの集合として定義し、確率計画法の問題としてモデル化する。通常の最適化問題は、いくつかの制約条件のもとで、一つの目的関数を最大化あるいは最小化する問題として定式化され、制約条件は不等式および等式で与えられる。しかし、本研究で扱う問題は、長期計画問題と短期運用問題を包括的にモデル化するにあたり、制約条件自体が、最適化問題となる。この種の問題は、二段階問題 (Bi-Level Problem) と呼ばれている。

二段階問題 (Bi-Level Problem) を、通常の最適化問題として扱うために、下段の最適化問題については、Kuhn-Tucker の最適化条件を complementarity condition と呼ばれる方程式系に変換して扱う MPEC (Mathematical Programs with Equilibrium Constraints) 法が知られている。本研究では、この MPEC 法により、不確実な将来の電力市場へむけての最適発電インフラ・ミクスを見出すことを試みる。

本研究が参照している文献は、Conejo・他 (2016)、Maurovich-Horvat・他 (2015) および Wogrin・他 (2011) 等である。

## 2. 電力発電設備への投資戦略モデル

### 2.1 二段階 (Bi-Level) 問題の構造

ある一つの経済域を想定して、そこでの電力需要や、

再生可能発電設備からの供給量などは、時間や外的環境の条件によって変動する。そこで、これら不確実に変動する諸条件のパラメータ・ベクトルをシナリオと呼ぶことにする。本稿では、不確実事象は、以下の(2)式に仮定する需要関数のパラメータ  $E^s$ 、 $\alpha^s$  と、風力発電である発電タイプ1の稼働率  $w^s$  とする。よって、シナリオ・ベクトルは、

$$H^s = (E^s, \alpha^s, w^s), \quad s \in \Omega \quad (1)$$

で表現できる。

シナリオ  $H^s$  の実現確率を  $\theta^s$  と記述する。

シナリオ  $H^s$  が実現したときの電力需要は、線形の需要関数

$$d = E^s - \alpha^s p \quad (2)$$

$d$  : 電力需要 (MW),  $p$  : 市場価格 (万円/MWh)

で記述することにする。ここで、 $E^s$  および  $\alpha^s$  は、シナリオ  $s$  における需要関数の  $y$  切片および需要関数の傾きである。ここで、需要  $d$  は、特定の時間区間あたり、例えば、1時間あたりの電力量 (MW) である。

このように、「長期の不確実性シナリオの展開が想定される経済域において、各種発電テクノロジーでの電力供給事業者が自由参入できるとき、どのようなテクノロジーミクスが均衡形成されるか」の問題を、ここでは、上段問題と呼ぶ。

従って、上段問題での決定変数は、図1に示すように、

$G_i$  : 発電技術  $i$  の設備設置容量 (MW),  $i=1,2,\dots,N$ 。

である。この論文では、発電技術タイプ  $i$  として、 $I = \{1,2,3\}$  の集合があると仮定して、 $i=1$  は、風力発電、 $i=2$  は通常の火力発電、 $i=3$  は調整火力発電としている。

これら  $\{G_1, G_2, G_3\}$  を決める上段問題での決定主体は、各発電テクノロジーで参入する事業者たちである。発電費用関数は、各技術タイプ  $i$  について、

$$C_i(q_i) = C_i^0 + c_i q_i, \quad i \in I \quad (\text{万円/h}) \quad (3)$$

$q_i$  : 発電レベル (MW/h), 1時間あたり発電量。と仮定する。ここで、 $C_i^0$  は、1時間あたりの固定費用であり、タイプ  $i$  の発電設備への投資費用を1時間あたり費用に換算した資本回収費を含む。

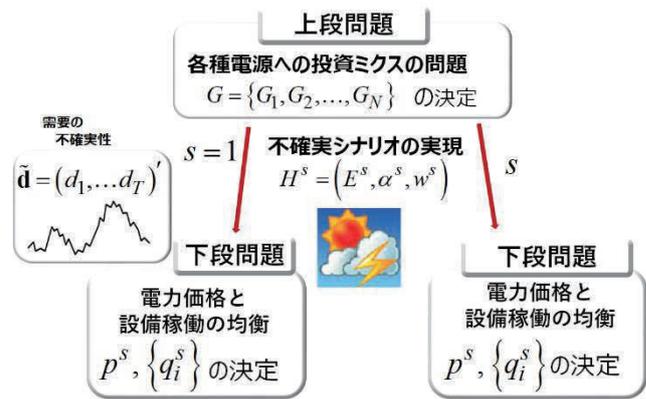


図1 二段階(Bi-Level)問題の構造

上段での戦略投資において、発電タイプ  $i$  に大きな設備投資をすると固定費  $C_i^0$  が大きくなる。これは設備が稼働していないとき、すなわち、 $q_i = 0$  のときでもおおきな費用負担となる。

上段問題は、図1の下段問題と切り離して、独立に解くことはできない。

一方、下段問題では、上段での設備容量決定  $\{G_1, G_2, G_3\}$  は、所与の条件となる。加えて、各種の不確実事象が実現している条件の下での電力取引の均衡を求める問題である。

下段問題では、発電事業者間での価格競争の結果として、均衡価格や各発電タイプの供給量、事業者収益がきまるが、それらは上段問題での戦略決定と不確実事象の実現に依存する。一方、下段問題での収益性との関連で、上段問題の設備決定が可能となる。

## 2.2 電力取引の市場環境と市場均衡

下段の市場取引モデルでは、上段決定  $\{G_1, G_2, G_3\}$  およびシナリオ  $H^s = (E^s, \alpha^s, w^s)$  を所与として、以下の運用変数の均衡値が求められる：

$q_i^s$  : 発電事業タイプ  $i$  の発電供給量 (MW),  $i=1,2,3$ 。

$p^s$  : シナリオ  $s$  のときの電力価格 (万円/kWh)。

$R_i$  : 発電事業タイプ  $i$  の運用収益 (万円/h)。

図2に、逆需要関数

$$p^s(d) = \frac{E^s}{\alpha^s} - \frac{1}{\alpha^s} d \quad (4)$$

を描く。次に、各発電タイプ  $i$  の限界費用関数

$$\frac{dC_i(q_i)}{dq_i} = c_i, \quad i=1,2,3 \quad (5)$$

を、小さい順番に並べて描く。この階段上の曲線は、すべての発電設備を合わせての市場全体の限界費用

関数であり、メリット・オーダー階段とも呼ばれている。各階段の横の長さはそのタイプの供給容量  $\{w^s G_1, G_2, G_3\}$  である。発電タイプ2と3については、上段で決められる  $G_2, G_3$  であるが、風力発電の供給容量は、シナリオ実現に依存して  $w^s G_1$  となる。

ミクロ経済学では、この限界費用関数の逆関数は、市場への電力供給関数になることが示されている。

図2に示すように、限界費用関数が階段状の形状になる場合には、限界費用の最も安いタイプ1の事業者群が、価格競争力のゆえに、その供給容量一杯の  $w^s G_1$  まで供給する。すなわち、 $q_1^s = w^s G_1$  である。つぎに、安いタイプ2の事業者群が供給するが、その供給量  $q_2^s$  は、市場で需要と供給が均衡するまでである。すなわち

$$q_1^s + q_2^s = d^s \quad (6)$$

が成り立つ点であるので、同図で、需要曲線と限界費用曲線が交わる点が、電力取引が均衡する点となる。同図のような形状の場合は、発電タイプ2は、供給容量が一部遊休化する。また、発電タイプ3は、すべての発電設備が遊休化することになる。

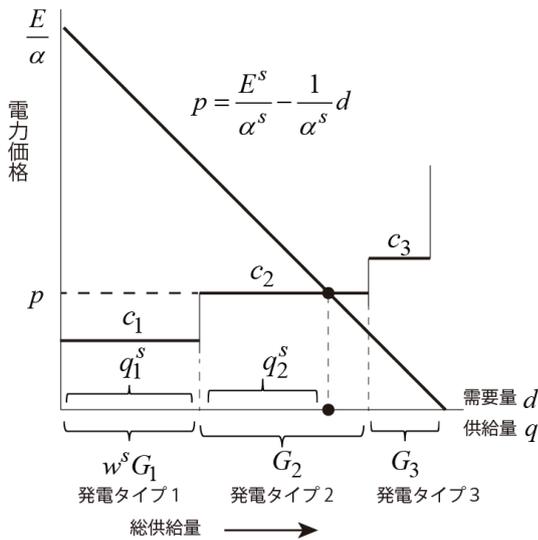


図2 シナリオsにおける電力取引の均衡

**最適化問題としての下段問題**

前節で図2によって、下段での市場均衡の解の求め方が図解で示された。

この節では、この均衡解を求めるための最適化問題を定式化する。

市場均衡解は、逆需要関数(4)と各タイプの発電限界費用(5)で構成される限界費用関数の交点にある。

逆需要関数(4)は、限界需要効用ともよばれ、需要効用 (demand utility) は、これを積分して

$$U^s(d) = \int_0^d p^s(x) dx = \frac{1}{\alpha^s} (E^s d - d^2 / 2) \quad (7)$$

と定義される。

下段での市場均衡の求め方は、図2の図解で示しているが、それは、次の最適化問題を解くことに相当する：

**下段問題**

$$\max_{q_i^s, d^s} U^s(d^s) - \sum_i C_i(q_i^s) \quad (8)$$

制約：

$$\pi^s : \sum_i q_i^s = d^s \quad (9)$$

$$\gamma_1^s : q_1^s \leq w^s G_1 \quad (10)$$

$$\gamma_i^s : q_i^s \leq G_i, \quad i=1,2 \quad (11)$$

ここで、目的関数の需要効用  $U^s(d^s)$  は(7)に定義され、供給費用関数  $\sum_i C_i(q_i^s)$  は、(3)に定義されるものである。この最適化問題において、各制約式の左端の記号  $\pi^s, \gamma_i^s, i=1,2,3$  は、各制約に関連づけられるシャドウ・プライス (ラグランジュ乗数) である。また、この最適化問題の決定変数として、均衡価格  $p^s$  が陽表的に表れていないが、最適解  $d^s, q_i^s$  等が決まれば、(2)から電力の均衡価格  $p^s$  が決まることは明らかである。

最適化問題(8)~(11)の Kuhn-Tucker 最適解条件は、次のように表現される。Kuhn-Tucker 条件の説明は付録(A.1)に示す。また、以下の「問題(8)~(11)の K-T 条件」の導出は付録(A.2)に示す。:

**問題(8)~(11)の Kuhn-Tucker 最適解条件**

1.  $\frac{E^s}{\alpha^s} - \frac{1}{\alpha^s} d^s = \pi^s$
2.  $c_i + \gamma_i^s \geq \pi^s, \quad q_i^s \geq 0,$   
 $q_i^s (c_i + \gamma_i^s - \pi^s) = 0, \quad i=1, 2, 3$
3.  $\sum_i q_i^s = d^s \quad (12)$
4.  $\gamma_1^s, \gamma_2^s, \gamma_3^s \geq 0, \quad q_1^s \leq w^s G_1, \quad q_i^s \leq G_i, \quad i=1, 2,$
5.  $\gamma_1^s (w^s G_1 - q_1^s) = 0,$   
 $\gamma_2^s (w^s - q_2^s) = \gamma_3^s (w^s - q_3^s) = 0$

このK-T条件を、図2および図3の図解で確認する。各発電設備のスラック（遊休容量）を

$$y_1^s = w^s G_1 - q_1^s, y_i^s = G_i - q_i^s, i=2,3 \quad (13)$$

としよう。条件6.は、各設備*i*について、「スラック  $y_i^s$ か、その容量制約のシャドープライス  $\gamma_i^s$ のいずれかが、ゼロでなければならない」といっている。すなわち

$$\gamma_i^s \cdot y_i^s = 0, i=1,2,3 \quad (14)$$

シャドープライス  $\gamma_i^s$ は、発電設備*i*の価値を示すもので、設備*i*がフル稼働してなくて、スラックがあるとき ( $y_i^s > 0$ ) は、もうこの設備容量  $G_i$ を増加しても価値はないので、 $\gamma_i^s = 0$ でなければならない。図3では、 $y_1^s = w^s G_1 - q_1^s = 0$ であるので、 $\gamma_1^s > 0$ となっている。しかし、発電タイプ  $i=2,3$  では  $y_i^s = G_i - q_i^s > 0$ なので、 $\gamma_i^s = 0, i=2,3$ である。

条件1.は、シャドープライス  $\pi^s$ が、この市場で電力の需要と供給が一致したときの均衡価格であることを示している。ここで、

$$x_i^s = c_i + \gamma_i^s - \pi^s, i=1,2,3 \quad (15)$$

なる変数  $x_i^s$ を定義しよう。この  $x_i^s$ は発電タイプ*i*の発電単価  $c_i$ とその設備価値  $\gamma_i^s$ の和から、電力市場価格  $\pi^s$ を引いたものである。条件の2.は、この  $x_i^s$ が非負であると同時に、

$$q_i^s \cdot x_i^s = 0, i=1,2,3 \quad (16)$$

でなければならないといっている。いいかえれば、発電タイプ*i*が  $q_i^s > 0$ で供給する場合は、 $x_i^s = 0$ 、すなわち、 $c_i + \gamma_i^s = \pi^s$ となる。

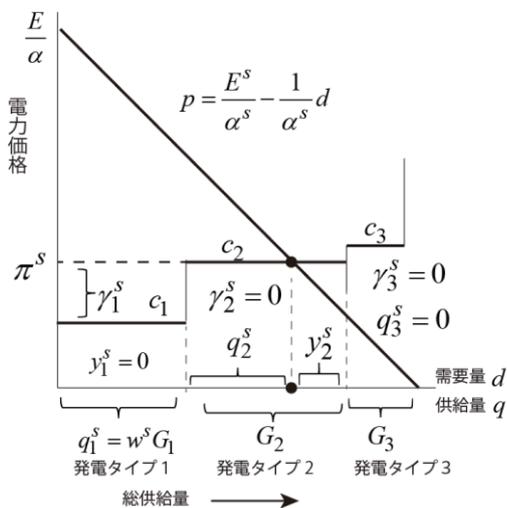


図3 最適解条件の図解

図3では、発電タイプ  $i=1,2$ については、 $q_i^s > 0$ であるため、 $x_1^s = x_2^s = 0$ 、すなわち

$$c_i + \gamma_i^s = \pi^s, i=1,2 \quad (17)$$

となる。しかし、発電タイプ  $i=2$ では  $y_2^s = G_2 - q_2^s > 0$ であるため、 $\gamma_2^s = 0$ となって、 $c_2 = \pi^s$ となる。最適解条件を理解するために導入した変数  $y_i^s, x_i^s$ は、次のように、ベクトルとして定義する。

$$\mathbf{x}^s = (x_1^s, x_2^s, x_3^s), \mathbf{y}^s = (y_1^s, y_2^s, y_3^s) \quad (18)$$

最適解条件(12)は、これらの非負ベクトルを使って、簡潔に、

**相補性 (complementarity) 条件 :**

$$0 \leq \mathbf{q}^s \perp \mathbf{x}^s \geq 0 \quad (19)$$

$$0 \leq \boldsymbol{\gamma}^s \perp \mathbf{y}^s \geq 0$$

と表わせる。ここで、記号“ $\perp$ ”は、二つのベクトルが直交していることを表す。「二つのベクトル  $\mathbf{q}$  と  $\mathbf{x}$  が直交している」とは、内積がゼロということであり、

$$\mathbf{q} \cdot \mathbf{x} = \sum_{i=1}^3 q_i^s x_i^s = 0 \quad (20)$$

を意味する。さらに、各要素について、 $q_i^s \geq 0, x_i^s \geq 0, i=1,2,3$ なら、(20)は、(16)を意味する。同様に、(19)の  $0 \leq \boldsymbol{\gamma}^s \perp \mathbf{y}^s \geq 0$  は(14)を意味する。よって、K-T 最適解条件(12)は、簡潔な相補性条件(19)で置き換えることが可能である。詳細は、付録 A.3にまとめる。

### 2.3 上段問題：長期戦略投資問題

図1に示すように、各種発電テクノロジーをもっての発電事業者が、その発電設備への投資規模 ( $G_1, G_2, G_3$ )を策定するにあたり、重要な不確実事象は、将来の長期間において、各時間帯における需要曲線のパラメータ  $E, \alpha$  および、風力発電設備の稼働係数  $w$  などであるが、投資規模の決定は、これら事象の実現に先立つ決定である。

2.1節では、これら不確実事象の可能集合は、(1)式のベクトル集合で表現できることを示した。

上段問題は、各種発電技術への設備投資に関わる意思決定であり、すでに述べたように、主たる決定変数は、( $G_1, G_2, G_3$ )である。また、重要なパラメータとして以下がある。

#### 投資費用パラメータ

$\beta_i$  : 発電技術*i*タイプの設備への投資単価 (1時

間あたりの投資回収額) (万円/MW/h)。これは、単位時間あたり等価投資費用ともいう。

### 上段問題： 長期設備投資問題

上段問題での意思決定主体は、各タイプの発電事業者であり、発電事業への参入が自由な事業環境を想定している。各技術タイプ*i*について、多くの発電事業者がいると仮定する。しかし、各タイプの発電テクノロジーは社会で共有されており、どの事業者でも、その費用構造は同一である。決定変数  $G_i$  は、各タイプ*i*のトータルの設置容量である。

以下のように、上段問題での目的関数(21)は、発電事業による単位時間あたりの運用収益期待値から、時間当たり投資単価を差し引いてのネットの利益である。

#### 上段問題：

$$\max_{G_i} \sum_s \theta^s \left[ U^s(d^s) - \sum_i C_i(q_i^s) \right] - \sum_i \beta_i G_i \quad (21)$$

制約： 下段問題：(8)から(11),  $s \in \Omega$

ここで、制約部分は、2.2節で定式化した最適化問題である。

以上のように、下段問題(8)および(11)は、上段問題での目的(21)を最大化するにあたっての制約条件としての最適化問題となる。シナリオ  $H^s$  が  $N^s$  個あると、上段問題では  $N^s$  個の下段最適化問題を包含することになる。

### 3. 二段階問題への MPEC アプローチ

本来、最適化問題は、複数の等式あるいは不等式の制約のもとで、一つの目的関数を、最大化あるいは最小化する問題である。しかし、ここで解きたい上段問題(21)、(8)および(11)では、その制約条件が、いくつかの最適化問題として定式化されている。

このような二段階問題を扱う方法として、MPEC法 (Maurovich-Horvat 他 (2015)、Wogrin 他 (2011) 参照) が知られている。

MPEC法では、下段の最適化問題の最適解が満たすべき条件を、「Kuhn-Tucker 条件 (あるいは、K-K-T 条件)」として知られる等式制約系に変換する。ただし、K-K-T 条件で導かれる等式制約は、相補性 (complementarity) 条件と呼ばれて、(19)のような非線形等式であり、「二つの変数の掛け算がゼロに等しい」という形になる。これは、通常の変数の最適化手法では扱えない。0-1 整数最適化の手法が有効になる。

以下に、下段問題(8)および(11)を、MPEC法で、0-1 整数最適化問題に変換する。

この下段問題の最適解は、相補性(complementarity)条件(19)を満たす非負のベクトル  $q^s, x^s, \gamma^s, y^s$  を見出すことであり、それは、以下の連立方程式を解くことに相当する。

$$\begin{aligned} q_i^s \cdot x_i^s &= 0, \quad i=1,2,3 \\ \gamma_i^s \cdot y_i^s &= 0, \quad i=1,2,3 \end{aligned} \quad (22)$$

ただし、

$$x_i^s = c_i + \gamma_i^s - \pi^s, \quad i=1,2,3 \quad (23)$$

$$y_1^s = w^s G_1 - q_1^s, \quad (24)$$

$$y_i^s = G_i - q_i^s, \quad i=2,3$$

$$\begin{aligned} \sum_i q_i^s &= d^s \\ \frac{E^s}{\alpha^s} - \frac{1}{\pi^s} d^s &= \pi^s \end{aligned} \quad (25)$$

これら連立方程式(22)~(25)は、(22)を除いては、線形方程式である。そして、この(22)のタイプの非線形制約は、連続変数の数値解法では扱いが困難である。たとえば、 $q_i^s \cdot x_i^s = 0$ なる条件は、理論的には、

1.  $x_i^s > 0$  なら、 $q_i^s = 0$  でなければならない
2.  $q_i^s > 0$  なら、 $x_i^s = 0$  でなければならない

を意味する。それでは、 $x_i^s = 0.05$  で、 $q_i^s = 0.0001$  の場合、 $x_i^s \cdot q_i^s = 0.000005$  で、ほぼ、ゼロと解釈してよいであろうか。そして、上の1.、2.の条件は満たされているのであろうか。数値計算の手続きでは、きわめて、あいまいな判定をしてしまう。

上の1.、2.のような論理関係を正確に表現するには、0か1の値しかとることを許されない変数、

$$X_i^s = 0, \text{ or } 1, \quad i \in I \quad (26)$$

を導入することである。これを使って、以下の線形不等式を定義できる：

$$\begin{aligned} x_i^s &\leq M \cdot X_i^s, \\ q_i^s &\leq M \cdot (1 - X_i^s) \end{aligned} \quad (27)$$

ここで、 $M$  は、 $q_i^s, x_i^s, \lambda_i^s, y_i^s$  にくらべて、極度に大きい正の定数である。 $X_i^s = 1$  のときは、上の1.の論理関係が保証される。また、 $X_i^s = 0$  のときは、上の2.の論理関係が保証される。

#### 4. 各種電源への投資ミクス問題の例

ある一つの経済域を想定する。

発電事業者タイプ  $i$  として、 $i=1,2,3$ があると仮定して、 $i=1$ は通常の火力発電技術、 $i=2$ は、調整火力発電、 $i=3$ は、風力発電技術をする。

各発電技術タイプの限界費用定数を次のように仮定する。

ここで取り上げている各種発電技術について、現在、妥当な固定費  $\beta_i$  と発電経費（限界費用）と思われる値は、表 1 に示すような値である。しかし、これらの技術進歩が、かなり早く、将来へ向けての計画のためには、特に、再生可能エネルギー等は、これらより、廉価になった場合にむけての比較検討が望ましい。

表 1 発電技術タイプの費用構造 A

| $i$       | 1    | 2    | 3     |
|-----------|------|------|-------|
|           | 風力発電 | 通常火力 | 調整用火力 |
| $\beta_i$ | 0.6  | 0.55 | 0.22  |
| $c_i$     | 0.01 | 1.6  | 2.0   |

: 固定費（万円/MW/h）

: 発電限界費用（万円/MW/h）

##### 4.1 需要曲線変動のシナリオの作成について

本研究での発電設備への投資計画問題では、主たる不確実事象は、対象の経済域における需要関数の変動である。一年間、8,760 の時間帯があるが、各時間帯すべてにおいて、需要関数は異なるであろう。需要関数は、直線(2)および(4)式で表すが、まったくのランダムにいくつかを選ぶわけにいかない。そこで、ここでは、電力価格が  $p=2.5$ (万円/MWh)における価格弾力性が、同じ  $\eta=-0.5$ であるような需要曲線群の中から、各シナリオの需要曲線を選ぶことにした。

需要関数  $D(p)$  の価格弾力性  $\eta$  は、次の式で定義される。

$$\eta = \frac{dD/D}{dp/p} = \frac{p}{D} \frac{dD}{dp} \quad (28)$$

すなわち、価格が 1% 変化したときに、需要が何% 変化するか概念である。本研究では、需要関数として直線(2)式を仮定しているので、 $dD/dp = -\alpha$  であるが、直線上の位置によって価格弾力性  $\eta$  は異なる。

よって、 $p=2.5$ (万円/MWh)での価格弾力性が、

$\eta=-0.5$ であるような需要曲線群は、

$$\frac{2.5}{D} \cdot (-\alpha) = -0.5 \quad (29)$$

を満たす。

そこで、年間 8,760 時間において、どのくらいの比率で、需要レベルがどのレベルにあるかの観察が有用である。図 4 に示す曲線は、負荷持続曲線と呼ばれるもので、年間 8,760 時間の各時間帯における電力需要を大きい順番に並び変えたものである。この負荷持続曲線の形状自体は、異なる経済域においても、かなり安定的に、類似していることが観察されている。図 4 では、負荷持続曲線に重ねて、階段上の近似的な負荷持続レベル線  $\{L1=1500\text{MW}, L2=1000\text{MW}, L3=800\text{MW}, L4=300\text{MW}\}$ を描いている。それぞれの需要レベル  $L_i$  に対応する持続時間は、同図で、 $\{T1, T2, T3, T4\}$ として読み取ることができる。

たとえば、レベル線  $L1=1500\text{MW}$  に対応する需要関数を設定するには、 $D=1500$ を(29)式に代入して、

$$\frac{2.5}{1500} \cdot (-\alpha) = -0.5 \Rightarrow \alpha = 200$$

を得る。もう一つのパラメータ  $E$  は、(2)式に  $d=1500$  を代入して、

$$E = 1500 + 300(2.5) = 2250$$

を得る。また、このようにして、 $L1$ 直線部分に対応する需要曲線

$$d = 2250 - 300p \quad (30)$$

が発生する確率は、

$$\pi^1 = T1/8760 \quad (31)$$

とすることができる。

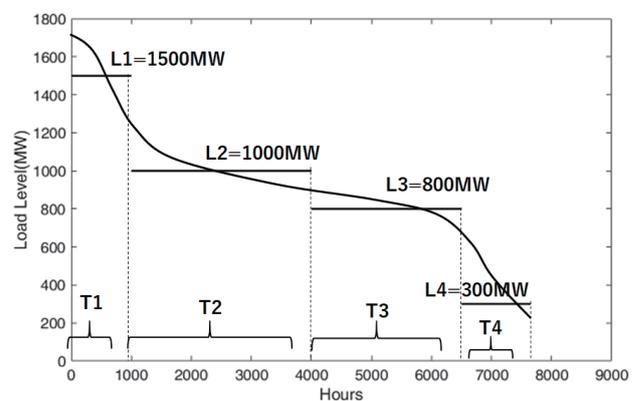


図 4 負荷持続曲線から需要曲線シナリオへ  
負荷持続曲線を分割する個数  $N$  は、必要に応じて、

増やすことが望ましい。ここでは、 $N=1$ とした。

以上の手続きで、図4の四つの需要レベル  $L_i$ ,  $i=1,2,3,4$ , に対応する需要関数シナリオを作成した。

すなわち、(1)式で定義されたベクトル  $H_s$  の実際の数値である。

表2 不確実事象についての四つのシナリオ

| シナリオ $s$   | 1    | 2    | 3    | 4   |
|------------|------|------|------|-----|
| $E^s$      | 2250 | 1500 | 1200 | 450 |
| $\alpha^s$ | 300  | 200  | 160  | 60  |
| $w^s$      | 0.2  | 0.3  | 0.25 | 0.3 |
| 確率 $\pi^s$ | 0.25 | 0.25 | 0.3  | 0.2 |

この表で、 $w^s$ の行は、発電タイプ(風力発電)の稼働率である。この $w^s$ は、需要曲線の不確実性との相関があるかは不明であるので、ここでは、統計的に独立であると仮定して、シナリオ数値を設定した。

表2に示した各シナリオの需要関数を図5に描く。

これらは、いずれも、価格が  $p=2.5$  (万円/MWh) のときに、需要の価格弾力性は  $\eta=-0.5$  である。また、図5に示されているように、価格が  $p=2.5$  (万円/MWh) のときの需要レベルは、 $s=1$  で、 $d=1500$  MW,  $s=2$  で  $d=1000$  MW,  $s=3$  で  $d=800$  MW,  $s=4$  で、 $d=300$  MW である。

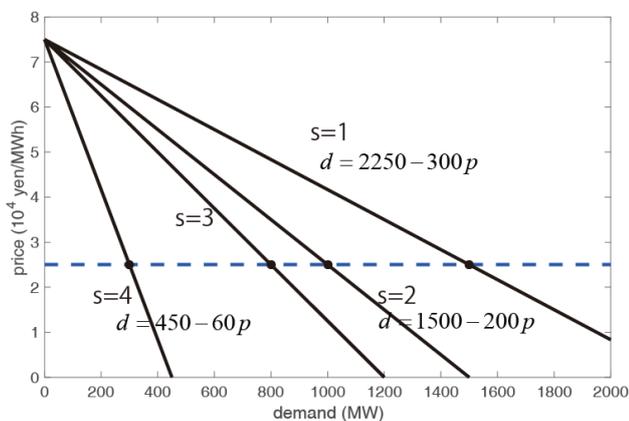


図5 各シナリオの需要曲線

#### 4.2 計算結果：発電技術と最適電源構成

各種発電テクノロジーについて、標準的な投資単価と運用費用の標準的な構造Aとして表1のように仮定して、また、シナリオ集合としては、表2のセットを設定した。

上段問題(21)と下段問題(8)から(11)の二段階問題を、混合整数計画問題として解いた結果として、次が得られた。

#### 発電技術の費用構造 A での分析

均衡の各設備の設置規模として、表3が得られた。

この費用構造Aの状況では、風力発電の技術G1は、まだ、コスト高であり、この発電技術は電源ポートフォリオに含まれるには、経済性が成立しない。この発電技術がコスト高である理由は、一つは、表1に見るように、投資費用に依存する固定費  $\beta_1=0.6$  (万円/MW/h) が、他の技術の固定費  $\beta_2, \beta_3$  と比較して高いことがいえるが、もう一つは、自然現象に依存しての稼働率  $w_s$  が、表3のどのシナリオにおいても、 $w_s=0.2\sim 0.3$ の低いレベルであることによる。

表3 費用構造Aでの設備容量投資

|          | 風力発電 | 通常火力 | 調整火力  |
|----------|------|------|-------|
| 設置容量(MW) | 0    | 330  | 196.5 |

表3の発電設備G2,G3からの供給量は、各シナリオにおいて、表4のようになる。

表4 費用構造Aでの各シナリオでの均衡

| シナリオ $s$   | 1     | 2     | 3     | 4   |
|------------|-------|-------|-------|-----|
| G1 供給(MW)  | 0     | 0     | 0     | 0   |
| G2 供給(MW)  | 330   | 330   | 330   | 330 |
| G3 供給(MW)  | 196.5 | 196.5 | 196.5 | 0   |
| 価格(万円/MWh) | 5.7   | 4.9   | 4.2   | 2.0 |
| 期待利益(万円/h) | 2,104 | 1,642 | 1,295 | 132 |

表4の各シナリオでの均衡供給と価格は、図6に示す需用曲線と供給曲線のバランスから得られていることになる。

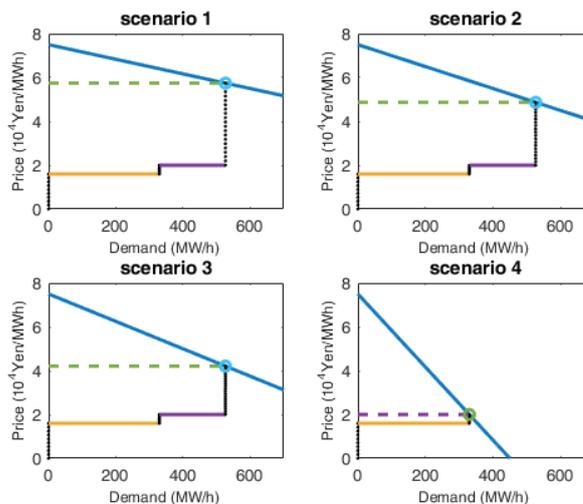


図6 費用構造A：各シナリオでの需給均衡と価格

これは、(8)~(11)でモデル化した下段問題での均衡が、各シナリオ下で、どのように実現しているかを

示している。

これら表 4、図 6 での各均衡の特色は、シナリオ 1、2、3 において、設置されている設備 G2, G3 がフル稼働状態であることである。しかも、均衡が運用費用  $c_3 = 2.0$  のフラットな部分で需要曲線と交わるのではなく、フル稼働からの垂線と需要曲線が交わり、電力価格がかなり高い水準で均衡がなりたっている。

これらのことは、上段問題での設備投資が、極めて低めに抑えられていて、設備の遊休が生じないような設備投資がなされていることが観察される。表 4 から、発電設備に遊休が生じるのは、シナリオ 3 においてのみである。

**発電技術の費用構造 B での分析**

現在、再生可能エネルギーの活用技術が急速に進んでいて、風力発電の投資固定費が表 1 における  $\beta_1 = 0.6$  (万円/MW/h) よりも廉価になっている状況を想定する。加えて、公的な政策により、風力発電への投資助成などにより、表 5 の費用構造 B では、 $\beta_1 = 0.342$  (万円/MW/h) と、費用構造 A と比較して、顕著に廉価に設定した。他の技術についても、若干、費用を調整した。

表 5 発電技術の費用構造 B

| $i$       | 1     | 2    | 3    |
|-----------|-------|------|------|
|           | 風力発電  | 通常火力 | 調整火力 |
| $\beta_i$ | 0.342 | 0.55 | 0.27 |
| $c_i$     | 0.01  | 1.5  | 2.0  |

費用構造 B における各発電タイプ事業者の利益最大化の投資規模は、表 6 のように得られた。この場合、風力発電規模が G1=2,235.8MW, 通常火力は G2=19.1MW、調整火力は G3=0 である。

表 6 費用構造 B での設備容量投資

|          | 風力発電   | 通常火力 | 調整火力 |
|----------|--------|------|------|
| 設置容量(MW) | 2035.8 | 19.1 | 0    |

この設備構成での各シナリオでの需給均衡の実現は、表 7 の通りである。

表 5 の各シナリオでの均衡供給と価格は、図 7 に示す需用曲線と供給曲線のバランスから得られていることになる。これは、(8)~(11)でモデル化した下段問題での均衡が、各シナリオ下で、どのように実現しているかを示している。

表 7 費用構造 B での各シナリオでの均衡

| シナリオ s     | 1     | 2     | 3     | 4     |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| G1 供給(MW)  | 240   | 360   | 300   | 360   |
| G2 供給(MW)  | 230   | 230   | 230   | 0     |
| G3 供給(MW)  | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 価格(万円/MWh) | 5.9   | 4.6   | 4.2   | 1.5   |
| 期待利益(万円/h) | 2,441 | 2,336 | 1,871 | 536.4 |

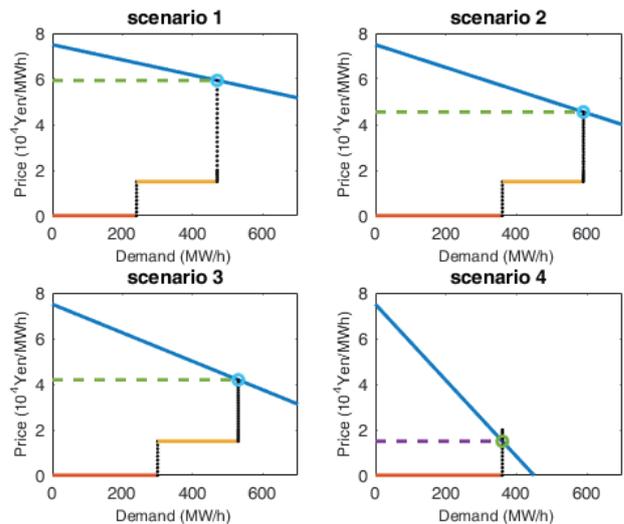


図 7 費用構造 B：各シナリオでの需給均衡と価格

これら表 7、図 7 での各均衡においても、シナリオ 1、2、3 において、設置されている設備 G1, G2 がフル稼働状態であることが見られる。しかも、均衡が運用費用  $c_3 = 1.5$  のフラットな部分で需要曲線と交わるのではなく、フル稼働からの垂線と需要曲線が交わり、電力価格がかなり高い水準で均衡がなりたっている。

これらのことは、やはり、上段問題での設備投資が、極めて低めに抑えられていて、設備の遊休が生じないような設備投資がなされていることが観察される。表 4 および表 7 から、発電設備に遊休が生じるのは、シナリオ 3 においてのみである。

**4.3 計算結果のまとめ**

表 6 に見られるように、費用構造 B と、表 2 のシナリオのもとでは、調整火力の設置はゼロというような非現実的な投資案が得られている。これは、やはり、シナリオが 4 つしかない状況では、現実の不確実性が十分に反映され、モデル化されていないことを意味している。とくに、図 4 の負荷持続曲線をベースに需要曲線のシナリオを作成する過程で、ピーク需要の部分での持続曲線部分については、その分割をきめ細かく行うことが、重要と思われる。

もうひとつ、観察された顕著な現象は、電力価格の均衡が、どのシナリオにおいても、かなり、高いレベルに収まっていることがある。しかも、設置されている発電設備がすべてフル稼働して、もうこれ以上の供給ができない状況での需給ギャップが、価格の高騰になってあらわれている。

## 5. まとめと今後の課題

この研究では、規制緩和されて、市場ベースで、参入が自由な事業環境を仮定して、各種の発電テクノロジーでの事業投資戦略の問題を扱った。この種の投資決定は、参入しようとしている経済域での需要の不確実性や、再生可能エネルギーの不確実性などに直面しての意思決定となる。

ここでは、確率計画法の問題としてモデル化した。また、モデルは2段階問題 (Bi-Level Problem) の構造となるので、それに関しては、MPEC法として知られる手法を試みた。

簡単な数値例で、風力発電を含む三つの発電技術の間で、どのような発電技術タイプの構成での均衡が成り立つかの算定を行った。

結果の一つとして、各発電タイプへの設備投資は、一様に、控えめに抑えられて、いくつかの不確実性シナリオにおいて、供給容量不足が生じた。結果として、電力価格が高いレベルに落ち着くことになった。

この問題は、確率計画法と MPEC 法の手法そのものに起因するものではない。むしろ、上段問題での目的関数として、発電事業者群の利益を設定して、それを最大化する設備投資レベルを求めていることにある。

電気事業の規制緩和を早くから進めてきた欧米では、競争導入のゆえに電気の価格が低くなるという命題に反して、逆に、電気の価格が高くなるというパラドクスが経験されてきた。本研究のモデル計算の結果は、それはパラドクスではなく、論理的に説明できる事象であることを示唆している。このパラドクスは、電気事業の規制緩和と市場ベースへの転換は、発電事業者の自然な投資抑制により、電源不足を招く問題として知られており、高森(2017)で、“ミッシングマネー問題”として論じられている。

本研究のモデルで、もう一つ分析できるテーマは、RPS (Renewable Portfolio Standard) として、知られる問題である。4.2 節の費用構造 A においては、風力発電事業者の市場参入はゼロであった。ここで、「この経済域での発電供給は、 $\alpha$  の比率で再生可能エネルギーでなければならない」という制度が導入された場合、それをどのように、市場ベースで実現できるだろうか、という問題である。

## 参考文献

1. Conejo, A. J., Carrion, M. and Morales, J. M. (2010). *Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets*, Springer
2. Conejo, A. J., Barigo, L., Kazempour, S.J. and Siddiqui, A. F. (2016). *Investment in Electricity Generation and Transmission*, Springer.
3. Maurovich-Horvat, L., Boomsma, T. K., and A. S. Siddiqui (2015). Transmission and Wind Investment in a Deregulated Electricity Market, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 30, No.3.
4. Wogrin, S., Centeno, E., and J. Barquin (2011). “Generation Capacity Expansion in Liberalized Electricity Markets: A Stochastic MPEC Approach,” *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 26, No.4.
5. 椎名 孝之 (2015).『確率計画法』朝倉書店.
6. 高森 寛, 呉 瑛禄, 長坂 研. (2017). “不確実性下の戦略策定のためのモデリング ~ シナリオ戦略法 (1),” 「リアルオプションと戦略」 Vol.9, No.1. pp.66-72.
7. 高森寛, 横山隆一, 山下大樹, 新村隆英 (2016). “不確実性下の戦略的電力需給マネジメント—フォワードおよびオプション契約の活用とシナリオ戦略技法,” 「リアルオプションと戦略」, 8(2), 34-43.
8. 高森 寛, 呉 瑛禄, 長坂 研 (2016). “コミュニティのエネルギーマネジメント事業のシステム・デザイン—シナリオ戦略技法のアプローチ,” 「リアルオプション研究」, Vol. 8 p. 1-21.
9. 高森寛 (2017). “電力事業の市場への移行と電力不足： ミッシングマネー問題 —電気事業取引の市場ベースへの移行が電力不足を招く問題の本質,” 「オペレーションズ・リサーチ」, Vol.62, No.9., pp.560-566.

## 付録

### 付録 A.1 Kuhn-Tucker の最適化条件について

最適化問題は、通常、次のように記述できる。

$$\text{目的: } \max_{x_1, \dots, x_n} f(x_1, \dots, x_n) \quad (\text{A1})$$

$$\text{制約: } g_i(x_1, \dots, x_n) \geq 0, \quad i=1, \dots, n \quad (\text{A2})$$

$$x_j \geq 0, \quad j=1, \dots, m \quad (\text{A3})$$

ただし、(A2)については、いくつかの制約  $i$  は等式

条件の場合がある。また、(A3)については、いくつかの  $x_j$  は、非負条件がない場合がある。

### ラグランジェ関数

$$L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}) = f(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x_1, \dots, x_n)$$

を定義する。関数  $f, g_i$  について、偏導関数が連続的に存在するなどの諸条件が成り立つ仮定のもとで、問題 (A1) ~ (A3) の最適解は次の条件 1. および 2. を満たす変数  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$  が存在することが必要である。そして、(A2) の不等式制約に対応づけられる  $\lambda_i$  については、非負であることが必要である。

### Kuhn-Tucker の最適化条件

1.  $\frac{\partial L(x, \lambda)}{\partial x_j} \leq 0$ , かつ  $x_j \cdot \frac{\partial L(x, \lambda)}{\partial x_j} = 0, j = 1, \dots, n$
2.  $\frac{\partial L(x, \lambda)}{\partial \lambda_i} \leq 0$ , かつ  $\lambda_i \cdot \frac{\partial L(x, \lambda)}{\partial \lambda_i} = 0, i = 1, \dots, m$

ただし、1. については、 $x_j$  が負値をとってもよい条件のときは、最初の不等号は等号  $\partial L(x, \lambda) / \partial x_j = 0$  になる。また、2. については、第  $i$  条件が、等式  $g_i(x_1, \dots, x_n) = 0$  の場合は、 $\lambda_i$  は負の値でもよい。

### 付録 A.2 最適化条件(12)の導出

ラグランジェ関数は、

$$L = \frac{1}{\alpha^s} \left( E d^s - (d^s)^2 / 2 \right) - \sum_i c_i q_i^s + \pi^s \left( \sum_i q_i^s - d^s \right) + \gamma_1^s (w^s G_1 - q_1^s) + \gamma_2^s (G_2 - q_2^s) + \gamma_3^s (G_3 - q_3^s)$$

となる。ここで、 $d^s, \pi^s$  は、負値をとってもよい変数である。

1.  $\frac{\partial L}{\partial d^s} = d^s \left( \frac{E^s}{\alpha^s} - \frac{1}{\alpha^s} d^s - \pi^s \right) = 0$   
よって、 $\frac{E^s}{\alpha^s} - \frac{1}{\alpha^s} d^s = \pi^s$
2.  $\partial L / \partial q_i^s = -c_i + \pi^s - \gamma_i^s \leq 0, q_i^s \geq 0,$   
よって、 $q_i^s (\pi^s - c_i - \gamma_i^s) = 0, i = 1, 2, 3$
3.  $\partial L / \partial \pi = \sum_i q_i^s - d^s = 0$
4.  $\partial L / \partial \gamma_1^s = w^s G_1 - q_1^s \leq 0, \gamma_1^s \geq 0, \gamma_1^s (w^s G_1 - q_1^s) = 0$
5.  $\partial L / \partial \gamma_i^s = G_i - q_i^s \leq 0, \gamma_i^s \geq 0, \gamma_i^s (G_i - q_i^s) = 0, i = 2, 3$

### 付録 A.3 相補性(complementarity)条件の導出

次の変数を定義する。

$$y_1^s = w^s G_1 - q_1^s, y_i^s = G_i - q_i^s, i = 2, 3$$

$$x_i^s = c_i + \gamma_i^s - \pi^s, i = 1, 2, 3$$

これらを使うと、付録 A.2 の諸条件は、次のように表せる。

条件 2. は、 $x_i^s \geq 0, q_i^s \geq 0, x_i^s \cdot q_i^s = 0, i = 1, 2, 3$  と表せる。また、条件 4. および 5. は、 $y_i^s \geq 0, \gamma_i^s \geq 0, \gamma_i^s \cdot y_i^s = 0, i = 1, 2, 3$  と表せる。いま、ベクトル

$$\mathbf{q}^s = (q_1^s, q_2^s, q_3^s), \mathbf{x}^s = (x_1^s, x_2^s, x_3^s)$$

$$\boldsymbol{\gamma}^s = (\gamma_1^s, \gamma_2^s, \gamma_3^s), \mathbf{y}^s = (y_1^s, y_2^s, y_3^s)$$

を定義すると、最適化条件は、

$$0 \leq \mathbf{q} \perp \mathbf{x} \geq 0$$

$$0 \leq \boldsymbol{\gamma} \perp \mathbf{y} \geq 0$$

ここで、記号  $\perp$  は、二つのベクトルが直交していることを表している。

## 学会だより

### ● 機関紙への原稿募集

日本リアルオプション学会の機関誌「リアルオプションと戦略」は、学会員のための情報誌、コミュニケーションの場として、そして、社会へ向けての価値ある情報発信のメディアたることを目指します。掲載記事の種類を多様化して、紹介、解説、書評、研究メモ、論説、所用、研究サーベイ、査読論文のカテゴリーで Short paper の投稿を公募いたします（2015年度からは、年4回刊行の季刊）。

査読付き論文（short paper）はそのことを機関誌目次と掲載ページの最初に明記します。査読は、実務上の有用性、提供情報の意義と充実度、論文理解容易度など、論文誌とは、別の視点からの査読がなされます。査読は、1ヶ月以内に完了します。査読を希望する論文は、その希望を明示してください。ご投稿は、案内ページ [http://www.realopn.jp/prep\\_page8.htm](http://www.realopn.jp/prep_page8.htm) からのご投稿をお願いします。記事の分量は、規定のフォーマットでなるべく10ページ以内をお願いします。

本誌の各号は会員限定の刊行後、3か月を経過してからインターネット上の電子ジャーナルプラットフォーム「J-STAGE」に登載する予定です。これにより本誌掲載の記事は、Google Scholar などからも検索可能となり、社会に向けて広く情報発信されます。なお、各記事には DOI (Digital Object Identifier) が登録され、国内外から恒久的にアクセスが保証される公開記事となります。

### 編集後記

本号の第9巻第3号は、予定としては例年通り、10月に発行する予定でしたが、査読論文の掲載準備に時間がかかり、発行が12月になってしまいました。お詫び申し上げます。なお、昨年からは、発行後3ヶ月を経過した号から、J-Stage 搭載の電子ジャーナルとして一般公開されることとなります。今後は、天候リスク、スポーツファイナンス、コモディティデリバティブ、事例研究など様々な特集を組んで発刊して参りたいと思います。奮って投稿をお願いいたします。

伊藤 晴祥

### 日本リアルオプション学会法人会員リスト

日本リアルオプション学会は以下の法人の方からのサポートを受けています

株式会社シーエスデー、  
株式会社アーク情報システム、  
株式会社構造計画研究所、  
同志社大学大学院ビジネス研究科、  
株式会社 サンセイランディック、  
日本管理センター株式会社、  
株式会社翻訳センター  
ダイドーグループホールディングス 株式会社  
株式会社 大和コンピューター

|  |
|--|
| 日本リアルオプション学会機関誌<br><b>リアルオプションと戦略 第9巻 第3号</b>                                      |
| 2017年12月25日 発行   |
| (機関誌編集委員会)<br>委員長：高森寛<br>委員：森平爽一郎、中岡英隆、伊藤晴祥  |
| 発行所 <b>日本リアルオプション学会</b><br>THE JAPAN ASSOCIATION OF REAL OPTIONS AND STRATEGY      |
| 事務業務担当：<br>〒104-0033<br>東京都中央区新川2-22-4 新共立ビル2F<br>電話：03-3551-9893 FAX：03-3553-2047 |

## Reviewed Papers, Vol. 9, No. 3

A Stochastic MPEC Approach to Strategic Investment  
in Electricity Technologies

[Hiroshi Takamori, Eiroku Go, Ken Nagasaka] ————— 38