

リアルオプションと戦略

2019 December

Vol. 11 No. 1

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

特集 コモディティファイナンス

巻頭言

コモディティとしての電力 [服部 徹] ————— 1

公開
研究会
2019

講演要旨

全社一丸 イノベーションによる企業価値向上 [平岡 史生] ————— 2
— 最後発企業の成長・生き残り戦略 —リアルオプションの組織的実践が可能に [小川 康] ————— 10
— 事業計画管理システムDeRISKについて —

最近のコモディティ市場で取引を行うCTAの動向 [森谷 博之] ————— 17

我が国電力市場と電力フォワードカーブの現状 [芝 剛史] ————— 23

招待
論文

小豆先物価格は冷温リスクを予測する [森平 爽一郎・伊藤 晴祥] ————— 27

査読
論文

気温オプションによる卸電力価格予測 [森平 爽一郎] ————— 35

編集後記

第11巻 第1号

目 次

巻頭言

コモディティとしての電力	服部 徹	1
--------------------	------	---

公開研究会 講演要旨

100円ショップ業界発展の変遷・各社の特徴	平岡 史生	2
— 最後発企業の成長・生き残り戦略 —		
リアルオプションの組織的実践が可能に.....	小川 康	10
— 事業計画管理システムDeRISKについて —		
最近のコモディティ市場で取引を行うCTAの動向	森谷 博之	17
我が国電力市場と電力フォワードカーブの現状	芝 剛史	23

招待論文

小豆先物価格は冷温リスクを予測する	森平 爽一郎・伊藤 晴祥	27
-------------------------	--------------	----

査読論文

気温オプションによる卸電力価格予測	森平 爽一郎	35
-------------------------	--------	----

〈学会ニュース〉

機関誌への原稿募集	22
編集後記	46
日本リアルオプション学会法人会員リスト	46

巻頭言

コモディティとしての電力

服部 徹

(電力中央研究所)

日本の電力市場は、90 年代の後半から、徐々に自由化されて、東日本大震災後は「電力システム改革」の下、さらなる競争の促進と市場メカニズムの活用が進められている。2016 年からは、小売全面自由化によって、一般家庭を含めた全ての需要家が電力会社（小売電気事業者）を選べるようになっており、すでに電力会社を変更した方もおられるだろう。

小売電気事業者は、顧客に電力を売るために、その需要に応じて電力を調達する必要があるが、そのために重要な役割を果たすのが卸電力の取引である。発電所を持たない事業者や、自社の発電所だけでは顧客の需要を賄えない事業者も、卸電力市場から必要な電力を随時調達することによって事業を営むことが可能となる。日本では、2005 年に創設された卸電力取引所で日々の電力が取引されている。電力の場合は、実際に発電したり消費したりする日の前日での取引がスポット取引と呼ばれているが、当日も 1 時間前まで取引することが可能である。最近まで、取引所で取引される電力の量は需要の数パーセント程度であったが、近年は取引量が急速に増加しており、その存在感が高まっている。

このように取引所で電力を集中的に取引する背景には、「コモディティとしての電力」という考え方がある。実際、送電線に接続された発電所から送られる電力はいつでもどこで消費しても同質的で、コモディティとしてふさわしい性質を持つといえる。こうしたコモディティは、取引所で集中的に取引する方が効率的な面があり、海外でも電力市場を自由化した国では、卸電力取引所が設立されて、日々活発な取引が行われている。

しかし、電力は他の商品には見られない様々な特質を有しており、その価格変動に影響を与える。電力は経済的に貯蔵することができず、技術的な理由から需要と供給は常に一致していなければならないため、生産と消費が同時に行われることになる。このことは、同じ電力でも時間帯によって異なる商品となり、その価格も各時間帯の需給に応じて変動することになる。また、ピーク時の発電の限界費用は大幅に高くなることから、その価格変動は大きくなる。特に、需給がひっ迫すると価格が極端に高い値となる（ス

パイクする）ことがある。日本でも普段は kWh 当たり 10 円弱で取引されている電力が、夏場のピーク時に kWh 当たり 100 円近くになることがあった。逆に、再生可能エネルギーの導入が進んだ海外では、需要の少ない時間帯では、電力が余るときがあり、価格が時にマイナスの値になることもある。これは、価格が安い時間帯に一時的に発電所を停止するとかえって費用がかさむ発電所などが、一定期間確実に発電できるように、マイナスの価格で入札することが認められており、それが約定価格になることもあるためである。

さらに、電力の取引を行うためには送電線が必要となるが、特に地域を跨ぐ送電線（連系線）の容量には限りがあり、技術的に定められた限界を超えて送電することはできない。そこで限られた送電線の容量を適切に割り当てる必要があるが、日本では「間接オークション」といって、地域を跨いだ取引は必ず卸電力取引所の前日市場を介して行うこととし、市場の結果に基づいて容量を配分することになっている。このとき、送電線の容量が十分でない場合には、需要過多の地域の価格を高くし、供給過多の地域の価格を安くすることで地域別の需給を調整することになる。その結果、地域間の価格差が変動することになるが、これは地域を跨いで取引する事業者にとっては、経済的なリスクになる。

こうした電力の特徴を踏まえた、価格変動の分析や、それを踏まえたリスクマネジメント手法などについては、学術研究も蓄積されており、特に海外では実務での応用も進んでいる。また、価格変動リスクをヘッジするために始まった先物やオプションなど、デリバティブの取引のための市場も発展している。日本も、これから卸電力市場が本格的に発展していく中で、コモディティとしての電力の価格変動の特性を理解し、そのリスクを適切に管理することが重要になってくる。日本リアルオプション学会のコモディティファイナンス研究会が、コモディティとして興味深い特性を持つ電力に関しても、様々な知見を共有し、情報発信していくことで、市場の健全な発展に寄与していただきたいと願う次第である。

〈公開研究会 2019 年 1 月 17 日：講演要旨〉 於：野村総合研究所 会議室

100 円ショップ業界発展の変遷・各社の特徴 － 最後発企業の成長・生き残り戦略 －

平岡 史生（株式会社ワッツ 代表取締役社長）

平岡氏の紹介

平岡氏は、株式会社ワッツ（以下、当社）に 1998 年に入社し、創業者である岳父の志を引き継いだ。当社は、ダイソー、セリア、キャンドゥ、と並び、100 円ショップの大手 4 社の一角を占める。同業他社が大型化を志向して、消費者の嗜好性を喚起するような商品開発を目指す中、当社は、ローコストオペレーションとお買い得感を追求した店舗展開を進めている。本講演では、100 円ショップ業界の歴史的な経緯についてお話いただき、今後の当社の目指すべき方向性についても言及していただいた。

1. 本講演の狙いと私の紹介

本講演では 100 円ショップ業界の発展と変遷について話したい。

この業界における当社の知名度は余り高くないのではないのでしょうか。「100 円ショップ」というと、広島のだいソーが最も有名であり、実際に国内に 3,000 店舗以上を展開しています。No.2 に位置しているのがセリアで、ここ 10 年で伸びてきた。「カラーザデイズ（Color the days）」というショップ名の店舗展開で伸びた。若い女性中心に業績が伸びています。No.3 はキャンドゥで、東京にあります。

これらの会社がある程度形が整い、急成長を遂げたあたりに当社が起業いたしました。大手では当社が最も後発企業になります。

この業界は弱肉強食の世界でして、100 円ショップは昔こそたくさんあったが、今は 10 社もありません。この中でどのように生き残り、成長できたか、その変遷について話したい。

私、平岡は 1960 年生まれ、今年で 59 歳です。もともとは小売りの出身ではなく学校の教員をやっており、大学も教育学部出身です。教育者は実業には向かないというのが定説のようで、理屈は言うがなかなか実際が伴わないと考えられがちです。

私もどちらかと言えばそうかもしれない。それでも何とかうまくいっているのは当社ならではのコツがあります。

2. 当社の紹介

当社は 1995 年 2 月に設立し、この年は阪神淡路大震災が起きて、そのあおりで設立が一か月遅れました。

会社の名前はワッツであるが、創業者はワットに

しようとしていました。なぜかという、「ワットと行こう」というノリでネーミングしました。しかし、司法書士に電話で社名を「ワット」と伝えたが、先方が聞き間違えて「ワッツ」で登記されました。

そのため今は、「面白いことをワットやろう。それをたくさんやって複数形にすればワットがワッツになる」ということにしました。面白いことの複数形です。

1995 年は 100 円ショップ業界の転換点の年であった。これ以前であると続かなかったかもしれないし、この後になると流れに乗り切れなかったかもしれない。絶妙なタイミングで設立しました。

業績は順調に伸びています。途中、減収に見える期がありますが、決算期変更の影響でそう見えるだけです。もともとは 12 月決算で、12 月は書き入れ時であり、変動が激しいので 8 月決算にした経緯です。

当初は店頭公開、次に東証二部、今は東証一部と、順調に規模を大きくしてきました。しかし東証が一部の基準を変えようとしており、当社の現在の売上高の水準（495 億円）だと基準に満たない。東証もなかなかやります。

3. 100 円ショップ業界の変遷

100 円ショップは人知れず、1960 年代に始まりました。そのころ 100 円ショップという名前は存在していませんでした。100 円ショップをやる方も、買う方も、誰も意識していなかった。いわゆる催事屋、移動販売屋さん、当時はサーキット商売などと呼ばれていました。

まともな小売りではなく、余っている商品を安く集めてきてそれを売る、いわゆるバツ屋、という認識です

生活雑貨の催事屋は慌ただしい商売で、1週間、2週間という限られた期間に、駅前やスーパーなど限られたスペースを借りて商売をする。しかも1人で切り盛りする。そうすると、価格がいろいろあると管理できない。だから全部100円にしたらやりやすい。それが1つの催事の形として定着しました。これが100円ショップの原型です。

1960年代から1970年代にこの形態が広がりました。1970年代後半から1980年代にかけて一段と広がりを見せました。



図1 100円ショップのはしり 出所：講演資料

始めの頃は売り残りの商品なので、やるたびに商品が変わり、固定店舗ではなく、常に移動しているので、同じ商品である必要もなかったわけです。しかし商売が広がってくると、専用の問屋が出てきて、定番商品も出てきました。定番ができてくる中で、1980年代に初めて固定型の店舗ができました。当初は催事業者の方が圧倒的に多く利益も上がっていたが、少しずつ常設店舗も広がっていきました。



図2 固定店舗の100円ショップ 出所：講演資料

常設店舗にすると問題が出てきました。当時は商品の品質が良くありませんでした。

1980年代の頃の雑貨は粗利が70%あるのが当たり前、今では信じられません。

実は雑貨屋は売れない商品の塊で、鍋は何年前に

仕入れたかわからない商品をずっと置いておけば、たまに売れる。そんな商品を粗利2割とかで売っていたら、やっていられない。在庫が多く回転率の悪い商売なのだから粗利が高くないと割に合わない。

100円ショップも当初は粗利70%で、とても儲かった。実は催事屋の頃が最も儲かったのです。しかも売り上げが分からないので、催事の会場を貸してくれたところに100万売れても「30万分売れた」と言っていて、30万の2割を場所代で払っていた。物すごく儲かったらしい。

当時は、「催事のままでいいや」という同業が殆どでした。そこから敢えて常設店舗の小売業にシフトしたところが生き残りました。催事屋のままのところは全て潰れました。

今の大手は、ワッツ以外は全部催事屋からスタートしています。

ダイソーは1977年創業となっているが、矢野商店という催事屋でスタートしたのはもっと前です。

セリアは1985年となっているが、サンヨーエージェンシーで始めたのがこの年であり、実際はもっと前からやっていました。

キャンドゥは1993年となっているが、城戸商店で1970年代からやっていました。

これら3社は、いずれもそれまで催事屋で利益を蓄積していました。そして小売りにシフトしていきました。

ワッツは本当に1995年に創業で、最後発でした。これが非常に大きなハンディキャップとなります。創業時の1990年代半ばは、100円ショップが急激に成長し始めた時期です。

その頃のダイソーやセリアなどの店舗は現在とは隔世の感があります。



図3 100円ショップの成長 出所：講演資料

ちょうどバブル崩壊でモノが売れなくなったため、

製造業が100円で商品を提供するようになりました。100円の製品の開発が進みました。

また、テナント型で出店を加速し始めた100円ショップに対して、空いているロケーションを使って欲しいと要望するデベロッパー（家主）がどんどん出てきて、それで伸びました。

そのころから100円ショップも多少バージョンアップしました。この頃は、キャンドウが最もレベルが高いものでした。



図4 レベルの最も高い100円ショップ 出所：講演資料

100円ショップ業界が大きく伸び始めたのは1990年後半で、当社創業の2年後くらいから、具体的には、100円ショップ業界がフランチャイズを始めたことが起爆剤となりました。フランチャイズによって、自分の資金ではない資金で出店するようになり、出店のスピードが速まりました。

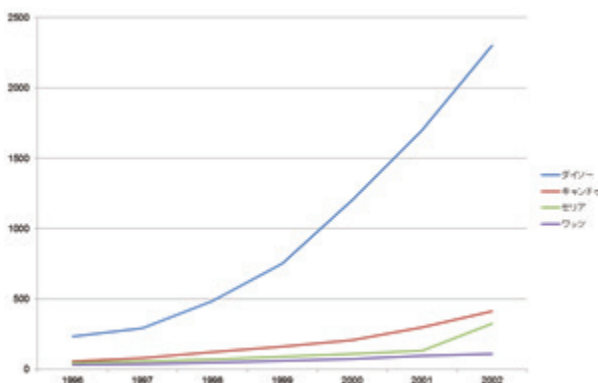


図5 100円ショップ業界の発展 出所：講演資料

フランチャイズは他人の資金で店をだすことがポイントで、そのため、一店舗にたくさんのお金がかかります。また、売上高が大きい方が売しやすいです。だから店のサイズが大きく、取り扱い商材が多い方が、より多くの売り上げをあげられます。そのためダイソーが大型店舗を始めました。

1990年代後半に、ダイソーが博多駅のバスセンタ

ーに700坪の100円ショップを出し、これは、驚異的でした。当時は150坪でもかなり大型店舗でした。

私は1998年にワッツに入社したが、当時のアイテム数は4,500でした。その前年、ダイソーは9,000アイテム、それがあつという間に2万、3万アイテムになりました。

私、平岡が入社の前後から、店舗が大きくてアイテムも多い100円ショップと、店舗が小さくてアイテムも少ない100円ショップの二極化が進んできました。ダイソーが最も大型、それをセリア、キャンドウが追う構図です。

ダイソーは上記の通り最大で700坪の店舗を開発しており、それに対して、セリアは最大で500坪の店舗を開発しましたが、セリアにとっては大き過ぎたためにその後は250坪くらいにしました。キャンドウは最大で150坪でした。

同業大手に対して当社は最大で120坪で、標準的には当時は50坪レベルでした。アイテム数からして50坪がギリギリでした。

本当は当社もフランチャイズをやろうとして、パッケージを作りました。応募もたくさん来ました。当時は100円ショップのフランチャイズは大人気でした。しかし、私の岳父（故人）であり当社の創業者がストップをかけました。

岳父は60歳の時にワッツを創業したが、100円ショップの運営は何もできませんでした。前の会社では経理財務の担当役員であり、自分が商売の実務はやったことがありません。全部、人にやらせるということで、だから会社を作るとき、仕入れ、店舗開発、店舗運営ができる人を集めてやらせました。

口癖は、「あんた、どない思う」と「やってみなはれ」でありました。

ところが、フランチャイズの時だけ「やめときなはれ」といいました。当時、私は総務課長であり、フランチャイズの契約書、マニュアル作成などに従事していましたが、それなのにストップがかかり、しかも理由を教えてもらえませんでした。

後々考えると、当時は当社にフランチャイズをやる力はなかったと思います。当社のパッケージは大きい店舗でも80坪で、他社は最低150坪で、大きいところは500坪クラスです。しかも80坪でもスカスカで、つまりアイテムを倍にしないといけない。当時はメーカーからの直送がなく、すべて会社が一旦ストックする。つまり在庫が倍になる。しかもパッケージが大きくなると、モデル店舗も大きくなる。当社には開発するための資金もありませんでした。他社にはありました。ダイソーは資金力があり、アイテム数もたちまち3万になりました。そこと真正面か

ら勝負しても勝てない。そこで加盟したフランチャイジーも成り立たないし、利益がとれない。だから「やめときなはれ」になったのだと今は思っています。

みんながフランチャイズをやっているときに、当社は、100%自前の資本でやらないといけなくなりました。当社には資金のストックがありませんでした。だからローコスト出店が決定的に大事になりました。ここをひたすら磨きました。オペレーションも同様です。いかにお金をかけずに店舗運営をやるか、小さい店舗だから大手3社よりも売り上げが小さい。それでも利益が出なければ生き残れない。これが当社の立ち位置です。



図6 店舗規模とアイテム数イメージ 出所：講演資料

少ないアイテムでも「ここに来るといいよね」と言ってもらえるには、定番の生活雑貨が必要で、これを標準化しようと思いました。小さい店は30坪で、大きくて120坪、売れない店は月商200万円位、大きい店は1,000万円、厳格な標準化はできません。

当社のポイントは、標準化はするがファジーな標準化をしました。そのため2つの決断をしました。1つは大手3社のような大型パッケージのフランチャイズを目指さない。もう1つは完全な標準化を求めない。自分たちができる範囲のローコストオペレーションをやる。

もう1つのポイントは、ローコストの退店です。儲からない店を残していると、継続的に負債が生じる。いかにお金をかけずに撤退できるかはとても重要です。そのため店に資産を持たなかった。だから退店の時にお金がかかりませんでした。

他社が少しずつ垢抜けていく中、当社はなかなか垢抜けなく、しかし、このことをずっとやってきました。

ダイソーは毎年50%の増収、キャンドゥが20%、セリアと当社が10%という状況でした。

セリアは、2000年代から伸び始めた。同社はパッケージを大きくしました。また、「生活良品」という店舗を開発しました。

ダイソーが大規模店舗を出す中、当社は70坪の店です。セリアは少しずつ垢抜けてしてきましたし、ダイソーは大型志向で、最大2,000坪、アイテムは最大9万アイテムになりました。キャンドゥは成長が感じにくく、大手3社の中では売上高も厳しくなっていました。

当社はひたすらローコスト追求で、壁面の装飾は布を張っているだけ、看板も厚紙、什器はいつでも持って帰られる。捨てるものはほぼない。資産としてあるものはほぼゼロというわけです。

2000年代になり、成長が一巡、ここで各社の方向性が出てきました。ダイソーは大型化と海外、セリアはおしゃれ、ワッツはローコストです。

当社はローコストで成長性と収益性を追求し、ダイソーを追いかけて海外展開もしています。100円ショップ以外のところに展開して、小型店舗であることをカバーしようとしていました。この頃もローコストに徹していました。

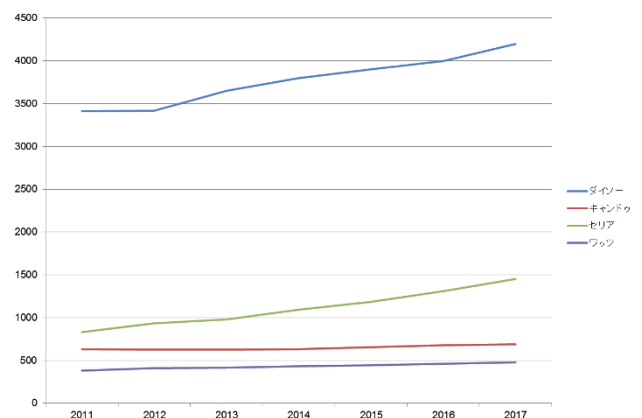


図7 100円ショップの新展開 出所：講演資料

2010年代に流れが変わりました。これが今100円ショップの流れの元です。セリアのcolor the daysは、当時、驚きはあったが、これだけのインパクトが出るとは思いませんでした。お金がかかりすぎていて「100円ショップでは償却できない」、と思われました。イオンの千葉県八千代に出店していましたが、集客力は余り高くなかった。そういうところに1億円かけて店舗を出しました。100円ショップで1億円ということは、5年償却だと年間2,000万円で、月170~180万円ペースが必要で、絶対無理です。実際、単店では回収できなかったようだが、それくらいのインパクトが必要であったということです。

そのころは100円ショップに停滞感がでていまし

た。5年後、10年後も、当時のペースを維持して出店することは無理だとみんなが感じていた頃でした。中小の100円ショップがどんどん潰れていました。そのころにセリアがこのようなフォーマットを出したわけです。



図8 セリアの color the days 店 出所：講演資料

それから2年後位して、セリアが売れるようになると、ダイソーも追随しました。現在の形になるまで10種類位デザインを変えています。当社も同じように新しいデザインのミーツやシルクといった店舗を開発するなど、試行錯誤しました。キャンドウも同様です。

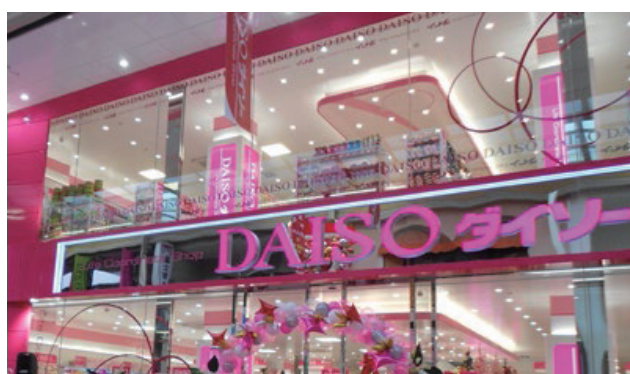


図9 ダイソーの新展開 出所：講演資料

セリアの成長が伸びたことに刺激を受けました。このようにして2010年代に業界全体の流れが変わりました。

ただ、その時に見逃してはいけないのはダイソーです。最初、セリアが凄いとみんな言っており、確かに時価総額が6年間ほどで20倍になったのです。今はマックス時の半分だが、それでも当時の10倍です。でも、セリアと同じくらいのペースでダイソーも伸びていました。なんだかんだといってダイソーはすごい。未上場なのでマーケットでは余り話題にならなかったが、業界ではやっぱりすごい、という評価です。

当社は3番手のキャンドウに追いつこうとしていたが、なかなか追いつけない。しかし同じ100円ショップでも違いがある。ダイソー、セリア、キャンドウはフランチャイズで大型化、当社は自前でやっていたので、小型化です。その時に、セリアがおしゃれ、かわいいという軸を作った。それまでは、縦一本軸ですが、そこに横軸が加わり、二次元の世界になった。その時にセリアが作ったフォーマットが color the days、200坪くらいの店舗です。

規模、アイテム数が縦軸で、おしゃれかわいい、実用が横軸です。

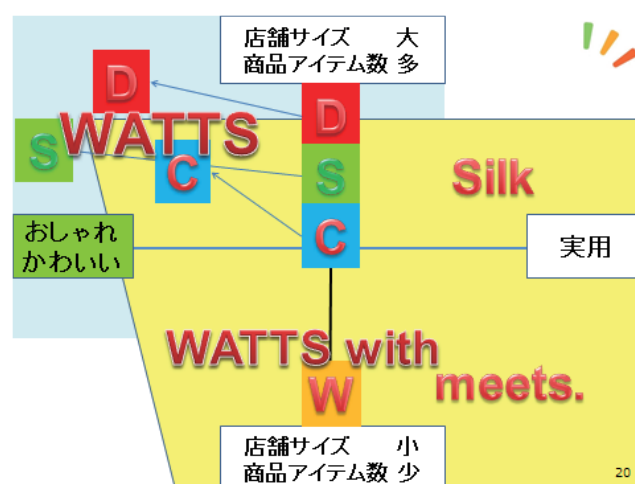


図10 業界発展の2軸 出所：講演資料

セリアはおしゃれかわいい、規模が大きい、を目指し、200坪です。それを追いかけたのがダイソーで、color the daysが開発され、イオンモールなどの大型ファッションモールに入るようになりました。それまでは、大型ファッションモールでは空いた店舗を埋めるために入る程度でした。color the daysにより、新設モールのテナント誘致の段階で、100円ショップが必ずコンペが行われるようになりました。

だからそこに入るフォーマットとしてダイソー、キャンドウも店舗開発をしました。

それに対して当社のメインマーケットは実用、ロケーションはスーパー、あるいはローカルのスーパーがやっているモールです。100坪以下が「ミーツ」、100坪以上が「シルク」、でやっていました。

セリアが当初は売上高が1,000万円以上見込める大きなところでやっていたが、出店できるロケーションが減ってきたので、スーパーでもやるようになりました。また150坪くらいの小さいロケーションのところにも入ってきました。まさに当社のロケーションと被ります。

そうすると、ミーツ、シルクでは勝てません。母店（家主）が選ぶ、客ではありません。デベロッパーはお金をかけて店舗を作るセリア、ダイソーを選びます。当社からすればロケーションを取られます。つまり売り上げが大きい店をとられます。儲かる店がとられます。月商 3,000 万円の大型店舗がとられてしまいます。そこをとられたら大変なので、そこを守るためにワッツを作りました。

ただしワッツというお金がかかる店を作る一方で、お金がかからないワッツウィズもつくり、これが現在の状況です。

結果として、ローコストのショップとお金をかけるショップの両方を作らざるを得なくなりました。売り上げの大きい店はセリア・ダイソーと競争するのでお金がかかるようになりました。ダイソー・キャンドウも昔に比べるとお店にお金がかかるようになっています。

ワッツは提案型の売り場を作るなど、お金がかかる。ただしデベロッパーの評判が良い。ワッツウィズはローコスト、看板は紙の場合もある。お金をかけない為、デベロッパーの評判は必ずしも良くはないが、こういう店が儲かる。

かわいい・大規模が儲かり続ければ問題がないが、実際は競争が激しくなり、もっといいものを作らないといけなくなり、コストがかかる。また、いいロケーションを獲得しようとする、母店が相見積もりを取り、家賃が上がってくる。そこに最低時給アップによる人件費上昇と運賃アップが重なっている。これが今の状況で、レッドオーシャン化している。

業界としては、新たなマーケットを開拓したことは大きなプラスであったが、現在では収益性でいえば必ずしもプラスになっているとは言えなくなっています。

実際、当社の 1Q は増収減益、キャンドウも前期決算を出したが、同様に増収減益、セリアも 2Q を出したが、10 年ぶりの減益で、今の状況を象徴するような業績でした。セリアは 3Q で増収増益に戻しました。

4. 100 円ショップ業界の課題

100 円ショップ業界にとって頭が痛いのは以下の 3 点です。

- ① 人件費でコストが上がる。パートさんの時給が毎年上がる。それに応じて正社員の給料も上がる。
- ② 運賃が上がる。人手不足を理由に、運送業者が 30% から 50% の運賃値上げを言うてくる。中には、うちはやらない、という業者も出てきた。

③ 家賃も競争激化で上がる。

普通はコストが上がれば小売業は価格転嫁します。100 円ショップは「100 円」というキャップをはめているようなものなので、価格転嫁ができません。実はダイソーはもう 100 円ショップとは名乗っておりません。マルチプライス化で、100 円～1,000 円で売っています。100 円で売れないものは 150 円で売ればいい、という考えです。

困っているのは「100 円ショップ」と名乗っている我々で、そこで遅まきながら、300 円、500 円の商品を開発しました。そうしないとやっていけません。

当社にとっていいのは、売上が小さい、狭小店舗です。ここはダイソー、セリアは全くやりません。キャンドウもやろうとしています、現状のままでは無理です。これら 3 社は、1990 年代にフランチャイズにシフトして、大規模店舗化を志向し、そのためのオペレーションをやっています。

狭小店舗を効率的に運営するのは難しいです。小さい店舗には小さい店舗なりのやり方があります。大きいものではできないものがあります。大きい手は小さい穴には入らない。だから我々のところに来ようとしても、現実的にはなかなか入ってこれません。

ここがブルーオーシャンで、ここにあるうちに、現在の課題であるコストアップを何とかしないといけません。

もう 1 つ困ったことがあります。

ダイソーは 2015 年くらいから売り上げが一段と伸びました。

ただでさえ良いロケーションが減ってきている中で、ダイソーがアクセルを意図的に踏んでいる、ということです。結果的に業界はレッドオーシャン化し、過当競争化しています。

ただし出店できないかということそんなことはない。ダイソーもセリアも、今でも毎年 200 店舗くらい出店している。当社は狭小店舗で 100 店出店している。ただし売り上げの伸びは 20 億から 30 億です。

2010 年の頃、100 円ショップ業界は、当時のスピードで出店を継続できるか疑問でした。しかし、セリアが第 2 軸を作ってくれたおかげで、今でも成長できています。そのような中、今、100 円ショップ業界は第 3 軸を作ろうとしています。ただし具体的なことは言えません。

ただ、「おしゃれ」「かわいい」は、昔は誰も考えていませんでした。しかし 1990 年代の 100 円ショップの中に「おしゃれ」「かわいい」がありました。それをセリアがうまくアピールして color the days ができました。

当社は2.4万アイテムあります。ダイソーは7万アイテム、キャンドゥ・セリアは2.8万アイテムです。

これらのアイテムから新しい切り口によってなのか、あるいは100円ショップと言いながら100円以上の価格で売っている物によってなのか、ここから新しい軸を開発することが重要で、トップラインを上げていくことが必要です。

トップラインを上げることによって、課題であるコストアップを解決するのか、コスト自体をカットするのかしないといけません。

これらの課題を解決できたところが、color the daysを開発した時のセリアのように大きく成長する。できれば当社がそれになりたいです。

(Q&A)

今期25期目とのことですが、客の好みの変化はありますか？

好みといいますか、この何年か客が余分なものを買わない、ということがより顕著になりました。パブルがはじけ、リーマンのあった頃は、本当に余分なものは買わなくなりました。最近、景気は少し改善しているといわれるが、生活用品としては、無駄なものは極力買わないようになっています。すべての業態に通じることではないかと思います。

小売り、コンビニで無人化がおこっています。今後こういうのをやりますか。

無人化については100円ショップ業界に関しては、ハードルが高いです。ただし私が業界に入った20数年前は、現在のようなモバイルの携帯は考えられなかったです。同様に、無人化のシステムが入るようになったら、変化のスピードが速いので、加速度的に普及する可能性があります。

人手を減らすことは重要で、5人のオペレーションを4人にするのはできます。しかしこれを2.5人にするのはとても難しいです。我々はそうしたいと思っています。だが、現実には、5人がゼロ人になるかもしれない。我々の想定をはるかに超えて変化する可能性があります。

100円ショップ以外のところのM&Aはありますか。

当社は、100円ショップ事業については小型店舗を選択した結果、当該事業だけで売り上げを大きくしていくのはハードルが高いです。1店舗で300万円売の店と3,000万円売の店では売り上げ拡大のレベルが違う。店舗出店にも限度がある。そのため、100円ショップ事業では年間20億円の成長を目標にやっています。だからあと2つの事業をやっている。

現実問題としては、海外はともかく、その他業態は赤字で、詳しく述べることは差し控えますが、今持っている事業を、如何に収益化することが最優先で、M&Aは、現時点では考えにくいです。

ただし時間的な猶予は余りありません。100円ショップ事業自体の収益性に陰りが出てきています。だから今は5人でできるところを4人でできるように、省力化の努力が欠かせません。

海外はどうですか。

海外事業の収益性が落ちています。だから時間になりません。中心になるのは東南アジアで、海外は10年前から取り組んでいます。ようやく利益が出始めました。中心は東南アジアです。

実は当社が売っている価格は100円ではないのです。タイには、30店舗あります。国内には1,200店舗以上ありますが、30店舗しかないところに、中国から直接仕入れることは現実的ではありません。国内でも直接中国から仕入れるのではなく、200社くらいあるサプライヤーから調達する仕組みです。特に、タイはサプライヤーがいない為、自前で調達するしかありません。しかも30店舗しかない。結果として日本でいったん輸入したものをタイに輸出するしかない。だから100円では売れなくて、60パーツ、180円位でやっている。どうしても高コストになってしまふ。結果として60パーツで売り、50%位の粗利を出しているのだから利益は出ています。

我々が日本で、100円で売っているものを、180円で買ってくれるお客がいる国でなければ今のような商売はできません。タイでは30店舗できていますが、ベトナムでは10店舗位しかできません。これは、収入の差、購買人口の差です。

マレーシア・シンガポールなど、ある程度の収入があり、可処分所得があるところがいいです。

それ以外でも進出しているところはミャンマーとペルーです。ミャンマーは自国内でプラスチックを作れない為、すべて輸入です。中国製も高いです。当社が200円位で売っても中国品とそう変わらない。ペルーも同様、とはいえ高いので、生活雑貨のマスにはなりません。

彼らの価格帯に合わせられればできますが、現時点ではまだできません。サプライヤーと協力して、中国から直接当該国に出せるようになればいいです。

関税と運賃、物流費も高い。日本の物流はとても進んでいると思います。人件費は海外が安い、効率はとても悪く、結果的に割高になりがちなのが海外の実情です。

商品力はどういう風にとらえていますか。

商品力はいろんな切り口があります。セリアが伸びたのも商品力です。しかしセリアの商品力は私たちがいうところの商品力とは異なります。

我々の商品力は、お買い得感、量が多い、枚数が多い、サイズが大きい、目で見てすぐ分かる、納得感が高い、という点です。

セリアの商品力は、かわいい、おしゃれ、人によって感覚が異なります。しかも変化し得ます。かわいい、おしゃれは変わっていきます。売る方も変えていかないといきません。これは100円ショップにとってとはとてもハードルが高いです。

100円ショップは薄利多売だから儲かります。多売でないといけません。しかしファッションは多売ではできません。人と違う、この前のと違う、ということがファッションで選ばれるポイント、いつも変わらないのであればファッションではありません。

当社は同じものを多売するから儲かります。1週間、2週間で商品を入れ替えることは難しいです。それを売って儲かるということは、セリアの商品は原価が安いものを高く売っているものです。しかしそれは本当にお買い得なのか、当社は原価が高いものを売っているのです。儲かりにくい。どちらが難しいかというと、セリアの方が難しいです。成功し続けることは大変です、なぜなら変わり続けられないといけませんからです。

当社の商品力はベタな商品力で、明らかに買い得だから失敗しにくい。セリアは変わる商品力、当社は変わる商品力には挑戦しません。小さな店で商品を変え続けることはできません。魅力をアピールし続けられません。だからやりません。

競合から守るすべはないのか。第3軸を当社が生み出した時、ダイソーなどが入ってくるのではないのか。発掘した市場、アイデアを守るすべはあるか。

守る術はありません。商標・特許ならば別ですが、しかし100円ショップ業界についてはそういうものはありません。手立てはありません。

商標・特許がないものは浸食されるのがビジネスの世界です。先行者の力が弱ければどんどん駆逐されます。ただし、特許・商標で守られているはずのデザインや技術を、しかるべき対価を払わずに使うビジネスは、競争相手としては困ります。

このような事案は世界に出て行くと沢山あります。確信犯として徹底してやってくる場所は強い。いずれ駆逐されてしかるべきであると思うが、難しいです。

学校の先生が商売に向かない理由は？

教員は、大学を卒業して、まったくの素人であるにもかかわらず、教師になったその日から先生になります。教師になったその日から担任になります。しかもその教室、その授業は、誰もチェックしません。先生がやっていることがすべて正しくなります。そういう環境で育つと、人様の言うことを聞き、指示に従うことができなくなる人が多いです。教員の先輩、仲間を見ると、“偉い”人が多いです。

教員をやっていてよかったことは、人前で話することに何のストレスも感じないことです。社会科の先生でしたが、得意だったのは数学だったので、とても理屈っぽい社会の授業をやりました。なぜこうなったのか、ということ、理屈を語り、分析し、説明します。これが今でも役に立っています。

創業者が自分は何もできなくてもオペレーションができる仕組みを作ってくれたので私もやれました。今は曲がり角なので、これからが正念場になります。



いつもに笑顔、ワッツ



“いつも”によりそう100円ショップ

【WITH TOWN】地域の特性や個性によりそって
【WITH LIFE】暮らし方の違いや変化によりそって
【WITH YOU】お客様一人ひとりの想いによりそって

100円ショップの役割ってなんだろう。
あらためて考え、これからを見据えて
生まれたのが「いつもに笑顔、ワッツ」です。

ワッツには、さまざまな理想があります。
どの店も地域の個性にあった
店舗デザインや品揃えをして、
その街で暮らす方々によりそっていきたい。
厳選したアイテムと安心な品質で
みなさまからの支持と信頼をいただきたい。
そして毎日に欠かせない店として
ずっと笑顔をお届けしたいと願っています。

ごくあたりまえのことを、
しっかりとかちづくっていくこと。
そんな想いを大切に、
笑顔あふれる100円ショップになります。

〈公開研究会 2019 年 8 月 26 日：特別講演会要旨〉 於：野村総合研究所 会議室

『リアルオプションの組織的実践が可能に —事業計画管理システム DeRISK について—』

小川 康（インテグレート株式会社 代表取締役社長）

講演者の紹介

インテグレート株式会社（以下、当社）は、リアルオプション学会を、その発足時から厚く支援して下さっている。小川氏は、保険会社で実務経験を積んだ後、ベンチャー企業の経営者となるべくインターンで当社に入社した。アメリカで MBA を取得後、コンサルティング会社を経由して当社に入社し、2008 年より代表取締役をつとめている。

1. 本講演の狙い

リアルオプションの考え方は価値創造のために極めて有効であると考えている。では、リアルオプションを企業経営に役立てるように、組織的に実践するにはどうすればいいか。

色々な企業を観察すると、優れた人は既にリアルオプションの実践をしている。そこで、普通の人でも、リアルオプションの実践ができるシステムが必要なのだと考え、約 4 年半の開発期間を経て 2019 年 1 月に DeRISK システムの提供を開始した。

様々な企業が新しい経営管理手法を模索しているが、その中でも実績管理だけでは限界があり、経営者の課題を解決できていない。財務的な実績管理をメインにする既存の手法だと、リスクへの対応が後手に回りやすく、リスクが顕在化してから、例えば、損失が発生してから対応になってしまう為である。

DeRISK システムは、仮説指向計画法（DDP：Discovery-Driven Planning）の考え方をシステム化したものであり、本稿では、この考え方について紹介したい。

2. インテグレート社について

当社は 1993 年に北原康富氏（現名古屋商科大学ビジネススクール研究科長）が創業し、小川社長は 3 代目である。

特徴はビジネスプランニング研究に基づいていることである。当初、不確実な事業環境下の企画や意思決定を支援していた。しかし、事業環境の変化が速い時代になったことを背景に、意思決定だけでは足りなくなり、意思決定後の管理業務の支援も大切になってきた。更に、生産性向上も大事なテーマになっている。リスク評価・管理はできたら実施したいと考えている企業は多いが、管理コストが大き

なると仕事量が割にあわなくなることが実務的な問題である。つまり生産性向上が必要となる。

インテグレート社としての答えは、経営理論をしっかり使うこと、IT を活用すること、の 2 つが重要であると考えている。

会社の特徴として、事業の仮説を明確にし、管理することで事業を成功に導く方法論（仮説指向計画法）を基本として採用している。

小川社長は、イアン・マクミラン教授のもとで半年間無休で、その後は給料をいただきながら 1 年半働いた経験がある。

会社としては、コンサルティングとソフトウェアの両方を提供する。ソフトウェアを提供し、更にコンサルティングや人材育成研修を提供することで、企業のリスクテイクを支援しており、不確実な事業投資を対象とした仕組みづくりのソリューション提供で国内最高水準の実績を持っている。

企画、リスク評価、意思決定、実行管理まで、どんなプロセス、業務が必要なのか、を一貫して対応しており、今まで、1,400 超の企業向けソフトウェアライセンス販売の実績がある。一般的なコンサルティング会社のように、企業の課題を広く請け負うのではなく、リスクの高い事業分野についてコンサルティングをしてきた実績がある。

例えば当社の顧客である大阪ガス様とは、メイン事業である関西圏のガス事業は全く手伝っておらず、手伝っているのはガス事業以外の事業である。つまり新規事業として広がっている分野を手伝っている。既存事業の経営管理業務は企画部がやっており、既存事業以外の事業は投資評価部がやっている。この投資評価部と当社が 2009 年から一緒に仕事をしている。

伊藤忠商事様も当社の顧客であるが、新規事業投資時の事業計画・買収計画の妥当性精査の徹底を担

っている。伊藤忠商事様における新規の事業投資とは、他の会社では成長投資に分類されるような、既にPL、BSもあって、伊藤忠商事様が追加投資をすればリターンが得られるような投資である。

新規の事業投資に際して、事業計画や買収価格の妥当性を評価する時に、仕組みとして徹底したい為に、当社のソフトと研修プログラムを採用し、積極的に活用している。

事業計画の精査業務の効率化には2つの側面がある。1つはコーポレートスタッフの負荷を下げるための効率化。もう1つはコーポレートのスタッフが事業環境の変化についていくため（営業部門を待たせないため）の効率化。

どちらの側面でも効率化しないと、営業のスピードについていけなくなる。感度分析、シナリオ分析等で事業を早く理解して、事業の内容、リターンを的確迅速に理解できるようにしないとイケない。

伊藤忠商事様の場合、計画の下方乖離時の対策議論の徹底を目指した。計画がうまくいかないことを現実的に生じることとして受け入れ、うまくいかないときにどうするか、ということを経営として対策議論が埋め込まれており、徹底的に洗い出し対策を練っている。計画通り進むとは思っていないところがとても優れていて、投資実行後の収益化の確度を上げることに寄与している。

3. 著者とインテグレート社について

著者は、東京海上火災保険に勤務経験がある。ここではリスクを扱うビジネスとして営業を長くやったのち、最後は国際業務をやっていた。業界として完成されていた世界であったが、もっと完成度の低い業界の仕事をするべきと考え、3年ほど考えた結果、技術を引き出すベンチャー企業の経営者になることに決めた。

その時に友人の紹介で当社創業者の北原氏に出会い、一緒に仕事をしなくなり、東京海上を辞め、インターンでインテグレートに入った。インターンしながらアメリカに留学するための勉強をし、ウォートンスクールに入学し、MBAの勉強をしながらマクミラン教授のもとで修行し、戻ってきて、コンサル会社を経由してインテグレート社に入社した。2012年に北原氏から仕事を引き継いで、現在に至っている。

4. DeRISKについて

公表されている調査では、中期経営計画の目標達成率は著しく低いというデータが出ている。例えば、中計に出ている3年先の売り上げ目標を達成し

た企業は19%。営業利益は18.2%しかない。

また、ITRの「中期計画の現状と課題」という調査によると、過去に策定した中計は「かなり達成されている」と回答したのは12%しか存在しないなど、達成度はかなり低い。

調査結果からは、中計の達成度の高い企業は、仮説を重視する傾向が明確になっている。

1. 策定完了後も継続的に仮説の妥当性を検証している。
2. 根拠となる仮説を明確にする。
3. 中計の期中での見直しを定期的に行う。

調査結果を見るまでは2が最も重要だと思っていたが、中計達成度の高い企業が重視しているもののトップは1であった。つまり、仮説へオプション的に次善策を考えることが最も重要という事だと思う。世の中の達成度の高い企業には、このようなオプション的な対策を取っている会社が意外と多いのかもしれない。

計画達成度の高い企業の85%が、すでに仮説の定期的な検証を実施していると回答しており、仮説を定期的に検証実施している企業と、計画達成度の高い企業には高い相関性がある。

個人レベルの作業ではなく、共通言語に基づく仮説検証を着実に実行する社内の業務プロセスが必要だと考えている。個人レベルでは綿密に考えられていることが多いとしても、問題なのは、組織で共有されていないことである。

未来の数値はすべて仮の物であり、このことを共通の認識にすべきである。未来の数値は誰も正しいと断言できない為、より実務的に大事なことは、「計画に書かれていることは、無数に生じ得る結果のうちの1つが書かれているに過ぎない」と認識する事である。1つの数字を見ると、何となくそれが実現しそうに感じるが、無数に生じ得るもののうちの1つが計画数値として書かれているに過ぎないのである。

未来の数値は、すべて誰かが作ったものであり、誰かが考えて（あるいは、考えずに）作ったもので、時間に間に合わせるように、むりやり入れ込んだ数字が、会議を通ると一人歩きを始めてしまうケースが生じ得るのである。

どのような想定で数字が作られたのかを組織的に共有することが重要だが、たくさんの企業とお付き合いをするうちに、日本を代表するような企業でも、このような当たり前の取り組みができていないことが分かった。そこで、どうすれば実務に組み込めるのか、を考えて、DeRISKの開発にいたった。

仮説指向計画法（DDP）は、軌道修正を繰り返す

ながら、より高い成果を目指す手法である。

開始前から完了までの計画を練り上げるのが従来のやり方だが、ある会社では1年の半分近くを計画策定に費やしているようである。

DDPは、まずゴールを設定し、状況によって軌道修正（オプション選択）を繰り返し、ゴールを目指す。DDPは、そもそもリスクマネジメントを目的として開発されたものである。

仮説指向計画法 (DDP: Discovery-Driven Planning) は、軌道修正を繰り返しながら、より高い成果を目指す手法

リスクがあるということは、軌道修正が必要になるということ

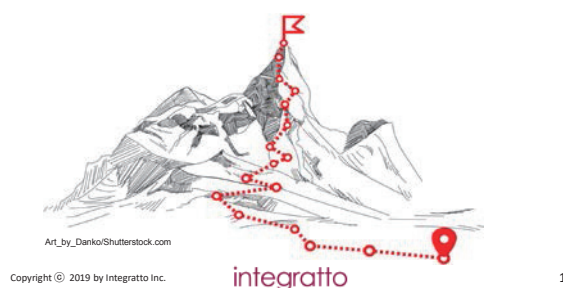


図1 仮説指向計画法 (DDP, Discovery Driven Planning) (出所: 講演資料より)

イアン・マクミラン教授とリタ・マグラス教授がアメリカ企業に非常に大きい失敗が多いことから、「誰も失敗をしたはずがないのに、何で失敗したのか」を検証した。1995年にハーバード・ビジネス・レビュー誌に発表し、ベストセラー論文となった。GE、メルク、ダウ・デュポン、3M、ノキアなどが活用している手法である。

その後、ハーバード・ビジネス・スクールのクリステンセン教授がイノサイト社で採用した手法でもある。インテグレート社もイノサイト社と付き合いがあり、クリステンセン教授が4年前に来日した時にも、不確実な事業のマネジメントにはDDPを使えと主張されていた。

DDPでは、事業はなぜ失敗するのか、という問いかけに対して、事業は仮説が外れると失敗する、と答えており、非常にシンプルである。

仮説の定義は、ゴールの達成に必要な条件であり、どんな事業にも仮説は存在するはずだ。DDPは、数字よりも仮説を明確にすることが決定的に重要だという考え方で、詳細な計画よりも仮説を明確にすることを重視している。

計画を立てたときに考えた仮説は、外れていくことが当たり前で、その通りにならないと受け止めておくことが、むしろ現実的である。想定や、前提条

件と言われているところを、敢えて仮説ということ、その通りにはならない可能性を踏まえて表現している。想定というと実現可能性が高そうなニュアンスだが、仮説だと外れるもの、という意図を伝えることができる。仮説を継続的に管理することがゴール達成のために重要である。

そして、仮説と知識の割合に注目する。DDPは学習ベースの方法論であり、学習が大事だ。新たな事業は仮説の塊であり、この仮説をだんだん知識にしていくことが成功の見込みを高めて行くのである。この気づきのことをディスカバリーと呼んでいる。つまり、DDPのDiscovery Drivenとは、気づきに基づいて事業を進めていく、という意味である。

実務では、計算に用いた項目を一覧にしてみよう。もともとどんな計算をしたのかを調べて行くと、仮説を洗い出していくことができる。最も難しいのは仮説を明確にし、組織として合意することである。

ポイントは、無理して仮説を書こうとしないこと。変に作文してしまったりしない事。そうではなく、DDPのいいところは、最初はわからなくても、実務的に、新しく分かったことを追加していくことで、だんだん仮説の精度が上がって行く。仮説の検証は難しいが、しっかりとアップデートしてもらうことが大切。仮説の検証をやることで、より早期に迅速な判断ができるようになる。実務では、設定根拠を継続的に管理し、アップデートする。

このようなモニタリングが大切だ。計画の承認さえもらえれば2~3年は何とかなるという発想から数字を盛るケースが生じ得るが、これではモラルハザードが起きてしまう。

実務では、計算に用いた数値の説明を一覧にして、設定根拠を継続的に管理(モニタリング)し、アップデートする

仮説一覧表

仮説名	設定根拠(仮説)	Base	Low	High
生体認証市場規模、(百万円)	調査会社アラン研究所…	12,400	9,920	14,880
生体認証市場における指紋認証方式	新規参入アルファ社の…	0.55	0.5	0.7
ピーク獲得シェア、(%)	競合ガンマ社の新商品…	0.2	0.16	0.24
シェア波形、(%)	過去実績を基に設定し…	0	0	0
フェーズ1開発費(直接費)、(百万)	フェーズ1が既に完了し…	200	200	200
フェーズ1開発費(間接費)、(百万)	フェーズ1完了のため確…	150	150	150
フェーズ2開発費(直接費)、(百万)	開発部門へのヒアリン…	280	224	336
フェーズ2開発費(間接費)、(百万)	開発部門へのヒアリン…	170	136	204
製造原価率、(%)	製造部門ヒアリングを…	0.25	0.2	0.3
販売管理費率、(%)	販売管理部門ヒアリン…	0.3	0.24	0.36
初期投資		20	契約によって確定済	

Copyright © 2019 by Integratto Inc.

integratto

2

図2 設定根拠の継続的管理とアップデート (出所: 講演資料より)

「この仮説一覧表に基づいて、四半期後にまた議論しましょう」ということにすると、そのような手抜きは生じにくい。仮説の管理プロセスが大切、ということ。継続的なプロセスが大切だ。

5. マイルストーン計画について

仮説は外れるものであり、どの仮説がどう外れたのかを定期的に検証するべきである。しかし新しい事業はいつをマイルストーンにすればいいかわからないと言われる。新規事業で何をマイルストーンにすればいいかわからないならば、四半期ごとにやることをすすめている。

4〜5年前にマクミラン教授達に、四半期ごとに検証するようすすめていることを伝え、マイルストーンにこだわらず、その方がいいと言われた。従来型だと、事業計画が意思決定された後、途中で事業の見通しが共有されず、決算になって数字がついてこないことが露見するケースがある。

仮説は外れてくるもの：
価値最大化の取り組みは、継続的なプロセス

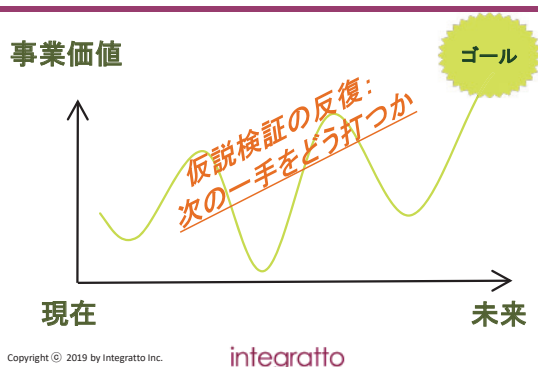


図3 仮説の外れと価値最大化の取り組み
(出所 講演資料より)

組織の役割分担を明確に決める事も大切だ。事業部門が計画を出してきたら、経営サイドは「仮説はどうなっているのか」を確認すること。数字はいい数字が出て来るに決まっている。

モニタリングにおける管理部門の大事な仕事は、四半期ごとなどの定期的に「新しい情報は何か」と聞き続けることである。売上、利益の数字ではなく、仮説管理者としての仕事は、仮説の検証に必要となる新しい情報を確認し続けることである。オプション的な考え方を実践するために役割分担をしていることが特徴ともいえる。

事業部門は決めたことをそのままやりたいし、自分達が決めた計画に対してバイアスがあるし、いろいろ聞かれるのは面倒くさい。健全な対立構造を使うことが、オプションを活用するために極めて重要

だと考えている。一橋大学の伊藤邦雄先生に話したら、当社のやっていることは、コーポレートガバナンスを企業の内部から良くする仕事をしていると評価された、伊藤先生には、昨年からインテグラーットの顧問になっていただいている。

仮説をどうやって作って行くかというプロセスについては、様々な企業からニーズが寄せられている。そもそもオプションが大事なのでテンプレートを作るのは嫌だったが、企業のニーズがあるので、仮説の洗い出しに必要なテンプレートを作ってみた。大切なのは事業部門と管理部門が議論を継続することであり、仮説の検証を継続することである。当事者のバイアスが残らないように、管理部門が仮説管理者として仕事を新たに定義し、客観的、定期的に質問を繰り返していくこと。

仮説は外れるという前提で、四半期、半期ごとに管理者が検証し、仮説を修正していくと良い。事業部門が、「自分達に役に立つ」と思ってくれたら定着するが、最初はたいがい嫌がられる。仮説が明確になると、実は事業部門の中でも意見が異なっていることが分かってくる。そして新しい情報が入ってくると、事業にとって非常に有効になる。

最初の1年、2年が大事で、ここでリーダーシップをとってくれた人が異動するとうまくいなくなるケースもある。業務規程に格上げされるまで頑張ることが必要であり、つまり仕事としてオフィシャルに組み込まれることが重要。大きな組織の方が仮説を共有しないことが多く、個別最適が起こっている。

中堅機械メーカーの例を示す。中計を何度も出しているが、一度も達成したことがないという。何度も未達ではいけないということで検証してみた。

すると、対前年比の議論に偏重しており、社内の交渉になってしまっている。結局「何%で行くか行かないか」しか議論していないことが分かった。1年目はだいたい達成できるが、2年目で「あれおかしいぞ」「だったら目標をこうしなきゃ」となり、どんどんうまくいなくなる。

手遅れにならないように、仮説を管理する仕組みに中計を変えていく。外部環境の分析から基本に忠実に仮説を検証していく。外部環境の分析を毎年やっている企業は少ないが、外部環境の変化が激しい昨今、これではいけないので、当社は、基本に忠実であることを重視している。

コミュニケーションを重視すると、難しいツールは使われなくなる。システム上で誰が見ても分かるようにすることが必要だ。

DeRISKはブラウザで動き、クラウドで設計した

が、社内のネットワークに置きたい企業が多いので、そのニーズにも対応した。

事業計画の分析業務は、一般的にまずはエクセルのシートを作ることから始まる。1つのシートを見ると、他のシートを参照する仕組みになっていることが多く、際限がない。管理スタッフが疲弊しやすい業務だ。

DeRISKは、ファイルをアップロードすると、時間軸を読みとり、時間軸に沿ってどのような指標が入力されているかが見える仕組みだ。ブラウザ上に表示されたエクセルの計算構造を確認し、どういう計算ロジックになっているのかを解析する。おおまかにどういう風になっているのか、シート間の関係はどうなっているのか、を明確にして、事業がどんな利益構造になっているのかがクリアになる。計算式はどんなものが入っているのか、も見えるし、時系列データのうち、数式のものや手打ちのものが可視化されて区別できる。社内でビジネスデューデリができるシステムであり、感度分析も出来、定量分析も使える。

おおまかに事業が見えてきたら、シナリオ分析をする。例えば、市場規模が大きくなりシェアがとれた時にどういうシナリオがあるのか、を考えられる。様々なシナリオで、どのような対策を打つべきかを議論する必要があり、そこで活用できる。

意思決定したら、その後の管理は、管理用の画面で、どのプロジェクトがどういう状況にあるかを把握できる。このシステムで重要なのが、根拠の一覧の履歴が残るところである。仮説は時間の経過とともに変化し、時間が経過すると、何をやっているのかが分からなくなってくる為、数字だけでなくテキストも収集して仮説がどのように変化してきたのかを学習できるようにしている。そこでは、自然言語処理のAIを使っている。

例えば、意思決定者については、「あなたの意思決定は、過去の〇〇の事例に似ている」ということがサジェストできるなど、過去の事例を参照できる仕組みである。また、外部のニュースと突き合わせ、仮説が外れているかもしれない、とアラートを出し、仮説の修正を促す仕組みになっている。

過去にどんな質問とどんな回答があったのか、もサジェストできるが、これは人気のある機能である。過去の状況を学習できると言うことである。

6. DeRISKの名前の由来

事業価値は時間の経過とともにボラティリティが高まっていくものであり、横軸を時間、縦軸を事業価値にとると、まるでワニの口が大きく開いている

かのである。このワニの口を閉じていこう、というのがDeRISKの考え方だ。ボラティリティが高まっていく事業に対してオプション的に対策してリスクを下げて行こう、という発想である。事業計画の企画と管理の精度を上げてリターンを高める。リターンを高めることを目的とするシステムだ。単なるシステム導入にとどまらず、経営目標の達成まで、お客様と一緒にやって行くことが大切である。

DeRISKは、ワニの口を閉じるためのリスクマネジメントシステム
→ 事業計画の企画と管理の精度を上げてリターンを高めます

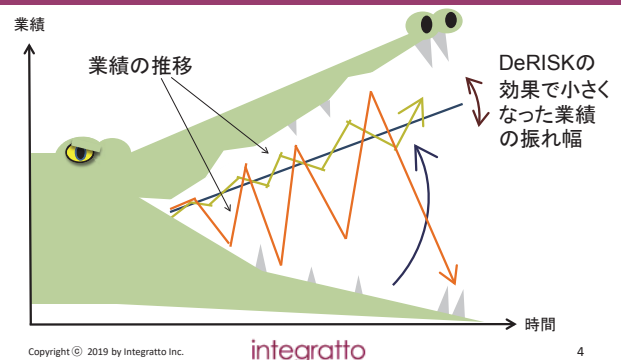


図4 DeRISKのリスクマネジメントシステム
(出所 講演資料より)

子会社管理の改善などにも使われている。情報共有するシステムなので、よく分からない事業に活用できる。大阪ガス様の場合、既存ビジネスはよくわかっているがM&Aで得た新規事業の事はよくわからない。こういうケースに向いている。

総合商社は時価評価を継続したい。買収した後も継続することで売り時を逃さないようにしたい。DeRiskは実績を管理するシステムではなく、仮説を管理するシステムであり、時価評価の管理に向いており、事業投資のアセットマネジメントシステムである。リスクに対応してオプション的に対策を打ち、バリューアップを進めて行く。

(Q&A)

このシステムは継続的に仮説を検証していく。

M&Aの場合、買い手から見ると、ある瞬間に買収の意思決定をしないとイケないが、そこでも有効か。

M&Aの買い手には買収前から使ってもらっている。シナリオ分析とは仮説の組み合わせ。どんな仮説の組み合わせの時にいくらまで出せるかが議論できる。市場がこういうペースで拡大していればこの金額で買える、という具合に使える。ビジネスデューデリの時に大きな効果を発揮する。比較的検討時

間が短い場合でも、感度分析とシナリオ分析に基づく価格の検討と意思決定には有効である。オークション案件などで情報が限られている場合には、仮説の質が低くならざるを得ず、高値掴みの防止効果は低いと思う。

新興企業やベンチャー企業の M&A の場合はどうか。仮説検証のスパンが短すぎると思われるが。

新興企業の場合、DCF を使った一点読みのバリュエーションよりは、はるかに役立つ。精度の高い分析は得られないが、対象事業が「何に賭けているのか（最も重要な仮説は何か）」明確にする目的で活用するとよい。そして、仮説の管理を継続することが重要である。

今回の話は企業内部で業績を管理したいということだったと思うが、投資家側でも応用できるのか。

この前某機関投資家（運用会社）の方と話をしたが、大きな企業ほどエンゲージメントが難しく、言うことを聞いてくれない。投資家サイドで使うと、企業再生のようなケースで、情報共有の密度が高い必要がある。入手できる情報が足りないと実効性の高い分析ができず、有報ベースの情報では足りない。証券アナリストは有報を見て、仮説で聞きたいところを整理している。システムではなく自分でやっているからである。

事業部門のインセンティブ設計について。どのようなケースがあるか。

顧客からのフィードバックで、なるほどと思ったのは、「事業部門が何を聞かれるか分かってきたので、自分たちで考えるようになってきた」というケース。事業部門が自分達で仮説の重要性を認識するようになったと言うこと。その写しを管理部門が観ているイメージであり、仮説とは、結局数字の根拠を聞いていること。これが浸透すればよいが、事業部門のニーズが弱いと、そこにいたるまではとてもしんどい。自分たちで危機感を持っているところから入るとよい。うまく行っているところは必要性を感じない。うまく行っておらず、危機感を持っている部門が、この状況を経営陣にうまく伝えるために活用すればよい。

また、仮説を共有することは、「約束しただろう」「とにかく何とかしろ」と言う経営陣から、事業部を守ることである、という説明も、事業部門から共感を得られやすい。

バリュエーションに転換する時に、割引率はどのように設定するのか。

割引率とは目標リターンのこと。この目標リターンをどのように設定するか。目標設定の議論であり、CAPM だけでなく、営業利益率のベンチマークも参考になるのではないかと。資本コストにどのようにプレミアムをつけるか、がハードルレートの議論の核心。

企業における管理には2種類あるようだ。10年のP/Lを考える際に、例えば2028年を最終年としたまま管理していくと、経年でボラが減る。しかし当社は、10年のバリュエーションをするのであれば、それを続けてスライドさせていく。こうするとボラは下らない。結果的に、投資時と同様に、時価評価を継続することになる。

監査役として事業経営に参加している。取締役会でやらなければならないことはリスクのモニタリング。事業ごとに現在の状況がアップロードされるのは、とても非常に有益なシステム。しかし DeRISK を活用している企業は存在するのか。これほど先進的なシステムを使いこなしている企業はあるか。

2019年1月リリースのシステムなので、取締役会の定例報告資料として活用している企業はまだ存在しない。取締役会が使おうと検討している企業は既にあるので、今後、ダッシュボードのように DeRISK を使用する企業が一般的になると予想している。

複数の仮説が絡み合うケースがあり得ると思うがそういう時はどういう見方をすればよいのか。

シナリオ分析が重要。相関をつけると議論がちゃんとされない。この仮説がこうなったときに他の仮説がどう動くのかをきちんと議論する必要がある。生産量が増えて来ると製造原価が下がってくる、とよく言われるが、今はそうならないケースが生じているため、そこをリンクせずに議論する必要がある。マニュアル（手作業）で判断した方が現実を把握しやすい場合もあり、モンテカルロ法だと次の一手がなかなか見えない。総合商社は感度分析とシナリオ分析を中心に使っている。あまりにも高度な分析になると分かる人と分からない人に分かれてしまう。経営陣が慣れていないと没になってしまう。

導入の難しさはリアルオプションも同様。そういう中で、事業として DeRISK などを新たに導入する際、「これを入れると何がいいのか」が問われると思うが、どう説明しているのか。

リターンが高まると言い切っている。やり方次第ではあるが、今までの実績管理システムとの違い

は、損失発生を防止し、高いリターンを狙っているところ。販売は簡単ではないが、うまくいくパターンは、経営者に会える場合で、「これは自分がやってきたことだから、それを仕組み化できるのであれば導入したい」となる。これが一番うまく行くパターン。出来る人はもうやっている。「当たり前のことを当たり前にやっている」という評価。そもそもやらなければいけないことをやる、ということ。たくさんの人が絡んでくるので「とりあえず使って下さい」は通用しない。直球勝負だが、10年前とは大きく手ごたえが異なり、採用に進む企業が増えてきた。

仮説指向型分析に沿って DeRISK を開発した。仮説は今まで意識しなかった事態が発生し得る。モデルの中に意識的に表現されていないことが生じたときはどうするのか。

自然言語処理の AI でテキストの読み込みをするので、公表されているニュースを読み込ませて、管理部門と営業部門の両方に、仮説が外れている可能性をアラートすることができる。従って、修正の必要を早期に認識することが容易になった。しかし、

そこからどうシナリオを修正すべきかを提案するところまではできていない。外部の公表情報だけでなく、特殊にとっている情報も取り込めるが権利の問題がある。現時点では、外部環境の変化に事業部門、管理部門が早く気付けるようにする。特許出願中（講演時は出願中でしたが、その後 PCT で承認されました）。

バックテスト的な機能はあるのか。仮説が間違っていることを実績からさかのぼる機能。

現時点ではない。このような機能は導入するかどうか議論したが、過去の議論を引用すると、犯人探しになりがち。スムーズに組織的学習が進むように、今後も工夫を続けたい。

特に仮説の管理が質的なものに軸足が移ったのはとてもいいところ。量的な分析よりも質的な世界のところで仮説分析ができるようになるとよい。量的な分析を前提にするとモデル化が必要になり、そうになると多くの経営者が理解できなくなる。

以上

v<講演要旨 2019 年 1 月 25 日 於：東京商品取引所 会議室>

最近のコモディティ市場で取り引きを行う CTA の動向

森谷博之

(Quasars22 Private Limited, Director)

1. はじめに

CTA の行政上の取り扱い、歴史、投資戦略等をまず簡単に説明する。

1.1 CTA とは

CTA とは金融先物、オプション、スワップを対象とした取り引きに関する投資のアドバイスやサービスを個人、ファンドに提供する個人、または組織に対する金融行政上の用語で、正式名は Commodity trading advisor¹ である。CTA という用語は投資信託、ETF を含むヘッジファンド、プライベートファンドへの投資アドバイスにも適応される。CTAs は米国連邦政府による規制対象であり Commodity Futures Trading Commission (CFTC)² への登録と National Futures Association (NFA)³ のメンバーになることが義務付けられている。また、CTA はヘッジファンドの投資スタイルのひとつ(Global Macro)でもある⁴。

1.2 CTA の歴史

CTA の歴史は米国における先物取り引きの歴史と関連し 1850 年代にまでさかのぼる。1920 年代に最初の連邦政府の規制が施される。1922 年に Grain Futures Act、そして 1936 年 Commodity Exchange Act が施行される。1974 年には Commodity Futures Trading Commission (CFTC) が設立され、規制対象として CTA が初めて認識される。初期の段階では CTA は商品市場でのみ規制の対象となった。その後、金融商品を含むデリバティブの普及で取り引きの対象は飛躍的に広まった。2010 年 7 月には、Commodity Exchange

Act のもとでの CTA の定義は、Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act⁵ によりスワップ取り引きを含むように拡張された。

1.3 CTA の活動

CTA は投資戦略を駆使してアセットマネージャとして活動する⁶。投資対象は主に、農産物、林産物、金属、エネルギーの先物、オプション、株価指数、債券、通貨という金融デリバティブである。採用するマーケット戦略としてはトレンドフォロー、マーケットニュートラルがあり、その他として、金融、農産物、通貨という市場クラスのセグメント戦略などがある。投資スタイルの観点から分類するとテクニカル、ファンダメンタル、計量戦略などとなる。

CTA の特徴としてその透明性があげられる。

1. 顧客・投資家の口座での直接取り引き(managed account)。
 - (ア) 顧客・投資家による運用のレバレッジ・ポジション状況の把握、チェック、
 - (イ) 取り引き費用、売買スプレッド等のチェック、
 - (ウ) 公表運用利回りと自らの口座の運用利回りととの比較等が可能。
2. 上場先物・オプション市場を投資対象とすることによる迅速な契約解除が可能。

CTA のレバレッジには誤解が多いので、ここで A. Ang, S. Gorovyy, G. B. van Inaegen (2011) の調査結果を紹介する。ただし、ここでの結果は CTA のものではなく、ヘッジファンドに対するものである。2005 年から 2010 年までの分析では一般の銀行のレバレッジ

¹ 7 U.S. Code § 1a – Definitions

<https://www.law.cornell.edu/uscode/text/7/1a>

² <https://www.cftc.gov/> Retrieved 10 February 2019.

³ <https://www.nfa.futures.org/>

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Hedge_fund

⁵ "Commodity Pool Operators and Commodity Trading

Advisors: Amendments to Compliance

Obligations" (PDF). Commodity Futures Trading Commission. Retrieved 10 February 2019.

⁶ Commodity Trading Advisor Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Commodity_trading_advisor#cite_note-Sutherland-3 Retrieved 10 February 2019.

が 8-10 倍で平均 9.4 倍、インベストメントバンクが 10-40 倍で平均 14.2 倍、そして、ヘッジファンドは 1.5-2.5 倍で平均 2 倍程度と報告されイメージよりも小さいことが分かる。

1.4 CTA に関する情報の取得

CTA についての情報は WEB 上からある程度取得できる。

1. バークレイ・ヘッジ⁷
2. クレディスイス・ヘッジファンド・インデックス⁸
3. IASG⁹

公的文書等として Advisory Agreement、Due Diligence Report、Disclosure Documents¹⁰がある。

2. 生き残れる CTA とは？

各 CTA の月次収益率データを IASG よりダウンロードし¹¹、CTA の活動の特徴を分析する。今回の調査は条件付き検索機能を用いて口座の数を数えるという方法を取り、口座の残高を用いた分析ではない。

IASG のデータベースから設立年度別の CTA の生き残り口座数、設立年度別の CTA の口座閉鎖の数を取得し、どのような CTA が生き残れるかを分析する。

IASG のデータベースには、投資戦略(Investment Strategy)、意思決定(Decision Making)、投資対象クラス(position)を条件とした CTA の検索機能がある。投資戦略は 13、意思決定は 2、投資対象クラスは 13 の項目に細分化されている。投資戦略を以下の 4 つで絞り込む。多くの CTA はこの 4 つの項目で分類できる。

1. トレンドフォロワー: 移動平均など
2. モメンタム: 価格変化率など
3. カウンタートレンド: テクニカル指標
4. ファンドメンタル: 需給の関係をモデル化(電話等による情報収集等)

2.1 設立期間による分類

設立期間を 4 つに分け、1990 年以前の設立、1991 年から 2000 年まで、2001 年から 2010 年まで、そして 2011 年以降に設立されたものについて特徴を分析

する。

2.1.1 プログラムの数から見た生き残りの傾向

トレンドフォロワー(TR)、モメンタム (M)、カウンタートレンド(C)のどの戦略を CTA が採用しているかを計数している。一方で TR+M は、トレンドフォロワーとモメンタムを用いている CTA のみを計数している。TR+M+C も同様である。また、CTA は単一の運用スタイルを投資家に提供するが、規模の大きなものは複数の運用スタイルを提供している。そのための運用スタイルのバリエーションを区別するために、ここではプログラムと呼ぶ。

表 1 : 各戦略採用のプログラム数

設立期間	トレンドフォロワー	モメンタム	カウンタートレンド	TR+M	TR+M+C
～1990	6	2	1	1	0
1991～2000	36	6	12	6	6
2001～2010	69	22	34	17	11
2011～	115	62	62	35	23
合計	226	92	109	59	40

表 2 : 各戦略採用の運用停止プログラム数

設立期間	トレンドフォロワー	モメンタム	カウンタートレンド	TR+M	TR+M+C
～1990	6	0	0	0	1
1991～2000	29	4	13	2	21
2001～2010	222	70	132	42	34
2011～	167	95	102	61	56
合計	424	169	247	105	112

表 3 : 各戦略採用のプログラムの生き残り率

設立期間	トレンドフォロワー	モメンタム	カウンタートレンド	TR+M	TR+M+C
～1990	50%	100%	100%	100%	0%
1991～2000	55%	60%	48%	75%	22%
2001～2010	24%	24%	20%	29%	24%
2011～	41%	39%	38%	36%	29%
合計	35%	35%	31%	36%	26%

表 3 の生き残り率は表 1 の運用中のプログラム数を運用停止のプログラム数と運用中のプログラム数の和で割って求めている。TR+M、又は TR+M+C は戦略を組み合わせさせて使っているために戦略の分散が効いて生き残りの割合が増えそうであるが、そのような傾向は把握できない。2001-2010 年の生き残り率が低いのはリーマンショックによる影響である。古い CTA の方が生き残り率が高いように思えるが、サバイバーバイアスを考慮する必要がある。

次に投資対象としている先物市場から CTA が生き残るための条件を分析する。

CTA 側から自主的に提供されていること、その提供されたデータを IASG が独自の視点で評価、公表していること、IASG の歴史が約 20 年ほどであることを考慮する必要がある。

⁷ <https://www.barclayhedge.com/>

⁸ <https://lab.credit-suisse.com/#/en/home>

⁹ <https://www.iasg.com/en-us/>

¹⁰ <https://www.iasg.com/en-us/>から取得可能。

¹¹ その際の注意点として IASG に提供されているデータは

表4：各市場で運用中のプログラム数

運用中のプログラム数(2018/12/31現在)

設立期間	工業用金属 or 貴金属	エネルギー	穀物 or 牛 or ソフト	株式指数	外国為替	FX	金利
～1990	3	7	4	8	8	1	1
1991～2000	18	25	7	22	20	9	27
2001～2010	33	59	24	76	50	16	63
2011～	67	115	49	152	93	24	92
合計	121	206	84	258	171	50	183

表5：各市場で運用停止したプログラム数

運用停止のプログラム数(2018/12/31現在)

設立期間	工業用金属 or 貴金属	エネルギー	穀物 or 牛 or ソフト	株式指数	外国為替	FX	金利
～1990	2	4	4	5	4	0	8
1991～2000	15	25	10	10	24	7	27
2001～2010	85	191	90	231	166	68	180
2011～	85	196	94	236	174	57	163
合計	187	416	198	482	368	132	378

表6：各投資市場で生き残るプログラムの割合

市場別生き残り確率(2018/12/31現在)

設立期間	工業用金属 or 貴金属	エネルギー	穀物 or 牛 or ソフト	株式指数	外国為替	FX	金利
～1990	60%	64%	50%	62%	67%	100%	11%
1991～2000	55%	50%	41%	69%	45%	56%	50%
2001～2010	28%	24%	21%	25%	23%	19%	26%
2011～	44%	37%	34%	39%	35%	30%	36%
合計	39%	33%	30%	35%	32%	27%	33%

ここでも戦略ついでの時と同様な傾向がみられ、特別な傾向は見られない。

2.2 個別 CTA の特徴

長期間にわたり生き延びた CTA を対象に、その特徴を見てみる。1990 年以前に設立された CTA と 1991 年から 2000 年までに設立された CTA について分析する。

1990 年以前に設立され現在 unarchived programs として登録のある CTA は 9 社ある。そのうち裁量だけで投資判断を行う CTA は 1 社、裁量とシステムの折衷は 1 社、残りはシステムでのみの運用である。つぎにカウンタートレンドを採用しているのは 1 社、ファンダメンタルを採用している CTA は 2 社ある。基本はトレンドフォローとモメンタムである。

1984～1990の間に設立されたCTA

	方法	トレンドフォロー	モメンタム	カウンタートレンド	ファンダメンタル
Mark J Walsh	システム100%	100%			
Millburn	システム100%				
EMC	システム100%	50%	50%		
Chesapeake	システム100%	100%			
Abraham	システム100%	45%		34%	
Eclipse	システム100%		60%		20%
DUNN	システム100%	100%			
Red Oak	裁量100%				100%
Rabar	システム90/裁量10	60%			

投資対象としている先物市場を見てみよう。1 社を除くと株式と金利の市場で大体半分を占めている。そして、残りを商品市場で運用している。

1984～1990の間に設立されたCTA

	工業用金属、貴金属	エネルギー	穀物、牛、ソフト	株式指数	Currency Futures	Currency FX	金利
Mark J Walsh				24%			20%
Millburn	8%	9%					26%
EMC		10%	8%	14%			25%
Chesapeake				25%			22%
Abraham	21%	8%	26%	16%			25%
Eclipse	12%	13%		25%			25%
DUNN	6%	11%	23%	21%			25%
Red Oak	30%	15%	38%				8%
Rabar	11%	14%	22%	11%	20%	3%	19%

1991 年から 1995 年までに設立され unarchived として登録がある CTA は 11 社ある。裁量により投資判断をしている CTA は 1 社、裁量とシステムの折衷は 1 社、残りはシステムにより投資の判断を行っている。ここでは新たな投資戦略としてパターン認識が加わっている。テクニカル記述に記述の内容説明はないが、トレンドフォロー、モメンタム、コントラリアンを含むと考えられる。システムで投資判断を行う多くの CTA がトレンドフォローとモメンタムを採用していることが分かる。ファンダメンタルを用いる CTA は裁量による投資判断を行っている。

1991～1995の間に設立されたCTA

	方法	トレンドフォロー	モメンタム	カウンタートレンド	ファンダメンタル	パターン	テクニカル
Tactical	システム90/裁量10	100%					
Fort Global	システム100%	45%	10%	45%			
Fort Global Futures	システム100%	45%	10%	45%			
Estlander	システム100%	50%				25%	25%
Ais	裁量100%	10%				90%	
Eckhardt	システム100%	70%		5%		25%	
FTC	システム100%	80%	10%	10%			
Transtrend	システム100%	100%					
Chesapeake	システム100%	100%					
Dunn	システム100%	52%				34%	14%
Rottala	システム100%	100%					

株式と金利の先物市場に投資する CTA が多いという傾向はあるが、株式、金利、通貨先物に大半を投資する CTA が 7 社ある。

	工業用金属、貴金属	エネルギー	穀物、牛、ソフト	株式指数	Currency Futures	Currency FX	金利
Tactical	20%	10%	20%			25%	25%
Fort	2%	4%		28%	16%		48%
Fort	4%	6%		20%	20%		50%
Estlander	17%	10%	17%	12%	17%		22%
Ais	17%	17%	17%	16%	17%		16%
Eckhardt	8%	10%	12%	14%	21%		35%
FTC	6%	10%	7%	25%	25%		25%
Transtrend							
Chesapeake	11%	1%	16%		52%		
Eclipse							
Dunn	5%	12%	24%	20%	13%		26%
Rottala							

2.3 AUM が USD 1billion 以上

運用残高の大きさに焦点を当てて見てみよう。USD 1 billion 以上の運用残高を持つ CTA は 11 社あり、そのほとんどがシステム運用である。このグループの特徴は情報公開の度合いが限られている CTA の割合が増えていること、株式、金利、通貨先物に多くを投資するという、そして戦略の主体はやはりトレンドフォローとモメンタムであることである。特に投資対象となる市場では流動性の確保が必須であり、流動性の低い市場の比率は下がる傾向にある。

AUM>1 billion (2018/12)

	方法	トレンドフォロー	モメンタム	カウンタートrend	ファンダメンタル	パターン	テクニカル
Millburn	システム100%						
FORT	システム100%	45%	10%	45%			
Crabel	システム100%	14%	40%				
QIM	システム100%						
Fort	システム100%	45%	10%	45%			
SEB	システム99%	90%					
Transrend	システム100%	100%					
QMS	システム100%				50%		50%
CFM	システム100%	100%					
Quest	システム100%	50%	20%	5%			5%
IASM	システム100%	100%					

	工業用金属、貴金属	エネルギー	穀物、牛、ソフト	株式指数	Currency Futures	Currency FX	金利
Millburn	8%	9%		24%			20%
FORT	2%	4%		28%	16%		48%
Crabel	5%	11%	2%	29%	26%		25%
QIM	10%	15%		26%	25%		24%
Fort	4%	6%		20%	20%		50%
SEB							
Transrend							
QMS							
CFM				20%	20%		40%
Quest	10%	14%	5%	19%	31%		21%
IASM	6%	9%		17%	17%		8%

3. 注目すべき CTAsBELLEMOND Pad Pro 12.9 (第2世代 2017 / 第1世代 2015) ペーパーライク フィルム

調査対象となった CTA の中で、注目すべきいくつかの CTA について説明する。

3.1 タートルズという集団について

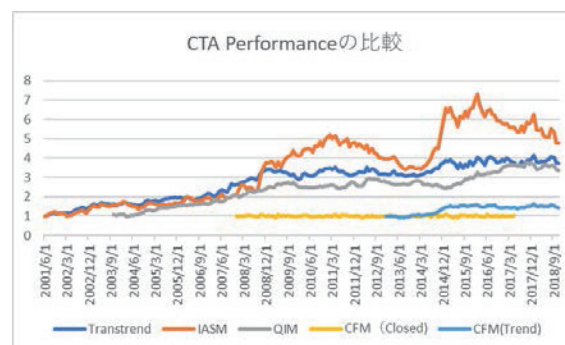
タートルズとは、リチャード・デニスとウィリアム・エックハートという 2 人の伝説的な先物トレーダーによる「運用技術は天賦の才能か、それとも伝承可能な技術か」という賭けから誕生した投資集団である。2.2 節の表に出てくる ECM¹²、Chesapeake¹³、Abraham¹⁴、Eckhardt¹⁵はタートルズである。彼らがデニスとエックハートからどのような教育を受けたかは Faith(2007)、Covel(2007)に詳細が記されている。また、デニスとエックハートについては Schwager(1988,1992)に詳しい記述がある。

3.2 CFM¹⁶

CFM は 1991 年に設立されパリに拠点を置くヘッジファンドである。CTA からスタートし、いまでも CTA としてのサービスを提供している。2.2 節の表にも名を連ねる。経済物理、金融工学、テクニカル分析と多様な戦略を使い高頻度取引から比較的長い期間の投資を行う。投資対象は先物、オプション、株式、債券、外国為替のスポット・先物などである。

Bouchaud,Potters(2000)は、それぞれ Chairman と Co-CEO を務める。総運用残高は USD 11billion¹⁷で 1 兆円ファンドである。パリの the École normale supérieure (ENS)の Modelling and Data Science の分野の支援を CFM Foundation for Research を通じて行っている。物理分野の Phd 取得のデータサイエンティスト、IT 技術者を多数抱える。図 1 は CFM を含む主要な CTA の運用成績のグラフである。CFM がかなりボラティリティを抑えた運用をしていることが分かる。

図 1 各 CTA パフォーマンスの比較



3.3 QIM¹⁸

Quantitative Investment Management は、2003 年に Michael Geismar と Jaffray Woodriff により設立され、パターン認識プログラムを用いて 54 の先物市場に投資を行っている。投資期間は 1 日から 50 日程度である。Woodriff は株式市場での高頻度取引に批判的であり、USD 120 million を投じて Woodriff's Quantitative Foundation を通じて the University of Virginia に School of Data Science を設立している。図 1 に運用成績を示した。運用手法はベールに包まれていて、一時、機械学習、AI という記述があったがいまでは取り消されている。ただし、人とは同じ方法は使わないという点では常に一貫性がある。運用残高は CTA としては大きく USD 3billion である。

4. 講演中の質疑応答

発表内容についての質疑応答とその補足。

¹² <http://www.elitecapgroup.com/>

¹³ <http://www.chesapeakecapital.com/>

¹⁴ <https://www.abrahamtrading.com/>

¹⁵ <http://www.eckhardttrading.com/>

¹⁶ <https://www.cfm.fr/who-we-are/#Our%20board>

¹⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Capital_Fund_Management

¹⁸ <https://www.iasg.com/en-us/groups/group/quantitative-investment-management2/program/quantitative-global-program, 2012>

https://en.wikipedia.org/wiki/Jaffray_Woodriff

4.1 デューディリジェンス (Due diligence)

数名程度で運営される小さな CTA や運用期間が短い CTA については運用成績をどのように評価するかという大きな課題がある。また、大型の CTA においても同様な問題が生じる。一般にはブローカーや顧客との面談が可能で、また口座情報のブローカーからの直接の取得などが可能となっている。もちろん CTA のオフィスに常駐して運用管理全般についてモニターするといったことも行われる。また、システム系のトレーダーに関しては、トレードシステム評価機関にシステムそのものを評価してもらうことも可能である。

4.2 商品市場のファンダメンタル手法

ファンダメンタル手法は経済や財務情報を集めてモデル化して分析すると言ったイメージがある。ヘッジファンド業界、特に CTA 業界では、電話等による主要な市場参加者からの需給関連の情報収集がもっとも大事だという認識がある。商品市場といっても発行市場のような機能があり、大口参加者間の情報交換は市場のファンダメンタルズを形成する。

最近では金融工学、統計的手法、機械学習、AI などの手法が高度化する中、例えば市場が混乱をきたしていたり、過去にないパターンに陥っていたりするときには、このような情報収集能力とシステムに頼らない投資判断能力が重要視され、難しい相場局面での突破口になると考えられている。このような市場の価格発見機能は株式発行市場、債券発行市場でも見られる。

2000 年代から金融系トレーダーによりファクターモデルが商品系市場にもたらされた。CTA の間では、このようなモデルが本来あるべき商品市場の機能を破壊したという意見もある。また、その逆もある。商品市場の現物・先物の機能に関しての報告は多数ある (Tang and Xiong 2012、Jarecki 2011)。

4.3 高頻度取引の市場への影響

高頻度取引はポジションの保有期間が短いことから長期の投資よりも収益が安定して、効率の良い投資であると考えられがちである。しかし、ポジションの保有期間が短ければ、その分、値動きの幅も小さくなり、ミリ秒、ナノ秒という単位では、刻みという最小の値動きであっても無限に高い障壁となる。それは先物の限月間裁定という手法を用いて値動きのランダム性の問題を解決しようとしても同じである。日経 225mini についてのマーケット・メイクと限月間裁定取引のシミュレーションが、森谷(2016)により、発表されている。

また、高頻度取引により得られる収益が、経済活動という観点からどのように取り扱われるべきかを考察する必要がある。これは明らかに富の分配の問題であり、特に高頻度取引から得られる収益が、長期保有による価格の上昇から得られる収益よりも大きければその取り扱いは難しくなる。高頻度取引による収益が市場の外に出ていく割合が重要で、それが高いと考えると、簡単に市場の混乱要因となることは理解できる。この収益の対価を供給している経済活動、経済主体は何なのだろうか。流動性の供給に支払われる対価が長期保有の対価よりも高いということがあれば、どう理解したらよいのだろうか。

特定の取引戦略がどのような影響を市場に与えるかはいつも不確定で 2010 年のフラッシュクラッシュに見られるように、市場に混乱を与えるリスクは常にある。CTA はマーケットインパクトを与えないように取引をする傾向にあり、これはアルゴリズム取引というよりは、取引の戦略そのものから同じタイミングで他の取引参加者と同じ方向に注文が出ないように戦略を構築しているという理解が正しい。他の市場参加者と同じ取引方法は取らないという、QIM のような方針をもつ CTA は、少なくない。

同時に流動性という観点から高頻度取引の役割は想像以上に大きいと思われる。物理学的に見ると取引にかなりの頻度がなければ、平均値が存在しないことを Moriya (2017)、森谷 (2018) が、議論している。

CTA は一般的に高頻度取引には慎重である。それは投資家から常に市場であらかじめ定められた方法で取引をするように求められているからである (表 7 参照)。市場の状況が目まぐるしく変化するミリ秒単位の市場ではそのような取引を安定して、継続してシステム運用することは難しい。

表 7：調査対象の内投資期間について情報公開している CTA

	intraday	1-30days	1-3Months	4-12Months	over 12 Months
Estlander	1%	45%	46%	8%	
Ais			10%	40%	50%
Crabel	14%	86%			
QIM			100%		
IASM			100%		

4.4 CTA の報酬の形態について

CTA の報酬はファンドの Equity に対する比率で支払われる management fee と、新たに獲得した収益に対して課される incentive fee に分かれる。後者に対しては hurdle rate、high-water mark が設定され、これ以

下の収益しか得られない場合には fee が発生しない。QIM のように management fee を課さない CTA もある。

参考文献・資料

1. Ang, A., Gorovyy, S., and Van Inwegen, G. B. (2011). Hedge fund leverage. *Journal of Financial Economics*, 102(1), 102-126.
2. Bouchaud J-P and M. Potter, *Theory of Financial Risks*, Cambridge University Press, 森平爽一郎監修、森谷博之、熊谷善彰訳『金融リスクの理論—経済物理からのアプローチ』、朝倉書店 (2003)
3. Covel, M. (2007). *The Complete TurtleTrader: The Legend, the Lessons, the Results*. Collins.
4. Faith, C. M., and Foster, M. (2007). *Way of the Turtle*. New York, NY: McGraw-Hill.
5. Jarecki, H. G. (2011). The relationship between commodity futures trading and physical commodity prices. *Lecture given on*, 5.
6. 森谷博之(2016)『Python3 ではじめるシステムトレード』14 章以降、パンローリング
7. Moriya, H. (2017). Quantized price volatility model for transaction data. *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 14(2), 397-4
8. 森谷博之 (2018). 緊急性取引の値動きのランダム性と安定性. *企業研究*, 33, 99-120
9. Schwager J. D. (1988), *Market Wizards: Interviews with Top Traders*, Wiley
10. Schwager, J. D. (2012). *The new market wizards: Conversations with America's top traders*. John Wiley & Sons.
11. Tang, K., and Xiong, W. (2012). Index investment and the financialization of commodities. *Financial Analysts Journal*, 68(6), 54-74.

機関誌への原稿募集

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）は査読付きである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 か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。御投稿は、案内ページ http://www.realopn.jp/prep_page8.htm からお願いいたします。記事の分量は、規定のフォーマット 10 ページ以内を目安にお願いいたします。

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」に登載します。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。

<講演要旨 2019年1月25日 於：東京商品取引所 会議室>

我が国電力市場と電力フォワードカーブの現状

芝 剛史

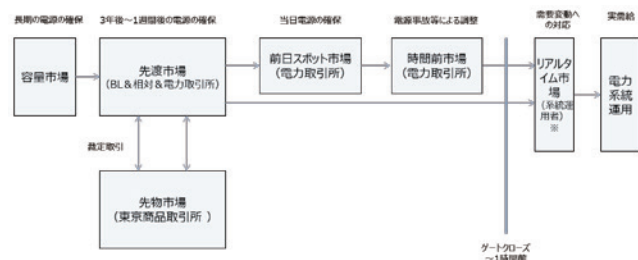
(株式会社三菱総合研究所 環境・エネルギー事業本部 主席研究部長)

1. 我が国電力市場の現況

電力システム改革は2016年4月の電力小売全面自由化を契機として急速に進捗している。2020年以降、小売料金規制の完全撤廃、旧一般電気事業者の送配電部門の分離に加え、容量市場や需給調整市場の導入が行われる予定であり、商品としての電力取引は今後より活性していく。

1) 電力市場の全体像

電力は一般の商品と異なり、貯蔵の効かない生活必需財である。さらに電源投資に長期を要する。我が国の電力市場は図1のように長期的な電源設備の調達を目的とした容量市場、中長期的な先渡・先物市場、スポット、そして短期の取引を行う時間前市場等から構成されるよう設計されつつある。



(出所：三菱総合研究所)

図1 電力市場の全体像

2) スポット取引市場の状況

これまでのところスポット市場取引 (JEPX: Japan Electric Power Exchange) の活性化が行われている。2017年7月よりグロス・ビディングが開始されるとともに、2018年10月より地域間連系線をまたぐ電力取引の際に間接オークションが義務化されるなどの施策によって、2018年10月時点でスポット市場における約定が総需要に占める割合は29%に達している。¹⁾

他方、スポット市場の価格は夏季および冬季の需

給環境によっては大きくスパイクし、電源の限界費用を大きく超えて20~30円/kWh前後で取引されることは比較的頻繁に生じる。まれに50~100円/kWhといった水準で取引されることもある。

自社電源を多く持たない新電力 (PPS) の電源調達は概ね45%をスポット市場に依存している¹⁾。PPSの経営は市場リスクに曝されていると言っても過言ではない。PPSはリスク回避を目的として先渡相対取引を行うようになった。相対取引は2018年6月時点で総需要の3%になっている。¹⁾

3) 今後の市場規制の方向性

電力取引監視等委員会の「運営理念および中期方針」によれば、同委員会は現状の電力システム改革の状況について「全面自由化の開始により小売事業者のスイッチングは進んだものの、未だ市場メカニズムが十分に機能しておらず、流動性が不十分。」と認識している²⁾。今後とも透明で厳格な市場監視が行われ、市場取引の流動性が高まっていくものと考えている。

2. MPX フォワードカーブについて

現実の電力取引 (スポット、先渡相対等) が盛んになるにつれ、PPS各社は自社の電源ポートフォリオの評価のために電力フォワードカーブを必要としている。電力フォワードカーブとは将来時点の電力の売買を、現時点で約定する場合の価格のことである。成熟した商品市場では十分な厚み・流動性を以て先渡・先物取引が行われており、信頼性の高いフォワードカーブが自ずと形成されている。他方、我が国の先渡・先物取引市場の流動性は極めて低く十分な価格形成が行われていない。このため何等かの形でフォワードカーブを作成する必要がある。三菱総合研究所ではKYOS, Inc. (オランダ) と提携して開発したMPX フォワードカーブを2016年1月末より配信している。

フォワードカーブを作成するためのモデルは「ヒストリカルモデル」と「ファンダメンタルモデル」に大別される。ヒストリカルモデルはモデルスポット価格の値動きを時系列モデル化し、将来時点期待値としてフォワード価格を算定する。これに対しファンダメンタルモデルは市場を完全と仮定して電源マージナルコストの予測値をフォワード価格算定のベースとするモデルである。

我が国のスポット市場は原子力発電の再稼働、再生可能エネルギーの普及等、電源構成が大きくしかも急速に変貌していくことが想定されている。こうした状況でヒストリカルモデルによる価格推定は有効とは言えない。他方で、我が国のスポット市場は未だ流動性が不十分であり完全市場仮定は十分に機能しないことも事実である。

MPX フォワードカーブは上記のファンダメンタルとヒストリカル各々の特徴を組み合わせて作られている。具体的にはファンダメンタルモデルで市場価格の 1 か月平均値の中長期的な構造的変化を描き、ヒストリカルモデルにより月内の価格変動（週間から日次、30 分毎）に分解するという手法を採用している。これは、2016 年 1 月サービス開始当初はスポット市場の流動性が十分に高くなくファンダメンタルモデルで得られた価格の時間パターンが実際のスポット市場のパターンとはかけ離れたものであったこともこの選択の要因である。しかし、2017 年末ごろより現実の市場価格の時間パターンとファンダメンタルモデルの描く時間パターンとは一致度が高くなっている。

フォワードカーブに求められる要件として、①買い手、売り手にとってフェアでトレード可能な価格である、②無裁定な価格であること（他の市場を利用した裁定を含む）、③価格の周期的変動（月、週、時間など）を適切に表現していること、④祝日などの特殊日を反映していること、⑤特別なイベントと無関係であること、⑥スムーズに変動すること、などが挙げられており、MPX はこうした要件も考慮して作成されている。

1) ファンダメンタルモデル

MPX ファンダメンタルモデルは需給の想定において電源構成の変化等の将来の確定的事象を取り入れる一方で天候変動や点検・事故等による供給力変動等の不確定要因を平均化した上で需給がバランスする市場価格を求めるものである。

① 需要

エリアの電力需要実績から気温補正を行った平年電力需要実績を求め、これをベースに将来カレンダーに従った 3 年先までの需要想定が行われる。電力需要の将来成長率は毎月定期的に公表される経済成長率見通しとリンクさせている。

② 供給力

発電事業者は 10 万 kW 以上の発電機の運転状況を JEPX の発電所情報公開システム (HJKS) に登録することが義務付けられている。定期点検、事故停止、復旧見込みなどについての情報が登録されており、このデータを日々取り込み我が国に存在する 10 万 kW 以上の火力発電機、概ね 550 ユニットの稼働状況の把握および予測を行っている。

③ 再エネ導入量

FIT 電源等の再エネ電源については導入実績および発電量実績に基づいて将来導入量モデル、平年発電量等を想定し、実績統計が公表され次第、モデルと実績の乖離を把握し、乖離が大きい場合にモデルの修正を行っている。

④ 燃料価格

原油と石炭価格は前月の日本着輸入 CIF 価格に石油石炭税他の諸経費を加えたものとしている。CIF 価格はドバイ FOB 価格からのモデル式であり一定のラグが考慮されている。想定燃料価格は先物価格でありシカゴ商品取引所に上場されているドバイ原油 (FOB)、石炭については NewCastle 炭の先物価格を活用している。LNGCIF 価格は原油 FOB とのリンクによって決定している。MPX フォワードカーブは予想されるマーケットヒートレートで発電するための燃料費用を現時点の燃料先物市場でヘッジする価格である。FOB から CIF への変換モデルは毎月貿易統計が公表されるタイミングで見直しを行っている。

⑤ 最適運用解法

ファンダメンタルモデルの解法は一般的にユニットコミットメント問題で使われている手法である。発電機の最適出力構成は次の起動・停止制約を考慮して増分燃料費が一定となる出力を求めることになる。

発電機は最低出力、最低運転時間、最低停止時間、起動費用などの起動・停止特性を持つ。この要素は電源運用に影響をあたえ結果として市場価格を左右する要素となる。MPX で利用している KYOS 社の解法エンジンは動的モデリングによってこの起動・停止

制約問題を高速に解いている。³⁾

地域間連系線の運用状況も市場価格に大きく影響を及ぼすため、広域機関(OCCTO)が公表する連系線運用容量の情報を日々取り入れている。

2) ヒストリカルモデル

JEPX スポット市場の過去の値動きをもとに月別・デイトタイプ別(平日・土日・祝日・他)の時間帯価格の関係を時系列分析により自己相関係数を求め、将来の時間帯別価格(30分毎)の展開を行う。過去36ヶ月間のヒストリカルデータを使って時系列分析を行っている。

3. モデルの精度および確率過程モデル

事前に想定したフォワードカーブが事後的に「当たった」のかどうかを議論すること自体にはあまり意味はないが、モデルが日々の値動きをトレースしているかを分析・検証し、乖離要因の究明に努めることが重要である。検証作業は毎月月初に行い、理論と実際の乖離がモデルによるものか、市場の入札行動(過渡的なものか継続的なものか)、制度変更等によるものなのかを検証している。過去3年の配信データと実際のスポット価格を比較すると概ね以下が言える。

ー前月末配信月平均価格と実際の乖離

この2年、夏・冬季は価格スパイクが頻発したためFCより実際のJEPXのほうが高い。

他方、春・秋はFCよりJEPXのほうが安値となることがある。(特に低需要時間帯)

春・秋 : ±6%以内

夏・冬 : +15~30%

前月末配信した翌月平均価格の乖離要因は大半が気温の平年値からのずれによるスパイク発生あるいは定常的な価格乖離、さらに平年日照状況からの乖離、降水量の平年値からの乖離による水力発電量の変化などによるものが大きい。

他方でモデルそのものの精度は2~3%と評価している。一昨年11月に電力取引監視等委員会より小売事業者が前日に想定する供給予備率を0~1%(一部事業者を除き)とする指導が運用されるようになり、ファンダメンタルモデルの精度が大きくアップした。同様に監視委員会の指導により限界費用以下での入札が厳格に指導されており、急激に市場価格が限界費用に近付いてきたこともモデル精度が高まってき

た理由とみている。

過去に発生した主な乖離パターンとその要因、特徴をまとめると以下のようなものである。数値の上ではこのなかで最も大きな乖離要因はやはり高需要期の価格スパイクである。

表1 乖離パターンとその要因・特徴

乖離パターン	乖離要因	特徴
価格スパイク	高需要期の異常高気温・低気温による供給逼迫	2~3日で回帰する。100円/kWhなどの価格が付くこともある。
電源の余剰	低需要期にLNG火力が余剰	エリアの電源構成により発生具合が異なる。夜間の1円程度の価格低下が1~2か月継続する。
燃料制約	石油、LNGの急な需要に調達に間に合わない	2~3か月継続する。
電源運用	種々の電源運用の制約による(例:ブロック入札、連系線運用等)	多様
その他規制要因	規制による運用変更(例:北海道震災によるこの冬の緊急対策)	規制による

(出所:三菱総合研究所)

ファンダメンタルと実際の価格乖離の主たる要因が価格スパイクであって、それ以外の乖離がファンダメンタルからの微小な乖離であることから、スポット価格をファンダメンタル価格に回帰するジャンプ拡散過程であると定義して、最尤推定によりモデルパラメータを推定している。データの蓄積が2016年2月以降で3年分と少なく、かつ2016年度が完全自由化初年度ということもあり、値動きが不安定であるため、パラメータ推定に活用可能なデータは2年分と少ない。しかし、毎月算定しているパラメータは比較的安定しており、このモデルを用いてファンダメンタルからどの程度のプレミアムを見込むべきかを算定している。

$$\frac{dS_t}{S_t} = \frac{dF_t}{F_t} + \underbrace{a \left(\log F_t + \frac{\sigma_F^2}{2} - \log S_t \right) dt}_{\text{価格差の継続性}} + \underbrace{\sigma_t d\omega_t}_{\alpha: \text{短期ボラティリティ}} + \underbrace{J_t dN_t + J_{u_t} dN_{u_t}}_{\text{ジャンプ}}$$

S_t : JEPXスポット価格
 F_t : 長期回帰価格(MPXフォワードカーブ)
 a : 平均回帰係数
 σ_t : 短期ボラティリティ
 $d\omega_t$: 平均0, 標準偏差1の正規分布
 J_t : $N(\alpha, \rho)$ 平均 α , 標準偏差 ρ の正規分布に基づくジャンプ比(上方向)
 J_{u_t} : $N(\beta, \gamma)$ 平均 β , 標準偏差 γ の正規分布に基づくジャンプ比(下方向)
 dN_t : インテンシティ γ_t のポアソン分布
 dN_{u_t} : インテンシティ γ'_t のポアソン分布

注1: 期間区分せず

注2: r : 夏季日中、冬季日中、その他の3期間に区分

注3: $d\omega_t, J_t, J_{u_t}, dN_t, dN_{u_t}$ はそれぞれ独立過程に仮定

図2 スポット価格の確率過程モデル

(出所:三菱総合研究所)

4. 最後に

MPX フォワードカーブは電力ビジネスにかかわる計画・意思決定・管理などのあらゆる場面で活用されている。事業計画段階と事業計画のレビュー、計画改訂の PDCA サイクルにおいては、市場価格の見通しの作成、見通しと実際のずれの要因同定が求められる。また、日々の運用ではポジションの持ち替え・最適化が行われるようになっており、このためのリファレンスプライスが必要となっている。MPX は一般的な理論と一般的に知りうる公表情報に基づいて定量的に算定されるリファレンス価格情報として多くの方々に活用いただいている。

最後に MPX は有料のサービスであり、データそのものは顧客のみに開示しているため、この場で詳細なデータを掲載できなかったことについてお詫び申し上げます。

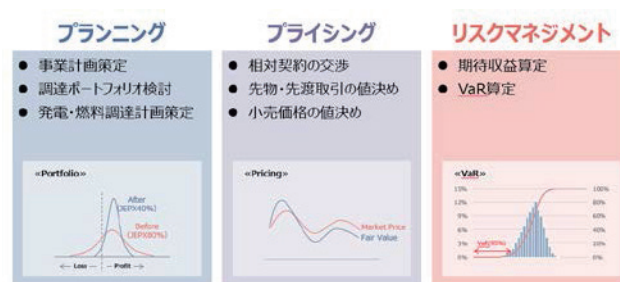


図 3 フォワードカーブの活用シーン

(出所：三菱総合研究所)

参考文献・資料

1. 電力取引等監視委員会制度設計専門会合（2018.12.17 第 35 回）資料
2. 電力取引監視等委員会、「運営理念および中期方針」、2018 年 6 月、
http://www.emsc.meti.go.jp/committee/rinen_honbun_gaiyo.pdf
3. 8760 時間×550 ユニットの 4 エリアモデルを 2 分以内で求解する。

小豆先物価格は冷温リスクを予測する

Adzuki Bean Futures Price Predicts Low-Temperature Risk

森平 爽一郎

(慶應義塾大学 名誉教授)

伊藤 晴祥

(青山学院大学 大学院国際マネジメント研究科 准教授)

Soichiro Moridaira

Professor Emeritus
Keio University

Haruyoshi Ito

Associate Professor of Finance
Graduate School of International Management
Aoyama Gakuin University

要約: 小豆先物価格は現物価格との相関が低い高いことからヘッジ機能が低く「投機市場」であるとの批判がある。そのことは小豆先物価格がファンダメンタルな要因とは無関係に決まっている「投機市場」であると判断しがちである。我々は、同様な批判のもとにある冷凍濃縮オレンジジュース(FCOJ)先物取引の分析を行ったRoll (1983) やBoudoukh et al. (2007) が用いた実証方法にもとづき、「冷夏リスク」が小豆価格に及ぼす影響を検討した。この論文では、さらに、RollやBoudoukh et al.の分析方法を拡張し、線形の状態空間モデルを用い、1)夏季(冷夏)のみならず、1年の全ての日における「冷温リスク」が、2) 小豆先物価格のみならず現物価格に与える影響を分析した。その結果、1)「冷温リスク」は、先物価格は多くの月で「プラス」の影響を与えるのに対し、現物価格ではそうした効果は低く、わずかに10月と11月に「マイナス」の影響としてだけ確認できた。また、2)「冷温リスク」は、夏季だけでなく、春や冬、秋の一時期においても先物価格にプラスの影響を与えていることが明らかになった。このことは冬における寒さが、小豆の収穫減につながる夏の寒さをもたらすという先物の「価格発見機能」の存在を示唆するものと言える。

キーワード: 小豆先物、小豆現物、平均気温、低温リスク、冷夏、状態空間モデル、カルマンフィルター

1. はじめに

小豆は日本人の生活にとって、大豆や米と共に重要な食品である。日本人は縄文時代から小豆を食料としていたことが確かめられている(小畑 2016)。他方で、小豆は冷害に弱い農産物であるといわれている。国内産小豆の主産地である北海道十勝地方では、4年に一度の冷害、10年に一度の大冷害に見舞われると指摘されている(村田、藤田、島田 1996)。

様々な農産物の先物取引が世界の商品先物取引所で行われているが、小豆先物は日本の商品取引所でのみ上場がなされており、その歴史も100年以上になる。他方で、小山(2004, pp. 40-41)は、小豆先物価格と現物価格との相関がゼロであり、したがってリスクを最小にする先物ヘッジ比率もほぼゼロであることをもって、小豆先物取引の存在意義に強い懸念

を明らかにしている¹。

しかし、このことをもってして、小豆先物価格が価格に影響するファンダメンタルな要因から遊離して決定されており、先物市場が単なる投機の場合であると結論付ける傾向がある。この報告の目的は、小豆の収穫量に大きな影響を与える天候、特にこれまで言われてきた6月から9月の冷温のみならず、冬季の寒さも小豆の先物と現物価格に異なった形で影響を与えることを検証することにある。

2. 実証モデル

農産物商品価格に天候が大きな影響を与えることは周知の事実である。Roll (1984) は、フロリダ州オランダ地方で生産されている冷凍濃縮オレンジジュース (FCOJ: Frozen Condensed Orange Juice) の先物価格が、フロリダ州オランダ地方での毎日の最低気温が摂氏 0°C 以下になることとプラスに有意な関係があることを明らかにしたが、それだけでは先物価格とそのボラティリティを十分に説明できないと指摘している。Boudoukh et al. (2007) は、冷凍濃縮オレンジジュース先物価格は典型的な投機市場であり、そのファンダメンタルな要因から乖離して決定されているという広く信じられている事実に対して、オランダ地方の冬季の一定期間の最低気温が 0°C 以下になることが、冷凍濃縮オレンジジュース先物価格に顕著な影響を与え、オレンジジュース先物リターンの 60% 近くを説明できることを示した。つまり、オレンジジュース先物価格はファンダメンタルな要因を反映して決まると結論づけている。

我々は小豆先物価格に対して Boudoukh et al. (2007) と同様な分析を試みた。ただし、彼らの分析と我々の研究が異なるのは、対象とする先物契約が違うだけでなく、1) 同様なことが小豆の「現物」に対しても成立するかどうか、2) Boudoukh et al. (2007) が用いた線形回帰モデルを、線形の状態空間モデルとして定式化することにより、気温が小豆現物・先物価格に与える影響度合いが、時間と共に確率的にどのような変化を示すかを明らかにし、夏季期間にとどまらず、春、秋、冬においても冷温リスクが小豆先物と現物価格にどのような影響を与えるのかを分析する。

2.1 線形回帰モデル

先物、現物価格と気温との関係を検討するために、次のような実証モデルを考える。

$$\text{先物価格} \quad F_t^1 = \alpha^F + \beta_1^F \text{Max}[K_T - T_t, 0] + e_t^F \quad (1)$$

$$\text{現物価格} \quad S_t = \alpha^S + \beta_1^S \text{Max}[K_T - T_t, 0] + e_t^S \quad (2)$$

ここで、 F_t^1 は t 日の1限月の小豆先物価格、 S_t は t 日の小豆現物価格、 T_t は t 日の平均気温、 $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ は t 日の平均気温 T_t があらかじめ決められた温度 K_T を下回る度合い、 e_t^F と e_t^S はそれぞれ平均ゼロの誤差項である。パラメータ α と β は線形回帰分析によって推定される固定パラメータである。

式(1)と式(2)の $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ は、天候デリバティブにおいて、HDD (Heating Degree Day) と呼ばれ、 $K_T = 18^\circ\text{C}$ としたときに暖房機器を可動させるような寒気の強さを示す指標である。小豆の分析に当たっては、 K_T は小豆の収穫高に影響を与え始める温度であり、我々オプション契約の用語を転用し、それを行使温度と呼ぶこととする。小豆の生育に関する幾つかの研究 (小山 2004、佐藤 1979、北海道立十勝農業試験場 1973) では5、6月から9、10月までの平均気温と小豆の生育状況を示す様々な指標 (出芽まで日数、開花迄 (まで) 日数、1 さやあたりの登熟日数、出葉日数など) との間に相関があることを確認している。

2.2 状態空間モデル

式(1)と式(2)では、係数 α と β が全てのデータ期間で一定であることを仮定している。言い換えれば、気温が $K_T = 18^\circ\text{C}$ を下回る効果は全期間で一定と仮定することになる。しかし、その効果は6月から9月の間であっても、毎月、毎週、毎日変化し、年ごとにも違ふと考えられる。我々は、係数 α と β が時間と共にかつ確率的に変動するものと考え、このために式(1)と式(2)で示される線形回帰モデルを次のような状態空間モデルに書き改める。

小豆先物に対する状態空間モデルは、以下の式(3)及び式(4)の通り定式化する。

$$\text{観測方程式} \quad \tilde{F}_t = \alpha + \tilde{\beta}_t^F \text{Max}[K_T - T_t, 0] + \tilde{e}_{F,t} \quad (3)$$

$$\text{状態方程式} \quad \tilde{\beta}_t^F = a\tilde{\beta}_{t-1}^F + \tilde{\varepsilon}_{F,t} \quad (4)$$

ここで、 $e_{F,t} \sim N(0, \sigma_{F,e}^2)$ と $\tilde{\varepsilon}_{F,t} \sim N(0, \sigma_{\beta_F,e}^2)$ は観測誤差項と状態誤差項であり、それぞれがゼロ平均ゼロ、分散一定の正規分布をすると仮定する。

小豆現物価格に対しても同様な定式化を式(5)及び式(6)のように考える。

を確認している。

1 延圭英 (1998)、延圭英、伊藤繁、樋口昭則 (1997) では、異なる期間の小豆先物と現物価格を用いてヘッジ効果があ

$$\text{観測方程式} \quad \tilde{S}_t = \gamma + \tilde{\beta}_t^S \text{Max}[K_T - T_t, 0] + \tilde{\varepsilon}_{S,t} \quad (5)$$

$$\text{状態方程式} \quad \tilde{\beta}_t^S = c \tilde{\beta}_{t-1}^S + \tilde{\varepsilon}_{\beta,t} \quad (6)$$

$e_{S,t} \sim N(0, \sigma_{F,e}^2)$ 、 $\tilde{\varepsilon}_{S,t} \sim N(0, \sigma_{\beta,S,e}^2)$ は現物の観測、状態方程式の誤差項が正規分布することを示している。

式(3)と式(5)は線形回帰モデルである式(1)と式(2)を、状態空間モデルの観測方程式として表現したものである。式(1)と式(3)、あるいは式(2)と式(5)の違いは、線形回帰式では固定パラメータであった係数 β が、状態空間モデルでは時間と共に確率変化する状態変数として表現されていることにある。係数 β においてそれらが時変変数であることを示す添字 t と、確率変数であることを示す $\sim$ (チルダ) 記号がついていることに注意されたい。

式(4)と式(6)は低温リスクを表現する気温変数 $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ の係数 $\tilde{\beta}_t$ がどのような確率過程に従って小豆先物と現物価格に与えるかを記述している。我々は、今期の状態変数 $\tilde{\beta}_t$ は1期前の状態変数 $\tilde{\beta}_{t-1}$ を一定倍したものに状態誤差を足して表現できるものと考えた。もし定数 a あるいは c が1であれば、低温リスクの価格に与える影響の大きさを示す β_t は、ランダムウォーク(酔歩)に従っていると言える。パラメータ α 、 γ 、観測誤差項の分散： $\sigma_{F,e}^2$ 、 $\sigma_{S,e}^2$ 、そして状態誤差項の分散： $\sigma_{\beta,F,e}^2$ 、 $\sigma_{\beta,S,e}^2$ などは、カルマンフィルターによる状態変数 $\tilde{\beta}_t^F$ と $\tilde{\beta}_t^S$ の推定と同時に最尤法によって推定する²。

3. データと実証結果

3.1 利用したデータ

小豆先物価格 F_t^1 として、1984年8月29日から2013年8月28日までの日次の1番限月(最期近)の小豆先物価格を、また現物価格 S_t として、30kgあたりの北海道産中間物(倉庫渡しの間屋仲間東京市場)と呼ばれる銘柄を用いる³。気温 T_t に関しては、北海道の小豆の生産農家が集中する岩見沢地区の日次平均気温を採用する。ただし、式(1)と式(2)の推定に当たっては、小豆の生育に最も影響を与えられられている6月から9月までの日次データを用いる。状態空間モデルを用いた分析では、1年の全ての月の価格データを用いて分析を行い、6月から9月に限定した期間の分析が正しいかどうかを検討する。

表1 小豆先物価格(1番限月)と現物価格に関する

2 状態変数が平均回帰をするような状態方程式をも推定したが、長期平均や平均回帰の強さを表パラメータの最尤推定値は有意でなかった。カルマンフィルターにもとづく

記述統計量を、図1にそれらの時系列グラフを示す。これらの図表から次のような事実を指摘できる。

第1に標準偏差に示されているように現物価格のボラティリティは、先物価格のボラティリティよりかなり大きい。多くの商品先物取引では、先物のボラティリティの方が、現物より大きいことが通常であるのに対し、小豆の場合は逆である。これは1993年と大きな冷害時にそのようなことが言える。

第2に、先物価格は現物価格より平均的にみて、高い値を示している。通常、先物の保険機能により、先物価格は現物価格より、リスクプレミアム部分だけ高いことが多いが、小豆の場合はそのような事実は見受けられない。

表1 小豆先物と現物価格に記述統計量

	小豆先物 1番限月	小豆北海道 中間物
平均	11,131	14,411
中央値	11,300	13,400
最大	19,030	46,000
最小	5,880	7,600
標準偏差	2,191	5,614
歪度	0.31	3.36
尖度	3.30	15.95
JB統計量	139.65	62312.65
確率	0.000	0.000
N	7,032	7,032

注) 平均から標準偏差までの単位は円、JB統計量は分布の正規性検定のためのJarque-Bera統計量を、確率はその有意確率を、Nは標本数を示す。

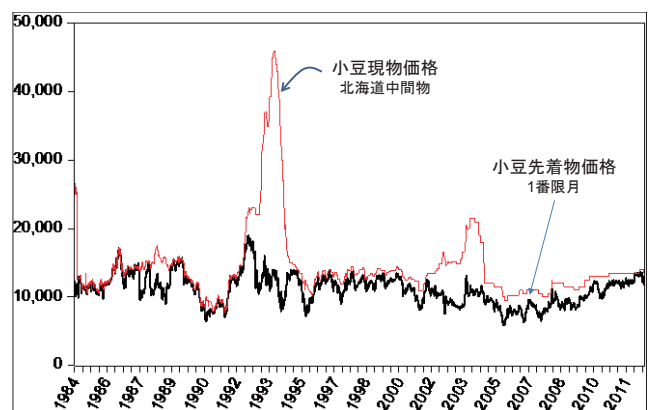


図1: 小豆先物価格(1番限月)と現物価格(北海道中間物)の時系列推移(1984年8月29日から2013年8月28日)

第3にJB統計量が示すように、小豆先物、現物価

状態変数と固定パラメータの推定方法に関しては森平(2018)を参照

3 「中間物」とは十勝地方以外で収穫されて小豆を指す。

格ともに正規分布とみなすことはできない。特に現物価格は歪度が 3.36、尖度が 15.95 であることから、左に大きく歪んだ右裾の長い、かつ、尖った分布であることが理解できる。この点は図 2 に示した先物と現物価格の経験分布からもわかる。そのため正規分布と捉えることは極めて不適當である。先物価格の歪度は 0.31、尖度は 3.30 と正規分布から大きく離れているわけではないが、正規分布とみなすには妥当性に欠ける。

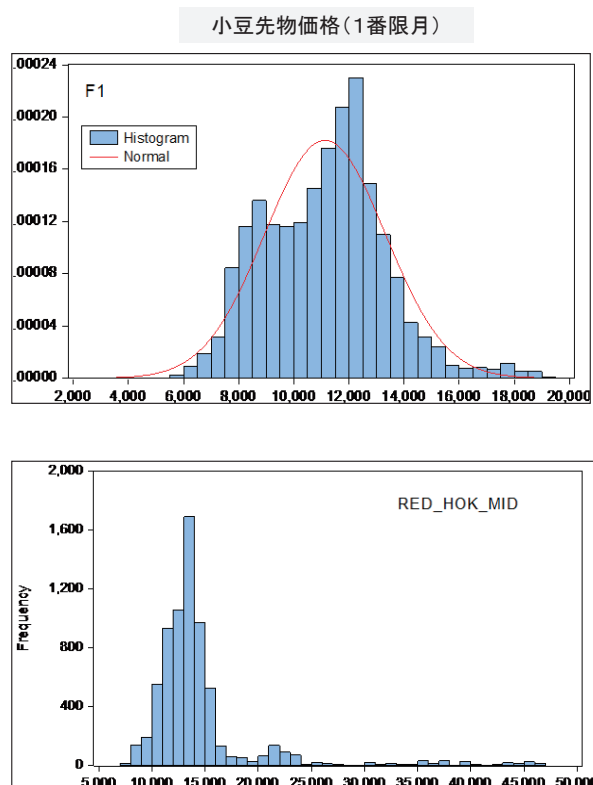


図 2 小豆先物(1 番限月)と現物価格(中間物)の分布

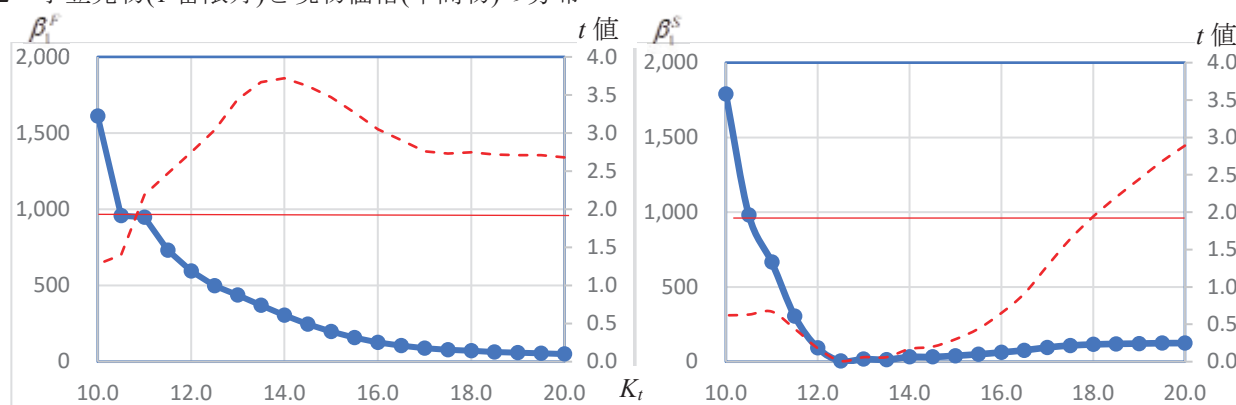


図 3: 低温リスク $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ の小豆先物価格(左)と現物価格(右)への感応度

注：横軸は行使温度 K_T を、縦軸は低温リスク $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ の小豆の先物価格 F_t^1 に対する感応度 β_1^F (左図)と現物価格 β_1^S (右図)を示す。図中の青色の実線が式(1)と式(2)における低温リスク $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ の係数 β_1^F と β_1^S を、赤の破線はそれぞれの係数に対する t 値を示す。係数の値はそれぞれの図の左軸に、 t 値は右軸に示されている。現物価格に対する t は $K_T = 10^\circ\text{C}$ と $K_T = 18^\circ\text{C}$ 以上のときにのみ有意であることに注意。

3.2 実証結果

3.2.1 線形回帰モデルの推定結果

図 3 は先物価格と現物価格に関して式(1)と式(2)の推定結果を示している。図の横軸は式(1)と式(2)の右辺の説明変数 $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ において、行使温度 $K_T = 10^\circ\text{C}$ から $K_T = 20^\circ\text{C}$ まで 0.5°C 刻みで増加させた時の先物価格式(1)における係数の推定値 β_1^F とその有意性を示す t 値、現物価格式(2)における係数値 β_1^S とその有意性を示す t 値を示している。係数値は青色の実線で、 t 値は赤の実線で示している。

気温と小豆先物、現物価格の関係を示す図 3 から次のような興味ある事実を指摘することができる。

まず、次の点を確認しておこう。低温リスクを示す独立変数 $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ の係数は、 t 日の平均気温 T_t が行使温度 K_T より下回る度合いが 1°C 増加したとき、すなわち低温リスクが増加した時に小豆先物、現物価格がどのくらい上昇するかを図 3 は表している。価格の単位は円により示されている。

第 1 に、低温リスクと小豆「先物」価格との関係を表している図 3 の右図が示す結果について考えてみよう。行使温度 K_T が 10°C から 20°C までに 0.5°C 刻みで増加(減少)するにつれて、先物価格はほぼ連続して減少(増加)する。6月から9月の十勝地方の低温リスクは、明らかに小豆先物価格の上昇をもたらすことがわかる。

ただし K_T が 10°C の時の係数の t 値が 2 を大きく下回ることから、係数はゼロとみなすべきである。この点は次のように解釈できる。先物市場は平均気温が 11°C になることが小豆の収量に大きな影響を与える閾値であり、投資家はそれ以下になることリスクは、 $K_T = 11^\circ\text{C}$ の気温で織り込み済みと考えたからであろう。

第2に、低温リスク $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ が「現物」価格に与える影響を考えてみる。図3の右側の図は小豆「現物」価格に対する低温リスクの影響を示している。図3において係数の大きさを示す青線とその有意性を示す赤線から、低温リスクは小豆現物価格に影響を与えていないことがわかる。わずかに K_T が 20°C から 18°C 以下になる範囲で、100円弱程度の小豆現物価格の上昇をもたらす程度の効果である。

線形回帰分析の結果をまとめると、小豆「現物」価格は6月から9月の間の低温リスクにほとんど反応しないのに対し、小豆「先物」価格は平均気温が 20°C 以下 ($K_T = 20^\circ\text{C}$) から 9°C 以下 ($K_T = 11^\circ\text{C}$) になる範囲の低温リスクに対して、その値が低くなるほど、先物価格が上昇することがわかった、つまり小豆先物価格は価格に影響を与えるファンダメンタルな要因を考慮して決まっていることが確認できる。

3.2.2 状態空間モデルによる推定結果

固定パラメータの推定結果: 式(3)と式(4)とからなる小豆先物に関する状態空間モデルの固定パラメータの推定結果が表2に、現物に関する同様の推定結果が表3に示されている。観測方程式と状態方程式の誤差分散 σ_ϵ^2 、 σ_η^2 、観測方程式の定数項 α^F 、 α^S 、状態変数に対する係数 a 、 c は全て高度に有意である。

状態変数に対する係数、 a 、は1に極めて近い値をとっている。したがって低温リスクの価格に対する感応度である状態変数はほぼランダムウォークに従っているとみなしても良いと思われる。

表2 小豆先物に関する状態空間モデル(式(3)と式(4))の固定パラメータの推定結果

小豆 先物1番限月				
	係数	標準誤差	Z値	有意確率
観測誤差分散	2,411,828	30,733	78	0.0000
状態誤差分散	312	43	7	0.0000
観測定数項: α	10,900	20	539	0.0000
状態帰帰項: a	0.9975	0.0008	1,205	0.0000
対数尤度	-61,973			

注: 行使温度は $K_T = 14^\circ\text{C}$ とした。

表3 小豆現物に関する状態空間モデル(式(5)と式(6))の固定パラメータの推定結果

現物				
	係数	標準誤差	Z値	有意確率
観測誤差分散	13,156,707	120,214	109	0.0000
状態誤差分散	1,540	113	14	0.0000
観測定数項: γ	14,455	83	175	0.0000
状態帰帰項: c	0.9980	0.0003	3,137	0.0000
対数尤度	-67,924			

注: 行使温度は $K_T = 14^\circ\text{C}$ とした。

状態変数の推定結果: 先物と現物に対する状態変数 β_t^F, β_t^S をカルマンフィルターによって推定した。

カルマンフィルターによる推定は、回帰モデルの場合と異なり全データ期間、つまり6月から9月を含み、毎年全ての月の先物営業日の先物、現物価格データと平均気温データを用いて推定を行った。したがって、低温リスクを示す状態変数は、小豆の収量に影響を与える6月から9月のみならず、春(3、4、5月)、秋(10、11月)、冬(1、2、3月)の全てのデータを含んでいる。ここでの目的は、異なる年度、異なる月における低温リスクが小豆先物、現物価格にどのような影響を与えているかを検討することである。

まず状態変数 (β_t^F, β_t^S) の全期間に渡る記述統計量を示す表4から何が言えるかを検討してみよう。

表4 状態変数 β_t^F, β_t^S の記述統計量

統計量	状態変数	
	先物 F1	現物
平均	31.06	-13.90
中央値	55.82	-128.14
最大	1,000.46	3,798.69
最小	-593.38	-797.14
標準偏差	241.05	616.21
歪度	0.23	3.33
尖度	4.22	16.29
Jarque-Bera	498.16	64,730.59
確率	0.0000	0.0000
観察個数	7,032	7,032

表4から、低温リスクを示す状態変数の平均及び中央値は、先物ではプラス、現物ではマイナスの値をとることがわかる。この場合、状態変数がマイナスの値をとるということは、低温リスクが増加すると小豆現物価格は、平均的には、増加することを意味する。これに対して先物では低温リスクが増加すると小豆価格が増加する。現物の低温リスクに対する反応は常識に反するが、後の分析(図6)が示すように、月別の状態変数の平均値がゼロから有意に離れているかの検定を行うとゼロであるという帰無仮説を棄却できない。つまり、この場合の平均値がゼロであると結論付けることができることに注意すべきである。

また小豆先物は、現物に比べて、低温リスクに対する感応度のボラティリティが高いことが表4の標準偏差の違いから読み取れる。先物価格の低温リスクに関する感応度は、現物の3倍以上である。多くの先物取引において、小豆先物の場合、現物価格のボラティリティの方が先物価格のボラティリティより大きいことから考えて、小豆先物価格の低温リスクに対する感応度のボラティリティが現物よりも低

いのは、先物の方が現物よりも低温リスクの影響を価格に安定的に織り込んでおり、その予測機能が先物の方が高いことを示唆する。次に図4に示した状態変数の長期傾向を見てみよう。図で網をかけて部分が1993年である。この年を含む前後1年間、つまり1992年から1994年までの3年間について図4を拡大したものが図5である。

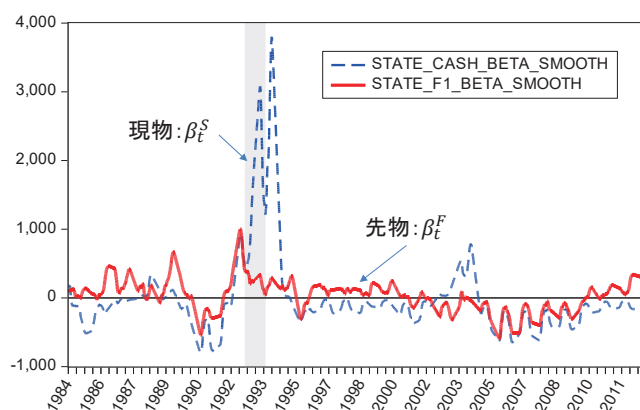


図4 状態変数 β_t^F, β_t^S の時系列推移。

注：実線(赤)が小豆先物価格に対する低温リスク； $\text{Max}[K_T - T_t, 0]$ の係数である状態変数 $\tilde{\beta}_t^F$ を、点線(青)が現物価格に対する係数 $\tilde{\beta}_t^S$ を示している。係数の単位は円であり、 t 日目の平均気温 T_t が行使価格 $K_T=14^\circ\text{C}$ 以下になった時の温度差が 1°C 増加した時の、その日の先物価格あるいは現物価格に与える影響を示している。

1993年は北海道、東北地方で、6, 7, 8月の平均気温が平年に比べマイナス 1.9°C 低く「1993年米騒動」とよばれる社会現象が生じたくらいの冷夏であった。しかし、1992年の後半より小豆の先物・現物とも価格感応度の急上昇がみられたが、1993年になると現物のみ価格感応度が暴騰するものの先物価格の感応

度はむしろ緩やかな低下傾向を示した。現物価格への感応度は2013年の10月から12月にかけて急落をしたが、翌年14年の1月以降年央にかけて再度価格の暴騰が生じたが、先物価格への感応度は、現物に比較して、安定的であった。

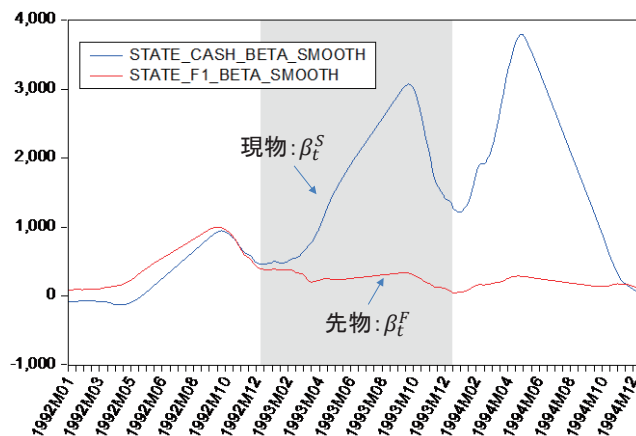


図5 状態変数 β_t^F, β_t^S の推移：1992年から1994年までの3年間について図4を拡大したもの

状態変数の月効果：低温リスクが小豆先物価格と現物価格に与える影響が月別にどのように異なるかを検討する。回帰分析では、小豆価格に対する低温リスクは、6月から9月までの夏季にのみ影響した。状態空間モデルでは、そうした前提をおかずに、全ての月について低温リスクがどのような影響を小豆先物価格と現物価格に与えるのかを検討する。

状態空間モデルによって推定された「低温リスク」が小豆先物、現物価格に与える影響度合い β_t^F, β_t^S が月ごとにどのように異なるかを知るために、 β_t^F および β_t^S の月別の平均値が有意にゼロから乖離しているかどうかの t 検定を行う。

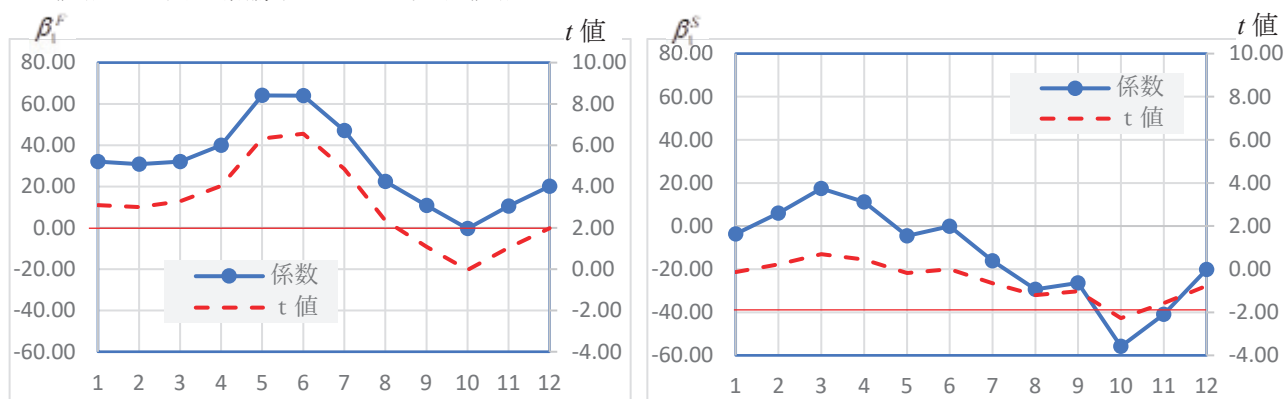


図6 月ごとの低温リスクを示す状態変数 β_t^F, β_t^S の平均値とその有意性を示す t 値

注：左の図は小豆「先物1番限月」の低温リスクに対する月ごとの価格感応度 β_t^F (式(3)と式(4))の平均値(青色の実線)とその t 値(赤色の破線)、右の図は小豆「現物」価格の低温リスクに対する感応度 β_t^S (式(5)と式(6))の平均値(青色の実線)と t 値(赤色の破線)を示している。横軸は月(1月から12月)を示す。係数の t 値から、先物では低温リスクは端境期である。秋(9, 10, 11)月を除く春、夏、冬で、低温リスクは先物価格にプラスの影響を、現物では低温リスクが秋(10, 11月)のみ、かつマイナスの影響を現物価格に与えていることがわかる。

t 検定の結果は図 6 に示されている。これから興味ある幾つかの事実を示すことができる。

第 1 に冷温リスクは先物価格には顕著な影響を与えているが、現物価格にはほとんどの月で影響をしていないことがわかる。小豆先物価格では秋の 9、10、11 月を除き、全ての月で「冷温リスク」は価格にプラスの影響を与えているのに対し、現物価格で 10、11 月を除き、全ての月で係数は有意でない。有意な 10 月と 11 月では現物価格にマイナスの影響をあたえている。

これから、小豆先物取引は気温、特に冷温リスクというファンダメンタルを反映した市場価格が成立していると言えよう。

これに対し、小豆現物価格は、冷温リスクはほとんどの月で影響をしていない。この理由は、現物の生産減に対しては、中国を始めとする諸外国からの輸入によって供給の安定化を図っていることがその一つの理由であろう。しかしなぜその点を考慮した先物価格の決定が行われていないのかは、依然としてパズルである。

第 2 に、先物価格における「冷温リスク」は、天候が既存の小豆収量に及ぼす影響に関する多くの農業研究から予想されることとは異なり冬季 (12、1、2) 月と北海道では寒冷期である、3 月や 4 月の早春でも価格に影響を与えている。注意すべき点は 12 月から 4 月の北海道における寒冷期、つまり小豆の作付けがまだ行われていない時期においても冷温リスクは先物価格に、プラスの影響を与えていることである。

このことは、冬季における寒さが 5 月から 9 月までの気候を将来の小豆の収量、したがって、小豆先物価格に影響を与えると解釈できる 4。言い替えるならば、冬季から春先にかけての小豆先物価格は翌年あるいは当該年の「冷夏リスク」を予測できていると判断できる。この点は、小豆先物価格は、ヘッジ機能と並び、先物契約の重要な役割の 1 つである価格発見 (Price discovery) 機能を果たしていると言えるであろう。

第 3 に、我々は線形回帰分析を用いた低温リスクの分析に当たって、農学における先行研究にもとづき、それが 6 月からの 9 月までの期間に限定して分析をした。しかし図 6 が示しているように 9 月の低温リスクは小豆先物価格に影響を与えていないことがわかる。分析期間を事前に特定の期間に限定することにはリスクがあることがわかる。

4 北海道では「融雪の遅れは凶作」、「春に雪が早く消えれば豊作」とされている(霜田他 1996, pp.206-7)。また、気象庁は、1958 年から 2012 年の 55 年間でエルニーニョ現象が生じた年には北日本では、秋、夏、冬の平均気温が平

第 4 に、上記の 2 点から、冷凍濃縮オレンジジュース先物価格に対する冷温リスクの影響を分析した Roll (1984) や Boudoukh et al. (2007) のように固定係数を仮定する通常の線形回帰分析を適用することは、たとえ非線形の説明変数 $Max [K_T - T_t, 0]$ を用いているとしても、天候リスクを分析する場合には適切ではないと言える。Roll (1984) は 1975 年 10 月から 1981 年 12 月までの 1,559 日間の日次最低気温が、 0°C 以下になる度合い $Max [0^{\circ}\text{C} - T_t, 0]$ が日次冷凍濃縮オレンジジュース FCOJ 先物リターンに影響することを示した。Roll (1984) は、このことを、最小自乗法を用いて $Max [0^{\circ}\text{C} - T_t, 0]$ の係数の t 値が 3.69 であること、1 日前の最適気温についての $Max [0^{\circ}\text{C} - T_t, 0]$ の係数の t 値が 5.40 であることからこのように結論付けている。Boudoukh et al. (2007) は、全期間でなく、最低気温が摂氏 1.67°C から -17.8°C (華氏 35°C から 0°C) に限られた日の先物リターンと気温のデータを用いて同様な分析を行った。推定に用いられた標本 1967 年 9 月から 1998 年 8 月までの冬季期間 (12 月 1 月、2 月) の内で、 0°C 以下になる日に至るまでの限定したデータに対して行われた。結果は先物リターンの散らばりの、決定係数でみて 48% を説明できている。こうした日は全冬季日数の僅かに 5.2% しか占めていないのにもかかわらず、この期間の先物リターンの 70% を説明できている。

しかし、図 6 に示されているように収穫に影響を与える以外の期間の気温が、先物、現物価格に影響を与えることがありうる。そうした可能性を分析するには、通常回帰分析による分析でなくて、Roll (1984) と同様、全データを用いた時変パラメータ推定を可能にする回帰モデル、とりわけ状態空間モデルを用いる必要がある。

4. 要約と結論

小豆は日本人の生活にとって欠かすことのできない食品である。他方で小豆先物市場はその価格に影響を与えるはずの様々なファンダメンタルな要因を無視した投機市場であるとの批判が根強く存在している。本論文では、線形回帰分析と状態空間モデルの 2 つの手法により、小豆先物価格と毎日の平均気温が一定の閾値(行使気温)を下回る度合いである「冷温リスク」と密接な関連があることを確かめることができた。

線形回帰モデルを用いた分析では、6 月から 9 月の

年時に比べて、統計的に有意に低い。春に寒いことは頻度が少ないことを報告している。
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/tenkou/nihon1.html> を参照。

期間において行使気温を 10℃から 20℃までの 0.5℃刻みで変化させた時の小豆先物価格と現物化価格の変化をしらべた。先物価格は行使気温が 10.5℃から 20℃に上昇するに伴い、先物価格が低減することがわかったが、現物価格にはそうした顕著な傾向が存在しなかった。

状態空間モデルを用いた分析では、分析期間を全ての期間に拡張するとともに、「冷温リスク」に対する感応度が、時間と共にかつ確率的に変化すると考えて分析を行い、9月から11月の収穫期を除き、冬と春における「冷温リスク」が、冷夏肉ええて小豆先物価格にプラスの影響を与えることを確認できた。これに対し、冷温リスクは現物に対しては、10月と11月においてマイナスの影響を与えるのに対し、その他の全ての月で、統計的に有意な結果を見出すことができなかった。

此等の結果から、小豆先物価格は冷温リスクというファンダメンタルな要因を反映して決定されていると判断できる。

参考文献

1. Boudoukh, J., M. Richardson, Y. Shen, and R. F. Whitelaw. (2007). Do Asset Prices Reflect Fundamentals? Freshly Squeezed Evidence from the OJ Market. *Journal of Financial Economics*, 83(2), 397-412.
2. Frunza, M., Laudicina, F., and McIsaac, F. (2012). Influence of Weather Variability on the Orange Juice Prices, *SSRN Scholarly Paper* No. ID 2080530.
3. Goodwin, B. K. and R. Schnepf (2002). Determinants of endogenous price risk in corn and wheat futures markets. *Journal of Futures Markets*, 20(8), 753-774.
4. Jiang, H. (2009). Frozen Concentrated Orange Juice Futures Prices, the Quality Option and Temperature. *Masters Thesis*, Concordia University, 2009.
5. Roll, R. (1984). Orange Juice and Weather. *The American Economic Review*, 74(5), 1-80.
6. 伊藤晴祥 (2019)「気温および日照時間デリバティブを利用した天候リスクマネジメント:日本の農業法人における事例研究」, リアルオプション研究, 11, 1-24.
7. 今友親 (1981)「1980年の網走地方における異常気象と小豆の開花・結莢および登熟について (年次講演会要旨)」, 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報 21 (p. 5).
8. 加藤英明 (2004)『天気と株価の不思議な関係: 行動ファイナンスで市場を読み解く』 東洋経済新報社.
9. 北川雅章 (2002)「小豆先物市場の効率性-共和分分析による効率的市場仮説の検証」, 経済学論叢, 54(1), 1-32.
10. 小畑弘巳 (2016)『種をまく縄文人』.
11. 小山良 (2004). 『先物価格分析入門—商品先物を中心に』, 東京: 近代文芸社. 佐藤久泰 (1979)「小豆の開花・登熟について」. 北海道立農試集報, 41, 10-20.
12. 霜田昭治、木原大輔、加藤洋治著 (1996)『商品先物取引』、東洋経済新報社.
13. 福島巧、中岡英隆、「天候デリバティブの種苗ビジネスへの展開」、リアルオプションと戦略、9(1), 88-
14. 北海道立十勝農業試験場 (1973).「豆類の耐冷性に関する試験成績集(昭和42年～昭和47年)」, 資料第5号.
15. 花田秀隆、宋彙栄 (1997)「農産物先物価格変動の時系列分析: 小豆商品を対象として」 農業経済研究, 別冊, 日本農業経済学会論文集, 1997, 205-207.
16. 村田吉平、藤田正平、島田尚典 (1996)「1996年の十勝地方は小豆の冷害か?: 十勝地方の気温と小豆の収量性」. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報, 37, 158-159.
17. 森平爽一郎 (2018).『経済・ファイナンスのためのカルマンフィルター入門』, 朝倉書店.
18. 延圭英 (1998)「ベータリスクと最小分散ヘッジ取引の効率性」, 北海道農業経済研究, 7(1), 12-22.
19. 延圭英, 伊藤繁, 樋口昭則 (1997)「小豆先物市場における最適ヘッジ取引率の推計-拡張されたミーニング係数による接近」, 農業経営研究, 35(1), 21-31.

気温オプションによる電力価格予測

Electric Prices Forecasting by Temperature Options

森平 爽一郎

(慶應義塾大学 名誉教授)

Soichiro Moridaira

Professor Emeritus

Keio University

要約 人々が、気温を原資産とする冷房コールオプションと暖房プットオプションを保有していると考え、電力価格と気温との関係を分析した。人は寒い時に暖房機器を、暑い時に冷房機器を稼働し、冷温と高温リスクをヘッジできる「権利」を有している。したがって、冷暖房機器の稼働はオプションとみなすことができる。冷暖房機器が電力で稼働するならば、これらのオプションの行使にあたっては電力料金を支払う必要がある。このような枠組みの下で、卸電力市場での 1 日前電力価格を、曜日と休日に加え、気温に関するコールとプットオプションからのペイオフによって説明した。線形の状態空間モデルを用い、カルマンフィルターによって、時間と共に確率的に変化する暖房、冷房オプションの電力価格に与える影響を推定をした。この結果、電力価格の平均回帰性、大きな時間依存ボラティリティ、スパイクなどを特徴とする電力価格の変動を良く説明できる予測モデルを構築できた。

キーワード：電力価格、暖房、冷房、リアルオプション、温暖化、カルマンフィルター、時変回帰係数

1. はじめに

地球温暖化とそれが社会経済に与える影響に関心が高まっている。とりわけ平均気温の上昇とそのボラティリティの高まりが個人の健康や生活、企業の売上高、利益、株価に顕著な影響をあたえることが明らかになりつつある。こうしたリスクに対する天候デリバティブに関する研究は多いが、天候デリバティブズ取引が活発ではないこともあり、家計や企業による天候デリバティブズの利用は途上にある。

他方、家計や企業は高温や低温リスクを実物オプションによって回避できる。この実物オプションは、冷暖房機器の利用である。人々は高温に対しては冷房機器を、低温に対しては暖房機器を「稼働」することができる「権利」を有している。しかしながら、暖房機器(エアコン)を稼働させるためには電気料金を支払う必要がある。従って、電気料金はオプション料(価格)と考えることができる。

この論文では、冷暖房機器の稼働オプションの行使が電力価格に与える影響を検討する。またそうした考え方の下、市場で取引される電力価格のリアルタイムな予測モデルの構築を検討する。

本論文の構成は以下の通りである。第 2 章では、先行研究のサーベイを、特にカルマンフィルターを適用した電力価格予測を中心に行う。第 3 章では、使用したデータについて説明する。第 4 章では冷暖房オプションと曜日効果を取り入れた線形回帰モデルとその推定結果を示す。第 5 章では、回帰分析の定数項を状態変数と考えたときの線形の状態空間モデルの定式化、その推定結果と予測精度について明ら

かにする。第 6 章では、冷暖房オプションの電力に及ぼす影響が時間と共に確率的に変化すると考えた時の状態空間モデルの推定と予測結果を示す。最後に要約と結論を述べる。

2. 先行研究

電力需要あるいは電力価格の予測に関しては既に数多くの論文が発表されている。例えば、電力価格予測モデルに関する展望論文に限っても次のようなものがある。Li, Liu, Lawarree, Gallanti and Venturini (2005), Amjady and Hemmati (2006), Contreras and Santos (2006), Niimura (2006), Zhang and Wang (2006), Weron and Misiorek (2006), Karakatsan and Bunn (2008), Aggarwal, Saini and Kumar (2009), Suganth and Samuel (2012), Weron (2014), Nowotarski and Weron (2018)。

ここでは、本論文で用いたカルマンフィルターを電力価格予測のために適用した論文を中心とした先行研究の概要を示す。

Zachmann (2005)は、オランダとドイツ、デンマークとドイツの間の国境を越えた電力取引において、1 日前卸電力価格が、裁定取引を通じて、均衡価格に収束していたかどうかを、カルマンフィルターを用いて検証している。オランダ・ドイツ、西デンマークとドイツでは均衡価格に収束することが確かめられたが、ドイツ・東デンマーク間では均衡価格への収束を確認できなかったことを明らかにしている。Crisostomi, Gallicchio, Micheli, Raugi and Tucci (2015)は、イタリアの電力価格を、1) ローカルモデル、2) それに 7 日前

の状態変数を加えたモデルの予測結果を異なる手法を用いた場合の結果と比較している。比較対象になったモデルは、1) 当期の価格を次期の価格に等しいとするモデル、2) 前期と 7 日前の価格を説明変数とする線形回帰モデル、3) リカレントニューラルネットワーク(RNN)モデルである。カルマンフィルターによる予測は、RNN による推定には劣るものの、それなりの予測力を持つことを明らかにしている。Huisman and Mahieu (2003)は、電力価格が平均回帰しかつジャンプ確率過程に従うと考え、電力価格のスパイクをレジームスイッチングモデルによって説明しようとしている。レジームを未知の状態変数と考え、カルマンフィルターによって推定している。Burger, Klar, Muller and Schindlmayr (2004)は、電力価格の非正常性を EEX(ヨーロッパエネルギー取引所)での電力先物価格からカルマンフィルターを用いて推定している。Karakatsani and Bunn (2008)は英国電力取引所で成立した電力価格を 11 個の説明変数によって予測するモデルを作成した。この場合、回帰係数を一定とする通常の回帰モデルと、回帰係数を状態変数としたカルマンフィルターによる予測結果との比較を行っている。

Bhar, Colwell and Xiao (2013)は、卸電力価格を、1) 確定的な時間の関数である季節効果、2) 未知の状態変数、3) GARCH 構造に従う観測誤差、の 3 つのファクターによって説明している。季節効果は 1) 定数項、2) 時間の線形関数としてのトレンド項、3) 平日ダミーの 3 つによって表現している。未知の状態変数は 1) 平均回帰するドリフト(平均)項、2) 確定的なボラティリティを有する状態誤差項、3) 価格スパイク項で説明している。価格スパイクは複合ポアソン分布に従うと考え、スパイクの生じる確率を示すポアソン強度を季節ダミー(春、夏、冬、秋)の線形関数で表現し、スパイクの大きさは正規分布に従うとしている。Bhar, Colwell and Xiao (2013)は、こうしたモデルを近似的な GARCH 構造に従う観測誤差項を状態変数とする拡大カルマンフィルターによって推定している。

電力価格は電力の需要と供給曲線の交点で決まる。供給は短期的には一定と考え、電力需要の予測を、カルマンフィルターを用いて行った幾つかの論文がある。例えば、Harvey and Koopman (1993)、Pappas, Ekonomou, Karamousantas, Chatzarakis, Katsikas and Liatsis (2011)、Suganthi and Samuel (2012)、Arisoy and Ozturk (2014)、Thamae, Thamae and Thamae (2015)、Takeda (2016)、Takeda, Tamura and Sato (2016)、大藤-山口(2008)等があげられる。電力需要と価格を決定す

る要因には共通のものがああり、これらの研究は価格予測モデル構築にあたっても有用であろう。

また需要の価格弾力性を、カルマンフィルターを用いて推定する試みが、Contreras and Santos (2006)、Inglesi-Lotz (2011)、Arisoy and Ozturk (2014)、Thamae, Thamae and Thamae (2015) などによって行われている。

カルマンフィルターはそれ自身単体で価格予測に用いられるだけでなく、他の予測手法とともに予測力を高めるためにも用いられている。例えば、Zhang and Luh (2005)は拡張カルマンフィルターとニューラルネットワークを組み合わせた所謂アンサンブル学習による予測モデルを提唱している。また Anbazhagan and Kumarappan (2013)は、時系列データに対するニューラルネットワークであるリカレントニューラルネットワークを 2010 年の New York 地域の 1 日前電力価格の予測のために用い ARIMA などの手法と比較して良好な結果を得ている。

本論文は、此等の多くの研究と同様、電力価格の予測にあたり状態空間モデルを用いているが、次の 2 点においてこれらの研究と異なるアプローチをとっている。第 1 に、誰でも、どこでも入手することが容易な気温と曜日・休日データのみを利用していること、第 2 に、気温が電力価格にあたえる非線形効果を、線形の状態空間モデルによって定式化することで計算負荷を軽減し、結果の解釈を容易にしている。以下、利用したデータとモデルの概要をしめす。

3. 使用データ

推定に用いたデータは次の通りである。分析の対象である電力価格として、日本の卸電力取引所で取引されている 1 日前 (スポット)卸電力価格を用いた。これはスポット価格とも呼ばれているが、実際には超短期の先渡し取引である。翌日の 0 時から 30 分刻みの 48 の時間帯を対象とし、1 時間あたり Kw/H 単位の電力を売買の対象とする 48 銘柄が上場されている。約定は前日の午前 10 時に決定される。したがってこの取引は、最短 14 時間後、最長で 37 時間半後に受渡しを行う超短期の先渡し取引とみなすことができる。

電力価格に影響を与えるものとして曜日と天候を考える。曜日効果を、月曜から日曜日までを月曜日を基準とする、ダミー変数によって表現する。また、祝祭日とそれが土曜日曜に重なったときの代休日を示す休日ダミーを作成して「休日」効果を分析する。

天候は毎日の平均気温によって表すことができると考えた。最高、最低気温、気圧、湿度、雨量、積雪量、不快指数など、その他の気象変数は、平均気温を後に示す HDD や CDD 変数に変換したとき電力価格に大きな影響を与えなかったので採用しなかった。

電力価格としては東京エリアの 18 時から 18 時半までの 1 時間あたりの Kw 価格を、天候としては、気象庁が毎日発表している東京の平均気温を採用した。この時間帯は選んだ理由は、1 日の中で、最も電力需要の多い時間帯であることによる。推計期間は卸電力取引所の開設時の 2005 年 1 月 1 日より 2018 年 7 月 18 日までの 4,582 日間の長期のデータを用いた。多くの既存研究では、数年程度の短期間のデータを用いることが多いが、この研究ではあえて 13 年間にわたる長期のデータを用い、地球温暖化の進展が電力価格に与える影響を考察した。

4. 線形回帰分析による分析(気温、曜日、電力価格)

この節では、最初に回帰モデルの定式化について、次に実証結果とその経済的含意について議論する

4.1 回帰モデル

電力価格 F_t と気温 T_t , 曜日、休日効果ダミー変数との関係について次のような線形回帰モデルを考える。

$$\ln F_t = c + \beta \ln F_{t-1} + \alpha_1 \text{Max}[K_h - T_t, 0] + \alpha_2 \text{Max}[T_t - K_c, 0] + \sum_{j=1}^6 \gamma_j D_{j,t} + \eta D_{H,t} + e_t \quad (1)$$

ここで、 F_t は 1 日前卸電力価格である。電力価格の分布を正規分布に近づけるために対数変換を施している。 T_t は t 日の平均気温(摂氏)、 K_h は人々が暖房機器を稼働(行使)し始めると考える外気温、 K_c は冷房機器を稼働(行使)し始める外気温であり、これらは外生的に決定される。この論文ではこれらを行使温度と呼ぶことにする。 $D_{j,t}$ は曜日効果を表すダミー変数であり、 $j=1$ が火曜、 $j=2$ が水曜、 $\dots$ 、 $j=6$ が

日曜を示す、 $D_{H,t}$ は土日以外の休日を示すダミー変数である。 e_t は平均ゼロ、分散が σ_e^2 の誤差項である。

右辺第 1 項の定数項(c)は、ベース電力と解釈でき、長期にわたり平均して必要な電力量に対応する電力価格と考えることができる¹。したがって、定数項はプラスの符号条件かつ有意であることを事前に想定する。右辺の第 2 項はラグ付きの従属変数である。夏期の高温や冬期の低温などは継続する傾向があり、したがって電力価格の高値もまた継続するであろうことが予想される。こうした点を考慮してラグ付きの従属変数を独立変数の 1 つとしている。係数の大きさは、温暖化が進んでいるとしても、プラス 1 を超えないことを想定する。

右辺の第 3 項と 4 項は、電力価格に対する天候、とりわけ、高温と低温の電力価格に対する影響を明らかにするためのものである。

天候デリバティブズ取引では、 $K_H = K_C =$ 摂氏

18℃とし、18℃を下回ると人々が暖房を入れ始め、18℃を上回ると冷房を入れ始める傾向があると考え、気温を原資産(対象)とする天候デリバティブ取引が行われている²。具体的には、こうした傾向を以下のような天候の非線形変換により表現する³。

$\text{Max}[T_t - 18, 0]$ を **Heating Degree Day (HDD)** と呼び、その日の平均気温が 18℃を上回る度合いを示す。また $\text{Max}[18 - T_t, 0]$ を **Cooling Degree Day**

(CDD)と呼び、その日の平均気温が 18℃を下回る度合いを示す。しかし、地域、時期、湿度などが異なると、18℃とは異なる温度閾値(行使温度)を考える必要があり、一律に閾値(行使温度)を 18℃とすることは適切ではない。

式(1)の右辺の第 1、第 2 項は、それぞれ平均気温 T_t を原「資産」とし、 K_H, K_C を行使温度とする暖房(ブット)オプションと冷房(コール)オプションからのペイオフを表している。なぜならば、人々は冷暖房

1 卸電力取引所で取引されている電力は、発電設備を持っている大手の電力会社にとっては、短期間の過不足電力を調整する場であるとされている。しかし、大規模な発電設備をもたない、あるいは全く発電設備をもたないで電力の小売を目的とする新電力企業にとってはベース電力を調達するための場でもある。

2 シカゴ商品取引所(CME)での「CME Degree Days Index Futures」は CDD と HDD の計算にあたり華氏 65° F (摂氏 18℃) を日次平均気温に対する行使温度とする天候先物契約である。

<https://www.cmegroup.com/content/dam/cmegroup/rulebook/CME/IV/400/403/403.pdf>

3 金融資産(投資信託)の評価にあたり、こうしたオプションからの損益(Payoff)を独立変数として回帰分析をおこなう試みの嚆矢が Henriksson and Merton (1981)でなされている。その背後にある理論的な検証が Merton (1981)によって、実証研究が Henriksson and Merton (1981)、Henriksson (1984)、Chang and Lewellen (1984)などによって行われている。詳しいサーベイについては Shukla and Trzcinka (1992)を参照。また、気温を用いた同様な枠組みで冷凍オレンジジュース先物価格の分析が Roll (1984)や Boudoukh, Richardson, Shen and Whitelaw (2007)によって行われている。

装置を保有することにより、気温がある一定の閾値 K_H, K_C を超えたり、下回ったりすると冷暖房装置を稼働できる「権利」を有しているからである。しかしこの「権利」を行使するためにはコストを負担しなければならない。多くの場合、冷暖房機器は電力で稼働するので、電力料金がそのコストに当たる。したがって、式(1)の右辺の暖房、冷房オプション変数、HDD と CDD に対する回帰係数(α_1, α_2)は、気温の電力価格への影響の大きさを表している。また、右辺第 3 項の $Max[K_H - T_t, 0]$ に対する係数 α_1 は暖房プットオプションの買い枚数、右辺第 4 項の $Max[T_t - K_C, 0]$ に対する係数 α_2 は冷房コールオプションの買い枚

数とも解釈することができる。もし係数 α_1 あるいは α_2 が統計的に有意でなければ、人々は暖房や冷房オプションを行使せず、冷暖房機器の存在は電力価格に影響を与えないことになる。

右辺の第 5 項は、曜日が異なることにより電力需要が変化すること、したがって、市場で決まる電力価格が曜日ごとに異なることを説明するためのものである。通常、土曜、日曜の休日には電力需要が平日に比べ減少することが予想される。

右辺第 6 項は、土日以外の祝祭日の休日効果を表すためのものである。祝祭日が土曜や日曜の休日とは異なる影響を電力価格に与えているか否かを検証するためにこの休日ダミーを説明変数に加えている。

表 1 電力価格モデル(式、線形回帰)の推定結果

		モデル 1		モデル 2		モデル 3
定数項		0.37397 [19.11]**		0.38270 [19.61]**		0.39748 [20.24]**
lbF(t-1)		0.84969 [109.22]**		0.85008 [109.25]**		0.84421 [107.79]**
HDD	Kh=18	0.00289 [4.83]**	Kh=18	0.00194 [3.96]**	Kh=9	0.01072 [6.53]**
CDD	Kc=18	0.00276 [3.56]**	Kc=28	0.01590 [3.10]**	Kc=28	0.01575 [3.12]**
火曜		0.07797 [8.69]**		0.07812 [8.71]**		0.07848 [8.77]**
水曜		-0.01384 [-1.55]		-0.01368 [-1.53]		-0.01231 [-1.38]
木曜		-0.00263 [-0.29]		-0.00265 [-0.30]		-0.00165 [-0.18]
金曜		-0.00381 [-0.42]		-0.00369 [-0.41]		-0.00267 [-0.30]
土曜		-0.01636 [-1.83]		-0.01649 [-1.84]		-0.01573 [-1.76]
日曜		-0.14016 [-15.65]**		-0.13998 [-15.62]**		-0.13946 [-15.61]**
休日		-0.05591 [-4.88]**		-0.05744 [-5.02]**		-0.05822 [-5.11]**
N		4582		4582		4582
R2		0.7407		0.7405		0.742
LogL		1871.46		1869.90		1883.33
RMSE		2.454		2.456		2.445
MAE		1.411		1.413		1.411
MAPE		10.935		10.951		10.926
Theil U		0.091		0.091		0.091

注) 従属変数は、前日午前 10 時に約定し、翌日の 18 時に受け渡しされる、東京エリアの 18 時から 18 時半の間の 30 分の 1 時間あたり、KwH 単位の対数電力価格。独立変数は、 $\ln F_{t-1}$ = ラグ付きの対数電力価格、 $HDD_t = Max[K_H - T_t, 0]$ 、 $CDD_t = Max[T_t - K_C, 0]$ とし、 $K_H = 9^\circ\text{C}$ かつ $K_C = 28^\circ\text{C}$ 、 $D_{j,t}$ は火曜から日曜日までの曜日ダミー、 $D_{H,t}$ は土日以外の休日ダミー。推定期間は 2005 年 1 月 1 日より 2018 年 7 月 30 日までの 4,582 日。RMSE は観測変数の 1 期先予測値 $\hat{F}_{t|t-1}$ とその実績値 F_t との間の平均平方誤差を、MAE は平均絶対誤差を、MAPE は平均絶対パーセント誤差、U は Theil の U を示す。詳しくは式(2)から式(5)とそれらの説明を参照のこと。

4.2 回帰モデルの推定結果

式(1)の線形回帰モデルの推定では、 $HDD_t = \text{Max}[K_H - T_t, 0]$ と $CDD_t = \text{Max}[T_t - K_C, 0]$ のカッコ内の行使温度： K_H と K_C を 3 つの異なる水準に変えて行った。モデル I では $K_H = K_C = 18^\circ\text{C}$ とし標準的な天候デリバティブズ契約に沿っている。モデル II では $K_H = 18^\circ\text{C}$ 、 $K_C = 28^\circ\text{C}$ として夏期の高温時の電力価格の影響を説明する⁴。モデル III では $K_H = 9^\circ\text{C}$ 、 $K_C = 28^\circ\text{C}$ として冬季における低温や降雪時の影響をも考慮している。

推定結果は表 1 に示されている。これから以下のような点を指摘できる。

第 1 に HDD と CDD における行使価格 (K_H, K_C) を変化させても、曜日ダミー、ラグ付きの対数電力価格の係数に大きな変更は無い。

第 2 に曜日ダミーの電力価格に与える影響を検討する。火曜日、日曜日、休日の係数のみが有意であり、水曜、木曜、金曜、土曜は有意ではない。土曜日は通常休日であるが有意では無い。日曜と祝日は電力価格に対して共にマイナス影響を与えているが、その減少効果は日曜日の方が 2.5 倍ほど大きい。

第 3 に、電力価格に対して最も有意な変数は前日の電力価格である。電力価格変動には慣性が働いていることがわかる。係数の符号はプラスで有意であり、その大きさは 0.84 から 0.85 であり、1 よりも小さくゼロに平均回帰する傾向があることがわかる。

第 4 に、冷暖房オプションの行使温度変更の影響を見る。モデル I では行使温度を $K_H = K_C = 18^\circ\text{C}$

とした。この時 HDD よりも CDD の係数が大きい。これに対し、モデル II では、行使温度をそれぞれ

$K_H = 18^\circ\text{C}$ 、 $K_C = 28^\circ\text{C}$ と、高温時の電力価格への

影響を推定する。結果は CDD と HDD の係数がほぼ等しくなった。モデル III では、モデル II に加え、低温時の影響を見た。結果は CDD の係数が HDD の係数よりもやや増大した。電力価格への影響は暖房、冷房オプションの行使温度を変えることにより変化することがわかった。

ただし、自由度修正済みの決定係数は 0.742、対数尤度は 1883.3 であるのでモデルの説明力は高いと

は言えず、このモデルを予測モデルとすることは適切ではない。

最後に、電力価格の推定値 $\hat{Y}_t$ と実績値 Y_t を比較してみよう。推定値と実績値の乖離の大きさを示す 4 つの統計量が表 1 の下段に示されている。此等の計算式は、

平均平方誤差 (Root Mean Squared Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (2)$$

平均絶対誤差 (Mean Absolute Error)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (3)$$

平均絶対%誤差 (Mean Absolute Present Error)

$$MAPE = 100 \times \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \quad (4)$$

Theil の U (Theil's U, Thiel, 1966, pp.25-36)

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t - \hat{Y}_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Y_t^2} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \hat{Y}_t^2}} \quad (5)$$

Theil の U の分子は RMSE であり、それを分母によってゼロと 1 の間にあるように基準化している。ゼロが完全な予測力、1 が予測力が全くないことを示すので値はゼロになるべく近い程よい。

5. 状態空間モデルによる分析

5.1 基本モデル

線形回帰モデルの問題点を改善したより良い電力価格の予測モデルを開発するために、線形の状態空間モデルの適用を考える。状態空間モデルを構成する観察方程式と状態方程式を次の式(6)と式(7)に示す。

観測方程式

$$\ln F_t = \tilde{\beta}_t + \alpha_1 HDD_t + \alpha_2 CDD_t + \sum_{j=1}^6 \gamma_j D_{j,t} + \eta D_{H,t} + \tilde{\varepsilon}_t$$

$$\text{where } \tilde{\varepsilon}_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

(6)

状態方程式

$$\Delta \beta_t = a(b - \beta_{t-1}) + \tilde{\varepsilon}_t \quad \tilde{\varepsilon}_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (7)$$

ここで、

と定義されている。

4 日本気象学会「日常生活における熱中症予防指針」において気温 28°C は「中程度の生活活動で起こる危険性」

$$HDD_t = \text{Max}[9^\circ\text{C} - T_t, 0], \quad CDD_t = \text{Max}[T_t - 28^\circ\text{C}, 0],$$

$$T_t = t \text{ 日の平均気温}$$

式(6)の観測方程式の左辺の観測変数は自然対数変換を行うことにより、電力価格の分布が正規分布に近くなるようにしている⁵。右辺第 1 項 $\tilde{\beta}_t$ を未知の状態変数とし、時間とともに確率的に変動するようにした。状態変数 $\tilde{\beta}_t$ は線形回帰モデルを示す式(1)の定数項(切片)が時間とともに確率的に変動することを許容したものである。状態変数 $\tilde{\beta}_t$ は、式(7)に示されているように 1 日あたり a の強さで、長期平均 b に回帰すると考える。実際の推定に当たっては、式(7)の状態方程式を状態変数の差分 $\Delta\tilde{\beta}_t$ でなく水準で表現した次の式

$$\tilde{\beta}_t = ab + (1-a)\tilde{\beta}_{t-1} + \tilde{\varepsilon}_t \quad \tilde{\varepsilon}_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (8)$$

を用いる。この式は、今期の平均的な電力価格は、長期平均 b と前期の「平均的」な電力価格 $\tilde{\beta}_{t-1}$ は平均回帰する強さ a で加重平均して求めることができることを示している⁶。式(7)の右辺の最後の項 $\tilde{\varepsilon}_t$ は平均がゼロ、標準誤差が σ_ε の状態誤差項である。

5.2 基本モデルの推定結果

5.2.1 固定パラメータの最尤推定結果

表 2 のパラメータ推定結果から次の点がわかる。第 1 に、全ての固定パラメータの推定結果は高度に有意でありかつ符号条件を満たしている。これは回帰分析では一部の曜日パラメータが有意でなかったという結果とは異なる。

第 2 に、暖房オプション (HDD) と冷房オプション (CDD) の電力価格に対する影響(係数)はほぼ同じである。この結果は回帰分析と整合的であるが、係数の大きさは回帰分析の場合と比較しておおよそ 2 倍になっている。

第 3 に、曜日と祝日の電力価格に対する影響が回帰分析の結果とは異なる。回帰分析では、火曜と日曜、休日のみが有意であったのに対し、状態空間モデルでは、すべての曜日と祝日で有意な結果を得ている。火曜から土曜まで係数の大きさはほぼ 0.1 あり、プラスの影響を電力価格に与えている。日曜日と休日は

電力価格に対して月曜日を基準とした時に負の影響を与えていることがわかるが、休日は、日曜に比べ、その現象の影響度合いが 2 倍程度になっている。

第 4 に状態方程式の固定パラメータの推定結果を考えてみよう。我々は回帰分析において定数項に当たるものを、時変かつ確率変数である状態変数と考えた。状態変数は、平均回帰水準が b 、平均回帰水準に回帰する強さが a で示される平均回帰過程に従うものとした。状態方程式の固定パラメータの推定結果から、その期待値は、 $a = 1 - 0.01930 =$

0.980698 、 $b = 0.04673 / 0.980698 = 1.048806$ となる。

表 1 の回帰分析(モデル III)の結果と比べると、平均回帰する強さが大きいことがわかる。

5.2.2 モデルの説明力

状態空間モデルを適用したことにより、回帰分析の結果と比較して、結果がどの程度の改善されているかを検討する。回帰分析の対数尤度は 1883.329 であり、状態空間モデルを適用した場合 2234.714 となり説明力のかかなりの改善が見られた。カルマンフィルタによる電力価格の 1 期先予測値とその実績を比較したものが表 2 の下に示されている。いずれの統計量を見ても、回帰分析よりも良い結果が得られている。

表 2 状態空間モデル(式(2)と式(4))の固定パラメータ推定の予測誤差の評価

	係数	標準誤差	Z値	P値
観測誤差	0.11905	0.00098	121.327	0.0000
状態誤差: β	0.05494	0.00130	42.126	0.0000
HDD	0.02750	0.00229	12.034	0.0000
CDD	0.02715	0.00749	3.626	0.0003
火曜	0.10396	0.00678	15.343	0.0000
水曜	0.09585	0.00699	13.712	0.0000
木曜	0.10288	0.00691	14.880	0.0000
金曜	0.10817	0.00697	15.517	0.0000
土曜	0.09971	0.00699	14.276	0.0000
日曜	-0.03056	0.00640	-4.772	0.0000
休日	-0.06542	0.00820	-7.979	0.0000
ab	0.04673	0.00772	6.058	0.0000
(1-a)	0.01930	0.00318	6.077	0.0000
Log likelihood	2234.714			
RMSE	2.297	MAE	1.319	
MAPE	10.292	Theil U	0.086	

5 状態変数の推定に当たっては、状態変数、観測方程式と状態方程式の誤差項の正規性を仮定しなくてもカルマンフィルタを適用できる。また、固定パラメータの推定に当たっても、誤差項の正規性、したがって予測誤差の正規性は、標本数 N が大きくなれば、必須の仮定ではないことに注意。詳しくは森平 (2019) の第 7 章を参照のこと。

6 平均回帰傾向を示す a と b の推定値は定数項 ab と $\tilde{\beta}_{t-1}$ の係数 $(1-a)$ から直接求めることができるが、それらの標準誤差は ab と $(1-a)$ の標準誤差に加えその他の固定パラメータの標準誤差や共分散の関数であるため。所謂デルタ法によって計算する必要がある。

注) 観測誤差は観測誤差の標準誤差 σ_e 。状態誤差は状態誤差項の標準誤差 σ_ε を示す。RMSE は観測変数の 1 期先予測値 $\hat{F}_{t|t-1}$ とその実績値 F_t との間の平均平方誤差を、MAE は平均絶対誤差を、MAPE は平均絶対パーセント誤差、U は Theil の U を示す。詳しくは式(2)から式(5)を参照のこと。

表 2 で示されたこれらの指標の数値を見ても、状態空間モデルの予測力は、簡単なモデルにもかかわらずかなり良いことがわかる。

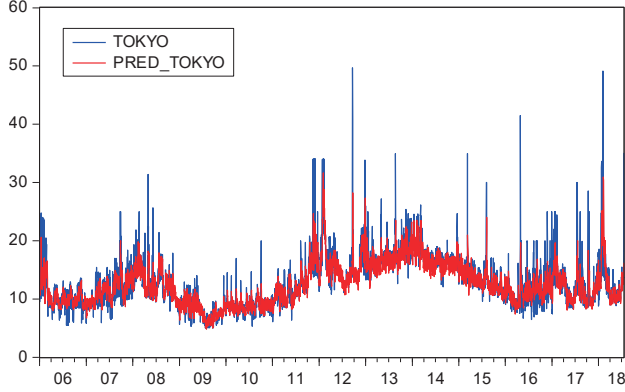


図 1 状態空間(基本)モデルを適用した場合の電力価格の 1 期先予測と実績値の比較

注) 電力価格は予測値、実績値とともに対数変換前の値を示している。予測値と実績値の差、予測誤差の数値評価については表 2 の RMSE 等を参照

6. 冷暖房オプションのポジション(α_1, α_2)を状態変数とするモデル

6.1 冷暖房オプションのポジション(α_1, α_2)が平均回帰するモデル

式(6)と式(3)と表 2 で示されたモデルの問題点は、電力価格に影響する天候指標として用いた HDD と CDD の計算にあたり、行使温度 K_H と K_C を定数としたことである。市場で取引されている金融オプションでは行使価格は一定であるが、我々のモデルでは、行使気温は未知の確率変数である。人々が冷暖機器、例えばエアコンを稼働し始める温度は、個々人、地域、あるいは居住環境によってかなり異なる。これらを時間依存の確率変数とすることは可能であるが、その場合、状態変数に関して線形性を要求するカルマンフィルターを適用することが出来ない。したがって、ここでは、HDD と CDD における行使気温はこれまで同様に定数とする。そのかわりに、HDD と CDD の係数である α_1 と α_2 を未知の状態変数とし、それが時間とともにどのような振る

舞いを示すかを検討する。言い換えれば、行使価格が定数 K_H , K_C である暖房と冷房オプションの買い枚数 (電力料金で示される冷暖房機器の稼働コスト) を、市場参加者は、気温の変化に応じて、どのように変化させているかを検討する。

このため、式(6)と式(8)からなる状態空間モデルを次のように変更する。

観測方程式

$$\ln F_t = \tilde{\beta}_t + \tilde{\alpha}_{1,t} HDD_t + \tilde{\alpha}_{2,t} CDD_t + \sum_{j=2}^7 \gamma_j D_{j,t} + \eta D_{H,t} + \tilde{e}_t \quad (9)$$

定数項の状態方程式

$$\tilde{\beta}_t = ab + (1-a)\tilde{\beta}_{t-1} + \tilde{\varepsilon}_t \quad \tilde{\varepsilon}_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (10)$$

HDD 係数の状態方程式

$$\tilde{\alpha}_{1,t} = cd + (1-d)\tilde{\alpha}_{1,t-1} + \tilde{\varepsilon}_{\alpha_1,t} \quad \tilde{\varepsilon}_{\alpha_1,t} \sim N(0, \sigma_{\alpha_1}^2) \quad (11)$$

CDD 係数の状態方程式

$$\tilde{\alpha}_{2,t} = ef + (1-f)\tilde{\alpha}_{2,t-1} + \tilde{\varepsilon}_{\alpha_2,t} \quad (12)$$

where $\tilde{\varepsilon}_{\alpha_2,t} \sim N(0, \sigma_{\alpha_2}^2)$

観測方程式で HDD と CDD にかかる係数 ($\tilde{\alpha}_{1,t}$, $\tilde{\alpha}_{2,t}$) が時間 t の添字がついた確率変数になっていることに注意しよう。これ等が平均回帰すると仮定して、その挙動を式(11)と式(12)のように定式化する。ここで 3 つの状態誤差項 ($\tilde{\varepsilon}_t, \tilde{\varepsilon}_{\alpha_1,t}, \tilde{\varepsilon}_{\alpha_2,t}$) 間の相関と観測誤差 e_t との相関は互いにゼロと仮定する。固定パラメータの推定結果は、表 3 に示されている。固定パラメータは、HDD の平均回帰の強さを示す式(11)の右辺第 1 項の cd を除いて全て高度に有意である。観察変数の 1 期先予測値と実績値の間の予測誤差の大きさを示す平均平方誤差、平均絶対誤差も共に表 2 に比べて改善されている。

6.2 冷房オプションのポジション($\alpha_{2,t}$)がゼロに平均回帰するモデル

表 3 に示すように CDD の係数において平均回帰水準を表す固定パラメータ e が有意でないので、式(12)に変えて次の式(13)のように定式化する。

CDD 係数の状態方程式

$$\tilde{\alpha}_{2,t} = f\tilde{\alpha}_{2,t-1} + \tilde{\varepsilon}_{\alpha_2,t} \quad \tilde{\varepsilon}_{\alpha_2,t} \sim N(0, \sigma_{\alpha_2}^2) \quad (13)$$

この場合の固定パラメータと予測力の検証結果が表 4 に示されている。結果は概ね表 3 と同様であるが、予測誤差を示す RMSE、MAE、MAPE、Theil の U の

いずれを見ても改善されている。式の f の推定値は 0.95 程度であり、 z 値も高い値を示している。このことは、状態変数 $\tilde{\alpha}_{2,t}$ はゼロに向かって強く回帰することを示している。

電力価格の 1 日先予測値と実績値の時系列比較が図 2 に示されている。図 3 は 3 つの状態変数 $(\tilde{\beta}_t, \tilde{\alpha}_{1,t}, \tilde{\alpha}_{2,t})$ の 1 日先予測値 $(\hat{\beta}_{t|t-1}, \hat{\alpha}_{1,t|t-1}, \hat{\alpha}_{2,t|t-1})$ の推移を示している。図 3 から幾つかの興味ある事実を読み取ることができる。

第 1 に、HDD の係数の 1 日先予測値 $\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ と CDD の係数の 1 日先予測値 $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ は互いに直交しており、天候が電力価格に及ぼす異なった効果を表現している。明らかに電力需要は、冬期の特に低温のとき、夏期の高温のときに増加している。

第 2 に $\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ と $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ の 2 つの「平均的」な水準を検討する。暖房機器稼働オプション効果を示す

表 3 HDD と CDD の係数を状態変数と考えた場合式(9)から式(12)の推定結果と 1 期先予測の適合度

		係数	標準誤差	Z値	P値
標準 誤差	観測誤差	0.11452	0.00098	117.52	0.00000
	状態誤差: β	0.05044	0.00122	41.39	0.00000
	状態誤差: $\alpha 1$	0.02282	0.00134	17.08	0.00000
	状態誤差: $\alpha 2$	0.02333	0.00497	4.69	0.00000
曜日 ダミー	火曜	0.10223	0.00668	15.32	0.00000
	水曜	0.09406	0.00683	13.77	0.00000
	木曜	0.09968	0.00679	14.69	0.00000
	金曜	0.10439	0.00678	15.39	0.00000
	土曜	0.09586	0.00699	13.71	0.00000
	日曜	-0.02997	0.00618	-4.85	0.00000
	休日	-0.05986	0.00822	-7.28	0.00000
β	ab	0.04070	0.00726	5.61	0.00000
	(1-b)	0.01680	0.00300	5.60	0.00000
$\alpha 1$	cd	0.01345	0.00308	4.37	0.00000
	(1-d)	0.50127	0.07868	6.37	0.00000
$\alpha 2$	ef	0.00528	0.00345	1.53	0.12550
	(1-f)	0.16898	0.09495	1.78	0.07510
Log likelihood		2281.377			
RMSE		2.439	MAE	1.339	
MAPE		10.245	Theil U	0.086	

$$\ln F_t = \beta_t + \alpha_{1,t} HDD_t + \alpha_{2,t} CDD_t + \sum_{j=2}^7 \gamma_j D_{j,t} + \eta D_{H,t} + \tilde{\epsilon}_t$$

$$\alpha_{1,t} = cd + (1-d)\alpha_{1,t-1} + \epsilon_{\alpha_{1,t}}$$

$$\alpha_{2,t} = ef + (1-f)\alpha_{2,t-1} + \epsilon_{\alpha_{2,t}}$$

$\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ が、冷房機器の稼働オプション効果 $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ を、多くの場合上回っている。通常、冬期よりも、夏期の方が電力の逼迫度合いを問題にすることが多いが、この実証結果は、平均的には、冬期の方が、気温電力価格に対する影響度合いが大きいといえる。

第 3 にこれら $\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ と $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ の 2 つの変動性、ボラティリティ推移を見てみよう。冷房機器稼働オプション効果 $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ のボラティリティは、暖房機器稼働オプション効果 $\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ のボラティリティより大きく、冷房オプション効果のスパイクも格段に大きい。冬期の電力価格への影響は平均的には夏期の価格を上回っているにせよ、夏期における電力価格のスパイクとボラティリティの大きさは、冬期のそれらを大きく上回っている。金融資産に関しては、その価格水準に比例してボラティリティが増加するとの仮定が多いが、電力価格では必ずしもそうとは言えないことは興味深い。

表 4 拡張モデル 式(9)から式(11)と式(13)の推定結果と 1 期先予測の適合度

		係数	標準誤差	Z値	P値
標準 誤差	観測誤差	0.11450	0.00098	117.49	0.00000
	状態誤差: β	0.05072	0.00122	41.42	0.00000
	状態誤差: $\alpha 1$	0.02279	0.00134	17.05	0.00000
	状態誤差: $\alpha 2$	0.01746	0.00433	4.04	0.0001
曜日 ダミー	火曜	0.10239	0.00667	15.35	0.00000
	水曜	0.09411	0.00683	13.78	0.00000
	木曜	0.09981	0.00678	14.71	0.00000
	金曜	0.10458	0.00678	15.42	0.00000
	土曜	0.09599	0.00698	13.75	0.00000
	日曜	-0.03000	0.00618	-4.86	0.00000
	休日	-0.05967	0.00824	-7.24	0.00000
β	ab	0.04114	0.00726	5.67	0.00000
	(1-b)	0.01697	0.00300	5.66	0.00000
$\alpha 1$	cd	0.01349	0.00309	4.36	0.00000
	(1-d)	0.50320	0.07921	6.35	0.00000
$\alpha 2$	f	0.94985	0.03279	28.97	0.00000
Log likelihood		2276.748			
RMSE		2.301	MAE	1.312	
MAPE		10.260	Theil U	0.086	

$$\ln F_t = \beta_t + \alpha_{1,t} HDD_t + \alpha_{2,t} CDD_t + \sum_{j=2}^7 \gamma_j D_{j,t} + \eta D_{H,t} + \tilde{\epsilon}_t$$

$$\alpha_{1,t} = cd + (1-d)\alpha_{1,t-1} + \epsilon_{\alpha_{1,t}}$$

$$\alpha_{2,t} = f\alpha_{2,t-1} + \epsilon_{\alpha_{2,t}}$$

7 金融資産価格 S_t の傾向と不確実性を記述するためには、幾何ブラウン運動にしたがう確率微分方程式を用いることが多い。この場合、価格変化のボラティリティ項を

$\sigma S_t dW_t$ と定式化する。このことは左辺の将来価格の変化 dS_t のボラティリティは現在時点の価格水準 S_t に依存していることを示している。

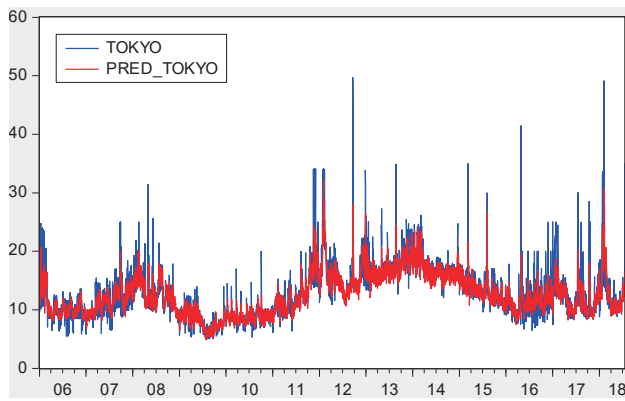
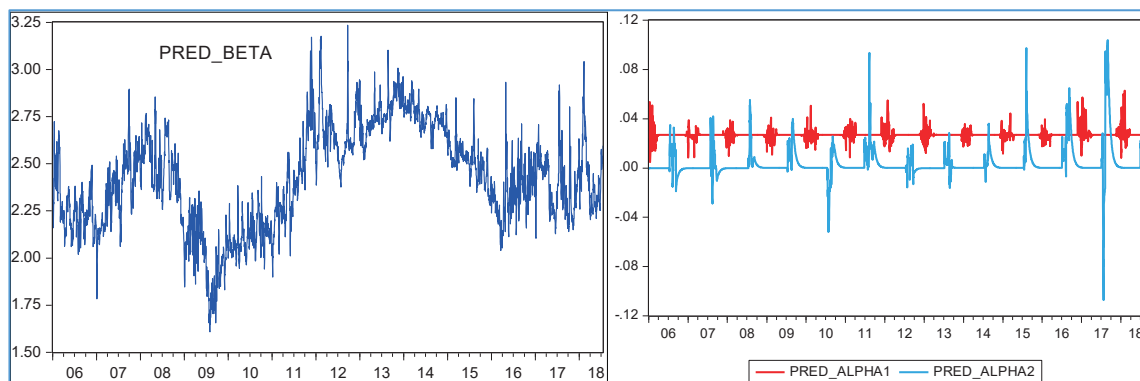


図2 CDDに関する状態変数の係数(式(13))が1階の自己回帰に従うときの電力価格の実績と予測結果



状態変数 $\tilde{\beta}_t$ の1期先予測 $\hat{\beta}_{t|t-1}$

$\tilde{\alpha}_{1,t}$ の1期先予測 $\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ (上段)と $\tilde{\alpha}_{2,t}$ の1期先予測 $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ (下段)

図3 状態変数の1期先予測結果

注) 左の図は、状態変数 $\tilde{\beta}_t$ の1期先予測 $\hat{\beta}_{t|t-1}$ を示し、右の図で赤線(上段: PRED_ALPHA1)は HDD の係数 $\tilde{\alpha}_{1,t}$ の1期先予測 $\hat{\alpha}_{1,t|t-1}$ を、右の図の青線(下段: PRED_ALPHA2)は CDD の係数 $\tilde{\alpha}_{2,t}$ の1期先予測 $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ を示している。両者の水準とボラティリティあるいはスパイクの違いに注意。 $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ は頻度は低い(8日のみ)がマイナスの値を取る。

要約と結論

東京エリアを対象とし、電力需要が日中で最も高くなる18時から18時半の間の卸電力価格の変化を説明、予測するモデルとその推定結果を議論した。電力価格の変化を特徴づけるその平均回帰性、時変ボラティリティ、スパイク現象などを良く説明できるモデルとして、平均気温を主要な説明変数とし、曜日や休日効果を取り込んだモデルを構築した。気温が電力価格のスパイクや大きなボラティリティ変化をもたらす効果をモデル化するために、日中平均気温の非線形変換である HDD と CDD 変数を構築し、その行使気温を日本の自然、社会環境に適合するように決めた。更に、平均気温の HDD あるいは CDD 変換が電力の需要者が有する暖房、冷房オプションと解釈できることからこのモデルの経済的な意

第4に、冷房オプション効果を示す $\hat{\alpha}_{2,t|t-1}$ (図3にお

ける PRED_ALPHA2)は夏期にあってもゼロあるいはマイナスの値をとることが、頻度は低いものの、あり得ることに注目すべきである。つまり、平均気温が28℃以上になると電力価格が「低下」することがあり得ることを示している。これは夏期に猛暑日が連続するなかで、温度と湿度が低くなり過ごしやすい日がある場合に、こうしたことが生ずることが生じる。

味付けを試みた。また、HDD と CDD の推移が電力価格に与える影響の大きさそれ自身が、時変かつ平均回帰傾向を示す確率変数であるとするモデリングを試みた。この場合、線形状態空間モデルとしてモデルを定式化し、カルマンフィルターより状態変数の推定をおこない、同時に最尤法による固定パラメータの推定を試みた。予測誤差を示す4つの尺度 (RMES, MAE, MAPE, Theil の U) から見ても、単純な回帰分析による結果を上回る予測力の高いモデルを開発できた。

卸電力価格と気温はリアルタイムに誰でも入手可能なデータであり、曜日と休日は不確実性や曖昧性なしに知りうるデータである。そのため、小規模な卸電力市場参加者にとってもこのようなモデルを用いたリスク管理が容易に可能になるであろう。

他方、この論文で示した結果は、あくまでも、東京

エリアの 18 時から 18 時半の推定結果である。次の課題として他の時間帯、あるいは他のエリアにおいても同様の結果を得ることができるかどうかを検討する必要がある。

参考文献

1. Aggarwal, S. K., Saini, L. M., and Kumar, A. (2009). Electricity price forecasting in deregulated markets: A review and evaluation. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 31(1), 13–22.
2. Amjady, N., and Hemmati, M. (2006). Energy price forecasting-problems and proposals for such predictions. *IEEE Power and Energy Magazine*, 4(2), 20–29.
3. Anbazhagan, S. and Kumarappan, N. (2013). Day-ahead deregulated electricity market price forecasting using recurrent neural network. *IEEE Systems Journal* 7, 866–872.
4. Arisoy, I., and Ozturk, I. (2014). Estimating industrial and residential electricity demand in Turkey: A time varying parameter approach. *Energy*, 66, 959–964.
5. Bhar, R., Colwell, D. B., and Xiao, Y. (2013). A jump diffusion model for spot electricity prices and market price of risk. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 392(15), 3213–3222.
6. Boudoukh, J., Richardson, M., Shen, Y. J., and Whitelaw, R. F. (2007). Do asset prices reflect fundamentals? Freshly squeezed evidence from the OJ market. *Journal of Financial Economics*, 83(2), 397–412.
7. Burger, M., Klar, B., Muller, A., and Schindlmayr, G. (2004). A spot market model for pricing derivatives in electricity markets. *Quantitative Finance*, 4(1), 109–122.
8. Chang, E. C., and Lewellen, W. G. (1984). Market timing and mutual fund investment performance. *Journal of Business*, 57(1), Part I, 57–72.
9. Crisostomi, E., Gallicchio, C., Micheli, A., Raugi, M., and Tucci, M. (2015). Prediction of the Italian electricity price for smart grid applications. *Neurocomputing*, 170, 286–295.
10. Contreras, J., and Santos, J. R. (2006). Short-term demand and energy price forecasting. In *MELECON 2006-2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference* (pp. 924–927). IEEE.
11. Harvey, A., and Koopman, S. J. (1993). Forecasting hourly electricity demand using time-varying splines. *Journal of the American Statistical Association*, 88(424), 1228–1236.
12. Henriksson, R. D., and Merton, R. C. (1981). On market timing and investment performance. II. Statistical procedures for evaluating forecasting skills. *Journal of business*, 513–533.
13. Henriksson, R. D. (1984). Market timing and mutual fund performance: An empirical investigation. *Journal of business*, 73–96.
14. Huisman, R., and Mahieu, R. (2003). Regime jumps in electricity prices. *Energy Economics*, 25(5), 425–434.
15. Inglesi-Lotz, R. (2011). The evolution of price elasticity of electricity demand in South Africa: A Kalman filter application. *Energy Policy*, 39(6), 3690–3696.
16. Karakatsani, N. V., and Bunn, D. W. (2008). Forecasting electricity prices: The impact of fundamentals and time-varying coefficients. *International Journal of Forecasting*, 24(4), 764–785.
17. Li, G., Liu, C. C., Lawarree, J., Gallanti, M., and Venturini, A. (2005). State-of-the-art of electricity price forecasting. In *International Symposium CIGRE/IEEE PES, 2005*. 110–119. IEEE.
18. Merton, R. C. (1981). On market timing and investment performance. I. An equilibrium theory of value for market forecasts. *Journal of business*, 363–406.
19. Niimura, T. (2006). Forecasting techniques for deregulated electricity market prices-extended survey. In *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, 51–56.
20. Nowotarski, J., and Weron, R. (2018). Recent advances in electricity price forecasting: A review of probabilistic forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1548–1568.
21. Pappas, S. S., Ekonomou, L., Karamousantas, D. C., Chatzarakis, G. E., Katsikas, S. K. and Liatsis, P. (2008). Electricity demand loads modeling using AutoRegressive Moving Average (ARMA) models. *Energy*, 33(9), 1353–1360.
22. Roll, R. (1984). Orange juice and weather. *American Economic Review*, 74(5), 861–880.

23. Shukla, R. K., and Trzcinka, C. (1992). Performance evaluation of managed portfolios. *Financial Markets, Institutions & Instruments*.1(4)
24. Suganthi, L., and Samuel, A. A. (2012). Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(2), 1223-1240.
25. Takeda, H. (2016). *Electricity Load Forecasting: Ensemble Approach*. 総合研究大学院大学複合科学研究科 博士号請求論文、総研大甲第 1876 号, 138p.
26. Takeda, H., Tamura, Y., and Sato, S. (2016). Using the ensemble Kalman filter for electricity load forecasting and analysis. *Energy*, 104, 184–198.
27. Thamae, R. I., Thamae, L. Z., and Thamae, T. M. (2015). Dynamics of electricity demand in Lesotho: A Kalman Filter approach. *Studies in Business and Economics*, 10(1), 130–139.
28. Thiel, H. (1966), *Applied Economic Forecasting*. Rand McNally.
29. Weron, R. (2014). Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*, 30(4), 1030–1081.
30. Weron, R., and Misiorek, A. (2006). Short-term electricity price forecasting with time series models: A review and evaluation. Hugo Steinhaus Center, Wroclaw University of Technology.
31. Zachmann, G. (2008). Electricity wholesale market prices in Europe: Convergence? *Energy Economics*, 30(4), 1659–1671.
32. Zachmann, G. (2005). Convergence of electricity wholesale prices in Europe? A Kalman filter approach (*Working Paper* No. 512). DIW Discussion Papers.
33. Zhang, L., and Luh, P. B. (2005). Neural network-based market clearing price prediction and confidence interval estimation with an improved extended Kalman filter method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(1), 59-66.
34. 大藤建太, 山口順之 (2008) 「時間変化を考慮した国内卸電力市場の取り引き構造分析—カルマンフィルタ同時方程式モデルを用いた推定. 電力中央研究所報告 Y 研究報告, (7016), 1–25.
35. 山口順之 (2008). 「海外卸電力取引所における時間前市場と前日市場の価格差に関する実証分析」. 電力中央研究所報告 Y 研究報告, (7015), 1–27.
36. 森平爽一郎 (2019), 『ファイナンスと経済のためのカルマンフィルター入門』、統計ライブラリー、朝倉書店

編集後記

リアルオプション学会機関誌 11 巻 1 号は、巻頭言に加え、研究部会 「コモディティファイナンス」での講演要旨 2 篇と研究論文 2 篇を掲載いたしました。リアルオプション学会がめざす主な研究課題は、従来、金融資産を対象にするデリバティブズ、特にオプションに対し、実物資産 (Real Assets) を対象にするデリバティブを研究することにあります。その意味で、本号はリアルオプション学会の目指すところを最も具現したものと言えるかもしれません。なお、「コモディティファイナンス研究部会」の開催にあたっては、東京商品取引所 (TOCOM) のご協力をいただいております。ここに記して、感謝いたします。

編集担当 森平 爽一郎

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
 ダイドール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
 株式会社 メディカルシステムネットワーク
 ベステラ 株式会社
 日東精工 株式会社

日本リアルオプション学会 機関誌 リアルオプションと戦略 第11巻 第1号
2019年12月1日 発行 (機関誌編集委員会) 委員長： 森平爽一郎 委員： 高森寛、佐藤清和、伊藤晴祥 発行所 日本リアルオプション学会 THE JAPAN ASSOCIATION OF REAL OPTIONS AND STRATEGY 事務業務担当： 〒104-0033 東京都中央区新川2-22-4 新共立ビル2F 電話： 03-3551-9893 FAX： 03-3553-2047

Invited Papers, Vol. 11, No. 1

Adzuki Bean Futures Price Predicts Low-Temperature Risk

[Soichiro Moridaira, Haruyoshi Ito] ————— 27

Reviewed Papers, Vol. 11, No. 1

Electric Price Forecasting by Temperature Options

[Soichiro Moridaira] ————— 35