

リアルオプションと戦略

2015 October

Vol. 7 No. 3


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

巻頭言

リアルオプションのモジュール化 ～個人の定性的利用から組織での定量的利用への道～ ——— 1
[今井 潤一]

公開
研究会
2015

講演要旨

成功企業の超営業術 [武藤 英明] ————— 3
～ゼロからの出発、創業11年半で年商300億円 バイオでもITでも無く「不動産」で東証一部上場～

大会
JAROS
2015

研究発表大会 基調講演要旨

Phronesis and the Capturing of Quiddity in Management [加瀬 公夫] — 7

寄稿

プロジェクトの総合的評価法 (4) [宮原 孝夫] ————— 11

〈リアルオプション事例研究の解説〉 [伊藤 晴祥] ————— 16

Managing Weather Risks: The Case of J. League Soccer Team in Japan

査読
論文

オプション価格決定モデル: その学説史的展望

(1) バシェリエ (1900) モデル [森平 爽一郎] ————— 22

積雪リスクマネジメントにおける一考察:

新潟県のスキー場における事例研究 [伊藤 晴祥] ————— 32

記録 / 学会ニュース

第7巻 第3号

目次

巻頭言

リアルオプションのモジュール化 ～個人の定性的利用から組織での定量的利用への道～ …… 今井 潤一 1

公開研究会 講演要旨

成功企業の超営業術 …………… 武藤 英明 3
～ゼロからの出発、創業11年半で年商300億円 バイオでもITでも無く「不動産」で東証一部上場～

JAROS2015 研究発表大会 基調講演要旨

〈セミナー:「地方創生と価値創造イノベーション」より〉

Phronesis and the Capturing of Quiddity in Management …………… 加瀬 公夫 7

寄稿

〈研究メモ〉

プロジェクトの総合的評価法(4) …………… 宮原 孝夫 11

〈リアルオプション事例研究の解説〉

Managing Weather Risks: The Case of J. League Soccer Team in Japan
(Haruyoshi Ito, Jing Ai, and Akihiko Ozawa, Journal of Risk and Insurance, 2015) …………… 伊藤 晴祥 16

査読論文

オプション価格決定モデル:その学説史的展望

(1)バシェリエ(1900)モデル …………… 森平 爽一郎 22

積雪リスクマネジメントにおける一考察:

新潟県のスキー場における事例研究 …………… 伊藤 晴祥 32

〈記録〉

JAROS2015 研究発表大会 第10回 …………… 40

〈学会ニュース〉

本機関誌へのご寄稿のお願い …………… 2

日本リアルオプション学会 会員募集中! …………… 6

日本リアルオプション学会 法人会員 …………… 6

論文誌「リアルオプション研究」原稿募集のご案内 …………… 10

会員の近著紹介! …………… 15

Call for Paper: International Journal of Real Options and Strategy …………… 41

論文誌「リアルオプション研究」掲載の論文リスト …………… 42

Papers that appeared in the International Journal of Real Options and Strategy …………… 44

学会だより …………… 44

編集後記 …………… 45

巻頭言

リアルオプションのモジュール化 ～ 個人の定性的利用から組織での定量的利用への道 ～

今井 潤一

(日本リアルオプション学会副会長 慶應義塾大学理工学部)

リアルオプション学会に所属しておられる多くの会員の例に漏れず、現在大学に身を置いている筆者もリアルオプションが産業界で利用されることを強く期待している。その理由は実に単純で、リアルオプションの考え方が有効で、よりよい意思決定の助けになると信じて疑わないからである。

いったんリアルオプションの基本的な考え方を理解すれば、この考え方は個人の日常生活にも適用できる。例えば、仕事で出張する場合を考えてみよう。出張先での仕事時間に不確実性が大きい場合、つまり、出張先での仕事が終わるのが予想しにくい場合には、飛行機での移動より新幹線の利用の方が有効なケースが多い。飛行機の便数と比べて新幹線の本数が圧倒的に多いという事実は、リアルオプションの観点から見ると、より多くのスイッチングオプションを保有していることに対応する。リアルオプションの理論によると、不確実性の度合いが大きいほどオプション価値が大きくなることから、出張先での仕事時間が予測しにくい場合ほど、新幹線利用によるリアルオプション価値が大きくなることがわかる。筆者は、かつて盛岡から京都に出張したときにこれを体験した。リアルオプション思考を行わなかったせいで、わずかな運賃の違いに気をとられて飛行機のチケットを購入してしまい、大いに時間を無駄にしたのである。リアルオプションを勉強しなくてもそのくらいは常識だとお叱りを受けそうであるが、日常の意思決定の問題にこれほどロジカルに説明がつくこと、本数が多いことが単純に便利だという以上の経済的価値を持つことを知り、筆者には印象深い出来事であった。

ところが、この常識的なリアルオプションの考え方を企業や自治体といった組織で利用しようとする、ことはそれほど単純ではない。そもそも、大きな組織が直面している問題は、個人のレベルより遙かに複雑で、リスクを正しく認識すること自体が難しく、経験が必要となることが多い。さらに、リアルオプション価値を定量化し、適切なタイミングでオプションを行使することまで考えると、とても組織の一部門では対応できず、最初の情報収集からリアルオプションの最適な実行に至るまで、様々な部門に

渡る一貫したマネジメントが必要になる。リアルオプションがいかに有効なツールであったとしても、これでは、なかなか組織全体には浸透しない。

このような状況に対処するには、モジュール化を意識したマネジメントが有効かもしれない。モジュール化の定義はいくつかあるが、複雑なシステムを、一定の方法に基づいて独立にデザインし、機能的なまとまりのある複数のサブシステムに分解することをいう。Baldwin, Clark (2000)の著作では、モジュール化の価値をリアルオプションの考え方を使得って評価していることから、ご存じの方も多いと思われる。モジュール化は、生産システムの分野で提唱された概念であり、またソフトウェア開発の分野でも広く利用されている。近年では経営学分野でもモジュール化が議論されている。リアルオプション分析に必要なプロセスを考えると、その産業界への普及を促進するに当たってモジュール化を考えることの意義は大きい。

モジュール化の最大の利点は、言うまでもなく各部門が担当するサブシステムに集中して、分析・開発・管理できることにある。すなわち、モジュール化が成功すれば、各サブシステムの構築をその道の専門家に集中して任せることが可能となる。リアルオプションの文脈でいえば、例えば、不確実性の認識・発見、柔軟性の発見と創造、モデル化などをそれぞれの専門部署で行い、シニア・マネジャーがそれらを統括するということになるだろうか。

筆者は複数の学会に所属しているが、リアルオプション学会には2つの特徴があるように思える。一つは会員に実務家、実務経験者の割合が多く、しかも、特定の産業分野に偏っているわけではないこと。そしてもう一つは理論の実務への応用に興味を持つ研究者が多数在籍することである。リアルオプションの実践において、モジュール化の概念がうまく利用できれば、プロジェクト全体を毀損しないように注意した上で、専門性の高いサブモジュール、例えば不確実性のモデリングやデータを使ったパラメータ推定、最適化問題の定式化、効率的な計算方法の開発作業を、専門家に任せるといったことが容易になるかもしれない。

現在、本学会では、年1回開催される研究発表大会に加えて4つの研究部会が存在しており、セミナーを通じて積極的に学术界と実務界との交流を進めている。リアルオプションが産業界に普及する上での障害とされている、理論モデルの難解さや計算の難しさといった問題の解消に貢献できるのであれば、筆者は是非その一翼を担いたいと希望している。さらに一歩進めて、実務家の方に個別具体的なケース

を紹介してもらい、リアルオプションを含む様々な観点からのディスカッションができる場が将来提供されることを大いに期待している。

Baldwin, Carliss Y., Kim B. Clark, “DESIGN RULES: The Power of Modularity”, The MIT Press, 2000. (邦訳: 安藤晴彦訳、『デザイン・ルール-モジュール化パワー-』、東洋経済新報社、2004年.)

本機関誌へのご寄稿のお願い

本機関誌「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、社会へ向けての情報発信のメディアとして、2015年度からは、年4回刊行の季刊といたします。それとともに、学会主催の公開研究会を、より頻繁に開催し、その講演要旨を掲載します。また、掲載記事の種類を多様化して、次のようなカテゴリーで Short paper の投稿を公募いたします。

1. **紹介および解説記事**：本学会からみて、隣接あるいは関連分野・領域の動向の紹介、
2. **研究メモ**：研究上の新しいアイデア、異なるモデル間の関連性、研究成果のまとめ、リアルオプション研究のための数値解析・統計・計量経済学などの手法の解説、コンピューターシミュレーションやプログラム、学部や修士論文の要約
3. **リアルオプションの他分野での応用の紹介**：例えば、会計学、知的財産企業の合併・買収 (M&A) の応用など
4. **論説、書評、研究サーベイ**
5. **リアルオプションに関連した事例研究**
6. **研究室だより**：研究紹介、これまでの研究経緯など
7. **査読論文**：「査読論文」のセクションが設けられます。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。「査読を希望する論文」として投稿が可能になります。短い期間での採否の決定、あるいは修正の依頼をします。査読を希望する論文は、概ねこの機関誌で10ページ程度といたします。それ以上になる場合には分割掲載となる場合があります。査読付きの論文はそのことを機関誌目次と掲載ページの最初に告知します。

第8巻第1号に掲載のための締め切は、2015年12月末日となります。論文テンプレートに関しては、学会ホームページよりダウンロードしてご利用ください。投稿料は無料としますが、著者の少なくとも一人は学会員であることを要します。どの著者も学会員でない場合は、掲載時までには少なくとも一人に学会員となっただくようご案内します。学会ホームページに、近く、機関誌への原稿投稿フォーム(欄)を設けます。

J-Stage-Web 登載：本誌の各号は、刊行後一定期間をおいてから、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-Web 登載」に登録されるよう、近く申請します。これが実現すると、本誌掲載の記事は、Google Scholar などからも検索可能となり、国内外にむけて向けて広く情報発信されます。

<公開研究会 2015年5月26日：講演要旨 於：野村総合研究所 会議室>

『成功企業の超営業術』

～ ゼロからの出発、創業11年半で年商300億円

バイオでもITでも無く「不動産」で東証一部上場～

武藤 英明

(JPMC日本管理センター株式会社 代表取締役 社長執行役員)

1. 会社紹介

JPMC日本管理センター株式会社は、2002年6月、福岡県で創業を致しました。今は丸の内にオフィスを構えています。当時は13階建て雑居ビルの6階で、周りは消費者金融会社ばかり。社員は私一人、アルバイト一人の、合計二人でスタート致しました。そして、2003年3月に弊社のコア事業である「スーパーサブリース」をリリース。その後も様々な商品を市場投入し、2011年10月にJASDAQ、2012年12月に東証二部、2014年9月には、東証一部に上場を致しました。「スーパーサブリース」のリリースからわずか11年半、年商300億円・東証一部上場企業へと成長致しました。

現在は、全国8カ所に支社支店を置き事業展開しております。全国を網羅するネットワークを確立し、地場の不動産情報を豊富に所有しております。そのため、不動産オーナー、もしくは不動産オーナーになりたいという方のニーズに合った物件を全国から探し出し、マッチングすることが可能です。当たり前ですが、各拠点、各サービスを全て黒字にすることが、経営においては大切です。そのためにはサブリースを始めとする各サービスが前年割れしないこと、つまりストックビジネスであることが必要です。経営の考え方とビジネスモデルがうまくマッチしていることが短期間で成功したポイントではないでしょうか。

2. 事業内容

不動産業界の市場規模についてですが、日本の人口は現在約1億2,300万人です。世帯数にすると約5000万世帯。全住宅のうち37.5%を賃貸住宅が占めており、民営賃貸住宅は1,586万戸。市場規模では約14兆4641億という巨大なマーケットとなっております。

そんな中、全国平均の空室率は、22.7%と5分の1以上の部屋が余っているという状況です。このような状態にも関わらず、2012年には31万8521戸、2013年35万6263戸、2014年36万2191戸の新築物件が

建てられています。供給はされているのに部屋が余っている。これは、賃貸住宅メーカーの建てる物件が入居者のニーズにマッチしていないことを表しています。オーナー側もそれぞれ事情は千差万別であり、ニーズもバラバラ。それに対しても賃貸住宅メーカーの供給はプロトタイプ。つまり、「居住者」、「オーナー」のニーズとは無関係に、メーカーの都合で住宅の供給がなされている。ここに、高い空室率の原因があります。

少子高齢化と言われているように、日本は人口が減少している状況下ですが、世帯数は増えるというデータが出ております。2000年の4,679万世帯が、2030年には5,123万世帯になるとの予想です。原因は一人暮らしが増えるためです。特に40-60代の賃貸が増える。つまり賃貸のニーズが変わっているということです。

40-60代は、収入、生活レベルからして、これまで賃貸のターゲットであった、若者用のワンルーム物件は敬遠してしまいます。具体的には、1LDK以上を望んでいます。しかも、今はスマホで検索をする時代です。条件以外の物件は、検索の際に最初から除外されてしまいます。また、洋風の間取りが主となっているため畳の部屋も敬遠されます。また、21年前は93万人であったネット人口が、今では1億人となっております。この1億人に物件をいかに見ってもらうかが大事になってきました。しかも、40-60代は生活しやすい賃貸物件ならば長く住んでくれる可能性が高いです。つまりオーナーは、長く住んでもらえる物件を持たないと駄目だということです。

また、昔は原状回復費用を入居者からとれましたが、法改正により経年劣化はオーナー負担であることが明確になりました。そのため、入居者が回転するほどオーナーの負担が増えてしまいます。賃貸物件の経営は、これまでは賃料と入居率を考えればよかったが、これからは回転率を下げるのが重要。つまり、なるべく長く住んでもらうことが必要なのです。

賃貸住宅には、5大要件といわれる入居が決まりやすい条件があります。

- ① 立地
- ② 間取り
- ③ 設備
- ④ 竣工時期
- ⑤ 駐車場取り付け台数

これらのポイントを入居者のニーズに合ったものにしなければなりません。当然ですが、入居率を上げるには住む人にとって快適であることが必要であり、そのためには物件の利便性を高めなければなりません。そのため当社は「JPMC ヒカリ」という、入居者が無料で専用ブロードバンドサービスを使える環境を提供しています。通常こういったサービスを導入する際は、貸主であるオーナーと交渉して許可を得なければ実施はできません。しかし、サブリースの場合は弊社が貸主となるため、オーナーとの交渉なしに必要な施策・サービスを導入することが可能です。

また、住宅の床材は木製フローリングが主流です。賃貸物件の場合は、2~3年に一回入居者が入れ替わるため、張り替えが発生しコストも時間もかかります。そこで、弊社は凸版印刷と組み、フローリングに代わる部材として「フローリングそっくりさん」を開発致しました。通常の木製フローリングと違い、部分張替が可能で、専門業者も不要、施工も簡単にできる素材により、原状回復工事にかかる時間とコストを大幅に削減することが可能です。

3. 賃貸メーカーとの相違点、当社の強み

以上のような施策により、高入居率で運用をしているのですが、実際のところメーカーさんも強い。営業力、ブランド力、そして30年一括借上げ、があります。

そういったメーカーさんに対抗するため、当社では10年間固定の最低保証制度をウリとしています。そして、保証部分には保険をかけることでリスクヘッジをしております。

例えば、賃料100万円の物件の場合、64万円が銀行への返済だとします。当社は70万円の賃料収入保証をします。そうすればオーナーは確実に返済が出来ます。当社はコストをかけて入居率を上げ、収益性を高めます。その際、物件を集めてくる営業部門と、その収益性を審査する部門を分け、互いに牽制する機能をもった組織づくりをしています。あまりに審査が厳しいと売上げに影響し、緩過ぎると収益性に響く。このバランスこそが、当社でしかもっていないノウハウとなります。

また、当社は建設をやりません。ここが賃貸住宅メ

一カーさんと全く異なるところです。建設は地場の建設会社をお願いして、当社は管理に集中します。賃貸住宅メーカーさんがグループ内で垂直統合をしていることに対して、当社は専門分野に特化した上で、外部の業者と組んで、水平展開しています。日本全国、そういったパートナー企業が約1250社あるため、150名程の従業員で6.3万戸の物件を管理することができます。ただ、物件は古くなると劣化していきます。もちろん劣化すると、入居率も下がっていきます。そのためリフォームが必要となってくるのですが、入居率が下がっているため、オーナーに資金がない場合が多い。リフォーム後の収入がリフォーム代金を上回れば利回りがプラスになり、銀行のファイナンスが付きやすくなるのですが、リフォーム後の収入は、読むことができません。そのため、当社が間に入って家賃保証をすることで、リフォーム後の収入が明確になります。利回りが確定するため、銀行のファイナンスが付きやすくなり、リフォーム実施が可能になります。これが「スーパーリフォーム」というサービスになります。

4. 高齢者層へのフォーカス

また、当社は高齢者にもフォーカスしています。日本に、要介護者は530万人いるといわれていますが、介護施設に入れているのは120万人しかいません。410万人は、あぶれているのです。しかし、国が介護施設の総量規制をかけているため、行政が介護施設を増やしたくても増やせないようになっているのです。

しかも、一般の賃貸業者は孤独死などの恐れがあるため高齢者の入居に後ろ向きです。そこで国は、サービス付き高齢者向け住宅、いわゆる「サ高住」を推進しているのです。サ高住は届出制であり、補助金も原則付けずに済みます。賃貸と介護施設の中間的存在が「サ高住」なのです。

このサービス付き高齢者向け住宅、18万2,865戸ありますが、それを考慮してもまだ390万戸も足りていないのです。これは、学生用に必要な物件数123万戸の3倍強の数字になります。

全国どこに行っても要介護者はいらっしやいます。しかし、働き手がいません。また、建築費も高額です。そのため介護の運営会社探しが重要となるのです。そして、施設設置のポイントですが、大きすぎる施設、高すぎる施設、遠すぎる施設はうまくいきません。高齢者向け住宅と、通常の賃貸住宅との違いですが、入居を判断するのは本人ではなく家族です。ネット検索も使いません。行政の紹介が殆どです。しかも、家

族が内覧した後に、本人を説得する流れになるため、入居まで時間がかかります。また、年金受給者が多いため都市型の立地でデパートなどに近い、かつ年金よりも4万円ほど低い金額で賄える金額設定でないといけません。このような物件を探し、当社が一括して借り上げ、介護業者に入ってもらいます。

これが高齢者住宅一括借上&総合支援事業「ふるさぼ」。介護の知識がない賃貸業者・オーナーと、賃貸経営の経験がない介護業者の間に入って、当社に任せてもらう。4年間で1,372戸の実績があり、入居率は90.5%と高水準となっております。

5. 収益物件売買仲介事業「EVEST」

2015年1月の税制改正により、相続制の対象者が約1.5倍に増加致しました。財産を賃貸物件として相続した場合、現金での相続に比べ、3分の1まで納税額を圧縮することができます。ただ、今から物件を建てたのでは間に合いません。そこで、当社の収益不動産売買仲介事業「EVEST」。

当社は47都道府県の地場不動産、建設会社とのネットワークを確保しているため、全国規模で売主と買主をマッチングすることが可能です。通常、東京に住んでいる方は、東京の物件しか買うことができません。遠方の物件は、見に行くことが出来ないうえに、地場の不動産を知らないため購入後の管理も難しく、金融機関からの融資も付きにくいのです。しかし、当社を介することで、地域を超えた物件の保有が可能になりポートフォリオ運用が可能になるのです。また、相続税の減額は満室でないと適用されないため、当社のサブリースが定番となるのです。

6. JPMC成功の絶対原則

当社の事業が成功している理由は、「3方良し」を実現しているためです。建設会社だけが儲かる、または、オーナーだけが儲かるといった偏った状態では長続きしません。我々がマーケットを見据え、オーナーも建設会社も双方が儲かり、入居者が喜ぶマーケットづくりをすること。また、時代のニーズにマッチした状態をつくり、後はこのニーズにきちんとこたえ続けることです。この、「継続する」ということが最も大事だと私は考えています。

7. 経歴紹介

学生時代、私は大手牛丼チェーン店でアルバイトをしておりました。そして、そのまま正社員としてこの会社に入社致しました。大変な思いはしましたが、働くための「筋力」が鍛えられました。

その後、2-3社の企業で、人事担当を経験いたしま

したが、特に印象に残っているのは外資系メーカーの人事担当時代です。私はその際、社員120名にリストラを言い渡す経験をしました。こんなことは2度としたくないと思いました。この時のリストラマネージャーの経験から、リストラした人数分、自ら雇用を作りたいと思い、起業を決意致しました。

8. 人材開発

150名のスモールユニットですので、当社では人材開発にも力を入れています。

例えば採用の際には、「コンピテンシー面接」を取り入れています。これまでに一番一生懸命になったことは何かを聞きだし、それについて徹底的に質問することで、その人がどの程度の熱意で打ち込んだのかを判断します。もし、他人の努力を自分のことのように話している場合、質問を繰り返していくと答えが曖昧になります。一方、過去に努力した経験を持っている人は、話が尽きることはなく、これからも努力をしてくれるという考えです。

9. 人事制度

人事の基本は、「公平公正」だと考えています。そのため、身内の人間・友人は一人も会社に入れておりません。また、評価については「年功序列」でもなく、「実力主義」でもなく、「業績主義」で評価をしています。いいプロセスを踏めば、必ずいい結果につながるという考えです。

給料は完全固定性をとっております。その代わり業績に応じたボーナスで大きく差がつきます。

また、当社ではリターンマッチという制度を取り入れています。一度辞めた方でも、主任以上なら、3年以内に復帰した場合、同じ条件で再雇用するという制度です。教育の手間が省けますし、一度辞めたのに戻ってきてくれる方は会社に愛着があり頑張ってくれるのです。

10. JPMCポリシー

当社では、うまくいかない時や、壁にぶつかった時に振り返る行動規範として「JPMCポリシー」を設定しています。

例えば、

「クレームを最優先に」

クレーム・トラブル・アクシデントを軽視しない。業務上、クレームは避けられません。そのため、どんな些細なクレームであっても、必ずボードメンバーに連絡が行くようになっています。クレームを隠し黙っているのは、対処もできません。

「ゼロストロークの禁止」

挨拶を返さない、メールに返信しない等、相手を無視することを禁止しています。もちろん、来客者や郵便・宅配便等の配達員に対しても必ず声をかけるよう徹底しています。

「リーダーシップカルチャー」

全社員が「リーダー」だという気持ちで業務にあたってもらっています。一人一人が主役であり、主体性を持って自分は何をすべきかを考えることがリーダーシ

ップカルチャーにつながります。

そして、当社ではコミットメントが重い意味を持ちます。2002年、私のコミットメントは2014年に東証一部上場でありました。適切な目標を設定し、正しいプロセスを踏めば、必ず達成をすることが出来るはずで

日本リアルオプション学会 会員募集中！

学会の目的と使命：

不確実な将来の可能性に、新しい価値認識をもたらし、有用な意思決定指針を追求します。投資における価値の評価、事業価値の創出と拡大、リスクへの対応と挑戦、戦略などの問題にとりくんでいる研究者、経営実務者、投資家のための交流と研究の学会です。多岐の分野と領域にわたって横断的な交流を通して、各領域のフロンティアを広げ、また、新しい時代へむけての有効な知識、技術、モデルを、ともに、探検・開拓することを目指します。

会員恩典：

1. 上記、研究会等に属し、共に、研究と情報交換を共有する。
2. 年次研究発表大会、シンポジウム等の参加費、および協賛学協会等の大会参加に割引を受ける。
3. 各論文誌に、論文を掲載する資格を有する。
4. 機関誌「リアルオプションと戦略」（pdf版）を学会ウェブサイトより、無料でダウンロードできる。

入会の申し込み：学会ホームページ http://realopn.jp/S2_menu.html より

日本リアルオプション学会 法人会員

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

<JAROS2015 研究発表大会 基調講演要旨 セミナー：「地方創生と価値創造イノベーション」より>

Keynote lecture: National Conference, Japan Association of Real Options and Strategy, Oct. 25, 2015,
International Univ. of Japan, Minami-Uonuma, Japan

Phronesis and the Capturing of Quiddity in Management¹

Kimio Kase

(International University of Japan)

I aim at identifying and clarifying the kind of knowledge (and other factors including personal disposition, traits, and characteristics) which allow managers to cope most effectively with these unstructured situations. In addition, we aim to delve into whether it is possible or not to inculcate managers with such knowledge and disposition via training.

Thus, the basic two-fold purpose of this research leads us to the review and analysis of (1) business reality facing management and (2) the knowledge profile required to deal with it. In other words, and as expressed in the title of this book, this research builds upon the ideas of phronesis and quiddity.

I address the issue of the excellence in judgment-making, - its concept and characterisation. Our concept is basically derived from Aristotle's phronesis and Izutsu's consciousness (*Bewusstsein*), although many other authors are drawn upon when needed. We retain the use of the term 'phronesis' (or its translation as 'wisdom' or 'practical wisdom') to emphasise its conceptual dependence on Aristotle (1934, VI, 4). At the same time, however, this book, through its title, stresses its conceptual derivation from Toshihiko Izutsu's main work, *Consciousness and Quiddity* (Izutsu, T., 1983; 1991) in that it is inspired by the metaphysical thesis of the Japanese philosopher.

In a nutshell, it will be maintained that phronesis and actions guided by it are privileged access to the core of reality as is. Excellent managerial decisions would be those able (1) to capture how business situations could be according to their true nature and (2) to turn them into reality. Since "one swallow does not make spring" (Aristotle, 1934: I 7), one action may not make an excellent

judgement-maker, but the repetition of such action does. The good decisions made by one amass to become wisdom and make him or her 'a wise manager'. The notion of a wise manager, developed in one of Nonaka's latest works, "The wise leader" (2011) adds an essential contribution to the object of this book.

We mean 'reality as it is' in a philosophical sense, by which we imply phronesis as being knowledge of a metaphysical kind. In this regard, it goes beyond the manner in which Aristotle understood it, for whom metaphysics was the object of the theoretical, not practical, part of human soul: "for mind as speculative never thinks what is practicable" (2007: III 9 402b).

According to Izutsu (1983), the core of reality is contingency. Thus, to give precedence as features of reality to stability over change, to universal essences over time, to necessity over contingency, as Aristotle's metaphysics and a large part of Western philosophy does, is a misconception: reality's hallmark is contingency. As such, that is why Aristotle's concepts must be supplemented with those formulated by Izutsu.

This misconception is traceable back to the subject/object dichotomy or, in other words, the divide between consciousness and world. This divide originates in the efforts of the individual self to hold onto oneself and not to let itself go and become fused with the world (Varela, F. J., Thompson, E. T., and Rosch, E. H., 1993). These are attempts born from fear of the loss of one's own identity. Western metaphysics can be explained by this process (Varela, F. J., et al., 1993)*. In business studies, the subject/object divide is epitomised in rational choice theory.

¹ An extract from Kase, K., González-Cantón, C., and Nonaka, I. (2014). *Phronesis and Quiddity in Management: A School of Knowledge Approach*. Hampshire UK: Palgrave Macmillan.

Meditation techniques available in Eastern traditions, such as Buddhism or Islamic Sufism, help the individual to correct this view (Izutsu, T., 1971). As soon as an individual self-realises their efforts were delusional, and that the only way to gain oneself is by losing oneself in the world, the individual makes contact with reality as contingency and is ready to perceive reality as it is. It is through this process that the individual self-achieves wisdom.

Since contingency means that reality could be one way or the other, coming to being or not being at all, an important part of wisdom will consist in turning the possibility of *being* into *being actually*. This is the nature of action. Therefore, action unfolds the intimate structure of reality from where it originates in wisdom. As a consequence, and in the case of managerial judgement-making, it will be argued in this work that a manager's good decisions are those where the possible true state of things is made to occur in reality.

This concept is filled with far-reaching consequences. Firstly, practical reason has priority over theoretical reason. Secondly, those factors closely related to action, such as body, language, emotions, the unconscious, social interaction, all acquire metaphysical relevance. The importance of these factors for the practice of management cannot be over-exaggerated, as will be seen, especially through the concept of a wise leader.

Excellence in management manifests itself best (in the words of Dreyfus (1981: 33)) in “unstructured situations”, such as strategy-making in turbulent environments, selection of key executives, pre-emption of adverse business trends, and disruptive product innovation.

Phronesis is a term first appeared in Aristotle's *Ethica Nichomachea* (2001) which has been translated as *prudentia* (Aquino, T. d., 2007), ‘practical wisdom’ (Finnis, J., 1998; MacIntyre, A., 1984; Murphy, M. C., 2001; Simon, Y. R., 1991), ‘practical knowledge’ (Simon, Y. R., 1991), or ‘practical rationality’ (Murphy, M. C., 2001).

My analysis rests mainly on Aristotle's understanding of the concept and the further developments it has experienced within – Macintyre (1984) – or in the vicinity – Flyvbjerg (2001; 2002; 2004a; 2004b), Nonaka and Toyama (Flyvbjerg, B., 2002; Nonaka, I. and Toyama, R., 2007; Nonaka, I., Toyama, R., and Hirata, T., 2008a) – of the Aristotelian tradition. Phronesis can be considered to be the informed or reasonable making of decisions in order to achieve a goal that has been elucidated as worth pursuing by the individual; what is sought ultimately is a higher level of well-being—be it Aristotle's ‘good life’ (2001: 21; 1095a15–22) or another objective serving the same function.

Quiddity is a Latin term that may be translated as ‘what it is’. It designates reality as it is or the essence of reality. The concept has a very long history of interpretations (these interpretations often conflicting with each other), as will be seen in chapter 4. We will argue that at the core of reality lies contingency. It may sound odd to define quiddity as ‘what it is’ while arguing that at its heart lies ‘what could be’. However, as will be argued later, in the reality as it is, time is a meaningless concept, so what it is already contains what could be without suggesting that everything is predefined from the beginning.

Phronesis is the ability to turn that contingency, *i.e.*, something possible, into something real, *i.e.*, a necessity. In that respect, we aim to demonstrate that phronesis is a kind of knowledge that permits privileged access to quiddity. Our proposition closely follows the ideas advanced in the work of Professor Toshihiko Izutsu entitled “*Consciousness and Quiddity*” (Izutsu, T., 1991) (and in its German translation, “*Bewusstsein und Wesen*” (Izutsu, T., 1983)). Thus, we are greatly indebted to Izutsu's thinking beyond the mere similarity of the current book's title. Our book draws general inspiration from Izutsu's work, including many instances of insight. This constitutes the first pillar of our research.

The second pillar is to show, by applying our conceptual framework to real-life case studies of successful managers, that excellence in managerial skills boils down to phronesis. In this regard, Nonaka's recent proposal of the “wise leader”

(Nonaka, I. and Takeuchi, H., 2011) provides a deep insight into this phenomenon.

Excellent managers are able to discern opportunities that nobody else can identify (for instance, to grasp the reality of a business situation as it is) and bring them about. Likewise, such managers are capable of pre-empting negative situations before they take place due to their skills in discernment. As explained later, phronesis-informed judgement making is rather a co-creation of reality than simply the stocktaking of what already exists.

Related to the notion of phronesis is the issue of intuitive knowledge. There is empirical and conceptual evidence that intuition yields superior results in unstructured situations, in general (Dreyfus, S. E., 1980) as well as in business settings (Cohen, M. D., March, J. G., and Olsen, J. P., 1972; Kase, K., Slocum, A., and Zhang, Y. Y., 2011). The concept of intuition will be explained in detail in chapter 5. For now, given that some familiarity with this notion is needed, we take a phenomenological approach and describe intuition in brief by means of its contrast with analytical or systematic knowledge.

Whereas analytical or systematic knowledge entails reflection, tends to be time-consuming, and proceeds top-down from general principles to concrete data, intuition operates below the level of consciousness, moves at a lightning speed, and builds conclusions from the particular, concrete data of the situation upwards to general principles. In terms of decision skills, intuition is usually to be found among experts, whereas analysis is the prerogative of novices (Dreyfus, S. E., 1980).

The idea defended is that practical judgment works much like intuition. The truth is that a degree of practical deliberation, especially when involving dilemmas, may require substantial analysis and time. Nevertheless, those occasions usually involve two conflicting intuitions (which, in fact, give rise to the dilemma) rather than being a consequence of an incremental addition of data, as occurs in systematic analysis. As illustrated in Kase et al on Sazo Idemitsu and Kazuo Inamori, the judgement-making process is characterised by intuition, especially in the case of excellent judgement-makers.

The relevance of this analysis is all the greater, since the view of practical reason present in management and economic studies and education (the main representative thereof is rational choice theory (RCT)) is plagued with ‘scientist’ assumptions (Goshal, S., 2005), ‘scientism’ being a term coined by Hayek (1979). Through its use, Hayek wanted to set truly scientific statements apart from those from which pseudo-scientific character arises by trying to apply scientific methods, suitable for the physical reality, to social/human phenomena.

I contend that the ‘scientist’ reading of management which underpins most mainstream management theories has greatly impaired the development of a sound account of managerial activity (Nonaka, I., Toyama, R., and Hirata, T., 2008b). At a minimum, there are three aspects of human activity vital for the concept of a wise manager, as will be explained later, and which are particularly misguided in RCT and other related approaches. These three aspects are (1) a deficient account of emotions, (2) the difficulty to incorporate ethical considerations into the management discourse, and (3) a poor understanding of social phenomena.

I argue that the main error of RCT was to apply a mechanistic or instrumental way of thinking (appropriate for the manipulation of objects) to human actions and relationships.

Bibliography

1. Aquino, T. d. (2007). Commentaria in Aristotelem. Sententia libri Ethicorum. In E. Alarcón (Ed.), *Opera Omnia* (Textum Leoninum Romae 1969 editum ed.). Pamplona: Corpus Thomisticum.
2. Aristotle. (1934). *Nicomachean Ethics* (H. Rackham, Trans.). In H. Rackham (Ed.), *Aristotle in 23 Volumes* (Vol. 19th). Cambridge, MA & London: Harvard University Press & William Heinemann Ltd.
3. Aristotle. (2001). *Ethica Nicomachea* (Nicomachean Ethics). In R. McKeon (Ed.), *The Basic Works of Aristotle* (pp. 935-1126). New York: The Modern Library.
4. Aristotle. (2007). *De anima* (On the soul) C. D. Green (Ed.) *Classics in the History of Psychology*
5. Cohen, M. D., March, J. G., and Olsen, J. P. (1972). A garbage can Model of organizational choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1), 1-25.
6. Dreyfus, S. E. (1980). Formal models vs. human situational understanding: Inherent limitations on the modeling of business expertise. *81*(2), 1-18.
7. Dreyfus, S. E. (1981). Formal models vs. human situational understanding: Inherent limitations on the modeling of business expertise. *81*(3), 1-56.

8. Finnis, J. (1998). *Aquinas: Moral, Political, and Legal Theory*. Oxford: Oxford University Press.
9. Flyvbjerg, B. (2001). *Making Social Science Matter* (S. Sampson, Trans.). Cambridge: Cambridge University Press.
10. Flyvbjerg, B. (2002). Bringing power to planning research: one researcher's praxis story. *Journal of Planning Education and Research*, 21(4), 353-366.
11. Flyvbjerg, B. (2004a). Phronetic Planning Research: Theoretical and Methodological Reflections. *Planning Theory & Practice*, 5(3), 283-306.
12. Flyvbjerg, B. (2004b). Pronetic planning research: theoretical and methodological reflections. *Planning Theory & Practice*, 5(3), 283-306.
13. Goshal, S. (2005). Bad Management Theories Are Destroying Good Management Practices. *Academy of Management Learning & Education*, 4(1), 75-91.
14. Hayek, F. A. v. (1979). *The Counter-Revolution of Science* (2 ed.). Indianapolis: Liberty Fund.
15. Izutsu, T. (1971). The basic structure of metaphysical thinking in Islam. In M. Mohaghegh & H. Landolt (Eds.), *Collected Papers on Islamic Philosophy and Mysticism* (pp. 39-72). Teheran.
16. Izutsu, T. (1983). *Bewusstsein und Wesen* (H. P. Liederbach, Trans.). Munich: Iudicium Verlag.
17. Izutsu, T. (1991). *Consciousness and Quiddity: In Search of the Spiritual Orient* (Ishiki to honshitsu: seishinteki toyo wo motomete). Tokyo: Iwanami Shoten.
18. Kase, K., Slocum, A., and Zhang, Y. Y. (2011). *Asian versus Western Management Thinking: Its Culture-Bound Nature*. Palgrave Macmillan.
19. Kuki, S. (2011). An inquiry into the basic character of contingencies (guzensei no kisoteki seikaku no ichi kosatsu) *The Complete Works of Kuki Shuzo Volume 2 (Kuki Shuzo Zenshu Dai Ni Kan)* (pp. 375-384). Tokyo: Iwanami Shoten.
20. MacIntyre, A. (1984). *After Virtue* (2 ed.). London: Duckworth.
21. Murphy, M. C. (2001). *Natural Law and Practical Rationality*. New York: Cambridge University Press.
22. Nonaka, I., and Takeuchi, H. (2011). The wise leader. *Harvard Business Review*(May), Reprint RT1058.
23. Nonaka, I., and Toyama, R. (2007). Strategic management as distributed practical wisdom (phronesis). *Industrial and corporate change*, 16(3), 371-394.
24. Nonaka, I., Toyama, R., and Hirata, T. (2008a). *Managing Flow: A Process Theory of the Knowledge-Based Firm*. London: Palgrave Macmillan.
25. Nonaka, I., Toyama, R., and Hirata, T. (2008b). *Managing Flow: A Process Theory of the Knowledge-Based Firm*. London: Palgrave Macmillan.
26. Simon, Y. R. (1991). *Practical Knowledge*. New York, NY: Fordham University Press.
27. Varela, F. J., Thompson, E. T., and Rosch, E. H. (1993). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge MA: The MIT Press.

論文誌「リアルオプション研究」原稿募集のご案内

日本リアルオプション学会は、査読付論文誌「リアルオプション研究」(英文名称: Journal of Real Options and Strategy)を発行しております。本論文誌は、電子ジャーナル化されて、国内外に広く、公開されております。

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/realopn>

募集する原稿:

リアルオプションおよびこれに関連する経営科学、リスクマネジメント、オプション的資産の価値、投資戦略、ゲームと戦略などについての理論、実証および応用に関する研究のほかケーススタディー、あるいは、この分野における教育方法の改善などに関する和文の論文で、新規性または、有用性のあるもの。

投稿原稿は、次の3類型に分けて審査されます。

1. 理論研究
2. 応用研究
3. 研究ノート

<研究メモ>

プロジェクトの総合的評価法（4）

宮原 孝夫²

(名古屋市立大学名誉教授、立命館大学客員教授)

5. リスク鋭感的価値尺度

本節では、リスク鋭感的価値尺度 (RSVM) の概要を述べ、この価値尺度が §4.9 で述べた望ましい性質を全て備えたほぼ唯一の価値尺度であることを説明する。

5.1. リスク鋭感的価値尺度の定義

第4章で、凹マネタリ価値尺度の定義を与え、プロジェクト評価のための価値尺度はこの定義に当てはまっているものが望ましいものであることを説明した。さらに、凹マネタリ価値尺度を構成する方法として効用関数に基づいた効用無差別価値による構成法があることを述べた。

効用関数として指数型効用関数

$$u_{\alpha}(x) = \frac{1}{\alpha}(1 - e^{-\alpha x}), \quad \alpha > 0 \quad (5.1)$$

を採用した場合に得られる効用無差別価値は

$$U^{(\alpha)}(X) = -\frac{1}{\alpha} \log E[e^{-\alpha X}], \quad \alpha > 0 \quad (5.2)$$

である。このことを踏まえて、次の「リスク鋭感的価値尺度 (RSVM)」を導入する。

定義 5.1. リスク鋭感的価値尺度 (RSVM) 次式で定まる凹マネタリ価値尺度

$$U^{(\alpha)}(X) = -\frac{1}{\alpha} \log E[e^{-\alpha X}], \quad \alpha > 0 \quad (5.3)$$

を (リスク回避度 α の) リスク鋭感的価値尺度 (RSVM : risk-sensitive value measure) と呼ぶ。

注意 5.1. 上の指数型効用関数 $u_{\alpha}(x)$ から定まる効用無差別価値が上の $U^{(\alpha)}(X)$ あることは、計算により容易に分かる。従ってリスク鋭感的価値尺度は凹マネタリ価値尺度である。

注意 5.2. 「リスク鋭感的価値尺度」と呼ぶことにし

た理由は、価値評価の問題を動学化した時この価値尺度による評価法が「リスク鋭感的確率制御」の問題に帰着されることによる。

命題 5.1. RSVM $U^{(\alpha)}(X)$ について、次のことが言える。

(1) 次の近似式がなり立つ。

$$U^{(\alpha)}(X) = E[X] - \frac{1}{2}\alpha V[X] + O(\alpha^2). \quad (5.4)$$

(2) 特に、 X がガウス型であるときには

$$U^{(\alpha)}(X) = E[X] - \frac{1}{2}\alpha V[X] \quad (5.5)$$

が成立する。

(証明) (1) $f(\alpha) = \log E[e^{-\alpha X}]$ と置いて、 $f(\alpha)$ を $\alpha = 0$ の近傍で展開して得られる。

(2) 正規分布の積率母関数の形から明らかである。

注意 5.3. 上の (1) の意味するところは、「平均・分散分析による評価はリスク鋭感的価値尺度の2次までの近似になっている」ということである。

前節で、価値尺度の持つべき性質について検討したが、本節で導入した「リスク鋭感的価値尺度 (RSVM)」がそれらの性質を全て有していることを見ていこう。

まず、リスクと価値がバランスよく考慮されている評価であるか、について。凹マネタリ価値尺度であるということから、言えている。さらに上で見たように、正規分布の場合には平均・分散分析と一致していることも、望ましい関係といえる。

5.2. 規模のリスクが考慮された尺度であること

リスク鋭感的価値尺度は凹マネタリ価値尺度であるから、系 4.1 より $U^{(\alpha)}(\lambda X)$ は λ の凹関数である。さらに

命題 5.2. 確率変数 X が積率母関数を持ち、次の条件

² E-mail: yoshio_m@zm.commuja.jp

$$E[X] > 0, \quad P(X < 0) > 0, \quad (5.6)$$

を満たしているものとする。この時次のことが言える。

(1) $0 < \lambda$ で λ が小のとき $U^{(\alpha)}(\lambda X) > 0$ で、 $\lambda \rightarrow \infty$ のとき次式が成立する。

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} U^{(\alpha)}(\lambda X) = -\infty. \quad (5.7)$$

(2) $U^{(\alpha)}(\lambda X)$ の最大値を与える λ の値 λ_{opt} が定まり、 λ_{opt} はリスク回避度 α の関数として次のように表現される。

$$\lambda_{\text{opt}} = \frac{C_X}{\alpha}, \quad \alpha > 0. \quad (5.8)$$

ここで C_X は $E[Xe^{-C_X X}] = 0$ により定まる定数である。

(証明) (1) $g(\lambda) = U^{(\alpha)}(\lambda X)$ と置く。 λ で微分して、

$$g'(\lambda) = \frac{E[Xe^{-\alpha\lambda X}]}{E[e^{-\alpha\lambda X}]}, \quad (5.9)$$

$$g'(0) = E[X] > 0. \quad (5.10)$$

を得る。 $g(0) = U^{(\alpha)}(0) = 0$ に注意して、前半の部分は示された。次に、仮定 $P(X < 0) > 0$ より、 $a > 0$ と $\delta > 0$ を $P(X < -a) > \delta$ になるように取れる。このとき

$$\begin{aligned} E[e^{-\alpha\lambda X}] &= E[e^{-\alpha\lambda X} 1_{\{X < -a\}}] \\ &\quad + E[e^{-\alpha\lambda X} 1_{\{X \geq -a\}}] \\ &> e^{\alpha\lambda a} \delta \end{aligned} \quad (5.11)$$

であり、 $\lambda \rightarrow \infty$ のとき

$$\begin{aligned} U^{(\alpha)}(\lambda X) &= -\frac{1}{\alpha} \log E[e^{-\alpha\lambda X}] \\ &< -\frac{1}{\alpha} (\alpha\lambda a + \log \delta) \rightarrow -\infty \end{aligned} \quad (5.12)$$

となり、(1) が示せた。

(2) $U^{(\alpha)}(X)$ は凹マネタリ価値尺度であるので、命題 4.4(大域的凹性)により $U^{(\alpha)}(\lambda X)$ は λ の凹関数である。このことと(1)の結果から、最大値の存在がわかる。その点を λ_{opt} とすると

$\frac{\partial}{\partial \lambda} U^{(\alpha)}(\lambda_{\text{opt}} X) = 0$ となるので、(9)より

$$E[Xe^{-\alpha\lambda_{\text{opt}} X}] = 0 \quad (5.13)$$

を得る。これより結論が得られる。

5.3. 独立加法性を持つこと

命題 4.5 で述べたように、次のことが言える。

命題 5.3. (RSVM の独立加法性) リスク鋭感的価値尺度 $U^{(\alpha)}(X)$ は独立加法性を持つ。すなわち、 X と Y が独立なとき、次の等式がなり立つ。

$$U^{(\alpha)}(X + Y) = U^{(\alpha)}(X) + U^{(\alpha)}(Y). \quad (5.14)$$

(証明) $U^{(\alpha)}(X)$ の定義にしたがって、容易に示せる。

命題 4.6 に述べたように、この命題の逆のこと、すなわち、「効用無差別価値として得られる価値尺度の中で独立加法性を持つものは、なめらかな効用関数の中では、RSVMに限られる」ことが知られている。

5.4. 相互補完関係の議論の可能性

前章の §4.7 で導入した相互補完関係との関連を見ておこう。分かりやすい場合として、 (X, Y) が正規分布している場合を考察する。このとき、命題 5.1(2)より次のことが分かる。

命題 5.4. (X, Y) が正規分布のとき

$$\begin{aligned} U^{(\alpha)}(X + Y) &= U^{(\alpha)}(X) + U^{(\alpha)}(Y) \\ &\quad - \alpha \text{Cov}(X, Y) \end{aligned} \quad (5.15)$$

が成り立つ。

この結果から、 (X, Y) が正規分布している場合、負の共分散を持つ時には相互補完関係が有り、正の共分散を持つ時には負の相互補完関係が有ることになり、妥当な関係にあると言えよう。

5.5. プロジェクト評価とリアルオプション・アプローチ

プロジェクト評価の概略とリアルオプション・アプローチとの整合性を見ておこう。

戦略過程を $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_T\}$, $\phi_t: F_t$ -predictable、により定まるキャッシュフローを $C^\Phi = \{C_1^\Phi, C_2^\Phi, \dots, C_T^\Phi\}$ 、で表すと、このキャッシュフローのランダム現在価値は

$$\text{RPV}(C^\Phi) = \sum_{t=1}^T \frac{C_t^\Phi}{(1+r)^t} \quad (5.16)$$

となり、リスク鋭感的価値尺度 $U^{(\alpha)}(X)$ による評価値は

$$U^{(\alpha)}(\text{RPV}(C^\Phi)) \quad (5.17)$$

となる。そして、最適戦略のもとでのプロジェクトの評価値は

$$\bar{V} = \sup_{\Phi} U^{(\alpha)}(\text{RPV}(C^\Phi)) \quad (5.18)$$

となる。

ところで、この最適化問題はうまく解けるだろうか？計算式

$$U^{(\alpha)}(\text{RPV}(C^\Phi)) = -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha \text{RPV}(C^\Phi)} \right] \quad (5.19)$$

において

$$\begin{aligned} E \left[e^{-\alpha \text{RPV}(C^\Phi)} \right] &= E \left[e^{-\alpha \sum_{t=1}^T \frac{C_t^\Phi}{(1+r)^t}} \right] \\ &= E \left[E \left[e^{-\alpha \sum_{t=1}^T \frac{C_t^\Phi}{(1+r)^t}} \mid F_1 \right] \right] \\ &= E \left[e^{-\alpha \frac{C_1^\Phi}{(1+r)}} E \left[e^{-\alpha \sum_{t=2}^T \frac{C_t^\Phi}{(1+r)^t}} \mid F_1 \right] \right] \end{aligned} \quad (5.20)$$

が成立し、これを $t=T$ まで繰り返して、後ろ向きに条件付き期待値を計算してゆけば良いことになる。この性質を使って、最適化問題を解くことができる。これがリアルオプション・アプローチとの整合性である。

これに関しては、6節および7節で、問題を動学的な形に設定しなおしたうえで詳しく述べる。

以上で、リスク鋭感的価値尺度が§4.9で指摘した望ましい性質を全て満たしていることが示された。

上でも述べたように、プロジェクト評価の理論のためには価値尺度を動学化することが必要であるが、それは次節以降で行うこととし、本節の残りの部分では静学的なリスク鋭感的価値尺度により議論できる評価問題を見ておくことにする。

5.6. 内部リスク回避度 (IRRA)

資産選択の問題に関して、リターンの評価とリスク回避度との関連を検討する上で意味があると思える指標として、内部リスク回避度がある。

5.6.1. 内部リスク回避度 (IRRA) の定義

定義 5.2. 資産のリターン X に対して、次の条件

$$U^{(\alpha)}(X) = 0 \quad (5.21)$$

を満たす α を X の内部リスク回避度 (IRRA : inner rate of risk aversion) と呼び、 $\alpha_0(X)$ で示す。

IRRA は規模のリスクに対する1つの指標であり、 $\alpha_0(X)$ が大きいとき安全度が高い、と考えられる。

5.6.2. IRRA の存在定理

命題 5.5. 確率変数 X が積率母関数を持ち、次の条件

$$E[X] > 0, \quad P(X < 0) > 0 \quad (5.22)$$

を満たしているものとする。この時 X の内部リスク回避度 (IRRA) $\alpha_0(X) > 0$ が一意的に定まる。

(証明) $\alpha_0(X)$ は、次の方程式の解である。

$$U^{(\alpha)}(X) = -\frac{1}{\alpha} \log E[e^{-\alpha X}] = 0. \quad (5.23)$$

$\alpha = 0$ では $U^{(0)}(X) = E[X] > 0$ である。従って上の方程式は $\alpha > 0$ の時を調べればよいので、次式と同値である。

$$-\log E[e^{-\alpha X}] = 0 \quad (5.24)$$

ここで $-\log E[e^{-\alpha X}] = U^{(1)}(\alpha X)$ に注意する。さらに $U^{(1)}(\alpha X)$ は λ の凹関数であるので、 $U^{(1)}(\alpha X)$ は α の凹関数である。

一方、Proposition 5.2、(1) より、 $\lim_{\alpha \rightarrow \infty} U^{(1)}(\alpha X) = -\infty$ であるので、解の一意的な存在が分かる。

5.7. リスク鋭感的価値尺度(RSVM)で議論できること

ここでは静学的な RSVM を使って議論できる問題に限定して述べる。

5.7.1. 最適な規模

あるプロジェクト (あるいは金融資産) への投資額を増やした場合、その投資の価値は投資額に比例的であろうか? 「規模のリスク」とは、そのプロジェクトの不確実性の性格によっては比例的ではなく投資額が巨額になる場合に価値が下がる可能性がある、という認識であった。命題 5.2 (2) で見たように、RSVM は最適な規模を議論できる価値尺度である。

5.7.2. 内部リスク回避度 (IRRA) の資産の格付けへの応用

IRRA の定義から、 $\alpha_0(X)$ の値が高いときには安全

度が高いと言える。このことから、この値を資産Xの格付けの指標に採用することが可能である。

IRRA と規模との関係として、次のことが言える。

命題 5.6. 確率変数Xが積率母関数を持ち、次の条件

$$E[X] > 0, \quad P(X < 0) > 0 \quad (5.25)$$

を満たしているものとする。この時 λX の内部リスク回避度 $\alpha_0(\lambda X)$ にたいして次式が成立する。

$$\alpha_0(\lambda X) = \frac{\alpha_0(X)}{\lambda} \quad (5.26)$$

(証明) $\alpha_0(\lambda X)$ は次の方程式の解であった。

$$-\log E[e^{-\omega X}] = 0 \quad (5.27)$$

この方程式より、結論を得る。

この結果から、IRRA による格付けは規模のリスクを考慮に入れた格付けになっていることがわかる。

5.7.3. 相互補完関係を使ったリスク回避法の議論

§4.3 で見た相互補完関係と条件付き付加価値の考えを使って、リスク回避またはリスクの軽減の議論が可能となる。いくつかの例を見る。

例 5.1. (金融派生商品の評価への応用) ある事業を計画する際に、それに伴って生じるリスクを軽減するために金融派生商品を購入する場合の価値判断を、リスク鋭感的価値尺度を使って行う場合を考察する。X: 基礎となるキャッシュフローのランダムな現在価値。

Y: 考察対象の金融派生商品 (制約条件付き債権) とする。仮に $U^{(\omega)}(X)$ が負の場合でも、適当なYを購入することにより $U^{(\omega)}(Y+X) - \pi(Y) > 0$ ($\pi(Y)$ はYの価格) と出来るならば、Yの購入を前提にしてプロジェクトXを実行する価値があると判断できる。

(数値例) $\alpha = 1$ として議論する。Xは次のように与えられているものとする。

$$P(\{\omega_1\}) = 0.1, \quad P(\{\omega_2\}) = 0.6, \quad P(\{\omega_3\}) = 0.3$$

$$X(\omega_1) = -5, \quad X(\omega_2) = 3, \quad X(\omega_3) = 5$$

$U^{(1)}(X) (\doteq -2.700) < 0$ であるから、X単独では実行されない。

このとき次のような制約条件付き債権があったとする。

$$Y(\omega_1) = 4, \quad Y(\omega_2) = 0, \quad Y(\omega_3) = 0$$

その場合には

$$U^{(1)}(X+Y) \doteq 1.192$$

となり、 $U^{(1)}(X+Y) > 0$ であるから、もしYの価格 $\pi(Y)$ が1.192より安ければ、XはYを利用することを前提に実行可能と判断されよう。

一方Yの売り手の立場から見ると、Yに対する支払いの平均は0.4となるので、Yの価格 $\pi(Y)$ が0.4より高ければ売る価値があると判断できる。

• 参考までに、 $U^{(1)}(Y)$ と $U^{(1)}(Y|X)$ は次のようになる。

$$U^{(1)}(Y) \doteq 0.103$$

$$U^{(1)}(Y|X) \doteq 1.192 - (-2.700) = 3.892$$

これより、Yは単独での価値は低いがXに対して高い付加価値を付けていることが分かる。

例 5.2. (保険商品の評価への応用) 上で金融派生商品を使ってリスクの低減を行ったところを、保険で置き換えて考えることも可能である。これを、より保険らしい数値例で見ておこう。

(数値例)

$$P(\{\omega_1\}) = 0.01, \quad P(\{\omega_2\}) = 0.60,$$

$$P(\{\omega_3\}) = 0.39$$

$$X(\omega_1) = -20, \quad X(\omega_2) = 3, \quad X(\omega_3) = 5Y(\omega_1)$$

$$= 20, \quad Y(\omega_2) = 0, \quad Y(\omega_3) = 0$$

とすると、

$$U^{(1)}(X) \doteq -15.395$$

$$U^{(1)}(X+Y) \doteq 3.158$$

となるので、Yの価格 $\pi(Y)$ が3.158より安ければ、XはYを購入することを前提に実行可能と判断されよう。

一方Yの売り手(保険会社)は、Yに対する支払いの平均は0.2となるので、Yの価格 $\pi(Y)$ を0.2より高く設定出来れば販売する価値があると判断できる。

• 参考。 $U^{(1)}(Y)$ と $U^{(1)}(Y|X)$ は次のようになる。

$$U^{(1)}(Y) \doteq 0.010$$

$$U^{(1)}(Y|X) \doteq 3.158 - (-15.395) = 18.553$$

これより、Yは単独での価値は低いがXに対して非常に高い付加価値を付けていることが分かる。

例 5.3. (金融派生商品への出資規模) 命題 4.4 の結論「 $v(Y|X)$ はXを固定したときYの関数として凹マネタリ価値尺度になっている。」より、 $v(\lambda(Y - \pi(Y)) + X)$ を最大にする λ が決まる可能性がある。この時、その値は導入する保険等の最適な規模になる。

5.7.4. Cat bond の有用性

リスク鋭感的価値尺度での評価を基礎にすると、Cat bond (Catastrophe Bond) の有用性を自然な形で説明できる。

例 5.4. (数値例)

$$P(\{\omega_1\}) = 0.02, P(\{\omega_2\}) = 0.5$$

$$P(\{\omega_3\}) = 0.48$$

$$X(\omega_1) = -10, X(\omega_2) = 4, X(\omega_3) = 8$$

$$E[X] = 5.64 \quad V[X] = 8.9104$$

とする。会社の危険回避度を $\alpha = 0.01$ とすると

$$U^{(0.01)}(X) = 5.5942 > 0 \quad (5.28)$$

であり、 X は実行されよう。

この事業を推進する会社が、この事業を大規模に実施することとして、 $100X$ の規模で実施することを考えたとする。この場合、この規模の事業に対する会社の評価は

$$U^{(0.01)}(100X) = -608.7998 \quad (5.29)$$

となり、100 倍の規模の事業 $100X$ はマイナスの評価となる。すなわちリスクが大き過ぎると判断され実行されないだろう。

このとき、このリスクを回避する方法として X に対応する次のような CAT bond CB を発行することを考えてみよう。額面 (= 償還額) 12, 価格 10。この CB の買い手から見たリターンを Y とすると、

$$Y(\omega_1) = -10, Y(\omega_2) = Y(\omega_3) = 2$$

$$E[Y] = 1.76, V[Y] = 2.8464$$

であり、その評価は、買い手のリスク回避度を 0.05 (会社のリスク回避度よりも高い) として、

$$\text{買い手: } U^{(0.05)}(Y) = 1.7453 \quad (5.30)$$

$$\text{売り手 (会社): } U^{(0.01)}(-Y) = -1.7637$$

(5.31)

となる。すなわち、この Bond を単独で評価した場合

には、買い手にとっての評価は高いが売り手 (Bond の発行会社) にとってマイナスである。

しかしながら、この Bond の買い手を 100 人見つけることが出来たとすると、事業と Bond とを総合した評価は

$$U^{(0.01)}(100X - 100Y) = 242.0722 \quad (5.32)$$

となり、会社にとって高い評価となる。すなわち、この Cat Bond は売り手および買い手の両者にとって非常に意味のあるものとなっている。

注意 5.4. この例の場合

$$U^{(0.01)}(X - Y) = 3.8589$$

$$< U^{(0.01)}(X) = 5.5942 \quad (5.33)$$

であり、規模が小さいままの場合には Cat Bond を導入する意味は無い。

5.7.5. 複合的な事業評価: 最適事業ポートフォリオの構築

複数の事業の総合的な評価も可能である。その場合、相互補完性の性質を利用して、最適な事業ポートフォリオの構築を議論することが可能となる。さらには、企業の価値評価にも応用可能である。

参考文献

1. Y. Miyahara (2010), 'Risk-Sensitive Value Measure Method for Projects Evaluation,' *Journal of Real Options and Strategy*, Vol.3, No.2, 185-204.

会員の近著紹介!

有吉秀樹 著

マーケティングの新視角

- 顧客起点の戦略フレームワーク構築に向けて -

創成社 2015年1月7日

<リアルオプション事例研究の解説>

Haruyoshi Ito, Jing Ai, and Akihiko Ozawa 著
Managing Weather Risks:
The Case of J. League Soccer Team in Japan
(Journal of Risk and Insurance, 2015)

伊藤 晴祥

(国際大学 大学院国際経営学研究科 准教授)

1. はじめに

小論 *Managing Weather Risks: The Case of J. League Soccer Team in Japan* (邦訳: 天候リスクマネジメント -J リーグサッカーチームにおける事例-以下 Ito, Ai, and Ozawa 2015) の1番目の特徴は、サッカーチームを題材として、天候リスクマネジメントを行う際に必要な、天候リスクの定義、悪天候が企業収益へ与える影響の測定、天候デリバティブのデザイン及び価値評価、天候デリバティブを利用することによる企業価値への影響を網羅的に行った最初の学術論文であることがあげられる。

2番目の特徴として、天候デリバティブの評価及びその企業価値改善への効果を評価するにあたり、Wang 変換 (Wang 2000, Wang 2002) を利用して、天候デリバティブの非完備市場性を考慮した点があげられる。

3番目の特徴として、非完備市場性を考慮する場合に、意思決定者のリスク回避係数を推計する必要があるが、近年の実験経済学的手法 (Pennings and Smidts, 2000; Donkers, Melenberg, and Soest, 2001; Holt and Laury, 2002; Andersen et al., 2008 等) に従い、くじ引きに対する選好をベースとしたアンケート調査を利用して経営者のリスク回避係数を推計した点があげられる。

Ito, Ai, and Ozawa (2015) は、Jリーグに焦点をあてた分析であるが、当該分析手法や、天候デリバティブを利用したリスクマネジメントは、他の産業や企業にも有用であると考えため、本稿では、以上の特徴に焦点をあてて、小論 Ito, Ai, and Ozawa (2015)の解説を行う。

2. 分析の対象

Ito, Ai, and Ozawa (2015) は、Jリーグの開幕年1993年から2010年における試合毎のデータを利用して天候リスクの推計を行っている。J1に所属するチームのみが分析対象であり、J2への降格時のデータは対象外である。さらに屋根が無いあるいは、屋根があっても観客席の半分以上しか屋根で覆われていないホームスタジアムを使用しているチームが分析対象である。その結果、13チーム、14のホームスタジアム3が分析対象であり、1993-2010年にJ1が開催した3,984試合のうち、2,082試合が分析対象である。

3. 天候リスクの定義

まず、天候リスクマネジメントの実行にあたり、どのような気象条件の場合に、Jクラブの収益が減少するか、その気象条件を指標化する必要がある。Ito, Ai, and Ozawa (2015)では、降雨リスクに焦点をあてて分析を行っている。

降雨リスクといっても、どのような降雨がチームにとって重大であるかを考慮する必要がある。具体的には、降雨のタイミング及び降水量について考察する必要がある。タイミングについて言えば、観客が移動中の降雨を嫌うのであれば、試合前の降水量、雨の中の観戦が回避されるのであれば、試合中の降水量が影響を与えると考えられる。降水量については、降水量の増加に比例して観客動員数が減少するのか、あるいは、小雨であれば、許容するが、大雨の場合には、観戦が回避されるのかなど分析をする必要がある。そのため、様々な時間帯の降水量、そして、降水量の絶対値のみではなく、閾値を設定したダミー変数を利用して、観客動員数との回帰分析を行っている。具体的には、1時間毎の降水量については、試合

3 横浜 FM クラブは、年度によりホームスタジアムが2つ

(日産スタジアム及びニッパツ三ツ沢球技場)あるため。

後1時間、試合中の2時間、試合前の9時間、計12の時間帯について、降水量の絶対値及び、閾値を0.0mm - 5.0mm まで、0.5mm 毎であるダミー変数を11種類、計12変数を利用し、合計144の変数を設定した。同様に、試合中2時間の降水量は、12変数を設定した。3時間合計の降水量については、試合後1時間と試合中2時間、試合前1時間と試合中2時間、試合前3時間、試合の6時間前から3時間前まで、試合の9時間前から6時間前までの、5時間帯について、降水量に関する上述の12変数を設定し、合計60変数を設定した。試合前4時間についても設定をし、12変数を定義した。試合前の6時間については、上述の12変数に追加して、6.0mm - 15.00mm まで、1.0mm 毎に閾値を設定した10種類のダミー変数を追加して、22の変数を利用して分析を行った。最後に、24時間の降水量を、試合当日、試合の1、2、3日前について計算し、6時間降水量において利用した22の変数に追加して、20.0mm - 50.0mm の降水量について、10mm 毎に閾値を設定し、4つのダミー変数を追加して、26の降水量にかかる変数、合計104の変数を設定した。全部で354の降雨変数を定義して分析を行った(Ito, Ai, and Ozawa 2015 の Table 1A 参照)。

以上の分析の結果、試合当日の24時間降水量が、4mm 以上であった場合を1とするダミー変数($d4_h24$)を利用した場合に最も多くのスタジアム、14スタジアム中10のスタジアムで有意に観客動員数が減少していることが理解された4。ちなみに、3チームが天候保険を利用しているが、これらは、1日の降水量が10mm 以上であった場合にペイオフが支払われる契約となっており、当該指標を利用した場合には、6クラブのみが有意な結果を示している(Ito, Ai, and Ozawa 2013, 2015)。このような契約内容も、天候デリバティブの利用が低位に推移している理由の一つであると考えられる。

4. 降雨リスクエクスポージャーの測定

前節で述べた降雨変数を利用して、14クラブの降雨リスクエクスポージャーを推計する。推計にあたり、既存の研究で観客動員数の需要関数の推計に利用されている変数もコントロールする。また、誤差項が系列相関をもっているため、一般化最小二乗法(GLS)により推計している。推計式は、式(1)のとおりである。

$$Y_{i,n,t} = \alpha_{i,j} + \beta_{1,i,j}R_{i,j,n,t} + \beta_{2,i,j}Weekday_{i,n,t} + \beta_{3,i,j}April_{i,n,t} + \beta_{4,i,j}October_{i,n,t} + \beta_{5,i,j}Opening_{i,n,t} + \beta_{6,i,j}Rival_{i,n,t} + \beta_{7,i,j}Distance_{i,n,t} + \beta_{8,i,j}Star_both_{i,n,t} + \beta_{9,i,j}Population_{i,n,t} + \beta_{10,i,j}Top3_{i,n,t} + \beta_{11,i,j}Worst3_{i,n,t} + \beta_{12,i,j}h_latt_{i,n,t} + \beta_{13,i,j}a_latt_{i,n,t} \quad (1)$$

ここで、 $Y_{i,n,t}$ は、 t 年度の n 番目の試合における、 i 番目のチームとスタジアムの組合せに対応する観客動員数の自然対数である。以下、重複する添え字の解釈は省略する。 $R_{i,j,n,t}$ は、 j 番目の降雨変数である。354通りの変数を利用したため $j = 1, \dots, 354$ である。 $Distance_{i,n,t}$ は、対戦相手のサポータが観戦に必要な移動距離の代理変数である。試合開催スタジアムの最寄り駅から、対戦相手のホームスタジアムの最寄り駅までの2012年時点の電車賃の対数により定義した。距離が離れているほど、観客動員数は減少すると考えられる(Garcia and Rodriguez 2002)。 $Population_{i,n,t}$ は、チームが所在する市町村の人口(自然対数)である。人口が多いほど、観客動員数が増えると考えられる(Hart, Hutton, and Sharot 1975, Kalist 2010)。 $Stars_both_{i,n,t}$ は、人気度の代理変数であり、ホームチーム及びアウェイチームのスターの人数である。スターは、前年度に日本代表に選出された経験のある選手として定義した。さらに、前年度のホームチームの平均観客動員数、 $h_latt_{i,n,t}$ (Forrest, Simmons, and Szymanski 2004, 河合、平田 2008)、および、前年度の対戦相手の平均観客動員数、 $a_latt_{i,n,t}$ (河合、平田 2008)を利用した。 $Rival_{i,n,t}$ は、ホームチーム及びアウェイチームの双方が同一県内に所属している場合に1とし、それ以外は0とした。両チームの所在地が近いほど、観客がお互いにライバルを意識をし、観戦や応援への意欲が増すと考えられる。 $Opening_{i,n,t}$ は、開幕戦であることを示すダミー変数である。開幕戦では多くの観客動員数が期待される。 $Top3_{i,n,t}$ は、前年度上位3位以内を示すダミー変数である。強いチームには、ファンがより多いと考えられる。同様に、J2への降格リスクが高い場合、観客の応援意欲が増すために、観客動員数が増加すると考えられる。そのため、 $Worst3_{i,n,t}$ 、前年度の下部3チームを示すダミー変数を利用し、当該要因をコントロールした。また前年度J2からJ1に昇格したチームの順位は最下位であるとした。そのため、当該ダミー変数は、新しく昇格したチームへの関心の多さもコントロールしている。 $Weekday_{i,n,t}$ は、平日(祝日以外)を示すダミー変数であ

4 他にも閾値が0.0mmとした試合の1時間前降水量のダ

ミー変数を利用した場合、9スタジアムが有意であった。

る。平日は土日祝日と比較して観客動員数が少なくなることが見込まれる(Garcia and Rodriguez 2002、河合、平田 2008)。April_{i,n,t}とOctober_{i,n,t}は、それぞれ、試合が4月あるいは、10月中の開催試合を示すダミー変数である。観客動員数は、開幕した直後及び、閉幕直前に増加が見込まれる(河合、平田 2008)。

分析の結果、最も降水リスクを受けているのは、西京極スタジアムをホームとする京都パープルサンガであり、試合当日の24時間累計降水量が4mm以上となった場合には、約22.9%、観客動員数が減少することが報告されている。他のクラブに関しても、d4_h24を利用した場合、有意な影響を示した10クラブは、約6.4%~22.9%の観客動員数の減少があることが報告され、降雨リスクの影響の大きさが理解される。

5. キャッシュフローのシミュレーション

前節の分析を元に、降雨によりJクラブの収益がどのように影響を受けるか、シミュレーションを利用して分析している。シミュレーションに当たっては、等々カスタジアムをホームスタジアムとする、川崎フロンターレ5を事例として分析を行っている。川崎を利用した理由は、営業収益がJクラブの中では平均的であること、等々カスタジアムのみをホームスタジアムとしており、より正確な分析が可能であるためである。

表1：各シーズンの平均降雨確率

シーズン	平均降雨確率
1	0.157
2	0.193
3	0.137
4	0.103
5	0.064

但し、降雨確率は、1日当たり降水量が4mm以上となる確率である。(出典：Ito, Ai, and Ozawa 2015)

まず、シミュレーションにあたり、d4_h24=1となる状態を降雨イベントとし、その確率分布を推計した。降雨確率(d4_h24=1となる確率)は、時期により異なるために、各月での降雨確率を計算し、降雨確率が近い月を同じ“シーズン”として定義をした。その結果、5つのシーズンにカテゴリー分けされ、シーズン1は、3月、4月、5月、及び10月、シーズン2は、

5 川崎フロンターレが所在する川崎市の人口は、140万人、1997年に創立し、1999年にJ.Leagueに参加した。等々カスタジアムは、観客席の50%が屋根に覆われてお

6月と9月、シーズン3は、7月、シーズン4は、8月と11月、シーズン5には、12月が含まれている。1月と2月は、試合開催実績が無いために、分析から除外されている。

表1に示されている確率を利用して試合毎の降雨について、ベルヌーイ変数をシミュレーションにより発生させ、当該ベルヌーイ変数をもとに、式(1)を利用して、観客動員数を推計する。シミュレーションにおいては、試合開催日における降雨がベルヌーイ分布に従うとし、それぞれの試合における降雨は、独立事象であると仮定した。シミュレーションでは、10,000回のパスを発生させた。

そして、観客動員数は試合毎のデータが利用可能であるが、財務データは、年度毎のデータのみしか入手可能ではないために、観客動員数とキャッシュフローとの関係を明らかにするために、収入と観客動員数、費用と観客動員数について回帰分析を行い、シミュレーションによって求められた観客動員数に基づいて、キャッシュフローの計算に利用した。そして、以上の回帰式によって計算された収入と費用を利用して、ネットキャッシュフロー=収入-費用と定義し、キャッシュフローを推計した。

シミュレーションの結果えられたキャッシュフローの記述統計量は表2のとおりである。

表2：シミュレーションにより推計された川崎Fのネットキャッシュフローの記述統計量
(単位：1,000USD)

統計量	下限値	推定値	上限値
期待値	670.93	716.44	768.38
中間値	686.65	727.45	773.39
標準偏差	75.86	51.26	22.47
最大値	807.72	807.56	807.72
最小値	373.12	508.69	674.14
歪度	-4.51	-5.09	-5.73

但し、上記の表において、推定値は、川崎Fのデータを利用した回帰分析の結果得られた、降雨変数(d4_h24)の回帰係数(-0.143)をそのまま利用して得られた結果である。さらに、回帰係数の90%信頼区間の下限値及び上限値、(-0.226、-0.058)を利用して同様のシミュレーションを行った。その結果が下限値及び上限値に示されている。当該回帰分析は、2006年及び2007年の間で構造変化が見られたことから、2007年~2010年のデータを利用して行っている。シミュレーションパスは10,000回である。(出典：Ito, Ai, and Ozawa 2015)

表2に示されているように、標準偏差が51,260USD

り、25,000人の収容が可能である。2010年の川崎Fの営業利益は、4,700万円である。

であることから、天候がキャッシュフローへ与える影響は大きく、2005年～2010年の純利益が73,000USD～293,000USDで推移しており、ネットキャッシュフローの標準偏差が51,260USDであることからかんがみて、天候や他の収益の状況によっては、川崎Fが赤字になってしまう可能性は高く、天候リスクマネジメントの重要性が理解される。

6. 天候リスクヘッジと企業評価への影響

以上のシミュレーション分析を元に、天候デリバティブのデザインを考える。そして、当該天候デリバティブを利用することにより、どの程度企業価値が改善するかについて考察する。その際に、天候デリバティブの非完備性を考慮するために、Wang変換を利用する。

Wang変換

Wang変換(Wang 2000, Wang 2002)は、資産価格評価モデルの汎用的なフレームワークとして発展してきており、非完備市場下での評価モデルに適用が可能である。Black, Scholes, and Mertonモデルは、完備市場すなわち、原資産が市場で取引されていること、原資産とオプションとを組み合わせることにより無リスクなポートフォリオを複製できることを仮定し、リスク中立確率が一意に決まることを仮定している。天候デリバティブは、原資産が天候であり取引されていないため、非完備市場下での評価モデルが必要である。

Wang変換を利用することにより、意思決定者のリスク回避度を考慮した価値評価が可能になる。Wang変換は、実確率分布を歪ませ、リスク中立確率分布を求める手法である。このリスク中立確率を利用して期待値を計算することにより、安全利子率を割引率として利用した評価が可能となる。割引率にリスクプレミアムを考慮した場合、期待キャッシュフローが0であるプロジェクトの場合、どのようなリスクプレミアムを利用しても、価値が0となってしまうため、適切にリスクを考慮した評価ができないが、Wang変換を利用することにより、適切な評価が可能となる。

Wang変換は以下の式により与えられる。

$$F^Q(x) = \Phi\left(\Phi^{-1}\left(F^P(x)\right) + \lambda\right) \quad (2)$$

ここで、 $F^Q(x)$ は、リスク中立確率測度(Q測度)下での累積分布関数(CDF)である。 $F^P(x)$ は、実確率測度(P測度)下でのCDFである。 $\Phi(\cdot)$ は、標準正規分布のCDFである。 $\Phi^{-1}(\cdot)$ は、 $\Phi(\cdot)$ の逆関数である。 λ は、

意思決定者のリスク回避係数である。式(2)を利用することにより、実確率をリスク中立確率に測度変換することが可能となる。 λ が正である場合、実確率分布は左にシフトする。つまり、よいシナリオ(キャッシュフローが大きくなる等のイベント)が起きる主観的確率を低く見積もることを意味し、意思決定者がリスク回避的であることを意味する。

Wang変換の経済的な意味であるが、もし、 x が正規分布に従う場合、 λ は、リスクの市場価格、すなわちShape ratio、 $(E(r)-r_f)/\sigma$ になる。Esscher変換とも類似しており、意思決定者の効用関数が負の指数型、あるいはべき型かつ原資産価値が正規分布に従う場合には、Wang変換とEsscher変換は同値となる(Labuschagne and Offwood 2010)。両者はともに保険やファイナンスの分野において多く利用されている(Gerber and Shiu 1994)。

天候デリバティブのデザイン

シミュレーションの結果得られたネットキャッシュフローを被説明変数、降雨変数を説明変数とする回帰分析により、降雨時の試合が1試合増える毎に、34,702USD ネットキャッシュフローが減少することが理解される。Ito, Ai, Ozawa (2015)では、分析の単純化のために、降雨による損失の100%をヘッジすると仮定をし、1降雨試合毎に、34,702USD支払うデリバティブを考える。ここから、期待ペイオフは、

$$\begin{aligned} E^P[\text{Payoff}] &= \sum_{n=1}^N p_n \times n \times \text{Payoff} \\ &= 88,783 \text{ USD} \end{aligned} \quad (3)$$

と計算される。ここで、Payoffは、当該デリバティブにより1降雨試合毎に支払われるペイオフを示し、 p_n は、1シーズンあたり降雨時の試合数が n 試合である確率を示す。

式(3)で計算された期待ペイオフを元に、0～20%、及び60%の安全割増を上乘せしたデリバティブの価格を利用して分析を行った。0～20%は、市場での先物などの価格からインプライドされる安全割増(Golden, Wang, and Yang 2007, Vedenov and Barnett 2004, Climetrix 2010, Chinacarini 2011)であり、60%は、清水、広島、C大阪が利用している天候保険契約にインプライドされる安全割増である(Ito, Ai, and Ozawa 2015)。

リスク回避係数 λ の推計

Ito, Ai, and Ozawa (2015)では、実験経済学での先行研究(Andersen et al. 2008, Pennings and Smidts 2000)に従い、アンケート調査を行いチームの経営者のリ

スク回避係数を推計している。

具体的には、観客動員数が多い場合と少ない場合で大きく異なるシナリオ A、差異が小さいシナリオ B との間で、どちらが好まれるかを選択してもらった。その際に、観客動員数が多くなる確率が 10%、少ない場合の確率が 90%から質問を開始する。意思決定者がリスク回避的である場合には、シナリオ B を最初の質問では選択する。次の質問では、多くなる確率を 20%、少なく確率を 80%とし、10%ずつ、確率を変化させ、どの時点で、意思決定者の選好がシナリオ B から A に変わるかによって、インプライドされる、リスク回避係数の範囲を計算した。その結果、当該アンケートに回答した 7 人の J.League チームマネジャーのリスク回避係数の妥当な範囲は、以下の表 3 のように計算された。ここで、妥当な範囲とは、同様なアンケート調査を 4 セット行ったが、4 セットを通じて、最も現れたリスク回避係数の範囲をもって妥当な範囲とした。具体的には、それぞれのセットごとの λ の推計結果が、1 セット：0.25-0.52、2 セット：0.52-0.84、3 セット：0.25-0.52、4 セット：0-0.25 であれば、妥当なリスク回避係数の範囲は、0.25-0.52 となる。

表 3：アンケート結果からインプライドされる妥当なリスク回避係数 λ の範囲

経営者	最小 λ	最大 λ
1	0.25	0.52
2	0.25	0.52
3	0	0.52
4	Inconsistent	Inconsistent
5	0.84	Infinity
6	0	0
7	0.25	0.52
All	0.25	0.52

但し、最小 λ 及び最大 λ は、それぞれの下限及び上限を示している。また、経営者 4 に関しては、シナリオへの選好が B から A へ変化することを期待していたところ、アンケート調査の結果、A から B へ変更していたため(期待値が低くかつリスクが高いシナリオを選好している)、Wang 変換の仮定とは整合的な結果が得られなかった。(出典：Ito, Ai, and Ozawa 2015)

天候デリバティブの価値評価

上述の回帰分析、シミュレーション、及び、リスク回避度の推計結果を利用して J クラブの企業価値へ与える影響について分析をする。天候デリバティブを利用することによる企業価値への影響 V (以下天候デリバティブの価値)は、以下の式(4)により計算する。

$$V = E^Q(NCF_{with_hedge}) - E^Q(NCF_{without_hedge}) \quad (4)$$

ここで、 NCF_{with_hedge} は、天候デリバティブを利用した際のネットキャッシュフロー、 $NCF_{without_hedge}$ は、天候デリバティブを利用しなかった場合のネットキャッシュフローである。 $E^Q(\cdot)$ は、Wang 変換により求められたリスク中立測度下での期待値演算子である。式(4)によって求められた天候デリバティブの価値が正であれば、天候デリバティブを利用することが支持され、負であれば、天候デリバティブによるリスクマネジメント手法は支持されない。式(4)による計算結果は表 4 に示されている。

表 4：リスク回避係数 λ 及び安全割増と天候デリバティブの価値

λ	安全割増					
	0%	5%	10%	15%	20%	60%
0	0.00	-4.44	-8.88	-13.32	-17.76	-53.27
0.1	4.60	0.16	-4.28	-8.72	-13.16	-48.67
0.2	9.27	4.83	0.39	-4.05	-8.49	-44.00
0.25	11.63	7.19	2.75	-1.69	-6.13	-41.64
0.3	14.01	9.57	5.13	0.69	-3.75	-39.26
0.4	18.81	14.37	9.93	5.49	1.05	-34.46
0.5	23.67	19.23	14.79	10.35	5.91	-29.60
0.52	24.65	20.21	15.77	11.33	6.89	-28.62
0.6	28.58	24.14	19.70	15.26	10.82	-24.69
0.7	33.54	29.10	24.66	20.22	15.78	-19.73
0.8	38.54	34.11	29.67	25.23	20.79	-14.72
0.9	43.59	39.15	34.71	30.27	25.83	-9.68
1	48.66	44.22	39.78	35.34	30.90	-4.61

但し、表中において太字は、リスク回避係数が、アンケート調査の結果最も妥当なリスク回避係数の範囲内、0.25-0.52、であった場合の天候デリバティブ価値である。(出典：Ito, Ai, and Ozawa 2015)

表 4 のとおり、価値評価では、 λ 及び安全割増について、感応度分析を行った。分析の結果、安全割増が 10%の場合、リスク回避係数が 0.2 以上の経営者であれば、当該天候デリバティブを利用することによるメリットがあると考えられる。また、安全割増が、20%であったとしても、リスク回避係数が 0.4 以上の経営者であれば、当該天候デリバティブを利用することによるメリットがあると理解された。いずれのリスク回避係数も、妥当なリスク回避係数の範囲内であるため、一般的なリスク回避度を持つ経営者に対して当該天候デリバティブは有用であると考えられる。しかしながら、現在、日本の損害保険会社から提供されている、天候保険にインプライドされている 60%の安全割増であった場合は、経営者がいかにリスク回避的であったとしても、当該天候デリバ

イブの利用は支持されないことが理解される。

7. おわりに

本稿では、小論、Ito, Ai, and Ozawa (2015)の解説を行った。小論は、我々が知る限りでは、天候リスクの評価、天候デリバティブのデザイン、そしてその評価と網羅的に研究を行った最初の研究である。小論は、サッカーチームに焦点をあてた天候リスクマネジメント手法に関する分析を行っているが、サッカー以外にも、スキーやゴルフなど多くのスポーツ産業の収益が天候リスクに晒されていると考えられるため、小論で利用されたアプローチを利用することにより、サッカー以外のスポーツ産業ひいては、スポーツ以外の産業であっても汎用的な天候リスクマネジメント手法のデザイン及び評価が可能になると考えられる。

今後の研究課題としては、小論では、100%ヘッジを仮定していたが、天候デリバティブの価格ごと及び、Jクラブ経営者のリスク回避係数ごとの最適なヘッジ比率の分析や、天候リスクのみではなく、他のリスク要因も考慮した、全社的リスクマネジメントに関する分析などが考えられる。以上のような研究を遂行することにより、リスクマネジメントの実践にさらに有用な研究を遂行していきたい。

参考文献

- Andersen, Steffen, Glenn W. Harrison, Morten I. Lau, and E. Elisabeth Rutström (2008), "Eliciting Risk and Time Preferences," *Econometrica*, 76(3), 583-618.
- Climetrix (2010)
<https://www.climetrix.com/WeatherMarket/MarketOverview/>
- Chinacchini, Ludwig (2011), "No Chills or Burns from Temperature Surprises: An Empirical Analysis of the Weather Derivatives Market," *The Journal of Futures Markets*, 31(1), 1-33.
- Donkers, Bas, Bertrand Melenberg and Arthur Van Soest (2001), "Estimating Risk Attitudes using Lotteries: A Large Sample Approach," *Journal of Risk and Uncertainty*, 22(2), 165-195.
- Forrest, David, Rob Simmons, and Stefan Szymanski (2004), "Broadcasting, Attendance and the Inefficiency of Cartels," *Review of Industrial Organization*, 24, 243-265.
- Fuller, Colin and Scott Drawer (2004), "The Application of Risk Management in Sport," *Sports Med*, 34(6), 349-356.
- Holt, Charles A. and Susan K. Laury, (2002), "Risk Aversion and Incentive Effects," *American Economic Review*, 92(5), 1644-1655.
- Hart, Robert A., J. Hutton, and T. Sharot (1975), "A Statistical Analysis of Association Football Attendances," *Applied Statistics*, 24(1), 17-27.
- Garcia, Jaume and Placido Rodriguez, (2002), "The Determinants of Football Match Attendance Revisited: Empirical Evidence from the Spanish Football League," *Journal of Sports Economics*, 3(1), 18-38.
- Gerber, Hans U. and Elias S.W. Shiu (1995), "An Actuarial Bridge to Option Pricing," *Securitization of Insurance Risk: The 1995 Bowles Symposium*, 45-62.
- Golden, Linda L., Mulong Wang, and Chuanhou Yang (2007), "Handling Weather Related Risks through the Financial Markets: Considerations of Credit Risk, Basis Risk and Hedging," *The Journal of Risk and Insurance*, 74(2), 319-346.
- Ito, Haruyoshi, Jing Ai, and Akihiko Ozawa (2013), "Manging Weather Risk: The Case of J. League Soccer Teams in Japan," *Proceedings of 17th Annual Conference of Asia-Pacific Risk and Insurance Association*.
- Ito, Haruyoshi, Jing Ai, and Akihiko Ozawa (2015), "Manging Weather Risks: The Case of J. League Soccer Teams in Japan," *Journal of Risk and Insurance*, forthcoming.
- Kalish, David E. (2010), "Terror Alert Levels and Major League Baseball Attendance," *International Journal of Sport Finance*, 5(3), 181-192.
- Labuschagne, Coenraad C.A. and Theresa M. Offwood (2010), "A Note on the Connection Between the Esscher-Girsanov Transform and the Wang Transform," *Insurance: Mathematics and Economics*, 47(3), 385-390.
- Pennings, Joost M.E. and Ale Smidts (2000), "Assessing the Construct Validity of Risk Attitude," *Management Science*, 46(10), 1337-1348.
- Vedenov, Dmitry V. and Barry J. Barnett (2004), "Efficiency of Weather Derivatives as Primary Crop Insurance Instruments," *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 29(3), 387-403.
- Wang, Shaun S. (2000), "A Class of Distortion Operators for Pricing Financial and Insurance Risks," *Journal of Risk and Insurance*, 67(1), 15-36.
- Wang, Shaun S. (2002), "A Universal Framework for Pricing Financial and Insurance Risks," *ASTIN Bulletin*, 32(2), 213-234.
- 河合慎祐, 平田竹男, (2008), "Jリーグ観戦需要に関する研究," *スポーツ産業研究*, 18(2), 11-19

<査読論文 2015年10月5日採択>

オプション価格決定モデル：その学説史的展望

(1) バシェリエ(1900)モデル

Option Pricing Models: The Review of Literatures

(1) Bachelier (1900) Model

森平 爽一郎

(早稲田大学 大学院ファイナンス研究科)

Soichiro Moridaira

Graduate School of Finance, Waseda University

Summary: This note reviews Bachelier (1900) and related literatures up to now. Bachelier (1900) presented the first option pricing model based on his mathematical theory of Brownian motions. His model assumed that the underlying price follows the arithmetic Brownian motion that allow negative asset prices and therefore it does not satisfy no-arbitrage conditions. Samuelson (1965), Smith (1976) and others criticize these points and proposed the more general stochastic process, the Geometric Brownian motion, to overcome these problems. Later, Liu (2007) and Kolman (2013) apply the risk neutral approach to value the option whose underlying asset prices follow the arithmetic Brownian motion, but they still fall on the same problem; violation of no-arbitrage conditions. In this note I try to propose a new pricing model to resolve this problem and extend Bachelier work based on the general equilibrium analysis, i.e. stochastic discount factor approach. Bachelier (1900) model is more useful in real option analysis and corporate finance because both researches focus on the cash flow of projects and corporate profits which can take negative value; i.e. losses. The many researches dealing with the relationship between option and profit or project cash flow are also reviewed

キーワード：バシェリエ、算術ブラウン運動、オプション価格、無裁定条件、応用。

1. はじめに

歴史上初めてのオプション価格決定モデルは、ルイス・バシェリエ (Louis Jean-Baptiste Alphonse Bachelier)⁶によって、1900年(明治33年)にパリ大学数学科に提出された博士号請求論文「投機の理論 (Théorie de la Spéculation)」のなかで示された⁷。

この論文を初めとして、今後何回かにわたりさまざまなオプション価格決定モデルについて検討する。その目的は、現在の金融経済学(Financial Economics)からみて、オプション価格決定モデルがどのような意味をもっているのか、とりわけリアルオプション研究にどのように適用できるかを検討することにある。単に過去の研究の展望を行うだけでなく、現在そして将来におけるリアルオプション研究においてこうした古典的な研究から、如何にして新しい洞察を得ることが出来るかという視点から展望を行いたいと考えている。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では、バシェリエのオプション価格決定モデルについて、その概要を明らかにする。第3章では、現在、バシェリエ・モデルに言及した多くの論文、例えば Smith(1976)や Samuelson(1965)で示された批判は、バシェリエが考察したオプション市場あるいは原資産市場を考えてみた時必ずしも適切でないことを示す。第4章では、最近になって行われた、バシェリエ・モデルの拡張、特に原資産が算術ブラウン運動(正規分布)に従う時にリスク中立的評価を適用する場合に無裁定条件を満たさないという点とそれに代わる価格決定方法について議論をする。第5章では、バシェリエ・モデルのさまざまな応用例について述べる。最後に、要約と結論を示す。

6 本稿では、バシェリエの生涯については次のページで示した略歴以上には触れない。より詳しくは Courtaul, Kabanov, Bru, Crepel, Lebonand, Le Marchand (2000), Sullivan and Weithers (1991), Taqqu (2001), Bru (2010), Jovanovic (2012),などを参照のこと。またオプション価格

に関するバシェリエ論文の再発見については Samuelson (2000)を参照。

2. バシェリエのオプション価格理論

2.1 バシェリエ・モデルの概要 8

バシェリエ・モデルが想定する原資産の確率過程は、次のようなドリフト(傾向)を表す項を持たない算術ブラウン運動(Arithmetic Brown Motion)である。

$$dS_t = \sigma S_0 dW_t \quad (1.1)$$

ここで、 S_t は t 期の原資産価格(価値)、 S_0 は現在時点($t=0$)の原資産価格(価値)、 σ は原資産価格(価値)

「変化 dS_t 」のボラティリティ(標準偏差)を示す。

dW_t は実(物理、自然、客観)確率測度のもとでの増分ウィナー過程である。つまり ε_t を平均ゼロ、分散 1 の標準正規分布に従う確率変数、 dt を微小時間増分とすると $dW_t = \varepsilon_t \sqrt{dt}$ と表すことができる。

式(1.1)の確率微分方程式を解くと次の結果をえる。

$$S_T = S_0 + \sigma S_0 W_T \quad (1.2)$$

ここで、 W_T はオプション満期 T 時点における不確

実性を示し $W_T = \varepsilon_t \sqrt{T}$ である。これから、オプション満期時点の原資産価格 S_T は平均 S_0 、分散

$S_0^2 \sigma^2 T$ の正規分布に従うことがわかる。つまり

$$S_T \sim N(S_0, S_0^2 \sigma^2 T) \quad (1.3)$$

このような満期の原資産に対し、 K を行使価格とするオプションの現在時点における価格は次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} C_0 &= E_0^P [\text{Max}[S_T - K, 0]] \\ &= \int_K^\infty (s - K) f_s(s) ds \end{aligned} \quad (1.4)$$

ここで $f_s(s)$ は平均ゼロ、標準偏差 $S_0 \sigma$ の正規分布の密度関数

8 バシェリエモデルとブラック＝ショールズモデルの数学的な比較を行ったものとして Schachermayer and

バシェリエの生涯

ルイス・バシェリエ (Louis Jean-Baptiste Alphonse Bachelier) は 1870 年(明治 3 年)、フランスの Le Havre に生まれた。彼の父はワイン経営を営むとともに当地のベネズエラの副領事も勤めており、いわゆるブルジョワ階級に属する家庭にそだった。しかし、中学校を卒業した(17 歳)直後に両親が亡くなり家業を継ぎ、幼い兄弟をやしなうことになった。このため多くの科学者が進学する *Grande École* には進学できなかった。さらに第 1 次世界対戦の勃発に伴い 2 年間の兵役に従事した(20-21 歳)後、パリ証券取引所あるいは証券会社での仕事に従事したことがわかっている。22 歳でパリ大学(ソルボンヌ)に入学し、25 歳で数学の学士号を、27 歳のときに物理数学の Certificate を得た。

30 歳の時に「投機の理論 (Théorie de la Spéculation)」で博士号を修得した。指導教授は有名な数学者ポアンカレであったが、論文の評価は「最優秀 *tres honorable*」でなく「優秀 *honorable*」であったことは、彼が大学でのデュアポジションを得ることを困難にした。

その後、パリ大学での無給講師や大学で有期の教員をつとめ、50 歳に至り、定年時までの 5 年間 Besancon 大学で正教授を勤めた。第 2 次大戦終了後の 1946 年 Saint-Servan-sur-Mer で死去した。76 年の生涯に後世に多大の影響を与えた 6 冊の書籍、15 編の確率論とその応用に関する論文を残した。

$$f_s(s) = \frac{1}{S_0 \sigma \sqrt{2\pi T}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{s}{S_0 \sigma} \right)^2 \right\} \quad (1.5)$$

である。

2.2 コール・オプションの閉じた解

Bachelier(1900)は式(1.4)の閉じた解を求めることは「意図的に」しなかった。式(1.1)で示される確率過程を想定したときのコール・オプション価格の閉じた解は、

Teichmann (2007 が参考になる。

$$C_0 = (S_0 - K)N(d) + S_0\sigma\sqrt{T}n(d) \quad (1.6)$$

ここで $d \equiv \frac{S_0 - K}{S_0\sigma\sqrt{T}}$

となる(導出については数学付録を参照)。ここで $N(\cdot), n(\cdot)$ はそれぞれ、標準正規分布の分布関数と密度関数である。

正規分布の統計数値表は1900年当時すでにかなり正確なものが公刊されていた。バシェリエは式(1.6)を導かずに、式(1.4)を行使価格 K に関して級数展開をした次のような近似式でコール・オプション価格を指示した。

$$C_0 = a + \frac{K}{2} + \frac{K^2}{4\pi a} + \frac{K^4}{96\pi^2 a^3} + \frac{K^6}{1920\pi^3 a^5} + \dots \quad (1.7)$$

ここで $a \equiv S_0\sigma\sqrt{T}/\sqrt{2\pi}$ である。

なぜこのような計算をしたのであろうか? その答えは、この論文の冒頭に示したバシェリエ・モデルに対する批判への回答とともに以下で明らかにすることにする。

3. バシェリエ・モデルへの批判と貢献

3.1 バシェリエ・モデルに対する批判

バシェリエ・モデルに対する批判は、1) 原資産価格が負になるような正規過程を仮定していること、2) 割引金利がオプション価格に現れていない、言い換えれば貨幣の時間価値(Time Value of Money)を考慮していないこと、3) 原資産価格の確率過程を示す式(1.1)において傾向(ドリフト項)が考慮されていないこと、4) リスク調整、言い換えるならば、リスク中立的評価がなされていないこと、5) 式(1.6)のような閉じた解が得られていない、と言った多くの問題点が指摘されている。

これらの批判が、必ずしも当を得ていないことを、バシェリエ・モデルが対象にした原資産がどのようなものであり、当時どのような市場で取引されていたのかを明らかにしたうえで考えてみる。

3.1.1 原資産が正規分布すること

式(1.1)と式(1.2)に示されたように、原資産価格が正規分布するとすれば、価格が負になる確率はゼロではない。株主、債権者の有限責任制度を考えれば、株価や債券価格は負にはならない。しかし、バシェリエ

が考えている原資産は、当時のフランス政府が発行していた永久国債(Rente)であったこと、またオプションの満期が通常2カ月程度の短い期間であったことを考えれば、正規分布を仮定することはあながち的外れとは言えない。なぜなら、当時の永久国債のデフォルトリスクはほとんど無いと考えられており、割引金利(スポットレート)の変動が大きくなかったことを考えると、2カ月という短いオプション満期の原資産たる永久国債の価格変動は正規分布に従っていると考えても良いであろう。

3.1.2 時間価値を無視していること

式(1.4)と式(1.7)コール・オプション公式に割引金利が現れていない。いいかえれば $C_0 = E_0^P [C_T]$ を想定している。この理由としては当時のオプション取引(Premier Contract)では契約開始時のオプション料の受け払いを行わず、権利が行使日前の数日間にオプション料の受け払いが行われていた⁹。そのため、現時点での割引価値を求める必要が無いので、割引計算を必要としなかったのである。

3.1.3 ドリフト項が無いこと

ドリフト項が式に存在しないことは、単に数学的な展開を簡単にするためのものであるかのように判断してはならない。バシェリエは、その博士論文の題名が「投機の理論」であったように、原資産が活発に取引されている市場では、投機家にとって利益や損失は平均してゼロになること、つまり原資産価格の確率過程においてドリフト項が存在し得ないことを主張した。このことはFamaが示した(弱度の意味での)効率的資本市場仮説をすでに1900年に主張していたことになる(Dimand and Hichem (2005))。

デリバティブの危険中立的評価では、評価すべき資産を適当な基準資産(Numeraire)、例えば確定金利のもとでの割引債価格で基準化した上で、当該資産が想定する確率過程のドリフト項がゼロに成るようなリスク中立的なブラウン運動を求め、デリバティブの価格決定を行う。バシェリエの定式化は、そうした意味では洗練されてはいないが、結果として、競争的な資本市場では、原資産価格のドリフト項はゼロに成るべきであるという「考え方」を示しているといえよう。

3.1.4 リスクが考慮されていないこと

投資家のリスク回避度やリスクを考慮した評価、言い換えれば適切な確率測度の変換を行い、リスク中立的な価格決定が行われるためにはCox and

ロピアン型を想定している。

⁹ これからも分かるように、契約は本質的にアメリカン・オプションであるが、バシェリエのオプション公式はヨー

Ross(1976), および Harrison and Priska (1981)を待たなければならない。しかし、Bachelier(1990)では原資産価格のドリフト項をゼロと置いたことで、間接的な意味でリスク中立評価を行ったと考えることもできよう。

3.1.5 閉じた解を求めていないこと

なぜバシェリエは式(1.6)をもとめず、コール・オプション式の行使価格に関する級数展開をした式(1.7)を求めたのであろうか？

現在のオプション取引では、例えば日経平均オプション契約で考えると、現在の日経平均価格から上下 500 円の範囲で行使価格が設定され、そうした行使価格に対する日経平均オプションの市場価格が成立する。価格決定モデルの役割は、その理論価格を求めることにある。

これに対し、バシェリエが考察の対象にしたフランス永久国債を原資産とするオプション取引では、はじめにオプション価格が原資産たる永久国債の額面 100 フランに対して、10、20、あるいは 50 サンチーム(Centimes, 1/100 フラン)という様に決められており、市場取引の結果として、対応する行使価格(バシェリエはこれを「真の価格」とよんでいる)が、決まるように市場設計が行なわれていた。

これは、現在のオプション取引市場で、時として呼び値がオプション価格でなく、ボラティリティが使われているのと同様である。

この場合、式(1.6)のような閉じた解は適切でない。式(1.7)を用いて、一定のオプション価格、例えば、30 サンチームのオプション価格に対応する行使価格を式(1.7)の左辺に与え、右辺の行使価格の市場価格を求めることの方が望ましい。

ただし、式(1.7)は行使価格 K に関する 4 次方程式になり、解析的に解くことは困難であるし、コンピューターや卓上計算機の無かった 115 年前では数値計算をも行うことができなかった。バシェリエは、式(1.7)を行使価格 K の 2 次式で近似をし、2 次方程式を解くことにより市場価格が意味する(Implied な)行使価格を求めた。

このことは、オプション価格の数値解法を初めて明らかにしたことにもなる。

3.2 バシェリエの貢献

これまで述べてきたように、バシェリエ・モデルで指摘された問題点は、よく考えてみると、彼が行った貢

献でもあることに留意しなければいけないだろう。上で述べた以外のさらなる貢献としては、以下の様な 3 点があげられる。

ブラウン運動による価格決定 バシェリエはアインシュタインに先立つ 5 年前にブラウン運動の考え方を明らかにした。ブラウンは水面上の花粉の動きからブラウン運動の考え方を初めて明らかに、アインシュタインは粒子の動きに注目してブラウン運動の数学的な基礎を明らかにした。これに対し、バシェリエは資産価格の動きからブラウン運動の、厳密ではないにしても、数学的な展開を示したことは興味深い。こうした研究は、例えば、サミュエルソン(Samuelson (1965)) や マンデルブロー(Mandelbrot(1966))による株価やコモディティ価格の研究に受け継がれるものであった。

正規確率過程 オプションの原資産が正規分布すると仮定することは、原資産「価格」が負に成ることを許容することでもあり明らかにおかしい。しかし、原資産が価格という Stock でなく、利益やキャッシュフローと言った Flow を示すものである場合には、現資産価値が負に成る可能性がある算術ブラウン運動はむしろ望ましい定式化であり、バシェリエ・モデルの貢献を積極的に認める必要がある。以下の 4.2 節で示すようなバシェリエ・モデルのさまざまな応用事例はそうした点の重要性を示している。

価格決定モデルの実証 Bachelier (1900)では、式(1.7)と実際に市場で成立したオプション価格データを比較した実証研究を行っている¹⁰。その結果、彼のモデルは市場で定まるオプション価格(実際はオプション価格が意味する市場で定まる行使価格)を良く説明できるものであった。また、「オプションが行使される確率」についても、その理論値と実際に観察された市場価格を比較して、おおむね理論値が実際をよく表していることを明らかにしている。こうした研究方法は、現代における Financial Econometrics の先駆けともいえる。ファイナンス研究においては、単なる理論モデルの構築だけでなく、それが実際をよく説明できるものでなければいけないという研究方法のありかたをもわれわれに教えているものといえよう。

4. バシェリエ・モデルの拡張と応用

Bachelier(1900)の影響は2つの分野にわたっている。1つは、ブラウン運動や熱伝導方程式など確率論や統計物理などの発展に大きな影響を与えたことである。もう一つは、効率的資本市場仮説やオプション理

10 Bachelier (1900)の英語版、53 頁から 56 頁を参照のこと

論の発展に貢献したことである。

前者については、例えば、伊藤清博士による確率解析学の発展に寄与したことがあげられる¹¹。ここでは、後者に、とりわけ、原資産が算術ブラウン運動(正規分布)に従う時のオプション理論の発展とその応用について説明することにする。

4.1 バシェリエ・モデルの拡張

4.1.1 実確率測度 P の下でのモデル

現在、われわれがバシェリエ・モデルとよんでいるものは、式(1.1)で示される確率過程にドリフト項 μdt を付与した

$$dS_t = \mu dt + \sigma dW_t \quad (1.8)$$

にもとづく次のようなコール価格式

$$E_0^P [C_T] = (S_0 + \mu T - K)N(d) + \sigma\sqrt{T}n(d) \quad (1.9)$$

である(この価格式では、依然として(割引)金利は考慮されていないが)。また、ここで

$$d \equiv (S_0 + \mu T - K) / \sigma\sqrt{T} \quad (1.10)$$

である。この式の解釈をかながえてみよう。

式(1.9)はまた次のように表現できる。

$$E_0^P [C_T] = [(S_0 + \mu T)N(d) + \sigma\sqrt{T}n(d)] - KN(d)$$

右辺第1項は満期の原資産価値が行使価格以上になるという条件のもとでの期待値を示している ($E_0^P [S_T | S_T \geq K]$)。第2項は行使価格にオプションが行使される実確率をかけたものになっている ($K \Pr^P (S_T > K)$)。従ってコール・オプションの期待値は、この2つのものの差である¹²。

Murphy(1990)は、バシェリエの価格式(式(1.6))で投資家のリスク選好が考慮されていないことに注目しCAPMに基づく修正を行った。式(1.9)で原資産価格がオプション満期までに受け取る配当の現在価値で決まること、コールの現在の価格もオプション満期

時の期待価値(式(1.9))を適切な割引率で現在価値に割り引いたものであることなどを念頭に、それぞれの資産に対する、割引率が原資産とコール・オプションに関するCAPMで決まると考えた。コールのベータが原資産のベータの関数として表現できることに注目し、コールの現在価値を求め、さらに1981年1月4日時点のシカゴ商品取引所:CBOEに上場されていた877銘柄のオプションの市場価格データを用いた実証研究をおこなった。結果は、原資産が対数正規分布すると仮定した時のモデルとの差はわずかであった。このことは、株式の有限責任を適切に表現すると考えることができる対数正規分布に従う株式を原資産とするオプション公式に対し、正規分布を仮定するバシェリエ・モデルであっても、CAPMによるリスク調整を行えば、ほぼ同様な結果を得られることを意味している。

Dawson et al (2009)は、式(1.9)をリスクフリーレ

ート r_F を用いて直接現在価値に引き戻したコール価格式を用い、オプション価格に影響を与える4つの要因、すなわち、原資産価格、リスクフリーレート、残存期間、原資産価格変化のボラティリティの感応度、いわゆるGreeksを求めた。とりわけ、残存期間に対する満期の感応度を示すセータ(Θ)とボラティリティの影響度であるベガ(Vega)について詳しい導出過程を説明している。拡張バシェリエ・モデルの感応度は、Black-Scholesモデルの場合とは異なる結果が得られたことは興味深い。

しかし式(1.9)の右辺は実確率測度の下での期待値であり、リスクやリスク回避度を考慮したものでない。従って、それをリスクフリーレートで割り引くことが適切ではない。この問題については、次節4.1.2で議論する

4.1.2 リスク中立的世界におけるバシェリエ・モデル

Liu(2007)とKolman(2013)は、式(1.8)の右辺第2項をリスク中立世界の下で測度変換をした時、つまり

$$dS_t = r_F S_t dt + \sigma dW_t^Q \quad (1.11)$$

す』

また高橋陽一郎編(2011)を参照のこと。

¹² 右辺第1項は、Asset or Nothing Digital Option 価値を、第2項はCash or Nothing Digital Option 価値をしめしている。しかし、Black-Scholesモデルの場合と異なり、バシェリエ・モデルの場合、行使価格は負に成りうる($K < 0$)。さらなる議論と応用の可能性については、森平(2015)を参照のこと。

¹¹ たとえば Ito and McKean (1974)の序文では、単にブラウン運動でなく Bachelier-Brown 運動と言及されている。また Merton(2000)は次のように述べている。『数学的な側面から言えば、伊藤清は1940年代初頭から50年代の初めてにかけて、ファイナンスにおいて必須の道具となっている伊藤の確率解析学の発展において、バシェリエの研究成果から多大な影響を受けました。実際、1994年にMITで開催されたノバート・ウィナーの生誕を記念集会で、伊藤は私に「バシェリエの博士論文は、コルモゴロフと同じくらい、ウィナー以上に私に影響をあたえた」と語ったので

を導いた。オプションの満期 T に対応する原資産のリスク中立価値 S_T は、平均 $S_0 \exp\{r_F T\}$ 、分散 $v^2(t)$ の正規分布、つまり

$$S_T \sim N\left(S_0 e^{r_F T}, v^2(t)\right) \quad (1.12)$$

となる。ここで標準偏差 $v(t)$ は

$$v(t) \equiv e^{r_F t} \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2r_F T}}{2r_F}} \quad (1.13)$$

と定義される 13。つまり、原資産の期待値はリスクフリーレート r_F を利子率とした時の複利で増加し、時間 t とともに変化をするボラティリティ $v(t)$ でその周りを変動している。これから、Liu(2007)とKolman(2013)は、次のようなコール・オプション価格公式を導いた 14。

$$\boxed{\begin{array}{l} C_0 = (S_0 - e^{-r_F T} K) N(d) + e^{-r_F T} v(t) n(d) \\ \text{where } d \equiv \frac{S_0 e^{r_F T} - K}{v} \end{array}} \quad (1.14)$$

しかし、式(1.14)は重大な問題を抱えていることがLiu(2007)によって指摘されている。それは、オプションの満期までの期間 (T) や原資産のボラティリティ (σ) が増大すると、式(1.14)で決まる現時点のコール・オプション価値 (C_0) が、現資産価値 (S_0) を超える

13 式(1.13)におけるボラティリティ v は一見するとかなり複雑であるが、 $\exp(x) \approx 1+x$ と線形近似できることに注意して展開すれば、 $v = \sigma \sqrt{T}$ となる。その結果、式(1.14)は、現在価値に引き戻す部分を除き、式(1.9)と同じになる 14 Liu(2007)のコール・オプション公式(原論文の式(8))は、 $C_t = e^{r_F t} \sigma \Sigma [dN(d) + n(d)]$ と表現されている。しかし、この式で、 $t = 0$ と置き、 $e^{r_F t} \sigma \Sigma = v$ であることに注意すると、本文の式(1.14)、つまり Kolman(2013)の最終的な結果(原論文の p.12)が得られる。また式(1.14)の導出については数学付録を参照。

15 行使価格が 10 円、リスクフリーレートが 5%、残存期間が 1 年、ボラティリティが 10 円であるとき、原資産価値が概ね 6 円までの範囲で、式(1.14)でもとめたコール価格は現物価格以上、つまり 6 円以上になる。

16 Liu(2010)はその結論で次のように述べていることは傾聴すべきであろう“Further, it may be worth investigating situations in which the underlying process is neither GBM nor ABM, because blindly applying the risk-neutral valuation or the Black-Scholes approach

ことがある。Liu(2007)はこのことを数値例で示している 15。

コール・オプションは原資産を買い取る権利であるから、その現時点の価格は原資産「価格」を超えることはできないはずである。もしこの条件が満たされなければ、現時点でコールを C_0 円で売り(Short)、

原資産を S_0 で買えば(Long)、その差額である利益は確実になる。つまり式(1.14)で示されたコール価格は無裁定条件を満たしていないことになる。

リスク中立評価のもとでのオプション公式が無裁定条件を満たさないことは驚きである。Liu(2007)はそうしたことが生じる理由を Puzzle であると述べているが、その理由は、直感的には次のように説明できるであろう 16。

コール・オプションは権利の価値を示すものであり、従ってその価値を反映した価格は、必ず非負である。しかるに現時点の原資産の「価値 S_0 」は、例えば、それが企業利益であれば負になってもよい 17。また現在の原資産価値が正の値であっても、コール価値は、ボラティリティが大きく、満期まで期間が長いほど、満期の原資産価値が行使価格以上に成る可能性があるため、現時点の原資産価値よりも大きく成り得る。

Magdziarz, Orzeł and Weron (2011)は算術ブラウン運動に従う確率過程において、一定時間ある確率でもって、変化がないような状況を許容する Subdiffusive なバシエリエ・モデルを提案し、そのもとでのオプション価格決定モデルを導いた。オプション価格はマ

might lead to prices that violate no arbitrage.”

17 原資産が市場で取引されていれば、現物資産の期待現在価値は市場価格に等しく S_0 になる。理論的にも、式(1.11)と式(1.12)から、リスク中立世界の下での満期株価の期待現在価値 ($S_0 = \exp(-r_F T) E_0^Q[S_T]$) となる。しかし、市場「価格」は有限責任制度のもとでは負に成り得ない。従ってこうした場合、原資産価値が負の値を取りうるような確率過程を想定した場合のオプション価格は無裁定条件を満たすはずが無い。このことは、株価や債券に対するオプション評価にあたっては、それらが負の値をとりえない以上、算術ブラウン運動を仮定することは適切な仮定とはいえない。むしろ、企業の純利益は負になる可能性があるが、配当は純利益が正の時に限り支払うことができるとして、企業利益が算術ブラウン運動に従うと仮定した時の配当還元モデルをオプション価格決定モデルに基づき再構築し、株式を原資産とするときのオプション価格を決定すべきであろう。言い換えれば、この場合、株式オプションは複合オプションとなる。詳しくは森平(2015)を参照。

ーチンゲールに従うが、非完備であることを証明した。このことは、Liu(2007)が得た結果を異なる算術ブラウン過程のもとで証明したことになる。

森平(2015)は、原資産価格、リスクフリーレート、およびコール価格が同時に決定される一般均衡モデルの枠組みと、プライシングカーネル・アプローチを用いて、この問題を検討した。プライシングカーネル・アプローチは、原資産のリスク、時間価値、投資家のリスク回避度を考慮した確率的割引率 SDF: Stochastic Discount Factor)で、負になる可能性を有する将来キャッシュフローの現在価値を、一物一価(Law of One Price)を保証するように決定する。この場合、ブラック＝ショールズモデルを導く場合必要になる動的(デルタ)ヘッジ戦略を考える必要がない。特に企業利益やプロジェクトからの利益など、原資産が取引されていないような(動的ヘッジが不可能な)非完備市場を考慮した現物資産、金利、オプション価格が同時に決定されるようなモデルを得ることができる。

代表的投資家の消費 C_t に関する効用関数がべき型 (Power) 効用関数であると仮定した時のプライシング・カーネル M_t は、消費 C_t と原資産 S_t の確率過程を、互いに相関 ρ を有するものとして、次のように特定化できよう。

$$\begin{aligned} dC_t &= \mu_c C_t dt + \sigma_c C_t dW_t^c \\ dS_t &= \mu dt + \sigma dW_t \\ E_t^p [dW_t^c dW_t] &= \rho dt \end{aligned} \quad (1.15)$$

原資産の確率過程は危険中立的評価を試みた場合の出発点をなす式(1.8)と同様であるのに対し、消費の確率過程は幾何ブラウン運動に従うと仮定している。つまり消費は負にならないので、次に示すプライシング・カーネルは正値をとる。

$$\begin{aligned} \tilde{M}_t &\equiv \beta^t (C_t/C_0)^{-\lambda} \\ &= \exp \left\{ T \ln \beta - \lambda \left(\mu_c - \frac{1}{2} \sigma_c^2 \right) T - \lambda \sigma_c \tilde{W}_t^c \right\} \end{aligned} \quad (1.16)$$

ここで β は主観的な割引率、 λ はべき型効用関数における相対的危険回避度である。

リスクフリーレートは、プライシング・カーネルの期待値から、

$$r_f = -\ln \beta + \lambda \left(\mu_c - \frac{1}{2} \sigma_c^2 \right) - \frac{1}{2} \lambda^2 \sigma_c^2 \quad (1.17)$$

となる。リスクフリーレートは、消費の確率過程のパラメータと危険回避度によって内生的に与えられることがわかる。

原資産の現在時点の価値は、プライシング・カーネルを用いて、次のように示すことができる。

$$\begin{aligned} V_0 &= E_0^p [M_T S_T] \\ &= e^{-r_f T} \left((S_0 + \mu T) - \lambda \rho \sigma_c \sigma T \right) \end{aligned} \quad (1.18)$$

ここで $E_0^p [S_T] = S_0 + \mu T$ であることを思い出すと、式(1.18)の右辺第2項はリスクプレミアムを表しているの、右辺全体は原資産に関する確実性等価式に相当し、価格表示の CAPM になっている。これに対し、コール・オプション式は、

$$\begin{aligned} C_0 &= E_0^p [M_T \text{Max}[S_T - K, 0]] \\ &= [V_0 - K e^{-r_f T}] N(d) + e^{-r_f T} \sigma \sqrt{T} n(d) \end{aligned} \quad (1.19)$$

となる。ここで

$$d \equiv \frac{1}{\sigma \sqrt{T}} (V_0 e^{r_f T} - K) \quad (1.20)$$

である。

結果をみると、式(1.14)のリスク中立的評価にもとづくコール価格式と、式(1.19)の均衡分析に基づく価格式は、ボラティリティの定義式を除き同一である。つまり投資家の効用関数を前提にした導かれたコール式であっても、期待 μ やリスク選好 λ に依存しないリスク中立的評価式(RNVR: the Risk Neutral Valuation Relation)が得られた。均衡分析のもとで

は、資産のボラティリティ σ や残存期間 T の値が変わると、コール価格のみならず、式(1.18)できまる原資産価格(価値)にも影響を与え、その結果コール・オプションの価格も変化する。原資産価格とコール価格は同時に決定される。

4.2 バシェリエ・モデルの応用

バシェリエ・モデルとは、原資産の確率過程が算術ブラウン運動に従う場合の資産評価である。算術ブラウン運動に従うことは、原資産価値の分布は平均値、中央値、最頻値が等しくかつ対称であることを意味する。そのうえで、原資産価値が負になる可能性を考慮した正規分布のもとでの資産評価式を求める。

企業利益やプロジェクトからのキャッシュフローは負に成り得る。また短期的には正規性を仮定しても良いことが多い。森平(2015)は、税引前・利払前利益: RBIT が正規分布をすると仮定し、配当支払いはオプションであることを明らかにした上で、新しい配当還元モデルを提唱し、株式価格の決定を行った。また、式(1.19)をもとにして、将来 EBIT が正規分布に従う

時の、繰り延べ税金資産価値をコール・オプション価値として求めた。

Câmara(2009)は、企業の純利益がジャンプを伴う正規過程(算術ブラウン運動)に従う時の経営者のボーナスの支払いが、経営者にとってコール・オプションとみなせることに注目をし、最適なボーナスプランの設計を行っている。

Alexander, Mo, and Stent(2012)はプロジェクト価値が算術ブラウン運動に従う時のリアルオプション価値を議論している。この場合、プロジェクトの総価値は、プロジェクトそのものとプロジェクトからの配当の合計として定義されている。配当はプロジェクト価値が正負いずれの場合であってもプロジェクト価値の一定割合と定式化されている。これは、プロジェクトからのキャッシュフローが負に成った時、投資家は一定割合を追加投資として負担することを意味する。Alexander, Mo, and Stent(2012)はこの配当支払比率を時間とともに変化させ得るよう2項ツリーによるリアルオプション価値を計算する方法を採用している。

天候、とりわけ気温は正規分布をすることが知られている(Jewson and Penzer(2006))。また気温は測度いかによるが負に成りうる¹⁸。Taib and Benth(2012)は気温指数に対する保険価格求めている。また、Jewson(2003)は気温指数の正規性を仮定した時のさまざまな天候デリバティブの閉じた解を求めている。

Dawson, Dowd, Cairns, and Blake(2009)は、死亡率に関するスワップ契約を原資産とするコールあるいはプットオプション価値の計算において、特定年齢層の死亡率が短い期間であれば、正規分布でよく近似できることに注目してこのスワップオプションの価格決定を行っている。

多くの資産価格のモデリングでは、収益率は正規分布し、その指数変換は対数正規分布すると考えている。Kenyon(2008)は物価水準の年変化率が平均1の、ボラティリティが小さい正規分布をするという事実に着目した¹⁹。その場合のコールとプットオプション価格モデルを提唱した。さらに、年次物価変化率を原資産とするオプション取引の市場価格から、行使価格に関するインプライド・ボラティリティ(いわゆるスマイル)カーブと、行使価格と満期に関するインプライド・ボラティリティ平面を推定している。

Choi, Kim, and Kwak(2006)は、式(1.9)を対象に、左

辺のコール価格から右辺における一般的には未知のパラメータであるボラティリティ(σ)を求めるための効率的な解析的近似方法を提唱している。

Shaw and Schofield(2015)は、収益率のモデリングにあたり金融危機後の収益率分布の裾が厚い(Fat Tail)ことを考慮して、収益率が算術ブラウン運動と幾何ブラウン運動の輪として表現できるような確率過程(ハイブリッド・ブラウン運動)を提唱している。更にIwaki and Luo(2013)は、このモデルを若干簡略化して、ドリフトを持たない算術ブラウン運動、つまりバシェリエ・モデルとドリフトを有する幾何ブラウン運動の和を前提に、数値的なオプション価格決定モデルを導き、日経平均オプションの日次データを用いた実証研究をおこなっている。

金融資産価格は負にならないが、2つ(以上の)の金融資産価格の差は正負いずれの値も取りうる。このスプレッドは正規分布で近似できる。このため「スプレッド・オプション」の評価にあたっては、バシェリエタイプのオプション価格決定モデルを応用することが行われている。一般的なスプレッド・オプションについてはPoitras(1998)、先物スプレット・オプションについてはSchaefer, and Matthew P(2002)などが参考になる。

5. 要約と結論

オプション価格決定理論の嚆矢をなすバシェリエ・モデルについて、その概要、幾つかの批判に対する回答、注目すべき貢献、さまざまな応用例について論じた。

バシェリエ・モデルが想定するオプションの原資産価値は正規分布する。この仮定は原資産価値が負に成る可能性を許容するという意味で、例えば、株式や債券、通貨、コモディティなどの分析には不適切である。他方、リアルオプション研究が対象とするような、企業やプロジェクトからの利益(キャッシュフロー)、あるいは資産価格の収益率やマクロ経済指標の成長(変化)率などを分析する場合、バシェリエ・モデルは適切な分布にもとづくオプション価格決定モデルを提供している。

しかし、原資産価格が市場で取引されているような資産は、価格が負にならないので、リスク中立的評価法をバシェリエ・モデルの評価に適用することは

18 気温が負になることは零度をどのように設定するか依存する。従って、確率変数として正規分布を仮定することは意味が無いかもしれない。たとえば摂氏 $^{\circ}\text{C}$ はアメリカで用いられている華氏では32度となる。また、摂氏 -273.15°C である絶対0度(0K)を用いれば気温は負になら

ない。しかし、気温デリバティブでは、たとえば、水が凍る温度としての摂氏 0°C を用いる方が、生活実感にあっているだろう。

19 年あたりの物価上昇率の平均が1であることは、平均的には変化が無いことを意味している。

困難であること、更にその結果として得られる価格モデルは無裁定条件を満たさないという問題が生じることが明らかになった。

しかし、無裁定条件を満たさないことは、現資産価値が負になることが当然である企業利益やプロジェクトからのキャッシュフローを原資産とするオプションを議論したばあい、むしろ当然の帰結である。そうした点を正当化するためには、リスク中立化法よりも投資家の効用関数を前提にする一般均衡分析によるオプション価格モデルが必要になることを議論した。

今後は、正規分布にかぎらず、原資産価値(価格でなく)が負になりうるような分布をかんがえたときの資産価格決定理論の構築とそれらのさまざまなリアルオプション研究への応用事例を積み重ねていくことが課題であろう。

数学付録

ドリフト項 μ が存在する場合の実確率とリスク中立確率測度の下でのコール・オプション式

算術ブラウン運動にしたがう原資産の確率過程を示す確率微分方程式

$$dS_t = \mu dt + \sigma dW_t^P \quad (\text{A.1})$$

の両辺の確率積分を $t=0$ から $t=T$ まで計算すると、オプション満期 $t=T$ の資産価値は、

$$\begin{aligned} S_T &= S_0 + \mu T + \sigma W_T^P \\ &= S_0 + \mu T + \sigma \varepsilon \sqrt{T} \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

となる。 $\varepsilon \sim N(0,1)$ は標準正規分布に従う確率変数であるので、オプション満期の原資産価値は

$$S_T \sim N(S_0 + \mu T, \sigma^2 T)$$

となる。

コール価格は、 $d \equiv (S_0 + \mu T - K) / \sigma \sqrt{T}$ $d' \equiv -d$ かつ、

$$\varepsilon \equiv \frac{S_T - (S_0 + \mu T)}{\sigma \sqrt{T}}$$

と定義し、 $d\varepsilon/dS_T = 1/\sigma\sqrt{T}$ であることに注意すると、次の様に表現できる。

$$\begin{aligned} C_0 &= E_0^P [\text{Max}[S_T - K, 0]] \\ &= \int_K^\infty (s - K) f_S(s) ds \\ &= \int_K^\infty (s - K) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma\sqrt{T}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{s - (S_0 + \mu T)}{\sigma\sqrt{T}}\right)^2\right\} ds \\ &= \int_{d'}^\infty (S_0 + \mu T + \sigma\varepsilon\sqrt{T} - K) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2}\right\} d\varepsilon \\ &= (S_0 + \mu T - K) \int_{d'}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2}\right\} d\varepsilon \\ &\quad + \sigma\sqrt{T} \int_{d'}^\infty \varepsilon \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2}\right\} d\varepsilon \\ &= (S_0 + \mu T - K)(1 - N(d')) + \sigma\sqrt{T}n(d) \\ &= (S_0 + \mu T - K)N(-d') + \sigma\sqrt{T}n(d) \\ &= (S_0 + \mu T - K)N(d) + \sigma\sqrt{T}n(d) \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

ここで $N(\cdot), n(\cdot)$ は、それぞれ標準正規分布の分布関数と密度関数である。式 A3 の 5 行目から 6 行目の式展開は、標準正規分布の密度関数を微分すると、次の結果

$$\frac{dn(\varepsilon)}{d\varepsilon} = -\varepsilon \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2}\right\} \quad (\text{A.4})$$

が得られることと、式 A(3) の 5 列目の右辺第二項の $\sigma\sqrt{T}$ を除いた部分が次のように展開できること

$$\begin{aligned} &\int_{d'}^\infty \varepsilon \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\varepsilon^2}{2}\right\} d\varepsilon \\ &= -\int_{d'}^\infty \frac{dn(\varepsilon)}{d\varepsilon} d\varepsilon = -\int_{d'}^\infty dn(\varepsilon) \\ &= -(n(\infty) - n(d')) = (0 + n(d')) = n(d) \end{aligned}$$

から得られる。また標準正規分布の密度関数は平均ゼロに関して対称であり、その左右の裾野は、極限においてゼロに近づくことに注意。

式(1.6)のバシェリエ・モデルは、式(A.2)と(A.3)で $\mu=0$ かつ $\sigma \rightarrow \sigma S_0$ とすることで得られる。式(1.14)のリスク中立世界でのコール価格式は、式(A.1)を式(1.11)で置き換え、 $e^{-r_f t} S_t$ に対して伊藤の補題を適用した後、同様な数式展開を行うことによって求めることができる。

参考文献

1. Alexander, David Richard, Mengjia Mo, and Alan Fraser Stent. (2012), "Arithmetic Brownian Motion and Real Options." *European Journal of Operational Research* 219 (1): 114–22.

2. Bachelier, Louis (1900), "Théorie de la Spéculation", *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure* 3 (17): 21–86. English translation in Cootner, Paul H (1984), *The Random Character of Stock Market Prices*. M.I.T. Press, 1964, Risk Books, 2000, and in *Louis Bachelier's Theory of Speculation: The Origins of Modern Finance*. Princeton University Press, 2011.
3. Black, Fischer (1976), "The Pricing of Commodity Contracts." *Journal of Financial Economics* 3 (1–2): 167–79.
4. Bru, Bernard (2010), "Bachelier, Louis (1870–1946)." *Encyclopedia of Quantitative Finance*. John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
5. Câmara, António. (2009), "Earnings-Based Bonus Compensation." *Financial Review* 44 (4): 469–88.
6. Carraro, Laurent, and P. Crépel. "Louis Bachelier." *Statisticians of the Centuries*, 283–86. Springer, 2001.
7. Choi, Jaehyuk, Kwangmoon Kim, and Minsuk Kwak (2009), "Numerical Approximation of the Implied Volatility under Arithmetic Brownian Motion." *Applied Mathematical Finance* 16, no. 3 (26 2009): 261–68.
8. Courtault, Jean-Michel, Youri Kabanov, Bernard Bru, Pierre Crepel, Isabelle Lebonand Arnaud Le Marchand (2000), "Louis Bachelier on the Centenary of Théorie de La Spéculation." *Mathematical Finance* 10, no. 3 (July, 2000): 339–53.
9. Cox, John C., and Stephen A. Ross (1976), "The Valuation of Options for Alternative Stochastic Processes." *Journal of Financial Economics* 3, no. 1–2 (1976): 145–66.
10. Dawson, Paul, Kevin Dowd, Andrew J. G. Cairns, and David Blake (2009), "Options on Normal Underlyings with an Application to the Pricing of Survivor Swaptions." *Journal of Futures Markets* 29, no. 8 (Spring 2009): 757–74.
11. Dimand, Robert W (2009), "The Case of Brownian Motion: A Note on Bachelier's Contribution." *The British Journal for the History of Science* 26, no. 2 (2009): 233–4.
12. Dimand, Robert W. and Ben-El-Mechaiekh, Hichem (2005), "The Origins of Mathematical Finance and the Efficient Markets Hypothesis: Louis Bachelier's Post-1900 Writings on the Theory of Speculation," (March 2005). Available at SSRN:
13. Harrison, J. Michael, and Stanley R. Priska (1981), "Martingales and Stochastic Integrals in the Theory of Continuous Trading." *Stochastic Processes and Their Applications* 11, no. 3 (1981): 215–60.
14. Itô, Kiyosi, and Henry P. Jr McKean (1974), *Diffusion Processes and their Sample Paths*: Reprint of the 1974 Edition. 1996. Berlin ; New York: Springer, 1996.
15. Iwaki, Hideki, and Lei Luo (2013), "An Empirical Study of Option Prices under the Hybrid Brownian Motion Model." *Journal of Mathematical Finance*, 2003 (2): 329–34.
16. Jewson, Stephen, and Jeremy Penzer (2006), "Weather Derivative Pricing and the Normal Distribution: Comparing Three Fitting Schemes Using the Out-of-Sample Log-Likelihood Scoring System." *SSRN Scholarly Paper ID 944007*.
17. Jewson, Stephen (2003), "Closed-Form Expressions for the Pricing of Weather Derivatives: Part 1: The Expected Payoff." SSRN: [Http://ssrn. Com/abstract 436262](http://ssrn.com/abstract/436262).
18. Jovanovic, Franck (2012), "Bachelier: Not the Forgotten Forerunner He Has Been Depicted as. An Analysis of the Dissemination of Louis Bachelier's Work in Economics." *The European Journal of the History of Economic Thought* 19, no. 3 (June, 2012): 431–51.
19. Kenyon, Chris (2008), "Inflation Is Normal." *Risk*, (Sept., 2008), 54–60.
20. Kolman, Marek (2013), "Black-Scholes Model under Arithmetic Brownian Motion," (Dec., 2013). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2332640> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2332640>
21. Liu, Qiang (2007), Options' Prices Under Arithmetic Brownian Motion and Their Implication for Modern Derivatives Pricing. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=959809>
22. Mandelbrot, Benoit (1966), "Forecasts of Future Prices, Unbiased Markets, and 'Martingale' Models." *The Journal of Business* 39 (1): 242–55.
23. Magdziarz, Marcin, Sebastian Orzel and Aleksander Weron (2011), "Option Pricing in Subdiffusive Bachelier Model." *Journal of Statistical Physics* 145, no. 1 (Oct., 2011): 187–203.
24. Merton, Robert (2000), "Future Possibilities in Finance Theory and Finance Practice" Keynote Speech, *The First World Congress of the Bachelier Finance Society* June 28, 2000
25. Murphy, J. Austin (1990), "A Modification and Re-Examination of the Bachelier Option Pricing Model." *The American Economist* 34, no. 2 (Oct., 1990): 34–41.
26. Poitras, Geoffrey (1998), "Spread Options, Exchange Options, and Arithmetic Brownian Motion." *Journal of Futures Markets* 18 (5): 487–517.
27. Samuelson, Paul A (1965), "Rational Theory of Warrant Pricing." *Industrial Management Review*, 6, no. 2 (1965): 13-
28. Samuelson, Paul (2000), "Modern Finance Theory within One Lifetime." *Mathematical Finance — Bachelier Congress 2000*, eds by Hélyette Geman, Dilip Madan, Stanley R. Priska and Ton Vorst, 41–45. Springer 2002.
29. Schachermayer, Walter, and Josef Teichmann (2007), "How Close are the Option Pricing Formulas of Bachelier and Black-Merton-Scholes?" *Mathematical Finance* 18, no. 1 (Dec., 2007): 155–70.
30. Schaefer, Matthew P (2002), "Pricing and Hedging European Options on Futures Spreads Using the Bachelier Spread Option Model." NCR-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management, 2002.
31. Shaw, William T. and Marcus Schofield (2015), "A Model of Returns for the Post-Credit-Crunch Reality: Hybrid Brownian Motion with Price Feedback." *Quantitative Finance* 15 (6): 975–98.
32. Smith, Clifford W (1976), "Option Pricing: A Review." *Journal of Financial Economics* 3, no. 1–2 (March, 1976): 3–51.
33. Sullivan, Edward J, and Timothy M. Weithers (1991), "Louis Bachelier: The Father of Modern Option Pricing Theory." *Journal of Economic Education* 22, no. 2 (April, 1991): 165–71.
34. Taib, Che Mohd Imran Che, and Fred Espen Benth. (2012), "Pricing of Temperature Index Insurance." *Review of Development Finance* 2 (1): 22–31.
35. Taquq, Murad S. (2001), "Bachelier and His Times: A Conversation with Bernard Bru." *Finance and Stochastics* 5, no. 1 (Jan., 2001): 3–32.
36. 森平爽一郎 (2015), 「算術ブラウン運動に従う原資産とオプション価格の一般均衡分析」, 2015年度日本リアルオプション学会, 大会予稿集.
37. 高橋陽一郎編 (2011), 『伊藤清の数学』, 日本評論社, 2011.

<査読論文 2015年11月7日採択>

積雪リスクマネジメントにおける一考察： 新潟県のスキー場における事例研究

Managing Snow Risks : The Case of City Governments and Ski Resorts

伊藤 晴祥

(国際大学 大学院国際経営学研究所 准教授)

Haruyoshi Ito

Associate Professor of Finance
Graduate School of International Management
International University of Japan

Summary: This article studies the impact of weather conditions on the financial performance of ski resorts and local governments and proposes a hedging mechanism to manage the exposure. We analyze a unique ski resorts visitor data set. Our analysis shows that maximum snow depth has an inverted-U shaped relationship in regard to the number of visitors to ski resorts while the snow fall has a significantly adverse impact on the profit to the city government. We then design a hedging mechanism for this risk exposure and examine its contribution to the corporate value of the ski resorts and city government. In particular, we use the Wang transform model to incorporate the decision makers' risk preferences in the evaluation of the snow derivatives. We find that the proposed snow derivatives contribute significantly to ski resorts value if the safety loading offered would be 5%-10%. This low safety loading might be possible contracting by the over-the-counter trade between two parties on which risks concerned have opposite impacts.

1. はじめに

小論では、スキー場及び市役所がどのように積雪リスクマネジメントを行うことができるかについて考察を加える。そのために、まず雪が与えるスキー場への影響を分析する。その測定のために、スキー場利用客と積雪量にかかる指標との間にどの程度の相関があるかについて推計を行う。その分析結果を元に、スキー場運営企業の企業価値を最大にするような、積雪量にかかる指標を元にしたスキー場と自治体間での雪デリバティブ契約をデザインする。当該雪デリバティブを利用することにより、スキー場の企業価値が改善するかどうかを Wang 変換 (Wang Transform) を用いて示す。Wang 変換を利用することにより、雪デリバティブ市場の非完備性を考慮した評価が可能になる。Bank and Wiesner (2011) では、オーストラリアでは天候デリバティブがスキー場であまり利用されておらず、その理由が天候デリバティブに対する理解不足であると分析をしている。小論では、そのギャップを解消するために雪デリバティブ利用によるメリットをスキー場の企業価値がどの

程度改善するかという観点により示す。小論は、雪デリバティブの利用について検討をする際に必要な、積雪リスクが収益にどのように影響を与えているか、という視点から分析を行っており、天候デリバティブの利用を検討する際に必要な分析を包括的に行っている数少ない論文である。小論により、天候デリバティブに対する理解が深まり、その利用によるリスクマネジメントが効果的に行われるようになることを期待する。

2. 積雪量がスキー場来客数に与える影響

まず、積雪リスクがスキー場の来客数に与える影響を分析する。導入的な分析として、雪にかんする指標として、スキーができるかどうかは降雪量よりも積雪量²⁰のほうが重要であると考えられるため、シーズンにおける最深積雪を利用して分析を行う。新潟県内の代表的なスキー場を3つ選択し、積雪量とスキー場来客数の関連性を回帰分析を用いて推計する。

20 ここで降雪量は、一定期間内に降った雪の量(降雪深ともいう)、積雪量は、地面に積もった雪の量を意味する。

つまり、降雪量は雪のフローを示し、積雪量は雪のストックを示す。

2.1 データ

分析に利用した最深積雪は、気象庁のホームページ(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>)から取得する。また、スキー場来客数にかんするデータは、シーズン別スキー場入り込み数一覧(http://www.geocities.jp/kazu_atm/irikomi.htm)から取得する。本分析においては、新潟県内の代表的なスキー場として、来客数が多く、かつデータ欠損がない上越国際スキー場、ガーラスキー場、岩原スキー場を選択した。また、積雪量にかんするデータの入手にかんして、スキー場から最も近い湯沢観測所の最深積雪にかんするデータを利用して分析を行う。データ期間は、1992年から2012年のデータを利用する。但し、2002年のデータは、湯沢観測所からのデータに欠損があるために除外する。

2.2 スキー場来客数回帰モデル

まず、シーズン中の最深積雪とスキー場利用客との関連性を分析するために、回帰分析を行う。その際に、最深積雪とスキー場利用客の関係が線形であると仮定した場合について分析を行ったが、有意な関係が見られなかったため、両者が非線形の関係にあるとして、以下のように二次関数を利用して定式化を行う。

$$y_{i,t} = a_i + b_i x_t + c_i x_t^2 + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

ここで $y_{i,t}$ は、スキー場 i のシーズン t におけるスキー場利用客数、 x_t はシーズン t に湯沢において観測された最深積雪である。

回帰係数の推計は、最小二乗法により行う。

2.3 スキー場来客数回帰モデル推計結果

回帰分析の結果は、表1及び図1の通りである。回帰分析の結果、有意水準及び、係数の大きさに大小はあるものの、いずれの3スキー場においても、シーズン中の最深積雪とスキー場への来客数の関係は、ある水準の最深積雪以上であっても以下であっても来客数が減少するという、逆U字型の関係であることが認められる。また分析の結果、最深積雪が2.1mから2.3mであった場合に、スキー場の集客が最大化することが理解される。

表1：積雪量がスキー場利用客数へ与える影響

スキー場名	上越 国際	ガーラ	岩原
切片	-6.25 (20.72)	3.49 (9.43)	-19.90 (47.82)
最深積雪(m)	58.84*** (19.24)	24.59** (8.76)	80.60* (44.40)
最深積雪の2乗	-13.69*** (4.31)	-5.40** (1.96)	-18.55* (9.93)
Adj R ²	0.31	0.25	0.08
N	19	19	19

注：***、**、*はそれぞれ1%、5%、10%有意水準を示す。また、括弧内は標準偏差を示す。Adj. R²は、調整済み決定係数、Nはサンプル数である。

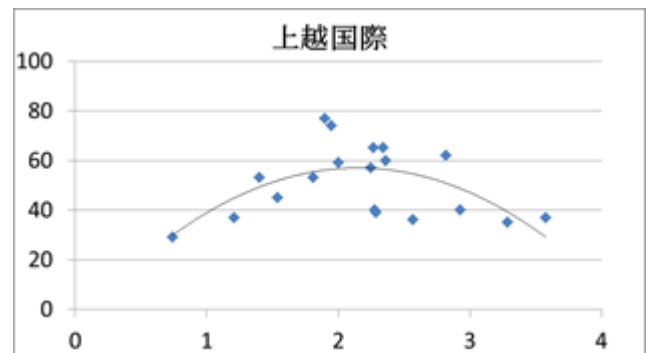


図1：積雪量が上越国際スキー場利用客数へ与える影響

注：図において、x軸は、最深積雪(単位：m)、y軸は、スキー場利用客数(単位：1万人/年)を示す。

3. 積雪量が除雪費用に与える影響の測定

次に、積雪量が市役所が負担しなければならない除雪費用に与える影響を分析する。除雪費用は、新潟県魚沼市役所から提供されたデータを利用する。魚沼市は、前章の分析で利用したスキー場の所在地と近接している都市である。

3.1 除雪費用回帰モデル

除雪費用は、スキー場への来客と異なり、積雪量にかんする変数と線形の関係にあると考えられるため、シーズン中の最深積雪と魚沼市の除雪費用にかんして以下のように定式化を行う。

$$c_t = a + b x_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

ここで、 c_t は、シーズン t における魚沼市の除雪費用、 x_t は、シーズン t に湯沢において観測された最深積雪である。

回帰係数の推計は、最小二乗法による推計では、残差に系列相関が認められるため、一般化最小二乗法を利用して分析を行う。

3.2 除雪費用回帰モデル推計結果

回帰分析の結果は、表2及び図2の通りである。回帰分析の結果、積雪量が多ければ多いほど、市役所の除雪費用が有意に増加することが理解される。

表2：積雪量が除雪費用に与える影響
魚沼市除雪費用
(単位：千円)

切片	265,753 (146,656)
最深積雪(m)	195,241*** (33,101)
AIC	240.69
BIC	241.48
N	9

注：***、**、*はそれぞれ1%、5%、10%有意水準を示す。また、括弧内は標準偏差を示す。AICは赤池情報量規準、BICはベイズ情報量規準である。Nはサンプル数である。

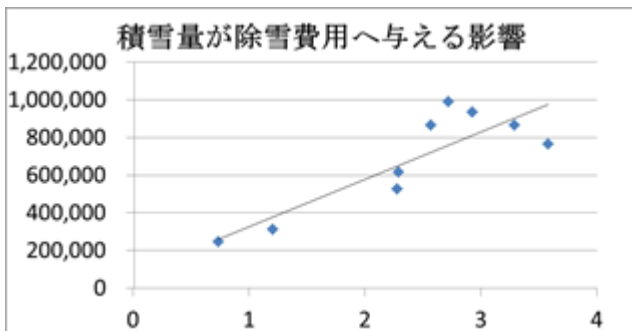


図2：積雪量が魚沼市の除雪費用へ与える影響

注：図において、x軸は、最深積雪(単位：m)、y軸は、魚沼市の除雪費用(単位：千円/1年)を示す。

4. シミュレーション分析

上述の回帰分析の結果を元に、モンテカルロシミュレーションを行い、スキー場及び、市役所のキャッシュフロー分析を行う。その結果を基に、最適な雪デリバティブ契約を考察し、スキー場及び市役所にとっての雪デリバティブ価値を計算する。当該価値計算には、Wang変換を利用する。

21 係数は、一般化最小二乗法によって推計された値である。いずれの係数も5%有意水準であった。最小二乗法による推計では、誤差項に系列相関が認められたため、シミュレーション分析では、一般化最小二乗法による推計結果を利用する。

4.1 スキー場のキャッシュフロー

スキー場のキャッシュフローを以下のように表現する。

$$NCF_{SR} = n_{visitor} \times sales \text{ per customer} - cost$$

$$n_{visitor} = -4.50 \times S^2 + 20.72 \times S - 33.45$$

ここで、 NCF_{SR} は、スキー場が受け取るネットキャッシュフロー、 $n_{visitor}$ は、スキー場への来客数を示す²¹。さらに、 $sales \text{ per customer}$ は、客単価(スキー客1人あたりの収入)を示し、3,000円であると仮定する。 $cost$ は、スキー場運営にかかる費用であるとする。これは、全てが固定費であるとし、1.4億円であると仮定する。 S は、当該年度の最深積雪である。最深積雪は、シミュレーションにより算定する確率変数である。ここでは、簡便化のために、 S が、平均 = 2.1821メートル、標準偏差 = 0.6865メートルである正規分布に従うと仮定する。正規性の仮定は、Jack-Bella検定及びKolmogorov-Smirnov検定によっても棄却されなかったため、妥当な仮定であると考えられる。

4.2 市役所のキャッシュフロー

市役所のキャッシュフローを以下のように表現する。

$$NCF_{City} = net \text{ revenue} - c_{snow \text{ removal cost}}$$

$$c_{snow \text{ removal cost}} = 195,241 \times S + 265,753$$

ここで、 NCF_{City} は、市役所が受け取るネットキャッシュフロー、 $net \text{ revenue}$ は市役所の歳入から除雪費用以外の歳出を引いたものである。当該 $net \text{ revenue}$ は積雪量とは独立であるとし、このシミュレーションでは30億円で一定であると仮定する。 $c_{snow \text{ removal cost}}$ は除雪費用であり、積雪量に応じて変化する確率変数である。 S は最深積雪である。

4.3 シミュレーションの結果

スキー場及び市役所が、雪デリバティブを利用しなかった場合のキャッシュフローシミュレーション結果は、表3に示されている。

表3の通り、積雪量が異常に多かった場合あるいは少なかった場合には、マイナスのキャッシュフローになる可能性があることが理解され、積雪量がスキー場へ与える影響は大きく、積雪リスクマネジメントの意義が大きいと考えられる。

シミュレーション分析では、一般化最小二乗法による推計結果を利用する。

表3：シミュレーション結果の記述統計量(千円)

	スキー場	市役所
平均	255,616	2,309,264
中央値	293,171	2,308,983
標準偏差	95,823	134,586
最大値	321,884	2,810,189
最小値	(655,895)	1,827,356
歪度	-2.856	0.029

5. 雪デリバティブの価値

前節のシミュレーション分析の結果を利用し、スキー場及び市役所を利するような雪デリバティブをデザインする。その後、小論で提案するようなデリバティブを利用することにより、スキー場の企業価値、市役所へ寄与する価値を計算し、提案する雪デリバティブの価値計算を行う。雪デリバティブの価値計算には、原資産が最深積雪であり、取引されていないため、取引の非完備性を考慮した評価が必要となる。そのため、小論では、Wang 変換(Wang (2000、2002))を援用して価値評価を行う。

5.1 雪デリバティブのメカニズム

スキー場が当該雪デリバティブを利用することによって得られるペイオフは、

$$1,940,000\text{JPY} \times \text{Max}[2.3 - S, 0] \quad (3)$$

であるとする。

上越国際スキー場を利用した回帰分析の結果、スキー場の収益は、最深積雪 S が 2.3m である場合に、最大となるようになることが 4.1 節の分析の結果から明らかになった。そのため、ペイオフが支払われる閾値(オプション理論で行使価格にあたる)を 2.3 m に設定する。つまり、最大深雪が閾値以下であればペイオフが正であり、閾値以上となれば 0 となるプットオプションの買いと同じペイオフである。この雪デリバティブズのスキー場にとってのペイオフは図 3 のようになる。

さらに、最大深雪が 2.3m を下回った場合に、どの程度のペイオフをスキー場が受け取るべきであるかを計算するために、最大深雪が 2.3m 以下であった年、12 年分のデータを利用して再度回帰分析を行ったところ表 4 のような結果が得られた。

スキー場にとっての雪デリバティブの1単位の「買い」からのペイオフ

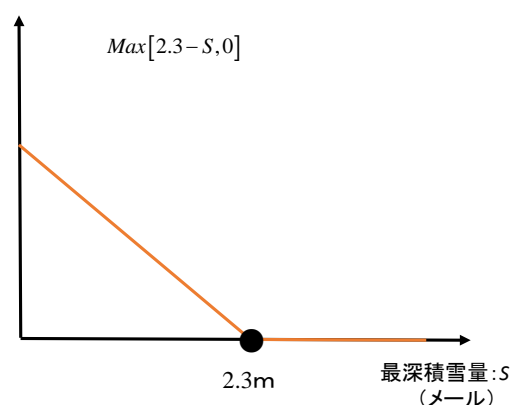


図3：スキー場にとっての雪デリバティブ1単位の買いからのペイオフ（プットの買い）

表4：最深積雪が 2.3m 以下の場合に積雪量がスキー場利用客数へ与える影響

上越国際 (最深積雪 2.3m 以下)	
切片	43.52** (17.92)
最大深雪(cm)	6.47** (2.43)
AIC	85.97
BIC	87.91
N	12

注：***、**、*はそれぞれ 1%、5%、10%有意水準を示す。また、括弧内は標準偏差を示す。AIC は赤池情報量規準、BIC はベイズ情報量規準である。N はサンプル数である。

表 4 から、最大深雪が 1m 減少すると、スキー客数が 647 人減少することが理解される。顧客単価は、3,000 円であるとしたため、最深深雪が 1m 減少すると、スキー場の収益は、 $647 \times 3,000 \approx 194$ 万円減少することが分かる。

分析の簡単化のために、積雪により発生する損失の 100%をカバーするデリバティブを想定すれば、スキー場が利用する雪デリバティブは、最深積雪が 2.3m を下回った場合に、最深積雪が 1m 減少する毎に 194 万円支払われるプットオプションの買いポジションと同様になり、式 (3) のようなペイオフとなる。

市役所側のペイオフは、当該プットオプションの

売り手となるため式 (3) にマイナスをつけた

$$-1,940,000\text{JPY} \times \text{Max}[2.3 - S, 0]$$

となる。

5.2 雪デリバティブのプレミアム

また、以上のペイオフを持つ雪デリバティブのプレミアムは、小論では、

$$(1 + \pi) \times E^P[1,940,000\text{JPY} \times \text{Max}(2.3 - S, 0)]$$

の式により計算する。ここで、 π は安全割増であり、 $E^P[\cdot]$ は、実確率測度下での期待値演算子である。分析では、0~20%、及び60%の安全割増を上乘せした雪デリバティブのプレミアムを利用する。0~20%は、市場での先物などの価格からインプライドされる安全割増(Golden, Wang, and Yang (2007)、Vedenov and Barnett (2004)、Climetrix (2010)、Chinacarini (2011))であり、60%は、Jリーグに所属している清水、広島、C大阪の各チームが利用している天候保険契約にインプライドされる安全割増である(Ito, Ai, and Ozawa 2015)。

5.3 Wang 変換

小論では想定した雪デリバティブの原資産が最深積雪量であり、取引されていないため、非完備市場下での評価モデルを利用することが必要となる。そこで、小論では、Wang 変換 (Wang 2000, 2002)を利用し、当該雪デリバティブの評価を行う。

Wang 変換は以下の式により与えられる。

$$F^Q(x) = \Phi(\Phi^{-1}(F^P(x)) + \lambda) \quad (4)$$

ここで、 $F^Q(x)$ は、リスク中立確率測度(Q測度)下での累積分布関数(CDF)である。 $F^P(x)$ は、実確率測度(P測度)下での CDF である。 $\Phi(\cdot)$ は、標準正規分布の CDF である。 $\Phi^{-1}(\cdot)$ は、 $\Phi(\cdot)$ の逆関数である。 λ は、意思決定者、小論ではスキー場経営者及び市役所(あるいは市民)のリスク回避係数である。式(4)のWang変換を利用することにより、実確率をリスク中立確率に測度変換することが可能となる。 λ が正である場合、リスク中立確率測度下での CDF は左にシフトする。つまり、よいシナリオ(キャッシュフローが大きい

くなる等のイベント)が起きる主観的確率を低く見積もることを意味し、意思決定者がリスク回避的であることを意味する。

Wang 変換は、経済学的な意味づけも可能であり、確率変数 r が正規分布に従う場合、 λ はリスクの市場価格、すなわち Shape ratio、 $(E(r) - r_f) / \sigma$ になる。ここで、 r_f は、安全利子率、 σ は、 r の標準偏差である。Esscher 変換とも類似しており、意思決定者の効用関数が負の指数型、あるいはべき型かつ原資産価値が正規分布に従う場合には、Wang 変換と Esscher 変換は同値となる(Labuschagne and Offwood 2010)。両者はともに保険やファイナンスの分野において多く利用されている (Gerber and Shiu 1994)。

Wang 変換を実用する際に λ をどのように推計するかが問題となる。Ito, Ai, and Ozawa (2015)では、Jクラブの経営者にアンケート調査票²²を配布し、 λ を推計している。その結果、合理的な λ の範囲は、0.25 から 0.52 であると報告している。小論においても、スキー場が Jクラブと同様の λ 範囲を想定するとして、雪デリバティブ価値に対する感応度分析を行う。

5.4 雪デリバティブの価値評価

上述の回帰分析、シミュレーション、及び、Wang 変換を利用してスキー場の企業価値、及び、市役所の事業価値へ雪デリバティブが与える影響について分析をする。ここで、雪デリバティブを利用することによる企業価値への影響 V (以下雪デリバティブの価値) は、以下の式(5)によりリスクヘッジを行った時の期待キャッシュフロー式(6)と、そうでない時の期待キャッシュフロー式(7)の差として計算する。

$$V = E^Q[NCF_{with_hedge}] - E^Q[NCF_{without_hedge}] \quad (5)$$

ここで、

$$NCF_{with_hedge} = NCF_{without_hedge} - premium + payoff$$

であり、 NCF_{with_hedge} は雪デリバティブによるヘッジを行う場合のキャッシュフロー、 $NCF_{without_hedge}$ は雪デリバティブによるヘッジを行わない場合のキャッシュフロー(4.1 節及び 4.2 節参照)、 $premium$ は雪デリバティブのプレミアム(5.2 節参照)、 $payoff$ は雪デリバティブのペイオフ(5.1 節参照)である。

雪デリバティブによるヘッジを行った時の期待キ

22 アンケート調査票では、仮想的なチームについて、1試合あたりの観客動員数があるいは、収入が多い場合と少ない場合との2通りであるベルヌーイ事象に従うとした場合、多い場合と少ない場合で差が多いシナリオと少ないシナリオ、例えば、50%の確率で30,000人、50%の確率で10,000人となるシナリオ、あるいは、50%の確率で25,000人、50%の確率で15,000人となる場合にどちらの

シナリオを愛好するかJクラブの経営者に対して質問をした。経営者がリスク回避的であれば、当該例で言えば、後者の差の少ない方を選択する。そして、観客動員数が多くなる確率を増加し、少なくなる確率を10%ずつ変化させた場合、どのポイントでシナリオの愛好が、差の多い方に移るかによりリスク回避係数を計算した。

キャッシュフローは

$$\begin{aligned}
 & E^Q \left[NCF_{without_hedge} \right] \\
 &= \sum_{i=1}^I NCF_{without_hedge,i} f^Q \left(NCF_{without_hedge,i} \right) \\
 & f^Q \left(NCF_{without_hedge,i} \right) \\
 &= F^Q \left(NCF_{without_hedge,i} \right) - F^Q \left(NCF_{without_hedge,i-1} \right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

また、ヘッジを行わなかった時の期待キャッシュフローは

$$\begin{aligned}
 & E^Q \left[NCF_{with_hedge} \right] \\
 &= \sum_{i=1}^I NCF_{with_hedge,i} f^Q \left(NCF_{with_hedge,i} \right) \\
 & f^Q \left(NCF_{with_hedge,i} \right) \\
 &= F^Q \left(NCF_{with_hedge,i} \right) - F^Q \left(NCF_{with_hedge,i-1} \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

と計算される。

ここで、添え字の i は、モンテカルロシミュレーションによって発生させたパスのうち、 i 番目に小さいネットキャッシュフローである。 $E^Q[\cdot]$ は、Wang 変換により求められたリスク中立測度下での期待値演算子である。式(5) によって求められた雪デリバティブの価値が正であれば、雪デリバティブを利用することが推奨され、負であれば、雪デリバティブによるリスクマネジメント手法は推奨されない。

式(5) を利用して計算した、スキー場及び市役所にとっての雪デリバティブの価値は、表 5 及び表 6 に示すとおりである。

表 5 に示した分析の結果、安全割増が 10% の場合でリスク回避係数が 0.4 以上の経営者であれば、当該雪デリバティブを利用することによりスキー場の企業価値向上にあたりメリットがある。リスク回避係数が、0.25 程度の経営者であれば、5% 以下の安全割増でなければメリットが得られないことが理解される。安全割増が、20% である場合には、リスク回避係数が 0.7 程度のリスク回避度が高い経営者でなければ、メリットが得られないことが理解される。

現在、日本の損害保険会社から提供されている天候保険に見られる 60% の安全割増²³ の場合、経営者がいかにリスク回避的であったとしても、当該雪デリバティブの利用は支持されない事が理解できる。

表 5：リスク回避係数 λ 及び安全割増とスキー場にとっての雪デリバティブの価値

λ	安全割増					
	0%	5%	10%	15%	20%	60%
0.0	0	(3,291)	(6,583)	(9,874)	(13,166)	(39,497)
0.1	1,318	(1,973)	(5,265)	(8,556)	(11,847)	(38,179)
0.2	2,889	(402)	(3,694)	(6,985)	(10,277)	(36,608)
0.25	3,772	480	(2,811)	(6,103)	(9,394)	(35,726)
0.3	4,720	1,428	(1,863)	(5,155)	(8,446)	(34,777)
0.4	6,815	3,524	232	(3,059)	(6,350)	(32,682)
0.5	9,177	5,886	2,594	(697)	(3,988)	(30,320)
0.52	9,682	6,390	3,099	(193)	(3,484)	(29,816)
0.6	11,805	8,513	5,222	1,930	(1,361)	(27,693)
0.7	14,693	11,401	8,110	4,818	1,527	(24,805)
0.8	17,834	14,543	11,252	7,960	4,669	(21,663)
0.9	21,220	17,929	14,637	11,346	8,055	(18,277)
1.0	24,838	21,546	18,255	14,964	11,672	(14,659)

注：1 列目は、意思決定者のリスク回避係数 λ の大きさを、2 行目は安全割増の大きさを示す。つまり、5% の安全割増は、 $1.05 \times E^P [\text{Max} (1,940,000 \text{ JPY} \times (2.3 - S), 0)] = 1.05 \times 65,820 = 69,111$ のプレミアムを意味する。価値（プレミアム）が太字であるのは、リスク回避係数がアンケート調査の結果最も妥当なリスク回避係数の範囲内、0.25-0.52、にある場合の雪デリバティブ価値であることを示している。（出典：Ito, Ai, and Ozawa 2015）

表 6：リスク回避係数 λ 及び安全割増と市役所にとっての雪デリバティブの価値

λ	安全割増					
	0%	5%	10%	15%	20%	60%
0	0	3,292	6,583	9,875	13,166	39,497
0.1	7,382	10,674	13,965	17,257	20,548	46,879
0.2	14,221	17,513	20,804	24,095	27,387	53,718
0.25	17,437	20,728	24,020	27,311	30,603	56,934
0.3	20,519	23,810	27,101	30,393	33,684	60,016
0.4	26,279	29,571	32,862	36,154	39,445	65,776
0.5	31,515	34,807	38,098	41,389	44,681	71,012
0.52	32,501	35,792	39,084	42,375	45,667	71,998
0.6	36,242	39,533	42,824	46,116	49,407	75,739
0.7	40,478	43,770	47,061	50,353	53,644	79,975
0.8	44,249	47,540	50,831	54,123	57,414	83,746
0.9	47,580	50,872	54,163	57,455	60,746	87,077
1	50,502	53,793	57,085	60,376	63,668	89,999

注：1 列目は、意思決定者のリスク回避係数 λ の大きさを示す。2 行目は安全割増の大きさを示す。つまり、5% の安全割増は、 $1.05 \times E^P [\text{Max} (1,940,000 \text{ JPY} \times (2.3 - S), 0)] = 1.05 \times 65,820 = 69,111$ のプレミアムを意味する。雪デリバティブのプレミアムが太字は、リスク回避係数が、アンケート

23 Ito, Ai, and Ozawa (2015)による。

ート調査の結果最も妥当なリスク回避係数の範囲内、0.25-0.52、であった場合の雪デリバティブ価値である。(出典：Ito, Ai, and Ozawa 2015)

また、市役所にとっての当該雪デリバティブの価値は、表6が示すように、どのようなリスク回避係数かつ安全割増であってもメリットがあることが理解される。これは、市役所がプットオプションの売り手となっているため、安全割増が高ければ高いほど、市役所が受け取るプレミアムが高くなるためである。またプットオプションの売り手であっても、この雪デリバティブを利用することにより、ネットキャッシュフローのばらつきを低減させることができるため、市役所のリスク回避数が高ければ高いほど、雪デリバティブ利用のメリットが大きくなるためである。

以上の価値分析の結果から、安全割増が5%から10%程度であれば、雪デリバティブはスキー場経営者及び市役所の双方を利する契約であることが理解される。5%から10%の安全割増では、天候保険の実現性が低く、天候デリバティブ市場取引も行われていないため実現性が低い。これに対し、この小論で提案するような雪デリバティブであれば、仮に5%の安全割増であっても、保険の売り手である市役所にとってメリットがあるため、この雪デリバティブの実現可能性はあると考えられる。

6. おわりに

小論では、最深積雪のデータを利用して積雪量が与えるスキー場及び市役所へ与える財務的な影響について導入的な研究を行った。分析の結果、市役所は最深積雪が増えれば増えるほど、収益が下がるものの、スキー場では、最深積雪と来客数の関係が逆U字型の関係であることに注目して、来客数が最大となる最深積雪以下であった場合にペイオフを得られるプットオプションと同様のペイオフを持つ雪デリバティブをデザインした。スキー場が雪デリバティブの買い手、市役所が売り手となることにより、安全割増が5%から10%であれば、双方ともに利する契約となることが理解された。安全割増が5%から10%である契約は、保険会社などを仲介する場合、現在利用可能な天候保険契約の安全割増率が60%程度であることから、その利用は非常に難しいと考えられる。しかし、本論で展開した相対取引による雪デリバティブを利用することが可能になれば、充分に実現可能性のある安全割増であると考えられる。

今後の研究課題としては、小論では、100%ヘッジを仮定していたが、雪デリバティブの価格ごと、及び、スキー場経営者ごとに異なるリスク回避係数に対す

る最適なヘッジ比率の分析や、より効果的な積雪リスクのヘッジを可能とするため、雪デリバティブの原資産についても、最深積雪以上に適切なものがあるかなどについてさらに考察を加えたい。また、雪デリバティブ以外にも、人工降雪や人工造雪などを利用した積雪リスクマネジメントも考えられるため、これらとの比較の上、どちらが、どのような場合にメリットが大きいか考察したい。さらに、小論では、二次関数を利用して積雪量とスキー場来客数との関係を定式化した。セグメント回帰や、平滑化回帰などの、他の非線形関数を利用することによって、より当てはまりのよいモデル構築も試みたい。

参考文献

1. Bank, M. And Wiesner R. (2011). Determinants of Weather Derivatives Usage in the Austrarian Winter Tourism Industry. *Tourism Managmeent*, 32, 62-68.
2. Climetrix (2010) <https://www.climetrix.com/WeatherMarket/MarketOverview/>
3. Chinacarini, Ludwig (2011), "No Chills or Burns from Temperature Surprises: An Empirical Analysis of the Weather Derivatives Market," *The Journal of Futures Markets*, 31(1), 1-33.
4. Gerber, Hans U. and Elias S.W. Shiu (1995), "An Actuarial Bridge to Option Pricing," *Securitization of Insurance Risk: The 1995 Bowles Symposium*, 45-62.
5. Golden, Linda L., Mulong Wang, and Chuanhou Yang (2007), "Handling Weather Related Risks through the Financial Markets: Considerations of Credit Risk, Basis Risk and Hedging," *The Journal of Risk and Insurance*, 74(2), 319-346.
6. Ito, Haruyoshi, Jing Ai, and Akihiko Ozawa (2015), "Manging Weather Risks: The Case of J. League Soccer Teams in Japan," *Journal of Risk and Insurance, forthcoming*.
7. Labuschagne, Coenraad C.A. and Theresa M. Offwood (2010), "A Note on the Connection between the Esscher-Girsanov Transform and the Wang Transform," *Insurance: Mathematics and Economics*, 47(3), 385-390.
8. Vedenov, Dmitry V. and Barry J. Barnett (2004), Efficiency of Weather Derivatives as Primary Crop Insurance Instruments," *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 29(3), 387-403.
9. Wang, Shaun S. (2000), "A Class of Distortion Operators for Pricing Financial and Insurance Risks," *Journal of Risk and Insurance*, 67(1), 15-36.
10. Wang, Shaun S. (2002), "A Universal Framework for Pricing Financial and Insurance Risks," *ASTIN Bulletin*, 32(2), 213-234.

付録：Wang 変換にかんする補足説明

本文中の(4)式、Wang 変換にかんする式を以下に再掲する。

$$F^Q(x) = \Phi\left(\Phi^{-1}\left(F^P(x)\right) + \lambda\right) \quad (8)$$

ここで、 $F^Q(x)$ は、リスク中立確率測度(Q 測度)下で

の累積分布関数(CDF)である。 $F^P(x)$ は、実確率測度(P 測度)下での CDF である。 $\Phi(\cdot)$ は、標準正規分布の CDF である。 $\Phi^{-1}(\cdot)$ は、 $\Phi(\cdot)$ の逆関数である。 λ は、意思決定者のリスク回避係数である。

式(4)の直感的理解のために Wang 変換を図 A を利用して説明する。

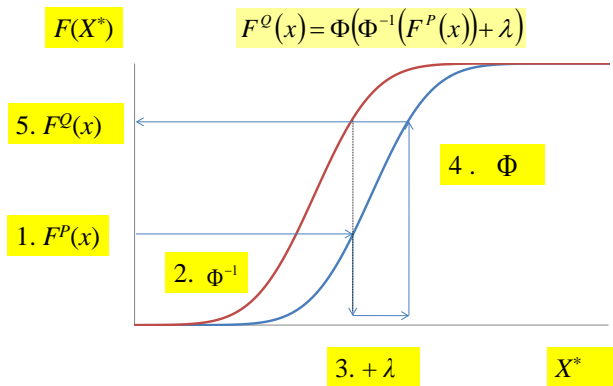


図 A : Wang 変換のメカニズム

ここで、確率変数 X が x 以下となるリスク中立確率、 $\Pr^Q(X < x)$ を計算することを考える。まず、図 A の 1 に示されているように、実確率測度下で、確率変数 X が x 以下になる確率、 $F^P(x) = \Pr^P(X < x)$ を計算する。これは、モンテカルロシミュレーションの結果や、実確率測度下での CDF が既知であれば、その CDF から与えられる。次に、図 A の 2 に示されているように、1 において計算された確率を、 $\Phi^{-1}(\cdot)$ に代入し、平均が 0、標準偏差が 1 である標準化された確率変数 X^* を求める。そして、3 に示されているように、当該 X^* にリスク回避係数 λ を足し合わせる。そして、図 A の 4 に示されているように $\Phi(\cdot)$ に $X^* + \lambda$ を代入し、標準正規分布の累積分布関数から確率を計算する。当該確率が、確率変数 X が x 以下となるリスク中立確率、 $\Pr^Q(X < x)$ 、 $F^Q(x)$ である。

小論の研究のように、確率変数 X が離散であれば、取りうる全ての $x \in X$ について上述の計算を行うことにより、リスク中立確率測度下の累積分布関数を導くことができる。結果として、意思決定者がリスク回避的、つまり、 λ が正であれば、青色(右)の累積分布関数から、赤色(左)の累積分布関数になり、累積分布関数は、左へシフトする。累積分布関数が左へシフトすることは、意思決定者が、確率変数 X が低い値になる確率を低く見積もり、つまり、意思決定者にとって好まれない結果となる主観的確率が大きく、意思決定者が、確率変数 X が高い値が実現する確率を低く見積もる、つまり、意思決定者にとって好まれる結果

が生じる主観的確率が低いことを示している。 λ が大きくなればなるほど、より大きく累積分布関数は左へシフトし、よりリスク回避的な意思決定者を想定していることがここからも理解される。

また、このように累積分布関数をシフトさせ、リスク中立確率分布を計算する意義は、以下のようなことが考えられる。

まず、市場の完備性が満たされている場合には、リスク中立確率が一意に決まるため、リスク中立確率分布を Wang 変換などを利用して求める必要はなく、Black = Scholes = Merton モデルなどを利用してデリバティブの価値計算をすることが可能である。しかしながら、小論における雪デリバティブなどは、原資産である積雪量が、市場では取引されておらず、完備性が満たされていない場合には、リスク中立確率が一意に決まらないため、何らかの方法でリスク中立確率を決定する方法が必要である。

また、以上のような場合であっても、実確率分布をそのまま利用して、デリバティブの価値計算を行うことは、理論的には可能であるが、その場合には、適切なリスクプレミアムを上乗せした割引率を推計して、価値計算を行う必要がある。リスクプレミアムの推計には、CAPM などが利用されるが、その場合には、将来のキャッシュフローと、市場ポートフォリオからのリターンとの相関がわかっている必要がなく、実務への適用は難しい。また、キャッシュフローが多期間にわたる場合には、それぞれの期間において、時間選好などを考慮して異なるリスクプレミアムを推計しなければならないことから、リスクプレミアムを推計して、デリバティブの価値計算を行う方法は実務的に困難であると考えられる。

一方で、Wang 変換などを利用して、リスク中立確率を計算した場合には、安全利子率を利用した評価が可能である。デリバティブのキャッシュフローが多期間にわたる場合であっても、国債等の価格から導かれる金利の期間構造を利用しての評価が可能である。そのため、分布を変える方法を利用することにより、リスクプレミアム推計の煩雑さを減らすことができる。

さらに、期待キャッシュフローが 0 であるようなデリバティブの評価の際には、どのようなリスクプレミアムを利用しても、デリバティブの価値は 0 になってしまう。このような場合であっても、Wang 変換を利用することにより、リスク回避性を評価に織り込み、投資のリスク特性を考慮した、デリバティブの適切な価値計算が可能になる。

記録: **JAROS2015 研究発表大会 第10回**
National Conference of Japan Association of Real Options and Strategy

日時: 2015年10月24日、25日(土日開催)
 場所: 国際大学 新潟県南魚沼市国際町777番地
 協賛: 日本感性工学会、早稲田大学ファイナンス研究センター

大会プログラム

10月24日(土)

研究報告 9:45-11:00

A会場 応用研究1

座長: 佐藤 公俊 (神奈川大学)

「残余利益モデルで推定する株式のリアルオプション価値」
 佐藤 清和 (金沢大学)・大谷 毅 (信州大学)

“Over investment under the low interest rate environment:
 A real options and behavioral economic approach”
 山田 哲也 (日本銀行)

「天候デリバティブを利用した降雪リスクマネジメント: 新潟県のスキー場及び市役所における事例研究」
 伊藤 晴祥 (国際大学)

B会場 応用研究2

座長: 八木 恭子 (首都大学東京)

「住宅所有と賃貸の経済性比較の考察—リアルオプションの観点より—」
 青木 克人 (三井住友信託銀行株式会社)

『「価値創造のイノベーションと戦略部会」から得られる示唆についての研究」
 松尾 雄治 (マイルストーンアセットマネジメント)・
 小林 孝明 (野村総合研究所)

「LVMHによるBULGARI買収の効果」
 高橋 正人 (信州大学)・吉岡 佑磨 (信州大学)・松村 嘉之 (信州大学)・森川 英明 (信州大学)・大谷 毅 (信州大学)

11:05-12:05

役員・評議員会 (本部棟1階大会議室)

ビジネスモデル特別セッション (A会場)

12:15-13:45

「JBMCで世界を目指そう！」

大江 建 氏 早稲田大学研究推進参与、
 平松 康三 氏 小僧COM代表取締役会長

セミナー:

地方創生と価値創造イノベーション (A会場)

司会: 大谷 毅 (信州大学)

14:00-15:15

「地方創生と企業家精神—新潟地域における企業家と企業家教育—」

丸山 一芳 氏 事業創造大学院大学 事業創造研究科 准教授

15:30-16:45

「デザインの思考とイノベーション」

岩佐 十良 氏 里山十帖 クリエイティブ・ディレクター 自遊人代表取締役

17:00-17:30

総会 (102教室)

18:00-20:00

懇親会 (研究所1階ロビー)

10月25日(日)

セミナー:

地方創生と価値創造イノベーション (A会場)

司会: 長谷川 専 (三菱総合研究所 社会公共マネジメント研究本部 地域研究グループ 主席研究員)

10:00-11:15

「龍言におけるサービスの生産性向上の取り組みと価値創造」

宇津木 洋行 氏 温泉御宿龍言 室長

基調講演 (A会場)

11:30-12:45

司会: 長谷川 専 (三菱総合研究所 社会公共マネジメント研究本部 地域研究グループ 主席研究員)

“Quiddity-capturing and rational choice theory”

加瀬 公夫 氏 国際大学 学長

研究報告

14:00-15:15

A会場 査読セッション

座長：高嶋 隆太（東京理科大学）

“Valuation of Hong Kong REIT based on Risk Sensitive Value Measure Method”

班 爛（名古屋市立大学）・三澤 哲也（名古屋市立大学）・宮原 孝夫（名古屋市立大学）

「価格の不確実性を考慮した購買行動モデル- リアルオプション・アプローチ -」

鈴木 広人（早稲田大学）・後藤 允（北海道大学）・大野 高裕（早稲田大学）

「特許取得競争における提携オプションの評価」

板垣 陽介（慶應義塾大学）・今井 潤一（慶應義塾大学）

B 会場 リスク評価

座長：董 晶輝（東洋大学）

“Optimal Project Size under the Risk Sensitive Measure”

竹澤 直哉（南山大学）

「物価連動債の元本保証：そのオプション価値」

森平 爽一郎（早稲田大学）・湯山 智教（早稲田大学）

「地震リスクの地域別格差と保険料率について」

小倉 宏之（東京工業大学・日本経営数理コンサルティング）

15:30-16:45

A 会場 査読セッション, エネルギー

座長：山田 哲也（日本銀行）

「コミュニティのエネルギーマネジメント事業のシステム・デザイン」

高森 寛（早稲田大学）・呉 瑛祿（シーエスデー）・長坂 研（東京農工大学）

“Evaluation of Market Premium Options in Feed-in Tariff”

高嶋 隆太（東京理科大学）・田村 雄太（東京工業大学）

「電源のオプション価値評価とドイツ電気事業者のヘッジ戦略」

遠藤 操（電力中央研究所）

B 会場 理論研究

座長：竹澤 直哉（南山大学）

「算術ブラウン運動に従う原資産とそのオプション価格決定モデルとその応用」

森平 爽一郎（早稲田大学）

“Towards a Credit Valuation of the Counter Parties Issuing Credit Default Swaps with their Assets and Liabilities Structures”

鈴木 輝好（北海道大学）・八木 恭子（首都大学東京）

「跳躍拡散過程でのリアルオプション・モデルの特性」

董 晶輝（東洋大学）・飯原 慶雄

CALL FOR PAPER
INTERNATIONAL JOURNAL OF REAL OPTIONS AND STRATEGY
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ijros/>

The International Journal of Real Options and Strategy (Online ISSN 2186- 4667) is a peer-reviewed and open access journal that publishes theoretical and application-oriented articles in areas of real options, strategy and related themes. Digitized scholarly articles in this Journal can be accessed from anywhere in the world via J-Stage, Japan Science and Technology Information Aggregator, Electronic. Please visit the site: http://www.realopn.com/association_index, for submission of papers.

Themes and topics that are welcome for this Journal :

Theories, applications, Empirical Studies and Case Studied on Real Investment, Strategy, Risk Analysis, Valuations, Insurance, Games, Agency Problems, Infrastructure Policy

Papers that appeared in recent Volume 2 issued in December 10, 2014

Jing-Hui Dong, Yoshio Iihara, “The Optimal Timing of an Announcement for a Merger and Acquisition”

論文誌「リアルオプション研究」掲載の論文リスト

日本リアルオプション学会は、査読付論文誌「リアルオプション研究」(英文名称: Journal of Real Options and Strategy) を発刊しております。電子ジャーナル化されて、国内外に広く、公開されております。

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/realopn>

リアルオプション研究 Vol. 7(2015) No. 1

董 晶輝, 飯原 慶雄. 2変数リアルオプション・モデルの比較静学分析, p. 1-11

リアルオプション研究 Vol. 6(2013) No. 1

鈴木 映, 中岡 英隆. 出版ビジネスにおける利益マネジメントの最適化: 印刷オプションを考慮した最適刷部数決定モデル, p. 1-15

末次 浩詩, 本谷 高寛, 小久保 欣哉. リアルオプションを活用した医薬品開発プロジェクトのポートフォリオ設計フレームワーク, p. 17-29

リアルオプション研究 Vol. 5(2012) No. 1

廣瀬 高史, 宮内 肇, 三澤 哲也. リアルオプションを考慮したRNPVプロビットモデルに基づく火力発電事業価値評価, P 1-18

伊藤 晴祥, 小澤 昭彦. 天候デリバティブによるリスクマネジメントの効率性の検証: Jリーグにおけるケーススタディ, P 19-46

リアルオプション研究 Vol. 5(2012) No. 2

Naoya Takezawa. An Option Evaluation of being Socially Responsible from a Market Perspective, p. 47-63

伊藤 晴祥, 小澤 昭彦, 山田 憲司. 保険商品及び証券化商品による怪我のリスクマネジメントに関する一考察: Jリーグにおける事例研究, p. 65-95

リアルオプション研究 Vol. 4(2011) No. 1

川地 由也, 今井 潤一. フランチャイズビジネスにおける最適契約~商品の廃棄を考慮したロイヤリティ形態の比較~, P 1-32

董 晶輝, 飯原 慶雄. 跳躍拡散過程での取り替えモデル, P 33-46

小田 潤一郎, 高嶋 隆太. キャップ割当スキームの不確実性が電源投資に与える影響評価, P 47-60

宮口 直也, 後藤 允, 大野 高裕. テクノロジーミックスを考慮した電力需要の不確実性に基づく二部料金の評価, p 61-76

加藤 敦. 切替オプションの高度化—対日オフショア開発と中国ソフトウェア企業の戦略—, P 77-100

小濱 真, 安達 毅, 所 千晴. 日本近海における海底熱水鉱床開発のリアルオプション分析, P 101-116

Mikael Collan and Jani Kinnunen. A Procedure for the Rapid Pre-acquisition Screening of Target Companies Using the Pay-off Method for Real Option Valuation, P 117-141

リアルオプション研究 Vol. 4(2011) No. 2

Daiki Yamashita, Ryuichi Yokoyama, Takahide Niimura, Hiroshi Takamori. Model for Policy Assessment to Facilitate the Proliferation of Electric Vehicles: For Strategic Evaluations of Infrastructure Investment, P 143-157

董 晶輝, 飯原 慶雄. リアルオプション・モデルの投資決定基準, P 159-167

青木 一生, 今井 潤一. ゲーム理論的リアルオプション・アプローチによる中小企業と大企業の特許権取得競争分析, P 169-206

論文誌「リアルオプション研究」掲載の論文リスト (続き)

リアルオプション研究 Vol. 3(2010) No. 1

三輪 昌隆, 宮原 孝夫. 設備維持管理計画の価値評価に対する制御マルコフ過程によるリアルオプション・アプローチ, P 1-23.

Naoya Takezawa, Katsushige Sawaki and Marc Bremer. Foreign Direct Investment, Real Options and Expropriation under Incomplete Information: Theory and Example. P 25-39

浅川 博人. 公共料金プライスカップ水準のリアルオプション分析, P 41-62.

浅川 博人. ガス料金における原料費調整制度のリアルオプション分析, P 63-76.

宮口 直也, 後藤 允, 大野 高裕. 電力需要の不確実性に基づく二部料金の評価, P 77-93.

飯田 直樹. 農業分野でのデリバティブ利用と課題, P 95-106.

前田 康成, 鈴木 正清, 中垣 淳, 桂 耕史, 門井 俊機, 加室 吉晴. 外部要因を考慮したマルコフ決定過程の個人融資における限度額の設定戦略への適用, P 107-122.

大川 雅也, 馬 文傑. 合併の株価効果と合併オプション価値・シナジー効果価値の関係についての実証分析, P 123-138.

村内 佳子, 湊 隆幸. プロジェクト価値の評価モデル: プリペイメント, リスケジュールを考慮したプロジェクト評価, P 139-157.

リアルオプション研究 Vol. 3(2010) No. 2

北原 康富. 財務モデルの動的かつ対話型表現を用いた意思決定支援システムの研究, P 159-183.

Yoshio Miyahara. Risk-Sensitive Value Measure Method for Projects Evaluation, P 185-204.

堀内 晃, 磯部 航太, 茂木 源人. 複占市場における企業の最適戦略と防衛投資: 競合下での製造事業の戦略解析, P 205-225.

リアルオプション研究 Vol. 2(2009)

村内 佳子, 湊 隆幸. プロジェクト価値の評価モデル—デフォルトリスクを考慮したプロジェクト評価—, P 1-31.

堀内 晃, 磯部 航太, 茂木 源人. 競合下の設備拡張オプションを有する LNG タンカー用特殊合金製造事業の最適戦略, P 33-63.

今井 潤一. マルコフ完全均衡と離散選択モデルを用いたイノベーションのジレンマの分析, P 65-87.

リアルオプション研究 Vol. 1(2008)

高嶋 隆太, 宮口 直也, 後藤 允. 不確実性下における発電プラントの投資評価: 投資率変更オプションとスパークスプレッド・オプション, P 1-17.

陳 光, 前川 俊一. 規模を考慮した複占競争リアルオプション・モデル, P 19-45.

江本 麗行, 三澤 哲也. 限界効用による気温オプションの価格付けとリスク感度分析, P 47-67.

中岡 英隆. 原油・ガス E&P 事業の埋蔵量リスクとオプション評価, P 69-95.

董 晶輝, 飯原 慶雄. 跳躍拡散過程での投資決定, P 97-118.

Papers that appeared in the International Journal of Real Options and Strategy

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ijros/>

The International Journal of Real Options and Strategy (Online ISSN 2186- 4667) is a peer-reviewed and open access journal that publishes theoretical and application-oriented articles in areas of real options, strategy and related themes.

Vol. 2 (2014) p. 1-12, Released: December 10, 2014

Jing-Hui Dong, Yoshio Iihara.

The Optimal Timing of an Announcement for a Merger and Acquisition.

Vol. 1 (2013) p. 1-12, Released: July 17, 2013

Motoh Tsujimura. Assessing Alternative R&D Investment Projects under Uncertainty.

Daiki Yamashita, Takahide Niimura, Hiroshi Takamori, Ti Wang, Ryuichi Yokoyama.

Plug-in Electric Vehicle Markets and Their Infrastructure Investment Policies under Fuel Economy Uncertainty.

Makoto Goto and Ryuta Takashima.

Investment, Capacity Choice and Outsourcing Options under Uncertainty.

Tadashi Uratani and Masanori Ozawa.

A Simple Model of the Japanese Public Pension System and the Risk Management by an Option Hedging Strategy

学会だより

● 本機関誌へのご寄稿のお願い

本機関誌は、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、社会へ向けての情報発信のメディアとして、2015年度からは、年4回刊行の季刊といたします。それとともに、学会主催の公開研究会を、より頻繁に開催し、その講演要旨を掲載します。また、掲載記事の種類を多様化して、査読論文のセクションも設けます。また、電子ジャーナル・プラットフォーム「J-Stage-Web 掲載」に登録されるよう、近く、申請する予定です。学会ホームページに、機関誌への投稿用のフォームを設置します。次のような短い記事も歓迎します。

- 会員が最近出版された図書を紹介
- 会員近況、研究室紹介、最近取り組んでいる研究テーマ等に関する話題
- 本学会会員にとって興味深い社会、産業界でのイベントや事件、企業買収やM&Aのケースなど

● JAROS2016 研究発表大会について

2016年度の研究発表大会は、2016年11月19日（土）、20（日）に、中央大学後樂園キャンパスで開催される予定です。実行委員長は、鳥海重喜氏（中央大学）、実行副委員長は高嶋隆太氏（東京理科大学）です。

● 学会創設十周年について

本学会は、2006年7月28日に創設されました。2016年は、創設十周年の年にあたります。

● 会員データの確認と更新のお願い

会員の皆様をお願いいたします。「メールアドレス」や、「学会からの郵便物の宛先」が変わっていて、学会から連絡が取れなくなっていらっしゃる方がいられます。このほか、ご所属の変更や、会員身分（学生会員、あるいは、正会員）の変更など、ご本人からのお届けがないかぎり、学会は、データ変更をできません。これらの更新のお届けは、学会ホームページの「各種届出」ページから、「変更届けの用紙」をダウンロードして、ご記入のうえ、事務局へのメール添付などをお願いいたします。

編集後記

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」の第7巻第3号をお届け致します。本号では、機関誌テンプレートの改訂により、従前より盛りだくさんの記事の掲載を行うことができました。まず、公開研究会の講演要旨、JAROS2015 研究発表大会の基調講演要旨を講演者の武藤社長、加瀬国際大学学長に執筆して頂きました。そして、前号に引き続いて編集委員会から寄稿をお願いした宮原先生の研究ノートと伊藤先生のリアルオプション事例研究の解説を掲載致しました。宮原先生の連載研究ノートは次号にて完結の予定です。さらに、前号に引き続き、査読済み論文として2篇の論文を採択し、森平先生と伊藤先生の論文を掲載致しました。また、JAROS2015 研究発表大会のプログラムやJAROS 論文誌掲載の論文リスト、学会だよりなど学会関連情報も数多く掲載することができました。

次号第8巻第1号は来年1月に刊行予定ですが、本号の「本機関誌へのご寄稿のお願い」にもありますように、査読論文をはじめとして、リアルオプション研究に寄与するさまざまな Short paper の投稿をお願い致します。

中岡英隆

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7巻 第3号

2015年10月31日 発行

(機関誌編集委員会)

委員長：高森寛

委員：森平爽一郎、中岡英隆、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

事務局本部：

〒103-0027

東京都中央区日本橋1-4-1 日本橋1丁目ビル5F

早稲田大学ファイナンス研究センター

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

Reviewed Papers, Vol. 7, No. 3

- Option Pricing Models: The Review of Literatures (1) Bachelier (1900) Model
[Soichiro Moridaira] ————— 22
- Managing Snow Risks: The Case of City Governments and Ski Resorts
[Haruyoshi Ito] ————— 32



<http://realopn.jp>

早稲田大学ファイナンス研究センター
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-4-1 日本橋1丁目ビル5F