

リアルオプションと戦略

2019 March

Vol. 10 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

マネジメントの意思決定とリアルオプション思考 [中岡 英隆] ————— 1

講演要旨

公開
研究会
2018

全社一丸 イノベーションによる企業価値向上 [水谷 浩二・米崎 道明] ————— 2
〜クレスコ飛躍への道〜

わが国におけるESG投資の現状と展望 [小方 信幸] ————— 8

大会
JAROS
2018

パネルディスカッション
サステイナブル時代の企業経営と社会課題解決型ビジネス ————— 19
[芝川 正・小方 信幸・河本 光明・小林 孝明]

リアルオプション分析におけるソフトウェアの活用 [今井 潤一] ————— 27
〜R, PythonからIBM Watsonまで〜

JAROS 2018 研究発表大会ルポ [伊藤 晴祥] ————— 32

シナジー効果とリスク分散を考慮したリアルオプション手法による
合併・買収の評価モデルについて [佐藤 公俊・澤木 勝茂・八木 恭子] ————— 35

寄稿

一定消費を保障する資産配分戦略の検証 [鶴谷 俊行] ————— 42

ランダム環境の下でのプロジェクトの価値評価法 [宮原 孝夫] ————— 58

学会ニュース

第10巻 第3号

目 次

巻頭言

マネジメントの意思決定とリアルオプション思考	中岡 英隆	1
------------------------------	-------	---

公開研究会 講演要旨

全社一丸 イノベーションによる企業価値向上	水谷 浩二・米崎 道明	2
～クレスコ飛躍への道～		

JAROS 2018 研究発表大会 講演要旨

〈基調講演:セミナー「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」より〉		
わが国におけるESG投資の現状と展望	小方 信幸	8
〈パネル討論:セミナー「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」より〉		
パネルディスカッション		
サステナブル時代の企業経営と社会課題解決型ビジネス	芝川 正・小方 信幸・河本 光明・小林 孝明	19
〈チュートリアルセッション〉		
リアルオプション分析におけるソフトウェアの活用	今井 潤一	27
～R, PythonからIBM Watsonまで～		
〈大会ルポ〉		
JAROS 2018 研究発表大会ルポ	伊藤 晴祥	32
〈基調講演:セミナー「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」より〉		
シナジー効果とリスク分散を考慮したリアルオプション手法による		
合併・買収の評価モデルについて	佐藤 公俊・澤木 勝茂・八木 恭子	35

寄稿

一定消費を保障する資産配分戦略の検証	鶴谷 俊行	42
〈研究メモ〉		
ランダム環境の下でのプロジェクトの価値評価法	宮原 孝夫	58

〈学会ニュース〉

編集後記	68
日本リアルオプション学会法人会員リスト	68

巻頭言

マネジメントの意思決定とリアルオプション思考

中岡 英隆

(多摩大学大学院客員教授)

2019 年 1 月 3 日付の日本経済新聞は、プロ野球西武からポスティングシステムで米大リーグ移籍を目指していた菊池雄星投手がマリナーズへの入団に合意したと報じた。その契約の内容は、2021 年までの 3 年総額 4300 万ドルの契約に、2022 年は 1300 万ドルの菊池側のオプションが付き、球団側は当初の 3 年の後に 4 年総額 6600 万ドルで契約延長のオプションを持ち、最大で 7 年総額 1 億 900 万ドルに達する可能性がある。不確実性の高いプロ野球投手のパフォーマンスを評価するには、やはりオプションの仕組みが最適である証しだ。

また、加藤創太国際大学教授は、東京財団の「財政と民主主義」研究で内閣の解散権をコールオプションとしてモデル化し、内閣支持率に加えて支持率の分散 (variance) が解散時期に与える影響を分析している。それによると、第 2 次安倍内閣の支持率は高支持率で分散が小さかったため、消費税先送りという世論受けする強力な操作ツールを使って「波乗り解散」を行い、早期解散に走ったことが合理的な判断であったことを示している。(2014 年 12 月 3 日付日経)

そして、長内厚早稲田大学准教授は、ダートマス大学のロン・アドナー教授たちの 2004 年のマネジメントの意思決定の手法に関する論文を引用し、不確実性が低い場合は古典的な NPV 法で、ある程度不確実性が高いときにはリアルオプションで、極めて不確実性が高い場合には NPV 法でもリアルオプションでもなく、Path dependent に意思決定するしかないとして、オプションが無数にありすぎて不確定な状況では NPV 法やリアルオプションを無理に使うと失敗すると指摘している。(2015 年 10 月 1 日付日経)

この問題については、リタ・マグレイスとイアン・マクミランは「アントレプレナーの戦略思考技術」(ダイヤモンド社、2002 年)において、プロのアントレプレナーはニュービジネスへの投資の意思決定をリアルオプションの思考プロセスに基づいて行うと指摘している。ニュービジネスのリスク・リターンは定量化することが難しく、伝統的なリアルオプションの手法では数理的に最適化を行うことが難しいことも多い。マグレイスたちは、このビジネスリスクを定性的に分析することにより、不確実性を「市場の

不確実性」と「技術の不確実性」の 2 軸のマトリクスで分類し、それぞれの不確実性に応じて「飛石型オプション」、「待機型オプション」、「偵察型オプション」、「基盤型参入オプション」、「増強型参入オプション」という異なる戦略が採用できることを示している。

不適切会計問題で巨額の赤字を計上した東芝は、虎の子の東芝メディカルシステムズや東芝メモリの売却により債務超過を免れたが、特に東芝メモリは 2 兆円もの高値で売却され、東芝の経営を救う救世主となった。マグレイスたちの「リアルオプション思考のオプション戦略」に照らし合わせてみれば、東芝本社のトップが拙いオプション戦略で坂道を転げ落ちる中で、東芝の半導体メモリ事業部がしたたかな先進オプション戦略で事業価値を高めてきたことがわかる。東芝はサムソンと NAND 型フラッシュメモリで世界首位の座を争ってきたが、2014 年にサムソンが次世代品の 3 次元フラッシュメモリを「基盤型参入」方式で一気に量産開始したのに対し、東芝は「3 次元フラッシュメモリはまだ生産性が低く市場が立ち上がっていない」として、当座は 2 次元の回路線幅を 19 ナノから 15 ナノに微細化したメモリで対抗し、3 次元については投資額を 5 千億円に抑制して 2016 年から生産開始する戦略に出た。東芝は「飛石型オプション」戦略でサムソンに対抗したのである。この結果、東芝は翌 2015 年に低迷した NAND 市況を乗り越え、2016 年にサムソンの 32 層を超える 48 層の 3 次元メモリの量産を開始、2018 年までの 3 年間にパートナーのウェスタンデジタル (WD) と併せて総額 1 兆 5 千億円の投資で 3 次元の比率を 8 割超に高め、併せて 64 層の 3 次元の量産開始によりサムソンを性能面で上回って大容量メモリの分野で先行する戦略へと転じたのである。ただ、WD の反対により東芝メモリの売却が遅れたため、メモリ市況の下落に直面している今、東芝メモリは新たな試練を迎えている。

マネジメントの役割が戦略オプションに対する不確実性下での意思決定の最適化であるとするれば、これはリアルオプションが提示する問題解決法そのものと合致することは言を俟たない。日本リアルオプション学会のさらなる貢献に期するところは大きい。

〈公開研究会 2018 年 11 月 27 日：講演要旨〉 於：野村総合研究所 会議室

全社一丸 イノベーションによる企業価値向上 ～クレスコ飛躍への道～

水谷 浩二（株式会社クレスコ 顧問、元副会長）

米崎 道明（同 グループ事業推進本部 広報 IR 推進室 室長）

水谷氏、米崎氏の紹介

水谷氏は、2011 年にクレスコ社（以下、当社）に入社し、「次世代クレスコ」の責任者として、当社の変革のリーダーとして戦略を実行してきました。また、米崎氏は当社の変遷を現場で体験してきました。本講演では、2001 年の東証 1 部への上場と IT バブルの崩壊、2008 年のリーマンショック、2011 年の「次世代クレスコ」の始動、といった様々な転換点における当社の状況と、「次世代クレスコ」始動後の同社の取り組みについてお話しいたします。

1. 米崎氏：クレスコ社の 30 年について

全社一丸となってイノベーションを志向し続けたことが、現在の当社につながっています。2017 年度で 30 周年を迎えました。この 30 年の節目をどのような思いで迎えたかということをお伝えしたいと思います。

当社は、企業理念として「クレスコ憲章」を掲げています。迷ったらここに帰るようにしています。

企業としては 10 年ごとに大きく変化しています。株式上場前の創業期の 10 年間、2001 年に東証 1 部に上場してからの 10 年間、2011 年から現在に至る 10 年間、これらの期間で大きく変わりました。創業期は、いわば準備の 10 年であり、次の 2001 年から 2011 年までの 10 年間は他の日本の IT 企業同様苦しみました。このようではありませんでしたが、グループ経営もスタートし、紆余曲折があった 30 年間でした。

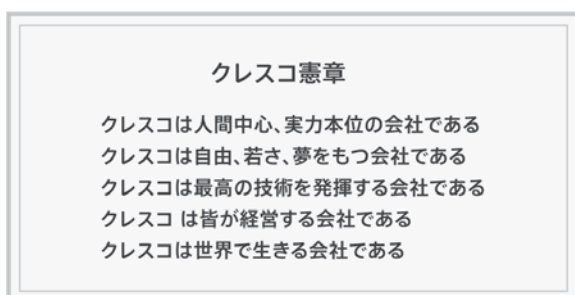


図 1 クレスコ憲章（出所：講演資料）

2. 水谷氏：「次世代クレスコ」について

2010 年に創業者である現会長の相談相手とし

て声がかかりました。2011 年 4 月から役員として入社し、「次世代クレスコ」の実行責任者として、社内の改革を進めました。その後、副社長、副会長を歴任しました。今回の講演は、ある一つのケーススタディとして聞いていただきたいと思います。

① イノベーションの目的

当社は、私が入社した時期の 2011 年 6 月期までの 5～6 年間の売上高は 150 億円前後で、社員数は 1,000～1,200 名程度でした。中堅ソフトウェア会社であり、この程度の規模と人員の会社は今でもたくさんあります。ここから抜け出すことを志向して、何をどう変えて行くかを考えました。

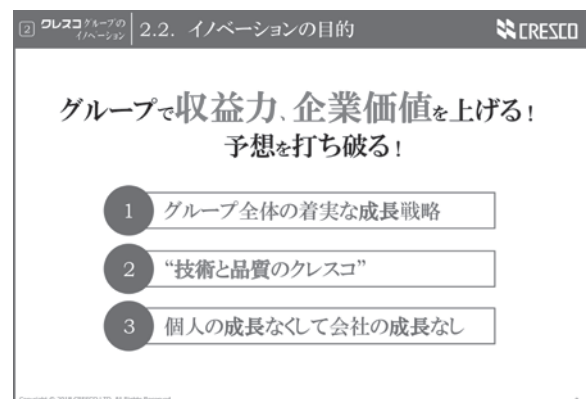


図 2 イノベーションの目的（出所：講演資料）

当時は営業利益が 8 億円程度しかありませんでした

た。ただしこれは当社だけの問題ではなく、業界全体の問題です。この業界の平均的な営業利益率は 5% 台と低いのですが、これが当たり前という市場と経営環境でした。営業利益率が 5% だと社員の給料をきちんと上げ続けられません。もし利益率が低いままで給料を上げると投資ができなくなってしまいます。給料を上げながら投資をして行くためにはどうすれば良いかを考えるのが経営者の仕事です。一度給与を上げると下げることにはできないのが日本の会社の現実なので、経営者は給料を上げることに慎重になります。また、一度社員を採用すると簡単にはリストラできないので、採用にとっても慎重になります。また、採用した人材に対してどのような研修をすれば一人前になるかということについても考えました。プロジェクトマネージャーとして生きていけるようになるには数年かかるので、採用や給料に加え、人を育てることにシビアにならざるを得ません。従業員は 1,000 名を超えるところで一つの壁があります。また、5 年後に女性の役員を出しようとして提案すると、候補者の母集団の伸びが小さく、および腰になる女性社員が多いのです。

売上高が 150 億円前後で、営業利益率が 5% の会社から営業利益率を 8% に上げるにはどうすれば良いのかを考えました。収益力をどう見るかが問題です。収益力を上げることで企業価値が上がります。そのためには現場にどのようなメッセージを現場に発信するのか、毎年給料を上げるためにはどうやって自分を成長させるか、また株式市場の予想をいかに良い意味で打ち破るか、ということなどを考えました。

② イノベーション「次世代クレスコ」

「次世代クレスコ」のビジョンの決定に当たっては 3 つの軸を、会長を中心に決めました。3 つの軸を 10 項目にかみ砕き、当時はノルマなどの厳格な売上げ目標を作らずに、まずは中堅 No.1、300 億くらいの売上げを目指そうということになりました。会長の発案で、10 項目をカードに記し、毎年カードの色を変えて全社員に配布しました。これだけのことをやったので、社員にも浸透する。現場中心でやってもらう。

「クレスコ憲章」をいかに実践させるかという点についても苦慮しました。なかなか実践まで行きません。現場まで浸透しません。現場はプロジェクト優先、顧客との関係を優先することになりがちです。グループ全体で成長するためには、「クレスコ憲章」だけではなく、グループの各企業がもう一段、理念を落とし込み、企業ごとの理念、

具体的目標を持つことが必要です。企業の前進には変化を伴います。その際、グループ全体を成長させるためには、赤字企業には退場してもらうことも必要となります。着実な成長戦略を各企業に練ってもらいました。今ある技術で、どうやって食べて、成長していくか、どうやってグループでシナジーを出すのかを考えてもらいました。できない企業とは縁を切ると宣言し実行しました。やったことがないことはできない、やったことのあることで「何が足りないか」を考えてもらいました。

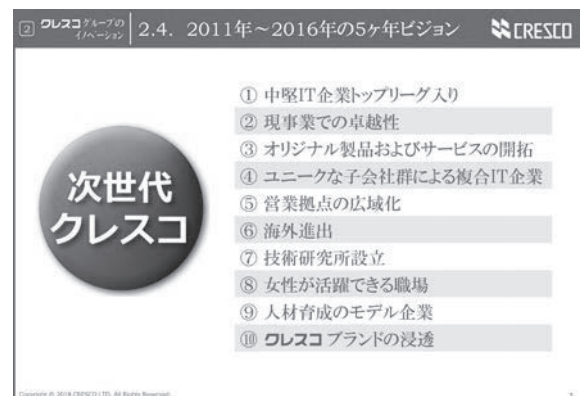


図 3 次世代クレスコ (出所: 講演資料)

どうやったら 1 つずつのビジネスで営業利益を上げられるか、その年のプロジェクトのトップ 20 について自ら検証してみました。採算性の悪いプロジェクトには、過去のしがらみがつきものです。これが利益を損なっています。この悪しき慣行を契約更新時に変えようとする、現場の人は取引先との関係悪化を怖がります。それならば、ということで直接交渉に行こうと提案すると、現場の人はもっと嫌がります。頭ごなしに値上げの再交渉をすることは、担当社員にとっては最大の侮辱となります。結果として複数件、大口顧客との縁を切りました。代わりの仕事を見つけることは大変でしたが、何とか仕事を確保できました。採算もとてもよくなりました。新規のお客さんに対しては、低い利益であっても、実績作りのために仕事を取ろうとしがちですが、それは厳禁としました。価格勝負ではなく、あくまでも技術と品質の高さで好採算案件を獲得するように指導しました。

ちょうどその頃、組み込み系の仕事は、スマートフォンの登場で、携帯電話（ガラケー）を製造する日本企業が大幅に減少したため、仕事が激減しました。この技術者を他の仕事に振り向けるにはどうすれば良いのかを考えました。センサー系や AI など、

幅広く仕事の転換を進めました。どの方向に行こうとするかは人によって違います。

現場の人たちとよく議論しました。またトップ 20 のお客様を訪問し議論しました。技術の勉強会を時間外にやりました。みんなでスマホのアプリを開発して、アップルストアに登録することなどを積極的にやりました。これが新規顧客獲得につながりました。

2011 年当時の当社は、子会社 5 社、関連会社 2 社でしたが、なかなかシナジーが生まれませんでした。積極的に M&A を実施し、開発センターも 4 拠点設立しました。2016 年には開発センターを 3 つに集約し、子会社 9 社、関連会社 4 社となりました。上海の子会社は、お客様が中国にプロジェクトを立ち上げ当社にも声がかかって、作りました。ビジネスそのものはうまく行きましたが、持続しなかったためこの会社はやめました。中国からの撤退は非常に苦労しました。

関連会社には、コンサルティングビジネスをする会社が 3 社ありました。この点も当社グループの特徴と言えます。コンサルタントが一緒でないとお客様との開発の上流工程の話ができません。特に昨年上場を果たした株式会社エル・ディー・エスはコンサルに特化しています。

営業拠点の広域化を推進しました。九州、北陸、新潟、大阪などに拠点を拡大しました。日本の中でも幅広くやっていきます。現在は名古屋と大阪に注力しています。海外進出については中国がうまくいかなかったのは前述の通りです。ニアショア、オフショアの視点で、北海道、九州、ベトナムなどに開発拠点を広げました。現在は、ベトナムには事務所を出しています。それぞれのスキルで開発場所を決めていくのです。

技術研究所を 2012 年に設立しました。所長は外部から採用して拡大を目指しました。最初は技術を絞り込みました。その 1 つはモバイルです。当時はまだ珍しかったが、複数のサービス業のお客様の携帯アプリを手掛けました。2 つ目はクラウドです。アマゾンの AWS(Amazon Web Services)に手を上げて参入しパートナーとなりました。3 つ目は、Web2.0 で、HTML5 の研究を始めました。その後、IBM Watson、ソフトバンク Pepper にもパートナーとして参入しました。そして自分たちで製品を作りました。テレビで紹介された製品もありました。オリジナル製品を作り、それが顧客のところに行くようになります。最も成果が上がったのが大学との共同研究です。研究員の育成と、大学の先生とのネットワークを作りました。これらが知財になりました。

た。眼疾患の研究は、名古屋市立大学の先生と AI に関する共同研究ですが、学界でも認められています。現在でも複数の大学の先生と共同研究をやっています。技術研究所で取り組むと、社員も変わるし、お客様の当社を見る目も変わってきました。

技術研究所の他に、モバイル技術センター、クラウドビジネスセンターを作り、モバイルとクラウドの技術を研究しました。グループ全体で先進技術をビジネス化しようと思いました。

社員には今までにない夢を描いてほしかったのです。そして現場のリーダーの夢を実現していく組織にしようと思いました。

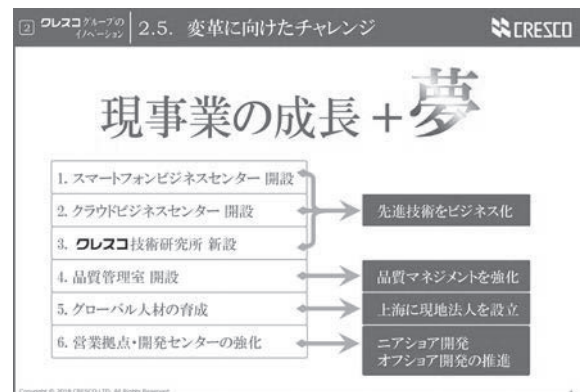


図 4 現事業の成長+夢（出所：講演資料）

個人が成長しないと会社の成長ありません。そこで一人一人が資格を取ってもらうことにしました。自分の好きな資格をとって個人の成長を実感してほしいとも思いました。しかし、現実にはなかなか思うようには進みませんでした。そこで、セキュリティやプロジェクトマネージャー関連の資格取得を社員に奨励しました。プロジェクトマネージャーは PMP (プロジェクトマネジメント・プロフェッショナル) の資格です。PMP 新規登録者は、2011 年時点では 30 人でした。1,000 名の会社で 30 名というのは業界では標準的な比率でしたが、さらに有資格者を増やすために、インターネット経由の教育を導入しました。ネット教師は夜にも声をかけてくれプッシュします。こうやって合格者を増やしていきました。合格しないと管理職にしないと宣言しました。そうすると 2014 年からどんどん合格者が増え、100 名を超えました。100 名を超えると、それ以降は加速度的に数が増え現在では 250 名を超えています。PMP はとても難しい試験ですが、合格すれば本人たちも自信を持ちます。お客様もそれを望みます。とても良い循環になりました。PMP は 5 年ごとに資格の更新が必要なので、なかなか大変です。最初の 30 名の時には「なぜ合格しないのか」を議論しました。議論の末、合格する事を管理職昇進への条

件とし、合格祝いには焼き肉食事を宣言しました。

プロジェクトマネージャーの育成に加え、重視したのはプロジェクトごとの品質技術です。トラブルのないプロジェクトは採算性が上昇します。トラブルがあるとコスト発生します。瑕疵が利益に影響し、それがコストになります。プロジェクトが終った時に、瑕疵がなく利益を生むこと大事で、それが品質ということです。

また、女性の登用に当たっては母集団が増えないといけません。みんな優秀ですが、なかなか部長になりたがりません。ただし、女性社員の比率はどんどん増加しています。問題は、女性社員に管理職になってもらい、継続的に働いてもらうことができるかどうかです。現時点では、女性管理職は 24 名（管理職女性比率 8.0%）います。

③ イノベーションの結果

このような一連の取り組みにより、売上高は 2016 年度に 287 億円になりました。2011 年度比で 1.8 倍に拡大しました。5 年間で単体、グループ会社とも増収を果たしました。収益力については、営業利益は 2011 年度の 8.23 億円から 2016 年度には 24.8 億円になりました。約 3 倍です。このビジネスモデルで収益力を上げるには 1 つ 1 つの案件の品質と採算性を上げることが重要です。これができると利益率が上がります。利益率が上がると投資ができ、社員の給料も毎年上げられます。

従業員の数 5 年間で 1.4 倍の 1,770 名になりました。優秀な人がいれば良い案件が上がってきますがなかなか人は育ちません。現在は技術者不足なので、人を確保しても、人はどんどん動いていきます。環境のいいところに転職するという現実もあります。

売上げを伸ばしつつ利益も伸ばします。売上高と利益が共に伸びて行くことが必要です。2011 年度以降、営業利益率、経常利益率は着実に額も率も向上しました。つまり収益力が高まっていったわけです。



図 5 売上高、営業利益率、経常利益率の相関
(出所: 講演資料)

ROE は二桁にならないといけません。営業利益率が上がり、利益の額も上がれば、自ずと ROE も上がります。ROE が 16% まで行くと、株価が上がり始めました。一連の施策は株式市場でも評価されました。株価が 7 倍になりました。つまり市場価値を高めたのです。

(Q&A)

企業文化を 5 年間で劇的に変えた。よく変えられたな、というのが正直な感想です。10 個の施策を順番にやったわけですが、三段論法的な発想に見えます。技術研究所の設立が飛躍のきっかけだと思います。しかし、通常、技術研究を 10 個やると、1 個できれば良い方ですが、3 つ(AWS、HTML5、モバイルアプリ開発)とも出来たとのこと。どうやってその 3 つを見つけたのでしょうか。

たくさんやりたいことがありましたが、人繰りなどから出来そうなことは限られていました。人ありきで 3 つ選びました。会長は Web2.0 を要望しました。

AWS では利用登録に誰かのクレジットカードを使わないといけません。研究所長のカードを登録して会社に費用請求することから始めました。

HTML5 については、ドキュメント、マニュアルの電子など紙でやり取りするのではなく全てデジタルでやり取りすることとし、それが HTML 標準につながると信じました。

アプリ開発は、1 つのアプリを開発して、iOS と Android の 2 種類の OS でそれを動かすのは難しい

のですが、ザマリン(Xamarin)を利用するとそれができると考えました。残念ながら、後にザマリンはマイクロソフトに買収されました。

M&A 先の見極めについてお聞きます。グループ全体が着実に成長しているだけでなく、M&A で買収した企業も成長していることがすごいです。どういう観点から企業を見極めているのでしょうか。

2010 年当時、赤字子会社がありました。これを徹底的に追求しました。赤字 3 社に再生が駄目だったら撤退を提示しました。その結果、2 社は撤退か吸収となりましたが、1 社は残りました。

利益を出している会社を買いますが「毎年 10% 成長してねと」軽いタッチで指示しています。M&A 後も社長が残って続けることが最も望ましいと思います。その次の世代まではプロパーでやるという条件で会社を買います。その次は我々が考えます。そのスタンスで、大概の社長は M&A 時に次の社長までを指名しています。買ってすぐ社長を替えるのは社内的にも対顧客にもよくありません。

買ってきた企業の PMI をどうするのでしょうか。また抵抗勢力や人材の見極めや、改革の担い手は誰なのでしょうか。

特に意識していません。本人の心に刺さるかどうか大事です。個人の成長が会社の成長に繋がるようにしないといけません。資格取得もそうです。

一人一人を考えることが重要です。赤字プロジェクトについては上から手を差し伸べないと解決しません。一番の問題点は現場のプロジェクト完遂力です。これがないと駄目で、利益が上がりません。

御社と同様のビジネスをやっています。御社と同様の取り組みをやろうとすると、離職率が逆に上がるリスクがあるのではないかと感じています。今までの教育理論だと押し付けがプレッシャーになり、逃げていく。これをうまくマネージできたのでしょうか。

当社で「育てて賞 (アワード)」をもらった人が辞めたことがありました。そこは割り切らないといけません。余りしがみつかない方がよい。必ずしも全てがうまく行ったわけではありません。離れて行く人もたくさんいました。HTML5 のエンジニアで優秀な人が辞めていきました。

企業ブランドがある程度のステータスになっているのではないのでしょうか。

たしかにそれはあります。独立系であること、締め付けが余りないのです。

当学会としても企業の価値創造について関心があります。伝統的な企業はバランスシートで、ある程度、価値判断をできます。御社の場合、人材の価値が決定的と思われます。そう言う中で、日本社会が知的な人材も少なくなっています。政府が考えている知的人材移民政策なども考慮すると、これからの日本は様々な局面にぶつかっていきます。日本はソフトビジネスが弱いと言われているが、御社の高い成長力に感銘します。これからの夢や戦略をもう一度聞かせていただきたい。

この業界を目指す人たちが少なくなっています。これは危機です。外国人技術者もどんどん流入してきています。アメリカなどではユーザー企業の中に IT 技術者がもっとたくさんいます。日本はユーザー企業の外に技術者がいます。アメリカだと 100 の仕事があるとすれば半分は社内、半分は社外でやりますが、日本は社内に技術者がいません。設計の段階から外の人材を使っています。もっと人材育成を真剣にやるべきです。

大学との共同研究、他企業との共同研究については今でも力を入れています。また当社のエンジニアブログ (<https://www.cresco.co.jp/blog/>) がすごく評判が良いのです。ブログは技術研究所の人が中心になって発信しています。技術者の間で評判がいいのです。それを見て、会社に入ってくる人もいます。そういう環境を作ったことはとても良かった。夢は、技術者人材育成のクレスコと呼ばれたいということです。

2000 年から 10 年間、売上げが伸びない中、人数が 3 割増えています。2000 年からの 10 年間で得られた土台があるのでしょうか。

2010 年当時は、リーマンショックの影響が強かった。精神的にもやられていました。そこで人材育成などをうたっても、企業の責任ではなく、外部要因が問題だという答えが返ってきました。それに対しては「外部環境ではなく会社の力で何とかしよう」と提起しました。そんな気概が生まれた 10 年でした。

IT バブルの頃に上場していますが、IT バブルのインパクトはあったのでしょうか。

それはあった、つまり、すぐに東証2部から東証1部に昇格しました。また、良いお客さんと一緒に仕事ことができました。お客さんがITバブル崩壊後もついて来てくれました。リーマンショック後にお客さんとの契約も見直しました。お客さんのビジネスの成長に依存するビジネスモデルなので、お客さんの成長が大切です。そういうお客さんを持っていることが強みでした。IT業界全体を見ると、人数だけ増えて、売上げは横ばい。毎年給料を上げようということに対しては、とても慎重になりました。また社員をたくさん採用することに対しても慎重になりました。これはリーマンショックのトラウマと言えましょう。

「次世代クレスコ」をどうやって現場に浸透させていったのでしょうか。

とても大変でした。毎年続けているということを言い続けることが大事です。事業部長クラスがこれに沿った行動をしていることが大事です。そうでなければ現場との距離が出てしまいます。技術者が自ら手を上げて技術研究所に来る制度も作りました。資格を取ってほしい、「世の中でこういう技術があるから、自分たちで進路を決めてほしい」と言い続けました。最初の3年間は全くといっていいほど浸透しませんでした。

ベトナムへの進出についてお聞きしたい。中国は一度撤退していますね。海外進出の特徴はどんな感じですか。

現在は日本で開発する場所は品川と札幌が中心です。今後はベトナム開発が大きく伸びると考えています。ベトナムには駐在員が2人常駐しています。現地パートナーには、ベトナムで日本語を学んでもらい、日本に来てもらう制度も作りました。

<JAROS 2018 研究発表大会
基調講演: セミナー「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」より>

わが国における ESG 投資の現状と展望

2015 年 9 月の年金積立金管理運用独立行政法人(GPIF)による国連・責任投資原則(UN-PRI)への署名表明を契機に、わが国の ESG 投資は急速に拡大している。この動きは、わが国における健全なインベストメント・チェーン構築に貢献することが期待される。しかし、わが国の ESG 投資は、欧米の SRI・ESG 投資と比較すると、歴史は浅く市場規模は大きいとはいえない。そこで、100 年以上の歴史がある欧米 SRI・ESG 投資を参考に、わが国の ESG 投資の課題と持続的に発展させるための施策について述べる。

小方 信幸

(帝京平成大学 現代ライフ学部 経営マネジメント学科 教授)

1. はじめに

わが国では、ESG 投資という言葉がメディアで頻繁に取り上げられるようになった。本日の講演では、ESG 投資とはどのような投資であるかを概観する。そして、欧米の 100 年を超える社会的責任投資(SRI)及び ESG 投資の歴史から、わが国における ESG 投資の推進策を考えたい。

2. SRI・ESG 投資とは

2.1 UN-PRI が求める責任投資

最初に、SRI・ESG 投資とは何かを考える。次に欧米の SRI・ESG 投資の歴史を概観する。

SRI または ESG 投資の定義は様々である。一般的には、投資の意思決定において環境・社会・ガバナンスの ESG 要因を考慮するものである。この概念は 2006 年に国連が提唱した「責任投資原則(UN-PRI)」で導入された。

PRI は、下記の 6 つの原則で構成されている。第 1 原則はインテグレーション、第 2 原則はエンゲージメント、更に第 5 原則では共同エンゲージメントという考え方が示されている。UN-PRI が求める投資は「責任投資」という。その投資は、エンゲージメントとインテグレーションの手法で得られる経済的リターンを唯一の目的とする。

原則 1 ESG 問題を投資の分析と意思決定のプロセスに組み込む。

原則 2 ESG 問題を運用方針と実践に組み込む

積極的な株主となる。

原則 3 投資対象企業の ESG 問題に関する適切な開示を探索する。

原則 4 投資業界におけるこの原則の受入れと履行を促進する。

原則 5 この原則の実践が有効であるように一致協力する。

原則 6 この原則の実践に向けて活動状況と進展について報告する。

2.2 ESG と SRI は別物か？

それでは、わが国における ESG 投資とはどのようなものであろうか。ESG 投資は SRI とは別物であろうか。この点について考える。

わが国において ESG 投資が注目されるようになった契機は、年金積立金管理運用独立行政法人(GPIF)の UN-PRI 署名表明である。その流れでいうと、わが国における ESG 投資は UN-PRI の責任投資そのものようにみえる。

UN-PRI は、経済的リターンを唯一の目的とする責任投資について、倫理やモラルを目的とする SRI、倫理的投資、サステナブル投資などとは異なると明言している¹。このような UN-PRI の見解は、受託者責任に合致しており、わが国の投資家も受け入れ易いと考ええる。当初、筆者は、わが国の投資家は ESG 投資イコール責任投資と捉えていると考えた。

ところが、日本サステナブル投資フォーラム(JSIF)が 2015 年に実施した第 1 回サステナブル投資残高アンケート調査の結果を見ると、図表 1 の ESG 投資残高の大きさもさることながら、図表 2 からわが国の

¹ UN-PRI のウェブサイトによる <https://www.unpri.org/about-pri/the-six-principles/> (検索日 2016 年 7 月 9

日)。

ESG 投資家は多様な手法を用いていることが分かる。この結果は、わが国の ESG 投資家は、UN-PRI の責任投資よりも広範な概念で ESG 投資を捉え運用しているといえよう。

図表1 JSIFサステナブル投資残高 (単位:10億円)

	第1回	第2回	第3回
調査実施時期	2015年 11-12月	2016年 9-10月	2017年 9月
サステナブル投資 合計額	26,687	56,257	135,596
集計の時点	任意	2016年3月末	2017年3月末

(出所)JSIF(2018)『日本サステナブル投資白書』page7 表1-2-1

図表2 投資手法別残高 (単位:10億円)

	第1回	第2回	第3回
インテグレーション	17,556	14,240	42,966
ポジティブ・スクリーニング (ベスト・イン・クラス)	327	3,020	6,693
テーマ投資	786	1,036	1,385
インパクト投資	88	370	373
議決権行使・エンゲージメント	11,710	34,890	143,045
ネガティブ・スクリーニング	4,573	2,250	14,310
国際規範に基づくスクリーニング	6,075	6,742	23,909

(図表注)JSIF(2018)『日本サステナブル投資白書』page8 表1-2-2を参考に筆者作成。
重複回答があるので、図表2の残高と一致しない。

話を UN-PRI に戻す。UN-PRI は自らのウェブサイトで、責任投資は SRI などとアプローチは似ていることを認めている。さらに、同サイトでは、経済的リターンを唯一の目的とする責任投資であっても、SRI などの目的は達成し得ると記している²。

つまり、最終的には責任投資と SRI は同じであることを認めているといえよう。このような、UN-PRI の見解と JSIF のサステナブル投資残高アンケート調査の結果から、本講演においては ESG 投資と SRI は同じものとして捉える。

2.3 UN-PRI と ESG 投資市場拡大

次に、具体的な ESG 要因について概観する。UN-PRI のウェブサイトでは、“環境”要因とは水・食糧問題、エネルギー安全保障、気候変動などである。“社会”要因については、特に、人権問題や発展途上国の児童労働、長時間労働、強制労働などいわゆるスウェットショップ(Sweatshop)を上げることができる。そして“ガバナンス”要因に関しては、経営の透明性、汚職、取締役会の構成、株主権利、企業倫理、リスク管理、経営者報酬などで、まさにコーポレートガバナ

ンスの問題である。

UN-PRI は、ESG 要因は「ポートフォリオに影響を与えうる」、つまり ESG 要因には投資リスクがあるので、受託者として ESG 要因を考慮するべきであると出張した(小崎他, 2011)。そして、国連は UN-PRI に賛同と署名を求めた結果、ESG 投資は欧米を中心に急速に拡大した。

2.4 わが国における ESG 投資の基盤づくり

わが国における ESG 投資の契機は、先に述べたとおり、2015 年 9 月の GPIF による UN-PRI 署名表明である。しかし、その前に官庁主導で投資市場改革が進められ、わが国で ESG 投資が受け入れられる基盤がつけられていた。それは、2014 年の経産省「伊藤レポート」と金融庁の「日本版スチュワードシップコード」制定、そして 2015 年の経産省と東証による「コーポレートガバナンス・コード」制定である。

これらが目指すところは、ショートターミズムを排除して、アセット・オーナー、アセット・マネジャー、投資先企業の建設的対話を通じて、長期的な視点で企業の持続的成長と長期投資で超過リターンを実現することであり、インベストメント・チェーンの構築を目指すものである。そして、健全なインベストメント・チェーン構築には、ESG 投資が不可欠である。

このように、わが国では官庁主導で ESG 投資推進の基盤がつけられた。

2.5 世界の市場規模

ESG 投資に関するグローバルなデータについては、各国の NPO である Sustainable Investment Forum(SIF)が加盟する Global Sustainable Investment Alliance(GSIA)が隔年で集計し報告を行っている。第1回調査は 2011 年末時点で行われ、集計し分析したものを GSIA の 2012 年版報告書で公表している。

GSIA の最新の報告は 2015 年末時点の調査結果である。図表 3 が示すように最も ESG 投資市場残高が大きいのは欧州である。17 か国が調査に参加した欧州の ESG 投資残高は 12 兆 400 億米ドルで、1 ドル 110 円で換算すると約 1,364 兆円超である。次に ESG 投資市場残高が大きいのは米国で、8 兆 7230 億米ドルで 960 兆円相当となる。

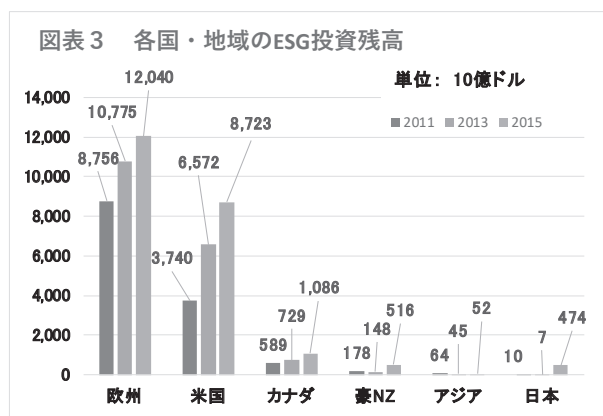
世界の ESG 投資残高の 8 割以上を欧州と米国が占めている。一方、日本の ESG 投資市場残高は、2011 年末時点と 2013 年末時点で、1 兆円に満たない状況であった。これは、多くの機関投資家が SRI に取り

2 UN-PRI のウェブサイトによる <https://www.unpri.org/about-pri/the-six-principles/> (検索日 2016 年 7 月 9

日)。

組んでいなかったことと、個人向けの SRI ファンドとグリーン・ボンドだけが調査対象であったことによる。

ところが、2015 年末時点で、わが国の ESG 投資残高は 4740 億ドルと急激に増加した。これは GPIF の UN-PRI 署名表明と、その直後に国連「持続可能な開発目標のアジェンダ」会議で安倍首相がわが国の ESG 投資は SDGs に大いに貢献するという演説をしたことも影響したと考えられる。



(図表注) GSIA(2016) page7 Table1 & 2を参考に筆者作成
各年度末の残高

欧州では、図表4が示すように、運用資産に占める ESG 投資割合は 50%を超えている。米国のその比率は欧州よりも低い。歴史的に見ると、個人向けの SRI ファンドに関しては米国がリードしてきた。しかし、米国では受託者責任の解釈を巡り、機関投資家の多くが SRI に踏み切れなかったという事情があった。しかし 2015 年 10 月に米国労働省が実質的に ESG 投資を認めたことより、今後、米国では機関投資家による ESG 投資がより拡大することが予想される。

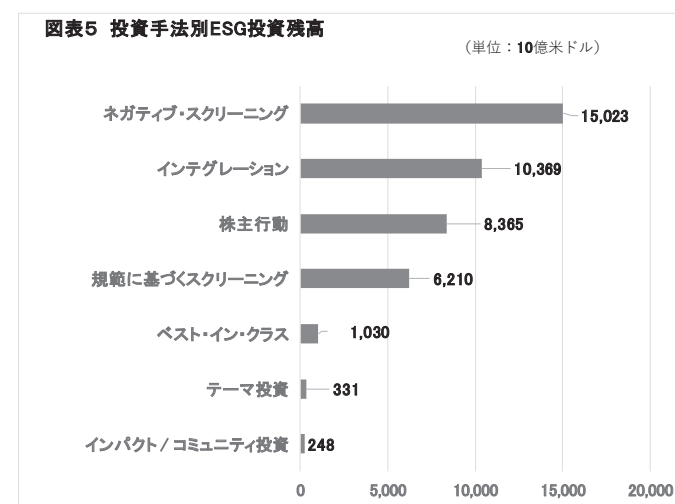
図表4 運用資産に占めるESG投資の割合(%)

地 域	2011年末	2013年末	2015年末
欧州	49.0%	58.8%	52.6%
米国	11.2%	17.9%	21.6%
カナダ	20.2%	31.3%	37.8%
豪NZ	12.5%	16.6%	50.6%
アジア	0.6%	0.8%	0.8%
日本	-	-	3.4%
全 体	21.5%	30.2%	28.3%

(図表注) GSIA(2014) page7, Table 1, GSIA(2016)page7, Table 2 を参考に作成。
欧州の比率低下はeurosifがSRI・ESG投資の定義を厳格化したことによる。

2.6 ESG 投資の手法³

続いて、図表5で残高順に示した ESG 投資の手法を概観する。



まず、最も残高の大きい“ネガティブ・スクリーニング”は、歴史的に最も古い手法である。それは、キリスト教教会が投資を始めたときの基準である。例えば、キリスト教倫理に反する酒、ギャンブル、軍事などの産業や企業を投資対象から排除するものである。

2 番目に残高の大きい“インテグレーション”は、最も新しい考え方ともいえる。特に国連が UN-PRI を提唱したのちに急速に広まった投資手法である。インテグレーションでは、投資の意思決定の段階で、従来の財務分析に ESG 要因を体系的に組み込む投資手法である。

3 番目の“株主行動”には、エンゲージメントと株主総会における提議決権行使行動がある。エンゲージメントとは、ESG 投資家が株主として経営者との対話を通じて、企業に ESG 問題の改善を働き掛けるものである。しかし、対話で ESG 問題の改善がみられないとき、ESG 投資家は、株主総会における提案や投票行動を行う場合もある。

4 番目の“規範に基づくスクリーニング”は、国連のグローバル・コンパクトなどが定める、人権、労働、環境などに関する国際的な企業行動規範を投資の基準とする手法である。ESG 投資家は、これらの基準に合わない企業を投資対象から排除する。

規範に基づくスクリーニングとネガティブ・スクリーニングは、共に規範に基づくスクリーニングといえる。しかし、ネガティブ・スクリーニングは特定

3 本節は拙著(小方, 2016 年, pp14-18)を加筆したものである。Eurosif(2014)pp.10-30, GSIA(2016)p.9 を参考にしてい

の業種・企業であれば評価を行わずに投資対象から排除する。一方、規範に基づくスクリーニングは評価を行った上で銘柄選択を行う。したがって、評価の有無が両者の主な相違点といえよう。

5 番目の“ベストインクラス”または“ポジティブ・スクリーニング”は、ESG 要因など非財務要因が優れた銘柄の中から、財務要因の良い銘柄を選ぶ手法である。

6 番目の“テーマ投資”は、環境、人権などをテーマにした投資である。

そして最近注目されているのが、7 番目の“インパクト投資・コミュニティ投資”である。特に、米国で注目されている ESG 投資である。社会的な問題を達成することによって、行政コストを軽減し、その分を投資のリターンとして行政から受け取るという仕組みである。日本でも取り組みが始まっているものの、認知度はまだ低い。

3. SRI・ESG 投資の歴史⁴

3.1 5つの時代区分

次に、SRI・ESG 投資の歴史をみてみたい。当講演では、SRI 及び ESG 投資の時代区分を 5 つに分けて概観する。

1 番目は、17 世紀から 18 世紀の「SRI の起源と萌芽の時代」である。2 番目は、1990 年代初頭から 1960 年頃までの「倫理的投資の時代」。3 番目は、1970 年代から 1980 年代に掛けた「SRI の原型形成期」。4 番目が、1990 年代以降の「SRI の拡大期」。最後の 5 番目の時代は、2006 年の国連による UN-PRI 提唱から現在に至る「ESG 要因の時代」とする。

3.2 SRI の起源と萌芽の時代

SRI の起源は、17 世紀英国におけるプロテスタント・キリスト教の一派であるクウェーカーの創始者ジョージ・フォックスが示した規範、または 18 世紀英国のメソジスト創始者ジョン・ウェスレー(以下、ウェスレー)の 1760 年の説教集にある「金銭の使い方」(The Use of Money)といわれている(US SIF, 1999; Kreander et al., 2003, p.22)。

クウェーカーは、SRI のパイオニアとしての役割は確かに大きいと考える。しかし、筆者は、主にウェスレーの「金銭の使い方」を SRI の起源と考える。その理由は、「金銭の使い方」は、マックス・ヴェーバーが引用したほど歴史的に重要な説教ということに留まらず、現在も欧米の SRI と SRI が生まれた英国及

び米国社会に大きな影響を与えているからである。

ウェスレーは「金銭の使い方」の中で、お金は「大いに獲得し、大いに節約し、大いに捧げなさい」(“Gain all you can. Save all you can. Give all you can”)という 3 原則を示した。しかも、とりわけ、3 番目の「大いに捧げなさい」(“Give all you can”)の原則を強調した。ウェスレーは、金銭への執着を戒めつつも、なお、金銭はあらゆる善を行う道具である、とも教えた。勤勉かつ時間を惜しんで全力でできる限り稼ぎ、贅沢を慎みつつもできる限り蓄え、自分と身内に必要なものを除き、残ったお金はできる限り貧しい人々に与えよ、と説いている。これは、神は人間を財産の所有者ではなく管理者(Steward)として創られた、という聖書の原理に基づく教えである(Wesley, 1760)。

ウェスレーは「大いに獲得すること」を実践する際の大前提として、隣人の精神と身体を損なうことで稼いではならないと戒めている。具体的には、ギャンブルとアルコール(なかでも火のつくアルコール濃度の高い「火酒」)による金銭の獲得を戒めた(Wesley, 1760)。他方で、クウェーカーには、創立当初から、戦争、暴力、武器を放棄せよという規範がある(Macquarrie and Childress, 1993, pp.522-523)。ウェスレーの「金銭の使い方」と、クウェーカーの規範は、キリスト教倫理に反する産業や企業を投資対象から排除する、1990 年代初頭の教会による倫理的投資と、現在の SRI におけるネガティブ・スクリーニングに受け継がれている。

Schueth(2003)は、これらの規範を守り続けたメソジスト及びクウェーカーが「投資における社会的責任の概念を新世界に持ち込んだ可能性が高い」、「メソジストは、過去 200 年以上にわたり、現在の社会的スクリーニングに相当する基準を使って米国で資金を運用してきた」(Schueth 2003, p.189)、と主張する。また、ドミニ (2002)も、メソジストとクウェーカーが長期にわたり、彼らが社会に有害と考える産業や企業への投資を回避してきたことを指摘している(ドミニ, 2002, p.46)。

以上、ウェスレーの説教「金銭の使い方」の内容と、その社会的影響について概観した。しかし、18 世紀及び 19 世紀のメソジスト教会及び信徒の具体的な株式投資に関する文献及び先行研究は、筆者の文献調査ではまだ発見していない。

しかし、18 世紀後半にウェスレーが宗教復興運動の先駆(浜林, 1987, p.190)となり、19 世紀の英国でメソジスト教会が大教会組織として発展し社会的影響力をもった(野呂, 1991, p.177)ことと、更にメソジスト

4 本章は拙著(小方, 2016 年, pp.52-90)を加筆したものである。

の海外伝道により、特に米国では 1850 年頃にメソジストが最大の宗教組織(森本, 2006)となった事実から、ウェスレーの説教「金銭の使い方」を SRI の起源として捉えることは妥当であろう。

3.3 倫理的投資の時代

20 世紀に入ると英国メソジスト教会はキリスト教倫理に基づく株式投資を開始した(Kreander et al. 2003)。一方、米国のメソジスト監督教会(The Methodist Episcopal Church)は、1908 年にメソジスト教会の年金を管理・運用する機関として Wespath Investment Management 設立した。現在は合同メソジスト教会「年金・健康保険理事会」の直属機関として、今日に至るまで聖書の倫理とメソジスト教会の社会的信条⁵(1908 年採択)に基づく資産運用を行っている。

1919 年、米国で禁酒法(Prohibition, 正式には The Volstead Act)が施行され、1933 年まで続いた。禁酒法は、厳格なピューリタンの信仰を受け継ぐ法律であった。ピューリタンの思想は、合衆国独立以前から当時まで全米で大きな影響力をもっていた。また、当時はギャンブルも全米で禁止された時代であった。1928 年、そのような時代を背景に、世界初の公募による SRI ファンドであり、アルコール及びタバコ関連企業を排除する The Pioneer Fund が設定された。しかし、The Pioneer Fund は世界初の公募 SRI ファンドながら、規模は小さく、翌年の大恐慌の影響もあり、社会的影響は限定的であった(Sparkes, 2002, p.48)。

欧州では、1932 年にスコットランド教会が欧州で最初の倫理的投資ファンドを設定した。また、英国国教会も 1948 年に倫理的基準による投資を開始した。英国の動きに前後して、欧州各国の教会で倫理的投資が行われるようになった。

このように、欧米のプロテスタント教会は、ネガティブ・スクリーンによる倫理的投資を推進し、1900 年から 1960 年代の期間に SRI の基礎を作ったといえよう。

3.4 SRI の原型形成期

1970 年代は現在の ESG 投資の原型が形成された時代といえる。この時代は、SRI 投資家が社会運動と連携した時代である。1970 年代にベトナム反戦をテーマとした、軍需産業を投資対象から排除する公募 SRI ファンドが設定された。その第 1 号が 1971 年に

設定された Pax World Fund である。

1980 年代は南アフリカ政府(南アフリカ)のアパルトヘイト政策に反対する SRI ファンドが数多く設定された。反アパルトヘイトの SRI ファンドは、南アフリカ関連企業を投資対象から排除した。さらに、南アフリカ関連企業をポートフォリオから売却するダイベストメント(投資撤退)の動きが出てきた時代でもあった。

また、この時代に、米国の労働組合、人権団体、消費者団体などが株主行動という新しい手法で SRI 投資家に加わった。この動きは、SRI の歴史において、大きな出来事といえよう。その中で最も古い株主行動は、サウル・アリンスキー(Saul Alinsky)が率いる黒人活動家グループ FIGHT(Freedom, Integration, God, Honor, Today)によるものである。1967 年に FIGHT は少数株主としてコダック社の年次株主総会に出席し、黒人労働者の雇用に関する質問を行った。その後、交渉は難航したものの雇用の改善で合意が成立した。(Luche et al. 2011, p.18 ; Sparkes, 2012, pp.48-49)。

株主行動のもう一つの大きな動きは、ラルフ・ネーダー(Ralph Nader)と彼が率いる組織であるキャンペーン GM(Campaign GM)があげられる。

ラルフ・ネーダーは、ゼネラルモーターズ(GM)の 1970 年年次株主総会に 9 つの株主提案を行った。そのうち、証券取引委員会(SEC)が議案として妥当と認めた、公共利益代表の取締役選任と、社会的責任の監査・忠告を行う株主委員会の設立、の 2 つの提案が議案として取り上げられた(Sparkes, 2002, pp.51-52)。

結果は 2 案ともに否決されたものの、社会的注目を意識した GM は、黒人牧師のレオン・サリバン(Leon Sullivan)を取締役に選任し、公共政策委員会を設置した(谷本, 2003, p.12)。

この時代に、SRI 投資家の数は増加した。ただし、留意すべき点は、株主行動と公募 SRI ファンドはともに教会がリードしたという事実である。さらに、米国・英国両国において、教会が中心となって社会問題や CSR の調査機関を設立したことからも、教会と SRI の深いかかわりがみられる。

ドミニ(2002)は、この時期にキリスト教信仰に基づく投資は広範な規範を含んで発展し、現在の SRI を形成したと指摘している(ドミニ, 訳書 2002, p.46)。筆者も、この時期の英米両国で、キリスト教倫理に基づいた投資による企業と社会の改革が実践され、SRI の投資哲学が磨かれ、1990 年代以降の SRI 拡大の基

5 1908 年の年次総会で採択した。特に 4 点を強調した。1 番目に、すべての人間の平等な権利と完全な正義。2 番目に、機械の危険や職業病から労働者の生命と健康を守るこ

と。3 番目は児童労働の廃絶。4 番目は労働者が生活可能な賃金(の実現)である。

盤ができたと考える。

3.5 SRI 拡大期

3.5.1 世界的な環境問題

1990 年代に入ると、環境問題、発展途上国の人権・労働問題が、より深刻かつ重大な世界的な問題となった。SRI 投資家も、環境、人権、労働などの問題に大きな関心をもつようになった。また、1990 年代は、機関投資家が SRI のリターンに関心を持ち始めた時期であった。さらに、1970-80 年に米国を中心に発展した SRI が、1990 年代になると欧州でも本格的な拡大を始めた(Eurosif, 2012)。

20 世紀後半、世界中で様々な環境問題が起きた。1979 年に米国スリーマイル島で原発事故が起きた。1984 年にはインド・ボパールで化学工場から毒ガスが流出し、3,500 人の死者と 5 万人の負傷者を出す大事故が起きた。1986 年、スイス・バーゼルの化学工場から流出した農薬と水銀がライン川を汚染した。同年、ソ連チェルノブイリ原発事故が起きた。1989 年、エクソンのタンカー「バルディーズ号」座礁で流失した原油が、二千数百 km に渡りアラスカ沿岸を汚染した。このように、大規模な環境汚染・破壊が続いた(Sparkes, 2002, pp.59-60)。

3.5.2 人権・労働問題

この時代では、人権及び労働問題が世界的に深刻な社会問題となった。1990 年代半ばから 2001 年まで、米国の教会投資家はウォルマートと労働条件改善などを巡る戦いがあった。さらに、2006 年に、ノルウェー政府年金基金がウォルマートの人権擁護と労働条件の改善は不十分と判断し、ウォルマートからの投資撤退を決定した Sparkes 2002; Louche et al., 2011)。

ウォルマートと同様に、1990 年代半ばに、ナイキは人権・労働問題で厳しい批判を浴びた。ナイキは、サプライチェーンでの児童労働がマスメディアで批判され、消費者の不買運動に見舞われた。ナイキのブランドは大きく傷ついた(Sparkes, 2002)。

3.5.3 国連グローバル・コンパクトの制定

経済のグローバル化に伴い人権、労働、環境などの負の側面が大きくなり、国や国際機関は独自の努力だけでは問題を解決することができなくなった。そこで、国際連合のアナン事務総長は、グローバルな問題解決に企業の参画を求め、1999 年に人権、労働、環境の 3 つの領域の 9 原則(のちに腐敗防止が加わり 10 原則)からなる企業行動原則であるグローバル・コンパクトを提唱した。

図表 6 国連グローバル・コンパクトの 10 原則

人権	原則 1	人権擁護の支持と尊重
	原則 2	人権侵害への非加担
労働	原則 3	組合結成と団体交渉権の実効化
	原則 4	強制労働の排除
	原則 5	児童労働の実効的な排除
	原則 6	雇用と職業の差別撤廃
環境	原則 7	環境問題の予防的アプローチ
	原則 8	環境に対する責任のイニシアティブ
	原則 9	環境にやさしい技術の開発と普及
腐敗防止	原則 10	強要・賄賂等の腐敗防止の取組み

(出所) グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパンのウェブサイトに記載された 10 原則の和訳を使用した。

3.5.4. コーポレートガバナンス

英国では、Coloroll 社と Polly Peck 社の企業不祥事を受けて、1991 年に財務報告評議会(The Financial Reporting Council)、ロンドン証券取引所、職業会計士団体によりキャドバリー委員会(Cadbury Committee)が設立された。同委員会により上場企業に対するコーポレートガバナンスの枠組みがつくられた(首藤, 2004, p.23)。

また、キャドバリー報告は、英国のコーポレートガバナンス改革の起点となっている。具体的には、キャドバリー報告は、1999 年に企業の統合規範であるロンドン証券取引所の上場規則、2010 年のコーポレートガバナンス・コード及びスチュワードシップ・コード、さらに、2012 年のケイ報告書へと受け継がれている。

一方、米国では、2001 年から 2002 年にかけてエンロン、ワールドコムなどの企業不祥事(粉飾決算)による大規模な経営破綻が起り、コーポレートガバナンスのあり方について社会的な関心が高まった。2002 年 7 月にブッシュ政権は、米国企業改革法を制定し、経営者の罰則強化、投資家や内部告発者の保護、監査法人への監視強化、企業情報開示の強化を定めた(谷本, 2003, pp.62-63)。

3.5.5 英国年金法改正

このように、人権、労働、企業不祥事に対応する英米政府、国連の対応がみられた。しかし、欧州 SRI 市場の飛躍的発展の契機は、2000 年施行の英国年金法改正である。英国年金法改正では、年金基金のすべての運用責任者(トラスティー)に対し、投資の意思決定における投資対象企業の社会、環境、倫理の側面の考慮という SRI としての運用方針と、議決権行使方針について、その有無も含めた情報開示を義務付けた。これは、年金基金に SRI を義務付けたものではなく、SRI の実施を強制したものではない(首藤, 2004, p.22; Sparkes, 2002, p.6)。しかし、この法改正は、世界で初

めて政府が年金基金に対して運用方針に社会及び環境要因を考慮することを求めた点で画期的であった(Sparkes, 2002, p.4)。

英国では年金法改正を契機に、図表7が示すように、SRIの中心は、教会から年金基金、保険会社などの機関投資家に移った。教会のSRI残高も増加はしたものの、SRI全体に占める割合は大きく低下した(Sparkes, 2002, pp.348-349)。

図表7 年金法改正前後の
投資家別英国SRI残高の変化

	(Stg £ Billion)		
	1997	1999	2001
教会資金	12.5	14.0	13.0
ユニット・トラスト	2.2	3.1	3.5
慈善団体	8.0	10.0	25.0
年金基金	0.0	25.0	80.0
保険会社	0.0	0.0	103.0
合計	22.7	52.2	224.5

(出所) Sparkes (2002), p.348, Table 13.2

欧州のほかの国でも英国と同様の年金法改正が行われた。スウェーデンでは2000年に年金法改正が成立し、2002年に施行された。2001年にはドイツで年金法改正が成立した。フランスでは、2001年に上場企業に対し環境報告書と社会報告書の作成と開示を求める法律が成立した(谷本, 2003, p.19)。

このように、英国年金法改正は欧州のSRIを牽引した。しかし、その準備の段階では必ずしも順調とはいえず大きな障害があった。

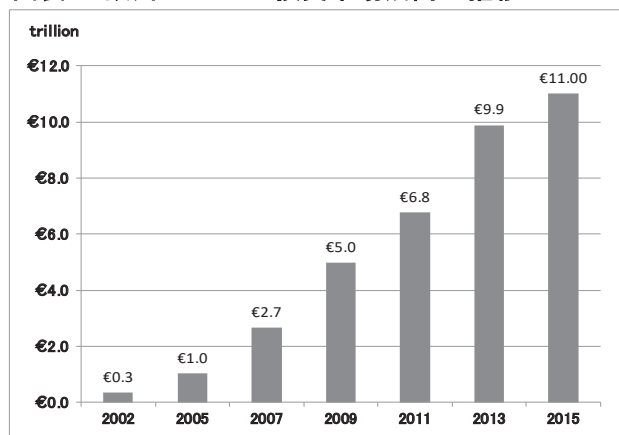
その障害は、「全英年金基金協会」(The National Association of Pension Funds, 以下、NAPF⁶)による反発であった。NAPFは、SRI導入に伴う管理コストの上昇を理由に年金法改正の政府案に反対を表明した。その結果、年金法改正を巡る議論と政治的緊張が高まった(Sparkes, 2002, pp.10-11)。

3.6 ESG要因の時代

2006年、国連環境計画金融イニシアティブと国連グローバル・コンパクトが中心となりUN-PRIが制定された。グローバル・コンパクトは多国籍企業に対する行動規範であり、世界的な社会問題を企業の力で変えていくことを目的にしている。責任投資原則はその投資家版ともいえる。サステナブルに関する問題を投資の力で変えていくことを期待している。

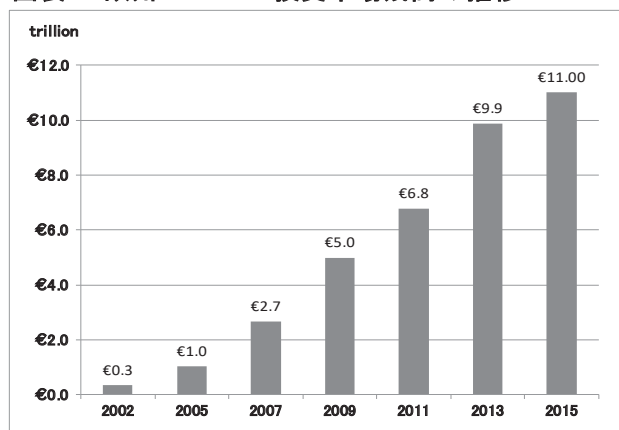
UN-PRI 制定後、図表8及び図表9が示すように、欧州と米国のSRI・ESG投資市場は飛躍的に拡大した。

図表8 欧州SRI・ESG投資市場残高の推移



(図表注) Eurosif(2010, 2012, 2014, 2016)を参考に筆者作成。各年末時点の残高を示している。

図表9 欧州SRI・ESG投資市場残高の推移



(図表注) Eurosif(2010, 2012, 2014, 2016)を参考に筆者作成。各年末時点の残高を示している。

4. SRIが生まれた宗教的背景⁷

4.1 聖書の5つの原理とSRIの投資哲学

教会がSRIを主導してきたことは欧米ではよく知られている。しかし、信仰の世界にある教会が最も世俗的といえる株式投資に深く関与した理由については、欧米でもあまり知られていない(Kreander et al. 2003, p.3)。英米の教会が株式投資を開始した現実的な理由は、年金基金と教会堂建設準備金などの長期資金運用の必要性にある。その一方で、教会の倫理的投資には、聖書の原理(Principle)に基づいた企業と社

⁶ 2015年10月16日、NAPFはthe Pensions and Lifetime Saving Association (PLSA)に組織名を変更した
https://www.plsa.co.uk/Press-Centre/Press_Releases/0485-

Introducing-the-Pensions-and-Lifetime-Savings-Association.aspx (検索日2016年9月10日)。

⁷ 小方(2016, pp.90-92)を加筆したものである。

会を改革する目的がある、という主張がある(Kreander et al. 2003, p.7)。

Kreander et al. (2003)は、英国の3つの教会(国教会、メソジスト教会、スコットランド教会)に対してインタビューを行い、教会の倫理的投資は創造説(Creationism)、管理者精神(Stewardship)、神の愛(Agapism)、証人(Witness)、エンゲージメント(Engagement)という聖書の5つの原理に基づく、と主張している。これら聖書の5つの原理と倫理的投資の関係については、青山学院大学西谷幸介教授(現名誉教授)の講義録⁸と重なる部分があるので、西谷教授の講義を以下に要約する。

創造説(Creationism)とは、旧約聖書創世記1章27節の「神は御自分にかたどって人を創造された。」ことである。すなわち、人間はその理性と自由意志と倫理的判断力において尊厳(品格)ある存在である。

そして、人間は神に少し劣る存在として、世界を管理する特別な位置と資格を与えられた。人間は神から恵み(財)を信託された者として、神に対し奉仕する立場にあると同時に、すべての被造物に対しても奉仕する立場にある。これが管理者精神(Stewardship)である。

神は人間を愛するという永遠の決意によって人間を創造された。神は人間に救いの約束と無償の恵みを示し(神の愛 Apape、または Agapism)、人間はこれに信頼と感謝をもって応答する。この神と人間の間を聖書は「契約」(Covenant または Contract)という概念でとらえている。生きて働く神は、人間に語り掛け、人生に意味と使命を与える。この神と人間の信頼と誠実さの関係が、人間相互の関係の鏡となる。

人間相互の関係においては、男女(あるいは夫婦)がその第一の基本として捉えられ、その関係はまた両者のエンゲージメントとして捉えることができる。こうして、キリスト教徒は、神からの無償の愛の恵みの証人(Witness)として、神と人間の間を人と世界(隣人)との関係に反映させる使命を負っている。

キリスト教徒と教会は、聖書に示された説明責任(Accountability)を果たしつつ「人間社会の改善や、自然世界の健全な維持つまりエコロジーにも心を砕く」(西谷, 2006, p130)のである。以上の西谷教授の講義内容と Kreander et al.(2003)の 聖書の5つの原理解は、多くの共通点をもつと理解する。

ただし、Kreander et al. (2003)が使用するエンゲージメントは、株主がポートフォリオに所有する企業に ESG 問題がある場合、経営者との対話などを通じ、

企業に問題点の改善を働きかけることである。Kreander et al. (2003) が分析対象としたメソジスト教会と英国教会も、株主として企業に問題点の改善を働きかけている(Kreander et al., 2003, p.23)。

さらに、教会の倫理的投資を企業行動と社会的正義を向上させる試みとみている(Kreander et al., 2003, p.23)。これらの考察から、聖書の5つの原理に基づく SRI の投資哲学とは、「投資による企業と社会を変革すること」である。

4.2 わが国の ESG 投資への示唆⁹

前節では、欧米 SRI・ESG 投資の歴史から、欧米のキリスト教倫理観を基盤とする SRI あるいは ESG 投資の投資哲学は「倫理的投資を企業行動と社会的正義を向上させる試み」と述べた。言い換えれば、「投資による企業と社会を変革すること」である。

ESG 投資家、或いは SRI 投資家は、受託者としてより高い経済的リターンを追求することが求められる。しかし、欧米の ESG 投資の根底には 100 年の歴史の中で磨かれてきた SRI の投資哲学が流れていると考える。このような投資哲学が醸成されていないと、わが国の ESG 投資が 2000 年代の SRI ファンドと同様に一時的なブームで終わるのではないかと危惧する、特に市場環境が悪化したときに、その真価が問われるであろう。

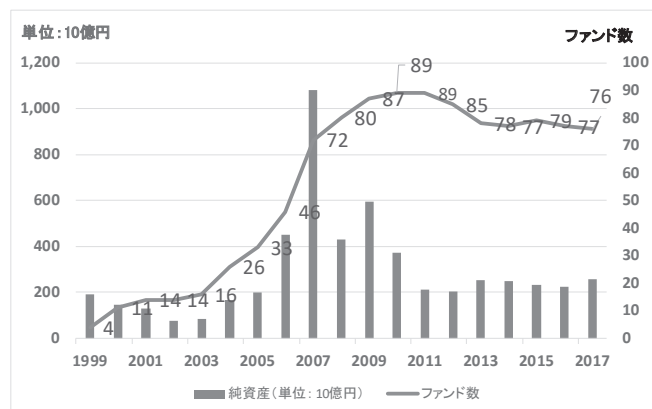
機関投資家が中心の ESG 投資と、個人向けの SRI ファンドを比較することは乱暴かもしれない。しかし、わが国の SRI ファンドには低迷の歴史がある。図表8が示すように、わが国の SRI ファンド残高は 2007 年までは順調に伸びてきた。しかし、2008 年のリーマンショックを境に、SRI ファンド残高は減少に転じ、ファンド数は 2011 年以降減少している。

そして、注目すべきは、2013 年以降はアベノミクスで株式市場が回復したのにもかかわらず、SRI ファンドの残高は低迷している。この状況は、リーマンショックに端を発した 2008 年の金融危機以降も拡大を続けている欧米市場とは、極めて対照的な動向である。

8 青山学院大学大学院ビジネス法務研究科における 2013 年度春期「キリスト教学」の講義録である。

9 小方 (2016, pp.95-111) を加筆したものである。

図表10 わが国のSRIファンドの残高とファンド数



(図表注) JSIFのウェブサイトを参考に筆者作成。各年末時点の残高とファンド数を示す。http://japansif.com/1806sridata.pdf

わが国で最初の SRI は、証券会社主導で誕生した SRI ファンドである。わが国の資産運用会社が参考にした欧米の SRI ファンドは、キリスト教倫理に基づく倫理的投資から始まり、ベトナム戦争や南アフリカのアパルトヘイト政策など社会的問題の解決に取り組んだ歴史がある。ところが、わが国の SRI ファンドは、そのようなプロセスを経ず、完成した SRI ファンドの形だけを取り入れたように見える。したがって、わが国の SRI ファンドは、投資による企業と社会の変革という SRI の投資哲学が醸成されていない状態で、新しい投資商品としての話題性と投資の収益期待が先行して導入されたと考える。そして、わが国の SRI は証券会社の営業戦略に主導された一過性のブームで終わったように見える。

それでは、なぜ、わが国では SRI の投資哲学が醸成されず、SRI 市場が発展しなかったのであろうか。まず、その原因として、欧米の SRI とその投資哲学が基盤とするキリスト教倫理と、日本人の倫理観の違いが考えられよう。しかし、筆者は、その考えとは反対に、日本人の倫理観とキリスト教倫理には普遍的な共通点があると考え。むしろ、わが国では倫理観に基づく SRI・ESG 投資が発展する潜在力は非常に大きいと考える。¹⁰わが国で SRI・ESG 投資の投資哲学が醸成されない原因は、倫理観以外にあると考えられる。

そこで、考え得る原因は、わが国の株式市場におけるショートターミズム(短期志向)である。この点については、2015 年の経済産業省「伊藤レポート」が指摘をしている。

そこで、ショートターミズムを断ち切るには、まず、ESG 投資推進に関する議論を行うことが不可欠と考える。SRI・ESG 投資の投資哲学、つまり投資を通じ

て企業と社会を変革する精神と合意がなければ、如何に優れた ESG 投資推進の施策も効果は限定的になると考える。

先に述べたように、欧州 SRI の飛躍的發展の契機となった 2000 年の英国年金法改正の前には、激しい議論と政治的緊張の高まりがあった。年金法改正に際して、ブレア労働党政権と NAPF の間で激しい論争が展開された。一方、超党派議員連盟は SRI に関する討論と SRI 推進活動を展開した(Sparkes, 2002)。筆者は、英国年金法改正はこれを巡る激しい議論を経て成立したからこそ、政府だけではなく年金基金にも SRI の投資哲学が更に浸透したと考える。

わが国では ESG 投資推進の施策について、議論すべき課題は多いと考える。例えば、ESG 投資推進を支援する法律として、年金基金に ESG 投資に関する開示義務を課すことを検討すべきと考える。それは、日本版 SS コードを制定したときのソフトローの精神から反するかもしれない。しかし、これも議論すべきと考える。

また、高校や大学での継続的な ESG 投資教育についても議論の価値はあると考える。このような取り組みは、ショートターミズムの抑制に繋がり、ESG 投資の投資哲学が醸成されることも期待できる。

そして、筆者は、資産規模の大きい GPIF、地方公務員共済組合連合会(地公連)、企業年金連合会(連合会)の 3 つの公的年金基金が、インハウスで ESG 要因を考慮する国内株式のアクティブ運用を行うことの是非について、国民的議論を行うべきと考える。

現在、GPIF と地公連は、国内債券についてはインハウスでパッシブ運用を行っている。一方、連合会はインハウスの運用対象として、国内債券のほかに国内株式と外国債券が認められているものの、運用スタイルは GPIF 及び連合会と同じくパッシブ運用に限定されている。

アクティブ運用のパフォーマンスは、当然のことながら、短期的には市場平均を目標とするパッシブ運用のパフォーマンスを下回ることはあり得る。しかし、そのような緊張感の高い真剣勝負が公的年金基金の経験値を高め、長期投資による超過リターンを実現する可能性を高めると考える。

GPIF などの公的年金基金がインハウスでアクティブ運用を開始するには、所轄官庁の承認とそれぞれの基金の設立根拠法を改正する必要がある。

GPIF に関しては、2016 年に所轄官庁の厚生労働省年金部会で、国内株式のインハウス運用について議論があった。しかし、結論に至らず、GPIF の設立根

10 小方 (2016, pp.158-196) 参照。松下幸之助の経営理念

とキリスト教倫理に共通する普遍性について論じている。

拠法である年金積立金管理運用独立法人法の改正案は国会に提出されなかった¹¹。

GPIF の国内株式のインハウスでの ESG 要因を考慮するアクティブ運用の是非は、国民から預かった資産の運用にかかわる問題であるので、厚生労働省内部の議論にとどめるのではなく、広く国民的な議論を行うべきであると考え。国民的議論を推進するには、メディアが担う責任は大きいと考える。

そして、GPIF などの公的年金基金がインハウスでアクティブ運用を行うには、ESG 投資の能力が高いインハウス・マネジャーが必要になる。その前に、アセット・オーナーだけではなくアセット・マネジャーも含めた ESG 投資教育の体制を整備する必要がある。また、どの機関や組織を ESG 投資教育の主体とすべきか、この点についても議論が必要である。

このように、GPIF などの公的年金基金がインハウスで国内株式などのアクティブ運用を行うためには、幾つもの課題がある。

それでも、筆者は、真剣な国民的議論を経て、GPIF などがインハウスで ESG 要因を考慮する国内株式などのアクティブ運用を開始することが望ましいと考える。

なぜなら、わが国における ESG 投資の持続的発展を実現するには、GPIF などの公的年金基金の役割が非常に大きいと考えるからである。公的年金基金などのアセット・オーナーの ESG 投資に対する経験値が高まれば、アセット・マネジャーは年金資金受託の激しいビジネスを勝ち抜くために自らの運用能力を高めるであろう。そして、投資対象企業はエンゲージメントを通じて、持続的成長を実現する可能性を高めるであろう。

このように、わが国における ESG 投資の持続的発展を考える上で、GPIF などの公的なアセット・オーナーが果たす役割と責任は大きいと考える。

5. 終わりに

わが国の ESG 投資は、GPIF の UN-PRI 署名を契機に大きく動き始めた。しかし、この大変革はようやく始まったところである。

わが国の ESG 投資は、欧米の ESG 投資と比較すると、市場規模は相対的に小さく、歴史は浅い。なによりも、欧米の SRI・ESG 投資が、100 年の歴史の中で、キリスト教倫理に基づいて磨きあげた、「社会と企業の変革」という投資哲学が欠如していると考え。

筆者は、今後、わが国の ESG 投資を持続的に発展するには、広く深い国民的な議論を経て、様々な施策を講じる必要であると考え。例えば、GPIF などの公的年金が、インハウスで ESG 要因を考慮するアクティブ運用を行うことについて、真剣に議論することに価値があると考え。その結論は如何なるものであっても、結論に至るプロセスで真剣な議論が行われれば、わが国においても投資哲学が醸成される可能性と、ESG 投資が持続的に発展する可能性が高まると考えるからである。

参考文献・資料

1. 井口譲二. 2018. 『財務・非財務情報の実効的な開示 —ESG 投資に対応した企業報告—』
2. 小方信幸. 2016. 『社会的責任投資の投資哲学とパフォーマンス — ESG 投資の本質を歴史からたどる』 同文館出版.
3. 北川哲雄. 2017. 『ガバナンス改革の新たなロードマップ—2つのコードの高度化による企業価値向上の実現—』
4. 経済産業省「持続的成長への競争力とインセンティブ—企業と投資家の望ましい関係構築—」プロジェクト(伊藤レポート)
<http://www.meti.go.jp/press/2014/08/20140806002/20140806002-2.pdf> (検索日 2014 年 9 月 27 日)。
5. 小崎亜依子・竹林正人(2011)「国内外における ESG 投資の現状と考察」、『証券アナリストジャーナル』49(5)、pp.8-18.
6. 首藤恵 (2004)「英国における社会的責任投資の展開：日本への示唆」、『証券アナリストジャーナル』42(9)、pp.20-32.
7. 谷本寛治 (2003)『SRI 社会的責任投資：市場が企業に迫る新たな規律』、日本経済新聞社.
8. ドミニ, A. 著, 山本利明訳(2002)『社会的責任投資：投資の仕方ですべてを変えていく』、木鐸社.
9. 西谷幸介(2006)『十字架の七つの言葉』、ヨルダン社.
10. 野呂芳男 (1991)『ウェスレー』、清水書院.
11. 浜林正夫 (1987)『イギリス宗教史』、大月書店.
12. 森本あんり (2006)『アメリカキリスト教史：理念によって建てられた国の軌跡』、新教出版社.
13. Eurosif, (2014), *European SRI Study 2012*, The European Sustainable Investment Forum, retrieved January 12, 2019<http://www.eurosif.org/sri-study-2014/>
14. Global Sustainable Investment Alliance (2016), *Global Sustainable Investment Review 2016*, <http://www.gsi-alliance.org/> retrieved November, 1,

¹¹ 平成 28 年 2 月 2 日 第 36 回社会保障審議年金部資料 2 「GPIF 運用のあり方に関する現在までの議論」<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12601000->

Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Shakaihoshoutantou/0000111231.pdf 検索日 2018 年 10 月 20 日

- 2018.
15. Kreander, N., D. Molyneaux and K. McPhail (2003), “An Immanent Critique of UK Church Ethical Investment,” Department of Accounting & Finance, University of Glasgow Working Paper Series, January, pp.1-36.
 16. Louche, C. and S. Lydenberg (2011), *Dilemmas in Responsible Investment*. Sheffield, UK: Green Leaf Publishing Limited.
 17. Sparkes, R. 2002. *Socially Responsible Investment: A Global Revolution*, Chichester, UK, John Wiley & Sons.
 18. US SIF (2014), *Report on Sustainable and Responsible Investing Trends in the United States 2014*, Washington D.C. USA, The Forum for Sustainable and Responsible Investment.
 19. US SIF (2016), *Report on US Sustainable, Responsible and Impact Investing Trends 2016* Washington D.C. USA, The Forum for Sustainable and Responsible Investment.
 20. Willis Towers Watson (2018), The world's largest pension funds - year ended 2017.
https://www.thinkingaheadinstitute.org/en/Library/Public/Research-and-Ideas/2018/09/P_I_300_2018_research_paper(最終検索日 2018 年 10 月 20 日)
 21. Wesley, J. (1760), The Use of Money, *The standard sermons of John Wesley*, pp.309-327, published in 1961, London UK, Epworth Press.

<JAROS 2018 研究発表大会
パネル討論: セミナー「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」より>

パネルディスカッション サステナブル時代の企業経営と社会課題解決型ビジネス

パネリスト

芝川 正

(環境省 大臣官房 環境経済課 環境金融推進室 室長)

小方 信幸

(帝京平成大学 現代ライフ学部経営マネージメント学科 教授)

河本 光明

(住友化学 レスポンシブルケア部 気候変動対応担当部長)

ファシリテータ

小林 孝明

(野村総合研究所 上級研究員)

1. 自己紹介と問題提起

1.1 芝川正氏より

環境省の芝川です。本日はリアルオプション学会にお呼びいただき、ありがとうございます。

まずは自己紹介ですが、実は今年4月から環境省に出向で来ています。環境省では、環境だけを見るのではなく社会、経済全体の課題を一体的に捉えていくという観点からも取り組んでおり、その中でもファイナンスの側面も重要であると考えております。私自身はもともと民間金融機関が出发点で、マーケットの仕事をはじめとして日本銀行を経て、環境省に参った経緯です。

私の所属している環境金融推進室は、この4月に開設したところです。今現在の主な職務は、環境金融に関する政策立案、運営ということグローバルコンパクトで、この後、スライドでESG金融の関連施策を御説明いたします。

環境省のESG金融政策の全体イメージですが、簡単に申し上げますと、左側の環境経営に取り組まない企業から、右側の環境経営に取り組む企業や、環境関連事業に取り組む企業などへ、資金をシフトしていくことを促す施策を打っていくということです。

一部を紹介する前に、ESG金融の構図といたしまして、分類の是非は置いておいて、直接金融、間接金融があり、アセットオーナーという資金を持っている方々が金融機関に資金を委託するという中で、ESG投資方針を明確に打ち出していく、そして運用機関が実際にESG投資を行います。例えば上場金融機関に投資をしたり、企業にESG投資をしたりします。企業側としては、情報開示などお互いの対話を行っていくということです。

この7月にESG金融懇談会のまとめとして提言が委員の意見として出しています。内容としてはパリ協定、SDGsが目指す脱炭素社会、持続可能な社会に向けた戦略的な資源配分のシフトが、我が国の競争力、新たな成長に繋がっていくと捉えております。また、社会的インパクトの大きいものへと育む目的であり、特に環境分野においては、パリ協定2℃目標に整合的なところを目指していくため、巨額の民間資金が必要になってくるということでございます。

それから、投資とはやや異なりますが、間接金融に置きましても、先ほどESG投資の残高というアンケートベースの数値が小方先生より紹介されましたが、融資の分野においては、そういった数値が全く取れていない状態です。国内の地域金融機関や、市

民ファンドなどが、こういった ESG の取り組みを行っているか、という所は、まだ見えていない状況です。このような間接金融に置き、地域金融機関と地方自治体などの共同で ESG 融資を進めていく必要があるのではないかと考えております。

右側はこのような金融業界のトップの方々にお集まりいただいた懇談会であり、後続としてハイレベルパネルというものも設置していくこととしております。官民連携して ESG 金融大国となるための戦略を打ち出すための、やや大きな構図としました。

具体的な施策を細くならないよう概要を御説明しますと、まず情報開示基盤の整備事業です。プラットフォームがあり、投資家や企業に利用してもらうものである。企業側からは環境情報などをプラットフォームに乗せて情報開示するもので、投資家側からは、その情報を元に企業側とコミュニケーションを図っていただくものであり、既に 750 の企業・投資家が参加して実証段階を迎えており、正式稼働は 2021 年度を予定しています。できればこのようなプラットフォームで海外の投資家も呼び込めるような仕組みになっていければと思っております。

また、御案内のように国内外のグリーンボンドは普及しているが、今年も国内では、金額ベースで 2 倍、件数ベースでは 3 倍といったところで伸びていますが、左上の世界のグリーンボンドの発行額に比べますと、やや出遅れているということです。そういったところで環境省としてもグリーンボンド発行支援の補助制度を行っておりますが、発行体そのものではなく、グリーンボンドを発行する際の追加コストとなる、例えばコンサルティング会社への費用や外部レビュー機関、これはグリーンボンドを発行する際の資金用途がグリーン性のあるものに当てられているかといった外部レビューを行う機関に対して、資金支援を行うという事業を行っています。

次に、地域低炭素促進ファンドで、我々はグリーンファンドと、通称言っていますが、官民ファンドとしまして出資の形態でリスクマネーを国が供給していくということで、地域活性化、低炭素化に繋がるようなプロジェクトに資金をつけていき、民間資金を誘導していくという施策を打っております。

そして来年度の事業として考えているものですが、先ほどの融資の話ですが、地域において事業性評価融資において環境・ESG という観点を入れていくというもので、地域金融機関の融資モデルの中にもしっかりとこういった配慮をしていく、そのような融資モデルの作成支援ということを考えています。

簡単ですが、環境省の施策としては以上のような内容になります。

次に問題提起ですが、いろいろ施策を進めておりますが、ESG 投資が金融業界の中では拡大してきており、投資家の間では知らない者はいない段階ではありますが、スピード感という点ではまだまだ厳しいところであり、地球温暖化対策としてパリ協定で、日本は 2050 年までに 80% の CO2 削減目標があります。更に最近の APCC などグローバルな研究機関では、1.5℃ 特別報告書が出ており、本当に 2℃ で十分なのか？という議論もあり、各国の積み上げの試算でも目標に到達しないと言われております。

そういった投資資金をスケールアップしていく規模の話、そして時間軸のミスマッチということで、どうやって ESG 投資を今後も拡大していくかという危機意識を持って取り組んでいくかという所が気候関連の E の観点からは課題であると思っています。

1.2 小方信幸氏より

講演に続きパネルディスカッションに参加させていただきます。私は、大学卒業後に住友銀行に就職しましたので、環境問題という戦前の住友財閥の中興の祖といわれている伊庭貞剛を思い出します。伊庭貞剛は、銅を採取し荒れ果てた別子銅山の山全体を植林で緑にしました。伊庭貞剛と環境についての問題提起は、ご本家である住友化学の河本さんに詳細をお話したいかと思います。

さて、私からの問題提起は、わが国における ESG 投資の推進策についてです。わが国において ESG 投資を更に推進するためには、公的年金基金の運用能力の強化が不可欠であると考えます。特に、世界的にみても資産規模の大きい、年金積立金管理運用独立行政法人 (GPIF)、地方公務員共済組合連合会 (地共連)、企業年金基金連合会 (連合会) の 3 つの公的年金基金の、ESG 投資への取り組みを強化する必要があります。この点につきましては、基調講演で詳しく話すことができませんでしたので、この場で補足いたします。

ESG 投資の主体は、年金基金などのアセット・オーナー、年金基金から資産運用を受託するアセット・マネジャー、そして投資先企業の 3 者です。基調講演で述べましたように、これら 3 者の中で、わが国の ESG 投資の持続的発展への貢献を期待するのが、GPIF などの公的年金基金です。彼らの役割は非常に大きいと考えます。

公的年金基金などのアセット・オーナーの ESG 投資に対する経験値が高まれば、アセット・マネジャーは年金資金受託の激しいビジネスを勝ち抜くために自らの運用能力を高めると考えます。そして、投資対象企業はエンゲージメントを通じて、持続的成

長を実現する可能性を高めるものと期待できます。つまり、国民から年金資金を預かっている巨大な年金基金がしっかりすれば、アセット・マネジャーと投資先企業も持続可能性により真剣に向き合うと考えます。言い換えれば、これら 3 者で構成されるインベストメント・チェーンの健全化には、公的年金基金の ESG 投資能力の向上が不可欠であると考えます。

それでは、公的年金基金の課題について述べます。公的年金基金の ESG 投資の運用能力の強化は喫緊の課題と考えます。その中でも、公的年金基金の議決行使とエンゲージメントについては、一層の強化が必要であると考えます。

GPIF は、2017 年 6 月に「スチュワードシップ原則」と「議決権行使原則」を定め、アセット・マネジャーに株主行動の指針を示しつつ、エンゲージメントと投票行動の結果についての説明を求めるようになりました。以前は中立性を理由に、議決権行使をアセット・マネジャーの裁量に任せていた状況と比較すれば、大きな進歩といえます。また、これらの原則の制定は、2017 年に改正された日本版スチュワードシップ・コードに沿ったものといえます。

しかし、GPIF は、議決権行使とエンゲージメントについて、司令塔としてアセット・マネジャーに具体的な指示を出している状況ではありません。したがって、議決権行使とエンゲージメントは、まだアセット・マネジャーの裁量が大きいと考えます。

GPIF が明確な指示を出さなければ、アセット・マネジャーは自らの裁量で判断しバラバラに動いてしまいます。アセット・マネジャー各社が独自の判断で企業と建設的な対話を目指しても、エンゲージメントの効果は限定的と考えます。アセット・マネジャー各社が個別に異なる ESG 要因改善の提案をするのであれば、企業側は困惑し疲弊するだけになると考えます。建設的対話どころではなくなると心配になります。

もちろん、GPIF の UN-PRI 署名以前から、ESG 投資を推進しけん引してきた、アセット・マネジャーはわが国にも存在します。アセット・マネジャーの役割も大きいものの、やはり司令塔であるアセット・オーナーが ESG 投資体制を整える必要があると考えます。

海外に目を向けると、資産規模の大きい公的年金基金である、カリフォニア州職員退職年金基金（CalPERS）やスウェーデンの AP Fonden などは、ESG 要因に問題のある企業数十社をターゲットとして絞り、所定のプロセスに沿ってエンゲージメントを行っています。そのプロセスとは、企業に対す

る問題提示、企業側の問題認識、投資家と企業の協議、企業側の改善計画策定、そして最後に計画の実施というプロセスを経て、公的年金基金はその企業をエンゲージメントの対象から外します。

このような海外年金基金のエンゲージメントを参考に、わが国の公的年金基金も効果のあるエンゲージメントを確立する必要があると考えます。

そのためには、公的年金基金は、インハウス運用担当者を含めた専門スタッフを採用し育成する必要があります。現在、GPIF の職員は 100 名程度です。その中には、インハウスで日本国債を運用する数名のスタッフもいます。

一方、CalPERS では 350 名～400 名の運用スタッフが在籍しており、あらゆる資産をインハウスで運用しています。また、エンゲージメントについても毎年ターゲットリストを公表し、数十社と建設的な対話を実施していると報告しています。

GPIF が、国債以外の資産についても、インハウスでアクティブ運用を行うには、設立根拠法である年金積立金管理運用独立行政法人法（GPIF 法）の改正が必要になります。GPIF 法の改正には国民的議論も必要となるでしょう。しかし、インハウス運用の是非や GPIF 法改正を議論する前に、GPIF は ESG 投資の専門家を育成すべきだと考えます。

GPIF は、自ら ESG 投資に対する基本的な考え方をもって、アセット・マネジャーに対して個別かつ具体的なエンゲージメントと議決権行使の指示を出すべきと考えます。そのようにしないと、アセット・マネジャーを通じたエンゲージメントなどの効果は限定的であり、サステナブルな社会にたどりつけないと危惧します。

なお、地共連は 5 年以上前から積極的に ESG 投資に取り組んでいます。また、連合会は国債以外の資産についても、パッシブながらインハウスで運用を行っています。このように、ESG 投資では、地共連と連合会は GPIF よりも進んでいるようにみえます。しかし、本日は詳しくお話する時間はありませんが、地共連と連合会も ESG 投資に関する課題はあります。

このような理由で、私の関心事は、アセット・オーナーである公的年金基金の ESG 要因に基づく運用の強化にあります。

1.3 河本光明氏より

住友化学の河本です。貴重な機会を頂戴しありがとうございました。

まず会社の紹介からしたいと思います。日本の企業は、創業時からの志が現在も経営理念として生き

ていることは多いと思います。住友化学は、新浜市の別子銅山が最大拠点になっておりますが、銅を精錬する際に、硫黄成分があるため、亜硫酸ガスが発生し、以前はそれを煙害と言いまして、農業などに相当の被害を及ぼしておりました。明治時代当時、政治問題化し、住友グループでは、売上げ1年分くらいのコストを掛けて、精錬所を全て沖合の島に移動させたのだが、ますます被害が増え、厳しい状況に追い込まれました。当時、化学肥料が、まだない時代で、そこに目を付け、正にイノベーションであります。廃ガスから肥料を作れないか、と大議論しました。そして肥料工場をつくったのが、今の住友化学の前身であります。このような意味で、会社としては事業を通じて環境問題に社会貢献するということを非常に重視しています。もともと農業系事業からスタートしましたが、石油化学系事業が高度成長時代に発展しましたが、最近は医薬品や情報電子などの方向に変わってきています。

次に、一般的な考え方ではございますが、短期的には ROE、事業部門ごとには ROI の向上を、中長期的な観点からは ESG を重視した取り組みが、持続的な企業価値創造に繋（つな）がっていきます。特に私は気候変動を担当しており、正に ESG に関わっています。

ご存じかもしれませんが、毎年ダボス会議でグローバルなリスク分析を行っておりますが、このわずか8年間で全く異なった様相になっている。今年1年を振り返ってみると異常気象や自然災害が大きなリスクになっており、企業としてもこれらをリスクとして捕らえていることが分かります。

また、中長期に見るとパリ協定の 2℃目標だが、そのような社会になったとき、どのようなビジネスがあり、会社がどんな環境に置かれるのか、に非常に興味があります。OECD が、2℃目標を達成したら経済はどうなるかという分析をしました。プラス要因も大きいですが、マイナス要因も非常に大きいです。G20 ベースで見ると、年間 2.5%の押し上げ効果があるとされていおりますが、よくよく見ると、エネルギー価格は相当値上がりします。一方、イノベーションに成功した場合、大きな経済成長も生まれ、例えば会社において、2℃社会を達成するとともに、新しい市場や製品を開発していければ、大きく成長できます。そういったリスクとオポチュニティがあると明らかになっています。

金融安定理事会が TCFD の中で、企業は更に温暖化対策に伴うリスクとオポチュニティの情報を開示するような提言が出ている。我々は、早々に、TCFD への対応を指示しましたが、リスクとオポチュニテ

ィをしっかりと捉えていかなければならないと考えております。

リスクという意味では、自分たちが出している CO2 を、そのまま放置してはいけないと考えています。我々グループ全体で年間 800 万トンくらい排出をしているイメージですが、もし 1 万円の炭素税が掛かれば、800 億円の課税になる。そんな時代が来ると、とても大変な事態になるので、早いうちに対応したいと考えており、その 1 つが SBT であり 3 割の削減を目指しているものです。

また気候変動に関する投資家説明会を開くと、どんなビジネスチャンスがあるのか？という質問が多いです。我々は事業を通じて、気候変動を含み SDGs に貢献する製品をもっと増やすため、自社内にスミカ・サステナブル・ソリューションという名称で認定の仕組みを用意し、売上げを増やしていこうと取り組んでおります。例えば電気自動車の部材や、より軽量の炭素繊維などがあるが、社外からももっと分かりやすくし、社内でも売上げを 5 年で倍増するなど目標をもって進めております。

あと、問題意識もございます。ここ数年で ESG はかなり環境が変わってきましたが、IR 部門から見ると、実感として、様々なエンゲージメントを使って、様々な指摘をしている、という段階までは進んでいないと感じています。

また、GPIF の ESG 指数に選定される・されない、という点は非常に大きな興味のあるポイントであります。選定される・されないという表面的な結果で止まっており、それ以上の深堀ができておりません。一方で、選定されるための対応にはコストがかかるため、本当にコスト以上のメリットがあるかといった実感までは、まだ得られていない状況でございます。ただ、時代の流れとして、ESG を重視する方向に進むのは間違いないし、会社の方針とも一致しています。

2. ディスカッション

2.1 テーマ①『ESG や環境テーマは、これからの企業活動の中心的理念となりえるか？』

（河本氏）

最も難しいのは短期的に ROE を向上させていながら、中長期的な成長の種を育てるという点と、ESG の活動をいかにリンクさせるかということです。今は、それぞれの課題がブツブツに途切れており、繋がりを必ずしも説明できていない部分があります。それらがつながっている確信はないけれども、進めなければいけないので、やっているところがあ

り、手探りで進めているとも言える。もっとはつきりとロジックが見えてくると嬉（うれ）しい。

また、投資家との間でも、ESGに取り組むと投資してもらえるのか、といった関係性が見えてくると、もっと進めやすくなります。例えば、GPIF の ESG 指標の取り組みに関しては、具体的な評価例が示されていて、個別に選定された企業が明確なので理解しやすいです。弊社の場合、当初の 3 つの指標の内、女性の活躍指数では選定されなかったもので、必死で対応をすることになりました。結果が明確に分かるということは会社として対応せざるを得ないというか、目標が立てやすい面はあります。

（小林氏）

指標に採用されるために表面上の対応を優先してしまい、中身が追いついていかないというリスクもあると思いますが、どう考えるべきでしょうか？

（河本氏）

程度の話かもしれません。弊社はちゃんと中身を含めて対応をしたつもりです。また、昔はどのように対応したのかなど中身の説明は余り開示しなかったかもしれませんが、今の時代は、きちんと中身まで開示するのが当然になってきていると思います。たしかに開示する手間は大変だが、発想を変えて、確実に達成し、確実に開示するという考えに改めています。

ただし、そのクオリティの問題はあるかもしれません。指標というものはやや特殊で、開示していれば OK、方針を説明をしていれば OK といった側面があります。企業から見ると、それぞれが、どこまで求められているかを、自主的に判断するところもあるため、そのクオリティが低くなってしまうリスクはあるかもしれません。

とにかく、我々としては提示された物について、まずは開示していく、ということを確実に実行していくことだと思います。

（小方氏）

企業にとって ESG 要因の考慮はサステナビリティに不可欠と考えます。先ほど芝川氏より間接金融の話がでましたように、投資家だけでなく金融機関の役割も大切と考えます。金融機関からの様々な助言の中から、企業がサステナビリティの重要性に気付くこともあると考えます。特に中小企業の場合は、銀行が環境配慮型融資の金利適用基準などをアドバイスすることが重要と考えます。

その際、銀行は、企業に対して環境要因だけでは

なく広範な ESG 要因について助言と指導を行うべきと考えます。具体例を挙げれば、日本政策投資銀行は、長年にわたり環境融資に取り組んでいます。その融資基準は環境要因にとどまらず、ESG 要因全般を網羅していると聞いています。

また、金融機関から、優れた融資先がないという話はよく耳にします。銀行にとって、マイナス金利が死活問題である上に、信用リスクの低い優良な大企業に資金需要がないという悲鳴を聞きます。そうであれば、金融機関に残された道は、ESG 要因を含めた審査基準をもって、ソーシャルベンチャーを始め、成長性の高い企業を発掘し育成することであると考えます。金融機関は、様々な融資の規制や制約があるものの、企業との win-win の関係を築くべきと考えます。

さて、上場企業についてみると、CSR・サステナブル報告書、あるいは、統合報告書の作成に真摯に取り組む企業は増えていると実感します。しかし、大手企業であっても、悩みながらレポートを作成している様子が多々見受けられます。例えば、今までは CSR を企業理念に沿ってやってきましたが、ESG 要因との関係、SDGs17 目標の事業への取り込みなどに苦慮する企業も少なくないと言えます。どのようにすべきか、悩んでいると思います。

それでは、整理がつかない場合はどうすべきかと言うと、経営者が先頭を切って統合的な思考で経営を考えるべきだと考えます。経営者は、自社を取り巻く社会課題と把握し、その中から本業を通じて解決すべき課題を選択すべきです。そして、社会課題の解決策と自社の経済価値を実現する、正に共通価値創造のストーリーを描くべきと考えます。

しかし、残念ながら、実際は、現場の社員が一生懸命考え、経営陣を説得して、ようやくサステナビリティの開示にこぎつける企業が多いと聞いております。そのようなボトムアップから、経営者が気付いて、経営の中核に CSR や ESG 要因を据える企業の話もあると聞いております。このように、必ずしもボトムアップが悪いといえませんが、それでも、経営者が自らサステナビリティを経営の中核に据える必要性に気づいてほしいと思います。

企業経営者が自分の言葉でサステナビリティのストーリー・テラーになるためには、統合報告書が有効なツールになるといわれています。経営者は、自社を取り巻く社会課題、経営理念を含む ESG 要因、リソースなどの関係性を考え、具体的な経営戦略を練り、それが最終的に価値創造につながるプロセスを、資本提供者に対して説明するべきです。経営者がこのような思考のプロセスを踏むことにより、サ

ステナビリティが経営の中心になると考えます。

このような理由で、統合報告書の作成には、経営トップが積極的にコミットメントしてもらいたいと思います。企業が統合報告書の作成を印刷会社に全面委託するようなことは止めるべきです

ESG 投資家が企業の統合報告書をみれば、外部に丸投げしたかものか、社内で議論を尽くし練り上げた内容であるかは、一目瞭然といわれています。

2.2 テーマ②『企業だけでなく、取り巻く社会全体が変革するために、必要な施策は何か？』

(芝川氏)

企業サイドからの視点としては、お二方の意見に賛同するところです。特に政府として、安部総理も気候関連の対応はもはやコストではなく、競争力の源泉であると、6 月の未来投資会議でも述べています。

そういった意味で、短期の ROE 向上と長期の視点（ショートターミズム）のギャップを、どう埋めていくか、あるいは説明していくかという観点で、年金や生保といった長期投資家において ESG を進めていく、そういった所で長期の戦略に沿った企業価値の評価がなされていけば良いのではと思います。

事業も競争力の源泉と捉えるのであれば、事業も増やしていかなければいけません。環境省としても、特にファイナンスについては、ビジネスを広げていくといった点にも取り組んでいます。例えば、地域毎（ごと）に自然資本、地理的なものだったり、いろいろ異なるポテンシャルがあります。そういった点を調査して、自治体毎（ごと）に今、化石燃料を海外から購入して電力を作っているといった状況で、資金は外に流れていますが、地域で地産地消のエネルギーであるとか、自然資本であるとか、そういったものを循環させていく社会を作っていくことが必要だと思います。自治体、金融機関といったネットワークを結びつけていくコンソーシアムのようなものを立ち上げていきながら、対話の中で事業を創造していくことを、環境省としても出来ればよいと考えています。

それから、インフラ整備という観点で、北海道のブラックアウトや、九州の発電調整といったこともありますので、例えば全国の送電網の整備や、蓄エネ、スマートグリッドなどこういったことも事業と絡めて、イノベーションを含み、こういった整備をしていくか、電力会社にとっても再生エネルギーが増えてくれば、電力を売る側ではなく、買う側に回ってしまうというビジネスモデルを、どう考えるべきかという問題もあり、こういった事業は一体的に

考えていきたいです。

もう一点、企業価値の中心的理念として今、ESG 金融に加えて、カーボンプライシングという、炭素に新たな価値尺度を入れていくという考え方の議論を環境審議会でも今夏より開始したところです。これに関しては、新たなイノベーションに向かって、現在、気候変動対応に絡めて、石炭などのビジネスモデル自体が長期的には変化していく中で、そういった資金シフトを促していく議論を喚起していければ良いと思います。

(小林氏)

カーボンプライシングなど新しい政策の話が出てきましたが、テーマ②に関連して優遇税制など企業への、あるべき支援施策や支援事業についてコメントを頂きたいと思います。

(芝川氏)

例えば、国際的な金融に関する議論の中では、流動性の規制であったり、資本規制であったり、銀行のバランスシートに関わる部分で、グリーンな物に対しては、少しリスクウェイトを緩和したりすると、脱炭素に向けたバランスシートの使い方に変わっていくのではないかと、といった議論はあると聞いております。

ただ、基本的に、金融に関しては、当局は金融システムの安定が重要なので、優遇といった施策をとったときに、万が一、そこに関連したリスクが発現したとき、金融システムの安定処置を講ずる必要もあり、すると、誘導しておきながら審判も下すということになると、これはこれで問題になる可能性もあると思います。

考え方として、優遇するというより、逆に、炭素の多いブラウンアセットのリスクウェイトを大きくするなど、ペナルティ的要素を入れていくという手段もあると思います。

いずれにせよ、残念ながら、国内で直（す）ぐに優遇税制などと言った話には、なっていないという状況です。

(小林氏)

補足情報ですが、グリーンなものに何らかの優遇措置を取るといった場合に、何がグリーンかの定義が世界的に定まっていないのが問題のひとつと言われています。そこで、今、海外で議論が始まったのが、グローバルなルール、例えば ISO のような国際規格でルールメイキングできないかということです。その ISO の場において、グリーンボンドとは何か、グ

リーンローンとは何か、といった議論が開始されたところでは。

ところが、日本ではまだまだ、この ISO の動きをキャッチアップできていない段階にあり、今後 ISO のグリーンの定義などに関する記事や話題が出てくると思われるので、是非ウオッチすることをお薦めします。

(小方氏)

テーマ②の社会全体の変革を進めるには、企業単独の取り組みだけではなく、企業が消費者と協働で社会課題に取り組むことも大切だと考えます。また、最近では、NPO 法人サステナブル消費者会議の活動、エシカル消費の動き、ソーシャルプロダクトの販売など、消費者が中心となっている動きがみられます。しかし、このような動きは始まったばかりで、消費者運動はそれほど盛り上がりはならず、規模は小さい状態です。しかし、このような消費者運動が活発になることは社会全体の変革には不可欠であり、政策として支援をするべきだと考えます。また、メディアがこのような動きを取り上げ啓発することも大切であると考えます。

一方、ESG 投資家の動きとしては、ESG 要因による投資対象のスクリーニング、エンゲージメント、議決権行使のほか、最近では、ダイベストメント（投資引揚げ）が注目されています。

最近の日本経済新聞で、ノルウェイのソブリン・ウェルフェア・ファンドが化石燃料への依存度が高い日本企業の株式を売却しているという記事がありました。このようなダイベストメントの是非はさておき、グローバルな ESG 投資家の圧力が強まることにより、企業がサステナビリティをより真剣に考えるようになると考えます。

(河本氏)

企業はもし投資家からのエンゲージメントがあれば、真剣に対応すると思われれます。ただ実際、私の関係では、今のところ国内からのエンゲージメントの経験はありません。北欧の年金基金からのエンゲージメントがあったくらいです。

また GPIF の分かりやすい指標の仕組みができたことは、明らかにインパクトがあったと言えます。今までは、指標など全く意識もしなかった訳で、GPIF がやらなければ、これからもずっと意識しなかったでしょう。

ところで、温暖化や気候変動への対応は、明らかに投資 ROI の原則から外れています。つまり、今現在はエネルギー価格が安価なため、何年も掛けて回

収していくのは非常に非現実的です。カーボンプライシングの話題も出たが、現在の経済環境の中でプライシングするのは大変難しく、結局は経済原則から外れた仕組みになってしまわないか、慎重に検討していただきたい。

このように、経済原理の側面から、現場では非常に対応に苦しんでおります。日本企業の温暖化対応が遅れているのは、対応するだけのインセンティブがないからであり、かといってカーボンプライシングが入っても、決して嬉（うれ）しい訳でもありません。

(小林氏)

プラス面を増加させるためには、イノベーションを起こす必要があるという御発言があったと思います。

温暖化を進めながらイノベーションを起こすためには、何か大きなパラダイムシフトをしないといけない気がします、どうお考えになりますか？

(河本氏)

どの程度のスコープを捉えるによって異なりますが、もう市場が見えているような電気自動車の場合などは、実マーケットベースで競争が激しくなっている状況ですが、逆に、本当に市場ができるかどうか分からない分野も多く、例えば水素自動車がそうです。政府もいろいろ対応していますが、実際にはコストが高すぎて、今のままでは市場化できるとは思えません。しかし、2℃目標や 1.5℃目標の達成を考えると、水素無しでは考えられないのも事実です。しかしビジネスとして考えたときに、投資が出来るかといわれると出来ないという判断も事実です。こういったものを、現時点でどう考えるべきか、長期的な戦略の中で、マテリアリティの中に入れるという判断をするかどうかです。企業としてリスクを取り、長期戦略の中で、継続するという判断が必要です。通常、現場では 3 年サイクルで達成することを意識していますが、それ以上の長期は考えておりません。日本企業の温暖化対策が進まないのは、ここにも理由があるのではないかと思います。

(小林氏)

今の河本氏の話は、実は小方先生が言われたエシカル消費の話と共通していると感じました。

つまり、新しい消費者マーケットを構築するというのは、とてつもない時間の係る作業が必要になります。例えば温暖化対策した商品はコストがかかっており、誰がこの高い商品を買ってくれるか？高く

でも環境にやさしい商品を選ぶ、という今までにない文化を生まなければいけません、誰がその啓蒙をするか？最近ではエコバックがやっと定着しつつありますが、コンビニでビニールバックを断ることはしないのではないかと、ここの感覚を変えていくことが必要だと思いました。

2.3 テーマ③『もし自分が経営者・幹部だったら、まず何から実現したいか・すべきか？』

(芝川氏)

いままでの議論の流れからみると、短期的に気候変動など取り組むことは難しくコストも高いので、将来コストが下がってきたときに参入するべく、今は様子を見ようという企業が多いのではないのでしょうか。これも時間軸のギャップを埋めていかなければならず、先ほどエンゲージメントの話もありましたが、企業の情報開示のところで、なぜ、この事業を行うのかを企業経営者が説明していく際、いずれマーケットのデファクトを取るから、短期的なコストはカバーできるのです、などのストーリーを描いていくことが必要だと思います。

更に気候変動関連で言うと、いずれ2030年、2050年という遠くない将来で、短期的な対応を迫られる訳ではありますが、そのような中でも、企業として長期的な戦略として考えることが必要になると思います。

(小方氏)

自分が企業経営者になることは考えたことはなく、イメージすら湧きません。そこで、そのような想定代わりに、サステナビリティを経営の中核に据える中小企業2社を紹介します。1社は消毒薬や石けんメーカーのサラヤであり、もう1社はリサイクルの石坂産業です。サラヤは約350億円の売り上げながら、世界市民として自社はどのようにあるべきかを常に考えている企業です。

例えば、手洗い習慣のないアフリカの農村で、NGOと連携して小学校での「手洗い運動」を実施しています。また、水道がないために手術で感染症にかかり死亡する患者が多い、アフリカの病院に消毒薬を推奨し販売する営業活動を行っています。さらに、日本からの輸入品の消毒薬では高価になるので、小規模ながらも現地で消毒薬の製造を開始しています。それが現地の雇用にもつながっています。

アフリカでのこれらの取り組みは、崇高な理念に基づくものながら、しっかりとしたマーケティングが支えています。ビジネスとして利益を上げること

もしっかり考えており、正に共通価値の創造といえます。

一方、石坂産業は埼玉県入間郡三芳町の産業廃棄物処理業者ではありますが、廃棄物の約98%をリサイクルしています。最も処理が難しいといわれている瓦れきを100%近くリサイクルできる高い技術と設備をもつ企業です。それが、差別化につながり、同社の持続可能性を実現しているといえます。

また、リサイクル工場に隣接する土地に、不法放棄された産業廃棄物をすべて処理しました。さらに、その土地を買い取り、里山を生き返らせました。現在、その里山は一般に開放し、子供たちが自然を学ぶ場になっています。これは地域社会との共生を図る取り組みである同時に、ローカルなブランドをつくっているといえます。

石坂産業は、創業者の先代社長のときから、完璧なリサイクルを追求していたといえます。リサイクルできない産廃物はすべて海の埋立てになる、だから、リサイクルは社会に必要という使命感で経営を行っているといえます。

本日紹介しました、サラヤと石坂産業は、とも社会的な課題を把握し、自社の信念とリソースを活用して経営を行っています。そして、短期的に利益を上げながら、長期的な社会課題に立ち向かっており、それがサステナブルな経営になっていると考えます。

このような共通価値の創造を実現する中小企業の経営者になれば素晴らしいのですが、私には見果てぬ夢かと思います。「言うはやすく行うは難し」です。

(河本氏)

サステナビリティな経営を重視していくという方向は間違いないと思います。ただし、これが先ほど述べた指標に入るか入らないかだけで終わってしまうレベルだと、上っ面だけを取り繕うだけになってしまいます。やはり企業のROEは大切だが、高い低いだけを気にするのではなく、経営理念に従って、自分達（たち）が何をマテリアルなものだと考え、どんなKPIで管理していくか統合報告にしっかり示していかなければいけないと思います。

逆に言うと、これらをしっかりやれる企業が、投資家から評価されるような社会システムを作っていないと、上っ面企業ばかりになってしまいます。しっかりした社会システムのある世の中にしていきたいと思います。

リアルオプション分析におけるソフトウェアの活用

～R, Python から IBM Watson まで～

今井 潤一

(慶應義塾大学 教授)

1. セッションの背景とゴール

リアルオプション研究の中でも、ケーススタディのように現実の事業分析を行う場合や、データを用いた実証研究を行う場合には、数値データを分析するために様々なソフトウェアの活用は必要不可欠である。さらに、従来の統計的手法に加えて、近年では機械学習を用いた分析も盛んになってきている。

リアルオプション分析で通常用いられる金融データに関しては、定量データに加えいわゆる非構造化データに含まれる情報の価値についての分析も始まっている。例えば原資産のモデル化のときに定量データが十分にそろわないことが多い。この意味で非構造化データの活用には大きな可能性が潜んでいると考えられる。

本セッションのゴールは以下の 3 つである。第 1 に、データ解析のためのソフトウェア環境の現状を伝えること、第 2 に、ソフトウェアやサービスの利用の仕方の様子を伝えること、そして第 3 に実際に利用してみた感想を特にメリットと困難さに関して、紹介することである。今回は、チュートリアルセッションということから、初心者が新しいソフトウェアやサービスに初めて触れたときを意識して、セッションを進めたいと思う。同時に、講演には個人的な感想が相当量含まれており、必ずしも客観的事実だけではないことをあらかじめ御承知いただきたい。

2. ソフトウェア、サービスの紹介

本セッションでは、IBM Watson [1]のサービスの中から、知識探索系と呼ばれる Watson Knowledge Studio(WKS) [2]と Watson Discovery Service(WDS), データ分析系と呼ばれる Watson Studio(WS), 更にそれらと密接に関連するプログラム言語 Python [2]について紹介し、後にデモンストレーションを行う。

2.1 IBM Watson

IBM Watson の公式ページ[1]によると、AI を「Artificial Intelligence(人工知能)」ではなく、「Augmented Intelligence(拡張知能)」, すなわち、人間の知識を拡張し、増強するものと定義している。実際に IBM Watson を利用したい人は、まず IBM Cloud [3]のページにアクセスし、フリー・アカウントの作成をするところから始めると良い。実際にアクセスすると、一言に IBM Watson と言っても実に様々なサービスが、クラウドや API(Application Programming Interface)を通じて、利用できることが分かるであろう。

2.2 Watson Knowledge Studio & Watson Discovery



図 1: 文書情報の構造(IBM web サイトより抽出して作成)

Watson の中でも、知識探索系と呼ばれるものは大量の文書から知りたい情報を取り出すことを目的としたサービスである。WKS は、特定の専門領域知識を学習させるプラットフォームとして提供されている。具体的には、アノテーション(annotation)と呼ばれる、文書データに注釈情報をメタデータとして追加するプロセスを通じて、図 1 下部のようにエンティティとリレーションの 2 つを学習させていくことができる。

アノテーションの例としては、例えば次のようなものが考えられる。エンティティとして「リアルオプション」、「金融デリバティブ」を定義する。次に、学

習用に用意された文書中の「延期オプション」、「拡張オプション」、「成長オプション」を「リアルオプション」の具体例として学習させ、「コールオプション」、「プットオプション」、「バリアオプション」を「金融デリバティブ」の具体例として学習させる。このように WKS を使って「リアルオプション」と「金融オプション」の違いを学習させる教師データを作成していくのである。

一方、WDS は処理できないほど大量の文書データから、効率的に意味を持った情報を探索するときに利用できるクラウドベースの情報検索エンジン・サービスである。図 1 上部のように、「エンティティ抽出」、「センチメント分析」、「カテゴリー分類」、「概念のタグ付け」等の、いわゆるセマンティック情報と呼ばれるものを利用して、IBM Cloud に取り込まれた文書に、メタデータを自動的に追加し、より高いレベルで検索を行うことが出来る学習済みのモデルを備えており、ユーザーがゼロから学習させることなく、一般的な知識探索が可能となっている。さらに、専門的な文書に対して WDS を利用したい場合には、先に述べた WKS で学習させたモデルを取り入れることも可能である。

IBM によると、WDS には(1)膨大な情報源から消費者の声を抽出・分析する Root Cause Analysis, (2)分析市場の現状分析を行う Situation Awareness, (3)毎日のニュースなどから利用者が知りたい情報を検索・抽出する Search and Explorer が主な用途として想定されている。

2.3 Watson Studio

IBM の公式ページ[1]によると、Watson Studio(WS)は、

機械学習とディープ・ラーニングのワークフローを加速し、AI をビジネスに融合させてイノベーションを推し進めます。データ・サイエンティスト、アプリケーション開発者、対象分野の専門家がチームとなってデータ処理を簡単にを行い、そのデータを使用してモデルの構築・トレーニング・デプロイを大規模に行うことができるツール群を提供します。

とある。WS の特徴を一つあげるとすると、それは統合であろう。WS は様々な場所に散在するデータを 1 か所に集め、様々な人材が協働することをサポートし、その実行環境として様々なサービスを利用できるようデザインされている。このような統一された環境の下、モデルの構築、機械学習、デプロイ、管理を行うことを目指している。例えば、分析フェーズにおいては、Spark ML, TensorFlow, Scikit-learn, SPSS, R などのエンジンや、Jupyter Notebook を一つのプロジ

ェクト内で容易に利用できる環境を作成することが出来る。

2.4 Python

Python は、1991 年生まれのインタープリタ型のプログラミング言語で、IEEE SPECTRUM の 2018 トップ・プログラミング言語の第 1 位に輝いていることからわかるように、現在最も人気のあるプログラミング言語の一つである。Wikipedia では、「コードがシンプルで扱いやすく設計されており、C 言語などに比べて、様々なプログラムをわかりやすく、少ないコード行数で書けるといった特徴がある。」と説明されている。機械学習関連のライブラリーの充実度、データの扱いやすさ、並列化のたやすさなどが、普及の要因になっていると考えられる。本セッションとの関連では、API を通じて Python 環境で Watson の機能が利用できる。逆に、WS の中で、Jupyter Notebook を介して Python を利用することが可能である。

Python の利用環境として、Anaconda と Pycharm を紹介する。Anaconda はデータサイエンスをはじめとする科学計算の環境を簡単に装備できるパッケージで、2.3 で紹介した WS の環境との親和性が高い Jupyter Notebook を利用することができる。Notebook はブラウザ上の対話形式で利用することができ、またコメントが Markdown に対応していることも便利である。一方の、Pycharm は Python に特化した統合開発環境(IDE)を提供しており、本格的なプロジェクト作成時には大きな力となる。

本節最初で述べたように、Python の大きな特徴は、そのライブラリーの充実度であろう。主なものだけで、以下のようなものが知られている。

- Matplotlib: グラフ作成, MATLAB 風
- Seaborn: より複雑なグラフ作成
- Pandas: データ解析を支援する機能
- Numpy: 配列, 行列
- Scipy: 数学、科学、工学のための数値解析
- Scikit-learn: 機械学習
- Statsmodels: 統計分析

話題の深層学習に関しても、Caffe, TensorFlow, DeepLearning4j, Keras, PyTorch などが知られている。

使用感としては、他のプログラム言語の経験がある人であれば、Python の学習は比較的ハードルが低く感じるのではないかと。コード表現がシンプルであるし、Java などに比べて便利な表現がたくさんある。特にオブジェクト指向プログラミングに慣れている人にとっては、プログラム限を構成する単語事態は、若干異なるとはいえ、文法の類似性が高く、参入障壁は低いと感じられる。逆に、たくさんの便利な

機能があることから、一通り、どんな(便利な)機能があるのか、あらかじめ知っておくことが、余計なコーディングを回避するための策となる。

本学会の会員の方は R の経験をお持ちの方が多いと思われることから、ここで簡単に R と Python の主な違いについて触れておく。R の特徴は(1)統計学に関連するアルゴリズム、パッケージが多彩であること、(2)分析結果の可視化が容易であること、(3)多くの処理が関数的に行われること、といわれている。一方の Python は、(1) coding が用意であること、(2)機械学習に関連するパッケージが充実していること、(3)大量のデータ処理に適していること、(4) API を通じて、他のシステムとの統合が容易であること、などがその特徴であろう。著者個人の意見ではあるが、どちらか一方ですべての処理をすることを目指すより、目的に応じて適切なソフトウェアを利用する方が、結果的に効率的に作業が行うことができるように思われる。

2.5 Watson の周辺知識

IBM Watson は、既存の様々なソフトウェアやサービスをうまく統合して利用することが出来るように設計されている。ただ、それゆえにソフトウェア利用の初心者にとっては、Watson を学ぶ上でどうしても多種多様な専門用語に出会ってしまうことになる。例えば、Apache Spark と Hadoop, RDD (Resilient Distributed Datasets), Seahorse, Javascript と node.js, SQL, Curl, Json (JavaScript Object Notation)フォーマット, Cloud Foundry と PaaS (Platform as Service), IaaS (Infrastructure as a Service), SDK など、いったん理解すれば恐れる必要のない様々な用語も、最初は気にしないで良い用語なのか、それともきちんと理解すべき用語なのかの判断が付かないところが難しい。

3. How to Learn

本講演で紹介しているソフトウェア、サービスをきちんと学ぶためには、有用な情報ソースを知ることが重要な第一歩であるとなる。以下は、著者が実際に利用したサイトの紹介である。ただし、網羅的に探索したわけではない。特に、インターネット上のサイトは日々更新されていることから、URL が将来変更される可能性が高いことに留意していただきたい。

- (a) IBM Developer 日本語版：(最終閲覧日：2019 年 1 月 11 日)

<https://www.ibm.com/developerworks/jp/>

IBM が作成しているサイト情報。当然のことながら Watson 関連の情報が充実している。更新のス

ピードも速い。

- (b) IBM Watson Academy(英語)(最終閲覧日：2019 年 1 月 11 日)

[https://www-](https://www-03.ibm.com/services/learning/ites.wss/zen?pageType=page&c=LNW1G2K9220IL0YX)

[03.ibm.com/services/learning/ites.wss/zz-](https://www-03.ibm.com/services/learning/ites.wss/zen?pageType=page&c=LNW1G2K9220IL0YX)

[en?pageType=page&c=LNW1G2K9220IL0YX](https://www-03.ibm.com/services/learning/ites.wss/zen?pageType=page&c=LNW1G2K9220IL0YX)

IBM Cloud への ID 情報を利用して、ログインすることができる。IBM Cloud, WKS など幾つかのサービスについて詳細の情報を、動画などをふんだんに利用して提供している。著者は、このサイト情報を使って、WKS を学習した。

- (c) CognitiveClass.ai(英語)(最終閲覧日：2019 年 1 月 11 日)

<https://cognitiveclass.ai/>

オンラインの無料学習サイト。データサイエンス (Introduction to Data Science, Data Science Methodology, Data Science Tools), 深層学習 (Deep Learning Fundamentals, Deep Learning with TensorFlow), ブロックチェーンなどの技術のスキル向上を目指している。本セッションとの関連でいうと、Python (Data Analysis with Python, Python for Data Science, Data Visualization with Python, Machine Learning with Python), R (R101, Data Visualization with R, Machine Learning with R)の学習, IBM Cloud (IBM Cloud Essentials, Analyzing Big Data in R using Apache Spark)などのコースが提供されている。

- (d) Watson Web セミナー(日本語, 英語)(最終閲覧日：2019 年 1 月 11 日)

<https://www.ibm.com/watson/jp-ja/webinars/>

IBM が提供しているセミナー形式の学習サイト。音声付きスライドで学ぶことが出来る。Watson Studio, Watson Discovery Service, Watson Assistant などのセミナーがある。

- (e) Qiita(日本語)(最終閲覧日：2019 年 1 月 11 日)

<https://qiita.com/>

Increments 株式会社が提供するサービスで、そのコミュニティガイドラインには、「プログラミングに関する知識を記録・共有するためのサービス」と説明されている。Python を始めとする様々なプログラミングに関する具体的な情報が提供されており、ある目的を達成するときのプログラミングの仕方についての情報源として有用である。

- (f) Python でデータサイエンス(日本語)(最終閲覧日：2019 年 1 月 11 日)

<https://pythondatascience.plavox.info/>

Python のインストールから始まり、Numpy,

Pandas, matplotlib, seaborn などのデータ加工, 統計分析, グラフ作成などに用いられるライブラリーの利用方法などが丁寧に説明されている. また, R と Python の違いを具体的に説明しているページなども存在する.

- (g) Kaggle (英語) (最終閲覧日: 2019 年 1 月 11 日)
<https://www.kaggle.com/>
データサイエンス, 中でも機械学習の学習をするときに有用なサイト.
- (h) Github (最終閲覧日: 2019 年 1 月 11 日)
<https://github.com/>
Git と呼ばれる分散型バージョン管理システムの仕組みを利用して, プログラムのソースコード共有しながらソフトウェアの開発を行うことができるプラットフォーム. 学習サイトではないが, 具体的なソースコードとその利用方法を参考にすることが出来る. 本セッションの関連でいうと, "IBM Watson APIs" のページでは, Watson の API がまとめられている.

4. デモンストレーション

セッションの後半では, 新聞からリアルオプション関連の記事を抜き出すデモンストレーションを行う. デモには次のような背景がある. 単に「リアルオプション」という用語を検索するだけであれば, 既存の検索エンジンで十分可能である. 一方で, リアルオプションという用語そのものは用いられていないものの, 内容的にリアルオプションについて言及している記事はたくさん存在している. それらを膨大な新聞記事から抜き出す補助策として, Watson の機能を使ってみたい.

このような目的のため, セッションでは Watson Knowledge Studio と Watson Discovery Service の利用を考える. 具体的に著者が行った作業は以下のようである.

1. 教師データの調達
2. WKS を使って, アノテーション
3. 教師データを使ったトレーニング
4. 機械学習の結果の評価
5. Cloud 上に Deploy
6. WDS を使って, query から relevancy で学習
7. WDS で情報探索

教師データの調達

WKS に学習させるためには, 教師データとしてその分野の内容を代表するような文書を調達する必要がある. デモにおいては, リアルオプションのテキス

トや, コーポレートファイナンス・テキストのリアルオプションの章を教師データとした.

WKS を使って, アノテーション

機械学習を実行する次のステップは, タイプ・システムの作成である. これには, エンティティ・タイプの決定とリレーション・タイプの決定の 2 つがある. デモの中では

- ✓ "REAL_OPTION"
- ✓ "UN_CERTAINTY"
- ✓ "DECISION"
- ✓ "VALUATION"
- ✓ "FINANCE"
- ✓ "MANAGEMENT"

をエンティティとして設定した. 続いて, 辞書を設定する. WKS では文書データからトレーニングを行ういわゆる機械学習システムと, 従来の AI の技術であるルールベースのシステムを共存して使うことが出来る. 今回はデモンストレーションということもあり, 定義された 6 つのエンティティに対する辞書も作成して利用している. IBM の公式ページには, タイプ・システム作成のガイドラインが提供されており, 具体的な作業量の目安が書かれているので参考にすると良い.

教師データを使ったトレーニング

WKS の Machine Learning Model の中では, 教師データとしてアップロードされた文書セットを自動で Training Set, Test Set, Blind Set に分割し, 機械学習のプロセスを進めてくれる. 機械学習のプロセスは完全に自動(Train&Evaluate ボタン)で行われるため, 利用者がモデルを作成する必要なく学習結果を得ることが出来る.

機械学習の結果の評価

機械学習がうまくいったかどうかを判定する指標として, 各エンティティに対する Precision, Recall, F1 値の 3 つの統計量が提供される. Precision は, 実際にあるエンティティとして認識された単語のうち, 本来そのエンティティに認識されるべき単語の割合を表す. Recall は, 本来そのエンティティとして認識されるべき単語の中で, 実際にそのエンティティとして認識された単語の割合を表す. そして, F1 値は, 上記 2 つの調和平均を意味する. いずれの統計値も, 1 に近いほど学習が成功したことを意味し, 0 に近いほどうまく学習できなかったことを意味する.

Cloud 上に Deploy

学習が完了した後に WKS で学習させたモデルを他のサービスで利用するために Cloud 上に配置するプロセス. こちらも, WKS の GUI を操作することで実行できる. WKS では, Configuration の設定で Model ID を入力することで, WKS で学習したモデルを利用することが可能となる.

WDS で情報探索

本セッションでは, 日本経済新聞社が刊行している約 53,000 件の記事をデータベースとして, リアルオプション記事の検索デモを行った. その結果, 通常の検索で得られないリアルオプションについて言及されている記事が, ある程度抽出できることが確認された.

5. 終わりに

リアルオプション分析においても, 情報源としてこれまで活用されていなかった文書データから新しい情報が抽出できる可能性がある. そのための手段の一つとして, 今回は主に IBM Watson の利用可能性を取り上げた. このようなサービスなしに同様の処理を行う場合のハードルの高さ, コストを考えると, このようなサービスの利用可能性は, 一考に値する. これらサービスを使うことにより, 整理されていない文書のデータベース化, 文書データの変換をはじめとする前処理, 学習モデルの構築, 学習結果の評価, モデルの保存, などを比較的簡単に実行できる. これは, より本質的な情報処理に注力できる環境が身近に現れてきたことを意味している. 逆に言えば, 本来の目的, ゴールをしっかりと見据えた上での活用できるかどうか成功の鍵を握るといえる.

商標の扱いについて

1. IBM, IBM Cloud, IBM Watson, SPSS, CPLEX は, International Business Machines Corporation の商標です.
2. TensorFlow は Google 社の商標又は登録商標です.
3. Apache Spark, Spark は Apache Software Foundation の商標又は登録商標です.
4. Python は, Python Software Foundation の登録商標です.
5. ANACONDA は, ANACONDA, INC. の登録商標です.
6. Pycharm は JetBrains, s.r.o. の登録商標です.
7. Jupyter は, NumFOCUS foundation の登録商標です.

8. GitHub は, GitHub Inc. の商標又は登録商標です.
9. MATLAB は, Math Works 社の登録商標です.
10. R は, The R Foundation for Statistical Computing の登録商標です.
11. Java は Oracle Corporation の登録商標です.
12. 上記の他にも本文に記載されている商品名, サービス名, 会社名, 団体名, 及びそれらのロゴマークは各社又は各団体の商標又は登録商標である場合があります.

参考文献・資料

1. IBM Watson - Japan (最終閲覧日: 2019 年 1 月 11 日)
<https://www.ibm.com/watson/jp-ja/>
2. Welcome to Python.org (最終閲覧日: 2019 年 1 月 11 日)
<https://www.python.org/>
3. IBM Cloud に登録 (最終閲覧日: 2019 年 1 月 11 日)
<https://console.bluemix.net/registration/free>

<JAROS 2018 研究発表大会 大会ルポ>

JAROS2018 大会ルポ

伊藤 晴祥

(国際大学 大学院国際経営学研究科 准教授)

Haruyoshi Ito

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

1. はじめに

2018年12月1日(土)及び2日(日)に、日本リアルオプション学会研究発表大会が開催された。吉田靖教授が大会実行委員となり、東京経済大学国分寺キャンパスにて開催された。研究セッション、チュートリアル、セミナー、パネルディスカッションといずれも充実した内容であり盛況であった。



吉田靖大会実行委員長（撮影：小田潤一郎氏）

2. 第一日目 (2018年12月1日)

初日はまず、今年の3月にコモディティ・ファイナンス研究会を立ち上げたが、その特別セッションとして、3本の研究発表があった。最初の発表は、コモディティファイナンス研究部会主査の吉田靖教授から、マーケットインパクトに関する分析について発表があった。東京商品取引所(TOCOM)では、2016年9月20日から新システムに移行をし、取引時間の延長、取引の高速化(ミリ秒からナノ秒)などの変更があった。その結果、マーケットインパクトの影響が軽減されたであろうとのことであった。

森平教授・伊藤の小豆先物・現物価格と天候の発表は、小豆先物と現物価格に天候リスクが反映されているかの分析に関してであり、冷温リスクが先物価格に反映されているものの、小豆の現物(日本産)価格には反映されていないとのことであった。

高嶋教授・伊藤教授・伊東氏の RPS 政策下での先

渡しと市場均衡の研究発表は、RPS(Renewable Portfolio Standards)政策は、発電事業者に発電量の一定割合を再生エネルギーによって発電することを義務付ける制度であるが、電力市場における先渡し取引の導入が電力価格や利潤へ与える影響の分析を行った。

続いてセミナーが「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」と題して開催された。

最初の講演は、高槻教授から江戸時代の大名による資金調達についてお話があった。江戸時代の大名は9月にしか収入がないため、人件費などを商人に立替えてもらう必要があるため、すべての大名は借入れを行っていたとのことであった。その他にも、米切手(米と交換できる証券)を発行することによる資金調達も行われていた。当時、米切手は金銀よりも信頼されているといわれており、米切手市場での必勝法を説明する本(今でいう株式市場で儲けられるハウツー本、野線分析のようなものもあり)が販売されているほど、米切手市場は発達していた。事実、肥後米のデータを利用した分析では、自己相関がなく、情報効率性の高い市場であった。当時はリレーションシップバンキングが盛んで、大名貸商人が、キャッシュフローを大名が生むか、事前審査(品物の品評会、収支計画の提出)をしてお金を貸す。長期リレーションが築けるかどうか、最初に高い金利(11%)で貸し出し、その後、3~5%に減少させる(信頼関係が築けた後)こともあったとのことであった。

午後最初の講演は、澤木教授からシナジー効果とリスク分散を考慮したリアル・オプション手法による合併・買収の評価モデルに関する研究である。既存研究と異なり、合併のシナジー効果を内生的にモデル化し、リスク分散効果も考慮した評価モデルを提唱している。また、問題意識として M&A に関する実証研究は多いものの、解析的な分析が少ないことから、解析的な分析を行っている。分析の結果、M&A

とポートフォリオ選択には共通の側面があること、M&A はインフレ時にもデフレ時にも起きやすいこと、保護政策が相関係数を減少し、リスクを増加させるのであれば、クロスボーダーM&A は抑制されることを示した。



澤木勝茂教授による講演（撮影：小田潤一郎氏）

午後二つ目の講演は、小方教授による我が国による ESG 投資の現状と展望と題する講演である。まず、世界的な ESG、SRI 投資の現状についてお話があり、米国が先駆けであったものの、スチュワードシップに照らし合わせ、リターンが得られるかどうかかわからないものに投資してもよいのかという疑問があり、現状としては、欧州に大きく差がある。また、小方教授は古典を調べ上げ、日本の SRI、ESG の始まりについて、キリスト教の観点からお話になった。キリスト教会がなぜ株式投資を始めたかについても、キリスト教の本質から深い洞察を加えられていた。近年の ESG 投資の高まりは、英国の年金法改正が大きく、年金基金が ESG 投資を行うようになった。日本でリーマンショック前に SRI 投資がブームになったが、その後はアベノミクスで株価が上がっても SRI 投資額自体は戻っていない。本質的に投資哲学がないところが理由ではないかと述べている。そのため、ESG 投資が日本に根付くには、ESG 教育の充実が必要と結論付けていた。

初日最後のセッションは、サステナブル時代の企業経営と社会課題解決型ビジネスと題してパネルディスカッションが行われた。

まず、芝川氏(環境省)から、ESG 金融の関連施策と題して、お話を頂いた。地域金融機関、信金なども含めて ESG、SDGs を達成するための融資の仕組み作りにも支援するとのことであった。

続いて小方教授からは、GPIF を始め、企業のエンゲージメントが以前よりも改善されていることなどが話された。

河本氏(住友化学)からは、1913 年の煙害問題から端を発して、環境問題の解決と、農作物の増産を共に図

ることから事業が始まったことをお話しされていた。現在も気候変動リスク、2℃上昇にとどめるのを目標にかつ、企業価値を向上させることを目指していることをお話しされていた。また、GPIF の指標に入っているかどうかは気にしているが、深堀したところまではしていない、深堀するためにはコストがかかるので、それに見合っているかどうかを考えなければならない。とのことである。

続いてテーマごとに議論が行われ、「ESG や環境テーマは、これからの企業活動の中心的理念になりえるか？」について議論があり、河本様からは、手探りで進めている状態とのことであった。やはり、様々な指標があってそれに入っているかどうか重要となるので、指標がはっきり見えていると目標が設定しやすい。開示していればいい、方針が出ていればよいなどどの程度求められているかを理解して、それを淡々とクリアするというをやっている。

小方教授からは、金融機関が融資先がないのであれば、ESG 基準で優良企業に融資するということがよいのではないか。また、統合報告書にトップがコミットすることが重要で、そうすれば、指標に含まれて株価が上がるのではないかと。

続いてのテーマは、企業だけでなく、取り巻く社会全体が変革するために、必要な施策は何か？であるが、先ほどのテーマと合わせて、芝川氏は、新たなカーボンプライシングを考えたり、グリーン要素があるものにはリスクウェイトを提言するなどを考えている、とのことであった。

小方教授からは、外部からの動きを考えると、投資家にもう少し頑張ってもらいたいとのことであった。ノルウェーの投資ファンドが、日本から投資引上げが起きているので、そのような投資家の動きが日本企業を変えるかもしれない。エンゲージメントで対応をしてほしい、とのことである。

河本氏は、経済的メリットがない中で進めるのは難しくまたリスクが高いため、日本では温暖化対策などが進まないのではないか？と発言した。

最後まとめとして、「もし自分が経営者・幹部だったらまず何から実現したいか・すべきか？」というテーマで、芝川氏からは、マーケットのデファクトスタンダードを作りたいとのことであった。

小方教授からは、サラヤ(<https://www.saraya.com/>)と石坂産業(<https://ishizaka-group.co.jp/>)の例をあげられていた。自社の強みと弱みを考えて社会貢献できる企業経営をしたいとのことであった。

河本氏は、指標に入るか入らないかだけではなく、ROE が高いか低いだけではなく、何が重要であるか、KPI できっちり示されるようにならなければならない

い、上っ面で終わってはいけないと発言した。

3. 第二日目 (2018 年 12 月 2 日)

二日目は今井教授のチュートリアルセッションから始まった。ご自身のことを「非」専門家としながらも、データ分析の重要性がますます高まっている現代化で、Python や Watson などのソフトウェア導入の意義や越えなければならないハードル、今後の展望についてわかりやすく的確な説明があった。



今井潤一氏の講演（撮影：小田潤一郎氏）

午後最初には、エネルギーに関するセッションがあり、高森教授がサステイナブルなエネルギー・インフラのデザインと題して発表された。SDGs に鑑みて、RPS 政策、液化天然ガスなどで発電した業者に課金をし、その収益を、再生可能エネルギーにより発電した業者に補助金として移転をする方式であるが、これにより、電力価格の上昇が見込まれるものの、どのような経済価値があるかについて検討をしようという研究であった。

服部氏は、英国のエネルギーネットワーク部門におけるリアルオプションの適用可能性と題して発表された。英国の規制当局は事業者に対してリアルオプションを利用して、ガス導管ネットワークの増強のための設備投資を行う場合に、その設備投資を遅らせることのできるリアルオプションを評価することを提案した。それにより、ガス事業者の料金規制や、需給調整契約の価値を検討するということであったが、事業者側からは賛否両論あり、慎重な姿勢が示された。服部氏はそれについて、リアルオプションアプローチの利用可能性について検証をしている。

ESG のセッションがあり、湯山教授・白須教授・森平教授が ESG 開示スコアとパフォーマンスと題して発表を行った。ESG の過去の研究を整理された上で、日本のデータを利用した分析が少ないことから、ESG スコアとリターン及び財務指標との関係性についての研究報告であった。基本的には ESG スコアと株式

リターンとの関連性はないということであったが、2017 年には ESG スコアが高い企業の方がリターンが高い可能性があるということであった。

森平教授・伊藤・小林氏の発表は、SDGs 指数及び SDGs 指数を原資産とする債券の分析についてであった。Solactive 社の SDGs 指数にはプットオプションが内包されていると考えられることと、世界銀行が発行した SDGs 債は、額面発行されたものの、その価値は 10%~20%程度低いと考えられ、投資家の利益とはなっていないことが示された。また、SDGs 債は SDGs 指数を原資産とするデリバティブであるが、このような仕組み債の発行が、通常の債券との発行と比較して SDGs 達成により貢献しているとは言えないであろうとのことであった。

二番目のセッションでは、北原教授から、新製品開発における非専門家の発想の活用ということで、御発表があった。非専門家の方が既存のアイデアにとらわれずに新商品が生まれやすいということを実験及び因子分析の手法を利用して明らかにされていた。

佐藤清和教授は、コストポテンシャルを有する空間ベクトル場における ROE の再評価と題して研究報告をされた。過去の ROE から、将来の ROE が進む過程を予測する方法を提唱され、また、その予測から将来コストがかかる可能性についても理解され、当該コストを考慮した修正済み ROE の測定について提唱をされた。

三番目のセッションでは、辻村教授から Capital Investment and Dividend under Demand Ambiguity と題して、発表があった。経営者が配当割引現在価値の最大化をすると考えて、需要の Ambiguity (不確実性を示す分布がわかっていない状態)に直面した場合に配当政策をどのように行うべきかについて分析をされていた。今後は投資の影響を踏まえた場合に、結果がどのように変わるか検討を続けるとのことであった。

宮原教授からは、ポアソン型リスクを持つプロジェクトの価値評価と題して発表があった。この研究では、景気変動と災害の不確実性及びその災害対策の価値評価を考慮した上での解析的な価値評価を試みている。

小倉氏から地震リスクをパレート分布によりモデル化することの妥当性について発表があった。パレート分布が適切であるとの議論が多いが、統計的な結果、パレート分布は必ずしも最もよいという結果は得なかったとのことであり、その他の分布がよいかどうか検討を続けるとのことであった。

以上のように大変に充実した研究発表大会であった。JAROS2019 は神奈川大学で開催予定である。

<JAROS 2018 研究発表大会
基調講演: セミナー「サステナブル時代に向けた資本主義経済の新展開」より>

シナジー効果とリスク分散を考慮したリアルオプション手法 による合併・買収の評価モデルについて

佐藤公俊

(神奈川大学 工学部経営工学科 准教授)

澤木勝茂

(南通大学・南通職業大学 客座教授)

八木恭子

(首都大学東京 経済経営学部経済経営学科 准教授)

1. はじめに

合併・買収 (M&A) のニュースがしばしばマスコミに取り上げられ、大きな話題となっている。2018 年 12 月には、武田薬品とシャイアーの合併はその買収額が約 7 兆円と報道されている。これらの報道は、企業が内部投資による事業の拡大よりも、合併・買収という手段によって外部から直接に事業の獲得することにより自らの事業を拡大する経営戦略の表れであろう。歴史的には、規制緩和と経済のグローバル化が合併・買収を促進してきた。このような合併・買収の波については文献として Weston et al. (1990)があるので参照されたい。

企業が合併・買収を希求する目的や動機として、①市場占有力を高める、②新分野への進出、③経営の効率化、④スケールとスコープの拡大、⑤経営戦略とコーポレートガバナンスなど様々なものが考えられる。また、合併の型として、①同一産業内での競争関係にある水平型合併、②流通経路上のサプライヤーと発注元メーカー（供給者と消費者の関係）間の垂直型合併、③産業横断的な事前には関係が希薄な企業間のコングロマリット型がある。今日の巨大 IT 企業のプラットフォームはコングロマリット型に相当する。合併の動機やニーズおよび合併の型は、業界ごとに企業規模ごとに或は合併・買収の手段や買収額の支払方法によって異なる。

合併・買収に関する研究には、数多くの実証研究や事例研究があるが、理論的または解析的な研究は少ない。本研究では、1) 合併のタイミングと買収額を決める問題、2) 対象企業と買収企業および合併後の企業の収益構造にシナジーとリスク分散をモデル化、3) 合併前と後の企業収益とリスクの比較、の 3 点を

理論的枠組とするシナジー効果とリスク分散の視点から合併・買収の評価モデルを提案する。

さらに、合併のインセンティブと買収額がどのようにリンクしているかを明らかにし、合併領域はモデルのパラメータによってどのように変化するかを定性的に数値的に論ずる。

研究の背景と論点 合併・買収に関する実証研究からの知見やファクトファインディングとして 1) 資本市場は買収・合併に対してセミ強効率的である、2) 買収額、特に敵対的買収額は過大に成り易い、3) 株式による買収は負のアブノーマルリターンをもたらす、4) インフレとデフレの時は合併が起こり易い、5) 敵対的買収は友好的買収よりも時間がかかる、などがある。本研究では、これら実証研究の成果を我々の理論モデルで論証したい。

本研究と関連する文献として次の 5 点を挙げておこう。Lambrecht (2004)はタイミング決める合併オプションを永久アメリカンオプションと見なすことで、リアルオプション手法による合併のタイミングを買収企業と対象企業が同時決定するモデルを論じている。Margrabe (1987)は、企業買収は株式の交換オプションであると論じた最初の論文である。しかし、合併対象の企業は実物資産であり、単なる金融資産ではない。従って、金融オプションのように無リスク利率を適用して、裁定機会の無存在の理論をナイーブに展開するには合併・買収の取引市場に金融市場と同様の仮定を設ける必要がある。本論文では、合併・買収の投資決定を合併企業の将来利潤の一部と買収企業の利潤とを交換する合併オプションと見なすことにする。Morellec and Zhdanov は、2005 年の論文で合併の株式市場での評価モデルによってタイミング

と買収額を導出し、2008 年の論文では企業価値は資本ストックと株式に依存するとの仮定の下で、対象企業と 2 つの買収企業間のゲームとして定式化し、負債比率の低い資本構成の企業が買収ゲームで勝つとの知見を導出している。Thijssen (2008)は、シナジーとリスク分散によって動機づけられた合併・買収の分析をしていて、本論文との関連性が高い。しかし、Thijssen は確率的シナジー効果を一次同次に限定していること、合併領域の定性的な性質を分析していないこと、さらに買収額に上限・下限を導入していない点で本論文とは異なる。また、合併がどのような経済環境の下で起こり易いか、合併の時期は早まるか否かなど実証研究の成果を説明していない。

2. 合併・買収の動的評価モデル

合併・買収に係る二つの企業を想定しよう。企業 1 は合併の対象企業で、target または売り手とし、企業 2 は買収企業で acquirer または買い手と呼ぶことにする。企業 i の利潤フローは、確定的フロー $D_{i,t}$ と確率的フロー $X_{i,t}$ から成り、 $i=1,2$ 、とする。例えば、確定的利潤フローは債権やローヤリティからの収益であり、確率的利潤フローはその企業を取り巻く固有のリスクや為替などの外部的要因によって確率的ショックを受ける本業からの収益である。このショックには新技術の到来やオイル価格の下落などのポジティブ・ショックと原材料の高騰や円高による収益の下落などネガティブ・ショックがあるが、我々のモデルではどちらも起こりうるかと仮定する。企業 i の利潤フローは

$$\Pi_{i,t} = D_{i,t}X_{i,t}, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

で与えられると仮定する。従って、各企業の収益率は

$$\frac{d\Pi_{i,t}}{\Pi_{i,t}} = \frac{dD_{i,t}}{D_{i,t}} + \frac{dX_{i,t}}{X_{i,t}}, \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

となつて、確定的収益率と確率的収益率の和になる。ここで、確定的収益は

$$D_{i,t} = D_{i,0}e^{g_i t}, \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

と定義する。ただし、確定的収益率 g_i は正または負にもなりうる。もし合併を想定しないならば、確定的収益と確率的収益とを分離する必要はない。なぜなら、確率的収益の期待値を確定的収益率分だけ平行移動すればよいからである。企業収益に不確実性（ショック）を導入する理由は、2 つある。1 つは合併のシナジー効果とリスク分散を検証するとこと、2 つ目は企業を取り巻く経済環境がショックの渦中にあるとき合併・買収の取引が活発になるという実証結果を本モデルにおいて論証したいがためである。(2) 式の各企業の確率的利潤フローは、幾何ブラウン運動

$$dX_{i,t} = \mu_i X_{i,t} dt + \sigma_i X_{i,t} dW_{i,t}, \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

に従うと仮定する。ここで、 $W_{1,t}$ と $W_{2,t}$ との相関係数は ρ である。

次に合併企業の利潤フロー $\pi_{m,t}$ もまた確定的利潤フロー $D_{m,t}$ と確率的利潤フロー $Y_{m,t}$ の積で表わされ、

$$\Pi_{m,t} = D_{m,t}Y_{m,t} \quad (5)$$

とする。確定的利潤フローは

$$D_{m,t} = D_{m,0}e^{g_m t} = \gamma(D_{1,0} + D_{2,0})e^{g_m t}, \quad \gamma \geq 1 \quad (6)$$

で与えられ、合併企業の確率的利潤フローは

$$Y_{m,t} = X_{1,t}^\alpha X_{2,t}^\beta, \quad \alpha, \beta > 0 \quad (7)$$

で与えられるとする。

(6) 式において $\gamma > 1$ ならばリストラ効果も含めた確定的収益の正の直接的シナジーがあるという。(7) 式において、2 つの企業がその経営資源をより適切に共有できれば市場からのショックにより賢く対応できるのでパラメータ α 、 β は間接的シナジーを表している。本モデルでは、確定的収益と確率的収益の双方にシナジー効果とリスク分散がモデル化されている。また、合併企業の利潤フローがコブ＝ダグラス型であるので、パラメータ α と β は、合併企業の収益への貢献度やランダム・ショックからの収益への毀損を緩和する程度を表している。(7) 式の合併企業の確率的利潤フロー $Y_{m,t}$ の確率的ダイナックスを求めるために(7) 式に伊藤の公式を適用すれば

$$dY_{m,t} = \mu_m Y_{m,t} dt + \sigma_m Y_{m,t} dW_{m,t} \quad (8)$$

となり、ここで、

$$\mu_m = \alpha\mu_1 + \beta\mu_2 + \frac{1}{2}\{\alpha(\alpha-1)\sigma_1^2 + \beta(\beta-1)\sigma_2^2 + 2\alpha\beta\rho\sigma_1\sigma_2\} \quad (9)$$

$$\sigma_m^2 = (\alpha\sigma_1 + \beta\sigma_2)^2 - 2\alpha\beta\sigma_1\sigma_2(1-\rho) \quad (10)$$

を得る。(9) 式において μ_m は μ_1 、 μ_2 ばかりでなく σ_1 、 σ_2 および ρ にも依存している。もし利潤フローが確定的ならば、(9) 式は、

$$\mu_m = \alpha\mu_1 + \beta\mu_2 \quad (11)$$

となつて、2 つの企業が単独で経営したときの収益率の加重和になる。一方、 σ_m は σ_1 と σ_2 および ρ にも依存している。更に、不等式

$$\sigma_m \leq \alpha\sigma_1 + \beta\sigma_2, \quad \alpha > 0, \beta > 0 \quad (12)$$

が成立するので、合併企業の収益率の標準偏差はそれぞれ独立で経営したときの加重和よりも大きくなることはない。次の二つの性質は、2 つの企業と合併企業の期待収益率とその標準偏差を比較することで、合併によるシナジー効果とリスク分散を論じている。

性質 2.1

(i) $\alpha + \beta \leq 1$ のとき、(8) 式より

$$\mu_m \leq \alpha\mu_1 + \beta\mu_2 \quad (13)$$

$$\sigma_m \leq \alpha\sigma_1 + \beta\sigma_2 \quad (14)$$

特に $\alpha + \beta = 1, r_i = r$ のとき

$$\mu_m \leq \alpha r_1 + (1 - \alpha)r_2 = r, \quad 0 < \alpha < 1, \quad (15)$$

$$\sigma_m \leq \alpha\sigma_1 + (1 - \alpha)\sigma_2 \quad (16)$$

(ii) $\alpha \geq 1, \beta \geq 1$ かつ $\rho \geq 0$ のとき, (9) 式より

$$\mu_m \geq \alpha\mu_1 + \beta\mu_2 \quad (17)$$

$$\sigma_m \leq \alpha\sigma_1 + \beta\sigma_2 \quad (18)$$

性質 2.1(i)では, 期待値の意味でシナジー効果が期待できなくとも, 合併・買収によってリスク分散の効果はあると述べている. μ_m と σ_m とはトレードオフの関係にあって, ファイナンス理論と整合性がある. 性質 2.1(ii)では, $\rho \geq 0$ かつ $\alpha + \beta \geq 1$ のとき合併企業の期待収益率は単独経営の時の収益率の加重和よりも大きくなり, その標準偏差は小さくなっている. 例えば, シナジー効果が期待される同一のサプライチェーン上の垂直型合併では, $\rho > 0$ の時には合併が起こり易いという実証研究の結果をサポートしている. 次に, σ_m と σ_2 との大小を考えるために, 比率 σ_m/σ_2 がどのような条件の下で 1 より大きくまたは小さくなるかを考えよう. (10) 式は次のように書き換えることができる.

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_2}\right)^2 = \begin{cases} \left(\beta + \alpha\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)\right)^2, & \text{if } \rho = 1, \\ \beta^2 + \alpha^2\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^2, & \text{if } \rho = 0, \\ \left(\beta - \alpha\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)\right)^2, & \text{if } \rho = -1 \end{cases} \quad (19)$$

$s = \sigma_1/\sigma_2$ とおけば, 上式の右辺は

$$f(s) = \alpha^2 s^2 + 2\alpha\beta\rho s + \beta^2 \quad (20)$$

となる.

性質 2.2

(i) $\rho^2 \leq 1 - 1/\beta^2$ かつ $\beta \geq 1$ のとき, $\sigma_m \leq \sigma_2$

(ii) $\alpha = \beta = 1, \rho = 1, \mu_1 > 2\sigma_1\sigma_2$ かつ $\sigma_1 \geq \sigma_2$ のとき,

$$\mu_m \geq \mu_2, \quad \sigma_m \geq \sigma_2 \quad (21)$$

(iii) $\beta/\alpha = \sigma_1/\sigma_2$ かつ $\rho \approx -1$ ならば $\sigma_m \approx 0$

(iv) $\beta \geq 1, \rho \geq 0$ のとき,

$$\sigma_m \geq \sigma_2 \quad (22)$$

$$\mu_m \geq \alpha\mu_1 + \beta\mu_2 \geq \mu_2$$

ここで, (i)の条件は $\rho = 0$ のとき $\beta > 1$ に対して成立する. (ii)はハイリスク=ハイリターンの合併を示唆している. (iii)は, $\rho \approx -1$ の時, 2つの企業の貢献度比 β/α が σ_1/σ_2 に限りなく等しい合併相手を見つけることができるならば, 合併企業のリスク尺度である σ_m をほとんどゼロにすることができると主張している. 2資産からなるポートフォリオ選択問題で, 相関係数が -1 の時, ポートフォリオ収益の分散をゼロにすることができると対応している. このことは, 二つの企業の経営資源を組み合わせる合併・買収の問題

がポートフォリオ選択問題の側面を持つことを物語っている.

買収額とその上下限を議論するために,

$$r_i > g_i + \mu_i, \quad i = 1, 2, m, \quad (23)$$

と仮定する. さらに, 買収企業は, 買収前の対象企業の期待割引価値を下回らない額および合併後企業の期待割引価値の付加価値を上回らない額を買収額として対象企業に支払うと仮定する. 即ち, $c(x_1, x_2)$ を合併企業の期待割引価値から対象企業に支払われる買収比率とすれば, $c(x_1, x_2)$ は次の不等式を満たす.

$$\begin{aligned} & E \left[\int_{\tau}^{\infty} e^{-r_1(t-\tau)} \Pi_{1,t} dt \mid X_{1,\tau} = x_1 \right] \\ & \leq E \left[\int_{\tau}^{\infty} e^{-r_m(t-\tau)} c(x_1, x_2) \Pi_{m,t} dt \mid X_{1,\tau}, X_{2,\tau} \right] \\ & \leq E \left[\int_{\tau}^{\infty} e^{-r_m(t-\tau)} \Pi_{m,t} dt \mid Y_{m,\tau} = y \right] \\ & - E \left[\int_{\tau}^{\infty} e^{-r_2(t-\tau)} \Pi_{2,t} dt \mid X_{2,\tau} = x_2 \right] \end{aligned} \quad (24)$$

(24) 式の左辺を $NPV_1(\tau)$ とし, $NPV_m(\tau)$, $NPV_2(\tau)$ をそれぞれ合併企業と買収企業の合併時点以降の期待割引価値とすれば, (24) 式を買収額は以下のように書くことができる.

$$NPV_1(\tau) \leq \text{買収額} \leq NPV_m(\tau) - NPV_2(\tau) \quad (25)$$

ここで, 買収額は $c(x_1, x_2)NPV_m(\tau)$ である. 左辺は合併せずに単独で経営したときの対象企業の期待割引価値であり, 右辺は合併企業の合併による余剰すなわち合併の付加価値である. (16) 式より, $c \geq NPV_1(\tau)/NPV_m(\tau)$ および $1 - c \geq NPV_2(\tau)/NPV_m(\tau)$ であるから

$$NPV_m(\tau) \geq NPV_1(\tau) + NPV_2(\tau) \quad (26)$$

を得る. 合併時点 τ 以降, 買収額を対象企業に支払った後の合併企業の期待割引価値は

$$\begin{aligned} & V(\tau, X_{1,\tau}, X_{2,\tau}) \\ & = E \left[\int_{\tau}^{\infty} e^{-r_m(t-\tau)} \left(1 - c(X_{1,\tau}, X_{2,\tau}) \right) \Pi_{m,t} dt \mid X_{1,\tau}, X_{2,\tau} \right] \\ & = (1 - c(X_{1,\tau}, X_{2,\tau})) \frac{D_{m,\tau} Y_{m,\tau}}{r_m - g_m - \mu_m} \end{aligned} \quad (27)$$

となるので, 買収企業は, 合併前と合併後の期待割引価値の和を最大化するように, 最適な合併時期を選択する. すなわち, 買収企業にとって合併に関する最適停止問題は以下のように定式化される.

$$\begin{aligned} & v(x_1, x_2) \\ & = \sup_{\tau} E \left[\int_0^{\tau} e^{-r_2 t} \Pi_{2,t} dt + e^{-r_2 \tau} V(\tau, X_{1,\tau}, X_{2,\tau}) \mid X_{1,0}, X_{2,0} \right] \end{aligned} \quad (28)$$

合併の交渉において、買い手である買収企業は、売り手である対象企業の将来収益を慎重に評価するのに対して、対象企業は自らの将来収益を過大に評価する傾向があるであろう。これは、相手企業の将来収益についての認識の相違から来るものである。この認識の相違を調整するために、交渉力係数 θ を導入する。本モデルでは、買収額の上下限をどちらの企業も知っている。いま、買収額の比率 c を

$$c(x_1, x_2) = \theta \frac{NPV_1(x_1)}{NPV_m(y)} + (1 - \theta) \frac{NPV_2(x_2)}{NPV_m(y)} \\ = G_0(\theta) \frac{r_m - g_m - \mu_m}{D_{m,0}y} \quad (29)$$

と仮定する。ここで、買収額は

$$G_0(\theta) = \theta \frac{D_{1,0}x_1}{r_1 - g_1 - \mu_1} + (1 - \theta) \frac{D_{2,0}x_2}{r_2 - g_2 - \mu_2} \quad (30)$$

と書き直すことができる。買収額 $G_0(\theta)$ は θ の減少関数であり、合併以降の買収企業の期待割引価値は、(27)式より、 θ の増加関数である。従って、条件

$$2NPV_1(\tau) \leq NPV_m(\tau) \leq 2NPV_2(\tau) \quad (31)$$

の下で、買収額の均衡値 θ が上限と下限の間に存在する。また、 θ は、両企業の交渉力を表すばかりでなく、合併のインセンティブと合併余剰の配分をリンクさせるパラメータでもある。さらにまた、 θ は買収額の決定を通して、合併による不確実な将来収益についてリスク分担の役割も果たしている。

合併時点 τ での合併企業の利潤フローは

$$\Pi_{m,t} = D_{m,t}y = D_{m,t}x_1^\alpha x_2^\beta = D_{m,t}x_1^{\alpha+\beta} z^\beta \quad (32)$$

である。ここで、 $z = x_2/x_1$ 。時点 τ での合併企業の価値関数は

$$V(\tau, x_1, x_2) = D_{m,\tau}H_m(z) - G_\tau(\theta) \quad (33)$$

となる。ただし、

$$H_m(z) = \frac{x_1^{\alpha+\beta} z^\beta}{r_m - g_m - \mu_m}, \quad (34)$$

$$G_\tau(\theta) = x_1 \left[\frac{\theta D_{1,\tau}}{r_1 - g_1 - \mu_1} + \frac{(1 - \theta) D_{2,\tau}}{r_2 - g_2 - \mu_2} \right] \quad (35)$$

である。ここで、時刻 0 での買収企業の価値関数の最大値 (28) 式は

$$v(x_1, x_2) = \sup_\tau E \left[\int_0^\tau e^{-r_2 t} \Pi_{2,t} dt + e^{-r_2 \tau} (D_{m,\tau} H_m(Z_\tau) - G_\tau(\theta)) \mid X_{1,0}, X_{2,0} \right] \quad (36)$$

となる。

$\theta = 1$ (買収額の下限)の時

この場合、買収額が合併前の対象企業の期待割引価値に等しいので、すなわち

$$c(x_1, x_2) NPV_m(\tau) = NPV_1(\tau) \quad (37)$$

であるから、時点 τ での割引価値は

$$V(\tau, X_{1,\tau}, X_{2,\tau}) = \bar{D}_{m,\tau}(x_1) z^\beta - \bar{D}_{1,\tau}(x_1) \quad (38)$$

となり、ここで

$$\bar{D}_{m,\tau}(x_1) = \frac{D_{m,\tau} x_1^{\alpha+\beta}}{r_m - g_m - \mu_m} \quad (39)$$

$$\bar{D}_{1,\tau}(x_1) = \frac{D_{1,\tau} x_1}{r_1 - g_1 - \mu_1} \quad (40)$$

である。時点 0 での買収企業の最適停止問題である (28) は

$$v(x_1, x_2) = \sup_\tau E \left[\int_0^\tau e^{-r_2 t} \Pi_{2,t} dt + e^{-r_2 \tau} (\bar{D}_{m,\tau}(X_{1,\tau}) z_\tau^\beta - \bar{D}_{1,\tau}(X_{1,\tau})) \mid X_{1,0}, X_{2,0} \right] \quad (41)$$

となる。ここで、 $Z_\tau = X_{2,\tau}/X_{1,\tau}$ である。 Z_t の確率ダイナミクスを求めるために、伊藤の公式を適用すれば、次の確率微分方程式を得て、これはまた幾何ブラウン運動である：

$$dZ_t = d \left(\frac{X_{2,t}}{X_{1,t}} \right) = \mu_z Z_t dt + \sigma_z Z_t dW_{z,t}. \quad (42)$$

ただし、 $\mu_z = \mu_2 - \mu_1 - \rho \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_1^2$ 、 $\sigma_z^2 = \sigma_2^2 - 2\rho \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_1^2$ 。 μ_z において μ_1 と μ_2 の役割は逆であるが、 σ_z において σ_1 と σ_2 との役割は同一である。

$\theta = 0$ (買収額の上限)の時

この場合、買収額は

$$c(x_1, x_2) NPV_m(\tau) = NPV_m(\tau) - NPV_2(\tau) \quad (43)$$

となって、合併による付加価値の最大値まで買収額を支払うこととなる。買収時点 τ での合併企業の評価額は

$$V(\tau, x_1, x_2) = \frac{D_{2,\tau} x_2}{r_2 - g_2 - \mu_2} = D_{2,\tau} H_2(x_2) \quad (44)$$

となって、この関数は x_2 のみに依存する。時点 0 での買収企業にとっての評価関数は

$$v(x_1, x_2) = \sup_\tau E \left[\int_0^\tau e^{-r_2 t} \Pi_{2,t} dt + e^{-r_2 \tau} V(\tau, X_{1,\tau}, X_{2,\tau}) \mid X_{2,0} \right] \\ = \frac{D_{2,0} x_2}{r_2 - g_2 - \mu_2} \quad (45)$$

となり、買収前の買収企業の期待割引価値に等しくなる。したがって、買収企業は合併のインセンティブを持たないので、買収オプションの価値は消滅する。なぜなら、買収額が合併余剰に等しくなるからである。

3. 合併企業の利潤フローが一次同次の場合

この節では、最適な合併領域を解析的に求めるために合併企業の確率的利潤フローが一次同次であると仮定する。一次同次の場合、確率的利潤フローには期待値の意味でシナジーはないが、シナジー効果がある正の確率で存在する。

命題 1. もし $g_1 = g_2 = g_m = 0$, $\alpha + \beta = 1$ および $\mu_1 < r_2$ ならば, 2 企業の利潤比率 $z = x_2/x_1$ が以下の閾値 z^* に達したときに, 買収企業は対象企業を合併するのが最適である;

$$z^* = \inf\{z \mid \psi_i(z) = 0\}, \quad i = 1, 2. \quad (46)$$

ここで,

$$\begin{aligned} \psi_i(z) \equiv & \left(1 - \frac{1}{\eta_i}\right)(2 - \theta)S_2z + \theta S_1 \\ & - \left(1 - \frac{\beta}{\eta_i}\right)S_m z^\beta, \end{aligned} \quad (47)$$

$$S_i \equiv \frac{D_{i,0}}{r_i - \mu_i}, \quad i = 1, 2, m. \quad (48)$$

$\psi_i(z)$ が凹関数になるので, $\psi_i(z) = 0$ となる z^* は 2 個存在し, $z_1^* \leq z_2^*$ が成立する。これは, 従来のリアルオプション手法の結果とは異なる点である。最適な合併領域は次の命題 2 で与えられる。

命題 2. 対象企業にとって合併オプションの価値は次式で与えられる;

$$w(z) = \begin{cases} \left(\frac{z}{z_1^*}\right)^{\eta_1} B(z_1^*) + S_2 z, & \text{if } z \in (0, z_1^*), \\ S_m(z)^\beta - \theta S_1 - (1 - \theta)S_2 z, & \text{if } z \in [z_1^*, z_2^*], \\ \left(\frac{z}{z_2^*}\right)^{\eta_2} B(z_2^*) + S_2 z, & \text{if } z \in (z_2^*, \infty), \end{cases} \quad (49)$$

ただし, $B(z) = S_m(z)^\beta - \theta S_1 - (2 - \theta)S_2 z$. ここで, $\eta_1 > 1$ と $\eta_2 < 0$ は次の 2 次式の解である。

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(\sigma_1^2 - \rho\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)\eta(\eta - 1) + (\mu_2 - \mu_1)\eta \\ + \mu_1 - r_2 = 0. \end{aligned} \quad (50)$$

$|\rho| < 1$ のとき上式は 2 根を持ち, $\rho = \pm 1$ のとき重根となって, 閾値は 1 個に退化する。

命題 3. もし, $0 < \theta \leq 2(1 - \beta)$ ならば,

$$\begin{cases} \frac{\partial z_i^*}{\partial \theta} \geq 0, & \text{for } z_i^* \in [0, \xi_i(\theta)] \cup [\delta_i, \infty), \\ \frac{\partial z_i^*}{\partial \theta} \leq 0, & \text{for } z_i^* \in [\xi_i(\theta), \delta_i] \end{cases} \quad (51)$$

となり, もし $2(1 - \beta) < \theta < 1$ ならば,

$$\begin{cases} \frac{\partial z_i^*}{\partial \theta} \geq 0, & \text{for } z_i^* \in [0, \delta_i] \cup [\xi_i(\theta), \infty), \\ \frac{\partial z_i^*}{\partial \theta} \leq 0, & \text{for } z_i^* \in [\delta_i, \xi_i(\theta)], \end{cases} \quad (52)$$

となる。ここで,

$$\xi_i(\theta) = \frac{\beta\theta S_1}{(1 - \beta)(1 - \frac{1}{\eta_i})(2 - \theta)S_2} > 0, \quad i = 1, 2 \quad (53)$$

$$\delta_i = \frac{S_1}{(1 - \frac{1}{\eta_i})S_2} > 0, \quad i = 1, 2. \quad (54)$$

命題 4. 閾値 z_1^* は $Q_1(\rho) \geq 0$ ならば ρ について減少関数である。また, 閾値 z_2^* は $Q_2(\rho) \leq 0$ ならば ρ について増加関数である。ただし,

$$\begin{aligned} Q_i(\rho) \equiv & \frac{1}{2}(\sigma_1^2 - \rho\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)(2\eta_i - 1) \\ & + \mu_2 - \mu_1. \end{aligned} \quad (55)$$

系 4.1. 閾値 z_1^* は $\mu_2 > \mu_1$ ならば ρ について減少関数である。また, 閾値 z_2^* は $\mu_2 < \mu_1$ ならば ρ について増加関数である。従って, 合併領域は ρ とともに拡大する。
コメント (1) $\rho = 1$ で 2 企業の利潤フローが一次式 $\pi_{1,t} = a\pi_{2,t} + b$ ($a, b > 0, \rho = 1$) で与えられるとしよう。同一のサプライチェーン上で対象企業 1 (例えば, 部品メーカー) の収益がすべて買収企業 2 (発注元メーカー) から来るとすれば, 系 4.1 より, 2 企業の収益が乖離すればするほど合併領域は拡大するので, 買収企業は対象企業を買収するより強いインセンティブを持つことになる。すなわち垂直型合併が起こり易い。

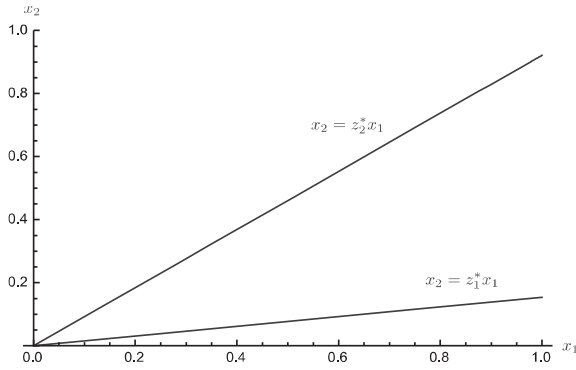
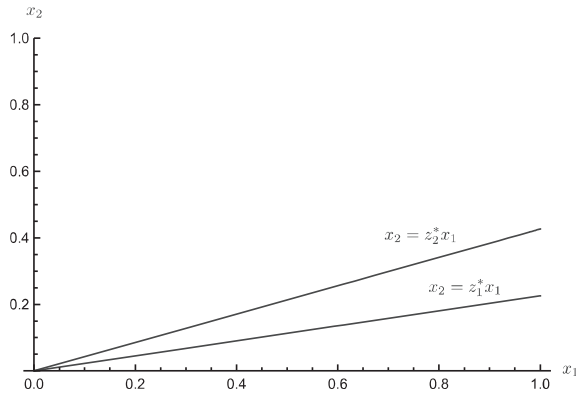
(2) 総需要が飽和状態にある寡占市場 (一定和ゲーム) で $\pi_{1,t} + a\pi_{2,t} = b$ ($a, b > 0$) が成立していると仮定しよう。この時, $\rho = -1$ であるので系 4.1 より, 合併のインセンティブがより低くなるので, 寡占市場での水平型合併は起こりにくい。

4. 数値例

この節では, 第 3 節の一次同次の場合の最適合併領域と評価関数およびモデルのパラメータの変化に対して合併領域がどのように反応するかを数値的に観察してみる。最適な合併領域は有界閉区間 $[z_1^*, z_2^*]$ であり, 非合併領域は $(0, z_1^*)$, (z_2^*, ∞) である。またモデルの仮定である $r_i > \mu_i, i = 1, 2, m$ を満たすように r_i と $\mu_i, i = 1, 2$ は選んであるが, μ_m は (10) 式より内生的に決まる。

表 1. パラメータ

μ_1	μ_2	σ_1	σ_2	ρ	
0.25	0.03	0.1	0.1	-0.5	
r_1	r_2	r_m	β	θ	
0.03	0.035	0.03	0.7	0.3	
g_1	g_2	g_m	$D_{1,0}$	$D_{2,0}$	$D_{m,0}$
0	0	0	0.1	0.15	0.3

図 1. 合併戦略 ($D_{m,0} = 0.3$)図 2. 合併戦略 ($D_{m,0} = 0.25$)

z は両企業の利潤比率であり、 z_i^* が合併の時期を決めるので、買収企業の利潤が対象企業の利潤よりもより鋭く上昇する（インフレ時）か、またはその利潤が下降するときには相手企業よりもより緩やかに下降する（デフレ時）かの時に、合併が起こり易い。この結果は、実証結果と整合性がある。図 1 は確定的利潤フローにシナジー効果があるが、図 2 にはシナジーはない。シナジー効果がないと、合併領域が大きく縮小するのが判る。しかし、シナジーがなくともリスク分散が期待されるので、合併領域は存在する。図 3 は、 ρ が十分大のとき、相関係数が大きい企業間で垂直型合併が起こり易いこと、異なる産業間での企業収益の相関係数が十分小ならば、 $\rho \approx 0$ の近傍ではコングロマリット型合併が起こることを示唆している。

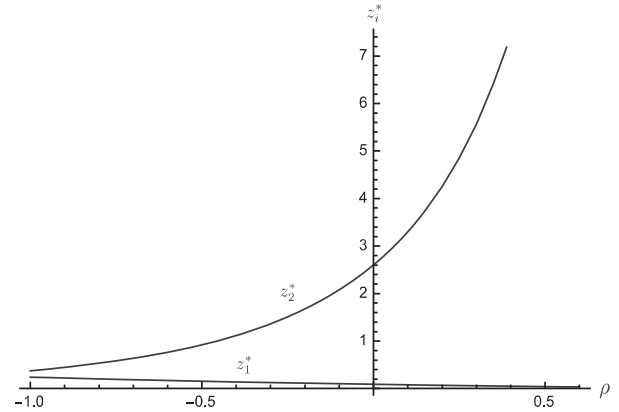
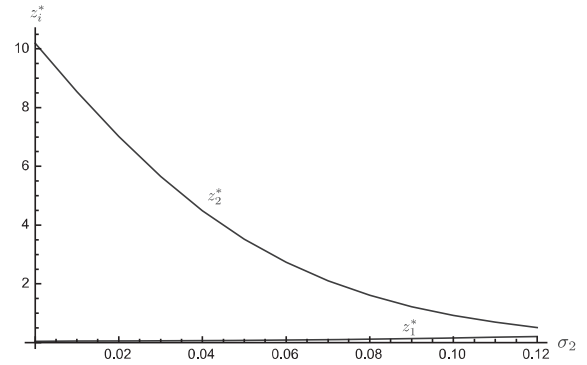
図 3. 閾値と ρ の関係

図 3 では、命題 4 とその系 2.1 で論証した ρ に関する定性的性質を確認することができる。合併領域の上界は ρ の増加関数であり、下界は ρ の減少関数である。特に、 $\rho = 1$ の時は z_1^* は消滅し、 $\rho = -1$ の時は $z_1^* = z_2^*$ となる。すなわち、 $\rho = \pm 1$ の時は $\psi(z) = 0$ の根が重根となり、合併領域が閉区間ではなく、半直線になる。

図 4. 閾値と σ_2 の関係

この数値例では、確定的利潤フローにはシナジーがあり、確率的利潤フローには期待値の意味でシナジーはない。買収企業の収益の標準偏差が大きときには、合併領域は縮小する。理論的には、このことは本モデルにおいて確率変数 Z_t が閾値 z_1^* への最早到達時間の期待値からも説明可能である。(38) 式より、期待最早到達時間は $\mu_z - \sigma_z^2/2 > 0$ に対して

$$E[\tau^*] = \begin{cases} \frac{\log \frac{z_1^*}{z}}{\mu_z - \frac{\sigma_z^2}{2}}, & z \leq z_1^* \\ \frac{\log \frac{z}{z_2^*}}{\mu_z - \frac{\sigma_z^2}{2}}, & z \geq z_2^* \end{cases} \quad (56)$$

となり、 $\mu_z - \sigma_z^2/2 < 0$ に対して $E[\tau^*] \rightarrow \infty$ となる。となる。期待最早到達時間は、 μ_z の減少関数であり、

σ_z の増加関数である。シナジー効果が期待されるとき μ_z が増加するならば、 $E[\tau^*]$ が減少する。したがって、合併の時期は早くなる。逆に、収益の比率の不確実性 σ_z が拡大するときには、 $E[\tau^*]$ が大きくなる。すなわち、合併の時期は遅くなる。

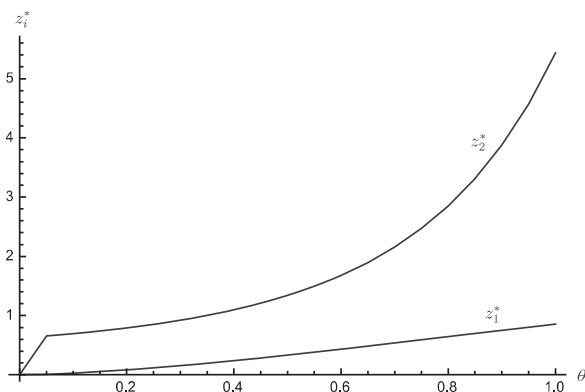


図 5. 閾値と θ の関係

図 5 において、 $\theta = 0$ のとき合併オプションは消滅するという第 2 節で述べた定性的性質と一致する。 θ は買収額と合併余剰の配分を決めるパラメータでもあった。 θ が大きいほど買収額は小さくなり対象企業に不利であるが、合併領域は拡大する。

5. まとめと今後の課題

ファイナンスのポートフォリオ理論は、投資家の富の形成理論であるのに対して、合併・買収は巨大な富の形成ばかりでなく企業集団の形成のための経営戦略である。本論文では、将来の利潤フローを生成する実物資産としての経営資源組み合わせの最適化手段であるとの観点から合併・買収を論じた。さらに、何時どのような環境条件の下で合併・買収が起こり易いかを考察した。

経済のグローバル化と規制緩和が国を超えた合併・買収をより活発に促進してきたという事実は、シナジー効果とリスク分散がそのエンジンの役割を果たしたに違いないであろう。しかし、国を超えた合併・買収ではシナジー効果や買収額は関税や為替に依存するから、規制強化や産業の保護政策は国を超えた合併を抑制する方向に働くであろう。今日の資本市場において金融投資および設備投資等への実物資産への投資額と比して合併・買収への投資額が益々大きな割合を占めるであろう。従って、合併・買収が効率的な資本市場の形成にどのような役割を果たすかの理論的研究が望まれる。また本モデルでは、買収企業も対象企業も共に相手の利潤フローについて完全な(確率的)情報を持つと仮定している。相手企業の収益構造について不完全な情報しかない場合

や評価ミス (misvaluation) の研究は今後の課題である。また合併の合意時期と合併企業のスタート時期に時間的遅れがあるために、相手企業の評価に認識のズレを取り入れたモデルは興味深いテーマである。

謝辞

本研究は日本学術振興会の科学研究費補助金(基盤研究(C) 16K01248, 若手研究(B) 17K12985)の支援により実施された。

参考文献

1. Lambrecht, B.M., 2004, The timing and terms of mergers motivated by economies of scale. *Journal of Financial Economics*, 72, 41-62.
2. Margrabe, W., 1978, The value of an option to exchange one asset for another. *The Journal of Finance*, 33, 177-186.
3. Morellec, E., Zhdanov, A., 2005, The dynamic of mergers and acquisitions. *Journal of Financial Economics*, 77, 649-672.
4. Morellec, E., Zhdanov, A., 2008, Financing and takeovers. *Journal of Financial Economics*, 87, 556-581.
5. Thijssen, J.J., 2008, Optimal and strategic timing of mergers and acquisitions motivated by synergy and risk diversification. *Journal of Economic Dynamic and Control*, 32, 1701-1720.
6. Weston, J.F., Chung, K.S. and Hoag, S.E., 1990, *Mergers, Restructuring, and Corporate Control*. Prentice Hall International, Englewood Cliffs, NJ.

一定消費を保障する資産配分戦略の検証

鶴谷 俊行
(宗教法人 江淨寺)

要約 本稿は、公益事業を目的とする宗教、教育法人、信託財団などの非営利団体に適する長期的な資産配分戦略について、分析を行う。ある非営利団体をモデルとして事業計画の期初において、まとまった寄付金を初期資産として受け入れ長期間運用する中で、その一部を事業運営費に振り向けていくことを可能にする戦略を検討する。

資産配分戦略として、伝統的な資産配分戦略と、先行研究に基づいた一定消費を保障する戦略とを比較したシミュレーションを行った。分析期間は1989年1月から2018年3月までの約29年間の月次データを用いて、インデックス運用を危険資産、日本国債10年物を安全資産としたポートフォリオの分析と検証を行った。さらに、リーマンショックのような金融市場の大きなニュースを境目として、分析期間を三分割し、再度検証を試みた。いずれも一定消費を保障する戦略の方が、相対的に毎期の消費は安定的であり、かつ期末資産残高は多く、最適な資産配分と毎期の消費との間に密接な関係が生じることが確認された。

キーワード：資産配分、消費保証、ポートフォリオ保険、CPPI、基金運用、非営利機関

1. はじめに

広義的な意味の非営利組織には、医療法人、学校法人、社会福祉法人、宗教法人、公益法人などの認可法人が挙げられるが、その目的は公益事業を目的とし、かつその事業が半永続的でありたいことは共通している。非営利組織に限らず、事業を継続していくためには資金調達が必要であり、主な収入源は会費、寄付金、助成金、補助金、そして事業収入によって賄われる。とくに地方における非営利組織は地域社会と密接な関わり合いを持つため、地方の人口減少は会員数の減少へと繋がり、資金調達に問題を抱える場合は少なくなく、また本来の目的と異なる新たな事業展開を行うことも認可法人であるが故に難しい場合がある。そのように法人収入が減少する状況の中でも、事業運営費は一定水準の支出を必要としている場合が多い。

また、事業維持の方策の一つには資産運用が挙げられるが、どのような投資が向いているのか、どれくらいの投資を危険資産へ配分するのかという専門的な知識や分析スキルを持つスタッフがいるわけでもなく、証券会社や銀行が紹介する金融商品を鵜のみにするケースも多いであろう。巨額な金融資産を運用している学校法人や宗教法人の中には、複雑な仕組債を購入している場合も少なくなく、リーマンショックの影響で大きな損失を被った法人がいくつか

あったことをニュースでも報道された。

そこで、寄付金等のまとまった資産を付与されていたならば、それを金融資産として正しく運用し、将来の通増的な運用成果と運営費の安定的支出が、事業継続に重要であると考え、本稿が非営利組織の資産運用の一助となれればと思い、検証を試みた次第である。

本稿では、2つの資産配分戦略を比較検証する。一つは伝統的な資産配分戦略であり、初期資産の50%を危険資産、残り50%を安全資産に投資し、かつ毎期一定消費の支出を予定する場合である。もう一つは、先行研究であるDybvig(1999)¹に基づいた一定消費を保障する資産配分戦略であり、ポートフォリオ・インシュアランスの考え方に似ている戦略であり、相対的リスク回避度などの必要なパラメーターにより危険資産への最適な投資計画と消費計画が導かれている。分析期間としては、1989年1月から2018年3月までの月次データを用いてシミュレーションを行い、それぞれの戦略の運用成果と毎期の支出額の変動を検証した。

2. 先行研究

金融資産からなるポートフォリオについてその下限を保証するような戦略はポートフォリオ保険

1 Philip H. Dybvig “Using Asset Allocation to Protect Spending”
Financial Analyst Journal, 1999, 55(1, Jan/Feb), 49-62.

(Portfolio insurance)と呼ばれ、その頭文字をとって PI と略すること多い。ポートフォリオ保険には 2 つのアプローチがある²。第 1 のものは、株や債券などの現物危険資産の値下がりリスク (Downside risk) を回避するために、プットオプションの買いを行う戦略である。これはプロテクティブ・プットと呼ばれている。

もし市場でプットオプションが取引されていれば、それを保険として購入すればよい。しかしながら、市場では、運用期間に等しい満期や望ましい行使価格のプットオプションが取引されているとは限らない。そうした場合には、適切な、例えばブラック＝ショールズモデル (Black and Scholes, 1973) などを用いてプットオプションを合成することが行われる。原資産と合成したプットオプションの組み合わせは、コールオプションの満期ペイオフと同様になるため、ダウンサイドリスクを回避することができる。

2 番めのポートフォリオ保険は、比率一定型のポートフォリオ保険 (CPPI: Constant Proportional Portfolio Insurance) とよばれ、危険資産と安全資産からなるポートフォリオ価値 (E: Exposure) とその最低許容水準 (F: Floor) との差 (C: Cushion) の一定割合 (M: Multiplier) を常に次期の危険資産への投資額とする、極めてシンプルな資産配分戦略である³。

この論文では、資産運用の対象が寄付金や基金 (Endowment) といった返済する必要が無いものであり、資産運用成果が運用主体の維持・発展のために一定の経費を賄うための資産運用を検討する。Dybvig(1999)は、比率一定型のポートフォリオ保険をこの目的のために拡張をした。Dybvig(1999)は資産配分と消費の関係を、米国において 1946 年から 1996 年の 50 年間に亘り、2 種類の戦略の比較をしている⁴。

1 つは、伝統的な資産配分戦略 (Traditional Strategy) であり、もう一つは、一定消費を保障する戦略 (Ratcheting Strategy) である⁵。

伝統的な消費配分戦略は、初期資産の 50% を危険資産として米国株式 (S&P500) に投資し、残り 50% を安全資産として 3 ケ月物米国国債 (T-bill) に投資をし、毎期の資産残高の年率 4.5% を消費額として支出する戦略を、一つのモデルとして設定している。この

戦略の結果は、初期資産は元本割れを起こし、毎期の消費額は大きく変動する結果であった。

一方、一定消費を保障する戦略は初期資産を、危険資産で運用する部分、安全資産で運用する部分、そして消費によって財産額が変動する部分に分けた資産配分戦略である。このポートフォリオにおける危険資産への投資額 a_t は、 t 期の資産額から最低消費部分の現在価値を差し引いたクッション部分に乗数 $K(\%)$ を乗じたもので与えられ、安全資産への投資額 $w_t - a_t$ は、 t 期の資産額から危険資産投資額を差し引いた残りで与えられる。そして、 t 期の消費額は、 t 期の資産額に r^* を乗じたもの以上であるという条件が与えられる。

この K と r^* という水準がどのようにして決定するかについては、外生的なパラメーターである相対的リスク回避度 R 、主観的割引率 δ 、危険資産の期待収益率 μ 、そのボラティリティ σ 、リスクフリーレート r_f による。

先行研究においては、一定消費を保障する戦略について、乗数 $K = 1\%$ 、 $r^* = 1.5\%$ として、シミュレーションを行ったところ、初期資産の元本割れは無く、資産は増加し、さらに毎期の消費額は安定していたという結果であった。

3. 分析モデル

3.1 伝統的な資産配分戦略

この戦略は、 t 期における資産額 A_t 、移動平均の重み α 、一定の年間消費率 c 、平均期間 N を与えると、式(1)のように定義される。今期(t 期)の消費は、1 期前($t-1$ 期)の消費と、今期(t 期)より N 期間前の平均資産残高との按分で表される。

しかし、式(1)の消費額において、移動平均の重み α と期間 N を、どのようにして決定するかについては恣意的であり、消費額は資産額の影響を受けやすくなる。

$$S_t = (1 - \alpha)S_{t-1} + \alpha \left\{ c \left(\frac{\sum_{s=1}^N A_{t-s}}{N} \right) \right\} \quad (1)$$

3.2 一定消費を保障する戦略 Dybvig(1999)による Merton の多期間消費モデルの拡張

4 Brown and Tiu (2013)は、大学基金のためのこれらの戦略を含む 7 つの支出戦略、とりわけリーマンショックの影響のシミュレーション分析をおこなっている。

5 一定消費を保障する戦略 (Ratcheting Strategy) の概要と実証結果については Dybvig(1999)を、その背後にある理論については Dybvig, P. (1995) と Merton, R. C. (1971)などを参照。

2 これら 2 つのポートフォリオ保険の概要とその実証については Ho, Cadle and Theobaldn (2010)、Perol, and Sharpe (1995)、浅野幸弘(1985)の展望が参考になる。

3 比率一定のポートフォリオ保険については、その直感的な説明が Black, F. and R. Jones (1987)によってなされている。其の背後にある理論的な裏付けについては Black and Perold (1992)を参照のこと。この 2 つのポートフォリオ保険の計量経済学パッケージ EViews による実装が森平・高 (2019)でおこなわれている。

3.2.1 効用関数の定義

効用関数 $u(S_t)$ としパワー(ベキ)型効用関数を仮定する。ベキ型効用関数は、その絶対的リスク回避度は減少するが、相対的リスク回避度が一定であるような効用関数である。ここで、 R は相対的リスク回避度を示し、 $R=1$ の時には、対数効用関数になる。

$$u(S_t) = \frac{S_t^{(1-R)}}{(1-R)} \quad (2)$$

3.2.2 目的関数の定義

Dybvig(1999)によると、投資家は式(3)の目的関数を、消費 S_t と危険資産投資(移動平均の重み) α に関して最大化する。この目的関数は、現在($t=0$)から将来($t=\infty$)に向けた消費からの効用 $u(S_t)$ を、時間選好率 δ で割引いた合計値の期待値を表す。

$$\text{Max} \Rightarrow E_0 \left[\int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\delta t} u(S_t) dt \right] \quad (3)$$

3.2.3 制約条件の定義

制約条件として、以下の2つの条件を課し、財産額の変動は式(4)の確率過程に従う。この確率過程は、安全資産で運用する部分、危険資産で運用する部分、そして消費によって財産が減少していく部分に分けられている。

- 消費水準 S_t は減少しない。 $t > 0 \quad S_{t'} \geq S_t \text{ (for } t' > t \text{)}$
- 財産額 w_t は非負である。 w_0 は所与 $w_t \geq 0$

$$d\tilde{w}_t = w_t r_t dt + \alpha_t (\mu dt + \sigma d\tilde{Z}_t - r_t dt) - S_t dt \quad (4)$$

3.2.4 最適な投資と消費計画

制約条件のもとで、動的計画法を用いて解析すると、2つの投資計画と1つの消費計画の規則が導かれる。

最適な危険資産への投資額 α_t は、 t 期の資産額 w_t から、現在の消費水準 S_t を永久に継続していくために必要な財産額(消費水準の現在価値)を差し引いたクッション(裁量部分)に、乗数 $K(\%)$ を掛けたもので表すことができる。

$$\alpha_t = K \left\{ w_t - \left(\frac{S_t}{r_f} \right) \right\} \quad (5)$$

式(5)において、危険資産投資に必要なパラメータである乗数 K は、Merton比率をもって表される。

ここで、 μ は危険資産の期待収益率(年率)、 σ はその期待収益率のボラティリティ(年率)、 r_f はリスクフリーレート(年率)である。なお、乗数 K は一定比率($K > 1$)であり、 R^* は修正された相対的リスク回避度を表す。

$$\kappa \triangleq \frac{(\mu - r_f)^2}{2\sigma^2} \quad (6)$$

$$0 < R^*$$

$$\triangleq \frac{\sqrt{(\delta + \kappa - r_f)^2 + 4r_f \kappa} - (\delta + \kappa - r_f)}{2r_f} < 1 \quad (7)$$

$$K \triangleq \frac{\mu - r_f}{R^* \cdot \sigma^2} \quad (8)$$

最適な安全資産への最適投資額 $w_t - \alpha_t$ は、 t 期の資産額 w_t から危険資産投資額 α_t を差し引いた残額で表される。つまり、現在の消費水準 S_t を永久に継続していくために必要な財産額と、クッション部分に $(1-K)\%$ を乗じた額の合計を、最適な安全資産への投資額 $w_t - \alpha_t$ で表すことができる。

$$w_t - \alpha_t = \left(\frac{S_t}{r_f} \right) + (1-K) \left\{ w_t - \left(\frac{S_t}{r_f} \right) \right\} \quad (9)$$

消費の最適ルールは通常一定水準をとるが、消費を増加できる場合は下記の条件が満たされた場合であり、 r^* はリスクフリーレートに相対的リスク回避度の伸び率を乗じ、 d は許容可能な消費下落率である。 d がゼロの場合、 r^* はリスクフリーレート以下になる。

$$S_t \geq r^* \cdot w_t \quad (10)$$

$$r^* \triangleq r_f \left(\frac{R - R^*}{R} \right) \quad (11)$$

$$r^* < r_f + d \quad (12)$$

4. 分析準備

4.1 ベキ型効用関数の相対的リスク回避係数 R と主観的割引率(時間選好率) δ の推定

式(2)の効用関数 $u(S_t) = \frac{S_t^{(1-R)}}{(1-R)}$ を持つ投資家について、あるくじを考える。そのくじを今期に購入すると、来期に確率0.5で110万円、確率0.5で100万円となるくじである。このくじにおいて、筆者は今期103万円を支払って購入する価値があるものとした。

$$\frac{103^{1-R}}{1-R} = 0.5 * \frac{100^{1-R}}{1-R} + 0.5 * \frac{110^{1-R}}{1-R} \quad (13)$$

次に、式(2)の効用関数に基づき、2つの消費計画を考える。一つは今期の消費額は100万円で来期の消

費額が 110 万円の消費計画と、もう一つは今期と来期の消費額が同額 S であるような消費計画である。これらの消費計画から、もたらされる効用を等しくするような消費額 S を、筆者は 104.5 万円であるものと設定した。

$$\frac{104.5^{1-R}}{1-R} + e^{-\delta \cdot 1} \frac{104.5^{1-R}}{1-R} = \frac{100^{1-R}}{1-R} + e^{-\delta \cdot 1} \frac{110^{1-R}}{1-R} \quad (14)$$

式(13)と(14)の連立方程式を、エクセルのソルバーを用いて同時に解析を行った結果を式(15)、および図 1-1 および図 1-2 に示す。

$$R = 3.698 \quad \delta = 0.024 \quad (15)$$

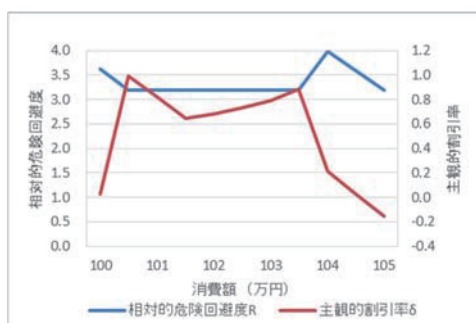


図 1-1 相対的リスク回避度と主観的割引率
(消費額を変化)

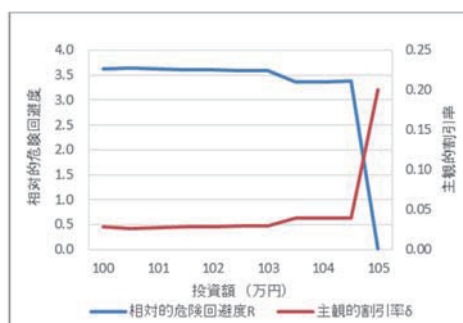


図 1-2 相対的リスク回避度と主観的割引率
(投資額を変化)

4.2 分析データ期間と金融市場の主な出来事

分析期間を表 1 のように定めることとする。まず全期間で分析を行い、そこから分析期間を分割するために、金融市場の主なニュースから 2000 年初頭の IT バブルの崩壊と、2008 年 10 月のリーマンショックに注目し、分析期間を期間 1、期間 2、期間 3

の 3 種類に分けて、シミュレーションを試みることにした。また、分析に使用するデータを表 2 のように定める。なお、全期間において均一なデータ取得が不可能であったので、国内株式以外の各資産については、期間 3 においてのみ使用してシミュレーションを行うこととする。

表 1 分析期間と金融市場の主な出来事

期間	期間	月次	主な出来事
全期間	1989 年 1 月～2018 年 3 月	351 ヶ月	
期間 1	1989 年 1 月～1999 年 3 月	123 ヶ月	日本経済バブル崩壊
期間 2	1999 年 4 月～2007 年 3 月	96 ヶ月	IT バブル崩壊
期間 3	2007 年 4 月～2018 年 3 月	132 ヶ月	リーマンショック、アベノミクス

表 2 分析に使用するデータ

資産	対象データ	分析対象期間
無リスク金利	日本国債 10 年物利回り	全期間
国内株式	TOPIX 配当込み	全期間
国内債券	NOMURA-BPI 国債分配金込み	期間 3
外国株式	KOKUSAI INDEX (WORLD ex JP) 配当込み円建て	期間 3

外国債券 WGBI INDEX(Non-JPY)円建て
コモディティ 金地金（東京）

期間 3

期間 3

(注) データ取得先：QUICK ASTRA-Manager

4.3 TOPIX の時系列推移

分析に使用したデータの中で、全期間を対象にした TOPIX（配当込み）について、指数値とその対数収益率の推移を、図 2 および図 3 に示す。さらに TOPIX の対数収益率について、その標準偏差 σ を確率ボラティリティによって推定した結果も併せて示すことで、金融市場の主な出来事と照らし合わせることで、理解を深める。なお、確率ボラティリティ推計に用いるカルマンフィルターの方程式は以下に基づく。

まず、対数リターンを定義する。

$$\tilde{y}_t \equiv \Delta \ln x_t = \ln x_{t+1} - \ln x_t \quad (16)$$

観測方程式を、非線形方程式から線形方程式に変換する。

$$\tilde{y}_t = \tilde{\varepsilon}_t \tilde{\sigma}_t = \tilde{\varepsilon}_t \exp\left\{\frac{\tilde{h}_t}{2}\right\} \quad \tilde{\varepsilon}_t \sim N(0,1) \quad (17)$$

非線形カルマンフィルターであるので、両辺を 2 乗し対数を取る。

$$\ln \tilde{y}_t^2 = \ln \tilde{\varepsilon}_t^2 (\exp\left\{\frac{\tilde{h}_t}{2}\right\})^2 = \ln \tilde{\varepsilon}_t^2 + \tilde{h}_t \quad (18)$$

$\ln \tilde{\varepsilon}_t^2$ は平均が -1.2703 、分散が $\pi^2/2$ の対数カイ 2 乗分布に従うので、 $\xi_t = \ln \tilde{\varepsilon}_t^2 + 1.2703$ とおくことで、 ξ_t は平均ゼロ、分散 $\pi^2/2$ の正規分布で近似する。



図 2 TOPIX 指数値の推移

4.4 各戦略のパターン

各戦略のパターンを表 3 に示す。本稿の分析については、表 3 のパターンに基づいて、分析期間を変えて検証を行うこととする。

なお、パターン A-1、A-2 の年間消費率の設定、

観測方程式の設定をする。

$$\ln \tilde{y}_t^2 = -1.2703 + \tilde{h}_t + \xi_t \quad \xi_t \sim N(0, \frac{\pi^2}{2}) \quad (19)$$

状態方程式の設定をする。

$$\tilde{h}_{t+1} = \alpha + \beta \tilde{h}_t + \tilde{e}_t \quad \tilde{e}_t \sim N(0, \tilde{\sigma}_h^2) \quad (20)$$

確率ボラティリティ $\tilde{h}_t$ の定義をする。

$$\tilde{\sigma}_t = \exp\left\{\frac{\tilde{h}_t}{2}\right\} \quad (21)$$

初期値設定をし、固定パラメーターの

$c(1), c(2), c(3), c(4)$ の初期値は、 $z_t \equiv \ln \tilde{y}_t^2$ とおくと、

$$z_t = \beta_0 + \beta_1 z_{t-1} + v_t \quad v_t \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (22)$$

$$c(2) = \beta_0, \quad c(3) = \beta_1, \quad c(4) = \sigma_v$$

表 1 の分析期間の境目に当たる主な出来事について、図 2 および図 3 に示す。なお、TOPIX の指数値は、1989 年 1 月の指数を 100 として基準化した。バブル崩壊、IT バブル崩壊、リーマンショックが発生した際は、図 2 の TOPIX の指数値は下降しており、図 3 の確率ボラティリティの値も上昇していることから、金融市場の主な出来事と TOPIX の変化の影響は密接であると観察できた。

以上のことから、表 1 のように分析期間を分割した。伝統的な資産配分戦略と、一定消費を保障する戦略において、どのような影響があるのか検証を試みることができる。

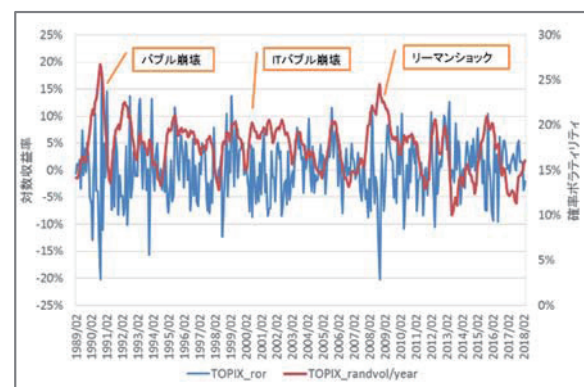


図 3 TOPIX の対数収益率と確率ボラティリティ

および B-2 のパラメーター (K と r^*) の設定は Dybvig(1999)の値に倣った。

また、パターン B-1 のパラメーターの設定は、式 (8)、式(11)に基づいて算出した値を用いることとする。

表 3 戦略のパターン

戦略	パターン	内容
A)伝統的な資産配分戦略	A-1	各期資産の年率 4.5%を毎期消費する場合
	A-2	平均資産の年率 4.5%を毎期消費する場合
B)一定消費を保障する戦略	B-1	一定消費を保障する場合 (K と r^* を設定)
	B-2	一定消費を保障する場合 ($K=1$ 、 $r^*=1.5\%$)

5. 分析結果

5.1 全期間の分析結果

日本国内における検証を行うので、危険資産には国内株式 (TOPIX 配当込み)、安全資産には国債 10 年物利回りを用いている。

伝統的な資産配分戦略において、初期資産 100 のうち、危険資産と安全資産を 50%ずつ保有し、毎期の消費額は月次単位で検証を行うため、月次消費率は年間消費率 4.50%の 1/12 である 0.38%の消費を続ける。 t 期の危険資産と安全資産の投資額は、各資産の消費額を控除した上で、月次収益率を乗じて、 $t+1$ 期の投資額を決定する手順とした。

一定消費を保障する戦略においても初期資産を 100 とし、危険資産の収益率 μ (年率)、その標準偏差

σ (年率)、リスクフリーレート r_f (年率)、および式 (15)の相対的リスク回避度 R 、主観的割引率 δ を用いて、式(6)、(7)、(8)、(11)に代入して計算されたパラメーター κ 、 R^* 、 K 、 r^* の値を表 3 に示す。危険資産の収益率は、1989 年より 2018 年までの年間平均が 0.079%、標準偏差は 19.241%であり、リスクフリーレート r_f は 2.138%であった。この結果は、乗数 K の計算において影響を与え、式(8)の分子がマイナスになるので、危険資産の投資比率である乗数 K の値は、-1.575%となった。つまり、総資産のうち、危険資産を 1.575%空売りして、安全資産へ 101.575%投資するということになる。全期間シミュレーション結果を図 4-1 から図 4-4 に示す。

表 4 全期間のパラメーター

全期間	危険資産		r_f	Kappa	R^*	乗数 K (%)	r^*
	収益率 μ	標準偏差 σ					
全期間	0.079%	19.241%	2.138%	0.006	0.353	-1.575	1.934%

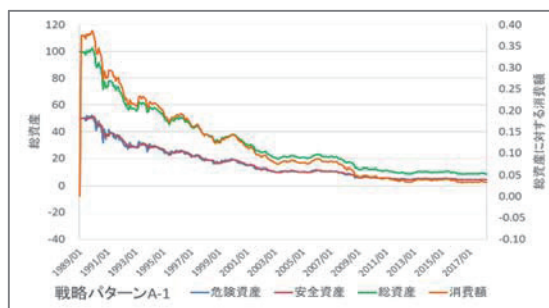


図 4-1 全期間 (戦略パターン A-1)

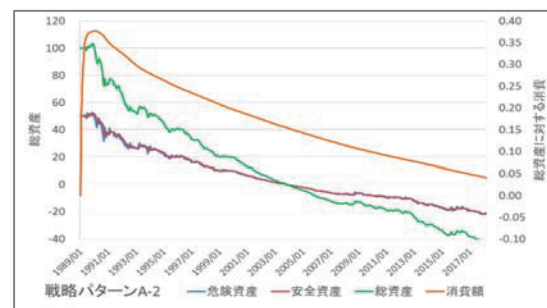


図 4-2 全期間 (戦略パターン A-2)

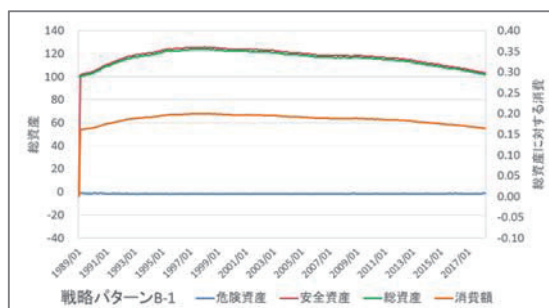


図 4-3 全期間 (戦略パターン B-1)

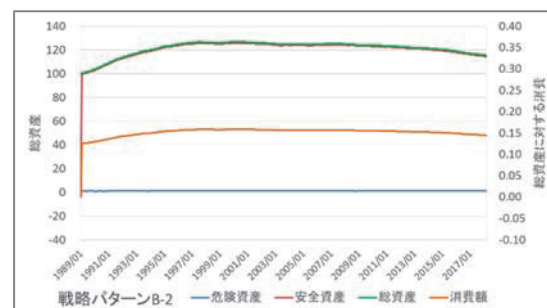


図 4-4 全期間 (戦略パターン B-2)

表4から、伝統的な資産配分戦略（パターンA-1、パターンA-2）は、いずれも総資産額の平均変化率がマイナスであるので資産額は減少し、最終的には元本割れを起こしてしまった。さらに、消費額の変化率についても、マイナスであるので消費額は減少し、消費額の変化率のボラティリティも大きいので消費額が不安定であることがわかる。また、A-2は、A-1よりも毎期の消費額が大きくなるので、その分だけ資産額の減少が速いことがわかる。

一方、一定消費を保障する戦略（パターンB-1、パターンB-2）は、いずれも資産額の平均変化率がプラスであるので資産額は増加し、期末残高は初期資産100を超えている。消費額の変化率のボラティリティは、A-1やA-2に比べて小さく、安定的な消費が望めることがわかった。さらに最低消費額はA-1よりB-1の方が大きいことがわかり、一定消費を保障する戦

略に効果があることがわかった。

四種の戦略を比較した場合、消費額の大きさが重要であると考えられる。伝統的な資産配分戦略（パターンA-1、パターンA-2）の消費額は、総資産残高の年率4.5%を消費していくので、期初の方は消費額が大きい。運用成果以上に消費しているので、その分総資産は減少してしまい、結果的には消費によって総資産を食いつぶす形となっている。一方、一定消費を保障する戦略（パターンB-1、パターンB-2）は、消費額を相対的に少ないが、一定額に抑えることで、運用成果とのバランスを保っていると考えられる。毎月の消費は計画的にするべきということであろう。

なお、先行研究に倣った $K=1$ 、 $r^*=1.5\%$ と設定したパターンB-2の結果は、パターンB-1と遜色は無いが、 K 、 r^* の値が恣意的であると考えられる。

表5 全期間における総資産と消費の結果

全期間	総資産				消費		
	期初	期末残高	平均	標準偏差	平均	標準偏差	最低消費額
A-1	100	8.689	-0.699%	2.788%	-0.699%	2.788%	0.032
A-2	100	-42.269	-0.555%	11.860%	-0.437%	2.411%	0.041
B-1	100	101.992	0.017%	0.176%	0.006%	0.176%	0.161
B-2	100	115.343	0.040%	0.149%	0.041%	0.149%	0.125

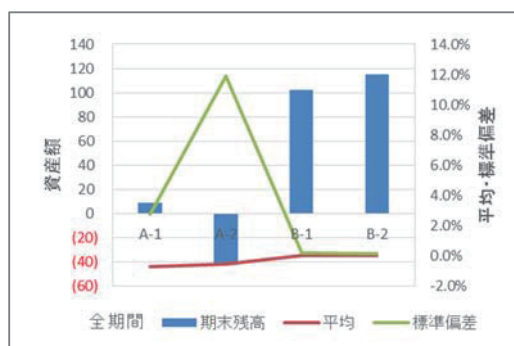


図5-1 全期間（総資産額の推移）

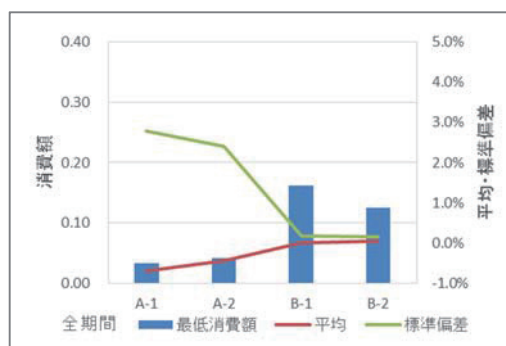


図5-2 全期間（消費額の推移）

5.2 期間別の分析結果

5.1の結果に倣い、期間を分けてそれぞれの戦略について検証を試みた。なお、分析期間の設定は4.2で示したとおりである。期間1の結果を表6、

期間2の結果を表7、期間3の結果を表8にそれぞれを示す。またさらに K 、 r^* の値がどのように変化しているのかを表9に示す。

表6 期間1（1989年1月～1999年3月）における総資産と消費の結果

期間1	総資産				消費		
	期初	期末残高	平均	標準偏差	平均	標準偏差	最低消費額
A-1	100	34.745	-0.867%	3.182%	-0.869%	3.195%	0.122
A-2	100	20.524	-1.298%	3.194%	0.078%	4.034%	0.188
B-1	100	109.459	0.074%	0.218%	0.078%	0.214%	0.266
B-2	100	127.717	0.201%	0.153%	0.201%	0.154%	0.125



図 6-1 期間 1 (戦略パターン A-1)

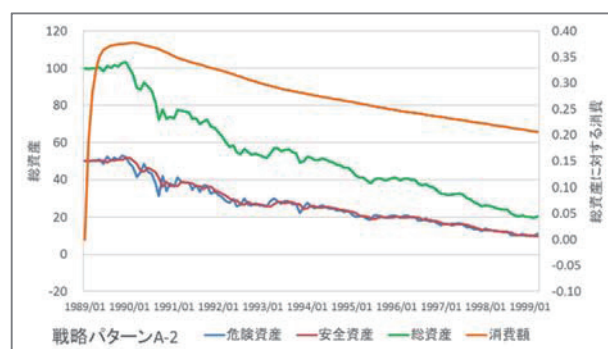


図 6-2 期間 1 (戦略パターン A-2)

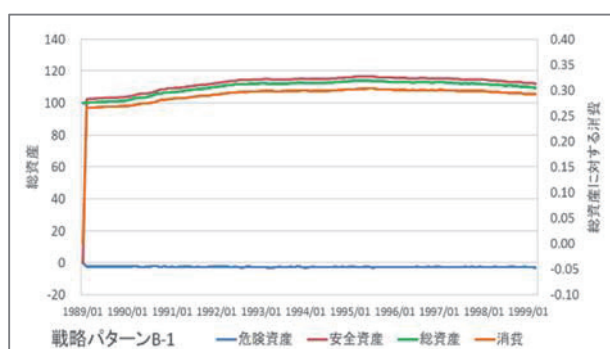


図 6-3 期間 1 (戦略パターン B-1)

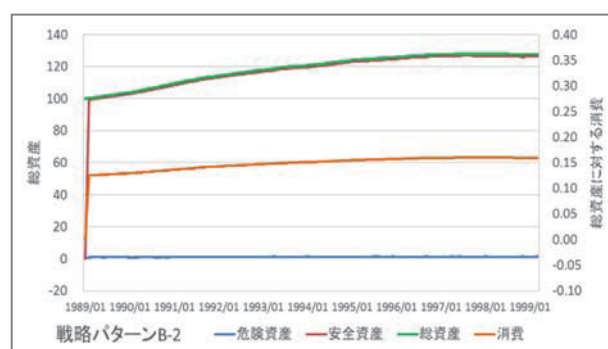


図 6-4 期間 1 (戦略パターン B-2)

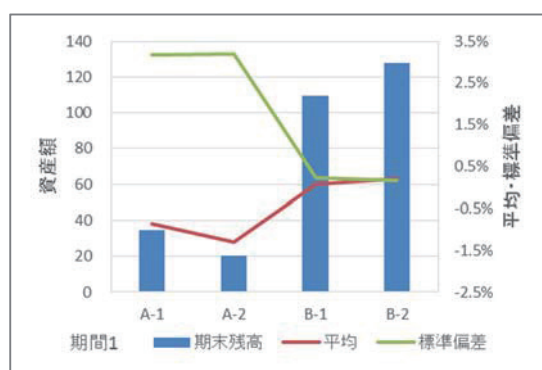


図 7-1 期間 1 (総資産額の推移)

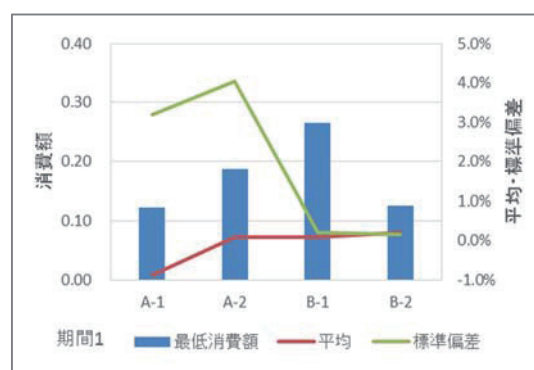


図 7-2 期間 1 (消費額の推移)

表 7 期間 2 (1999 年 4 月～2007 年 3 月) における総資産と消費の結果

期間2	総資産				消費		
	期初	期末残高	平均	標準偏差	平均	標準偏差	最低消費額
A-1	100	59.789	-0.528%	2.235%	-0.594%	2.207%	0.210
A-2	100	47.995	-0.763%	2.239%	-0.277%	1.026%	0.254
B-1	100	101.413	0.016%	0.105%	0.013%	0.104%	0.101
B-2	100	98.792	-0.012%	0.047%	-0.014%	0.046%	0.123



図 8-1 期間 2 (戦略パターン A-1)

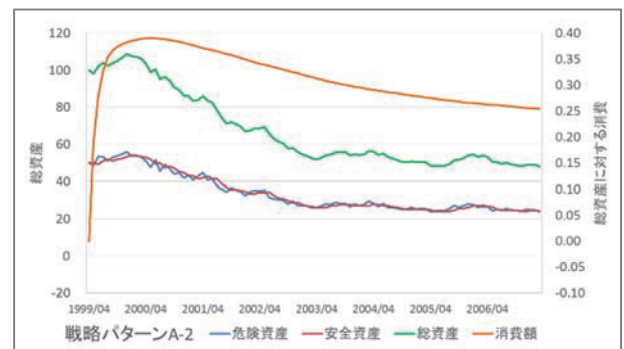


図 8-2 期間 2 (戦略パターン A-2)

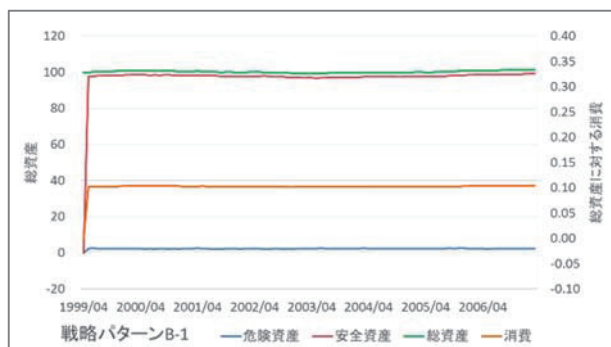


図 8-3 期間 2 (戦略パターン B-1)

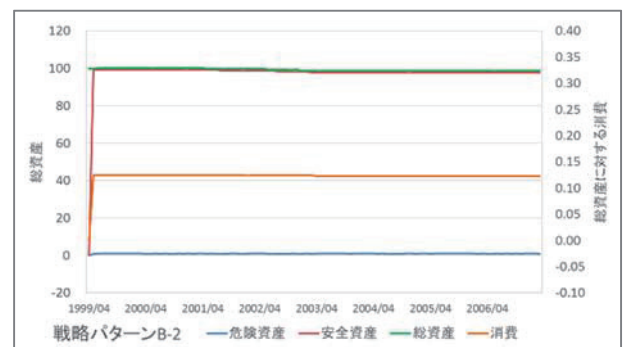


図 8-4 期間 2 (戦略パターン B-2)

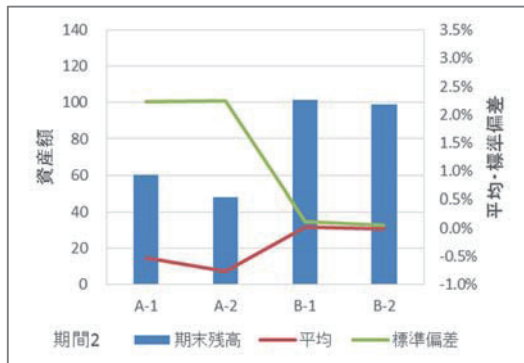


図 9-1 期間 2 (総資産額の推移)

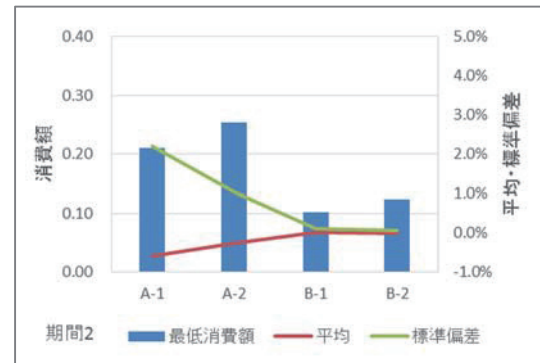


図 9-2 期間 2 (消費額の推移)

表 8 期間 3 (2007 年 4 月～2018 年 3 月) における総資産と消費の結果

期間3	総資産				消費		
	期初	期末残高	平均	標準偏差	平均	標準偏差	最低消費額
A-1	100	41.769	-0.666%	2.755%	-0.681%	2.760%	0.154
A-2	100	26.841	-1.004%	2.735%	-0.034%	3.958%	0.180
B-1	100	99.898	-0.001%	0.155%	0.000%	0.156%	0.063
B-2	100	91.359	-0.069%	0.055%	-0.068%	0.054%	0.114



図 10-1 期間3 (戦略パターン A-1)

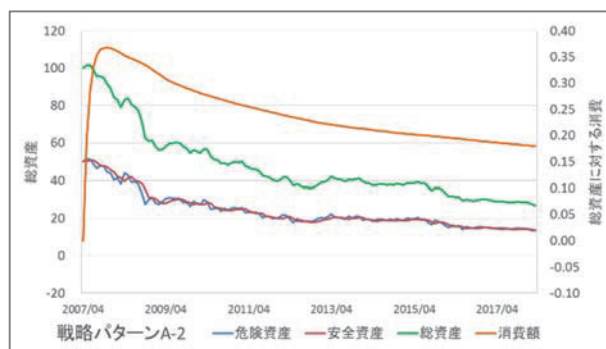


図 10-2 期間3 (戦略パターン A-2)

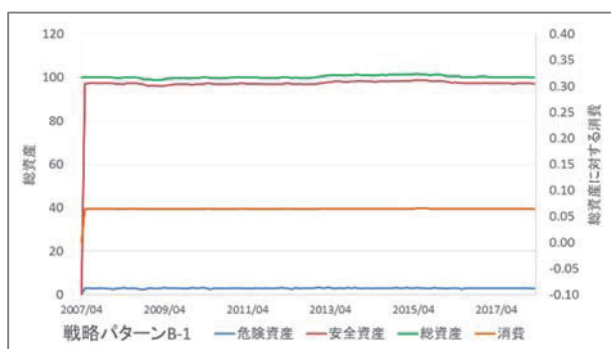


図 10-3 期間3 (戦略パターン B-1)

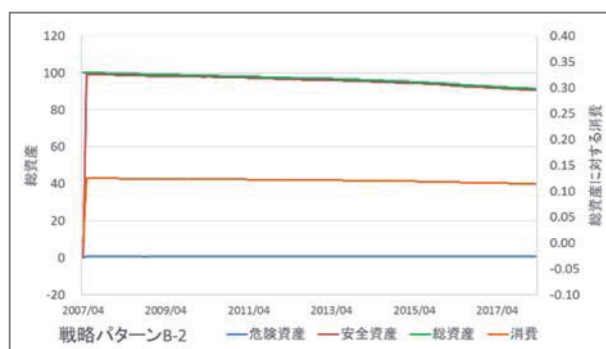


図 10-4 期間3 (戦略パターン B-2)

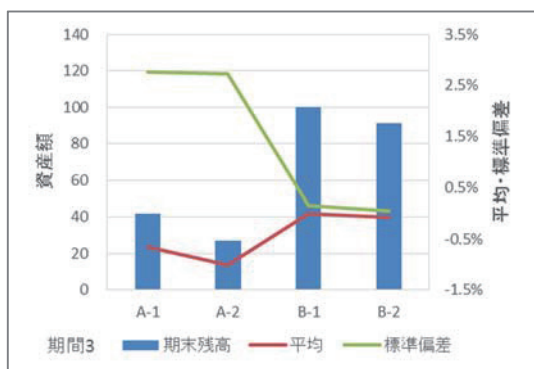


図 11-1 期間3 (総資産額の推移)

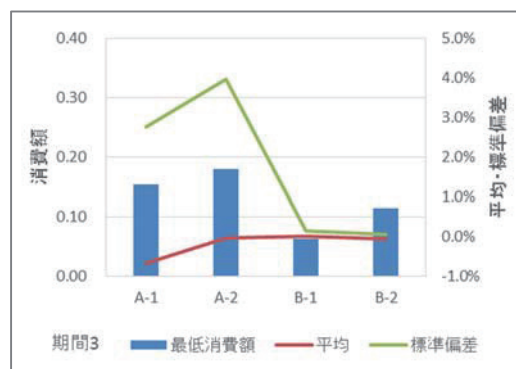


図 11-2 期間3 (消費額の推移)

表 9 期間別のパラメーター

	危険資産		rf	Kappa	R*	乗数K(%)	r*
	収益率 μ	標準偏差 σ					
全期間	0.079%	19.241%	2.138%	0.006	0.353	-1.575	1.934%
期間1	-5.726%	22.021%	4.136%	0.100	0.848	-2.399	3.188%
期間2	4.760%	15.463%	1.448%	0.023	0.561	2.469	1.229%
期間3	2.039%	18.850%	0.793%	0.002	0.112	3.123	0.769%

以上の結果より、乗数 K について考察されることは、期間2 (1999年4月～2007年3月) および期間3 (2007年4月～2018年3月) の期間中、プラスの

値であることである。これは、期間2の危険資産 (TOPIX) の収益率 μ がリスクフリーレートより高いため、式(8)の分子がプラスの値になるからであ

り、さらに式(8)の分母である標準偏差 σ が小さいため、乗数 K の値が比較的大きくなったためである。2000 年初頭の IT バブル崩壊後からリーマンショック前まで、株式市場が比較的落ち着いていたと考えられ、図 3 から確率ボラティリティの変動が小さいことから整合的である。

乗数 K の値が、他の期間よりも大きいとは言っても、 $K=3.123\%$ であり、つまり最適な危険資産への投資額 α_t は、 t 期の資産額 w_t から、現在の消費水準 S_t を永久に継続していくために必要な財産額（消費水準の現在価値）を差し引いたクッション（裁量部分）に、乗数 3.123%を掛けたもので表すわけであり、このモデルは、危険資産への投資額は少なく、ほとんどが安全資産によって運用成果と消費を賄っていると言っても過言ではない。

次に、 r^* の値について考察されることは、式(11)より r^* はリスクフリーレートに相対的リスク回避度の伸び率を乗じたものであることから、期間中のリスクフリーレートの値に影響をされる。図 2 から観察できるように、リスクフリーレート（国債 10 年物利回り）は年々減少している。したがって、式(10)より毎期の消費額 S_t は、当期の資産額 w_t に r^* を乗じた値であるので、リスクフリーレートが低下すれば、消費額も減少してしまう。

ここまでが Dybvig(1999)に基づいた日本国内におけるシミュレーションの結果である。

先行研究のとおり、伝統的な資産配分戦略よりも、一定消費を保障する戦略の方が、資産は初期資産をほぼ維持できること、消費額が比較的一定水準を保つことにおいて、優れていることがわかった。

しかしながら、危険資産の収益率が期間 2 および期間 3 を除いて、マイナスの値であるため、危険資産への投資額がマイナス（空売り）となっていることが気掛かりである。これでは、全てを安全資産へ投資していれば良いわけである。先行研究にも掲載されていたが、危険資産を単一資産ではなく、他の資産とポートフォリオを組むことで、危険資産の期待収益率を上昇させることを、再度試みる。

6. 再検証

再検証する期間について、期間 3（2007 年 4 月～2018 年 3 月）を選択する。その理由は、期間 3 の初頭にリーマンショックを経験し、現在もこのモデルが通用するのか検証したいこと、危険資産のポートフォリオを構築する際に、全ての月次データが揃っている期間であることが挙げられる。

次に、四種類ある戦略のうち、伝統的な資産配分

戦略よりパターン A-1 を選択する。その理由は、パターン A-2 の移動平均の重み α と期間 N が恣意的であるからである。また、一定消費を保障する戦略からパターン B-1 を選択する。その理由は、 K 、 r^* の値を式(15)によって導かれた相対的リスク回避度 R と主観的割引率 δ を使って計算した値を用いることによって、恣意的な部分を排除できるからである。

6.1 最小分散ポートフォリオの導出

一定消費を保障する戦略における危険資産について、表 2 で示した 5 資産についてポートフォリオを構築する。

5 資産とは、国内資産(TOPIX 配当込み)、国内債券(NOMURA-BPI 国債 配当込み)、外国株式(KOKUSAI INDEX 日本除く 配当込 円建て)、外国債券(WGBI INDEX 日本除く 円建て)、コモディティ(金地金 東京)である。

以下に最小分散ポートフォリオの導出過程を示す。実際は、エクセルのソルバーを用いて、一定の期待収益率 μ_p のもとにおいて、分散 σ_p^2 が最も小さくなるポートフォリオの j 個の資産の投資比率 w_j を求めた。

j 個の資産の投資収益率（グロス表示）を要素とする確率ベクトルを、

$$\tilde{R} = [\tilde{R}_1 \ \tilde{R}_2 \ \cdots \ \tilde{R}_j]^T \quad (23)$$

それらの期待収益率を要素とする列ベクトルを、

$$\begin{aligned} \mu &= E[\tilde{R}] = [E[\tilde{R}_1] \ E[\tilde{R}_2] \ \cdots \ E[\tilde{R}_j]]^T \\ &= [\mu_1 \ \mu_2 \ \cdots \ \mu_j]^T \end{aligned} \quad (24)$$

各資産の投資収益率間の分散共分散行列を

$$\begin{aligned} \Omega &= \begin{bmatrix} \text{Var}[\tilde{R}_1] & \text{Cov}[\tilde{R}_1, \tilde{R}_2] & \cdots & \text{Cov}[\tilde{R}_1, \tilde{R}_j] \\ \text{Cov}[\tilde{R}_2, \tilde{R}_1] & \text{Var}[\tilde{R}_2] & \cdots & \text{Cov}[\tilde{R}_2, \tilde{R}_j] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}[\tilde{R}_j, \tilde{R}_1] & \text{Cov}[\tilde{R}_j, \tilde{R}_2] & \cdots & \text{Var}[\tilde{R}_j] \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1j} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{j1} & \sigma_{j2} & \cdots & \sigma_j^2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (25)$$

なお、分散共分散の性質として、 Ω および Ω^{-1} は対称な正定値符号行列になる。

第 i 資産 ($i \in \{1, \dots, j\}$) の投資比率を w_i として、 j 種類

の金融資産の全ての投資比率を並べた列ベクトルを、

$$\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ \cdots \ w_j]^T \quad (26)$$

金融資産の空売りを無制限に認めるが、投資比率の総和は1であるという制約条件により、

$$\mathbf{w}^T \mathbf{1} = 1 \quad (27)$$

j 種類の資産から構成されるポートフォリオの投資収益率について、その期待収益率と分散は、投資比率ベクトル $\mathbf{w}$ によって作られたポートフォリオの投資収益率を $\tilde{R}_p$ とすると、

$$\tilde{R}_p = \sum_{i=1}^j w_i \tilde{R}_i = \mathbf{w}^T \tilde{\mathbf{R}} \quad (28)$$

その期待値をとると、

$$\mu_p = E[\tilde{R}_p] = \mathbf{w}^T E[\tilde{\mathbf{R}}] = \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} \quad (29)$$

したがって、ポートフォリオの収益率の分散は、

$$\begin{aligned} \sigma_p^2 &= \text{Var}[\tilde{R}_p] = \text{Var}[\mathbf{w}^T \tilde{\mathbf{R}}] \\ &= E[\mathbf{w}^T (\tilde{\mathbf{R}} - \boldsymbol{\mu}) \\ &\quad - \boldsymbol{\mu}) \{ \mathbf{w}^T (\tilde{\mathbf{R}} - \boldsymbol{\mu}) \}^T] \end{aligned}$$

$$\sigma_p^2 = \mathbf{w}^T E[(\tilde{\mathbf{R}} - \boldsymbol{\mu})(\tilde{\mathbf{R}} - \boldsymbol{\mu})^T] \mathbf{w} = \mathbf{w}^T \boldsymbol{\Omega} \mathbf{w} \quad (30)$$

つまり、平均分散分析によって金融資産へ投資を行う消費者は、一定の期待収益率 μ_p のもとでは、分散 σ_p^2 が最も小さいポートフォリオ、つまり最小分散ポートフォリオを選択する。

6.2 シャープレシオによる投資比率の選択

リスク資産を含むポートフォリオPに対して($\sigma_p > 0$)、Pのシャープレシオについて、期待超過リターン $f_p = (\mu_p - r_f)$ をポートフォリオのリスク σ_p で割った比率として定義する。

なお、危険資産ポートフォリオについて、5資産の投資比率は、最小分散ポートフォリオの中からシャープレシオが最大となるような投資比率を選択するものとする。

$$SR_p = \frac{f_p}{\sigma_p} \quad (31)$$

6.3 5資産ポートフォリオを用いた分析結果

表2で示した5資産の最小分散ポートフォリオを構築し、図12のようにシャープレシオが最大となるような投資比率を用いて、一定消費を保障する戦略の危険資産を構築する。表10に、ポートフォリオ構築に必要なパラメーターの結果をまとめた。

投資比率を見ると、空売りをしているのは国内株式(TOPIX)と外国債券(WGBI)であり、投資比率のほとんどが国内債券(BPI)である。シャープレシオ0.887のもとでは、ポートフォリオの収益率は2.472%、その標準偏差は1.893%であった。これは、5.2で検証した危険資産を国内株式(TOPIX)のみとした場合は、収益率は2.039%、その標準偏差は18.850%であったので、ポートフォリオを組むことで分散効果が働いた。

表10 5資産ポートフォリオのパラメーター

シャープレシオ	投資比率					危険資産	
	TOPIX	BPI	KOKUSAI	WGBI	GOLD	収益率 μ	標準偏差 σ
0.887	-0.719%	95.385%	6.307%	-3.386%	2.412%	2.472%	1.893%

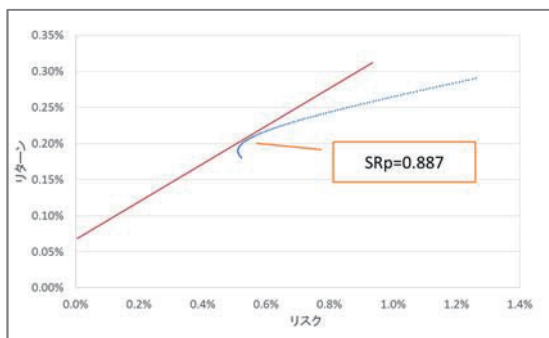


図12 最小分散ポートフォリオ



図13 対数収益率の推移

次に、伝統的な資産配分戦略（パターン A-1）と、

一定消費を保障する戦略（パターン B-1）の運用成果と消費額を比較する。A-1 は、5.2 の分析では期初において、危険資産 50%、安全資産 50%の比率で運用を始めたが、期初において B-1 と同様の投資比率で A-1 の運用シミュレーションを試みることにし、その際に乗数 K の値を用いることにした。

パターン B-1 については、5.2 の分析と同様の手順で検証を行う。ただし、異なることは危険資産を国内資産だけでなく、5 資産のポートフォリオを構築したものを用いていることである。

表 11 より、一定消費を保障する戦略（パターン B-1）において、乗数 K の値が 49.696%を示していることであり、ほぼ半分を危険資産に投資することにな

る。しかし r^* 値が表 9 の 0.769%から 0.591%に下落しており、毎期の消費額は少なくなっている。

一方、期末の資産残高は、5.2 の分析の場合の時は表 8 より 99.8989 であったが、今回は 110.476 に残高を増加している。再検証において、危険資産のポートフォリオを構築し、収益率 μ を上昇させた結果、期末資産残高は増加したが、最低消費額は 0.063 から 0.049 へ減少してしまうという結果になった。

戦略に関しては、伝統的な資産配分戦略は元本割れを起こすが、一定消費を保障する戦略は元本割れを起こさないという結果になった。

表 11 期間 3 のパラメーター

rf	Kappa	R*	乗数K(%)	r^*
0.793%	0.393	0.943	49.696	0.591%

表 12 各戦略の運用結果

期間3	総資産				消費			
	期初	期末 資産残高	変化率 平均	標準偏差	期初	期末 消費額	変化率 平均	最低 消費額
A-1	100	73.082	-0.239%	0.280%	0.375	0.275	-0.238%	0.275
B-1		110.476	0.076%	0.254%	0.049	0.054	0.077%	0.049

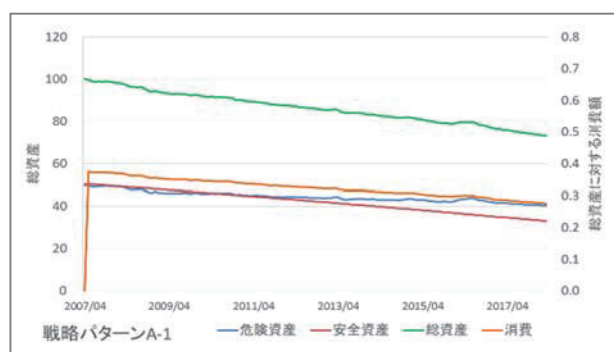


図 14-1 期間 3（戦略パターン A-1）

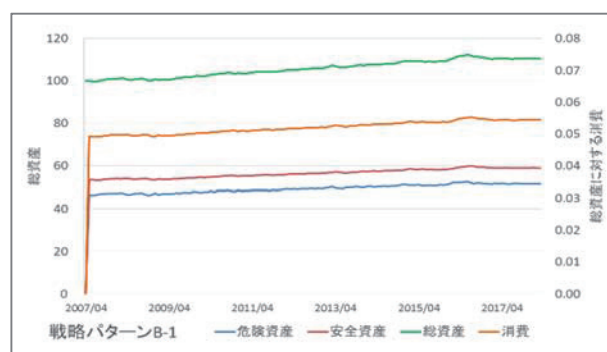


図 14-2 期間 3（戦略パターン B-1）

一の推移を観測できるデータ数を取得するためであ

6.4 分析期間をスライドしていく場合

6.3 の検証結果により、危険資産のポートフォリオ構築は一定の成果が見えることがわかった。ここで、乗数 K 、 r^* といったパラメーターは、期間 3 の間において、どのように推移しているのだろうか。期間 3（2007 年 4 月～2018 年 3 月）の中で、2007 年 4 月から 60 か月間を分析対象期間として、次は 2007 年 5 月から 60 ヶ月間というように、分析期間の期初を 1 ヶ月ずつスライドさせてみることにする。60 ヶ月という対象期間にしたのは、乗数 K 、 r^* というパラメータ

る。図 15 は危険資産ポートフォリオの中の 5 資産の構成比率であるが、国内債券（BPI）の割合がほとんどを占めており、国内株式（TOPIX）の割合はほとんどない。

図 16、図 17 から乗数 K の推移を観察することができた。一定消費を保障する戦略は期初をいつにするかが重要である。期初によって乗数 K は変化し、運用開始時期を 2007 年から徐々に遅らせるほど、シャープレシオの増大とともに、乗数 K の値も増加し

て行く。それは、図17からポートフォリオの期待収益率は安定し、標準偏差は小さくなっているため、乗数 K の値が増加したと考えられる。もう一つは、2008年のリーマンショックの影響があるため、リーマンショックの影響度が少なくなった後半期間に行くほど、金融市場が回復しているためと考える。それは、図15のポートフォリオの構成においても、後半期間に行くほど、空売りをする資産が少なくなっていることから推測できる。

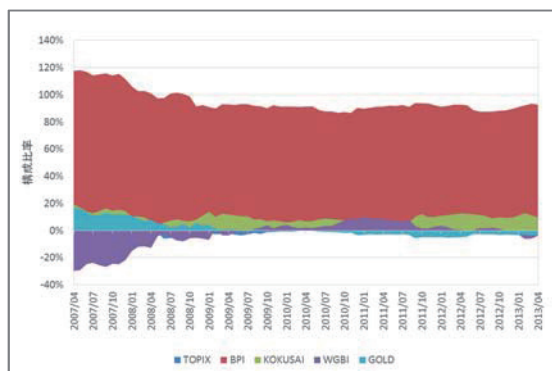


図15 ポートフォリオの構成比率



図16 シャープレシオの推移

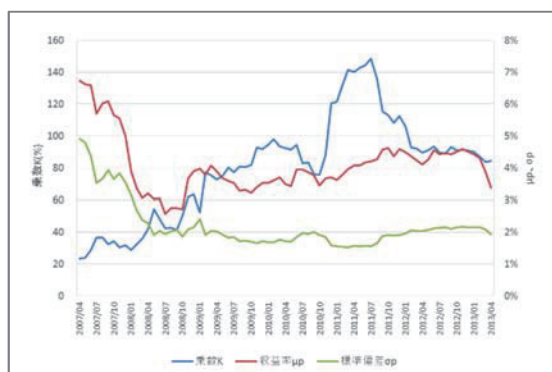


図17 乗数 K の推移

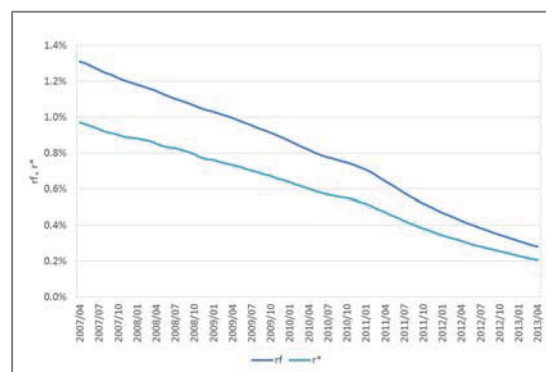


図18 r^* の推移

次に、戦略パターンA-1の期末資産残高と消費額の推移を図19-1および図19-2、戦略パターンB-1のものを図20-1および図20-2に示す。まず、資産残高について、伝統的な資産配分戦略であるパターンA-1は元本割れを起こし易く、一定消費を保障する戦略であるパターンB-1は元本割れを起こさず、期末資産残高は増加している。後半期間に行くほど、資産額変化率の標準偏差が大きくなりボラタイルになるのは、乗数 K が上昇し、危険資産への投資額が増加しているためであろう。つまり、資産残高については、一定消費を保障する戦略の方が、成果は上回っている。

消費額について、パターンA-1の方が、パターン

B-1よりも消費額は相対的に大きい。それは、パターンA-1は総資産残高によって消費額が決定するので、期初は消費額が大きいからであり、パターンB-1はリスクフリーレート自体が低下しているため、リスクフリーレートを元に計算される消費額が減少してしまうからである。つまり、消費額については、現在のようにリスクフリーレートが低下している局面では、一定消費を保障する戦略の方が劣ってしまうが、それは運用成果に基づいた消費計画であり、事実この期間で運用成果と安定的支出を構築する場合は、戦略B-1を用いることとなるだろう。

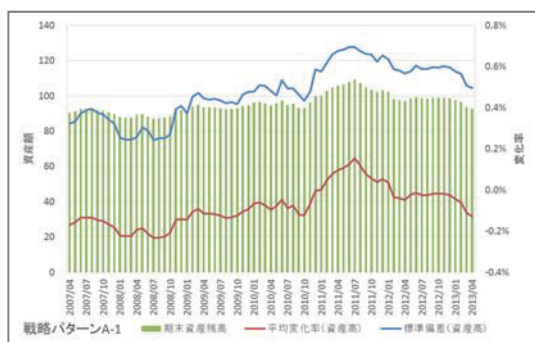


図 19-1 パターン A-1 資産残高

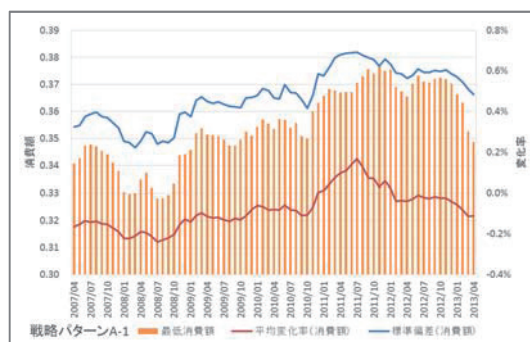


図 19-2 パターン A-1 最低消費額

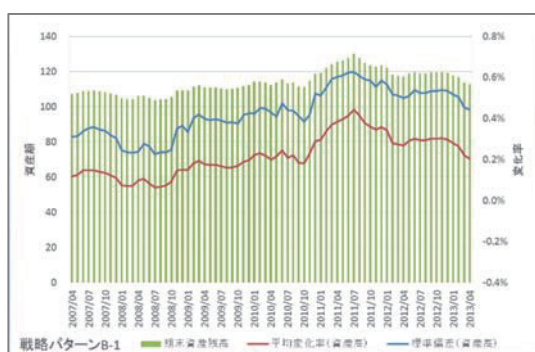


図 20-1 パターン B-1 資産残高

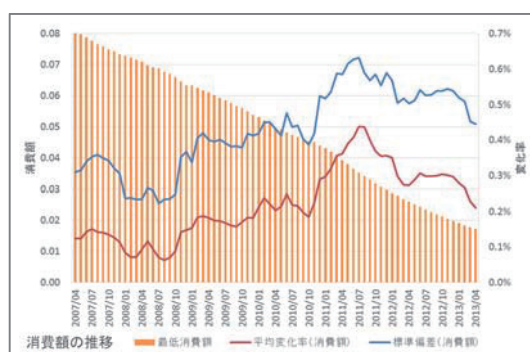


図 20-2 パターン B-1 最低消費額

7. 考察

本稿において、2種類の戦略について検証を行った。一つは伝統的な資産配分戦略であり、もう一つは一定消費を保障する戦略である。

伝統的な資産配分戦略は、1989年1月から2018年3月まで、どの期間を分析しても初期資産100を期末では大きく下回る結果であった。また、毎期の消費額変化率もボラティルであり、消費額変化率がマイナスであるので、毎期の消費額は徐々に減少している結果となった。これでは、事業は成り立たなくなってしまう。

一定消費を保障する戦略では、相対的リスク回避度と主観的割引率を投資家自身が設定した値を用いてシミュレーションを行った場合、期末資産残高は初期資産に近いものかそれを上回る結果となった。ただし、先行研究における $K=1$ 、 $r^*=1.5\%$ と設定した場合は、元本割れを起こしたことは、 K と r^* が恣意的であり、投資家のリスク回避度と主観的割引率を考慮していないためである。消費額については、安定した値を示しているが、伝統的な資産配分戦略と比べると、リスクフリーレートが低下する期間3では、表12より言って消費を保障する戦略は伝統的な資産配分戦略に比べ最低消費額は約20%に減少していた。

2007年4月から2018年3月までの期間3における

分析において、危険資産を単一資産ではなく5資産のポートフォリオを組むことによって、危険資産のリスク分散化を行うことができた。一定消費を保障する戦略について考えれば、分散投資の効果は、期末資産残高を99.898から110.476に上昇させている。しかしながら、最低消費額は0.063から0.049に減少してしまっている。分散投資の効果は、資産残高には大いに貢献していると言える。

2つの戦略には一長一短があるが、一定消費を保障する戦略において、資産残高は元本割れをしなかったが、毎期の消費額は少ない。たとえば、5資産ポートフォリオの戦略パターンB-1では、初期資産を1億円とすれば、毎月の最低消費額は1億円 $\times$ 0.049%＝49,000円となり、年間588,000円の消費が可能となる。この金額は事業を遂行する場合、人件費にも満たずあまり現実的とは言えないが、一定消費を保障する戦略を用いて、消費額を増やしたいならば初期資産を増額するということになるだろう。

また、期間3において、期初の年月をスライドし、乗数 K の変化を観察した。2008年のリーマンショックの時期は、収益率はボラティルであり、期末資産残高は伸びなかった。この戦略は市場のボラティリティが大きいときは、十分な効果が発揮されない。しかし、リーマンショックの時期が過ぎれば、危険資産の

収益率のボラティリティは安定し、乗数 K も上昇し、期末資産残高も増えていく結果であった。この戦略を開始する時期は、市場のボラティリティが小さいと判断したときは、効果を発揮すると考える。

一方、消費額は、分析期間が後半にずれほど、消費額変化率の標準偏差は上昇するとともに、最低消費額が減少している。これは、リスクフリーレートとして用いた国債10年物利回りが低下しているからである。

一定消費を保障する戦略を行った場合、元本割れを起こしにくいというメリットはあるが、消費額が少ないというデメリットがあり、直近では運用を開始する時期が遅くなるほど、毎期の最低消費額は減っていくという結果であった。しかしながら、この戦略によって、金融資産の運用戦略と事業の支出計画とを適切に管理できるという点では、ただやみくもに投資をして毎期消費をして行くよりかは、はるかに優れ、非営利組織にとって、このような戦略のもとに投資を行うことは必要であろうと考える次第である。

参考文献

1. 池田昌幸(2014).『金融経済学の基礎』朝倉書店.
2. 浅野幸弘(1985).『先物・オプションの活用戦略: 派生証券とポートフォリオ・インシュランスの理論と応用』東洋経済新報社.
3. 木島正明(2005).『戦略的アセットアロケーション』東洋経済新報社.
4. ゴールドマン・サックス証券(1991).『ニューファイナンスチャルテクノロジー』, 86-140, 金融財政事情研究会.
5. 明治生命特別勘定運用部/日興証券アセットマネジメント本部(1999).『アクティブ・ポートフォリオ・マネジメント』東洋経済新報社.
6. 森平爽一郎、高(2019),『EViewsで学ぶ応用ファイナンス』, 日本評論社.
7. 和合肇(2015).『状態空間時系列分析入門』シーエービー出版.
8. Bajeux-Besnainou, I., and Ogunc, K. (2006). Spending rules for endowment funds. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 27(1), 93-107.
9. Black, F, and A Perold (1992). "Theory of Constant Proportion Portfolio Insurance". *Journal of Economic Dynamics and Control* 16 (3-4): 403-426.
10. Blume, M. E. (2010). Endowment spending in volatile markets: what should fiduciaries do?. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 35(2), 163-178.
11. Brown, K. C., and Tiu, C. I. (2013). The interaction of spending policies, asset allocation strategies, and investment performance at university endowment funds. In *How the financial crisis and great recession affected higher education* (pp. 43-98). University of Chicago Press.
12. Cain, J. H. (1960). Recent trends in endowment. *The Review of Economics and Statistics*, 242-244.
13. Cejnek, G., Franz, R., Randl, O., and Stoughton, N. (2014). A survey of university endowment management research. *Journal of Investment Management*, Third Quarter.
14. Dybvig, P. H. (1999). Using asset allocation to protect spending. *Financial Analysts Journal*, 55(1), 49-62.
15. Dybvig, P. H. (1995). Dusenberry's ratcheting of consumption: optimal dynamic consumption and investment given intolerance for any decline In standard of living, *Review of Economic Studies*, 62(211), 287-313.
16. Ho, L., Cadle, J., and Theobald, M. (2010) "Portfolio Insurance Strategies: Review of theory and empirical studies." C.F. Lee, A. C. Lee, and J. Lee eds, *Handbook of Quantitative Finance and Risk Management* 319-332. Boston, MA: Springer US.
17. Merton, R. C. (1971). Optimum consumption and portfolio rules in a continuous-time model. *Journal of Economic Theory*, Vol. 3, No. 4, 373-413.
18. Merton, R. C. (1993). Optimal investment strategies for university endowment funds. In *Studies of supply and demand in higher education* (pp. 211-242). University of Chicago Press.
19. Perold, A. F., and Sharpe, W. F. (1995) "Dynamic strategies for sset allocation". *Financial Analysts Journal*, 51(1), 149-160.
20. Scott, J. S., and Watson, J. G. (2013). The floor-leverage rule for retirement. *Financial Analysts Journal*, 69(5), 45-60.

<研究メモ>

ランダム環境の下でのプロジェクトの価値評価法

名古屋市立大学名誉教授
宮原 孝夫 (みやはら よしお) *

2019 年 4 月 10 日

概要

外部環境の影響を強く受けるようなプロジェクトの価値評価の問題を考えたい。外部環境としては景気変動と災害を対象とする。評価尺度としては、リスクを強く意識するものとし、リスク鋭感的価値尺度を採用する。関連することとして、防災事業の価値およびリアルオプションの価値についても考察する。

キーワード： ランダム環境、災害リスク、複合ポアソン過程、リスク鋭感的価値尺度、防災事業の価値、リアルオプションの価値

1 はじめに

不確実性のある環境下でのプロジェクトの価値評価の問題を考えたい。その際には、プロジェクトから生じるキャッシュフローのモデル設定とその評価法の指定とが必要である。プロジェクトの収益をランダムなキャッシュフロー

$$\mathbf{C} = \{C_0, C_1, \dots, C_T\} \quad (1)$$

とし、そのランダム現在価値

$$RPV(\mathbf{C}) = \sum_{t=0}^T \tilde{C}_t, \quad \tilde{C}_t = \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

の価値評価をする。

評価尺度としてはリスク鋭感的価値尺度 (RSVM)

$$U^{(\alpha)}(RPV(\mathbf{C})) = -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha RPV(\mathbf{C})} \right] \quad (3)$$

を採用する。この評価のためには、 $RPV(\mathbf{C})$ の分布の積率母関数が求まれば良いことに注目しておこう。

さらに、プロジェクトに戦略を導入したときのキャッシュフロー列 $\mathbf{C}^{(\Phi)} = \{C_0, C_1^{(\Phi)}, \dots, C_T^{(\Phi)}\}$ とプロジェクトの価値評価

$$\bar{V} = \sup_{\Phi} U^{(\alpha)}(RPV(\mathbf{C}^{(\Phi)})) \quad (4)$$

についても議論する。

本稿は、JAROS2017、JAROS2018、統計数理研究所共同研究集会 ([6]) 等での講演を基に、その際にいただ

いたコメントなどを参考にして加筆し、表題の研究課題を推進するための構想を述べようとするものである。関心を持っていただき関連のある研究に参加していただければ、まことに幸いです。

2 モデル設定

キャッシュフローを生み出すプロジェクトとそれを取り巻く外部環境のモデル化は分析対象に応じて設定する必要がある。一般的な構築法は [5] の 8 章にもあるが、本稿では基本的なモデルとしてプロジェクトの収益がランダムな環境 (景気) 及び災害 (自然災害など) に強く影響されているような場合のモデルについて議論することとする。実際のプロジェクトに応用する場合には、基本モデルの考え方を応用して必要に応じた変形を加えることで対応できるであろう。

2.1 基本モデル

収益が景気の動向により左右されるようなプロジェクトを考える。景気の状態は K 個の段階に区分されているものとし、Markov 過程であるとする。プロジェクトの各期の収益は正規分布に従うものとし、その平均、分散は景気の状態に依存しているものとする。景気の変動を表すマルコフ過程 $\{Y_t\}$ の状態空間を $\mathbb{K} = \{1, 2, \dots, K\}$ とし、遷移確率を

$$p(k, j) = P(Y_t = j | Y_{t-1} = k), \quad k, j \in \mathbb{K} \quad (5)$$

とする。

収益過程 $\{X_t\}$ は、 $\{W_t\}$ を Wiener 過程とし $\Delta W_t =$

* E-mail: yoshio_m@zm.commufa.jp

$W_t - W_{t-1}$ と置いて

$$X_t = \mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (6)$$

と定まっているものとする。ここで $\mu(\cdot)$ および $\sigma(\cdot)$ は $\mathbb{R}$ 上の関数である。

以上のようにして定まるモデルを基本モデルと呼ぶことにする。

2.2 災害リスクモデル

災害を表現する確率過程 $\{\hat{Z}_t\}$ は $\{Y_t\}$ とも $\{W_t\}$ とも独立な複合ポアソン過程とし、 $\Delta\hat{Z}_t = \hat{Z}_t - \hat{Z}_{t-1}$ と置くと

$$\{\Delta\hat{Z}_t, t = 1, 2, \dots, T\} : i.i.d., \quad \text{compoundPoisson}(7)$$

である。この複合ポアソン分布のパラメータを $(c, \rho(dx))$ とする。すなわち、 $c > 0$ 、 $\rho(dx)$ は $(0, \infty)$ 上の確率分布であり、 $\Delta\hat{Z}_t$ の積率母関数は

$$M_{\Delta\hat{Z}_t}(u) = E[e^{u\Delta\hat{Z}_t}] = \exp(c(M_\rho(u) - 1)) \quad (8)$$

$$M_\rho(u) = \int_0^\infty e^{ux} \rho(dx) \quad (9)$$

である。パラメータ c は災害の起こる頻度の強さを示し、 $\rho(dx)$ は災害が起こった場合の被害の大きさの分布を示している。

この時の収益過程 $\{\hat{X}_t\}$ は次のようになっているものとする。

$$\hat{X}_t = \mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t - \Delta\hat{Z}_t. \quad (10)$$

このモデルを 災害リスクモデル と呼ぶことにする。

Remark 1

$$\rho(dx) = \delta_L(dx) \quad (11)$$

の場合には、intensity c のポアソン過程 $\hat{Z}_t^{(Po)}$ により

$$\hat{Z}_t = L\hat{Z}_t^{(Po)} \quad (12)$$

と表され、収益過程 $\{\hat{X}_t\}$ は

$$\hat{X}_t = \mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t - L\Delta\hat{Z}_t^{(Po)} \quad (13)$$

となる。このとき

$$M_\rho(u) = e^{uL}, \quad (14)$$

$$M_{\Delta\hat{Z}_t}(u) = \exp(c(e^{uL} - 1)) \quad (15)$$

となっている。

2.3 戦略（リアルオプション）の導入

プロジェクトの推進過程では、プロジェクトの規模を戦略的に調整できるものとする。可能な規模のクラスを $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_d\}$ とし、戦略 Φ は

$$\Phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_T), \quad \phi_t : \mathbb{R} \rightarrow \Lambda, \quad (16)$$

とする。キャッシュフロー列

$$\hat{\mathbf{C}}^{(\Phi)} = \{\hat{C}_0, \hat{C}_1^{(\Phi)}, \dots, \hat{C}_T^{(\Phi)}\}$$

$$\hat{C}_t^{(\Phi)} = \phi_t(Y_{t-1}) \left(\mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t - \Delta\hat{Z}_t \right) \quad (17)$$

で与えられるものとしよう。すなわち、 $(t-1)$ -期の環境（景気）状態を知って t -期のプロジェクトの規模を決定する。この時、ランダム現在価値は

$$RPV(\hat{\mathbf{C}}^{(\Phi)}) = \sum_{t=0}^T \left\{ \frac{\phi_t \hat{X}_t}{(1+r)^t} \right\} \quad (18)$$

である。

Remark 2 災害リスクの無い基本モデルに対しても同様に戦略を導入できる。その場合にはキャッシュフロー列 $\mathbf{C}^{(\Phi)} = \{C_0, C_1^{(\Phi)}, \dots, C_T^{(\Phi)}\}$ は

$$C_t^{(\Phi)} = \phi_t(Y_{t-1}) (\mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t) \quad (19)$$

となり、ランダム現在価値は

$$RPV(\mathbf{C}^{(\Phi)}) = \sum_{t=0}^T \left\{ \frac{\phi_t X_t}{(1+r)^t} \right\} \quad (20)$$

である。

2.4 モデル設定に関する考察

本稿の主目的は外部環境から受ける巨大リスクへの対応法を検討することであるので、プロジェクトの内部構造には立ち入らないこととする。

外部構造に関しては、考慮すべき事柄は多くあろう。例えば次のようなことがある。

1. 災害リスクモデルにおいて、受ける被害の大きさを複合ポアソン過程でモデル化しているが、単にポアソン過程にして、被害に大きさは災害の起こった回数により表現されると考えることも可能かもしれない。
2. 災害の影響は、直接的な被害だけでなく景気の動向への影響を通じて起こりうる。上のモデルではその点の考慮がなされていない。
3. 景気変動 Y_t はマルコフ過程としてモデル化されているが、時系列モデルを採用した方が現実的であるかもしれない。

4. 離散時間モデルで考えているが、連続時間モデルとして定式化した方が理論的に統一的に扱える可能性があるかもしれない。

これらについては今後の検討課題としておく。

3 プロジェクトの評価

プロジェクトの価値をリスク鋭感的価値尺度で評価する。その前提としてリスク鋭感的価値尺度の概要を説明する。(詳しくは [5] 5,7,8 章を参照せよ。)

3.1 リスク鋭感的価値尺度

Definition 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

$$U^{(\alpha)}(X) = -\frac{1}{\alpha} \log E[e^{-\alpha X}], \quad \alpha > 0, \quad (21)$$

を (リスク回避度 α の) リスク鋭感的価値尺度 (RSVM) と呼ぶ。

Definition 2 [動学的リスク鋭感的価値尺度 (DRSVM)]

$$U_t^{(\alpha)}(X) = -\frac{1}{\alpha} \log E[e^{-\alpha X} | \mathcal{F}_t], \quad t = 0, 1, \dots, T. \quad (22)$$

を動学的リスク鋭感的価値尺度 (DRSVM) と呼ぶ。

3.2 キャッシュフローの評価法

$\{U_t^{(\alpha)}(X), t = 0, 1, 2, \dots, T\}$ が時間的整合性を持つことより、次の公式が成立する。

$$\begin{aligned} U_0^{(\alpha)}(RPV(\mathbf{C})) &= U_0^{(\alpha)}\left(\sum_{s=1}^T \tilde{C}_s\right) \\ &= U_0^{(\alpha)}\left(U_1^{(\alpha)}\left(\sum_{s=1}^T \tilde{C}_s\right)\right) \\ &= U_0^{(\alpha)}\left(\tilde{C}_1 + U_1^{(\alpha)}\left(\sum_{s=2}^T \tilde{C}_s\right)\right) \end{aligned} \quad (23)$$

同様に次式を得る。

$$\begin{aligned} &U_t^{(\alpha)}\left(\sum_{s=t+1}^T \tilde{C}_s\right) \\ &= U_t^{(\alpha)}\left(U_{t+1}^{(\alpha)}\left(\sum_{s=t+1}^T \tilde{C}_s\right)\right) \\ &= U_t^{(\alpha)}\left(\tilde{C}_{t+1} + U_{t+1}^{(\alpha)}\left(\sum_{s=t+2}^T \tilde{C}_s\right)\right) \end{aligned} \quad (24)$$

ここで $V_t^{(\alpha)} = \tilde{C}_t + U_t^{(\alpha)}\left(\sum_{s=t+1}^T \tilde{C}_s\right)$ と置くと、上

の関係式より

$$V_T^{(\alpha)} = \tilde{C}_T, \quad (25)$$

$$V_t^{(\alpha)} = \tilde{C}_t + U_t^{(\alpha)}\left(V_{t+1}^{(\alpha)}\right), \quad t = T-1, T-2, \dots, 1, 0. \quad (26)$$

を得る。この関係式から再帰的に

$$\{V_t^{(\alpha)}, \quad t = T-1, T-2, \dots, 0\} \quad (27)$$

を求めることができ、最終的に $V^{(\alpha)}(\mathbf{C}) = V_0^{(\alpha)}$ が求まる。

3.3 戦略付きキャッシュフローの評価法

戦略 $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_T\}$ を導入した場合のキャッシュフローを $\mathbf{C}^{(\Phi)} = \{C_0^{(\Phi)}, C_1^{(\Phi)}, C_2^{(\Phi)}, \dots, C_T^{(\Phi)}\}$ とする。時間的整合性と単調性を使い次のような結果が得られる。

$$\begin{aligned} \bar{V}^{(\alpha)} &= \sup_{\Phi} \left\{ U^{(\alpha)}\left(RPV(\mathbf{C}^{(\Phi)})\right) \right\} \\ &= \sup_{\Phi} \left\{ \tilde{C}_0^{(\Phi)} + U_0^{(\alpha)}\left(\sum_{t=1}^T \tilde{C}_t^{(\Phi)}\right) \right\} \\ &= \sup_{\Phi} \left\{ \tilde{C}_0^{(\Phi)} + U_0^{(\alpha)}\left(U_1^{(\alpha)}\left(\sum_{t=1}^T \tilde{C}_t^{(\Phi)}\right)\right) \right\} \\ &\vdots \\ &= \sup_{\phi_1} \left\{ \tilde{C}_0^{(\Phi)} + U_0^{(\alpha)}\left(\tilde{C}_1^{(\Phi)} + \sup_{\phi_2} \left\{ U_1^{(\alpha)}\left(\tilde{C}_2^{(\Phi)} \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \sup_{\phi_3} \left\{ \dots + \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. \sup_{\phi_{T-1}} \left\{ U_{T-2}^{(\alpha)}\left(\tilde{C}_{T-1}^{(\Phi)} + \sup_{\phi_T} \left\{ U_{T-1}^{(\alpha)}\left(\tilde{C}_T^{(\Phi)}\right)\right\}\right\}\right\} \right\} \right\} \right\} \end{aligned} \quad (28)$$

4 基本モデルの評価

4.1 再帰方程式の導出

簡単のため、 $r = 0$ としておく。この時

$$RPV(\mathbf{X}) = \sum_{t=0}^T X_t, \quad (29)$$

$$X_t = \mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t. \quad (30)$$

となる。従って、

$$\begin{aligned} V^{(\alpha)} &= U^{(\alpha)}(RPV(\mathbf{X})) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E\left[e^{-\alpha RPV(\mathbf{X})}\right] \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E\left[e^{-\alpha \sum_{t=0}^T X_t}\right] \end{aligned} \quad (31)$$

となる。フィルトレーション $\{\mathcal{F}_t, t = 0, 1, \dots, T\}$ を $\mathcal{F}_t = \sigma\{X_s, Y_s, s \leq t\}$ により定める。§3.2 の結論より

$$V_T^{(\alpha)} = X_T, \quad (32)$$

$$V_t^{(\alpha)} = X_t + U_t^{(\alpha)} \left(V_{t+1}^{(\alpha)} \right), \quad (33)$$

$$t = T-1, T-2, \dots, 1, 0.$$

となり、これは次のように計算される。

$$V_T^{(\alpha)}(x, k) = V_T^{(\alpha)}|_{(X_T=x, Y_T=k)} = x \quad (34)$$

$$V_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) = x + U_{T-1}^{(\alpha)}(V_T^{(\alpha)})|_{(X_{T-1}=x, Y_{T-1}=k)} \quad (35)$$

ここで

$$\{\mu(k) = \mu_k, \sigma(k) = \sigma_k, \quad k = 1, \dots, K\} \quad (36)$$

と置く。

$$\begin{aligned} & U_{T-1}^{(\alpha)}(V_T^{(\alpha)})|_{(X_{T-1}=x, Y_{T-1}=k)} \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha X_T} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha(\mu(Y_T) + \sigma(Y_T)\Delta W_T)} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha(\mu_j + \sigma_j \Delta W_T)} \right] \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) E \left[e^{-\alpha(\mu_j + \sigma_j \Delta W_T)} \right] \right) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha\mu_j + \frac{1}{2}\alpha^2\sigma_j^2} \right). \end{aligned} \quad (37)$$

ここで

$$\theta^{(\alpha)}(k) = e^{-\alpha\mu_k + \frac{1}{2}\alpha^2\sigma_k^2}, \quad (38)$$

$$b_{T-1}^{(\alpha)}(k) = \sum_{j=1}^K p(k, j) \theta^{(\alpha)}(j), \quad (39)$$

と置いて

$$V_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) = x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-1}^{(\alpha)}(k) \right) \quad (40)$$

となる。次いで、

$$\begin{aligned} & V_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x + U_{T-2}^{(\alpha)}(V_{T-1}^{(\alpha)})|_{(X_{T-2}=x, Y_{T-2}=k)} \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha V_{T-1}^{(\alpha)}} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} & E \left[e^{-\alpha V_{T-1}^{(\alpha)}} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[e^{-\alpha \left(X_{T-1} - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) \right) \right)} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[\left(e^{-\alpha(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1})} \right) \right. \\ & \quad \left. \times b_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[E \left[\left(e^{-\alpha(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1})} \right) \right. \right. \\ & \quad \left. \left. \times b_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2}, Y_{T-1} \right] | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[E \left[\left(e^{-\alpha(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1})} \right) \right. \right. \\ & \quad \left. \left. | \mathcal{F}_{T-2}, Y_{T-1} \right] b_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[\left(e^{-\alpha\mu(Y_{T-1}) + \frac{1}{2}\alpha^2\sigma^2(Y_{T-1})} \right) \right. \\ & \quad \left. \times b_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= \sum_{j=1}^K p(k, j) \left(e^{-\alpha\mu_j + \frac{1}{2}\alpha^2\sigma_j^2} \right) b_{T-1}^{(\alpha)}(j) \\ &= \sum_{j=1}^K p(k, j) \theta^{(\alpha)}(j) b_{T-1}^{(\alpha)}(j) \end{aligned} \quad (42)$$

が求まる。ここで、

$$\theta_{T-2}^{(\alpha)}(j) = \theta^{(\alpha)}(j) b_{T-1}^{(\alpha)}(j), \quad (43)$$

$$\theta_{T-2}^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} \theta_{T-2}^{(\alpha)}(1) \\ \vdots \\ \theta_{T-2}^{(\alpha)}(K) \end{pmatrix} \quad (44)$$

$$b_{T-2}^{(\alpha)} = P \theta_{T-2}^{(\alpha)} \quad (45)$$

と置くと

$$\begin{aligned} & V_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha V_{T-1}^{(\alpha)}} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-2}^{(\alpha)}(k) \right) \end{aligned} \quad (46)$$

となる。これを繰り返して $V^{(\alpha)} = V_0^{(\alpha)}$ が求まる。

4.2 計算手順

計算手順は次のようになる。

$$\begin{aligned} & \Theta^{(\alpha)} \\ &= \begin{pmatrix} \theta^{(\alpha)}(1) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta^{(\alpha)}(2) & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \theta^{(\alpha)}(K) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (47)$$

$$b_T^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \quad (48)$$

$$P = \begin{pmatrix} p(1,1) & \cdots & p(1,K) \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ p(K,1) & \cdots & p(K,K) \end{pmatrix}, \quad (49)$$

$$b_{T-1}^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} b_{T-1}^{(\alpha)}(1) \\ \vdots \\ b_{T-1}^{(\alpha)}(K) \end{pmatrix}, \quad (50)$$

と置く。これを使って、順次

$$b_{T-1}^{(\alpha)} = P\Theta^{(\alpha)}b_T^{(\alpha)} \quad (51)$$

$$b_{T-2}^{(\alpha)} = P\Theta^{(\alpha)}b_{T-1}^{(\alpha)} = (P\Theta^{(\alpha)})^2b_T^{(\alpha)} \quad (52)$$

$\vdots$

$$b_t^{(\alpha)} = P\Theta^{(\alpha)}b_{t+1}^{(\alpha)} = (P\Theta^{(\alpha)})^{T-t}b_T^{(\alpha)} \quad (53)$$

$\vdots$

$$b_0^{(\alpha)} = P\Theta^{(\alpha)}b_1^{(\alpha)} = (P\Theta^{(\alpha)})^Tb_T^{(\alpha)} \quad (54)$$

と計算し

$$V_0^{(\alpha)}(x, k) = x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_0^{(\alpha)}(k) \right) \quad (55)$$

を得る。

4.3 戦略の導入

戦略を導入した場合の評価を求める。

4.3.1 再帰方程式

再帰方程式を導こう。

$$\begin{aligned} & U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\tilde{C}_T^{(\Phi)} \right) (x, k, \phi_T(k) = \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha \phi_T X_T} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k, \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha \phi_T (Y_{T-1}) (\mu(Y_T) + \sigma(Y_T) \Delta W_T)} \right. \\ & \quad \left. | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k, \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha \lambda_l (\mu_j + \sigma_j \Delta W_T)} \right] \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha \lambda_l \mu_j + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda_l^2 \sigma_j^2} \right) \end{aligned} \quad (56)$$

ここで

$$\theta^{(\alpha)}(k, \lambda) = e^{-\alpha \lambda \mu_k + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda^2 \sigma_k^2}, \quad (57)$$

$$b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda) = \sum_{j=1}^K p(k, j) \theta^{(\alpha)}(j, \lambda) \quad (58)$$

と置くと、

$$\begin{aligned} & U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\tilde{C}_T^{(\Phi)} \right) (x, k, \phi_{T-1}(k) = \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right) \end{aligned} \quad (59)$$

となり、

$$\begin{aligned} & \bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x + \sup_l U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\tilde{C}_T^{(\Phi)} \right) (x, k, \lambda_l) \\ &= x + \sup_l \left\{ -\frac{1}{\alpha} \log \left(b^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right) \right\} \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\inf_l \left\{ b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\} \right) \end{aligned} \quad (60)$$

である。

ここで

$$\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\} \quad (61)$$

と置き、 $\inf$ を与える λ_l を $\bar{\lambda}(k)$ とすると、最適戦略 $\bar{\phi}_T$ と $\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k)$ は

$$\bar{\phi}_T(Y_{T-1}) = \bar{\lambda}(Y_{T-1}) \quad (62)$$

$$\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\} = b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \bar{\lambda}(k)) \quad (63)$$

となり、最適戦略の下での $\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k)$ は

$$\begin{aligned} & \bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) = x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) \right) \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-1}^{(\alpha)}(k, \bar{\lambda}(k)) \right) \end{aligned} \quad (64)$$

となっている。

次に、

$$\begin{aligned} & \bar{V}_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x + \sup_l \left\{ U_{T-2}^{(\alpha)} \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right) (x, k, \phi_{T-1}(k) = \lambda_l) \right\} \end{aligned} \quad (65)$$

を計算する。

$$\begin{aligned} & U_{T-2}^{(\alpha)} \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right) (x, Y_{T-2} = k, \phi_{T-1}(k) = \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(E \left[e^{-\alpha \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right)} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \right) \end{aligned} \quad (66)$$

$$\begin{aligned}
& E \left[e^{-\alpha(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)})} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\
&= E \left[e^{-\alpha(\lambda_l(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1}) - \frac{1}{\alpha} \log \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}))} \right. \\
&\quad \left. | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\
&= E \left[\left(e^{-\alpha\lambda_l(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1})} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \times \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right) \right] (x, k) \\
&= E \left[E \left[\left(e^{-\alpha\lambda_l(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1})} \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \times \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2}, Y_{T-1} \right) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\
&= E \left[E \left[\left(e^{-\alpha\lambda_l(\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1})\Delta W_{T-1})} \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. | \mathcal{F}_{T-2}, Y_{T-1} \right) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\
&= E \left[\left(e^{-\alpha\lambda_l\mu(Y_{T-1}) + \frac{1}{2}\alpha^2\lambda_l^2\sigma^2(Y_{T-1})} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \times \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right) \right] (x, k) \\
&= \sum_{j=1}^K p(k, j) \left(e^{-\alpha\lambda_l\mu_j + \frac{1}{2}\alpha^2\lambda_l^2\sigma_j^2} \right) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j) \\
&= \sum_{j=1}^K p(k, j) \theta^{(\alpha)}(j, \lambda_l) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j) \tag{67}
\end{aligned}$$

ここで、

$$\theta_{T-2}^{(\alpha)}(j) = \theta^{(\alpha)}(j) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j) \tag{68}$$

$$\theta_{T-2}^{(\alpha)} = \begin{pmatrix} \theta_{T-2}^{(\alpha)}(1) \\ \vdots \\ \theta_{T-2}^{(\alpha)}(K) \end{pmatrix} \tag{69}$$

$$b_{T-2}^{(\alpha)} = P\theta_{T-2}^{(\alpha)} \tag{70}$$

$$\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_{T-2}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\} \tag{71}$$

と置くと、上の結果から

$$\begin{aligned}
& \bar{V}_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) \\
&= x + \sup_l \left\{ U_{T-2}^{(\alpha)} \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right) (x, k, \phi_{T-1} = \lambda_l) \right\} \\
&= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(k) \right). \tag{72}
\end{aligned}$$

これを繰り返して、 $\bar{V}^{(\alpha)}(x, k) = \bar{V}_0^{(\alpha)}(x, k)$ が求まる。

Remark 3 $\bar{V}^{(\alpha)}(x, k) - V^{(\alpha)}(x, k)$ がリアルオプションの価値ということになる。

4.3.2 計算手順

計算手順は次のように整理できる。

$$\begin{aligned}
& \Theta^{(\alpha)}(\lambda) \\
&= \begin{pmatrix} \theta^{(\alpha)}(1, \lambda) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta^{(\alpha)}(2, \lambda) & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \theta^{(\alpha)}(K, \lambda) \end{pmatrix} \tag{73}
\end{aligned}$$

と置き、次のように計算する。

$$b_{T-1}^{(\alpha)}(\lambda) = P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)b_T^{(\alpha)}, \tag{74}$$

$$\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_{T-1}^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \tag{75}$$

$$\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)} = {}^t \left(\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(1), \dots, \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(K) \right) \tag{76}$$

$$b_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda) = P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}, \tag{77}$$

$$\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \tag{78}$$

$$\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)} = {}^t \left(\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(1), \dots, \bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(K) \right) \tag{79}$$

$\vdots$

$$b_t^{(\alpha)}(\lambda) = P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)\bar{b}_{t+1}^{(\alpha)}, \tag{80}$$

$$\bar{b}_t^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_t^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \tag{81}$$

$$\bar{b}_t^{(\alpha)} = {}^t \left(\bar{b}_t^{(\alpha)}(1), \dots, \bar{b}_t^{(\alpha)}(K) \right) \tag{82}$$

$\vdots$

$$b_0^{(\alpha)}(\lambda) = P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)\bar{b}_1^{(\alpha)}, \tag{83}$$

$$\bar{b}_0^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ b_0^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \tag{84}$$

$$\bar{V}_0^{(\alpha)}(x, k) = x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\bar{b}_0^{(\alpha)}(k) \right) \tag{85}$$

5 災害リスクモデルの評価

5.1 再帰方程式の導出

$r = 0$ としておく。ランダム現在価値は

$$RPV(\hat{\mathbf{X}}) = \sum_{t=0}^T \hat{X}_t, \tag{86}$$

となる。従って、

$$\begin{aligned}
U^{(\alpha)}(RPV(\hat{\mathbf{X}})) &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha RPV(\hat{\mathbf{X}})} \right] \\
&= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha \sum_{t=0}^T \hat{X}_t} \right] \tag{87}
\end{aligned}$$

$$\hat{X}_t = \mu(Y_t) + \sigma(Y_t)\Delta W_t - \Delta \hat{Z}_t \tag{88}$$

である。

フィルトレーション $\{\mathcal{F}_t, t = 0, 1, \dots, T\}$ を $\mathcal{F}_t = \sigma\{W_s, Y_s, Z_s, s \leq t\}$ により定める。§3.2 の結論より

$$\hat{V}_T^{(\alpha)} = \hat{X}_T, \quad (89)$$

$$\hat{V}_t^{(\alpha)} = \hat{X}_t + U_t^{(\alpha)} \left(\hat{V}_{t+1}^{(\alpha)} \right), \quad (90)$$

$$t = T-1, T-2, \dots, 1, 0$$

を計算すればよい。次のように計算される。

$$\hat{V}_T^{(\alpha)}(x, k) = \hat{V}_T^{(\alpha)}|_{(\hat{X}_T=x, Y_T=k)} = x. \quad (91)$$

$$\begin{aligned} \hat{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) &= x + U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\hat{V}_T^{(\alpha)} \right)|_{(\hat{X}_{T-1}=x, Y_{T-1}=k)} \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha \hat{X}_T} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k) \end{aligned} \quad (92)$$

$$\begin{aligned} &E \left[e^{-\alpha \hat{X}_T} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k) \\ &= E \left[e^{-\alpha(\mu(Y_T) + \sigma(Y_T)\Delta W_T - \Delta \hat{Z}_T)} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k) \\ &= E \left[\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha(\mu_j + \sigma_j \Delta W_T - \Delta \hat{Z}_T)} \right] \\ &= \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) E \left[e^{-\alpha(\mu_j + \sigma_j \Delta W_T)} \right] \right) \\ &\quad \times E \left[e^{\alpha \Delta \hat{Z}_T} \right] \\ &= \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha \mu_j + \frac{1}{2} \alpha^2 \sigma_j^2} \right) e^{c(M_\rho(\alpha) - 1)}. \end{aligned} \quad (93)$$

以上より

$$\begin{aligned} \hat{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha \mu_j + \frac{1}{2} \alpha^2 \sigma_j^2} \right) \\ &\quad - \frac{1}{\alpha} c(M_\rho(\alpha) - 1) \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-1}^{(\alpha)}(k) \right) - \frac{1}{\alpha} c(M_\rho(\alpha) - 1) \end{aligned} \quad (94)$$

となる。続いて同様の計算により

$$\begin{aligned} \hat{V}_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_{T-2}^{(\alpha)}(k) \right) - 2 \frac{c}{\alpha} (M_\rho(\alpha) - 1) \end{aligned} \quad (95)$$

となる。これを繰り返して

$$\begin{aligned} \hat{V}_0^{(\alpha)}(x, k) &= U^{(\alpha)}(RPV(\hat{\mathbf{X}}))(x, k) \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(b_0^{(\alpha)}(k) \right) - T \frac{c}{\alpha} (M_\rho(\alpha) - 1) \end{aligned} \quad (96)$$

$$= V_0^{(\alpha)}(x, k) - T \frac{c}{\alpha} (M_\rho(\alpha) - 1) \quad (97)$$

となる。

5.2 防災事業の価値

事業者の立場から見た防災事業の価値は、防災処置を施した後の事業価値（＝災害リスクの無い場合の価値）と施す前の事業価値との差である。したがって今の場合、

$$V_0^{(\alpha)}(x, k) - \hat{V}_0^{(\alpha)}(x, k) = T \frac{c}{\alpha} (M_\rho(\alpha) - 1) \quad (98)$$

が防災事業の価値ということになる。この右辺の形から、この値は初期状態 (x, k) に寄らないことを注意しておく。

5.3 戦略の導入

基本モデルに対して行ったと同様のことを、 X_t を $\hat{X}_t$ に置きなおして実行する。

5.3.1 再帰方程式

$$\begin{aligned} &U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\tilde{C}_T^{(\Phi)} \right) (x, k, \phi_T(k) = \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log E \left[e^{-\alpha \phi_T \hat{X}_T} | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k, \lambda_l) \end{aligned} \quad (99)$$

$$\begin{aligned} &E \left[e^{-\alpha \phi_T (Y_{T-1}) (\mu(Y_T) + \sigma(Y_T) \Delta W_T - \Delta \hat{Z}_T)} \right. \\ &\quad \left. | \mathcal{F}_{T-1} \right] (x, k, \lambda_l) \\ &= E \left[\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha \lambda_l (\mu_j + \sigma_j \Delta W_T)} \right] E \left[e^{\alpha \phi_T \Delta \hat{Z}_T} \right] \\ &= \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) e^{-\alpha \lambda_l \mu_j + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda_l^2 \sigma_j^2} \right) e^{c(M_\rho(\alpha \lambda_l) - 1)} \end{aligned} \quad (100)$$

ここで

$$\theta^{(\alpha)}(k, \lambda) = e^{-\alpha \lambda \mu_k + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda^2 \sigma_k^2}, \quad (101)$$

$$\begin{aligned} \hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda) &= \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) \theta^{(\alpha)}(j, \lambda) \right) \\ &\quad \times e^{c(M_\rho(\alpha \lambda_l) - 1)} \end{aligned} \quad (102)$$

と置くと、

$$\begin{aligned} &U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\tilde{C}_T^{(\Phi)} \right) (x, k, \phi_{T-1}(k) = \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(\hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right) \end{aligned} \quad (103)$$

となり、

$$\begin{aligned} &\bar{\hat{V}}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x + \sup_l U_{T-1}^{(\alpha)} \left(\tilde{C}_T^{(\Phi)} \right) (x, k, \lambda_l) \\ &= x + \sup_l \left\{ -\frac{1}{\alpha} \log \left(\hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right) \right\} \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\inf_l \left\{ \hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\} \right). \end{aligned} \quad (104)$$

である。

ここで

$$\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) := \inf_l \left\{ \hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (105)$$

と置き、 $\inf$ を与える λ_l を $\bar{\lambda}(k)$ とすると、最適戦略 $\bar{\phi}_T$ は

$$\bar{\phi}_T(k) = \bar{\lambda}(k), \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (106)$$

であり

$$\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ \hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\} \quad (107)$$

$$= \hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \bar{\lambda}(k)), \quad (108)$$

となっている。そして、最適戦略の下での $\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k)$ は

$$\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}(x, k) = x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k) \right) \quad (109)$$

$$= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(k, \bar{\lambda}(k)) \right), \quad (110)$$

となっている。

次に、

$$\begin{aligned} & \bar{V}_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x + \sup_l \left\{ U_{T-2}^{(\alpha)} \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right) (x, k, \phi_{T-1}(k) = \lambda_l) \right\} \end{aligned} \quad (111)$$

を計算する。

$$\begin{aligned} & U_{T-2}^{(\alpha)} \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right) (x, Y_{T-2} = k, \phi_{T-1}(k) = \lambda_l) \\ &= -\frac{1}{\alpha} \log \left(E \left[e^{-\alpha \bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \right) \end{aligned} \quad (112)$$

$$\begin{aligned} & E \left[e^{-\alpha \bar{V}_{T-1}^{(\alpha)}} | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[\left(e^{-\alpha \lambda_l (\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1}) \Delta W_{T-1} - \Delta \hat{Z}_{T-1})} \right. \right. \\ & \quad \left. \left. \times \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right) (x, k) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= E \left[E \left[\left(e^{-\alpha \lambda_l (\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1}) \Delta W_{T-1} - \Delta \hat{Z}_{T-1})} \right. \right. \right. \\ & \quad \left. \left. \times \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2}, Y_{T-1} \right] | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[E \left[\left(e^{-\alpha \lambda_l (\mu(Y_{T-1}) + \sigma(Y_{T-1}) \Delta W_{T-1} - \Delta \hat{Z}_{T-1})} \right. \right. \right. \\ & \quad \left. \left. | \mathcal{F}_{T-2}, Y_{T-1} \right] \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= E \left[\left(e^{-\alpha \lambda_l \mu(Y_{T-1}) + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda_l^2 \sigma^2(Y_{T-1})} e^{c(M_\rho(\alpha \lambda_l) - 1)} \right) \right. \\ & \quad \left. \times \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(Y_{T-1}) | \mathcal{F}_{T-2} \right] (x, k) \\ &= \sum_{j=1}^K p(k, j) \left(e^{-\alpha \lambda_l \mu_j + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda_l^2 \sigma_j^2} e^{c(M_\rho(\alpha \lambda_l) - 1)} \right) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j) \\ &= \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) \left(e^{-\alpha \lambda_l \mu_j + \frac{1}{2} \alpha^2 \lambda_l^2 \sigma_j^2} \right) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j) \right) \\ & \quad \times e^{c(M_\rho(\alpha \lambda_l) - 1)} \\ &= \left(\sum_{j=1}^K p(k, j) \theta^{(\alpha)}(j, \lambda_l) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j) \right) e^{c(M_\rho(\alpha \lambda_l) - 1)} \quad (113) \end{aligned}$$

ここで、

$$\hat{\theta}_{T-2}^{(\alpha)}(j, \lambda) = \theta^{(\alpha)}(j, \lambda) \bar{b}_{T-1}^{(\alpha)}(j, \lambda), \quad (114)$$

$$\hat{\theta}_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda) = \begin{pmatrix} \hat{\theta}_{T-2}^{(\alpha)}(1, \lambda) \\ \vdots \\ \hat{\theta}_{T-2}^{(\alpha)}(K, \lambda) \end{pmatrix} \quad (115)$$

$$\hat{b}_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda) = P \hat{\theta}_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda) \quad (116)$$

$$\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ \hat{b}_{T-2}^{(\alpha)}(k, \lambda_l) \right\}, \quad (117)$$

と置くと、上の結果から

$$\begin{aligned} & \bar{V}_{T-2}^{(\alpha)}(x, k) \\ &= x + \sup_l \left\{ U_{T-2}^{(\alpha)} \left(\bar{V}_{T-1}^{(\alpha)} \right) (x, k, \phi_{T-1} = \lambda_l) \right\} \\ &= x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\bar{b}_{T-2}^{(\alpha)}(k) \right). \end{aligned} \quad (118)$$

これを繰り返して、

$$\bar{V}^{(\alpha)}(k) = \sup_{\Phi} U^{(\alpha)}(RPV(\mathbf{C}^{(\Phi)})), \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (119)$$

が求まる。

5.3.2 計算手順

計算手順は次のように整理できる。 $\Theta^{(\alpha)}(\lambda)$ 及び $b_T^{(\alpha)}$ は以前と同様とする。

$$\hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(\lambda) = \left(P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)b_T^{(\alpha)} \right) e^{c(M_\rho(\alpha\lambda)-1)}, \quad (120)$$

$$\bar{\hat{b}}_{T-1}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ \hat{b}_{T-1}^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \quad (121)$$

$$\bar{\hat{b}}_{T-1}^{(\alpha)} = {}^t \left(\bar{\hat{b}}_{T-1}^{(\alpha)}(1), \dots, \bar{\hat{b}}_{T-1}^{(\alpha)}(K) \right) \quad (122)$$

$$\hat{b}_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda) = \left(P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)\bar{\hat{b}}_{T-1}^{(\alpha)} \right) e^{c(M_\rho(\alpha\lambda)-1)}, \quad (123)$$

$$\bar{\hat{b}}_{T-2}^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ \hat{b}_{T-2}^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \quad (124)$$

$$\bar{\hat{b}}_{T-2}^{(\alpha)} = {}^t \left(\bar{\hat{b}}_{T-2}^{(\alpha)}(1), \dots, \bar{\hat{b}}_{T-2}^{(\alpha)}(K) \right) \quad (125)$$

.....

$$\hat{b}_t^{(\alpha)}(\lambda) = \left(P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)\bar{\hat{b}}_{t+1}^{(\alpha)} \right) e^{c(M_\rho(\alpha\lambda)-1)} \quad (126)$$

$$\bar{\hat{b}}_t^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ \hat{b}_{t+1}^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \quad (127)$$

$$\bar{\hat{b}}_t^{(\alpha)} = {}^t \left(\bar{\hat{b}}_t^{(\alpha)}(1), \dots, \bar{\hat{b}}_t^{(\alpha)}(K) \right) \quad (128)$$

.....

$$\hat{b}_0^{(\alpha)}(\lambda) = \left(P\Theta^{(\alpha)}(\lambda)\bar{\hat{b}}_1^{(\alpha)} \right) e^{c(M_\rho(\alpha\lambda)-1)}, \quad (129)$$

$$\bar{\hat{b}}_0^{(\alpha)}(k) = \inf_l \left\{ \hat{b}_1^{(\alpha)}(\lambda_l)(k) \right\}, \quad (130)$$

$$\bar{\hat{V}}_0^{(\alpha)}(x, k) = x - \frac{1}{\alpha} \log \left(\bar{\hat{b}}_0^{(\alpha)}(k) \right) \quad (131)$$

5.3.3 リアルオプションと防災事業の価値

リアルオプションの価値は

$$\bar{\hat{V}}^{(\alpha)}(x, k) - \hat{V}^{(\alpha)}(x, k) \quad (132)$$

である。

防災事業の価値は

$$\bar{V}^{(\alpha)}(x, k) - \bar{\hat{V}}^{(\alpha)}(x, k) \quad (133)$$

である。

6 数値例

6.1 モデル 1 (基本モデルの例)

$$K = 3, \quad T = 3, \quad (134)$$

$$I_0 = 100 \quad (C_0 = -I_0 = -100), \quad (135)$$

$$\mu = (10, 50, 80), \quad \sigma = (5, 5, 5) \quad (136)$$

$$P = \begin{pmatrix} 0.50 & 0.45 & 0.05 \\ 0.01 & 0.80 & 0.10 \\ 0.05 & 0.45 & 0.50 \end{pmatrix} \quad (137)$$

$$\lambda_1 = 0.8, \quad \lambda_2 = 1.0, \quad \lambda_3 = 1.2 \quad (138)$$

1. $\alpha = 0.01$ としたとき

k	1	2	3
$V^{(\alpha)}(k)$	4.6500	37.2791	58.6365
$\bar{V}^{(\alpha)}(k)$	22.5048	62.3836	87.5023

リアルオプションの価値 ($\bar{V}^{(\alpha)}(k) - V^{(\alpha)}(k)$) は

k	1	2	3
$\bar{V}^{(\alpha)}(k) - V^{(\alpha)}(k)$	17.8548	25.1045	28.8658

2. $\alpha = 0$ としたとき (平均値での評価)

k	1	2	3
$V^{(0)}(k)$	17.5738	46.1775	69.6275
$\bar{V}^{(0)}(k)$	41.0885	75.4130	103.5530

リアルオプションの価値 ($\bar{V}^{(0)}(k) - V^{(0)}(k)$) は

k	1	2	3
$\bar{V}^{(0)}(k) - V^{(0)}(k)$	23.5147	29.2355	33.9255

6.2 モデル 2 (災害モデルの例)

モデル 1 に次の条件を付加する。

$$\rho(dx) = \delta_L(dx), \quad L = 100, \quad c = 0.1 \quad (139)$$

1. $\alpha = 0.01$ としたとき

k	1	2	3
$\hat{V}^{(\alpha)}(k)$	-46.8984	-14.2693	7.0881
$\bar{\hat{V}}^{(\alpha)}(k)$	-44.0180	-6.7109	18.2642

リアルオプションの価値 ($\bar{\hat{V}}^{(\alpha)}(k) - \hat{V}^{(\alpha)}(k)$) は

k	1	2	3
$\bar{\hat{V}}^{(\alpha)}(k) - \hat{V}^{(\alpha)}(k)$	2.8804	7.5584	11.1761

● 戦略を導入しなかった場合の防災事業の価値は

k	1	2	3
$V^{(\alpha)}(k) - \hat{V}^{(\alpha)}(k)$	51.5485	51.5485	51.5485

● 戦略を導入した場合の防災事業の価値は

k	1	2	3
$\bar{V}^{(\alpha)}(k) - \hat{V}^{(\alpha)}(k)$	66.5228	69.0945	69.2381

2. $\alpha = 0$ としたとき

k	1	2	3
$\hat{V}^{(0)}(k)$	-12.4262	16.1775	39.6275
$\bar{\hat{V}}^{(0)}(k)$	5.0885	39.4130	67.5530

リアルオプションの価値 ($\bar{\hat{V}}^{(0)}(k) - \hat{V}^{(0)}(k)$) は

k	1	2	3
$\bar{\hat{V}}^{(0)}(k) - \hat{V}^{(0)}(k)$	17.5147	23.2355	27.9055

● 戦略を導入しなかった場合の防災事業の価値

k	1	2	3
$V^{(0)}(k) - \hat{V}^{(0)}(k)$	30	30	30

● 戦略を導入した場合の防災事業の価値

k	1	2	3
$\bar{V}^{(0)}(k) - \hat{V}^{(0)}(k)$	36	36	36

7 終わりに: 今後の課題

今後に向けての課題をまとめておく。

7.1 モデル設定について

プロジェクトの内部構造に基づくモデル化の部分については対象とするプロジェクトごとに個別に分析することが必要であり、一般論的に議論できることはかぎられている。[5] の 8 章を参考に、個別に検討して構築することが必要である。

外部環境に関する部分のモデル化に関してはいくつかの検討すべき課題が存在する。次のようなことがある。

・災害の影響に関しては、その起こる頻度とともにプロジェクトへの直接的被害の大きさの違いも考慮に入れることとして複合 Poisson 過程を導入したが、被害の大きさは災害の起こる回数の中に組み込まれているとみなすこともできなくはない。その場合には Poisson 過程モデルで議論しておけばよいことになる。どちらが適切かは一概には言えないだろう。

・災害が景気動向に与える影響も考慮に入れるべきであろう。どういう形で導入するのがよいかは定かでないが、どのような形で導入であっても Y_t と $\hat{Z}_t$ との独立性は崩れるので、価値評価は複雑になる。

・景気動向のモデルをマルコフ過程とすることは適切とは言えないかもしれない。経済時系列モデルを採用する方が自然であると言えよう。しかしその場合には過去にも依存した形のモデルとなり、価値評価の計算はかなり複雑化する可能性がある。モデルが複雑になりすぎると反ってモデル分析がしにくくなることも考えられ、一長一短であろう。

・モデル全体を連続時間モデルとして設定し直すことも考えられる。確率微分方程式モデルを導入した方が、数理的にすっきりとした形で議論できる可能性もある。

これらの項目についてはすぐに結論を出すことは難しいだろうが、今後も折に触れ検討してゆきたい。

7.2 モデル分析について

モデルのパフォーマンス分析が必要である。モデルの構造を決める要素がいくつかもあるが、それらの変化が評価結果に与える影響についてシミュレーションしてみることは重要である。その結果はまた、モデル設定の検討の際にも重視されるべき参考要因であろう。

コンピューターシミュレーションについては、今後順次取り組んでゆきたい

7.3 リスク管理への応用について

災害や恐慌等の巨大リスクへの備えとしては、防災事業、保険、CAT ボンド、天候デリバティブの利用、事業ポートフォリオの導入、等、種々の対応策が考えられる。それらの効果の評価を適切に行いその結果を比較検討しておくことが必要であろう。

これらについては [5] の 6 章及び 10 章でも触れているが、今後より深い総合的な検討が必要である。[9] も参考になろう。

参考文献

- [1] T. Hirose, H. Miyauchi, and T. Misawa (2012), 'Project Value Assessment of Thermal Power Plant Based on RNPV Probit Model Considering Real Options,' *J. Real Options and Strategy*, Vol.5, 1-18.
- [2] 宮原 孝夫 (2006), 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」、*Discussion Papers in Economics, Nagoya City University*, No.446. 1-21.
- [3] Y. Miyahara (2010), 'Risk-Sensitive Value Measure Method for Projects Evaluation,' *Journal of Real Options and Strategy*, Vol.3, No.2, 185-204.
- [4] Miyahara, Y. (2014): Evaluation of the Scale Risk, *RIMS Kokyuroku*, No.1886, 'Financial Modeling and Analysis (2013/11/20-2013/11/22)', pp. 181-188.
- [5] 宮原 孝夫 (2017), 「《研究ノート》プロジェクトの総合的評価理論『リスク鋭感的価値尺度法』」、日本リアルオプション学会 研究叢書 第 1 号。(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 9 巻 第 2 号 (特別号) 2017 年 4 月, pp.1 - 95.)
- [6] 宮原 孝夫 (2018), 「防災事業の価値評価」、統計数理研究所共同研究レポート「極値理論の工学への応用」20180720-21 (掲載予定)。
- [7] 三輪昌隆、宮原孝夫 (2010), 「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」、*リアルオプション研究*, Vol.3, No.1, 1-23.
- [8] Y. Miyahara and Y. Tsujii(2011), 'Applications of Risk-Sensitive Value Measure Method to Portfolio Evaluation Problems,' *Discussion Papers in Economics, Nagoya City University*, No.542, 1-12.
- [9] 佐々木 宏大 (2019), 「動学的リスク鋭感的価値尺度を用いた事業ポートフォリオの価値評価法」、名古屋市立大学経済学研究科 2018 年度修士論文。

学会だより

機関紙への原稿募集

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

査読付き論文（short paper）は査読付きであることを機関誌目次と掲載ページの最初に明記します。査読は、実務上の有用性、提供情報の意義と充実度、論文理解容易度など、論文誌とは、別の視点からの査読がなされます。査読は、1か月以内に完了します。査読を希望する論文は、その希望を明示してください。御投稿は、案内ページ http://www.realopn.jp/prep_page8.htm からお願いいたします。記事の分量は、規定のフォーマット10ページ以内を目安にお願いいたします。

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

編集後記

第10巻第3号は2018年12月に行われた学会の研究発表大会特集号となります。最近の Hot Topics である ESG に関する報告やパネル討論、リアルオプション分析ソフトに関するチュートリアルセッション講演内容などを掲載しました。またオプション理論とその応用に関する3つの寄稿論文をも掲載することができました。

伊藤 晴祥、森平 爽一郎

日本リアルオプション学会法人会員リスト

日本リアルオプション学会は以下の法人の方からのサポートを受けています。

株式会社 シーエスデー
株式会社 アーク情報システム
株式会社 構造計画研究所
同志社大学大学院ビジネス研究科
株式会社 サンセイランディック
日本管理センター 株式会社
株式会社 翻訳センター
ダイドーグループホールディングス 株式会社
株式会社 大和コンピューター
株式会社 メディカルシステムネットワーク
ベステラ 株式会社
日東精工 株式会社

日本リアルオプション学会機関誌 リアルオプションと戦略 第10巻 第3号	
2019年3月31日 発行	
(機関誌編集委員会)	
委員長： 森平 爽一郎	
委員： 高森 寛、中岡 英隆、佐藤 清和、伊藤 晴祥	
発行所	日本リアルオプション学会
THE JAPAN ASSOCIATION OF REAL OPTIONS AND STRATEGY	
事務業務担当：	
〒104-0033	
東京都中央区新川2-22-4 新共立ビル2F	
電話： 03-3551-9893 FAX： 03-3553-2047	

