

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26380406

研究課題名(和文) 大災害のリスクファイナンス 資本市場を通じた大災害リスクの測定と管理

研究課題名(英文) Risk Finance of Catastrophe: The Measurement and Management of Catastrophe Risk through the Capital Market.

研究代表者

森平 爽一郎 (Moridaira, Soichiro)

早稲田大学・商学大学院(ファイナンス研究科・センター)・教授

研究者番号：50082871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：日本は災害列島である。しかるに自然災害は景気後退や資本市場バブルの崩壊などと異なり分散可能リスクであるとされこれまで金融の枠内で検討すべき課題であるとはみなされてこなかった。この研究では大災害は分散できないシステムティックなリスクと考え株式やデリバティブ市場が自然災害リスクにどのように反映したかを、状態空間モデルを用いた新しいイベント研究の方法論をもちいて明らかにしようとした。

また大災害リスクに対して新しい金融商品のデザインを行うとともに既存の保険地震保険や利益保険の問題点をも明らかにしようとした。

研究成果の概要(英文)：Japan is a disaster archipelago. We consider the catastrophe as a systematic risk that cannot be diversified away and examine the impact of natural disaster risk, especially the Great East Japan Earthquake occurred on March 11, 2011 upon the Japanese capital markets. For this purpose, we conduct the research in the following three ways. Firstly, we developed the new event study methodology using the state space model to estimate stochastic beta and estimate impact of such disaster on the stochastic betas. The beta estimated Kalman filter shows drastic jump after the great earthquakes occurred. Secondly, we estimate risk neutral probability distribution of the Nikkei 225 stock index based on one-minute Nikkei 225 call and put option price data in the day of the great earthquake. Thirdly we try to design two new types of financial products for hedging the natural disasters. One is disaster even risk derivatives and the other is "loss of profits insurance" based on equilibrium approach.

研究分野：資産価格論、リスク管理、保険数理

キーワード：大災害 リスクファイナンス 資本市場 資産価格理論 デリバティブ 保険と保険数理 イベント研究 カルマンフィルター

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に生じた東日本大震災とそれによる福島第1原発事故は、日本のみならず世界の社会経済に多大の影響を与えた。日本の株式、債券、通貨などの資本市場も大きな影響を受けることになった。日本は災害列島であるとの認識からファイナンス理論にもとづき、大震災が日本の資本市場にどのような影響があったのか、またそうした災害リスクをヘッジするためには何かできるかというのが研究の出発点である。

## 2. 研究の目的

この研究は 1) 大災害が資本市場にどのような影響を与えたのか、また逆に 2) 資本市場は大災害リスクをヘッジするためにどのような金融資産・商品を提供できるのかを明らかにすることである。

### (1) 大災害が資本市場に及ぼす影響

大災害が企業に及ぼす影響を金融資産リスクの観点から分析した。リスクを 1) 市場リスク特に分散不可能なシステムティックリスクと 2) それを含む全体リスクについて検討をした。また大災害が及ぼす信用リスクの大きさと広がりを経済大災害の代表的なものである「サブプライム危機」と比較することによってその特徴を明らかにしようとした。

### (2) 大災害リスクをヘッジするための金融商品のデザイン

大災害リスクそのものを無くすことはできない。それを対する備え、つまりリスクコントロールを行うとともにリスクを回避・転嫁するための金融手段が必要になる。このための伝統的な金融商品が地震保険等の損害保険である。この研究ではそれ以外の新しい金融商品の可能性を考え、その具体的なプライシングモデルを提示し、その実証可能性について検討をした。具体的には 1) 大災害が発生するかしないか、あるいはその発生回数という「イベントリスク」に注目して支払いが発生するようなイベントリス・デリバティブと、2) 企業が大災害発生により利益の減少あるいは損失が発生する可能性を考え、損失の大きさに比例した保険金を支払う利益保険、の 2 つの金融商品の設計を行った。また大災害債券 (Catastrophe Bond) の発行データを用いたリスクプレミアム測定を行った。いずれも均衡理論に基づく分析を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) 大災害と企業のシステムティックリスクの変化。

大災害がもたらすシステムティックリスクの変化の時系列推移を調べるために状態空間モデルを用い、カルマンフィルターによって、個別の電力・ガス企業、保険会社および業種別株価指数の確率ベータの時系列推移を検討した。未知の確率ベータが平均回帰をすると考えてそのパラメータ (平均回帰水準、回帰の強さ、誤差項の標準誤差など) が

大震災前後でどのように変化をしたのかを検討した。

### (3) 大災害と企業の信用リスク

大災害がもたらす企業の信用リスクについては東京証券取引所に上場されている全ての銘柄について東日本大震災が及ぼしたデフォルト確率の変化を非完備市場におけるオプション価格決定理論を用いて推定した。つまり企業資産を原資産とし株式をコールオプションとみなしたときに企業が債務超過になる確率を大震災前後、リーマンショック前後で推定し比較分析をおこなった。

### (4) 大震災とリスク中立株価指数分布

東日本大震災の前後の数日にわたり日経 225 オプション価格の日中と夜間取引の分刻みデータを用い、投資家が予想する日経 225 株価指数のリスク中立確率分布にどのような変化を生じたかを推定した。分刻みのオプション価格データを用いたことから生じる欠損値を処理し、確率変動するボラティリティスマイル構造を取り扱うために線形の状態空間モデルを用い、カルマンフィルターによって未知の確率ボラティリティスマイル構造とリスク中立確率分布を推定した。

### (4) 大震災リスクをヘッジするための金融商品の価格決定モデル

大災害リスクは取引されていない。また損害保険のようにそれを原「資産」(The Underlying)とする保険も市場での自由な取引が行われているわけではない。従って価格決定モデルとしてよく用いられているリスク中立化法を適用することはできない。このため本研究では投資家の期待効用を最大にする安全資産、リスク資産、そのデリバティブ価格を同時に決定できるような一般均衡モデルを用いた分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 大災害とシステムティックリスクの変化

東日本大震災が企業の株式投資収益率  $r_t$  にどのような影響を与えたかを確認するために次のような状態空間モデルをカルマンフィルターによって推定した。最初の式が観察方程式であり、次の式が状態方程式を示している。

$$r_t = \alpha_i + \beta_i r_{M,t} + \varepsilon_t$$

$$\Delta \tilde{\beta}_t = (a + d_a D_t) \left( (\bar{\beta} + d_{\tilde{\beta}} D_t) - \tilde{\beta}_{t-1} \right) + \tilde{\varepsilon}_t$$

ここで  $D_t$  は添え字時間が東日本大震災発生日前であればゼロそうでなければ 1 をとる大震災ダミーである。 $r_{M,t}$  は TOPIX 収益率、 $\beta_i$  は時間とともに確率的に変化をするシステムティックリスクの尺度である確率ベータであり、カルマンフィルターによって推定される。 $\bar{\beta}$  は確率ベータの長期平均、 $a$  は長期平均に回帰する強さである。これら  $\alpha, \bar{\beta}$  とその他のパラメータは準最尤法で推定された。一例としてこのモデルによって推定された東京電力の確率ベータの平滑化値の時系列推移が以下の図 1 に示されている。

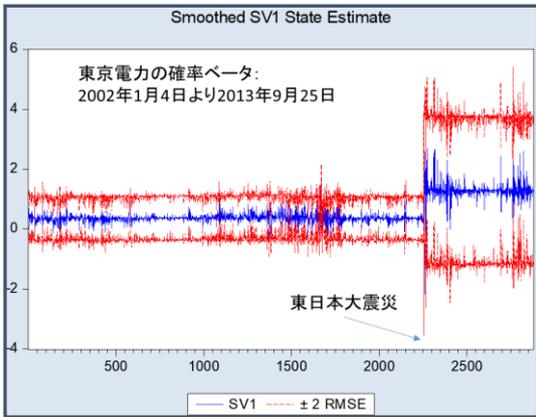


図1 東京電力の確率ベータの推移: 東日本大震災の前後での大きな変化が観察できる。

沖縄電力を除く他の8電力のベータも同様な結果を示したのに対し、原発を保有しない沖縄電力とガス会社については大震災や原発事故の影響はほとんど見受けられなかった。つまり電力会社のシステムティックリスクは原発事故に世界的なエネルギー価格の上昇によるものでなく、原発リスクそのものがもたらしたものであることが明らかになった。

保険会社についても同じ手法によって確率ベータを推定したところ、大震災後のベータが増加するのではなく図2のように「低下」する傾向を見ることができた。いわゆる保険会社「Gain from Loss」という現象がシステムティックリスクについても見受けられることがわかった。

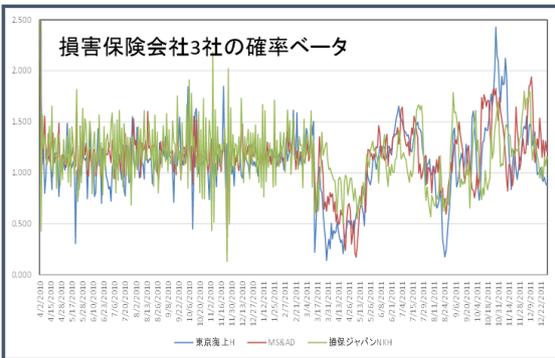


図2 害保険3社の確率ベータの推移: 東日本大震災の前後の変化、特に直後のベータの「低下」に注目。

## (2) 大災害と企業の信用リスク

株式は企業資産に関するコールオプションであることから非完備市場におけるオプション価格決定理論を援用することにより企業が債務超過に陥る確率としてのデフォルト確率を計算できる。図3は東京証券取引所に上場されているすべての銘柄についてデフォルト確率を計算し、1)全銘柄、2)東証1部上場銘柄、2)日経225株価指数採用銘柄、についてその単純平均をして示したものである。

この結果から自然大災害である東日本大震災を、経済大災害であるリーマンショック

と比較すると次のようなことがわかる。(1) 自東日本大震災はリーマン・ショック(サブプライム危機)より大きな影響をあたえた。(2)

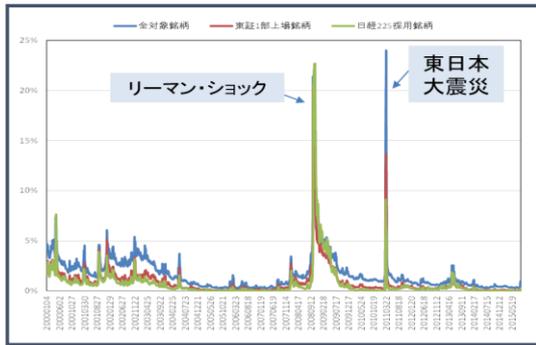


図3 上場企業のデフォルト(債務超過確率)。リーマンショックと東日本大震災の比較

上場企業であっても相対的に規模の小さな企業ほど大震災の影響が大きかった。この点はリーマンショックの影響度合いとは反対であり。(3) 大震災の影響は短期間に収束したのに対しリーマンショックの影響は長引いた、と言った点が明らかになった。これらの点は株価あるいはその収益率の推移だけをみたのでは明らかにすることができなかった。

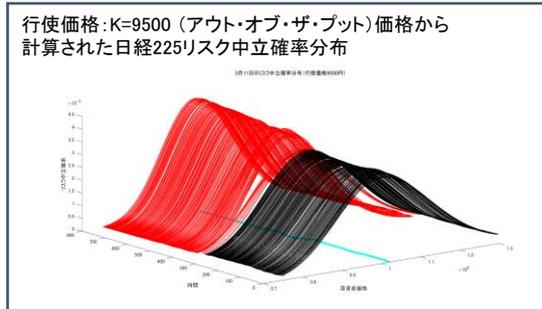


図4 東日本大震災発生日(2011年3月11日)の刻みの日経平均225現物価格指数のリスク中立確率分布。3カ月もの行使価格9500円の日経225プットオプション価格からの推定

## (3) 大震災とリスク中立株価指数分布の推定

大震災が及ぼす影響を市場リスクの代表的指標であるベータの確率的な時系列変化、そして信用リスクの代表的指標である債務超過確率の2つから考察をした。これら2つのリスクを統合するものとしての株価指数分布が大震災によってどのような変化をしたかを図4に示すように日経225の刻みのオプション価格から推定した。

黒色の分布が日中取引3時45分までの推定確率分布であり、赤色の部分がそれ以降の夜間取引を含む分布である。震災発生後から分布が左に歪む様子が見て取れる。言い換えれば市場は3カ月の日経平均の大幅な下落を見越しているものと考えることができる。

夜間の分布は平時の夜間取引の分布とは大きく異なること、福島原発事故に関する政府発表は分布の変化に大きく影響をしな

かったのに対し、東電が発表する福島第1正門前のγ線線量は分布の変化、分布を描くためのボラティリティスマイル構造に顕著な与えたことがわかった。

#### (4) 大震災リスクをヘッジするための金融商品の価格決定モデル

大災害がどのように資本市場に影響を与えたかを分析したが、それとともに資本市場を利用して災害をどのようにヘッジしたらよいかを検討した。具体的には1) 資産価格決定理論の中核をなす確率的割引率法(SDF: Stochastic Discount Factor)法を用い、2) 個別企業にとっては大きな災害であるが、それが一国全体に大きな影響を与えるものでない比較的規模の小さい災害の発生件数をリスクと考えたときの災害デリバティブモデル、3) 大災害によって企業収益が減少、毀損する場合、その一定割合を保証するような利益保険の価格決定モデルを構築し、4) それらの価格のリスクに対する比較静学分析などを行った。

例えば利益保険については以下のようなことがわかった。正規分布に従うと仮定した場合の企業利益を原「資産」(The Underlying)とし、利益保険をその場合のプットオプションであると考えて価格モデルを導出した。その特徴は次のような

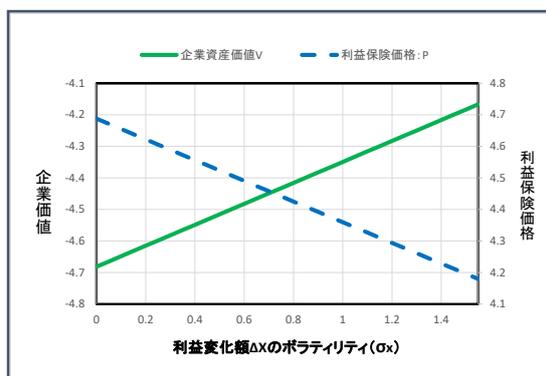


図5 利益のボラティリティが増加するにも関わらず利益保険価格が低下する場合がある(利益と代表的投資家の消費が負の場合)

ものであった。1) 図5に示されているように利益のボラティリティが増加すると利益保険の価格が低下することがあること、2) 利益保険の価値が原「資産」である企業利益の現在価値、つまり企業価値より大きくなり得ること、3) 負の行使価格を持つ利益保険を考えることができること。これらの結果は金融オプションの評価に最も良く用いられているBlack and Scholesモデルとは全く性質が異なるものであった。こうした分析結果から米国と異なり、自然大災害のリスクにさらされているにも関わらずなぜ日本では利益保険が普及しないのかを理論分析と数値シミュレーションによって明らかにした。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

森平爽一郎「資本市場は東日本大震災をどう受け止めたのか：リスクファイナンスの観点から」、ファイナンシャル・プランニング研究、No.16, 2017、74-81

<http://jasfp.jp/img/16-moridaira.pdf>

森平爽一郎「オプション価格決定モデル：その学説史的展望(1)バシュリエ(1900)モデル」、リアルオプションと戦略。8(1)、22-31：査読論文

[http://www.realopn.jp/data/coros\\_v7n3s.pdf](http://www.realopn.jp/data/coros_v7n3s.pdf)

〔学会発表〕(計7件)

梶本 周、森平 爽一郎、「東日本大震災は株式市場にどのように影響をしたのか？分足データによるリスク中立確率分布の推定」、日本ファイナンス学会、2017年6月

Soichiro Moridaira “The great Earthquake and the Riskiness of Insurance firms; State Space Approach” APRIA: Asian-Pacific Risk and Insurance Association Meeting, 2016 および、East Asian Risk Management & Insurance Workshop, 2016

森平 爽一郎「オプション理論を用いた利益保険の価格分析—なぜ日本では利益保険は普及しないのか」、日本リスク保険年金学会、2016

森平 爽一郎「正規分布に従う原資産に対するオプション価格理論と応用」日本ファイナンス学会、2016

森平 爽一郎「百分率(パーセント)デリバティブ：価格理論と応用」日本リアルオプション学会、2016

森平 爽一郎、白須洋子、吉田靖「大震災と損害保険のリスク：状態空間モデルを用いた分析」日本ファイナンス学会、2015

森平 爽一郎「原発事故は電力会社のシステムティックリスクにどのような影響を与えたのか？」日本ファイナンス学会、2015

〔その他〕

HP: <http://www.f.waseda.jp/moridaira/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

森平 爽一郎 (Moridaira Soichiro)

早稲田大学・大学院ファイナンス研究科・教授

研究者番号：50082871

(4) 研究協力者

梶本 周 (Kajimoto Shu)